

Министерство образования и науки Российской Федерации
Сибирский федеральный университет
Межинститутская базовая кафедра
«Прикладная физика и космические технологии»

Робототехника и искусственный интеллект

Материалы XI Всероссийской
научно-технической конференции
с международным участием

г. Железногорск, 14 декабря 2019 г.

Электронное издание

Под научной редакцией В.А. Углева

Железногорск 2019

УДК 004.896(08)
ББК 32.816я43
Р584

Р584 Робототехника и искусственный интеллект: материалы XI Всероссийской научно-технической конференции с международным участием (г. Железногорск, 14 декабря 2019 г.) / под науч. ред. В.А. Углева. – Электрон. дан. (13,5 Мб). – Красноярск: ЛИТЕРА-принт, 2019. – 409 с.

ISBN 978-5-907232-31-0

Сборник включает тексты докладов участников конференции по различным вопросам робототехники и искусственного интеллекта.

Основными темами конференции стали мехатроника, системы искусственного интеллекта при управлении роботами, формирование баз знаний и интеллектуальных алгоритмов, экстремальная робототехника, интеллектуальный анализ данных и обучающие системы.

Представляет интерес для научных работников, аспирантов, преподавателей вузов, магистрантов, студентов и школьников.

УДК 004.896(08)
ББК 32.816я43

ISBN 978-5-907232-31-0

© Коллектив авторов, 2019

Электронное научное издание

ISBN 978-5-907232-31-0



9 785907 232310

СЕКЦИИ КОНФЕРЕНЦИИ

Секция 1

Робототехнические системы и комплексы, мехатроника 4

Секция 2

Специальная робототехника 67

Секция 3

Инженерия знаний и базы знаний 120

Секция 4

**Модели и методы анализа данных в интеллектуальных системах
..... 182**

Секция 5

Алгоритмы и системы искусственного интеллекта 208

Секция 6

Управление роботами и интеллектуальная автоматизация 267

Секция 7

**Образовательные и социогуманитарные аспекты искусственного
интеллекта и робототехники 379**

Содержание 404

Секция 1

**РОБОТОТЕХНИЧЕСКИЕ
СИСТЕМЫ И КОМПЛЕКСЫ,
МЕХАТРОНИКА**

Д.А. Антоненко, магистрант, dmtrantonenko@gmail.com
П.В. Авласко, старший преподаватель, PAvlasko@sfu-kras.ru
Д.В. Капулин, к.т.н., доцент, DKapulin@sfu-kras.ru
С.В. Ченцов, д.т.н., профессор, SChentsov@sfu-kras.ru
Сибирский федеральный университет, г. Красноярск, Россия

СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ПРЕЦИЗИОННЫМ ЭЛЕКТРОПРИВОДОМ ДВОЙНОГО ПИТАНИЯ НА БАЗЕ ПРОЦЕССОРА БАЙКАЛ-Т1

Аннотация: Статья описывает разработку системы управления прецизионным электроприводом двойного питания на базе современного микропроцессора Байкал-Т1. Рассмотрена структурная схема выбранного процессора и перечислен набор стандартных интерфейсов подключения. Описано подключение инвертора электропривода посредством портов ввода-вывода общего назначения. Представлена структура поставляемого в комплекте с одноплатным компьютером набора средств разработчика. При разработке программного обеспечения предполагается наличие хост-системы с операционной системой Linux и интегрированной среды разработки Eclipse.

Ключевые слова: электропривод, управление, процессор, электродвигатель, среда разработки

PRECISION ELECTRIC DRIVE OF DOUBLY FED CONTROL SYSTEM BASED ON THE BAIKAL-T1 PROCESSOR

D.A. Antonenko, undergraduate, dmtrantonenko@gmail.com
P.V. Avlasko, senior lecturer, PAvlasko@sfu-kras.ru
D.V. Kapulin, Ph.D., docent, DKapulin@sfu-kras.ru
S.V. Chentsov, Doctor of Technical Sciences, professor, SChentsov@sfu-kras.ru
Siberian Federal University, Krasnoyarsk, Russia

Abstract: The article describes the development of a control system for a precision electric drive of doubly fed based on the modern Baikal-T1 microprocessor. The structural diagram of the selected processor is considered and a set of standard connection interfaces is listed. The connection of an inverter of an electric drive through general-purpose input-output ports is described. The structure of a set of developer tools supplied with a single-board computer is presented. Software development assumes a host system with the Linux operating system and an integrated development environment Eclipse.

Key words: electric drive, control, processor, electric motor, development environment

К современным системам управления прецизионными электроприводами (ЭП) предъявляются высокие требования относительно надежности, массогабаритных характеристик и функциональных возможностей. В связи с этим усовершенствование ЭП ведется как в области использования новых способов управления электродвигателями, так и за счет применения современной элементной базы.

Сочетания принципов электромагнитной редукции и двойного питания делает индукторный двигатель двойного питания (ИДДП) [1, 2] отличным вариантом для низкоскоростных прецизионных электроприводов. Отличительной чертой ИДДП является то, что двигатель имеет минимальные конструктивные ограничения на управление. В случае микропроцессорного управления сложность законов управления не играет ключевой роли, что открывает возможности для использования новых способов управления ИДДП [3–5].

Для решения задачи создания системы управления прецизионным электроприводом на базе ИДДП был выбран современный микропроцессор Байкал-Т1 (рис. 1). Данный микропроцессор разработан в России [6] с использованием лицензируемого блока процессорного ядра и имеет два процессорных ядра, работающих на частоте до 1,2 ГГц и обладает достаточной производительностью для построения системы управления электропривода на его основе.



Рис. 1. Микропроцессор Байкал-Т1

Структурная схема процессора Байкал-Т1 представлена на рисунке 2. Процессор содержит два ядра, высокоскоростную внутреннюю шину и набор модулей для подключения различных периферийных устройств посредством стандартных интерфейсов, таких как USB, Ethernet, SATA, PCI-E. Кроме того, в состав процессора входят такие периферийные модули, как таймеры, SPI, UART, I2C и GPIO.

Для упрощения разработки и макетирования систем на базе данного микропроцессора производитель выпускает одноплатный компьютер ВФК 3.1 (рис. 3). Использование ВФК 3.1 позволяет провести прототипирование программно-аппаратных решений на базе процессора Байкал-Т1 и сократить

сроки запуска изделий в серийное производство. Данный одноплатный компьютер был приобретен для решения задачи по созданию системы управления электроприводом.

Подключение инвертора электропривода осуществляется посредством портов ввода-вывода общего назначения (GPIO32 на рисунке 2). Для этого требуется 12 выводов GPIO.

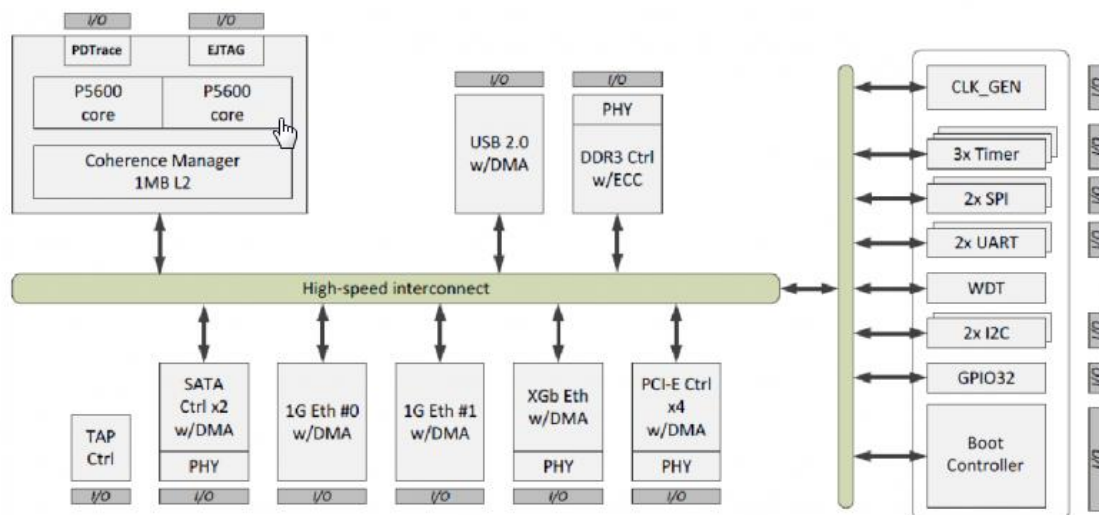


Рис. 2. Структурная схема процессора Байкал-Т1



Рис. 3. Одноплатный компьютер BFK 3.1

После подключения инвертора электропривода к плате компьютера BFK 3.1 требуется разработать программное обеспечение системы управления прецизионным электроприводом двойного питания.

Для программирования разрабатываемой системы управления был рассмотрен поставляемый в комплекте с одноплатным компьютером набор средств разработчика (Software Development Kit - SDK) (рис. 4), предоставляющий все необходимые средства для разработки программного обеспечения. Тулчейн включает в себя: пакет средств кросс-компиляции на основе GNU gcc, binutils; средства отладки (gdb); предсобранные исполнимые файлы и библиотеки (sysroot) на основе glibc. Программный эмулятор представлен следующими элементами: эмулятор SOC процессора и платы с периферией на основе Qemu; скрипты поддержки/автоматизации для эмулятора. Вспомогательные утилиты содержат: поддержку средств аппаратной отладки (JTAG); профилировщик-дебаггер; сборку файловой системы на основе каталога с файлами; средства для доступа/прошивки SPI flash памяти; готовые библиотеки для поддержки аппаратных отладчиков. BSP (Board Support Pack) - это набор пресетов и готовых файлов конфигурации для сборки прошивок под целевые платы на процессоре. При разработке программного обеспечения также предполагается наличие хост-системы с операционной системой Linux и интегрированной среды разработки Eclipse.

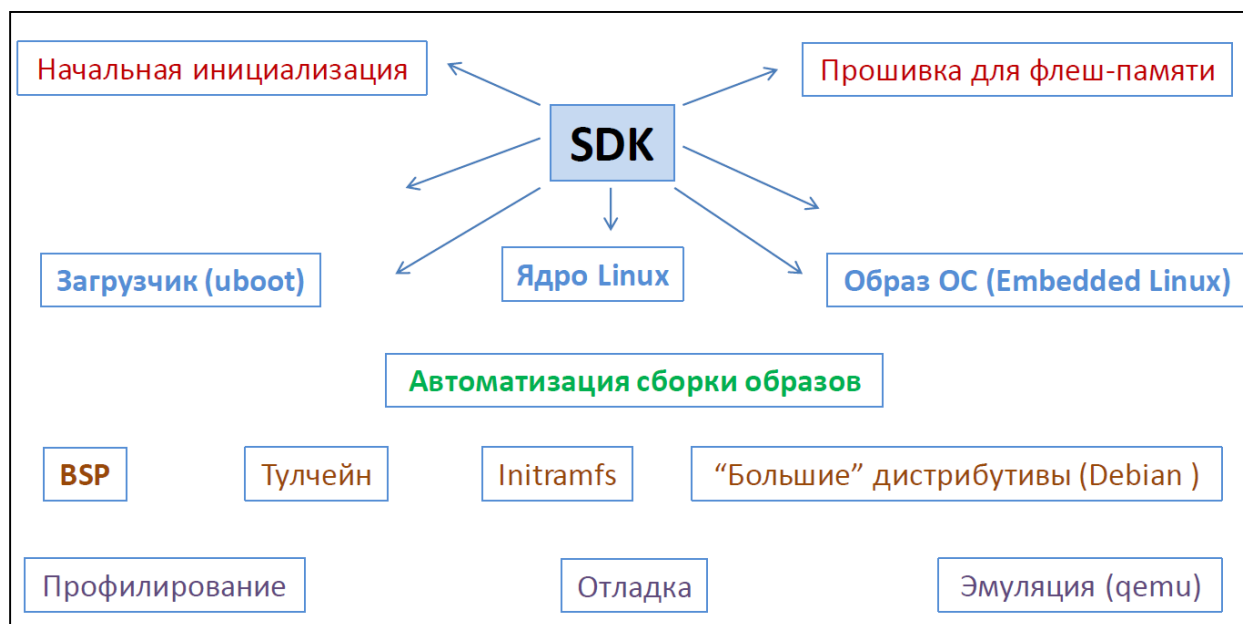


Рис. 4. Структура набора средств разработки

В результате проведенной работы был выполнен этап проектирования системы управления прецизионным электроприводом двойного питания, приобретено оборудование для её реализации и изучена структура поставляемого набора средств разработки и среды разработки Eclipse.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (договор 02.G25.31.0313).

Список литературы

1. Онищенко Г.Б., Локтева И.Л. Асинхронные вентильные каскады и двигатели двойного питания. – М.: Энергия, 1979 – 169 с.
2. Бронов С.А. Электропривод для приборов с индукторным двигателем двойного питания в квазишаговом режиме // Изв. вузов. Приборостроение. – Т. 47. – № 4 – 2004. – С. 16-23.
3. Бронов С.А., Авласко П.В., Марарескул А.В., Поваляев В.А. Проектирование электроприводов систем поворота антенн и батарей солнечных космических аппаратов // Авиакосмическое приборостроение. – № 2 – 2010. – С. 3-9.
4. Бронов С.А., Авласко П.В., Марарескул А.В., Поваляев В.А., Усов В.П., Куповых В.С. Управление индукторными двигателями двойного питания в позиционных электроприводах космических аппаратов // Авиакосмическое приборостроение. – № 9 – 2010. – С. 10-16.
5. Бронов С.А., Авласко П.В., Поваляев В.А., Ермаков Р.А., Черешкевич С.В., Никулин Н.А., Марарескул А.В., Липунова С.Ю., Усов В.П. Программно-аппаратный комплекс для исследования индукторных электроприводов двойного питания // Авиакосмическое приборостроение. – № 6 – 2013. – С. 3-9.
6. Официальный сайт Байкал Электроникс [Электронный ресурс]: режим доступа - <https://baikalelectronics.ru/>.

А.Н. Жирабок, д.т.н., профессор, zhirabok@mail.ru

А.В. Зуев, к.т.н., доцент, zuev@dvo.ru

А.Е. Шумский, д.т.н., профессор, a.e.shumsky@yandex.com

Институт автоматизации и процессов управления ДВО РАН, г. Владивосток, Россия

Институт проблем морских технологий ДВО РАН, г. Владивосток, Россия

Дальневосточный федеральный университет, г. Владивосток, Россия

МЕТОД СИНТЕЗА РОБАСТНЫХ СКОЛЬЗЯЩИХ НАБЛЮДАТЕЛЕЙ ДЛЯ ДИАГНОСТИРОВАНИЯ РОБОТОТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ, ОПИСЫВАЕМЫХ НЕЛИНЕЙНЫМИ ДИНАМИЧЕСКИМИ МОДЕЛЯМИ

Аннотация: В докладе описывается решение задачи функционального диагностирования робототехнических систем, описываемых нелинейными динамическими моделями, в присутствии неизвестных возмущений. Для решения задачи идентификации дефектов рассмотрен метод на основе скользящих наблюдателей. Предлагается новая модификация этого метода, позволяющая ослабить ограничения на его реализацию по сравнению с известными работами.

Ключевые слова: робототехническая система, нелинейная модель, скользящие наблюдатели, дефект, диагностика, идентификация

SYNTHESIS METHOD OF ROBUST SLIDING MODE OBSERVERS FOR DIAGNOSTIC OF ROBOTIC SYSTEMS, DESCRIBED BY NONLINEAR DYNAMIC MODELS

A.N. Zhirabok, Ph.D., professor, zhirabok@mail.ru

A.V. Zuev, Ph.D., zuev@dvo.ru

A.E. Shumsky, Ph.D., professor, a.e.shumsky@yandex.com

Institute of Automation and Control Processes FEB RAS, Vladivostok, Russia

Institute of Marine Technology Problems FEB RAS, Vladivostok, Russia

Far Eastren Federal University, Vladivostok, Russia

Abstract: The paper describes a solution of problem of functional diagnostics of robotic systems, described by nonlinear dynamic models in the presence of unknown disturbances. To solve this problem a method based on sliding mode observers is considered. A modification of this method is proposed, which allows relaxing restrictions on its implementation in comparison with well-known works.

Key words: robotic system, nonlinear model, sliding mode observers, fault, diagnostics, identification

В докладе ставится и решается задача функционального диагностирования робототехнических систем (РТС), описываемых нелинейными динамическими моделями, в присутствии возмущений. Проблемы диагностирования различных технических объектов интенсивно исследуется уже более 30 лет [1], было разработано несколько различных методов диагностирования – диагностические наблюдатели, фильтры Калмана, соотношения паритета, идентификация. Одним из наиболее распространенных и известных методов идентификации является метод, основанный на специальных наблюдателях, использующих особенности скользящего режима [2] (скользящих наблюдателях).

Сейчас скользящие наблюдатели применяются для решения задачи идентификации дефектов в линейных и нелинейных системах [3-5], в ряде практических приложений [6, 7]. В настоящей работе метод на основе скользящих наблюдателей используется для решения задач обнаружения и идентификации дефектов в нелинейных РТС при действии на них возмущений. Как и в [8], в основе предлагаемого подхода лежит идея использования редуцированной (имеющей меньшую размерность) модели исходной РТС, что дает возможность уменьшить сложность скользящих наблюдателей по сравнению с известными работами [3-7], где строятся наблюдатели полного порядка. Кроме того, удастся ослабить ограничения на класс рассматриваемых систем по сравнению с известными методами [3,5].

Описание метода синтеза скользящих наблюдателей

Рассмотрим РТС, которые описываются нелинейной моделью

$$\begin{aligned}\dot{x}(t) &= Fx(t) + Gu(t) + C\Psi(x(t), u(t)) + Dd(t) + L\rho(t), \\ y(t) &= Hx(t),\end{aligned}\tag{1}$$

где $x(t) \in R^n$, $u(t) \in R^m$, $y(t) \in R^l$ – векторы состояния, управления и выхода; $F \in R^{n \times n}$, $G \in R^{n \times m}$, $D \in R^{n \times q}$, $L \in R^{n \times p}$ и $H \in R^{l \times n}$ – известные постоянные матрицы; $d(t) \in R^q$ – вектор-функция, описывающая дефекты: при их отсутствии $d(t) = 0$, при появлении дефекта $d(t)$ становится неизвестной функцией времени; $\rho(t) \in R^p$ – неизвестная функция времени, описывающая действующие на систему возмущения, $\Psi(x, u)$ – нелинейная составляющая:

$$\Psi(x, u) = \begin{pmatrix} \phi_1(A_1 x, u) \\ \dots \\ \phi_s(A_s x, u) \end{pmatrix}, \quad A_1, \dots, A_s \text{ – матрицы-строки; } \phi_1, \dots, \phi_s \text{ – нелинейные (возможно, недифференцируемые) функции.}$$

Предполагается, что функция $\Psi(x, u)$ удовлетворяет обобщенному условию Липшица, т.е. $\|\Psi(x, u) - \Psi(x', u)\| \leq N\|x - x'\| + M$ (где $N > 0$ и $M > 0$ – некоторые константа), а также что известны и ограничены нормы $\|d(t)\|$ и $\|\rho(t)\|$ векторов $d(t)$ и $\rho(t)$.

В отличие от [3-7], где скользящий наблюдатель строится на основе ис-

ходной системы (1), предлагаемый подход опирается на редуцированную модель системы (1), которая в общем случае описывается уравнением

$$\dot{x}_*(t) = F_*x_*(t) + G_*u(t) + J_*y(t) + C_*\Psi(x_*(t), y(t), u(t)) + D_*d(t) + L_*\rho(t),$$

$$y_*(t) = H_*x_*(t), \quad (2)$$

где $x_* \in R^k$ – вектор состояния меньшей размерности $k < n$, $\Psi(x_*, y, u) = \begin{pmatrix} \phi_1(A_{*11}x_* + A_{*21}y, u) \\ \dots \\ \phi_s(A_{*1s}x_* + A_{*2s}y, u) \end{pmatrix}$, $F_*, G_*, J_*, H_*, D_*, L_*, A_{*11}, A_{*21}, \dots, A_{*1s}, A_{*2s}$ – матрицы, подлежащие определению.

Предполагается [9], что при отсутствии дефектов и возмущений выполняются равенства $x_*(t) = \Phi x(t)$ и $y_*(t) = R_*y(t)$ для некоторых матриц Φ и R_* после окончания переходного процесса. Эти матрицы удовлетворяют условиям

$$\begin{aligned} \Phi F &= F_*\Phi + J_*H, \quad R_*H_* = H\Phi, \quad G_* = \Phi G, \quad D_* = \Phi D, \quad L_* = \Phi L, \\ A_{*i} &= (A_{*1i} \ A_{*2i}) \begin{pmatrix} \Phi \\ H \end{pmatrix}, \quad i = \overline{1, s}, \quad C_* = \Phi C. \end{aligned} \quad (3)$$

Рассмотрим метод построения модели РТС (2) минимальной размерности, не чувствительной к возмущениям, на основе которой может быть построен скользящий наблюдатель. Для этого матрицы F_* и H_* ищутся в канонической форме. Для определения остальных матриц предлагается использовать логико-динамический подход, согласно которому вначале находятся матрицы Φ , R_* и J_* , описывающие линейную часть системы, затем проверяется возможность построения нелинейной составляющей $\Psi(x_*, y, u)$ и при положительном исходе проверки строятся матрицы C_* и A_{*i} , $i = \overline{1, s}$.

Из (3) можно получить уравнения для строк матриц Φ и J_* :

$$\Phi_1 = R_*H, \quad \Phi_i F = \Phi_{i+1} + J_{*i}H, \quad i = \overline{2, k-1}, \quad \Phi_k F = J_{*k}H.$$

Известно [8, 9], что строка $(R_* \quad -J_{*1} \quad \dots \quad -J_{*k})$ удовлетворяет уравнению

$$(R_* \quad -J_{*1} \quad \dots \quad -J_{*k})(V^{(k)} \quad B^{(k)}) = 0, \quad \text{где } V^{(k)} = \begin{pmatrix} HF^k \\ HF^{k-1} \\ \vdots \\ H \end{pmatrix}, \quad B^{(k)} = \begin{pmatrix} HL & HFL & \dots & HF^{k-1}L \\ 0 & HL & \dots & HF^{k-2}L \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & 0 & \dots & 0 \end{pmatrix}.$$

Оно имеет нетривиальное решение, если $\text{rank}(V^{(k)} \quad B^{(k)}) < l(k+1)$. Далее из (3) определяются строки матрицы Φ , принимается $G_* = \Phi G$, $D_* = \Phi D$ и $C_* = \Phi C$; матрицы A_{*1i} и A_{*2i} , $i = \overline{1, s}$, входящие в функцию $\Psi(x_*, y, u)$, определяются из (3). В результате удастся получить модель пониженной размерности РТС (1), которая не чувствительна к возмущению $\rho(t)$ (т.е. в модели (2) $\rho(t) = 0$).

Далее для полученной модели строится скользящий наблюдатель в виде

$$\begin{aligned}\dot{\hat{x}}_*(t) &= F_*\hat{x}_*(t) + G_*u(t) + J_*y(t) + C_*\Psi(\hat{x}_*(t), y(t), u(t)) + \\ &\quad D_*v(t) - Ke_y(t), \\ \hat{y}_*(t) &= H_*\hat{x}_*(t),\end{aligned}\quad (4)$$

где матрица K выбирается так, чтобы $F_{**} = F_* - KH_*$ стала устойчивой матрицей, где разрывная функция $v(t)$ ищется в виде

$$v(t) = \begin{cases} -g \frac{Qe_y(t)}{\|Qe_y(t)\|}, & \text{если } e_y(t) \neq 0, \\ 0 & \text{в противном случае,} \end{cases} \quad e_y(t) = \hat{y}_*(t) - y_*(t) = \hat{y}_*(t) - R_*y(t) -$$

ошибка по выходу.

Введем ошибку по состоянию $e(t) = \hat{x}_*(t) - x_*(t)$; нетрудно видеть, что $e_y(t) = H_*e(t)$. Используя (2) и (4), запишем уравнение динамики ошибки $e(t)$:

$$\dot{e}(t) = F_{**}e(t) + D_*(v(t) - d(t)) + \Delta\Psi(t), \quad (5)$$

где символом $\Delta\Psi(t)$ обозначена разность $C_*(\Psi(\hat{x}_*(t), y(t), u(t)) - \Psi(x_*(t), y(t), u(t)))$.

Можно видеть, что если функция $\Psi(x, u)$ удовлетворяет обобщенному условию Липшица по аргументу x , то и функция $C_*\Psi(\hat{x}_*, y, u)$ удовлетворяет этому условию по аргументу x_* :

$$\|\Delta\Psi(t)\| = \|C_*(\Psi(\hat{x}_*(t), y(t), u(t)) - \Psi(x_*(t), y(t), u(t)))\| \leq N_*\|e(t)\|.$$

Так как матрица F_{**} устойчива, то для произвольной симметрической положительно определенной матрицы W существует положительно определенная матрица P , удовлетворяющая уравнению $F_{**}^T P + P F_{**} = -W$. Предположим, что для некоторой матрицы Q выполняется равенство $PD_* = H_*^T Q^T$. **Т е о р е м а.** Если $\lambda_{\min}(W) > 2N_*\|P\|$ и скаляр g удовлетворяет условию $g > \|d(t)\| + 2M_* \frac{\|P\|}{\|QH_*\|}$, то наблюдатель (4) сходится асимптотически, т.е.

$$\lim_{t \rightarrow \infty} e(t) = 0.$$

Поскольку в скользящем режиме $\dot{e}(t) = 0$ и $e(t) = 0$, из уравнения (5) следует $D_*(v(t) - d(t)) + \Delta\Psi(t) = 0$, а так как $\|\Delta\Psi(t)\| \leq N_*\|e(t)\|$, то функция $d(t)$ может быть оценена в виде $d(t) = -g \frac{Qe_y(t)}{\|Qe_y(t)\| + \delta}$, где δ – малая положительная константа.

Исследование работы синтезированных наблюдателей

Для проверки работоспособности и эффективности предлагаемого в метода было проведено моделирование работы синтезированных наблюдателей для идентификации типовых дефектов в электроприводах многозвенных манипуляторов. При этом в модели электропривода [10] учитывался люфт и упругость механической передачи, сухое и вязкое трения. Дефект моделировался изменением активного сопротивления цепи якоря электродвигателя на постоянную величину (например, при его значительном нагреве) на интервале $4 \div 8$ с, а возмущение действием неизвестного внешнего нагрузочного мо-

мента на валу редуктора на интервале $0 \div 10$ с.

На рис. 1 представлены графики функций $d(t)$, появляющейся при изменении величины активного сопротивления цепи якоря, и ее оценки $\hat{d}(t)$ построенной скользящим наблюдателем, на рис.2 – график ошибки идентификации $\Delta d(t) = d(t) - \hat{d}(t)$ этой функции. Из этих рисунков можно видеть, что построенный нелинейный скользящий наблюдатель позволяет своевременно определить момент времени появления дефекта $d(t)$, а также обеспечить достаточно точную оценку величины этого дефекта. Кроме того, поскольку на интервалах $0 \div 4$ с и $8 \div 10$ с значение $d(t)$ равно нулю, ясно, что построенный наблюдатель не чувствителен к неизвестному возмущению.

Таким образом, результаты моделирования на примере идентификации типовых дефектов, возникающих в следящих электроприводах, показали работоспособность и высокую эффективность предложенного в работе метода робастного поиска и идентификации дефектов на основе скользящих наблюдателей.

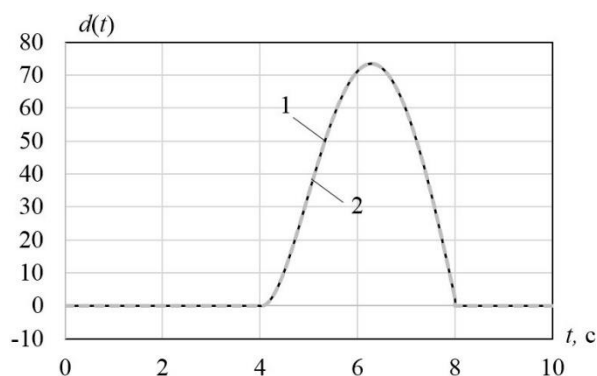


Рис. 1. Функция $d(t)$ (кривая 1) и результат ее идентификации $\hat{d}(t)$ (кривая 2).

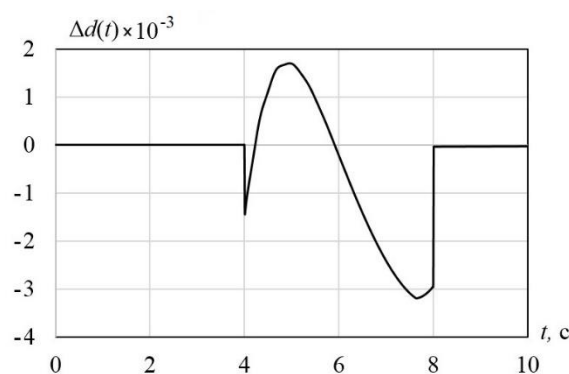


Рис. 2. Ошибка идентификации

Заключение

С использованием метода на основе скользящих наблюдателей в докладе решены задачи обнаружения и идентификации дефектов в РТС, описываемых нелинейными моделями с постоянными коэффициентами, в присутствии возмущений. При этом построение скользящего наблюдателя осуществляется на основе редуцированной (имеющей меньшую размерность) модели исходной РТС, обладающей избирательной чувствительностью по отношению к дефектам и возмущению. Это обеспечивает значительное снижение сложности средств диагностирования и позволяет ослабить ограничения, накладываемые на исходную систему, для возможности построения скользящих наблюдателей.

Исследование выполнено при финансовой поддержке Российского научного фонда в рамках научного проекта № 18-79-00143.

Список литературы

1. Blanke M., Kinnaert M., Lunze J., Staroswiecki M. Diagnosis and fault-tolerant control (3rd ed.). Springer: Berlin, 2016. – 695 p.;
2. Уткин В.И. Скользящие режимы и их применение в системах с переменной структурой. М.: Наука, – 1974.
3. Edwards C., Spurgeon S., Patton R. Sliding Mode Observers for Fault Detection and Isolation // Automatica. – 2000. – V. 36. – P. 541-553.
4. Yan X., Edwards C. Nonlinear Robust Fault Reconstruction and Estimation Using Sliding Mode Observers // Automatica. – 2007. – V. 43. – P. 1605-1614.
5. He J., Zhang C. Fault Reconstruction Based on Sliding Mode Observer for Nonlinear Systems // Mathematical Problems in Engineering. – 2012. – V. 2012. – P. 1-22.
6. Chandra K., Alwi H., Edwards C. Fault Reconstruction for a Quadrotor Using an LPV Sliding Mode Observer // Proc. 9th IFAC Symp. Safeprocess. Paris, France. – 2015. – P. 374-379.
7. Zhang K., Jiang B., Yan X., Mao Z. Sliding Mode Observer Based Incipient Sensor Fault Detection with Application to High-speed Railway Traction Device // ISA Transactions. – 2016. – V. 63. – P. 49-59.
8. Жирабок А.Н., Зуев А.В., Шумский А.Е. Методы идентификации и локализации дефектов в линейных системах на основе скользящих наблюдателей // Известия РАН. Теория и системы управление. – 2019. – № 6. – С.73-89.
9. Жирабок А.Н., Шумский А.Е., Соляник С.П., Суворов А.Ю. Метод построения нелинейных робастных диагностических наблюдателей // АиТ. – 2017. – № 9. – С. 34-48.
10. Filaretov V., Zuev A., Zhirabok A., Protsenko A. Development of Fault Identification System for Electric Servo Actuators of Multilink Manipulators Using Logic-Dynamic Approach // Journal of Control Science and Engineering. – 2017. – Vol. 2017. – P. 1-8.

О.А. Иващук, д.т.н., профессор, ivaschuk@bsu.edu.ru
А.Н. Афонин, д.т.н., профессор, afonin@bsu.edu.ru
Е.В. Тимофеева, аспирант, timofeeva_e@bsu.edu.ru
НИУ «БелГУ», г. Белгород, Россия

РЕЛЬСОВАЯ СИСТЕМА ВИДЕОНАБЛЮДЕНИЯ ДЛЯ ЖИВОТНОВОДЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ

Аннотация: В статье рассмотрены существующие рельсовые системы видеонаблюдения для животноводческих комплексов, описано их устройство и возможности. Описаны перспективы создания подобной отечественной системы.

Ключевые слова: рельсовая система видеонаблюдения, мобильный робот, животноводство, распознавание изображений, интеллектуальное техническое зрение, мониторинг состояния животных.

RAIL VIDEO SURVEILLANCE SYSTEM FOR ANIMAL FARM

O.A. Ivashchuk, Doctor of Technical Sciences, Professor, ivaschuk@bsu.edu.ru
A.N. Afonin, Doctor of Technical Sciences, Professor, afonin@bsu.edu.ru
E.V. Timofeeva, Postgraduate Student, timofeeva_e@bsu.edu.ru
NRU«BelSU», Belgorod

Abstract: The article discuss of the existing rail video surveillance systems for animal farm, describes their structure and capabilities. The prospects of creating such domestic systems are described.

Key words: rail video surveillance system, mobile robot, animal husbandry, image recognition, intelligent technical vision, animal condition monitoring.

На крупных животноводческих комплексах серьезной проблемой является организация постоянного контроля за животными. Необходимо своевременно обнаруживать заболевших, раненых и умерших животных; животных, ведущих себя неадекватно, с целью удаления их из загонov со здоровыми особями. В настоящее время данную задачу решают операторы комплексов, но из-за человеческого фактора решение не всегда бывает эффективным: заболевшие животные вовремя не обнаруживаются, более того, операторы, с целью получения премии за снижение смертности животных, иногда скрывают факт гибели особей.

Решение данной проблемы возможно за счет применения автоматизированных систем контроля за состоянием животных. При этом, оснащение каждого животного набором датчиков температуры, пульса и т.д. [1, 2] является весьма затратным решением. Более эффективным с экономической точки зрения является применение систем видеонаблюдения [2]. Однако задача автоматического распознавания больных животных и животных с неадекватным поведением требует применения дорогостоящих камер с высоким разрешением, работающих как в видимом, так и в инфракрасном диапазонах. Установка таких камер в каждом загоне крупного комплекса также не представляется возможной из экономических соображений. В связи с этим представляется целесообразным использовать для контроля за животными на крупных животноводческих комплексах рельсовые системы видеонаблюдения [3]. В данных системах имеется один рабочий модуль, оснащенный одной или несколькими камерами. Модуль перемещается под потолком по рельсам вдоль всего помещения, сканируя попеременно всех животных комплекса (рис.1.)

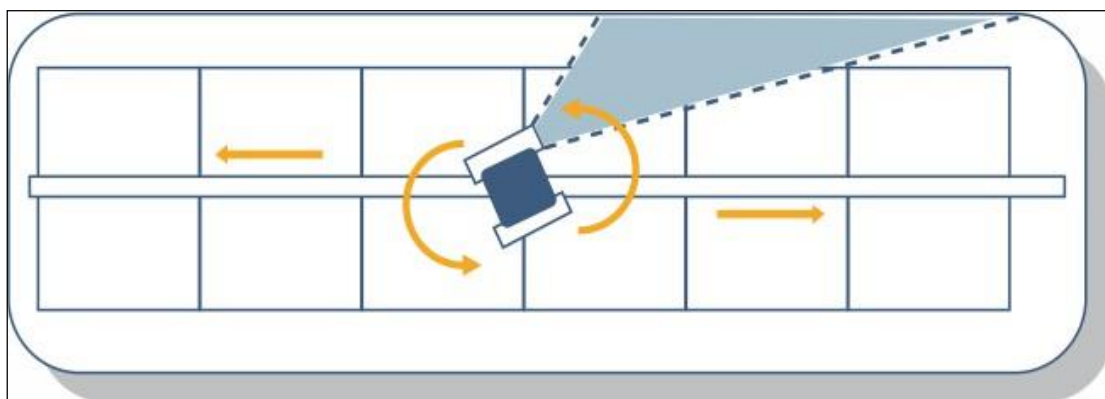


Рис.1. Схема передвижения рабочего модуля

Рабочий модуль может быть сам оснащен электрическим двигателем с питанием по проводам или от аккумулятора, либо может перемещаться лебедкой. Перемещение модуля может производиться как в автоматическом режиме по программе, так и в ручном режиме под управлением оператора, который может находиться как на самом комплексе, так и удаленно, например в центральном офисе компании.

Создание рельсовых систем видеонаблюдения для крупных животноводческих комплексов является сложной задачей. Помимо необходимости решения комплексной проблемы распознавания больных животных и животных с аномалиями поведения, имеется еще ряд специфических технических проблем. К данным проблемам относится необходимость перемещения рабочего блока на большое расстояние (до 1 км и более) с одновременной непрерывной передачей потока данных. Также серьезной проблемой является загрязненность атмосферы в животноводческих комплексах аммиаком и дру-

гими агрессивными химическими соединениями, что приводит к повышенной коррозии и химической деструкции оборудования.

На сегодняшний день производством рельсовых систем видеонаблюдения для животноводческих ферм занимается ограниченное число зарубежных компаний. Лидером в области рельсовых систем видеонаблюдения для животноводческих ферм является компания Visionaute – Advance (Франция), производящая систему SOFIE RAIL [4] (рис. 2.). Данная система оснащена камерой высокого разрешения (матрица Sony EXview 1/4 HAD CCD) с трансфокатором, прожектором и инфракрасной подсветкой. Корпус камеры полностью герметичен в соответствии с классом герметичности IP66, а объектив оснащен стеклоочистителем. Помимо камеры система оснащается микрофоном.



Рис. 2. Система видеонаблюдения SOFIE RAIL

Несмотря на достаточно высокие характеристики, подобные системы не нашли широкого применения на крупных животноводческих комплексах. Причиной этого является отсутствие в них решений по автоматизации распознавания заболевших животных и животных с аномалиями поведения. В НИУ «БелГУ» впервые в России в рамках проекта «Цифровая трансформация агропромышленного комплекса Белгородской области» ведется разработка рельсовой робототехнической платформы с интеллектуальным техническим зрением для мониторинга физиологического состояния животных. Данная платформа будет оснащена камерой высокого разрешения Full HD, работающей как в видимом, так и в инфракрасном диапазонах, микрофоном и рядом других датчиков, в частности датчиком бесконтактного измерения температуры тела.

Создаваемая платформа сможет работать как в ручном режиме под управлением оператора, так и в автоматическом режиме поочередного сканирования загонів с животными. Платформа позволит проводить автоматизированный анализ не менее 1500 животных в сутки не менее чем по 10 тех-

нологическим параметрам на фермах по разведению крупного и мелкого рогатого скота, свиноводческих комплексах.

Платформа будет оснащена программным обеспечением, позволяющим автоматически в режиме реального времени распознавать больных животных и животных с аномалиями поведения, основанном на решениях в области искусственного интеллекта [5, 6], разработанных в НИУ «БелГУ». Распознавание болезней и аномалий поведения животных будет осуществляться на основе анализа паттернов поведения (например, малой подвижности и нехарактерных поз), окраски в разных областях спектра, показаний дополнительных датчиков.

Применение разработанной платформы позволит, например, для свиноводческих комплексов увеличить сохранность поголовья животных в группе откорма не менее чем на 10 % от существующего технологического условия. Предлагаемое решение позволит вывести процесс видеонаблюдения на качественно новый уровень и обеспечить полный контроль над объектом. Система обеспечит наблюдение за объектом без мертвых зон с высокой скоростью реагирования на события происходящие в режиме реального времени, снизит затраты на приобретение, монтаж и обслуживание кабельной системы, центрального оборудования, мониторов, уменьшит нагрузку на сеть за счет уменьшения количества видеоканалов.

Список литературы

1. Helwatkar A., Riordan D., Walsh J. Sensor Technology For Animal Health Monitoring // Proceedings of the 8th International Conference on Sensing Technology, 2014. – Pp. 266 – 271.
2. Berckmans D. Automatic On-line Monitoring of animal Health and welfare by Precision livestock farming // European Forum Livestock housing for the future, 2009. – Pp. 155 – 165.
3. Рельсовая система видеонаблюдения на производстве // Автоматизация в промышленности, 2010, № 12. – С. 61.
4. Кржижевский М. Технология видеонаблюдения в фермерских хозяйствах [Электронный ресурс]: режим доступа – <http://ma-architects.ru/ferma-oborudovanie/>.
5. Афонин А.Н., Асадуллаев Р.Г., Ситникова М.А. Нейронная сеть идентификации паттернов движений на основании анализа данных гемодинамической активности мозга // Вестник компьютерных и информационных технологий, 2019, № 7 (181). – С. 46-52.
6. Торопчин Д.А., Лысых К.В., Корсунов Н.И. Распознавание изображений на основе аппроксимации функций комбинированных нейронных сетей // Информационные системы и технологии, 2015, № 5 (91). – С. 105-109.

А.А. Кацурин, к.т.н., с.н.с., katsurin@mail.ru

ИАПУ ДВО РАН, г. Владивосток, Россия

А.В. Литвин, аспирант, litvin_av@students.dvfu.ru

Б.Н. Юнг, к.т.н., зав. лабораторией, yungline@yandex.ru

Дальневосточный федеральный университет, г. Владивосток, Россия

УПРАВЛЕНИЕ ДВУМЯ МАНИПУЛЯТОРАМИ ПРИ ТРАНСКРАНИАЛЬНОЙ МАГНИТНОЙ СТИМУЛЯЦИИ

Аннотация: Транскраниальная магнитная стимуляция (ТМС) использует сильное электромагнитное поле, генерируемое при разряде конденсатора высокого напряжения на стимуляционную катушку. В момент замыкания высоковольтного ключа в индукторе возникает импульсное магнитное поле, индуцирующее в тканях головного мозга ток, стимулирующий определенные зоны внутри черепной коробки. Поскольку воздействие должно быть точным, дозированным и безопасным, то использование роботов для оказания помощи неврологам при проведении этой процедуры имеет потенциал для улучшения ее долгосрочного результата. В работе рассмотрен способ позиционирования двух индукторов, ориентированных относительно заданной области внутри головы пациента с помощью двух роботов - манипуляторов.

Ключевые слова: робототехника, транскраниальная магнитная стимуляция, манипулятор, согласованное управление

CONTROL OF TWO MANIPULATORS DURING TRANSCRANIAL MAGNETIC STIMULATION

A.A. Katsurin, PhD, Senior Staff Scientist, katsurin@mail.ru

IACP FEB RAS, Vladivostok, Russia

A.V. Litvin, Postgraduate, litvin_av@students.dvfu.ru

B.N. Yung, PhD, Head of Laboratory, yungline@yandex.ru

Far Eastern Federal University, Vladivostok, Russia

Abstract: Transcranial magnetic stimulation (TMS) uses a strong electromagnetic field generated when a high voltage capacitor is discharged onto a stimulation coil. At the moment of closure of the high-voltage key in the inductor there is a pulsed magnetic field, inducing a current in the brain tissues, stimulating certain zones inside the skull. Because exposure must be accurate, metered and safe, the use of robots to assist neurologists with the procedure has the potential to improve its long-term outcome. The paper considers a method of positioning of two inductors, oriented relative to a given area inside the patient's head with the help of two manipulators.

Key words: robotics, transcranial magnetic stimulation, manipulator, coordinated control

Транскраниальная магнитная стимуляция является неинвазивным методом стимуляции коры головного мозга. Во время процедуры магнитную катушку помещают на скальп пациента. Магнитное поле проникает в череп, а индуцированный полем электрический ток активирует нейроны в стимулируемой области. Этот эффект используется для изучения устройства и работы мозга, или для стимуляции его активности в терапевтических целях [1].

Применению роботов для ТМС посвящено большое количество работ. В роботизированных системах магнитная катушка помещается непосредственно на голову пациента роботом [2]. Постоянное отслеживание положения головы позволяет роботу автоматически установить катушку ТМС на участке стимуляции в необходимое положение с правильной в отношении черепа ориентацией [3]. После достижения целевой точки, изменения положения точки стимуляции компенсируются соответствующими движениями роботов, сохраняя высокую точность позиционирования во время лечения, как это было впервые предложено в [4]. При этом в рассмотренных системах используются одиночные катушки, перемещаемые одним роботом. Для создания однородного направленного магнитного поля целесообразно использовать две магнитные катушки, согласованно перемещаемые двумя роботами. Однако в работах, посвященных согласованному управлению несколькими манипуляторами [5, 6], рассматривается выполнение манипуляционных операций без учета особенностей медицинской робототехники.

Таким образом, задача согласованного управления двумя роботами-манипуляторами при выполнении ТМС является актуальной.

1. Постановка задачи

В работе предлагается способ позиционирования двух индукторов при их симметричной ориентации относительно стимулируемой точки внутри черепной коробки. В процессе ориентированного движения индукторов стимулируемая точка находится под действием магнитного поля постоянно, в то время как окружающие область стимуляции ткани подвергаются переменному влиянию стимулирующих полей, тем самым достигается направленность и локализация стимулирующего воздействия.

Рассматриваемая система представляет собой два идентичных друг другу робота-манипулятора с шестью степенями свободы. Первый манипулятор является ведущим и перемещает индуктор по заданной траектории, лежащей на поверхности черепной коробки, ориентируясь относительно точки симметрии внутри нее. Вторым манипулятором – ведомым. Его положение и ориентация в каждый момент времени зависят от текущего положения первого робота. Конфигурация индукторов, которыми снабжены рабочие органы

манипуляторов, выполнена таким образом, чтобы созданное между ними магнитное поле было однородным или близким к однородному.

2. Определение положения и ориентации индукторов

В работе полагается, что стимулируемая область и траектория движения для ведущего робота формируется программно и выбирается в зависимости от конкретных терапевтических целей. Вектор ориентации рабочего органа рассчитывается с помощью точки симметрии внутри черепной коробки, относительно которой происходит позиционирование. Положение и ориентация рабочего органа второго робота рассчитывается относительно этой же точки симметрии с учетом положения первого робота. В качестве модели черепной коробки принята сфера.

Расположение рабочих органов на сфере относительно точки симметрии представлено на рис. 1. На этом рисунке введены следующие обозначения: $P_1(x_1, y_1, z_1)$ – точка, характеризующая положение рабочего органа ведущего манипулятора; $S(x_0, y_0, z_0)$ – точка симметрии, относительно которой определяется ориентация рабочего органа первого манипулятора, а также положение и ориентация рабочего органа второго манипулятора; $C(x_c, y_c, z_c)$ – точка, определяющая центр сферы; $P_2(x_2, y_2, z_2)$ – искомая точка, характеризующая положение рабочего органа ведомого манипулятора.

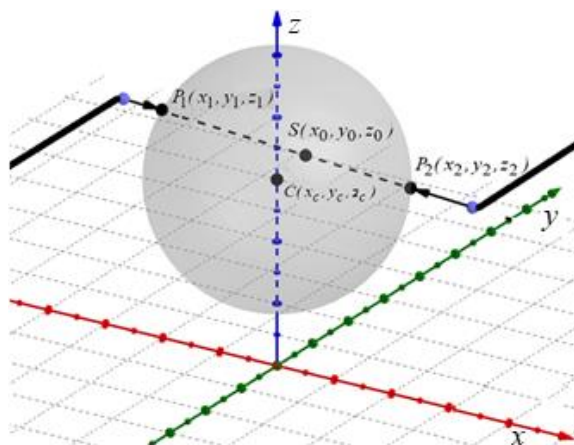


Рис. 1. Ориентация рабочих органов робота на сфере относительно точки симметрии

Получим параметрические уравнения прямой, соединяющей характерные точки манипуляторов, которые устанавливают неявную зависимость между абсциссами, ординатами и аппликатами точек прямой с помощью параметра t :

$$\begin{cases} x = v_1 \cdot t + x_0 \\ y = v_2 \cdot t + y_0 \\ z = v_3 \cdot t + z_0 \end{cases} \quad (1)$$

где x, y, z – координаты произвольной точки принадлежащей прямой (искомые координаты точки определяющей положение второго манипулятора); x_0, y_0, z_0 – известные координаты точки, принадлежащей этой прямой (координаты точки симметрии $S(x_0, y_0, z_0)$); v_1, v_2, v_3 – координаты направляющего вектора прямой $v(v_1, v_2, v_3)$; t – задающий параметр.

Если известны две точки, принадлежащие прямой, то направляющий вектор может быть получен как разность координат соответствующих точек. Первой известной точкой выступает текущее положение рабочего органа робота, второй – точка симметрии. Тогда параметрические уравнения (1) примут вид:

$$\begin{cases} x = (x_0 - x_1) \cdot t + x_0 \\ y = (y_0 - y_1) \cdot t + y_0, \\ z = (z_0 - z_1) \cdot t + z_0 \end{cases} \quad (2)$$

где x_1, y_1, z_1 – координаты точки $P_1(x_1, y_1, z_1)$.

Уравнение сферы в пространстве имеет вид:

$$(x - x_c)^2 + (y - y_c)^2 + (z - z_c)^2 = r^2, \quad (3)$$

где x_c, y_c, z_c – координаты точки центра сферы $C(x_c, y_c, z_c)$; x, y, z – координаты точек поверхности сферы.

Путем подстановки параметрических уравнений прямой (2) в уравнение сферы (3) можно получить выражения для определения параметров t уравнений (1) для точек пересечения прямой и сферы.

$$r^2 = (((x_0 - x_1) \cdot t + x_0) - x_c)^2 + (((y_0 - y_1) \cdot t + y_0) - y_c)^2 + (((z_0 - z_1) \cdot t + z_0) - z_c)^2. \quad (4)$$

Выражения для определения координат точки $P_2(x_2, y_2, z_2)$ можно найти путем подстановки полученного параметра t в параметрические уравнения прямой (2):

$$\begin{aligned} x_2 &= (x_0 - x_1) \cdot \frac{-b - \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a} + x_0, \\ y_2 &= (y_0 - y_1) \cdot \frac{-b - \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a} + y_0, \\ z_2 &= (z_0 - z_1) \cdot \frac{-b - \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a} + z_0, \end{aligned} \quad (5)$$

где a, b, c – коэффициенты квадратного уравнения.

Единичный вектор ориентации рабочего органа $a_1 = [a_{1x}, a_{1y}, a_{1z}]^T$ определяется как нормированный вектор, соединяющий текущее положение рабочего органа с точкой симметрии и рассчитывается следующим образом:

$$a_1 = \begin{bmatrix} a_{1x} \\ a_{1y} \\ a_{1z} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{(x_1 - x_0)}{\sqrt{(x_1 - x_0)^2 + (y_1 - y_0)^2 + (z_1 - z_0)^2}} \\ \frac{(y_1 - y_0)}{\sqrt{(x_1 - x_0)^2 + (y_1 - y_0)^2 + (z_1 - z_0)^2}} \\ \frac{(z_1 - z_0)}{\sqrt{(x_1 - x_0)^2 + (y_1 - y_0)^2 + (z_1 - z_0)^2}} \end{bmatrix}. \quad (6)$$

Вектор ориентации для второго манипулятора в абсолютной системе координат рассчитывается аналогично. Точка симметрии, относительно которой происходит ориентация, может быть расположена в любой области внутри сферы и совпадать с её центром или же не совпадать с ним.

3. Исследование ориентированного движения

Для проверки работоспособности предлагаемого в работе подхода сначала было выполнено математическое моделирование работы системы в пакете Matlab. В дальнейшем были выполнены экспериментальные исследования на реальном оборудовании. Для этого был использован робот KUKA Argulus KR6 sixx с установленным пакетом KUKA RobotSensorInterface (RSI) и ПК с установленным программным обеспечением Matlab Simulink.

Траектория движения при моделировании была задана как полуокружность, а ориентация рабочего органа робота на сфере была определена согласно соотношению (6). При движении робота из его исходного положения к точке начала траектории необходимо учесть, как расположение сферы, так и запрет на ее пересечение по условиям безопасности. Для реализации закона движения выбрана аппроксимация пути параметрическими кривыми, а именно, кривыми Безье третьего порядка [7].

На рис. 2 представлен график отклонения положения рабочего органа робота от желаемого положения при движении по траектории. На интервале времени от t_1 до t_2 выполняется подход рабочего органа к началу траектории ориентированного движения на сфере, от t_2 до 35 с - движение по поверхности сферы. Как видно из графика, отклонение рабочего органа во время движения не превышает 0.5 мм, что находится в пределах динамических смещений головы пациента, вызванных эффектами баллистокардиографии.

Заключение

В работе был рассмотрен способ ориентированного движения двух роботов-манипуляторов по траектории, лежащей на поверхности сферы для решения задачи точной ТМС. Получены соотношения для определения начального положения и ориентации рабочих органов манипуляторов, обеспечивающих требуемую точность позиционирования, находящуюся в заданных пределах, вызванных естественными физиологическими процессами, в

том числе и эффектами баллистокардиографии. Полученные соотношения исследованы при движении промышленного манипулятора KUKA KR6 sixx. Предложенный подход к формированию ориентированного движения двух манипуляторов может быть успешно использован для точного позиционирования индукторов при проведении ТМС.

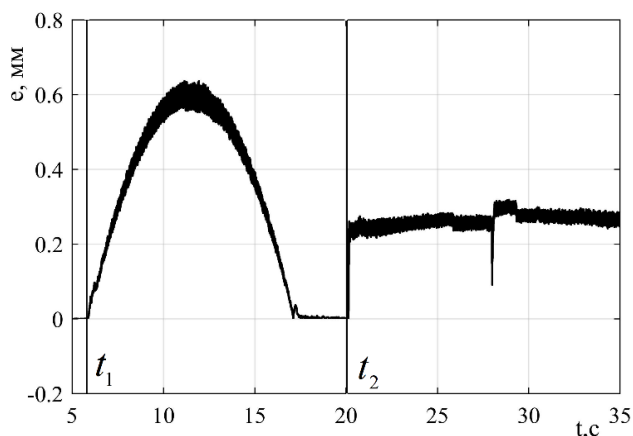


Рис. 2. Отклонение положения рабочего органа робота

Исследование выполнено при финансовой поддержке Минобрнауки в рамках госзадания №2.11216.2018/11.12.

Список литературы

1. Eldaief M.C., Press D.Z., Pascual-Leone A., Transcranial magnetic stimulation in neurology A review of established and prospective applications // *Neurology: Clinical Practice*. – 3(6). – 2013. – pp. 519–526.
2. Matthäus, L. A robotic assistance system for transcranial magnetic stimulation and its application to motor cortex mapping. Ph.D. thesis, Universität zu Lübeck, 2008.
3. Matthäus, L., Trillenber, P., Bodensteiner, C., Giese, A., Schweikard, A. Robotized TMS for motion compensated navigated brain stimulation // *Computer assisted radiology and surgery (CARS)*, 20th international congress. Osaka, Japan.
4. Schweikard, A., Glosser, G., Bodduluri, M., Murphy, M.J., Adler J.R. Jr. Robotic Motion Compensation for Respiratory Movement during Radiosurgery // *J. Comput. Aided Surg.* – 5(4). – 2000. – pp. 263–277.
5. Katsurin Alexey, Gerasimenko Denis. System of Telecontrol with Two Manipulators // *Applied Mechanics and Materials*. – Vol. 799-800. – 2015. – pp. 1058-1062.
6. Кацурин А.А., Герасименко Д.М. Система телеуправления двумя манипуляторами // XXXVIII Дальневосточная математическая школа-семинар им. акад. Е.В. Золотова. – Владивосток: ИАПУ ДВО РАН, 2014. – С. 549-554.
7. Zha X. F., Chen X. Q. Trajectory coordination planning and control for robot manipulators in automated material handling and processing // *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*. – Volume 23, Issue 11–12. – 2004. – pp. 831–845.

ТЕХНОЛОГИЯ ВСТРАИВАНИЯ КОМПОНЕНТОВ В ПЕЧАТНЫЕ ПЛАТЫ

Аннотация: Число встраиваемых элементов в плату в ближайшие годы будет неизменно расти. Активное внедрение различных автоматизированных помощников, развитие робототехники в промышленности и медицине, интернета вещей (роботы домашнего применения), приводят к использованию встраиваемых элементов в различные виды плат со стороны разработчиков.

Ключевые слова: электроника, печатная плата, многослойная плата, встроенные элементы, робототехника

THE EMBEDDING COMPONENTS IN BOARDS TECHNOLOGY

A.A. Kozhina, student, Kozhina3377@gmail.com
Siberian Federal University, Zheleznogorsk, Russia

Abstract: the Number of embedded elements in the Board will grow steadily in the coming years. The active introduction of various automated home assistants, the development of robotics, Smart home technologies and the Internet of things (robots for home use), lead to the use of embedded elements in various types of boards by developers.

Ключевые слова: electronics, printed circuit Board, multilayer Board, embedded elements, robotics

Введение

В последнее время все высокотехнологичные системы, включая роботов, в состав комплектующих применяют платы со встроенными компонентами в связи с уменьшением размеров изделия и самих элементов. Например, немецкая компания Festo на одной из выставок представили три разработки роботов не большого размера, где использовалась технология встраивания компонентов в плату [1]. К таким изобретениям относятся: колония роботов-муравьев, длиной 13,5см., роботы – дроны в виде бабочек, размах крыльев 50 см. (рис. 1).

Технология встраивания компонентов в печатные платы при производстве роботов в ближайшие годы может стать серьезным конкурентом применяемой технологии поверхностного монтажа [2]. Эта технология - эффективный инструмент дальнейшей миниатюризации роботов и повышения функциональности электронных модулей.

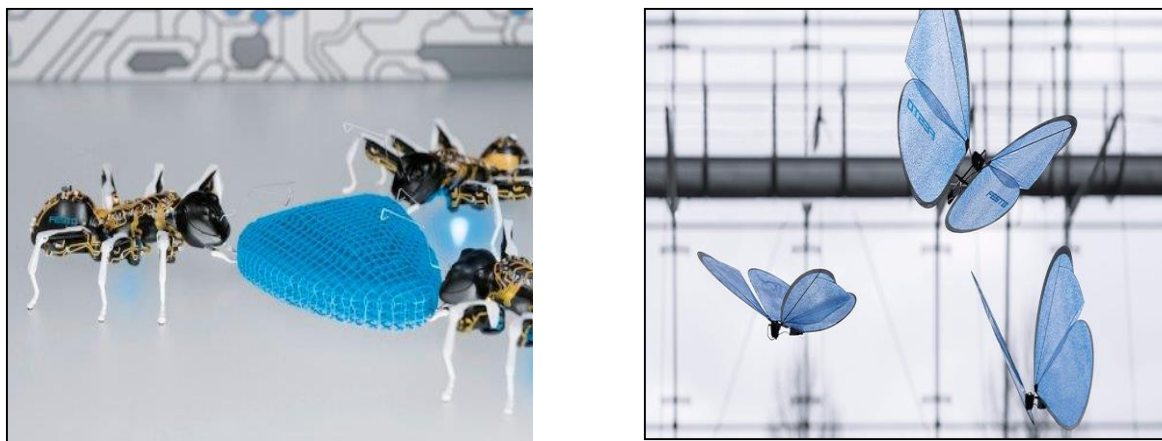


Рис. 1. Разработки немецкой компании Festo

Рассмотрим процессы встраивания пассивных компонентов в печатные платы и приведем результаты испытаний тестовых печатных плат с поверхностно-монтируемыми и встроенными чип –резисторами [3].

Применение и преимущества плат со встроенными элементами

К пассивным элементам относятся потребители и накопители электрической энергии. Пассивные элементы, как правило, двухполюсники (резисторы, конденсаторы и катушки индуктивности), а также некоторые многополюсники, составленные из пассивных двухполюсников [4].

Преимущества технологии встраивания компонентов. Число компонентов, входящих в состав сложных, многофункциональных устройств, как производство роботов постоянно возрастает. Например, отношение числа пассивных компонентов к числу активных на плате мобильного телефона превышает 20:1 [5].

Множество пассивных компонентов не только занимает площадь платы, ограничивая возможность миниатюризации, но также снижает электрические характеристики устройств из-за большой длины меж соединений и значительного числа паяных соединений.

Существующая альтернатива традиционному размещению компонентов на поверхности платы – это встраивание компонентов (или внутренний монтаж), т.е. размещение компонентов пассивных в объеме печатной платы. Естественно, речь идет не обо всех, а только о группе компонентов на плате. Встраивание компонентов позволяет улучшить электрические характеристики благодаря сокращению длины связей, увеличить надежность за счет

уменьшения числа паяных соединений, уменьшить массу и габариты изделий [6].

Наиболее полно преимущества встроенных компонентов раскрываются в портативных многофункциональных устройствах, таких как коммуникаторы, мобильные телефоны, нано технологичные роботы. Например, компания Motorola применяет платы со встроенными компонентами в мобильных телефонах с 1999 года, а также при создании Классификация процессов встраивания компонентов. Процессы встраивания компонентов можно разделить на две группы: встраивание активных и пассивных компонентов. Последние, в свою очередь, могут либо формироваться во время изготовления платы, либо интегрироваться в плату посредством внутреннего монтажа в отдельные группы [7].

Процесс изготовления плат со встроенными элементами

На первом этапе процесса трафаретной печати полимерных толсто пленочных резисторов формируется проводящий рисунок внутреннего слоя, включая контактные площадки под резисторы. Затем производится черное оксидирование меди для обеспечения адгезии к диэлектрику при прессовании. После черного оксидирования ламинируется пленка, в которой вскрываются окна под контактные площадки резисторов для нанесения на них противокоррозионного покрытия (рис. 2). Оно необходимо для изготовления платы, либо интегрироваться в плату посредством внутреннего монтажа. Процессы формирования резисторов, конденсаторов и индуктивностей во время изготовления платы имеют свои особенности, поэтому выделим их в отдельные группы.

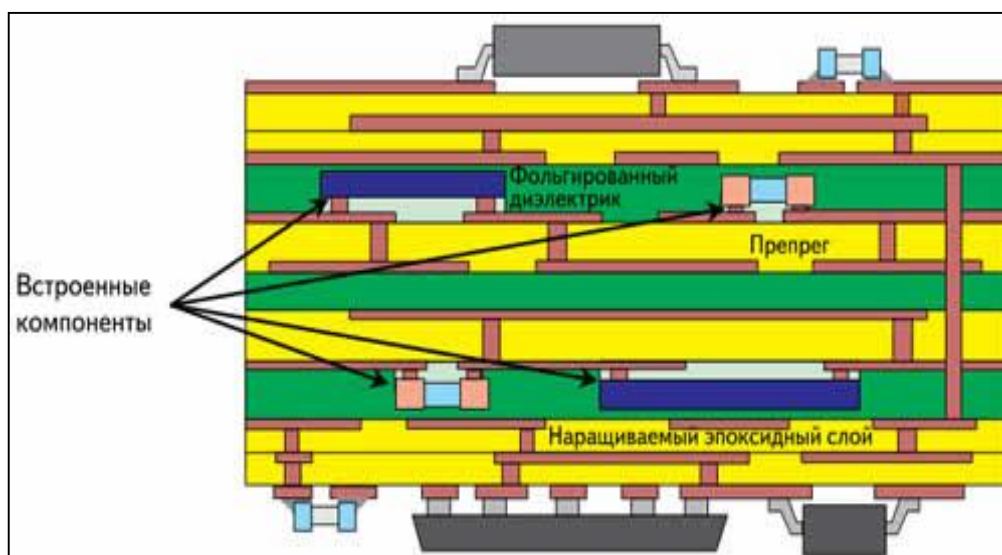


Рис. 2. Встроенные в плату компоненты.

Рассмотрим отдельные укрупненные схемы процессов встраивания компонентов. Формирование пассивных компонентов в процессе изготовления

платы Резисторы Трафаретная печать полимерных толсто пленочных резисторов. На первом этапе процесса трафаретной печати полимерных толсто пленочных [7] резисторов формируется проводящий рисунок внутреннего слоя, включая контактные площадки под резисторы. Затем производится черное оксидирование меди для обеспечения адгезии к диэлектрику при прессовании. После черного оксидирования ламинируется пленка, в которой вскрываются окна под контактные площадки резисторов для нанесения на них противокоррозионного покрытия.

Заключение

Прогресс не стоит на месте и на смену крупногабаритной технике приходят технологии миниатюрных размеров [8]. Где же применяются технологии встраивания электро-радиоэлементов? Например, портативный робот-принтер. Оригинальный способ печати в полевых условиях. Этот гаджет по сути представляет собой печатающую головку, которую необходимо заправить чернилами и поставить на лист бумаги, после чего он сможет «распечатать» нужную информацию, перемещаясь по ее поверхности. Одной заправки достаточно на более чем 1000 страниц, а аккумулятор, заряжаемый через USB, обеспечивает около часа автономной работы. Еще один пример роботов с применением технологии встроенных в плату элементов можно рассмотреть портативного военного робота .iRobot 110 Firstlook (рис. 3) является небольшим, легким, само передвижным роботом, который предоставляет мгновенное осведомление о ситуации, выполняет постоянное наблюдение и расследует замкнутые пространства идеально подходит для целого ряда пехотных миссий и специальных операций. Вес робота около 2 кг. и 25,4 см. в длину, 22,86 в ширину 4 дюйма в высоту, батарея на 6 часов - этого хватает на типичную миссию.



Рис. 3. iRobot 110 Firstlook

В таком направлении как производство мини роботов, существует еще одна наработка, как использование не просто встраиваемых элементов, но использовать лишь рабочую часть, так называемый кристалл. Речь идет о технологии flip chip, сначала изготавливается плата, кристалл монтируется пайкой оплавлением и далее проводится подзаловка корпуса на плате. Таким образом, развитие технологий не только уменьшает габариты, толщину и размер элементов печатных плат, но также приводит к объединению двух технологий — изготовления платы и присоединения кристалла. Следует понимать, что технологии присоединения кристалла существенно отличаются от применяемых при производстве плат, и большинство компаний-изготовителей плат с ними не знакомы.

Список литературы

1. Гонсалес Р.К., Робототехника. Пер. с англ. - М.: Мир, 1989. – 624 с.
2. Хорн Б.К. Зрение роботов: Пер. с англ. – М.: Мир, 1989. – 487 с.
3. Прейко М. Устройства управления роботами: схемотехника и программирование – М.: ДМК, 2004. – 202 с.
4. Luchsinger D., Goldberg N., Sabev P., Metz S., Dyconex, Onda N., Buchs, Heinrichs R., Werner W. Embedding Resistors On Ceramic Substrate In Flex PCBs. – OnBoard Technology, February 2007.
5. Maia Filho W.C., Monier-Vinard E., Stahr J., Morianz M. Industrial PCB development using embedded passive & active discrete chips focused on process and DfR, 2010.
6. Programming Embedded Systems: With C and GNU Development Tools. 2nd Edition. O'Reilly. 2007.
7. <http://center.intellektor.ru/Robototechnika>.
8. https://robotics.ua/shows/modernity/3345-your_health_health_robotics_today.

С.С. Мешков, вед.инженер, магистрант, sergej.meschkov.1986@mail.ru
ФЯО ФГУП «Горно-химический комбинат»
Сибирский федеральный университет, г. Железногорск, Россия

ОБЗОР МЕТОДОВ КОНТРОЛЯ ОСТАТОЧНОГО РЕСУРСА ХИМИЧЕСКИХ АККУМУЛЯТОРНЫХ БАТАРЕЙ

Аннотация: В настоящее время на рынке представлено большое количество химических источников электрической энергии (АКБ). В зависимости от стоимости, функционального назначения и удельных характеристик, обеспечиваемых устройством в заданных условиях эксплуатации, робототехники выбирают тот или иной тип АКБ, который определяется используемыми при производстве материалами. Применение АКБ при автономной работе особенно важно для робототехнических комплексов (РТК) и оборудования ответственного назначения. Каждый из перечисленных типов АКБ, имеет свои, индивидуальные особенности и может быть применен для обеспечения питания роботизированной техники в зависимости от характеристик установленных исполнительных механизмов и выполняемых машиной задач.

Ключевые слова: робототехника, энергоёмкость, диагностические параметры, удельные характеристики, электролит, аккумуляторная батарея.

REVIEW OF METHODS FOR ESTIMATING THE RESIDUAL USEFUL LIFE OF CHEMICAL BATTERIES

S.S. Meshkov, master's degree student, senior engineer, sergej.meschkov.1986@mail.ru
Mining & Chemical Plant
Siberian Federal University, Zheleznogorsk, Russia

Abstract: At present, a large number of chemical sources of electric energy (batteries) are introduced to the market. Depending on the cost, functionality and specific characteristics provided by the battery under specified operating conditions, robotics engineers choose one or another type of the battery accounting for the materials used during production. The use of batteries in the autonomous mode is especially important for robotic systems and critical equipment. Each of the types of batteries described below has its own individual performances and can be used to provide power to robotic equipment depending on the characteristics of the implemented actuators and the tasks performed by the machine.

Key words: robotics, energy intensity, diagnostic parameters, specific characteristics, electrolyte, battery.

Особенно важными критериями подбора АКБ, для обеспечения автономной работы, при проектировании электрической роботизированной машины являются:

- наличие/отсутствие эффекта памяти, который препятствует использованию режима рекуперации электрической энергии (возврат части электроэнергии, за счет использования инерции);

- энергоемкость, числовое значение которой, позволяет оценить запас энергии для автономной работы, на борту машины;

- возможность обеспечения высокого тока разряда, позволяющего обеспечить пусковые нагрузки для более мощных исполнительных механизмов [1].

Как наиболее популярные, выделяют следующие типы АКБ: свинцово-кислотные, литий-ионные, литий-полимерные, никель-кадмиевые, никель-металлгидридные. Кратко рассмотрим каждый из них:

Свинцово-кислотные (СКБ) АКБ обладают наименьшими удельными характеристиками, которые составляют от 30 до 50 Вт на килограмм массы. Однако, качественными отличиями от прочих являются низкая скорость саморазряда (в среднем 5% от номинальной ёмкости в месяц), возможность генерации высоких токов, что подразумевает эффективность в использовании на энергоемких производствах, низкие эксплуатационные затраты (в связи с высокой надёжностью, сроком службы и дешевизной расходных материалов). Областью применения является в основном автомобильная промышленность и производства где к энергосистемам предъявляют повышенные требования в части обеспечения высоких пусковых токов [2,3].

Данный тип АКБ не нашел широкого применения в робототехнике в качестве портативных источников электроэнергии, в первую очередь, связи с неконкурентными массогабаритными характеристиками.

Литий-ионные (ЛИБ) АКБ - тип химических источников электрической энергии, набирающий популярность в течение последних трёх десятков лет. Своему успеху данный вид АКБ обязан в первую очередь высокими удельными характеристиками, которые составляют, в зависимости от применяемых в изготовлении материалов и технологий, от 110 до 300 Вт на килограмм массы. ЛИБ не требуют специализированного обслуживания в процессе эксплуатации, имеют относительно низкий (около 10% в месяц) саморазряд, оказывают не существенное влияние на окружающую среду.

Недостатками данного типа можно считать необходимость применения дополнительных устройств защиты элементов АКБ от тока перезаряда и разрядки ниже допустимых значений, которая влечет за собой полную утрату функциональности батареи. ЛИБ подвержены эффекту старения, который проявляется вне зависимости от того, использовалась АКБ или нет [4].

ЛИБ нашли своё распространение в современной портативной электронике, производстве экологического транспорта и продолжают набирать популярность в других областях промышленности, что связано с развитием технологий производства данного вида батарей. Развитие технологий в области производства аккумуляторных батарей данного типа и его производных (литий-полимерные АКБ и др.), позволяет закладывать всё больший ресурс автономной работы в проектируемые машины, что способствует положительной динамике роста использования как ЛИБ, так и литий-полимерных в робототехнике [5]. Отсутствие эффекта памяти ЛИБ, позволяет пополнять заряд в любое удобное время, что даёт возможность в полной мере использовать рекуперацию электрической энергии при выполнении РТК служебных задач [6].

Литий-полимерные (ЛПБ) представляют собой производную модификацию от ЛИБ но, имеют ряд отличий, как конструктивных, так и функциональных. Рассмотрим данный тип в сравнении с ЛИБ.

ЛПБ в отличие от ЛИБ имеют более высокое внутреннее сопротивление, что препятствует генерации высоких токов. Основным отличием от ЛИБ, является использование в производстве твердого, сухого электролита из неэлектропроводного полимера, пропускающего через себя ионы лития.

ЛПБ более безопасны и позволяют изготавливать портативные источники электрической толщиной до 1 мм, что находит признание, как в народном хозяйстве, так и в специализированных областях (космическая, атомная, военная отрасль, включая робототехнику) [7, 8].

Никель-кадмиевые (НКБ) - тип батарей с относительно невысокими удельными характеристиками (50-80 Вт/кг) и высоким саморазрядом (до 20% в месяц), требующие периодического сервисного обслуживания в виде «прогонов» от полного разряда до полного заряда, с целью минимизации «эффекта памяти». Важным недостатком НКБ, является высокая токсичность применяемых при их производстве материалов.

НКБ получили широкое распространение в робототехнике, где применяются в качестве тяговых, и в авиации для обеспечения питания бортовых систем. Конкурентность НКБ связана с возможностью обеспечивать высокие токи разряда, высоким сроком службы (до полутора тысяч циклов заряд-разряд), широким (от -45 до +60 С⁰) диапазоном рабочих температур [9].

Никель-металлгидридные (НМБ)- Сильными сторонами НМБ, наряду со своим прямым конкурентом НКБ, является высокая энергетическая плотность (70-130 Вт/кг), значительно меньший «эффект памяти», значительно меньшая экологическая нагрузка. Области применения аналогичны НКБ, что связано со схожими характеристиками.

К недостаткам относят меньший срок службы (не более 500 циклов заряд-разряд), саморазряд до 30% в месяц, выделение большого количества тепла при заряде, необходимость дополнительного сервисного обслуживания в виде проведения контрольно-тренировочного цикла (разряд/заряд) [10].

Наличие уникальных конструктивных и параметрических характеристик, перечисленных и описанных выше типов химических АКБ, позволяет подобрать для РТК подходящий источник электрической энергии или их комбинацию. Однако, имеется общая проблематика, которая заключается в необходимости диагностирования и прогнозирования изменений энергоёмкости батарей. Диагностика деградации аккумуляторов и расчет остаточного ресурса необходимы с целью своевременной замены АКБ на машинах, от работы которых зависит безопасность людей или необходимость обеспечения непрерывности технологического процесса. Информация об остаточном ресурсе АКБ позволит более эффективно планировать использование как самих батарей, продлевая срок эксплуатации свыше паспортных значений, так и оборудования на объектах, обслуживание которых затруднено (к ним относятся автономные роботизированные комплексы на объектах атомной и космической промышленности). Оперативная диагностика химических АКБ основана на параметрическом методе, который заключается в измерении и анализе электрических и физических характеристик батареи.

В качестве диагностических параметров используют напряжение под нагрузкой ($U_{нагр}$), напряжение разомкнутой цепи ($U_{раз}$), пиковый ток под нагрузкой ($I_{пик}$), резонансная частота (f), внутреннее сопротивление ($R_{вн}$), комплексные параметры [8], физические величины (плотность, температура...)

Значения диагностических параметров и вычисления на основе их комбинаций, позволяют делать выводы о текущем состоянии АКБ. Существует целый ряд специализированных устройств и методов для оценки ёмкости. Виды и характерные особенности каждого представлены в таблице 1.

Одной из ключевых характеристик современной роботизированной техники является время автономного существования/функционирования. Данная характеристика обеспечивается запасом энергии на борту машины. Если говорить об автономных электрических роботизированных механизмах, запас энергии для существования без подзарядки, заключен в аккумуляторную батарею, которая является частью системы электропитания (СЭП) РТК. Современные методы, технологии и оборудование позволяют достаточно точно и оперативно оценить текущее состояние любого параметра аккумуляторной батареи, вне зависимости от её типа, производительности и факторов окружающей среды.

В таблице 2 рассмотрены предложенные выше методы диагностики АКБ с позиции применимости их в СЭП РТК в качестве штатных.

Каждый метод оценен в диапазоне от 0 до 1 с шагом в 0,25 (экспертно), с точки зрения степени выполнения семи основных критериев. Сумма баллов по всем критериям, позволяет комплексно оценить каждый из рассматриваемых методов.

Представленное сравнение, позволяет оценить рассмотренные методы с точки зрения обеспечения выполнения одного или нескольких приоритет-

ных критериев и сделать выбор в пользу удовлетворяющего техническим условиям.

Таблица 1. Методы оценки ёмкости химических АКБ

№	Наименование	Особенности
1	По времени разрядки на номинальных токах [12]	-определен государственным стандартом как основной; -при осуществлении расходуется измеряемый параметр; -метод является косвенным (по току и времени разряда); -длительность измерения от нескольких часов до нескольких суток; -полный разряд допустим не для всех типов АКБ; -требуется отключения от штатной нагрузки.
2	По значению напряжения под нагрузкой [13]	-метод является косвенным (по $U_{бн}$, U_n , $E_{мах}$, E_{min} .); -относительная простота реализации; -малое время проведения; -большое расходование измеряемого параметра.
3	По значению отклика батареи на импульс постоянного или переменного тока [14]	-не нашел широкого применения -требуется отключения от штатной нагрузки (до 20мин); -расходует измеряемый параметр.
4	По измерению импеданса [12]	-позволяет выявлять дефекты АКБ; -малое время оценки характеристик; -не расходуется измеряемый параметр; -требуется математическая обработка данных.
5	По активному сопротивлению и характеристической частоте [15]	-точность измерения; -достоверность (благодаря использованию 2х независимых параметров); -требуется математических вычислений и специализированного ПО и оборудования.
6	По химическому составу электролита АКБ*	-отсутствуют в широком доступе методики и специализированное оборудование для диагностики АКБ

*Область исследована не достаточно для полноценных выводов, данные представленные в статье субъективны.

Стоит отметить, что недостаточно исследованной областью в части диагностирования удельных характеристик АКБ остается их определение по средством анализа химического состава активных веществ. Анализ первичных данных (химического состава) должен позволить с более высокой точностью судить о текущей электрической емкости АКБ, а также делать выводы об оставшемся ресурсе батареи, выраженном в количестве циклов заряд/разряд до перехода в предельное стояние. Современные технологии в производстве оборудования для химического анализа параметров электролита позволяют обеспечить конкурентные массогабаритные характеристики измерительной аппаратуры, что является не маловажным критерием при разработке и проектировании служебных систем РТК. Химический анализ составных частей аккумуляторной батареи РТК, может стать конкурентной альтернативой существующим методам определения её остаточного ресурса

как в проекции на традиционные (химические) источники электрической энергии, так и перспективные (включая ферментные [17] и микробиологические [18, 19]).

Таблица 2. Сравнительный анализ различных методов диагностики АКБ

№п.п	Наименование	Масса и габариты измерительной аппаратуры	Энергоёмкость	Достоверность	Необходимость отключения рабочей нагрузки	Материальная база на рынке	Применимость к типам АКБ	Скорость измерения	Сумма баллов
1	По времени разрядки на номинальных токах	0,5	0	1	0	1	0,75	0	3,25
2	По значению напряжения под нагрузкой	1	0	0,5	0	0,75	0,5	0,5	3,25
3	По значению отклика батареи на импульс постоянного или переменного тока	0	0,5	1	0	0,5	1	0,5	3,5
4	По измерению импеданса	0	1	0,75	1	0,5	0,5	0,25	4,00
5	По активному сопротивлению и характеристической частоте	0	1	0,75	1	0	0,75	0,5	4,00
6	По химическому составу электролита АКБ*	0,5	0	1	1	0	0,75	1	4,25

*Область исследована недостаточно для полноценных выводов, данные представленные в статье субъективны.

Список литературы

1. Официальный сайт RoboCup [Электронный ресурс]: режим доступа <http://www.robocup.org>.
2. Таганова, А.А. Свинцовые аккумуляторные батареи: стационарные, тяговые, для аварийной аппаратуры: справочник/ А.А. Таганова, А.Е. Семёнов. – СПб.: Химиздат, 2004. – 117 с.
3. Таганова, А.А. Диагностика химических источников тока / А.А. Таганова. – СПб.: Химиздат, 2004. – 128 с.
4. Advances in Lithium-Ion Batteries / ред. W.A. van Schalkwijk, B. Scrosati. N.Y.: Kluwer Academic. – Plenum Publishers, 2002. – 607 p.
5. Кедринский, И.А. Li-ионные аккумуляторы / И.А. Кедринский, В.Г. Яковлев. – Красноярск: ИПК «Платина», 2002. – 266 с.
6. Накано, Э. Введение в робототехнику/Э. Накано. – М.: Мир, 1988. – 329 с.
7. Trevelyan J.P., Kang S.C., Hamel W.R. Robotics in hazardous applications // Springer Handbook of Robotics / Eds B. Siciliano, O. Khatib. Berlin: Springer-Verlag, 2008. – 1101-1126 pp. DOI: 10.1007/978-3-540-30301-5_49.

8. Чупин, Д. П. Исследование методов диагностики аккумуляторных батарей // Омский научный вестник. – № 1 (117). – 2013. – С. 253-257.
9. Maintenance-free Batteries. Lead-Acid, Nickel/Cadmium, Nickel/Metal Hydride: A Handbook of Battery Technology / D. Berndt.–2nd ed.-Research Studies Press, Taunton, Somerset, England, 1997. - 496p.
10. Хрусталёв, Д.А. Аккумуляторы/ Д.А. Хрусталёв. – М: Изумруд, 2003. – 224 с.
11. Handbook of Batteries / Ed. David Linden Reddy T. B.-3rd ed. N.Y.: Mc. Craw-Hill,Inc., 2004. – 207p.
12. Чупин, Д. П. Резонансный метод измерения внутреннего сопротивления аккумуляторных батарей/ Д.П. Чупин // Электроэнергетика и приборостроение: современное состояние и, перспективы и подготовка кадров: материалы Междунар. Науч.-практ. Конф. Т. 1. – Петропавловск : СГКУ им. М. Кобызева, 2011. – С.61-63.
13. Краткий аналитический обзор существующих способов оценки ёмкости ХИТ и приборов, реализующих эти способы [электронный ресурс] – Режим доступа http://chsenergo.com/files/analys_10.pdf.
14. Бреславец, В. П. Потенциометрический метод диагностики активного материала оксидно-никелиевого электрода никель-кадмиевого аккумулятора/ В.П. Бреславец, В.В. Дворядкин, М.С. Липкин // Электрохимическая энергетика. – 2011. – Т.11. – №3. – С.158-164.
15. Пат.1718305 СССР, МПК Н 01 М10/48. Способ измерения остаточной ёмкости химического источника тока/ Лежнев П.И. (СССР).- 4841221/07; заявлено 10.04.90; опубл. 07.03.92 Бюл. 9-С.5
16. Чупин, Д. П. Характеристический метод контроля эксплуатационных характеристик аккумуляторных батарей: дис. к.т.н. защищена 25.12.2014/ Чупин Дмитрий Павлович. – Омск: 2014. – 203 с.
17. Kanwal A., Wang S.C., Ying Y., Cohen R., Lakshmanan S., Patlolla A., Iqbal Z., Thomas G.A., Farrow R.C. Substantial power density from adiscrete nanoscalable biofuel cell // Electrochem. commun. 2014. Т. 39. – 37–40 pp. DOI: 10.1016/j.elecom.2013.12.010.
18. Rosenbaum M.A., Franks A.E. Microbial catalysis in bioelectrochemical technologies: status quo, challenges and perspectives // Appl. Microbiol. Biotechnol. 2014. Т. 98. – 509–518 pp. DOI: 10.1007/ s00253-013-5396-6.
19. Готовцев, П.М. Биоэнергетика для автономных роботов. Перспективные решения и современное состояние / П.М. Готовцев, В.В. Воробьёв, А.С. Мигалёв, Г.У. Бадранова, К.В. Горин, А.Н. Решетилов, Р.Г. Василев // Вестник биотехнологий и физикохимической биологии имени Ю.А. Овчинникова. – 2015. Т. 11, № 2. – С. 49–58.

Р.А. Мунасыпов, д.т.н., заведующий кафедрой, rust40@mail.ru
Уфимский государственный авиационный технический университет, г. Уфа, Россия
Т.И. Мустаев, магистр, tima.mus.1321@gmail.com
Уфимский авиационный технический университет, г. Уфа, Россия
М.И. Шарипов, доцент кафедры «Автоматизация технологических и информационных систем», sharipovm@mail.ru
Уфимский авиационный технический университет, г. Стерлитамак, Россия

АВТОМАТИЗАЦИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА ОЧИСТКИ НАСОСНО-КОМПРЕССОРНЫХ ТРУБ ПРИ РЕМОНТЕ СКВАЖИННОГО ОБОРУДОВАНИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МОБИЛЬНОГО РОБОТОТЕХНИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА

Аннотация: Добыча и реализация углеводородного сырья на сегодняшний день – одна из основных статей доходов нашего государства. На современном этапе производственно-хозяйственная деятельность предприятий добычи нефти осуществляется в сложных экономических условиях. Важное значение имеют разработка и применение в процессах добычи нефти более совершенного и энергосберегающего нефтепромыслового оборудования, а также обеспечение оптимальных условий его эксплуатации. Отсутствие эффективных способов предупреждения и устранения неполадок приводит к удорожанию добычи нефти и нарушению экологического равновесия в окружающей среде. Одним из таких неполадок является загрязнение насосно компрессорных труб изнутри и снаружи солевыми отложениями. На данный момент очистка от солевых отложений походит в заводских условиях и на ремонт НКТ уходит много времени. Предлагается создать мобильную установку способную проводить ремонт труб на месторождении.

Ключевые слова: мобильный роботизированный комплекс, автоматизация технологического процесса, очистка насосно-компрессорных труб.

AUTOMATION OF THE TECHNOLOGICAL PROCESS OF CLEANING TUBING DURING THE REPAIR OF DOWNHOLE EQUIPMENT USING A MOBILE ROBOTIC COMPLEX

R.A. Munasypov, Ph.D., head of department, rust40@mail.ru
Ufa State Aviation Technical University, Ufa, Russia
T. I. Mustaev, master student, tima.mus.1321@gmail.com
Ufa State Aviation Technical University, Ufa, Russia
M.I.Sharipov, associate professor of " Automated technological and information system,
sharipovm@mail.ru
Ufa State Aviation Technical University, Sterlitamak, Russia

Abstract: The production and sale of hydrocarbons today is one of the main revenue items of our state. At the present stage, the production and economic activity of oil-producing enterprises is carried out in difficult economic conditions. Of great importance are the development and application of more modern and energy-saving oilfield equipment in oil production processes, as well as ensuring optimal conditions for its operation. The lack of effective methods for the prevention and elimination of malfunctions leads to a rise in the cost of oil production and a violation of the ecological balance in the environment. One of these problems is the pollution of pipes inside and outside by salt deposits. Currently, cleaning from salt deposits, as in a factory, and repairing pipes takes a lot of time. It is proposed to create a mobile installation capable of repairing pipes in the field

Key words: mobile robotic complex, automation technological process, cleaning of tubing

Постановка проблемы. Ремонт насосно компрессорных труб является весьма продолжительным и дорогостоящим мероприятием по следующим причинам:

- а) большое число повторений однотипных операций и манипуляций, требующих к тому же больших физических усилий;
- б) недостаточная степень автоматизации выполняемых операций;
- в) зачастую агрессивные условия внешней среды (экстремально низкие температуры, ветер и т.д.).

Различают несколько видов ремонтных работ на скважинах которые целесообразно автоматизировать:

- а) ремонтно-профилактические мероприятия;
- б) текущий ремонт;
- в) капитальный ремонт.

Следует отметить, что от качества и своевременного проведения профилактических мероприятий и текущего ремонта во многом зависит продолжительность эксплуатации скважин на запланированном технологическом режиме и в течении межремонтного периода работы, качественные и своевременные проведенные мероприятия значительно снижают вероятность выхода из строя и последующего бездействия скважины.

Ремонтно-профилактические мероприятия заключаются в устранении различных нарушений в режиме эксплуатации скважин и подземного оборудования, очистке от песка, гидратных отложений и продуктов коррозии, восстановлении и повышении добываемых возможностей скважин и других работ.

При ремонте скважинного оборудования наиболее продолжительным и дорогостоящим этапом является подъём и последующее опускания насосно компрессорных труб в шахту скважины. Насосно компрессорные трубы при-

меняются в процессе эксплуатации нефтяных, газовых, нагнетательных и водозаборных скважин для транспортировки жидкостей и газов внутри обсадных колонн, а также для ремонтных и спускоподъемных работ. Спускоподъемные операции составляют от 40 до 60% от общего времени проведения подземного ремонта. При этом применяется тяжелый физический труд, ввиду малой автоматизации процесса, что обуславливает снижение производительности от 35 до 40% к концу смены.

При проведении ремонтных работ насосно компрессорных труб перед последующим их опусканием в шахту скважины возникает необходимость их очистки от сернисто-парафинистых отложений внутри и нефтемазутных отложений снаружи, а также проведения контроля состояния насосно компрессорных труб для последующего их применения. В настоящее время очистку труб проводят в заводских условиях, что существенно увеличивает сроки и издержки ремонтных работ, так как требует дополнительных затрат по погрузке/разгрузке и транспортировке насосно компрессорных труб от месторождения до предприятия очистки и обратно.

Предлагается проект робототехнического комплекса, который будет включать в себя спускоподъемные операции и очистку насосно компрессорных труб от сернисто парафиновых отложений изнутри и снаружи.

Существующий технологический процесс ремонта насосно компрессорных труб обеспечивает выполнение следующих основных операций:

- 1) Предварительная сортировка и отбраковка измерение длины.
- 2) Наружная и внутренняя очистка поверхности от асфальтосмолопарафиновых отложений и от твердых отложений.
- 3) Шаблонирование.
- 4) Дефектоскопия.
- 5) Отвинчивание муфт.
- 6) Дефектация муфты.
- 7) Отрезка дефектных фрагментов труб.
- 8) Нарезание резьбы ниппельных частей труб
- 9) Навинчивание муфт.
- 10) Гидравлическое испытание.
- 11) Сушка внутренней поверхности НКТ.
- 12) Контроль массы трубы.
- 13) Контроль длины трубы клеймение
- 14) Нанесение консервационной смазки и установка предохранительных деталей, обеспечивающих защиту резьбы от повреждения.
- 15) Упаковку готовой продукции.

Для сокращения времени и удешевления ремонта скважины предлагается использовать робототехнический комплекс на скважине

За основу берется технологический процесс, на предприятии который поэтапно анализируется с точки зрения реализации с использованием предлагаемого робототехнического комплекса.

Технология очистки включает следующие технологические операции

Этап 1. Предварительная сортировка и отбраковка измерение длины

Предварительная сортировка и отбраковка измерения длины насосно компрессорной трубы не производится. Проверяются все трубы без исключения

Этап 2. Наружная и внутренняя очистка поверхности от асфальтосмо-лопарофиновых отложений и от твердых отложений.

Наружная и внутренняя очистка труб производится в автоматическом режиме с помощью оборудования установленного на робототехническом комплексе

Этап 3. Шаблонирование

Шаблонирование не производится в рамках разрабатываемого робототехнического комплекса

Этап 4. Дефектоскопия

Дефектоскопия трубы производится в автоматическом режиме с помощью оборудования расположенного на робототехническом комплексе

Этап 5. Отвинчивание муфт.

Отвинчивание муфт не производится. Наличие дефектов в муфте приводит к тому что дефектной рассматривается целиком труба

Этап 6. Дефектация муфты

Дефектация муфты не производится, так как на дефектоскопии идет отбраковка всех труб. определяются повреждения трубы по всей длине в том числе и в соединениях муфт.

Этап 7. Отрезка дефектных фрагментов труб

Отрезка дефектных труб не производится в рамках создаваемого робототехнического комплекса.

Этап 8. Нарезание резьбы ниппельных частей труб

Нарезание резьбы ниппельных частей труб не производится в рамках создаваемого робототехнического комплекса.

Этап 9. Навинчивание муфт.

Навинчивание муфт не производится в рамках создаваемого робототехнического комплекса.

Этап 10. Гидравлическое испытание.

Гидравлические испытания производятся вручную с помощью существующего устройства, не входящего в состав разрабатываемого робототехнического комплекса

Этап 11. Сушка внутренней поверхности насосно компрессорной трубы.

Сушка внутренней поверхности насосно компрессорной трубы производится в автоматическом режиме с помощью оборудования установленного на робототехническом комплексе.

Этап 12. Контроль массы трубы.

Контроль массы труб не производится на создаваемом робототехническом комплексе

Этап 13. Контроль длины трубы клеймение.

Контроль длины трубы не производится на создаваемом робототехническом комплексе

Этап 14. Нанесение консервационной смазки и установка предохранительных деталей, обеспечивающих защиту резьбы от повреждения.

Нанесение консервационной смазки и установка предохранительных деталей, обеспечивающих защиту резьбы от повреждения производится вручную.

Этап 15. Упаковка готовой продукции

Упаковка готовой продукции не производится на создаваемом робототехническом комплексе

Решение проблемы

В результате вышеприведенного технического процесса предлагается компоновка следующего роботизированного комплекса. Разрабатываемый комплекс по очистки и диагностики насосно компрессорных труб представлен на (рис. 1).

1) Компоновка робототехнического комплекса по очистки насосно компрессорных труб.

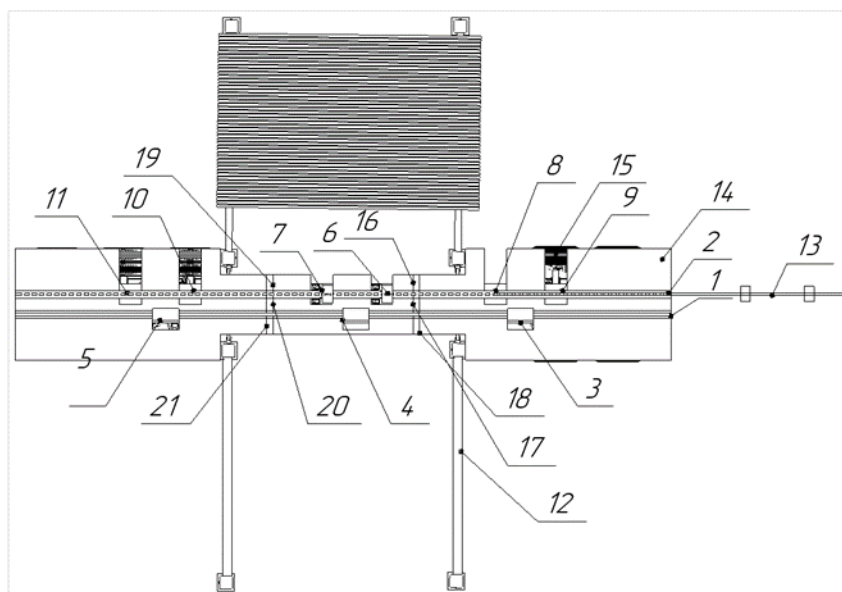


Рис. 1. Компоновка робототехнического комплекса по очистки насосно компрессорных труб

1,2 – толкатель; 3,4,5 – дефектоскоп; 6,7,8,9,10,11 – обтиратель; 12 – накопительное устройство; 13 – внутренний обтиратель; 14 – платформа; 15 – шасси; 16-21 – коромысло

Разработанная схема является одной из двух компонент робототехнического комплекса.

Данная кинематическая схема позволяет разработке осуществлять необходимые манипуляции по переносу и автоматической очистке вынимаемых труб с последующим их проверкой дефектоскопом, сбором выпариваемого нефтешлама с целью дальнейшей утилизации. Таким образом, в схеме модуля по очистке насосно компрессорных труб мы видим две линии. Первая линия предназначена для очистки трубы от нефтешлама, вторая линия нужна для дефектоскопии труб. В данном модуле для полного контроля присутствуют обтиратель для парогенератора с целью термической обработки труб с наружи и одновременно обтирание трубы снаружи.

Также часто насосно компрессорные трубы бывают забиты различного рода отложениями внутри, относительно приволжского региона преимущественно соляные отложения, что касается северных регионов то там парафино-смолистые отложения, поэтому модуль очистки труб также предусматривает внутритрубную термическую обработку паром с целью смыва отложений со стенок труб, а также сбор полученного шлама в шламоприемники, возможно предусмотреть последующей антикоррозионной обработки использованием данного модуля. Сама станция также управляется автоматической системой управления комплекса.

Особенностями разрабатываемого комплекса являются усовершенствование процесса очистки труб НКТ, что сокращает время на транспортирование, а также ускорения процесса СПО, поскольку отпадает необходимость в транспортировании труб. Эти особенности делают разрабатываемый комплекс весьма привлекательным для потенциальных покупателей, которыми являются нефтесервисные компании.

Список литературы

1. Иванов М. Н. Детали машин: учеб. для студентов втузов/ Под ред. В.А. Финогенова. –6-е изд., перераб. –М.: Высш. шк., 2000. –383 с.: ил.
2. Кульга, К. С. Информационные технологии проектирования и эксплуатации мехатронного оборудования. Уфа : УГАТУ, 2008 .—193 с. ISBN 978-5-86911-837-0.
3. Михеев, В. А., Савин Д. В. Автоматизированное проектирование и управление технологическими процессами ОМД. Самара, Самар. гос. аэрокосм. ун-т им. С. П. Королева, 2011
4. Бирман, Г. Капиталовложения: Экономический анализ инвестиционных проектов / Пер. с англ. под ред. Л.П.Белых./Г.Бирман, С.Шмидт –М.: ЮНИТИ-ДАНА, 2003. –631 с.

В.В. Ромашенко, к.т.н., доцент, viktorltfzdoktn@mail.ru

В.А. Погребняк, студент, pogrebnyak.1999@mail.ru

Красноярский институт железнодорожного транспорта
– филиал Иркутского государственного университета путей
сообщения (КРИЖТ ИрГУПС), г. Красноярск, Россия

КОНТЕЙНЕР ДЛЯ ТРАНСПОРТИРОВКИ ВЫСОКОТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ ОТВЕТСТВЕННОГО НАЗНАЧЕНИЯ НА ТРАНСПОРТНЫХ УСТРОЙСТВАХ

Аннотация: Транспортировка высокотехнологических объектов требует установки специальных конструкций на транспортных устройствах. Представленная в статье конструкция контейнера решает задачу преобразования ударных нагрузок, действующих на груз внутри контейнера, в допустимое ускорение торможения груза за счет обезвешивания груза жидкостной средой и конструктивных элементов между грузом и контейнером.

Ключевые слова: контейнер, герметичная капсула, натяжные тросы, втягивающее устройство, демпфирующее устройство.

CONTAINER FOR TRANSPORTATION OF HIGH TECHNOLOGICAL OBJECTS OF RESPONSIBLE PURPOSE ON TRANSPORT DEVICES

V.V. Romashenko, Ph.D., Associate Professor, viktorltfzdoktn@mail.ru

V.A. Pogrebnyak, student, pogrebnyak.1999@mail.ru

Krasnoyarsk Institute of Railway Transport
- branch of the IrGUPS, Krasnoyarsk, Russia

Abstract: Transportation of high-tech facilities requires the installation of special structures on transport devices. The design of the container presented in the article solves the problem of converting shock loads acting on the load inside the container into a permissible acceleration of the braking of the load due to the weightlessness of the load by the liquid medium and structural elements between the load and the container.

Key words: container, sealed capsule, tension cables, retractor, damping device.

Для наиболее эффективной транспортировки высокотехнологических объектов: использование контейнера вместе с грузом на железнодорожном

транспорте при сортировке с сортировочной горки, использование контейнера вместе с грузом на авиационном транспорте при посадке на грунтовые покрытия, перевозку контейнера вместе с грузом по грунтовым дорогам автомобильным транспортом, транспортировку контейнера вместе с грузом плавучими средствами при штормовой погоде, груз внутри контейнера находится в герметичной капсуле и обезвешивается жидкостью.

Наиболее близкое решение данной проблемы было представлено Российским Федеральным ядерным центром - Всероссийский научно-исследовательский институт экспериментальной физики" патентом на изобретение №2580518 (рис. 1).

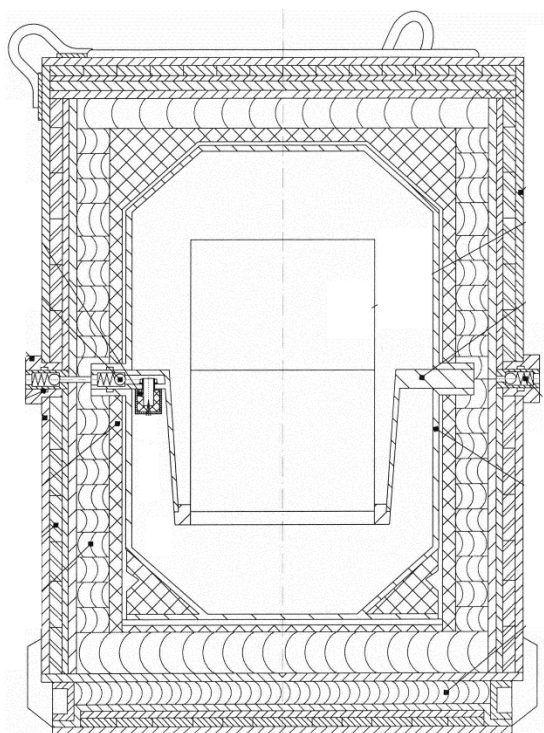


Рис. 1. Защитный контейнер для хранения и транспортировки радиационно-, пожаро-, взрывоопасных грузов

Основным недостатком защитного контейнера для хранения и транспортировки радиационно-, пожаро-, взрывоопасных грузов [1] является отсутствие устройств гашения ударных нагрузок, действующих на упакованный груз, находящийся в герметичном контейнере.

Целью нашего исследования было спроектировать контейнер для транспортировки высокотехнологических объектов ответственного назначения на транспортных устройствах, испытывающих ударные нагрузки.

Нами представлено техническое решение «Контейнер для транспортировки космических аппаратов, головных частей межконтинентальных баллистических ракет, радиационноопасных, пожароопасных, взрывоопасных грузов на транспортных устройствах» (рис. 2а, б)

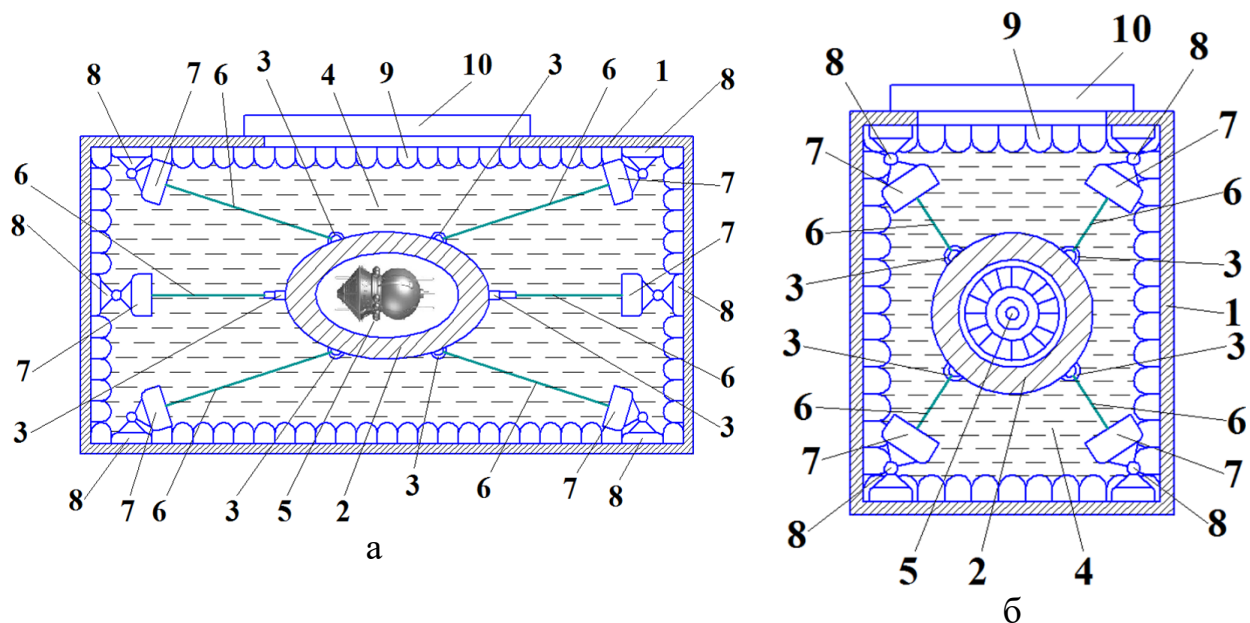


Рис. 2. Контейнер для транспортировки космических аппаратов, головных частей межконтинентальных баллистических ракет, радиационноопасных, пожароопасных, взрывоопасных грузов на транспортных устройствах

а - контейнер для транспортировки космических аппаратов, головных частей межконтинентальных баллистических ракет, радиационноопасных, пожароопасных, взрывоопасных грузов на транспортных устройствах, фронтальный разрез: б - профильный разрез.

Контейнер для транспортировки космических аппаратов, головных частей межконтинентальных баллистических ракет, радиационноопасных, пожароопасных, взрывоопасных грузов на транспортных устройствах [2] состоит из корпуса контейнера 1, герметичной капсулы 2, на которой расположены прицепные устройства 3 (рис. 3а), между корпусом контейнера 1 и герметичной капсулой 2 залита жидкость 4, внутри герметичной капсулы находится в неподвижном состоянии груз 5. Герметичная капсула 2, на которой расположены прицепные устройства 3, и корпус контейнера 1 связаны между собой через натяжные тросы 6, натяжные тросы 6 наматываются на барабан втягивающего устройства 7, втягивающее устройство 7 соединено с корпусом 1 через шарнирно-сферическую опору 8 (рис. 3б). Для предотвращения касания герметичной капсулы 2 стенок корпуса контейнера 1 по всей внутренней площади корпуса контейнера 1 расположены демпфирующие устройства 9, для загрузки и выемки герметичной капсулы 2 в корпусе контейнера 1 имеется загрузочное отверстие закрываемое крышкой 10.

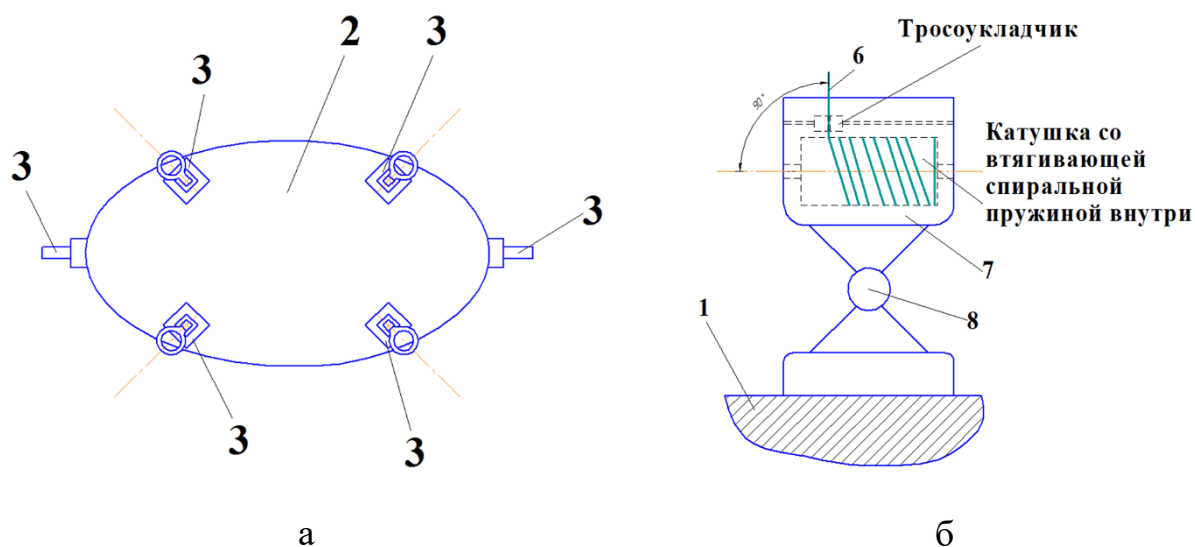


Рис. 3. Конструктивные элементы контейнера для транспортировки космических аппаратов, головных частей межконтинентальных баллистических ракет, радиационноопасных, пожароопасных, взрывоопасных грузов на транспортных устройствах

а- герметичной капсулы 2 и прицепные устройства 3: б- натяжной трос 6, барабан втягивающего устройства 7, втягивающее устройство 7, корпус 1, шарнирно-сферическая опора 8.

Контейнер для транспортировки космических аппаратов, головных частей межконтинентальных баллистических ракет, радиационноопасных, пожароопасных, взрывоопасных грузов на транспортных устройствах работает следующим образом. При воздействии ударной нагрузки или ускорений на корпус контейнера 1, герметичная капсула 2 и находящийся в ней неподвижно установленный груз 5 приобретают ускорение в направлении удара или в противоположную сторону ускорениям. Жидкость 4, за счёт жидкостного трения, и натяжные тросы 6, закреплённые между втягивающими устройствами 7 и прицепными устройствами 3 герметичной капсулы 2, придают герметичной капсуле 2 отрицательное ускорение, на которое рассчитан неподвижно установленный груз 5. Ускорение самого корпуса контейнера 1 будет больше чем ускорение герметичной капсулы 2 из-за разности пройденных расстояний, так как при полной остановке корпуса контейнера 1 капсула 2 продолжает своё движение в жидкостной среде ещё некоторое время. Герметичная капсула 2 и находящийся в ней неподвижно установленный груз 5, находятся в обесвешенном состоянии за счёт одинаковой плотности с жидкостью 4 и могут перемещаться внутри корпуса 1 во всех направлениях за счет того что втягивающие устройства 7 натяжных тросов 6 установлены на шарнирно-сферических опорах 8. После торможения герметичной капсулы 2 натяжные тросы 6 возвращают её в нейтральное положение. Нейтральное положение обеспечивается за счёт одинакового натяжения всех натяжных тросов 6 втягивающими

устройствами 7. Для предотвращения запутывания тросов 6 в жидкости 4 при любом направлении и скорости движения герметичной капсулы 2, шарнирно-сферические опоры 8 и тросоукладчики втягивающих устройств 7, обеспечивают тросам 6 положение, перпендикулярное относительно осей катушек, втягивающих устройств 7, с втягивающими спиральными пружинами внутри. При возникновении ударной нагрузки на корпусе 1 или его ускорение, при котором жидкостное трение от жидкости 4 и натяжные тросы 6 не обеспечили безопасное торможение герметичной капсулы 2, герметичная капсула 2 ударяется и окончательно тормозится за счёт демпфирующих устройств 9.

Данная конструкция контейнера для транспортировки космических аппаратов, головных частей межконтинентальных баллистических ракет, радиационноопасных, пожароопасных, взрывоопасных грузов на транспортных устройствах представляет наиболее близкое решение проблемы в данном направлении. Устройство исследовано нами на влияние метеорологических условий на его работу. К таким условиям относится $t_{\text{замерз.жидкости}} \leq -70^{\circ}\text{C}$. Исследования показали что для жидкости в контейнере необходимо поддерживать постоянную температуру для поддержания постоянной плотности, а это приведёт к тому что контейнер будет оборудован холодильно-отопительной системой.

Список литературы

1. Патент на изобретение №2580518 С1. Защитный контейнер для хранения и транспортирования радиационно-, пожаро-, взрывоопасных грузов [Текст]: Федеральное государственное унитарное предприятие "Российский Федеральный ядерный центр - Всероссийский научно-исследовательский институт экспериментальной физики" / В.А. Афанасьев и др. – Заявл. 16.01.2015, № 2015101265/07; Опубл. в Б.И., 2016, №10. МПК G21F 5/00.

2. Патент на изобретение №2680734 С1. Контейнер для транспортировки космических аппаратов, головных частей межконтинентальных баллистических ракет, радиационноопасных, пожароопасных, взрывоопасных грузов на транспортных устройствах [Текст]: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования Иркутский государственный университет путей сообщения / В.В. Ромашенко и др. – Заявл. 18.10.2017, №2017136764; Опубл. в Б.И., 2019, №6. МПК B65D 85/00.

А.Д. Суховей, магистрант, vx45@bk.ru,
А.С. Губанков, к.т.н., доцент, gubankov@iacp.dvo.ru
Дальневосточный федеральный университет, г. Владивосток, Россия
Институт автоматизации и процессов управления ДВО РАН, г. Владивосток, Россия

РАЗРАБОТКА МЕТОДА ПРЕДОТВРАЩЕНИЯ СТОЛКНОВЕНИЙ РАБОЧИХ ОРГАНОВ ПРОМЫШЛЕННЫХ РОБОТОВ ПРИ СОВМЕСТНОМ ВЫПОЛНЕНИИ РАБОТ

Аннотация: В работе рассматривается метод предотвращения столкновений рабочих органов промышленных роботов с пересекающимися рабочими зонами. Предложенный метод позволяет обеспечить их движение без столкновений, не имея информации о препятствиях в рабочем пространстве роботов. Это обеспечивается за счет анализа программ движения, написанных независимо для каждого робота. В процессе анализа выделяются группы точек траекторий движения рабочих органов, в которых они сближаются больше, чем заданное расстояние. Затем в процессе выполнения программ контролируется их нахождение в выделенных группах точек таким образом, чтобы не допустить столкновения. Результаты моделирования подтвердили эффективность разработанного метода.

Ключевые слова: промышленный робот, предотвращение столкновений, робототехника

DEVELOPMENT OF METHOD OF COLLISION AVOIDANCE FOR END EFFECTORS OF COOPERATING INDUSTRIAL ROBOTS

A.D. Sukhovey, master student, vx45@bk.ru,
A.S. Gubankov, PhD (Tech.), gubankov@iacp.dvo.ru
Far Eastern Federal University, Vladivostok, Russia
Institute of automation and control processes FEB RAS, Vladivostok, Russia

Abstract: In the paper a method of collision avoidance for end effectors of collaborating industrial robots is considered. This method allows collision-free movement of end effectors without information about obstacles in the robots workspaces. This is provided by analyzing programs of robots movement. During the analysis, groups of motion programs points will be obtained, in which end effectors located closer than a specified distance. Then, during programs execution, end effectors location are controlled in selected groups of points to prevent collisions. The simulation results confirmed the effectiveness of the developed method.

Keywords: robotics, industrial manipulators, collision avoidance

Для экономии производственных площадей и повышения производительности промышленных роботов стараются располагать достаточно близко друг к другу, при этом они должны работать одновременно. Такой режим работы может приводить к столкновениям. Чтобы их избежать, перед использованием на роботах требуется размещать дополнительные датчики и навесное оборудование, а это не всегда возможно. При этом программы движения рабочих инструментов всех роботов необходимо тщательно проверять и модифицировать, что неизбежно замедлит их отладку и ввод в эксплуатацию.

Как показывает практика, отладка программ для обеспечения безопасного движения роботов занимает около 75% времени от начала написания до их внедрения в производственный процесс. Все это ведет к дополнительным затратам как денег, так и времени, и является проблемой при изменении производственного процесса или продукции.

Применительно к промышленным роботам, задачу обеспечения безопасного можно решить, используя методы планирования пути (path planning) или используя системы предотвращения столкновений (collision avoidance). Комбинаторные методы планирования [1-2] позволяют найти оптимальное решение, однако для этого нужно определить все конфигурации роботов, при которых возможны столкновения. Это требует значительных затрат времени и точных моделей рабочего пространства этих роботов. Методы на основе потенциальных полей [3] для планирования используют векторное поле, где препятствия отталкивают робота, а целевое положение притягивает. Методы на основе нейронных сетей [4] и генетические алгоритмы [5] предполагают работу с дискретным представлением рабочего пространства. Однако, все эти методы требуют большого числа вычислений даже для одного робота. Альтернативный подход – использование вероятностных (sample-based) алгоритмов [6-7], но это также требует точных моделей рабочих областей всех роботов.

Главный минус методов планирования пути – они не учитывают возможное изменение времени выполнения программы робота, а это может приводить к столкновениям. Для решения этой проблемы используют системы предотвращения столкновений, которые работая в реальном времени, вмешиваются в движение роботов только тогда, когда есть угроза столкновения. После обнаружения столкновения система может замедлить или остановить роботов, либо спланировать новый безопасный путь [8-9]. Недостаток таких систем – в некоторых случаях невозможно спланировать обходной путь и это необходимо делать вручную.

Таким образом, не один из подходов не позволяет в реальных условиях промышленности полностью решить задачу обеспечения движения манипуляторов с пересекающимися рабочими зонами без столкновений. Решить такую задачу в общем виде довольно сложно – это потребует разработки ин-

формационно-управляющего комплекса, поэтому в этой работе решается задача обеспечения безопасного движения рабочих органов для двух промышленных роботов, находящихся напротив друг друга. Это будет первым шагом в построении такого комплекса.

Постановка задачи

Во время решения задачи будем полагать, что программы движения для рабочих инструментов роботов уже написаны и известны.

Чтобы не допустить столкновения рабочих органов роботов в программах их движения найдем точки траекторий, в которых эти столкновения возможны. Обозначим целевую точку программы движения робота как p . Для каждой целевой точки имеются координаты центральной точки инструмента (tool center point, ТСП) робота X , номер этой точки в программе движения num , индекс точки в программе движения idx (определяется при анализе программы) и номер строки ln , в которой находится команда движения в эту точку. Программу будем представлять как набор целевых точек движения:

$$\mathcal{P}^i = (p_1^i, p_2^i, \dots, p_{k_i}^i),$$

$$p_{v_i}^i = (X_{v_i}^i, num_{v_i}^i, idx_{v_i}^i, ln_{v_i}^i),$$

где $i \in \{1, 2\}$; k_i – количество точек в программе движения i -го робота; $v_i \in \{1, 2, \dots, k_i\}$; $X_{v_i}^i = (x_{v_i}^i, y_{v_i}^i, z_{v_i}^i, 1)^T$.

Критическими $\mathcal{P}_{crit}$ будем называть точки, в которых рабочие органы роботов сближаются на расстояние d , которое меньше заданного критического d_{crit} расстояния, при котором происходит столкновение:

$$\|X_{v_1}^1 - X_{v_2}^2\| = d \leq d_{crit},$$

$$\mathcal{P}_{crit}^i = (p_{c1}^i, p_{c2}^i, \dots, p_{c l_i}^i),$$

где $X_{v_1}^1$ и $X_{v_2}^2$ – координаты точек $p_{v_1}^1$ и $p_{v_2}^2$ программ движения $\mathcal{P}^1$ и $\mathcal{P}^2$ роботов 1 и 2; l_i – количество критических точек в программе движения, $l_i < k_i$.

Для обеспечения безопасного движения рабочих органов роботов достаточно контролировать их нахождение в $\mathcal{P}_{crit}$. Тогда разрабатываемый метод должен в любой момент времени τ контролировать положение рабочих органов таким образом, чтобы они всегда находились на расстоянии d друг от друга, которое больше заданного d_{crit} . Формально это можно записать как:

$$\forall \tau \in [0, t^i] : \|X_{\tau}^1 - X_{\tau}^2\| = d > d_{crit},$$

где t^i – время выполнения программы $\mathcal{P}^i$ любого робота, X_{τ}^1 и X_{τ}^2 – координаты рабочих органов роботов 1 и 2 в момент времени τ , d_{crit} – заданное расстояние.

Разработка метода поиска критических зон и областей

Вначале необходимо сформировать массивы $\mathcal{P}^i$. Затем перевести координаты точек X^2 в систему координат первого робота для расчета расстояний d . Для эффективного поиска критических точек используем алгоритмы на основе kd -дерева. Так для каждой точки программы одного робота найдем все точки второй программы, находящиеся на расстоянии меньше заданного d_{crit} .

Так как критических точек может быть много, то для работы системы в реальном времени необходимо эффективно отслеживать нахождение роботов в этих точках. Для этого имеет смысл объединить точки, которые в программе следуют друг за другом (см. рисунок 1), в группы – зоны Z^i .

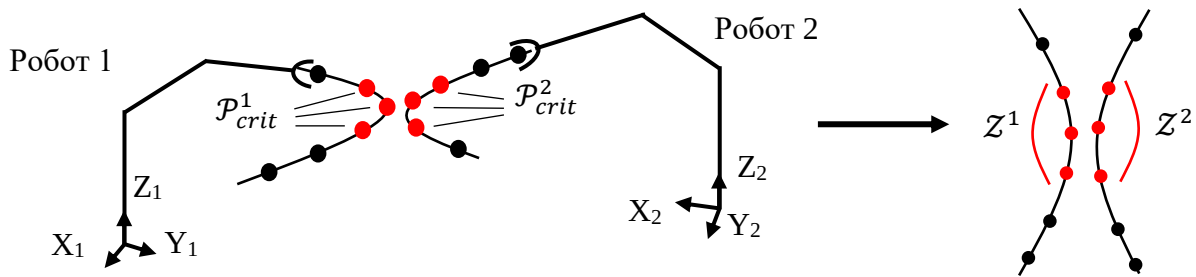


Рис. 1. Зоны критических точек

Для выделения зон анализируются индексы критических точек. Каждая зона будет представлять собой два числа – индекс точки idx_s^i , с которой она начинается, и индекс idx_e^i , которым она заканчивается:

$$Z_w^i = (idx_{ws}^i, idx_{we}^i),$$

где $w \in \{1, 2, \dots, m_i\}$, m_i – количество зон для робота i .

Чтобы движение роботов в зонах Z^i было безопасным, необходимо не допускать роботов одновременно в зоны, которые находятся напротив друг друга. Для этого объединим наборы соответствующих зон в критические области $\mathcal{S}^i$ (см. рисунок 2):

$$\mathcal{S}_w^i = (Z_1^j, \dots, Z_h^j),$$

i и j – разные роботы; $h \leq m_j$.

Теперь для безопасного движения требуется чтобы в области $\mathcal{S}^i$ находился только один робот. Например, если первый робот находится в зоне Z_2^1 , то второму роботу запрещено перемещаться в зоны Z_1^2 и Z_2^2 , то есть в область $\mathcal{S}_2^1$ (см. рисунок 2).

Контроллер робота позволяет узнать текущие положение и ориентацию рабочего инструмента, если запрашивать номера точек pit или номера строк

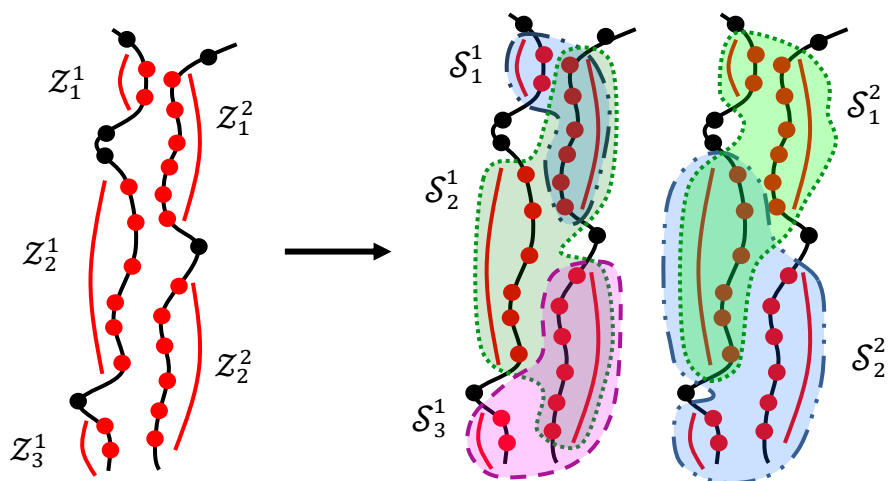


Рис. 2. Области для роботов 1 и 2

программ ln , которые он выполняет. С их помощью можно определить следующую точку, в которую движется манипулятор. Так как программы движения $\mathcal{P}^i$ известны заранее, то по текущей точке можно определить все точки, которые идут за ней. Это позволит проверить нахождение роботов в критических зонах и областях и дать соответствующее разрешение на движение.

Результаты моделирования

Для проверки работы предложенного метода была использована среда Roboguide, разработанная Fanuc (см. рисунок 3). В ней симулируется не только робот, но и интерфейс контроллера, позволяя пользователю создавать и использовать в симуляции реальные программы. Все это обеспечивает довольно точное моделирование работы роботов. При работе системы расстояние d_{crit} было принято равным 600 мм.

Разработанное ПО не вмешивается в движение роботов пока они находятся вне критических областей. Как только в критическую область попадает один из роботов, она блокируется для второго и при подходе к ней он останавливается. Когда робот покидает область она становится вновь свободной. При одновременном подходе к области приоритет имеет левый робот.

Метод тестировался на нескольких траекториях движения рабочих органов роботов. В самом сложном случае было выделено 10 зон для первого и 18 зон для второго робота. Затем они были объединены в 10 и 18 областей, соответственно. Скорость работы ПО позволяет контролировать положение рабочих органов с точностью до 0.5 мм при их движении со скоростью 2 м/с. Все возможные столкновения были предотвращены в полностью автоматическом режиме, обеспечивая безопасное выполнение программ. В дальнейшем данный метод будет расширен для применения с большим числом роботов, оптимизацией последовательности перемещений, а так же отслеживанием столкновений звеньев.

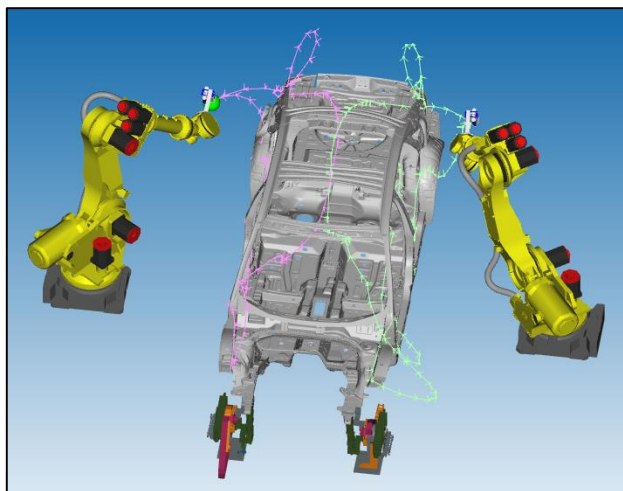


Рис. 3. Движение роботов с использованием предлагаемого метода в среде Roboguide

Работа выполнена при поддержке Программы фундаментальных научных исследований по приоритетным направлениям, определяемым Президиумом Российской академии наук, № 7 "Новые разработки в перспективных направлениях энергетики, механики и робототехники".

Список литературы

1. Siciliano, B. Springer handbook of robotics / Siciliano B., Khatib O. – Springer Science & Business Media, 2008. – 1739 p.
2. LaValle, S. Planning Algorithms. / LaValle S. – Cambridge University Press, 2006. – 844 p.
3. Пшихопов, В.Х. Управление подвижными объектами в определенных и неопределенных средах. / Пшихопов В.Х., Медведев М.Ю. – 2011. – 350 с.
4. Юдинцев, Б.С. Интеллектуальная система планирования траекторий мобильных роботов, построенная на сети Хопфилда / Юдинцев Б.С., Даринцев О.В. // Современные проблемы науки и образования. – 2014. – № 4. – С. 1-11.
5. Abu-Dakka, F.J. A direct approach to solving trajectory planning problems using genetic algorithms with dynamics in complex environments / Abu-Dakka F.J., Valero F.J., Suner J.L., Mata V.A. // Robotica. – 2015. – vol. 33(3). – P. 669-683.
6. Dobson, A. Sparse Roadmap Spanners / Dobson A., Krontiris A., Bekris K. // Algorithmic Foundations of Robotics X, Springer-Verlag Berlin Heidelberg. – 2013. – P. 279-296.
7. Jefferies, M.E. Robotics and cognitive approaches to spatial mapping. / Jefferies M.E., Yeap W. – Springer, 2008. – 330 p.
8. Kivelä, T. On-Line Path Planning with Collision Avoidance for Coordinate-Controlled Robotic Manipulators. / Kivelä, T., Mattila, J., Puura, J.// ASME/BATH 2017 Symposium on Fluid Power and Motion Control. – 2017. – P. 1-10.
9. Puiu, D. Real-time collision avoidance for redundant manipulators. / Puiu, D., Moldoveanu, F. // 6th IEEE International Symposium on Applied Computational Intelligence and Informatics (SACI). 2011 – P. 403-408.

В.Ф. Филаретов, д.т.н., профессор, filaretov@inbox.ru

А.В. Зувев, к.т.н., доцент, zuev@dvo.ru

Институт автоматизации и процессов управления ДВО РАН, г. Владивосток, Россия

Институт проблем морских технологий ДВО РАН, г. Владивосток, Россия

СИСТЕМА ДИАГНОСТИРОВАНИЯ ДВИЖИТЕЛЕЙ ПОДВОДНЫХ РОБОТОВ

Аннотация: В докладе описана система диагностирования движителей подводных роботов, которая за счет использования специального банка наблюдателей, работающих в скользящем режиме, обеспечивает обнаружение часто возникающих типовых дефектов, а также точное определение величин отклонений параметров движителей, обусловленных появлением этих дефектов.

Ключевые слова: подводный робот, движитель, дефект, диагностика, идентификация

DIAGNOSTIC SYSTEM FOR THRUSTERS OF UNDERWATER ROBOTS

V.F. Filaretov, Ph.D., professor, filaretov@inbox.ru

A.V. Zuev, Ph.D., zuev@dvo.ru

Institute of Automation and Control Processes FEB RAS, Vladivostok, Russia

Institute of Marine Technology Problems FEB RAS, Vladivostok, Russia

Abstract: The paper describes a system for diagnosing thrusters of underwater robots. This system uses special bank of observers working in the sliding mode and ensures the detection of various faults, as well as the precise determination of the values of deviations of parameters caused by the occurrence of these faults.

Key words: underwater robot, thruster, fault, diagnosis, identification

Введение

В процессе автономного функционирования подводных роботов (ПР) особое значение имеет повышение их надежности и живучести. Важнейшими элементами ПР являются движители, обеспечивающие движение этих роботов в пространстве при выполнении предписанных миссий [1]. При появлении незначительных дефектов в движителях ПР, которые проявляются в виде отклонения их параметров от номинальных значений или ошибок в показа-

ниях датчиков, для продолжения выполнения миссии необходимо обеспечить оперативное обнаружение и идентификацию этих дефектов.

Сейчас известно несколько методов синтеза систем диагностирования к дефектам в двигателях ПР [2-5]. Однако эти известные методы в основном ориентированы только на решение задачи обнаружения дефектов без идентификации их величины.

Таким образом, в докладе ставится задача разработки и исследования новой системы диагностирования двигателей ПР, которая за счет использования специального банка наблюдателей, работающих в скользящем режиме, обеспечивает обнаружение часто возникающих типовых дефектов, а также точное определение величин ошибок в показаниях датчиков и отклонений параметров двигателей от номинальных значений, обусловленных появлением этих дефектов.

Процедура синтеза этой системы включает себя три основных этапа [6]: 1) обнаружение дефектов с помощью построения невязки между банком диагностических наблюдателей и фазовыми координатами двигателей; 2) локализация дефектов за счет использования матрицы синдромов; 3) идентификация величин указанных дефектов за счет введения дополнительных наблюдателей, работающих в скользящем режиме. Далее рассмотрим описание всех указанных этапов.

Синтез системы диагностирования

Синтез диагностических наблюдателей для обнаружения дефектов предлагается осуществлять на основе логико-динамического подхода [7, 8]. В этом подходе используется следующее представление объекта диагностирования:

$$\begin{aligned}\dot{x}(t) &= Fx(t) + Gu(t) + B(t) + Dd(t), \\ y(t) &= Hx(t) + D_s d_s(t),\end{aligned}\tag{1}$$

где $x(t) \in R^n$, $u(t) \in R^m$, $y(t) \in R^l$ – векторы состояния, управления и выхода; $F \in R^{n \times n}$, $G \in R^{n \times m}$, $D \in R^{n \times q}$, $D_s \in R^{l \times s}$, $L \in R^{n \times p}$ и $H \in R^{l \times n}$ – известные матрицы; $B \in R^n$ – вектор-функция, описывающая нелинейную часть модели; $d(t) \in R^q$ – вектор-функция, описывающая дефекты; $d_s(t) \in R^s$ – вектор-функция, описывающая ошибки в показаниях датчиков. Матрицы и вектора модели (1), описывающей двигатель ПР имеют вид [9, 10]:

$$\begin{aligned}G &= \begin{bmatrix} 0 \\ 1/L \end{bmatrix}, H = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix}, D = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix}, D_s = \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \end{bmatrix}, x(t) = \begin{bmatrix} w(t) \\ I(t) \end{bmatrix}, \\ y(t) &= \begin{bmatrix} w(t) \\ I(t) \end{bmatrix}, B(t) = \begin{bmatrix} -M(t)/J \\ 0 \end{bmatrix}, F = \begin{bmatrix} -k_{xx}/J & k_m/J \\ -k_w/L & -R/L \end{bmatrix},\end{aligned}$$

где k_{xx} – коэффициент момента потерь холостого хода; J – момент инерции ротора электродвигателя; $I(t)$, $R(t)$ и $L(t)$ – ток, сопротивление и индуктивность якоря электродвигателя; k_m – коэффициент момента; k_w – коэффициент противо ЭДС; $w(t)$ – скорость вращения ротора; $M(t) = (k_1 + k_2 \lambda +$

$k_3\lambda^2 + k_4\lambda^3)\rho w(t)|w(t)|D_v^5$ – момент нагрузки, ρ – плотность воды, D_v – диаметр винта, k_1, k_2, k_3, k_4 – известные постоянные коэффициенты; $\lambda = \frac{w(t)}{v(t)D}$; $v(t)$ – скорость движения ПР.

Предполагается, что в движителе возможны следующие типовые дефекты: $d_1(t) = -\tilde{M}/J$ – дефект, обусловленный возникновением дополнительного момента нагрузки $\tilde{M}$ (например, за счет намотки травы на винт); $d_2(t) = -\tilde{R}I(t)/L$ – дефект, обусловленный изменением сопротивления якоря электродвигателя на величину $\tilde{R}$; $d_s(t) = \tilde{w}(t)$ – ошибка в показаниях датчика угловой скорости электродвигателя.

В матричном виде диагностические наблюдатели, полученные на основе модели (1), описываются уравнениями [7, 8]

$$\begin{aligned}\dot{x}_*(t) &= F_*x_*(t) + G_*u(t) + B_*(t) + J_*y(t) + D_*d(t), \\ y_*(t) &= H_*x_*(t),\end{aligned}\quad (2)$$

где $x_* \in R^k$ – вектор состояния размерности $k \leq n$, F_* , G_* , J_* , H_* , D_* и L_* – постоянные матрицы. Предполагается [7, 8], что при отсутствии дефектов выполняются равенства $x_*(t) = \Phi x(t)$ и $y_*(t) = R_*y(t)$ для некоторых матриц Φ и R_* , удовлетворяющих условиям

$$\Phi F = F_*\Phi + J_*H, \quad R_*H_* = H\Phi, \quad G_* = \Phi G, \quad D_* = \Phi D, \quad L_* = \Phi L. \quad (3)$$

Невязка $r(t) = R_*y(t) - y_*(t)$, формируемая диагностическими наблюдателями (2) будет чувствительна к i -му дефекту $d_i(t)$ ($i = \overline{1,2}$) при выполнении условия $\Phi D_i \neq 0$, в противном случае – нечувствительна. Кроме того, невязка будет чувствительна к ошибкам в показаниях датчика скорости при условии $J_*D_s \neq 0$ или $R_*D_s \neq 0$. Для решения задачи локализации рассмотренных дефектов был построен банк из трёх диагностических наблюдателей, каждый из которых инвариантен (нечувствителен) к одной группе дефектов и чувствителен к другой. Эти наблюдатели в общем виде имеют описание (2) со следующими матрицами и векторами:

1) наблюдатель ДН₁, чувствительный к $d_2(t)$ и $d_s(t)$: $F_* = 0$, $H_* = 1$, $R_* = \Phi = [0 \ 1]$, $J_* = [-k_w/L \ -R/L]$, $G_* = 1/L$, $B_*(t) = 0$;

2) наблюдатель ДН₂, чувствительный к $d_1(t)$ и $d_s(t)$: $F_* = 0$, $H_* = 1$, $R_* = \Phi = [1 \ 0]$, $J_* = [-k_{xx}/J \ k_m/J]$, $G_* = 0$, $B_*(t) = -M(t)/J$;

3) наблюдатель ДН₃, чувствительный к $d_1(t)$ и $d_2(t)$: $F_* = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ 0 & 0 \end{bmatrix}$, $H_* = [1 \ 0]$, $R_* = [0 \ 1]$, $J_* = \begin{bmatrix} 0 & -k_{xx}/J - R/L \\ 0 & -k_m k_w/JL - k_{xx}R/JL \end{bmatrix}$, $\Phi = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ -k_w/L & k_{xx}/J \end{bmatrix}$, $G_* = \begin{bmatrix} 1/L \\ -k_{xx}/JL \end{bmatrix}$, $B_*(t) = \begin{bmatrix} 0 \\ M(t)k_w/LJ \end{bmatrix}$.

Решение о возникшем дефекте принимается на основе матрицы синдромов S :

$$S = \begin{array}{c} r_1(t) \\ r_2(t) \\ r_3(t) \end{array} \begin{array}{|c|c|c|} \hline d_1(t) & d_2(t) & d_s(t) \\ \hline 0 & 1 & 1 \\ \hline 1 & 0 & 1 \\ \hline 1 & 1 & 0 \\ \hline \end{array}$$

где $r_1(t)$, $r_2(t)$, $r_3(t)$ – невязки, формируемые наблюдателями ДН₁, ДН₂, ДН₃, соответственно.

Для идентификации дефектов (т.е. определения величин ошибок в показаниях датчиков и отклонений параметров движителей от номинальных значений, обусловленных появлением этих дефектов) в докладе предлагается использовать дополнительные наблюдатели, работающие в скользящем режиме [11]. Для идентификации величин дефектов $d_1(t)$ и $d_2(t)$ они строятся на основе наблюдателей Н₁ и Н₂ в виде

$$\begin{aligned} \dot{x}_*(t) &= F_*x_*(t) + G_*u(t) + J_*y(t) + B_*(t) - \Phi Dv(t) + Ke_y(t), \\ y_*(t) &= H_*x_*(t), \end{aligned} \quad (4)$$

где матрица K выбирается так, чтобы $F_{**} = F_* - KH_*$ стала устойчивой матрицей, $v(t) = \begin{cases} -g \frac{Qe_y(t)}{\|Qe_y(t)\|}, & \text{если } e_y(t) \neq 0, \\ 0 & \text{в противном случае,} \end{cases}$ $e_y(t) = y_*(t) - R_*y(t)$ – ошибка

по выходу; правила выбора матрицы Q и положительного скаляра g обсуждаются ниже.

Введем ошибку по состоянию $e(t) = x_*(t) - \Phi x(t)$; нетрудно видеть, что $e_y(t) = H_*e(t)$. Используя (2) и (4), запишем уравнение динамики ошибки $e(t)$:

$$\dot{e}(t) = F_*e(t) + D_*(v(t) - d(t)) - Ke_y(t) = F_{**}e(t) + \Phi D(v(t) - d(t)).$$

Предполагается, что существуют матрица Q и симметрическая положительно определенная матрица P такие, что $PD_* = H_*^T Q^T$.

Скаляр g выбирается из условия $g > \|d(t)\|$. Так как матрица F_{**} устойчива, то существует симметрическая положительно определенная матрица W такая, что $F_{**}^T P + PF_{**} = -W$. При указанном выборе матрицы Q и скаляра g наблюдатель (4) сходится асимптотически, т.е. $\lim_{t \rightarrow \infty} e(t) = 0$.

Поскольку в скользящем режиме $\dot{e}(t) = 0$ и $e(t) = 0$, то $D_*(v_{eq}(t) - d(t)) = 0$, где $v_{eq}(t)$ – сигнал, эквивалентный сигналу $v(t)$, который может быть получен пропусканием $v(t)$ через фильтр низких частот. Тогда функции $\tilde{M}(t)$ и $\tilde{R}(t)$ могут быть оценены в виде: $\tilde{M}(t) = -v_{eq}(t)J$, $\tilde{R}(t) = -v_{eq}(t)L/I(t)$.

Для идентификации величины ошибки $d_s(t)$ скользящий наблюдатель строится на основе наблюдателя Н₁ в виде

$$\begin{aligned} \dot{x}_*(t) &= F_*x_*(t) + G_*u(t) + J_*y(t) + B_*(t) + J_*D_s v(t) + Ke_y(t), \\ y_*(t) &= H_*x_*(t), \end{aligned} \quad (5)$$

где K и $v(t)$ выбираются аналогично наблюдателю (4). Величина ошибки может быть идентифицирована как $\tilde{w}(t) = -v_{eq}(t)$. Таким образом удастся

обеспечить идентификацию дефектов, возникающих в двигателях ПР.

Для проверки эффективности предлагаемого подхода было выполнено моделирование работы двигателя ПР, оснащенного системой диагностирования. При этом в систему вводились все рассмотренные типовые дефекты. На рис. 1 показаны величина введенного в ходе моделирования дополнительного внешнего момента на валу двигателя $\tilde{M}(t)$ (кривая 1) и результат её идентификации (кривая 2). В ходе моделирования ошибка идентификации величины $\tilde{M}(t)$ не превышала 3% (см. рис. 2). Аналогичные результаты были получены для других типов дефектов.

Таким образом, результаты проведенных исследований показали работоспособность и высокое качество синтезированных наблюдателей. Во всех рассмотренных случаях удалось своевременно обнаружить факт появления дефекта, а также обеспечить определение его величины.

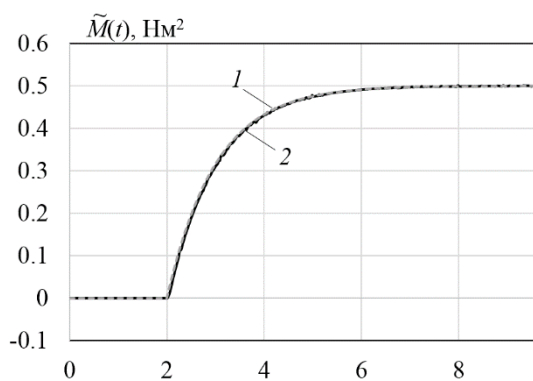


Рис. 1. Результат идентификации величины $\tilde{M}(t)$

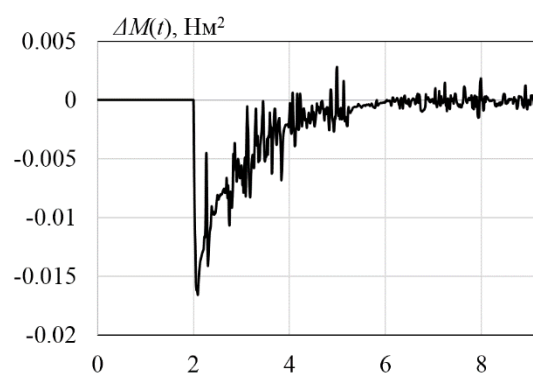


Рис. 2. Ошибка идентификации дефекта $\tilde{M}(t)$

Заключение

В работе предложена и исследована система диагностирования двигателей ПР, позволяющая обнаруживать и идентифицировать возникающие типовые дефекты. Рассмотрена новая процедура синтеза таких систем, включающая в себя три основных этапа: 1) обнаружение возникающих дефектов с помощью построения невязки между банком диагностических наблюдателей и фазовыми координатами двигателей; 2) локализацию дефектов за счет использования матрицы синдромов; 3) идентификацию величин дефектов за счет введения наблюдателей, работающих в скользящем режиме.

Исследование выполнено при финансовой поддержке Программы фундаментальных исследований РАН по приоритетным направлениям, определяемым президиумом РАН №7 «Новые разработки в перспективных направлениях энергетики, механики и робототехники», а также грантом Президента РФ МК-1987.2018.8.

Список литературы

1. Инзарцев А.В., Киселев Л.В., Костенко В.В., Матвиенко Ю.В., Павин А.М., Щербатюк А.Ф. Подводные робототехнические комплексы: системы, технологии, применение / под ред. Л.В. Киселева. Владивосток: Дальпресс, 2018. – 367 с.
2. Жирабок А.Н., Писарец А.М. Диагностирование датчиков подводных роботов // Мехатроника, автоматизация, управление. – 2004. – № 9. – С.15-21.
3. Жирабок А.Н., Писарец А.М. Об одном подходе к диагностированию движителей подводных аппаратов // Труды межд. НТК «Технические проблемы освоения мирового океана», Владивосток: ИПМТ ДВО РАН. – 2005. – С.71-77.
4. Antonelli G. Caccavale F. Sansone C. Villani L. Fault diagnosis for AUVs using support vector machines // Proceedings of IEEE International Conference on Robotics and Automation. – 2004. – Vol.5. – P. 4486 – 4491.
5. Alessandri A., Caccia M., Verruggio G. A Model-Based Approach to Fault Diagnosis in Unmanned Underwater Vehicles // Proceedings of Oceans. Nice, France. – 1998. – P. 825–829.
6. Филаретов В.Ф., Зуев А.В., Проценко А.А. Метод синтеза наблюдателей для определения величин возникающих дефектов робототехнических системах // Сборник докладов VIII Всероссийской научно-технической конференции с международным участием «Робототехника и искусственный интеллект», г. Железногорск, Россия. – 2016. – С. 100-106.
7. Жирабок А.Н., Шумский А.Е., Павлов С.В. Диагностирование линейных динамических систем непараметрическим методом // Автоматика и телемеханика. – 2017. – № 7. – С. 3-21.
8. Жирабок А.Н., Усольцев С.А. Линейные методы при диагностировании нелинейных систем – Автоматика и телемеханика. – 2000. – № 7. – С. 149-159.
9. Горнак В.Е., Костенко В.В. Расчетно-экспериментальная методика определения экс-плуатационных характеристик гребного электропривода подводного аппарата // Подводные исследования и робототехника. 2007. – №2 (4). – С.30-33.
10. Борейко А.А., Горнак В.Е., Костенко В.В., Найдено Н.А., Хмельков Д.Б. Опыт раз-работки вентильного электропривода движителей подводного аппарата. // Материалы научно-технической конференции «Технические проблемы освоения мирового океана». Владивосток, Россия. – 2007. – С.135-140.
11. Жирабок А.Н., Шумский А.Е., Зуев А.В. Подход к диагностированию линейных систем на основе скользящих наблюдателей // Мехатроника, автоматизация, управление. –2017. – Том 18, №11. – С. 728-733.

В.Ф. Филаретов, д.т.н., профессор, filaretov@inbox.ru

А.В. Зуев, к.т.н., доцент, zuev@iacp.dvo.ru

А.А. Проценко, инженер, pro293133@gmail.com

Институт автоматизации и процессов управления ДВО РАН, г. Владивосток, Россия

Институт проблем морских технологий ДВО РАН, г. Владивосток, Россия

РАЗРАБОТКА ОБОБЩЕННОГО ПОДХОДА К СИНТЕЗУ СИСТЕМ ДИАГНОСТИРОВАНИЯ И АККОМОДАЦИИ К ДЕФЕКТАМ В ИСПОЛНИТЕЛЬНЫХ ЭЛЕМЕНТАХ И ДАТЧИКАХ РОБОТОВ

Аннотация: В докладе описывается обобщенный подход к синтезу систем диагностирования и аккомодации к типовым дефектам в исполнительных элементах и датчиках роботов, которые обеспечивают свойства инвариантности роботов к указанным дефектам.

Ключевые слова: робототехническая система, исполнительный элемент, датчик, диагностирование, аккомодация

DEVELOPMENT OF A GENERALIZED APPROACH TO SYSTEM SYNTHESIS OF DIAGNOSIS AND ACCOMODATION TO FAULTS IN EXECUTIVE ELEMENTS AND SENSORS OF ROBOT

V.F. Filaretov, Ph.D., professor, filaretov@inbox.ru

A.V. Zuev, Ph.D., zuev@dvo.ru

A.A. Protchenko, engineer, pro293133@gmail.com

Institute of Automation and Control Processes FEB RAS, Vladivostok, Russia

Institute of Marine Technology Problems FEB RAS, Vladivostok, Russia

Abstract: The paper describes a generalized approach to the synthesis of diagnostic and accommodation systems for typical faults in actuators and sensors of robots. These systems provide robotic invariance properties to these faults.

Key words: robotic system, actuator, sensor, diagnosis, accommodation

В процессе работы различных робототехнических систем (многозвенные манипуляторы, мобильные роботы, подводные аппараты) особое значение имеет повышение их надежности, безопасности и живучести. Важнейшими элементами роботов, от которых зависит их работоспособность, являются исполнительные элементы (ИЭ), обеспечивающие движение этих роботов в пространстве при выполнении миссий и технологических опера-

ций, а также различные датчики, показания которых используются системами управления для формирования и обработки траекторий движения [1]. Любые непредвиденные изменения параметров ИЭ, а также появление ошибок в показаниях их датчиков приводят к появлению брака, аварийным ситуациям или поломке/потере дорогостоящего робота.

Одним из направлений повышения надежности и эффективности эксплуатации роботов является оперативное обнаружение неисправностей в указанных устройствах [2, 3], а также введение специальных автоматических средств аккомодации к возникающим дефектам [4, 5], которые позволяют гарантированно сохранять работоспособность и обеспечивать стабилизацию важнейших характеристик роботов в процессе выполнения любых заданий, технологических операций и автономных миссий.

Таким образом, в докладе описан новый обобщенный подход к синтезу систем диагностирования неисправностей и непрерывной аккомодации к дефектам в ИЭ и датчиках роботов. Этот новый подход включает себя три этапа – обнаружение возникающих дефектов с помощью построения невязки между банком специально синтезируемых диагностических наблюдателей (ДН) и фазовыми координатами роботов, точную идентификацию величин указанных дефектов и формирование дополнительных управляющих сигналов, гарантирующих оперативную компенсацию (аккомодацию) возникающих дефектов.

В работе рассмотрены основные типы дефектов, которые могут возникать в традиционно используемых ИЭ роботов, построенных на основе электродвигателей постоянного тока [1]: 1) дефекты $d_1(t)$, обусловленный появлением ошибок $\hat{\alpha}_n(t)$ измерения углов $\alpha_n(t)$ датчиками положения выходных валов электроприводов; 2) дефекты $d_2(t)$, обусловленные изменениями номинальных моментов сухих трений $M_{тр}$ на величины $\hat{M}_{тр}$ (это изменение может быть обусловлено ухудшением свойств смазки, разрушениями подшипников, попаданием мусора после износа уплотняющих манжет и т.д.); 3) дефекты $d_3(t)$, обусловленные изменениями номинальных значений R активных сопротивлений якорных цепей электродвигателей на величины $\hat{R}$ (например, при значительном нагреве электроприводов или замыканиях некоторых витков).

Для выявления указанных дефектов сформирован банк ДН [1], позволяющий за счет анализа специальной матрицы синдромов однозначно определять наличие конкретной неисправности:

1) ДН⁽¹⁾, чувствительный к d_2 и d_3 , но инвариантный к d_1 :

$$\dot{x}_{*1}^{(1)}(t) = x_{*2}^{(1)}(t) + \frac{k_y}{L} U(t) - \left[\frac{(k_e + h^*(t))L + (J + H^*(t))R}{(J + H^*(t))L} \right] I(t),$$

$$\dot{x}_{*2}^{(1)}(t) = \frac{(k_e + h^*(t))k_y}{(J + H^*(t))L} U(t) - \left[\frac{k_m k_\omega + (k_e + h^*(t))R}{(J + H^*(t))L} \right] I(t) + \frac{k_\omega M_E^*(t)}{L(J + H^*(t))} +$$

$$+ \frac{k_{\omega} M_{\text{тр}}}{L(J + H^*(t))} \text{sign}\left(\frac{L(\frac{k_{\epsilon} + h^*(t)}{J + H^*(t)} I(t) - x_{*2}^{(1)}(t))}{k_{\omega}}\right),$$

$$y_*^{(1)}(t) = x_{*1}^{(1)}(t), \quad r^{(1)}(t) = I(t) - x_{*1}^{(1)}(t); \quad (1)$$

2) ДН⁽²⁾, чувствительный к d_1 и d_3 , но инвариантный к d_2 :

$$\dot{x}_*^{(2)}(t) = \frac{k_y}{k_{\omega} i_p} U(t) - \frac{R}{k_{\omega} i_p} I(t),$$

$$y_*^{(2)}(t) = x_*^{(2)}(t), \quad r^{(2)}(t) = \alpha_n(t) + \frac{L}{i_p k_{\omega}} I(t) - x_*^{(2)}(t); \quad (2)$$

3) ДН⁽³⁾, чувствительный к d_1 и d_2 , но инвариантный к d_3 :

$$\dot{x}_{*1}^{(3)}(t) = x_{*2}^{(3)}(t) - \frac{k_{\epsilon} + h^*(t)}{J + H^*(t)} \alpha_n(t),$$

$$\dot{x}_{*2}^{(3)}(t) = \frac{k_m}{(J + H^*(t)) i_p} I(t) - \frac{1}{i_p} \left[\frac{M_E^*(t)}{(J + H^*(t))} + \right. \quad (3)$$

$$\left. + \frac{M_{\text{тр}}}{(J + H^*(t))} \text{sign}(i_p x_{*2}^{(3)} - i_p \frac{k_{\epsilon} + h^*(t)}{J + H^*(t)} \alpha_n(t)) \right],$$

$$y_*^{(3)}(t) = x_{*1}^{(3)}(t), \quad r^{(3)}(t) = \alpha_n(t) - x_{*1}^{(3)}(t),$$

где $r^{(i)}$ – невязка, формируемая i -ым ДН ($i = \overline{1,3}$); $y_*^{(i)}(t)$ – выходной сигнал i -го ДН; $x_{*1}^{(i)}(t)$, $x_{*2}^{(i)}(t)$ – элементы вектора состояния i -го ДН; $I(t)$ – ток якоря; R – номинальное активное сопротивление цепи якоря; L – индуктивность цепи якоря; k_{ω} – коэффициент противо ЭДС.; k_y – коэффициент усиления усилителя мощности; k_{ϵ} – коэффициент вязкого трения; k_m – коэффициент крутящего момента; J – момент инерции ротора электродвигателя и вращающихся частей редуктора, приведенный в этому ротору; i_p – передаточное отношение редуктора; $U(t)$ – входное напряжение электропривода; $H^*(t)$ – компонента, характеризующая инерционные свойства соответствующей степени подвижности робота; $h^*(t)$ – компонента кориолисовых и скоростных сил; $M_E^*(t)$ – моментное воздействие, учитывающее гравитационные силы и эффекты взаимовлияний между всеми степенями подвижности робота.

Банк наблюдателей (1)-(3) с помощью матрицы синдромов позволяет однозначно определять наличие и тип дефектов в ИЭ и датчиках положения роботов согласно полученным невязкам: 1) если $r^{(2)} \neq 0$, $r^{(3)} \neq 0$ и $r^{(1)} = 0$, то появился дефект, соответствующий функции d_1 ; 2) если $r^{(1)} \neq 0$, $r^{(3)} \neq 0$ и $r^{(2)} = 0$, то – d_2 ; 3) если $r^{(1)} \neq 0$, $r^{(2)} \neq 0$ и $r^{(3)} = 0$, то – d_3 . Однако, для решения задачи аккомодации к дефектам кроме фиксации факта появления дефекта необходимо также идентифицировать величины ошибок в сигналах, получаемых от датчиков, и отклонений параметров ИЭ роботов от своих номинальных значений, обусловленных появлением этих дефектов.

Определение величин указанных ошибок и отклонений параметров ИЭ осуществлялось за счет дополнительных наблюдателей [6, 7], содержащих

обратную связь по сигналу невязки. Для определения величин d_1 и d_3 . необходимо использовать дополнительный наблюдатель, по виду совпадающий с ДН⁽²⁾, но содержащий связь по сигналу невязки:

$$\dot{\tilde{x}}_*(t) = \frac{k_y}{k_\omega i_p} U(t) - \frac{R}{k_\omega i_p} I(t) + \bar{k} \bar{r}(t), \quad \bar{r}(t) = \alpha_n(t) + \frac{L}{i_p k_\omega} I(t) - \tilde{x}_*(t), \quad (4)$$

где $\tilde{x}_*(t)$ – переменная состояния наблюдателя, $\bar{k}$ – положительная константа, $\bar{r}(t)$ – невязка, формируемая дополнительным наблюдателем. При этом ошибка измерения угла датчиком положения и отклонение величины активного сопротивления цепи якоря от своего номинального значения определяются с помощью (4) в виде $\hat{\alpha}_n = \bar{k} \int \bar{r} dt$ (при $d_3=0$) и $\hat{R}(t) = \frac{\bar{k} k_\omega i_p \bar{r}(t)}{I(t)}$ (при $d_1=0$), соответственно.

Для определения величины функции d_2 и, соответственно $\hat{M}_{тр}(t)$, предложен следующий дополнительный наблюдатель, работающий в скользящем режиме:

$$\begin{aligned} \dot{\tilde{x}}_{*1}^{(1)}(t) &= \tilde{x}_{*2}^{(1)}(t) + \frac{k_y}{L} U(t) - \left[\frac{(k_\epsilon + h^*(t))L + (J + H^*(t))R}{(J + H^*(t))L} \right] I(t) + \tilde{k}_1 \tilde{r}^{(1)}(t), \\ \dot{\tilde{x}}_{*2}^{(1)}(t) &= \frac{(k_\epsilon + h^*(t))k_y}{(J + H^*(t))L} U(t) - \left[\frac{k_M k_\omega + (k_\epsilon + h^*(t))R}{(J + H^*(t))L} \right] I(t) + \frac{k_\omega M_E^*(t)}{L(J + H^*(t))} + \\ &+ \frac{k_\omega M_{тр}}{L(J + H^*(t))} \text{sign}\left(\frac{L\left(\frac{k_\epsilon + h^*(t)}{J + H^*(t)} I(t) - \tilde{x}_{*2}^{(1)}(t)\right)}{k_\omega}\right) + \tilde{k}_2 \tilde{r}^{(1)}(t) + a_2(t) \\ &+ \frac{k_\omega}{L} v(\tilde{r}^{(1)}(t)), \\ \tilde{y}_{*1}^{(1)}(t) &= \tilde{x}_{*1}^{(1)}(t), \quad \tilde{r}^{(1)}(t) = I(t) - \tilde{x}_{*1}^{(1)}(t), \end{aligned} \quad (5)$$

где $\tilde{k}_1, \tilde{k}_2$ – положительные константы, $v(\tilde{r}^{(1)}(t)) = \begin{cases} g \frac{\tilde{r}^{(1)}(t)}{\|\tilde{r}^{(1)}(t)\|}, & \text{если } \tilde{r}^{(1)}(t) \neq 0, \\ 0 & \text{в противном случае,} \end{cases}$ g – скаляр, удовлетворяющий условию $g > \|d_2(t)\| + \frac{2M_{тр}}{J + H^*(t)}$.

Величина функции d_2 определяется с помощью наблюдателя (5) по соотношению $d_2(t) = v_3(t)$, где $v_3(t)$ – сигнал $v(\tilde{r}^{(1)}(t))$, пропущенный через фильтр низких частот, а оценка $\hat{M}_{тр}(t)$ может быть получена с помощью выражения: $\hat{M}_{тр}(t) = -v_3(J + H^*(t)) \text{sign}\left(\frac{L\left(\frac{k_\epsilon + h^*(t)}{J + H^*(t)} I(t) - \tilde{x}_{*2}^{(1)}(t)\right)}{k_\omega}\right)$.

Для нейтрализации последствий появления рассмотренных дефектов предложено использовать новый подход к структурному синтезу нелинейных систем автоматического управления и развитие на его основе методы построения самонастраивающихся корректирующих устройств [8], которые за счет использования дополнительных сигналов невязок в законах самона-

стройки могут успешно компенсировать появляющиеся дефекты, обеспечивая точную стабилизацию динамических свойств ИЭ роботов. Полученный закон формирования выходных сигналов систем аккомодации к изменениям величин активных сопротивлений якорных обмоток и моментов сухих трений каждого ИЭ с учетом сигналов $\hat{M}_{тр}(t)$ и $\hat{R}(t)$ имеет вид [9]:

$$U(t) = \frac{(J + H^*(t))}{J_n} \tilde{U}(t) + \frac{1}{k_y k_m} [L(2h^*(t) + k_\epsilon) + \hat{R}(J + H^*(t))] \ddot{\alpha}(t) + \\ + \frac{1}{k_y k_m} [L\dot{h}^*(t) + (R + \hat{R})(h^*(t) + k_\epsilon) + k_\omega k_m (1 - \frac{(J + H^*(t))}{J_n})] \dot{\alpha}(t) + \\ + \frac{(R + \hat{R})}{k_y k_m} [M_\epsilon^*(t) + (M_{тр} + \hat{M}_{тр}) \text{sign}(\dot{\alpha}(t))] + \frac{L}{k_y k_m} \dot{M}_\epsilon^*(t),$$

где J_n – номинальный момент инерции ротора электродвигателя и вращающихся частей редуктора; $\tilde{U}(t)$ – сигнал управления, поступающий на вход системы аккомодации.

Если выявляется ошибка в показаниях датчика положения одного из ИЭ роботов, то в системе аккомодации формируется сигнал $\alpha_n^{оц}(t) = \alpha_n^{ош}(t) - \hat{\alpha}_n(t)$ оценки реального положения выходного вала ИЭ, где $\alpha_n^{ош}(t)$ – сигнал датчика положения, содержащий ошибку. Затем эта оценка используется системой управления ИЭ.

Структурная схема ИЭ роботов с синтезированной системой аккомодации показана на рис. 1, где БОИ – блок обнаружения и идентификации дефектов, Р – регулятор, СКУ – самонастраивающееся корректирующее устройство.

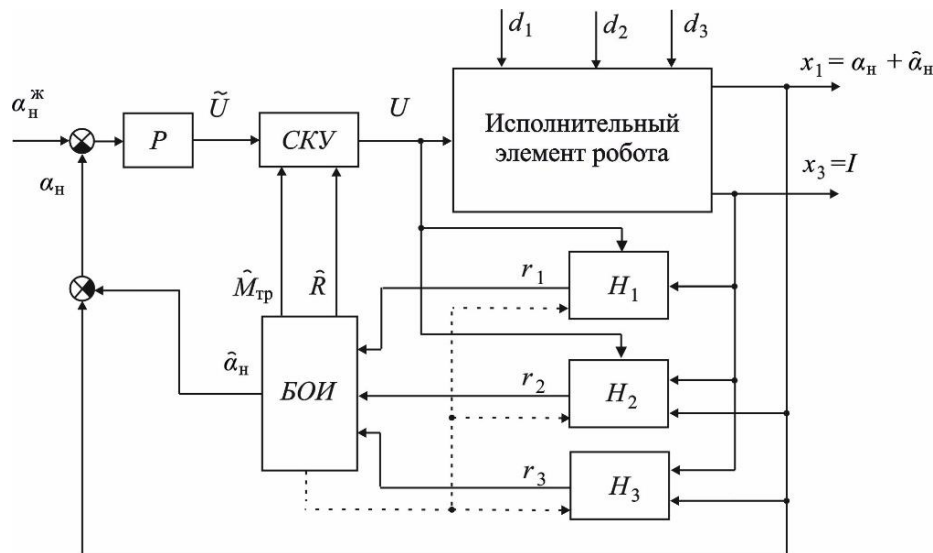


Рис.1. Структурная схема синтезированной системой аккомодации

Результаты натурных исследований показали, что при появлении незначительных отклонений от номинальных значений сухих трений (до 50%), активных сопротивлений якорей двигателей (до 10%) и в показаниях датчи-

ков положения выходных валов ИЭ (до 0.005 рад) после введения созданных систем аккомодации динамические ошибки управления рабочими органами манипуляторов возрастали не более, чем на 8%, а без этих систем до 12 раз.

Таким образом результаты натурных испытаний подтвердили работоспособность и эффективность предложенного метода синтеза систем аккомодации.

Исследование выполнено при финансовой поддержке программы «Дальний Восток» в рамках научного проекта 18-5-054 (разработка системы идентификации)? А также гранта Президента РФ МК-1987.2018.8.

Список литературы

1. Филаретов В.Ф., Зуев А.В., Губанков А.С. Управление манипуляторами при выполнении различных технологических операций. – М.: Наука, 2018. – 232 с.
2. Patton R.J., Frank P.M., Clark R.N. Issues of Fault Diagnosis for Dynamic Systems. – Springer-Verlag London, 2000. – 579 p.
3. Chen J., Patton R.J. Robust Model-Based Fault Diagnosis for Dynamic Systems. – Kluwer Academic Publisher. Boston, 1999. – 356 p.
4. Blanke, M., M. Kinnaert, J. Lunze, and M. Staroswiecki. Diagnosis and Fault Tolerant Control. – Springer-Verlag, 2016. – 695 p.
5. Weng, Z., R. Patton, and P. Cui. Active fault-tolerant control of a double inverted pendulum // Proc. IFAC Symp. Safeprocess-2006. Beijing, China. – 2006. – P.1591–1596.
6. Жирабок А.Н., Шумский А.Е., Зуев А.В. Подход к диагностированию линейных систем на основе скользящих наблюдателей // Мехатроника, автоматизация, управление. – 2017. – Т. 18. – № 11. – С. 728-733.
7. Filaretov V., Zhirabok A., Protchenko A., Zuev A. Fault identification in nonlinear dynamic systems // Proc. of the 5th International Conference on Systems and Control. – 2016. – P. 273-277.
8. Filaretov, V. and M. Vukobratovic. Synthesis of adaptive robot control systems for simplified forms of driving torques. Mechatronics. – 1995. – V. 5. – P. 41 – 59.
9. Filaretov V.F., Zhirabok A.N., Zuev A., Protchenko A. The development of the faults accommodation system for actuators of multilink manipulators // Proc. of the 23rd DAAAM International Symposium on Intelligent Manufacturing and Automation. – 2012. – P. 575-578.

Секция 2

СПЕЦИАЛЬНАЯ РОБОТОТЕХНИКА

РАЗРАБОТКА МЕТОДА ФОРМИРОВАНИЯ ПРОГРАММНЫХ СИГНАЛОВ ДВИЖЕНИЯ ПОДВОДНОГО АППАРАТА ПО ТРАЕКТОРИИ, ОПИСЫВАЕМОЙ ПАРАМЕТРИЧЕСКОЙ КРИВОЙ

Аннотация: В работе получены аналитические выражения, описывающие изменения величин сил тяг и моментов, развиваемых движительным комплексом необитаемого подводного аппарата (НПА), необходимых для его движения по траектории, описываемой параметрическим сплайном третьего порядка с заданной скоростью. Полученные выражения могут быть использованы для формирования сигналов управления движением НПА, учета насыщений движителей и определения возможных дефектов в движительном комплексе. Результаты моделирования подтверждают работоспособность предложенного метода формирования программных сигналов движения НПА.

Ключевые слова: НПА, движительный комплекс, параметрическая кривая, кривизна

DEVELOPMENT OF THE METHOD FOR GENERATING THE PROGRAM SIGNALS OF MOTION OF THE AUV ALONG A TRAJECTORY GIVEN BY PARAMETRIC CURVE

S.V. Karmanova, master student, karsvtln@gmail.com
FEFU, Vladivostok, Russia

Abstract: The paper presents analytical expressions describing the changes in the forces and moments of the propulsion system of an autonomous underwater vehicle (AUV), that are required to move the AUV along the trajectory described by a third-order parametric spline with a given speed. The obtained expressions can be used to generate the motion control signals of the AUV, to take into account the saturation of the thrusters and to determine possible defects in the propulsion system. The simulation results confirm the efficiency of the proposed method for generating the program signals of the AUV motion.

Key words: AUV, propulsion system, parametric curve, curvature

1. Введение

В настоящее время задачи, выполняемые необитаемыми подводными аппаратами (НПА) усложняются и не ограничиваются выполнением простых обзорных миссий. НПА должны двигаться по сложным пространственным траекториям, которые часто описываются параметрическими сплайнами. При этом движение по указанным траекториям приводит к появлению взаимовлияний между каналами управления этих НПА, что в свою очередь может приводить ко входу движителей НПА в насыщения и сходу НПА с заданной траектории. Поэтому, чтобы избежать описанной проблемы необходимо формировать сигналы программного движения в соответствии с заданной траекторией движения и запасом мощности конкретного НПА так, чтобы движители не входили в режим насыщения. Для решения этой задачи существует несколько подходов.

1. Выбор постоянного значения скорости движения НПА при котором движители не будут входить в насыщения на любом участке траектории.

2. Введение дополнительного контура коррекции программной скорости [1].

3. Использование аналитических выражений для формирования величины корректной величины программной скорости [2].

Однако, методы косвенного учета насыщений движителей за счет формирования программной скорости движения имеют небольшое быстродействие, что приводит к тому, что программная скорость начинает корректироваться только после того, как был обнаружен факт входа движителей в насыщения.

Поэтому в работе будет решаться задача получения аналитических выражений, описывающих зависимость требуемых управляющих воздействий от формы заданной траектории движения и программной скорости, что позволит быстро и точно реагировать на вход движителей в насыщения.

2. Постановка задачи

В работе считалось, что программная скорость движения НПА является постоянной, а заданная траектория движения формируется на основе сплайновых кривых, так как они позволяют спланировать гладкую траекторию, которая не приводит к резким изменениям скорости или направления этого движения.

При этом для простоты рассматривается динамическая модель движения подводного аппарата в горизонтальной плоскости, которая описывается системой уравнений вида:

$$\begin{aligned} M\ddot{u} &= \tau - (C(u) + D(u))\dot{u}, \\ \dot{\eta} &= J(\eta)\dot{u}, \end{aligned} \quad (1)$$

где $M \in R^{3 \times 3}$ — матрица инерции НПА (включающая присоединенные массы и моменты инерции жидкости); $C(u) \in R^{3 \times 3}$ — матрица кориолисовых и центро-

бежных сил; $D(v) = D + D_n(v) \in R^{3 \times 3}$ – матрица гидродинамических сил и моментов; $\eta = [x, y, \psi]^T \in R^3$ – вектор положения и ориентации НПА в абсолютной СК (АСК); ψ – угол курса НПА; $\tau = [\tau_u, \tau_v, \tau_r]^T \in R^3$ – вектор проекций тяг и моментов двигателей НПА на оси связанной с ним СК (ССК); $v = [u, v, r]^T \in R^3$ – вектор проекций линейной и угловой скоростей движения НПА на оси ССК, $J(\eta)$ – матрица, обеспечивающая переход от связанной к абсолютной системе координат (АСК).

Матрицы $J(\eta)$, M , $C(v)$ и $D(v)$ имеют вид:

$$J(\eta) = \begin{bmatrix} \cos(\psi) & -\sin(\psi) & 0 \\ \sin(\psi) & \cos(\psi) & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}, M = \begin{bmatrix} m_a - \lambda_{11} & 0 & 0 \\ 0 & m_a - \lambda_{22} & 0 \\ 0 & 0 & J_{zz} - \lambda_{66} \end{bmatrix},$$

$$C(v) = \begin{bmatrix} 0 & 0 & -m_a v - \alpha_2 \\ 0 & 0 & m_a u + \alpha_1 \\ m_a v + \alpha_2 & -m_a u - \alpha_1 & 0 \end{bmatrix},$$

$$D(v) = \begin{bmatrix} d_{1x} + d_{2x}|u| & 0 & 0 \\ 0 & d_{1y} + d_{2y}|v| & 0 \\ 0 & 0 & d'_{1z} + d'_{2z}|r| \end{bmatrix},$$

где $\alpha_1 = \lambda_{11}u + \lambda_{12}v + \lambda_{16}r$, $\alpha_2 = \lambda_{12}u + \lambda_{22}v + \lambda_{26}r$, m_a – масса НПА, λ_{ij} – элементы, соответствующие присоединенным массам и присоединенным моментам инерции жидкости ($i, j = \overline{1,6}$), J_{zz} – момент инерции НПА относительно его главной оси инерции Z , d_1, d_2, d'_1, d'_2 – коэффициенты вязкого трения, соответствующие линейной и квадратичной зависимостям гидродинамических сил (моментов) от скоростей движения НПА по их конкретным степеням свободы.

Исходные траектории движения НПА формируются заранее в горизонтальной плоскости, проходят через последовательность базовых точек W_i и описываются сплайнами Безье третьего порядка [3]:

$$\begin{aligned} x_d(\bar{\omega}) &= 3(1 - \bar{\omega})^2 \bar{\omega} k_{d1} \tilde{k}_{c1x} + 3(1 - \bar{\omega}) \bar{\omega}^2 (\tilde{W}_{x2} - k_{d2} \tilde{k}_{c2x}) + \bar{\omega}^3 \tilde{W}_{x2}, \\ y_d(\bar{\omega}) &= 3(1 - \bar{\omega})^2 \bar{\omega} k_{d1} \tilde{k}_{c1y} - 3(1 - \bar{\omega}) \bar{\omega}^2 k_{d2} \tilde{k}_{c2y}, \end{aligned} \quad (2)$$

где $(x_d(\bar{\omega}), y_d(\bar{\omega}))$ – желаемое положение робота; k_{d1}, k_{d2} – длина управляющих векторов; $\tilde{k}_{ci} = (\tilde{k}_{cix}, \tilde{k}_{ciy})$, $i = 1, 2$ – направление движения в начальной и конечной точках текущего участка траектории; $\tilde{W}_{x2}$ – базовая точка; индекс $\sim$ означает систему координат, связанную с началом текущего участка траектории (см. рис. 1). Траекторию $(x_d(t), y_d(t))$ получают путем выбора $\dot{\bar{\omega}} = k$ такой, что $\bar{\omega} = kt$, где $k \in R$.

Необходимо получить аналитические зависимости тяг τ_u , τ_v и момента τ_r от параметров сплайна (2) и заданной программной скорости движения для формирования сигналов управления движением НПА.

3. Метод формирования программных сигналов движения

Как было сказано выше, желаемая траектория задается параметрическими кубическими кривыми, сплайнами Безье третьего порядка. Одной из основных числовых характеристик кривой является кривизна, которая изменяется по мере перемещения НПА по траектории. При параметрическом задании координат кривой $x(t)$ и $y(t)$ формула расчета кривизны имеет вид:

$$c = \frac{x(t)'y(t)'' - y(t)'x(t)''}{[(x(t)')^2 + (y(t)')^2]^{\frac{3}{2}}}.$$

Очевидно, что величина кривизны зависит от параметров сплайна. Кроме того, данная характеристика также связана с линейной и угловой скоростями движения выражением:

$$r_d(t) = cU_d(t), \quad (3)$$

где $U_d(t) = v^*$ и $r_d(t) = r$ – желаемые линейная и угловая скорости движения соответственно.

Таким образом, требуемые зависимости тяг и моментов будем искать в виде:

$$\tau_u^*, \tau_v^*, \tau_r^* = f(v^*, c). \quad (4)$$

Из системы (1) следует, что:

$$\begin{aligned} \tau_u &= (m_a - \lambda_{11})\dot{u} + (-m_a v - \alpha_2)r + (d_{1x} + d_{2x}|u|)u; \\ \tau_v &= (m_a - \lambda_{22})\dot{v} + (m_a u + \alpha_1)r + (d_{1y} + d_{2y}|v|)v; \\ \tau_r &= (J_{zz} - \lambda_{66})\dot{r} + (m_a v + \alpha_2)u + (-m_a u - \alpha_1)v + (d'_{1z} + d'_{2z}|r|)r. \end{aligned} \quad (5)$$

Для того, чтобы перейти от записи вида (4) к виду (5), примем некоторые допущения, которые состоят в том, что:

1. Скорость постоянна, тогда $\dot{u}, \dot{v} = 0$;
2. Относительно ССК, закрепленной в ПА: $u = v^*, v = 0$.

С учетом указанных допущений, путем подстановки (3) в (5) получаем:

$$\begin{aligned} \tau_u &= -\alpha_2 c v^* + (d_{1x} + d_{2x}|v^*|)v^*; \\ \tau_v &= (m_a v^* + \alpha_1) c v^*; \\ \tau_r &= (J_{zz} - \lambda_{66})\dot{c} v^* + \alpha_2 v^* + (d'_{1z} + d'_{2z}|c v^*|)c v^*; \end{aligned} \quad (6)$$

где $\dot{c} v^* = \dot{r}$, $\dot{c} = dc/dt$.

Далее необходимо получить уравнение для расчета c . Для этого дважды дифференцируем уравнения (2) по t ($k = 1$, тогда $\bar{\omega} = t$):

$$\begin{aligned} x'_d(t) &= 3\tilde{W}_{x2}t^2 - 3t^2(\tilde{W}_{x2} - \tilde{k}_{c2x}k_{d2}) + 3\tilde{k}_{c1x}k_{d1}(t-1)^2 - 6t(t-1) \cdot \\ &\quad \cdot (\tilde{W}_{x2} - \tilde{k}_{c2x}k_{d2}) + 6\tilde{k}_{c1x}k_{d1}t(t-1); \\ y'_d(t) &= 3k_{d2}\tilde{k}_{c2y}t^2 + 3k_{d1}\tilde{k}_{c1y}(t-1)^2 + 6k_{d1}\tilde{k}_{c1y}t(t-1) + 6k_{d2}\tilde{k}_{c2y}t(t-1); \\ x''_d(t) &= 6\tilde{W}_{x2} - 12\tilde{W}_{x2}t - 12\tilde{k}_{c1x}k_{d1} - 6\tilde{k}_{c2x}k_{d2} + 18\tilde{k}_{c1x}k_{d1}t + \\ &\quad + 18\tilde{k}_{c2x}k_{d2}t; \\ y''_d(t) &= 18k_{d1}\tilde{k}_{c1y}t - 6k_{d2}\tilde{k}_{c2y} - 12k_{d1}\tilde{k}_{c1y} + 18k_{d2}\tilde{k}_{c2y}t. \end{aligned}$$

Тогда уравнение кривизны запишется в виде:

$$c = \frac{N}{D},$$

где

$$N = |(18\tilde{W}_{x2}\tilde{k}_{c1y}k_{d1} - 36\tilde{W}_{x2}\tilde{k}_{c1y}k_{d1}t + 18\tilde{k}_{c1x}\tilde{k}_{c2y}k_{d1}k_{d2} - \\ - 18\tilde{k}_{c1y}\tilde{k}_{c2x}k_{d1}k_{d2} + 18\tilde{W}_{x2}\tilde{k}_{c1y}k_{d1}t^2 - 18\tilde{W}_{x2}\tilde{k}_{c2y}k_{d2}t^2 - \\ - 54\tilde{k}_{c1x}\tilde{k}_{c2y}k_{d1}k_{d2}t + 54\tilde{k}_{c1y}\tilde{k}_{c2x}k_{d1}k_{d2}t + 54\tilde{k}_{c1x}\tilde{k}_{c2y}k_{d1}k_{d2}t^2 - \\ - 54\tilde{k}_{c1y}\tilde{k}_{c2x}k_{d1}k_{d2}t^2)|;$$

$$D = (27((2\tilde{W}_{x2}t + \tilde{k}_{c1x}k_{d1} - 2\tilde{W}_{x2}t^2 + 3\tilde{k}_{c1x}k_{d1}t^2 + \\ + 3\tilde{k}_{c2x}k_{d2}t^2 - 4\tilde{k}_{c1x}k_{d1}t - 2\tilde{k}_{c2x}k_{d2}t)^2 + (\tilde{k}_{c1y}k_{d1} + 3\tilde{k}_{c1y}k_{d1}t^2 + \\ + 3\tilde{k}_{c2y}k_{d2}t^2 - 4\tilde{k}_{c1y}k_{d1}t - 2\tilde{k}_{c2y}k_{d2}t)^2)^{\frac{3}{2}}).$$

Подставляя данные уравнения в зависимости (6), получаем эталонные значения тяг и моментов двигателей подводного аппарата, которые должны вырабатываться при движении по заданной траектории с заданной скоростью.

4. Результаты моделирования

В процессе моделирования использовалась математическая модель НПА, описываемая уравнениями (2) со следующими параметрами: $m_a = 300$ кг, $J_{zz} = 30$ кг·м², $\lambda_{11} = 80$ кг, $\lambda_{22} = 140$ кг, $\lambda_{66} = 30$ кг·м², $\lambda_{ij} = 0$ ($i \neq j, i, j = \overline{1,6}$), $d_{1x} = 30$ кг·с⁻¹, $d_{2x} = 10$ кг·м⁻¹, $d_{1y} = 60$ кг·с⁻¹, $d_{2y} = 30$ кг·м⁻¹, $d'_{1z} = 40$ Нмс, $d'_{2z} = 20$ Нмс².

Задающее воздействие по силе тяги двигателей формировалось посредством уравнений (6). Вид желаемой траектории приведен на рисунке 1а. Скорость движения вдоль траектории поддерживалась постоянной, равной 1 м/с. Законы изменения результирующих тяг двигателей НПА представлены на рисунке 1б.

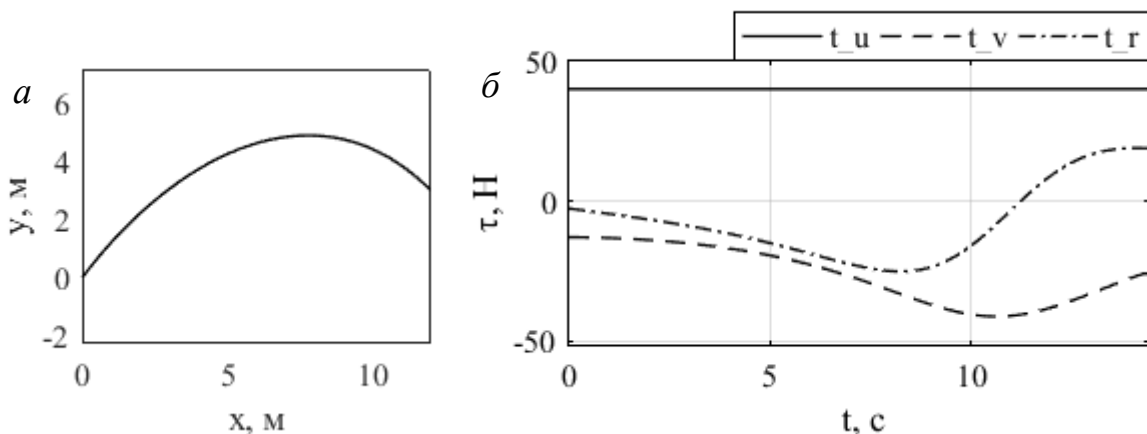


Рис. 1. (а) вид желаемой траектории, (б) законы изменения результирующих тяг

Программное движение НПА определялось указанными сигналами управления (см. рис. 1б). На рисунке 2 приведены законы изменения поло-

жения НПА по отдельным координатам при движении по заданному сплайну (см. рис. 1а) с заданной скоростью. Изменение положения НПА во время моделирования соответствует заданной траектории движения, что доказывает адекватность выявленных соотношений (6).

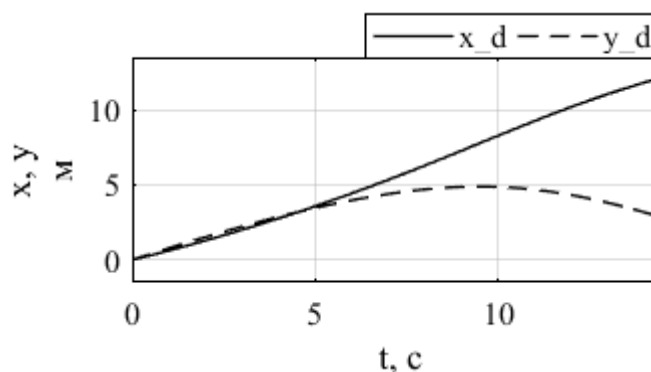


Рис.2. Изменение положения НПА

5. Выводы

В данной работе получены аналитические зависимости тяг и моментов движителей подводного аппарата от программной скорости движения, формы желаемой траектории для случая, когда НПА осуществляет движение в горизонтальной плоскости.

Сформированные на основе полученных соотношений сигналы управления движением НПА позволяют быстро и точно реагировать на вход движителей в насыщения и могут быть использованы для определения возможных дефектов в движительном комплексе. Результаты моделирования подтверждают работоспособность предложенного метода формирования программных сигналов движения НПА.

Работа выполнена при поддержке гранта РНФ 16-19-00046.

Список литературы

1. Филаретов, В.Ф. Синтез и исследование системы контурного управления движением подводного аппарата / В.Ф. Филаретов, Д.А. Юхимец, А.Ф. Щербатюк, Э.Ш. Мурсалимов и др. // Труды всероссийского совещания по проблемам управления – Россия, Москва: – 2014. – С. 3338-3350.
2. Губанков, А.С. Разработка метода синтеза систем формирования скорости динамических объектов / А.С. Губанков, И.В. Горностаев// Материалы VII Всероссийской научно-технической конференции с международным участием «Робототехника и искусственный интеллект» (РИИ-15), 2015. – С. 13-18.
3. Yukhimets, D. A. Neuron Net for Forming Optimal Smooth Trajectories Based on Bezier Splines. / D.A. Yukhimets // – Applied Mechanics and Materials, 2017. – Vol. 865, pp. 442-449.

М.А. Кузьмицкий, д.т.н.
М.Р. Гизитдинова, д.т.н., kafspa@yandex.ru
ОАО Концерн «МПО – Гидроприбор», г. Санкт-Петербург, Россия

ВЕРОЯТНОСТНАЯ МОДЕЛЬ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ МОБИЛЬНОГО ПОДВОДНОГО РОБОТА ПРИ ПОИСКЕ ПО ВЫЗОВУ В СПАСАТЕЛЬНЫХ ОПЕРАЦИЯХ

Аннотация: Рассмотрен спектр основных задач организации поиска неподвижных и подвижных подводных объектов с помощью мобильных подводных роботов.

Ключевые слова: мобильный подводный робот, схема поиска, объект поиска, искатель, вероятность обнаружения.

PROBABILISTIC MODEL OF FUNCTIONING OF MOBILE UNDERWATER ROBOT IN SEARCH ON CALL IN RESCUE OPERATIONS

М.А. Kuzmitskiy, PhD
M.R. Gizitdinova, PhD, kafspa@yandex.ru
Concern «MPO – Gidropribor», Saint-Petersburg, Russia

Abstract: The spectrum of the main tasks of the organization of search of fixed and mobile underwater objects by means of mobile underwater robots is considered.

Keywords: mobile underwater robot, search schema, search object, the searcher, the probability of detection

Один из основных процессов функционирования в ходе выполнения различных миссий мобильных подводных роботов (МПР) - процесс поиска тех или иных объектов (поиск потерянных объектов, поиск следов присутствия диверсантов в охраняемой акватории, поиск затонувших объектов и т.д.).

К задачам поиска принято относить программное управляемое сближение, т.е. движение одной управляемой системы (поискового средства, иска-

теля И) к другой управляемой или неуправляемой системе (объекту поиска ОП) по неполной априорной информации. Алгоритм управления движением И формируется только на основе априорной информации, никакой текущей информацией о местоположении ОП искатель не располагает. Цель поиска – получение информации о местонахождении, типе, элементах движения ОП. Поиск объектов – сложный многоаспектный процесс, протекающий во времени и пространстве.

Актуальность исследования поисковых операций и их сложность в первые же послевоенные годы привела к возникновению новой научной дисциплины – теории поиска, в основу которой были положены работы Б.Купмана (США), опубликованные в журналах *Operations Research* в 1956-1957 гг. [1-3]. Позднее появилось несколько отечественных монографий по теории поиска [4-5], развивающих ряд ее разделов.

Среди поисковых задач важное место занимает поиск по вызову. Поиск по вызову предполагает наличие информации о вероятном месте объекта поиска (ОП) на определенный момент времени. В ряде ситуаций возможно наличие информации об элементах движения (для движущихся ОП). Эта информация служит основой для организации последующих поисковых действий. В зависимости от объема располагаемой информации возможны два способа поиска: поиск в районе первичного обнаружения ОП; поиск в вероятном секторе курсов ОП (только для движущихся ОП). Второй способ организации поиска для тихоходных мобильных подводных роботов (МПР) не характерен.

Организация поиска в районе первичного обнаружения ОП существенно различна при поиске неподвижных и подвижных ОП. Если информация о вероятном местонахождении ОП отсутствует и приблизительно известны лишь границы района, где он может находиться, то поиск как неподвижных, так и подвижных ОП может производиться путем маневрирования на параллельных галсах.

Принципиально иначе организуется поиск в тех случаях, когда имеется информация о наиболее вероятном месте ОП на определенный момент времени. Для неподвижного ОП фактор времени не существен, для подвижного играет очень важную роль.

Если имеется информация о наиболее вероятном месте неподвижного ОП, то его поиск целесообразно начинать именно с этого места, т.к. здесь наибольшая плотность вероятности его местонахождения и, следовательно, наибольшая вероятность обнаружения. Можно предположить, что ошибки в определении места ОП при его первичном обнаружении подчиняются нормальному круговому закону на плоскости, плотность распределения которого выражается известным законом Рэлея:

$$f(r_0) = \frac{1}{2\pi\sigma^2} e^{-\frac{r_0^2}{2\sigma^2}} \quad (1)$$

где: r_0 – расстояние ОП от центра распределения в момент обнаружения; σ – среднеквадратическая ошибка в определении места ОП.

Для неподвижного ОП это распределение со временем не изменится. Если же ОП после его обнаружения движется от центра распределения места равновероятными курсами со скоростью V_0 , исходное распределение со временем будет существенно меняться.

Закон распределения плотности вероятности $f(r,t)$ того, что ОП через время t будет находиться на расстоянии r от центра распределения, как показано в теории поиска, имеет вид [6].

$$f(r,t) = \frac{1}{2\pi\sigma^2} e^{-\frac{r^2 + V_0^2 t^2}{2\sigma^2}} I_0\left(\frac{rV_0 t}{\sigma^2}\right), \quad (1)$$

где $I_0\left(\frac{rV_0 t}{\sigma^2}\right)$ – функция Бесселя нулевого порядка мнимого аргумента.

В случае движущегося ОП и превышении скорости искателя (И) по сравнению со скоростью ОП эффективным является поиск по спирали, когда в ходе поиска обследуется область максимальной плотности вероятности нахождения ОП, с течением времени смещающаяся в радиальном направлении от места первоначального обнаружения [6]. Для движущегося с постоянной скоростью ОП оптимальная траектория И, как показано в теории поиска, – логарифмическая расходящаяся спираль. В этом случае зона реагирования поисковой аппаратуры И в ходе поиска совмещается с максимумом плотности вероятности местоположения ОП. Реально поиск производится по методу Виньо – маневрирование И осуществляется по хордам, спрямляющим спираль, т.е. последовательно изменяющимися галсами. Для сравнительно тихоходных МПР вариант организации поиска по спирали движущегося ОП маловероятен, т.к. И не будет успевать перекрывать возможные траектории выхода подвижного ОП из зоны поиска.

В случае поиска по вызову неподвижного ОП в районе его обнаружения, когда наиболее вероятное место ОП известно, маневрирование И может быть организовано по нескольким схемам [7] поиск по расширяющейся площади, поиск по секторам. Все вышеописанные схемы поиска иллюстрирует рис.1.

Далее рассматривается поиск по вызову неподвижного ОП. Эта ситуация характерна для поиска затонувших объектов, а также обнаруженных с помощью других средств наблюдения следов несанкционированного проникновения в охраняемую акваторию.

Рассматривался поиск неподвижного ОП искателем, снабженным средствами наблюдения с эффективной шириной полосы обнаружения ШЭф. Чтобы обеспечить инвариантность итоговых результатов по отношению к конкретным величинам ШЭф и скорости искателя $V_{И}$, путь, проходимый И в процессе поиска, далее выражен в относительных единицах – в числе пройденных эффективных ширин полосы поиска ШЭф. Оценка вероятности обна-

ружения производилась с использованием сеток рассеивания для кругового нормального распределения с ценой «клетки» 0,01 по вероятности, что обеспечивало вполне достаточную точность. Рассматривались два вида поисковых траекторий: по расширяющейся площади и по спирали. Метод сеток известен давно, здесь он использован в интересах наглядности, т.к. позволяет напрямую понять внутренние механизмы процесса поиска и использовать эту информацию в целях оптимизации поисковых действий.

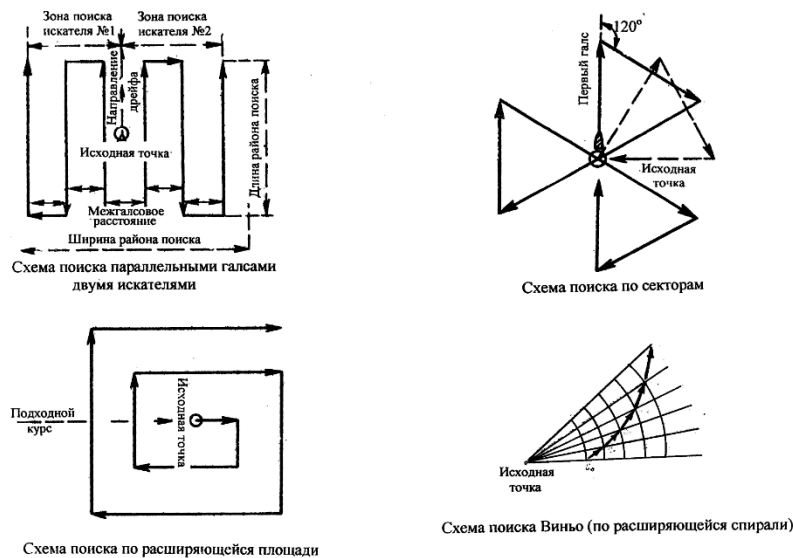
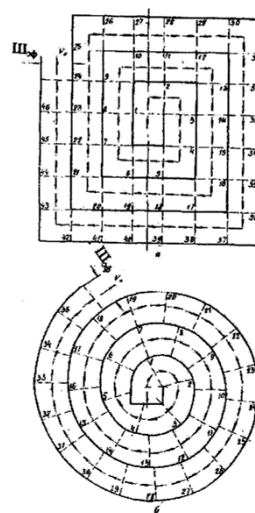
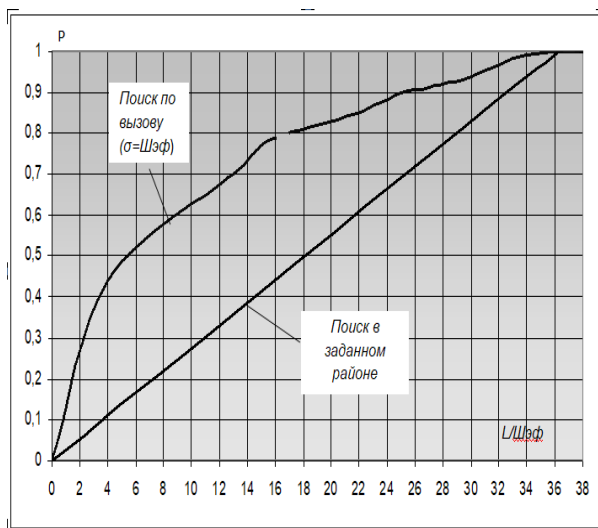


Рис.1. Схемы организации регулярного поиска по вызову

Расчеты показали, что поиск по расширяющейся площади и по спирали по эффективности и темпу практически тождественны. Но если организация поиска по расширяющейся площади не связана с какими-либо трудностями, то организовать поиск по спирали довольно сложно.

Рис.2 иллюстрирует различия в динамике нарастания вероятности обнаружения ОП в случае поиска по вызову по расширяющейся площади при $\sigma = \text{ШЭф}$ и поиска на параллельных галсах в заданном районе той же площади при отсутствии информации о вероятном местоположении ОП. На рис.2 представлены графики нарастания вероятности обнаружения ОП в функции от величины пути, пройденного И.

Как следует из рис.2, и в том, и в другом случае поиск будет завершён по прохождении И пути $L=36\text{ШЭф}$. Но различия в темпе поиска очевидны. Наличие информации о вероятном местоположении ОП позволяет рационально организовать поиск по расширяющейся площади, что и приводит к столь заметному увеличению темпа поиска: математическое ожидание пути И при вероятности обнаружения $P_0=0,5$ при поиске в заданном районе на параллельных галсах составляет 18ШЭф , а при поиске по расширяющейся площади – всего 5ШЭф .



Поиск неподвижного
ОП по вызову:

а — по расширяющейся площади;

б — по спирали.

Рис.2. Динамика роста вероятности обнаружения ОП в ходе поиска при двух способах его организации

На рис.3 представлены обобщенные результаты сравнительных расчетов для поиска по вызову при разном уровне ошибок первичного обнаружения и соответствующих оценок при поиске в заданном районе той же площади. Рис.4 иллюстрирует различия в средних затратах пути И и затратах, гарантирующих обследование всего района возможного местонахождения ОП.

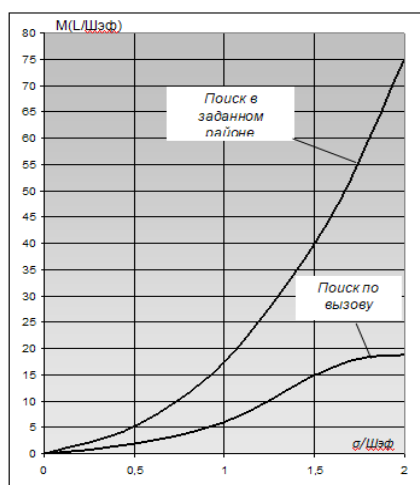


Рис.3. Математическое ожидание пути искателя $L/\text{Шэф}$ при поиске в заданном районе и по вызову при разном уровне ошибок первичного обнаружения

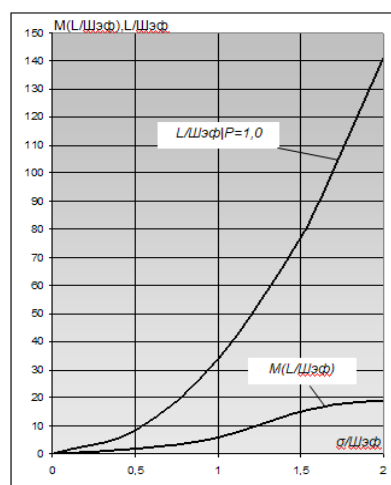


Рис.4. Необходимый путь искателя для гарантированного обследования и математическое ожидание пути при поиске по вызову при разном уровне ошибок первичного обнаружения

Динамику нарастания вероятности обнаружения ОП при различном уровне среднеквадратической ошибки при первичном обнаружении иллюстрирует рис.5. Здесь в кружках приведены величины длины пути И, выра-

женные в количестве эффективных ширин полосы Шэф, необходимые для 100%-го обнаружения ОП.

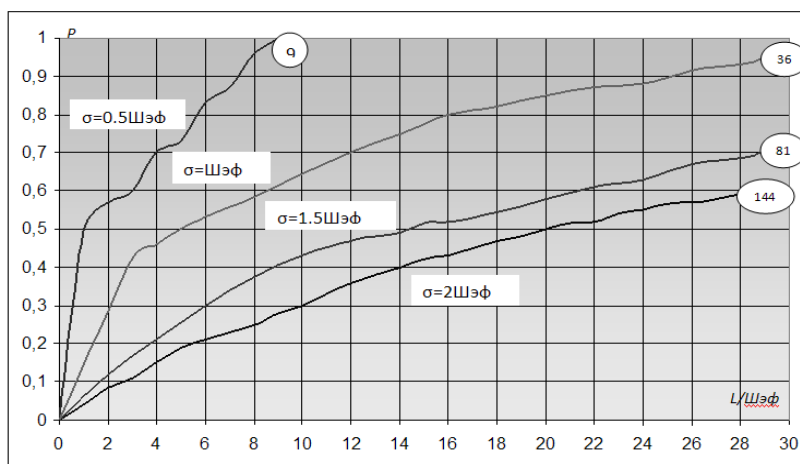


Рис.5. Влияние уровня среднеквадратической ошибки первичного обнаружения

При расчетах вероятности обнаружения, результаты которых представлены выше, предполагалось, что систематическая ошибка в задании точки начала поиска, т.е. в начальном определении центра рассеивания местоположения ОП, отсутствует. Результаты оценки степени влияния возможной ошибки в задании точки начала поиска $\Delta\text{МОП}$ представлены на рис.6. Очевидно снижение темпа поиска с ростом величины ошибки $\Delta\text{МОП}$, т.к. поиск начинается не в области максимальной плотности вероятностей местонахождения ОП. Появление участков с существенно разным темпом нарастания вероятности обнаружения связано с тем, что исходное распределение координат ОП – круговое нормальное, а траектория поиска - последовательность ортогональных галсов разной длины, образующих траекторию поиска по расширяющейся площади. В итоге, И в ходе поиска проходит области с заметно различающейся плотностью вероятностей.

При поиске неподвижных ОП требуется 100%-ное обследование области их возможного нахождения. Если первичное обнаружение завершилось определением местоположения ОП с ошибкой, подчиненной нормальному круговому распределению, то, опираясь на известное «правило трех σ » и предполагая, что центр рассеивания совмещен с точкой начала поиска по расширяющейся площади, нетрудно установить, что при $\sigma = k \cdot \text{Шэф}$, где $k = 0,5 + n$, $n=0,1,2,3\dots$ длина пути И, обеспечивающая 100%-ное обследование, составит

$$L/\text{Шэф}(P=1,0) = 9(1+2n)^2 \quad (2)$$

В этом случае обследованная И площадь покрывает всю область возможного местоположения ОП в пределах 3σ . Иные соотношения действуют в том случае, когда $k=1+n$, $n=0,1,2,3\dots$, т.е. когда $\sigma_1 = \text{Шэф}$; $\sigma_2 = 2\text{Шэф}$ и т.д. В этом случае совмещение центра первого обследуемого квадрата с центром

рассеивания местоположения ОП неэффективно. Действительно, для случая $\sigma = \text{Шэф}$, например, после прохождения И пути $L / \text{Шэф} = 25$ остается необследованной периферийная часть области возможных положений ОП, что составляет по вероятности порядка 10%, т.е. достаточно много. При $L / \text{Шэф} = 36$ остается необследованной часть области, соответствующей по вероятности 6%. Для гарантированного обследования И необходимо пройти путь $L / \text{Шэф} = 49$, продолжая движение по той же программе.

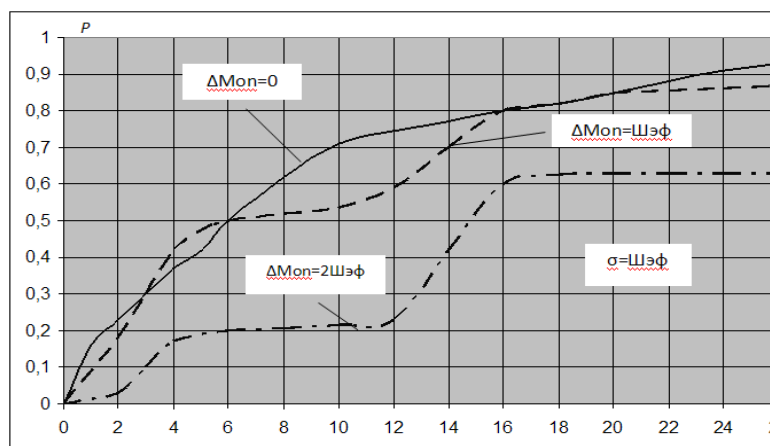


Рис.6. Влияние ошибки в задании точки начала поиска

Однако, существует альтернатива: изменив начальную точку поиска относительно центра распределения места ОП, можно гарантированно обследовать всю область возможных положений ОП, пройдя путь $L / \text{Шэф} = 36$. Таким образом, смещение точки начала поиска относительно центра рассеивания места ОП позволяет на 27% сократить затраты времени на поиск при гарантированном обследовании всей области возможных положений ОП, определенной по данным первичного обнаружения. Положительное влияние смещения точки начала поиска иллюстрирует рис.7.

При поиске по расширяющейся площади со смещением точки начала поиска, как нетрудно показать, путь И, отвечающий 100%-ному обследованию составляет ($n = 0, 1, 2, 3, \dots$):

$$L / \text{Шэф} (P=1, 0) = 36(1+n)^2 \quad (3)$$

Таким образом, с ростом σ необходимый для полного обследования области возможных положений ОП путь И увеличивается в соответствии с квадратичной зависимостью.

Список литературы

1. Koopman B.O. Theory of search: I. Kinematic bases // Operation Research, V.4, № 3, 1956 - pp.324-346.

2. Koopman B.O. Theory of search: II. Target detection // Operation Research, V.4, №5, 1956 – pp.503-531.

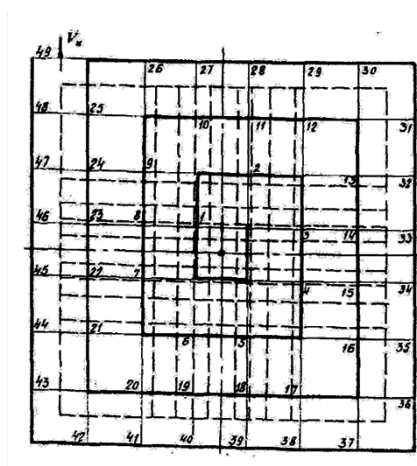
3. Koopman B.O. Theory of search: III. The optimum distribution of searching efforts // Operation Research, V.5, № 5, 1957 – 518-529.

4. Емельянов Л.А., Абчук В.А., Лапшин В.П., Суздаль В.Г. Теория поиска в военном деле. – М.: Воениздат, 1964 – 208 с.

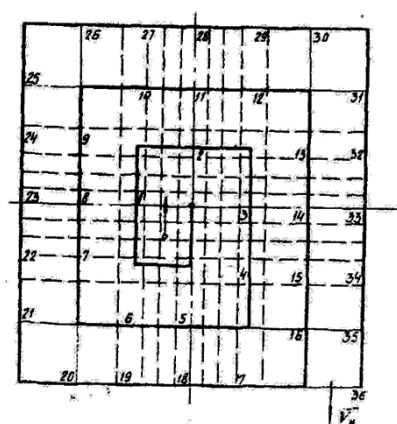
5. Ким Д.П. Методы поиска и преследования подвижных объектов. – М.: Наука, 1989 – 336 с.

6. Абчук В.А., Суздаль В.Г. Поиск объектов. – М.: Советское радио, 1977–334 с.

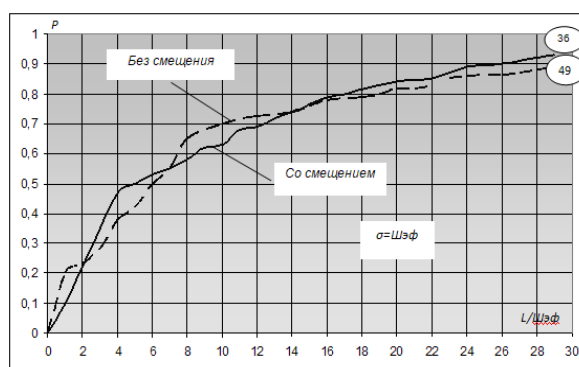
7. Морской энциклопедический справочник – Л.: Судостроение, 1987 – 1042с.



а. Поиск по расширяющейся площади без смещения



б. Поиск по расширяющейся площади со смещением



в. Влияние случая а и б на результат

Рис.7. Влияние смещения точки начала поиска

СТРУКТУРА СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ГИДРОПРИВОДОМ АМФИБИЙНОГО ТРАНСПОРТНОГО СРЕДСТВА ПОВЫШЕННОЙ ПРОХОДИМОСТИ

Аннотация: Рассмотрена система управления аксиально-поршневыми гидромоторами, с реализацией управления по углу, скорости и крутящему моменту. Предложена структура этой системы управления, законы управления, получены характерные графики переходных процессов. Предполагается применение таких гидромоторов в качестве приводов мотор-колес и в качестве шарниров последовательного манипулятора.

Ключевые слова: аксиально-поршневой гидромотор, управление крутящим моментом, позиционный режим.

HYDRAULIC DRIVE CONTROL SYSTEM DESIGN FOR THE AMPHIBIAN VEHICLE WITH INCREASED PASSABILITY

V.M. Kopylov, engineer, v.kopylov@rtc.ru
K.A. Volnyakov, engineer, k.volnyakov@rtc.ru
RTC, Saint-Petersburg, Russia

Abstract: A control system for axial piston hydraulic motors is considered, with the control implementation by angle, speed and torque. The structure of this control system and control laws are proposed, characteristic graphs of transient processes are obtained. Such hydraulic motors are supposed to use as motor-wheel drives and hinges of a serial manipulators.

Key words: axial piston hydraulic motor, torque control, position control

Использование гидравлической трансмиссии в транспорте высокой проходимости является достаточно частым решением, ввиду простоты подвода мощности к различным агрегатам и высокому соотношению передаваемого момента к массе привода. Однако гидравлический привод в классической компоновке накладывает существенные ограничения на управление движением. Наиболее естественным режимом управления гидромотором с

качающейся шайбой является управление по скорости. При реализации передачи «один насос – один мотор» традиционно используется управление по мощности при наличии регулирования в насосе [1], однако в таком случае масса и сложность всей трансмиссии значительно возрастает. В случае использования полного привода и одного основного насоса, в классической компоновке гидропривода возможно использование только скоростного режима управления, и, при наличии гидрозамка – позиционного режима. В то же время, при пробуксовках отдельных колес целесообразно перераспределить момент между всеми приводными агрегатами, то есть необходима организация управления в том числе по моменту или, что то же самое при заданной скорости, по мощности.

Как правило, амфибийные транспортные средства оснащаются следующими типами движителей:

- универсальный движитель типа «доработанное колесо», позволяющий передвигаться как по суше, так и по воде за счет специальной геометрии движителя [2];

- колесный движитель и погружной винт [3];

- колесный движитель либо лыжи, и воздушный винт [4].

С точки зрения обеспечения высокой проходимости преимущества имеют первый и последний варианты движителей, так как погружной винт ограничивает возможную глубину применения, и ограниченно эффективен на заболоченных и слабо связанных грунтах. Для улучшения массогабаритных свойств и упрощения системы управления амфибийным средством в целом, предполагается единая трансмиссия на все четыре колеса (колесная формула 4x4) и воздушный винт.

При движении по слабосвязанным грунтам и в переходном режиме от твердых грунтов к поверхности воды часто возникает ситуация пробуксовки одного или нескольких колес. Для борьбы с этим явлением предполагается оснащение каждого колеса бесконтактным датчиком момента, и датчиком скорости вращения вала. При резком снижении момента сопротивления одновременно с нарастанием скорости регистрируется пробуксовка колеса, и часть мощности отбирается для передачи на другие движители, включая и воздушный винт. Снижение мощности должно происходить за счет уменьшения крутящего момента на колесе, и продолжаться до тех пор, пока буксующее колесо не войдет в зацепление с поверхностью. Этот момент характеризуется снижением скорости вращения колеса. Таким образом, система управления реализует постепенное включение воздушного винта в ситуации развивающейся пробуксовки колес.

На рисунке 1 приведена гидравлическая принципиальная схема одного из каналов трансмиссии, гидравлическая схема всей трансмиссии представляет собой аналогичные контуры, включенные параллельно. Так как в схеме установлен один насос на несколько приводов, его регулирование нецелесообразно. Вместо этого требуется регулировка мощности, передаваемой каж-

дому приво­ду, что осу­ществ­ля­ет­ся управ­ля­е­мым ре­дук­ци­он­ным кла­паном КР. Зо­лот­ник ЗМ с ме­ха­ни­че­ским управ­ле­нием слу­жит для ис­клю­че­ния кана­ла из управ­ле­ния, при его пере­кры­тии гид­ро­мо­тор М не по­лу­ча­ет мощ­но­сти, и про­во­ра­чи­ва­ет­ся сво­бо­дно. Встро­ен­ный об­рат­ный кла­пан зо­лот­ни­ка пре­дот­вра­ща­ет пе­ре­те­чки жид­ко­сти ме­жду кон­ту­ра­ми транс­мис­сии.

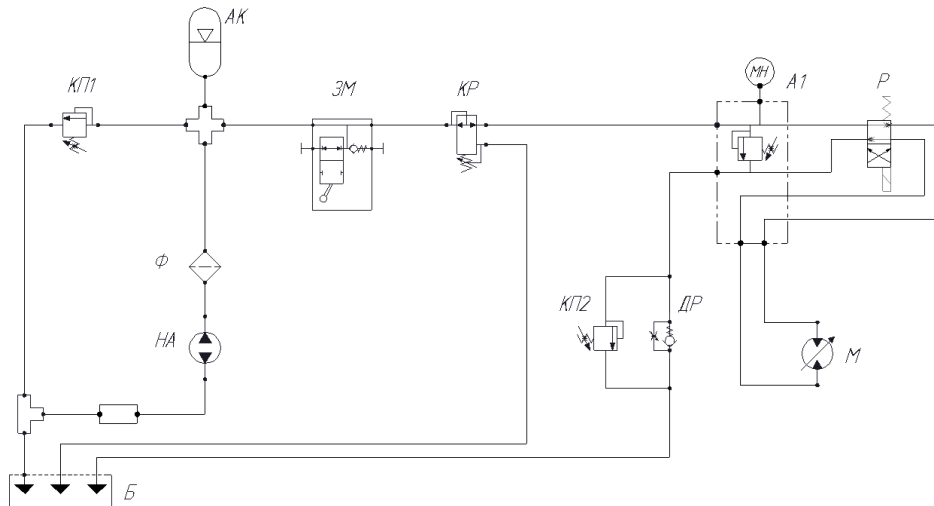


Рис. 1. Схема гидравлическая принципиальная

Для смены направления вращения предусмотрен гидрораспределитель А1 и реверс Р, на один из портов распределителя установлен манометр МН для обратной связи по давлению за редукционным клапаном. Управляемый дроссель ДР позволяет частично или полностью перекрыть сливную магистраль, обеспечивая таким образом плавное торможение привода, вплоть до его полной остановки, с поддержанием крутящего момента даже при нулевой скорости. Излишки рабочей жидкости, нагнетаемой насосом НА, сбрасываются через предохранительные клапаны КП1 и КП2 в бак Б. Энергия, запасенная в жидкости, рассеивается в тепло путем сброса жидкости в бак. Структурная схема управления гидроприводом приведена на рисунке 2.

Общий закон управления представлен системой (1).

$$\begin{cases} W_{OC.n} = k_1 \Delta n \\ W_{OC.\partial p} = k_3 \Delta \varphi + k_2 \Delta n \\ W_{OC.P} = \text{sgn}(n - n_w \text{sgn} \Delta n) \\ W_{OC.T+} = k_4 \Delta T \\ W_{OC.T-} = k_5 \Delta T \end{cases} \quad (1)$$

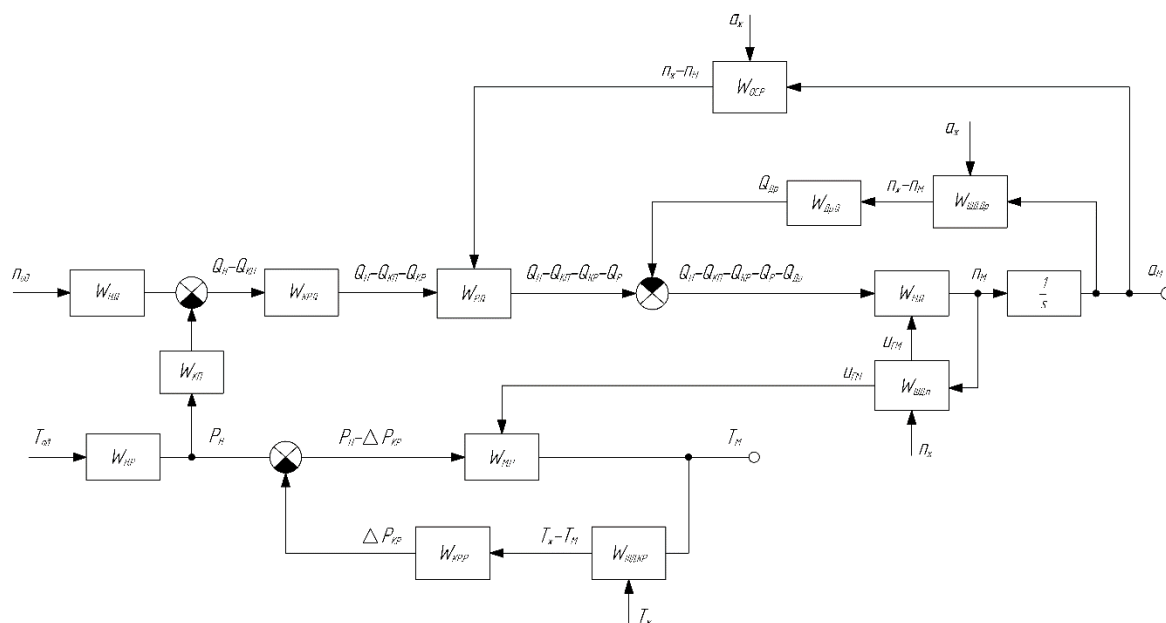


Рис. 2. Структурная схема управления

В данной схеме k_3 определяет точность управления по координате, k_1 введен для компенсации влияния на скорость снижения расхода через дроссель, а коэффициент k_2 позволяет сгладить управление и избежать гидроударов. Так как современные аксиально-поршневые моторы допускают регулирование с нулевым рабочим объемом, возможно переключение каналов напора-слива простой функцией знака [5]. Однако это означает частые переключения дросселя, что, с учетом инерционности управления, приведет к неудовлетворительному регулированию по координате. В связи с этим $W_{oc.p}$ представляет собой гистерезисную функцию переключения. Как правило, управление по моменту сочетается с управлением в скоростном или координатном режиме [6]. Таким образом, при управлении по моменту задействуются все рассмотренные выше органы управления. Наибольший интерес представляет управление моментом на упорах, то есть реализация заданного усилия в заданном направлении при неподвижном рабочем органе. В положении равновесия давление, созданное на рабочий поршень в напорной магистрали, передается жидкости в сливной магистрали, и, таким образом, происходит выравнивание давлений. При бесконечно малом смещении поршня в сторону напорной магистрали условие непрерывности нарушается, и на поршень начинает действовать сила со стороны напорной магистрали, так как насос продолжает подачу жидкости. При бесконечно малом смещении поршня в сторону сливной магистрали давление в ней возрастает, что вызывает увеличение перетечек рабочей жидкости из сливной магистрали мотора в напорную и утечек через дроссель в сливной магистрали. Однако во многих случаях имеет место регулирование с максимально допустимым моментом, который ограничен из соображений безопасности объекта управления. Таким образом, для реализации конечного усилия в этом направлении требуется

установка предохранительного клапана КП2, с настраиваемым давлением срабатывания. Управление редукционным клапаном, дросселем, шайбой мотора и предохранительным клапаном в цепи дросселя производится за счет поворота вала управления шаговым двигателем. Диапазоны регулирования составляют: по моменту 4:1, по скорости 60:1.

Работа системы управления была проверена на математической модели, полученные характерные переходные процессы показаны на рисунке 3. Переходный процесс при управлении по скорости практически не выражен, так как диапазон регулирования в этом процессе намного выше, чем в прочих, а инерционность ниже за счет использования только одного органа управления.

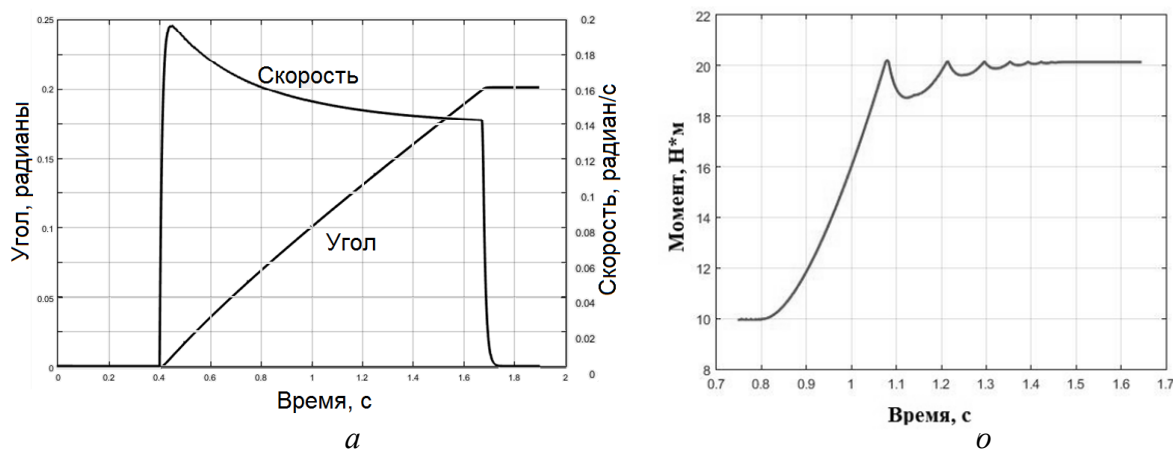


Рис.3. Управление в координатном (а) и моментном (б) режимах

В рассмотренных примерах управляющее воздействие задавалось ступенчатой функцией, что соответствует наиболее сложным условиям переходного процесса. Первоначальный заброс по скорости вызван недостаточно оптимальным подбором коэффициента управления k_1 , в результате чего не удалось плавно скомпенсировать уменьшение полезной мощности привода в результате уменьшения расхода. Такое поведение графика момента связано с работой привода «в упор». Упор имеет определённую упругость, в следствие чего при резком подходе к упору возникает значительная сила реакции, что временно уменьшает текущий момент. При более плавном подходе, что требует настройки коэффициентов системы управления, этот эффект будет минимизирован. Очевидно, не существует одного оптимального значения коэффициентов управления для всех режимов, и для каждого реализованного режима управления требуется оптимизация коэффициентов, что является дальнейшим этапом работы. Тем не менее, высокая стабильность управляемой величины после завершения переходного процесса свидетельствует об устойчивости системы управления в целом.

Реализация управления гидромотором в координатном, скоростном и моментном режимах позволяет использовать аксиально-поршневой привод

не только в транспортных средствах повышенной проходимости, в качестве мотор-колеса, но и в манипуляторах традиционной последовательной кинематики. Отсутствие ограничений на поворот вала аксиально-поршневого насоса позволяет, теоретически, получить произвольные углы качания шарниров манипулятора. Ограничения на эти углы могут возникать из-за особенностей прокладки шлангов высокого давления, питающих приводы, однако эти ограничения могут быть преодолены использованием золотниковых распределительных устройств, аналогичных по конструкции распределительным устройствам аксиально-поршневых машин. При компоновке гидравлического привода практически все органы управления могут располагаться в отдалении от объекта управления, как в случае применения привода в трансмиссии транспортного средства, так и в случае применения в манипуляторе. Современные модульные гидравлические системы также позволяют минимизировать занимаемый средствами управления объём, что в совокупности позволяет получить максимум преимуществ гидравлического привода, а именно высокую компактность вместе с относительно высокой мощностью и быстродействием.

Результаты были получены в рамках выполнения государственного задания Минобрнауки России № 075-00924-19-00

Список литературы

1. Башта Т. М. Объемные насосы и гидравлические двигатели гидросистем. – 1974.
2. Chippas L. H. Amphibious paddle track propulsion system : пат. 8277267 США. – 2012.
3. Gibbs A. T., Jenkins N. G. Power train for an amphibian : пат. 9517670 США. – 2016.
4. М.С.Минаев: Аэросани-амфибия : пат. 190540 РФ. – 2019.
5. PSM-Hydraulics. Регулируемые аксиально-поршневые моторы. Технический каталог. URL: https://www.psm-hydraulics.ru/gallery/product/237/17_1.pdf.
6. Titov V., Shardyko I., Isaenko S. Force-Torque Control Implementation for 2 DoF Manipulator //Annals of DAAAM & Proceedings. – 2013. – Т. 24. – №. 1.

И.М. Кутлубаев, д.т.н., профессор, ptmr74@mail.ru
ФГБОУ ВО «МГТУ им. Г.И. Носова», г. Магнитогорск, Россия,
ведущий научный руководитель АО «НПО «Андроидная техника»

А.А. Богданов, главный конструктор, rusandroid@mail.ru

Е.А. Дудоров, к.т.н., исполнительный директор, dudorov@npo-at.com,

А.Ф. Пермяков, генеральный директор, info@rusandroid.com

А. А. Пронин, системный архитектор, aleksandr.pronin@npo-at.com
АО «НПО «Андроидная техника», г. Магнитогорск, Россия

ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ДИСТАНЦИОННО-УПРАВЛЯЕМОГО АНТРОПОМОРФНОГО РОБОТА В УСЛОВИЯХ КОСМИЧЕСКОГО ПОЛЁТА

Аннотация: Достигнутый уровень разработки антропоморфных роботов (АР) позволил исследовать их практическое применение на борту транспортного пилотируемого корабля (ТПК) и МКС. Успешные результаты проекта «Спасатель» (финансирование Фонда перспективных исследований) – АР «FEDOR» позволили приступить к отработке дальнейшего его исследования на новом уровне. На основе АР «FEDOR» был создан АР Skybot F-850 и антропоморфная робототехническая система (АРТС). За счет модернизации была обеспечена корректировка габаритных размеров АР «FEDOR» достаточных для размещения в штатном кресле космонавта «Чегет».

В соответствии с программой научно-прикладных исследований и экспериментов, планируемых на Российском сегменте МКС, подготовлен и выполнен космический эксперимент (КЭ). Впервые были осуществлены исследования функционирования АР в процессе полёта на ТПК, работы на РС МКС и возвращении на Землю.

Выполненный КЭ подтвердил возможность выполнения полетных заданий и сохранность функциональных возможностей АРТС с учетом внешних воздействующих факторов.

Ключевые слова: космический эксперимент, антропоморфный робот, копирующее управление, международная космическая станция, Skybot F-850.

RESEARCH OF THE POSSIBILITY OF USING A REMOTE- CONTROLLED ANTHROPOMORPHIC ROBOT IN SPACE FLIGHT

I. M. Kutlubaev, Doctor of Technical Sciences, Professor, ptmr74@mail.ru
Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk, Russia,
Leading Research Advisor of JSC “SPA “Android technics”

A. A. Bogdanov, Chief Designer, rusandroid@mail.ru
E. A. Dudorov, Candidate of Technical Sciences,
Executive Director, dudorov@npo-at.com,
A. F. Permyakov, General Director, info@rusandroid.com
A. A. Pronin, System Architect, aleksandr.pronin@npo-at.com
JSC "SPA "Android technics", Magnitogorsk, Russia

Abstract: The achieved level of anthropomorphic robots (AR) development allowed to research their practical application on board of a manned transport vehicle and the ISS. The successful results of the project "Rescuer" (financing by the Advanced Research Foundation) – AR "FEDOR" allowed to start its further research at a new level. On the basis of the AR "FEDOR" AR Skybot F-850 and an anthropomorphic robotic system (ARS) were created. Due to the modernization, the adjustment of the overall dimensions of the AR "FEDOR" sufficient for its placement in the regular astronaut couch of "Cheget" was provided.

In accordance with the program of scientific and applied research and experiments planned for the Russian segment of the ISS, a space experiment has been prepared and performed. For the first time, studies on the functioning of the AR during the flight in the manned transport vehicle, work on the Russian segment of the ISS and return to Earth were carried out.

The performed test confirmed the ability to perform flight tasks and safety of the functional capabilities of the ARS taking into account external factors.

Keywords: space experiment, anthropomorphic robot, copying control, international space station, Skybot F-850.

Введение

Свершившимся фактом следует считать начало эпохи использования антропоморфных роботов (АР) на орбитальных космических станциях. С 2011 г. на МКС исследовались возможности Robonaut-2 [1]. С прибытием на МКС и отработкой программы испытаний АР Skybot F-850 факт исследования роботов в условиях космического пространства перестал быть единичным. Необходимость использования на МКС робототехнического комплекса, способного выполнять действия космонавта, не вызывала сомнений и была достаточно обоснована [2-5].

При создании новых орбитальных станций целесообразно предусматривать выполнение повторяющихся технологические операции в автоматическом режиме с использованием стационарного оборудования [6]. Вместе с тем, необходимость выполнения неординарных работ останется в любом случае [5]. Возможность их выполнения в равной степени следует предусмотреть космонавтом и/или АР [7,8]. Исходная недетерминированность условий работы определило, на данном этапе, использование копирующей системы управления, реализуемой оператором.

Структурная схема АР, с небольшими корректировками, повторяет строение тела человека [9]. Оптимальность конструкции с антропоморфной структурой определило ее использование во всех реализованных и создаваемых робототехнических комплексах космического исполнения: R2 (NASA/DARPA, США), R5 (NASA/ General Motors, США), AILA (Robotics Innovation Center, Германия), Xiaotian (China Aerospace Science and Technology Corp, Китай). Используемые при этом технические решения в полной мере тестируются в условиях земли. Важным аспектом является оценка обеспечения полноценного функционирования АР на всех этапах космического полета. Использование АР возможно при его адаптации к выполнению полётных операций. Для подтверждения эффективности копирующего способа управления роботом при выполнении операционной поддержки космонавтов было необходимо провести отработку космического эксперимента на борту МКС при действии всей совокупности внешних воздействующих факторов космического полета: микрогравитации, радиационного и электромагнитного воздействия.

Значимость этих знаний определило направленность космических исследований, выполненных ПАО «РКК «Энергия», АО «НПО «Андромидная техника», ФГБУ «НИИ ЦПК имени Ю.А. Гагарина», ФГУП «ЦНИИмаш». С целью сокращения времени и затрат было решено использовать АР «FEDOR» созданный в рамках проекта «Спасатель» (финансирование ФПИ).

Основанием для проведения космического эксперимента (КЭ) явилось техническое задание № 047-9/157 от 29.06.2017, «Долгосрочная программа научно-прикладных исследований и экспериментов, планируемых на Российском сегменте МКС». На их основе было принято решение ГК «Роскосмос» № РД-211-р от 10.04.2019 по проведению КЭ «Испытатель» с использованием робототехнической платформы в составе ТПК «Союз МС-14».

1. Цели и задачи проведения эксперимента

Целью проведения КЭ «Испытатель» являются исследования антропоморфной робототехнической системы (АРТС) при ее интеграции в транспортный пилотируемый корабль (ТПК) и российский сегмент (РС) МКС; отработка режимов функционирования антропоморфного робота на всех этапах космического полёта с учётом комплексного влияния внешних воздействующих факторов в процессе космического полета.

При проведении КЭ решались следующие основные задачи:

- возможность интеграции АРТС в космический аппарат, предназначенных для пилотируемых полётов;
- выполнение АРТС типовых полетных операций экипажа на борту РС МКС;
- получение информации о нагрузках на экипаж за счёт встроенных датчиков АРТС на этапах полета ТПК «Союз МС-14»;

– оценка влияния факторов космического пространства на процессы управления АРТС.

2. Этапы проведения эксперимента

2.1 Наземная подготовка эксперимента

Наземная подготовка включала: подготовку оборудования; основного и дублирующего экипажей.

2.1.1. Подготовка оборудования

Основной объем подготовительных работ был связан с АРТС.

В соответствии с программой КЭ АРТС должен доставляться, находясь в кресле космонавта типа «Чегет», занимая центральное место в спускаемом аппарате. Исходные габариты АР «FEDOR» превосходили предельные размеры кресла. В связи с этим были выполнены работы по уменьшению габаритов и перекомпоновке корпуса АР. Была разработана и изготовлена специальная рама для установки АР.

После модернизации робота были выполнены испытания: на электромагнитную совместимость, виброиспытания. АРТС был сертифицирован на безопасность и допущен к доставке и эксплуатации на РС МКС.

2.1.2. Подготовка экипажа

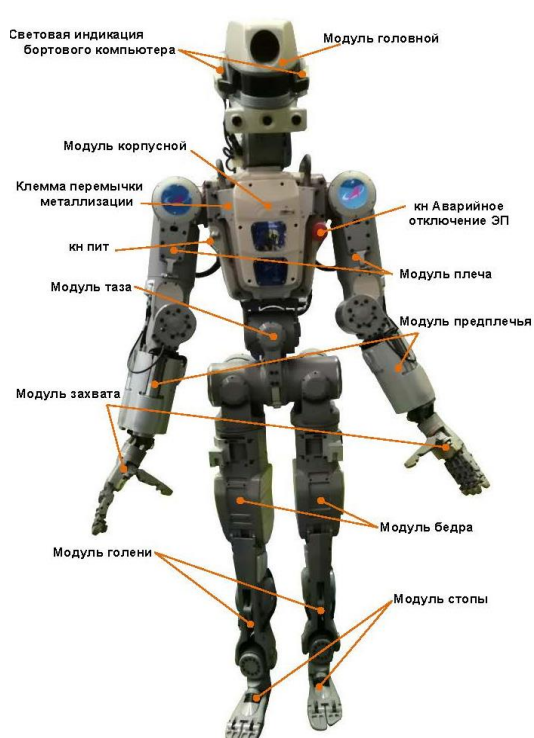
В период с 13.05.2019 г. по 21.07.2019 г. специалистами ФГБУ «НИИ ЦПК им. Ю.А. Гагарина», ПАО «РКК «Энергия» и АО «НПО «Андрoidная техника» была проведена подготовка основного и дублирующего экипажей. Подготовка включала теоретические занятия и приобретение навыков управления роботом в копирующем режиме с использованием виртуальной и физической модели робота (рис.1, а). При этом использовалось задающее устройство копирующего типа (ЗУКТ) (рис.1, б)

2.2. Проведение эксперимента

КЭ включал: исследования АРТС на этапе полета ТПК (включая участки выведения, автономного полета, стыковки с МКС и возвращения на землю), на борту РС МКС. Исследования проводили космонавты А.А. Скворцов (бортинженер) и А.Н. Овчинин (командир экипажа).

На этапе выведения на орбиту корабля «Союз МС-14» (22.08.19) с момента пуска до контакта отделения от ракеты-носителя (десятой минуте полета) робот собственными видеокамерами вел видеофиксацию (с поворотом модуля головы) и информировал ЦУП через речевой интерфейс. Параллельно велся видеоконтроль робота телекамерами ТПК.

С 30.08.2019 г. был начат цикл проведения сеансов по отработке типовых операций экипажа РС МКС: работа с ручным инструментом (отвёртка, ключ-трещотка, дрель), протирка поверхностей, стыковка и расстыковка электросоединителей, общение с экипажем, выдача голосовых команд, ответы на вопросы.



а

б

Рис. 1. Общий вид AP Skybot F-850 и ЗУКТ



а

б

Рис. 2. Работа с инструментами: а – дрелью, б – отвёрткой

Время занятости экипажа на проведение КЭ (с 30 августа по 11 сентября 2019 г.) составило 57 часов 30 мин, из них командир экипажа А.Н. Овчинин – 28 ч, бортинженер А.А. Скворцов – 29 ч 30 мин. Проведено 7 сеансов на борту РС МКС.

После возвращения на землю был выполнен контроль сохранности исходного функционала АР. Было зафиксировано, что все модули и узлы и компонентные составляющие сохранили работоспособность в полном объеме.

Заключение

1. АРТС сохраняет функциональные возможности в полном объеме после перегрузок связанных с выводом на орбиту, возвращением на землю и в условиях орбитального полета.

2. Копирующий режим управления позволяет управлять АР с точностью, достаточной для осуществления штатных полетных заданий.

3. Оценка участников выполнения КЭ – замечаний к выполнению запланированных действий АРТС нет. Программа КЭ выполнена полностью.

4. Следует осуществить переход к следующим этапам выполнения КЭ – исследование функционирования АРТС с копирующим управлением при внекорабельной деятельности.

Список литературы

1. Julia Badger, Dustin Gooding, Kody Ensley, Kimberly Hambuchen, Allison Thackston. A Case Study on Robonaut 2 // ROS in Space. The Complete Reference (Volume 1). P. 343-373. Doi: <https://doi.org/10.1007/978-3-319-26054-9>.

2. Bualat M., Carey W., Fong T., et al. Preparing for Crew-Control of Surface Robots from Orbit. IAA Space Exploration Conference, 2014. Lastly accessed 09.07.2015. URL: http://www.ri.cmu.edu/pub_files/iaa14-bualat-et-al.pdf.

3. Обоснование выбора структурной схемы роботов космического исполнения / Жиденко И.Г., Кутлубаев И.М., Богданов А.А., Сычков В.Б. // Решетневские чтения. – 2013. – Т. 1. – № 17. – С. 278–280.

4. Богданов А.А., Кутлубаев И.М., Сычков В.Б. Перспективы создания антропоморфных робототехнических систем для работы в космосе // Пилотируемые полеты в космос. – 2012. №1 (3). – С. 78-84.

5. Бурдин Б. В., Михайлюк М. В., Сохин И. Г., Торгашев М. А. Использование виртуальных 3D-моделей для экспериментальной отработки бортовых полетных операций, выполняемых с помощью антропоморфных роботов // Робототехника и техническая кибернетика. – 2013. – № 1 (1). – С. 42–46.

6. Анализ основных результатов внекорабельной деятельности экипажей МКС / Крючков Б.И., Алтунин А.А., Долгов П.П., Ярополов В.И., Усов В.М., Иродов Е.Ю., Верба Д.И., Коренной В.С. // Пилотируемые полеты в космос. – 2017. – № 1 (22). – С. 56–67.

7. Анализ основных результатов внекорабельной деятельности экипажей МКС / Крючков Б.И., Алтунин А.А., Долгов П.П., Ярополов В.И., Усов В.М., Иродов Е.Ю., Верба Д.И., Коренной В.С. // Пилотируемые полеты в космос. – 2017. – № 1 (22). – С. 56–67.

8. Сорокин В.Г. Вариант состава и структурной схемы базового блока автономного антропоморфного робота космического исполнения // Пилотируемые полеты в космос. – 2017. – № 1(22). – С. 68–64.

9. Иваницкий М.Ф. Анатомия человека (с основами динамической и спортивной морфологии). - М.: ФиС, 1985. -544 с.

С.А. Половко, к.т.н., зам. главного конструктора, polovko@rtc.ru

Е.Ю. Смирнова, нач. отдела, eus@rtc.ru

М.Н. Плавинский, нач. лаб., plavinsky@rtc.ru

С.С. Кавтрев, ведущий инженер, s.kavtrev@rtc.ru

ЦНИИ РТК, г. Санкт-Петербург, Россия

КОНЦЕПЦИЯ СОЗДАНИЯ ГИПЕРИЗБЫТОЧНОГО МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНОГО НЕОБИТАЕМОГО ПОДВОДНОГО СРЕДСТВА

Аннотация: В статье предлагается концепция создания гиперизбыточного многофункционального необитаемого подводного средства (МНПС) для выполнения работ на объектах подводной инфраструктуры. Приведен технический облик подсистем МНПС. Показан общий подход к реализации интеллектуального управления МНПС, выполненный на базе планирования операций и задания этого плана в виде структурированной миссии. Описана иерархия, на основании которой построены алгоритмы планирования операций.

Ключевые слова: подводный, робот, АНПА, ТНПА

THE CONCEPT OF HYPEREXCESS MULTIFUNCTIONAL UUV

S.A. Polovko, E.Y. Smirnova, M.N. Plavinskiy, S.S. Kavtrev, s.kavtrev@rtc.ru

RTC, Saint Petersburg, Russia

Abstract: There is a concept of hyperexcess multifunctional UUV's definition in this article. This vehicle can be used for wide range of operations to service the underwater industrial objects. The control system of the vehicle includes artificial intelligence. The structure of this vehicle is built on the modular basis, so we can choose the optimal configuration for each specific operation. This vehicle can be used in ROV and AUV mode.

Key words: underwater, robot, ROV, AUV, UUV

Растущие объемы освоения ресурсов Мирового океана влекут за собой увеличение количества объектов подводной инфраструктуры. Обслуживание, инспекция технического состояния оборудования, мониторинг обстановки и другие аналогичные операции на промышленных объектах морского базирования связаны с большими трудозатратами в среде повышенной опасности. Подобные объекты требуют регулярного осмотра подводной части конструк-

ций и своевременного выполнения сервисных операций. Перспективным путем повышения эффективности и безопасности работ является использование робототехнических комплексов смешанного базирования, включая подводные роботы.

При этом применение традиционных подводных телеуправляемых и автономных необитаемых подводных аппаратов (ТНПА, АНПА) для выполнения работ на инженерных и промышленных объектах существенно ограничено их недостаточной маневренностью в зоне подводных конструкций.

С учетом необходимости обеспечить безопасное перемещение и работу необитаемого подводного аппарата (НПА) в сложно-структурированном окружении должна быть предусмотрена кинематическая избыточность НПА в целом или его составных частей (манипуляторов) [1, 2]. Также, в силу того, что подводный робот представляет собой сложную техническую систему, которая функционирует в условиях слабо детерминированной внешней среды с непредсказуемой динамикой, для него должны быть обеспечены не только известные виды избыточности: конструктивная, структурная, информационная. Стремление к повышению уровня интеллектуализации НПА ставит проблему кибернетической избыточности и гиперизбыточности, то есть такого увеличения размерности векторов наблюдения и управления, которое неизбежно сделает востребованными такие технологии искусственного интеллекта, как нейронные сети, экспертные системы и им подобные.

Таким образом, существует потребность в создании многофункционального необитаемого подводного средства (МНПС), обладающего кинематической и кибернетической избыточностью и синтезировании управления этим аппаратом с учётом безопасности маневрирования и манипулирования.

Наращивание функциональных возможностей МНПС невозможно без повышения уровня интеллектуализации бортовой системы управления. Здесь под интеллектом мы будем понимать познавательную способность, включая

- обработку информации о внешней среде с построением ее моделей;
- использование данной информации для планирования поведения в условиях заведомой неполноты информации и непредсказуемо изменяющейся внешней обстановки [3].

МНПС должно обеспечивать выполнение следующих основных функций:

- обзорно-поисковая съемка дна и выделение объектов для детального исследования, в том числе, аварийных участков трубопроводов;
- автоматический поиск и исследование подводных объектов (в том числе протяженных);
- взятие проб воды и грунта;
- измерение параметров среды (давление, температура, электропроводность, скорость звука и т.п.);
- автоматическая стыковка с объектами подводной инфраструктуры;

- осмотр подводных конструкций, внешней поверхности бурового оборудования и трубопроводных трасс;
- локальная очистка поверхностей от наростов и отложений;
- такелажные, монтажные работы;
- ремонт и обслуживание подводного оборудования.

Приведенный перечень требует, чтобы в составе МНПС были предусмотрены разнообразные исполнительные органы (движители, манипуляторы), сенсоры и информационно-управляющая система, способная обеспечить согласованную работу всех подсистем.

Архитектура построения МНПС предполагает модульное исполнение, позволяющее осуществлять реконфигурацию аппарата, с возможностью функционирования МНПС как в телеуправляемом, так и в автономном режиме, что позволит расширить функциональные возможности аппарата. В автономном режиме такой МНПС позволит эффективно выполнять задачи исследования и мониторинга, проводить инспекцию трубопроводов, кабелей, подводных конструкций, корпусов кораблей; режим телеуправления целесообразно использовать при проведении монтажных и манипуляционных работ.

Разработан технический облик подсистем МНПС, сформирован состав бортового оборудования, требуемый для обеспечения управляемости МНПС при решении функциональных задач. Обобщенная структура интеллектуальной системы навигации и управления МНПС и базовая структура бортового информационно-управляющего комплекса приведены на рис. 1.

Бортовой информационно-управляющий комплекс (БИУК) интегрирует несколько сложных подсистем, а именно:

- навигационный комплекс на базе бесплатформенной навигационной системы (ИНС), комплексированной с измерителями скорости (абсолютный и относительный лаги), магнитными датчиками курса и датчиками глубины;
- система технического зрения (СТЗ), включающая в свой состав гидролокаторы, телевизионные камеры, профилографы, металлоискатели;
- подсистема обеспечения безопасности движения (эхолоты, датчики воды);
- движительно-рулевой комплекс;
- средства связи (гидроакустические, радио, кабельные);
- манипуляционный комплекс.

При этом для обеспечения надежности предусматривается структурная избыточность путём дублирования критически важных узлов: вычислителей, ИНС и некоторых других.

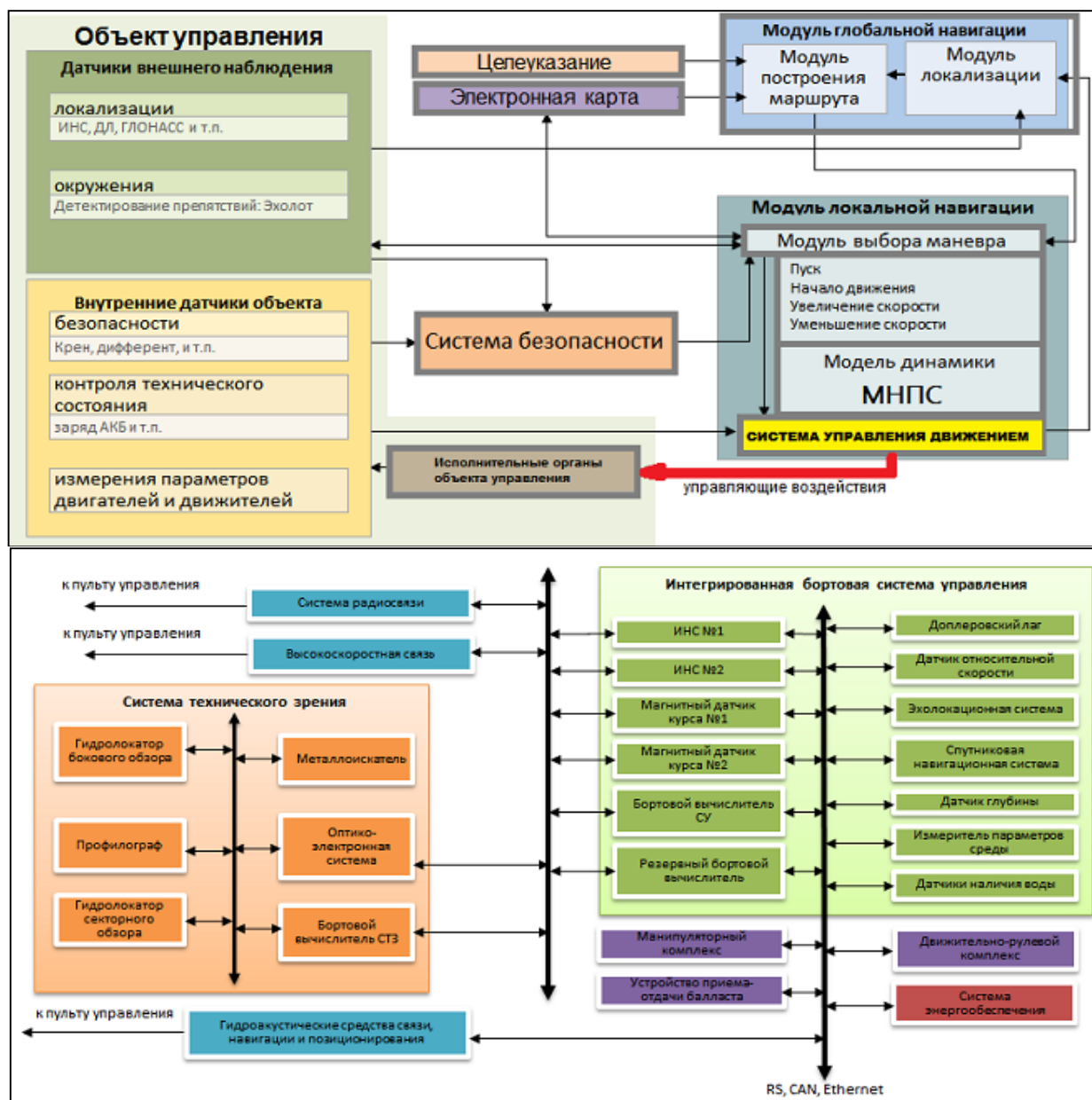


Рис. 1 – Обобщенная структура интеллектуальной системы навигации и управления МНПС, и базовая структура бортового информационно-управляющего комплекса

Разработаны алгоритмы интеллектуальной системы управления и навигации МНПС. Общим подходом к реализации интеллектуального управления МНПС является планирование операций и задание этого плана в виде структурированной (разделенной на подзадачи) миссии. Алгоритмы планирования операций построены на базе иерархии миссия-сценарий-технологическая операция (ТОП) [4]. Предусмотрен «Аварийный сценарий», который запускается автоматически, при возникновении аварийной ситуации. Определены базовые миссии МНПС, сформированные из разработанного перечня типовых сценариев. С помощью типовых сценариев могут быть сформированы новые миссии, которые, в свою очередь могут выполняться в произвольной последовательности. Такой подход обеспечивает гибкость планирования при том,

что отдельные элементы плана представляют собой отработанные и отлаженные процедуры.

Разработаны алгоритмы глобальной и локальной навигации. В рамках подсистемы глобальной навигации решаются такие задачи, как счисление, выработка координат места, выработка курса, выработка глубины под килем, выработка путевого угла и параметров течения, выработка скорости, учет поправок, прогноз времени обсервации, выработка расстояний до навигационных препятствий. Локальная навигация осуществляется при обходе препятствий, позиционировании или зависании относительно найденных объектов, следовании вдоль протяженных объектов и других подобных маневрах.

Алгоритмы системы технического зрения МНПС включают алгоритмы обработки информации телекамер и гидролокаторов, позиционирования - относительного положения МНПС в требуемой системе координат, например, в системе координат маркеров, размещенных на подводном объекте, а также алгоритмы оперативной обработки данных бортовых гидролокаторов, обеспечивающие решение задачи поиска и обнаружения протяженных подводных объектов произвольной формы, обнаружения компактных объектов, алгоритмы распознавания и идентификации объектов, поиска заданного образа по изображению объекта из базы данных.

Разработан алгоритм системы управления движением гиперизбыточного МНПС. Создана математическая модель кинематически избыточного МНПС.

Для проведения отработки математического обеспечения МНПС, включая отработку частных ТОП, сценариев и миссий МНПС, разработан отладочно-моделирующий комплекс (ОМК). Омк выполнен по модульному принципу, чтобы обеспечивать возможность подключения к центральному вычислителю аппаратных и программных имитаторов составных частей МНПС, а также использовать компьютерные модели системы управления МНПС и окружающей обстановки различной степени детализации. Проведены экспериментальные исследования на Омк.

В продолжение работ наиболее перспективным и целесообразным представляется решение следующих задач:

- на основе заложенной концепции по формированию сценариев с использованием архитектуры фреймов действий робота, обеспечивающей гибкость поведения робота в изменяющихся условиях, проработать задачу интеллектуализации МНПС, включая внедрение в систему управления функций самообучения;

- развить методы математического моделирования и управления МНПС с избыточным числом степеней свободы, включая нейророботные алгоритмы нового поколения;

- выполнить детализацию технологических операций МНПС в рамках задач осмотра, сервисного обслуживания и обеспечения работы оборудования

ния на подводных объектах, разработать детальные описания сценариев работы МНПС с избыточным числом степеней свободы;

– изготовить макеты составных частей МНПС и действующий макет МНПС в целом, провести экспериментальные исследования МНПС.

МНПС будет представлять собой аппарат с элементами искусственного интеллекта, обеспечивающими безопасную навигацию в реальных условиях, гибкий алгоритм выполнения заданной миссии, а также обнаружение и классификацию подводных объектов посредством комплексированной системы технического зрения.

Результаты были получены в рамках выполнения государственного задания Минобрнауки России № 075-00924-19-00

Список литературы

1. Алексеев А.В., Оленин А.Л., Смирнов Г.В., Фендриков А.Н. Манипуляционно-технологический комплекс обитаемого подводного аппарата. // Вестник СГАУ. – №2 (33). – 2012.

2. Иванов А.А. [и др.] Модульный гиперизбыточный манипулятор: архитектура, алгоритмы управления, реализация: научное издание // Робототехн. и техн. кибернет. – № 2. – 2014. – С. 55–60.

3. Юревич Е.И. Основы Робототехники. – «БХВ-Петербург», 2018. – 304 с.

4. Лопота А.В., Половко С.А., Смирнова Е.Ю., Плавинский М.Н. Основные результаты и перспективные направления исследований в области навигации и управления мобильными робототехническими комплексами // Космические аппараты и технологии. – №2 (4). – 2013.

Д.А. Проценко, специалист, магистрант, daryapro@mail.ru
АО «Информационные спутниковые системы» имени академика М.Ф.Решетнёва»,
Сибирский федеральный университет
г. Железногорск, Россия

ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ КОСМИЧЕСКОЙ РОБОТОТЕХНИКИ ДЛЯ ОБСЛУЖИВАНИЯ ОРБИТАЛЬНЫХ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ

Аннотация: В настоящей статье рассмотрены текущие достижения и перспективные разработки в части создания систем орбитального обслуживания космических аппаратов с акцентом на робототехнические космические системы. Сделан обзор будущих космических программ по орбитальному обслуживанию, которые будут служить основой для разработки космических роботизированных технологий.

Ключевые слова: космическая робототехника, орбитальное обслуживание, космический аппарат обслуживания, автоматизированные средства, роботизированные технологии

PROSPECTS FOR USING SPACE ROBOTICS FOR ON-ORBIT SATELLITE SERVICING

D. Protsenko, specialist, student, daryapro@mail.ru
JSC "Academician M.F. Reshetnev "Information Satellite Systems",
Siberian Federal University, Zheleznogorsk, Russia

Abstract: This paper examines the current achievements and developments in on-orbit satellite servicing, with a focus on space robotics systems. The paper gives review of future on-orbit servicing programs that will serve as the basis for the development of space robotic technologies.

Key words: space robotics, on-orbit servicing, servicing spacecraft, automation & robotics technologies

Введение

На сегодняшний день космические аппараты орбитального обслуживания являются перспективным направлением космической робототехники.

Основной задачей таких аппаратов является техническое обслуживание орбитальных космических аппаратов (КА) в процессе эксплуатации. Сюда относятся следующие виды обслуживающих операций:

- дистанционный мониторинг и диагностика технического состояния КА;
- дозаправка КА, израсходовавших запасы топлива;
- ремонт и замена отдельных блоков и модулей;
- установка дополнительной полезной нагрузки;
- перевод КА в другую точку стояния;
- удержание и коррекция орбиты обслуживаемого КА;
- довыведение КА на целевую орбиту в случае отказов средств выведения или апогейной двигательной установки;
- очистка целевых орбит от неработающих КА или космического мусора путем их увода на орбиты захоронения;
- автоматическая сборка крупногабаритных модульных конструкций на орбите;
- дистанционная энергопередача.

В настоящий момент многие страны ведут активные работы по проектам создания подобных аппаратов. Некоторые из вышеперечисленных задач уже были успешно реализованы, другие пока находятся на разных стадиях разработки. Рассмотрим примеры программ по реализации отдельных обозначенных выше задач более подробно.

Дистанционный мониторинг и диагностика состояния

Проекты первых космических аппаратов-инспекторов появились еще в конце 50-х гг. прошлого столетия. Сегодня технологии спутников-инспекторов активно разрабатываются тремя космическими державами – США, Россией и Китаем. При этом заявляется, что эти космические аппараты используются исключительно в мирных целях.

В 2006 году в США были запущены малые аппараты-инспекторы серии MITeX, предназначенные для наблюдения за КА на геостационарной орбите. В 2009 году они использовались для проведения инспекции отказавшего военного спутника DSP 23 [1]. С 2014 года в США запущена программа аппаратов-инспекторов GSSAP («Программа осведомленности о ситуации на геостационарной орбите») [2].

В июле 2019 года были запущены российские космические аппараты серии «Космос», которые по заявлению Министерства обороны России являются аппаратами-инспекторами. В ходе летных испытаний один из аппаратов провел инспекцию технического состояния второго и передал на Землю соответствующую телеметрию [3].

Дозаправка объектов в космосе успешно реализуется уже много лет. Однако заправляются не спутники, а орбитальные станции. Отечественные орбитальные станции дозаправляются топливом с грузовых кораблей «Прогресс» при помощи одноразовых заправщиков, начиная с орбитальной станции «Салют-6», которая была выведена на орбиту в 1977 году. В настоящий момент ведутся разработки и отдельные эксперименты по реализации подобной идеи и для космических аппаратов.

Первый эксперимент по автоматической заправке топливом одного спутника с помощью другого в условиях эксплуатации на орбите был успешно осуществлен США в рамках программы Orbital Express, финансируемой Управлением перспективных исследовательских проектов Министерства обороны США (DARPA). Космический аппарат-дозаправщик ASTRO («Автономные космические транспортные роботизированные операции») и экспериментальный КА NextSat были запущены на орбиту в марте 2007 года. ASTRO был разработан специально для серии экспериментов и имел в своем составе топливный бак и роботизированный манипулятор. NextSat также не был действующим спутником, а предназначался для проведения эксперимента и был специально спроектирован с учетом возможности стыковки с ASTRO [4].

Следующий эксперимент по имитации автоматической дозаправки КА был проведен в январе 2013 года на борту МКС [5]. Процедура дозаправки имитировалась при помощи роботизированного заправочного модуля RRM (Robotic Refueling Module) и роботизированного манипулятора специального назначения SPDM (Special Purpose Dexterous Manipulator) «Декстр» (Dextre) (рис.1).



Рис. 1. Стыковка манипулятора «Декстр» и заправочного модуля RRM [5]

RRM представлял собой испытательное оборудование для определения наилучшего способа дозаправки спутников, изначальный проект которых не

предусматривал подобных манипуляций. Стандартные спутники, будучи еще на Земле, плотно укрываются теплоизоляцией, заправочные клапаны плотно закрываются и контруются проводами. Соответственно, для осуществления дозаправки спутников необходимо использовать нештатные манипуляции. Роботизированный заправочный модуль успешно прошел испытания процедур дозаправки с использованием копий штатных заправочных клапанов и горловин КА и реального топлива. Стандартные одноразовые заправочные горловины, через которые спутник заправляется на Земле, были вскрыты, и с ними успешно соединился заправочный манипулятор [6]. Последний модуль RRM3 был запущен в декабре 2018 года для испытаний процедуры передачи криогенного топлива.

В 2011 году канадская компания MacDonald, Dettwiler and Associates (MDA) анонсировала создание спутника-заправщика Space Infrastructure Servicing для геостационарной орбиты, но уже в следующем году проект был приостановлен по причине отсутствия потенциальных заказчиков. В MDA разработали и запатентовали роботизированный способ дозаправки на орбите космических аппаратов, заранее неподготовленных для такого обслуживания [7].

В настоящий момент NASA ведет работы в рамках программы Restore-L. Restore-L представляет собой роботизированный космический аппарат для дозаправки низкоорбитальных аппаратов [8]. Созданием самого робота и аппарата занимается компания Space Systems Loral. Это КА с двумя манипуляторами, один из которых предназначен для захвата и притягивания обслуживаемого аппарата, а второй манипулятор используется для манипуляций с топливным клапаном (рис.2). Запуск испытательного аппарата запланирован 2022 год. Обслуживаемым аппаратом будет спутник Landsat-7 (низкоорбитальный спутник правительства США для дистанционного зондирования), ресурс топлива которого заканчивается в 2021 году [9]. Landsat-7 был выбран по причине того, что является достаточно представительным аппаратом со стандартной переходной системой, соединявшей его с ракетой-носителем, которая теперь является удобным местом захвата для манипулятора Restore-L (рис.3).

Удержание и коррекция орбиты

Проблема продления срока службы спутника с израсходованным топливом может быть решена не только путем его дозаправки. Для решения задач ориентации и коррекции орбиты можно использовать аппарат обслуживания, который стыкуется с обслуживаемым КА и берет на себя функции двигательной установки.

Первый аппарат такого типа был успешно запущен с космодрома Байконур 9 октября 2019 года [10]. Это первый и уникальный в своем роде спутник для продления миссии MEV-1 (Mission Extension Vehicle) производства

компании Northrop Grumman (ранее Orbital ATK) [11]. Данный аппарат предназначен для перемещения и удержания обслуживаемого КА на орбите. MEV-1 будет пристыкован к связному спутнику Intelsat-901, который был выведен на орбиту в 2001 году, и топливный ресурс которого на настоящий момент израсходован. MEV-1 должен будет перевести обслуживаемый аппарат на новую орбиту, с которой тот продолжит свою работу. MEV-1 фактически представляет собой космический буксир для геостационарных аппаратов. Теоретически после обслуживания Intelsat-901 он способен от него отстыковаться и состыковаться с другим спутником. В перспективе аппараты такого типа можно будет использовать и для дозаправки спутников.



Рис. 2. Один из манипуляторов Restore-L [16]



Рис. 3. Имитированная стыковка Restore-L и Landsat-7 L [16]

В 2020 году планируется запуск аппаратов-буксиров Space Drone производства компании Effective Space Solutions [12]. Эти аппараты предназначены для проведения операций коррекции и поддержания ориентации геостационарных спутников с израсходованным запасом топлива. Для стыковки с обслуживаемым аппаратом будут использоваться четыре роботизированных манипулятора. После стыковки обслуживающий аппарат возьмет на себя функции двигательного блока либо для проведения долгосрочных маневров коррекции, либо для увода отслужившего аппарата на орбиту захоронения.

Ремонт и замена оборудования

Самым известным примером орбитального обслуживания с целью модернизации и замены оборудования является, пожалуй, обслуживание космического телескопа «Хаббл». Всего было осуществлено пять пилотируемых экспедиций по обслуживанию телескопа [13]. Обслуживание проводилось

астронавтами при помощи дистанционно управляемой системы манипулирования SRMS (Shuttle Remote Manipulator System), более известной как роботизированный манипулятор Canadarm, разработанный Канадским космическим агентством. Он использовался для захвата телескопа и перемещения астронавтов (рис.4).

Примером успешной операции по замене оборудования на орбите при помощи автоматических роботизированных средств является замена батареи на экспериментальном спутнике NextSat. В 2007 году испытательный спутник ASTRO осуществил демонтаж и установку батареи КА NextSat в автономном режиме [4]. На настоящий момент реальных аппаратов, способных осуществить ремонт и техническое обслуживание на орбите, пока запущено не было.



Рис. 4. Обслуживание телескопа «Хаббл» с помощью манипулятора Canadarm L [16]

Для обеспечения ремонта и текущего обслуживания спутников на орбите Управление перспективных исследовательских программ Министерства обороны США (DARPA) планировало реализацию программы по роботизированному обслуживанию геосинхронных спутников RSGS (Robotic Servicing of Geosynchronous Satellites) [14]. В 2019 году данный проект был приостановлен, когда основной подрядчик, Maxar Technologies, отказался от со-

здания оборудования для него. В настоящий момент DARPA занимается поиском новых партнёров для возобновления проекта [15].

Заключение

Можно предположить, что с запуском первых спутников орбитального обслуживания в 2019 году в космической индустрии наступила новая эпоха. Появится возможность обслуживать космические аппараты непосредственно на орбите, тем самым продлевая их ресурс. Роботы также способны помочь в решении проблемы отжившего оборудования и утилизации космического мусора. Кроме прочего их можно использовать для создания уникальных аппаратов, которые можно будет собирать на орбите из отдельных модулей.

В будущем в космосе будет намного больше роботов, чем сегодня. Многие зарубежные компании и отечественные предприятия сегодня успешно ведут работы в данном направлении. Очевидна необходимость дальнейшего расширения функциональных возможностей разработанных на сегодняшний день роботизированных космических аппаратов и создания новых средств космической робототехники для решения обозначенных выше перспективных задач.

Список литературы

1. MITEx В [Electronic resource] // Gunter's Space Page: [site]. URL: https://space.skyrocket.de/doc_sdat/mitex-b.htm (дата обращения: 17.11.2019).
2. GSSAP Satellite Overview [Electronic resource] // Spaceflight101.com: [site]. URL: <http://spaceflight101.com/spacescraft/gssap> (дата обращения: 17.11.2019).
3. «Отработка технологий защиты и обслуживания»: в Минобороны рассказали об испытаниях космических аппаратов серии «Космос» // RT News: [сайт]. URL: <https://russian.rt.com/science/article/655163-minoborony-ispytaniya-kosmos-apparaty-sputnik> (дата обращения: 15.11.2019).
4. On-Orbit Satellite Servicing Study Project Report. National Aeronautics and Space Administration. Goddard Space Flight Center. October 2010 [Electronic resource] // Goddard Space Flight Center: [site]. URL: <https://sspd.gsfc.nasa.gov/> (дата обращения: 04.11.2019).
5. Robotic Refueling Mission [Electronic resource] // Goddard Space Flight Center: [site]. URL: https://sspd.gsfc.nasa.gov/robotic_refueling_mission.html (дата обращения: 04.11.2019).
6. Dextre and RRM complete successful satellite refuelling demo [Electronic resource] // Goddard Space Flight Center: [site]. URL: <https://www.nasaspaceflight.com/2013/01/dextre-rrm-satellite-refuelling-demo/> (дата обращения: 04.11.2019).
7. Пат. 2478534 Российская Федерация, МПК В64G1/22. Система и способ дозаправки спутников / Л. Гриньевски, Д. Кримбл. – № 2009135297/11; заявл. 10.03.08; опубл. 20.04.11.

8. Satellite Servicing, Assembly and Manufacturing Update: Restore-L and IRMA [Electronic resource] // National Aeronautics and Space Administration: [site]. URL: https://www.nasa.gov/sites/default/files/atoms/files/nac_april_2019_reed_dragonfly.pdf (дата обращения: 06.11.2019).

9. Restore-L Robotic Servicing Mission demo [Electronic resource] // Goddard Space Flight Center: [site]. URL: <https://sspd.gsfc.nasa.gov/restore-L.html> (дата обращения: 06.11.2019).

10. Northrop Grumman's satellite servicer MEV-1, Eutelsat satellite, launch on ILS Proton [Electronic resource] // Spacenews.com [site]. URL: <https://spacenews.com/northrop-grummans-satellite-servicer-mev-1-eutelsat-satellite-launch-on-ils-proton/> (дата обращения: 05.11.2019).

11. Mission Extension Vehicle [Electronic resource] // Northrop Grumman [site]. URL: https://www.northropgrumman.com/Capabilities/SpaceLogistics/Documents/MEV_Factsheet.pdf (дата обращения: 05.11.2019).

12. Space Drone 1, 2 // Gunter's Space [site]. URL: https://space.skyrocket.de/doc_sdat/space-drone-1.htm (дата обращения: 05.11.2019).

13. Hubble Servicing Missions Overview. Hubble Space Telescope [Electronic resource] // National Aeronautics and Space Administration: [site]. URL: http://www.nasa.gov/mission_pages/hubble/servicing/index.html (дата обращения: 05.11.2019).

14. Robotic Servicing of Geosynchronous Satellites (RSGS) [Electronic resource] // Defense Advanced Research Projects Agency: [site]. URL: https://www.darpa.mil/attachments/RSGSProposersDayslides_20190522.pdf (дата обращения: 05.11.2019).

15. Maxar's exit from DARPA satellite servicing program a cautionary tale [Electronic resource] // Spacenews.com: [site]. URL: <https://spacenews.com/maxars-exit-from-darpa-satellite-servicing-program-a-cautionary-tale/> (дата обращения: 05.11.2019).

16. Сайт NASA [Electronic resource] // National Aeronautics and Space Administration: [site]. URL: <https://www.nasa.gov> (дата обращения: 05.11.2019).

В.В. Чернышев, д.т.н., Vad.Chernyshev@mail.ru

И.П. Вершинина, к.т.н., dtm@vstu.ru

В.В. Арыканцев, arvstu@mail.ru

Волгоградский государственный технический университет, г. Волгоград, Россия

ДИНАМИЧЕСКАЯ УСТОЙЧИВОСТЬ ШАГАЮЩИХ ПЛАТФОРМ ПЕРЕДВИГАЮЩИХСЯ ПО ДНУ

Аннотация: Условия эксплуатации подводных шагающих машин и роботов, характеризующиеся низкой несущей способностью грунтов и сложным рельефом поверхности дна, обуславливают актуальность проблемы их устойчивости от опрокидывания. В работе обсуждается динамическая устойчивость шагающих платформ, передвигающихся по дну. Рассмотрен случай преодоления уклонов платформами с ортогональным типом шагающего движителя. Новизна исследования обусловлена учетом специфических особенностей подводных грунтов (плавучих свойств, «компрессионного эффекта» препятствующего отрыву стопы и др.)

Ключевые слова: шагающие роботы, машины передвигающиеся по дну, динамическая устойчивость, математическое моделирование.

DYNAMIC STABILITY OF WALKING PLATFORMS MOVING ALONG THE BOTTOM

V.V. Chernyshev, Sc.D., Vad.Chernyshev@mail.ru

I.P. Vershinina, Ph.D., dtm@vstu.ru

V.V. Arykantsev, arvstu@mail.ru

Volgograd State technical University, Russia, Volgograd

Abstract: Operating conditions of underwater walking machines and robots, characterized by low bearing capacity of soils and sophisticated shape of bottom surface, cause urgency of problems of their stability against rollover. Dynamic stability of walking platforms moving on the bottom is discussed in the paper. Case of overcoming slopes by platforms with orthogonal type of walking mover is considered. The novelty of the study is caused by taking into account the specific features of underwater soils (floating properties, "compression effect", which prevent foot rising, etc.).

Key words: walking robots, machines moving along the bottom, dynamic stability, mathematical modeling.

При внедрении новых промышленных технологий освоения ресурсов морского дна находят применение шагающие робототехнические платфор-

мы, передвигающиеся по дну. В подводных условиях шагающий способ передвижения обеспечивает, в сравнении с гусеничными и колесными машинами, более высокие возможности по грунтовой и профильной проходимости [1, 2]. Также шагающий движитель может обеспечить более высокие тягово-сцепные свойства [3]. Уже есть примеры выполнения шагающих платформ, передвигающихся по дну. Известна, например, 8-ми ногая шагающая платформа компании «Namibia De Beers» (рис. 1 а), предназначенной для прибрежной добычи алмазов [4]. В России также ведутся разработки подобных систем. В частности, на АО «ФНПЦ «Титан-Баррикады»» прорабатывается конструкция роботизированной подводной буровой установки на базе двух шагающих платформ (рис. 1 б), предназначенной для освоения подводных месторождений нефти и природного газа на Арктическом шельфе [5].



а



б

Рис. 1. Шагающая платформа компании «Namibia De Beers» для прибрежной добычи алмазов (а), подводная буровая установка на базе двух шагающих платформ (б)

Условия эксплуатации подводных шагающих машин и роботов, характеризующиеся низкой несущей способностью подводных грунтов и сложным рельефом дна, обуславливают актуальность проблемы их устойчивости от опрокидывания. Для подводных шагающих буровых установок проблема динамической устойчивости особенно актуальна из-за высокого положения их центра масс. В работе обсуждается динамическая устойчивость подводных шагающих платформ. Рассмотрен случай преодоления уклонов платформами с ортогональным типом шагающего движителя. Задача определения запаса устойчивости шагающих машин и роботов уже рассматривались многими исследователями [6, 7]. При ее решении свойства грунта, как правило, не учитываются. Новизна исследования обусловлена учетом специфических особенностей подводных грунтов (плывунных свойств, «компрессионного эффекта» препятствующего отрыву стопы от грунта и др.).

Плывунные свойства донных грунтов (плывун — насыщенный водой грунт, разжижающийся при механическом воздействии на него) обуславливают необходимость ограничения максимальных опорных реакций с целью

недопущения опрокидывания платформы вследствие потери несущей способности грунта под стопами шагающего движителя. Максимальные опорные реакции имеют место в момент смены стоп (при переступании). На их величину существенное влияние оказывает «компрессионная» сила — при отрыве ноги от грунта, из-за разрежения, возникающего под стопой, появляется сила, препятствующая ее отрыву. Штаповые испытания в условиях реальных водных объектов, показывают, что компрессионная сила на вязких донных грунтах может достигать значительной величины [8, 9]. Величина компрессионной силы существенно зависит от скорости отрыва стопы от грунта. Для «быстрых» движений стопы требуется большая сила. При «малой» силе отрыв стопы от грунта происходит с некоторой задержкой (после фильтрации воды в зону разрежения под стопой).

Если шагающая машина не имеет управляемой стопы, то для статически устойчивой ходьбы минимальное число ног, одновременно находящихся в фазе опоры равно трем. Минимальное число ног статически устойчивой машины равно четырем. Четырехногая машина использует только один тип статически устойчивых походок, при этом ноги перемещаются по очереди одна за другой. На рис. 2 показано перераспределение нормальных N_k и касательных F_k (сил сцепления) реакций ($k = 1, 2, 3, 4$) под стопами двигающейся вдоль уклона 4-х ног платформы с отрицательной плавучестью G при смене ног с учетом действия компрессионной силы P_2 . На рис. 2 а все четыре ноги находятся в фазе опоры, а на рис. 2 б дан наихудший случай для устойчивости — 1, 3 и 4 стопа в опорной фазе, а 2-я отрывается от грунта (рис. 3 а).

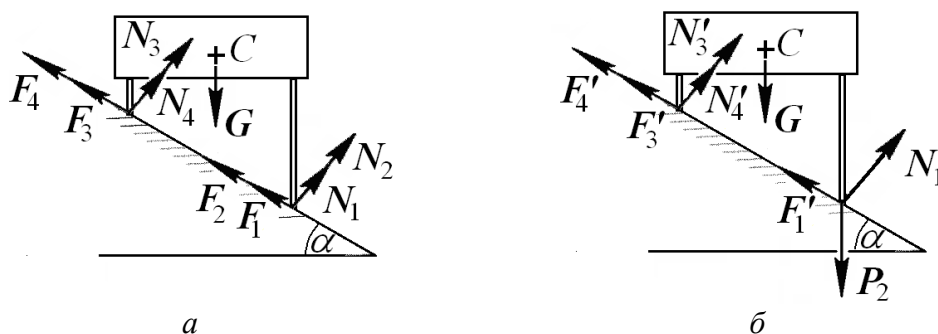


Рис. 2. Перераспределение при смене ног нормальных N_k и касательных F_k под стопами четырехногой шагающей платформы передвигающейся вдоль уклона

На рис. 3 также приведено наихудшее с точки зрения устойчивости к опрокидыванию расположение стоп 6-ти ног (при движении «тройками») и 8-ногой (при движении «четверками») шагающей машины. На рис. 3 б — 2, 4 и 6 стопа в опорной фазе, а 1, 3 и 5 отрываются от грунта, на (рис. 3 в) — 1, 3, 5 и 7 стопа в опорной фазе, а 2, 4 и 6 отрываются от грунта.

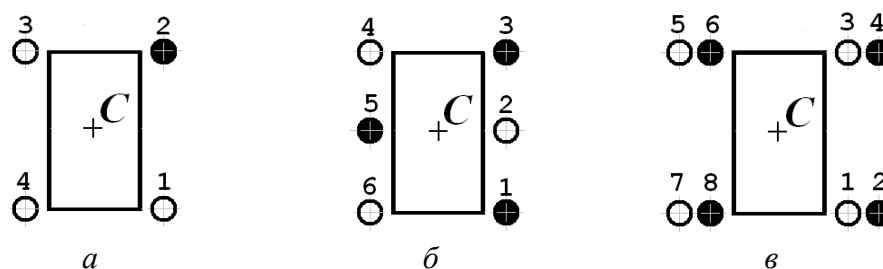


Рис. 3. Наихудшее с точки зрения устойчивости к опрокидыванию расположение стоп 4-х ног (а), 6-ти ног (б) и 8-ногой (в) шагающей платформы

Для всех наихудших для устойчивости расположений стоп составлены уравнения равновесия. Уравнения составлялись для случая горизонтального положения платформы (шагающий движитель ортогонального типа позволяет управлять положением корпуса). В результате были определены коэффициенты роста нормальных опорных реакций $\eta = N'/N$ при смене ног для наиболее нагруженных ног 4-х (стопа 1), 6-ти (стопа 2) и 8-ми (стопы 1, 3) ногой шагающей платформы. Полученные результаты показали, что компрессионная сила существенно влияет на рост опорных реакций (рис. 4). Недопустимо высокий рост давления на стопу при переступании может привести к потере несущей способности грунта и к опрокидыванию платформы. Четырехногая схема шагающей платформы, как видно из рис. 4, отличается наименьшим коэффициентом роста опорных реакций, поэтому она более предпочтительна с точки зрения устойчивости к опрокидыванию.

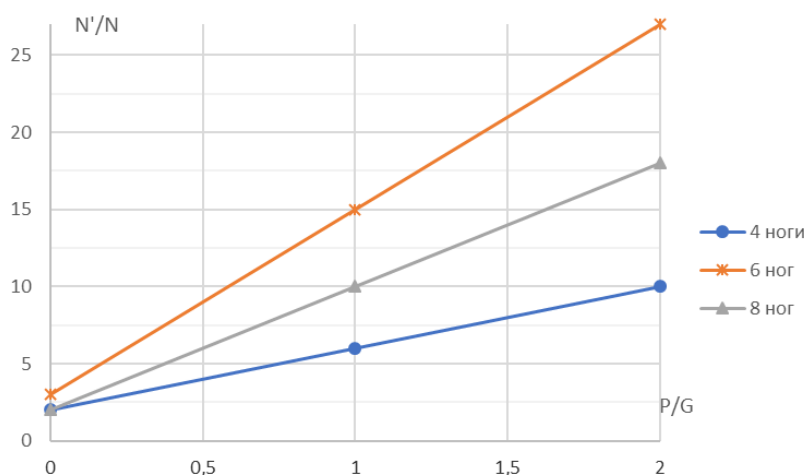


Рис. 4. Зависимости коэффициентов роста опорных реакций при смене стоп

При разрушении грунта под 1-й стопой (рис.2 б), будет иметь место опрокидывание шагающей платформы вокруг точки O — грани опорного многоугольника проходящей через 3 и 4 стопы (рис. 5 а). При этом величина опорной реакции N_1 будет определяться пределом текучести грунта.

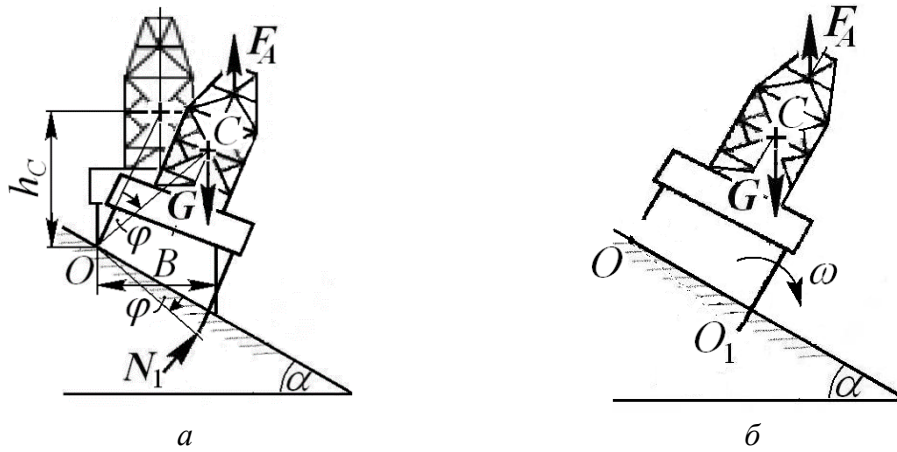


Рис. 5. Опрокидывание 4-х ногой шагающей платформы из-за потери несущей способности грунта под опорами правого борта

Процесс опрокидывания включает в себя несколько этапов. На начальном этапе вследствие потери несущей способности грунта под 1-й стопой она вместе с корпусом платформы поворачивается вокруг точки O и погружается в грунт. При этом 2-я стопа еще находится на опорной плоскости и пытается оторваться от грунта. Ее скорость в относительном движении по отношению к корпусу определяет угловую скорость платформы на этом этапе $\omega_0 = v_{1r}/B$, где v_{1r} — относительная скорость 1-й стопы; B — ширина колеи.

В момент отрыва 2-й стопы от грунта платформа будет иметь угловую скорость ω_0 и уже отклонится от вертикали на угол $\varphi_0 = \omega_0 t$ (при $v_{1r} = \text{const}$). После отрыва 2-й стопы от грунта платформа будет продолжать вращаться вокруг точки O под действием силы G . Определим условия, при которых платформа остановится на этом этапе. Для этого воспользуемся теоремой об изменении кинетической энергии системы.

$$T - T_0 = \sum_{k=1}^n A_k^{(e)}, \quad (2)$$

где $T_0 = J\omega_0^2/2$ и $T = 0$ — начальная и конечная кинетическая энергия системы; J — момент инерции платформы относительно ост вращения.

Работа внешних сил складывается из работы моментов сил G и N_1 :

$$\sum_{k=1}^n A_k^{(e)} = \int_{\varphi_0}^{\varphi_1} M_O(G) d\varphi - N_1 \frac{B}{\cos \alpha} \varphi_1. \quad (3)$$

Из (2) и (3) для малых углов получаем, что платформа остановится при

$$\varphi_1 = \frac{J\omega_0^2 - GB\varphi_0}{B(2N_1 - G \cos \alpha)} \cos \alpha. \quad (4)$$

Очевидно, что для обеспечения динамической устойчивости угол поворота платформы $\varphi = \varphi_0 + \varphi_1$ должен быть меньше критического угла $\varphi_{кр}$, при котором платформа будет опрокидываться вокруг стоп правого борта (рис. 5 б). Угол φ_1 можно уменьшить, обеспечив плавучесть верхней части

вышки (рис. 5). В этом случае выталкивающая сила F_A будет оказывать стабилизирующее действие на устойчивость платформы. Угол $\varphi_{кр}$ можно найти из условия $OC \cos(\beta - \varphi_{кр}) = B \cos(\alpha + \varphi_{кр})$. Для малых углов получаем

$$tg \varphi_{кр} = \frac{2 \cos \alpha - 1}{tg \beta + 2 \sin \alpha}, \quad (5)$$

где $tg \beta = 2h_C/B$; h_C — высота центра масс платформы.

Таким образом, потеря статической устойчивости шагающей платформы из-за потери несущей способности грунта под опорами одного из бортов не обязательно приведет к ее опрокидыванию. Полученные соотношения позволяют оценивать на стадии проектирования динамическую устойчивость подводных шагающих машин и роботов с учетом специфических свойств донного грунта. Результаты работы могут быть востребованы при разработке шагающих платформ для новых технологий освоения ресурсов морского дна.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ и Администрации Волгоградской обл. в рамках научных проектов № 19-08-01180 а, № 19-48-340007 р_а.

Список литературы

1. Чернышев В.В., Арыканцев В.В., Гаврилов А.Е., Калинин Я.В. Исследования динамики взаимодействия движителя подводного шагающего аппарата с донным грунтом // Исследования наукограда. 2015. — № 1. — С. 32-36.
2. Chernyshev V.V., Arykantsev V.V., Kalinin Ya.V. Underwater Tests of The Walking Robot MAK-1 // Human-Centric Robotics: Proc. of the 20th Int. Conf. on Climbing and Walking Robots and the Support Technologies for Mobile Machines CLAWAR 2017 (Portugal). 2017. — P. 571–578.
3. Арыканцев В.В., Чернышев В.В. Подводные исследования тягово-сцепных свойств и проходимости шагающего аппарата МАК-1 // Известия ЮФУ. Технические науки. 2015. — № 10. — С. 169–178.
4. Namibia De Beers [Электронный ресурс]: <https://www.debeersgroup.com/>
5. Шурыгин В.А., Серов В.А., Ковшов И.В., Устинов С.А. Технология применения подводных шагающих роботизированных платформ при освоении подводных (подледных) месторождений углеводородов // Технические проблемы освоения Мирового океана. 2017. — Т. 7. — С. 43-47.
6. Охоцимский Д.Е., Голубев Ю.Ф. Механика и управление движением автоматического шагающего аппарата. — М.: Наука, 1984. — 312 с.
7. Лапшин В.В. Механика и управление движением шагающих машин. — М.: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2012. — 199 с.
8. Чернышев В.В., Арыканцев В.В., Матвейчук М.Г. и др. Штамповая установка для исследования «компрессионных» свойств подводных грунтов // Системы контроля окружающей среды. 2019. — № 3 (37). — С. 16-22.

МЕТОД ФОРМИРОВАНИЯ ПРОГРАММНОЙ СКОРОСТИ ДВИЖЕНИЯ ГРУППЫ ПОДВОДНЫХ РОБОТОВ, ДВИЖУЩИХСЯ В РЕЖИМЕ «ЛИДЕР-ВЕДОМЫЕ»

Аннотация: В работе предложен метод автоматического формирования программной скорости движения группы роботов, движущихся в строю, позволяющего учесть вход в насыщения движителей отдельных роботов, и обеспечить сохранение заданного строя. Преимущество предложенного подхода заключается в простоте реализации предложенной системы и небольшом объеме передаваемых данных между роботами группы.

Ключевые слова: подводный робот, система управления, групповое управление, строевое управление, высокая точность, насыщения

THE METHOD OF FORMATION OF PROGRAM VELOCITY OF AUV GROUP MOVED IN “LEADER-FOLLOWERS” MODE

D.A. Yukhimets, Dr. Sc., undim@iacp.dvo.ru
IACP FEB RAS, Vladivostok, Russia

Abstract: The paper proposes a method of automatic formation of the program velocity of movement of a group of robots moving in formation, which allows to take into account the thruster saturation of AUV-followers, and to ensure the stability of a given formation. The advantage of the proposed method is the ease of implementation of the proposed system and small amount of data transferred between the robots of the group.

Key words: underwater vehicle, control system, cooperative control, formation control, high accuracy, thruster saturation

Введение

В настоящее время основным направлением развития подводной робототехники является использование групп роботов для совместного выполнения операций. При этом одним из вариантов групповых миссий является движение группы подводных роботов (ПР) в заданном строю с использованием стратегии «лидер-ведомые», когда в группе роботов выделяется лидер, имеющий информацию о миссии и формирующий траекторию движения, а

остальные роботы являются ведомыми, которые вычисляют свое желаемое положение относительно лидера и следуют за ним.

В настоящее время уже разработано большое количество методов управления согласованным движением групп роботов [1]. Эти методы основаны на разных методах теории автоматического управления и позволяют обеспечить поддержание положения роботов-ведомых в строю с учетом неопределенности параметров роботов и влияния внешних возмущений.

Однако при движении по сложным траекториям, имеющим изгибы, для поддержания строя ПР-ведомые должны двигаться с различной скоростью. При этом может возникнуть ситуация, когда их движительные устройства могут войти в насыщения, что приведет к отходу робота от своего места в строю. В этом случае необходимо менять программную скорость движения лидера, чтобы ведомые могли успевать двигаться за ним.

В работе [2] был предложен метод настройки программной скорости движения ПР, позволяющий обеспечить высокую точность и скорость их движения при сохранении заданной точности и учете входа их движителей в насыщения. Поэтому в работе решается задача модификации указанного метода для случая управления группой роботов, движущихся в строю.

Постановка задачи

В работе рассматривается группа из n ПР, двигающихся в заданном строю. Один робот из группы является лидером, который имеет полную информацию о траектории движения. ПР-ведомые имеют информацию о положении, ориентации и скорости движения лидера, а также своего желаемого положения относительно ПР-лидера, и должны рассчитывать свое желаемое положение на основе этой информации.

Рассмотрим процесс прохождения группой криволинейной траектории (см. рис. 1). В процессе прохождения изгиба траектории роботы-ведомые (Ведомый 1 на рис. 1), которые проходят изгиб траектории по радиусу большему, чем робот-лидер, чтобы сохранить строй должны двигаться со скоростью большей, чем робот-лидер. При этом увеличение скорости движения может приводить ко входу движителей робота-ведомого в насыщения и невозможности поддерживать повышенную скорость движения. В этом случае возможно недопустимое отклонение робота от предписанного ему места в строю и разрушения строя (точечная линия на рис.1)

Для предотвращения указанной ситуации робот-лидер должен уменьшить скорость движения по траектории так, чтобы все роботы-ведомые могли поддерживать заданное положение в строю без выхода их движителей в насыщения.

Однако аналитический расчет указанной скорости затрудняется неопределенностью и переменностью параметров ПР-ведомых и их движите-

лей, а также невозможностью заранее предсказать траекторию движения группы в обстановке с препятствиями.

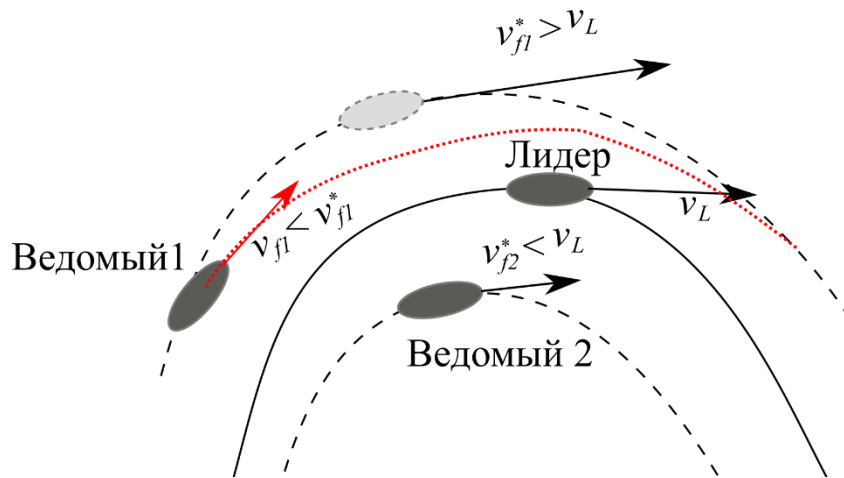


Рис. 1. Прохождение группой роботов криволинейной траектории

Таким образом, в работе ставится задача разработки метода формирования программной скорости, позволяющей обеспечить движение группы ПР в заданном строю с требуемой точностью с учетом ограничений, накладываемых на движительные комплексы ПР-ведомых и не требующий априорного знания траекторий движения группы ПР.

Метод формирования программной скорости движения строя роботов

Для реализации этого принципа предлагается применить подход, предложенный в [2] и модифицированный для случая группового движения роботов. Этот подход реализуется с помощью системы, структурная схема которой показана на рис. 2.

На рис. 2 введены следующие обозначения: РПС – регулятор программной скорости; БФПС – блок формирования программных сигналов; $E_{дон}$ – допустимое отклонение от положения в строю; V_d – программная скорость движения лидера; $E_i = \|X_{Fi}^* - X_{Fi}\|$ – отклонение i -го ведомого от заданного положения в строю; X_{Fi}^* – желаемое положение i -го ведомого; X_{Fi} – текущее положение i -го ведомого; X_L^* – желаемое положение лидера; X_L – положение лидера

Как видно из представленного рисунка для настройки скорости движения вдоль траектории предлагается использовать регулятор, который на выходе формирует величину программной скорости движения ПР-лидера в зависимости от текущей точности поддержания заданного строя всеми ПР группы.

Эта точность будет оцениваться по величине максимального отклонения роботов-ведомых группы от их желаемых положений в строю:

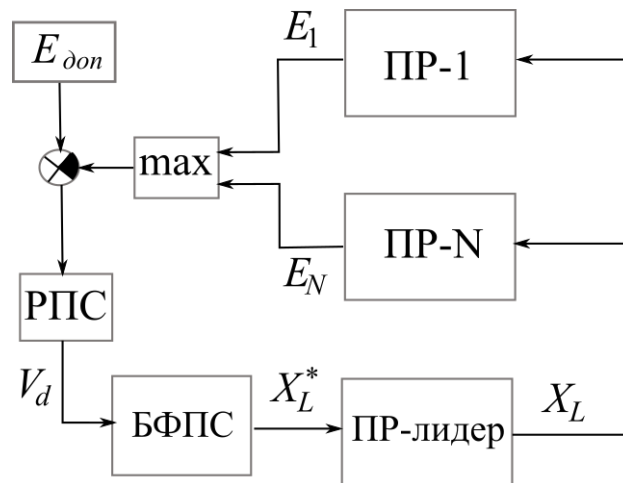


Рис.2 Структурная схема системы автоматической настройки программной скорости движения группы роботов

$$\xi = \max(E_i), i = (1, n) \quad (1)$$

где n – количество роботов в группе.

Настройка программной скорости v_L^* движения робота-лидера происходит по следующему закону:

$$V_d = v_{d0}^* + K_p(E_{don} - \xi) + K_i \int (E_{don} - \xi) dt, \quad (2)$$

где v_{d0}^* – желаемое значение программной скорости движения робота-лидера, K_p, K_i – положительные коэффициенты.

Как видно из выражения (2) настройка программной скорости робота-лидера выполняется с использованием ПИ-регулятора. Это решение обеспечивает простоту реализации системы, а также не требует использования высокоскоростных каналов связи. Для его функционирования достаточно передачи на робот-лидер информации от ведомых о текущем значении их отклонений от заданных положений в строю.

Результаты моделирования

Для проверки предложенного метода было проведено математическое моделирование, в котором рассматривалось движение в строю группы из трех подводных роботов по криволинейной плоской траектории, описываемой гармоническим законом: $y_d = 20\cos(0.1x_d)$, по которой ПР двигались в треугольном строю, где расстояния между ПР-лидером и ПР-ведомыми равнялось 7 м, а между ведомыми 10 м.

На рис. 3 показано изменение величины отклонения ПР-ведомых от своего желаемого положения в строю при движении группы по заданной траектории с постоянной скоростью 1 м/с (рис. 3а) и с использованием разработанной системы автоматического формирования программной скорости (рис.

3б) (кривая 1 – отклонение первого ПР-ведомого от своего желаемого положения в строю, кривая 2 – отклонение второго ПР-ведомого от своего желаемого положения в строю).

Как видно из представленного рисунка при движении по участку траектории с большим радиусом кривизны, чем у ПР-лидера, отклонение ПР-ведомого от желаемого положения вследствие выхода его движителей в насыщения резко возрастает и достигает 4 м, что является непримлемым при согласованном движении группы ПР.

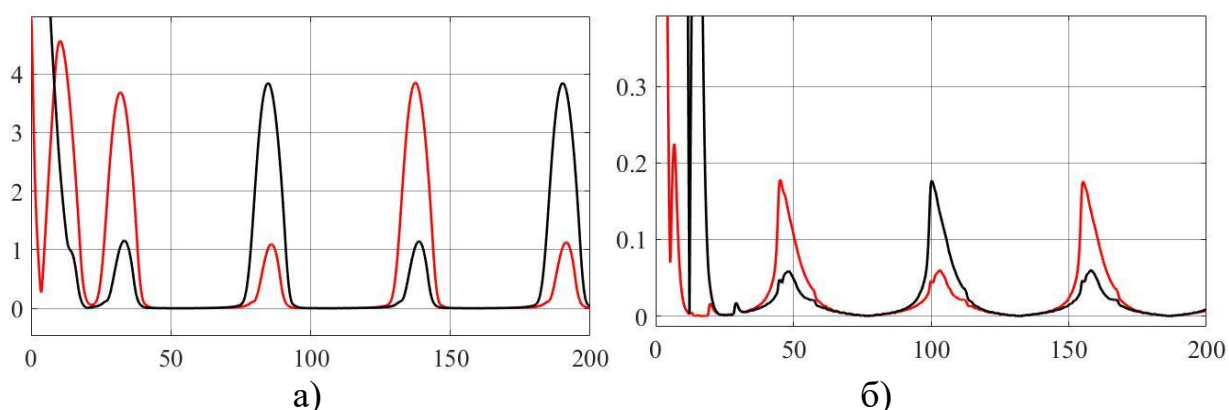


Рис. 3. Отклонения ПР-ведомых от своих желаемых положений в строю при движении группы по заданной траектории с постоянной скоростью (а) и с использованием разработанной системы формирования программной скорости (б)

При этом в результате использования предлагаемой системы формирования программной скорости движения указанное отклонение удастся уменьшить до 0.17 м. При этом из рис.4 видно, что при прохождении участков траекторий, приводящих ко входу движителей отдельных ПР-ведомых в насыщения программная скорость движения автоматически уменьшается, что позволяет учесть насыщения движителей ПР-ведомых без знания параметров их математических моделей.

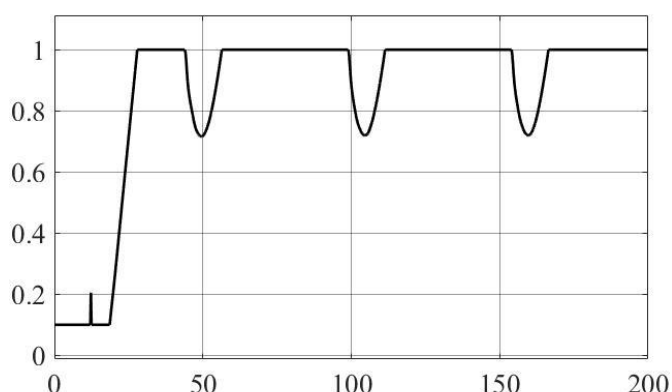


Рис. 5. Процесс изменения программной скорости движения робота-лидера

Заключение

Таким образом, результаты проведенного математического моделирования подтвердили работоспособность и эффективность предложенного подхода. Стоит отметить, что предложенный метод может быть использован для управления группами не только подводных, но воздушных и наземных мобильных роботов.

В работе предложен метод автоматического формирования программной скорости движения группы роботов, движущихся в строю, позволяющего учесть вход в насыщения движителей отдельных роботов, и обеспечить сохранение заданного строя. Указанный метод основан на введении дополнительного контура обратной связи, который формирует величину программной скорости движения ПР-лидера на основе текущих величин отклонений ПР-ведомых от их желаемых положений в строю. Преимущество предложенного подхода заключается в простоте реализации предложенной системы, небольшой объем передаваемых данных между роботами группы.

Работа поддержана РФФИ (грант 19-08-00347) и Программой фундаментальных научных исследований по приоритетным направлениям, определяемым Президиумом Российской академии наук, № 7 "Новые разработки в перспективных направлениях энергетики, механики и робототехники".

Список литературы

1. Зенкевич С.Л., Галустян Н.К. Децентрализованное управление группой квадрокоптеров. Мехатроника, автоматизация, управление. 2016. – Т.17. - №11. – С. 774-782.
2. Филаретов В.Ф., Юхимец Д.А. Метод формирования гладких траекторий движения мобильных роботов в неизвестном заранее окружении // Известия РАН. Теория и системы управления. – 2017. – № 4. – С. 174–184.

Секция 3

ИНЖЕНЕРИЯ ЗНАНИЙ И БАЗЫ ЗНАНИЙ

НАБОРЫ ДАННЫХ ДЛЯ ОБУЧЕНИЯ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ В ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ ТРАНСПОРТНЫХ СИСТЕМАХ

Аннотация: Обучение нейронных сетей для решения задачи восприятия окружающей обстановки в интеллектуальных транспортных системах напрямую влияет на эффективность работы таких систем. Используемые при обучении нейронной сети наборы данных крайне разнообразны. В данной работе рассматриваются особенности различных наборов данных, а также их применимость для решения практических задач при создании интеллектуальной транспортной системы.

Ключевые слова: нейронные сети, набор данных, распознавание объектов, компьютерное зрение, интеллектуальные транспортные системы

DATASETS FOR NEURAL NETWORKS IN INTELLIGENT TRANSPORTATION SYSTEMS

V. V. Oynets, oynets@yandex.ru

A. V. Pyataeva, Ph.D., anna4u@list.ru

Siberian Federal University, Krasnoyarsk, Russia

Reshetnev Siberian State University of Science and Technology, Krasnoyarsk, Russia

Abstract: Training of neural networks, which are using in intelligent transportation systems to perceive the surrounding urban environment, directly affects the efficiency of such systems. The datasets used to train neural networks are very diverse. In this paper, we consider the features of various datasets and their ability to solve practical problems when creating an intelligent transportation system.

Key words: neural networks, dataset, object recognition, computer vision, intelligent transportation systems

В настоящее время с развитием интеллектуальных транспортных систем искусственные нейронные сети всё чаще применяются для восприятия окружающей городской обстановки через распознавание различного рода визуальных образов [1]–[7]. Это могут быть объекты, с которыми мы имеем де-

ло на дорогах и вокруг них – такие как различные транспортные средства, пешеходы, дорожные знаки, дорожное полотно, тротуары, и прочее. Чтобы нейронная сеть имела возможность достоверно распознать искомый объект, предварительно проводится её обучение на наборах данных (датасетах), содержащих примеры изображений, которые потребуется классифицировать. Датасеты также активно используются для обучения нейронных сетей систем навигации мобильных роботов [8]–[10]. Применяемые датасеты могут быть очень разнообразными по характеру включаемых изображений. В данной работе мы исследуем принципы выбора различных датасетов и рассмотрим области их возможного применения.

Распознавание типа транспортного средства признаётся ключевой технологией для построения систем наблюдения за дорожным движением, поэтому классификация транспортных средств по типам является важной частью интеллектуальных транспортных систем [1], [2]. Соответственно, применяются датасеты, содержащие изображения автомобилей с разделением на популярные типы, такие как легковой автомобиль, микроавтобус, мотоцикл, грузовик и др. Примерами таких датасетов являются Stanford Car Dataset [11], Caltech [12]. Также возможно, а иногда и предпочтительно, использование наборов данных собственной разработки [1], [8].

Не менее важной функцией интеллектуальных транспортных систем является способность распознавать дорожные знаки [3], [4]. Системы распознавания дорожных знаков предлагают дополнительную помощь водителю, предупреждая о наличии таких знаков на дороге. Так снижаются риски в ситуациях отвлечения внимания водителя, его усталости, недостаточного освещения или плохих погодных условий. Всё это способствует повышению безопасности движения. Для оценки качества работы нейронных сетей в этом случае используются специальные датасеты, содержащих изображения дорожных знаков – такие, как German Traffic Sign Recognition Benchmark [13], German Traffic Sign Detection Benchmark [14], Belgium Traffic Sign Classification [15].

Классификация мест является одной из тем дискуссий в сообществе компьютерного зрения и робототехники. Ведутся работы по созданию датасетов, включающих изображения, характеризующие не только виды объектов, а конкретные географические местности, с выделением особых черт и возможностью классификации (SUN Database [16], Place Database [17], Indonesian Dataset [18]). Это призвано улучшить возможности интеллектуальных систем ориентироваться на местности.

Датасеты могут применяться для оценки производительности различных моделей нейросетей. В этом случае, в датасеты могут входить изображения практически любых предметов окружающего мира. В ходе такого эксперимента может сравниваться точность результатов для разных архитектур нейронных сетей, выполнявших распознавание одних и тех же объектов на одинаковых наборах данных [8], [19]. Сегодня доступны разнообразные

наборы данных для тестирования производительности различных типов нейронных сетей. Среди наиболее часто встречающихся датасетов для оценки производительности нейронных сетей можно отметить Caltech-256 [12], ImageNet [20], CIFAR10, CIFAR100 [21]. Некоторые исследования, связанные с изучением использования мобильных роботизированных платформ, для оценки точности распознавания нейронными сетями требуют подготовки собственных датасетов, состоящих из различных изображений одних и тех же предметов, но сделанных под разным углом и на разной высоте [8], [9].

Важным этапом предварительной обработки данных при обучении нейронных сетей является аннотирование (или маркировка) изображений. Любая ошибка или неточность на этом этапе может отрицательно повлиять на качество датасета. Кроме того, общая производительность модели может быть сильно занижена, существенно возрастает количество ошибок распознавания. Существует три варианта аннотирования изображений: ручное, полуавтоматическое и автоматическое аннотирование. Такие данные, как изображение автомобиля, голос и текст, обычно маркируются рабочими группами в ручном режиме. Для полуавтоматического или для аннотирования без участия человека, применяются специальные технологии, например, технология VDL (virtual detections line-based methods) [5]. При решении некоторых задач автоматическое аннотирование является неотъемлемой частью процесса для получения искомого результата. В статье [6] рассмотрен метод определения критических ситуаций, связанных с дорожным движением. В отличие от известных решений, для обнаружения и распознавания нормальных или критических ситуаций в нём используется классификация с последующим усилением на основе нескольких кадров видеопотока и алгоритмом автоматической аннотации.

При изучении вопроса об эффективности обучения нейронной сети рассматривается не только содержание набора данных, но и его структура. Например, в статье [10] показано, что качество аннотирования изображений датасета влияет на точность обнаружения и распознавания объектов нейронной сетью. Были выбраны три лучших и три худших класса по средней точности обнаружения. Учитывались также площади объектов и общая площадь изображения. Эксперимент показал, что при уменьшении средней величины площади распознанного объекта средняя точность обнаружения нейронной сетью снижалась, а количество нераспознанных объектов увеличивалось. Можно предположить, что неудовлетворительные результаты распознавания объектов бывают связаны с наличием в датасете большого количества аннотированных объектов небольшого размера.

Разработаны специальные датасеты для обучения нейронных сетей на видеоданных, полученных на открытых пространствах в сложных погодных условиях [7]. Под сложными погодными условиями понимают присутствие тумана или атмосферных осадков, недостаточную освещенность и пр. Датасет FROSI Database (Foggy ROad Sign Images) [22] используется для работы

нейронной сети, определяющей дальность обнаружения объектов в условиях тумана. Для решения проблемы распознавания объектов в условиях пониженной освещенности для нейронных сетей требуются большие объёмы обучающих данных, которые имеют различную интенсивность освещения. В свободном доступе таких наборов данных обнаружить не удалось, на основании чего можно сделать предположение, что задача по сбору и подготовке таких датасетов представляет некоторую сложность. Возможным выходом из этой ситуации рассматривается использование изображений в видимом и ближнем инфракрасном (NIR-изображения) диапазоне спектра [23]. NIR-изображение менее чувствительно к изменению условий освещенности. По сравнению с NIR-изображениями, изображения в видимом свете предоставляют большую детализацию объектов. Поэтому имеет смысл использовать совместно как изображение в видимом свете, так и изображение в ближнем инфракрасном диапазоне, чтобы решить проблему изменения освещенности и в то же время сохранить преимущество изображений в видимом свете. Для реализации этого подхода используются датасеты как в видимом свете, так и сделанные в ближнем инфракрасном диапазоне (CASIA NIR [24], PolyU NIR [25], HIT LAB2 [26]).

Таким образом, в настоящее время созданы различные наборы данных, используемые для обучения нейронных сетей при решении практических задач в интеллектуальных транспортных системах. Некоторые исследователи прибегают к разработке и подбору собственных датасетов для решения поставленных специальных задач.

Список литературы

1. Muchtar K., Afdhal N., Nugraha I. Attention-based Approach for Efficient Moving Vehicle Classification // Proceedings of 4th International Conference on Computer Science and Computational Intelligence (ICCCSI), 2019. – pp. 683–690.
2. Li S., Lin J., Li G., Bai T., Wang H., Pang Y. Vehicle type detection based on deep learning in traffic scene // Proceedings of 8th International Congress of Information and Communication Technology (ICICT-2018), 2018. – pp. 564–572.
3. Shustanov A., Yakimov P. CNN Design for Real-Time Traffic Sign Recognition // Proceedings of 3rd International Conference “Information Technology and Nanotechnology” (ITNT-2017), Samara, Russia, 4, 2017. – pp. 718–725.
4. Saouli A., El Aroussi M., Fakhri Y. Traffic Sign Recognition Based On Multi-feature Fusion and ELM Classifier // Proceedings of The First International Conference On Intelligent Computing in Data Sciences, 2018. – pp. 146–153.
5. Namatevs I., Sudars K., Polaka I. Automatic data labeling by neural networks for the counting of objects in videos // Proceedings of ICTE in Transportation and Logistics (ICTE 2018), 2018. – pp. 151–158.
6. Pashchenko F. F., Amosov O. S., Amosova S. G., Ivanov Y. S., Zhiganov S. V. Deep Neural Network Method of Recognizing the Critical Situations for Transport Sys-

tems by Video Images // Proceedings of The 2nd International Conference on Emerging Data and Industry 4.0 (EDI40), Leuven, Belgium, 4, 2019. – pp. 675–682.

7. Chaabani H., Kamoun F., Bargaoui H., Outay F., Yasar A. A Neural network approach to visibility range estimation under foggy weather conditions // Proceedings of International Workshop on Connected & Intelligent Mobility (CIM 2017), 2017. – pp. 466–471.

8. Madokoro H., Kainuma A., Sato K. Non-Rectangular RoI Extraction and Machine Learning Based Multiple Object Recognition Used for Time-Series Areal Images Obtained Using MAV // Proceedings of 22nd International Conference on Knowledge-Based and Intelligent Information & Engineering Systems, 2018. – pp. 462–471.

9. Padhy R. P., Verma S., Ahmad S., Choudhury S. K., Sa P. K. Deep Neural Network for Autonomous UAV Navigation in Indoor Corridor Environments // Proceedings of International Conference on Robotics and Smart Manufacturing (RoSMa2018), 2018. – pp. 643–650.

10. Verbitsky N. S., Chepin E. V., Gridnev A. A. Experimental studies of a convolutional neural network for application in the navigation system of a mobile robot // Proceedings of the 9th Annual International Conference on Biologically Inspired Cognitive Architectures (BICA), 2018. – pp. 611–616.

11. Krause J., Stark M., Deng J., Fei-Fei L. 3D Object Representations for Fine-Grained Categorization. 4th IEEE Workshop on 3D Representation and Recognition, at ICCV 2013 (3dRR-13), Sydney, Australia, 12, 2013. [Электронный ресурс]: режим доступа – <http://vision.stanford.edu/pdf/3drr13.pdf>.

12. Caltech Computational Vision Group Datasets. [Электронный ресурс]: режим доступа – <http://www.vision.caltech.edu/archive.html>.

13. Stallkamp J., Schlipsing M., Salmen J., Igel C. The German Traffic Sign Recognition Benchmark: A multi-class classification competition // Proceedings of the IEEE International Joint Conference on Neural Networks, 2011. – pp. 1453–1460.

14. Houben S., Stallkamp J., Salmen J., Schlipsing M., Igel C. Detection of Traffic Signs in Real-World Images: The German Traffic Sign Detection Benchmark // Proceedings of the IEEE International Joint Conference on Neural Networks, 2013. – p. 1288.

15. Timofte R., Mathias M., Benenson R., Van Gool L. Traffic Sign Recognition - How far are we from the solution? // Proceedings of International Joint Conference on Neural Networks (IJCNN 2013), Dallas, USA, 8, 2013. [Электронный ресурс]: режим доступа – <http://www.vision.ee.ethz.ch/~timofte/publications/Mathias-IJCNN-2013.pdf>.

16. Xiao, J., Hays, J., Ehinger, K.A., Oliva, A., Torralba, A. SUN database: Large-scale scene recognition from abbey to zoo // Proceedings of IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, 2010. – pp. 3485–3492.

17. Zhou B., Lapedriza A., Xiao J., Torralba A., Oliva A. Learning Deep Features for Scene Recognition using Places Database // Proceedings of Advances in Neural Information Processing Systems 27 (NIPS), 2014. [Электронный ресурс]: режим доступа – http://places.csail.mit.edu/places_NIPS14.pdf.

18. Chowanda A., Sutoyo R. Deep Learning for Visual Indonesian Place Classification with Convolutional Neural Networks // Proceedings of 4th International Conference on Computer Science and Computational Intelligence 2019 (ICCSCI), 9, 2019. – pp. 436–443.

19. Sharma N., Jain V., Mishra A. An Analysis Of Convolutional Neural Networks For Image Classification // Proceedings of International Conference on Computational Intelligence and Data Science (ICCIDS 2018), 2018. – pp. 377–384.
20. Russakovsky O., Deng J., Su H., Krause J., Satheesh S., Ma S., Huang Z., Karpathy A., Khosla A., Bernstein M., Berg A. C., Fei-Fei L. ImageNet Large Scale Visual Recognition Challenge // Proceedings of International Journal of Computer Vision, 2015. [Электронный ресурс]: режим доступа – <https://arxiv.org/pdf/1409.0575.pdf>
21. The CIFAR-10 and CIFAR-100 labeled subsets. [Электронный ресурс]: режим доступа – <https://www.cs.toronto.edu/~kriz/cifar.html>.
22. The FROSI (Foggy ROad Sign Images) database. [Электронный ресурс]: режим доступа – <https://www.livic.ifsttar.fr/linstitut/cosys/laboratoires/livic-ifsttar/logiciels/bases-de-donnees/frosi/>.
23. Kai G., Shuai W., Yong X. Face recognition using both visible light image and near-infrared image and a deep network // Proceedings of CAAI Transactions on Intelligence Technology, 2017. – pp. 39–47.
24. Li S., Yi D., Lei Z., Liao S. The CASIA NIR-VIS 2.0 face database // Proceedings of IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition Workshops. (CVPRW), 2013. – pp. 348-353.
25. Baochang Z., Lei Z., Zhang D., Linlin S. Directional Binary Code with Application to PolyU Near-Infrared Face Database // Proceedings of Pattern Recognition Letters, 10, 2010. – pp. 2337–2344.
26. Yong X., Aini Z., Jian Y., Zhang D. Bimodal biometrics based on a representation and recognition approach // Proceedings of SCI, 2011. – p. 50.

ИССЛЕДОВАНИЕ МОДЕЛЕЙ ОЦЕНКИ ПОЛЕЗНОСТИ ДЕЙСТВИЙ АГЕНТОВ В ВИРТУАЛЬНОМ ФУТБОЛЕ

Аннотация: В данной статье рассмотрена модель оценки полезности действий агентов в многоагентных системах. С помощью модели проанализирована конкретная ситуация из виртуального футбола. На основе полученных результатов сделаны выводы о сложности используемых при оценке полезности алгоритмов.

Ключевые слова: многоагентные системы, виртуальный футбол, robocup, оценка полезности

RESEARCH OF AGENTS ACTIONS UTILITY ASSESSMENT MODELS IN VIRTUAL FOOTBALL

M.G. Panteleyev, PhD, Associate Professor, mpanteleyev@gmail.com
D.M. Kivarin, student, dkivairn@gmail.com
ETU «LETI», Saint-Petersburg, Russia

Abstract: The paper studies the intelligent agent actions utility assessment model in multi-agent systems. Typical situation from virtual football was analyzed by means of that model. According to results conclusions was drawn about the complexity of algorithms used in utility assessment.

Key words: multi-agent systems, virtual football, robocup, utility assessment

Введение

Многоагентная система (МАС) представляет собой совокупность взаимодействующих интеллектуальных агентов (ИА), осуществляющих целенаправленную деятельность в динамической среде [1, 2]. Одной из ключевых задач ИА является планирование действий в реальном времени при непрерывно меняющемся состоянии окружающей среды [2, 3]. Глубина и полнота анализа возможных вариантов действий в высокодинамичных мирах, очевидно, ограничены и должны адаптироваться к текущим временным ограничениям. Одним из подходов к решению данной задачи является модель опережающего итеративного планирования действий ИА реального времени

(ИА РВ) [2, 3]. В соответствии с этой моделью уточнение возможных базовых вариантов действий и оценка их полезности выполняются в рамках динамически выявляемых временных ограничений. Подход предполагает использование алгоритмов произвольного времени (АПВ) [4], в которых качество результата повышается при увеличении времени выполнения.

Наиболее популярной платформой для исследования МАС и ИА РВ в настоящее время является сервер виртуального футбола (ВФ) Robocup Soccer Server [5]. Данная платформа позволяет моделировать сценарии командного противодействия в реальном времени в условиях ограниченного восприятия окружающего мира. С учетом этого, вопросы оценки полезности действий в данной статье рассматриваются применительно к ВФ.

Модель оценки полезности действий агентов

Выделим и обозначим следующие основные понятия [2, 3]:

- 1) Текущая ситуация S^* – состояние среды, на момент выбора рассматриваемым ИА дальнейших действий;
- 2) Множество возможных действий агента $\{Act_i\}$ – варианты действий, которые рассматриваемый ИА может выполнить в текущей ситуации;
- 3) Множество возможных миров $\{S_n^{**}\}$ – возможные состояния мира, образующиеся в результате выполнения рассматриваемым ИА выбранного действия;
- 4) Множество актуальных акторов $\{AA_k\}$ – множество всех возможных ИА, которые могут существенно повлиять на состояния среды после выполнения рассматриваемым ИА выбранного действия;
- 5) Множество партнеров $\{T_m\}$ – подмножество актуальных акторов, преследующих те же цели, что и рассматриваемый ИА;
- 6) Множество возможных действий партнеров $\{TAct_i^m\}$ – варианты действий, которые может принять m -ый ИА из множества партнеров в текущей ситуации;
- 7) Множество оппонентов $\{O_k\}$ – подмножество актуальных акторов, противостоящих целям рассматриваемого ИА;
- 8) Множество возможных действий оппонентов $\{OAct_i^k\}$ – варианты действий, которые может принять k -ый ИА из множества оппонентов в текущей ситуации;
- 9) Полезность действия $U(Act_i)$ – оценка, показывающая насколько выгодно для достижения целей рассматриваемого ИА выполнение данного действия в текущей ситуации;
- 10) Полезность ситуации $U(S^{**})$ – оценка, показывающая насколько выгодна для достижения целей рассматриваемого ИА данная ситуация.

Обобщенный алгоритм определения полезности действия ИА Act_i в текущей ситуации содержит следующие шаги [2, 3]:

- 1) Определение подмножеств актуальных акторов $\{T_m\}$ и $\{O_k\}$
- 2) Определение множеств возможных действий актуальных акторов $\{TAct_i^m\}$ и $\{OAct_i^k\}$
- 3) Определение множества возможных ситуаций $\{S_n^{**}\}$. Возможные ситуации прогнозируются как состояния мира на момент завершения выполнения действия Act_i и всех возможных комбинаций действий $\{TAct_i^m\}$ и $\{OAct_i^k\}$
- 4) Определение полезности $U(S^{**})$ всех ситуаций из множества $\{S_n^{**}\}$
- 5) Полезность действия ИА в текущей ситуации определяется как минимальное значение из множества полезностей возможных ситуаций $\{U_n(S_n^{**})\}$

Обобщенный алгоритм определения действия ИА, с максимальной полезностью в текущей ситуации содержит следующие шаги [2, 3]:

- 1) Генерация базового множества возможных действий ИА $\{Act_i\}$
- 2) Определение полезности всех действий $U(Act_i)$ из множества $\{Act_i\}$
- 3) Искомое действие ИА определяется как действие из множества $\{Act_i\}$ с максимальной оценкой полезности $U(Act_i)$

Уточнение модели оценки полезности действий

1) В данной модели при оценке полезности используются АПВ, поэтому каждое действие должно иметь априорную оценку полезности – фиксированное значение полезности, установленное до начала работы алгоритма. Априорное значение полезности для одного и того же действия может различаться в зависимости от рассматриваемой ситуации;

2) Оценка полезности ситуации происходит по критериям полезности – набору условий, характеризующих приближение данной ситуации к поставленным задачам. Сами критерии и их количество зависят от рассматриваемой ситуации;

3) Определение множества актуальных акторов происходит с помощью условий, показывающих, могут ли агенты существенно повлиять на прогнозируемые состояния мира. Условия будут различаться для партнеров и оппонентов рассматриваемого ИА и зависят от ситуации.

Оценка полезности действий агента в виртуальном футболе

Рассмотрим ситуацию, которая может возникнуть в ВФ в ходе матча (рис. 1). В данной ситуации рассматриваемый ИА (игрок) ведет мяч, атакуя ворота соперника. На рисунке приведены следующие обозначения:

- 1) A – игрок, владеет мячом на начальный момент времени;
- 2) B – мяч;

- 3) $T1$ – напарник игрока по команде;
- 4) $O1, O2$ – противники игрока из другой команды;
- 5) G – вратарь команды противника.

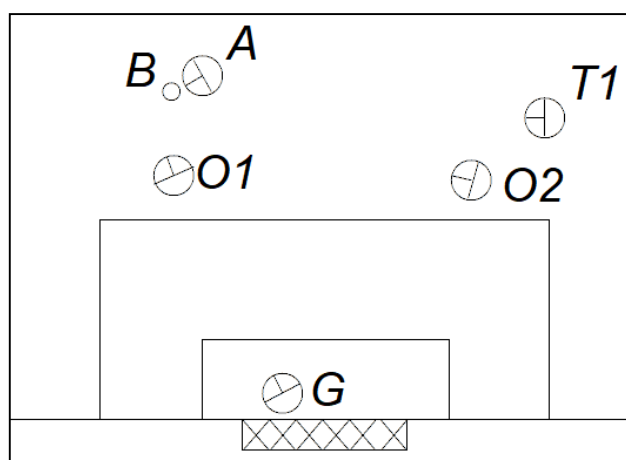


Рис. 1. Расстановка игроков на поле

Определим условия формирования множества актуальных акторов, критерии полезности, множества действий игроков и их априорные оценки полезностей (таблица 1-3).

Таблица 1. Базовое множество действий рассматриваемого игрока

Действия игрока	Априорная полезность
Act_1 = Удар по воротам	90%
Act_2 = Пас	60%
Act_3 = Ведение мяча	50%

Таблица 2. Условия определения множества актуальных акторов

Действие игрока	Партнеры $\{T_m\}$	Противники $\{O_K\}$
Удар по воротам	-	Противники, которые могут помешать удару
Пас	Партнеры, которые могут принять пас	Противники, которые могут помешать пасу
Ведение мяча	Партнеры, которые могут увести защитников	Противники, которые могут заблокировать игрока, отобрать мяч

Таблица 3. Множества действий актуальных акторов

Действие игрока	Действия партнеров	Действия противников
Удар по воротам	-	$OAct_1$ = Попытаться перехватить мяч
		$OAct_2$ = Остаться в обороне
Пас	$TAct_1$ = открыться для принятия паса	$OAct_1$ = Попытаться перехватить мяч
		$OAct_2$ = Остаться в обороне
Ведение мяча	$TAct_1$ = увести защитника с линии атаки	$OAct_1$ = Закрыть проход игроку
		$OAct_2$ = Попытаться отобрать мяч

Таблица 4. Критерии полезности

Критерий полезности	Значимость критерия
Совершен удар по воротам	60%
Противник не перехватывает мяч	30%
Есть возможность ударить по воротам	10%

Представим переход из текущего состояния мира во множество возможных состояний в виде графа двудольное дерево (рис. 2) [3]. Корневая вершина графа соответствует текущему состоянию мира S^* . Исходящими из нее дугами показаны возможные действия игрока $\{Act_i\}$. Второй ярус дерева содержит вершины-разветвители, из которых исходят дуги, обозначающие комбинации возможных действий актуальных акторов при совершении игроком действия, соответствующего дуге, входящей в вершину.

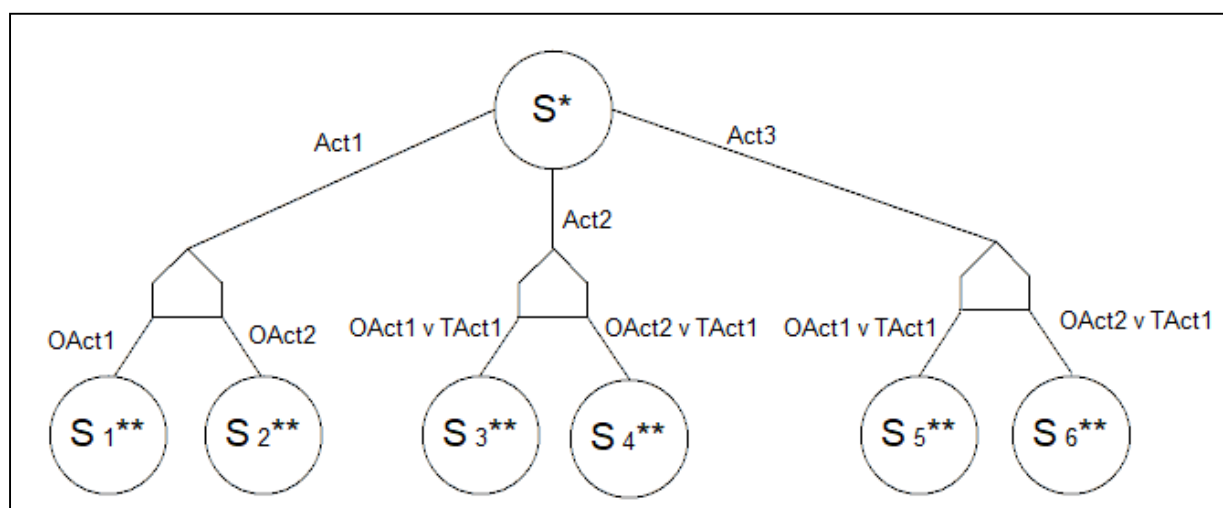


Рис. 2. Дерево прогнозируемых ситуаций

Результаты оценки полезности действий для рассматриваемого примера (рис. 2) представлены в следующей таблице 5.

Таблица 5. Оценка полезности действий

Действия игрока	Прогнозируемые ситуации	Полезность ситуации	Полезность действия
Удар по воротам	S_1^{**}	70%	70%
	S_2^{**}	100%	
Пас	S_3^{**}	10%	10%
	S_4^{**}	40%	
Ведение мяча	S_5^{**}	30%	10%
	S_6^{**}	10%	

Оценка сложности алгоритмов

В худшем случае сложность алгоритма оценки полезности действий можно оценить как $O(m^n)$, где m – максимальное количество возможных действий одного актора, а n – количество актуальных акторов.

Сложность алгоритма определения наиболее полезного действия агента в текущей ситуации в худшем случае можно оценить как $O(m^n * k)$, где m – количество возможных действий одного актора, n – количество актуальных акторов, а k – количество возможных действий рассматриваемого агента.

Заключение

В ходе исследования была уточнена модель оценки полезности действий агентов, предложенная в модели опережающего итеративного планирования действий ИА РВ. Работа предложенной модели была проанализирована на примере типовой ситуации из ВФ. На основании полученных результатов были сделаны выводы о сложности используемых алгоритмов, что позволяет построить алгоритм оценки полезности как АПВ, чтобы ИА РВ мог эффективно использовать все доступное в конкретной ситуации время для планирования.

Список литературы

1. Рассел С., Норвиг П. Искусственный интеллект: современный подход. – М.: Издательский дом «Вильямс», 2007. – 1410 с.
2. Пантелеев М.Г., Пузанков Д.В. Интеллектуальные агенты и многоагентные системы: монография. - СПб.: Изд-во СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 2015. - 215с.
3. Пантелеев М.Г. Формальная модель опережающего итеративного планирования действий интеллектуальных агентов реального времени// Труды 14-ой Нац. Конф. по ИИ с международным участием КИИ-2014. Т 1. – Казань: Изд-во РИЦ «Школа». – 2014. – С. 323-333.
4. Zilberstein, S. (1996). Using Anytime Algorithms in Intelligent Systems. AI Magazine, 17(3), 73.
5. Официальный сайт RoboCup [Электронный ресурс]: режим доступа- <http://www.robocup.org>.

Г.А. Самигулина, д.т.н., доцент, galinasamigulina@mail.ru
Институт Информационных и Вычислительных Технологий, г.Алматы, Казахстан
З.И. Самигулина, Ph.D, zarinasamigulina@mail.ru
Факультет Информационных Технологий, Казахстанско-Британский
Технический Университет, г. Алматы, Казахстан

РАЗРАБОТКА БАЗЫ ЗНАНИЙ И ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ДЛЯ МУЛЬТИАГЕНТНОЙ SMART-СИСТЕМЫ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ НА ОСНОВЕ ИСКУССТВЕННЫХ ИММУННЫХ СИСТЕМ

Аннотация. Исследования посвящены разработке программного обеспечения с использованием мультиагентной платформы JADE для интеллектуальной медицинской экспертной системы, учитывающей зависимости «структура-свойство» лекарственных соединений. Разработана база знаний на основе онтологий оптимизационных алгоритмов и алгоритмов прогнозирования с использованием искусственных иммунных систем, а также общей онтологической модели мультиагентной Smart-системы. При исследованиях используется база данных молекулярных дескрипторов сульфаниламидов и экспертные сведения, например, о продолжительности действия вещества, его токсичности или о взаимодействии с другими химическими соединениями.

Ключевые слова: интеллектуальная медицинская экспертная система, база знаний, онтологии, сульфаниламиды, мультиагентная платформа JADE.

G.A. Samigulina, doctor of technical sciences, docent, galinasamigulina@mail.ru
Institute of Information and Computing Technologies, c. Almaty, Kazakhstan
Z.I. Samigulina, Ph.D, zarinasamigulina@mail.ru
Faculty of Information Technologies,
Kazakh-British Technical University, c. Almaty, Kazakhstan

DEVELOPMENT OF A KNOWLEDGE BASE AND SOFTWARE FOR A MULTIAGENT SMART – SYSTEM OF FORECASTING BASED ON ARTIFICIAL IMMUNE SYSTEMS

Abstract. The studies are devoted to software development using the multi-agent platform JADE for an intelligent medical expert system that takes into account the structure-property relationships of drug compounds. A knowledge base has been developed based on the ontologies of optimization algorithms and forecasting algorithms using artificial immune systems, as well as the general ontological model of a multi-agent Smart-system. In studies, a database of molecular descriptors of sulfanilamides and expert in-

formation, for example, on the duration of action of a substance, its toxicity or on interaction with other chemical compounds, are used.

Key words: intellectual medical expert system, knowledge base, ontology, sulfonamides, multi-agent platform JADE.

Разработка инновационных технологий создания новых лекарственных препаратов является первостепенной задачей современной фармакологической отрасли. Сложный многоэтапный процесс создания лекарств определяет большие финансовые и временные затраты. Применение современных IT технологий, биоисперированных алгоритмов искусственного интеллекта и суперкомпьютеров позволяет перейти на более высокий уровень компьютерного молекулярного дизайна лекарственных препаратов с заданными свойствами и обеспечить безопасность применения разрабатываемых химических соединений. Актуально использовать подход искусственных иммунных систем [1,2] для решения данных задач.

Создание Smart-системы прогнозирования зависимости «структура-свойство/активность» (QSAR) лекарственных соединений нацелена на сокращение сроков и повышение эффективности процесса производства лекарств [3]. Алгоритм функционирования Smart-системы состоит из нескольких этапов: подключение базы знаний и базы данных дескрипторов структурной химической информации, характеризующих рассматриваемые лекарственные соединения; выбор метода оптимизации данных и построение оптимальной модели на основе выделенного набора дескрипторов; выбор алгоритма распознавания образов и прогнозирования на основе подхода искусственных иммунных систем; обучение системы по эталонам, составленным экспертами из дескрипторов лекарственных соединений с точно известными свойствами; распознавание образов на основе выбранного алгоритма искусственных иммунных систем; прогнозирование QSAR химических соединений; сравнение эффективности применяемых алгоритмов; выбор лучших алгоритмов и отбор кандидатов новых химических соединений с заданными свойствами для дальнейших исследований.

Реализация Smart-системы прогнозирования QSAR осуществляется в классе мультиагентных систем (MAC). Мультиагентные системы нашли широкое применение [4] при решении сложных динамических задач в режиме реального времени за счет способности к самовосстановлению и устойчивости к сбоям. Существует большое количество программного обеспечения для реализации MAC: JACK Intelligent Agents, MadKIT, AgentBuilder, MASON и др. Наиболее активно используется открытая мультиагентная платформа JADE (Java Agent Development Framework) [5].

Постановка задачи формулируется следующим образом: необходимо разработать базу знаний и программное обеспечение с использованием

мультиагентной платформы JADE для медицинской экспертой Smart-системы прогнозирования зависимости «структура – свойство» лекарственных препаратов (QSAR).

В качестве примера используется база данных молекулярных дескрипторов сульфаниламидов с разной фармакологической активностью (продолжительностью действия) и экспертные сведения о его токсичности или о взаимодействии с другими химическими соединениями и т.д.

База знаний формируется на основе онтологических моделей, построенных в редакторе онтологий Protégé. Онтологии используются для систематизации предметной области и при создании мультиагентной Smart-системы прогнозирования применяются таксономические онтологии, которые имеют иерархическую структуру.

На рисунке 1 представлена структура классов разработанной онтологической модели мультиагентной Smart-системы, построенной на основе применяемых алгоритмов оптимизации (алгоритма муравьиной колонии, алгоритма пчелиной колонии, алгоритма серых волков, алгоритма роя частиц, метода главных компонент и алгоритма случайного леса) и алгоритмов искусственных иммунных систем (алгоритм AIRS, алгоритм на основе клональной селекции CLONALG, иммунносетевой алгоритм и алгоритм негативной селекции).

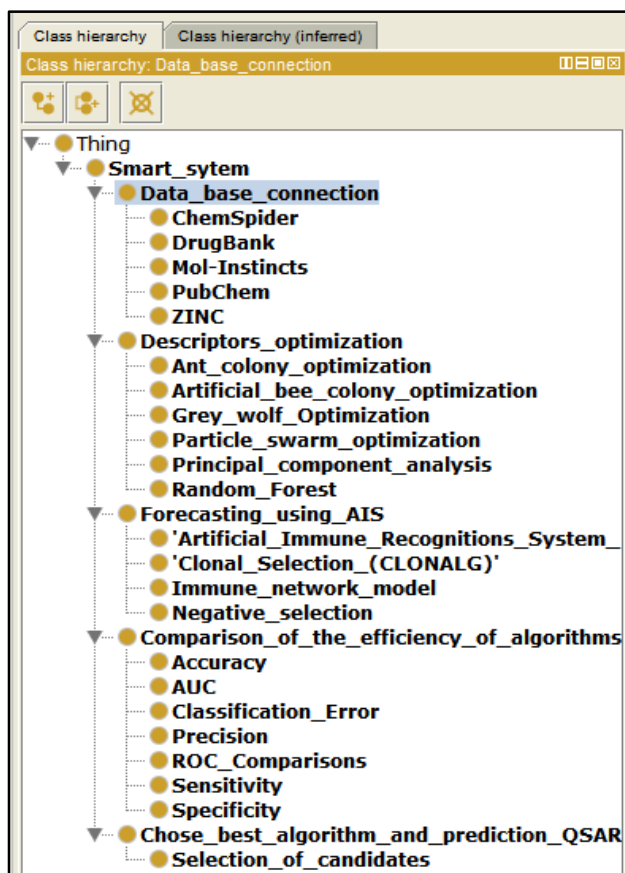


Рис. 1. Иерархическая структура классов онтологической модели мультиагентной Smart-системы прогнозирования QSAR

Представление знаний агентов в виде онтологий позволяет значительно облегчить коммуникацию между агентами [6]. Онтологическая модель используется при анализе многочисленных связей между агентами и их учёте при разработке программного обеспечения для мультиагентной Smart-системы прогнозирования. Достоинством мультиагентной Smart – системы является возможность расширения новыми алгоритмами и другими модулями.

На рисунке 2 представлена визуализация структуры онтологической модели мультиагентной Smart-системы.

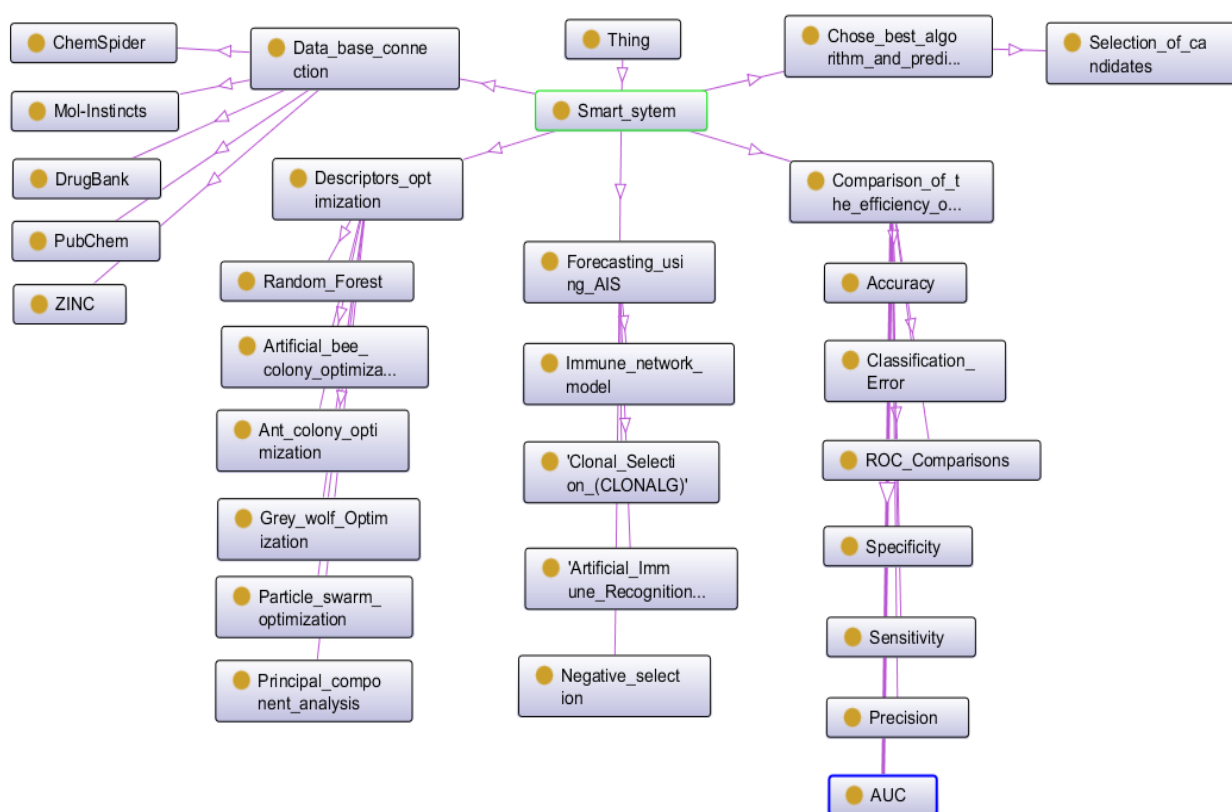


Рис. 2. Визуализация онтологической модели мультиагентной Smart-системы прогнозирования QSAR

Применение платформы JADE для разработки Smart-системы прогнозирования QSAR обусловлено низкими требованиями к вычислительным ресурсам, удобным набором графических инструментов и эффективным взаимодействием между агентами. В JADE реализуется модель BDI (Beliefs-Desires-Intentions), когда агенты создаются с учетом убеждений, желаний и намерений, реализуют собственные цели, общаются между собой и реагируют на изменения в программной среде. Создается главный контейнер со специальными агентами AMS (система управления агентами) и DF (координатор каталогов). Также образуются дополнительные контейнеры. В дополнительном контейнере №1 собраны агенты, реализующие оптимизационные

алгоритмы, в контейнере №2 агенты выполняющие алгоритмы искусственных иммунных систем. Агенты общаются между собой с помощью сообщений на языке ACL, который соответствует международному стандарту FIRA (The Foundation for Intelligent Agent). Интеллектуальные агенты могут работать с семантической базой знаний [7] в формате OWL (Web Ontology Language).

Таким образом, разработанная мультиагентная Smart-система прогнозирования QSAR при создании новых лекарственных соединений позволяет анализировать огромный объём химической информации для отбора кандидатов в лекарственные препараты с заданными свойствами для дальнейших исследований и внедрения в фармакологическое производство.

Исследование выполнено при финансовой поддержке КН МОН РК в рамках научного проекта №AP05130019 на тему: «Разработка и анализ баз данных для информационной системы прогнозирования зависимости «структура-свойство» лекарственных соединений на основе алгоритмов искусственного интеллекта» (2018-2020 гг.)

Список литературы

1. Ivanciuc O. Artificial immune system prediction of the human intestinal absorption of drugs with AIRS (artificial immune recognition system) // Internet Electron. J. Mol. Des. – 2006. – № 5. – P. 515–529.
2. Samigulina G.A., Samigulina Z.I. Immune network Technology on the Basis of Random Forest Algorithm for Computer-Aided Drug Design // Proc. 5th Int. Work-Conference, IWBBIO 2017, Granada, Spain, April 26–28, 2017, Part I. Bioinformatics and Biomedical Engineering. – Springer, 2017. – №10208. – P. 50-61.
3. Самигулина Г.А., Самигулина З.И. Информационная система ведения научных исследований для прогнозирования зависимости «структура-свойство» лекарственных соединений на основе модифицированных алгоритмов искусственных иммунных систем // Проблемы информатики. – 2019. -№ 3(44). – С. 31-46.
4. Amira Sayed A., Sanaa A.H., Hassanien A.E. Multi-agent Artificial Immune System for Network Intrusion Detection and Classification // Proceedings of International Joint Conference SOCO'14-CISIS'14-ICEUTE'14. Part of the Advances in Intelligent Systems and Computing book series (AISC). – Springer, 2014. - Vol. 299. – P. 145-154.
5. JADE Architecture Overview. <http://www.jade.tilab.com/>
6. Найданов Д.Г., Шеин Р.Е. Онтологии в мультиагентных системах // Материалы XII Всероссийского совещания по проблемам управления (ВСПУ 2014). – М., 16-19 июня 2014. – С.9044-9050.
7. Freitas A., Bordini R.H., Vieira R. Designing Multi-Agent Systems from Ontology Models // Lecture Notes in Computer Science. - Springer, 2019.- Vol. 11375. - P. 76-95.

А.Б. Сорокин, к.т.н., доцент, ab__sorokin@mail.ru
Л.М. Железняк, ассистент, lilya.zheleznyak@mail.ru
МИРЭА - Российский технологический университет, г. Москва, Россия.

ПОСТРОЕНИЕ БАЗЫ ЗНАНИЙ НА ОСНОВЕ СИТУАЦИОННО-ДЕЯТЕЛЬНОСТНОГО ПОДХОДА

Аннотация: Изложена оригинальная методика построения базы знаний для произвольной предметной области на основе синтеза деятельностного подхода и ситуационного анализа. Такое представление приводит к построению базы знаний функций, процессов, контекста и закономерностей.

Ключевые слова: деятельностный подход, ситуационный анализ, концептуальная структура акта деятельности, модель предметной области, концептуальные планы.

A.B. Sorokin, Ph.D., ab__sorokin@mail.ru
L.M. Zheleznyak, lilya.zheleznyak@mail.ru
MIREA - Russian Technological University, Moscow, Russia.

BUILDING A KNOWLEDGE BASE ON THE BASIS OF SITUATIONAL–ACTIVITY APPROACH

Abstract:

The original method of building a knowledge base for an arbitrary subject area because of the synthesis of the activity approach and situational analysis is presented. This view leads to the construction of a knowledge base of functions, processes, context and patterns.

Keywords: activity approach, situational analysis, conceptual structure of the act of activity, domain model, conceptual plans.

Введение

Базы знаний содержат информацию о человеческом опыте и знаниях о произвольной предметной области. При этом поиск и извлечение необходимой информации обладают степенью творческой свободы. Творческое мышление характеризуется свойствами уникальности, неповторимости, несводимости результата к логическому выводу и т.п. Однако «материал» творческо-

го процесса может быть не только двигательным или образным, но также концептуальным. Концептуальный «материал» – это поиск закономерностей и оценка влияния различных объектов друг на друга. Для работы с таким сложным материалом необходимо концептуальное мышление, которое сродни своего рода творчеству, направленному на проникновение в суть вещей. Единицей концептуального мышления выступает структура, которая связывает через отношения экстенсионалы понятий в единое представление.

1. Системно-деятельностный подход Г.П. Щедровицкого

Получить конечное рассудочное определение понятие «деятельность» сложно, так как это универсальная общенаучная категория предельной абстракции и используется в форме объяснительного принципа. В мире все может рассматриваться как деятельность, при этом она носит объясняющий характер того, что происходит в мире, хотя сама в обосновании не нуждается.

С позиции деятельностного подхода различают две формы деятельности: внешнюю (практическую, видимую для создателя системы) и внутреннюю (мыслительную, невидимую для наблюдателя). Поэтому предлагается рассматривать только внешнюю деятельность, выраженную в реальном продукте.

В динамически сложной среде может существовать множество деятельностей. При этом деятельность существует в циклах воспроизводства, которые разделяют ее на частные изображения: сферы, виды и акты деятельности.

Акт является элементом деятельности и строится в соответствии с определенными нормами (правилами), без которых он не существует. Правила представляют интерес, когда используются многократно при построении других актов деятельности. Поэтому Г. П. Щедровицкий предложил выделить обобщающие нормы (категории), которые будут представлять некий норматив (шаблон) – категориальную схему акта деятельности (рис. 1а) [1].

Недостатком предложенной схемы является тот факт, что когда управленец сталкивается с проблемной ситуацией, он не имеет определенных знаний о методе и средствах ее решения, о последовательности действий для построения собственной деятельности, не может уверенно опираться на опыт прошлых или подобных решений. Тогда схема модифицируется (рис. 1б), в ней обрываются связи между задачами проблемами и методами, а также между проблемами и средствами.

2. Метод ситуационного анализа Л.С. Болотовой

С позиции ситуационного анализа действие обусловлено определенным единичным решением (decision – d). При этом единичное решение рассматривается как связанная структура следующих элементов: субъект действия, действие, объект действия и компоненты действия. Действие образует

структуру из трех возможных типов связующих звеньев: СД – связь между субъектом действия и действием, ОД – связь между объектом действия и действием, КД – связь между компонентами действия и действием [2].

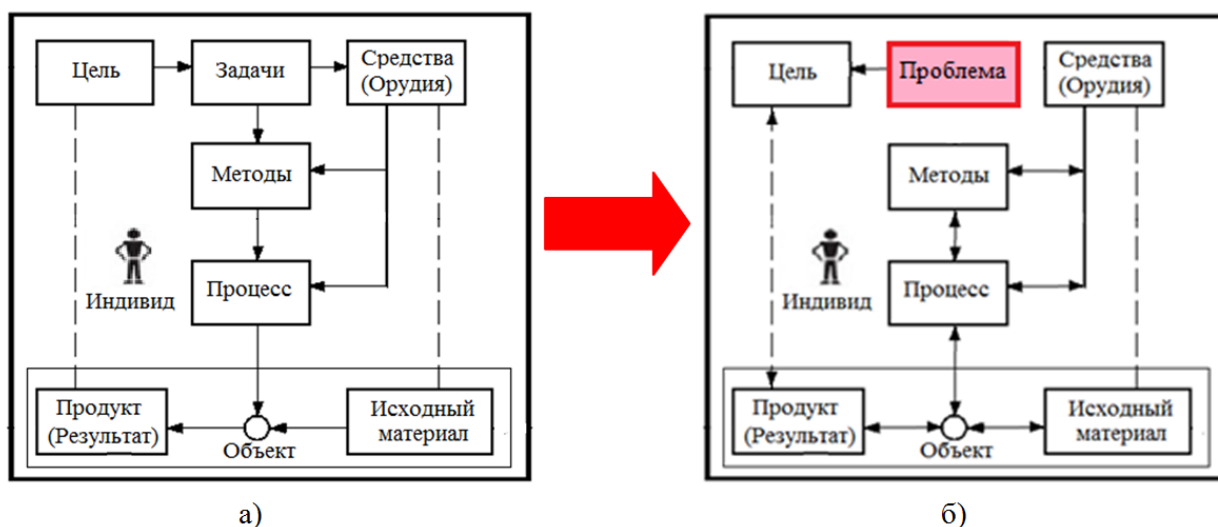


Рис.1. Категориальные схемы акта деятельности

Для создания полноценной концептуальной структуры единичного решения (КСЕР) необходимо выделить два типа двунаправленных бинарных семантических отношений: взаимодействие – это вертикальные опосредованные отношения, которое выражаются через действие и связующие звенья; отношение – есть эмпирическое выявление горизонтальных зависимостей, которые осуществляют функции координации, пространственной или логической связанности и т.д.

Результатом таких семантических выражений может быть либо правда (1), либо ложь (0). Отношения в КСЕР – вторичны, а структурная связь ОС между элементами и их свойствами – первична. Таким образом, реализуется КСЕР, изображенная на рис. 2.

При этом свойство может иметь строковые, логические или числовые значения. Соответственно между свойствами существуют соотношения, которые выражены математическими или логическими символами.

Построение концептуальной модели предметной области (ПрО) обусловлено множеством последовательностей единичных решений $\{d_1, d_2, \dots, d_N\}$, на основе которых реализуется база знаний для экспертного моделирования. Однако широкий диапазон деятельности в ПрО усложняет определение направления движения к цели (требований к результату) при описании совокупностью КСЕР.

В результате проведенных исследований выявлено следующее противоречие: с одной стороны, деятельностный подход не учитывает ситуативный аспект, с другой ситуативный анализ не дает четкого понимания результата деятельности. Это позволяет утверждать, что должны

быть модифицированы теоретические представления о возможностях ситуационного анализа и деятельностного подхода.

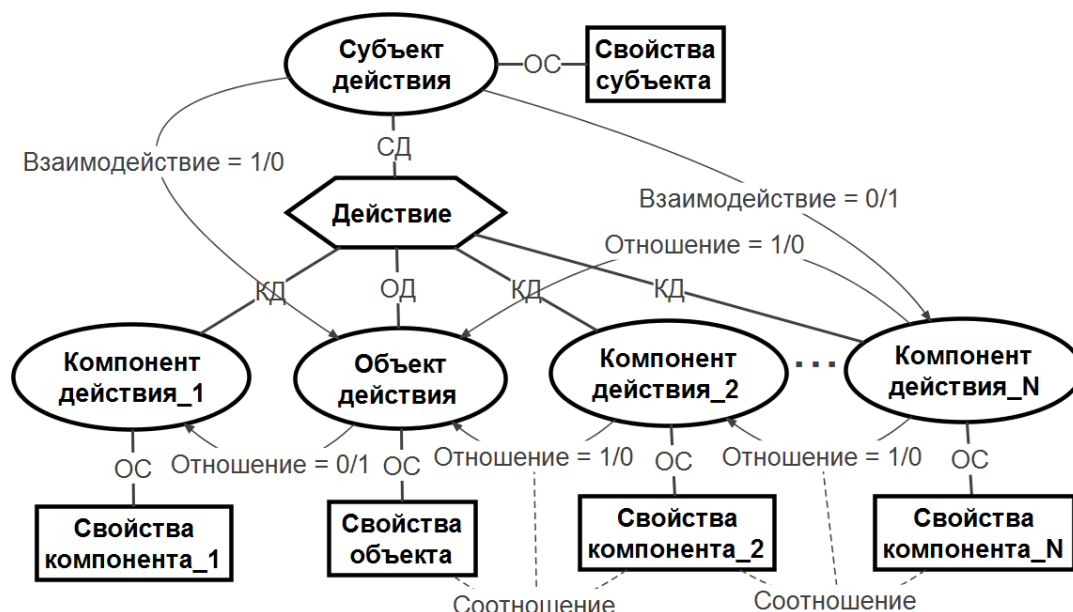


Рис. 2. Концептуальная структура единичного решения

3. Ситуационно-деятельностный подход

Для снятия выявленного противоречия предложено синтезировать аспекты деятельностного подхода и ситуационного анализа в единое представление – концептуальную структуру акта деятельности (КСАД). Для разработки такой структуры предлагается [3]: концептуальную модель Про представить актом деятельности состоящий из совокупности последовательных действий направленных на трансформацию свойств определенного объекта. Тогда элементом КСАД будет являться единичное решение; для создания КСАД его элементы (КСЕР) должны быть описаны терминами деятельностного анализа.

Для реализации данных требований необходимо спроецировать вершины схемы акта деятельности (рис. 1а) на вершины КСЕР (рис. 2). Данная проекция позволяет естественным образом формировать КСАД (рис.3), которая будет представлять собой шаблон произвольной части деятельности и может использоваться для генерации баз знаний в виде продукционных правил [3].

В КСАД между единичными решениями акта деятельности выполняются операции пересечения. Таким образом, формируется матрица решений, которая позиционируется как концептуальная модель принятия решений в динамически сложной среде.

Матрица решений рассматривается как база знаний для проектирования экспертных систем, в которой может быть проведена

проверка на полноту (решения по актам деятельности) и адекватность (решения по ситуациям).

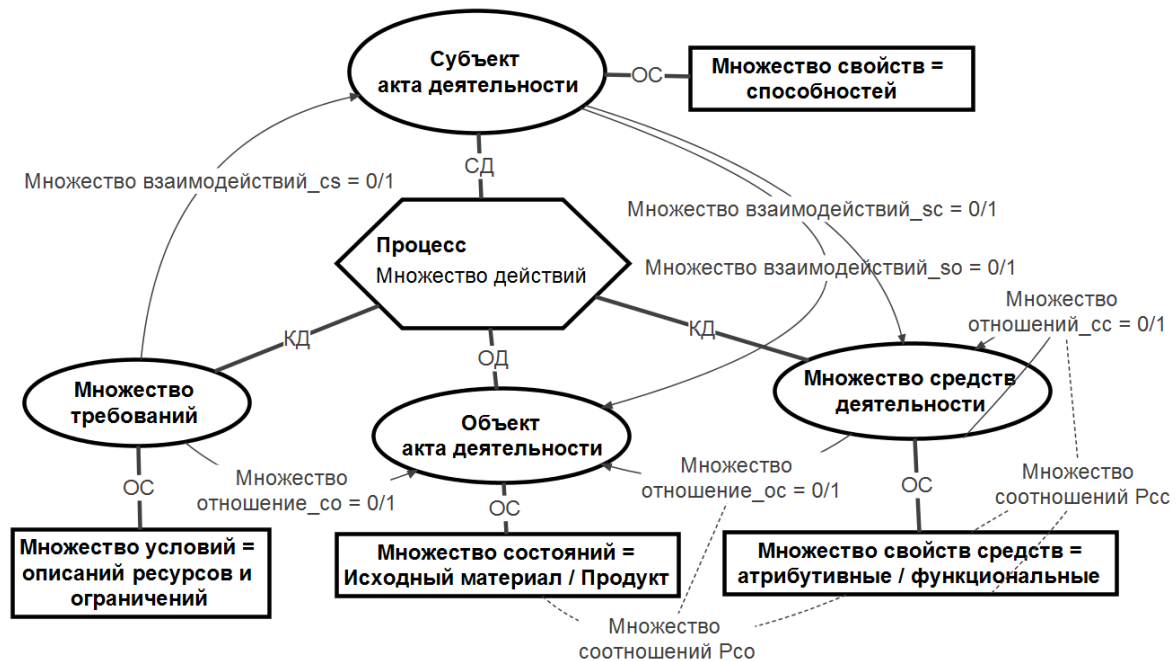


Рис. 3. Концептуальная структура акта деятельности

Применение синтезированного представления является одним из видов имитации и тесно связано с проектированием экспертных систем, на этом основании можно предположить, что существуют соответствия концептуальных структур с другими моделями искусственного интеллекта. Для этого предлагается из КСАД выделить концептуальные планы, которые являются определенной частью концептуальной структуры акта деятельности и рассматривается как некий проект для разработки моделей основанных на знаниях. Предложено выделять динамические и статические представления КСАД, которые будут разрабатываться по антологии с диаграммами CASE-технологии [3].

Динамические представления определены двумя планами, относительно которых обоснован ряд утверждений:

- Функциональный план КСАД реализован по аналогии с методологией SADT (Structured Analysis and Design Technique – Метод структурного анализа и проектирования) и позволяет разрабатывать различные архитектурные стили гибридных систем, а также событийно-дискретные модели [4].

- Процессный план КСАД реализован по аналогии с диаграммой состояний модели-UML (Unified Modeling Language – Унифицированный язык моделирования) и позволяет разрабатывать диаграмму потоков и уровней для имитационных динамических моделей [8].

Статические представления также определены двумя планами, относительно которых обоснован ряд утверждений:

- Контекстный план КСАД реализован по аналогии диаграммой вариантов использования модели-UML и позволяет разрабатывать различные модели, основанные на идеях когнитивного подхода [4].

- План закономерностей КСАД служит своего рода интерпретатором графического представления в аналитическое представление в виде простейших математических уравнений [4].

4. Заключение

Предложенный ситуационно-деятельностный подход основан на идеи построения базы знаний, выступающей в качестве ядерной части процессов принятия решений, на основе концепта деятельности. Именно эта идея позволила по-новому строить и саму систему знаний, и поле знаний о проблемных ситуациях, вспоможение разрешению которых составляет суть проектирования баз знаний.

Необходимо учитывать, что построение концептуальных планов – нетривиальная задача, требующая понимания методики ситуационно-деятельностного подхода и особенностей ПрО. Поэтому реализована программно-интеллектуальная надстройка «Оформитель + Решатель + Интерпретатор» представления баз знаний для проектирования синергетических комбинаций моделей искусственного интеллекта (ИИ).

Использование интеллектуальной надстройки «Оформитель + Решатель + Интерпретатор» обусловлено следующими этапами:

- Лицо, принимающее решение определяет направление трансформации динамически сложной среды. Выделяет деятельности, которые способствуют или препятствуют движению трансформации, тем самым определяются границы ПрО. В каждой деятельности определяются акты. Данные умозаключения реализуются в программной среде «Оформитель» как иерархическая структура со всевозможными вложениями уровней деятельности.

- После определения актов деятельности разрабатываются их концептуальные структуры и разбиваются на множество КСЕР, которое определено как целостная концептуальная модель принятия решений.

- В программе «Решатель» целостная концептуальная модель принятия решений проверяется на полноту и адекватность. При необходимости генерируется база знаний в виде продукционных правил.

- После подтверждения полноты и адекватности модели в программном обеспечении «Интерпретатор» генерируются отчёты о баз знаний концептуальных планов. Синтез баз знаний соответствует определённым моделям ИИ [4].

Список литературы

1. Щедровицкий Г.П. Избранные труды / Г.П. Щедровицкий. – М.: Шк.Культ.Полит. 1995. – 800 с.
2. Болотова Л.С. Системы искусственного интеллекта: модели и технологии, основанные на знаниях / Л.С. Болотова. – М.: Финансы и статистика – 2012. – 663 с.
3. Сорокин А. Б. Концептуальное проектирование интеллектуальных систем поддержки принятия решений // Научный журнал «Онтология проектирования», 2017. – т.7 №3 (25) – С. 247–269.
4. Сорокин А. Б., Лобанов Д. А. Концептуальное проектирование интеллектуальных систем // Теоретический и прикладной научно-технический журнал «Информационные технологии», 2018. – №1 (24). – С. 3–10.

В.И. Талюкина, магистр, vik_toria14@mail.ru

О.И. Пятковский, д.т.н., профессор, poi1952@mail.ru

М.В. Гунер, старший преподаватель, horyzont1@mail.ru

Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова, г. Барнаул

РАЗРАБОТКА МОДЕЛИ ОЦЕНКИ ФИНАНСОВОГО СОСТОЯНИЯ ЗАЕМЩИКОВ – ЮРИДИЧЕСКИХ ЛИЦ НА ОСНОВЕ ПРИМЕНЕНИЯ ГИБРИДНЫХ ЭКСПЕРТНЫХ СИСТЕМ

Аннотация: Статья посвящена разработке модели оценки финансового состояния заемщиков – юридических лиц на основе применения гибридных экспертных систем. В статье приведены результаты обзора существующих методик и программного обеспечения оценки финансового состояния заемщиков, предложена новая модель. На основе реальных данных в программно-инструментальном комплексе «Бизнес Аналитик» были проведены вычислительные эксперименты, подтверждающие адекватность созданной модели.

Ключевые слова: модель оценки финансового состояния заемщиков, гибридные экспертные системы, дерево показателей, коэффициенты ликвидности, коэффициенты рентабельности, правила продукции.

DEVELOPMENT OF A MODEL FOR EVALUATING THE FINANCIAL CONDITION OF BORROWERS – LEGAL ENTITIES BASED ON THE AP- PLICATION OF HYBRID EXPERT SYSTEMS

V.I. Talyukina, student, vik_toria14@mail.ru

O.I. Pyatkovsky, Doctor of Technical Sciences, Professor, poi1952@mail.ru

M.V. Guner, Senior Lecturer, horyzont1@mail.ru

Altai State Technical University named after I.I. Polzunova, Barnaul, Russia

Abstract: The article is devoted to the development of a model for assessing the financial condition of borrowers - legal entities based on the use of hybrid expert systems. The article presents the results of a review of existing methods and software for assessing the financial condition of borrowers; a new model is proposed. Based on real data, computational experiments were carried out in the software-instrumental complex "Business Analyst" to confirm the adequacy of the created model.

Keywords: model for assessing the financial condition of borrowers, hybrid expert systems, tree of indicators, liquidity ratios, profitability ratios, production rules.

На протяжении последних десятилетий проблема оценки финансового состояния заемщика является актуальной для банков. На сегодняшний день до сих пор не найден универсальный алгоритм, который позволил бы максимально сократить кредитные риски финансовых организаций. Именно поэтому задача усовершенствования систем оценки финансового состояния заемщика является приоритетной для большинства банков и кредитных организаций.

Важность данной проблемы доказывается тем, что у каждого банка есть своя система оценки финансового положения заемщика. Данные алгоритмы включают в себя анализ качественных и количественных показателей для оценки финансовой устойчивости предприятий. Наборы показателей, которые являются исходными данными для алгоритма, отличаются в каждом банке.

Цель работы - разработка модели оценки финансового положения заемщика для минимизации кредитных рисков, связанных с невозвратом кредита, банкротством предприятия и низким качеством обеспечения кредита.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

- рассмотреть этапы кредитования юридических лиц;
- проанализировать существующие методики и программные комплексы оценки финансового положения заемщика;
- разработать собственную модель оценки финансового положения заемщика — юридического лица на основе применения гибридных экспертных систем;
- спроектировать и реализовать пользовательский интерфейс для ввода данных бухгалтерской отчетности и вывода результата оценки финансового положения заемщика и рекомендаций;
- оценить адекватность разработанной модели.

Проблеме оценки кредитоспособности заемщиков было посвящено множество научных работ. Зайцев Е.В. в своей статье «Сравнительный анализ методик оценки кредитоспособности заемщиков» [1] рассмотрел на примере АО «Имени Лакина» методики трех коммерческих банков: АО «Россельхозбанк», ПАО «Сбербанк России», ООО «Владпромбанк». Автор сделал вывод о схожести методик вышеуказанных банков пусть даже с разным уровнем допустимого риска, все они являются комплексными и учитывают как количественные, так и качественные показатели самого предприятия, показатели отрасли.

Мамонова И.Д. в своей статье «Как банки оценивают кредитоспособность своих клиентов» [2] отмечает важность взятия при анализе денежных потоков предприятия данных за минимум 3 последних года.

В книге А.Д. Шеремета и Е.В. Негашева «Методика финансового анализа деятельности коммерческих организаций» [3] приводится, что основными факторами для определения финансового состояния предприятия являются

ся выполнение финансового плана и увеличение собственного оборотного капитала.

Ни в одной из статей не раскрывается полностью методика какого-либо коммерческого банка (отсутствует ряд формул, описание отдельных показателей), кроме того, часть информации может быть уже неактуальной ввиду изменений мировой экономики, экономики России, отраслевых экономик.

На рынке программного обеспечения немало решений для оценки финансового положения заемщиков: Audit Expert, ФинЭкАнализ, Банковский аналитик и др. [4, 5, 6]

У компаний и банков есть выбор – разработать собственный программный комплекс для решения задачи оценки финансового положения клиента или воспользоваться уже готовым решением. Однако, разработка собственной системы чаще всего является достаточно трудозатратной, а приобретаемый готовый продукт может оказаться очень дорогостоящим либо сложным в настройке.

В настоящей работе мы постарались объединить сильные стороны изученных методик [1, 3, 7, 8], применить новый подход к расчету итоговой оценки заемщика на основе гибридной экспертной системы.

Новая модель представляет собой дерево показателей, включающее оценку платежеспособности и ликвидности баланса, оценку финансовой устойчивости предприятия. В свою очередь оценка платежеспособности и ликвидности баланса состоит из оценки коэффициента ликвидности, оценки коэффициента наличия собственных средств, оценки коэффициента рентабельности (см. рис. 1-2).

Информационной базой для проведения анализа является бухгалтерская и финансовая отчетность. Состав и формы отчетности устанавливаются Министерством Финансов Российской Федерации.

В состав годовой бухгалтерской отчетности входят:

1. Форма №1 - бухгалтерский баланс.
2. Форма №2 - Отчёт о прибылях и убытках (отчёт о финансовых результатах).
3. Пояснения к бухгалтерскому балансу и отчёту о прибылях и убытках.
4. Форма №3 - Отчёт об изменении капитала.
5. Форма №4 - Отчёт о движении денежных средств.
6. Форма №5 - Приложение к бухгалтерскому балансу.
7. Пояснительная записка.
8. Аудиторское заключение.

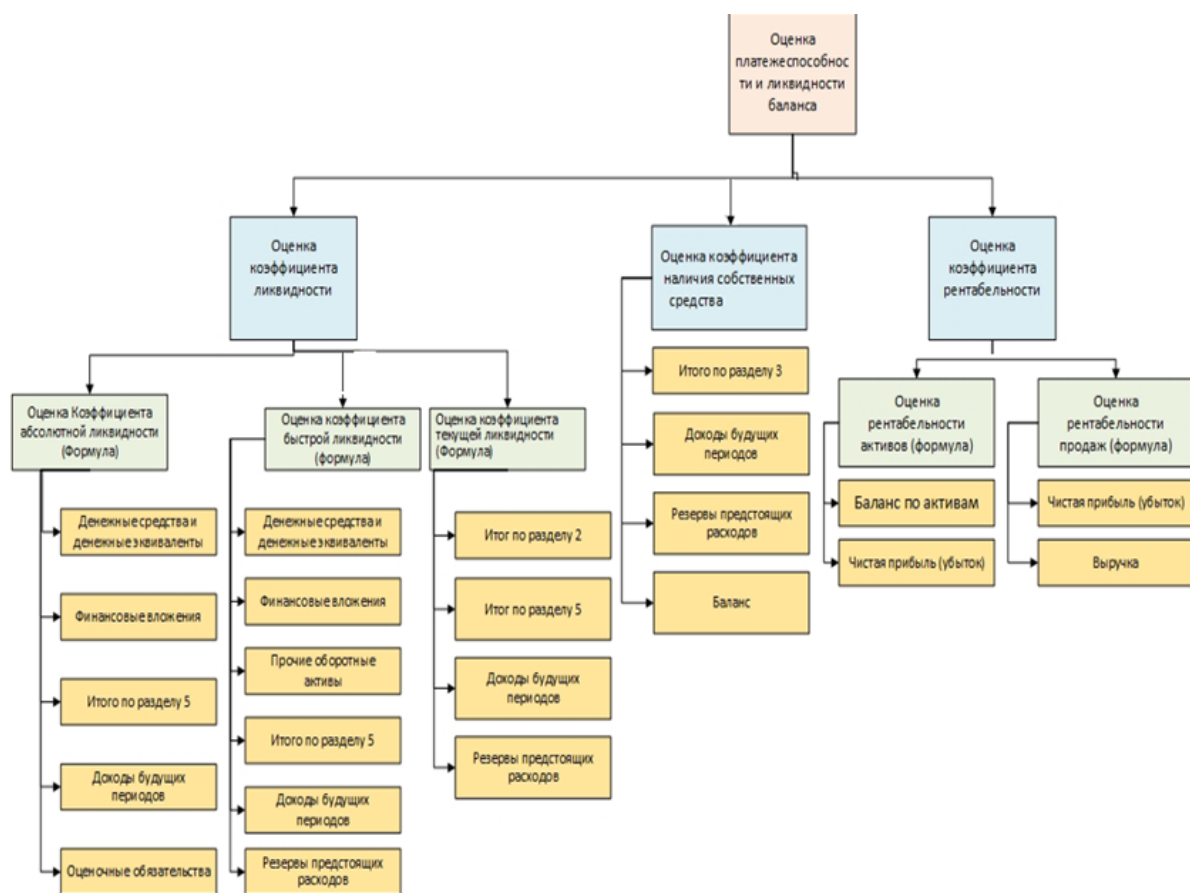


Рис. 1. Фрагмент дерева показателей. Блок «Оценка платежеспособности и ликвидности баланса»

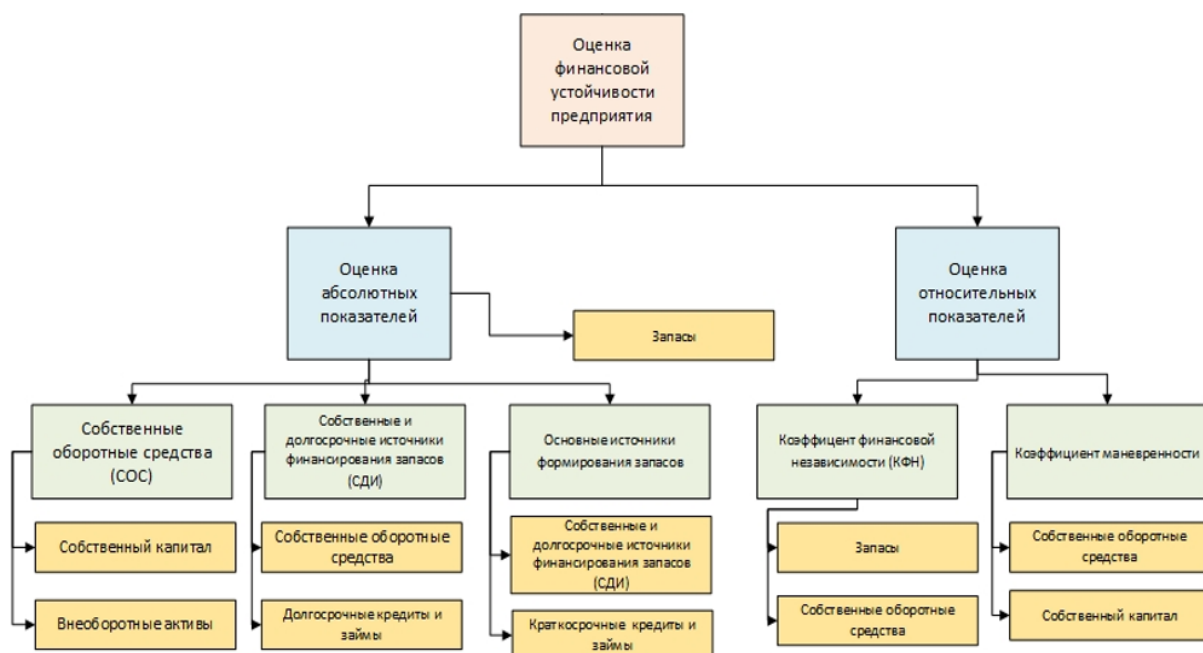


Рис. 2. Фрагмент дерева показателей. Блок «Оценка финансовой устойчивости предприятия»

Покажем фрагмент настройки новой модели оценки финансового состояния заемщика. Настройка проводилась в программно-инструментальном комплексе «Бизнес Аналитик», являющимся разработкой кафедры информационных систем в экономике.

Коэффициент текущей ликвидности (Current ratio) – это коэффициент, который показывает способность компании погашать текущие краткосрочные обязательства за счёт только оборотных активов. Данный показатель показывает, сколько рублей текущих активов приходится на один рубль обязательств. Расчёт коэффициента текущей ликвидности производится по формуле:

$$\text{Current ratio} = \frac{\text{ст.1200}}{\text{ст.1500} - \text{ст.1530} - \text{ст.1540}}, \quad (1)$$

где ст.1200 – оборотные активы (итого по разделу 2 бухгалтерского баланса), ст.1500 – краткосрочные обязательства (итого по разделу 5 бухгалтерского баланса), ст.1530 – доходы будущих периодов, ст.1540 – резервы предстоящих расходов.

Классическая интерпретация значений коэффициента текущей ликвидности представлена в таблице 1 [7, 8, 9].

Таблица 1. Классическая интерпретация значений коэффициента текущей ликвидности

Значение коэффициента	Последствия
<1	Критическая неплатежеспособность
1 ≤ Current ratio <1,5	Существуют трудности в покрытии обязательств
1,5 ≤ Current ratio ≤ 2,5	Удовлетворительная платежеспособность
2,5 ≤ Current Ratio	Высокая платежеспособность, но недостаточно активно используются оборотные активы

Настройка узла «Оценка коэффициента текущей ликвидности» как выходного на основе значений строк бухгалтерского баланса и как входного для узла «Оценка коэффициента ликвидности (в целом)» приведена на рис. 3-4. Выбор в качестве основного решателя нечеткой экспертной системы обусловлен логической прозрачностью задачи, нечеткость же позволяет учесть неточности при определении границ интервалов различных коэффициентов.

№	Наименование	Код	Тип
1	Ст 1530	Б10	Числовой
2	Ст 1540	Б11	Числовой
3	Ст 1200	Б2	Числовой
4	Ст 1500	Б9	Числовой

Рис. 3. Настройка узла «Оценка коэффициента текущей ликвидности» как выходного параметра (формула)

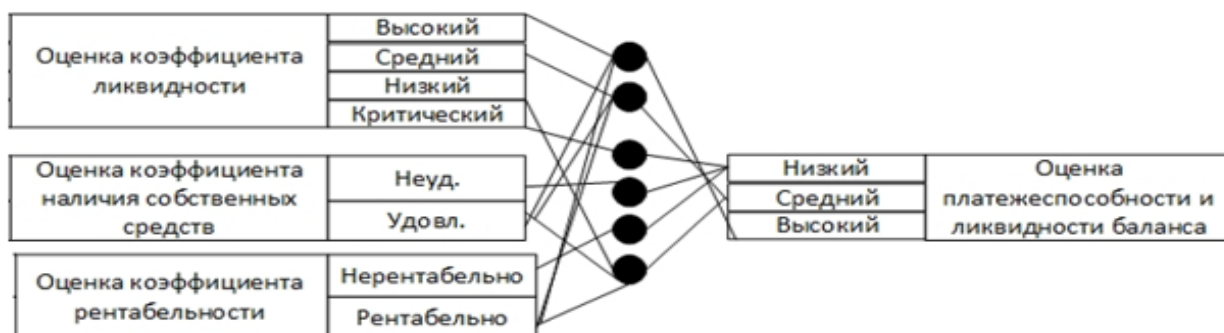


Рис. 6. Фрагмент дерева правил для определения оценки платежеспособности и ликвидности баланса

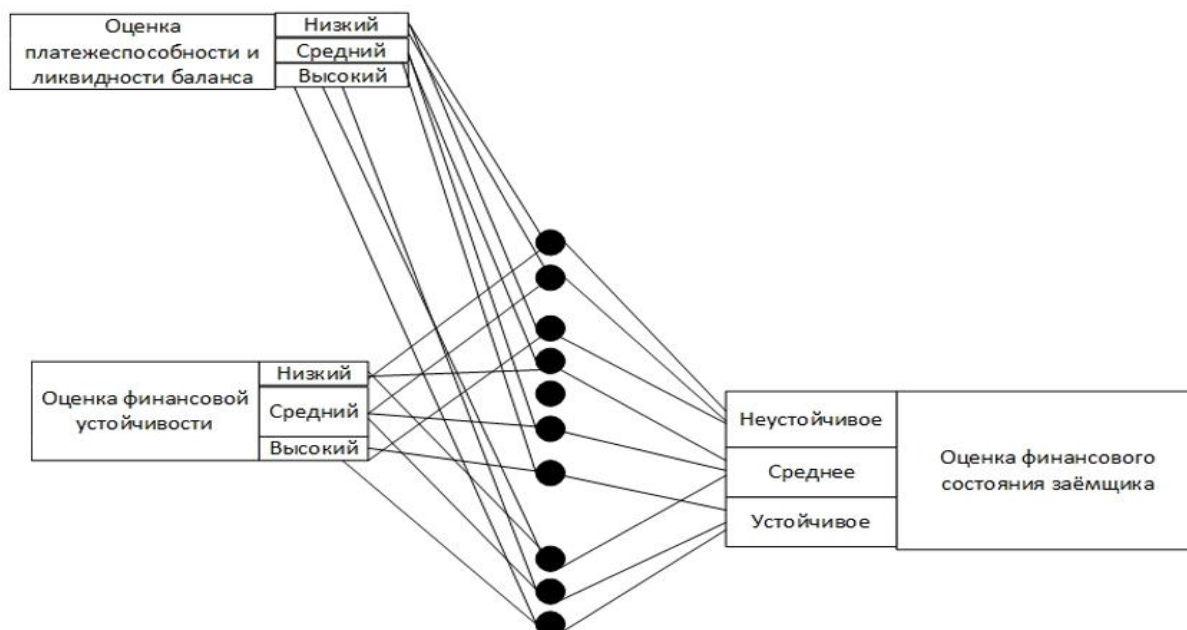


Рис. 7. Фрагмент дерева правил для определения итоговой оценки финансового состояния заёмщика

	Код	Наименование	Значение
►	Б1	Ст 1100	159305
	Б10	Ст 1530	13
	Б11	Ст 1540	5236
	Б12	Ст 1600	184268
	Б13	Ст 1700	184268
	Б14	Ст 2110	156436
	Б15	Ст 2400	-10689
	Б2	Ст 1200	24936
	Б3	Ст 1210	12481
	Б4	Ст 1240	0
	Б5	Ст 1250	2150
	Б6	Ст 1260	1312
	Б7	Ст 1300	17458
	Б8	Ст 1400	0
	Б9	Ст 1500	166810

Рис. 8. Фрагмент исходных данных реального предприятия N за 2014 год

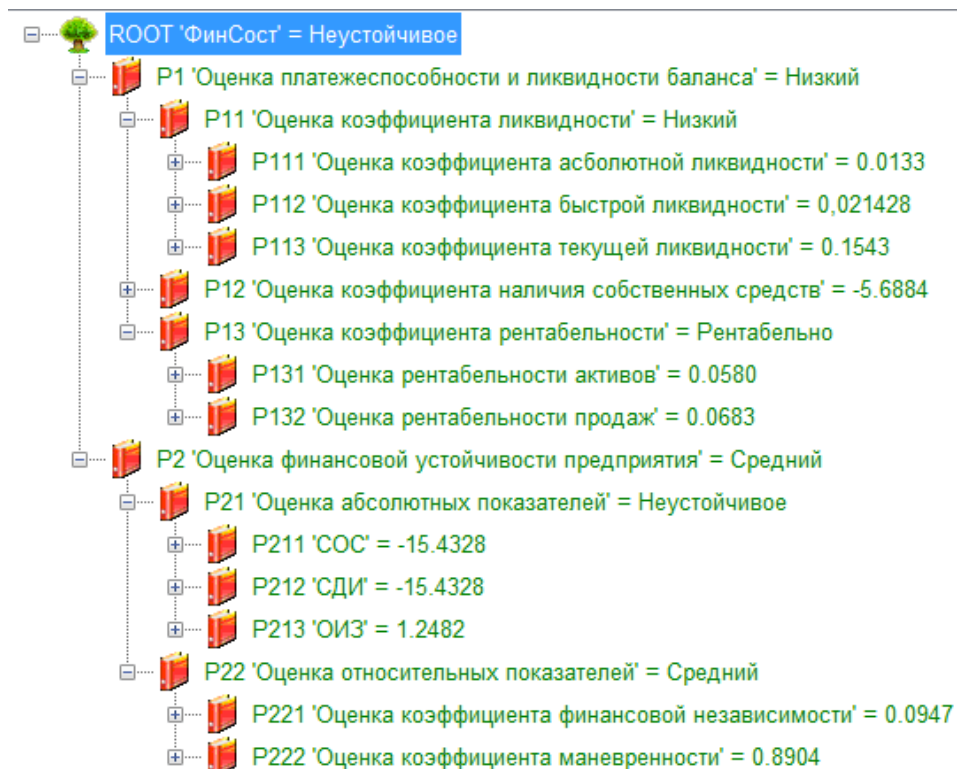


Рис. 9. Результаты расчета по методике

Согласно результатам методики, уже в 2014 году финансовое состояние предприятия N было неустойчивым, спустя несколько лет предприятие перестало существовать. Данный пример является подтверждением адекватности построенной модели.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Зайцева Е. В. Сравнительный анализ методик оценки кредитоспособности заемщиков // Молодой ученый. — 2016. — №12. — С. 1254-1257.
2. Мамонова И.Д. Как банки оценивают кредитоспособность своих клиентов [Электронный ресурс]: сайт/ Интернет-проект «Корпоративный менеджмент». — Электрон. дан. — 2019. — Режим доступа: https://www.cfin.ru/finanalysis/banks/borrowing_capacity.shtml.
3. Шеремет, А.Д. Методика финансового анализа деятельности коммерческих организаций [Текст]: учебное пособие/ А.Д. Шеремет, Е.В. Негашев. — 2 изд., перераб. и доп. — М.: ИНФРА-М, 2008. — 208 с.
4. Программа анализа финансового состояния предприятия - AuditExpert [Электронный ресурс]: корпоративный сайт/ Компания «Эксперт Системс». — Электрон. дан. — Москва, 2019. — Режим доступа: <https://www.expert-systems.com/financial/ae/>.
5. ФинЭкАнализ [Электронный ресурс]: корпоративный сайт/ Компания «Южная аналитическая компания». — Электрон. дан. — Россия, 2019. — Режим доступа: <http://1-fin.ru/?id=131>.

6. Программный комплекс «Банковский аналитик» - программы для бизнеса [Электронный ресурс]: корпоративный сайт/Компания «Аудиторская фирма «Авдеев и Ко»: аудиторские и бухгалтерские услуги». – Электрон. дан. – 2019. – Режим доступа: <https://www.audit-it.ru/software/auditing/294078.html>.

7. Масленников, А.А. Анализ и оценка кредитоспособности заемщика/ Масленников А.А. // Сервис в России и за рубежом. - 2016. - №5. - (66). Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/analiz-i-otsenka-kreditosposobnosti-zaemshika>.

8. Савицкая, Г.В. Анализ хозяйственной деятельности предприятия [Текст]: учебное пособие/ Г.В. Савицкая. – 7 изд. – Москва: Новое знание, 2002. – 704 с.

9. Бочаров В.В. Финансовый анализ. Краткий курс [Текст]: учебное пособие/ В.В. Бочаров. – 2 изд. – СПб.: Питер, 2009. – 240 с.

Е.А. Титенко, начальник 2 управление НИИ РЭС, к.т.н., доцент johntit@mail.ru

В.В. Варганов, директор НИИ РЭС, к.с.н., npcvvv@yandex.ru

С.Н. Фролов, старший научный сотрудник, к.т.н. НИИ РЭС, snfrolov@bk.ru

А.Н. Щитов, аспирант, a.n.schitov@mail.ru

И.А. Лаврушов, студент бакалавриата, ubah807@gmail.com
Юго-Западный государственный университет, г. Курск, Россия

МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ КОРРЕКЦИИ ВЕСОВ ИННОВАЦИОННЫХ ОБЪЕКТОВ

Аннотация: В статье рассмотрены особенности сравнения инновационных объектов. Показано, что сравниваемые альтернативы описываются наборами частично совпадающих показателей, что определяет необходимость их согласования через модели коррекции весов. Модифицирован метод анализа иерархий, в котором вводится матрицы поправочных коэффициентов. Она корректирует матрицу парных сравнений. Это позволяет повысить обоснованность выбора лучшей альтернативы среди инновационных объектов.

Ключевые слова: метод анализа иерархий, поправочный коэффициент, вес

MATHEMATICAL CORRECTIVE MODELS OF SCALES OF INNOVATIVE OBJECTS

E.A. Titenko, Head of the 2 Department Research Institute

Ph. D., associate Professor, johntit@mail.ru

V.V. Varganov, director Research Institute, Ph. D., npcvvv@yandex.ru

S.N. Frolov, Senior Researcher Research Institute, Ph. D., snfrolov@bk.ru

A.N. Schitov, postgraduate student, a.n.schitov@mail.ru

I.A. Lavruschov, student, ubah807@gmail.com

Southwest State University, Kursk, Russia

Abstract: The article reflects the features of comparing innovative objects. It is show that the compared alternatives are described by sets of partially coinciding indicators, which determines the need to coordinate individual object indicators through weight correction models. The hierarchy analysis method is modified, in which the matrix of correction coefficients is input. She adjusts the matrix of paired comparisons. This allows you to increase the validity of choosing the best alternative among innovative objects.

Key words: hierarchy analysis method, correction factor, weight

Актуальность, содержание и особенности метода анализа иерархий

Предметной областью исследования являются задачи анализа, сравнения и ранжирования альтернатив, которые описываются наборами общих и индивидуальных показателей. Инновационные объекты, объекты двойного назначения являются типовыми представителями таких альтернатив [1]. Эти сравниваемые объекты, как правило, не имеют установившихся стандартов, четко заданной целевой функции, сложившихся общих показателей оценки, что приводит к высокой индивидуализации показателей и возможному некорректному принятию решения.

В этих условиях применение экспертных оценок – естественный путь для формализации и обработки такой неоднозначности. Метод анализа иерархий (МАИ) – признанный аппарат иерархического описания и решения многокритериальных задач выбора лучшей альтернативы в условиях неоднозначных оценок [2]. Данный метод позволяет исследовать сложные объекты через их декомпозицию и анализ компонент (ресурсы, критерии оценки или цели). МАИ включает в себя этапы синтеза парных оценок, получения приоритетности критериев сравнения и нахождения лучшей альтернативы на основе вычисления итоговой функции важности для всех альтернатив.

Задача исследования – модификация метода анализа иерархий для сравнения инновационных объектов, имеющих частично совпадающие показатели его составных частей (систем). Цель исследования – повышение обоснованности принимаемых решений при сравнении инновационных объектов с частично совпадающими показателями за счет включения в итоговые веса альтернатив рассчитанных весов индивидуальных показателей.

Робототехническая система как инновационный объект

В работе в качестве сложных инновационных объектов рассматриваются подвижные наземные роботы, характеризующиеся большим набором разнообразных показателей [3]. По мнению отечественных и зарубежных ученых и разработчиков современные наземные РТК сверхтяжелого класса (от 5000 кг) превосходят некий порог одномоментного восприятия и оценки со стороны экспертов. Данная особенность значительно усложняет задачу анализа и выбора лучшей альтернативы по МАИ.

В работе предлагается подход, основанный на получении дополнительной информации для уточнения экспертных оценок и выполнения вычислений с учетом поправочных коэффициентов. Для этого предлагается разработать математические модели согласования общих и индивидуальных показателей РТК и вычислить матрицу поправочных коэффициентов для весов РТК-альтернатив. Полученная матрица вводится в МАИ на этапе создания сводной таблицы и вычисления итоговых весов альтернатив.

С эксплуатационной точки зрения наземный подвижный робот (Robot System) декомпозируется на пять систем, определяющих структурные и функциональные характеристики роботов:

- транспортная система (Т), задающая ходовые характеристики;
- управляющая (С) система, задающая режимы, алгоритмы работы и контроля;
- навигационная система (N), определяющая координаты робота в пространстве;
- энергетическая (Е), задающая характеристики энергообеспечения;
- коммуникационная (L) система, задающая режимы и характеристики связи.

В отличие от известных подходов, эти системы учитывают не только свойства иерархичности, точности измерения, общности формата (скаляры, вектора, массивы и др.), но такое отличительное свойство как несовместимость в части невозможности сравнения по отдельным показателям.

Для обеспечения объективности сравнения наземных РТК с частично совпадающими показателями предлагается системы РТК описывать через наборы общих показателей G_Var количеством s и индивидуальных показателей P_Var количеством p .

Для общих показателей справедливо

$$G\_Var_i \in T | L | C | E | N, (i = 1 - 5) \quad (1)$$

$$\forall(i) | (G\_Var_i \neq 0), i = 1 - 5 \quad (2)$$

$$G\_Var = G\_Var_k \quad (3)$$

$$k = \max(|G\_Var_1|, |G\_Var_2|, \dots, |G\_Var_5|) = s$$

где $|\mathfrak{Z}|$ - мощность набора показателей $\mathfrak{Z}$.

С информационной точки зрения набор общих показателей G_Var представляет собой множество. Условие (2) означает, что не существует такой системы в Robot System, которая не имеет ни одного общего показателя (необходимое условие сравнения). Условие (3) означает, что всегда присутствует хотя бы одна система в Robot System, которая имеет s общих показателей (достаточное условие сравнения).

Для индивидуальных показателей справедливо

$$P\_Var_1 \subset T, P\_Var_2 \subset C, P\_Var_3 \subset L, \quad (4)$$

$$P\_Var_4 \subset E, P\_Var_5 \subset N$$

$$\exists(i) | (P\_Var_i = 0), i = 1 - 5 \quad (5)$$

$$P\_Var = P\_Var_1 \circ P\_Var_2 \circ \dots \circ P\_Var_5 \quad (6)$$

$$p = |P\_Var_1| + |P\_Var_2| + \dots + |P\_Var_5| \geq dq \quad (7)$$

где $\circ$ - конкатенация элементов.

С информационной точки зрения набор индивидуальных показателей P_Var представляет собой вектор. Условие (5) означает, что существует хотя

бы одна система в Robot System, которая не имеет ни одного индивидуально-го показателя. Это условие необходимо для возможности сравнения объектов хотя бы по одной такой системе. Условия (6), (7) задают минимальный размер вектора P_Var с неповторяющимися по системам показателями. Это ограничивает размер вектора P_Var за счет возможного частичного повторения индивидуальных показателей по сравниваемым объектам.

Математическая модель расчета весов систем РТК

Исходные данные для математических моделей коррекции весов показателей для m РТК, состоящих из q систем, представлены в табл. 1.

В работе принимается равноправный вклад общих и индивидуальных показателей всех систем в оценку инновационного объекта.

Таблица 1. Матрица распределение показателей по q системам РТК

РТК	1		2		...	q		Сумма ин-дивид. показат. Систем
	s	p_1	s	p_2		s	p_m	
O_1	s_{11}	p_{11}	s_{12}	p_{12}	...	s_{1q}	p_{1q}	$\sum_{j=1}^q p_{1j}$
O_2	s_{21}	p_{21}	s_{22}	p_{22}	...	s_{2q}	p_{2q}	$\sum_{j=1}^q p_{2j}$
O_3	s_{31}	p_{31}	s_{32}	p_{32}	...	s_{3q}	p_{3q}	$\sum_{j=1}^q p_{3j}$
...					...			...
O_m	s_{m1}	p_{m1}	s_{m2}	p_{m2}	...	s_{mq}	p_{mq}	$\sum_{j=1}^q p_{mj}$
Сумма ин-дивид. показат. РТК		$\sum_{i=1}^m p_{1i}$		$\sum_{i=1}^m p_{2i}$			$\sum_{i=1}^m p_{qi}$	$\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^q p_{qi}$

Тогда подмножество общих показателей s_i^* , принадлежащих i -му объекту ($i=1-m$), соотносится с количеством s , а подмножество индивидуальных

показателей p_i^* , принадлежащих i -му объекту ($i=1-m$), соотносится с общим количеством p .

Каждая j -я система ($j=1-q$) описывается общими и индивидуальными показателями. Общие показатели понимаются как одинаковые для всех m систем. Соответственно вес общих показателей оценивается как отношение количества параметров данной системы к общему количеству показателей. Индивидуальные показатели задаются предельным числом возможных показателей на систему – d . Тогда вес индивидуального показателя оценивается двумя составляющими:

- отношение к предельному числу показателей на систему – d ;
- отношение суммарного числа индивидуальных показателей к максимальному разнообразию индивидуальных показателей по системе или объекту.

Вычисление веса индивидуальных показателей определяется как произведение двух составляющих

$$\forall j | (vp_{ij}^* = \frac{p_{ij}^*}{d} \cdot \frac{\sum_{i=1}^m p_{ij}^*}{md}), j = 1 - q \quad (8)$$

Вычисление веса общих показателей определяется как отношение

$$\forall j | (vs_{ij}^* = \frac{s_{ij}^*}{s}), j = 1 - q \quad (9)$$

Согласно (9) отношение задает локальную значимость общего показателя s_{ij}^* к максимальному общему значению s . Соответственно верно, что

$$\forall (i, j) | 0 < vs_{ij} \leq 1 \text{ и } \forall (i, j) | 0 \leq vp_{ij} < 1 \quad (10)$$

Сущность модели заключается в коррекции локальными весами индивидуальных показателей весов общих показателей систем. Для учета влияния индивидуальных показателей систем на итоговую оценку инновационного объекта созданы локальная и глобальная модели коррекции весов общих показателей.

Локальная математическая модель коррекции весов основана на изменении локального веса общего показателя соответствующим локальным весом индивидуального показателя в рамках одной системы. Локальная модель имеют вид

$$\forall j | (vs_j' = vs_j^* (1 + vp_j^*)), j = 1 - q \quad (11)$$

где vs_j' – скорректированный вес общего показателя.

Глобальная математическая модель коррекции весов основана на изменении локальных весов общих показателей системы единым значением от всех локальных весов индивидуальных показателей по всем системам. Сборка в итоговое значение всех весов индивидуальных показателей ($p_{11}^*, p_{12}^*, \dots$

p_{qm}^*) позволяет внести вклад весов всех систем сравниваемых инновационных объектов.

В этом случае коррекция веса общего показателя вычисляется как

$$vs_i' = vs_i^* (1 + \varphi(vp_{11}^*, vp_{22}^*, \dots, vp_{ij}^* \dots vp_{qm}^*)) \quad (12)$$

где φ - некоторая функция вычисления среднего, vs_i' – скорректированный вес общего показателя, vp_{ij}^* - ij -й элемент матрицы весов (табл. 2), i – количество сравниваемых объектов ($i=1-m$), j - количество систем в составе объекта $j=1-q$.

Глобальная математическая модель коррекции весов, как правило, создается на основе усредненных значений матрицы весов: среднеарифметическое (mean arithmetic), среднегеометрическое (mean geometric), среднегармоническое (mean harmonic) и др. В работе принимается вид глобальной функции как среднегеометрическое значение (mean geometric).

В результате формируется итоговая матрица с вычисленными средними значениями (по MSD, MGM) (табл. 2).

Итоговый вектор $(mgm_1, mgm_2, mgm_3 \dots mgm_m)^T$ используется для получения поправочных коэффициентов по m сравниваемым РТК. На его основе формируется матрица поправочных коэффициентов РТК – matrix of a corrected coefficient (MCC). Эта матрица формируется в соответствии с принципами Т. Саати как результат парных сравнений РТК. Значения, в MCC стандартно вычисляются как отношение превосходства i -го РТК над j -м РТК, но уже в шкале вещественных значений.

Полученная квадратная MCC используется для уточнения матрицы парных сравнений РТК - matrix of a double comparative (MDC):

$$MDC'(m \times m) = MDC(m \times m) \cdot MCC(m \times m) \quad (13)$$

Таблица 2. Матрица скорректированных весов общих показателей

РТК	1		2		...	q		MGM	MSD
	s	p_1	s	P_2		s	p_m		
O_1	vs'_{11}		vs'_{12}		...	vs'_{1q}		mgm_1	msd_1
O_2	vs'_{21}		vs'_{22}		...	vs'_{2q}		mgm_2	msd_2
O_3	vs'_{31}		vs'_{32}		...	vs'_{3q}		mgm_3	msd_3
...					...			...	...
O_m	vs'_{m1}		vs'_{m2}		...	vs'_{mq}		mgm_m	msd_m

Таким образом, для повышения объективности принимаемых решений по выбору РТК- альтернатив с частично совпадающими показателями разработан способ оценки РТК- альтернатив, основанный на описании функциональных возможностей систем РТК через общие и индивидуальные показатели и созданы две модели коррекции весов вида (11) и (12), позволяющие исключить несовместимость между общими и индивидуальными показателями.

Выводы

Построенная на основе общих и индивидуальных показателей матрица поправочных коэффициентов РТК- альтернатив является дополнительной информацией, которая приводит к теоретически ожидаемому повышению обоснованности выбора лучшей альтернативы. Разработанный способ и две модели коррекции весов позволяют на основе метода анализа иерархий ранжировать и осуществлять выбор альтернатив при наличии множества частично согласующихся показателей, что целесообразно в различных прикладных задачах принятия решений, распознавания образов [4,5].

Исследование выполнено в рамках государственного задания шифр «2.9102.2017/БЧ».

Список литературы

1. Н.С. Пугачев Открытые инновации // Молодой ученый. – 2013. №6 (53). – 403 - 407.
2. Саати Т. Л. Принятие решений. Метод анализа иерархий. М.: Радио и связь. - 1993. – 320 с.
3. Пшихопов В.Х., Медведев М.Ю. Оценивание и управление в сложных динамических системах. М.: Физматлит. - 2009. - 294 с.
4. А.В. Гривачев, С.Г. Емельянов, Е.А. Титенко Модифицированная продукционная система для решения задачи структурного распознавания образов // Научные технологии. - 2014, т. 15, - № 12. - С. 9-12.
5. Титенко Е.А. Продукционная система для реализации параллельных символьных вычислений // Системы управления и информационные технологии. - 2006. № 1-1 (23). - С. 187-191.

МЕТОД УНИФИЦИРОВАННОГО ГРАФИЧЕСКОГО ВОПЛОЩЕНИЯ АКТИВНОСТИ

Аннотация: В статье рассматривается вопрос балансировки знаний при подготовке специалистов. Для этого вводится модель учебного плана, а также её графическая визуализация методом унифицированного графического воплощения активности (UGVA). Описывается методологический базис, поведены примеры и области перспективного применения графической нотации по методу UGVA.

Ключевые слова: учебная программа, компетенция, визуализация, метод унифицированного графического воплощения активности (УГВА), метод Unified Graphic Visualization of Activity (UGVA), балансировка.

UNIFIED GRAPHIC VISUALIZATION OF ACTIVITY METHOD

V.A. Uglev, PhD, docent, uglev-v@uandex.ru
Siberian Federal University, Zheleznogorsk, Russia

Abstract: The article deals with the issue of balancing knowledge in the training of specialists. To do this, a model of the curriculum is introduced, as well as its graphical visualization by the Unified Graphic Visualization of Activity (UGVA) method. The methodological basis is described, examples and areas of application are described.

Key words: curriculum, competence, visualization, Unified Graphic Visualization of Activity (UGVA) method, balancing.

Введение

Подготовка специалистов в любой области человеческой деятельности – это всегда единство между двумя диалектическими крайностями: специализацией и универсальностью. Баланс между ними в *учебной программе* (УП) говорит о том, насколько будущий специалист будет востребован как при стабильном развитии общественно-экономических условий, так в условиях их нестабильности (кризисов). В связи с тем, что кризисные явления в мировой экономике нарастают [1], то и к подготовке специалистов требуется такой подход, который позволял бы разумно планировать учебной деятельности. Но любое планирование базируется как на текущих достижениях, так и

на предпосылках, позволяющих эти достижения актуализировать и развивать. По этой причине возникает три первоочередные задачи:

1. описать процесс сбора и обработки оцениваемой информации, начиная с формализации знаний о процессе подготовки специалистов и заканчивая расчетом оценочных критериев;

3. ввести метод оценки баланса, как интегрального показателя всей УП;

4. предложить унифицированную форму сопоставления (сравнения) двух и более учебных программ в одном направлении подготовки.

Только по результатам успешного решения этих задач можно подойти к следующей – поиску баланса знаний в рамках новой УП. Сразу следует оговориться, что под специалистами в рамках данного исследования мы будем понимать будущих выпускников учебных заведений среднего специального (техникумы) и высшего образования (бакалавриат, специалитет, магистратура). При этом не будет делаться различие между отечественными и зарубежными программами подготовки тех же бакалавров и магистров – методически они должны сравниваться в едином пространстве категорий, образов и смыслов.

Методологический базис

Учебная программа, как объект анализа, должна быть рассмотрена *системно*. Для этих целей ещё не было предложено в науке более универсального подхода, чем *диалектический метод* (по К. Марксу). Поэтому раскроем нашу интерпретацию принципов и законов диалектики [2] по отношению к изучаемому предмету.

Принцип развития и историзма – рассмотрение УП с позиции образования специалиста от исходного уровня знаний, сформированного на предыдущей ступени подготовки, к новой (профессиональной), нередко переходящей сразу к следующей ступени подготовки (по сути, декларация подхода Lifelong Learning).

Принцип всеобщей взаимосвязи – различные компоненты (дисциплины) подготовки влияют комплексно как на конечный результат, так и на изучение параллельно идущих и предстоящих в УП дисциплин, постепенно формируя из декларируемых компетенций реальные компетентности индивида.

Принцип причинности и детерминизма (системности) – система причинно-следственных связей обеспечивает успех подготовки специалиста при последовательном (научно спланированном) переходе от незнания различных аспектов будущей профессиональной деятельности к их знанию (развитости соответствующих компетентностей).

Закон единства борьбы противоположностей – для УП это, как было отмечено выше, соотношение общих/общепрофессиональных знаний и умений со специализированными.

Закон изменения количественных показателей, приводящим к изменению качественных – заключается в необходимости целенаправленной передачи ученику теоретического и практического багажа знаний, качественно преобразующих профессиональные компетентности личности при завершении перехода на очередную ступень образования.

Закон отрицания отрицания – дополнение, расширение и углубление знаний относительно предыдущей ступени подготовки позволяет пересматривать картину мира (как минимум в профессиональной деятельности) через преодоление, сохранение и подъем на новую, более высокую ступень (эффект снятия).

Таким образом, подход диалектического материализма дает нам основание для организации исследования в условиях динамически меняющейся потребности в специалистах при наличии инерции как нормативно-правовой базы, так и системы образования.

Параметризация

Соотношение учебного материала в составе УП, как правило, принято рассматривать относительно двух групп *профессиональных умений* (ПУ), за которые отвечает общеобразовательная и общепрофессиональная подготовка (как единый блок, ПУ1); профилирующая подготовка (специализация, ПУ2)¹. Отметим, что при описании УП в профилирующем блоке зачастую можно выделить две, три и даже четыре компоненты содержания, которые должны иметь сопоставимые по важности для профессии значения. Управление становлением специалиста через балансировку этих составляющих закладывает фундамент (предпосылки) для реализации тех возможностей, которые дает образование как для самого индивида, так и для социума в целом, где он должен успешно самореализоваться.

Конкретизируем круг учебных дисциплин, которые будут объединены в группы, отвечающие за ключевые для специальности подготовки *профессиональные умения*:

ПУ₁. умения, формируемые на базе следующего дисциплин общеобразовательной/отраслевой подготовки:

- ПУ_{1.1}. дисциплины, формирующие методические основы направления подготовки (философские, математические, системные и пр. аспекты профессиональной деятельности);

¹ Если сравнивать компетентностный профиль специальности по ФГОС 3++, то напрашивается группировка общекультурных (ОК) и общепрофессиональных (ОПК) компетенций в рамках ПУ₁, а профессиональных компетенций (ПК) – в рамках ПУ₂. Такая интерпретация, как правило, не соответствует реальности, т.к. деление компетенций на указанные группы не только является условным, но и зачастую не выдерживает критики специалистов на предмет своей адекватности (не говоря даже о самих формулировках).

- ПУ_{1.2.} дисциплины, формирующие прикладные и отраслевые знания и умения области профессиональной деятельности, не относящиеся к специализации (включая отдельные практики и семинары);

- ПУ_{1.3.} дисциплины, формирующие общекультурные и общенаучные знания и умения, не относящиеся к профилю подготовки, но включенные в УП по «политическим» или «гуманистическим» соображениям.

ПУ_{2,3,...,n} – специальные группы умений, формируемые на базе дисциплин, отвечающих за профилирование, выделяемых по одному из следующих оснований:

- технологической последовательности профессиональных действий (например, программист должен сначала уметь спроектировать информационную систему, затем реализовать, и лишь затем протестировать);

- структурно-логическим компонентом специальности (например, специалист по системному проектированию космических аппаратов должен уметь проектировать, обладать системным мышлением и глубоко понимать объект проектирования – режимы работы, целевые задачи и условия эксплуатации космических аппаратов);

- сложившегося в отрасли деления специалистов в соответствии с принятыми на рынке труда направлениями специализации (например, для профессионального стандарта «Системный администратор» выделяют должности администратора баз данных, администратора структурированной кабельной сети, администратора прикладного программного обеспечения и т.п.).

ПУ_{n+1}. специальная (дополнительная) группа умений (СПК), соответствующая конкретному производству или предприятию (региональный компонент, при наличии базовых предприятий-потенциальных работодателей, включая производственную практику и аналогичные мероприятия, организованные работодателем).

Итоговый список ПУ будет иметь длину n и выглядеть следующим образом: $PU = \langle PU_{1.1}, PU_{1.2}, PU_{1.3}, PU_2, \dots, PU_n, PU_{n+1} \rangle$, через j обозначим порядковый номер ПУ в объединенном списке компонент умений.

Пусть дано m дисциплин в составе отдельно взятой УП. При этом каждая дисциплина имеет ряд характеристик:

- заглавие (t);
- семестр реализации в составе УП (r);
- признак возможности выбора дисциплины ($h = 0$) или отсутствие такового ($h = 1$) при обучении по данному УП;
- объём часов/кредитов/зачетных единиц (z);
- процент времени, отводимый на аудиторную работу (w).

Объединим их в общее множество параметров дисциплины $P_i = \langle t_i, r_i, h_i, z_i, w_i \rangle$, где i – порядковый номер дисциплины ($i \in 1, 2, \dots, m$). Тогда можно будет выделить вектор частных характеристик подготовки студента X_i , включающий в себя значения экспертных оценок $x_{i,j}^1$ (далее для всех обо-

значений будем упускать признак текущего уровня подготовки и записывать просто $x_{i,j}$) участия (вклада) в развитии каждой компоненты из выделенных ПУ для подлежащих сравнению УП текущего уровня подготовки. Значения экспертных оценок будем задавать в диапазоне от 0 (дисциплиной не развивается для j -го ПУ) до 1 (дисциплина посвящена преимущественно развитию этого ПУ). Аналогичным образом можно сформировать P_i^0 и $x_{i,j}^0$ для УП предыдущего уровня подготовки (при наличии соответствующих данных), сформированных относительно ВУЗа или индивида. Отметим, что перечень групп ПУ предыдущего уровня подготовки (PU_0), как правило, не совпадает с перечнем текущего уровня (PU), и поэтому формируется заново (относительно текущего ПУ или получаемой профессии в соответствии с задачами исследования). В результате дисциплина d_i из текущего УП будет задана кортежем $d_i = \langle X_i | P_i \rangle$, а их совокупность D сформирует набор первичных данных (таблицы данных) для проведения сравнительного анализа различных УП.

Несмотря на то, что все оценки $x_{i,j}^0$ и $x_{i,j}$ вклада в развитие того или иного ПУ конкретной дисциплины должны быть заданы количественно (например, в интервале от 0 до 1), необходимо констатировать, что их значения будут иметь высокий вклад субъективности оценки эксперта. Причиной этому будут являться личный опыт эксперта (сформировавшееся понимание содержания предмета), скудность знаний о дисциплине (порой доступны лишь названия предметов или их аннотации), формальное отражение данных о содержании дисциплины ведущим преподавателем (имеющаяся специфика работы педагога не отражена в рабочей программе дисциплины), качество работы педагога/кафедры может не соответствовать заявленному в документах уровню. По этой причине любые оценки и результаты сравнения будут иметь лишь предварительный характер.

Методика оценки баланса знаний в отдельной УП

Рассмотрим *этапы методики оценки баланса знаний* в составе УП относительно выбранных PU :

1. Находим сумму оценок по каждому столбцу $S_j = S_j^1 + \alpha * S_j^0$, где $S_j^0 = \sum_{i,h=0} x_{i,j}$ и $S_j^1 = \sum_{i,h=1} x_{i,j}$, уменьшая вклад дисциплин «вариативной» части (факультативы и дисциплины по выбору) за счет масштабирующего коэффициента α (например, его можно взять равным 0,5).

2. Пересчитываем значения S_j относительно их процентного вклада по формуле $S_j^* = \frac{S_j * 100}{\sum_j S_j}$.

3. Выделим k оценок частей УП, которые позволяют соотнести ключевые компоненты подготовки, и сгруппируем соответствующие оценки S_j^* . Значение k не должно превышать n . Как правило, первая оценка – это все три компонента из ПУ₁, т.е. $k_1 = S_1^* + S_2^* + S_3^*$. Остальные оценки могут соответствовать $S_4^* - S_n^*$, но не обязательно (например, последний компонента S_n^* для $n+1$ может не включаться в дальнейший расчет баланса). Например, при подготовке того же программиста важны и проектные, и программистские и тестируемые навыки, но добиваться их балансировки (равного вклада в УП) не рационально, а вот сравнивать второй навык с суммой первого и третьего – вполне разумно.

4. Оцениваем отклонение от баланса компонент. Для этого можно использовать, например, формулу $\delta = \frac{\sum_{p=1}^k \left| \frac{100}{k} - K_p \right|}{k}$, где значение $100/k$ – это равновесное соотношение (баланс) между умениями будущего специалиста.

По аналогии, можно рассчитать оценки частей УП для предыдущей ступени подготовки k^0 , но они не будут участвовать в непосредственных оценках текущего УП, поэтому и δ^0 вычислять не потребуется.

Методика сравнения УП

С целью сравнения различных УП введем дополнительные инвариантные параметры Z (метаданные), позволяющие их идентифицировать. Помимо D_g , где g порядковый номер (идентификатор) программы в таблице данных, для каждой УП зафиксируем шифр программы подготовки по классификатору министерства образования (z_1 , для зарубежных выбирается ближайший из классификатора), наименование программы (z_2), уровень подготовки (z_3 , где 0 – средне-специальное, 1 – высшее-бакалавриат, 2 – высшее-специалитет, 3 – магистратура), страна (z_4), наименование учебного заведения ВУЗ (z_5), характер подготовки (z_6 , где 0 – без спецификации, 1 – прикладная, 2 – академическая). Таким образом УП (UP), будет описываться кортежем $UP_g = \langle D_g | Z \rangle$ и, при наличии преемственности программ подготовки и специфики постановки задачи сравнения, могут привлекаться данные из UP_g^0 .

Обобщенно, *методику сравнения учебных программ* можно представить в виде следующих этапов:

1. Осуществляется сбор данных о каждой сравниваемой учебной программе UP_g и, при необходимости, её предшественнике (UP_g^0);
2. Данные всех критериев PU по каждой программе агрегируют до аспектов S_j^* в соответствии с предложенным выше подходом;

3. Совокупность аспектов и дополнительных критериев, представляющие описание учебной программы в гиперпространстве факторов, сводят в общую для сравниваемых объектов таблицу (UP_g);

4. Каждая строка в таблице представляется в виде графического образа, позволяющего сравнить её относительно других, основываясь на принципах когнитивной компьютерной графики [3];

5. На основании полученных результатах сравнения делается вывод, отвечающий целям исследования.

Приложенная методика требует раскрытия четвертого этапа, т.к. он является ключевым и не столь очевиден. Его реализацию можно базировать на методах интеллектуального анализа данных (например, развитые методы кластеризации и картирования, что может стать отдельной темой для исследования). Но это слишком большой масштаб обобщения, который не столь интересно анализировать, когда важно производить точечные сравнения между учебными программами. По этой причине введем *принципы формирования визуального образа*, сужающие возможные варианты осуществления четвертого этапа и отвечающие приведенным выше законам и принципам диалектического материализма:

- объективности – минимизации субъективных оценок при обобщении, оперируя лишь преобразованием количественных показателей;

- сравнимости – однообразия формы и правил отображения, допускающего автоматический синтез образа;

- сбалансированности (симметричности) – стремление ввести в оценку гармонию соотношения аспектов, т.е. стремление к симметрии образа;

- преемственности – выявлению причинно-следственных связей в динамике (прошлое-настоящее-будущее);

- выразительности образа – выбора в качестве базового графического объекта такого архетипического образа, который бы наиболее естественно ассоциировался с объектом отображения и его профессиональными чертами;

- локализации – эффективной узнаваемости образа в привязке к региону, стране и/или ВУЗу;

- простоты – изображения объекта при минимальной степени детализации, которая позволила бы осуществить синопсис (свертку) многообразия характеристик образовательной программы без введение излишнего числа деталей.

Базируясь на этих принципах выберем метод визуализации (создания образа). Наиболее релевантным нам представляется комбинирующий подход Г. Чернова (лица Чернова) [4] и Д. Джоунса (фейкодер) [5], которые в статье [6] был обобщен В.А. Филимоновым до полноценной фигуры человека (бодикодер и его расширения). Преимуществом указанных методов является возможность их применения для точечного многофакторного сравнения объ-

ектов без перехода к предельному уровню абстракции (облака точек в гиперпространстве факторов).

Метод унифицированного графического воплощения активности

Рассматривая профессиональную деятельность как потенциальную активность индивида (нашего учащегося) в обществе, остановимся на фигуре (образе) человека, воплощающей совокупность его структурно-функциональных характеристик. Образ, особенно когда мы говорим о гармонизации и симметрировании, должен иметь соответствующие уровни (страты). Выделим три вертикальных (В1-В3) и несколько (более 2-х) горизонтальных (Г) уровня. *Вертикальная стратификация* ориентирована на отражение причинно-следственных зависимостей, имеющих привязку ко времени и определенному образу:

В0 – это прошлое, т.е. предпосылки, позволяющие как эффективно реализовать настоящее, так и накладывающие ограничения на будущее (формируется в виде движущей части тела – нижних конечностей или их аналоги);

В1 – это настоящее, т.е. имеющийся расклад знаний, обеспечивающий подготовку специалиста (формируется в виде туловища и верхних конечностей, базирующихся на общей методической основе ПУ₁);

В2 – это будущее, т.е. интегральная характеристика комплексности обучения будущего специалиста с позиции гармонизации ключевых компонент подготовки (формируется в виде головы и лица, условно отображающего эмоциональную оценку гармоничности знаний, реализуемых в УП).

Горизонтальная стратификация отражает соотношение знаний в УП, отвечающих за группы умений ПУ₁-ПУ_{*n*}), исключая региональную. ПУ₁ группируется в центральной зоне и делит «корпус» фигуры на несколько сегментов (от 1 до 4, где последний фрагмент может принадлежать одному из ПУ₂-ПУ_{*n*}, когда *n*'=4). Тогда логика формирования горизонтальной симметрии («руки») выводится относительно разных ПУ (сравниваем их между собой) или относительно разделения на обязательные/по выбору компоненты (каждая рука включает в себя сегмент всех ПУ₂-ПУ_{*n*}). Не исключено, что при значении *n*'>4 будут варианты отрисовки более двух верхних конечностей, что не желательно как с позиции восприятия, так и с позиции ухода от цельного образа человеческой фигуры.

На основании этого деления предложим **метод «Унифицированного графического воплощения активности»** (Unified Graphic Visualization of Activity). UGVA (УГВА) – это метод визуального представления профессионального профиля подготовки, выраженного в виде антропоморфного образа, с целью показать особенности его содержания и быстро сравнивать такие профили между собой. Например, для двух горизонтальных групп профилирующих компетенций получим 7 зон отрисовки (рис. 1), позволяющих кодировать отдельные аспекты модели учебной программы в виде элементов син-

тезируемого изображения. Следует обратить внимание, что метод не регламентирует как число зон профилирования (одна и более), так и необходимость использования только «человекоподобных» элементов. Варьироваться может форма (привязка параметров модели к длине, ширине или диаметру) отдельных элементов синтезируемого изображения, а также их цвет. Допускается появление на изображении отдельных артефактов (на рис. 1 это зоны A1 и A2), символизирующих ярко выраженную глубину проработки соответствующих умений в УП. «Руки», для случая, когда $n > 2$, могут быть поделены на два сегмента – ближе к «телу» (вклад обязательно изучаемых дисциплин) и дальше (вклад дисциплин по выбору). Исполнение каждой зоны, как и вариации артефактов, может расширяться дополнительными элементами (параметрами) и должно отвечать задачам проводимого сравнения.

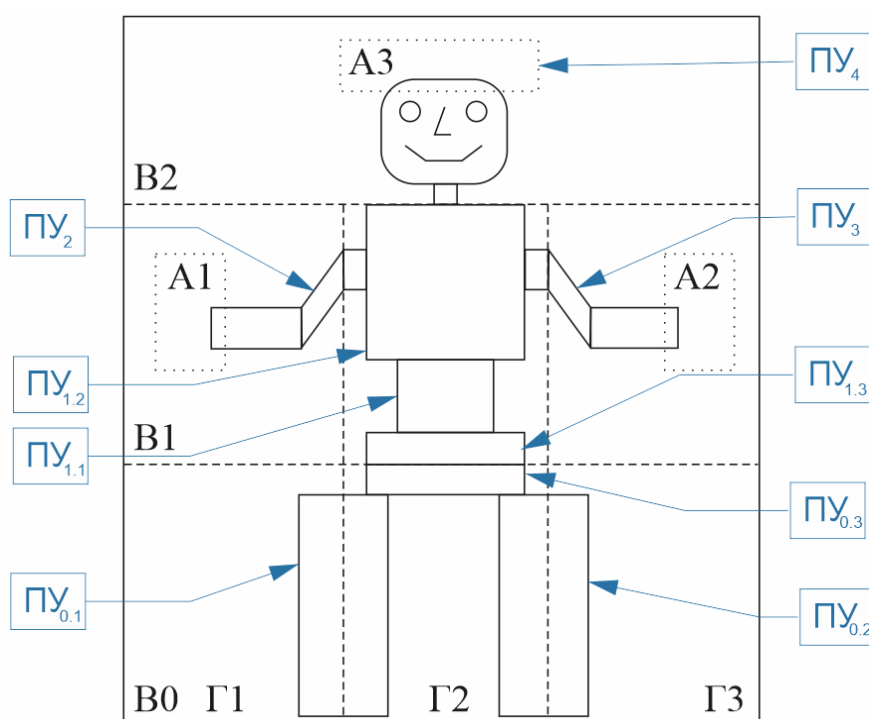


Рис. 1. Области стратификации синтезируемого изображения

Оценка балансировки ПУ в учебной программе («голова» из зоны B2) отражает эмоцию, соответствующую степени приближения к гармоничному сочетанию аспектов подготовки ИЗ: если показатель δ стремится к 0, то рисуется улыбка, а по мере увеличения шибки на лице изображается нейтральная эмоция, потом грусть, а затем и ужас. При необходимости, отдельные элементы лица могут кодировать различные оценочные суждения по поводу перспектив подготовки, т.е. расширять пространство отображаемых факторов при сравнении (элементы классического образа, использованного Черновым). В дополнение к этому на голову «надевается» головной убор (область A3), габариты которого показывают степень интеграции УП с предполагаемыми/имеющимися отраслевыми потребностями работодателя $ПУ_{n+1}$

(при наличии такового) через показатель $ПУ_{n+1}$. Упустим, для краткости, описание прочих деталей формирования образа.

Проиллюстрируем работу метода UGVA на визуальном сравнении двух УП подготовки магистров направления информатика и вычислительная техника с [7], за предыдущую ступень подготовки взяв аналогичное направление бакалавриата (здесь число групп умений в таблице данных $n = 7$). Как видно из рис. 2, обе УП (шифр 09.04.01.03 и 09.04.01.04 соответственно) имеют существенные различия, несмотря на то, что обучают специалистов одного профиля, в одном ВУЗе, опираются на общий бакалавриат и единый набор базовых дисциплин.

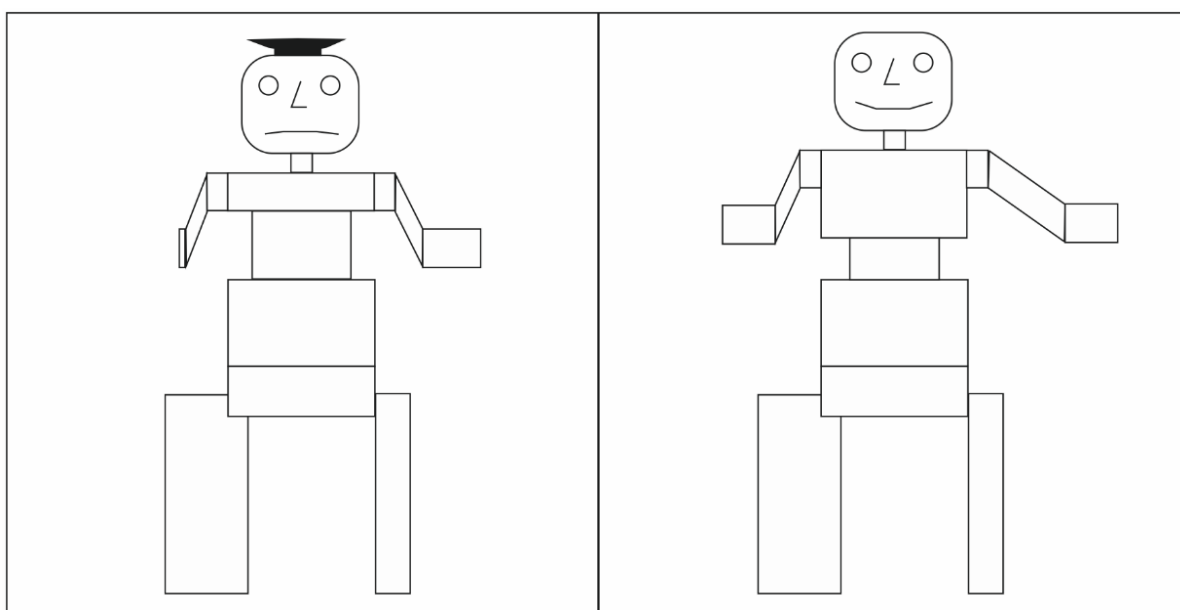


Рис. 2. Результат визуализации методом UGVA двух учебных планов по [7]

Задачи оценки и сравнения для метода UGVA

Потенциально, метод UGVA может применяться для более широкого круга задач, чем это было заявлено в первой части статьи. Базируясь на полученных по методу оценках и их визуализации, могут быть обоснованы решения следующих задач:

- сравнение учебных программ внутри ВУЗа, на предмет выявления их перспектив, балансировки их содержания и выделения новых направлений развития;
- сравнение учебных программ между ВУЗами, на предмет выявления их конкурентных преимуществ и обоснования открытия новых программ подготовки;
- сравнивать профиль подготовки отдельных учащихся как на этапе обучения (сочетая с индивидуальными показателями успеваемости), так и на

этапе профотбора при поступлении или рекомендации выпускников потенциальным работодателям);

- сравнивать специфику реализации подготовки при специализации в рамках конкретной УП ВУЗа, имеющего возможность обеспечить различный профиль за счет вариативности дисциплин;

- сформировать профиль образовательной подготовки индивида (индивидуальный профессиональный портрет), являющегося частью его портфолио (или личного дела работника/соискателя), дополняя его набором визуализируемых элементов, отражающих индивидуальные достижения (например, оценивая уровень развития компетентностей по методу [8]);

- сформировать профиль проектной команды её участников, выявляя компетентности профиль всей группы исполнителей и, возможно, сравнив его с профилем конкурирующего проекта;

- выявлять тренды и новые направления профессий, отвечающие задачам углубления разделения труда в ходе фактического или потенциального (желательного) изменения конъюнктуры рынка труда.

Таким образом, отрисовка в нотации метода унифицированного графического воплощения активности (UGVA) может быть применена на различных стадиях подготовки специалистов: от поступления в учебное заведение и до присутствия на рабочем месте. При этом один и тот же УП оценивается по-разному, если оценки дисциплин даны с позиции различных аспектов, т.е. отвечают ситуационным задачам исследования и потребностям/профилю организации.

Заключение

Многопараметрическое сравнение – это всегда сложная задача, если её решать для объектов реального мира. Если же такому сравнению подлежат люди или процессы, с ними связанные, то задача усложняется многократно. Поэтому поиск баланса между специализацией и универсальностью при подготовке специалистов с помощью графических методов. Предложенный метод *унифицированного графического воплощения активности* (UGVA) может быть полезен не только в рамках учебных заведений, но и при дальнейшей работе с образовательным профилем человека. Это дает основание для его дальнейшего развития и практического внедрения, включая реализацию автоматического построения образа в составе механизмов систем поддержки принятия решений различного класса.

Список литературы

1. Хазин М.Л. Воспоминания о будущем. Идеи современной экономики. – М.: РИПОЛ классик, Сфера, 2019. – 463 с.

2. Маркс К., Энгельс Ф., Ленин В. И. О диалектическом и историческом материализме / Сост. А. П. Шептулин. – М.: Политиздат, 1984. — 636 с.
3. Зенкин А.А. Когнитивная компьютерная графика / под ред. Поспелова Д.А. – М: Наука, 1991. – С. 192.
4. Chernoff H. The use of faces to represent points in K-dimensional space graphically // Journal of the American Statistical Association. 1973. V. 68. N 342. P. 361–368. doi: 10.1080/01621459.1973.10482434.
5. Джоунс Д. Изобретения Дедала. – М.: Мир, 1985. – 233 с.
6. Филимонов В.А. Применение простого конструктора «4 уровня» для обеспечения научной новизны публикаций, 2019. – DOI: 10.13140/RG.2.2.24636.90240.
7. Учебные планы подготовки студентов с официального сайта СФУ [Электронный ресурс]: режим доступа - <http://edu.sfu-kras.ru/programs>.
8. Углев В.А., Добронев Б.С. Методика автоматизированного измерения и оценки уровня развития компетентностей // Информатика и образование, № 2, 2017. - С. 61-65.

В.А. Углев, к.т.н., доцент, uglev-v@uandex.ru
Некрасов М.В., к.т.н., доцент, getmyway@mail.ru
Сибирский федеральный университет, г. Железногорск, Россия

МОДЕЛЬ ДЛЯ ОЦЕНКИ БАЛАНСА УЧЕБНОЙ НАГРУЗКИ МЕТОДОМ UGVA ДЛЯ ПОДГОТОВКИ СПЕЦИАЛИСТОВ В ОБЛАСТИ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА

Аннотация: В статье предложена компетентностная модель описания учебного плана по подготовки специалистов в области искусственного интеллекта (инженеров по знаниям) в рамках магистратуры. Рассматривается вопрос оценки баланса нагрузки в учебном плане и сравнения учебных планов между собой. Для анализа учебного плана применяется визуальная нотация по метод унифицированного графического воплощения активности (UGVA). Предложена модель визуализации различных аспектов учебного плана с помощью образа робота-андроида на гусеничной платформе.

Ключевые слова: искусственный интеллект, инженерия знаний, инженер по знаниям, компетенции, учебная программа, визуализация, метод унифицированного графического воплощения активности (УГВА), метод Unified Graphic Visualization of Activity (UGVA).

MODEL FOR ESTIMATE OF LEARNING LOAD USING BY THE UGVA METHOD IN THE FIELD OF SPECIALISTS OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE TRAINING

V.A. Uglev, PhD, docent, uglev-v@uandex.ru
M.V. Nekrasov, PhD, docent, getmyway@mail.ru
Siberian Federal University, Zheleznogorsk, Russia

Abstract: The article offers a competency-based model for describing the curriculum for training specialists in the field of artificial intelligence (knowledge engineers) within the master's program. The issue of estimate the load balance in the curriculum and comparing curricula with each other is considered. Visual notation by Unified Graphic Visualization of Activity (UGVA) method is used to analyze the curriculum. A model of visualization of various aspects of the curriculum using the image of an Android robot on a tracked platform is proposed.

Key words: Artificial Intelligence, Knowledge engineering, engineer of knowledge, competence, curriculum, visualization, Unified Graphic Visualization of Activity (UGVA) method.

Переход к шестому технологическому укладу сопровождается появлением новых точек роста в научной, производственной и экономической областях наиболее развитых государств. Одной из точек перспективного роста является искусственный интеллект (ИИ), интенсивное развитие которого за последние 2 года поставлено в приоритет национальных стратегий целого ряда стран (рис. 1.). Следует подчеркнуть, что в большинстве стран мира с развитой индустрией информационных технологий уже не один десяток лет существует отдельная специальность – специалист по искусственному интеллекту (инженер по знаниям), представленная бакалаврами и/или магистрами. В России такой специальности до сих пор нет: у нас подобные специалисты выходят из учебных заведений программистами или аналитиками, искусно обобщенным красивым словом магистр.

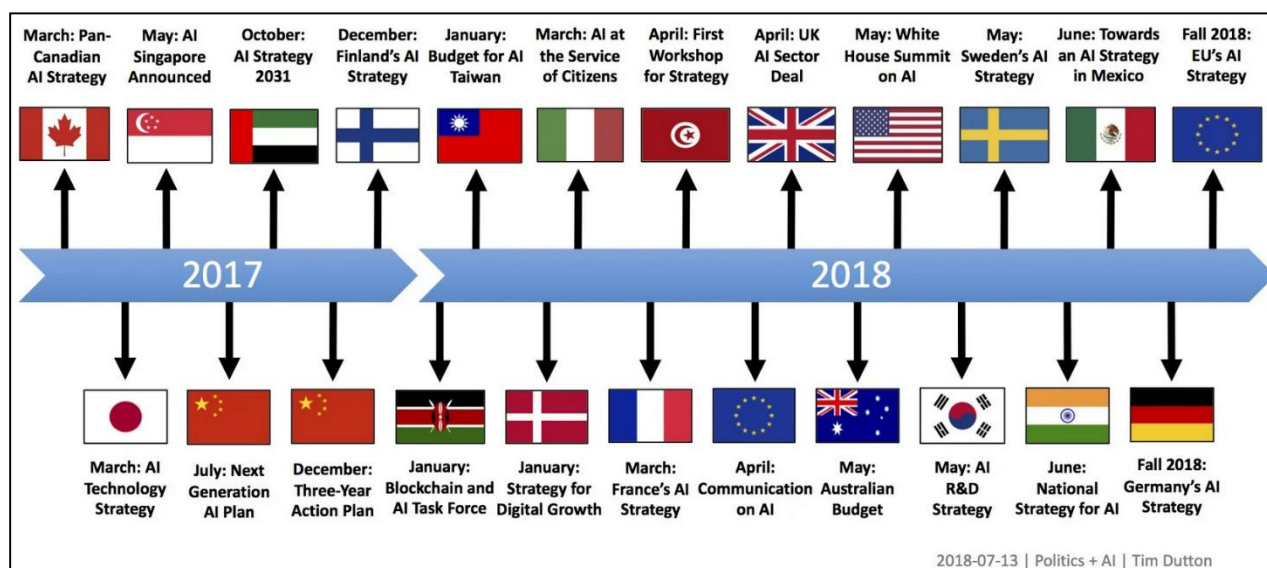


Рис. 1. Страны, имеющие стратегии развития ИИ на 12.07.2018 [1]

В свете принятия в России в октябре 2019 года «Национальной стратегией развития искусственного интеллекта на период до 2030 года» [2] ситуация должна измениться (возможно, вплоть до принятия нового профессионального и образовательного стандарта). Но как оценить текущее состояние дел, сравнив его с зарубежным опытом, и разумно подойти к балансировке учебной нагрузки и знаний при подготовке будущих инженеров по знаниям? Для этого требуется не только собрать данные о подготовке профессионалов в области ИИ в мире и России, имеющей одних из наиболее сильных специалистов в этом направлении, но и сформировать модель для их сравнения. Описанию такой модели и будет посвящена данная статья, с выходом на применение визуальной нотации по методу унифицированного графического воплощения активности (UGVA).

Начнем с анализа того, что входит в область деятельности специалиста по искусственному интеллекту или, как должна называться его должность – *инженера по знаниям (ИЗ)* [3, 4]. Обобщение многолетнего опыта в области ИИ как за рубежом, так и в нашей стране показывает, что ИЗ должен обладать следующими развитыми обобщенными *профессиональными умениями (ПУ)* :

1. применять методы системного анализа и математической обработки данных и знаний;

2. применять технологии извлечения знаний и структурировать знания (в основном это коммуникативные навыки для работы с экспертами);

3. применять технологии представления знаний в виде базы знаний или наборов данных для обучения алгоритмов ИИ;

4. разрабатывать программную компоненту интеллектуальных систем (решатель, обычные и естественно-языковые интерфейсы и пр.).

Очевидно, что сюда не вошли такие важные умения, как математические и системные, а также те, что отвечают за общую грамотность в информационных технологиях. Умения 2 и 3 являются ключевыми. Если внимательно сравнить их с описанием деятельности инженера по знаниям из [5], то получится, что четвертое умение нужно ИЗ только тогда, когда команда разработчиков мала, т.е. инженер по знаниям совмещает свои трудовые функции в рамках должности программиста. В остальных случаях это вспомогательное умение, позволяющее говорить с разработчиком (программистом) на одном «языке» при объяснении структуры базы знаний и особенностей реализации решателя по её обработке.

Основываясь на предложенных акцентах в области деятельности ИЗ предложим модель, позволяющую описать (а в перспективе – сравнить и провести балансировку) образовательную программу с позиции соотношения знаний (дисциплин), формирующих те или иные умения специалистов области ИИ. Рассмотрим уровень магистратуры. При этом будем особенно обращать внимание на разделение базовой и вариативной части при подготовке будущих специалистов, а также на наличие базовой подготовки, т.е. степени профилирования на предыдущей ступени подготовки (как правило, при обучении на бакалавриате).

Формализация модели описания учебного плана по ИЗ

Составим частную параметрическую модель, опираясь на нотацию из метода UGVA [6], используя укрупненный перечень ПУ из учебного плана (УП) подготовки. Она включает в себя следующие аспекты *PU* (агрегированные критерии), которые должны быть учтены при сравнении различных программ подготовки с позиции выбранного нами для исследования профиля – инженерии знаний:

1.1. Объем общенаучных методических и методологических знаний (профессиональные умения из $ПУ_{1.1}$);

1.2. Объем знаний по извлечению и структурированию знаний ($ПУ_2$);

1.3. Объем знаний по формированию баз знаний в памяти ЭВМ ($ПУ_3$);

1.4. Объем знаний по программированию ($ПУ_4$);

1.5. Общенаучные знания, не относящиеся к профильной подготовке (включая все дисциплины по информационным технологиям, не вошедшие в п. 1.1-1.4 и соответствующие $ПУ_{1.2}$ и $ПУ_{1.3}$).

За основу выделения $ПУ_2$ - $ПУ_4$ взят критерий последовательности профессиональных действий.

В модели не будут выделяться дисциплины, целенаправленно формирующие группу умений $ПУ_{n+1}$, развивающие компетенции регионального работодателя. В случае, если имеется информация о предыдущей ступени подготовки (исключительно в этом же ВУЗе), то в модель так же будут включаться следующие дополнительные элементы из PU_0 :

0.1. Объем знаний, полученных по направлению полезных для будущего специалиста по ИЗ гуманитарных наук (в первую очередь по философии и психологии);

0.2. Объем знаний, полученных по направлению информатики и вычислительной техники (кроме элементов из пунктов 0.3 и 0.4);

0.3. Объем знаний, полученных по направлению программирования и применения развитых средств проектирования и разработки информационных систем (включая базы данных, CASE-системы и т.п.);

0.4. Объем знаний, полученных непосредственно по инженерии знаний.

0.5. Объем знаний, полученных по иным направлениям, включая математические, экономические и пр.

При оценке объема знаний по каждой дисциплине (упуская все практики и выпускную квалификационную работу), в рамках данной статьи, уйдем от оценки в часах или кредитах (зачетных единицах). Более того, так как у нас не всегда есть возможность ознакомиться с содержимым каждой дисциплины (особенно зарубежного ВУЗа), то будем оценивать вклад каждой дисциплины в развитие ПУ в интервале от 0 до 1 экспертно, исходя из названия и аннотации к дисциплине, а также реалистичного понимания того, что это название должно охватывать в поле профессиональных знаний и умений. Остальные параметры дисциплин и учебного плана (текущего D и предыдущего D_0) будут сформированы в единый вектор показателей (факторов), пригодных для анализа, сравнения и визуализации методом UGVA. Фрагменты таблицы исходных данных D и D_0 представлены в табл. 1 и 2 соответственно: основной УП - магистратура «Интеллектуальные информационные системы», УП предыдущего уровня подготовки – бакалавра направления «Информатика и вычислительная техника» [7]).

Таблица 1. Экспертные оценки вклада дисциплин основного УП

№	Дисциплина	Вари- атив	ПУ _{1.1}	ПУ _{1.2}	ПУ _{1.3}	ПУ ₂	ПУ ₃	ПУ ₄
1	Организация научно-исследовательской и проектной деятельности	0	0	0	1	0	0	0
2	Теория систем и системный анализ	0	1	0	0	0	0	0
3	Теория распознавания образов	0	1	0	0	0	0,25	1
4	Проектирование информационно-аналитических систем	0	0	0,5	0	0	0	1
5	Методы оптимизации	0	1	0	0	0	0	0
6	Интеллектуальный анализ данных	0	1	0	0	0	0,25	1
...	...	...	...	...	...	...	...	...
22	Интеллектуальные технологии	1	0	0	0	0,5	0,5	0,5
23	Представление знаний	1	0	0	0	0,5	1	0
	Значение S_j^*		24,04	13,11	18,58	6,56	14,75	22,95

Таблица 2. Экспертные оценки вклада дисциплин УП бакалавриата

№	Дисциплина	Вари- атив	ПУ _{0.1}	ПУ _{0.2}	ПУ _{0.3}	ПУ _{0.4}	ПУ _{0.5}
1	Философия	0	1	0	0	0	0
2	Всеобщая история	0	0	0	0	0	1
3	Теория и практика эффективного речевого общения	0	1	0	0	0	0
4	Операционные системы	0	0	1	0	0	0
5	Алгоритмы и структуры данных	0	0	0	1	0	0
6	Методы и системы принятия решений	0	0,25	0	0	0,5	1
7	Основы адаптивных систем управления	0	0	0	1	0,5	0
...	...	...	...	...	...	...	...
49	Программное обеспечение мобильных систем	1	0	1	0	0	0
50	Основы академического письма	1	0	0	0	0	1
	Значение S_j^*		4,27	35,5	27,01	1,9	31,28

Применяя методику обобщения данных из [6], рассчитаем оценки вклада каждого ПУ в подготовку и нормируем его, получая вектор оценок S_j^* (см. последние строки в таб. 1 и 2.). Далее сгруппируем показатели в три группы, позволяющие перейти к оценке баланса в подготовке ИЗ следующим образом:

1. $K_1 = S_{1.1}^* + S_{1.2}^* + S_{1.3}^* = 55,47$ - это комплекс компетенций, отвечающий за общенаучную и общепрофессиональную подготовки ИЗ;

2. $K_2 = S_2^* + S_3^* = 21,31$ - это комплекс компетенций, отвечающий за основные профессиональные компетенции ИЗ;

3. $K_3 = S_4^* = 22,95$ - это комплекс компетенций, отвечающий за умение разрабатывать программную компоненту информационных интеллектуальных систем.

Далее рассчитаем значение характеристики сбалансированности ПУ относительно всего учебного плана подготовки: для рассматриваемого УП это значение будет равно $\delta = 14,82$.

Образование (формирование образа)

Возьмём за основу образа объект, который хорошо ассоциируется с искусственным интеллектом и одновременно недалеко отходит от образа фигуры человека для применения нотации из метода UGVA. Для нашего случая это андроид, т.е. человекоподобный робот. Эта абстракция согласуется как с предметной областью подготавливаемого специалиста, так и с возможностью творческого представления богатства отдельных элементов синтезируемого изображения, путем введения ряда специфических технических элементов.

Образ, особенно, когда мы говорим о гармонизации и симметрировании его составных частей, должен иметь четкое описание элементов, располагаемых на пересечении вертикальных и горизонтальных страт. Опишем спецификацию каждой из семи зон (см. рис. 1 из [6]), представив нижнюю страту (B0) в виде технической платформы на гусеничном ходу:

- B0:Г1 – левое (направляющее) колесо кодирует в диаметре значение ПУ по гуманитарным дисциплинам ($ПУ_{0.1}$ из PU_0).

- B0:Г2 – центральное (опорное) колесо кодирует в диаметре значение ПУ по дисциплинам, общеинформационного профиля ($ПУ_{0.2}$ из PU_0).

- B0:Г3 – правое (ведущее) колесо кодирует в диаметре значение ПУ по дисциплинам, связанным с проектированием и разработкой программного обеспечения ($ПУ_{0.3}$ из PU_0).

- B1:Г1 – левый двухсегментный манипулятор андроида кодирует объём учебной нагрузки по методам извлечения и структурирования знаний ($ПУ_2$ из PU с делением на обязательную для изучения часть и часть по выбору).

- B1:Г2 – корпус андроида имеет три вертикальных сегмента (без явного разделения на обязательную и «выборную» части):

- Нижний – объём общенаучной нагрузки в составе УП ($ПУ_{1.2}$ и $ПУ_{1.3}$);

- Средний - объём методических и методологических знаний ($ПУ_{1.1}$);

- Верхний – учебная нагрузка по программированию ($ПУ_4$, где ширина и длина «груди» соответствует общей и выборной части нагрузки соответственно).

- $B1:ГЗ$ – правый двухсегментный манипулятор андроида кодирует объём учебной нагрузки по методам представления знаний в памяти ЭВМ в виде баз знаний ($ПУ_3$ из PU , так же с делением на два сегмента).

- $B2$ – «голова» с условным изображением эмоции, отражающей оценку баланса нагрузки учебного плана δ .

Для завершения формирования образа дополним страту $B0$ ещё двумя элементами: надгусеничной полкой и самой гусеничной лентой. Кодирование надгусеничной полки будет отражать вклад дисциплин из $ПУ_{0.5}$ из PU_0 . А значение $ПУ_{0.4}$ (основы инженерии знаний и методов ИИ) будет закодировано следующим образом:

- Если соответствующие дисциплины (более одной) имели место быть на предыдущей ступени обучения, то отрисовывается рельеф перьев гусеничной ленты;

- Если была только одна дисциплина, связанная с ИИ (например, «Введение в ИИ» или «Системы/методы/основы ИИ») то гусеничная лента рисуется без перьев;

- Если соответствующие дисциплины отсутствовали, то гусеничная лента не отрисовывается (для базовой подготовки, не связанной с информационными технологиями, идею деградации технического образа можно, при желании, развить).

В область $A1$ для левого манипулятора добавим условное изображение инструмента для извлечения знаний – паяльник (что может сравниться по эффективности при решении задачи извлечения знаний из экспертов?). Он должен появляться в том случае, когда в УП предусмотрена отдельная дисциплина, связанная с целенаправленным развитием коммуникативных способностей ИЗ (например, дисциплины типа «Коммуникативные приемы извлечения знаний» или «Психологические основы эффективного интервьюирования»).

Профиль подготовки ИЗ в нотации метода UGVA

Обобщая предложение правила визуализации профиля подготовки ИЗ по конкретному УП, сформируем упрощенную схему отрисовки в нотации UGVA (рис. 2, левый).

Теперь продемонстрируем вид модели УП из [7], отрисованный в упрощенном виде с использованием нотации UGVA (рис 2., правый). На нем видно, каково соотношение базовых групп компетенций как по отдельности (элементы образа из страты $B1$), так и интегральной характеристики сбалансированности УП (лицо на страте $B2$).

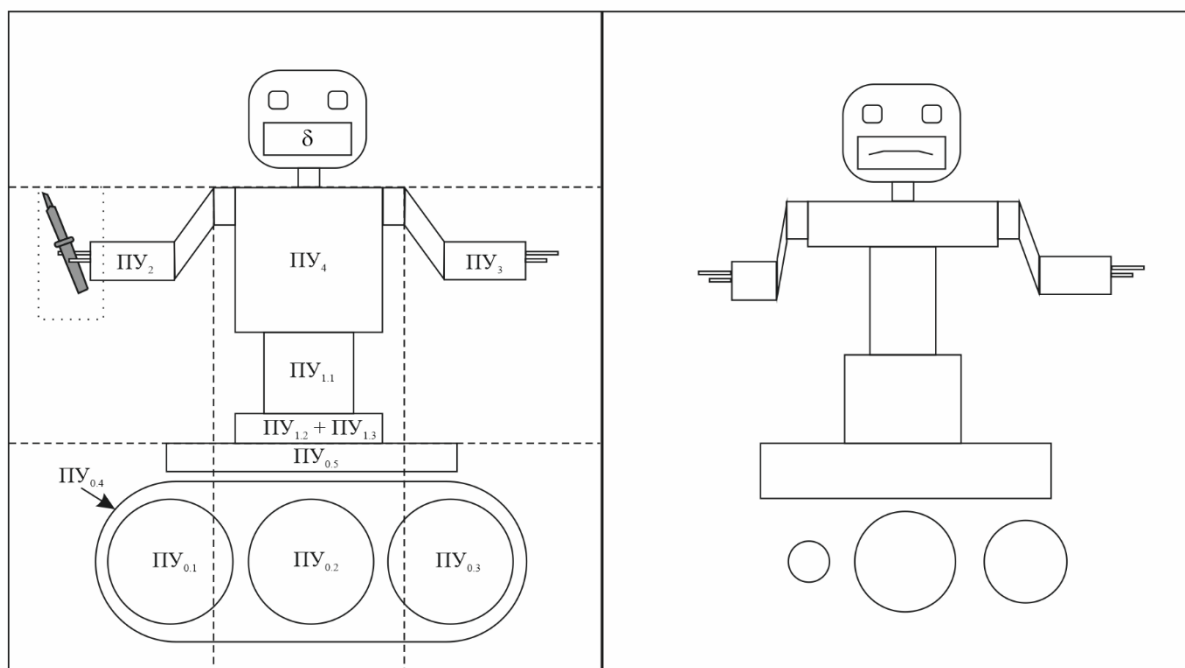


Рис. 2. Схема расположения элементов модели (слева) и пример профиля УП из [7] (справа) в нотации UGVA

Заключение

Инженерия знаний и инженер по знаниям – это те категории, которые при осознании важности искусственного интеллекта в масштабах государства становятся стратегически важны. Чем раньше это будет проанализировано и методологически-грамотно проработано, тем выше эффект от внедрения ИИ будет получен во всех областях автоматизации. Но только систематическая работа в области подготовки кадров высшей квалификации даст наиболее качественный эффект. Для этой цели модель специалиста по инженерии знаний и методы её анализа (включая использование нотации UGVA) должны быть не только проработаны с позиции учебных заведений, но и совместно с позиции привлеченных специалистов ведущих предприятий, планирующих использование последних достижений в области информационных технологий [2].

Список литературы

1. Dutton T. An Overview of National AI Strategies [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://medium.com/politics-ai/an-overview-of-national-ai-strategies-2a70ec6edfd>.
2. Указ Президента РФ от 10.10.2019 N 490 "О развитии искусственного интеллекта в Российской Федерации" (вместе с "Национальной стратегией развития искусственного интеллекта на период до 2030 года") [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/72738946/>.

3. Kendal S., Creen M. An introduction to Knowledge Engineering. – London: Shpringer, 2007. – 287 p.
4. Гаврилова Т.А., Кудрявцев Д.В., Муромцев Д.И. Инженерия знаний. Модели и методы: Учебник. – СПб.: Ла нъ, 2016. – 324 с.
5. Гаврилова Т.А., Хорошевский В.Ф. Базы знаний интеллектуальных систем. – СПб: Питер, 2001, 384 с.
6. Углев В.А. Метод унифицированного графического воплощения активности (UGVA) // Робототехника и искусственный интеллект: Материалы XI Всероссийской конференции с международным участием. – Красноярск: Листра-принт, 2019. – С. 161-172.
7. Учебный план магистратуры «Интеллектуальные информационные системы» в СФУ [Электронный ресурс]: режим доступа - <http://edu.sfu-kras.ru/programs>.

Секция 4

МОДЕЛИ И МЕТОДЫ АНАЛИЗА ДАННЫХ В ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ СИСТЕМАХ

АЛГОРИТМ АДАПТИВНОЙ РЕЗОНАНСНОЙ ТЕОРИИ ART-2 В ПРИЛОЖЕНИИ К ПРОГНОЗИРОВАНИЮ ВРЕМЕННЫХ РЯДОВ

Аннотация: Алгоритм адаптивной резонансной теории ART-2 основан на идеях динамической кластеризации и модели обучения без учителя. Классическое применение алгоритма ART-2 связано с решением задач распознавания образов в рамках нейросетевого подхода. В статье предложена модификация алгоритма адаптивной резонансной теории ART-2 применительно к решению задачи прогнозирования временного ряда (ВР). Приведено описание алгоритма прогнозирования ВР на основе ART-2, его свойств и особенностей применения, а также результаты исследования ВР свободных цен на электроэнергию «рынка на сутки вперед» (РСВ) в России. Полученные результаты позволяют сделать вывод о перспективности использования ART-2 для исследования структуры и прогнозирования ВР с периодической составляющей.

Ключевые слова: робототехника, нейронные сети, адаптивная резонансная теория, прогнозирование, временной ряд

THE ADAPTIVE RESONANCE THEORY ALGORITHM ART-2 IN APPLICATION TO TIME SERIES PREDICTION

A.V.Gavrilov, Ph.D., docent, gavrilov@corp.nstu.ru

O.K.Alsova, Ph.D., docent, alsova@corp.nstu.ru

Novosibirsk State Technical University, Novosibirsk, Russia

Abstract: The algorithm of the adaptive resonant theory ART-2 is based on the ideas of dynamic clustering and the unsupervised learning model. The classic application of the ART-2 algorithm is related to the solution of pattern recognition problems in the framework of the neural network approach. The article proposes a modification of the adaptive resonance theory ART-2 as applied to the solution of the time series (TS) prediction problem. A description of the TS forecasting algorithm based on ART-2, its properties and application features, as well as the results of a study of TS free electricity prices of the “day-ahead market” (DAM) in Russia is here. The obtained results allow us to conclude about the prospects of using ART-2 to study the structure and prediction of TS with a periodic component.

Key words: robot, neural network, adaptive resonance theory, prediction, time series

Задача прогнозирования является краеугольной в области DataMining и в целом в области ИИ, если рассматривать проблему построения ИИ как проблему построения био-подобного интеллекта. Последнее объясняется тем, что основной функцией мозга является функция предсказания поведения внешней среды с целью получения преимуществ для выживания. В прикладных системах искусственного интеллекта задача прогнозирования обычно рассматривается как задача прогнозирования значений временного ряда, описывающего изменение курса акций или валюты, метеорологических показателей, уровня воды в реках, сейсмической активности и т.п.

К настоящему моменту разработано много различных прогнозных моделей и алгоритмов, таких как модели авторегрессии и скользящего среднего ARIMA, Хольта-Винтерса, алгоритмы на основе выбора периода-аналога, дерева регрессии, рекуррентные нейронные сети, а также применяется ансамблевый подход к прогнозированию временных рядов, объединяющий в себе разные модели [1-5].

Все эти модели прогнозирования так или иначе сводятся к использованию корреляции между некоторым множеством значений $y_i, i = 1, \dots, L$ так называемого окна и следующим за ним значением y_{L+1} . В случае использования рекуррентных нейронных сетей лучше говорить об ассоциативной связи, чем о корреляции, но суть от этого не меняется.

Попытаемся рассмотреть задачу прогнозирования временных рядов с точки зрения бионики, т.е. решения задач био-подобным способом.

При решении задач прогнозирования биологическим мозгом в его распоряжении нет всего временного ряда, на котором он может обучиться. Временной ряд появляется динамически в процессе деятельности. Конечно, временной ряд в этом случае не является последовательностью значений одного параметра, а является последовательностью многомерных образов, описываемых множеством разнотипных параметров, поступающих в систему в произвольные моменты времени. Но для начала упростим задачу, сведя ее к обычному временному ряду, и будем в дальнейшем рассматривать это упрощение. Логично предположить, что мозг решает задачу прогнозирования как задачу распознавания образов (ситуаций) и для похожего образа, из ранее встретившийся, находит соответствующее ему прогнозное значение. Причем, в процессе функционирования системы возникают новые, ранее не встречающиеся образы, которые надо запомнить и в дальнейшем использовать, т.е. работает продолжающееся обучение (incremental learning). Такой процесс можно рассматривать как процесс динамической кластеризации, реализованный в адаптивной резонансной теории (adaptive resonance theory), предложенной Гроссбергом в 1976 году [6] и развиваемой им совместно с Карпен-тером [7].

До сих пор алгоритмы адаптивной резонансной теории использовались только для решения задач распознавания образов и ситуаций. Существует множество моделей в рамках адаптивной резонансной теории: ART-1 (бинарная), ART-2 (аналоговая), ARTMAP (для создания ассоциативной памяти на основе кластеризации двух разных типов образов), Fuzzy ARTMAP (то же, но с получением значений функции принадлежности нечетких множеств) и т.д. В статье предлагается использовать модификацию алгоритма ART-2 для исследования структуры и прогнозирования значений временного ряда (ВР).

Исследование алгоритма проводилось на реальном ВР свободной цены на электроэнергию «рынка на сутки вперед» (РСВ). Данные предоставлены Сибирским отделением ПАО «РусГидро». В настоящее время задача краткосрочного (почасового) прогнозирования цены РСВ становится все более актуальной в связи с реформированием энергетической отрасли и созданием оптового рынка электроэнергии и мощности (ОРЭМ). Задача прогнозирования свободных почасовых цен на электроэнергию является новой для России и требует разработки эффективных алгоритмов и методик прогнозирования.

Задачу прогноза следующего значения временного ряда можно свести к задаче кластеризации. При этом распознается кластер по вектору-окну, и этому кластеру соответствует следующее (прогнозируемое) значение (в дальнейшем будем называть его значением кластера).

В качестве исходных данных алгоритма рассматривается ВР: $Y = (y_1, y_2, \dots, y_N)$, описывающий изменение некоторого показателя в дискретные моменты времени $t=1, 2, \dots, N$. Значения ВР нормированы и приведены к диапазону измерения от 0 до 1.

В алгоритме используется два основных параметра: R – радиус кластера; L – длина вектор-окна.

На первом шаге алгоритма рассматривается первый фрагмент Y_1 временного ряда (вектор-окно) длины L . Фрагмент ассоциируется с первым кластером и объявляется центром кластера $C_1 = Y_1$, вес кластера: $w_1 = 1$ и первому кластеру присваивается значение, следующее за фрагментом ВР Y_1 : $k_1 = y_{L+1}$.

На m -ом шагу алгоритма рассматривается m -ый фрагмент ВР Y_m . Рассчитывается расстояние Евклида между фрагментом Y_m и центрами кластеров, которые сформированы на предыдущих этапах, находится минимальное расстояние: d_{min} . Прогнозируемым значением считается значение кластера с минимальным расстоянием Евклида d_{min} : $\hat{y}_{L+m} = k_{min}$.

Если $d_{min} > R$, то формируется новый кластер, соответствующий m -ому фрагменту ВР Y_m и значение, связанное с кластером: $k_{K+1} = y_{L+m}$.

Если $d_{min} \leq R$, то пересчитывается (адаптируется с учетом нового распознанного фрагмента) центр кластера, как среднее значение по всем фрагментам, входящим в кластер, вес кластера увеличивается на единицу. По аналогии адаптируется значение, ассоциированное с кластером.

Ниже приведено описание алгоритма в виде псевдокода:

Исходные параметры:

$Inp(I,k)$ – i -ое число окна $Inp(k)$ (числа нормализованы);

Nex – количество окон;

$Out(k)$ – число, следующее за окном (число нормализовано)

$Pred(k)$ – предсказываемое значение для k -го окна

NC – количество кластеров;

$Cc(i,j)$ – i -ое число вектора-центра j -го кластера $Cc(j)$; $OC(j)$ – предсказываемое число, соответствующее j -ому кластеру;

$NRC(i)$ – количество распознаваний i -го кластера.

Алгоритм:

Function Prediction:

$NC := 0$;

For $k := 1$ **to** Nex **do**

If $NC = 0$ **then**

 Создание кластера с центром $Cc(1) = Inp(1)$.

$NC := 1$;

$OC(NC) := Out(1)$;

$NRC(NC) := 1$;

Else

$Jmin := \text{Min}(\text{Dist}(Inp(k), Cc(j)))$;

If $\text{Dist}(Inp(k), Cc(jmin)) > R$ **then**

 Создание кластера с центром $Cc(NC) = Inp(k)$

$OC(NC) := Out(k)$;

Else

$Pred(k) := OC(jmin)$;

For $i := 1$ **to** NC **do**

$C(i, jmin) := C(i, jmin) + (Inp(i) - C(i, jmin)) / (1 + NRC(jmin))$;

$NRC(jmin) := NRC(jmin) + 1$;

$OC(jmin) := OC(jmin) + (Out(k) - OC(jmin)) / (1 + NRC(jmin))$

End Function.

Для исследования предложенного алгоритма прогнозирования ВР была разработана программа в среде Delphi 7 [8].

Разработанный алгоритм применялся для прогнозирования ВР свободной цены на электроэнергию «рынка на сутки вперед» (РСВ).

Для исследования был выбран фрагмент ВР почасовых цен РСВ за январь 2017 г., всего 744 наблюдения. Исходный ВР был разделен на две части: обучающая (544 наблюдения) и тестовая (последние 200 наблюдений).

Исследуемый ВР цен РСВ имеет нелинейную структуру, а именно тренд сложной формы, периодическую и случайную составляющие. Для применения алгоритма исходный ВР был представлен в виде разложения:

$$Y(t) = F(t) + E(t), \quad (1)$$

где $F(t)$ – функция тренда, описанная полиномом пятой степени:

$$F(t) = a_0 + a_1t + a_2t^2 + a_3t^3 + a_4t^4 + a_5t^5, \quad (2)$$

где $a_i, i = 0, 1, \dots, 5$ – параметры тренда, $E(t)$ – составляющая, включающая периодическую и случайную компоненты, для модельного описания которой использовался алгоритм.

Для оценки параметров трендовой составляющей ВР применялся численный итеративный метод Гаусса-Ньютона. По результатам идентификации, коэффициент детерминации, объясненный функцией тренда, составил – 0.21.

Далее было выполнено модельное описание составляющей $E(t)$ на основе применения разработанного алгоритма. Для определения периодичности ВР $E(t)$ и задания оптимальных параметров алгоритма была построена периодограмма. По результатам проведенного анализа пиковые значения периодограммы соответствуют периодам 24 и 12. Таким образом ВР $E(t)$ имеет четко выраженный период колебаний, описывающий изменение цены РСВ в течение суток. Поэтому в качестве параметра алгоритма была задана длина окна равная 24.

На рисунке приведен ВР цен на электроэнергию с наложением модельного ВР, построенного при задании радиуса кластера 0.4. Анализ графика позволяет сделать вывод о хорошем визуальном соответствии исследуемого и модельного ВР, как на обучающей, так и на тестовых частях ВР.

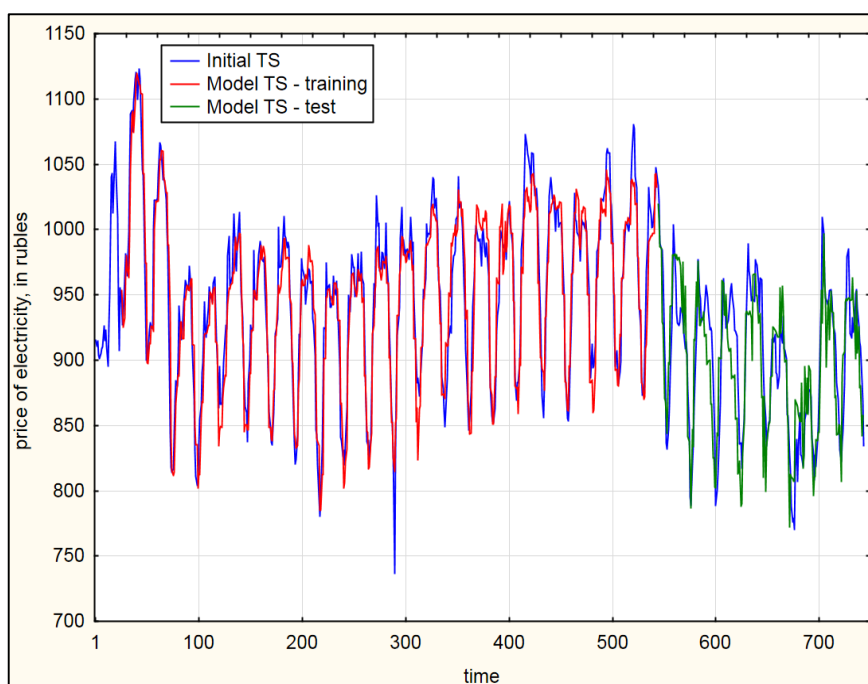


Рис. ВР цен на электроэнергию с наложением модельного временного ряда

В таблице приведены показатели точности прогнозирования ВР цен РСВ при разных значениях радиуса кластера для обучающей и тестовой частей ВР, а именно средняя абсолютная ошибка прогнозирования, среднее

квадратическое отклонение (СКО) ошибки, коэффициент детерминации. Показатели точности приведены для исходного ВР цен РСВ $Y(t)$, включая трендовую составляющую $F(t)$.

Таблица. Статистические характеристики точности прогнозирования ВР цен на электроэнергию

Выборка	Радиус R	Количество распознанных кластеров	Абсолютная ошибка	СКО ошибки	Коэффициент детерминации
Обучение	0.5	51	23.42	24.11	0.87
Тестирование	0.5	-	25.64	53.43	0.66
Обучение	0.4	92	18.77	29.32	0.90
Тестирование	0.4	-	25.38	32.34	0.68

Анализ результатов свидетельствует о высокой точности идентификации ВР $Y(t)$: коэффициент детерминации на обучающей части ВР при радиусе кластера 0.5 составляет 0.87, на тестовой части – 0.66. Исключая процент вариации, приходящийся на трендовую составляющую ВР (21%), вклад модельного описания составляющей $E(t)$ с помощью алгоритма равен соответственно: 66% (обучающая часть) и 45% (тестовая часть). Точность идентификации составляющей $E(t)$ повышается с уменьшением радиуса кластера и составляет: 69% (обучающая часть) и 47% (тестовая часть). Число распознанных кластеров при задании радиуса кластера 0.5 и 0.4 равно соответственно 51 и 92. Относительно большое количество кластеров можно объяснить структурой составляющей $E(t)$, в которой помимо четко выраженных колебаний с периодами 24 (сутки) и 12 (половина суток), также присутствуют периодичности других порядков, хотя их вклад в изменение $E(t)$ значительно меньше.

Предложенный алгоритм тестировался также на искусственных ВР периодической структуры. По результатам комплексного исследования алгоритма можно сделать следующие выводы.

1. Точность прогнозирования ВР зависит от заданных параметров алгоритма (длина окна, радиус кластера). С уменьшением радиуса кластера R, увеличивается количество кластеров K и улучшаются показатели точности алгоритма.

2. С увеличением длины окна L при одинаковом радиусе кластера R точность прогнозирования увеличивается. Оптимальная длина окна для ВР с четкой периодической структурой равна или кратна периоду ВР.

3. Предложенный алгоритм может быть использован для прогнозирования: сезонных ВР с четко выраженной периодической структурой, с заданным периодом колебаний; ВР для которых характерно повторение (в пределах статистической погрешности) определенных последовательностей значе-

ний, причем в общем случае последовательности могут повторяться через промежутки времени неравным интервалом.

Возможность применения алгоритма для прогнозирования ВР с не равноотстоящими моментами измерения значений ВР является наиболее ценной, так как фактически весь классический математический аппарат прогнозирования ВР разработан для дискретных ВР с равными промежутками измерения значений ряда.

В дальнейшем планируется разработать и исследовать модификацию алгоритма ART-2 для прогнозирования многомерных временных рядов, когда прогнозируемое значение показателя зависит не только от предыстории процесса, но и от факторных ВР, обуславливающих его изменение.

Список литературы

1. Newbold P., Granger C.W.J. Experience with forecasting univariate time series and the combination of forecasts // J. R. Statist. Soc. – №137. – 1974. – pp. 131-164.
2. Granger C.W.J., Ramanathan R. Improved methods of combining forecasts // Journal of Forecasting. – №3 – 1984. – pp. 197-204.
3. Alsova O.K., Gubarev V.V., Abalov N.A. Toolkit for variative forecasting of time series // Proceedings of the 8 International Forum on Strategic Technologies (IFOST 2013). Mongolia, Ulaanbaatar, vol. 2, 2013. – pp. 280-282.
4. Batygin R.I., Alsova O.K. Software system for different types of data classification based on the ensemble algorithms // Proceedings of International Conference of Actual Problems of Electronic Instrument Engineering (APEIE-2016), Novosibirsk, vol. 1, part 2, 2016. – pp. 506-509.
5. Альсова О.К. Адаптивный алгоритм прогнозирования гидрологических временных рядов на основе выбора периода-аналога // Труды СПИИРАН = SPIIRAS Proceedings. – №3 (46). – 2016. – С. 27-39.
6. Grossberg S. Adaptive pattern classification and universal recoding: I. Parallel development and coding of neural feature detectors // Biological Cybernetics. – №23. – 1976. – pp. 121–134.
7. Carpenter G. Grossberg S. Pattern Recognition by Self-Organizing Neural Networks. – Cambridge, MA, MIT Press, 1991.
8. Гаврилов А.В., Альсова О.К. Программа для прогнозирования временных рядов на основе алгоритма адаптивной резонансной теории ART-2 – Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2019617678; заяв. 03.06.19, зарег. 18.06.19, выдавшая страна: Россия, сведения об издании: Бюллетень.

Е.Е. Голубчикова, elizabeth@mail.ru
Сибирский федеральный университет, г. Красноярск, Россия

АНАЛИЗ ПРИМЕНИМОСТИ КИНЕТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ТРАНСПОРТНЫХ ПОТОКОВ

Аннотация: В статье рассматриваются вопросы применимости кинетического подхода к моделированию транспортных потоков. Исследуются модели, исследующие поведение транспортных средств, основанных на уравнениях гидродинамики. Для повышения качества прогнозных решений предлагается использовать подход на основе численного вероятностного анализа.

Ключевые слова: робототехника, транспортные потоки, кинетические модели, модели транспортного потока

ANALYSIS OF THE APPLICABILITY OF KINETIC MODELS FOR TRAFFIC FLOW STUDIES

E.E. Golubchikova, elizabeth@mail.ru
Siberian Federal University, Krasnoyarsk, Russia

Abstract: The article discusses the applicability of the kinetic approach to the modeling of transport flows. Models investigating the behavior of vehicles based on the equations of hydrodynamics are investigated. To improve the quality of predictive solutions, it is proposed to use an approach based on numerical probabilistic analysis.

Key words: robotics, traffic flows, kinetic models, traffic flow models

При создании роботизированных транспортных систем ключевую роль играет моделирование [1]. Для моделирования транспортных потоков используются различные методы: имитационные, компьютерные, математические. В данной статье для решения задач, связанных с прогнозированием дорожных ситуаций, рассматривается, математическое моделирование, к которому в дальнейшем могут быть применены методы численно-вероятностного анализа для прогнозирования дорожно-транспортных происшествий. Математические модели, применяемые для анализа транспортных сетей, весьма разнообразны. Рассмотрим модели по уровню детализации транспортного

потока, где выделяют макроскопические, мезоскопические и микроскопические модели [2].

Кинетические модели относятся к промежуточному уровню между макроскопическими и микроскопическими уровнями. Они основаны на кинетических уравнениях типа Лайтхила-Уизема. С одной стороны, кинетические модели фундаментально лучше обоснованы, чем стандартные макроскопические модели, расчеты получаются точнее. С другой стороны, при использовании кинетических моделей по сравнению с микроскопическими моделями, вычислительное время действия алгоритмов сокращается. Применение кинетической модели для транспортных потоков рассматривается в работе [3]. На рисунке 1 представлена классификация моделей для решения различных транспортных ситуаций.

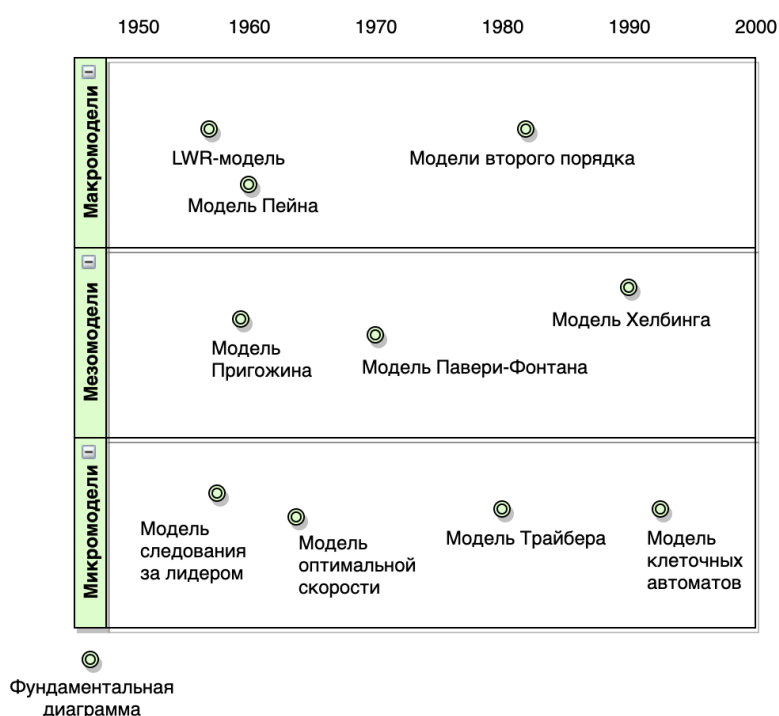


Рис.1. Математические модели для исследования транспортных потоков

Кинетическую модель, возможно, использовать в разных уровнях детализации. Начем с наиболее детаоизированного случая, когда автомобиль рассматривается на микроскопическом уровне и описывается его местоположением и скоростью в определенный промежуток времени $t \in R_0^+$.

Модель Пригожина

$$x_j(t) \in R, v_i(t) \in [0, w], j = 1, \dots, N_T, \quad (1)$$

где $w \in [0, \infty]$ и является максимально допустимой скорорсьтью, а N_T конечное число машин в пространстве.

В сравнении с дискретной структурой макроскопических моделей усредненная кинетическая модель находится на мезоскопическом уровне. Описывается она распределением функции $f(x, v, t)$ описывающих число автомобилей с определенным местоположением и скоростью в установленное время t :

$$N_M = \int_0^w f(x, v, t) dx dv, \quad (2)$$

$$f_t + v * f_x = C(f, f) = S_p(f, f) + R_p(f), \quad (3)$$

$$S_p(f, f) = (1 - P_{(p)}) f \int_0^w (v' - v) f(v') dv'. \quad (4)$$

Первым использование идеи кинетических моделей предложил бельгийский ученый, лауреат нобелевской премии – Пригожин. Основные действующие величины – это функции распределения $f(x, v, t)$ [4]. Пригожин И. Р. считал поток сочетанием свободного течения, замедляющего терма и терма релаксации.

Формула (4) описывает разрушающие взаимодействия транспортного средства и зависит от вероятности обгона P . Этот терм выводится аналогично обычному уравнению Больцмана в динамике разреженного газа.

Обычно предполагалось, что P зависит от p линейным образом.

$$P_{(p)} = 1 - \frac{p}{p_m}. \quad (5)$$

Термин релаксации учитывает ускорение транспортных средств до их желаемой скорости.

$$R_p(f) = -\frac{f - f_D}{T_{(p)}}. \quad (6)$$

Однако у этой модели есть несколько слабых мест. В частности, требуемое распределение скоростей f_D является фиксированным и не зависит от эволюции. Это должна быть Лагранжева величина, следующая за движением транспортных средств, а не присваиваемая априори. Это смотивировало Павери-Фонтана разработать свою усовершенствованную кинетическую модель движения.

Модель Павери-Фонтана. Чтобы избежать вышеупомянутой проблемы, расширил пространство состояний для модели, вводя обобщенную функцию распределения

$$g(x, v, t; \tilde{w}). \quad (7)$$

Распределение (7) описывает количество транспортных средств со скоростью v и желаемой скоростью $\tilde{w}$. Обычная функция распределения f описывается с помощью формулы (8)

$$f(x, v, t) = \int_0^w g(x, v, t; \tilde{w}) d\tilde{w}. \quad (8)$$

и желаемое распределение скорости f_D по трем входным параметрам описано формулой (9)

$$f_D(x, v, t) = \int_0^w g(x, v, t; \tilde{w}) dv. \quad (9)$$

Модель Хелбинга. Чтобы избавиться от недостатков моделей, основанных на уравнении Пригожина, Хелбинг для описания транспортного потока применил методы, которые используются при описании физики сыпучих материалов. Таким образом он получил уравнения типа Навье-Стокса [5]. С помощью уравнения Павери-Фонтана и метода, аналогичного решению уравнений Эйлера для обычных жидкостей, Хелбинг вывел макроскопическое уравнение движение транспортного потока. Особенностью модели является зависимость равновесной скорости от плотности и средней скорости в точке взаимодействия.

Хелбинг вывел макроскопическое уравнение потока транспортных средств, используя уравнения газовой кинетики Павери-Фонтана и метод, аналогичный решению уравнений Эйлера для обычных жидкостей (т.е. расширение Чапмена-Энскога). По сравнению с другими моделями, в модели Хелбинга динамическая равновесная скорость V_{eq} также зависит от плотности и средней скорости в точке взаимодействия [6]. Более конкретно, Хелбинг предложил следующее уравнение Эйлера с нелокальным членом для средней скорости АТС:

$$\frac{dv}{dt} + v \frac{dv}{dx} + \frac{1}{p} \frac{dP}{dx} = \frac{v_0 - v}{\tau} - \frac{v_0(\theta + \theta_0)}{\tau A(p_{\max})} \left(\frac{\frac{p_a T^2}{p_a}}{1 - \frac{p_a}{p_{\max}}} \right) B(\delta_v). \quad (10)$$

Таким образом в формуле 10, представлено изменение по времени средней скорости v , состоящего из следующих членов:

- транспортного, от которого зависит распространения скоростного профиля со средней скоростью;
- давления, который выражает эффект дисперсии, связанный с конечным множеством скоростей АТС;

- ускорения, описывающего ускорение по направлению к желаемой средней скорости v_0 со временем релаксации водителя τ ;

- торможения, который является нелокальным и моделирует торможение в ответ на дорожную ситуацию потока в точке взаимодействия.

Анализ приведенных в статье кинетических моделей показал, что данный подход является развивающимся в изучении проблем, связанных с различными транспортными событиями. Особенно перспективными являются решения моделей при помощи методов вычислительно вероятностного анализа с агрегированием коэффициентов модели из внешних данных [7]. В дальнейшем планируется разработка кинетической модели Пригожина с тремя входными параметрами для прогнозирования ДТП в условиях различных видов неопределенности по данным г. Красноярск [8, 9, 10].

Список литературы

1. Шевкун Е. Б., Казаков Е. А. Роботизированные системы автомобильного транспорта. // Ученые заметки ТОГУ. – Том 8, № 4. – 2017. – С. 460-472.

2. Потапова И.А., Бояршинова И.Н., Исмагилов Т.Р. Методы моделирования транспортного потока. // Фундаментальные исследования. – № 10. – 2016. – С. 338-342.

3. Klar, A., & Wegener, R. (2000). Kinetic Traffic Flow Models. Modeling and Simulation in Science, Engineering and Technology, 263–316. doi:10.1007/978-1-4612-0513-5_8.

4. Коломиец А.А. Методы математического и имитационного моделирования процессов локального взаимодействия в транспортных системах. – Москва: МФТИ 2015. – С. 1-32.

5. M. Herty, A. Klar, L. Pareschi General Kinetic Models for Vehicular Traffic Flows and Monte-Carlo Methods, 2005, Computational Methods in Applied Mathematics 5:155-169. DOI: 10.2478/cmam-2005-0008.

6. Richard A. Cunard, R. Morgan, Traffic and Transportation Simulation, 2015.– 156 p.

7. Численный вероятностный анализ неопределенных данных: монография / Б.С. Добронетц, О.А. Попова — Красноярск: Сиб. федер. ун-т, 2014. – 168 с.

8. Dobronets B.S., Popova O.A., Computational aspects of probabilistic extensions, Вестник Томского государственного университета. Управление, вычислительная техника и информатика. – 2019. – № 47. – С. 41-48.

9. Dobronets B.S., Popova O.A., Improving reliability of aggregation, numerical simulation and analysis of complex systems by empirical data, IOP Conference Series: Materials Science and Engineering 2018.

10. Dobronets B.S., Popova O.A., Piecewise polynomial aggregation as preprocessing for data numerical modeling, Conference Series. – 2018. – Т. 1015. – С. 032028.

Б.С. Добронетц, д.ф.-м.н., профессор, BDobronets@yandex.ru
О.А. Попова, к.т.н., доцент, OlgaArc@yandex.ru
Сибирский федеральный университет, Красноярск, Россия

ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ В УСЛОВИЯХ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ: СРАВНЕНИЕ ПОДХОДОВ

Аннотация: В работе рассмотрен обзор новых подходов к обработке данных в робототехнике. Показана необходимость использования надежных вычислений. Приводятся примеры надежных вычислений, основанных на использовании распределенных данных.

Ключевые слова: робототехника, надежные вычисления, вычислительный вероятностный анализ, метод Монте-Карло.

MODELING UNCERTAINTY: COMPARISON OF APPROACHES

B.S. Dobronets, Dr.Sc., Professor, BDobronets@yandex.ru
O.A. Popova, Cand. Sc. Engineering, Assoc. Prof. OlgaArc@yandex.ru
Federal University, Krasnoyarsk, Russia

Abstract: The paper reviews an overview of new approaches to data processing in robotics. The necessity of using reliable calculations is shown. Examples of reliable computing based on the use of distributed data are given.

Key words: Robotics, reliable computing, computational probabilistic analysis, Monte Carlo method.

Разработка, производство и эксплуатация робототехнических систем является движущей силой для разработки алгоритмов численного моделирования систем в условиях неопределенности. Численное моделирование для решения подобных задач поднимает проблемы, связанные с точностью полученных результатов.

Необходимость быстрых и надежных вычислений в робототехнике требуют разработки новых подходов по обработке поступающей информации. Эти подходы опираются не только на повышение скорости работы компьютеров, но и на новое программное обеспечение. Возникает проблема численного моделирования в условиях неопределенности.

Существует несколько подходов, реализуемых в рамках численного моделирования и анализа сложных систем с входными параметрами, содержащими неопределенности различных типов. Одним из типов неопределенности является интервальная неопределенность, которая способствовала созданию интервального анализа. Для случайной неопределенности знание законов распределения случайных величин позволяет оценивать параметры стохастических систем, используя метод Монте-Карло. Теория нечетких множеств широко используется для моделирования систем и принятия решений.

В настоящее время для ряда задач в условиях стохастической неопределенности используется вычислительный вероятностный анализ [1-4]. В ряде случаев он успешно заменяет метод Монте-Карло, обладая значительно более высокой скоростью сходимости. В отличие от метода Монте-Карло он позволяет успешно оценивать не только параметры систем, такие как математическое ожидание или дисперсии выходных переменных, но и строить плотности вероятности выходных переменных. Это существенно повышает надежность полученных численных решений.

1. Вероятностные расширения

Одна из самых важных проблем, с которыми сталкивается вычислительный вероятностный анализ (ВВА) — построение законов распределений функций от случайных величин.

Начнем с общего случая, когда $(x_1, \dots, x_n)$ — система непрерывных независимых случайных величин с функциями плотности вероятности $x_1, \dots, x_n$ и случайная величина z является функцией $f(x_1, \dots, x_n)$

$$z = f(x_1, \dots, x_n).$$

Будем говорить, что случайная функция $f: R^n \rightarrow R$ является вероятностным продолжением детерминированной функции $f: R^n \rightarrow R$ на множестве $D \subset R^n$, если $f(x) = f(x)$ для всех аргументов $x \in D$.

Случайная функция $f: R^n \rightarrow R$ называется вероятностным расширением детерминированной функции $f: R^n \rightarrow R$ на множестве $D \subset R^n$, если она

- (i) является вероятностным продолжением f на D ,
- (ii) f совпадает с z плотностью вероятности случайной величины z

$$z = f(x_1, \dots, x_n).$$

Таким образом, мы можем записать

$$z = f(x_1, \dots, x_n).$$

В тех случаях, когда надо указать непосредственно значение f в некоторой точке ξ , будем использовать обозначение

$$z(\xi) = f(x_1, \dots, x_n)(\xi).$$

Теорема 1.[1] Пусть $(x_1, \dots, x_n)$ — система непрерывных независимых случайных величин, $f(x_1, x_2, \dots, x_n)$ — вероятностное расширение функции $f(x_1, x_2, \dots, x_n)$ и для всех вещественных t функция $f(t, x_2, \dots, x_n)$ — вероятностное расширение $f(t, x_2, \dots, x_n)$. Тогда

$$f(z, x_1, x_2, \dots, x_n) = \int_{\text{supp}(X_1)} x_1(t) f(z, t, x_2, \dots, x_n) dt \quad (1)$$

Замечание. Из теоремы 1 вытекает возможность рекурсивного вычисления вероятностных расширений общего вида, сведением их к вычислению одномерных вероятностных расширений.

Рассмотрим вычисление интеграла (1). Для простоты представим (1) как квадратуру

$$\int_{\text{supp}(X_1)} x_1(t) f(t, x_2, \dots, x_n)(\xi) dt \approx \sum_{l=1}^m \gamma_l x_1(t_l) f(t_l, x_2, \dots, x_n)(\xi)$$

Далее для вычисления $f(t_l, x_2, \dots, x_n)(\xi)$ мы можем также использовать численное интегрирование.

Рассмотрим сравнение числа операций необходимых для достижения точности вычислений ε в случае вычисления функции с числом аргументов n . Для метода Монте-Карло число испытаний

$$N_{MC} \propto n\varepsilon^{-2}.$$

Для вычислительного вероятностного анализа в случае когда можно построить естественное вероятностное расширение число операций

$$N_{NE} \propto nm^2 = n\varepsilon^{-1/\alpha},$$

где $\alpha = 4$ для кубических сплайнов, $\alpha = 2$ для кусочно-линейных функций. В общем случае число операций

$$N_{PE} \propto \varepsilon^{-n/\alpha},$$

где α — порядок сходимости квадратурной формулы, $\alpha = 4$ для квадратуры Симпсона. При точности $\varepsilon = 10^{-4}$ число испытаний метода Монте-Карло $N_{MC} \propto 10^8$. В случае независимых случайных величин для реализации точности $\varepsilon = 10^{-4}$ естественного вероятностного расширения с использованием кубических сплайнов число операций $N_{NE} \propto n10^2$. В этом случае ВВА эффективней метода Монте-Карло при $n < 10^6$. Но в случае зависимых случайных величин число операций растет как $N_{PE} \propto 10^n$. Таким образом, в этом случае вычислительный вероятностный анализ эффективней метода Монте-Карло при $n < 8$.

2. Системы нелинейных уравнений в условиях неопределенности

Рассмотрим задачу нахождения множества решений системы нелинейных уравнений $f_i(x, k) = 0, i = 1, \dots, n$, где $x \in R^n$ — вектор решений, $k \in R^m$ — вектор параметров. Относительно $k \in R^m$ будем предполагать, что известны

функции плотности вероятности параметров k . Не ограничивая общности, рассмотрим случай $m = n$.

Продифференцировав исходную систему нелинейных уравнений, получаем

$$F'_x(x, k)dx + F'_k(x, k)dk = 0,$$

$$dx = -(F'_x(x, k))^{-1} F'_k(x, k)dk.$$

Таким образом, зная решение x при некоторых значениях параметров k можно получить связь dx и dk . Последнее позволяет вычислить значение совместной функции плотности вероятности решения.

Рассмотрим пример системы нелинейных уравнений

$$x^2 + y^2 - r^2 = 0,$$

$$xy - c = 0,$$

где r, c — равномерные случайные величины, функции плотности вероятности которых имеют носители $[1, 1.1]$, $[0.4, 0.5]$.

Пусть при некоторых значениях r_0, c_0 решение системы x_0, y_0 , тогда справедливо

$$\begin{pmatrix} 2x_0 & 2y_0 \\ y_0 & x_0 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} dx \\ dy \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 2r_0 dr \\ dc \end{pmatrix}.$$

При этом прямоугольник S_0 со сторонами dr, dc переходит в четырехугольник S_1 со сторонами dx, dy . Решив систему линейных уравнений, получаем значения dx, dy . Плотность вероятности множества решений в точке (x_0, y_0) пропорциональна отношению площадей $|S_0|/|S_1|$:

$$p(x_0, y_0) = p_1(r_0, c_0) |S_0|/|S_1|.$$

Таким образом, для того чтобы построить совместную функцию плотности случайных величин x, y построим сетки в области носителей случайных величин r, c : $\{r_i, i := 0, \dots, m\}$, $\{c_i, i := 0, \dots, m\}$. Решим $(m+1)^2$ систем нелинейных уравнений

$$x^2 + y^2 - r_i^2 = 0,$$

$$xy - c_j = 0, i, j = 0, \dots, m.$$

На рисунке 1 представлена триангуляция области решения системы нелинейных уравнений. Вершины треугольников — точки решений с вычисленными значениями плотности совместной функции вероятности решения $p(x_i, y_j)$.

В данном примере для построения совместной функции плотности решения необходимо решить всего 25 раз систему нелинейных уравнений, метод Монте-Карло потребует порядка 10^6 решений. Общий случай построения плотностей вероятности может быть реализован, используя Теорему 1.

Таким образом, вычислительный вероятностный анализ позволяет решать задачи стохастического моделирования с относительно небольшим

числом операций. Построение границ множеств решений и наличие внутренних распределений позволит поднять качество принятия решений в робототехнике. Дальнейшее развитие ВВА направлено на использование процедур распараллеливания и повышения точности численных алгоритмов [5-7].

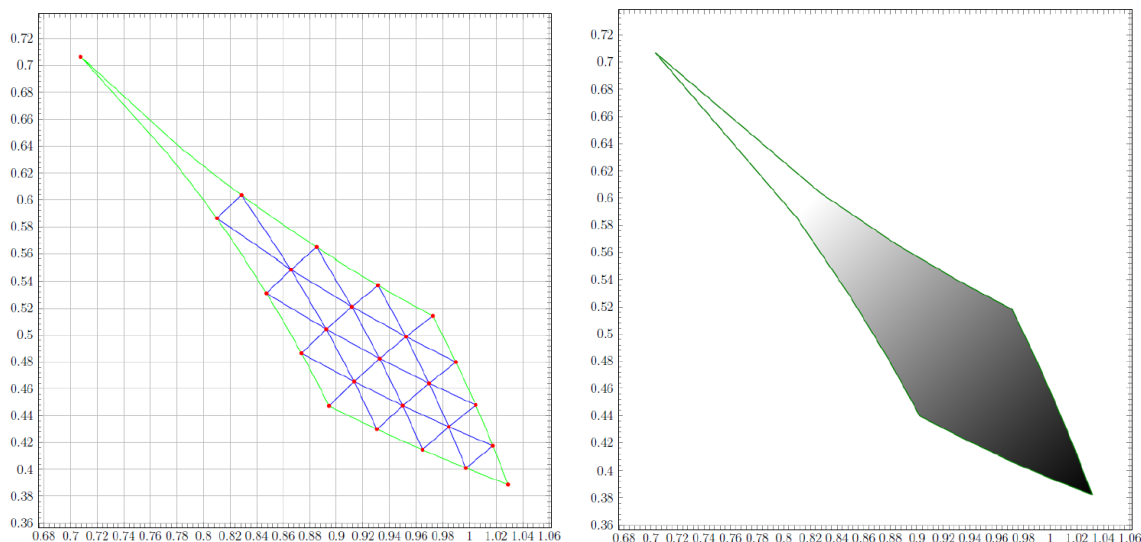


Рис. 1. Триангуляция области и совместная функция плотности вероятности решения системы нелинейных уравнений

Список литературы

1. Dobronets B.S., Popova O.A. Computational Aspects of Probabilistic Extensions // Вестник Томского государственного университета. Управление, вычислительная техника и информатика. 2019. № 47. С. 41–48.
2. Dobronets B.S., Popova O.A. Improving the accuracy of the probability density function estimation // Journal of Siberian Federal University, Mathematics and Physics, –10(1).– 2017 С. 16–21.
3. Dobronets B.S., Popova O.A. Piecewise Polynomial Aggregation as Preprocessing for Data Numerical Modeling. IOP Conf. Series: Journal of Physics: Conf. Series (2018) 032028 doi :10.1088/1742-6596/1015/3/032028
4. Dobronets B.S., Popova O.A. Improving reliability of aggregation, numerical simulation and analysis of complex systems by empirical data. IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering. 2018 012006 doi:10.1088/1757-899X/354/1/012006
5. Попова О.А. Повышение точности вычислений и алгоритм распараллеливания в задачах восстановления по эмпирическим данным // Информатизация и связь. – № 3 –2016. С. 42-45.
6. Попова О.А. Применение численного вероятностного анализа в задачах интерполяции // Вычислительные технологии. Т. 22. № 2. 2017 С. 99-114.
7. Popova O.A. Using Richardson Extrapolation to Improve the Accuracy of Processing and Analyzing Empirical Data // Measurement Techniques. Vol. 62 № 2, pp.: 111-117.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СТЕРЕОИЗОБРАЖЕНИЙ ДЛЯ ВИЗУАЛЬНОГО АНАЛИЗА ДАННЫХ

Аннотация: В статье рассматривается проблема представления многомерных данных на основе применения метода научной визуализации. Предлагается метод визуально–интерактивной моделирования для стереоэкрана. Также рассматривается проблема выбора языка программирования для реализации интерактивного комплекса программ создания сечений.

Ключевые слова: Научная визуализация, 3D визуализация, интерактивное программирование, стереоэкраны

A.A. Shatov, Ph.D., postgraduate, L-shatov@mail.ru
Siberian Federal University, Krasnoyarsk, Russia

USING STEREO IMAGES FOR VISUAL DATA ANALYSIS

Abstract: The article considers the problem of representing multidimensional data based on the application of the method of scientific visualization. A method of visual-interactive modeling for a stereo screen is proposed. Also considered is the problem of choosing a programming language for the implementation of an interactive set of cross-sectional creation programs.

Key words: Scientific visualization, 3D visualization, interactive programming, stereo screens

Научная визуализация - это преобразование абстрактных данных, полученных из наблюдения или моделирования, в легко понятные изображения, и она играет важную роль в процессе научных открытий во многих областях современной науки.

Научная визуализация помогла ученым, инженерам, медицинским работникам и другим исследователям благодаря широкому спектру выводимых данных, включая, например, высокопроизводительные компьютерные симуляции, данные измерений со сканеров (САТ, MR, конфокальная микроскопия), интернет-трафик и построение моделирования процессов человека в робототехнике [1].

Для визуального исследования данных в компьютерной графике применяются различные приемы, в том числе использование перспективы, удаление скрытых линий и поверхностей, применение стереографических изображений для представления образа объекта, которое обманывает нашу зрительную систему в восприятии пространства, или объемное изображение, нарисованное на явно плоском экране компьютера. Если мы смотрим на изображении в гарнитуре виртуальной реальности или экран стереомонитора, мы можем добавить параллакс движения, который поможет нам воспринимать глубину, даже если дисплей перед нами на самом деле не более, чем массив цветных точек [2].

Данное исследование посвящено разработке техники визуально-интерактивной анимации для обработки, представления и анализа многомерных данных. Предлагается использовать метод визуально-интерактивного моделирования многомерного объема данных для получения максимально возможной информации об изучаемом облаке данных. Для этого используются подход, основанный на методах научной визуализации и визуальной аналитики.

Рассмотрим метод визуально-интерактивной анимации для представления многомерных данных с числом измерений $n \geq 3$, главной особенностью которого является представление в виде 2D моделей сечений. Эффект многомерности достигается за счет выбора 2D моделей, вариативности направлений динамических сечений и использования возможностей стереоскопического зрения [3-6]. Целью данного подхода является представление движения сечений, как образ 3D объекта. Для повышения качества восприятия важно уменьшить эффект от перекрытия сечений (рис. 1).

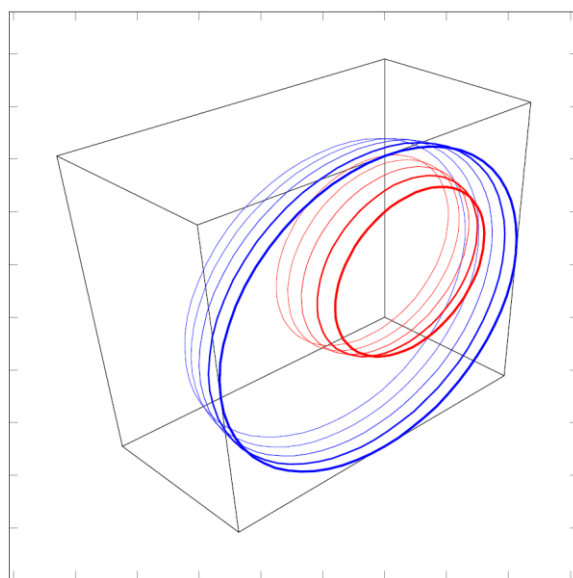


Рис. 1. Изолинии на сечениях [3]

Для лучшего восприятия генерируются стереопары. Для просмотра построенной стереопары можно использовать различное оборудование (рис. 2). Например, очки виртуальной реальности, которые можно сейчас купить недорого или сделать самим.

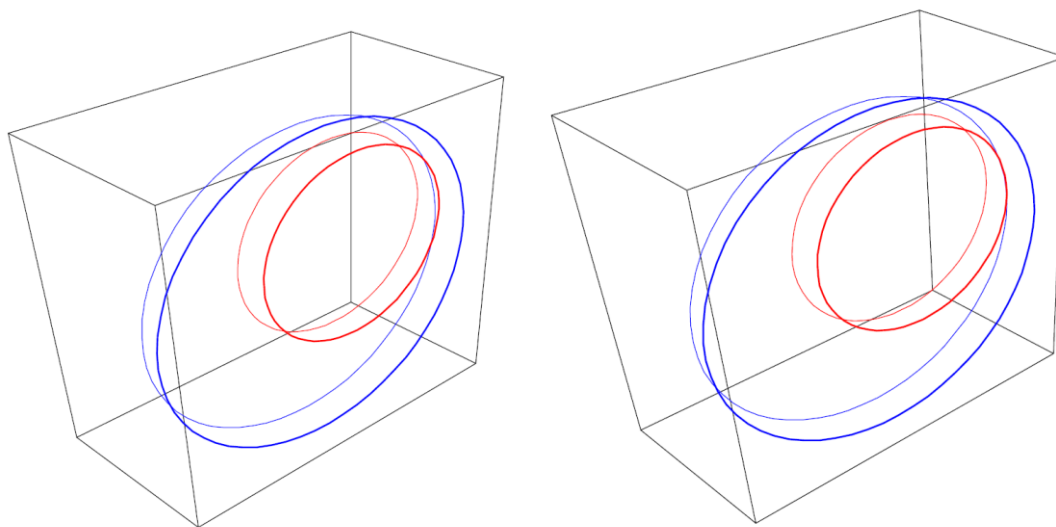


Рис. 2. Стереопара [3]

Этот метод следует доработать по таким направлениям как:

- определение оптимального количества сечений;
- оптимизация выборки;
- определение оптимального расстояния между сечениями.

Для дальнейшей разработки программного комплекса следует выбрать максимально подходящий для данных задач язык программирования. Для этого необходимо разобраться, как работает стереоэкран и приложения для очков виртуальной реальности. Стереомониторы в основном имеют два принципа создания эффекта объемного изображения.

Первый принцип предполагает разделение изображений для левого и правого глаза осуществляется за счёт чересстрочной поляризации: при надевании специальных (пассивных, то есть без собственной электроники) очков один глаз видел только чётные строки, другой – только нечётные. Второй

Направлен на создание объемного изображения за счет свойства жидких кристаллов поворачивать поляризацию проходящего через них света, где одна матрица создает изображение, а вторая, наложенная на первую может поворачивать плоскость поляризации света, при надевании очков где в качестве линз используются поляризаторы можно увидеть 3D эффект.

Для решения поставленных задач целесообразно использовать использовать такие языки программирования, как Python, который обладает достаточно большим количеством библиотек, множеством учебных материалов и простотой кодирования, и С# -мультипарадигмальный язык программирования общего назначения, разработанный в Microsoft для создания приложений на собственной платформе компании. С# объектно-ориентирован и использует-

ся для разработки приложений на .NET frameworks [7]. На C# можно написать веб-сервисы, мобильные ПО, серверные приложения и так далее. Платформа упрощает создание приложений для Android и iOS. Также он является языком программирования движка Unity на котором пишется много приложений и игр для VR очков.

Список литературы

1. Charles D. Hansen, Min Chen, Christopher R. Johnson, Arie E. Kaufman, Hans Hagen. Scientific Visualization Uncertainty, Multifield, Biomedical, and Scalable Visualization. Springer-Verlag London 2014. – pp. 400.
2. Wright H. Introduction to Scientific Visualization. London: Springer-Verlag. 2007. – pp. 147.
3. Попова О.А. Визуально-интерактивная анимация в задачах анализа данных // Информатизация и связь. – 2019. – №5. – С. 43-47.
4. Добронеев Б.С., Попова О. А., Пархоменко Д. Б. Визуально-интерактивное моделирование в условиях многомерности // Новые информационные технологии в исследовании сложных структур. – 2018. – С. 36-37.
5. Попова О.А. Технология извлечения и визуализации знаний на основе численного вероятностного анализа неопределенных данных // Информатизация и связь. – 2013. – № 2. – С. 63-66.
6. Пархоменко Д.Б. Применение многомерной визуализации для решения задач моделирования в робототехнике // Робототехника и искусственный интеллект: материалы X Всероссийской научно-технической конференции с международным участием. – Красноярск: ЛИТЕРА-принт, 2018. – С. 187-190
7. Rob Miles. C# Programming Yellow Book. 2016. – pp. 212.

ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫЙ ВЕРОЯТНОСТНЫЙ АНАЛИЗ БОЛЬШИХ ДАННЫХ

Аннотация: В статье рассмотрено применение вычислительного вероятностного анализа для построения и прогнозирования функциональных временных рядов. Приводятся примеры использования ядерных оценок для построения распределений и агрегации данных температуры.

Ключевые слова: вычислительный вероятностный анализ, функциональный временной ряд, агрегация.

N. Erkin uulu, nurik.esenaliev@yandex.ru
Siberian Federal University, Krasnoyarsk, Russia

COMPUTATIONAL PROBABILISTIC ANALYSIS OF BIG DATA

Annotation: The article discusses the use of computational probabilistic analysis for constructing and predicting functional time series. Examples of the use of nuclear estimates for constructing distributions and aggregation of temperature data are given.

Keywords: computational probabilistic analysis, functional time series, aggregation.

Понятие Big Data сегодня активно используют как практики, решающие разные задачи экономики, гидрометеорологии и т.д. так и ученые, которые выделяют Big Data в специальный раздел исследований, требующих новых методов и подходов к обработке и анализу данных больших объемов [1].

В статье рассматриваются подходы к представлению, обработке и анализу больших временных рядов на основе вычислительного вероятностного анализа.

Временные ряды — это особый способ представления данных, характеризующих изменение некоторого показателя (показателей) во времени. В экономике это ежедневные цены на акции, курсы валют, еженедельные и месячные объемы продаж, годовые объемы производства и т. п. В метеорологии типичными временными рядами являются ежедневная температура, месячные объемы осадков, в гидрологии — периодически измеряемые уровни во-

ды в реках. В технике временные ряды возникают при измерении значений приборов и параметров технологических процессов в последовательные моменты времени.

Для обработки больших временных рядов требуются новые модели предоставления и методы обработки, которые бы позволили уменьшить объем и размерность временных рядов и выявить новые знания из изменяющейся информации. Рассмотрим вычислительный вероятностный анализ больших временных рядов. Данный подход может рассматриваться как способ агрегирования больших данных. Агрегирование данных применяется как метод предварительной обработки эмпирических данных для последующего численного моделирования [2]. Известно, что агрегацию часто используют в задачах анализа данных, когда необходимо перейти от данных с высокой степенью детализации к более обобщенному представлению. Примером таких процедур является простое суммирование, вычисление среднего, медианы, диапазона максимальных или минимальных значений, т.е. интервальных данных, построение функции распределения [3,4].

В основе ВВА лежит понятие кусочно-полиномиальных моделей представления функций плотности вероятности. Кусочно-полиномиальные модели можно рассматривать как математический объект, который удобен для описания и вычисления математических процедур и операций, сохраняя суть частотного распределения данных. К таким моделям можно отнести гистограммы (кусочно-постоянные функции), частотные полигоны (кусочно-линейные функции) и сплайны.

Гистограммный временной ряд (ГВР) описывает ситуации, когда в течение каждого момента времени известны гистограммы, аппроксимирующие функции плотности исследуемого параметра. Подобные ситуации возникают, когда необходима агрегация большого числа данных в некоторые моменты времени. Во многих случаях гистограммы более информативны, чем, например, среднее значение исследуемого параметра. Области, где ГВР полезны, включают экономику, мониторинг окружающей среды и т.д. Для решения задач обработки анализа и прогнозирования с использованием ГВР необходимо применять специальные численные операции и процедуры.

В рамках ВВА разработана численная вероятностная арифметика, которая позволяет выполнять различные арифметические операции над функциями плотности вероятности, включая операции вычисления максимума и минимума, возведения в степень, процедуры сравнения. В настоящее время гистограммы активно применяются в различных областях. Например, гистограммы активно используются в базах данных, в задачах аппроксимирования и сжатия информации, распознавания образов и обработки изображений [2].

В качестве примера рассмотрим обработку больших временных рядов с применением ВВА. Известно, что временной ряд хорошо подходит для представления многих практических ситуаций. Во многих случаях временные ря-

ды анализируются как большие данные. Для обработки и анализа взаимосвязи между временными рядами данных целесообразно использовать процедуры агрегирования [3-5]. Для изучения изменчивости временного ряда предлагается процедура агрегирования, основанная на построении распределений данных временного ряда. В каждом случае функциональные временные ряды предлагают более информативное представление данных, чем другие формы агрегированных временных рядов

Для построения элементов функционального временного ряда будем использовать ядерные оценки. Рассмотрим свойства ядерных оценок. Ядерная оценка может быть компактно записана, как [5]

$$\hat{f}(x) = \frac{1}{Nh} \sum_{i=1}^N K\left(\frac{x - \xi_i}{h}\right) = \frac{1}{Nh} \sum_{i=1}^N K_h(x - \xi_i),$$

где $K_h(t) = K(t/h)/h$. Заметим, что

$$K_h(x, \xi_i) = K\left(\frac{x - \xi_i}{h}\right).$$

где ξ есть случайная величина с плотностью вероятности $f(x)$. Тогда

$$E[\hat{f}(x)] = E[K_h(x, \xi)] \quad \text{и} \quad \sigma_N = D[\hat{f}(x)] = \frac{1}{N} D[K_h(x, \xi)].$$

Математическое ожидание может быть записано в виде

$$\begin{aligned} E[K_h(x, \xi)] &= \frac{1}{h} \int_{-\infty}^{\infty} K\left(\frac{x-t}{h}\right) f(t) dt = \\ &= \int_{-\infty}^{\infty} K(\eta) f(x - h\eta) d\eta. \end{aligned}$$

Далее приведено использование ядерных оценок для построения временных рядов распределений в опорные даты 5.05, 15.05, 25.05. Для этих целей данные агрегировались с окном шириной 10 и 20 дней [2].

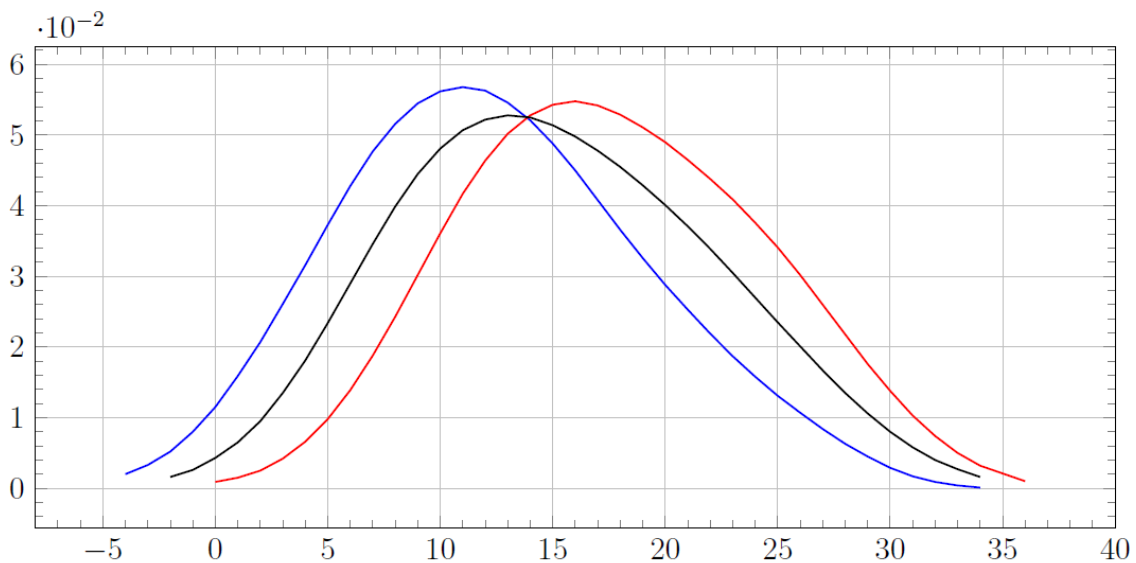


Рис.1. Оценка распределений температуры, синяя линия 5мая; черная линия 15 мая, красная линия: 25мая

Далее, используя экстраполяцию Ричардсона [3,6] построены уточнения функций плотности вероятности. На рис. 1. представлены уточненные значения функций плотности вероятности за 5.05, 15.05, 25.05. Для их построения использовались данные температурных значений в г. Москве за последние 50 лет.

Дальнейшая задача исследования состоит в агрегации больших временных рядов, построения функциональной регрессии на распределенных данных [5,6,7].

Список литературы

1. Mayer-Schonberger V., Cukier K. Big Data: A Revolution That Will Transform How We Live, Work, and Think. New York, NY: Houghton Mifflin Harcourt. 2013. p. 242
2. Численный вероятностный анализ неопределённых данных: монография / Б. С. Добронетц, О. А. Попова ; М-во образования и науки Российской Федерации, Сибирский федеральный ун-т, [Ин-т космических и информ. технологий]. - Красноярск : СФУ, 2014. - 166 с.
3. Dobronets B.S., Popova O.A., Improving reliability of aggregation, numerical simulation and analysis of complex systems by empirical data, IOP Conference Series: Materials Science and Engineering 2018.
4. Dobronets B.S., Popova O.A., Piecewise polynomial aggregation as preprocessing for data numerical modeling, Conference Series 2018. T. 1015. C. 032028.
5. Попова О.А. Функциональный анализ данных для изучения данных дистанционного зондирования земли // Региональные проблемы дистанционного зондирования Земли: Материалы VI Международной научной конференции. – Красноярск: СФУ, 2019. – С. 137-140.
6. Popova O.A. Using Richardson Extrapolation to Improve the Accuracy of Processing and Analyzing Empirical Data // Measurement Techniques. Vol. 62 № 2, pp.: 111-117
7. Dobronets B.S., Popova O.A., Computational aspects of probabilistic extensions, Вестник Томского государственного университета. Управление, вычислительная техника и информатика. 2019. № 47. С. 41-48.

Секция 5

АЛГОРИТМЫ И СИСТЕМЫ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА

В.А. Бойко, аспирант, vboyko024@gmail.com
П.И. Рожков, аспирант, prozskov@gmail.com
Сибирский федеральный университет, г. Красноярск, Россия

ЛОКАЛИЗАЦИЯ И КЛАССИФИКАЦИЯ ЭЛЕМЕНТОВ ГРАФИЧЕСКОГО ИНТЕРФЕЙСА ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ

Аннотация: Рассматривается решение задачи локализации и классификации элементов пользовательского интерфейса с использованием таких инструментов компьютерного зрения как нейронные сети. Решение этой задачи позволит унифицировать и облегчит решение таких задач как тестирование, автоматизация и верификация программного обеспечения [1]. В статье проведен эксперимент с обучением нейронной сети для распознавания нескольких классов объектов интерфейса, предлагаются гипотезы и план по последующей доработке системы.

Ключевые слова: машинное обучение, нейронные сети, ГИП

LOCALIZATION AND CLASSIFICATION OF ELEMENTS OF GRAPHIC USER INTERFACE

V.A. Boyko, postgraduate, vboyko024@gmail.com
P.I. Rozhkov, postgraduate, prozskov@gmail.com
Siberian Federal University, Krasnoyarsk, Russia

Abstract: The solution to the problem of localization and classification of user interface elements using such computer vision tools as neural networks is considered. The solution to this problem will unify and facilitate the solution of such problems as testing, automation and software verification [1]. This article experimented with training a neural network to recognize several classes of interface objects, hypotheses and a plan for further refinement of the system are proposed.

Key words: machine learning, neural networks, GUI

Введение. В ходе разработки интеллектуальной системы тестирования [1] была поставлена задача распознавания элементов графического интерфейса пользователя (ГИП). Актуальность данной задачи состоит в необходимости тестировании программного обеспечения в независимости от формы, цвета, шрифтов и других факторов влияющих на отображение элементов ГИП. Кроме того, на отображение тестируемого ПО могут влиять такие фак-

торы как: тип запускающей платформы, оконный менеджер, размер экрана, разрешение экрана.

Постановка задачи. Задачей локализации и классификации элементов ГИП, будем называть задачу нахождения и определения типа всех доступных пользователю, для взаимодействия, элементов визуального управления программным обеспечением. Как было показано в ранних работах [4, 5], использование нейронных сетей в задаче локализации и классификации объектов на изображении показывает высокую эффективность. По этой причине свёрточная нейронная сеть является возможным способом решения поставленной задачи. Важной особенностью свёрточной нейронной сети можно считать формирование карты признаков. При анализе этих карт, можно увидеть, как нейронная сеть «понимает» определенный класс изображения.

Реализация. Для проверки гипотезы возможности использования нейронных сетей, как инструмента распознавания элементов ГИП, были выбраны следующие типы элементов ГИП: кнопка и текстовое поле ввода.

Был сформирован набор изображений элементов ГИП, где каждое изображение имело ширину от 50 до 100 пикселей и высоту от 30 до 60. 90% случайных изображений использовались при обучении нейронной сети, а оставшиеся 10% при её тестировании. Размер набора изображений для кнопок составлял 300 штук, а текстовых полей ввода - 150 штук.

Для создания свёрточной нейронной сети использовалась библиотека TensorFlow версии r1.13. В качестве модели была использована архитектура Faster-RCNN-Inception-V2-COCO [2, 3]. Данная архитектура позволяет идентифицировать объекты на изображении с высокой точностью.

Обучение полученной сети производилось в 100 000 эпох на видеокарте NVIDIA GeForce GTX 1060. Обучение при таком количестве эпох происходило в течении 5 часов.

При помощи инструмента TensorBoard [6] был получен график распределения нормалей обучения и распространения ошибки зависящий от количества эпох обучения нейронной сети (рис. 1).

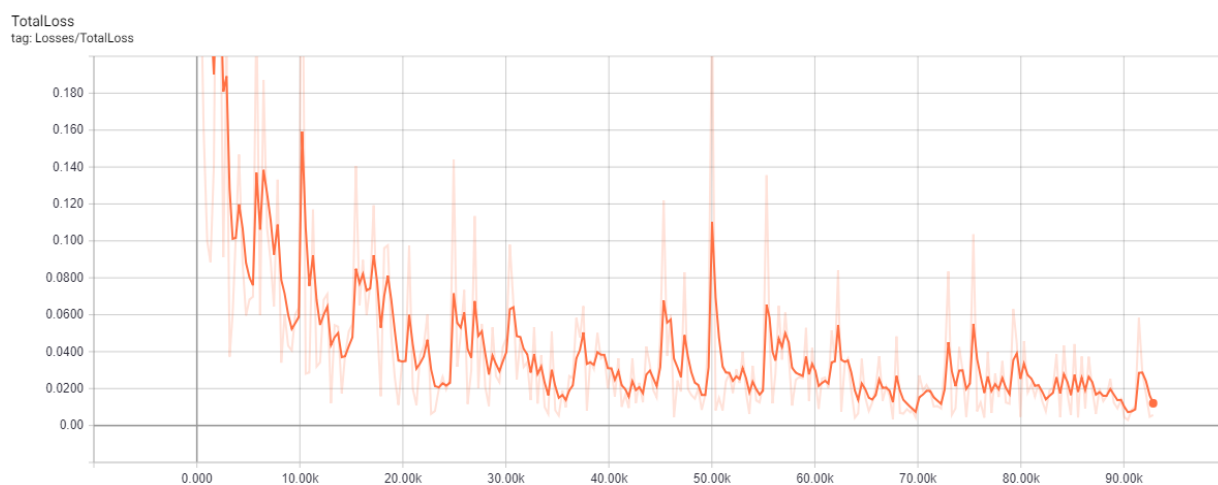


Рис. 1. Значение ошибки при обучении

Тестирование. Тестирование проводилось с помощью скриншотов интерфейсов сайтов и сборок из элементов интерфейса. Средняя точность распознавания элементов интерфейса — 99%, поиск элементов интерфейса — 85%.

Для наглядной демонстрации возможностей нейронной сети по распознаванию элементов ГИП, были выбраны различные варианты их оформления. Варианты оформления различаются по таким параметрам как: отступы, обводка, скругления, цвет фона, цвет шрифта, тип шрифта, размер шрифта (рис. 2 и рис. 3).

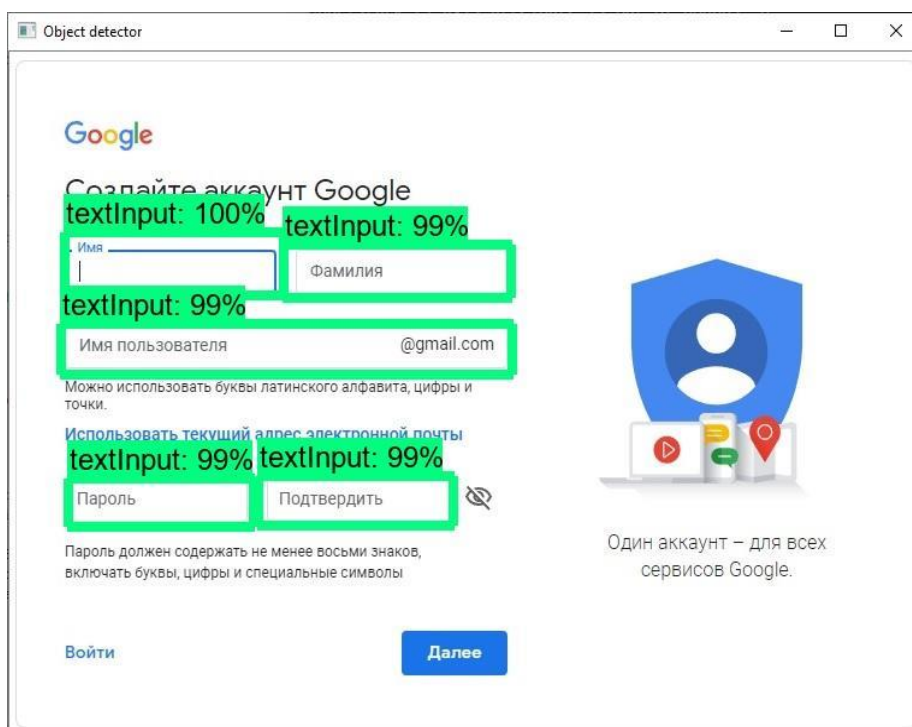


Рис. 2. Поиск текстовых полей в окне регистрации на сайте Google

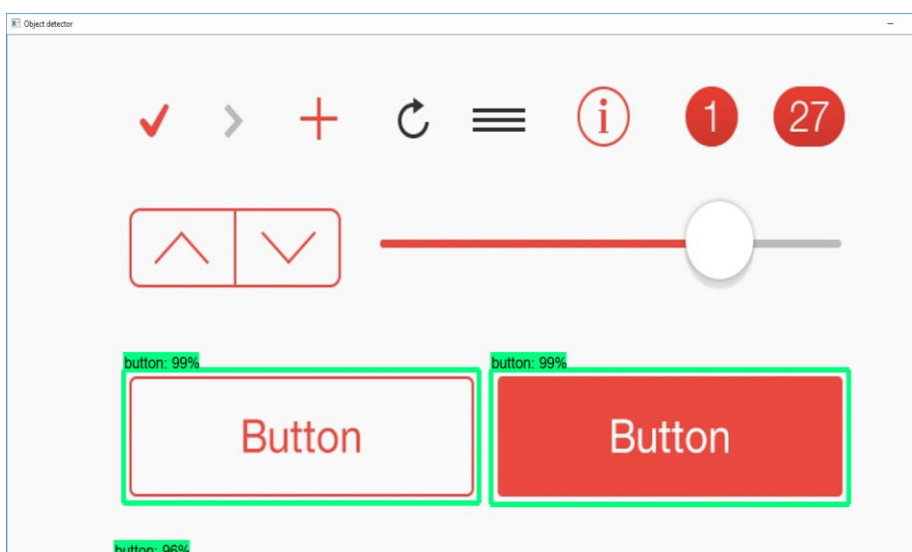


Рис. 3. Поиск кнопок среди различных типов интерфейсных элементов.

Заключение. Результаты применения и тестирования полученной сети показывают возможность использования её для поиска и распознавания элементов ГИП на основе статических изображений при сохранении приемлемого времени их распознавания. Полученная нейронная сеть может быть как частью систем, например, таких как интеллектуальная система тестирования [1], так и как отдельным модулем позволяющим решать проблемы автоматизации и взаимодействия с ГИП.

В дальнейшем планируется разработка API для работы с моделью машинного обучения, с возможностью загрузки скриншота интерфейса и поисковым фильтром, который будет искать требуемые элементы интерфейса на изображении.

На данном этапе использовалась архитектура (Faster-RCNN-Inception-V2-COCO), которая имеет невысокую эффективность (производительность). В ходе дальнейших исследований предполагается разработка собственной архитектуры, непосредственно ориентированной на решение данной задачи, что позволит повысить точность и скорость распознавания.

Список литературы

1. Бойко В.А. Разработка интеллектуальных систем тестирования программного обеспечения. Проспект Свободный - 2018 [Электронный ресурс]: материалы Международной студенческой конференции, Красноярск, 23–27 апреля 2018 г. / отв. за вып. В. Ю. Серегина. - Электрон. текстовые дан. (pdf, 31,3 Мб). - Красноярск: СФУ, 2018. - 1456 с.
2. Описание на Supervise [Электронный ресурс]: режим доступа - <https://supervise.ly/explore/models/faster-r-cnn-inception-v-2-coco-1864/overview>.
3. Christian Szegedy, Sergey Ioffe, Vincent Vanhoucke, Alex Alemi. 2016. Inception-v4, Inception-ResNet and the Impact of Residual Connections on Learning. arXiv preprint arXiv:1602.07261.
4. Moody J., Darken C.J. Fast Learning In Networks of Locally Tuned Processing Units // Neural Computation. – 1989. – № 1. – P. 281–284.
5. Lin S.H., Kung S.Y., Lin L.J. Face Recognition/Detection by Probabilistic DecisionBased Neural Network // IEEE Trans. Neural Networks. – 1997. – V. 8. – № 1. – P. 114–132.
6. TensorFlow // Официальный сайт библиотеки TensorFlow [Электронный ресурс]. URL: <https://www.tensorflow.org>.

А.В. Вальков магистр, chyruk12@gmail.com

Д.А. Перфильев, к.т.н., доцент, perfilyev7775@yandex.ru
Сибирский федеральный университет, г. Красноярск Россия

ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ УПРАВЛЕНИЯ ПОИСКОВЫМИ СИСТЕМАМИ

Аннотация: В статье предложена технология управления сетью агентов, для поисковых модулей информационно аналитических систем.

Ключевые слова: Алгоритмы поиска, организация поиска, управление сетью агентов.

Aleksandr V. Val'kov, master, chyruk12@gmail.com

Dmitry A. Perfil'ev, associate professor, Ph. D, perfilyev7775@yandex.ru
Siberian Federal University, Krasnoyarsk, Russia

INTELLIGENT TECHNOLOGY MANAGERMENTS SEARCHING SYSTEM

Abstract: In article presented technology management network agents for search module information and analytical systems

Keywords: searching algorithm, organization searching, managements network agents

Введение

Сегодня конкурентное преимущество организации определяется несколько доступом, сколько обладанием интеллектуальными (высокоавтоматизированными) технологиями управления потоками информационных ресурсов [1].

Одним из важных направлений исследования в области разработки информационно аналитических систем (ГАС Управление, региональных и муниципальных сегментов), является проблема поддержания устойчивости работы поискового модуля в условиях больших и разнородных массивах данных [2-4]. Среди задач повышения устойчивости работы поискового модуля следует выделить [5,6]:

- разработку способов изменения сектора обзора в процессе поиска и/или преследования цели;
- разработку способов корректировки системы оценок;
- разработку способов эффективного управления поисковыми системами в n-направленном режиме.

Актуальность задач, обосновывается случаями, когда цели распределяются в информационном пространстве вне всякой закономерности известной поисковой системе (ПС) и кроме этого способны изменять свои свойства и/или изменять траекторию и скорость движения. Проведение поиска в этих условиях с постоянным углом обзора, шагом и постоянной оценкой и числом ПС, заведомо становится неэффективным.

Технологии управления поиском

Управление поиском, принципиально ограничено следующими признаками:

- 1) направлением;
- 2) количеством итераций в некотором направлении;
- 3) изменением сектора обзора от текущих результатов.

Традиционно технологии управления поиском базируются на использовании апостериорной информации, формируемой в ПС, в процессе ее работы [7-11]. В известных алгоритмах поиска, в том числе алгоритме «Мура» и «Ветвей и границ», апостериорная информация позволяет эффективно контролировать направление поиска и количество итераций. На рис. 1 представлен алгоритм Мура и схема определения направления поиска на основе апостериорной информации.

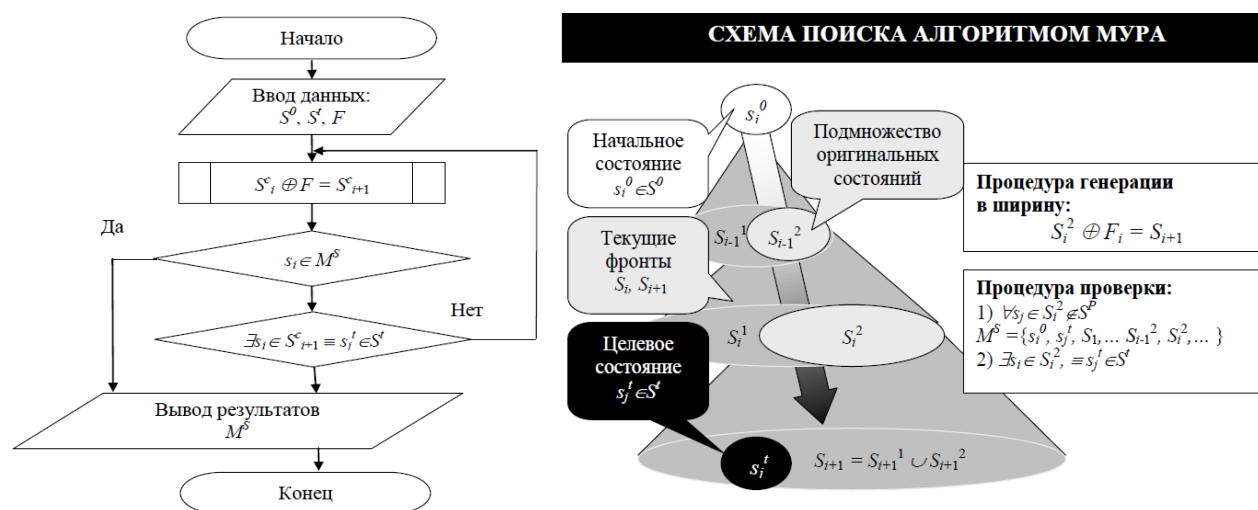


Рис. 1 Алгоритм Мура - принцип определения направления поиска

Использование такой технологии управления хорошо зарекомендовало себя в популярных разработках *Oracle Corporation* [12].

Аналогичный принцип управления лежит в основе концепции *Blockchain*, за исключением того, что предлагается *n*-направленный режим управления, очевидно как наиболее эффективный в условиях *big data*.

Технология управления поисковой системой

Суть предлагаемой технологии управления заключается в том, что организуется периодическая взаимосвязь между отдельными поисковыми агентами, задействованными в *n*-направленном поиске, позволяющая более эффективно определять направление поиска, регулировать активность и число задействованных в работе агентов.

Алгоритм работы *n*-направленной технологии управления агентами ПС представляет собой следующую цепочку действий:

1. За определенный период работы ПС, (обычно после каждой итерации), в памяти каждого поискового агента, выделяется подмножество оригинальных состояний S_{i2} из текущего *i*-го фронта S_i , как это происходит в алгоритме Мура.

2. На основе подмножеств оригинальных состояний в ПС формируется общий текущий массив оригинальных состояний $M_iS = (S_1, \dots, S_{i-12}, S_{i2}, S_{i+12}, \dots, S_n)$, *i*-также является идентификатором агента. Закономерна ситуация, при которой часть оригинальных состояний в общей памяти будут тождественны, и повторяться по несколько раз.

3. Повторения удаляются.

4. Оставшиеся оригинальные состояния распределяются по агентам, которые их сгенерировали.

Для более эффективного распределения ресурса и поддержания активности агентов, текущие оригинальные состояния из общей памяти распределяются равномерно. Таким образом, поддерживается активность задействованных в *n*-направленном режиме агентов.

5. После окончания распределения текущий массив оригинальных состояний удаляется.

Исключение избыточного количества первоначально задействованных агентов выполняется по следующему правилу:

Если агент не сгенерировал оригинальных состояний или сгенерированные оригинальные состояния полностью повторяются в общем текущем массиве, то этот агент исключается из дальнейшего поиска, так как это направление полностью перекрывается на следующей итерации его «соседями».

Эксперимент

Существенно повысить интеллектуальность сети агентов, позволяет анализ динамики как собственной, так и текущей общей памяти.

Апробация технологии управления проводилась в пространстве мощностью $|S|=10!$ сформированном «Перестановкой» [5]. Изначально были задействованы два агента из случайных точек пространства.

Практическая задача заключалась в том, чтобы определить оптимальное количество агентов для данной организации пространства.

Первые итерации показали отсутствие пересечений в общей памяти, что позволило ввести в работу дополнительных агентов. После перехода поиска $(n-1)$ итерации, (где n -количество элементов в состоянии равно 10), количество активных агентов уменьшилось.

На рис.2. показаны схематично результаты анализа работы сети агентов и участки поиска, где число агентов увеличивалось и уменьшалось исходя из анализа повторяемости состояний текущей общей памяти.

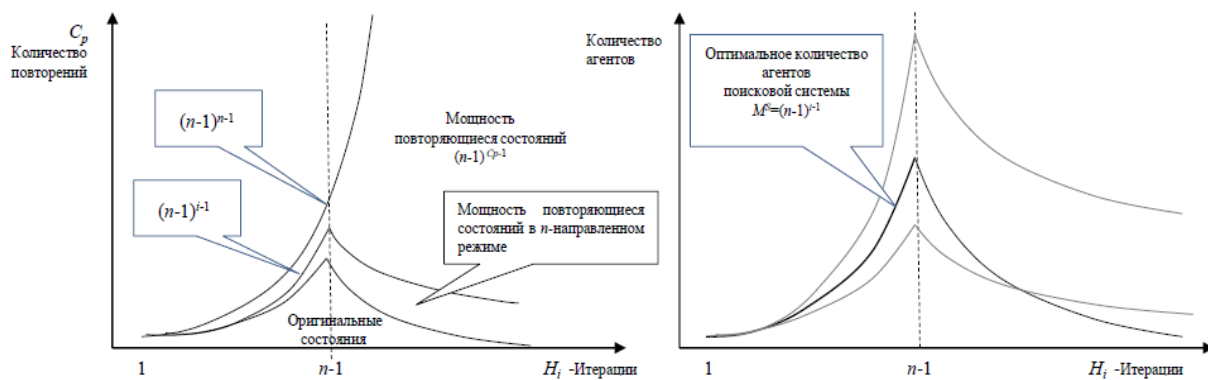


Рис.2. Анализа работы сети агентов

Результаты экспериментов показали зависимость количество повторений образующихся в очередном фронте и количества активных агентов ПС. Для данной организации пространства поиска, оптимальное количество агентов соответствовало мощности общей памяти M_i^S на i -той итерации.

Заключение

В отличие от технологии *Blockchain*, каждый агент хранит в памяти только свою оригинальную часть пройденного массива, что существенно сокращает требования к аппаратному ресурсу. Кроме этого сокращение ресурса происходит за счет того, что сектор обзора агента ограничивается периодически формируемой общей памятью, т.е. принципа саморегуляции системы.

Характеристика результатов работы сети агентов позволяет выделить модели закономерности оптимальной активности сети агентов от цикличности пространства поиска, что служит основой разработки интеллектуальной процедуры управления в условиях больших массивов данных.

Внедрение n -направленных высокоавтоматизированных технологий, позволит не только работать в *big data* и существенно повысить устойчивость

функционирования информационно аналитических систем в области административного управления, сформирует инфраструктуру для перехода национальных информационных систем на новый уровень зрелости.

Список литературы

1. Скобелев П.О. Интеллектуальные системы управления ресурсами в реальном времени: принципы разработки, опыт промышленных внедрений и перспективы развития // Приложение к теоретическому и прикладному научно-техническому журналу «Информационные технологии». 2013 №1. С. 1–32.
2. Официальный сайт Государственная АИС «Управление» [Электронный ресурс]: режим доступа- <http://gasu.gov.ru/>.
3. Официальный сайт Казначейства России [Электронный ресурс]: режим доступа- <https://roskazna.ru/>.
4. Официальный сайт Министерство цифрового развития, связи и массовых коммуникаций Российской Федерации [Электронный ресурс]: режим доступа- <https://digital.gov.ru/>.
5. Алгоритмы поиска и преследования цели LAP Lambert Academic Publishing AV Akademikerverlag GmbH & Co. KG Heinrich-Bocking-Str. 6-8, Saarbrücken, Deutschland, 2012.-158с.
6. Ким, Д.П. Методы поиска и преследование подвижных объектов. / Д.П. Ким. – М.: Наука. Гл. Ред. Физ.-мат. Лит., 1989. – 336 с.
7. Загорулько, Ю.А. Общая концепция агентов в среде SemP. / И.Г. Попов, Ю.В.Костров, И.П. Сергеев Труды ICIT, Изд. Новосибирск, 1999. стр. 231 – 246.
8. Luck M., et al. Agent Technology: Computing as Interaction (A Roadmap for Agent Based Computing). AgentLink. 2005 <http://www.agentlink.org/roadmap/> (по состоянию на 19 января 2016 г.).
9. Müller J., Fisher K. Application Impact of Multiagent Systems and Technologies: A Survey // In Agent-Oriented Software Engineering book series. Springer. 2013 P.1-26.
10. DeLoach S., Garcia-Ojeda J. The O-MaSE Methodology // M. Cossentino et al. (eds.), Handbook on Agent-Oriented Design Processes, Springer-Verlag, Berlin Heidelberg, 2014, P. 253-285.
11. Skobelev P. Multi-Agent Systems for Real Time Adaptive Resource Management // Industrial Agents: Emerging Applications of Software Agents in Industry. Paulo Leitão, Stamatis Karnouskos (Ed.). Elsevier. 2015 P. 207-230.
12. Официальный сайт Oracle Corporation [Электронный ресурс]: режим доступа- <https://www.oracle.com/>.

ОБНАРУЖЕНИЕ КУРЕНИЯ ПО ВИДЕО И НЕЙРОСЕТЕВОЙ ПОДХОД

Аннотация: Сигаретный дым содержит активные токсичные вещества, которые попадают в организм человека с потоком воздуха при вдохе и абсорбируются в легких и дыхательных путях. Курение в общественных местах представляет опасность для здоровья людей, находящихся в непосредственной близости от курящего человека. Обнаружение курения по видеоданным позволит минимизировать возможный ущерб здоровью окружающих, а также дисциплинировать людей, употребляющих табачные изделия в общественных местах. В статье рассмотрены методы обнаружения курения по видеоданным как с применением традиционных методов машинного обучения, так и с применением нейросетевого подхода.

Ключевые слова: анализ изображений, нейронная сеть, курение, видеоданные, аномальное событие

VIDEO BASED AND NEURAL NETWORK APPROACH FOR SMOKING EVENT DETECTION

M.S. Yelisseyeva, student, ems2709@mail.ru
Siberian Federal University, Krasnoyarsk, Russia

Abstract: Cigarette smoke contains active toxic substances that enter the human body with the stream of air when inhaled and are absorbed in the lungs and respiratory tract. Smoking in public places poses a risk to the health of people near smokers. The detection of smoking by video will minimize the possible damage to the health of others, as well as discipline people who use tobacco products in public places. The article discusses methods for detecting smoking by video data both using traditional machine learning methods and using a neural network approach.

Key words: image analysis, neural networks, smoking, video, abnormal event

В связи с быстрым увеличением количества видеоданных растет потребность не только в распознавании объектов и их поведения, но, в частности, в обнаружении редких, аномальных случаев появления необычных объектов или подозрительного поведения в большом массиве визуальных данных. Обнаружение таких отклонений (аномальных событий) в видео имеет решающее значение для приложений, начиная от автоматического контроля

качества до визуального наблюдения. Аномальные события - это события, которые не соответствуют статистической структуре движений внутри сцены или события, которые нарушают наши предположения о сцене. Стоит отметить, что вероятность возникновения таких событий, относительно основного массива действий, происходящих на сцене, крайне мала. Именно поэтому такие события являются аномальными.

Находить аномальные события можно с использованием традиционных методов машинного обучения, а можно обратиться к искусственным нейронным сетям, которые являются более обширной областью машинного обучения. Машинное обучение — это набор алгоритмов, которые анализируют данные, учатся на них, а затем применяют то, что они узнали, для принятия рациональных решений. В последние годы наблюдается распространение нейронных сетей глубокого обучения, с беспрецедентными результатами в различных областях применения. Нейронные сети глубокого обучения являются подмножеством машинного обучения, которое обеспечивает хорошую производительность и гибкость, обучаясь представлению данных в виде вложенной иерархии концепций в слоях нейронной сети. Глубокое обучение превосходит традиционное машинное обучение, так как объем данных увеличивается, и, если нейронные сети увеличивают свою эффективность на массиве больших данных, то традиционные методы машинного обучения не справляются с таким количеством данных и теряют производительность. В традиционных методах машинного обучения большинство прикладных функций должно быть идентифицировано экспертом в исследуемой области, чтобы уменьшить сложность данных и сделать шаблоны более видимыми для работы алгоритмов обучения. Самое большое преимущество алгоритмов глубокого обучения, о которых говорилось выше, заключается в том, что они пытаются изучить высокоуровневые функции на основе данных постепенно. Это устраняет необходимость в экспертизе предметной области и извлечении основных функций. В настоящее время алгоритмы обнаружения аномалий на основе глубокого обучения становятся все более популярными и применяются для разнообразных задач.

В статье [1] представлен метод, основанный на нейросетевом подходе для обнаружения и локализации пространственных и временных аномальных событий для видеонаблюдения с использованием обучающих выборок, содержащих только нормальные события. Эта работа разделена на два этапа, первый из которых - извлечение признаков для каждого фрагмента входного изображения с использованием первых двух слоев свертки, выделенных из предварительно обученной сверточной нейронной сети. На втором этапе одноклассный метод опорных векторов обучается с результирующими функциями. Метод опорных векторов [2] — это бинарный классификатор, определяемый разделяющей гиперплоскостью. По контрольной выборке алгоритм выдает оптимальную гиперплоскость, которая классифицирует новые примеры. В двумерном пространстве эта гиперплоскость представляет собой линию,

разделяющую плоскость на две части для разграничения классов. Классификатор метода опорных векторов обеспечивает быстрое и надежное обнаружение аномалий в отношении присутствия выбросов в наборе обучающих данных. Это отступление от других подходов, в которых используется гибридная модель изучения глубоких функций с использованием автоэнкодера, а затем передача функций в отдельный метод обнаружения аномалий, такой как одноклассный метод опорных векторов. Архитектура данной модели представлена на рис. 1.

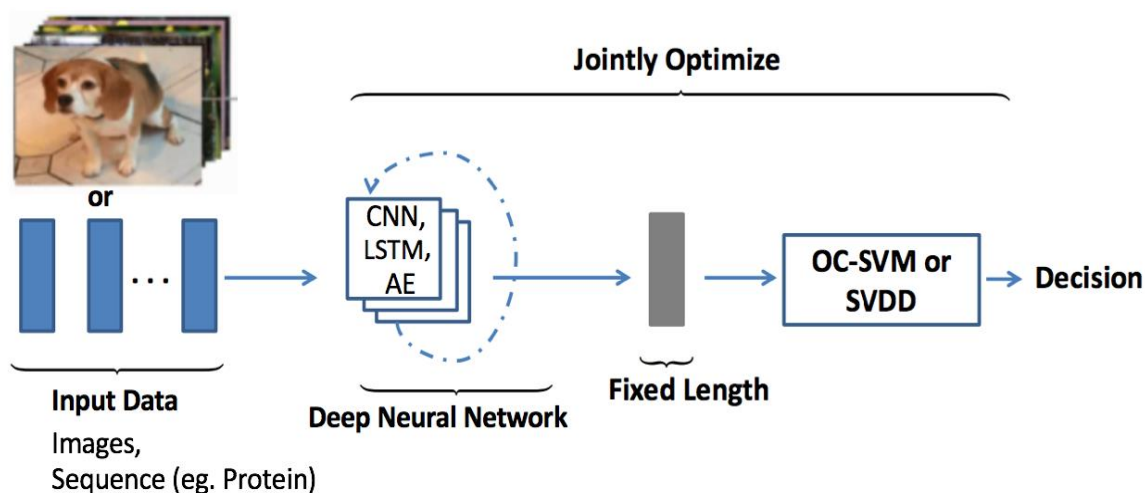


Рис. 1. Архитектура гибридной модели глубокого обучения

Существует множество событий, которые являются аномальными, например, внезапное падение человека на землю, агрессивное взаимодействие людей, ограбление и др. Курение будет являться аномальным событием в случае, когда оно осуществляется в запрещенных для этого местах. Курение в специально отведенном помещении не будет являться аномальным событием. Почему именно курение? Курение является одним из давних человеческих действий, которое на протяжении веков приводило к негативным последствиям. Распознавание курения в местах непредназначенных для этого, а также в местах, где курение запрещено, позволит своевременно принять меры по предотвращению пожаров и по поддержанию общественной безопасности, в том числе минимизировать воздействия на окружающую среду и здоровье окружающих. Стоит отметить, что с учетом различия внешнего вида курильщика, дыма и последовательности действий, основанных на неоднородных индивидуальных привычках, обнаружение случаев курения у человека становится сложной проблемой для анализа на основе зрения.

Авторы статьи [3] представляют метод автоматического и прямого обнаружения случаев курения в видеоданных, включающий в себя анализ гистограммы цветовых соотношений, для извлечения визуальных подсказок из взаимодействия между внешним видом зажженной сигареты и внешним видом человеком, который ее держит. Повторный учет цветовых особенностей

и использование модели гауссовых смесей позволяют выполнять задачи сегментации сигарет и отслеживания их по фоновым пикселям. Однако ключевой проблемой для анализа событий является нерегулярная форма курения. То есть различные способы того, как люди держат сигарету, разнообразные виды табачных изделий, разноплановая съемка. Авторы предлагают механизм для анализа аномального события с использованием иерархического голографического моделирования. Из-за неопределенности размера и цвета сигарет не существует автоматической системы, которая могла бы анализировать события, связанные с курением, непосредственно на видео. Данный метод подходит для нахождения разнообразных случаев курения с различными размерами, цветами и формами сигарет и способен расширить визуальный анализ для событий, которые система может ошибочно распознать как курение. Особенность системы работа в режиме реального времени. На рис.2 представлена блок-схема работы метода.

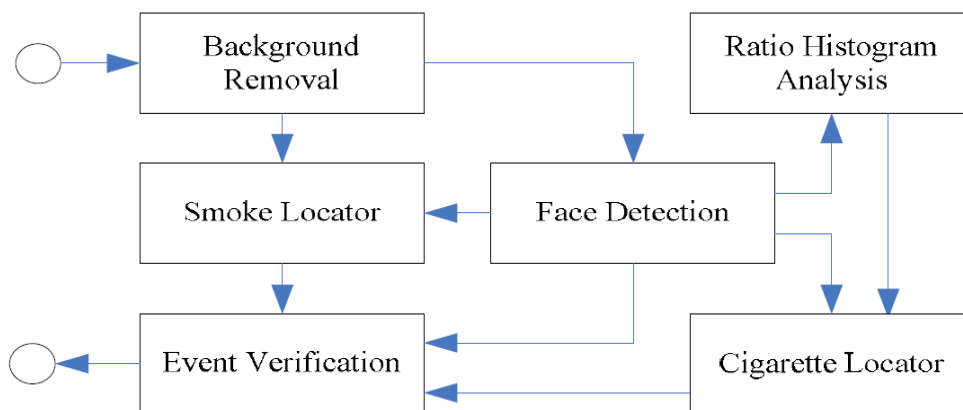


Рис. 2. Блок-схема работы метода

Стоит обратить внимание на другой не менее эффективный алгоритм обнаружения курения, представленный в статье [4]. Новая схема системы обнаружения событий, связанных с курением человека или небольшим дымом, в последовательности изображений применяет вычитание фона, комбинирующегося с сохранением областей движения, сегментацией изображения на основе кожи и сегментацией изображения на основе дыма для захвата потенциально задымленных областей, которые дополнительно анализируются для принятия решения о возникновении событий курения. Разработанный метод способен обнаруживать события курения неопределенного рода с различными размерами сигарет, цветами и формами.

В исследовании [5] авторы разрабатывают модель SmokingNet на основе сверточных нейронных сетей. Данная модель может автоматически определять событие курения на видеопоследовательности по видеоданным. Обратим внимание, что модель, основанная на GoogLeNet [6], оптимизирует характеристики изображений курения. Благодаря не квадратным сверточным

ядрам модель расширяет возможности выделения признаков целевых изображений. Перед обучением модели для предварительной тренировки используется сверхбольшой набор данных, аналогичный целевому изображению. Когда обученная модель используется для обнаружения изображений курения в системе (полные соединительные слои, которые преобразуются в сверточные слои) улучшается способность обнаружения курения для конкретных небольших целей при сохранении значительной эффективности обнаружения. Также интересно то, что авторы проводят сравнение эффективности работы их модели глубокого обучения с двумя другими моделями и с тремя комбинированными методами традиционного, или, как определяют авторы, поверхностного обучения. Результаты тестирования представлены на рис.2

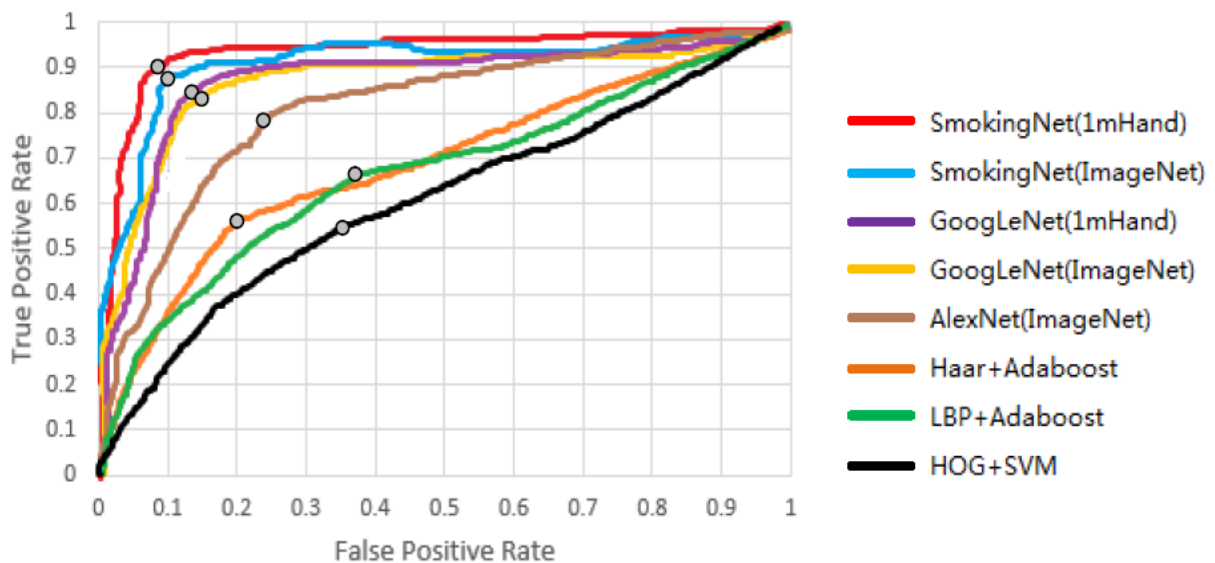


Рис. 3. Кривые рабочих характеристик выходов различных моделей

Заметим, что по сравнению с первыми тремя моделями глубокого обучения последние три модели поверхностного обучения извлекают только мелкие элементы изображений и используют специальные классификаторы для обнаружения изображений, тем самым делая их характеристики обнаружения значительно хуже, чем у моделей глубокого обучения.

Авторы на базе нейронных сетей [7] презентуют разработку системы автоматического обнаружения сцен курения с использованием подхода распознавания изображений в видеоклипах, а затем добавление предупреждающего сообщения для зрителя. В качестве фреймворка использован Tensorflow. Tensorflow [8] – это программная библиотека с открытым исходным кодом для машинного обучения, предоставляемая Google, которая широко используется в области распознавания изображений. Для целей классификации используется метод опорных векторов. С точки зрения пространства и времени, обучение становится очень дорогим. Обнаружение объекта на изображениях часто происходит медленно и занимает около одной минуты

на изображение. Результаты показывают, что предложенный метод может быть использован для отображения предупреждающих сообщений во время сцен курения.

Сущность вышеизложенного сводится к тому, что для современного мира важно использовать методы обнаружения курения на видеопоследовательностях, так как неосторожное поведения курящего человека или курение сигарет в неположенных местах может нанести существенный вред не только окружающей среде, но и привести к более серьезным последствиям. Ведь именно курение связано с более чем двумя миллионами предотвратимых смертей в год. Основными проблемами, с которыми сталкиваются разработчики, является нерегулярная форма курения, различный вид табачных изделий, а также схожие по внешнему виду действия. Нейронные сети глубокого обучения расширили границы возможностей цифровой обработки видеопоследовательностей.

Список литературы

1. Bouindour S., Hittawe M. M., Mahfouz S., Snoussi H. Abnormal Event Detection Using Convolutional Neural Networks and 1-Class SVM classifier // 8th International Conference on Imaging for Crime Detection and Prevention (ICDP 2017), Spain, Madrid, 2017 – pp. 1-6.
2. Hsu C.-W., Chang C.-C., Lin C.-J. A Practical Guide to Support Vector Classification – Department of Computer Science, 2003. – 16 p.
3. Wu P., Hsieh J.-W., Cheng J.-C., Cheng S.-C., Tseng S.-Y. Human Smoking Event Detection Using Visual Interaction Clues // 20th International Conference on Pattern Recognition, Turkey, Istanbul, 2010 – pp. 4344 – 4347.
4. Odettallah A. D., Agaian S. S. Human visual system-based smoking event detection // SPIE Defense, Security, and Sensing, United States, Maryland, Baltimore, 2012 – pp. 840607-840607-12.
5. Zhang D., Jiao C., Wang S. Smoking Image Detection Based on Convolutional Neural Networks // IEEE 4th International Conference on Computer and Communications, China, Chengdu, 2018 – pp. 1509 – 1515.
6. Szegedy C., Liu W., Jia Y., Sermanet P., Reed S., Anguelov D., Erhan D., Vanhoucke V, Rabinovich A. Going Deeper with Convolutions // Computer Vision and Pattern Recognition, Boston, MA, USA, 2015 – pp. 1-9.
7. Poonam G., Shashank B. N, Athri G. Rao. Development of framework for detecting smoking scene in video clips // Indonesian Journal of Electrical Engineering and Computer Science, Indonesia, 2019 – pp. 22-26.
8. Zeng Z., Gong Q., Zhang J. CNN Model Design of Gesture Recognition Based on Tensorflow Framework // Information Technology, Networking, Electronic and Automation Control Conference, Chengdu, China, China, 2019 – pp. 1062 – 1067.

ПАРАМЕТРИЧЕСКИЙ И СТРУКТУРНЫЙ СИНТЕЗ СИСТЕМ ТЕХНИЧЕСКОГО ЗРЕНИЯ

Аннотация: Теория модифицированных дескриптивных алгебр изображений позволяет формализовано описать любой процесс обработки и анализа изображений. Обработка и анализ изображений формулируется как задача нелинейной оптимизации с линейными или нелинейными ограничениями. Решение такой задачи эквивалентно параметрическому синтезу математической модели системы технического зрения. В статье сформулированы основные теоретические положения теории модифицированных дескриптивных алгебр изображений. Описывается общая постановка задачи параметрического и структурного синтеза систем технического зрения.

Ключевые слова: система технического зрения, параметрический синтез, структурный синтез, модифицированная дескриптивная алгебра изображений

PARAMETRIC AND STRUCTURAL SYNTHESIS OF TECHNICAL VISION SYSTEMS

A.R. Iskhakov, Ph.D., Associate Professor, intellab@mail.ru
R.F. Malikov, Full Doctor, Professor, rfmalikov@mail.ru
Bashkir State Pedagogical University n.a. M. Akmulla, Ufa, Russia

Abstract: The theory of modified descriptive image algebras allows one to formally describe any process of image processing and analysis. Image processing and analysis is formulated as a nonlinear optimization problem with linear or nonlinear constraints. The solution to this problem is equivalent to the parametric synthesis of the mathematical model of the vision system. The article formulates the basic theoretical principles of the theory of modified descriptive image algebras. The general formulation of the problem of parametric and structural synthesis of vision systems is described.

Key words: vision system, parametric synthesis, structural synthesis, modified descriptive image algebra

Системы технического зрения являются универсальными устройствами измерения характеристик различных модальностей объектов и процессов окружающей среды. Процессы измерения в них сводятся условно к суперпозициям и композициям методов обработки и анализа изображений. В отличие от классического подхода, нейросетевые системы машинного зрения проходят процедуру обучения и намного успешней решают задачи обработки, анализа, классификации и распознавания изображений.

В статье приводится краткая характеристика результатов исследований по дескриптивным алгебрам изображений (ДАИ) И.Б. Гуревича и В.В. Яшиной. Данные теории основаны на алгебраическом подходе к обработке, анализу и распознаванию изображений. Симбиоз алгебраического подхода и вычислительной математики позволил создать теорию модифицированных дескриптивных алгебр изображений (МДАИ). В теории МДАИ, открываются перспективы автоматизированного проектирования систем машинного зрения.

Дескриптивная алгебра изображений И.Б. Гуревича и В.В. Яшины

ДАИ И.Б. Гуревича и В.В. Яшины представляет собой новую вид АИ, обеспечивающую возможность оперировать как с основными моделями изображений, так и с основными моделями тех процедур преобразования, которые обеспечивают эффективный синтез и реализацию базовых процедур формального описания, обработки, анализа и распознавания изображений. Алгебры, как частный случай алгебраических систем, представляют собой упорядоченную пару основного множества и множества главных операций. Элементами основного множества ДАИ и множества главных операций могут быть:

- 1) точки, множества, модели, преобразования морфизмы;
- 2) каждый объект является иерархической структурой, построенной с помощью некоторых преобразований из элементарных объектов;
- 3) каждое преобразование является иерархической структурой, построенной с помощью некоторых преобразований из набора базисных преобразований.

Разработанный математический аппарат ДАИ обладает такими возможностями, как:

- 1) построение формальных конструкций, позволяющих использовать в обработке, анализе и распознавании изображений методы из различных областей математики и информатики;
- 2) построение точных и компактных описаний изображений, удобны с точки зрения интерпретации производимых действий и разработки новых методов;

3) описание преобразований над изображениями в виде компактных наборов простых преобразований в машинно-независимой и адаптированной к конкретным архитектурам форме;

4) создание специализированных подязыков для описания изображений и преобразований над ними в отдельных классах задач распознавания и оценивания изображений;

5) повышение эффективности программной реализации;

6) выбор языков программирования, наиболее эффективных в работе с формальными конструкциями, описывающими известные алгоритмы обработки, анализа и распознавания изображений.

Разработанная формальная система представляет специальный класс алгебр, в пределах которых возможно определять одни элементы основных множеств в виде комбинации других элементов. Основными преимуществами ДАИ являются возможности: построения унифицированных представлений и моделей изображений; формальным моделям изображений; возможность использования методов математического моделирования, применяемых в прикладных областях, к которым относятся обрабатываемые изображения; использования описаний изображений в виде теоретико-групповых представлений; удобство применения методов структурного анализа изображений с аппаратом вероятностного анализа [1, 2].

Теория модифицированных дескриптивных алгебр изображений

МДАИ является разновидностью ДАИ на случай использования универсальных алгебр без колец. Данная специализация привела к тому, что некоторые понятия из ДАИ не нашли свое применение или потеряли смысл в теории МДАИ. Большая часть терминов была уточнена, наделив разрабатываемый математический аппарат конструктивизмом. Центральной в аппарате МДАИ является задача нелинейной оптимизации с линейными или нелинейными ограничениями, в составе которой используется математическая модель системы технического зрения. Для решения этой задачи привлекаются численные методы оптимизации, что позволяет наделить теорию прогностическими возможностями и приближает ее к машинному обучению. В результате решения оптимизационной задачи вычисляются оптимальные значения варьируемых параметров математической модели СТЗ. В теории МДАИ доказано, что измерение характеристик объектов на изображениях с оптимальными значениями гарантирует требуемую точность. Математический аппарат МДАИ обладает высоким потенциалом для решения задач параметрической идентификации применительно к математическим моделям СТЗ. Суть постановки задачи параметрической идентификации заключается в следующей последовательности шагов: выбор совокупности изображений, разработка математической модели СТЗ, постановка задачи параметрического синтеза и ее решение [3-7].

Используемые в решении задачи изображения отбираются согласно (1) и могут быть бинарными (двухцветными) I_{bin} , полутоновыми I_{gray} и цветными I_{color} в формате RGB

$$\begin{aligned} I_{bin} &= \|x_{ij}\|, x_{ij} \in \{0,1\} \\ I_{gray} &= \|x_{ij}\|, x_{ij} \in \{0,...,255\} \\ I_{color} &= \|\langle r_{ij}, g_{ij}, b_{ij} \rangle\|, r_{ij}, g_{ij}, b_{ij} \in \{0,...,255\} \end{aligned} \quad (1)$$

Математическая модель СТЗ формулируется исследователем комбинированием (суперпозиция, композиция) существующих методов обработки и анализа изображений. В теории МДАИ они разделяются на два класса – процедурные Т-преобразования $O_T(I, \bar{p})$ и параметрические Р-преобразования $O_P(I, \bar{q})$ с варьируемыми векторными параметрами $\bar{p}$ и $\bar{q}$ соответственно. Т-преобразования $O_P(I, \bar{q})$ замыкаясь на множестве бинарных изображений $\{I_{bin}\}$, полутоновых изображений $\{I_{gray}\}$ и цветных изображений $\{I_{color}\}$ формируют алгебры бинарных изображений $\mathfrak{R}_{bin}$, полутоновых изображений $\mathfrak{R}_{gray}$ и цветных изображений $\mathfrak{R}_{color}$ соответственно. Среди Т-преобразований существует методы обработки, незамкнутые на перечисленных алгебрах изображений. Они позволяют конвертировать одни типы изображений в другие. Совокупность алгебр изображений $\mathfrak{R}_{bin}$, $\mathfrak{R}_{gray}$ и $\mathfrak{R}_{color}$ совместно с используемыми методами обработки изображений и операциями конвертирования образуют пространство состояний изображений GS_I (рис. 1) [3-7].

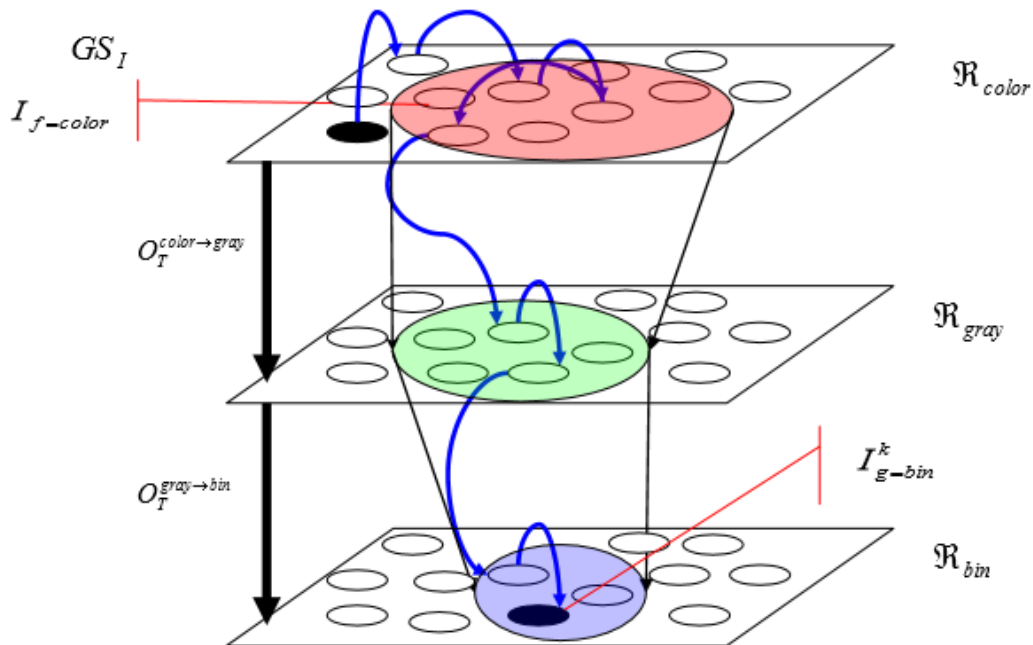


Рис.1. Пространство состояний изображений

На рисунке 1 изображена последовательность Т-преобразований $O_T(I, \overline{p})$ в виде стрелок синего цвета. Данная последовательность является математической моделью обработки изображений. Ее замыкает Р-преобразование $O_P(I, \overline{q})$, формально описывающий анализ изображений $\{\overline{I_{bin}}\}$ (измерение искомых параметров). Математическая модель СТЗ будет иметь вид (2). Согласно математической модели (2) обработка и анализ изображений представляет последовательность действий для выбранного множества начальных цветных изображений $\{I_{color}\}$ [3-7].

$$\begin{aligned} \{I_{gray}\} &= O_T^{1,k}(\{I_{color}\}, \overline{p_{1,k}}), & \{I_{bin}\} &= O_T^{k+1,m}(\{I_{gray}\}, \overline{p_{k+1,m}}), \\ \{\overline{I_{bin}}\} &= O_T^{m+1,n}(\{I_{bin}\}, \overline{p_{m+1,n}}), & \overline{w_{1,r}^*} &= O_P^{1,l}(\{\overline{I_{bin}}\}, \overline{q_{1,l}}) \end{aligned} \quad (2)$$

1. множество цветных изображений $\{I_{color}\}$ обрабатывается процедурными преобразованиями $O_T^{1,k}$, имеющими вектор варьируемых параметров $\overline{p_{1,k}} = (p_1, \dots, p_k)$. В результате получаются множество полутоновых изображений $\{I_{gray}\}$;

2. множество полутоновых изображений $\{I_{gray}\}$ обрабатывается процедурными преобразованиями $O_T^{k+1,m}$, имеющими вектор варьируемых параметров $\overline{p_{k+1,m}} = (p_{k+1}, \dots, p_m)$. В результате получаются множество бинарных изображений $\{I_{bin}\}$;

3. множество бинарных изображений $\{I_{bin}\}$ обрабатывается процедурными преобразованиями $O_T^{m+1,n}$, имеющими вектор варьируемых параметров $\overline{p_{m+1,n}} = (p_{m+1}, \dots, p_n)$. В результате получаются множество бинарных изображений $\{\overline{I_{bin}}\}$, которые позволяют измерить значения искомых характеристик $\overline{w_{1,r}} = (w_1, \dots, w_r)$ с требуемой точностью;

4. множество бинарных изображений $\{\overline{I_{bin}}\}$ анализируется параметрическими преобразованиями $O_P^{1,l}$, в результате получаются значения искомых характеристик $\overline{w_{1,r}^*} = (w_1^*, \dots, w_r^*)$.

Выражение (2) может быть записано в более компактной форме (3) [3-7]:

$$\overline{w_{1,r}} = O_P^{1,l} \left(O_T^{m+1,n} \left(O_T^{k+1,m} \left(O_T^{1,k} (\{I_{color}\}, \overline{p_{1,k}}), \overline{p_{k+1,m}} \right), \overline{p_{m+1,n}} \right), \overline{q_{1,l}} \right) \quad (3)$$

С использованием (3) может быть сформулирована задача параметрической идентификации математической модели СТЗ, например, в виде нелинейной задачи оптимизации с линейными ограничениями (4) [3-7]:

$$G(\bar{p}, \bar{q}) = \rho\left(\bar{w}_{1,r}^*, O_p^{1,l}\left(O_T^{m+1,n}\left(O_T^{k+1,m}\left(O_T^{1,k}\left(\{I_{color}\}, \bar{p}_{1,k}\right), \bar{p}_{k+1,m}\right), \bar{p}_{m+1,n}\right), \bar{q}_{1,l}\right)\right) \rightarrow \min_{p, q \in Q} \quad (4)$$

$$Q = \begin{cases} p_{1,k}^{\min} \leq p_{1,k} \leq p_{1,k}^{\max} \\ p_{k+1,m}^{\min} \leq p_{k+1,m} \leq p_{k+1,m}^{\max} \\ p_{m+1,n}^{\min} \leq p_{m+1,n} \leq p_{m+1,n}^{\max} \\ q_{1,l}^{\min} \leq q_{1,l} \leq q_{1,l}^{\max} \end{cases}$$

где ρ - метрика для измерения близости между эталонным вектором признаков $\bar{w}_{1,r}^*$ и измеренным вектором признаков на множестве $\{I_{color}\}$.

В более сложном случае параметрическая идентификация может содержать и нелинейные ограничения. Результатом решения данной оптимизационной задачи будут значения варьируемых параметров $\bar{p}_{1,n}^*$ и $\bar{q}_{1,l}^*$ при которых СТЗ с данной математической моделью позволит измерить искомые характеристики $\bar{w}_{1,r}$ с наперед заданной точностью [3-7].

Математические модели СТЗ в форме (2) или (3) создаются исследователем путем комбинирования различных методов обработки и анализа изображений. Этот процесс очень трудоемкий, но формулировка задачи структурного синтеза СТЗ может решить эту проблему. Введем определения структуры и структурного синтеза СТЗ.

Определение: Структурой системы технического зрения называется упорядоченная пара множеств $Stz = \langle S, R \rangle$, где S - множество элементов состава СТЗ, R - допустимые способы соединения элементов множества S .

Опираясь на данное определение, можно утверждать, что задача структурного синтеза СТЗ должна формулироваться с применением следующих элементов: 1) множество S , состоящее из методов обработки и анализа изображений; 2) множество R , состоящее из способов, методов и алгоритмов соединения (взаимодействия) элементов множества S ; 3) множество критериев K , состоящее допустимых оценок структурной и функциональной моделей СТЗ.

Заключение

Научно-технический прогресс развивается быстрыми темпами. Робототехнические системы являются одним его направлений развития. Системы технического зрения представляют универсальные информационно-измерительные системы, которые используются в робототехнике. Существует множество подходов, методов и парадигм по созданию систем технического зрения. В статье описана теория МДАИ, которая имеет большой науч-

но-технический потенциал по автоматизированному проектированию таких систем. В ней решена задача параметрического синтеза СТЗ и обосновывается необходимость решения задачи структурного синтеза.

Список литературы

1. Gurevich I.B., Yashina V.V. Descriptive Theory of Image Analysis. Models and Techniques // 8th International Conference "Pattern Recognition and Image Analysis: New Information Technologies, 2007. – pp.103-112.
2. Yashina V.V., Gurevich I.B. Operations of Descriptive Image Algebras with One Ring // Pattern Recognition and Image Analysis, 2006. – pp. 298-328
3. Исхаков, А.Р. Моделирование систем технического зрения в модифицированных дескриптивных алгебрах изображений: монография / А.Р. Исхаков, Р.Ф. Маликов. – Уфа: Изд-во БГПУ, 2015. – 159 с.: ил.
5. Исхаков, А.Р. Параметрический синтез систем технического зрения в модифицированных дескриптивных алгебрах изображений // Исследования наукограда, 2015. – С. 24-31.
6. Iskhakov A.R., Malikov R.F. Calculation of aircraft area on satellite images by genetic algorithm // Bulletin of the south ural state university. Series: «Mathematical modeling, programming & computer software», 2016. – P. 148-154.
7. Iskhakov A.R. Mathematical methods of modeling of image processing and analysis in the modified descriptive algebras of images // Journal of Computational and Engineering Mathematics, 2016. – P.3-9.

В.С. Лютикова, инж.в.к., irgal05@rambler.ru
И.Н. Литовченко, в.н.с., litovira@rambler.ru
Институт сейсмологии, г. Алматы, Казахстан

ОБУЧАЮЩИЙ АЛГОРИТМ РАСПОЗНАВАНИЯ ОБРАЗОВ ПРИ РЕШЕНИИ ПРАКТИЧЕСКИХ ЗАДАЧ

Аннотация. В работе излагаются особенности применения обучающего алгоритма распознавания образов при решении практических задач. Показан обучающий алгоритм распознавания в практической задаче распознавания роев землетрясений, его применение и результаты. На современных данных о сейсмичности региона Северного Тянь-Шаня и прилегающих территорий, исследуются особенности обучающего алгоритма распознавания образов.

Ключевые слова: Распознавание образов, образ, метрика, сейсмичность, рой землетрясений.

TRAINING ALGORITHM FOR RECOGNITION OF PATTERNS IN SOLVING PRACTICAL TASKS

V.S. Lyutikova, engineer.v.k., irgal05@rambler.ru
I.N. Litovchenko, a.n.s., litovira@rambler.ru
Institute of Seismology, Almaty, Kazakhstan

Annotation. The paper describes the features of the application of the training pattern recognition algorithm in solving practical problems. The training recognition algorithm is shown in the practical task of recognizing earthquake swarms, its application and results. Based on modern data on the seismicity of the Northern Tien Shan region and adjacent territories, the features of the training pattern recognition algorithm are investigated.

Keywords: pattern recognition, image, metric, seismicity, earthquake swarm.

За последние годы распознавание образов стало одним из актуальных направлений, связанным с автоматизацией процессов обработки и использования информации [1]. В этом направлении достигнуты определенные успехи в решении теоретических и практических задач. Технология распознавания образов остается актуальной и на сегодняшний день. В работе излагаются основные принципы обучающего алгоритма распознавания образов, его теоретические основы и практические результаты применения. Обучающий ал-

горитм распознавания образов применен на примере роев землетрясений, сделана попытка оценить перспективы развития и применения его при решении практических задач.

Распознавание образов (объектов, сигналов, ситуаций, явлений или процессов) – задача идентификации объекта или определения каких-либо его свойств по его изображению или другим характеристикам [2]. В компьютере множество объектов представляется набором неповторяющихся однотипных элементов. Образ – классификационная группировка, объединяющая (выделяющая) определенную группу объектов по некоторому признаку. Образы обладают характерными свойствами. Методика отнесения элемента к какому-либо образу называется решающим правилом. Метрика – способ определения расстояния между элементами универсального множества. Чем меньше это расстояние, тем более похожими являются объекты, то, что мы распознаем [2]. Остановимся далее подробнее на сути данной задачи. Итак, обучающий алгоритм распознавания образов, как отрасли искусственного интеллекта, является универсальным. Принципы его работы являются так же адаптивными к разного рода практическим задачам.

Основой выступает следующий теоретический подход. Пусть за время T на ограниченной территории происходит N событий (землетрясений) $a(11), a(12), \dots, a(NN)$. Каждое из этих событий характеризуется набором параметров, часть из которых может повторяться (координаты, магнитуда, и т.п.), другие же не повторяются никогда. Всегда можно составить матрицу R состояний (1), симметричную с нулевой диагональю (имея в виду, что в общем случае матрица R может быть многомерной) [6].

$$R = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1N} \\ a_{21} & a_{22} & \dots & a_{2N} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ a_{N1} & a_{N2} & \dots & a_{NN} \end{bmatrix} \quad (1)$$

По общепринятым методам кластерного анализа, должны проанализировать соответствие элементов строк в (1) заданным правилам. Например, считаем, что если существует пространственная взаимосвязь и взаимообусловленность событий, то она должна выражаться через "расстояния" (евклидовы или другие) между событиями в n -мерном пространстве. Если известны географические координаты события, то в качестве меры взаимосвязи выбираем геометрическое расстояние между эпицентрами землетрясений. Считая, что наиболее взаимосвязанными являются те события, для которых межэпицентральные расстояния минимальны. После определения соответствия заданному правилу элементов матрицы (1) в заданном пространстве параметров (например, расстояние между событиями) наносим их на график и соединяем между собой линиями в последовательности, следующей из (1). При наличии взаимосвязи и взаимообусловленности событий в матрице (1) на графике

образуются связанные древовидные структуры. Узлы каждого из таких деревьев, образуют кластеры, подобные рассчитанным другими методами кластерного анализа. Метод графической кластеризации МГКл [6] не требует дополнительных математических операций для кластеризации, и поэтому выполняется значительно быстрее, чем другие методы кластерного анализа. Вообще время проведения расчетов для МГКл пропорционально числу событий в выборке образующей матрицу (1). Очевидным преимуществом МГКл является то, что в анализируемом пространстве состояний допустимы пересекающиеся подмножества. Такие ситуации могут возникнуть при анализе временных последовательностей событий, когда существуют кластеры, время жизни которых меньше интервала всей выборки.

Использовали МГКл для выделения «роев» в Каталоге землетрясений [12] на Северном Тянь-Шане и прилегающих территориях, применяемом в Институте сейсмологии РК. Предварительно в каталоге [12] были выделены афтершоки. В дальнейших расчетах эти события не принимались во внимание. Представительность каталога [12] не равномерна во времени и в пространстве. Отметим, что данный алгоритм может быть применен и для других территорий исследования. Ранее, в работах авторов [3,4,7-10] описывался процесс распознавания роевых последовательностей землетрясений. Было подробно представлено возникновение и распределение таких последовательностей в разных сейсмоактивных регионах. Отмечалось, что «рой землетрясений» выражается в увеличении числа слабых толчков в некоторой локальной зоне земной коры с последующим постепенным его уменьшением. Пространственные размеры «роев», примерно, равны размерам эпицентральных зон сильных землетрясений. «Рои» наряду с «форшоками» образуют прогностические последовательности сейсмических событий, которые можно использовать для прогноза сильных землетрясений, отсюда возникает необходимость их своевременного распознавания [7-11]. Для решения этой задачи предлагалось использовать метод графической кластеризации временных последовательностей событий (МГКл) [6]. Авторами исследований [3-6] отмечается, что «рои землетрясений» - это особый вид проявления сейсмической активности, когда за достаточно короткое время, в течение нескольких суток от 1 до 5-15 суток (редко более длительное время), в одном и том же месте, на ограниченной площади, происходит большое количество землетрясений, как правило, малых энергетических классов, характерных для фоновой сейсмичности региона. Но, в отличие от «афтершоковой последовательности», «роевые последовательности землетрясений» не всегда имеют главное событие старшего энергетического класса, а также характерного затухания энергии событий во времени [3]. Физическая природа возникновения «роев» не ясна. Они возникают, как в зонах континентальной сейсмичности (например, на Кавказе), так и в зонах субдукции (Курило-Камчатская зона) [3]. Иногда в

тех областях, где в прошлые годы имели место сильные землетрясения, обнаруживаются «рои», а иногда нет [3-11].

Особенностями обучающего алгоритма распознавания образов является. Во-первых, определение численных характеристик «роев», как последовательности землетрясений пригодных для их описания и распознавания роев в каталоге. Это представляется важным, поскольку, не были известны объективные критерии для распознавания и выделения «роев». В общих чертах, процесс образования «роя» можно идентифицировать с процедурой пространственного группирования сейсмических событий. Некоторые, самые общие, качественные характеристики группирования для землетрясений с $K \geq 9$ ($M=2.8$) на территории Северного Тянь-Шаня приведены в [7,8]. Здесь за радиус вероятного группирования принимали 15 км. При этом количество группирующихся землетрясений составило 10% от размера выборки. Исследовался каталог [12] на способность образовывать компактные группы событий вводя ограничивающее правило при расчете матрицы (1). Оказалось, что устойчивые кластеры-группы размером не более 20'-25' угловой меры (т.е. размеров очаговых зон землетрясений с $M=6-7$ на изучаемой территории) образуются, если расстояние между событиями $L \leq 10'$, т.е. примерно такие же, как у [3, 6-10]. Во-вторых, следующая характеристика «роев землетрясений» связана с числом землетрясений в «рое» (или группе). Легко показать, что вероятность попадания трех случайных событий в площадку радиусом равным $L=10'$ столь мала, что ей можно пренебречь. Поэтому принимали за «рой» группу, в которой число землетрясений $N \geq 3$, без ограничения N по максимальной величине. Результаты расчетов по МГКл с учетом L и N показали, что «рои» действительно группируются вблизи зон, в которых на изучаемой территории происходили землетрясения с $M \geq 5.5$. Однако их распределение в пространстве имеет большую дисперсию, что указывает на необходимость введения еще одной характеристики для более строгого описания роя. В-третьих, известно, что «рои» могут быть и короткоживущие (минуты, часы), так и долгоживущие (месяцы и даже годы). Поэтому их нельзя характеризовать ни числом событий N , ни временем жизни «роя» Tls («life swarm»).

Более объективной характеристикой является время между землетрясениями в «рое» Tm . Результаты работы обучающего алгоритма распознавания образов заключаются в следующем. По представленным теоретическим обоснованиям и методам возникновения и распределения «роевых последовательностей землетрясений», а так же практическому алгоритму их распознавания [6] результаты работы программы распознавания «роев» дают Карту-схему распознанных «роевых последовательностей землетрясений» региона исследования, пространственно-временное распределение сейсмических событий («роев»,

«афтершоков», «сильных землетрясений», простых землетрясений) (см. рис. 1.). В результате исследования параметров «роевых последовательностей землетрясений», получили три численные характеристики, по которым можно объективно распознавать «рои» в каталоге землетрясений на Северном Тянь-Шане и прилегающих территориях. К ним относятся: число землетрясений в «рое» $N \geq 3$; пространственное расстояние между соседними событиями, образующими «рой» $L \leq 10'$ в угловой мере; время между событиями в «рое» $0 < T_m \leq 15-26$ дней. Используя эти ограничивающие численные значения, провели расчеты МГКл [6, 7-10] и составили каталог «роев» для территории Северного Тянь-Шаня, прилегающих территорий. На всем интервале анализа принимали в расчет все землетрясения с $K \geq 7.0$. Подобные значения могут применяться для распознавания «роев» в других сейсмоактивных регионах.

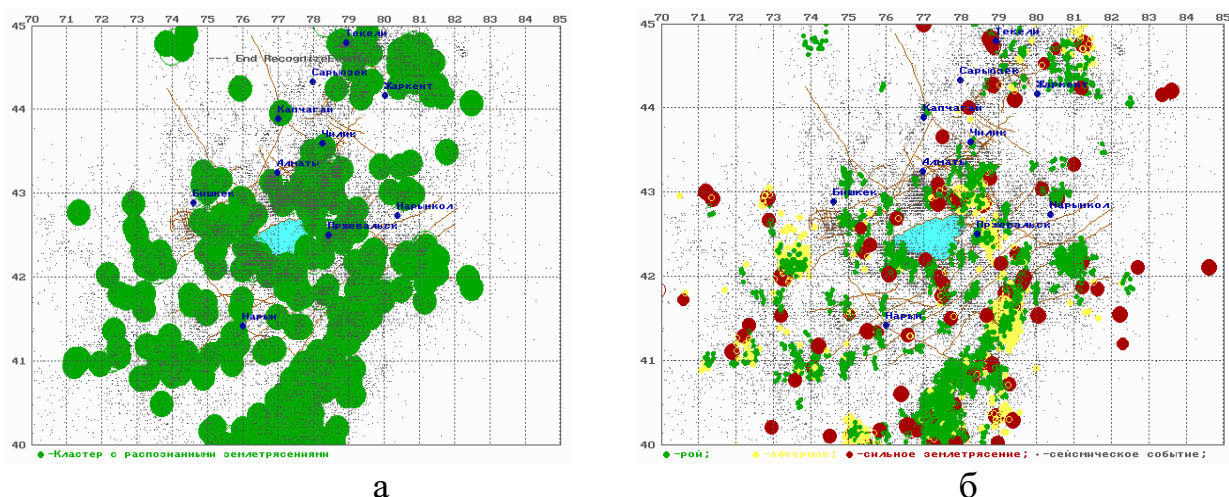


Рис. 1. Результаты работы программы распознавания образов

- а) кластеризация сейсмических событий (зеленым цветом указаны кластеры);
 б) карта-схема пространственно-временного распределения распознанных сейсмических событий показаны цветом (роев – зеленым, афтершоки – желтым, сильные землетрясения – красным цветом, простые землетрясения (точки) – черным цветом) в регионе исследования (40-45°N, 70-85°E)

В качестве выводов можно привести следующее заключение. Представлен обучающий алгоритм распознавания образов при решении практических задач (по выявлению роев землетрясений) в сейсмоактивном регионе Северного Тянь-Шаня и прилегающих территорий. Результат работы компьютерной программы, демонстрирующий развитие сейсмического процесса во времени может быть использован для исследования сейсмичности и прогноза будущих сильных землетрясений. Отметим, что «рои» возникают в эпицентральной зоне будущего сильного землетрясения за 10-15 лет до толчка и импульсивно появляются и исчезают. Эта особенность может служить для создания самостоятельной численной основы для прогноза землетрясений [13]. Каталог «роевых землетрясений» может служить основой для поиска

«форшоков» и прогноза сильных землетрясений [14]. Приведенный обучающий алгоритм распознавания образов может быть применен для любых сейсмоактивных регионов.

Авторы благодарят научного руководителя академика НАН РК Курскеева А.К. за активное участие в проводимых исследованиях, критические замечания и рекомендации, а также сотрудников СОМЭ, за предоставление каталога землетрясений.

Список литература

1.Абламейко С.В., Краснопрошин В.В., Образцов В.А. Модели и технологии распознавания образов с приложением в интеллектуальном анализе данных // Вестник БГУ. Математика и информатика. Сер. 1. 2011. №3.-С. 62-72.

2. Колесников С. Распознавание образов [Электронный ресурс]: режим доступа- http://www.old.ci.ru/inform03_06/p_24.html

3. Славина Л.Б., Левина В.И., Бабанова Д.Н. Особенности возникновения и распределения роевых последовательностей землетрясений в сейсмоактивной зоне в акватории Тихоокеанского побережья Камчатки [Электронный ресурс]: режим доступа- <http://www/emsd.ru/konf091011/pdf/largesteqs/10.pdf>

4. Курскеев А.К. Землетрясения и сейсмическая безопасность Казахстана. Алматы, 2004.- 504с.

5. Курскеев А.К., Абаканов Т.Д. Ритмы и энергетика современных геодинамических и сейсмических процессов. Алматы, 2007, 64 с.

6. Казаков В.В., Литовченко И.Н., Паршуков М.Ю. Рои землетрясений на Северном Тянь-Шане // Прогноз землетрясений и глубинная геодинамика. Материалы международного симпозиума. Алматы, 1997. - СС.145-151.

7. Литовченко И.Н., Лютикова В.С. Универсальный алгоритм распознавания образов роевых последовательностей землетрясений в современной сейсмичности региона Северного Тянь-Шаня и прилегающих территорий//XX Всероссийская конференция с международным участием «Глубинное строение, минерагения, современная геодинамика и сейсмичность Восточно-Европейской платформы и сопредельных регионов».-Воронеж, 2016. с. 236-240.

8. Лютикова В.С. Роевые последовательности землетрясений в современной сейсмичности региона Северного Тянь-Шаня и прилегающих территорий//Тезисы докл. 8 Международной конференции молодых ученых «Современные технологии», Бишкек.- 2016. с. 143-147.

9. Лютикова В.С. Рои землетрясений как отклик энергонасыщенных структур земной коры на воздействие астрофизических факторов//9 международная Конференция молодых ученых.- Бишкек, 2017.- с.с 71-76.

10. Лютикова В.С. Рои землетрясений как отклик энергонасыщенных структур земной коры на воздействие астрофизических факторов//Всемирный Конгресс инженеров и ученых «Энергия будущего: инновационные сценарии и методы их реализации», WSEC-2017.-Астана, Казахстан,-Т.4.- Алматы, 2017.-С.С.328-331.

11. Лютикова (Чалова) В.С., Литовченко И.Н. Особенности распознавания, возникновения и распределения роевых последовательностей землетрясений в сейсмоактивном регионе Северного Тянь-Шаня и прилегающих территорий [Электронный ресурс]: режим доступа - <http://www.sciteclibrary.ru/texts/rus/stat/st6394.pdf>

12. Каталог землетрясений /Сейсмическая опытно-методическая экспедиция (СОМЭ) РК [Электронный ресурс]: режим доступа - <http://some.kz/index.php?p=card&outlang=1&oid=9>.

13. Литовченко И.Н. Применение технологии экспертных систем в прогнозе землетрясений // Научная сессия МИФИ-2002. - Сб.науч.трудов. - Т.3. – Интеллектуальные системы и технологии. - Москва, 2002.-С.109-110.

14. Курскеев А.К., Оспанов А.Б., Тимуш А.В., Шацлов В.И. Прогнозирование землетрясений в Казахстане. Алматы, 2000 «Эверо».-252 с.

ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ И РЕКУРСИВНЫЕ ВЫЧИСЛЕНИЯ В ЗАДАЧАХ РОБОТОТЕХНИКИ СО СЛУЧАЙНЫМИ ПАРАМЕТРАМИ

Аннотация: В работе рассматриваются вопросы организации вычислительного процесса для решения ряда задач робототехники, связанных с необходимостью вычисления функциональных зависимостей в условиях неопределенности. Подход основан на построении вероятностных расширений и численных процедур вероятностного вычислительного анализа. Особое внимание уделено технике быстрых вычислений и рекурсивным вычислениям. Результаты численных экспериментов показали высокую эффективность предложенных алгоритмов.

Ключевые слова: вычислительный вероятностный анализ, вероятностное расширение, рекурсивные вычисления, численное моделирование.

A.M. Merko, graduate student, mima2008@rambler.ru
Siberian Federal University, Krasnoyarsk, Russia

NUMERICAL MODELING AND RECURSIVE CALCULATIONS IN PROBLEMS OF ROBOTICS WITH RANDOM PARAMETERS

Abstract: The paper discusses the issues of computing process organization for solving a number of problems in robotics related to the need to calculate functional dependencies under conditions of uncertainty. The approach is based on the construction of probabilistic extensions and numerical procedures for probabilistic computational analysis. Particular attention is paid to the technique of fast computing and recursive computing. The results of numerical experiments showed the high efficiency of the proposed algorithms.

Key words: computational probabilistic analysis, probabilistic extension, recursive computing, numerical simulation.

Численное моделирование может рассматриваться, как одно из основных направлений, используемых при решении разнообразных задач идентификации состояний и организации управления робототехническими системами в условиях неопределенности. Целесообразность использования такого подхода обусловлена тем, что показания сенсоров робота, как правило, неточны и позволяют только приблизительно определить ситуацию. Функцио-

нирование такой системы в условиях неопределенности и быстрой смены условий требует оперативной обработки и анализа информации для быстрого принятия решений и адекватной реакции на изменение условий работы. Для многих подобных задач, например, прогнозирования траектории движения робота, требуется вычисление функций от некоторого числа случайных аргументов, которые составляют основу многомерных, многопараметрических математических моделей. В подобных задачах часто необходимо численными методами исследовать модели со случайными входными данными, заданными своими плотностями вероятности. В тех случаях, когда их функции плотности вероятности известны, исследование таких моделей можно свести к вычислению функций со случайными аргументами. Универсальным подходом к решению таких задач является метод Монте-Карло, который давно и успешно используется для решения разнообразных задач в условиях неопределенности. При всех его положительных качествах этот метод обладает рядом недостатков. Один из самых существенных есть низкая скорость сходимости и большой объем вычислений, что представляет дополнительные сложности при работе с данными большого объема. Многомерность и случайный характер функциональных параметров, необходимость обработки данных массивов большой размерности увеличивают время выполнения и вычислительную сложность численных процедур, что существенным образом сказывается, как на возможности получения конечного численного результата при заданных ограничениях по времени, так и надежности вычислительных процедур. В настоящее время решение данной проблемы возможно на основе применения активно развивающегося подхода, который сформировался на стыке таких понятий, как параллельные вычислительные системы и параллельные численные методы. В статье рассматривается подход к вычислению функций от случайных аргументов, представляющий собой рекурсивную технику вычислений, основанную на идее распараллеливания вычислительного процесса и применении методов численного вероятностного анализа в условиях случайной неопределенности [2].

Имитационное моделирование Монте-Карло в общем случае является процедурой, при помощи которой математическая модель нахождения какого-либо показателя подвергается определенному количеству имитационных прогонов при помощи компьютера. Во время этого процесса имитации происходит построение последовательных сценариев при использовании исходных данных, которые в проекте являются неопределенными данными, в связи с этим во время анализа приходится полагаться на случайные величины. Сам процесс имитации происходит со следующим условием: случайный выбор значений из определенных вероятностных распределений не должен нарушать существования предполагаемых или известных отношений корреляции между переменных. Не смотря на широкие возможности, метод Монте-Карло требует большого объема данных; не распространяет частичное незнание ни при какой частотной интерпретации; не может оценить превышение риском

определенного уровня; не может быть применен для эффекта не сворачиваемости при решении задач обратных расчетов.

Численный вероятностный анализ (ЧВА) является еще одним способом распространения информационной неопределенности и позволяет эффективно организовать вычислительный процесс [2,6,7], в том числе для решения ряда практических задач робототехники, когда имеющиеся вероятностные оценки входных данных и параметров носят неопределенный характер [4,5]. Для вычисления функции от случайных аргументов используется одно из основных понятий ЧВА вероятностное расширение [1,3]. Предлагается процесс вычисления вероятностных расширений представить в виде параллельного рекурсивного вычислительного процесса.

Под вероятностным расширением $f(x_1, \dots, x_n)$ функции $f(x_1, x_2, \dots, x_n)$ в ЧВА понимается функция плотности вероятности случайной величины $z = f(x_1, \dots, x_n)$, где $(x_1, \dots, x_n)$ — система непрерывных случайных величин с совместной функцией плотности вероятности $p(x_1, \dots, x_n)$ [1].

Теорема 1.[1] Пусть $f(x_1, \dots, x_n)$ вероятностное расширение функции $f(x_1, x_2, \dots, x_n)$ и для всех вещественных t функция $f(t, x_2, \dots, x_n)$ вероятностное расширение $f(t, x_2, \dots, x_n)$. Тогда

$$f(x_1, \dots, x_n) = \int_{\underline{x_1}}^{\overline{x_1}} x_1(t) f(t, x_2, \dots, x_n) dt. \quad (1)$$

Замечание. Из теоремы 1 вытекает возможность рекурсивного вычисления вероятностных расширений общего вида, сведением их к вычислению одномерных вероятностных расширений.

Рассмотрим вычисление интеграла (1). Для определенности представим (1) в виде квадратуры. Для вычисления $f(t, x_2, \dots, x_n)$ далее можно использовать численные квадратуры.

$$\int_{\underline{x_1}}^{\overline{x_1}} x_1(t) f(t, x_2, \dots, x_n) dt \approx \sum_{l=1}^m \gamma_l x_l(t_l) f(t, x_2, \dots, x_n)$$

Теорема 1 позволяет организовать вычислительный процесс в виде рекурсии с использованием процедуры распараллеливания.

Отметим, что на нижнем уровне необходимо вычислить вероятностные расширения для функций только одной переменной. Все вычисления на каждом уровне независимы и могут вычисляться одновременно.

Важно отметить, что понятие рекурсии связано с ситуацией, когда на наличие в определении объекта присутствуют ссылки на сам объект или проявление свойств самоповторения (при этом сколь угодно малая часть объекта подобна всему объекту в целом). Общий случай проявления рекурсивности может быть сформулирован как наличие циклических взаимных обращений в определении объекта, которые в итоге замыкаются на сам объект. Рекурсивность в постановке задачи проявляется, если решение для общего случая сво-

дится к аналогичным задачам для меньшего количества входных данных. В таком контексте под рекурсией понимают прием последовательного сведения решения некоторой задачи к решению совокупности «более простых» задач такого же класса и получению на этой основе решения исходной задачи.

Для решения задач рекурсивными методами выделяют следующие этапы, образующие рекурсивную триаду:

- параметризация – выделяют параметры, которые используются для описания условия задачи, а затем в решении;
- база рекурсии – определяют тривиальный случай, при котором решение очевидно, то есть не требуется обращение функции к себе;
- декомпозиция – выражают общий случай через более простые подзадачи с измененными параметрами.

Целесообразность применения рекурсии в задачах численного моделирования обусловлена спецификой задач, в постановке которых явно или опосредовано указывается на возможность сведения задачи к подзадачам, аналогичным самой задаче. Анализ трудоемкости рекурсивных реализаций алгоритмов, очевидно, связан как с количеством операций, выполняемых при одном вызове функции, так и с количеством таких вызовов. Графическое представление порождаемой данным алгоритмом цепочки рекурсивных вызовов называется деревом рекурсивных вызовов. Более детальное рассмотрение приводит к необходимости учета затрат, как на организацию вызова функции и передачи параметров, так и на возврат вычисленных значений и передачу управления в точку вызова.

Применение рекурсивного подхода на основе вычислительного вероятностного анализа позволяет с одной стороны учитывать имеющийся характер неопределенности при обработке имеющейся информации, а с другой стороны рекурсивная схема вычислений, основанная на свойствах вероятностных расширений, позволяет распараллелить вычислительный процесс.

Для численной проверки теретических результатов были проведены численные эксперименты, например, исследовались функции плотности вероятности для суммы независимых равномерно распределенных случайных величин. Плотности вероятности таких сум носят название распределение Ирвина-Холла.

Например, для $n = 4$ рраспределение Ирвина-Холла имеет вид

$$f_X(x) = \begin{cases} \frac{1}{6}x^3 & 0 \leq x \leq 1 \\ \frac{1}{6}(-3x^3 + 12x^2 - 12x + 4) & 1 \leq x \leq 2 \\ \frac{1}{6}(3x^3 - 24x^2 + 60x - 44) & 2 \leq x \leq 3 \\ \frac{1}{6}(x - 4)^3 & 3 \leq x \leq 4 \end{cases}$$

Представленный подход обеспечивает численные рекурсивные операции, когда значение каждого очередного элемента структуры зависит от значений одного или нескольких предшествующих членов. Характерной особенностью применения построенного алгоритма распараллеливания является их независимость друг от друга, что означает, что эти задачи можно обрабатывать параллельно. В конечном итоге это создает тот ресурс параллелизма, который позволяет эффективность процесса численного моделирования [5,7].

Список литературы

1. Dobronets B.S., Popova O.A. Computational Aspects of Probabilistic Extensions // Вестник Томского государственного университета. Управление, вычислительная техника и информатика. – 2019. – № 47. – С. 41–48.
2. Добронетц Б.С., Попова О.А. Численный вероятностный анализ неопределенных данных. Сибирский федеральный университет, Институт космических и информационных технологий. Красноярск, 2014. – 167 с.
3. Попова О.А. Повышение точности вычислений и алгоритм распараллеливания в задачах восстановления по эмпирическим данным // Информатизация и связь. – № 3. – 2016. – С. 42–45.
4. Popova O.A. Using Richardson Extrapolation to Improve the Accuracy of Processing and Analyzing Empirical Data // Measurement Techniques. Vol. 62 № 2, pp. 111–117.
5. Dobronets B.S., Popova O.A. Improving the accuracy of the probability density function estimation // Journal of Siberian Federal University, Mathematics and Physics, –10(1). – 2017. – С. 16–21.
6. Dobronets B.S., Popova O.A. Piecewise Polynomial Aggregation as Preprocessing for Data Numerical Modeling. IOP Conf. Series: Journal of Physics: Conf. Series (2018) 032028 doi :10.1088/1742-6596/1015/3/032028.
7. Dobronets B.S., Popova O.A. Improving reliability of aggregation, numerical simulation and analysis of complex systems by empirical data. IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering. 2018 012006 doi:10.1088/1757-899X/354/1/012006.

А.А. Назарова, студент бакалавриата, nazarova.a97@yandex.ru

М.В. Гунер, старший преподаватель, horyzont1@mail.ru

Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова, г. Барнаул

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ОБЪЕМОВ ПРОДАЖ ПРОДОВОЛЬСТВЕННЫХ ТОВАРОВ ПРИ ПОМОЩИ ИСКУССТВЕННЫХ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ

Аннотация: Настоящая статья посвящена построению модели прогнозирования объемов продаж продовольственных товаров на основе применения нейросетевых технологий. В качестве исходных данных были взяты реальные данные о продажах в одном из магазинов крупной торговой сети N за период с 2013 по 2018 гг. Прогнозирование осуществлялось исключительно на основе временного ряда. Внедрение построенной модели прогнозирования продаж позволит предсказать уровень притока и оттока покупателей в различные сезоны года.

Ключевые слова: прогнозирование объемов продаж, искусственные нейронные сети, прогнозирование временного ряда, нейросетевая модель прогнозирования

FORECASTING FOOD SALES VOLUMES USING ARTIFICIAL NEURAL NETWORKS

A.A. Nazarova, student, nazarova.a97@yandex.ru

M.V. Guner, Senior Lecturer, horyzont1@mail.ru

Altai State Technical University named after I.I. Polzunova, Barnaul, Russia

Abstract: This article is devoted to the construction of a forecasting model for food product sales based on the use of neural network technologies. As initial data, we took real data on sales in one of the stores of a large trading network N for the period from 2013 to 2018. Prediction was carried out solely on the basis of a time series. The implementation of the constructed model for forecasting sales will allow us to predict the level of inflow and outflow of customers in different seasons of the year.

Keywords: sales forecasting, artificial neural networks, time series forecasting, neural network forecasting model

В любой рыночной системе основными качественными характеристиками выступают спрос и предложение. Движущей силой прогресса и эконо-

мического развития предприятия выступает спрос. Поэтому вопросы изучения и прогнозирования спроса являются исходными и важнейшими инструментами маркетинговой деятельности в масштабах коммерческих фирм, а также регулирования рынка. Прогнозы потребительского спроса необходимы для разработки стратегий развития производственных и торговых предприятий [2, 5].

Цель работы – построить нейросетевую модель прогнозирования объемов продаж продовольственных товаров на основе данных истории продаж.

Для достижения цели нам необходимо было решить ряд задач:

- сбор исторических данных об объемах продаж;
- предобработка данных (устранение пропусков и аномалий);
- обучение нейронных сетей и подбор параметров обучения;
- тестирование обученных нейронных сетей;
- оценка погрешности прогнозирования и формулировка выводов [1, 3].

В качестве программного средства для проведения вычислительных экспериментов была использована система «Нейро-аналитик», разработанная на кафедре информационных систем в экономике Алтайского государственного технического университета им. И.И. Ползунова.

В качестве исходных данных был взят временной ряд, отображающий количество покупателей за период с 01.12.2013 по 01.11.2018. Исходные данные приведены в таблице 1. С целью соблюдения корректности представления данных, которые могут являться коммерческой тайной, содержимое таблицы было намеренно искажено.

Таблица 1. Временной ряд «Количество покупателей магазина крупной торговой сети N за период с 01.12.2013 по 01.11.2018»

Дата	Кол-во покупателей	Дата	Кол-во покупателей	Дата	Кол-во покупателей
01.12.2013	X0X0X	01.08.2015	XXXXX5	01.04.2017	XXXXXX
01.01.2014	5X2X2	01.09.2015	X1X2X	01.05.2017	XX21X
01.02.2014	51XXX	01.10.2015	X5XXX	01.06.2017	XXX5X
01.03.2014	5XXXX	01.11.2015	XX20X	01.07.2017	X50X2
01.04.2014	5XX5X	01.12.2015	XXXXX2	01.08.2017	XXX52
01.05.2014	5X021	01.01.2016	X2X52	01.09.2017	X22XX
01.06.2014	5X50X	01.02.2016	X2102	01.10.2017	XXXXXX
01.07.2014	5X51X	01.03.2016	X5XXX	01.11.2017	XX5XX
01.08.2014	5X0X5	01.04.2016	X5X20	01.12.2017	XX0XX
01.09.2014	XXX5X	01.05.2016	XX5XX	01.01.2018	X2005
01.10.2014	52X22	01.06.2016	XX1XX	01.02.2018	X251X
01.11.2014	501XX	01.07.2016	XX2XX	01.03.2018	XX0X2
01.12.2014	52X2X	01.08.2016	X120X	01.04.2018	XXXXX2
01.01.2015	XXXXX0	01.09.2016	XXXXXX	01.05.2018	XXXXXX
01.02.2015	XX2X2	01.10.2016	X1XX1	01.06.2018	XXX5X
01.03.2015	50XXX	01.11.2016	X5X02	01.07.2018	XXXXXX
01.04.2015	XXX5X	01.12.2016	1X50X	01.08.2018	X55XX
01.05.2015	XXX11	01.01.2017	X2X51	01.09.2018	X11XX
01.06.2015	XX01X	01.02.2017	X20X5	01.10.2018	X5X2X
01.07.2015	XXXXXX	01.03.2017	XX1XX	01.11.2018	XXX1X

Весь временной ряд был разбит на два фрагмента: для целей обучения сети и для целей тестирования. Всего нами было проведено более 50 экспериментов. В каждом эксперименте выбирались различные методы и параметры преобразования ряда, фильтрации ряда, варьировалась глубина погружения. Примеры результатов вычислительных экспериментов, ошибка прогнозирования в которых не превышает 4%, приведены в таблице 2.

Таблица 2. Результаты вычислительных экспериментов

№	Метод преобразования ряда	Метод фильтрации, параметры	Глубина погружения	Ошибка прогноз- ния	Ошибка прогноз- ния в %
1	Не преобразовывать	Линейная локальная фильтрация (ширина окна = 1)	5	1685,569	3,60%
2			10	1150,893	2,46%
3		Линейная локальная фильтрация (ширина окна = 3)	15	1779,96	3,80%
4		Экспоненциальное скользящее среднее (коэффициент 'сглаженно- сти' = 2)	5	1693,357	3,62%
5		Фильтр Хемминга	5	1305,932	2,79%
6			10	1618,386	3,46%
7		Фильтр Хемминга (слои 1-5; 2-5; 3-5)	5	1641,841	3,51%
8		Фильтр Хемминга (слои 1-5; 2-5; 3-1)	5	1362,593	3,27%
9		Фильтр Хемминга (слои 1-5; 2-5; 3-5; 4-5)	5	1531,646	3,27%
10		Медианное сглаживание (ширина окна = 1)	5	1268,308	2,71%
11		Медианное сглаживание (ширина окна = 2)	5	1463,122	3,13%
12		Медианное сглаживание (ширина окна = 3)	5	1557,995	3,33%
13	$X(i)-X(i-1)$	Экспоненциальное скользящее среднее (коэффициент 'сглаженно- сти' = 2)	5	1078,544	2,31%
14		Экспоненциальное скользящее среднее (коэффициент 'сглаженно- сти' = 4)		1458,52	3,12%
15		Фильтр Хемминга	5	1678,182	3,59%
16		Медианное сглаживание (ширина окна = 1)	5	1627,59	3,48%
17	$\frac{X(i)-X(i-1)}{X(i)}$	Фильтр Хемминга	5	1314,048	2,81%
18		Вейвлет-преобразование (глубина разложения = 1, порядок вейвлета = 4)	5	1851,506	3,96%
19		Медианное сглаживание (ширина окна = 1)	5	1866,416	3,99%

Из таблицы 2 видно, что наименьший процент ошибки, который удалось получить, равен 2,31% (при преобразовании исходного ряда методом $X(i)-X(i)$, фильтрации методом экспоненциального скользящего среднего с коэффициентом сглаженности 2 и глубиной погружения равной 5).

Фрагмент тестовой выборки приведен в таблице 3, график временного ряда исходного и прогнозного – на рис. 1. Красной рамкой выделены последние 5 значений, на которых проводилось тестирование.

Таблица 3. **Фрагмент тестовой выборки**

Дата	Количество покупателей	Результат прогнозирования	Отклонение
01.07.2018	X687X	X6372,39	501,61
01.08.2018	X5538	X576X,33	226,33
01.09.2018	X1173	X0898,57	274,43
01.10.2018	X5928	X185X,25	4073,75
01.11.2018	X3617	X3300,X	316,6
Ошибка прогнозирования			1078,544
Ошибка прогнозирования в %			2,31%

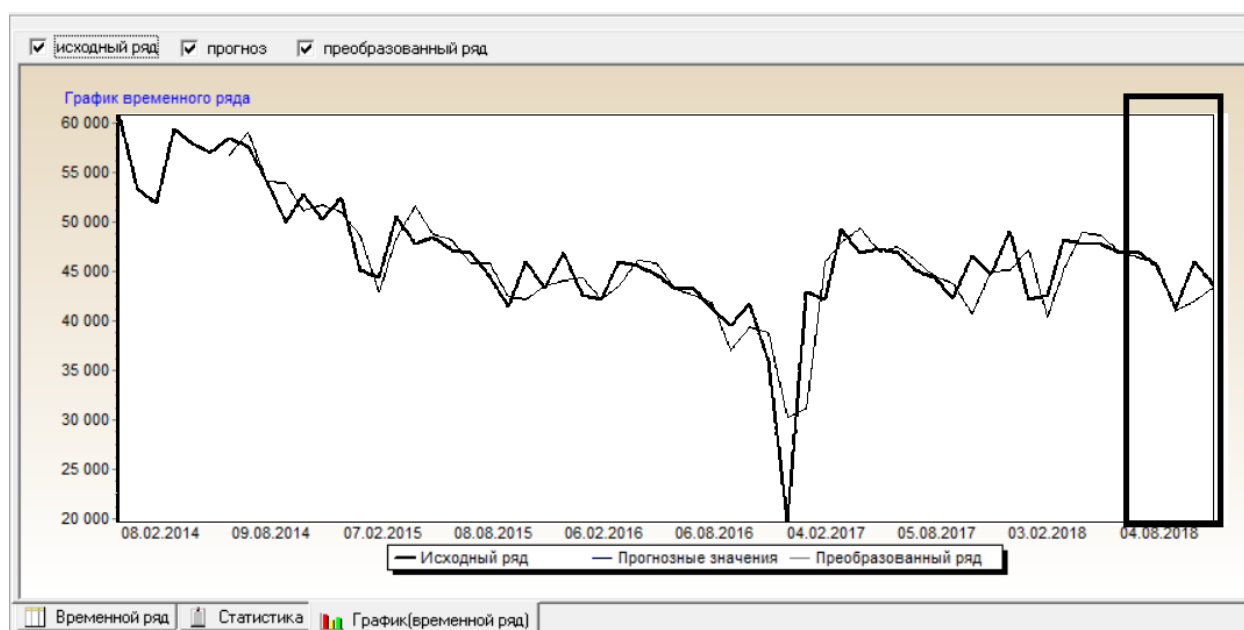


Рис. 1. График временной ряда (исходные и прогнозные значения)

Внедрение построенной модели прогнозирования продаж позволит предсказать уровень притока и оттока покупателей в различные сезоны года [4].

В перспективе планируется построить модели прогнозирования объемов продаж отдельно по каждой товарной группе, причем как в количественном выражении, так и в денежном (выручке). Мы планируем продолжать наше исследование спроса на продовольственную продукцию дальше, пла-

нируем построить модели прогнозирования объемов продаж на основе данных о географическом месторасположении магазинов.

Список литературы

1. Горбань А.Н. Обучение нейронных сетей / А.Н. Горбань. - М.: изд. СССР-США СП "ParaGraph", 1990. - 159с.
2. Калина А. В., Конева М. И., Яценко В. А. Современный экономический анализ и прогнозирование. - 3 изд. - Киев: «МАУП», 2003. - 416 с.
3. Миркес Е.М. Нейрокомпьютер. Проект стандарта / Е.М. Миркес. - Новосибирск: Наука. Сибирское предприятие РАН, 1999. - 337с.
4. Литвинова А.А., Забнин С.А. Автоматизированная система прогнозирования объемов продаж оптовой торговой компании с учетом сезонности // Научный результат. Информационные технологии. - Т.4, №1, 2019
5. Васильев А.А. Гибридные модели прогнозирования объема продаж нового товара с использованием оценок на основе порядковых статистик // Современные научные исследования и инновации. 2014. № 8. Ч. 2

Окунев А.Г.^{1,2,3}, к.х.н., проректор по программам развития, с.н.с., okunev73@mail.ru

Нартова А.В.^{2,1}, к.х.н., доцент, с.н.с., avnartova@gmail.com

Лиз М.Ф.^{1,4}, магистрант, дата-аналитик, lizmisha@yandex.ru

Матвеев А.В.^{1,2}, к.х.н., с.н.с., matveev.nsu@mail.ru

¹Новосибирский государственный университет, г. Новосибирск, Россия

²Институт катализа им. Г.К. Борескова СО РАН, г. Новосибирск, Россия

³Высший колледж информатики НГУ, г. Новосибирск, Россия

⁴Центр финансовых технологий, г. Новосибирск, Россия

АВТОМАТИЧЕСКОЕ РАСПОЗНАВАНИЕ НАНОЧАСТИЦ НА ИЗОБРАЖЕНИЯХ СКАНИРУЮЩЕЙ ЗОНДОВОЙ МИКРОСКОПИИ С ПОМОЩЬЮ РАЗЛИЧНЫХ МЕТОДОВ ГЛУБОКОГО МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ

Аннотация: В работе представлены результаты применения методов глубокого обучения для автоматического поиска наночастиц платины, нанесенных на поверхность высокоориентированного пиролитического графита (ВОПГ), на изображениях сканирующего туннельного микроскопа (СТМ). В работе использовались нейронные сети CascadeRCNN, UNet, Linknet и FPN на разных энкодерах (resnet34, resnet50, se_resnext50, resnext101). Обучение сети осуществлялось на массиве данных, содержащих 10 СТМ-изображений с 1918 наночастицами. Для верификации использовали 5 изображений с 2052 наночастицами. В результате, обученная нейронная сеть способна распознавать наночастицы с точностью более 50%. Наночастицы указываются как четкие контуры, что необходимо для дальнейшей обработки результатов. Проведено сравнение полученных результатов с результатами использования других программных продуктов. Показано преимущество применения методов глубокого машинного обучения для автоматического поиска частиц.

Ключевые слова: распознавание образов, глубокие нейронные сети, сканирующая туннельная микроскопия, наночастицы

RECOGNITION OF NANOPARTICLES ON SCANNING PROBE MICROSCOPY IMAGES USING COMPUTER VISION AND DEEP MACHINE LEARNING

Okunev A.G.^{1,2,3}, Dr., vice-rector for development programs, senior researcher, okunev73@mail.ru

Nartova A.V.^{2,1}, Dr., associate Professor, senior researcher, avnartova@gmail.com

Liz M.F.^{1,4}, undergraduate, data-analyst, lizmisha@yandex.ru

Matveev A.V.^{1,2}, Dr., senior researcher, matveev.nsu@mail.ru

¹Novosibirsk state University, Novosibirsk, Russia

Abstract: Identifying and counting individual particles is an important component of many studies in various explorations. In the paper we present the results of the application of deep learning methods for the automated recognition of platinum nanoparticles deposited on highly oriented pyrolytic graphite (HOPG) on images obtained by scanning tunneling microscopy (STM). We used the neural network CascadeRCNN with different architectures for segmentation (Unet and FPN) on different encoders (resnet34, se_resnext50, efficientnet-b3). The training was performed on a data set containing 10 STM images with 1918 nanoparticles. Five images containing 2052 nanoparticles were used for verification. As a result, the trained neural network recognized nanoparticles in verification set with accuracy higher than 50%. Nanoparticles were specified as distinct contours, which were necessary for further determination of the particles dimensions (size, height etc.). The obtained results were compared with the possibilities of other software products. The advantage of using deep machine learning methods for automatic particle recognition is clearly shown.

Key words: particles recognition, deep neural networks, scanning tunneling microscopy, nanoparticles

В гетерогенном катализе катализатор состоит из системы неактивного носителя и нанесенного на него активного компонента, часто в виде наночастиц, на которых проходит каталитическая реакция. Одной из основных характеристик активности катализатора является «частота оборота» реакции (turnover frequency, TOF), определяемой как количество продукта, полученного на одном активном центре в единицу времени. Для расчета TOF необходимым является определение геометрических параметров частиц (количество, размер, площадь), для чего используют различные физико-химические методы исследования. Кроме того, для определения статистических параметров наночастиц нужно обрабатывать не менее 100 наночастиц. В случае применения зондовых методов широкое распространение получил программный продукт WSxM [1], с помощью которого можно проводить измерение параметров частиц оператором вручную. Между тем, начиная с 2012 г. активно развивается новый подход к анализу изображений, который: а) позволяет учитывать контекст, в котором находится объект; б) позволяет использовать изображения с размеченными объектами для обучения распознающего программного обеспечения в автоматическом режиме. В основе нового подхода лежит применение глубоких сверточных нейронных сетей [2].

Цель данной работы заключается в разработке сервиса для автоматической обработки изображений сканирующей туннельной микроскопии, поиска

на них наночастиц и определения их размера с помощью методов глубокого машинного обучения.

В работе использовали модельный катализатор – наночастицы платины, нанесенные на высокоориентированный пиролитический графит (ВОПГ). Нанесение частиц осуществлялось методом термического напыления в вакууме [3].

Тренировочный сет содержал 10 размеченных СТМ-изображений с 1918 наночастицами. Для верификации обученной сети использовали 5 изображений с 2052 частицами, определенных оператором. В работе использовались нейронные сети CascadeRCNN, UNet, Linknet и FPN на разных энкодерах (resnet34, resnet50, se_resnext50, resnext101). Нейронная сеть была дообучена на 10 тренировочных изображениях в течение 500 эпох со скоростью обучения 0.001 в эпохах 0-99, 0.0001 в эпохах 100-250 и 0.00001 далее. В качестве метрики качества предсказания наночастиц использовали среднюю усредненную точность – mAP [6] с набором пороговых значений [0.5, 0.55, 0.6, 0.65, 0.7, 0.75, 0.8, 0.85, 0.9, 0.95]. Обучение и распознавание проводили на графическом сервере ВКИ НГУ HPE Apollo 6500 Gen10 с 8-ю графическими ускорителями NVIDIA Tesla V-100.

Результат поиска наночастиц обученной нейронной сетью представлен на рис. 1, б). Показано также: а) исходное изображение и в) разметка оператором. Видно, что частицы четко определены, каждая из них является объектом, что необходимо для дальнейшей работы с ними.

Как правило, изображения частиц, которых сеть не определила, низкого качества, и требуют доопределения оператором. Из 254 частиц, размеченных оператором, сетью найдено 175, точность обнаружения составляет 68 %. В целом, на 5 изображениях, используемых для верификации, из 2052 частиц, размеченных оператором, нейронной сетью найдено 1043, таким образом точность определения составляет 50,8%. Наблюдается хорошее совпадение mAP для тестового и тренировочного датасетов, что свидетельствует об отсутствии переобучения сети.

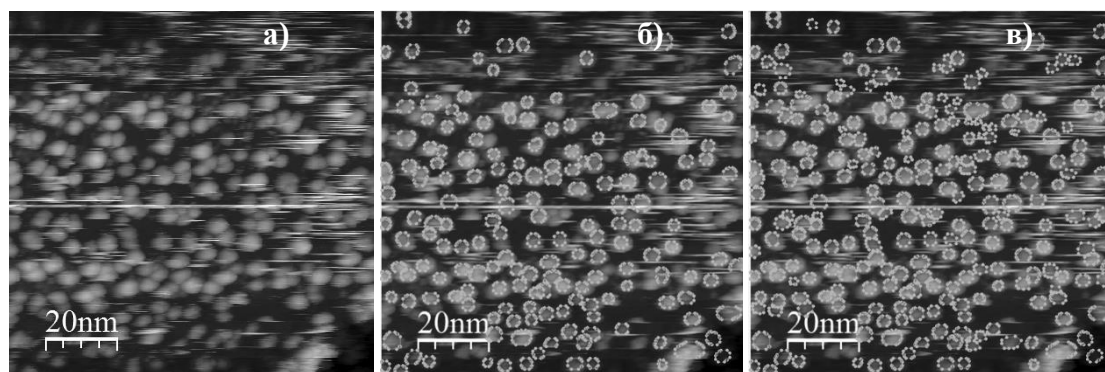


Рис.1. СТМ-изображения наночастиц платины, нанесенных на ВОПГ: а) исходное изображение; б) результат автоматического поиска частиц обученной нейронной сетью, 175 частиц; в) частицы, дополнительно размеченные оператором, всего 254 шт.

Сравнение результатов работы обученной нами нейронной сети с результатами других программ, не использующих глубокой машинное обучение, показывает следующее. Качество определения контура программами Altami Studio 3.5.0. и WSxM на наших изображениях низкое. Снижает результативность программы отсутствие четких контуров частиц и зашумленность исходных данных. Кроме того, контуры не определяются как объекты, что значительно снижает возможность использования результатов программы для дальнейшего автоматического определения размера частиц. В то же время, нейронная сеть может определять наночастицы с хорошей точностью. Не определяются частицы, изображение которых очень низкого качества и требует принятия решения оператором. Кроме того, применение нейронной сети позволяет определять частицы как объекты, что необходимо для дальнейшей работы по уточнению контура наночастиц, автоматическому определению их размера и статистической обработке результатов – получения распределения частиц по размеру и других характеристик.

Работа частично выполнена в рамках государственного задания ФГБУН ФИЦ ИК СО РАН (проект № 0303-2016-0001), а также поддержана из средств Программы повышения международной конкурентоспособности НГУ, 4 этап.

Список литературы

1. Horcas I., Fernandez R., Gomez-Rodriguez J.M., Colchero J., Gomez-Herrero J., Baro A.M. WSXM: a software for scanning probe microscopy and a tool for nanotechnology // Rev. Sci. Instrum., 78, 2007. – pp. 013705-1–013705-8.
2. Krizhevsky A., Sutskever I., Hinton G. Imagenet classification with deep convolutional neural networks // NIPS, 2012.
3. Smirnov M.Y., Vovk E.I., Nartova A.V., Kalinkin A.V., Bukhtiyarov V.I. An XPS and STM Study of Oxidized Platinum Particles Formed by the Interaction between Pt/HOPG with NO₂ // Kinetics and Catalysis, 59, 2018. – pp. 653-662.
4. Cai Zh., Vasconcelos N. Cascade r-cnn: Delving into high quality object detection // IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition. 2018.
5. Lin T.Y., Maire M., Belongie S., Hays J., Perona P., Ramanan D., Doll'ar P., Zitnick C.L. Microsoft coco: Common objects in context. European Conference on Computer Vision, 2014.
6. Everingham M., Van Gool L., Williams C.K.I., Winn J., Zisserman A. The pascal visual object classes (voc) challenge. International Journal of Computer Vision 88, 2010. pp. 303-338.

А.П. Раевич, аспирант, raevich.ap@yandex.ru
Б.С. Добронетц, д-р.физ-мат.наук, профессор, bdobronets@yandex.ru
Сибирский федеральный университет, г. Красноярск, Россия

ПРИМЕНЕНИЕ ОПЕРАТИВНЫХ ВИТРИН ДАННЫХ ДЛЯ ОБРАБОТКИ БОЛЬШИХ ДАННЫХ

Аннотация: Интеграция аналитических систем с хранилищами данных направлено на многомерное моделирование данных, которое обеспечивает быстроту выполнения аналитических запросов, но обладает существенными недостатками при работе с большими данными. В статье предложен подход к построению концептуальной модели оперативных витрин данных, которые используются для построения информационных срезов узконаправленной, тематической информации, призванных решать проблему оперативного доступа к источникам больших данных за счет консолидации и ранжирования информационных ресурсов по уровню востребованности.

Ключевые слова: большие данные, оперативно-аналитические витрины данных

USING OPERATIONAL DATA MARTS FOR BIG DATA PROCESSING

A.P. Raevich, postgraduate, raevich.ap@yandex.ru
B.S. Dobronets, doctor of physics and mathematics, professor, bdobronets@yandex.ru
Siberian Federal University, Krasnoyarsk city, Russia

Abstract: Integration of analytical systems with data warehouses aims to modeling multi dimensional data, which provides quick execution of analytical queries, but has significant drawbacks when working with big data. The article proposes an approach to constructing a conceptual model of operational data marts, which are used to build information slices of narrow-purpose, thematic information designed to address the problem of operational access to big data sources by consolidating and ranking information resources by demand.

Key words: big data, operational-analytical data marts

Чтобы довести информацию до уровня интеллектуальных знаний посредством инструментария ВІ пользователям требуются в работе не только агрегированные данные, но и детальные: для проверки гипотез, поиска скрытых закономерностей, построения трендов и многих других аналитических задач [1,2].

Концепция оперативных витрин данных призвана решать задачи доступности большого количества источников, а также доступности источников больших данных, когда количество источников и размерности данных сводятся к минимально необходимым наборам, что позволяет строить выборки данных и получать результат в режиме близкому к реальному времени [3].

Витрины данных (DataMarts) рассматриваются как логически и физически разделенные подмножества данных, представленные в виде срезовых массивов тематической, узконаправленной информации, ориентированной на потребности определенной группы пользователей [4] (рис. 1).

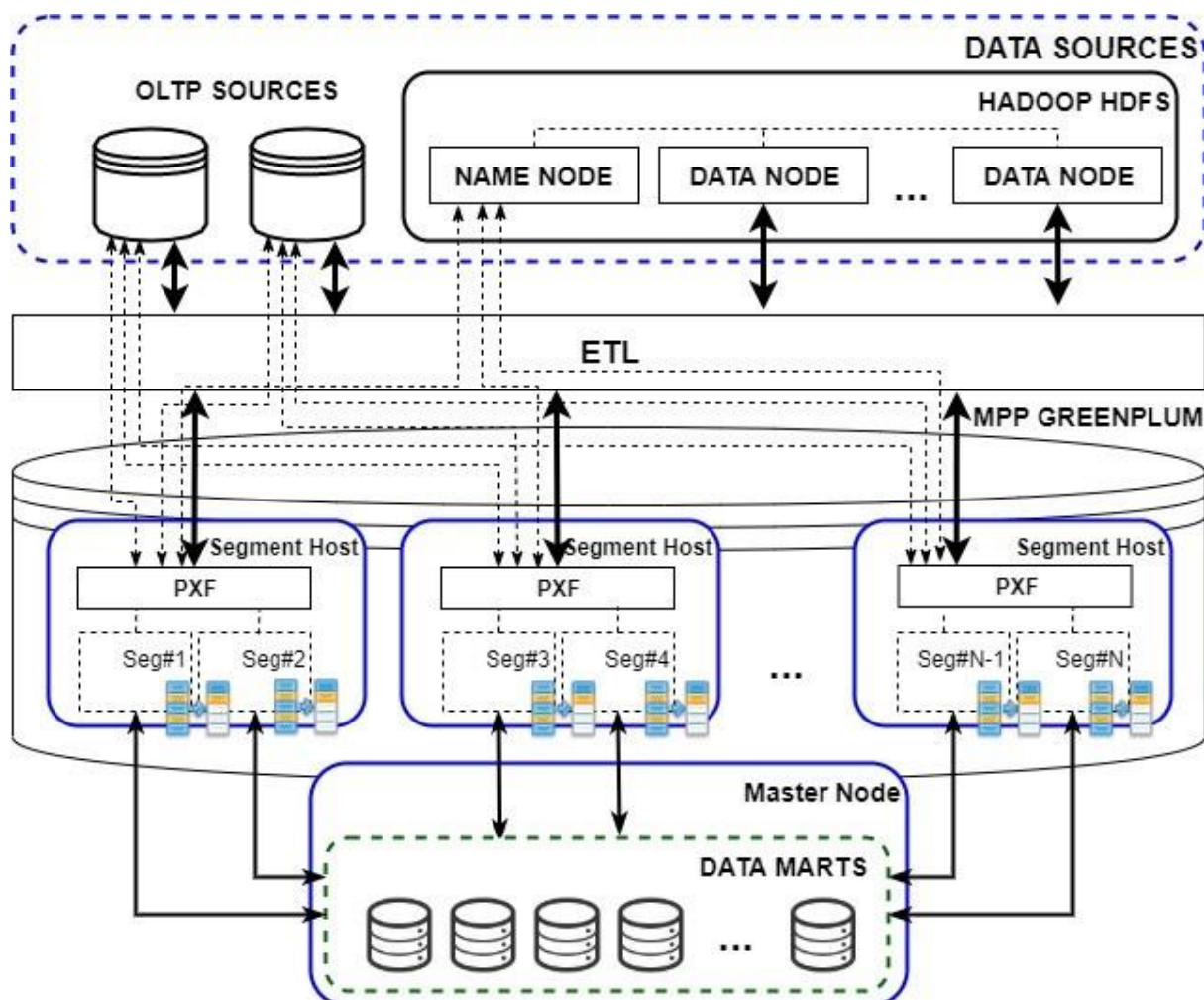


Рис. 1. Хранилище оперативных витрин данных

В стандартном моделировании каждая сущность или объект реального мира может быть представлен в виде отдельной таблицы с множеством аргументов. Таблица источника данных как элемент информационного ресурса может быть обозначена $IR = \{ir_1, ir_2, \dots, ir_N\}$, $N = |IR|$, к которому требуется оперативный доступ от группы потребителей. Тогда информационный каталог ресурсов IR будет состоять из кортежа информационных ресурсов [5]:

$$IK = \langle IR_i \rangle, \forall ir_{ij} \in IR_i, j = 1...N \quad (1)$$

где IK – информационный каталог, в котором могут содержаться взаимосвязанные и не взаимосвязанные информационные ресурсы;

IR_i – i -й информационный ресурс, каждый j -й элемент которого ir_{ij} принадлежит одному из двух классов: классу нормативно-справочной информации NSI или классу детальных данных DD.

Поскольку востребованность различных элементов информационных ресурсов через запросы на выборку данных за длительный период времени T у разных групп пользователей будет отличаться, то для предопределенного временного периода $T = \langle t_1, ..., t_c \rangle$ может быть вычислена максимальная частота запросов к каждому элементу ir_{ij} :

$$f_{\max} = \max_T (\langle f_{t_1}(ir_{ij}), ..., f_{t_l}(ir_{ij}) \rangle) \quad (2)$$

где $f_{\max}$ – максимальное значение агрегатной функции для кортежа значений частот востребованности элементов информационных ресурсов; f_{t_l} – частота пользовательских обращений к ресурсу ir_{ij} в период t_l .

Загрузка наиболее востребованных таблиц в оперативное хранилище данных выполняется посредством фильтрации элементов информационного каталога с помощью нормализованного индекса w_c . Если все множество востребованности элементов информационного каталога $\{w_c\}$ рассматривать как базовую шкалу, то на ней можно построить следующие множества:

$$w_c \in \begin{cases} "H"; ir_{ij} \in \{NSI, DD\}; w_c \in [p_1...p_2) \\ "M"; ir_{ij} \in \{DD\}; w_c \in [p_2...p_3) \\ "L"; ir_{ij} \in \{DD\}; w_c \in [p_4...p_5] \end{cases} \quad (4)$$

где H – класс наиболее часто востребованных элементов информационных ресурсов, которые должны быть включены в оперативное хранилище. Элементы информационных ресурсов данного класса могут относиться к типам детальных данных $\{DD\}$ и нормативно-справочной информации $\{NSI\}$ (не учитывается частота востребованности ресурса);

M – класс со средней востребованностью информационного ресурса. Элементы информационных ресурсов данного класса, относящиеся к типам детальных данных $\{DD\}$, могут быть включены в оперативное хранилище, только при наличии свободных ресурсов хранилища;

L – класс элементов информационных ресурсов с низкой востребованностью со стороны потребителей детальных данных $\{DD\}$, не включаются в оперативное хранилище;

$\langle p_i \rangle$ - кортеж параметрических переменных, задающих разбиения всего интервала частот w_c на меньшие интервалы $p_1 < p_2 < p_3 < p_4$, которые не пересекаются.

В качестве хранилища для оперативных витрин данных используется система на массивно параллельной архитектуре MPP GreenPlum. Заложенная в программно-аппаратном комплексе GreenPlum Database архитектура основана на разбиении полного массива данных на отдельные сегменты, работа с которыми может выполняться одновременно.

Архитектура GreenPlum изначально разрабатывалась для бизнес-аналитики и аналитической обработки данных на стандартном оборудовании. Сегменты данных автоматически распределяются между несколькими серверами сегментов, каждый из которых владеет и управляет отдельной частью общего массива данных.

Конфигурация «segment node»: [CPU] XEON 12 ядер 2.66GHz [RAM] 64GB [HDD] Hitachi scsi 3x146GB 10000rpm RAID-5. Сконфигурировано 36 сегментов (по 12 на сервер).

Конфигурация «master node»: [CPU] XEON 6 ядер 2.66GHz [RAM] 64GB [HDD] Hitachi scsi 146GB 10000rpm.

Результаты выполнения тестовых операций выгрузки срезовых массивов тематической информации из источника Hadoop Apache Hive в витрину GreenPlum представлены в Таблице 1.

Таблица 1. **Время выполнения тестовых операций на кластере GreenPlum**

Операция	Среднее время выполнения, мс
Создание external table для hive data warehouse для тестового набора данных 585 000 000 строк, 50 столбцов (int, float, text, datetime)	160.262
Создание физической таблицы distributed randomly из external table в 1Gbit сети	1733700.608
Выполнение операций join тестовых наборов 505 000 000 и 7 757 000 000 записей физически распределенных на сегментах по ключу randomly	884237.118
Сортировка сгенерированного массива 7 700 000 000 строк по одному полю	761334.002

Невозможность оперативной загрузки больших объемов данных из источников для анализа нивелируется использованием оперативного хранилища витрин данных, которое может быть инициализировано посредством полной выгрузки срезовых массивов данных, так и посредством частичной (инкрементальной) догрузки.

Кластер Greenplum в качестве оперативного хранилища витрин данных позволяет эффективно работать с большими данными выполняя параллельную обработку данных из источников на сегментах кластера.

Список литературы

1. Головина Т.А., Романчин В.И., Закиров А.И. Развитие технологий бизнес-аналитики на основе концепции Business Intelligence // Известия Тульского государственного университета. Экономические и юридические науки. 2014. № 5-1. С. 416-424.
2. Лубенец Н. А., Улитина Т. И., Акимова А. О. Современные ИТ-инструменты инновационного развития компании //Экономические аспекты технологического развития современной промышленности. – 2017. – С. 105-111.
3. Ахрем А. А., Рахманкулов В. З., Южанин К. В. О сложности редукции моделей многомерных данных //Искусственный интеллект и принятие решений. – 2016. – №. 4. – С. 79-85.
4. Орешков В. И., Паклин Н. Б. Бизнес-аналитика: от данных к знаниям //ИД «Питер». – 2013.
5. Раевич А. П., Добронец Б. С. Разработка концептуальной модели оперативно-аналитических витрин данных //Моделирование, оптимизация и информационные технологии. – 2019. – Т. 7. – №. 4. – С. 1-13.

АНАЛИЗ РЕНТГЕНОВСКИХ СНИМКОВ С ПОМОЩЬЮ СВЕРТОЧНЫХ НЕЙРОСЕТЕЙ

Аннотация: В данной статье рассмотрена задача анализа рентгеновских снимков и представлено краткое описание структуры сверточной нейронной сети. Проведен обзор различных архитектур сверточных нейронных сетей. Все рассмотренные сети были заранее обучены.

Ключевые слова: рентгеновский снимок, нейросеть, сверточная нейросеть.

ANALYSIS OF X-RAY IMAGES USING CONVOLUTIONAL NEURAL NETWORKS

A.A. Russkina, student, russkina1998@yandex.ru
Siberian Federal University, Krasnoyarsk, Russia

Annotation: In this article the problem of x-ray images analysis and preliminary description of convolutional neural network structure is considered. The review of various architectural convolutional neural networks is carried out. All networks considered were pre-trained.

Keywords: x-ray image, neural network, convolutional neural network

Основной задачей диагностической радиологии является выявление патологических аномалий в изображениях высокого разрешения (рентгенограммы). Такие изображения существенно различаются в зависимости от заболевания пациента и исследуемого участка тела. Рентгенограммы, обладая широкой информацией, позволяют выявлять болезни на ранних стадиях и ставить точные диагнозы, а также наблюдать за динамикой лечения. Пример рентгенограммы грудного отдела человека показан на рисунке 1. Врач-рентгенолог, основываясь на данных рентгенограммы, принимает решение о состоянии здоровья пациента. При большом количестве пациентов или нехватке врачей рентгенологов может возникать снижение качества обработки информации, содержащейся в рентгенограмме [3]. Например, в густонаселенных районах, а также в районах, где отсутствуют достаточно специалистов в области медицины, врач-рентгенолог вынужден изучать большое ко-

личество снимков ежедневно. Использование методов компьютерного зрения для автоматизированного распознавания заболеваний по рентгеновским снимкам позволит решить указанную выше проблему.



Рис.1. Пример рентгенограммы

Сверточные нейронные сети, которые занимают одну из первых позиций, среди программных средств, применяемых для обработки и анализа изображений. Сверточные нейросети (Convolution Neural Networks, CNN) являются одной из разновидностей нейронных сетей и в общем виде представлены на рисунке 2. Слои CNN состоят из нейронов, которые располагаются в трех измерениях: ширине, высоте и глубине. Основные слои нейронной сети представлены сверточным слоем (convolution), субдискретизирующим (pooling) и полносвязным [1].

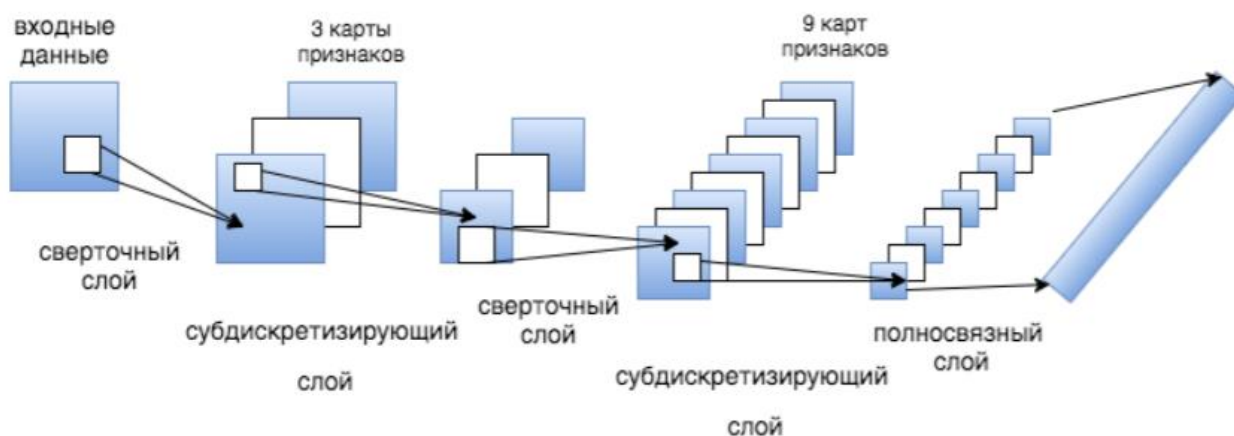


Рис. 2. Сверточная нейросеть

Сверточный слой накладывает ядро свертки, поэлементно умножая значения фильтра и изображения, и записывает сумму произведений элементов исходного изображения и ядра. Ядро представляет собой фильтр или окно, которое перемещается по всей области предыдущей карты, находя определенные признаки объектов. Как правило, применяется сразу несколько ядер свертки. Результатом работы данного слоя становятся карты признаков. Полносвязный слой берёт входные данные и выводит N -пространственный вектор, где N — число классов, из которых нейронная сеть классифицирует

объекты. Работа полносвязного слоя осуществляется через обращение к выходу предыдущего слоя и определение свойств, связанных с определенным классом. На вход нейросети подаются тензоры, т. е. трехмерный вектор, которой содержит в себе информацию о ширине и высоте изображения, а также о количестве его каналов [6].

Существует достаточно готовых архитектур нейронных сетей для задачи анализа изображений. Первая из которых GoogLeNet [4], представляет собой сверточную нейронную сеть, которая увеличивается не только в глубину, но и в ширину, путем параллельного использования сверток разного масштаба. Сеть состоит 9 блоков называемых «inception» (рис. 3). В данных моделях используются свертки 1×1 , чтобы уменьшать размерность тензоров, которые будут подаваться на вход следующему слою. Данная нейросеть показала высокую степень обучаемости в рамках распознавания аномалий на рентгеновских снимках, что обеспечивает высокую точность постановки диагноза [2]. При работе с медицинскими изображениями обеспечение высокой точности постановки диагноза является особенно важным.

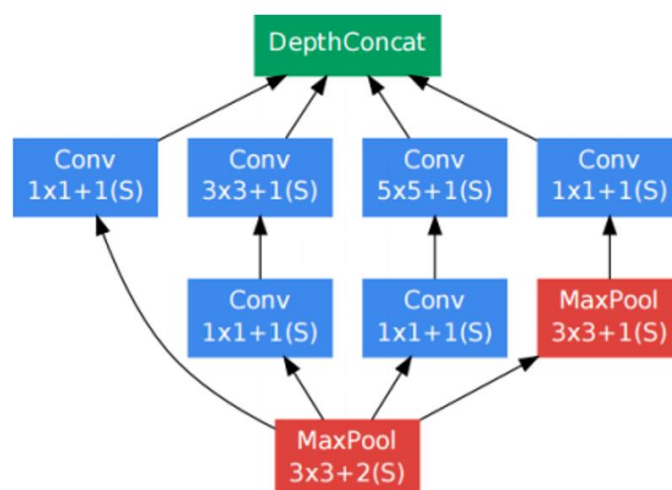


Рис.3. Модель одного блока «inception»

Другим способом организации сверточной нейронной сети является архитектура Inception V3[8] от Google. Это 3-я версия в серии сверточных архитектур глубокого обучения. Inception V3 была обучена с использованием набора данных, состоящего из 1000 классов. В данной версии появились факторизованные свертки 7×7 и сглаживание меток (тип регуляризующего компонента, добавляемого к формуле потерь, который не позволяет сети быть слишком уверенной в классе) [5].

Широко применяемой в анализе изображения является архитектура ResNet. Особенностью данной архитектуры является наличие пропускающего соединения (Shortcut Connections), изображённого на рисунке 4.

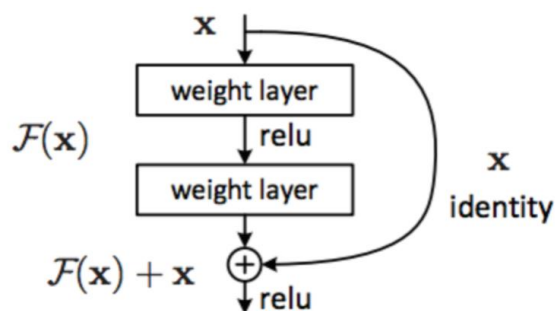


Рис.4. Пропускающее соединение

С помощью пропускающего соединения можно пропускать один или несколько слоев и выполнять сопоставление идентификаторов. Тем самым, ResNet позволяет оптимизировать: относительно «простые» сети, которые показывают большую ошибку обучения, при увеличении глубины сети. Архитектура ResNet стала победителем соревнования ImageNet 2015-ого года, показав 96.43% точности [7].

В данной статье представлен принцип работы сверточных нейросетей. Рассмотрены различные виды архитектур нейронных сетей, которые достигли высокой точности при распознавании изображений.

Список литературы

1. LeCun Y., Kavukcuoglu K., Farabet K. Convolutional networks and applications in vision // In International Symposium on Circuits and Systems, Paris, France, 2010. – pp. 253-256.
2. Rajkomar A., Lingam S., G. Taylor A., Blum M., Mongan J. High-Throughput Classification of Radiographs Using Deep Convolutional Neural Networks. // Journal of Digital Imaging. -№30. - 2016. – pp. 95-101.
3. Naicker S., Plange-Rhule J., Tutt R. C., Eastwood J. The shortage of health workers in developing countries of Africa. // Ethnicity & Disease. - №19. -2009. – pp. 1892-1900.
4. Szegedy C., Liu W., Jia Y., Sermanet P., Reed S., Anguelov D., Dumitru Erhan, Rabinovich A. Going deeper with convolutions //The IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, Boston, MA, USA, 2015 – pp. 1-9.
5. Szegedy C., Vanhoucke V., Ioffe S., Shlens J., Wojna Z. Rethinking the Inception Architecture for Computer Vision. // The IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, 2016 – pp. 2818 – 2826.
7. Сикорский О.С. Обзор свёрточных нейронных сетей для задачи классификации изображений // Новые информационные технологии в автоматизированных системах, 2017, № 20, 2017. - с. 37-42.
8. Официальный сайт Cloud.Google [Электронный ресурс]: режим доступа-<https://cloud.google.com/tpu/docs/inception-v3-advanced>.

В.В. Устименко, студент бакалавр, zeya1998@mail.ru
Д.С. Русин, студент бакалавр, rusin199812@mail.ru
А.В. Чубарь, канд.техн.наук., доцент, alexchub@mail.ru
Сибирский Федеральный университет, г. Красноярск, Россия

ПРИМЕНЕНИЕ ГЕНЕТИЧЕСКОГО АЛГОРИТМА ДЛЯ ОПТИМИЗАЦИИ ПАРАМЕТРОВ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ АВТОНОМНЫМ ОБЪЕКТОМ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СРЕДЫ ДИНАМИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ SIMINTECH

Аннотация: Рассматривается оптимизация параметров системы управления автономным объектом на примере системы управления угловым положением искусственного спутника Земли. В качестве метода многомерной оптимизации применяется генетический алгоритм. Процесс управления объектом реализован в среде динамического моделирования SimInTech

Ключевые слова: проектирование, визуальное моделирование, оптимизация, генетический алгоритм, SimInTech

APPLICATION OF THE GENETIC ALGORITHM TO OPTIMIZATION OF A SYSTEM OF CONTROLLING OF AN AUTONOMOUS OBJECT PARAMETERS WITH USING AN ENVIRONMENT OF DYNAMIC MODELLING SIMINTECH

V.V. Ustimenko, student, zeya1998@mail.ru
D.S. Rusin, student, rusin199812@mail.ru
A.V. Chubar, Ph.D., Associate Professor, alexchub@mail.ru
Siberian Federal University, Krasnoyarsk, Russia

Abstract: An autonomous object control is considered by the example of a system for controlling the angular position of an artificial Earth satellite. The genetic algorithm is used as a method of multidimensional optimization of object's parameters. The process of object controll in the SimInTech environment are shown.

Key words: designing, visual modeling, optimization, genetic algorithm, SiInTech

Генетический алгоритм (ГА), являясь разновидностью эволюционных вычислений, применяется для решения задач оптимизации и моделирования путем случайного подбора, комбинирования и вариации искомых параметров

с использованием механизмов, аналогичных естественному отбору в природе, таких как наследование, мутации, отбор и кроссинговер.

Генетические алгоритмы и их модификации, относят к «мягким» вычислениям, которые объединяют в себе такие области, как нечеткая логика, эволюционные алгоритмы, нейронные сети и вероятностные рассуждения.

Алгоритмы такого вида успешно применяются во многих отраслях деятельности (экономике, физике, технических науках и пр.), однако, чаще всего ГА используют в оптимизационных задачах, сутью которых является нахождение значений входных параметров, при которых целевая функция достигает минимального (максимального) значения.

Цель данной работы заключается в рассмотрении процесса работы генетического алгоритма в оптимизационной задаче на примере системы управления угловым положением искусственного спутника Земли (ИСЗ).

Система управления автономным объектом была реализована в среде динамического моделирования технических систем SimInTech (рис. 1), основными направлениями использования которой являются создание моделей, проектирование алгоритмов управления, их отладка на модели объекта, генерация исходного кода на языке Си для программируемых контроллеров. Среда SimInTech предназначена для детального исследования в системах автоматического управления, в следящих приводах и роботах, и в любых технических системах, описание динамики которых может быть представлено в виде системы дифференциально-алгебраических уравнений и/или реализовано методами структурного моделирования [1].

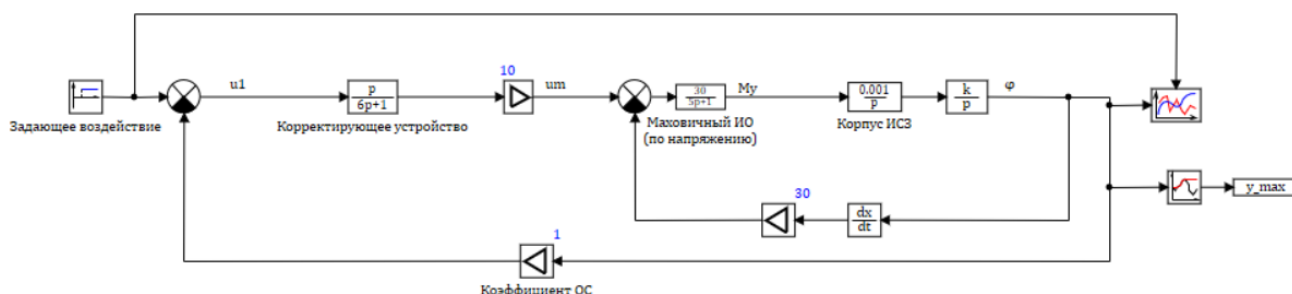


Рис. 1 Динамическая модель системы управления угловым положением ИСЗ

Функциональная схема и исходные данные автономного объекта представлены в работе [2]. Передаточная функция замкнутой цепи по задающему воздействию имеет вид:

$$\Phi_g^y = \frac{3}{150p^3 + 80p^2 + 37p + 12}$$

На рис. 2 представлен результат моделирования системы, из которого можно сделать вывод о том, что данная система имеет большую статическую ошибку регулирования - более 75%. Основная задача работы - уменьшить

данную ошибку, сократив время регулирования и не допустить значительно-го перерегулирования системы или вовсе реализовать его отсутствие.

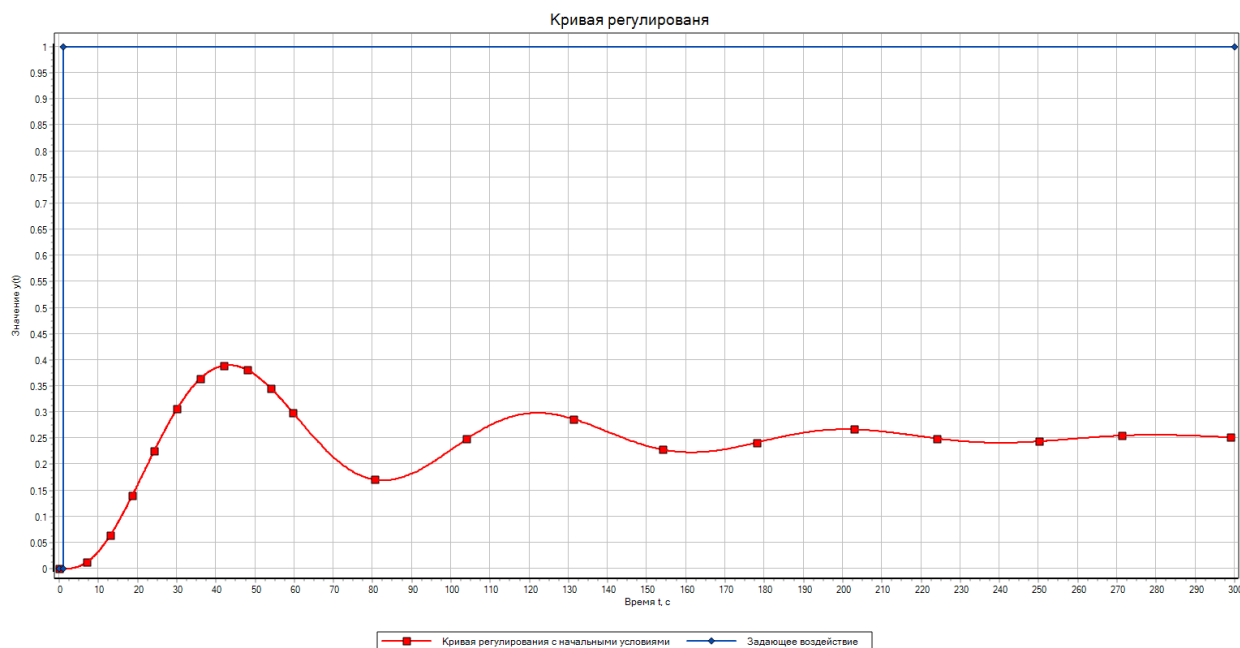


Рис. 2 - Результаты моделирования системы

Для начала оптимизируем процесс моделирования, добавив в модель дискретный пропорционально-интегрально-дифференцирующий регулятор (рис. 3). ПИД- регулятор представлен на схеме стандартным блоком библиотеки «Дискретные» - «Дискретный ПИД-регулятор».

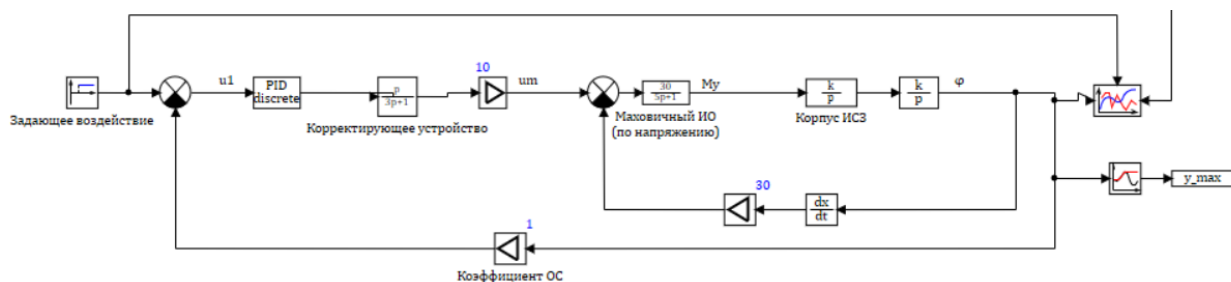


Рис. 3 Динамическая модель системы управления угловым положением ИСЗ с применением ПИД-регулятора

На рис.4 представлен результат моделирования системы с применение ПИД-регулятора, а также без его использования. Параметры ПИД-регулятора получены путем оптимизации симплекс-методом в среде SimInTech и соответственно равны: $K_p - 1,50$; $K_i - 0,07$; $K_d - 5,00$ [3].

Для решения поставленной задачи сокращения времени регулирования и реализации отсутствия перерегулирования пропустим передаточную функцию через генетический алгоритм. Параметры регулятора K_p , K_i , K_d – пропорциональная, интегральная и дифференциальная составляющие соответ-

ственно являются параметрами, подлежащими оптимизации генетическим алгоритмом в данной работе.

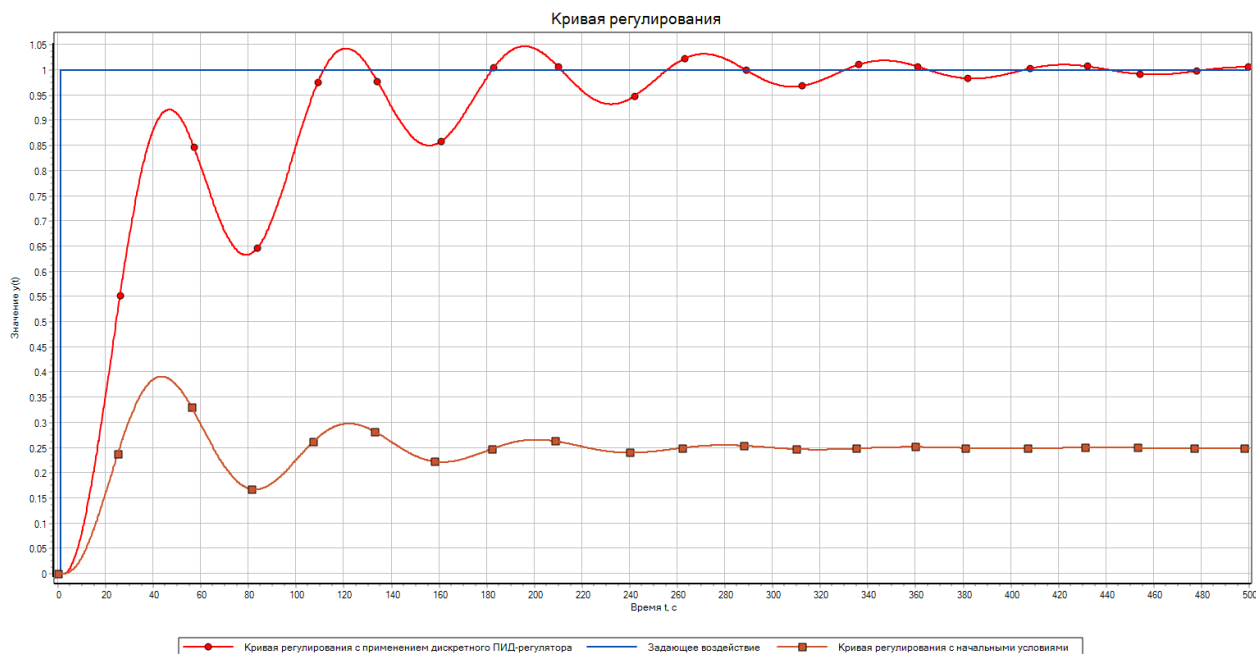


Рис. 4 - Результаты моделирования системы

Для точности, предположим, что данные параметры не будут принимать исключительно целочисленные значения и будут варьироваться в разных пределах: K_p - $[0,0; 3,0]$, K_i - $[0,0; 0,1]$, K_d - $[0,0; 50,0]$.

На первом этапе случайным образом будут выбраны три числа на заданных отрезках, которые будут рассматриваться в качестве пробных решений задачи. Данные пробные решения будут преобразованы в двоичную форму. Одно пробное решение, записанное в двоичной форме, принято называть хромосомой, а набор всех пробных решений – популяцией. Основной идеей ГА является организация «борьбы за существование» и «естественного отбора» среди этих пробных решений, в результате которой выживет лишь наиболее приспособленное. В нашем случае приспособленность особи определяется показателями качества регулирования: чем меньше перерегулирование и длительность переходного процесса и чем ближе установившееся значение к заданному, тем более приспособленной является особь [4].

Далее наступает процесс размножения – на основе исходной популяции будет создана новая, пробные решения которой будут максимально, насколько это возможно, приближены к требуемым значениям. Для этого образуются брачные пары, которые скрещивают между собой: в соответствии каждой особи исходной популяции ставится другая особь, определяемая случайным образом. Процесс размножения заключается в обмене участками хромосом между родителями, в результате чего образуются два новых потомка.

Следующим шагом в работе генетического алгоритма является процесс мутации, то есть случайные изменения полученные в результате скрещивания хромосом. Вероятность мутации равна 0,05. Для каждого потомка будет выбрано случайное число на отрезке $[0;1]$ и если это число меньше вероятности мутации, то случайно выбранный ген будет инвертирован – 0 будет заменен 1 и наоборот. В результате мутации изменению может быть подвергнут любой разряд, в том числе, старший. Однако, стоит отметить, что мутация может как улучшить, так и ухудшить приспособленность особи. Таким образом, если скрещивание приводит к относительно небольшим изменениям пробных решений, то мутации могут привести к существенным изменениям.

Теперь из особей-родителей и полученных особей потомков необходимо сформировать новую популяцию. В новую популяцию отберем 10 наиболее приспособленных особей из числа «старых» особей и особей-потомков. В результате получим новое поколение, которое можно будет вновь подвергнуть кроссинговеру, мутации и отбору особей в новое поколение. Таким образом, через несколько поколений мы получим популяцию из похожих и наиболее приспособленных особей. Значение приспособленности наиболее «хорошей» особи и будет являться решением поставленной задачи.

Генетический алгоритм в работе был реализован на языке Python, а связь между программой, реализующей ГА и программой, реализующей процесс моделирования, установлена путем передачи данных через файл расширения .csv. Среда SimInTech получала на вход файл с тремя параметрами K_p , K_i , K_d , которые передавала в созданную базу данных. Считывание системой параметров из базы данных приводило к изменению характеристики переходного процесса. Данные о результате переходного процесса, его изменения по осям X и Y передавались обратно в программу и обрабатывались алгоритмом: прослеживалось установившееся значения (насколько оно было приближено к заданному), а также время регулирования – время, за которое величина системы начинает отклоняться от установившегося значения менее чем на 5%.

В результате применения генетического алгоритма уже на 3 итерации были получены параметры ПИД-регулятора, которые можно назвать удовлетворяющими. При этом можно проследить каким образом изменялся переходный процесс (рис. 5).

Наилучший результат был достигнут, при следующих коэффициентах регулятора: $K_p = 0,20547945$; $K_i = 0,09448819$; $K_d = 27,01745819$. Время регулирования системы при данных параметрах ПИД-регулятора было равно 79.5 секунд, что на 20 секунд больше, чем при начальных условиях. Однако, перерегулирования практически не наблюдается, выход за 5% зону отсутствует. Установившееся и заданное значение совпадают. Статическая ошибка равна нулю.

Динамические системы, как правило, содержат множество различных разнородных параметров и ограничений. Самый простой способ найти реше-

ние задачи по оптимизации динамической системы – перебрать все возможные значения параметров. Таким образом, возникает необходимость в каком-либо методе оптимизации, пригодном для практики. Одним из таких методов является генетический алгоритм, процесс работы которого был рассмотрен в данной работе. Путем случайного подбора, комбинирования и вариации искоемых параметров с использованием механизмов, аналогичных естественному отбору в природе, генетический алгоритм оптимизирует параметры системы до тех пор, пока сам пользователь не решит, что результат работы системы можно назвать удовлетворительным.

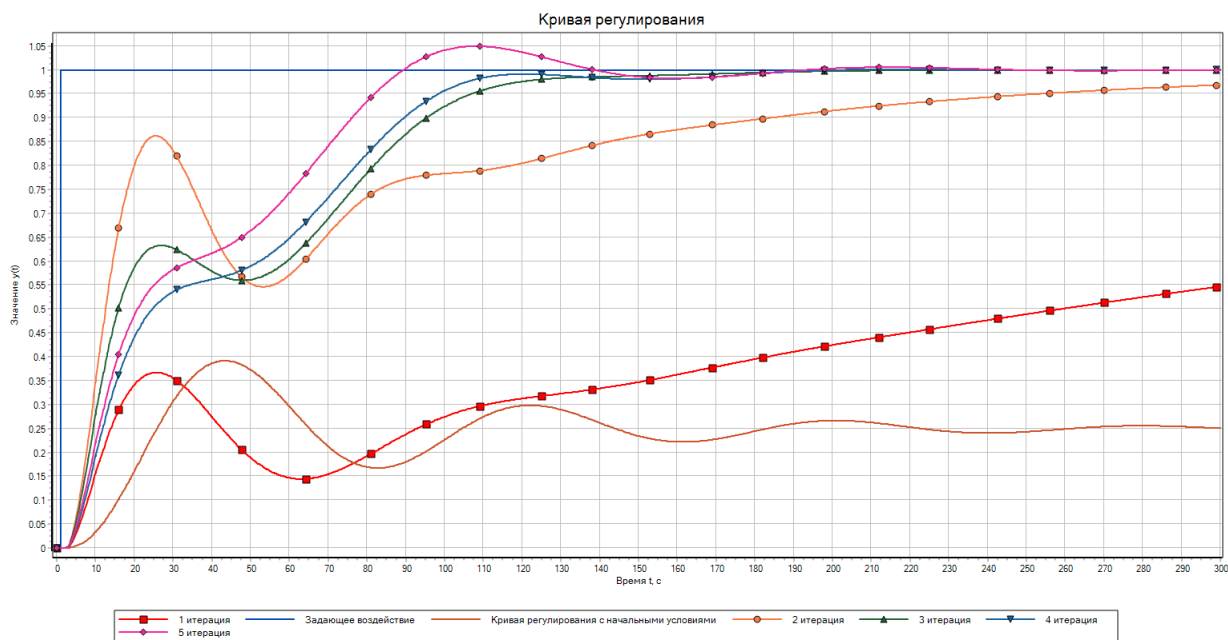


Рис. 5 – Результат моделирования с применением оптимизированных параметров ПИД-регулятора

Список литературы

1. Карташов Б.А., Шабаетв Е.А., Козлов О.С., Щекатуров А.М. Среда динамического моделирования технических систем SimInTech. // ДМК Пресс, 2017 - 423 с.
2. А.В. Воронин Теория автоматического управления. Основы построения и анализа систем автоматического регулирования: учебно-методическое пособие// Томск: Издательство Томского политехнического университета, 2013. – 51 с
3. Мызникова В.А., Устименко В.В., Чубарь А.В. Построение нечётких регуляторов для систем управления автономных объектов в среде SimInTech // Космические аппараты и технологии. 2019. Т. 3. № 1. С. 22-27.
4. Панченко, Т. В. Генетические алгоритмы: учебно-методическое пособие // Астрахань: Издательский дом «Астраханский университет», 2007. — С. 5 – 11.

Секция 6

УПРАВЛЕНИЕ РОБОТАМИ И ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНАЯ АВТОМАТИЗАЦИЯ

З.А. Авласко, аспирант, avlasko.z@gmail.com
К.А. Пономарева, аспирант, ponomareva_katerina@mail.ru
Сибирский федеральный университет, г. Красноярск, Россия

ОЦЕНКА ТРЕНДОВ ЦИФРОВИЗАЦИИ В ПРОМЫШЛЕННОСТИ

Аннотация: В данной статье рассмотрены последние тренды в сфере цифровизации промышленности. Проведен анализ и сравнение тенденций цифровой трансформации промышленности в России и за рубежом. Установлено, что, несмотря на то, что Россия не остается в стороне от мирового тренда модернизации промышленного производства, заметно отставание от передовых стран в сфере цифровизации производства.

Ключевые слова: цифровизация, цифровая трансформация, промышленность, Индустрия 4.0

AN ASSESSMENT OF THE TRENDS OF DIGITALIZATION IN THE INDUSTRY

Z.A. Avlasko, postgraduate, avlasko.z@gmail.com
K.A. Ponomareva, postgraduate, ponomareva_katerina@mail.ru
Siberian Federal University, Krasnoyarsk, Russia

Abstract: This article discusses the latest trends in the field of digitalization of the industry. The analysis and comparison of tendencies of digital transformation of the industry in Russia and abroad is carried out. It is established that, despite the fact that Russia does not remain aloof from the global trend of modernization of industrial production, there is a noticeable lag behind the advanced countries in the field of digitalization of industry.

Key words: digitalization, digital transformation, industry, Industry 4.0

Технологические прорывы в области миниатюризации и беспроводной связи позволили датчикам, мобильным устройствам и приложениям взаимодействовать друг с другом. Сложные контекстно-зависимые приложения и сервисы были построены поверх этих беспроводных датчиков и исполнительных механизмов, чтобы контролировать присутствие пользователей и автономно адаптироваться к постоянно меняющемуся контексту, оставаясь при этом чувствительными к изменяющимся потребностям и предпочтениям. В результате развития аппаратного и программного обеспечения за последнее

десятилетие стало возможным создание различных областей – от умных домов, офисов и рабочих мест, умных городов до приложений для оказания помощи и расширенного управления здравоохранением.

Аналогичная цифровая трансформация происходит и в промышленности. Развитие промышленности в сторону интеллектуализации опирается на формирующиеся парадигмы Интернета вещей и киберфизических систем для мониторинга, анализа и автоматизации бизнес-процессов в целом. Эта трансформация превратит производственные и логистические процессы в интеллектуальные производственные среды, которые повысят производительность и эффективность [1].

Передовыми странами Европы в сфере цифровизации промышленности являются Германия, Нидерланды, Франция, Великобритания, Бельгия и др. Но все же лидирующие позиции в промышленной революции занимает Германия. Полностью цифровые предприятия в Германии могут появиться уже в 2021-2025 гг., в связи с чем производительность труда вырастет на 18 %, а затраты снизятся на 2,6 % в год [2]. По данным опроса немецких производителей на тему перспектив «Индустрии 4.0», проведенного в 2018 г. ассоциациями BITKOM, DMA и ZVE, около 47 % респондентов заявили, что уже активно используют новые технологии, 18 % респондентов – принимают участие в исследованиях по поддержке перехода к «Индустрии 4.0», 12 % испытали преимущества четвертой промышленной революции на практике [3].

Промышленная революция не могла не вовлечь США. Они активно развивают промышленный интернет. В отличие от Германии, которая видит свое превосходство в сфере производства, США стремятся к оптимизации совокупного использования целого спектра компетенций: софт, дата-процессинг, индустриальные системы, телекоммуникации, исследовательская деятельность. Цифровая промышленность подразумевает замену рабочих мест машинами. Так, в экономике США за счет «умных производств» ожидается сокращение численности рабочей силы в промышленности на 35 %, при увеличении доходов от новых технологий на 25 % [4].

В своих стремлениях развития концепции «Индустрия 4.0» страны азиатского региона стараются налаживать тесные кооперационные связи со странами Евросоюза. Так, например, за последние годы китайские компании увеличили инвестиции в высокотехнологические разработки по всему миру. Китай планирует, что к 2025 г. производственные циклы и процент брака сократятся на 50 %. Также ожидается, что уже к 2020 г. в Китае будет в среднем 150 роботов на 10 000 промышленных рабочих мест, что втрое больше, чем было в 2015 г. Это говорит о том, что Китай перейдет из промышленного гиганта, опирающегося на дешевый рабочий труд в мирового производителя [2].

Безусловно, в стороне от промышленной революции не остается Япония. Оценивая готовность японских компаний вступить в новую индустри-

альную эпоху, нельзя не отметить отставание от США и Германии. В 2015 г. японские компании оптимистично оценивали возможности новой эпохи: 16 % подтвердили свою готовность к развитию в условиях новой промышленности. Однако, по данным на конец 2018 г. только 1,5 % компаний выразили такую готовность. Несмотря на это, Япония также занимает лидирующие позиции по переходу к концепции «Индустрия 4.0» и активно переводит решение проблем, связанных с промышленной революцией в практическую плоскость [5].

По данным РБК на сегодняшний день 74% продаж промышленной робототехники приходится на пять стран – Китай, Японию, Южную Корею, США и Германию. Россия тоже не осталась в стороне от мирового тренда модернизации промышленного производства. Она занимает 6-е место в мире по потенциалу роботизации и автоматизации. Ее опережают Китай, Индия, США, Бразилия и Индонезия [6]. Но все же статистика не в пользу России. По данным Международной федерации робототехники, в России на 10 тысяч рабочих приходится пять промышленных роботов, когда в среднем по миру – 99, а в лидирующих Японии, США и Германии – более 100 [7].

Тем не менее Россия продолжает развиваться в сторону цифровизации промышленного производства. На 2019 года предусмотрены бюджетные ассигнования на реализацию проектов Национальной технологической инициативы в размере 6,2 млрд рублей [8]:

– 4,41 млрд рублей будет направлено на предоставление субсидий, в том числе:

- 2,4 млрд рублей – на проекты по «дорожным картам» НТИ;
- 129,6 млн рублей – на организацию и проведение технологических конкурсов в целях реализации НТИ;
- 233,5 млн рублей – на финансовое обеспечение программ по развитию отдельных направлений НТИ некоммерческими организациями, которые выполняют функции инфраструктурных центров;
- 1,25 млрд рублей – на финансирование организации, наделенной Правительством РФ функциями оператора, на государственную поддержку деятельности Университета НТИ;
- 400 млн рублей – для предоставления субсидий в форме имущественного взноса на господдержку «Платформы Национальной технологической инициативы».
- 1,8 млрд рублей получит «Фонд содействия развитию малых форм предприятий в научно-технической сфере» в том, числе:
 - 1,75 млрд рублей – на предоставление грантов юридическим лицам для проведения научно-исследовательских работ (НИР) по «дорожным картам» НТИ.

– 52,5 млн рублей – на финансовое обеспечение выполнения экспертизы, администрирования, мониторинга и оценки результативности использования грантов юрлицами в рамках НИР.

Согласно исследованию КППМГ [9] в планах российских компаний развитие инструментов RPA, OCR и предикативной аналитики. Цифровые двойники и периферийные вычисления – это перспектива 2–5 лет для российского рынка. Интернет вещей и искусственный интеллект еще исследуется, лишь у 37% компаний есть планы по внедрению IoT, тогда как в списке Gartner IoT – это тренд номер один. В таблице 1 представлено сравнение наиболее популярных технологических трендов 2019 г по данным компаний Gartner и КППМГ.

Таблица 1. Сравнение наиболее популярных технологических трендов 2019 г. по результатам исследований в России и мире

Данные КППМГ	Данные Gartner
Большие данные и предиктивная аналитика	Интернет вещей (IoT)
Роботизация	Большие данные и предиктивная аналитика
Искусственный интеллект	Искусственный интеллект
Чат-боты	Цифровые двойники
Оптическое распознавание (OCR)	Периферийные вычисления
Интернет вещей (IoT)	Виртуальная реальность (VR, AR)
Блокчейн	Блокчейн
Виртуальная реальность (VR, AR)	Смарт-пространство

Однако скорость развития «умного производства» в России крайне низкая, по данным Минпромторга за 2018 год российские промышленные предприятия не готовы к цифровизации – более половины из опрошенных 200 средних и крупных компаний, работающих в основном в сегменте станкостроения и тяжелого машиностроения на развитие ИТ-инфраструктуры выделяют не более 1% от прибыли. Более 5% они только у 6% респондентов [10].

Основные факторы, замедляющие трансформацию российский предприятий в цифровые производства, связаны с недостаточной зрелостью текущих бизнес-процессов и отсутствия необходимых навыков и компетенций в ИТ (рис. 1).

Длительные сроки окупаемости инвестиций в цифровизацию вызывают сложности с финансированием и перспективами окупаемости (рис. 2).

Внедрение RPA в России показывает, что один робот может заменить до 4,5 штатных единиц (ПШЕ). Наибольший эффект от внедрения RPA отмечают предприятия телекоммуникационной отрасли, где достигается максимальное замещение до 10 (ПШЕ) (рис. 3).



Рис. 1. Препятствия, с которыми сталкиваются российские компании при внедрении информационных технологий

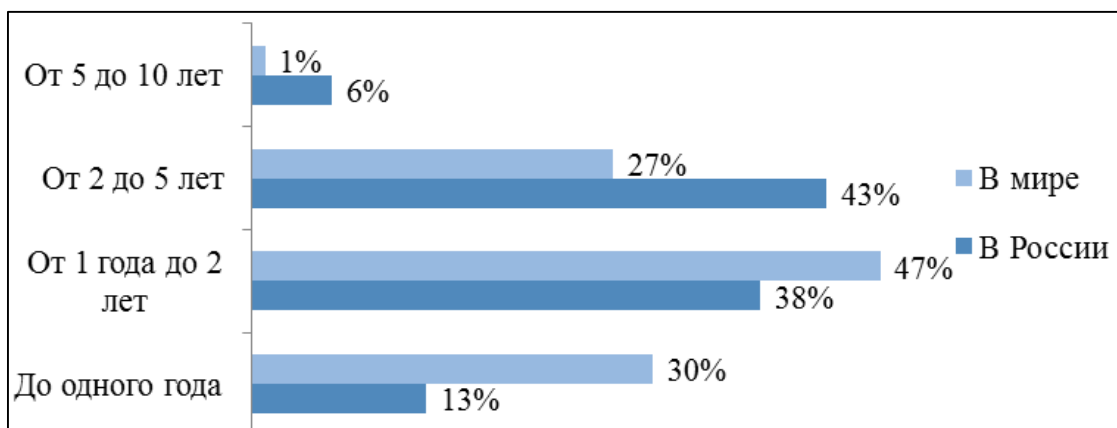


Рис. 2. Ожидаемые сроки окупаемости инвестиций в цифровые решения в России и мире

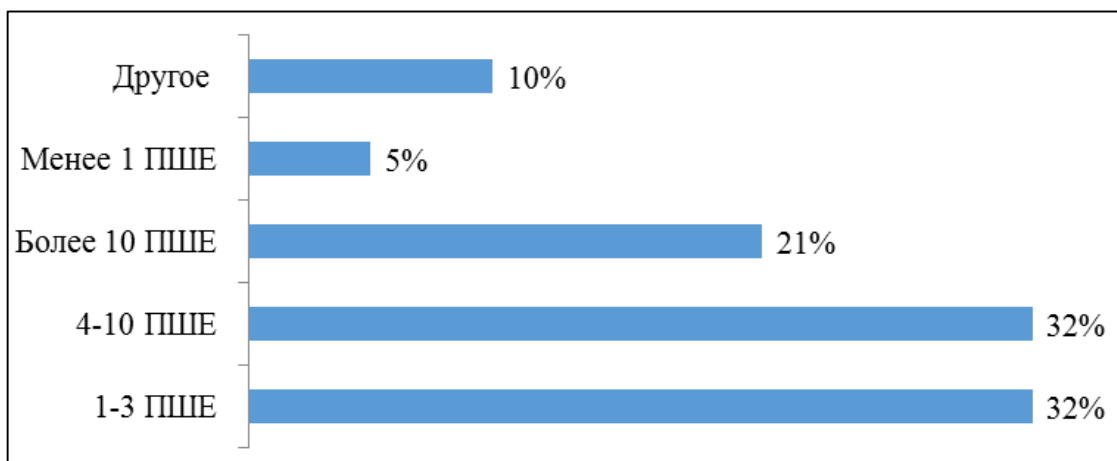


Рис. 3. Средняя экономия в полных штатных единицах по итогам внедрения роботов в российских компаниях

Цифровизация производственных процессов это необходимый этап развития российской экономики и дальнейшие тенденции связаны в первую очередь с интенсивностью и эффективностью государственной поддержки наиболее важных и перспективных отраслей промышленности, изменения законодательного регулирования в ИТ-сфере, а также повышения качества

образования для специалистов в сфере цифровых технологий и промышленного менеджмента.

Список литературы

1. J. Lee, B. Bagheri, H.-A. Kao A cyber-physical systems architecture for Industry 4.0-based manufacturing systems. – Manufacturing Letters 3, 2015. – p. 18–23.
2. Обзор: ИТ в промышленности 2019 [Электронный ресурс]: режим доступа-https://www.cnews.ru/reviews/it_v_promyshlennosti_2019/articles/
3. Швецов Д. У истоков «Индустрии 4.0»: как развивается промышленность Германии // Control Engineering Россия IoT. – 2018. – 6 с.
4. Вызовы Индустрии 4.0 и необходимость новых ответов [Электронный ресурс]: режим доступа- http://www.industrialunion.org/sites/default/files/uploads/documents/2017/SWITZERLAND/Industry4point0Conf/industry_4_rus.pdf
5. Тимонина И.Л. Стратегия инновационного развития Японии: на пути к четвертой промышленной революции // Восток (Oriens). – № 4. – 2017. – 15 с.
6. Индустрия 4.0 в 20 цифрах и фактах [Электронный ресурс]: режим доступа- <https://www.rbc.ru/trends/industry/5daef6429a7947c1bfe43006>.
7. Индустрия 4.0: что мешает российским предприятиям внедрять новые технологии [Электронный ресурс]: режим доступа- <https://rb.ru/opinion/industriya-40/>.
8. Распоряжение Правительства Российской Федерации от 6 апреля 2019 г. № 655-р [Электронный ресурс]: режим доступа - <http://static.government.ru/media/files/Z61pTfMcUgExsl5sRMAdoUgUjDzW4uA.pdf>.
9. Цифровые технологии в Российских компаниях [Электронный ресурс]: режим доступа - <https://assets.kpmg/content/dam/kpmg/ru/pdf/2019/01/ru-ru-digital-technologies-in-russian-companies.pdf>.
10. Минпромторг оценил готовность российских предприятий к цифровизации [Электронный ресурс]: режим доступа- https://www.rbc.ru/technology_and_media/03/07/2018/5b3a26a89a794785abc9f304.

ПРИМЕНЕНИЕ ОДНОПЛАТНЫХ КОМПЬЮТЕРОВ ДЛЯ АППАРАТНЫХ ПРОЕКТОВ УПРАВЛЕНИЯ ТЕХНИЧЕСКИМИ СИСТЕМАМИ

Аннотация: В статье рассматриваются вопросы выбора и использования аппаратно-программных средств для контроля и управления параметрами техническими систем. На примере задачи управления теплицей, рассматриваются вопросы целесообразности использования одноплатных компьютеров и микроконтроллеров. Исследуется вопрос совместного применения Raspberry Pi и Arduino для задач управления теплицами.

Ключевые слова: управление, одноплатный компьютер, микроконтроллер.

APPLICATION OF SINGLE-PLATED COMPUTERS FOR HARDWARE PROJECTS OF MANAGEMENT OF TECHNICAL SYSTEMS

A.Altynbek uulu, student, rus.argen1996@gmail.com
Siberian Federal University, Krasnoyarsk, Russia

Abstract: The article discusses the issues of choosing and using hardware and software for monitoring and controlling the parameters of technical systems. Using the example of the greenhouse management problem, the issues of the feasibility of using single-plated computers and microcontrollers are considered. The issue of the joint use of Raspberry Pi and Arduino for greenhouse management is being investigated.

Key words: management, single-board computer, microcontroller.

В настоящее время инженеры, занимающиеся разработкой аппаратных проектов для управления и контроля различными параметрами технических систем, имеют широкие возможности выбора средств реализации своих намерений. В качестве такого проекта рассмотрим разработку системы контроля параметров теплицы и предложим подход основанных на совместном применении Raspberry Pi, который является полнофункциональным компьютером, и платформы Arduino — микроконтроллера, обладающего внушительной технической поддержкой (целое сообщество разработчиков) и имеющий сотни схем-расширений (так называемых «шилдов») [1].

Для того, чтобы понять цели совместного применения данных технологий отметим, что для теплиц важное значение имеет поддержание микрокли-

мата, которое в первую очередь связано с контролем и управлением основных параметров. Для этого необходимо собирать с сенсоров требуемую информацию. Правильно выбранная технология поддержания микроклимата — одна из важнейших составляющих, позволяющих повысить урожайность. А эффективное использование энергоресурсов — дополнительная возможность существенно уменьшить себестоимость производимой продукции. Современная автоматизированная система управления микроклиматом должна поддерживать не только заданный режим, но и максимально эффективно использовать возможности исполнительных систем, автоматизирующих технологические режимы управления в теплице.

В настоящее время ведется активная модернизация теплиц, связанная с повышением количества исполнительных систем: разделение контуров, модернизация форточной вентиляции, установка систем зашторивания, установка вентиляторов. И чем больше исполнительных систем имеет теплица, тем важнее для нее выбор критерия, определяющего стратегию поддержания микроклимата. Например, одним из наиболее популярных критериев управления является экономия тепло ресурсов. В данном случае целесообразнее активно использовать нижние контура обогрева, т.к. они меньше всего отдают тепла внешней среде. Другой подход к выбору критерия предполагает поддержание температуры у точки роста выше, чем у корней растения и тем самым подразумевает активное использование верхних контуров обогрева. Еще один критерий управления основывается на том, что нижний контур должен поддерживать в корневой зоне постоянную температуру, так называемый оптимум, и лишь при исчерпанных ресурсах других исполнительных систем отклоняться от него.

Опыт внедрения автоматизированных систем управления показывает, что на этапе проектирования системы достаточно сложно выбрать единый критерий управления. Поэтому в системе управления должна существовать возможность оперативно задать критерий во время эксплуатации, причем методы его задания должны в наглядной форме отражать агрономические, экономические и технические требования, предъявляемые к системе. Таким образом, современная система управления должна позволять задать не только один из вышеперечисленных критериев управления или их комбинацию, но и любой другой возникающий в процессе производства, предоставляя агроному-технологу широкие возможности в выборе метода поддержания температурно-влажностного режима в теплице.

Заметим, что области применения обоих устройств Raspberry Pi и Arduino отличаются, у каждого из них есть свои достоинства и недостатки, а также спектр задач, которые решаются по-разному [2].

Raspberry Pi является полнофункциональным компьютером. Он обладает всеми атрибутами настоящего компьютера: выделенным процессором, памятью и графическим драйвером для вывода через HDMI. На нем даже ра-

ботает специальная версия операционной системы Linux. Поэтому на Raspberry Pi легко установить большинство программ для Linux [3].

В Pi отсутствует внутреннее хранилище данных, но имеется возможность использовать смарт-карты в качестве флэш-памяти, обслуживающей всю систему. Таким образом, можно быстро выгружать для отладки различные версии операционной системы или программных обновлений. Поскольку это устройство обеспечивает независимую соединяемость по сети, его можно настраивать и для доступа по SSH, либо пересылать на него файлы по протоколу FTP.

Платы Arduino – это микроконтроллеры, а не полноценные компьютеры. На них нет операционной системы как таковой, Arduino просто выполняет код, интерпретируемый прошивкой, но, с другой стороны, такое непосредственное выполнение несложного кода протекает проще, а при работе не возникает никаких издержек, связанных с операционной системой.

Arduino — это комбинация аппаратной и программной частей для простой разработки электроники. Аппаратная часть включает в себя большое количество видов плат Arduino со встроенными программируемыми микроконтроллерами, а также дополнительные модули. Программная часть состоит из среды разработки (программы для написания скетчей и прошивки микроконтроллеров Ардуино), упрощенного языка программирования, огромного множества готовых функций и библиотек. Ардуино можно сравнить с материнской платой компьютера, которая также имеет процессор, находящийся под кулером. Материнская плата с процессором выполняет те же функции, что и Arduino Uno. К ней подключаются другие устройства: дисплей, дисководы, жесткие диски, и вся остальная периферия. Также можно подключить много различных устройств [4].

С точки зрения задач сбора информации и слежение за состоянием системы по параметрам, важно отметить основное назначение платы Arduino – взаимодействие с сенсорами и устройствами, поэтому Arduino отлично подходит для аппаратных проектов типа управление теплицей, где требуется просто реагировать на различные сигналы сенсоров и ручной ввод. Микроконтроллер с легкостью интерпретирует различные сигналы на основе написанного вами кода и реагирует на них. Поэтому Arduino отлично подходит для тех случаев, когда вы планируете выполнять серии команд или реагировать на показания сенсоров, в зависимости от которых будет корректироваться работа сервоприводов и устройств.

На данной схеме (Рис. 1.) представлена схема взаимодействия компонентов системы с платой Arduino.

Весь процесс работы управляется платой Arduino. Датчики температуры и влажности посылает данные плате Arduino. После которого Arduino решает зависимость от данных включать или выключать соответствующего устройства. Также Arduino посылает состояние датчиков веб страницу через модуль Ethernet shield и принимает команду управление от смартфона. В этой

схеме со смартфона можно просматривать состояния датчиков и переключать режим работы платы Arduino. При автоматическом режиме Arduino сама управляет охлаждениями и освещением теплиц. При ручном режиме пользователь сам контролирует устройства, подключенные к Arduino.

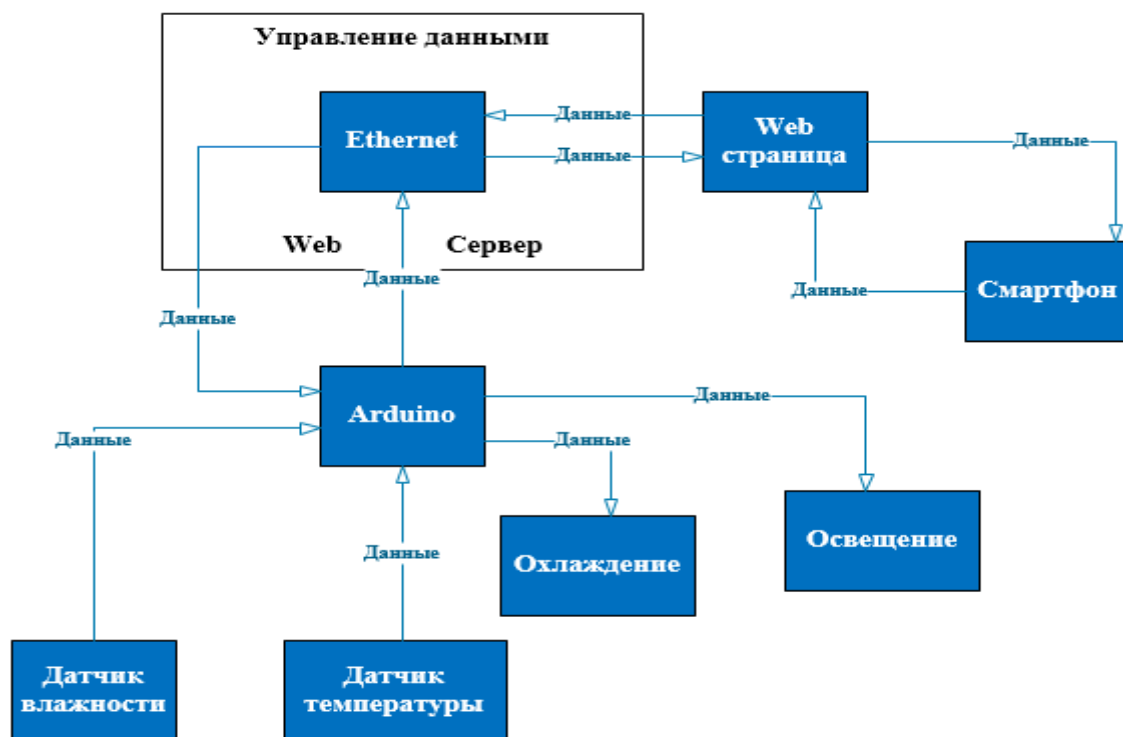


Рис. 1. Общая схема взаимодействия компонентов теплицы с платой Arduino.

Arduino – сложная выверенная система, значительно облегчающая управление устройствами. Она отлично подходит именно для сочленения других устройств и исполнительных механизмов, где полновесная операционная система просто не требуется, так как речь идет просто о регистрации действий и реагировании на них.

Требования к электропитанию для этих двух систем очень отличаются. С другой стороны в Raspberry Pi есть встроенный Ethernet-порт, который обеспечивает легкий доступ к любой сети и практически не требует настройки. Провести беспроводной Интернет на Raspberry Pi также не составляет труда: покупаете USB-адаптер для WiFi и устанавливаете соответствующий драйвер. Как только это сделано, можете использовать операционную систему для подключения к веб-серверам, обрабатывать HTML либо просто что-нибудь писать в Интернете [5]. Можете даже использовать Raspberry Pi для создания виртуальной частной сети или в качестве сервера печати.

К сожалению, система Arduino без дополнительных модификаций не приспособлена для работы по сети. В то же время Arduino отлично подходит для тех случаев, когда необходимо выполнять серии команд или реагировать

на показания сенсоров, в зависимости от которых будет корректироваться работа сервоприводов и устройств.

В свою очередь, Raspberry Pi для эффективного взаимодействия с такими устройствами требует специального программного обеспечения — вероятно, это излишние сложности, если вы хотите просто автоматизировать поливку в теплице или сохранить баланс нужной температуры.

Предлагается для контроля и управления за всеми параметрами состояния теплицы Arduino и Raspberry Pi использовать совместно, причем Arduino выступает в качестве управляющей платы, на которой выполняются команды, выдаваемые ПО Raspberry Pi [6]. Информация с сенсоров подается на Raspberry Pi, где она записывается, либо в ответ на нее выполняются те или иные операции. Таким образом, назначение Arduino считывать данные сенсоров, менять и задавать предельные и другие значения параметров подсистем и всей системы в целом, устройство вполне можно эксплуатировать не выключая, при этом почти не вмешиваясь в его работу. Raspberry Pi отводятся задачи, которые лучше выполнять на компьютере. Raspberry Pi упрощает управление потоком операций в разных ситуациях: если вы подключаетесь к Интернету для считывания или записи данных, воспроизводите какую-либо медиа-информацию или подключаетесь к внешнему дисплею.

Используя Raspberry Pi, обеспечивается клиентский доступ к настройкам и коду через Pi, в то время как Arduino контролирует управление рабочими органами и собирает информацию с сенсоров. Существует немало вариантов такого соединения: по USB, локальной сети или в виде простого подключения портов ввода/вывода Arduino к Raspberry Pi.

В дальнейшем планируется дальнейшая работа над аппаратным проектом управления теплицей по реализации задач Raspberry Pi.

Список литературы

1. Arduino [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.arduino.cc>.
2. Raspberry Pi [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.raspberrypi.org>.
3. Берчук Д.Ю., Журавлев Д.В. Построение системы «умный дом» с использованием платформы «Arduino» и компьютера «raspberrypi» Томский политехнический университет 634050. 2013 С. 198-199.
4. Кирнос А.Е. Arduino – как средство автоматизация сельского хозяйства 2018 С. 276-278.
5. Организация взаимодействия с контроллерами [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://asutp.ru/?p=600462>.
6. Линева Ф.А., Киселева С.Д. Интернет вещей на основе Raspberry Pi 2015 С. 22.

В.А. Бахтина, аспирант, sl_507@mail.ru
П.С. Маринушкин, к. т. н, доцент, marinushkin_ps@mail.ru
А.А. Левицкий, к. ф.-м. н, доцент, aalevitsky@rambler.ru
Сибирский федеральный университет, г. Красноярск, Россия

ОБРАБОТКА ДАННЫХ МЭМС-ДАТЧИКОВ В СИСТЕМЕ ДИАГНОСТИКИ ДВИГАТЕЛЬНЫХ НАРУШЕНИЙ ВЕРХНЕЙ КОНЕЧНОСТИ

Аннотация: в работе рассмотрены вопросы обработки данных МЭМС-датчиков (гироскопа, акселерометра и магнитометра) в системе диагностики двигательных нарушений верхней конечности на основе традиционно используемых методов обработки сигналов и путем создания специфичных алгоритмов.

Ключевые слова: инсульт, МЭМС-датчик, инерциальный модуль, двигательные нарушения, нейросеть, генетический алгоритм.

V. A. Bakhtina, P. S. Marinushkin, Ph.D., A. A. Levitskiy, Ph.D., professor,
sl_507@mail.ru
Siberian Federal University, Krasnoyarsk, Russia

PROCESSING DATA MEMS-SENSORS IN THE SYSTEM OF DIAGNOSTICS OF MOTOR INFRINGEMENTS OF THE UPPER LIMB

Abstract: the paper discusses the processing of data of MEMS sensors (gyroscope, accelerometer and magnetometer) in the diagnosis system of motor disorders of the upper limb based on the traditionally used signal processing methods and by creating specific algorithms.

Key words: stroke, MEMS sensor, inertial module, motor disorders, neural network, genetic algorithm.

Введение

Ежегодно в мире около 6 миллионов человек переносят церебральный инсульт, из них порядка 500 тысяч в России. Это заболевание является одной из главных причин преждевременной смертности, занимая в списке всемирной организации здравоохранения второе место после ишемической болезни

сердца и обгоняя раковые заболевания. В острый период инсульта летальность достигает 35%, и к первому году с момента развития заболевания умирают 50% больных. [1].

Инсульт может приводить к пяти видам инвалидности: параличу или парезу; потере способности чувствовать температуру и тактильной чувствительности; сенсорной афазии; проблемам с памятью и мышлением, другим нарушениям. Аналогичные нарушения могут быть следствием тяжелых черепно-мозговых травм.

В связи с распространенностью двигательных нарушений среди перенесших вышеупомянутые заболевания, существует необходимость создания новых методик, систем и комплексов для реабилитации пациентов и возвращения их к полноценной жизни.

Парезы различной степени тяжести в наибольшей степени поддаются лечению, поэтому существует большое количество реабилитационно-лечебных мероприятий, позволяющих бороться с этим недугом.

Постановка задачи

В первую очередь получили распространение методики, относящиеся к реабилитации нижней конечности, основанные на применении электромиостимуляции (ЭМС).

Начало развитию исследований, направленных на восстановление нижней конечности при помощи ЭМС было положено в 1961 году, когда был предложен способ электротерапии малоберцового нерва [2].

Полное или частичное восстановление трудоспособности пациентов невозможно без устранения парезов верхней конечности, поэтому разработка реабилитационно-лечебных мероприятий в данном направлении является не менее актуальной задачей.

Начало работ по применению метода ЭМС к верхней конечности было положено спустя почти десять лет после работы [2]. Первой публикацией, в которой представлены результаты исследований для верхней конечности, принято считать [3]. К настоящему времени данное направление получило широкое распространение [4-8].

Неотъемлемой частью реабилитационных систем на базе ЭМС является регистрация положения конечностей, которая может осуществляется тремя видами микроэлектромеханических (МЭМС) датчиков: акселерометром, гироскопом и магнитометром, объединенными в одном устройстве (инерциальном модуле) [9].

В работе [10] описана система реабилитации, основанная на регистрации угла сгиба верхней конечности при помощи системы из вышеупомянутых датчиков.

Датчики объединены в инерциальный модуль, располагаемый на предплечье при помощи ремня. Основным моментом при оценке положения

верхней конечности является регистрация угла α (рис.1), так как сгиб конечности под прямым или острым углом создает наибольший дискомфорт для пациента.

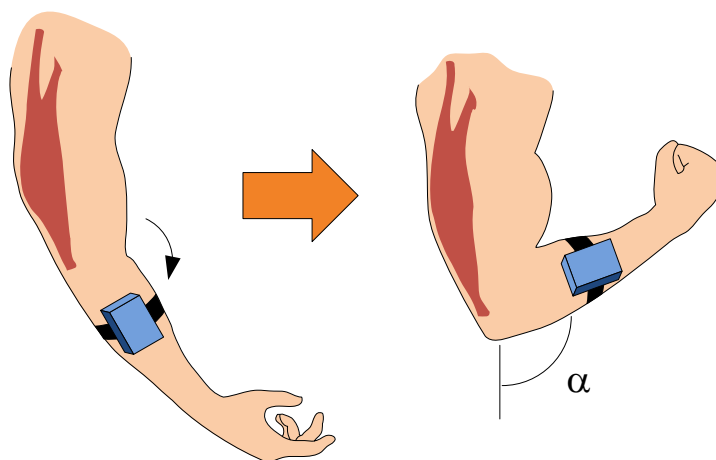


Рис. 1 Схематическое изображение размещения инерциального модуля на руке

Основными сложностями на пути развития реабилитационных систем для диагностики двигательных нарушений является необходимость снижения стоимостных и массогабаритных показателей при постоянно повышающихся требованиях к качеству информации о положении руки пациента. Преодоление указанных трудностей осложнено недостаточно высоким уровнем технических характеристик существующих МЭМС гироскопов, акселерометров и магнитометров. При этом современная технологическая база микросистемной техники пока не позволяет добиться коренного улучшения параметров МЭМС-датчиков, уступающих по точности измерений традиционным более крупным гироскопическим устройствам и акселерометрам в рамках приемлемых стоимостных показателей.

Решением этой проблемы может являться разработка методов и алгоритмов коррекции данных на основе комплексирования показаний разнородных измерительных МЭМС-датчиков (например, при помощи фильтров Калмана) [11-12].

На практике серьезной проблемой данного подхода является его недостаточная надежность. Дело в том, что в используемом программном обеспечении применяют жестко детерминированные алгоритмы, не учитывающие сложный характер пространственного передвижения пациента в реальных условиях, особенности, присущие различным видам деятельности, осуществляемой пользователем. Например, важным является анализ нерегулярных движений, не связанных с перемещением пользователя. Их необходимо идентифицировать и классифицировать как паразитные, чтобы избежать некорректной обработки данных инерциальных датчиков. В связи с этим осложняется реализация реабилитационных систем.

Среди подходов к решению поставленной задачи можно выделить следующие направления:

- разработка алгоритмов комплексирования информации с МЭМС-датчиков;
- представление комплексированного сигнала в виде функционалов (спектральные преобразования Фурье, вейвлет), которые являются векторами в пространстве признаков двигательной деятельности пациента;
- построение классифицирующего математического аппарата, на основе выбора его оптимальной структуры, например генетические (эволюционные) алгоритмы, нейронные сети.

Опираясь на выявленные ограничения существующих технологий, предлагается разработать процедуру выявления характерных признаков передвижения пациента для последующего решения задачи классификации двигательной деятельности с целью автоматической настройки параметров системы двигательных нарушений на основе комплексного анализа информации, получаемой от МЭМС-датчиков.

Решение задач классификации предлагается осуществить с использованием как традиционно используемых методов обработки сигналов, так и с применением специально разработанных алгоритмов. В первом случае предполагается определение областей рационального использования традиционных методов применительно к специфике задачи, а также вычислительными возможностями аппаратного комплекса.

Результаты решения этой задачи позволят создать в дальнейшем конкурентоспособные системы реабилитации, использование которых весьма перспективно для устранения последствий инсульта или черепно-мозговой травмы. Также применение данного алгоритма позволит облегчить использование реабилитационных систем пациентом самостоятельно вне медицинского учреждения.

Реализация

В рамках решения поставленной задачи изготовлен измерительный модуль, включающий МЭМС гироскоп, акселерометр и магнитометр, позволяющий производить регистрацию угла отклонения предплечья (рис. 2).

Измерительный модуль установлен в специально разработанный корпус размером 7,2×5,6×2,5 см. Блок управления/измерения представлен платой 9DoF Razor IMU M0, оснащенной многочиповым модулем MPU9250 от InvenSense Inc. Данные инерциальных датчиков считываются с частотой дискретизации 100 Гц. Встроенный алгоритм выполняет предварительную калибровку и обрабатывает поток данных от датчиков. Измеренные ускорения, угловые скорости и напряженности магнитного поля могут быть переданы с помощью UART на модуль Bluetooth, а с него на смартфон или ноутбук.

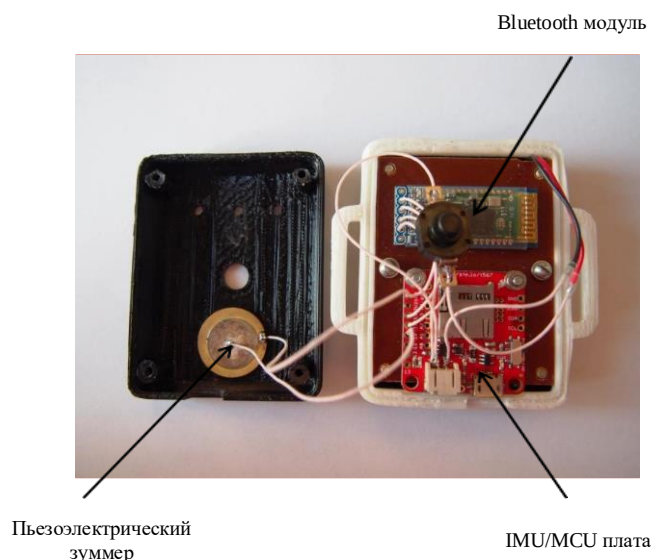


Рис. 2 Внешний вид устройства для определения угла отклонения предплечья

Методика эксперимента

Для проверки работоспособности алгоритма измерительного модуля предусмотрено проведение тестовых испытаний на здоровых людях. Для этой цели измерительный модуль закрепляется на предплечье с помощью регулируемого ремня так, чтобы измерительная ось была приблизительно выровнена с продольной осью предплечья. Показания МЭМС-датчиков передаются по Bluetooth на телефон или компьютер и могут быть записаны в виде текстового файла при помощи специализированных программ, например, Serial Bluetooth Terminal. Текстовый файл содержит массив значений угловых скоростей, линейных ускорений и напряженностей магнитного поля, записанных с интервалом 70-80 мкс, с частотой дискретизации 100 Гц. Для последующей обработки при помощи нейросетей предполагается модернизация измерительного модуля датчиком угла. Результат наблюдений должен включать формирование нескольких сессий данных с мгновенными значениями линейных ускорений, угловых скоростей и напряженностей магнитного поля, а также столбцы выходных данных мгновенного значения угла сгиба руки (в тот же момент времени, что и для входных значений). В результате формируются тестовые файлы с данными датчиков через равные промежутки времени, например, через 30 сек.

Заключение

В результате обработки совокупности данных от разных видов МЭМС-датчиков ожидается повышение точности измерений за счет идентификации и устранения паразитных нерегулярных движений, не связанных с перемещением пользователя, таких как изменение положения тела при любом виде двигательной активности.

1. М.А. Пирадов, М.Ю. Максимова, М.М. Танащян. Инсульт. Пошаговая инструкция, Москва, издательская группа «ГЭОТАР-медиа», 2019, 20 с.
2. Liberson WF, Holmquest HJ, Scott D, Dow A (1961) Functional electrotherapy: stimulation of the peroneal nerve synchronized with the swing phase of the gait in hemiplegic patients. *Arch Phys Med Rehab* 42:101-105.
3. Rebersek S, Vodovnik L (1973) Proportionally controlled functional electrical stimulation for hand. *Arch Phys Med Rehabil* 54:378-382.
4. Francisco Hernando-Gallego and Antonio Artes-Rodriguez. Individual performance calibration using physiological stress signals arXiv:1507.03482v1 [cs.HC] 13 Jul 2015.
5. C. Klauer, S. Ferrante, E. Ambrosini, U. Shiri, F. Dähne, I. Schmehl, A. Pedrocchi, T. Schauer. A patient-controlled functional electrical stimulation system for arm weight relief. *Send to Med Eng Phys.* 2016 Nov; 38(11):1232-1243. doi: 10.1016/j.medengphy.2016.06.006.
6. Sheffler LR, Chae J. Neuromuscular electrical stimulation in neurorehabilitation. *Muscle Nerve.* 2007 May; 35(5):562-90.
7. Elgison da Luz dos Santos, Manuela Cristina Gelain, Eddy Krueger, Guilherme Nunes Nogueira-Neto, Percy Nohama. Artificial motor control for electrically stimulated upper limbs of plegic or paretic people. *Res. Biomed. Eng.* vol.32 no.2 Rio de Janeiro Apr./June 2016.
8. Tadej Bajd and Marko Munih. Basic Functional Electrical Stimulation (FES) of Extremities – an Engineer's View. *Studies in health technology and informatics* 152:343-52 · January 2010.
9. Hans-Peter Brückner, Benjamin Krüger, Holger Blume. Reliable orientation estimation for mobile motion capturing in medical rehabilitation sessions based on inertial measurement units. *Microelectronics Journal*, Volume 45, Issue 12, December 2014 Pages 1603-1611.
10. V. A. Bakhtina, P.S. Marinushkin, A. A. Levitskiy, A. A. Ilminskaya, M. V. Abroskina, S. V. Prokopenko. Portable Accelerometer-Based System for Aiding Elbow Extension in Post-Stroke Individuals. 2019 20th International Conference of Young Specialists on Micro/Nanotechnologies and Electron Devices (EDM). 29 June-3 July 2019/ DOI: 10.1109/EDM.2019.8823353.
11. J. K. Lee and E. Park, A minimum-order kalman filter for ambulatory real-time human body orientation tracking, *Robotics and Automation*, 2009. ICRA '09. IEEE International Conference on, 2009.
12. Y. S. Suh, Orientation Estimation Using a Quaternion-Based Indirect Kalman Filter With Adaptive Estimation of External Acceleration, *Instrumentation and Measurement*, IEEE Transactions on, 2010.

В.М. Битный-Шляхто, зам. главного конструктора, v_bitny@rtc.ru
А.М. Корсаков, математик, a.korsakov@rtc.ru
Е.Ю. Смирнова, нач. отдела, eus@rtc.ru
Д.Н. Степанов, нач. лаб., dnstepanov@rtc.ru
ЦНИИ РТК, г. Санкт-Петербург, Россия

ОБЪЕКТНО-ОРИЕНТИРОВАННАЯ РЕКОНСТРУКЦИЯ РАБОЧЕЙ ЗОНЫ МАНИПУЛЯТОРА АВАРИЙНО- СПАСАТЕЛЬНОГО РОБОТА

Аннотация: Аварийно-спасательные работы представляют собой комплекс технологических операций, в том числе, требующих использования манипуляторов. Наиболее сложными являются операции, при которых эффектор манипулятора должен определённым образом контактировать с объектами внешней среды (угол резания, направление приложения усилия и т.п.). При использовании промышленных манипуляторов тип применяемого инструмента обусловлен известным технологическим процессом, а выполнение ограничений обеспечиваются специальной оснасткой. Модель применения манипулятора на автономном мобильном роботе требует наличия на борту магазина сменных инструментов, причём решение о выборе инструмента и оценка требуемых параметров операции должны оперативно приниматься системой управления робота. В настоящей статье рассматриваются подходы к формированию обобщенного представления о рабочей зоне манипулятора, установленного на мобильном роботе, который выполняет задачу ликвидации последствий аварии. Предлагаемый классификатор даёт возможность провести объектно-ориентированный анализ сенсорной информации, определить: какие манипуляции могут быть выполнены с учетом имеющегося на борту оборудования и сформировать план операции.

Ключевые слова: манипулятор, реконструкция рабочей зоны, объектно-ориентированная сегментация

OBJECT-ORIENTED RECONSTRUCTION OF THE WORK AREA OF THE EMERGENCY-RESCUE ROBOT MANIPULATOR

V.M. Bitny-Shlyakhto, A.M. Korsakov, E.Yu. Smirnova, D.N. Stepanov,
a.korsakov@rtc.ru
RTC, Saint-Petersburg, Russia

Abstract: Rescue operations are a complex of technological operations, including those requiring the use of manipulators. The most complex are operations in which the manipulator effector must in some way contact with objects of the environment (cutting

angle, direction of application of force, etc.). When using industrial manipulators, the type of tool used is determined by the well-known technological process, and the fulfillment of restrictions is ensured by special equipment. The model of using the manipulator on an autonomous mobile robot requires the presence of replaceable tools on board the store, and the decision to select a tool and evaluate the required operation parameters should be promptly taken by the robot control system. This article discusses approaches to the formation of a generalized description of the working area for a manipulator installed on a mobile robot, that performs the task of eliminating the consequences of an accident. The proposed classifier makes it possible to conduct an object-oriented analysis of sensory information and to determine: what manipulations can be performed taking into account the equipment on board and form an operation plan.

Key words: manipulator, operations planning, object-oriented segmentation

1. Введение

Работа робота-манипулятора при выполнении технологических операций в автоматическом режиме предполагает механическое взаимодействие с разнообразными объектами рабочей зоны. При этом должен быть минимизирован риск повреждения технологического инструмента и нарушения режима обработки. Это особенно важно при выполнении контактных операций автономным мобильным роботом, работающим в условиях априорной неопределенности состояния рабочей зоны и характера обрабатываемого объекта.

Рассмотрим проблему на примере легкого (до 500 кг) мобильного робота, оснащенного манипулятором и предназначенного для выполнения комплекса работ в зоне аварии, включая радиационные аварии, или стихийного бедствия [1]. К типовым операциям такого робота, требующим использования манипулятора, относятся: взятие проб грунта, разбор небольших завалов и обеспечение проходов, извлечение из завала и контейнирование компактных опасных объектов, например, источников ионизирующего излучения (ИИИ). Для выполнения указанных операций на роботе устанавливается магазин сменного инструмента, содержащий комплект пробоотборников, кусачки, резак. Определение положения ИИИ относительно схвата манипулятора выполняется, например, посредством мультисенсорной системы в составе мобильного робототехнического комплекса для поиска, локализации и идентификации источников гамма-излучения [2]. Правильное позиционирование технологического инструмента относительно объекта обработки возможно обеспечить с использованием различных сенсоров, однако наиболее рациональным по критерию качество/стоимость является применение телевизионной камеры, установленной на эффекторе (конечном звене) манипулятора.

Известно решение частной задачи обеспечения безопасного взаимодействия манипулятора с подстилающей поверхностью при заборе пробы грунта посредством манипулятора робототехнического комплекса. Вначале оператор указывает точку забора пробы (ТЗП) на телевизионном кадре. Далее, для определения трехмерных координат ТЗП и нормали к подстилающей поверхности в этой точке, выполняется два или несколько снимков подстилающей поверхности в различных положениях манипулятора с помощью телевизионной камеры, установленной на манипуляторе. По полученным снимкам с помощью разработанного авторами программно-алгоритмического обеспечения производится стерео реконструкция подстилающей поверхности и определение метрических координат ТЗП. Полученные таким образом трехмерные координаты ТЗП и вектор нормали используются, как исходные данные, для решения обратной задачи кинематики, результатом которой являются обобщенные координаты шарниров манипулятора в точке забора грунта [3].

Описанный подход предполагает управление манипулятором в супервизорном режиме, когда окончательное решение о выполнении операции принимает человек-оператор. Система технического зрения в данном случае играет роль ассистента оператора, помогая правильно ориентировать эффектор манипулятора, оснащенный пробоотборником относительно плоской поверхности.

Для выполнения более широкого перечня технологических операций манипулятора при минимальном участии оператора необходим более детальный анализ рабочей зоны. С учетом технологических возможностей перечисленных выше сменных инструментов необходимо определить в рабочей зоне наличие и параметры расположения трёх, как минимум, классов объектов перечисленных в таблице 1.

Таблица 1. Классы объектов, определяемых в рабочей зоне манипулятора

Объект	Приближенное описание объекта	Инструмент для обработки
Труба (протяженный цилиндрический)	Цилиндр	Резак механический
Стержень (протяженный тонкий)	Отрезок	Кусачки
Обломок, опасный объект (компактный)	Сфера, конус	Схват манипулятора

Известные в настоящее время методы обнаружения объектов на изображении можно условно разделить на два класса: нейроморфные алгоритмы с предварительным обучением и алгоритмы пространственно-временной фильтрации. В данной задаче использование нейроморфных алгоритмов нецелесообразно в связи с отсутствием базы данных для обучения и относительно малыми вычислительными ресурсами бортовой системы управления робота. Для обработки изображения в данном случае выбран метод объектно-ориентированной классификации, описанный в [4]. Данный метод не использует ни попиксельную сегментацию, ни предварительную обработку

изображения посредством нейронной сети. Сегментация выполняется на базе как элементарных (яркостных и текстурных) особенностей изображения, так и других свойств объектов, в данном случае – геометрических. Аналогичный подход был успешно применён при решении задачи повышения надежности визуальной навигации мобильного робота [5]. В настоящей статье рассмотрен алгоритм реконструкции рабочей зоны, обеспечивающий как классификацию объектов в соответствии с таблицей 1 для выбора рабочего инструмента, так и получение их трёхмерных координат для решения обратной задачи кинематики и управления режимами движения исполнительного органа манипулятора. В статье приведены результаты натурных экспериментов.

2. Реконструкция рабочей зоны с применением объектно-ориентированной сегментации

Предлагаемый алгоритм реконструкции рабочей зоны манипулятора состоит из следующих шагов:

1. Стереорекострукция рабочей зоны по двум или нескольким снимкам рабочей зоны, полученным в нескольких положениях манипулятора при помощи камеры, установленной на манипуляторе. При выполнении стереорекострукции получается трёхмерное облако точек, каждая из которых имеет метрические координаты в системе координат манипулятора

2. Предварительная обработка (отбраковка точек) трёхмерного облака по критерию достижимости точки с учетом размеров манипулятора, по критерию принадлежности зоне нахождения ИИИ и другим аналогичным пространственным ограничениям. Формирование трёхмерных зон интереса.

3. Сегментация телевизионных кадров, полученных на шаге 1 по критериям яркости и текстуры, формирование визуальных (двумерных) зон интереса, определение главных осей и характерных размеров этих зон

4. Ре-проекция точек трёхмерного облака на телевизионные кадры, дополнительная отбраковка точек трёхмерного облака по критерию соответствия репроекции зонам, полученным на шаге 3.

5. Трёхмерная сегментация объектов в полученном облаке точек с использованием результатов шага 3, т.е. получение сегментации рабочей зоны на 3D зоны интереса.

6. Определение положения объектов в пространстве при помощи описания его пространственной фигурой, соответствующей Таблице 1 (цилиндр, отрезок, шар, конус).

На рис. 1 показаны результаты последовательной обработки в соответствии с шагами 1-4.

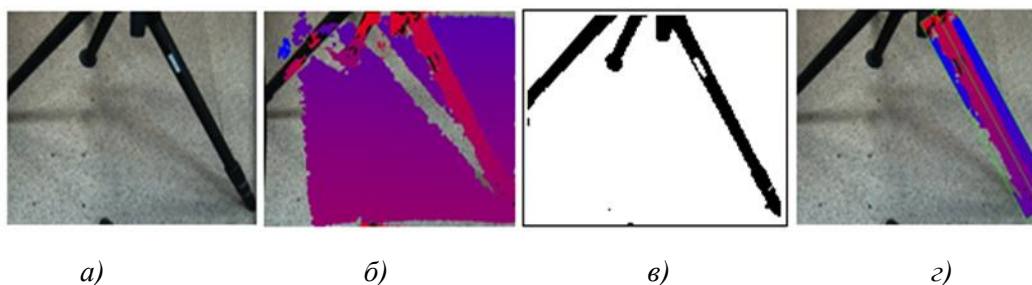


Рис. 1. Результаты последовательной обработки: а) исходное изображение рабочей зоны, б) исходное изображение с отображёнными на нём точками трёхмерного облака, в) предварительная сегментация изображения г) итоговая сегментация (зона интереса на изображении и соответствующие точки облака). Более близкие к камере точки обозначены красным цветом, более удалённые – синим

Использование разработанного алгоритма предполагает минимальное участие оператора в процессе работы. Задачей оператора является контроль результатов формирования визуальных зон интереса задание главной оси инерции описываемого объекта и визуального размера области интереса, строящейся относительно данной оси. Все дальнейшие построения производятся в зонах интереса (рис. 1, г).

Аппроксимация подмножества облака точек, соответствующих каждой 3D зоне интереса фигурой вращения возможна с использованием метода, описанного в [6].

Контроль за правильностью итоговой сегментации может быть выполнен с участием оператора путём построения репроекции реконструированного объекта на исходное изображение. Пример такой репроекции показан на рис. 2.

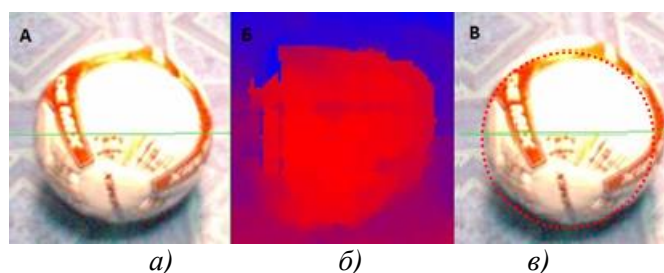


Рис. 2. Репроекция реконструированной сферы на исходное изображение. а) исходное изображение б) соответствующее исходному изображению облако точек (синим обозначены «дальние» точки, красным – «ближние») в) репроекция реконструированной сферы на исходное изображение

Аналогичным образом можно описать любую фигуру вращения, если нам известна формула, задающая границу, которая образует поверхность, а также фигуры, не являющиеся фигурами вращения (например, параллелепипед, где за длину его стороны принимается диаметр цилиндра). Возможно

пространственное описание и более сложных фигур при априорном знании об их геометрии.

3. Использование результатов реконструкции в системе управления манипулятором

Предложенный метод реконструкции рабочей зоны манипулятора позволяет описать её в виде пространственной композиции объектов, доступных для обработки имеющимися на работе средствами. На базе полученной реконструкции система управления робота формирует локальную последовательность отработки комплексной операции типа «освобождение прохода», «извлечение из завала опасных объектов» и т.п. Указанная последовательность состоит из простых технологических операций (ТОП) типа «захват», «перенос», «резание» и т.п., выполняемых в пределах досягаемости эффектора манипулятора. В случае выявления объектов, размер или положение которых не позволяют выполнить ни одну ТОП, формируется сообщение оператору.

После завершения комплексной операции мобильный робот перемещается на освобождённый участок и реконструкция рабочей зоны повторяется.

Заключение

В статье описан метод реконструкции рабочей зоны манипулятора мобильного робота на базе объектно-ориентированной сегментации. Использование этого метода позволяет формировать и выполнять посредством манипулятора комплексные операции типа «освобождение прохода», «извлечение и изъятие опасного объекта». Дальнейшее направление исследований связано с групповым применением роботов, оснащенных взаимодополняющим набором сенсоров и технологического оборудования и планированием соответствующих групповых операций.

Работа проводилась в рамках выполнения государственного задания Минобрнауки России № 075-00924-19-00 “Методы автоматического синтеза оптимального управления поведением группы роботов на основе ситуационного анализа с применением семантических технологий”.

Список литературы

1. Kulichenko, A., Smirnova, E. Possible application of heterogeneous robot group to search and localize ionizing radiation sources Annals of DAAAM and Proceedings of the International DAAAM Symposium 2017, Pages 859-866 28th DAAAM International Symposium on Intelligent Manufacturing and Automation, DAAAM 2017; Zadar; Croatia; 8 November 2017 до 11 November 2017; Код 132782.

2. Электронный ресурс: <https://poleznayamodel.ru/model/11/119896.html>.

3. Громошинский Д.А., Жуков А.М., Попов А.В., Смирнова Е.Ю. Обеспечение безопасного забора пробы грунта в рабочей зоне манипулятора с помощью системы технического зрения// Экстремальная робототехника и конверсионные технологии: Сборник тезисов Международной научно-технической конференции. – Санкт-Петербург, 2018. – С. 98-99.

4. Гурченков А.А., Мурынин А.Б., Трекин А.Н., Игнатъев В.Ю. Метод объектно-ориентированной классификации объектов подстилающей поверхности в задаче аэрокосмического мониторинга состояния импактных районов Арктики // Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Серия «Естественные науки». 2017. №3 (72).

5. 26th DAAAM International Symposium on Intelligent Manufacturing and Automation, DAAAM 2015 A technique of natural visual landmarks detection and description for mobile robot cognitive navigation E.Y. Smirnova, D.N. Stepanov, V.V. Goryunov.

6. Мартянов И.А. Реконструкция статического 3D объекта по данным камеры Xtion на базе алгоритмов компьютерного зрения // Известия ТулГУ. Технические науки. 2017. №12-2.

В.М.Битный-Шляхто, зам. главного конструктора, v_bitny@rtc.ru
С.А.Половко, зам. главного конструктора, к.т.н., polovko@rtc.ru
А.Д. Куличенко, инженер, a.kulichenko@rtc.ru
Н.А.Скрипниченко, с.н.с., natasha@rtc.ru
Е.Ю. Смирнова, нач. отдела, eus@rtc.ru
ЦНИИ РТК, г. Санкт-Петербург, Россия

ОРГАНИЗАЦИЯ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ СПЕЦИАЛЬНЫХ РОБОТОВ НА БАЗЕ КРИТЕРИЯ ОСВЕДОМЛЕННОСТИ

Аннотация: Использование роботов наиболее целесообразно в экстремальных условиях, где труд человека и его жизнедеятельность затруднены, невозможны или сопряжены с угрозой для жизни и здоровья. Наибольший эффект при проведении аварийно-спасательных работ обеспечивает гибридная группа роботов, в которой совместно работают роботы разных видов базирования. Согласованные действия группы роботов возможны на базе принципа ситуационной осведомленности, при этом для практического применения требуется выбрать количественные критерии осведомленности. В статье рассмотрен пример гибридной группы роботов, ведущих работы в условиях радиационного загрязнения. Предложен простой критерий, характеризующий неоднородность этого загрязнения, который может быть положен в основу планирования работы группы.

Ключевые слова: робот, гибридная группа, радиационная обстановка

ORGANIZATION OF INTERACTION OF SPECIAL ROBOTS ON THE BASIS OF THE AWARENESS CRITERION

**V.M. Bitny-Shlyakhto, S.A. Polovko, A.D. Kulichenko, N.A. Skripnichenko,
E.Yu. Smirnova**, eus@rtc.ru
RTC, Saint-Petersburg, Russia

Abstract: the use of robots is most appropriate in extreme conditions, where human labor and life activities are difficult, impossible or involve a threat to life and health. The greatest effect during rescue operations is provided by a hybrid group of robots, in which robots of different types work together. Coordinated actions of a group of robots are possible on the basis of the principle of awareness, while for practical application it is necessary to choose quantitative criteria of awareness. The article deals with the application of a hybrid group of robots operating in the conditions of radiation pollution. A simple criterion for estimating the heterogeneity of this pollution is proposed, which can be used as a basis for planning the work of the group.

Keywords: robot, hybrid group, radiation situation

1. Введение

Использование роботов наиболее целесообразно в экстремальных условиях, где труд человека и его жизнедеятельность затруднены, невозможны или сопряжены с угрозой для жизни и здоровья [1]. Преимущества группового применения роботов в задачах экстремальной робототехники очевидны. В общем случае, это больший радиус действия, достигаемый за счет расщепления роботов по всей рабочей зоне; расширенный набор выполняемых функций, достигаемый за счет установки на каждого робота индивидуальных исполнительных устройств; уменьшение времени выполнения операций, экономия ресурсов отдельного робота за счет оптимального планирования ресурсов группы и более высокая вероятность выполнения задания, достигаемая за счет возможности перераспределения целей между роботами группы.

Для ряда задач, решаемых в опасных, удаленных или труднодоступных зонах, групповое применение роботов дает дополнительные преимущества, а именно:

- минимизация дозой нагрузки на робота при работе в полях излучения;
- возможность организации взаимной ретрансляции при неустойчивой связи с центром управления.

Вместе с тем, объединение роботов в однородные группы по видам базирования ставит ряд проблем, связанных с ограничениями, присущими каждому виду роботов. Так, с одной стороны, наилучшую возможность организации ретрансляции между членами группы при неустойчивой связи и значительное увеличение дальности высокоскоростной связи обеспечивает использование беспилотных летательных аппаратов (БЛА) и безэкипажных катеров (БЭК). Эти же робототехнические средства оснащаются средствами технического зрения с большой зоной обзора и, как правило, находятся в зоне устойчивой связи с глобальными спутниковыми навигационными системами. С другой стороны, технологические инструменты, необходимые для выполнения манипуляционных, транспортных, эвакуационных и тому подобных операций размещаются на наземных и подводных роботизированных платформах, которые должны доставить это оборудование и выполнить необходимые технологические операции в рабочей зоне, зачастую находящейся вне прямой радиовидимости и проблемной с точки зрения локализации робота посредством глобальных навигационных систем (руины, завалы, подвальные помещения).

С учетом вышесказанного, логичным шагом является создание гибридных робототехнических групп, в наиболее общем случае объединяющих наземные робототехнические комплексы (РТК), беспилотные летательные

аппараты (БЛА), бэзэкипажные катера (БЭК), автономные необитаемые подводные аппараты (АНПА).

При выполнении комплексных операций взаимодействие роботов в группе целесообразно строить на базе принципа ситуационной осведомленности [2]. В статье рассмотрен подход к выбору состава гибридной группы роботов для решения задачи локализации и изъятия источников ионизирующих излучений. Показано, что одни из основных факторов осведомленности, влияющих на планирование маршрутов роботов является представление о характере неоднородности поля излучения. Предложен критерий оценки радиационной ситуации, приведены результаты вычислительных экспериментов.

2. Описание проблемы

Рассмотрим пример группы роботов, выполняющих задачу обработки зон радиационного загрязнения при ликвидации последствий техногенной аварии. Предполагается, что источники излучения, подлежащие изъятию и контейнеризованию, образуют локальную зону неоднородности поля излучения (ЗНИ). Наземный РТК, оснащенный гамма-пеленгатором, способен запеленговать ЗНИ, переместиться к ней и обезвредить находящиеся там ИИИ путём контейнеризации при помощи манипулятора. Однако эта задача принципиально не может быть решена одним наземным роботом без длительного нахождения робота в зоне высоких уровней радиации. Повышение качества дистанционной пеленгации зон загрязнения с более безопасного для аппаратуры расстояния возможно за счет классического алгоритма одновременного пеленга посредством двух пеленгаторов (в нашем случае, двух наземных РТК) [3]. В то же время, беспилотный БЛА, оснащенный средствами радиационного поиска, может вести разведку местности с высоты, не подвергаясь радиационной опасности. Использование БЛА со средствами видеосъемки дает возможность выбрать место развёртывания группы наземных роботов в относительно безопасной зоне, приблизительно определить характер радиационного загрязнения местности, оценить наличие препятствий в зоне работ, организовать надежную связь и наблюдение за ходом работ. Однако, при проведении воздушной радиационной разведки велика погрешность, вызванная пространственным осреднением поля излучения. Таким образом, наилучший результат может быть достигнут при использовании гибридной группы следующего минимального состава: два наземных РТК (легкий разведчик и тяжелый ликвидатор) и два БЛА, один из которых предназначен для предварительной радиационной разведки местности, второй – для видеонаблюдения с проведением работ наземными РТК и организации связи с ними.

Основной проблемой на этапе работ, непосредственно связанных с перемещением робота к загрязненной зоне, является то, что гамма-пеленгатор обеспечивает достоверное определение курсового угла только в случае един-

ственной области неоднородности поля излучения в поле зрения пеленгатора. Если неоднородностей две и более, гамма-пеленгатор укажет неправильное направление, следовательно, направление движения будет определено также ошибочно и время выполнения операции по обезвреживанию источников излучения непредсказуемо увеличится. На рисунке 1 показаны результаты моделирования маршрута движения тяжелого РТК к месту выполнения работ в случае различного числа зон неоднородности поля излучения в зоне видимости гамма-пеленгатора (от одной до трёх). Каждый маршрут представляет собой последовательность стоянок, на которых происходит определение курсового угла, маневров типа «поворот на курсовой угол» и участков прямолинейного перемещения в соответствии с полученным курсом. При моделировании предполагается, что при выходе робота к ЗНИ происходит полная очистка этой зоны. Работа заканчивается, когда все зоны становятся очищенными. Из рисунка видно, что в случае 2-х и 3-х ЗНИ перемещение робота в ряде случаев не приводит к цели. Для устранения этого недостатка необходимо до измерения курсового угла проверять гипотезу о характере неоднородности поля ионизирующего излучения.

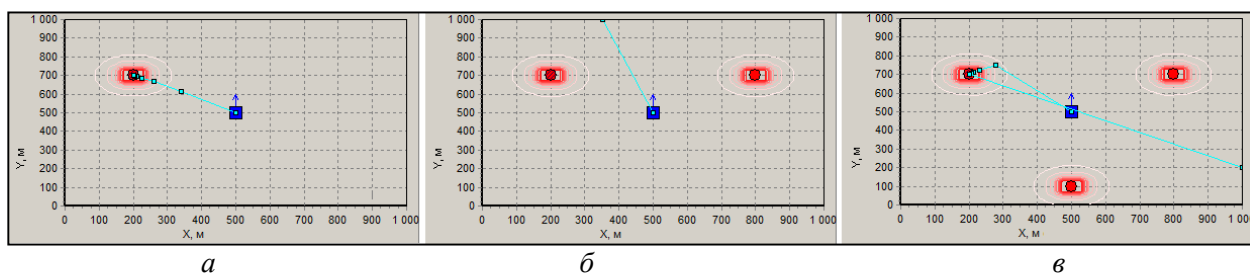


Рис. 1. Результаты моделирования маршрута перемещения РТК: а) в случае 1-ой ЗНИ; б) в случае 2-х ЗНИ; в) в случае 3-х ЗНИ. Исходное положение робота показано синим прямоугольником, условные центры ЗНИ показаны красными кружками.

3. Критерий оценки характера неоднородности поля загрязнения

Простейшим способом оценки характера неоднородности поля является визуальная оценка картины поля дозой обстановки, построенной по результатам воздушной разведки. Другой способ основан на свойствах непосредственно гамма-пеленгатора. Гамма-пеленгатор представляет собой конструкцию из m детекторов, расположенных равномерно по окружности вокруг экранирующего цилиндра. Процесс регистрации гамма-квантов каждым из детекторов представляет собой процесс регистрации и описывается пуассоновским потоком случайных событий. Интенсивность потока λ в общем случае описывается формулой:

$$\lambda = \lambda_{\phi} + \sum_{j=1}^n \lambda_{c_j}, \quad (1)$$

где λ_{ϕ} – интенсивность фонового излучения,

n – количество ЗНИ в рабочей зоне,

$\lambda_{cj} = K_j \cdot \varphi(\theta_j)$ – интенсивность излучения, связанная с j -ой ЗНИ,

K_j – коэффициент пропорциональности,

$\varphi(\theta)$ – диаграмма направленности детектора,

θ_j – угол между осью детектора и направлением на j -тую ЗНИ.

Для определения характера неоднородности применяется методика, основанная на вычислении максимума логарифма функции правдоподобия $F(\theta_1, \theta_2, \theta_3, \dots)$ для различного количества параметров [3]:

$$F(\theta_1, \theta_2, \theta_3, \dots) = \ln \left(\prod_{i=1}^m (e^{-\lambda_i(\theta_1, \theta_2, \theta_3, \dots) \cdot T} \cdot \frac{(\lambda_i(\theta_1, \theta_2, \theta_3, \dots) \cdot T)^{N_i}}{(N_i)!}) \right) = \sum_{i=1}^m (N_i \cdot \ln(\lambda_i(\theta_1, \theta_2, \theta_3, \dots) \cdot T) - \lambda_i(\theta_1, \theta_2, \theta_3, \dots) \cdot T - \ln((N_i)!)) \quad (2)$$

где $N_i, i=1, \dots, m$ – число гамма-квантов, зарегистрированных i -тым детектором за время экспозиции T ,

$\lambda_i(\theta_1, \theta_2, \theta_3, \dots), i=1, \dots, m$ – зависимость интенсивности потока от параметров для i -го детектора (2.1), определяемая диаграммой направленности детектора $\varphi_i(\theta)$.

Параметрами являются значения курсового угла $\theta_1, \theta_2, \theta_3, \dots$.

При применении методики последовательно вычисляют значения максимума функции по формуле (2) для случая 1-го, 2-х, 3-х и более параметров. Количество параметров, при котором функция достигает абсолютного максимума, принимают за характеристику неоднородности поля излучения.

В таблице 1 приведены значения функции по формуле (2) для варианта моделирования, соответствующего рисунку 1в (три ЗНИ в поле зрения гамма-пеленгатора). Гипотеза 1 соответствует варианту «одна ЗНИ в поле зрения», гипотеза 2 соответствует варианту «две ЗНИ в поле зрения», гипотеза 3 соответствует варианту «три ЗНИ в поле зрения». Очевидно, что максимальное значение функции соответствует гипотезе «три ЗНИ в поле зрения пеленгатора». На рисунке 2 показан маршрут перемещения РТК, сформированный с учетом предварительной оценки ситуации по вышеописанному методу.

Таблица 1. Значения функции правдоподобия

Гипотеза о количестве ЗНИ	Максимум функции правдоподобия
1	-96.66
2	-47.8
3	-26.97

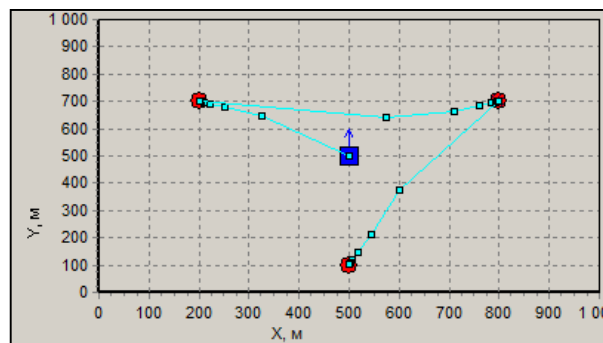


Рис. 2. Результат моделирования маршрута перемещения РТК в случае 3-х ЗНИ с учетом осведомленности о характере неоднородности поля. Исходное положение робота показано синим прямоугольником, условные центры ЗНИ показаны красными кружками.

Заключение

В статье описан состав гибридной группы роботов, выполняющих задачу последствий радиационной аварии и подход к планированию операций очистки зон загрязнения на базе осведомленности о характере неоднородности поля излучения. Использование этого подхода упрощает построение маршрутов роботов и сокращает время выполнения операции. Дальнейшее направление исследований связано с увеличением количества критериев осведомленности о состоянии рабочей зоны и планированием соответствующих групповых операций.

Работа проводилась в рамках выполнения государственного задания Минобрнауки России № 075-00924-19-00 “Методы автоматического синтеза оптимального управления поведением группы роботов на основе ситуационного анализа с применением семантических технологий”.

Список литературы

1. Юревич Е.И. Авария на Чернобыльской АЭС и экстремальная робототехника / Е. И. Юревич // Мехатроника, автоматизация, управление. – 2004. – № 3. – С. 22–24.
2. Абросимов В.К., Мочалкин А.Н., Скобелев П.О. Стратегия поведения автономного робота в противодействующей среде: ситуационная осведомленность и самоорганизация // Труды XIX Международной конференции «Проблемы управления и моделирования в сложных системах», Самара, 12-15 сентября 2017 г. – Самара: ОФОРТ, 2017 – С. 45-53
3. Бурьян В.И., Глаголев В.И., Матвеев В.В. Основы теории измерений. – М.: Атомиздат, 1977. – 200 с.

А.С. Горобцов, д.т.н., профессор, vm@vstu.ru

А.Е. Андреев, к.т.н., доцент, andan2005@yandex.ru

А.В. Скориков, аспирант, scorpion_energy@mail.ru

П.С. Тарасов, аспирант, tarasradio@mail.ru

А.Е. Марков, аспирант, markovalex95@gmail.com

Волгоградский государственный технический университет, г. Волгоград, Россия

УПРАВЛЕНИЕ ХОДЬБОЙ ДВУНОГОГО РОБОТА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ РЕГУЛЯТОРОВ, УЧИТЫВАЮЩИХ ПРОГРАММНЫЕ СИЛЫ В ПРИВОДАХ

Аннотация: Рассматриваются вопросы управления шаганием двуногого робота. Представлен метод нахождения программных сил в приводах методом обратной задачи. Приведены результаты решения обратной и прямой задачи для двуногого робота. При решении прямой задачи используется ПД регулятор с дополнительным учетом программных сил. Представлены результаты использования предложенного метода на примере робота андроида AR-600E.

Ключевые слова: робототехника, шагающие роботы, управление, антропоморфные роботы.

BIPED ROBOT WALKING CONTROL WITH THE USE OF CONTROLLERS, CONSIDERING PROGRAM FORCES IN DRIVES

A.S. Gorobtsov, Ph.D., professor, vm@vstu.ru

A.E. Andreev, Ph.D., docent, andan2005@yandex.ru

A.V. Skorikov, postgraduate, scorpion_energy@mail.ru

P.S. Tarasov, postgraduate, tarasradio@mail.ru

A.E. Markov, postgraduate, markovalex95@gmail.com
Volgograd State Technical University, Volgograd, Russia

Abstract: Biped robot walking control is considered. A method of finding program forces in drives by the inverse problem method is presented. The results of solving the inverse and direct problems for a biped robot are given. When solving a direct problem, a PD controller is used with additional consideration of program forces. The results of the use of the proposed method are presented on the example of the AR-600E humanoid robot.

Key words: robotics, walking robots, control, humanoid robots

При синтезе управления антропоморфными роботами, как правило, используются ПД регуляторы, реализующие управление по отклонению смещений и скоростей программного и управляемого движения. В системах управления объектами, обладающими статической и динамической устойчивостью, такие регуляторы дают хорошие результаты. В шагающих роботах, требования выполнения динамической устойчивости, обуславливают необходимость поиска новых типов регуляторов и принципов управления. В настоящей работе рассмотрены вопросы эффективности управления походкой робота андроида с ПД регуляторами и регуляторами, учитывающими программные силы.

Определение программных сил в приводах

Рассматривается использование метода обратной задачи [1-6] для синтеза устойчивого движения двуногого робота. Выделяются два типа параметров программного движения робота — кинематические и силовые. Силовые параметры определяют величины усилий в приводах, которые необходимы для реализации программного движения.

Общие уравнения управляемого движения робота (уравнения прямой задачи) имеют вид:

$$\begin{cases} M\ddot{x} - D_1^T p_1 = f(\dot{x}, x, t) + u(t), \\ D_1 \ddot{x} = h_1(\dot{x}, x). \end{cases} \quad (1)$$

Здесь x — вектор координат всей системы размерностью $n \times 6$, где n — число тел системы, M — матрица инерции, $f(\dot{x}, x, t)$ — вектор позиционных, диссипативных и внешних сил, $u(t)$ — матрица сил (моментов) в приводах, приведенная к координатам тел, D_1 — матрица коэффициентов уравнений связей размерностью $k_1 \times n$, p_1 — вектор множителей Лагранжа размерностью k_1 , k_1 — количество связей в кинематических парах, $h_1(\dot{x}, x)$ — вектор правых частей вторых производных уравнений связей [1,2].

Для нахождения кинематических параметров приводов используются уравнения:

$$\begin{cases} M\ddot{x} - D_2^T p_1 - D_2^T p_2 - D_3^T p_3 - D_{41}^T p_4 - D_{42}^T p_4 = f(x, \dot{x}, t), \\ D_1 \ddot{x} = h_1(x, \dot{x}), \\ D_2 \ddot{x} = \ddot{w}(t), \\ D_3 \ddot{x} = h_3(x, \dot{x}), \\ Q_4(x, \ddot{x}, z(t)) = 0, \end{cases} \quad (2)$$

где D_2, D_3 — матрицы коэффициентов связей уравнений, описывающих движение стоп робота и дополнительных уравнений связей, необходимых для согласованного движения звеньев робота [2], D_{41}, D_{42} — матрицы коэффициентов связей последнего уравнения (2) соответствующие членам с координатами и их вторыми производными соответственно, p_2, p_3, p_4 — множители Лагранжа. $z(t)$ — вектор координат точки приложения главного вектора реакций

связей в стопах робота – ТНМ. Уравнение $Q_4(x, \ddot{x}, z(t)) = 0$ системы (2) выражает условия устойчивости робота, в смысле сохранения им вертикального положения. Точное выражение для компонент этого уравнения, например, включающего в себя продольную компоненту x ТНМ имеет вид:

$$\sum_{i=1}^n m_i(\ddot{z}_i + g)x_i - \sum_{i=1}^n m_i \ddot{x}_i z_i - \sum_{i=1}^n (A_i J_i \dot{\Omega}_i)_y - z_x(t) \sum_{i=1}^n m_i(\ddot{z}_i + g) = 0, \quad (3)$$

где m_i – масса i -го тела, x_i, z_i – продольная и вертикальная координаты центра масс (ц.м.) i -го тела, A_i – матрица перехода из подвижной системы координат i -го тела в неподвижную, J_i – матрица моментов инерции тела, $\dot{\Omega}_i$ – трехмерный вектор угловых скоростей тела в подвижной системе координат, $z_x(t)$ – продольная координата ТНМ. Обычно используется упрощенный вид уравнения (3) без членов со вторыми производными от координат, что позволяет применять для решения (2) существующее ПО в области динамики систем связанных тел (MBS), а именно:

$$\sum_{i=1}^n m_i g x_i - z_x(t) \sum_{i=1}^n m_i g = 0 \quad (4)$$

Программные силы в приводах определяются из предположения, что степени свободы приводов заморожены. Тогда системы (1) будет иметь вид:

$$\begin{cases} M\ddot{x} - D_1^T p_1 = f(\dot{x}^*, x^*, t) - M\ddot{x}^* - D_0^T p_0, \\ D_1 \ddot{x} = h_1(\dot{x}^*, x^*), \\ D_0 \ddot{x} = h_1(\dot{x}^*, x^*), \end{cases} \quad (5)$$

где x^* – вектор координат, полученный из решения (2), D_0 – матрица коэффициентов уравнений связей, соответствующих замороженным степеням свободы приводов. Решая (5), можно получить p_0 . Сравнивая (1) и (3) и учитывая, что $\ddot{x} = 0$, можно записать выражения для управляющих воздействий:

$$u(t) = -D_0^T p_0. \quad (6)$$

Откуда следует, что программные силы в приводах суть компоненты вектора p_0 . Особенностью решения (5) является наличие избыточных связей, которые не позволяют получить однозначного решения. Для получения однозначного решения используется модификация системы (5) с помощью вспомогательных дополнительных масс.

Для получения расчетных параметров управляемого движения решается уравнение (1). Полная сила в j -ом приводе находится из выражения:

$$p_j^*(t) = c_j \delta_j + d_j \dot{\delta}_j + p_{0j}; j = 1, \dots, n_1. \quad (7)$$

Здесь $p_j^*(t)$ – сила (момент) на выходном звене j -го привода, c_j, d_j – коэффициенты ПД регулятора, δ_j – отклонение между измеренным и программным значениями смещения выходного звена привода

Экспериментальные и расчетные исследования

Разработанные методы применены для синтеза управляемого движения антропоморфного робота AR-600E — рис. 1. Робот имеет массу 65 кг и высоту 1,6 м.



Рис. 1. Робот AR-600E

Расчетная схема робота представлена на рис. 2. Модель решалась в системе моделирования динамики связанных систем тел ФРУНД [2], в которой реализовано одновременное решение уравнений (1, 2, 5). Рассматривалось прямолинейное движение из состояния покоя.

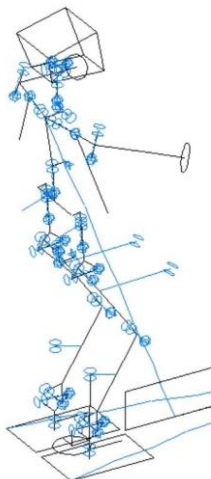


Рис. 2. Расчетная схема динамической модели робота

Основное ограничение на скорость движения робота определяется условием устойчивости (3). Наиболее просто условие (3) учитывается в форме (4), которая позволяет для решения (1,2,5), как уже отмечалось, использовать существующие методы моделирования динамики связанных систем тел. В настоящей работе указанные уравнения (1,2,5) решаются с использованием (4), что ведет к увеличению искажения программного движения с ростом скорости. На рис. 3. Показана программная траектория ТНМ, которая подставляется в уравнение (4) и далее используется в уравнениях (2,5). Такая задаваемая программная траектория интерполируется по участкам линейными и тригонометрическими функциями. Действительная траектория ТНМ, рас-

считанная с использованием (3) отличается от программной, и, такое отличие растет с возрастанием скорости движения.

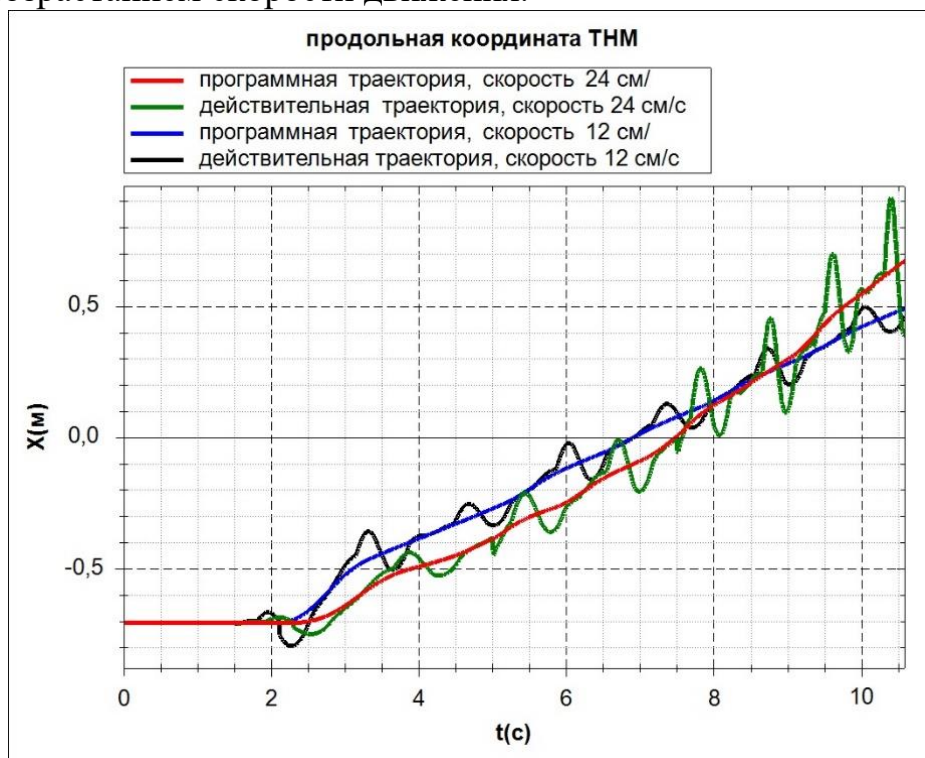


Рис. 3. X компонента траектории ТНМ для различных скоростей

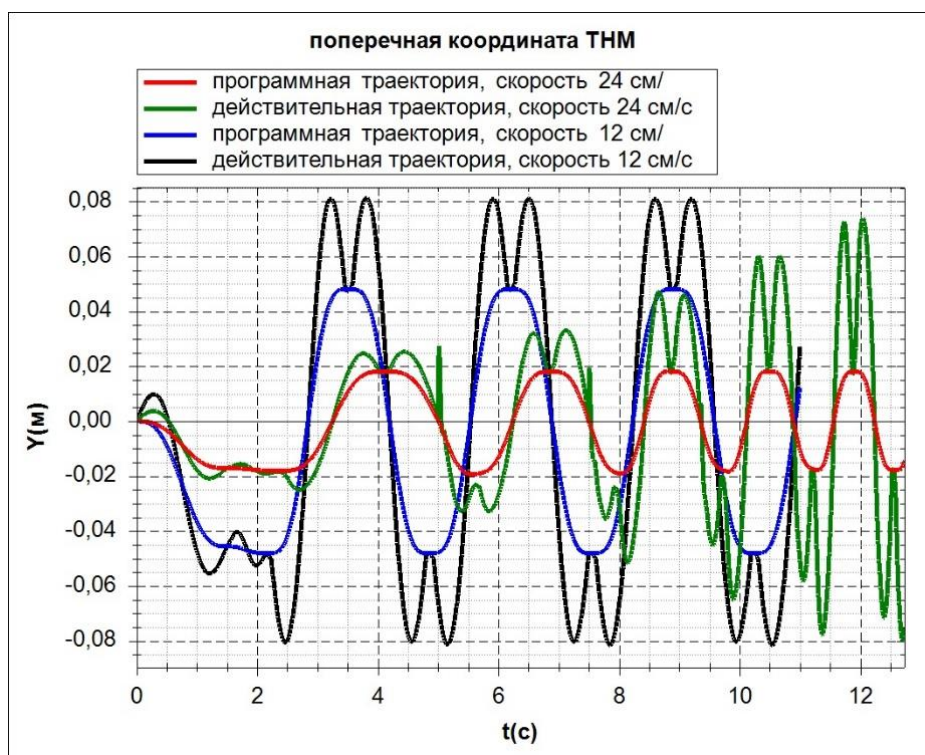


Рис. 4. Y компонента траектории ТНМ для различных скоростей

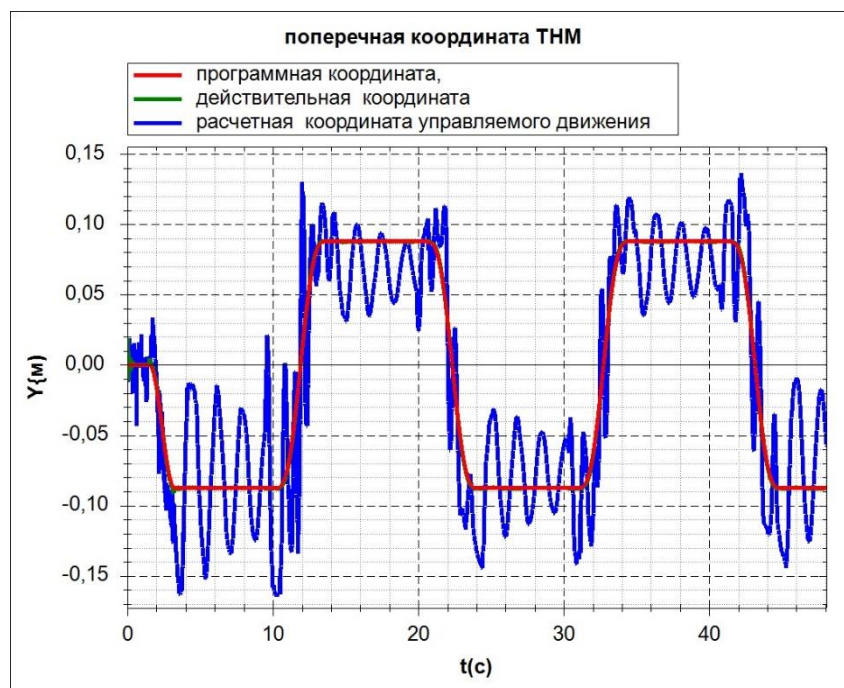


Рис. 5. Y компонента траектории ТНМ для программного и управляемого движения. Скорость 1.5 см/с, расчет управляемого движения с учетом податливости точек контакта стопы и шарниров робота

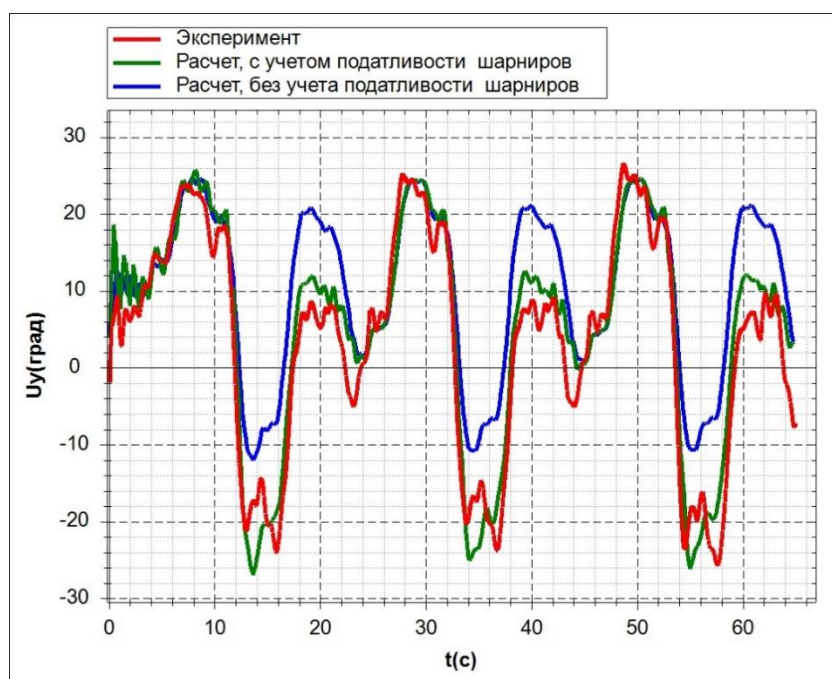


Рис. 6. Сравнение экспериментальных и расчетных продольных углов наклона корпуса. Расчет для жестких и податливых шарниров.

Конструктивные особенности робота AR-600E, обуславливают дополнительные возмущения программной траектории ТНМ, вызванные податливостью ступни и самой конструкции робота. Такие возмущения резко снижают максимальную устойчивую скорость управляемого движения робота — рисунок 5. Данные, представленные на рис. 5. получены при решении прямой

задачи со следующими параметрами — жесткость ступни в угловой точке контакта 60 кН/м, жесткость шарниров 1 мН.м. На рис. 6 показаны экспериментальные и расчетные данные по продольным угловым колебаниям управляемого движения робота. Управление роботом осуществлялось с помощью ПД регуляторов. Указанные конструктивные особенности, наряду с невысокими максимальными скоростями приводов не позволяли экспериментально исследовать движение робота на высоких скоростях. Вследствие этого, ниже мы будем рассматривать только расчетные результаты анализа программного и управляемого движения, полученные из решения обратной и прямой задачи. В расчетном анализе жесткости опор ступней составляли 960 кН/м, все шарниры расчетной схемы считались жесткими.

Из рис. 3-4 следует, что до скоростей 24 см/с формальные условия устойчивости выполняются — точка приложения реакции лежит внутри полигона, очерченного периметром ступней. Моделирование управляемого движения выполнялось решением системы (1), в которой момент в приводах вычислялся по выражению (6). Коэффициент позиционной обратной связи в расчетах принимался равным 1 кН*м/рад, дифференциальной — 0.1 кН*м/(рад.с).

Результаты численного моделирования показали, что устойчивое вертикальное положение робота, при управлении с учетом программного момента, сохраняется при значительно более высоких скоростях движения, чем при управлении только ПД регулятором. При управлении с учетом программного момента была достигнута максимальная скорость 0.42 м/с, при управлении ПД регулятором — 0.1 м/с. При этом расчетное значение координат отличается от программного по форме, но максимальные значения совпадают — рис. 7. На графиках рис. 7 также видны скачки координат ТНМ, соответствующие моментам соприкосновения контактирующих точек стопы с опорной поверхностью. Возникновение таких скачков можно объяснить прямоугольной формой стопы с большими продольными и поперечными размерами. Отметим, что на такой скорости не было получено устойчивого движения при управлении только ПД регулятором. На рис. 7. замечен поперечный уход управляемого движения от программного, но такой уход не приводит к опрокидыванию робота. На рис. 8 представлены графики программных значений момента в поворотном приводе левой стопы относительно продольной оси для двух вариантов амплитуды поперечных колебаний ТНМ. Из графиков следует, что для заданного периода шага, программные силы зависят от значения амплитуды поперечных колебаний ТНМ. Очевидно, минимальное значение энергетических затрат достигается при совпадении частоты шага с частотой колебаний перевернутого маятника.

Для скорости движения 0.42 м/с (рис. 9) действительные поперечные координаты ТНМ значительно превышают граничные значения, определяемые внешней границей стоп, что хорошо видно из представленных графиков.

Тем не менее робот достаточно долго – 10 – 15 секунд сохраняет вертикальную походку до падения.

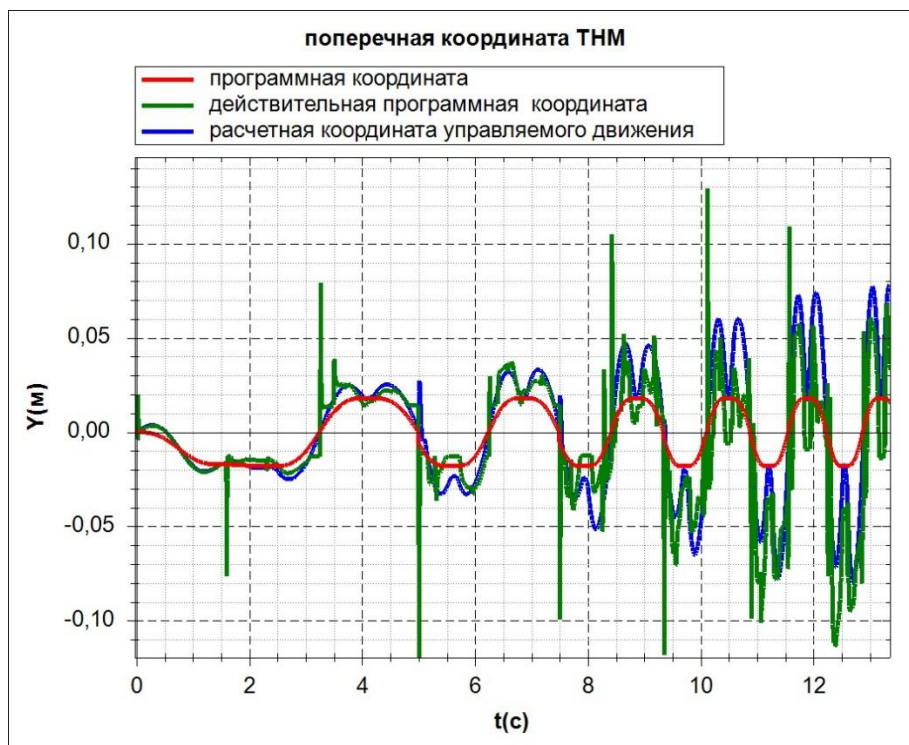


Рис. 7. Сравнение программных и расчетных поперечных координат ТНМ, скорость 0,24 м/с.

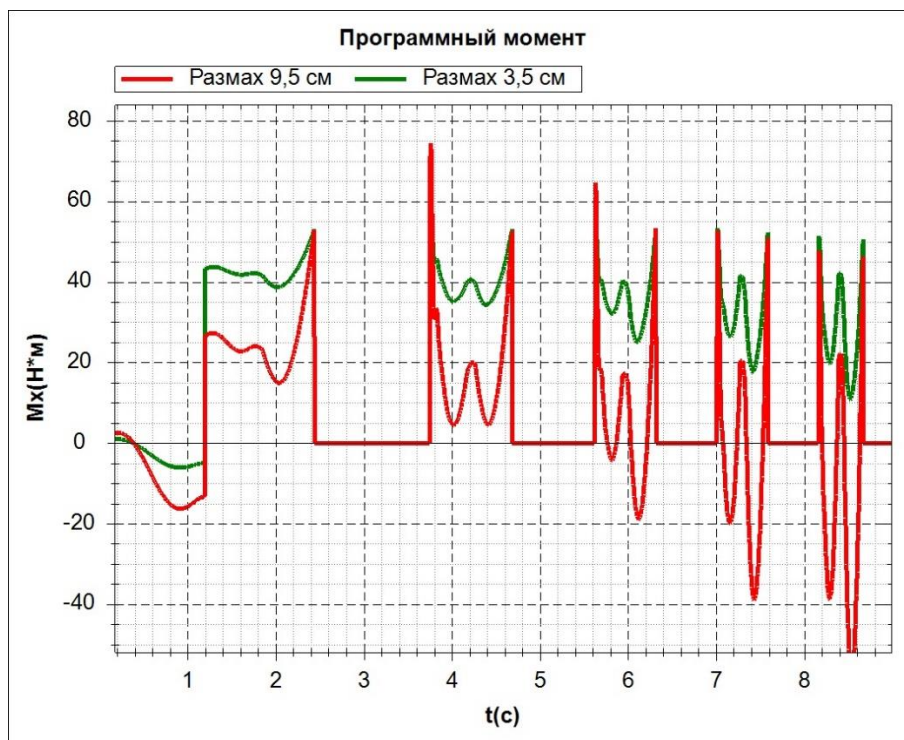


Рис. 8. Сравнение программных моментов в приводе левой стопы для различных значений поперечных размахов ТНМ (привод вращения стопы относительно продольной оси), скорость 0,24 м/с.

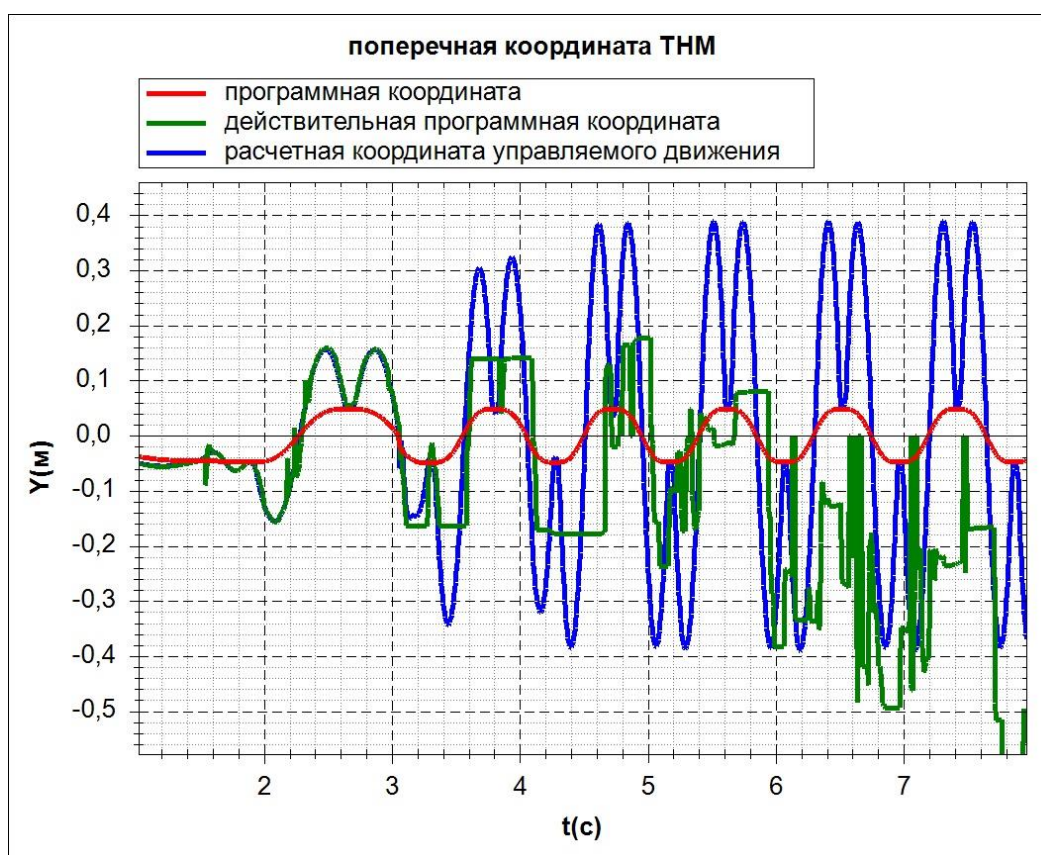


Рис. 9. Сравнение программных и расчетных поперечных координат ТНМ, скорость 0,42 м/с.

Заключение

Представленные методы и проведенный расчетный анализ показал, что включение в контур управления программных моментов позволяет достичь больших скоростей движения двуногих роботов, по сравнению с управлением ПД регуляторами. Разработанные методы определения программных моментов в приводах могут быть использованы в системах управления роботами различного типа. Главной причиной ограничения скорости можно назвать прямоугольную форму стопы робота (рис. 1-2), которая вызывает значительные возмущения от ударов углами стопы.

Список литературы

1. Горобцов А.С. Синтез параметров управляемого движения многозвенных механических систем произвольной структуры методом обратной задачи // Мехатроника, автоматизация, управление. 2004. №6. С. 43-50, 2 с. обл.
2. Особенности решения уравнений метода обратной задачи для синтеза устойчивого управляемого движения шагающих роботов = Features of Solving the Inverse Dynamic Method Equations for the Synthesis of Stable Walking Robots Controlled Motion / А.С. Горобцов, А.Е. Андреев, А.Е. Марков, Ан.В. Скориков, П.С.

Тарасов // Труды СПИИРАН = SPIIRAS Proceedings. - 2019. - Т. 18, № 1. - С. 85-122.

3. Kim J.Y., Park I.W., Oh J.H. Experimental realization of dynamic walking of the biped humanoid robot KHR-2 using zero moment point feedback and inertial measurement // Advanced Robotics. 2006. vol. 20. no. 6. pp. 707-736.

4. Kim J.H. and Oh J.H. Realization of dynamic walking for the humanoid robot platform KHR-1 // Advanced Robotics. 2004. vol. 18. no. 7. pp. 749-768.

5. Engelsberger J., Koolen T., Bertrand S., Pratt J., Ott C., Albu-Schäffer A. Trajectory generation for continuous leg forces during double support and heel-to-toe shift based on divergent component of motion // Proceedings of IEEE RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems. 2014. pp. 4022-4029.

6. Khusainov, R., Klimchik, A., Magid, E.: Swing leg trajectory optimization for a humanoid robot locomotion. In: 2016 13th International Conference on Informatics in Control, Automation and Robotics (ICINCO) (2016). pp. 130-141.

РАЗРАБОТКА САМОНАСТРАИВАЮЩЕЙСЯ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ДВИЖЕНИЕМ БЕСПИЛОТНОГО ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА В ВЕРТИКАЛЬНОЙ ПЛОСКОСТИ

Аннотация: Разработан метод синтеза системы с самонастройкой по эталонной модели для управления движением беспилотного летательного аппарата (квадрокоптера) в вертикальной плоскости. Предложена нелинейная коррекция для обеспечения независимого управления по линейным и угловым координатам при заданной компоновке двигателей. Доказаны условия устойчивости процесса самонастройки. Получен новый закон формирования разрывного управляющего сигнала в каждой подсистеме, обеспечивающий высокие показатели качества при любых значениях параметров объекта из заданных диапазонов с учетом динамического взаимовлияния между каналами управления.

Ключевые слова: система управления, беспилотный летательный аппарат, самонастраивающаяся система, эталонная модель, нелинейная коррекция

THE DEVELOPMENT OF SELF-ADJUSTING SYSTEM FOR THE CONTROL OF UNMANNED AERIAL VEHICLE MOTION IN VERTICAL PLANE

A.V. Lebedev, Ph.D., lebedev@dvo.ru
Institute of Automation and Control Processes, Vladivostok, Russia

Abstract: The method of the synthesis of system with reference model self-adjustment for the control of unmanned aerial vehicle (quadrotor) motion in vertical plane is developed. The nonlinear correction is proposed in order to provide the independent control on linear and angular coordinates at given composition of the thrusters. Conditions of self-adjustment process stability are proved. The new law of the formation of discontinuous control signal in each subsystem is obtained. This law provides high control quality at any values of the object parameters within given ranges with allowance for dynamic reciprocal effects between control channels.

Key words: control system, unmanned aerial vehicle, self-adjusting system, reference model, nonlinear correction

Одной из важных и актуальных проблем современной робототехники является создание высококачественных систем управления (СУ) мобильными роботами различного типа и назначения, которые должны обеспечивать их точное и быстрое движение по сложным пространственным траекториям. Среди всего многообразия таких технических объектов выделяется класс беспилотных летательных аппаратов (квадрокоптеров), область применения которых в настоящее время существенно расширяется. Полная математическая модель динамики движения квадрокоптера является нелинейной, многомерной и многосвязной [1], что обусловлено взаимовлиянием между отдельными каналами управления при одновременном изменении нескольких его координат. Более того, параметры модели зачастую априорно не определены (в частности, из-за неопределенности массо-инерционных характеристик объекта и параметров его взаимодействия с окружающей воздушной средой) и могут в процессе движения беспилотного летательного аппарата (БПЛА) принимать различные значения внутри заданных диапазонов. Указанные факторы усложняют решение задачи синтеза и приводят к необходимости разработки специальных адаптивных и робастных СУ.

Весьма эффективным при управлении нелинейными нестационарными динамическими объектами и в то же время достаточно простым в реализации типом таких СУ являются самонастраивающиеся системы (СНС) с эталонными моделями [2-4]. Эти системы обеспечивают неизменно высокие показатели качества работы за счет введения в основной контур дополнительного разрывного сигнала самонастройки, компенсирующего возможные отклонения параметров объекта от их номинальных значений. Однако непосредственное применение известных методов теории СНС при синтезе СУ БПЛА наталкивается на существенные трудности, связанные с необходимостью учета особенностей динамики его пространственного движения, а также специфической компоновки его движителей. Это приводит к необходимости разработки модифицированных законов управления (в том числе специальной нелинейной коррекции) в классе СНС.

Целью данной работы является создание метода синтеза системы с нелинейной коррекцией и самонастройкой по эталонной модели для децентрализованного управления движением квадрокоптера с учетом особенностей конструкции его движительного комплекса. При этом должны быть определены и доказаны условия устойчивости процесса самонастройки в каждой подсистеме с учетом динамического взаимовлияния между ними. СУ должна обеспечивать стабильно высокие показатели качества управления при любых значениях параметров квадрокоптера из заданных диапазонов без их идентификации.

Для решения указанных задач используем математическую модель динамики квадрокоптера как свободного твердого тела, перемещающегося в пространстве (при наличии сопротивления воздушной среды) за счет сил тя-

ги, создаваемых четырьмя вращающимися винтами, которая в матрично-векторной форме приведена в работе [1].

Связь между проекциями $v_x, v_y, v_z, \omega_x, \omega_y, \omega_z$ линейной и угловой скоростей БПЛА на оси связанной системы координат (СК) и производными его декартовых координат x, y, z и углов курса ψ , крена θ , дифферента φ в абсолютной СК, определяющая кинематику квадрокоптера, задается стандартным матричным уравнением, содержащим матрицу перехода между этими системами координат.

В дальнейшем, используя принцип декомпозиции, выделим задачу синтеза системы децентрализованного управления движением БПЛА только в вертикальной плоскости Oxz .

Отметим, что с учетом конструктивных особенностей квадрокоптера силы тяги $\tau_{\partial 1}, \tau_{\partial 2}, \tau_{\partial 3}$ и $\tau_{\partial 4}$ всех четырех его движителей направлены параллельно оси Oz связанной СК. При этом для реализации указанного выше режима движения должно выполняться, в частности, условие равенства сил тяги движителей, расположенных по разные стороны от оси Ox (например, для рассматриваемого случая $\tau_{\partial 1} = \tau_{\partial 2}, \tau_{\partial 3} = \tau_{\partial 4}$), а также равенство угловых скоростей для вращающихся в противоположные стороны винтов. В этом случае соотношения для проекций сил $\tau_{\partial x}, \tau_{\partial y}, \tau_{\partial z}$ и моментов $M_{\partial x}, M_{\partial y}, M_{\partial z}$, создаваемых движительным комплексом, на оси связанной СК будут иметь вид (здесь l – расстояние от оси каждого движителя до начала координат связанной СК):

$$\begin{aligned} \tau_{\partial z} &= \tau_{\partial 1} + \tau_{\partial 2} + \tau_{\partial 3} + \tau_{\partial 4}, & \tau_{\partial x} &= \tau_{\partial y} = 0, \\ M_{\partial y} &= l(-\tau_{\partial 1} - \tau_{\partial 2} + \tau_{\partial 3} + \tau_{\partial 4}), & M_{\partial x} &= M_{\partial z} = 0. \end{aligned} \quad (1)$$

Таким образом, в рассматриваемом случае $y = \theta = \psi = 0$, и перемещение БПЛА полностью определяется зависимостями $x = x(t), z = z(t), \varphi = \varphi(t)$.

С учетом принятых условий на основании уравнений динамики и кинематики общего вида [1] уже нетрудно получить в скалярной форме математическую модель, описывающую движение квадрокоптера в плоскости Oxz :

$$\begin{aligned} \dot{v}_x &= -v_z \omega_y + g \cos \varphi - k_x v_x |v_x|/m, \\ \dot{v}_z &= v_x \omega_y - g \cos \varphi - k_z v_z |v_z|/m + \tau_{\partial z}/m, \\ \dot{\omega}_y &= (-k_y \omega_y |\omega_y| + M_{\partial y})/J_y, \\ \dot{x} &= v_x \cos \varphi + v_z \sin \varphi, & \dot{z} &= -v_x \sin \varphi + v_z \cos \varphi, & \dot{\varphi} &= \omega_y, \end{aligned} \quad (2)$$

где m – масса БПЛА, J_y – момент инерции БПЛА относительно горизонтальной оси Oy , k_x, k_y, k_z – коэффициенты сопротивления воздуха.

Будем полагать, что инерционность каждого движителя много меньше инерционности всего квадрокоптера в целом. В этом случае каждый движитель может быть описан уравнениями следующего вида:

$$\tau_{\partial i} = b\Omega_i^2, \quad \Omega_i = k_\partial \tilde{u}_i, \quad (3)$$

где k_∂ , b – коэффициент усиления и коэффициент тяги винта, одинаковые для всех движителей, $\tau_{\partial i}$ – сила тяги i -го движителя (здесь и далее $i = 1, \dots, 4$), $\tilde{u}_i$ – управляющий сигнал, поступающий на вход i -го движителя, Ω_i – угловая скорость вращения i -го винта квадрокоптера.

Согласно принципу децентрализованного управления представим СУ движением БПЛА в целом в виде совокупности сепаратных подсистем (каналов управления), каждая из которых обеспечивает регулирование отдельной его пространственной координаты x , z и φ .

Однако, как было показано выше, особенности конструкции квадрокоптера приводят к тому, что формирование силы тяги $\tau_{\partial z}$ и момента $M_{\partial y}$ осуществляется одними и теми же парами движителей. Поэтому для обеспечения требуемой декомпозиции, т.е. независимости управления по каждой координате, необходимо синтезировать нелинейную коррекцию (специальный блок пересчета управляющих воздействий).

Будем полагать, что для реализации требуемых (с точки зрения желаемых законов изменения координат БПЛА) значений силы тяги $\tau_{\partial z}$ и момента $M_{\partial y}$, управляющее устройство вырабатывает некоторые сигналы u_1 и u_2 . Тогда для обеспечения раздельного управления по соответствующим каналам достаточно сформировать сигналы $\tilde{u}_i$ следующим образом:

$$\tilde{u}_1 = \frac{1}{2} \sqrt{u_1 + \frac{u_2}{l}}, \quad \tilde{u}_2 = \tilde{u}_1, \quad \tilde{u}_3 = \frac{1}{2} \sqrt{u_1 - \frac{u_2}{l}}, \quad \tilde{u}_4 = \tilde{u}_3. \quad (4)$$

Действительно, в этом случае с учетом выражений (1), (3), (4) будем иметь $\tau_{\partial z} = bk_\partial^2 u_1$, $M_{\partial y} = bk_\partial^2 u_2$.

Далее, как было отмечено выше, для обеспечения компенсации возможных отклонений параметров БПЛА от их номинальных значений, а также динамического взаимовлияния между подсистемами, синтезируем в каждом канале СУ управляющее устройство с самонастройкой по эталонной модели, основываясь на принципах построения СНС, приведенных в [5].

Учитывая обеспеченную ранее декомпозицию СУ, проведем указанный синтез отдельно для каждой подсистемы. В качестве примера рассмотрим подсистему (канал) управления линейной координатой z квадрокоптера.

Выделим дополнительно в этой подсистеме контуры регулирования координаты z и скорости v_z , как показано на рис. 1 (здесь НКУ – нелинейное корректирующее устройство, ДК – движительный комплекс, z_d , v_{zd} – желаемые значения скорости v_z и координаты z , u_2 – сигнал с выхода регулятора координаты φ). При этом во внешнем контуре используем стандартный линейный регулятор, а внутренний контур реализуем как СНС.

Подставив полученное выше выражение для силы тяги $\tau_{\partial z}$ во второе уравнение системы (2), получим уравнение динамики данной подсистемы:

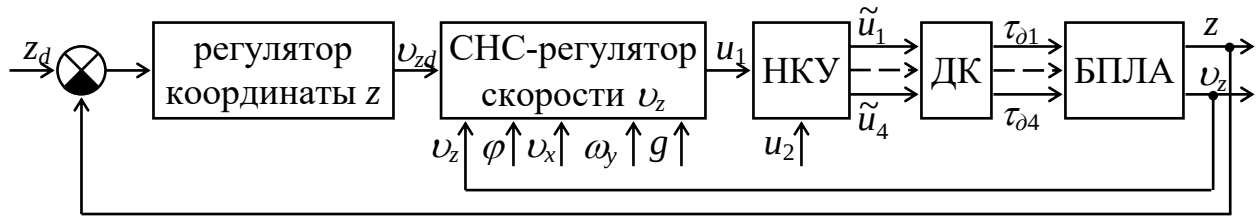


Рис. 1. Структурная схема подсистемы управления координатой z

$$\dot{v}_z = v_x \omega_y - g \cos \varphi - k_z v_z |v_z| / m + b k_\delta^2 u_1 / m. \quad (5)$$

В соответствии с особенностями динамики квадрокоптера, параметры m и k_z могут в процессе управления принимать априорно неизвестные значения внутри заданных диапазонов.

Опишем желаемый процесс изменения скорости v_z линейным дифференциальным уравнением первого порядка с постоянными коэффициентами k_v и T_v :

$$\dot{v}_z = (k_v v_{zd} - v_z) / T_v. \quad (6)$$

Поставим задачу синтезировать такой закон управления u_1 , при котором поведение системы (5) соответствовало бы уравнению (6) при любых параметрах квадрокоптера (из заданных диапазонов) и внешних возмущениях.

Сначала, приравнявая правые части соотношений (5) и (6) при некоторых номинальных значениях параметров объекта $m = m_n$, $k_z = k_{zn}$ и выражая из полученного уравнения u_1 , определим нелинейный закон управления, позволяющий решить поставленную задачу при указанных известных m_n и k_{zn} , а затем введем в полученный закон управления дополнительный разрывный сигнал самонастройки z по эталонной модели для компенсации отклонений параметров m и k_z от их номинальных значений. В результате будем иметь:

$$u_1 = (m_n (k_v v_{zd} - v_z) / T_v + k_{zn} v_z |v_z| + m_n (g \cos \varphi - v_x \omega_y) + z) / b k_\delta^2. \quad (7)$$

Для нахождения требуемого сигнала z , обеспечивающего устойчивость процесса самонастройки при любых значениях параметров квадрокоптера m и k_z из заданных диапазонов, используем метод функций Ляпунова.

Прежде всего выпишем уравнение самой эталонной модели в соответствии с желаемым законом (6) движения объекта:

$$\dot{v}_{zm} = (k_v v_{zd} - v_{zm}) / T_v, \quad (8)$$

где v_{zm} – эталонный (желаемый) процесс изменения скорости v_z .

Далее определим ошибку системы относительно модели $e_m = v_{zm} - v_z$ и зададим положительно определенную функцию Ляпунова в виде $V = e_m^2 / 2$. В работе строго доказано, что для обеспечения отрицательной определенности производной $\dot{V} = e_m \dot{e}_m$ функции Ляпунова по времени в силу уравнений системы достаточно сформировать сигнал самонастройки z , в том числе его амплитуду $h(t)$, в следующем виде:

$$z = h(t) \operatorname{sign} e_m, \quad h(t) = k_{h1} |\dot{v}_{zm} + g \cos \varphi - v_x \omega_y| + k_{h1} v_z^2, \quad (9)$$

где $k_{h1} > \max |m - m_n|$ и $k_{h2} > \max |k_z - k_{zn}|$ – заданные постоянные коэффициенты.

В этом случае будет обеспечена асимптотическая устойчивость состояния $e_m = 0$, а значит, по завершении процесса самонастройки поведение каждой подсистемы будет полностью определяться уже не соотношением вида (5), а желаемым линейным уравнением эталонной модели (8) с заданными постоянными коэффициентами.

Как подтвердили результаты численного моделирования, применение синтезированной системы с нелинейной коррекцией (4), (7) и самонастройкой по эталонной модели (9) позволило обеспечить требуемые показатели качества процесса управления при любых параметрах БПЛА из заданных диапазонов и наличии динамического взаимовлияния между подсистемами с учетом заданной компоновки двигателей квадрокоптера. Разработанная система управления является достаточно простой в технической реализации и позволяет существенно повысить эффективность применения беспилотных летательных аппаратов.

Список литературы

1. Bouabdallah S., Siegwart R. Backstepping and Sliding-mode Techniques Applied to an Indoor Micro Quadrotor // Proceedings of the 2005 IEEE International Conference on Robotics and Automation, Barcelona, Spain, 2005. – pp. 2259-2264.
2. Stepanyan V., Krishnakumar K. MRAC Revisited: Guaranteed Performance with Reference Model Modification // Proceedings of American Control Conference, Baltimore, MD, 2010. – pp.93-98.
3. Коломейцева М.Б., Агвами С.А. Синтез алгоритма прямого адаптивного управления многосвязным объектом методом декомпозиции с явной эталонной моделью // Мехатроника, автоматизация, управление. – 2010. – №8. – С.7-12.
4. Лебедев А.В., Филаретов В.Ф. Самонастраивающаяся система с эталонной моделью для управления движением подводного аппарата // Автометрия. – 2015. – Т. 51. – № 5. – С. 42-52.
5. Борцов Ю.А. и др. Электромеханические системы с адаптивным и модальным управлением / Ю.А.Борцов, Н.Д.Поляхов, В.В.Путов. Л.: Энергоатомиздат, 1984.

АЛГОРИТМЫ ДВИЖЕНИЯ МАНИПУЛЯТОРА В НЕИЗВЕСТНОЙ СРЕДЕ

Аннотация: Рассмотрена задача нахождения пути к целевой конфигурации манипулятором в неизвестной статической среде. Проанализировано применение алгоритма, основанного на выборке как в качестве самостоятельного алгоритма, так и в качестве подпрограммы в нашем алгоритме управления роботом в неизвестной среде. Отмечены преимущества и недостатки применения алгоритма, основанного на выборке, как в известной, так и неизвестной среде. Указаны пути повышения эффективности алгоритмического обеспечения решения задачи.

Ключевые слова: планирование пути, робот, манипулятор, препятствия, неизвестная среда

ALGORITHMS FOR A MANIPULATOR MOVEMENT IN AN UNKNOWN ENVIRONMENT

P.K. Lopatin, Ph.D., docent, robot-2006@yandex.ru
Reshetnev Siberian State University of Science and Technology, Krasnoyarsk, Russia

Abstract: A problem of a path finding to a target configuration by a manipulator in an unknown static environment is considered. Using of a sampling-based algorithm as an independent algorithm and as a subroutine in our algorithm for the manipulator control in the unknown environment is analyzed. The advantages and disadvantages of using of the sampling-based algorithm for known and unknown environment are outlined. Ways for raising the efficiency of algorithms for the problem solving are pointed out.

Key words: path planning, robot, manipulator, obstacles, unknown environment

Рассмотрим следующую Задачу управления манипуляционными роботами (МР): МР, двигаясь из стартовой конфигурации $\mathbf{q}^0$ в среде с неизвестными статическими препятствиями, используя ограниченный объем информации, поставляемой его сенсорной системой (СС), должен за конечное число шагов прибыть в целевую конфигурацию $\mathbf{q}^T$. Конфигурацию $\mathbf{q}^T$ считаем достижимой, то есть она удовлетворяет обоим условиям: 1) она не запрещенная; 2) в нее можно попасть из $\mathbf{q}^0$ за конечное число шагов, двигаясь только

по разрешенным состояниям. Конфигурация $\mathbf{q}$ считается разрешенной, если она не налагает на препятствия и удовлетворяет конструктивным ограничениям, то есть в ней не происходит недопустимого пересечения звеньев и она удовлетворяет неравенствам

$$\mathbf{a}^1 \leq \mathbf{q} \leq \mathbf{a}^2, \quad (1)$$

где $\mathbf{a}^1=(a_1^1, a_2^1, \dots, a_n^1)$ – вектор нижних ограничений на значения обобщённых координат, $\mathbf{a}^2=(a_1^2, a_2^2, \dots, a_n^2)$ – вектор верхних ограничений на значения обобщённых координат, $\mathbf{q}=(q^1, q^2, \dots, q^n)$ – вектор обобщённых координат МР. Таким образом, (1) образует гиперпараллелепипед X .

В настоящее время в качестве алгоритмов планирования ряд авторов использует алгоритмы, основанные на выборке [1, 2]. В качестве представителя рассмотрим алгоритм EST – Expansive Space Tree.

EST генерирует дерево, исходящее из $\mathbf{q}^0$ и разрастающееся в направлении неисследованных областей конфигурационного пространства. EST начинает с $\mathbf{q}^0$, затем выбирает конфигурацию $\mathbf{q}$ в дереве, из которой будет расти дерево (в начале делаем $\mathbf{q}=\mathbf{q}^0$), а затем выбирает случайную конфигурацию $\mathbf{q}^{\text{rand}}$ из соседей к $\mathbf{q}$. Затем EST пытается соединить $\mathbf{q}$ и $\mathbf{q}^{\text{rand}}$. В случае успеха $\mathbf{q}^{\text{rand}}$ добавляется к вершинам дерева, а $(\mathbf{q}, \mathbf{q}^{\text{rand}})$ – к ребрам дерева. Процесс повторяется, пока либо заданное число конфигураций не будет добавлено к дереву либо не будет достигнута $\mathbf{q}^T$.

Применение алгоритма EST рассмотрим на примере рабочей сцены, приведенной на Рис. 1. Здесь $\mathbf{q}^0=I$, $\mathbf{q}^T=V$.

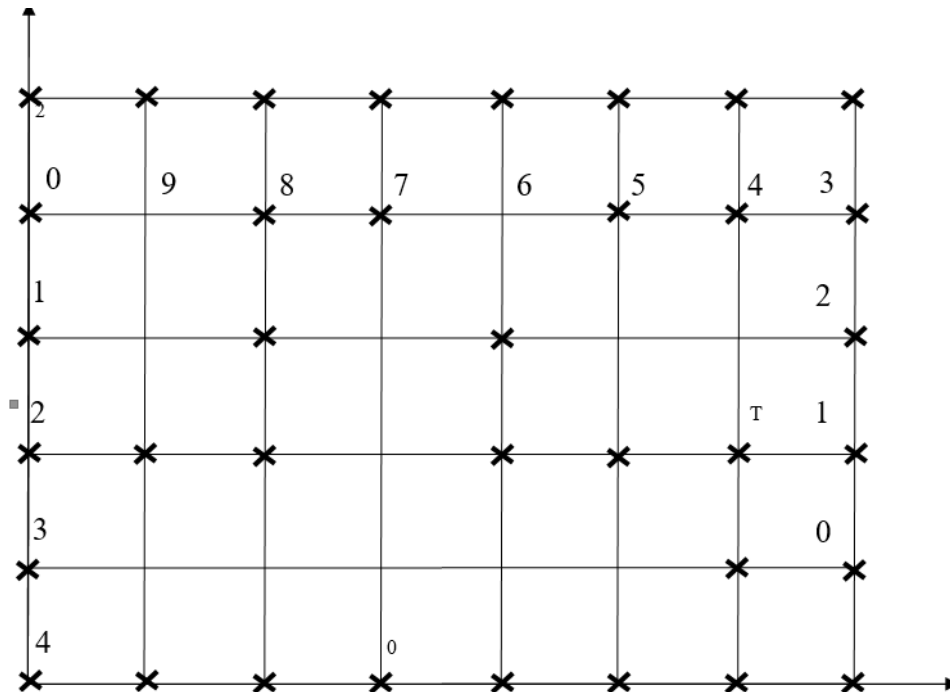


Рис. 1. Рабочая сцена

Потребуем, чтобы МР включал СС при его нахождении в текущей точке, то есть в той, в которой он в настоящий момент находится. Будем считать, что СС доставляет информацию о каждой точке, отстоящей на дискрет от текущей.

Приведем ход исполнения алгоритма EST.

№ шага	Получаемые вершины
1	I
МР находится в I. Включается СС и обнаруживается, что имеется три соседних к I разрешенных вершины – J, H, P. Выберем H.	
2	H
МР передвигается в H. Включается СС и обнаруживается, что имеется три соседних к H разрешенных вершины – A, I, J. Алгоритм предлагает выбрать какую-то одну соседнюю к H вершину. Если мы выберем I, то возникает заикливание и алгоритм не указывает, как выходить из заикливания, не предлагается, например, чтобы МР не посещал точки, в которых уже побывал, хотя не известно, обеспечивает ли данный прием успешное решение Задачи. Выберем A.	
3	A
МР передвигается в A. Включается СС и обнаруживается, что имеется одна соседняя к A разрешенная вершина – H. Возникает заикливание и алгоритм не указывает, как выходить из заикливания. Пусть мы нашли выход из заикливания, выбираем H.	
4	H
МР передвигается в H. Включается СС и обнаруживается, что имеется три соседних к H разрешенных вершины – A, I, J. Если мы выберем A или I, то возникает заикливание. Выберем J.	
5	J
МР передвигается в J. Включается СС и обнаруживается, что имеется три соседних к J разрешенных вершины – H, P, K. Выберем K.	
6	K
МР передвигается в K. Включается СС и обнаруживается, что имеется две соседних к K разрешенных вершины – J, M. Выберем M.	
7	M
МР передвигается в M. Включается СС и обнаруживается, что имеется две соседних к M разрешенных вершины – K, S. Выберем S.	
8	S
МР передвигается в S. Включается СС и обнаруживается, что имеется три соседних к S разрешенных вершины – M, V, R. V – целевая вершина. Выберем V.	
9	V
МР передвигается в V. Цель достигнута.	

В качестве преимущества алгоритма EST укажем то, что он применим к n -мерному пространству конфигураций, его недостатки заключаются в том, что он не оговаривает, в каких точках МР должен включать свою СС, про какие точки СС должна доставлять информацию, не указывает, как должен МР избегать заикливаний. В [1] указывается, что алгоритмы, основанные на выборке, обычно достигают q^T по мере уменьшения разрешения (являются сходящимися в плане разрешимости), но могут работать бесконечно долго в случае, если q^T является недостижимой. Мы же отметим, что и в случае успешного решения Задачи число перемещений МР может оказаться очень большим и в известной нам литературе не указываются способы, как их существенно сократить.

Нами разработан алгоритм, за конечное число шагов решающий Задачу в дискретизированном конфигурационном пространстве [3]. Далее будем называть этот алгоритм АНС (Алгоритм для Неизвестной Среды). FRBDN – это множество всех известных запрещенных точек, которые МР обнаружил на момент вызова процедуры ПИ(). ПИ() – подпрограмма планирования пути из q^n в q^T , обходящего FRBDN, то есть подпрограмма планирования пути в среде с известными запрещенными состояниями. q^n , $n=0, 1, 2, \dots$ – точка смены пути МР, то есть точка, в которой потребовалось планирование нового пути. Находясь в q^n , $n=0, 1, 2, \dots$ МР включает СС и получает информацию о $Y(q^n)$, $Q(q^n)$, $Z(q^n)$. $Y(q^n)$ – множество точек, соседних к q^n , $Z(q^n)$ – разрешенные точки из $Y(q^n)$, $Q(q^n)$ – запрещенные точки из $Y(q^n)$. Показано [3], что число точек смены пути q^n , $n=0, 1, \dots$ будет конечным. Рассмотрим применение алгоритма EST в качестве алгоритма для решения задачи ПИ. Перед началом работы Алгоритма $n=0$.

Алгоритм	
1	МР находится в q^n . Получить $Y(q^n)$, $Q(q^n)$, $Z(q^n)$ и пополнить множеством $Q(q^n)$ множество FRBDN.
2	/*Попытаться спланировать путь $L(q^n, q^T)$ */ if (ПИ(q^n, q^T , FRBDN, X)=0) return (q^T недостижима); endif /*В противном случае перейти на Шаг 3 для исполнения пути*/
3	МР начинает исполнять $L(q^n, q^T)$. Может быть два результата исполнения: 1) МР, не встретив запрещенных точек, придет в q^T ; return(q^T достижима). 2) МР придет в точку $q \in L(q^n, q^T)$, следующая за которой $q^* \in L(q^n, q^T)$ является ранее неизвестной запрещенной точкой. В этом случае: $n:=n+1$; $q^n:=q$; go to 1.

Рассмотрим пошаговое исполнение Алгоритма.

FRBDN= $\emptyset$, $n=0$.

1	МР находится в I. Получаем $Y(q^n)$. $Q(q^n) = \{G, O\}$. $FRBDN = FRBDN \cup Q(q^n) = \{G, O\}$.
2	Для планирования пути $L(I, V)$ вызываем ПИ(I, V, FRBDN, X). Пусть ПИ() спланировала путь $L(I, V) = \{I-P-R-V\}$ и возвращает 1.
3	МР начинает исполнять $L(I, V)$. МР перемещается в P и обнаруживает, что $R \in L(I, V)$ - ранее неизвестная запрещенная точка. Исполняем: $n := n+1$; $q^n := P$.

$n=1$

1	МР находится в P. Получаем $Y(q^n)$. $Q(q^n) = \{O, R\}$. $FRBDN = FRBDN \cup Q(q^n) = \{G, O, R\}$.
2	Для планирования пути $L(P, V)$ вызываем ПИ(P, V, FRBDN, X). Пусть ПИ() спланировала путь $L(P, V) = \{P-Q-W-V\}$ и возвращает 1.
3	МР начинает исполнять $L(P, V)$. МР перемещается в Q и обнаруживает, что $W \in L(P, V)$ - ранее неизвестная запрещенная точка. Исполняем: $n := n+1$; $q^n := Q$.

$n=2$

1	МР находится в Q. Получаем $Y(q^n)$. $Q(q^n) = \{O, R, W, X\}$. $FRBDN = FRBDN \cup Q(q^n) = \{G, O, R, W, X\}$.
2	Для планирования пути $L(Q, V)$ вызываем ПИ(Q, V, FRBDN, X). Пусть ПИ() спланировала путь $L(Q, V) = \{Q-P-J-N-S-V\}$ и возвращает 1.
3	МР начинает исполнять $L(Q, V)$. МР перемещается в J и обнаруживает, что $N \in L(Q, V)$ - ранее неизвестная запрещенная точка. Исполняем: $n := n+1$; $q^n := J$; go to 1.

$n=3$

1	МР находится в J. Получаем $Y(q^n)$. $Q(q^n) = \{O, G, F, N\}$. $FRBDN = FRBDN \cup Q(q^n) = \{G, O, R, W, X, F, N\}$.
2	Для планирования пути $L(J, V)$ вызываем ПИ(J, V, FRBDN, X). Пусть ПИ() спланировала путь $L(J, V) = \{J-K-M-S-V\}$ и возвращает 1.
3	МР начинает исполнять $L(J, V)$, не встречает ранее неизвестных запрещенных точек и приходит в V. Цель достигнута. Пройденный путь $\{I-P-Q-P-J-K-M-S-V\}$.

Для того, чтобы АНС решил Задачу за конечное число шагов нужно, чтобы алгоритм для задачи ПИ за конечное число шагов был способен сгенерировать путь $L(q^n, q^T)$, $n=0, 1, 2, \dots$, удовлетворяющий следующим условиям: 1) он соединяет точки q^n и q^T ; 2) $L(q^n, q^T) \cap FRBDN = \emptyset$; 3) $L(q^n, q^T) \in X$.

Однако, рассматривая применение алгоритма EST к неизвестной среде, мы убедились, что число шагов, которые МР совершит, исполняя этот алгоритм, может стремиться к бесконечности. Та же проблема может возникнуть и при применении алгоритма EST для решения задачи ПИ, поскольку не предложено способов преодоления заикливания и бесконечного блуждания. Кроме того, EST, генерируя новые точки пути, допускает включение в новый путь точек из прежних путей. Это может оказаться необходимым, но EST не предлагает способов так генерировать путь, чтобы задача ПИ решалась за конечное число шагов.

Отсюда делаем вывод о необходимости разработки алгоритма, решающего задачу ПИ за конечное число шагов.

Список литературы

1. LaValle S.M., "Motion planning: The essentials". IEEE Robotics and Automation Society Magazine, no. 18(1), pp. 79-89, 2011.
2. Vasilopoulos V., Vega-Brown W., Arslan O., Roy N., Koditschek D. E., Sensor-based reactive symbolic planning in partially known environments// IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA '18), May 2018. pp. 5683-5690.
3. Lopatin P., Investigation of a Target Reachability by a Manipulator in an Unknown Environment// Proceedings of 2016 IEEE International Conference on Mechatronics and Automation, August 7-10, Harbin, China, pp.37-42.

М.В. Михайлюк, д.т.н., профессор, mix@niisi.ras.ru
ФГУ ФНЦ НИИСИ РАН, Москва, Россия

Б.И.Крючков, д.т.н., bik1943@mail.ru ,

В.М. Усов, д.м.н, профессор, khoper.1946@gmail.com
ФГБУ "НИИ ЦПК имени Ю.А.Гагарина", Звездный городок Моск. обл., Россия

ДИСТАНЦИОННОЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ЭКИПАЖА ОРБИТАЛЬНОГО КОМПЛЕКСА С ЦЕНТРОМ УПРАВЛЕНИЯ ПОЛЕТАМИ ЧЕРЕЗ ПОРТАТИВНЫХ РОБОТОВ ПРИ ОБСЛУЖИВАНИИ БОРТОВЫХ СИСТЕМ

Аннотация: В настоящее время ведется активный поиск рациональных вариантов построения и практического использования роботизированных систем в космических полетах. В частности, рассматривается поддержка деятельности космонавтов при проведении технического обслуживания (ТО) бортовых систем с использованием роботов-помощников (РП) экипажа, в том числе, их портативных разновидностей. Возможные сценарии поддержки удаленного взаимодействия операторов (например, МКС и ЦУП) с участием РП можно рассматривать в контексте проблем искусственного интеллекта (ИИ), а роль РП – как «информационного посредника» между командами пользователей. Данная проблема может быть описана в терминах онтологии предметной области «Дистанционное взаимодействие активных агентов в смешанных командах».

В статье рассмотрено применение портативных РП, обладающих функциональностью удаленного сбора данных в режиме телеприсутствия на борту МКС и улучшения инженерной визуализации при отображении данных человеку-оператору (ЧО) на основе технологий дополненной и индуцированной реальности.

Ключевые слова: орбитальный комплекс, Центр управления полетами (ЦУП), удаленное взаимодействие, робот-помощник (РП), искусственный интеллект (ИИ).

M.V. Mikhaylyuk, Ph. D., Professor, mix@niisi.ras.ru,
Scientific Research Institute for System Analysis
of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

B.I. Kryuchkov, Ph. D., bik1943@mail.ru ,

V.M. Usov, PhD., Professor, khoper.1946@gmail.com
Gagarin Research&Test Cosmonaut Training Center, Star city, Moscow region, Russia

REMOTE INTERACTION OF THE ORBITAL COMPLEX'S CREW WITH THE FLIGHT MANAGEMENT CENTER THROUGH PORTABLE ROBOTS FOR MAINTENANCE ON-BOARD SYSTEMS

Abstract: Currently, an active search is underway for rational options for the construction and practical use of robotic systems in space missions. In particular, the support for cosmonaut's activity on Board the ISS during the maintenance of onboard systems using Robotic Assistants (RA) of the crew (including their portable varieties) is considered. Possible scenarios to support interaction of operators in remote mode (for example, on the ISS and the MCC) with the participation of RA can be considered in the context of artificial intelligence (AI) problems, and the role of RA as "information intermediary" between user teams. The problem can be described in terms of the domain ontology "Remote interaction of active agents in mixed teams".

The article deals with the use of portable RA, which has the functionality of remote data collection in telepresence mode on Board the orbital complex and of improving engineering visualization when displaying data to a human operator (HO) on the basis of augmented and induced reality technologies.

Keywords: Orbital Complex, Mission Control Center (MCC), interaction in remote mode, robot assistant (RA), Artificial Intelligence (AI)

Для применения в орбитальных полетах рассматриваются разные виды робототехнических систем (РТС): транспортные манипуляторы для монтажных работ на внешней поверхности МКС, мобильные роботы для внекорабельной деятельности (ВнеКД) экипажа, мобильные автономные роботы для напланетной деятельности экипажа и др. [1]. Также для поддержки внутрикорабельной деятельности (ВнуКД) экипажа на МКС предлагается применять «роботов – помощников экипажа» (РП) [2].

При выборе конструкций РП для орбитальных комплексов в первую очередь было обращено внимание на антропоморфные роботы (или роботы – андроиды). Однако в ходе космических экспериментов (КЭ) на МКС выявились их ограничения при ВнуКД, ввиду: 1) отсутствия внутри станции возможности самостоятельного перемещения роботов, что приводит к необходимости подключения экипажа для организации их транспортировки внутри отсеков и модулей МКС; 2) несоответствия антропометрических параметров человека и аналогичных частей андроида (что, в частности, затрудняет достижение кинематического подобия при копирующем управлении); 3) повышенных требований к объемам отсеков и модулей для безопасного пребывания в рабочем пространстве ЧО и РП и др. С учетом того, что космонавт способен успешно выполнять большое число исполнительных операций внутри станции самостоятельно, возможно, следует подойти к выбору функционала

РП с других позиций, а именно, сделать акцент на наибольшую экономию затрат полетного времени экипажа. Одними из самых затратных по времени, но важных с точки зрения безопасности полета, являются операции мониторинга обстановки и технического обслуживания (ТО) бортовых систем. В этой связи для операций ТО актуально применение портативного РП (удобного для его перемещения космонавтом) с развитым функционалом осуществлять автономную навигацию, позиционирование, захват и транспортировку небольших по габаритам объектов (например, инструментов и приборов), вести сбор аудио-, фото- и видео- данных, управлять различными датчиками и исполнительными механизмами бортовых систем, освещать зону обслуживания, а также поддерживать взаимодействие с пользователем с помощью носимых устройств мультимедиа типа очков и шлемов виртуальной реальности и др.

В настоящее время НАСА разработало для МКС на платформе *Astrobees* («Космические пчелы») трех свободно летающих роботов, которые в испытательном режиме должны проводить инвентаризацию и мониторинг оборудования [3-5]. Кроме того, согласно информации из интернет-источников, для помощи космонавтам в обитаемых космических аппаратах кампании Airbus и IBM ведут разработки устройства «летающий компьютер» (или «летающая голова»), опираясь на достижения в области ИИ [6-7].

Кроме этих примеров, альтернативными решениями для РП в виде «полноразмерного андроида» могут быть облегченные конструкции: малогабаритный гиперизбыточный манипулятор или сходный по назначению трехзвенный манипулятор «умная рука», которые имеют значительные преимущества при транспортировке внутри орбитального комплекса, способны обеспечить доступ к запанельному пространству, а также допускают надежную фиксацию в определенных точках расположения тех бортовых систем, которые непосредственно обслуживает экипаж, и состояние которых контролируется с помощью телеметрии специалистами ЦУПа. При этом выставляются требования возможности интерактивного взаимодействия с этим РП как операторов из состава членов экипажа, так и из состава экспертов ЦУПа в дистанционном режиме управления. Возможность телеуправления портативным манипулятором на МКС доказана в серии КЭ «Контур-2» [8]. В этой связи актуально детализировать требования к оснащению РП, которое позволяет дистанционно удалённым друг от друга операторам единой команды уяснить проблемную ситуацию в соответствии с возможным сценарием нарушений функционирования бортовых систем, то есть использовать для поддержки взаимодействия людей режимы телеприсутствия и технологии дополненной реальности.

Концепция разработки роботов «умная рука», предложенная кампанией Google Robotics, показывает рост интереса к применению методов ИИ в сервисной робототехнике. Предлагаемые к разработке простые по конструкции

роботы – манипуляторы должны отличаться развитым сенсорным оснащением, наличием режима телеприсутствия и, главное, способностью к взаимодействию с человеком. Предусматривается применение методов Data Science для оперативного обучения роботов ведению ориентировки и самообучению исполнительным действиям, чтобы обеспечить их адаптацию к среде обитания человека [9]. Фактически, приоритетной рассматривается задача создания интеллектуального инструмента, который может воспринимать окружающую среду, обладает знаниями о задачах и способен рационально действовать в интересах пользователя, оказывать сервисные услуги. Этот подход можно определенным образом перенести на выбор функционала космических РП.

Особенностями эксплуатации современных орбитальных комплексов является активное участие специалистов ЦУПа в управлении бортовыми системами совместно с членами экипажа. Развитая система дистанционного контроля на основе телеметрии и средства моделирования бортовых систем в ЦУПе, применяемые для выявления отклонений от номинальных режимов, сочетаются с предусмотренными регламентами полета операциями ТО, наладки и ремонта, выполняемыми силами экипажа. Наибольшая сложность организации слаженной работы группы при удалённом взаимодействии ее членов часто заключается в достижении единого понимания сложившейся ситуации. Лидирующая роль в определении стратегии и тактики обслуживания бортовых систем в настоящее время закреплена за экспертными группами специалистов ЦУПа. Высоко квалифицированные космонавты призваны реализовать эту стратегию на уровне исполнительных действий, в совершенстве владея техническими навыками и обладая развитыми компетенциями в области эксплуатации станции и ее систем. При таком разделении функций РП может способствовать организации виртуальной среды общения участников диалога и таким образом выступать и в роли ассистента космонавта, и в роли помощника специалистов группы управления полетом ЦУП. При этом должны быть расширены сенсорные и интеллектуальные возможности РП в дополнение к таким его свойствам, как юзабилити, портативность, легкость монтажа в заранее предусмотренных местах крепления.

Отметим, что оказание удаленной помощи работнику со стороны консультативной группы и удалённого обследования объектов автономными мобильными роботами также актуально для решаемых в наземных условиях задач ТО сложных систем [10].

В рамках таких методических установок проблема дистанционного взаимодействия заключается в эффективной передаче инструкций от эксперта к исполнителю и организации обратной связи. Удаленное управление заданием для космонавтов через воздействие на фокус внимания исполнителя также возможно посредством дистанционного наведения экспертом указателя (например, световой метки) на объект воздействия и/или тех датчиков, по-

казания которых представляют наибольший интерес в контексте выявления причин отказа. Реализация такого механизма целеуказания в РП «умная рука» и применение технологий дополненной реальности может существенно облегчить понимание задачи непосредственным исполнителем операций, что не исключает применение и традиционных методов консультирования с использованием аудио- и видео- сообщений.

В настоящее время активно разрабатываются средства для изучения особенностей применения РП в модельных экспериментах. Так, НАСА разместила общедоступные библиотеки программ моделирования портативных роботов Robot Software на платформе Astrobее для привлечения к разработкам университетских исследовательских групп [4]. В нашей стране ряд организаций работает в этом же направлении. Специалисты ФГУ ФНЦ НИИСИ РАН совместно с ФГБУ «НИИ ЦПК имени Ю.А.Гагарина» в течение ряда лет модернизируют состав моделирующего стенда, дающего возможность виртуального прототипирования работы экипажа орбитального комплекса с использованием космических роботов.

Подводя итоги, можно констатировать, что для ТО бортовых систем орбитального комплекса рассмотрен вариант построения командного взаимодействия активных агентов, для которых выделены разные ролевые позиции: 1) локальный пользователь (ЛП) – член экипажа в рабочем окружении МКС, 2) удаленный пользователь (УП) или эксперт – консультант – специалист ЦУПа, удаленно взаимодействующий с ЛП и 3) портативный РП, функционирующий под непосредственным контролем ЛП в рабочем окружении МКС, способный в дистанционном режиме взаимодействовать с ЦУПом и поддерживать режим телеприсутствия. Для этой же цели предлагается включение в коалицию свободно летающих компактных роботов, оснащённых сенсорными устройствами контроля рабочей среды и способностями самообучения распознаванию объектов. Эти агенты должны обеспечить также телеприсутствие специалистам ЦУПа для контроля поведенческой активности космонавтов в особых случаях полета и правильности выполнения экипажем полученных предписаний.

Публикация выполнена в рамках государственного задания по проведению фундаментальных научных исследований (ГП 14) по теме «34.9. Системы виртуального окружения: технологии, методы и алгоритмы математического моделирования и визуализации» (0065-2019-0012).

Список литературы

1. Лопота В.А., Минаков Е.П., Юревич Е.И. Современное состояние и перспективы развития отечественной космической робототехники // Материалы Все-

русской конференции «Актуальные проблемы защиты и безопасности». Т.5. СПб.: Астерион, 2008. С. 113–115.

2. Крючков Б.И., Карпов А.А., Усов В.М. Перспективные подходы к применению сервисных роботов в области пилотируемой космонавтики // Тр. СПИ-ИРАН, 2014. Вып.32. С.125–151.

3. На МКС появились три летающих робота. Сайт "Популярная механика". // [Электронный ресурс], режим доступа: URL: <https://www.popmech.ru/technologies/news-482421-na-mks-poyavilis-tri-letayushchih-robotov/> дата обращения 2019.10.25.

4. Flückiger L., Browne K., Coltin B., et al. Astrobeer Robot Software: Enabling Mobile Autonomy on the ISS. // In: International Symposium on Artificial Intelligence, Robotics and Automation in Space, Madrid, Spain, 2018.

5. Fong T., Micire M., Park E., et al. Smart SPHERES: a Telerobotic Free-Flyer for Intravehicular Activities in Space. // In: AIAA SPACE 2013 Conference and Exposition. 2013, p. 5338. DOI: 10.2514/6.2013-5338.

6. Eisenberg T., Karrasch Ch. CIMON, the AI-powered robot, launches a new era in space travel. September 10, 2019. // URL: <https://www.ibm.com/blogs/client-voices/cimon-ai-robot-launches-new-era-space-travel/> date of access 2019.10.25

7. Rayome A. AI in space: Astronauts will get floating robot assistant thanks to IBM, Airbus. // URL: <https://www.techrepublic.com/article/ai-in-space-astronauts-will-get-floating-robot-assistant-thanks-to-ibm-airbus/> date of access 2019.10.25

8. Удаленное управление робототехническими объектами в космических экспериментах серии «Контур» / Заборовский В.С., Кондратьев А.С., Силиненко А.В. и др. // Научно-технические ведомости СПбГПУ. Информатика. Телекоммуникации. Управление. 2012. № 6(162). С. 23-32.

9. Inside Google's Rebooted Robotics Program URL: <https://www.nytimes.com/2019/03/26/technology/google-robotics-lab.html> date of access 2019/10/20.

10. Stolzenwald J., Mayol-Cuevas W.W. Reach Out and Help: Assisted Remote Collaboration through a Handheld Robot. // URL: <https://arxiv.org/abs/1910.02015> (arXiv:1910.02015v1 [cs.RO] 4 Oct 2019). date of access 2019/10/20.

В.А. Мызникова, студент бакалавриата, veka-9@mail.ru
Е.Д. Толстенков, магистрант, ted1708@yandex.ru
А.В. Чубарь, канд.техн.наук., доцент, alexchub@mail.ru
Сибирский федеральный университет, г. Красноярск, Россия

ПОСТРОЕНИЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ДВИЖЕНИЕМ АВТОНОМНОГО ОБЪЕКТА В СРЕДЕ SIMINTECH

Аннотация: Реализована математическая модель колесного робота в среде моделирования SimInTech для сравнения различных вариантов управления движением робота по требуемой траектории. В связи с тем, что колесные роботы позволяют выполнять многие задачи там, где деятельность человека затруднена или невозможна, разработка их математической модели является актуальной целью.

Ключевые слова: управление, мобильный робот, моделирование, траектория движения.

BUILDING OF A MOTIONCONTROL SYSTEM OF AUTONOMOUS OBJECT IN SIMINTECH ENVIRONMENT

V.A.Myznikova, student, veka-9@mail.ru
E.D.Tolstenkov, student, ted1708@yandex.ru
A.V. Chubar, Ph.D., Associate Professor, alexchub@mail.ru
Siberian Federal University, Krasnoyarsk, Russia

Abstract: A mathematical model of a wheeled robot is implemented in the SimInTech simulation environment to compare various options for controlling the robot motion along the required path. Since wheeled robots allow you to perform many tasks where human activity is difficult or impossible, the development of their mathematical model is arelevant goal.

Key words: control, mobile robot, modeling, trajectory of motion.

Изучение мобильных роботов стимулируется многочисленными их приложениями в различных областях, где жизнедеятельность человека либо затруднена, либо вообще невозможна, поэтому разработка системы управления движением подобного робота является актуальной задачей [1].

Для выполнения своих функциональных задач роботы должны уметь автономно перемещаться по траекториям, заданным оператором. Математи-

ческое моделирование поможет сэкономить материальные и трудовые ресурсы при проведении испытаний робота [2;3].

Конструкция робота включает основание и двигательную систему, которая обеспечивает необходимую траекторию, а также скорость перемещения корпуса робота. Предположим, что робот состоит из абсолютно твердой платформы и имеет 4 колеса, которые могут вращаться в прямом или обратном направлениях. Приняв, что оба левых колеса робота будут вращаться с одинаковой скоростью, как и оба правых колеса, четырехколесную модель робота можно свести к двухколесной. Под траекторией движения робота будем понимать траекторию движения его центра, то есть точки, которая находится между левыми и правыми колесами.

Пусть робот движется с разными по модулю, но одинаковыми по знаку угловыми скоростями колес. Угловая скорость движения робота:

$$\omega = \frac{U_R - U_L}{D} = \frac{\omega_R - \omega_L}{D} \cdot r \quad (1)$$

Здесь r – радиус колеса робота, U_L и ω_L (U_R и ω_R) – линейная и угловая скорости левого (правого) колеса, расстояние между точками C_L и C_R .

Обозначим расстояние от центра окружности O до центра робота C как R . Тогда расстояние от центра окружности до центра правого колеса будет равно $R + 0.5 \cdot D$.

$$R = \frac{D}{2} \cdot \frac{U_R + U_L}{U_R - U_L} = \frac{D}{2} \cdot \frac{\omega_R + \omega_L}{\omega_R - \omega_L} \quad (2)$$

Линейную скорость центра робота найдем, перемножив угловую скорость ω и радиус R :

$$U = \omega \cdot R = \frac{U_R + U_L}{2} = \frac{\omega_R + \omega_L}{2} \cdot r$$

В частном случае, если угловые скорости колес совпадают, то угловая скорость робота равна нулю, радиус окружности стремится к бесконечности, то есть траектория представляет собой прямую линию. Когда скорость правого (левого) превышает скорость левого (правого) колеса, то робот движется против (по) часовой стрелки угловая скорость ω получается положительной (отрицательной).

Рассмотрим случай неотрицательных угловых скоростей колес. Пусть в декартовой системе координат дана начальная точка (x_0, y_0) , в которой находится робот. Пусть заданы начальные угловые скорости левого и правого колес ω_{L0} и ω_{R0} и начальная ориентация робота φ_0 , которую отсчитываем по часовой стрелке от отрицательной полуоси x .

Угловую скорость движения, радиус окружности можно найти по формулам (1) и (2). Координаты центра окружности определяются:

$$\begin{aligned} x_c &= x_0 - \text{sign}(\omega) \cdot R \cdot \sin \varphi_0 \\ y_c &= y_0 - \text{sign}(\omega) \cdot R \cdot \cos \varphi_0 \end{aligned}$$

Если скорости колес совпадают, то $\omega=0$ и $\text{sign}(\omega)=0$, а значит $x_c=x_0$, $y_c=y_0$.

Используя параметрическое задание окружности, зададим движение по окружности:

$$\begin{aligned}x(t) &= x_c + R \cdot \cos(\omega t + \alpha_0) \\ y(t) &= y_c + R \cdot \sin(\omega t + \alpha_0)\end{aligned}$$

Рассмотрим случай, когда угловые скорости колес равны, то есть движение происходит по прямой. Для любой начальной ориентации робота при равенстве угловых скоростей колес верны следующие формулы:

$$\begin{aligned}x(t) &= x_0 - U \cdot \cos \varphi_0 \cdot t = x_0 - \omega_R \cdot r \cdot \cos \varphi_0 \cdot t \\ y(t) &= y_0 + U \cdot \sin \varphi_0 \cdot t = y_0 + \omega_R \cdot r \cdot \sin \varphi_0 \cdot t\end{aligned}$$

Рассмотрим движение робота по окружности. Для отображения ограниченного диапазона значений, необходимо, чтобы угол ориентации лежал в промежутке $[0; 2\pi)$. Поскольку прямая, соединяющая центр окружности с текущим положением робота, в любой момент времени перпендикулярна прямой, то свяжем ориентацию робота с углом $\text{atan2}(y-y_c, x-x_c)$, отражающим текущее положение робота на окружности.

Таким образом, мы построили траекторию робота для любых начальных условий и получили возможность отслеживать его ориентацию в реальном времени. Перенесем все полученные результаты в среду моделирования SimInTech [4; 5] (рис.1).

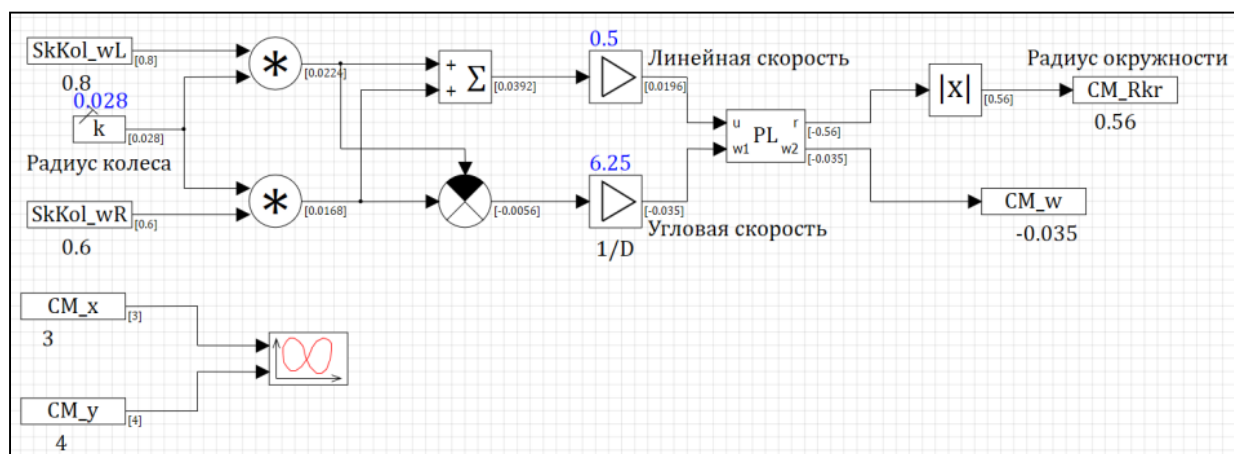


Рис.1. Схема для расчета радиуса и угловой скорости и вывода траектории

Создадим возможность изменять скорость робота прямо во время движения робота. Контролировать момент изменения угловых скоростей, мы можем с помощью присваивания переменным угловой скорости значение текущих скоростей колес, затем изменять скорости колес в соответствии с показаниями стрелочных приборов и после записывать скорости в переменные угловые скорости после изменения.

В первую очередь нужно сообщить о том, что произошло изменение угловой скорости хотя бы одного колеса.

- 1) Рассмотрим переход с одной окружности на другую:

$$x_c = x - \text{sign}(U2 - U1) \cdot \text{sign}(U4 - U3) \cdot R \cdot \cos \beta \quad (4)$$

$$y_c = y - \text{sign}(U2 - U1) \cdot \text{sign}(U4 - U3) \cdot R \cdot \sin \beta \quad (5)$$

2) Рассмотрим переход с окружности на прямую. Поскольку движение по прямой однозначно определяется ориентацией робота, нужно лишь принять в качестве нового значения φ_0 ориентацию в тот момент, когда произошло изменение угловой скорости, а в качестве новых начальных координат x_0 и y_0 координаты робота в этот же момент.

3) При переходе с прямой на окружность выполняются условия $|U4 - U3| > 0$ и $U1 = U2$. В этом случае в качестве угла φ_0 используется ориентация в тот момент, когда произошло изменение угловой скорости, а в качестве координат x_0 и y_0 координаты робота в этот же момент.

4) При переходе с прямой на прямую, как и при переходе с окружности на прямую, для задания новой траектории достаточно лишь зафиксировать ориентацию и координаты в момент изменения угловой скорости.

Траектория робота при произвольном изменении угловых скоростей колес (рис.2).

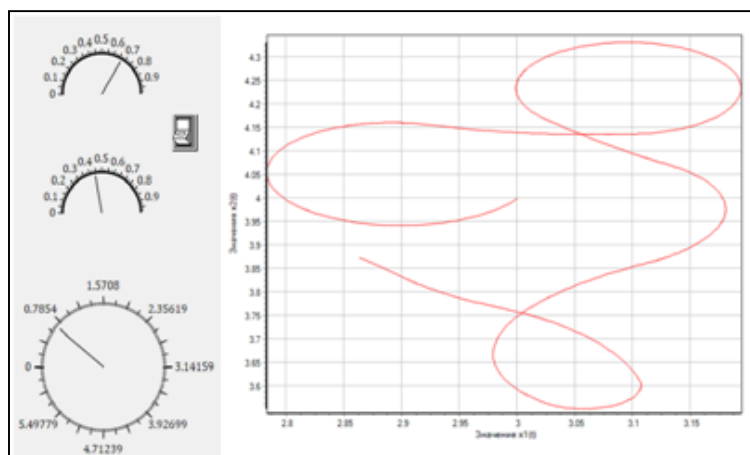


Рис. 2. Траектория робота, полученная произвольным изменением угловых скоростей колес

Проделав те же самые рассуждения для отрицательных угловых скоростей колес, получим следующие результаты. Для координат центра окружности при заданных начальных условиях и координат центра окружности при переходе с прямой на окружность получим:

$$x_c = x_0 + \text{sign}(\omega) \cdot R \cdot \sin \varphi_0$$

$$y_c = y_0 + \text{sign}(\omega) \cdot R \cdot \cos \varphi_0$$

Уравнения движения по окружности, уравнения движения по прямой остаются без изменений.

При переходе с окружности на окружность с положительных угловых скоростей на положительные и с отрицательных на отрицательные имеем:

$$x_c = x - \text{sign}(U2 - U1) \cdot \text{sign}(U4 - U3) \cdot R \cdot \cos \beta$$

$$y_c = y - \text{sign}(U2 - U1) \cdot \text{sign}(U4 - U3) \cdot R \cdot \sin \beta$$

При переходе с отрицательных угловых скоростей на положительные и с положительных на отрицательные получим:

$$x_c = x + \text{sign}(U2 - U1) \cdot \text{sign}(U4 - U3) \cdot R \cdot \cos \beta$$

$$y_c = y + \text{sign}(U2 - U1) \cdot \text{sign}(U4 - U3) \cdot R \cdot \sin \beta$$

Движение при разных по знаку угловых скоростях колес:

- при одинаковых знаках U и ω получаем координаты центра окружности при заданных начальных условиях:

$$x_c = x_0 - R \cdot \sin \varphi_0$$

$$y_c = y_0 - R \cdot \cos \varphi_0$$

- при разных знаках U и ω :

$$x_c = x_0 + R \cdot \sin \varphi_0$$

$$y_c = y_0 + R \cdot \cos \varphi_0$$

Уравнения движения по окружности остаются без изменений.

При переходе с прямой или вращения на месте на окружность координаты центра находим так же, как и при вычислении этих координат при заданных начальных условиях.

При переходе на прямую или на вращение на месте запоминаем только ориентацию и положение в момент смены траектории.

При вращении на месте, координаты центра робота не меняются, но меняется ориентация робота. Модуль разности скоростей колес отличен от нуля. Поэтому, если раньше требовалось равенства скоростей $U1$ и $U2$, то теперь нужно требовать равенства модулей этих скоростей.

Траектория робота после внесения всех изменений (рис.3)

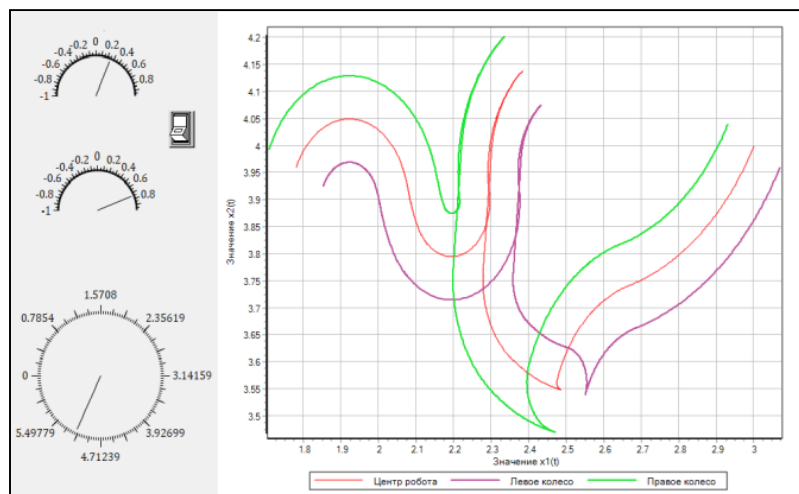


Рис.3. Траектория робота и колес при произвольном изменении угловой скорости колес

Заменим кривую траекторию ломаной, представляющую собой набор координат точек. Для движения робота по такой траектории нужно, во-первых, создать панель управления, которая преобразовывала бы задаваемые нажатием мыши на сенсор координаты в массив значений абсцисс и массив значений ординат, а также изображала бы задаваемую траекторию на графиче-

ке для удобства. Во-вторых, нужно преобразовывать последовательность координат точек в последовательность заданных ориентаций робота. И, в-третьих, нужно подавать эти ориентации на вход в определенные моменты, которые зависят от текущего положения робота (рис. 4).

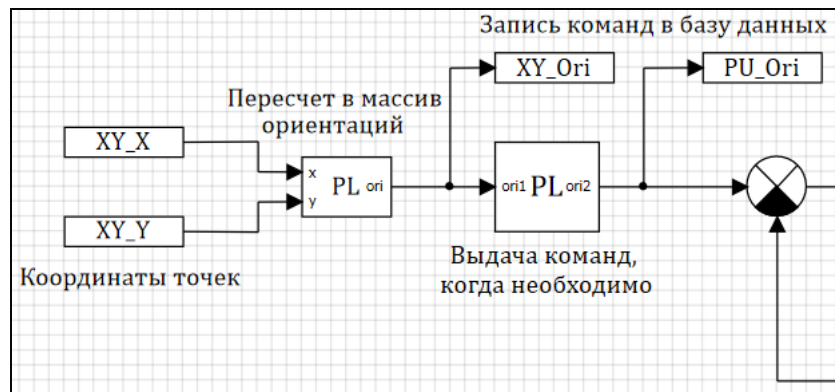


Рис. 4. Вход системы стабилизации ориентации

Подачу новой ориентации на вход системы логичнее связать с текущими координатами робота. Чтобы реальная траектория не отличалась от заданной нужно начинать поворот раньше, чем робот придет в новую заданную точку (рис. 5).

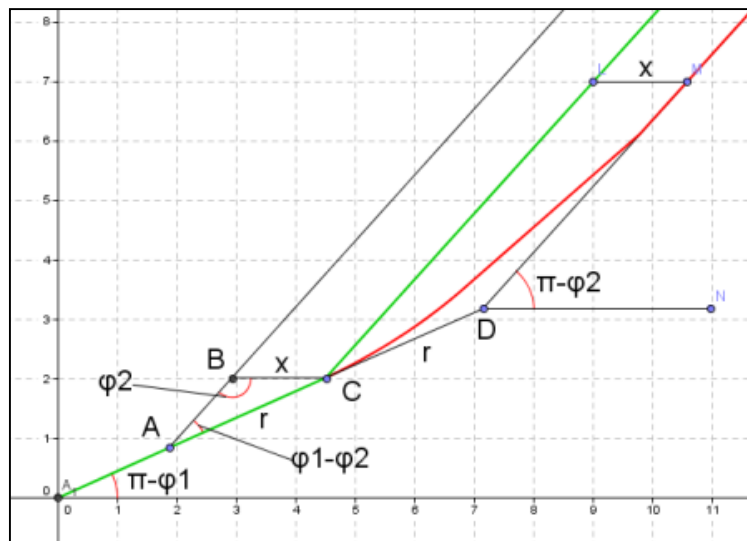


Рис.5. Вычисление точки начала поворота

Чтобы реальный поворот, отмеченный красной линией, точно попал на зеленую линию, нужно начинать поворот на расстоянии от точки C , равно длине отрезка CD , то есть в точке A . При внесении поправок в моменты поворотов, получим траекторию (рис. 6).

Получена и реализована в среде SimInTech кинематическая модель колесного робота. Смоделировано движение робота при прямом направлении вращения колес, обратном направлении вращения и противоположных

направлениях вращения. Построена модель устройства управления, которое по величине отклонения текущей ориентации колесного робота от заданной формирует управляющие воздействия на двигатели колес. Эти воздействия позволяют привести ориентацию робота к желаемой ориентации.

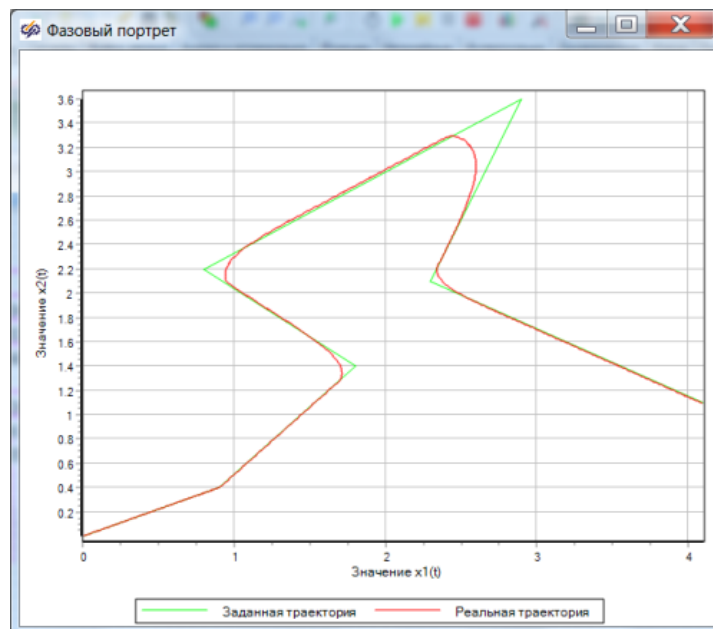


Рис.6. Исправленная траектория робота

Список литературы

1. Звонарев, Д. А. Управление мобильным роботом с электрическим двигателем [Текст] // Известия Тульского государственного университета. – 2011. – № 2. – С. 368-372.
2. Бартенев, В. В. Математическая модель движения мобильного робота с двумя независимыми ведущими колесами по горизонтальной плоскости [Текст] / В. В. Бартенев, С. Ф. Яцун, А. С. Аль-Еззи // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. – 2011. – Т. 13. – № 4. – С. 288-293.
3. Андрианова, О. Г. Моделирование движения колесного робота по заданному пути [Текст] / О. Г. Андрианова // Наука и образование. МГТУ им. Н.Э. Баумана. Электрон. журн. – 2011. – № 10. – С. 1-15.
4. Грищенко, И. А. Создание математической модели робота с дифференциальным приводом [Текст] / И. А. Грищенко, А. В. Чубарь // Материалы II Междунар. науч.-практ. конференции «Научно-технический прогресс: актуальные и перспективные направления будущего». – Кемерово: Западно-Сибирский научный центр. – 2016. Т. 2. – С. 35-37.
5. Карташов Б.А., Среда динамического моделирования технических систем SimInTech: практикум по моделированию систем автоматического регулирования / Карташов Б.А., Шабаетв Е.А., Козлов О.С., Щекатуров А.М. // – Москва: ДМК Пресс, 2017. – 424 с.

Б.М. Новиков, студент бакалавриата, bnovikov012@gmail.com
М.Г. Пантелеев, к.т.н, доцент, MPanteleyev@gmail.com
СПбГЭТУ «ЛЭТИ», г. Санкт-Петербург, Россия

РАСЧЕТ ТРАЕКТОРИИ ПАСА В ВИРТУАЛЬНОМ ФУТБОЛЕ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ АЛГОРИТМА ПРОИЗВОЛЬНОГО ВРЕМЕНИ

Аннотация: Статья посвящена реализации паса в среде виртуального футбола. Рассматривается метод определения области, передача мяча в которую будет осуществлена без возможности перехвата мяча во время его полета игроком из команды соперников и с заведомым преимуществом игрока-цели в ее пределах. Предложенный алгоритм также отвечает требованиям к алгоритмам произвольного времени, позволяя добиваться результата, качество которого пропорционально затраченному на вычисления времени.

Ключевые слова: RoboCup, интеллектуальные агенты, алгоритмы произвольного времени, виртуальный футбол, реализация паса

CALCULATION OF THE PASS TRAJECTORY USING ANYTIME ALGORITHM IN VIRTUAL SOCCER

B.M. Novikov, student, bnovikov012@gmail.com
M.G. Panteleev, PhD, Associate Professor, MPanteleyev@gmail.com
Saint-Petersburg Electrotechnical University, Saint Petersburg, Russia

Abstract: This paper describes an approach to pass implementation in virtual soccer. It considers a method of determination of an area in which player-target has an advantage and in which there is no possibility for pass interception during its flight to it. Introduced algorithm is an anytime algorithm. It allows the result to have a quality proportional to the time spent.

Key words: RoboCup, intelligent agents, anytime algorithm, virtual soccer, pass implementation

Создание интеллектуальных агентов, способных решать задачи группами, в том числе в условиях командного противодействия, является в настоящее время одной из центральных проблем искусственного интеллекта [1]. Для экспериментальной отработки моделей многоагентного противодействия ежегодно проводятся чемпионаты мира по виртуальному футболу RoboCup [2]. Одной из важных частных задач при построении интеллекта агента-

футболиста является определение возможности и параметров реализации паса в конкретной ситуации.

Подходы к решению этой задачи рассматривались в ряде работ. В частности, в [3] рассмотрен подход, основанный на вычислении доминантной области агентов одной команды относительно команды оппонентов. Внутри вычисленной области игроки имеют преимущество, а именно, способны достигать любой точки в ее пределах первыми. Таким образом, передача паса по траектории, находящейся внутри этой области, будет производиться в предположении, что противник не успеет перехватить мяч раньше, чем агент из собственной команды.

Важная особенность среды виртуального футбола – необходимость принятия решений в реальном времени, причем допустимое время обдумывания может меняться в зависимости от ситуации [4]. С учетом этого алгоритмы решения агентом различных частных задач целесообразно строить как *алгоритмы произвольного времени* (АПВ) [5], позволяющие разменивать время работы алгоритма на качество получаемого результата.

Постановка задачи

В игре участвуют две команды роботов-агентов, по 11 игроков с каждой стороны: $T = \{T_i\}$, $O = \{O_i\}$, где $i = \overline{1,11}$.

Каждый игрок характеризуется параметрами, которые целесообразно разделить на:

- постоянные, к которым относятся радиус r тела, область владения мячом, максимальная скорость бега V_{max} и др.;
- динамические, к которым относятся координаты (x, y) , текущая скорость V , направление w и др.

Игроки могут выполнять команды: *Kick* – удар по мячу (мяч должен находиться в *KICKABLE_AREA* игрока); *Dash* – ускорение бега; *Catch* – захват мяча (только для вратаря) и др. [6].

Для выполнения паса игрок должен выполнить команду *Kick* так, чтобы направить мяч в сторону партнера, которому он хочет отдать пас.

Рассмотрим ситуацию, когда игрок T_i принял решение отдать пас партнеру T_j . Необходимо определить направление движения и начальную скорость мяча так, чтобы партнер T_j добегал до мяча в требуемой точке приема паса и при этом никакой игрок другой команды не мог перехватить мяч, т.е. добежать до него раньше, чем T_j .

Будем решать задачу в допущении худшего случая. Полагаем, что все игроки другой команды (оппоненты) в момент отдачи паса (выполнения команды *Kick*) уже движутся на перехват по кратчайшему пути к траектории полета мяча с максимальной скоростью V_{max} . Полагаем, также что агенту известны точные (очищенные от генерируемого сервером шума) глобальные (декартовы) координаты мяча и всех игроков, задействованных в эпизоде.

Тогда задачу сводится к определению «Области Безопасного Паса» (ОБП), каждая точка которой удовлетворяет сформулированным выше условиям.

Алгоритм определения ОБП будем строить как АПВ.

Получение области безопасного паса

Введем вспомогательные обозначения: «Область игры» – ОИ, «Доминантная область» – ДО, «Область возможного нахождения мяча после удара» – ОВНМПУ, «Область безопасного приема» – ОБПР.

Тогда, ОБП получается путем нахождения пересечения множеств по формуле (1):

$$\text{ОБП} = \text{ОИ} \cap \text{ДО} \cap \text{ОВНМПУ} \cap \text{ОБПР} \quad (1)$$

Область игры. Представляет собой четыре координаты, определяющие область возможного нахождения объектов игры. Является заранее известным параметром, установленным сервером [5].

Доминантная область [7]. Вычисляется при помощи построения диаграммы Вороного [8] относительно координат цели для паса Tj и оппонентов из множества O . Диаграмма разбивает на соответствующие игрокам многоугольники всю ОИ. Каждый многоугольник определяется некоторым количеством координат вершин и содержит в себе все точки, которые находятся ближе к соответствующему игроку, нежели к другим игрокам. Из этого исходит, что при равных условиях, игрок Tj , находящийся в центре своего многоугольника, будет первый в любой его точке. Таким образом, многоугольник игрока и будет его ДО.

Область возможного нахождения мяча после удара. Данная область является множеством точек, в которых может оказаться мяч после применения команды *Kick*, и представляет собой окружность с радиусом L и центром в координате мяча, где L - максимальная длина полета мяча. Стоит отметить, что если получаемая область не имеет общих точек с ДО, то безопасный пас отдать нельзя.

Для ее нахождения необходимо вычислить, какова будет начальная скорость движения мяча V_{0max} при ударе с максимальной силой в текущий момент. Обозначим реальное значение силы *act_pow* и вычислим его с помощью формулы (2) [9]. Она зависит от расстояния игрока до мяча *dist_diff* и угла между направлением тела и мячом *dir_diff*. Значение *power* = 100, так как мы ищем изменение максимальной приложенной силы. Параметр *kickable_margin* устанавливается сервером [5] и заранее известен.

$$\text{act\_pow} = \text{power} * (1 - 0.25 * \frac{\text{dir\_diff}}{180} - 0.25 * \frac{\text{dist\_diff}}{\text{kickable\_margin}}) \quad (2)$$

Подставляем полученное значение в формулу (3) [8], позволяющую найти величину начальной скорости, где *kick_power_rate* является установленным сервером параметром [6]:

$$V_0 = act\_pow * kick\_power\_rate \quad (3)$$

Таким образом, мы узнаем максимальную начальную скорость движения мяча $V_{0_{max}} = V_0$

Зная $V_{0_{max}}$ и установленный сервером параметр замедления скорости мяча *DECAY* [6], при помощи формулы (4) можно рассчитать расстояние, на котором мяч остановится:

$$L = \frac{v_0}{(1 - DECAY)} \quad (4)$$

Определение перехватчиков. Для этого, сначала, ограничим количество потенциальных траекторий полета мяча. С этой целью необходимо найти две точки ОД, которые находятся под минимальным α и максимальным углом β относительно координаты мяча.

Тогда, определим перехватчиков как игроков-оппонентов, которые находятся на расстоянии от мяча не большем, чем игрок-цель, и под углом в диапазоне $[\alpha-90; \beta+90]$ относительно мяча. Обозначим найденных P игроков как $E = \{E_i\}$, где $i = \overline{1, p}$.

Определение области. Далее будем понимать обозначения B, E_i, T_i , и др. как непосредственно координаты объекта.

Выпускаем в диапазоне ранее найденных углов $[\alpha; \beta]$ M лучей $R = \{\vec{R}_i\}$, где $i = \overline{1, m}$, представляющих собой векторы единичной длины. $(\vec{B} + \vec{R})$ - множество возможных траекторий полета мяча.

Необходимо для каждого i и j в $(\vec{B} + \vec{R}_i)$ и E_j найти точку перехвата I_{ij} . Как говорилось ранее, исходим из допущения, что противник E_j выбрал наикратчайший путь до траектории полета мяча, а именно, перпендикуляр к $(\vec{B} + \vec{R}_i)$. Тогда, чтобы определить точку I_{ij} необходимо по формуле (5) найти проекцию вектора $(\vec{B} - \vec{BE}_j)$ на луч $\vec{R}_i$, которая представляет собой длину вектора $\vec{BI}_{ij}$:

$$|\vec{BI}_{ij}| = \text{Pr}_{\vec{R}_i}(\vec{B} - \vec{BE}_j) = \frac{(\vec{B} - \vec{BE}_j, \vec{R}_i)}{|\vec{R}_i|} \quad (5)$$

Тогда, точка перехвата находится по формуле (6):

$$I_{ij} = B + \vec{R}_i * |\vec{BI}_{ij}| \quad (6)$$

Вычислив длину $\vec{E_jI_{ij}}$, можно получить время t_{ij} , за которое E_j достигнет I_{ij} . Учитывая исходное допущение, что противник движется с постоянной скоростью V_{max} , время t_{ij} рассчитывается по формуле (7):

$$t_{ij} = \frac{\overrightarrow{|E_j|l_{ij}|}}{V_{max}} \quad (7)$$

Теперь вычисляем максимально удаленную от мяча точку X_{ij} , при передаче мяча в которую он будет перехвачен. Сначала находим значение начальной скорости мяча V_{0ji} по формуле (8) с учетом act_row , вычиситанной по формуле (2), при которой он за время t_{ij} пройдет расстояние $|BI_{ij}|$, а после вычислим по формуле (9) расстояние S_{ij} , которое мяч пройдет с такой начальной скоростью.

$$V_{0_{ij}} = \frac{|BI_{ij}| * (1 - \text{DECAY})}{(1 - \text{DECAY}^{t_{ij}}) * \text{act\_pow}} \quad (8)$$

$$S_{ij} = \frac{V_{0ij}}{1 - \text{DECAY}} \quad (9)$$

Точка X_{ij} (см. Рис 1.а), в которую был послан мяч вычисляется по формуле (10):

$$X_{ij} = B + \overrightarrow{R}_l * S_{ij} \quad (10)$$

Далее, для каждого i из X_{ij} мы выбираем максимально удаленную точку от B , назовем ее G_i . Кривая, полученная соединением точек G_i (см Рис.1.б), является границей области безопасной передачи снизу и границей области перехвата сверху.

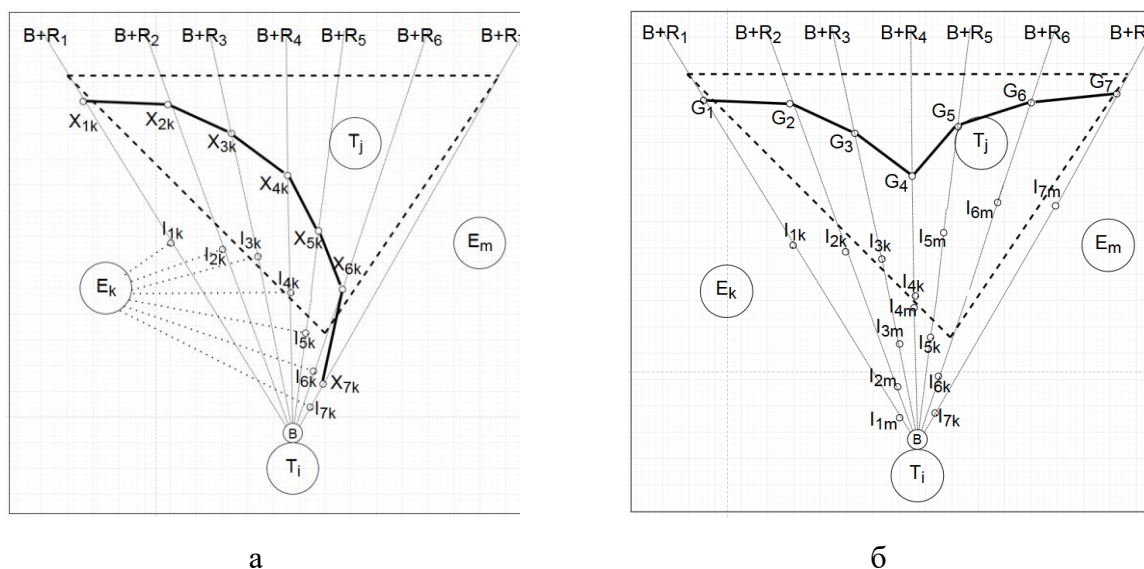


Рис. 1. Получение ОБПР

Выбор точки. Выбор конкретной точки из ОБП, может быть выполнен исходя из различных критериев, к примеру:

- близость к воротам
- близость к игроку-цели

- близость к краю поля

Алгоритм получения области безопасного паса

Оценка временной сложности при M рассматриваемых траекториях и P перехватчиках: $O(M \cdot P)$. Из чего следует, что уменьшение рассматриваемых траекторий приводит к уменьшению времени вычисления.

Ниже представлен псевдокод работы алгоритма.

Алгоритм Получение-Области-Безопасного-Паса

ввод: T_i – координата подающего
 T_j – координата принимающего
 B – координата мяча
 $O = \{O_i\}$, где $i = \overline{1, n}$ – координаты противников
 M – число рассматриваемых траекторий
вывод: ОБП = $\{OБП_i\}$, где $i = \overline{1, m}$ – координаты ОБП

ОД $\leftarrow$ Вычисление-ОД(T_j, O);
ОВНМПУ $\leftarrow$ Вычисление-ОВНМПУ(T_i, B);
ОБП $\leftarrow \emptyset$;
Если (ОД $\cap$ ОВНМПУ $\neq \emptyset$) **то**
 $E \leftarrow$ Определение-Перехватчиков(ОД, T_j, B, O)
Если ($E = \emptyset$) **то**
ОБП $\leftarrow$ ОД $\cap$ ОВНМПУ;
Иначе
ОБПР $\leftarrow$ Вычисление-ОБПР(ОД, T_i, B, E, M);
ОБП $\leftarrow$ ОИ $\cap$ ОД $\cap$ ОВНМПУ $\cap$ ОБПР;
Вывод ОБП

Заключение

В ходе проведенного исследования был предложен алгоритм вычисления за произвольное время области безопасного паса. В дальнейшем требуется экспериментально оценить его состоятельность, сравнить с эффективностью уже существующих алгоритмов и в перспективе расширить его возможности.

Список литературы

1. Пантелеев М.Г., Пузанков Д.В. Интеллектуальные агенты и многоагентные системы: монография. - СПб.: Изд-во СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 2015. – 215 с.
2. Официальный сайт RoboCup [Электронный ресурс]: режим доступа <http://www.roboocup.org>.

3. Nakanishi R., Bruce J., Murakami K., Naruse T., Veloso M.M. Cooperative 3-robotpassing and shooting in the RoboCup small size league. In: Lakemeyer, G., Sklar, E., Sorrenti, D.G., Takahashi, T. (eds.) RoboCup 2006: Robot Soccer World CupX. - LNCS (LNAI), 2007 - vol. 4434, p. 418–425.
4. Пантелеев М.Г. Формальная модель опережающего итеративного планирования действий интеллектуальных агентов реального времени// Труды 14-ой нац. конф. по ИИ с международным участием КИИ-2014. Т 1. – Казань: Изд-во РИЦ «Школа». - 2014. - с. 323-333.
5. Zilberstein S. Using Anytime Algorithms in Intelligent Systems. - AI Magazine 17(3), 1996 – p. 73-83
6. Chen M, Dorer K. RoboCup Soccer Server. 2003. – 150 p.
7. Tsuyoshi Taki; Jun-ichi Hasegawa, Dominant region: a basic feature for group motion analysis and its application to teamwork evaluation in soccer games
8. Dobrin A. A review of properties and variations of Voronoi diagrams. – WhitmanCollege, 2005. – 43 p.
9. Remco de Boer, Jelle Kok, Frans Groen. UvA Trilearn 2002 team description –Faculty of Science, University of Amsterdam. 2002. – 217 p.

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ОХЛАЖДЕНИЯ СТРОИТЕЛЬНЫХ МЕТАЛЛОКОНСТРУКЦИЙ ПОЖАРНЫМИ РОБОТАМИ

Аннотация: В статье рассмотрен проект системы охлаждения строительных металлоконструкций диспергированной водой из лафетных стволов на базе пожарных роботов для машинного зала ТЭЦ. Обоснован выбор модели роботизированной пожарной установки с использованием расчета траектории струй. Проведена оценка эффективности представленной системы на основе моделирования динамики развития пожара в программной среде Pyrosim.

Ключевые слова: пожарный робот, роботизированные установки пожаротушения, Pyrosim, машинный зал.

EVALUATION OF EFFICIENCY OF METAL STRUCTURES COOL- ING BY FIRE ROBOTS

I.N. Pozharkova,
Ph.D. of engineering sciences, docent, pozharkova@mail.ru
FSBEE HE Siberian Fire and Rescue Academy EMERCOM of Russia,
Zheleznogorsk, Russia

Abstract: The article considers the project of the metal structures cooling system with dispersed water from lafet barrels based on fire robots for the machine hall. The selection of a robotic fire-fighting system with model using jet trajectory calculation is justified. The efficiency of the presented system was evaluated with modeling of fire dynamics in Pyrosim software environment.

Key words: fire robot, robotic fire-fighting systems, Pyrosim, machine hall.

Задача обеспечения пожарной безопасности машинных залов объектов теплоэнергетического комплекса зачастую усложняется тем, что в них существует опасность обрушения несущих строительных конструкций вследствие нагревания до критических температур, т.е. значений, при которых ожидается наступление соответствующего предельного состояния. Для предотвращения этого в настоящее время используются различные решения, наиболее эффективными из которых является охлаждение металлоконструкций стаци-

онарно установленными лафетными стволами ручными или роботизированными. Данный метод предусматривается нормативной документацией для таких энергетических объектов, как АЭС и ТЭЦ [1].

Достоинства систем охлаждения на базе лафетных стволов:

- высокая эффективность охлаждения строительных конструкций при небольшом расходе воды;
- большая площадь зоны покрытия;
- отсутствие потребности в создании разветвленной сети трубопроводов;
- отсутствие необходимости дополнительного нагружения строительных конструкций.

Недостатки систем охлаждения на базе лафетных стволов:

- необходимость нахождения людей в зоне действия опасных факторов пожара для управления лафетными стволами;
- низкая точность наведения струй диспергированной воды на защищаемые конструкции при ручном управлении в условиях сильного задымления, что характерно для машинных залов уже в первые минуты пожара;
- большая задержка между началом охлаждения конструкций и началом пожара при ручном управлении лафетными стволами, которая определяется временем, требующемся дежурному персоналу, чтобы добраться до стволов и открыть задвижки.

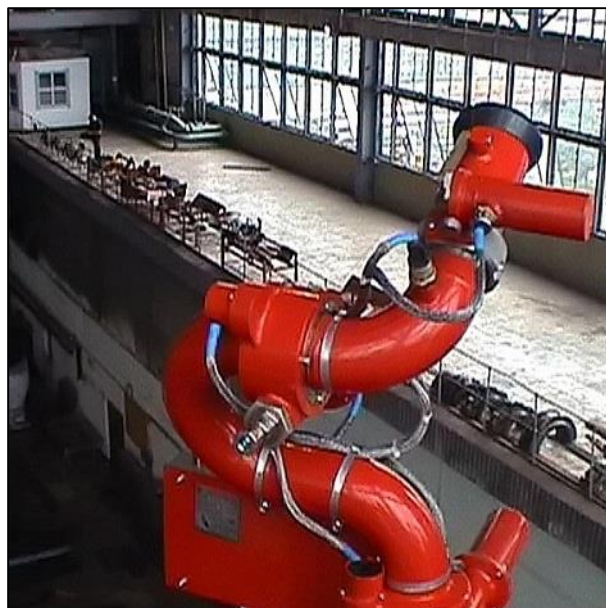
Все перечисленные недостатки характерны исключительно для ручного управления лафетными стволами. Использование пожарных роботов (ПР) с удаленным диспетчерским или автоматизированным управлением (рис. 1) позволяет начать охлаждение строительных конструкций в первые секунды пожара. При этом, нет необходимости нахождения людей в зоне воздействия опасных факторов пожара, а использование датчиков позволяет наводить струи диспергированной воды в условиях сильной задымленности. Кроме того, данное решение полностью удовлетворяет действующим в отношении ТЭЦ сводам правил [1], согласно которым в машинных залах в случае отсутствия на кровельных фермах огнезащитного покрытия следует предусматривать установку лафетных стволов для их охлаждения.

Проект системы охлаждения металлоконструкций диспергированной водой из лафетных стволов с использованием пожарных роботов был разработан согласно [2] на базе типового решения для машинного зала здания главного корпуса ТЭЦ, выполненного по проекту 67-68 для мощности турбоагрегата 100 МВт [3].

Охлаждение несущих конструкций при использовании данной системы начинается при поступлении сигнала о перегреве ферм в автоматическом режиме. Контроль температуры строительных металлоконструкций осуществляется линейными тепловыми извещателями, проложенными по нижнему поясу каждой фермы, с идентификацией сигнала.



а



б

Рис. 1. Стационарный пожарный роботизированный ствол ПРС-С

Выбор стационарного пожарного роботизированного ствола (ПРС-С) (рис. 1, а) был произведен на основе рекомендаций [4], согласно которым установка водяного охлаждения должна обеспечивать интенсивность подачи воды на поверхность несущей стальной горизонтальной строительной конструкции не менее $0,07 \text{ л/(с}\cdot\text{м}^2)$, а вертикальной – не менее $0,17 \text{ л/(с}\cdot\text{м}^2)$, и программы «Баллистика» [5], предназначенной для оценки зоны действия роботизированных лафетных стволов. Для охлаждения строительных ферм над очагом пожара достаточно 4-х ПРС-С с расходом 20 л/с и номинальным давлением $0,8 \text{ МПа}$, установленных с двух сторон машинного зала вдоль пролетов перпендикулярных плоскостям защищаемых конструкций на отметке площадок обслуживания турбин (12 м) (рис. 1, б).

Максимальное расстояние до самой удаленной точки фермы от ближайшего ПРС-С при таком расположении стволов составляет:

$$L_{\max} = \sqrt{\left[\frac{l}{n+1}\right]^2 + d^2} = \sqrt{\left[\frac{64}{3}\right]^2 + 39^2} = 44,3 \text{ м}, \quad (1)$$

где $l=64 \text{ м}$ – длина пролета, вдоль которого устанавливаются ПРС-С;
 $n=2$ – количество ПРС-С на одной стороне машинного зала;
 $d=39 \text{ м}$ – ширина строительной фермы.

Низ ферм находится на отметке 26 метров , ПРС-С – на отметке 12 метров , соответственно высота установки струи составляет 14 метров . Результаты моделирования траекторий струй при расходе 20 л/с и давлении $0,8 \text{ МПа}$ представлены на рис. 2.

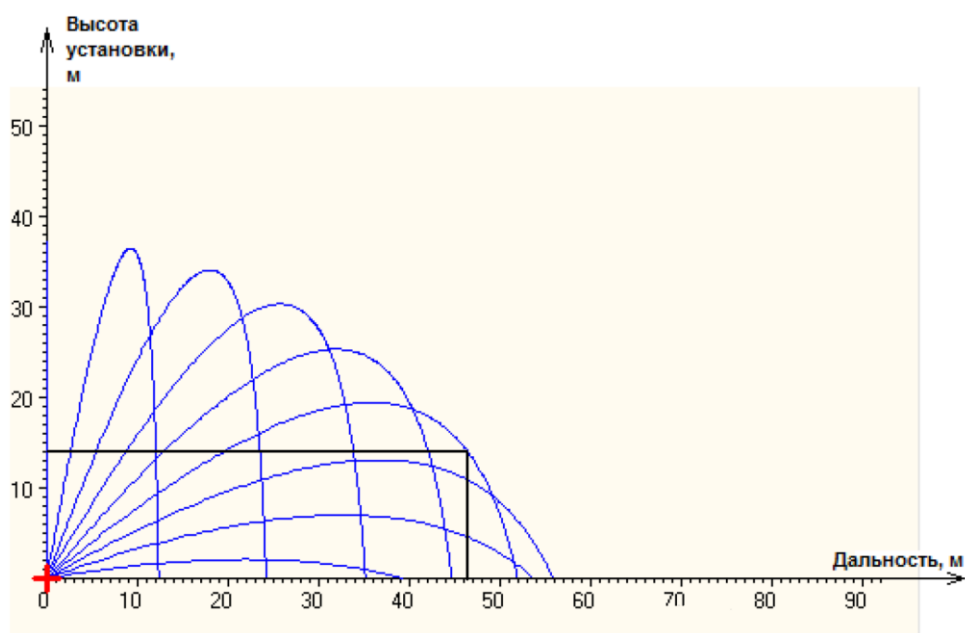


Рис. 2. Результаты моделирования траекторий струй при расходе 20 л/с и давлении 0,8 МПа в программе «Баллистика»

Согласно графикам (рис. 2) максимальная дальность струи при высоте 14 метров составит 47 метров, что превышает необходимое значение 44,3 м. Следовательно, ПРС-С с выбранным расходом и давлением 0,8 МПа удовлетворяет заданным требованиям. Для рассматриваемого проекта были выбраны ПРС-С в виде комплексных роботизированных решений с установленными датчиками и органами управления, а именно пожарный робот на базе стационарного лафетного ствола с водопенным тушением, программным и дистанционным управлением, автоматическим извещателем наведения и телекамерой ПР-ЛСД-С20У-ИК-ТВ [6].

Для оценки эффективности выбранного решения в программной среде Pygosim [3] проведено моделирование динамики развития пожара в машинном зале ТЭЦ (рис. 3) при наихудшем его сценарии, который заключается в повреждении масляной системы смазки турбины Тп-100/110-8.8, разливе масла и его возгорании. Общая площадь пожара при этом составляет 175 кв.м.

На рис. 4 представлены графики показаний температурных датчиков, расположенных на строительной ферме, находящейся над очагом пожара в зоне наибольшего, согласно результатам моделирования, нагрева.

Как видно, без охлаждения превышение критической температуры, значение которой составляет 500 °С [7], наблюдается на седьмой минуте пожара. При использовании ПРС-С нагрева выше отметки 186 °С за все время моделирования не происходит, что говорит об эффективности применения роботизированной установки пожаротушения для охлаждения строительных ферм при пожаре на исследуемом объекте.

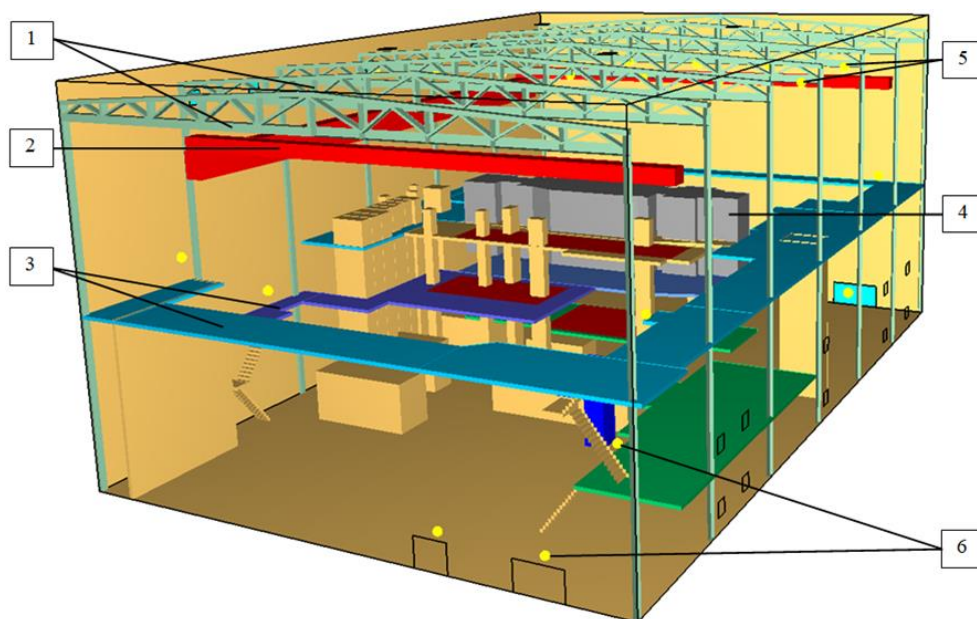


Рис. 3. Модель машинного отделения ТЭЦ

1 – фермы, 2 – кран-балка, 3 – промышленные площадки, 4 – турбина, 5 – температурные датчики ферм, 6 – датчики опасных факторов пожара

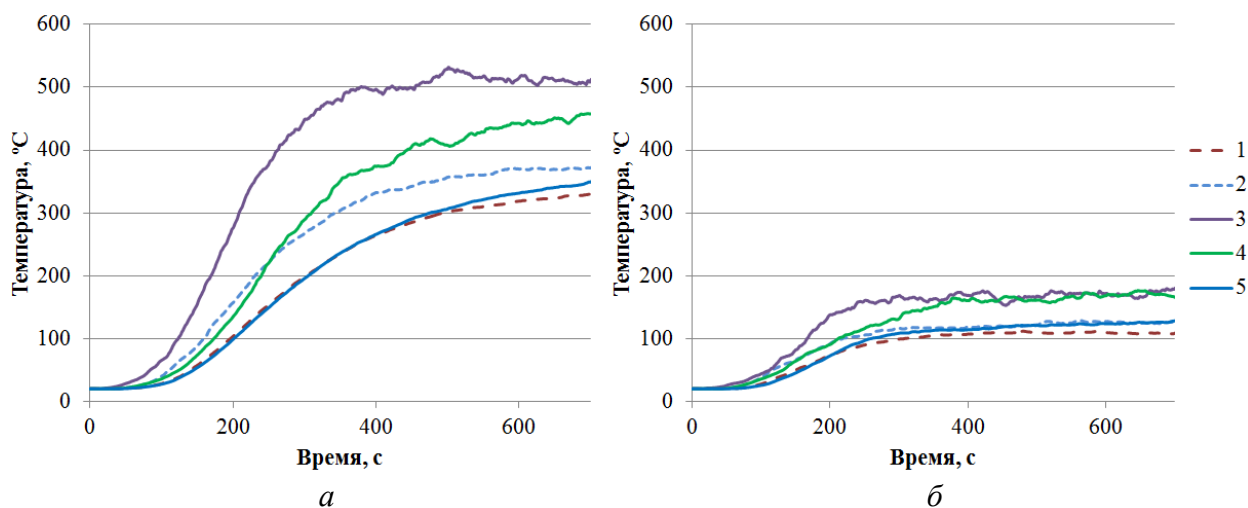


Рис. 4. Сводные графики показаний температурных датчиков, расположенных на ферме
а – без охлаждения; б – с охлаждением

Список литературы

1. Свод правил СП 90.13330.2012 «Электростанции тепловые».
2. СТО-СТУ 1682.0017-2015. «Роботизированная установка пожаротушения. Нормы и правила проектирования».
3. Пожаркова И.Н. Моделирование пожаров в машинных отделениях объектов теплоэнергетического комплекса / Пожаркова И.Н., Елфимова М.В., Лагунов

А.Н. // Научно-аналитический журнал «Сибирский пожарно-спасательный вестник», 2019, №1. - С.39-45.

4. Горбань Ю.И. Системы пожаротушения для защиты машинных залов ТЭЦ, АЭС и ГЭС: проблемы и решения // Алгоритм безопасности – 2011. - №3.

5. Программа моделирования траекторий струй лафетных стволов [Электронный ресурс] Режим доступа: <http://www.firerobots.ru>

6. ТУ 4854-003-16820082-2008 «Пожарные лафетные стволы».

7. ГОСТ Р 53295-2009 «Средства огнезащиты для стальных конструкций. Общие требования. Метод определения огнезащитной эффективности» (утв. приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 18 февраля 2009 г. № 71-ст) (с изменениями и дополнениями). – М.: Стандартиформ, 2009. - 14 с.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ТРАЕКТОРИИ СТРУИ ПОЖАРНОГО РОБОТИЗИРОВАННОГО СТВОЛА В СРЕДЕ ДИНАМИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ SIMINTECH

Аннотация: В статье описан алгоритм расчета в трехмерном пространстве траекторий струй воды, производимых пожарными роботизированными стволами, предназначенный для использования при решении задачи оптимального размещения пожарных роботов на защищаемом объекте. Представлена соответствующая модель в программной среде SimInTech.

Ключевые слова: пожарный роботизированный ствол, роботизированные установки пожаротушения, траектория струи, SimInTech.

SIMULATION OF FIRE ROBOTIC BARREL JET TRAJECTORY IN DYNAMIC SIMULATION ENVIRONMENT SIMINTECH

I.N. Pozharkova,
Ph.D. of engineering sciences, docent, pozharkova@mail.ru
FSBEE HE Siberian Fire and Rescue Academy EMERCOM of Russia,
Zheleznogorsk, Russia

Abstract: The article describes the algorithm of calculation in three-dimensional space of water jets trajectories produced by fire robotic barrels, designed for use in solving the problem of optimal placement of fire robots on the protected object. The corresponding model is presented in the SimInTech.

Key words: fire robotic barrel, robotic fire-fighting systems, jet trajectory, SimInTech.

В настоящее время роботизированные установки пожаротушения (РУП) [1] являются одними из наиболее эффективных решений для обеспечения пожарной безопасности на различных объектах, на которых затруднено использование других автоматизированных противопожарных систем. В частности, пожарные роботы используются в высокопролетных зданиях и помещениях большой площади, в которых создание разветвленной сети трубопроводов для спринклерных или дренчерных установок является нежела-

тельным из-за дополнительной нагрузки на строительные конструкции, при этом использование ручным лафетных стволов осложняется характером пожарной нагрузки, горение которой приводит к быстрому задымлению и снижению видимости [2]. К таким помещениям, например, относятся машинные залы, ангары, склады, выставочные центры и т.д. Основные достоинства РУП применительно к данным объектам заключаются в следующем:

- высокая эффективность пожаротушения, а также охлаждения строительных конструкций с целью предотвращения их обрушения;
- большая площадь зоны покрытия;
- отсутствие потребности в создании разветвленной сети трубопроводов и дополнительного нагружения строительных конструкций;
- отсутствие необходимости нахождения людей в зоне действия опасных факторов пожара для управления лафетными стволами;
- высокая точность наведения струй в условиях сильного задымления за счет использования различных датчиков;
- малая задержка между началом тушения или охлаждения строительных конструкций и началом пожара.

Одной из важных задач проектирования систем обеспечения пожарной безопасности на основе пожарных роботов является оптимизация их размещения с учетом объемно-планировочных особенностей защищаемого объекта. В частности, необходимо так выбрать расстановку пожарных роботизированных стволов при их минимальном количестве, чтобы обеспечить требуемую зону покрытия. Основную сложность при решении данной задачи представляет определение радиуса действия струи, формируемой пожарным роботом. На ее траекторию влияет множество факторов, а именно:

- положение пожарного робота в пространстве (трехмерные координаты);
- угол наклона лафетного ствола пожарного робота относительно горизонтальной оси;
- угол поворота пожарного робота относительно вертикальной оси;
- рабочее давление лафетного ствола пожарного робота;
- расход воды пожарного робота;
- прочие условия на защищаемом объекте, которые влияют на коэффициент трения между струей и возникающим на ее поверхности пограничным слоем воздуха.

В [3] представлена методика расчета траектории осесимметричной струи с учетом состояния пограничного слоя воздуха на ее боковой поверхности. На основании данной методики разработан следующий алгоритм расчета траектории струи лафетного ствола пожарного робота:

1. Определяется коэффициент трения для пограничного слоя:
Для ламинарного течения:

$$K = \frac{8}{3x(2\pi + x \operatorname{tg} \frac{\varphi}{2})} \sqrt{\frac{\nu x(3\pi^2 r^2 + 3\pi x \operatorname{tg} \frac{\varphi}{2} + x^2 \operatorname{tg}^2 \frac{\varphi}{2})}{u_0}}, \quad (1)$$

где x – координата расчетной точки вдоль горизонтальной оси струи, м;

r – минимальный радиус струи, м;

φ – угол сектора плоской развертки боковой поверхности конуса струи, рад;

ν – кинематическая вязкость среды, м²/с;

u_0 – скорость набегающего потока, м/с.

Для турбулентного течения:

$$K = \frac{2}{x(2\pi + x \operatorname{tg} \frac{\varphi}{2})} \sqrt{\frac{\nu x(3\pi^2 r^2 + 3\pi x \operatorname{tg} \frac{\varphi}{2} + x^2 \operatorname{tg}^2 \frac{\varphi}{2})}{u_0}} \quad (2)$$

2. Производится коррекция коэффициента трения:

$$k = K \frac{e^{b_1}}{\sin(\theta)^{b_2}}, \quad (3)$$

где K – коэффициент, рассчитанный по формулам (1)-(2);

θ – угол наклона лафетного ствола пожарного робота относительно вертикальной оси, рад;

b_1, b_2 – определяемые экспериментально коэффициенты.

3. Производится расчет траектории струи по формулам:

$$x = \frac{v_0 \cos(\theta)t}{1 + k \frac{v_0^2}{2dg}}, \quad (4)$$

$$y = \frac{v_0 \sin(\theta)t - \frac{gt^2}{2}}{1 + k \frac{v_0^2}{2dg}}, \quad (5)$$

где x – горизонтальная координата, м;

y – вертикальная координата, м;

v_0 – начальная скорость струи, м/с;

t – время, с;

d – диаметр струи, м;

g – ускорение свободного падения, м/с².

Для удобства расчета в трехмерном пространстве целесообразно перейти к координатам X, Y, Z :

$$\begin{aligned} X &= x \cos(\alpha) \\ Y &= x \sin(\alpha) \quad , \\ Z &= y \end{aligned} \quad (6)$$

где x, y – координаты, вычисленные по формулам (4)-(5);

α – угол поворота лафетного ствола пожарного робота относительно вертикальной оси, рад.

Представленный алгоритм был реализован в программной среде SimInTech [4] (рис. 1), функционал которой позволяет не только строить подобные модели, а также в дальнейшем интегрировать их в управляющие системы через соответствующие интерфейсы.

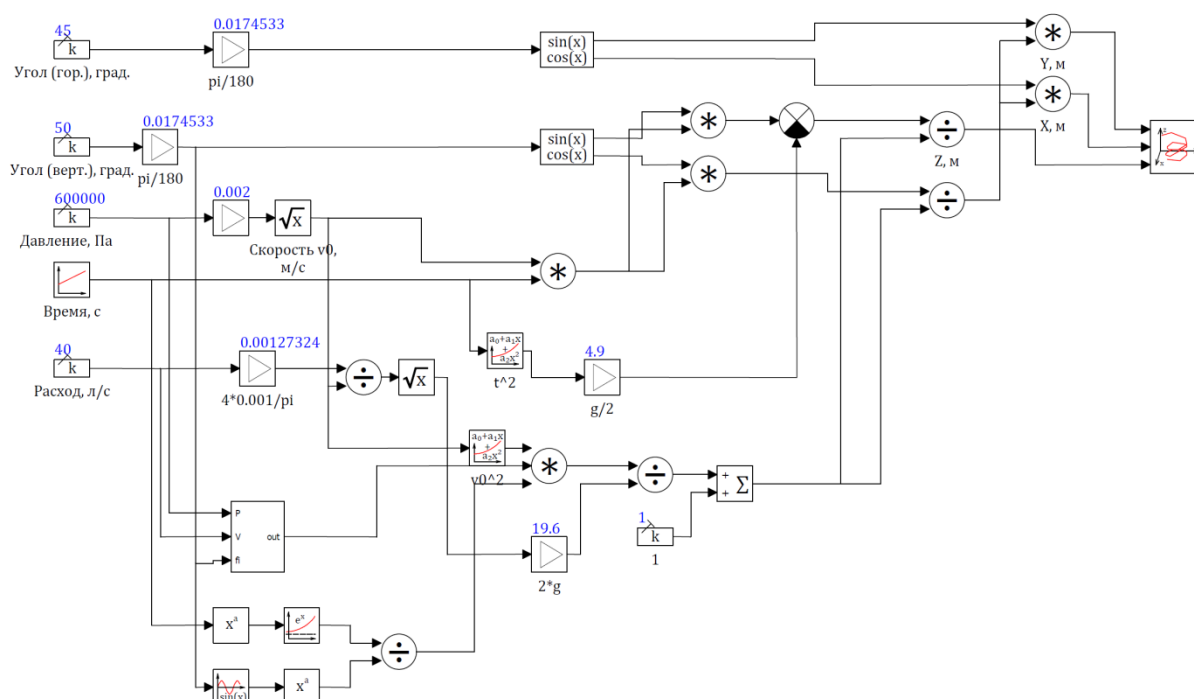


Рис. 1. Модель расчета струи лафетного ствола пожарного робота в программной среде SimInTech

На рис. 2 представлены результаты моделирования в SimInTech струи пожарного робота ПР-ЛСД-С40У [5] со следующими параметрами:

- рабочее давление 0.6 МПа;
- расход воды 40 л/с;
- угол наклона лафетного ствола относительно горизонтальной оси 50°;
- угол поворота лафетного ствола относительно вертикальной оси 45°.

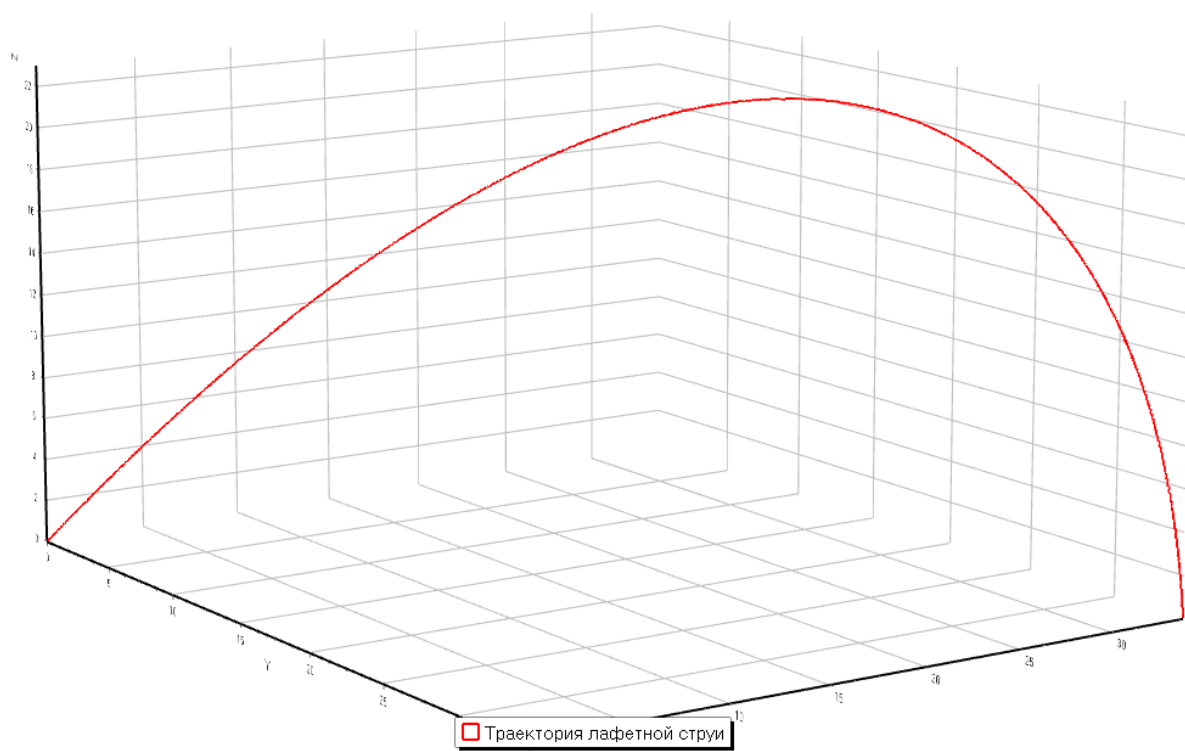


Рис. 2. Результаты моделирования в трехмерном пространстве струи лафетного ствола пожарного робота в программной среде SimInTech

Полученные траектории с поправкой на угол поворота имеют незначительные отклонения от соответствующих экспериментальных кривых [3], что говорит о высокой адекватности построенной модели, которую можно использовать для решения задачи оптимального размещения пожарных роботов на защищаемом объекте, проведения оценки эффективности проектируемой роботизированной установки пожаротушения и т.д.

Список литературы

1. ГОСТ Р 53326-2009. Техника пожарная. Установки пожаротушения роботизированные. Общие технические требования. Методы испытаний.
2. ВНПБ 39-16. «Роботизированная установка пожаротушения. Нормы и правила проектирования».
3. Здор Г.Н. Определение траектории наклонной гидравлической струи с учетом действия силы трения, возникающей на ее поверхности / Г.Н. Здор, А. В. Потеха // Вестник Гродненского государственного университета имени Янки Купалы. Серия 6. Техника, 2016, № 2. – С. 88–97.
4. Пожаркова И.Н., Чубарь А.В., Грищенко И.А., Трояк Е.Ю. Моделирование технологического процесса в среде динамического моделирования SimInTech // Научно-аналитический журнал «Сибирский пожарно-спасательный вестник», 2018, №2. – С.29-37.
5. ТУ 4854-003-16820082-2008 «Пожарные лафетные стволы».

М.Г. Пантелеев, к.т.н., доцент, mpanteleyev@gmail.com
А.Ф. Салимов, аспирант, safmail96@gmail.com
Санкт-Петербургский государственный электротехнический
университет «ЛЭТИ», г. Санкт-Петербург, Россия

НАВИГАЦИЯ АГЕНТА В ВИРТУАЛЬНОМ ФУТБОЛЕ: СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ АЛГОРИТМОВ

Аннотация: Данная работа посвящена анализу различных методов решения навигационной задачи интеллектуальным агентом в среде виртуального футбола Robosoccer на основе зашумленных данных, поступающих от визуального сенсора. Рассмотрены две группы методов вычисления абсолютных координат объектов на основе сенсорных данных о флагах и линиях: тригонометрические методы и методы, основанные на использовании фильтра Калмана и фильтра частиц. Представлены экспериментальные результаты сравнительного анализа быстродействия и точности алгоритмов, реализующих различные методы. Полученные результаты позволяют агенту решать навигационную задачу с использованием алгоритмов произвольного времени, разминивая время решения на качество (точность) результата. С учетом полученных результатов определены направления дальнейших исследований по реализации оценки тактической обстановки в виртуальном футболе.

Ключевые слова: интеллектуальный агент, многоагентная система, виртуальный футбол, RoboCup Soccer, навигационная задача, алгоритмы произвольного времени, фильтр Калмана, фильтр частиц

AGENT NAVIGATION IN VIRTUAL FOOTBALL: COMPARATIVE ANALYSIS OF ALGORITHMS

M.G. Panteleyev, PhD, docent, mpanteleyev@gmail.com
A.F. Salimov, postgraduate student, safmail96@gmail.com
Saint Petersburg Electrotechnical University "LETI", Russia

Abstract: The article is devoted to the analysis of various methods of solving navigation problems by an intelligent agent in the environment of virtual football Robocup Soccer. Two groups of methods for calculating the absolute coordinates of objects based on sensory data are considered: trigonometric methods and methods based on the use of the Kalman filter and particle filter. Experimental results of the comparative analysis of the speed and accuracy of algorithms implementing various methods are presented.

Key words: intelligent agent, multi-agent system, virtual soccer, RoboCup Soccer, localization, anytime algorithms, Kalman filter, particle filter

Создание интеллектуальных агентов (ИА) и основанных на них много-агентных систем (МАС) является в настоящее время магистральным направлением развития искусственного интеллекта [1, 2]. Под ИА понимаются автономные системы, воспринимающие окружающую среду и реализующие в этой среде целенаправленное поведение. Важной особенностью ИА является их способность действовать группами, в том числе в условиях активного противодействия со стороны других групп агентов.

В последние годы в качестве эталонной платформы для отработки различных подходов к построению ИА реального времени (ИА РВ) и тактик группового поведения МАС в условиях группового противодействия используется виртуальный футбол [3]. Сообществом специалистов в области ИА и МАС поставлена амбициозная задача – к 2050 году создать команду автономных роботов-футболистов, способных обыграть команду чемпионов мира.

Одной из важных задач, решаемых ИА, является навигация (определение собственного местоположения) на основе информации, поступающей от визуальных сенсоров. Для решения этой задачи широко используются вероятностные подходы, наиболее известными из которых являются фильтр Калмана и фильтр частиц [4, 5]. Выбор наиболее эффективных методов и алгоритмов решения навигационной задачи с учетом особенностей конкретной среды функционирования ИА РВ требует их экспериментального сравнительного анализа.

Особенности навигационной задачи в среде виртуального футбола

Среда виртуального футбола (ВФ) RoboCup Soccer Server позволяет в реальном времени моделировать игру в футбол команд, состоящих из 11 автономных ИА. Каждый игрок реализуется как независимая программа, подключающаяся к серверу через UDP-сокеты. Сервер предоставляет виртуальное поле, на котором имитирует действия игроков в соответствии с поступающими от них командами. В каждом такте моделирования игрок получает от сервера сенсорную информацию и отправляет ему команды о собственных действиях.

Платформа ВФ моделирует важнейшие особенности реальных МАС, такие как ограниченное поле зрения агентов, шумы восприятия (сенсорной информации) ИА и моделей движения игроков и мяча, ограниченная пропускная способность коммуникационных каналов и др.

Агент-футболист имеет три сенсора: визуальный, слуховой и сенсор тела. Основную информацию агент получает от визуального сенсора, которым он может управлять, задавая ширину и направление взгляда. При этом в

каждый момент времени агент видит только часть поля. Частота получения визуальной информации от сервера зависит от выбранного агентом режима работы сенсора. На рис. 1 показан общий вид поля с расставленными на нем флагами (отмечены точками).

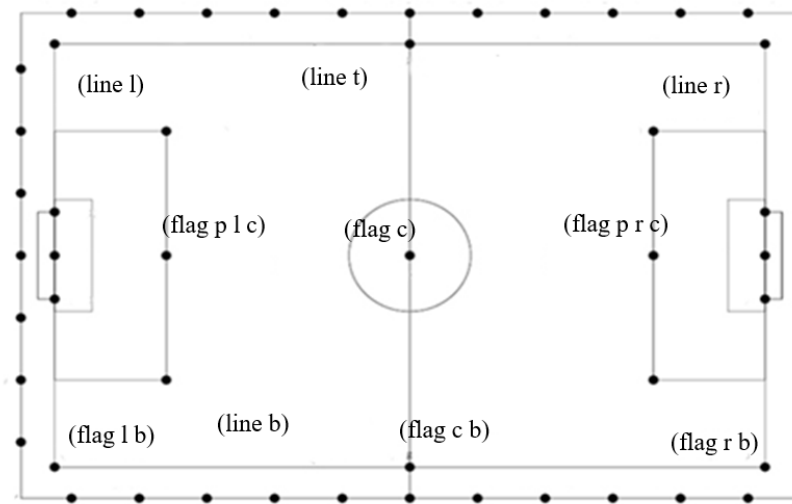


Рис. 1. Поле с навигационными привязками

Агент получает визуальную информацию о каждом наблюдаемом объекте в полярной системе координат, центром которой является он сам (т.е. азимут и расстояние до объекта). Используя эту относительную информацию и априорные знания координат статических объектов, он может вычислить собственные абсолютные координаты, а затем и абсолютные координаты других игроков. Существенным фактором при решении навигационной задачи является неточность (зашумленность) получаемой от сервера сенсорной информации. В частности, шумы, накладываемые на расстояние до объекта, вычисляются сервером по следующей формуле:

$$Q\_Distance = Quantize(\exp(Quantize(\ln(distance), quantizeStep)), 0.1),$$

где $Q\_Distance$ – воспринимаемое агентом расстояние до наблюдаемого объекта; $distance$ – истинное расстояние до объекта; $quantizeStep$ – шаг квантования. Задача определения абсолютных координат игроков (себя и других) по наблюдаемой информации может решаться разными методами и алгоритмами, отличающимися затрачиваемым временем и точностью решения.

В [2, 6-8] разработан подход к построению ИА РВ, в соответствии с которым агент в проблемных ситуациях динамически определяет имеющийся запас времени и адаптирует к нему процесс обдумывания решения. В рамках данного подхода алгоритмы решения частных задач строятся как алгоритмы произвольного времени (АПВ), в которых качество результатов (в частности, точность) зависят от выделяемого данному алгоритму времени. В рамках

данного подхода решение навигационной задачи рассматривается с позиций АПВ. Для построения профилей АПВ, фиксирующих зависимость точности результата от выделяемого алгоритму времени, необходим сравнительный экспериментальный анализ различных методов решения навигационной задачи.

Навигационные методы

На основе анализа литературы [4, 5] были выделены следующие методы решения навигационной задачи в среде ВФ:

- по ближайшему флагу и дальней линии;
- по двум ближайшим флагам;
- на основе фильтра Калмана;
- на основе фильтра частиц.

Навигация по ближайшему флагу и дальней линии. В данном случае сначала среди всех видимых объектов определяются ближайший флаг и дальняя линия. Направление игрока к линии используется для нахождения угла поворота головы агента. Пусть l_b – биссектриса угла обзора игрока, проходящая через его абсолютные координаты. Если в поле зрения игрока попала линия l , полученное им визуальное сообщение будет содержать расстояние d до точки пересечения l_b с l и угол α между l_b и l (рис. 2).

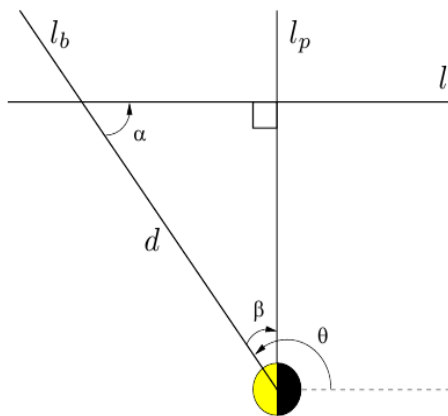


Рис. 2.

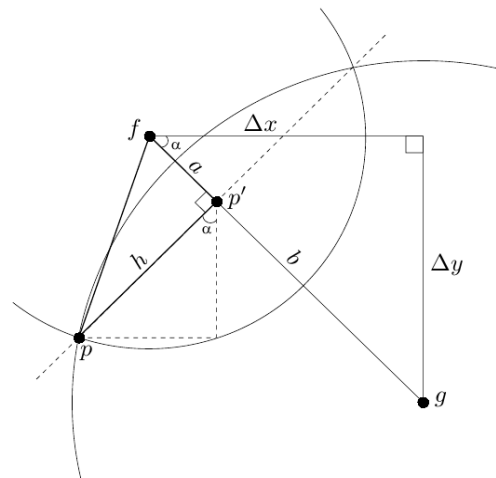


Рис. 3.

Навигация по двум ближайшим флагам и дальней линии. В данном алгоритме сначала определяются два ближайших флага среди всех видимых. Знание абсолютных координат флага и расстояния до него задает круг возможных позиций агента с центром в точке расположения флага и радиусом, определяемым расстоянием до него. Аналогично определяет круг возможных позиций агента и второй флаг. Положение агента, очевидно, определяется пересечением этих окружностей (рис. 3).

Методы навигации с использованием фильтрации.

При определении абсолютных координат агента на футбольном поле тригонометрическими методами используется визуальная информация, полученная только в текущем такте. Вместе с тем, информацию о некотором объекте, получаемую в разных сенсорных тактах, можно рассматривать как последовательные наблюдения динамического процесса. Решение навигационной задачи в ВФ с использованием фильтра Калмана укрупнено включает следующие шаги:

1. Разбор и анализ принятой визуальной информации с целью получения списка видимых игроку флагов и их относительных координат.

2. Циклическая обработка всевозможных пар флагов. В каждом цикле выбираются два видимых флага и вычисляются абсолютные координаты агента по этим флагам.

3. Вычисление дисперсии ошибки сенсора. (Качество оценки дисперсии определяет качество работы фильтра Калмана).

$$\sigma_{i+1}^2 = \frac{(r_{\max} - r_{\min})^2}{12}$$

4. Обновление значения коэффициента усиления Калмана с учетом полученной дисперсии. Значение коэффициента должно обеспечивать максимальную близость вычисляемых оптимальных значений абсолютных координат к их истинным значениям.

$$K = \frac{\hat{\sigma}_i^2}{\hat{\sigma}_i^2 + \hat{\sigma}_{i+1}^2}$$

5. Коррекция с помощью коэффициента Калмана оценочного значения абсолютных координат агента в данной итерации.

$$\hat{x}_{i+1} = \hat{x}_i + K \cdot (y_i - \hat{x}_i)$$

Навигация с использованием фильтра частиц. Фильтр частиц является методом определения абсолютных координат агента, в соответствии с которым для оценки координат создается множество гипотез (частиц) об их текущих значениях. Алгоритм определения абсолютных координат на основе фильтра частиц включает пять шагов: инициализация, прогноз, коррекция (вычисление весовых коэффициентов и ресэмплинг), оценка состояния. Инициализация фильтра частиц выполняется в момент приема первого сенсорного кадра и сводится к генерации частиц случайным образом вокруг полученной точки. В результате в окрестности точки генерируется N частиц с изначально равными весами.

Положение каждой частицы определяется на основе полученной от визуального сенсора информации о траектории и расстоянии. На этапе прогнозирования учитывается диапазон возможных значений расстояния до агента. Если расстояние между частицей и агентом находится вне этого диапазона значений, частица удаляется из набора. Таким образом после этапа прогнозирования с учётом информации о диапазоне значений из начального набора из N частиц остается K частиц. На последнем этапе оценки состояния абсолютные координаты агента рассчитываются как взвешенная сумма состояний всех частиц.

Подход и результаты экспериментальной оценки алгоритмов навигации

Для экспериментального исследования и сравнительного анализа эффективности различных алгоритмов навигации разработана инструментальная программа на языке Java, позволяющая:

- произвольным образом позиционировать агента на поле и задавать направление и режим работы его визуального сенсора;
- решать навигационную задачу разными методами и оценивать точность решения и затраченное время.

Поскольку количество навигационных привязок (флагов), попадающих в поле зрения агента, существенно зависит от угла обзора, эксперименты проводились отдельно для разных углов обзора: узкого (narrow), нормального (normal) и широкого (wide). Результаты исследования при узком угле обзора, когда агент видит мало флагов, представлены на рис. 4.

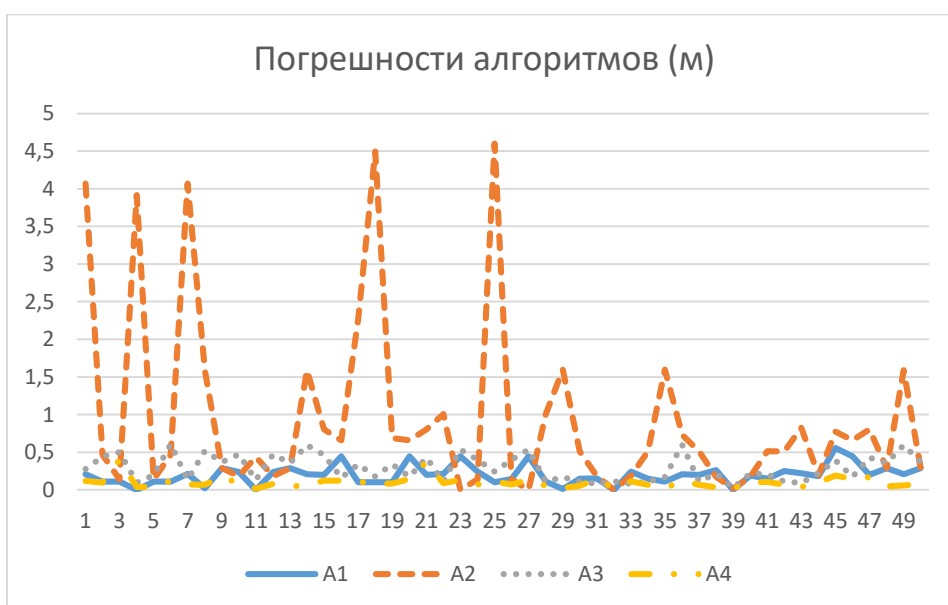


Рис. 4.

Погрешности алгоритмов вычислялись при различных 50-х абсолютных координатах. Графики на рисунке соответствуют следующим алгоритмам

вычисления абсолютных координат агента: *A1* – по ближайшему флагу и дальней линии; *A2* – по двум ближайшим флагам; *A3* – с использованием фильтра Калмана; *A4* – с использованием фильтра частиц. Как видно из приведенных зависимостей, наибольшую ошибку дает алгоритм определения координат по двум ближайшим флагам. Наиболее точным методом является метод на основе фильтра частиц, поскольку он использует информацию обо всех видимых флагах с учетом последовательности наблюдений.

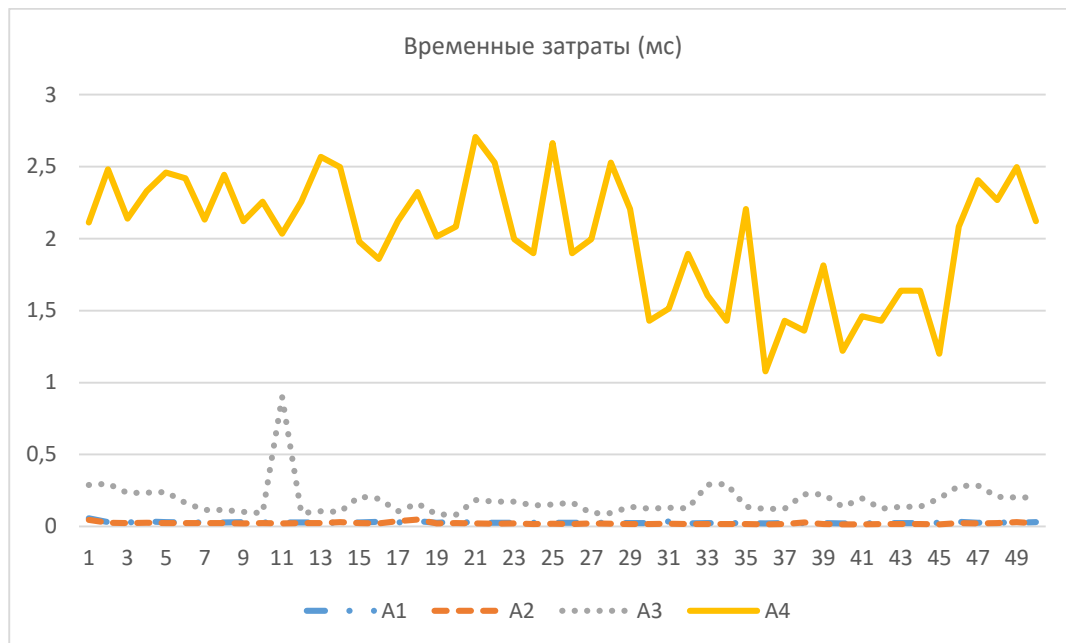


Рис. 5.

Как показал эксперимент, алгоритм с использованием фильтра частиц работает в 7-15 раз медленнее, других алгоритмов, что обусловлено большим числом операций обработки. Усредненные значения ошибки определения абсолютных координат агента и затрат времени для разных алгоритмов при узком угле обзора представлены в сводной таблице 1.

Таблица 1.

Алгоритм определения абсолютных координат агента	Средняя ошибка (м)	Время выполнения (мс)
По ближайшему флагу и дальней линии	0,2482	0,0274
По двум ближайшим флагам	1,0154	0,0222
На основе фильтра Калмана	0,2901	0,1826
На основе фильтра частиц	0,0974	2,0154

Анализ полученных результатов показывает, что по совокупности двух характеристик – точности и времени – предпочтительным является алгоритм

определения абсолютных координат агента по ближайшему флагу и дальней линии. Данный алгоритм по затратам времени незначительно уступает наиболее быстродействующему алгоритму определения координат по двум ближайшим флагам и, вместе с тем, дает ошибку сопоставимую с алгоритмом на основе фильтра Калмана.

Выводы

По критерию точности решения навигационной задачи в ВФ лучшим является алгоритм, основанный на фильтре частиц. Однако он требует максимальных временных затрат (в среднем 4 мс). Тригонометрические алгоритмы определения абсолютных координат являются быстрыми, но имеют значительно более низкую точность, существенно зависящую от количества видимых флагов и выбранного качества работы визуального сенсора. Кроме того, данные методы могут давать аномально высокие ошибки при близких азимутах направления на ближайшие флаги.

Наличие различных алгоритмов решения навигационной задачи, отличающихся временем работы и точностью результата, позволяет рассматривать их с позиций АПВ и адаптировать процесс обдумывания агентом решения с учетом динамически (ситуативно) меняющихся временных ограничений. Таким образом, направлениями дальнейших исследований являются:

- построение уточненных профилей АПВ решения навигационной задачи и их использование в архитектуре ИА РВ для среды ВФ;
- использование вычисленных абсолютных координат игроков для определения тактических расстановок команд в процессе игры.

Список литературы

1. Рассел С., Норвиг П. Искусственный интеллект: современный подход, 2-е изд.// М.: Издат. Дом «Вильямс», 2006. – 1408 с.
2. Пантелеев М. Г., Пузанков Д. В. Интеллектуальные агенты и много-агентные системы: монография// СПб.: Изд-во СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 2015. – 215 с.
3. Официальный сайт турнира Robocup [Электронный ресурс] URL: <http://www.robocup.org> (дата обращения 10.09.2019)
4. Thrun S., Wolfram B., Fox D. Probabilistic Robotics (Intelligent Robotics and Autonomous Agents)// The MIT Press, 2005. – 672 p.
5. Московский А.Д. Недоопределённые модели в задаче локализации мобильного робота// 5-й Всероссийский науч.-практ. семинар «Беспилотные транспортные средства с элементами искусственного интеллекта» (БТС-ИИ-2019): Труды семинара. – Переславль-Залесский: РАИИ, 2019, с. 9-18

6. Пантелеев М. Г. Концепция построения интеллектуальных агентов реального времени на основе модели опережающего итеративного планирования // Труды 13-ой Нац. конф. по ИИ с международным участием КИИ-2012. Т 3. – Белгород: Изд-во БГТУ. – 2012. – С. 25-33.
7. Пантелеев М.Г. Формальная модель опережающего итеративного планирования действий интеллектуальных агентов реального времени// Труды 14-ой Нац. конф. по ИИ конф. по искусственному интеллекту с международным участием КИИ-2014. Т 1. – Казань: Изд-во РИЦ «Школа». – 2014. – С. 323-333.
8. Panteleev M.G. Advanced Iterative Action Planning for Intelligent Real-Time Agents// Procedia Computer Science, 2019, Vol. 150, pp. 244-252.
9. Kok J.R., de Boer R. The Incremental Development of a Synthetic Multi-Agent System: The UvA Trilearn 2001 Robotic Soccer Simulation Team, M.S. thesis, Univ. of Amsterdam, The Netherlands, 2002.

УПРАВЛЕНИЕ ПОСАДКОЙ БЕСПИЛОТНОГО ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА НА ЭТАПЕ ВЫРАВНИВАНИЯ

Аннотация: В данной статье разрабатывается система управления полетом беспилотного летательного аппарата с неподвижным крылом и, в частности, на стадии выравнивания в рамках автономной посадки. Система позволяет заменить человека-оператора на этом этапе. В работе были настроены нечеткие регуляторы скорости, позволяющие сократить расстояние пробега БПЛА на взлетно-посадочную полосу.

Ключевые слова: беспилотный летательный аппарат, управление полетом, выравнивание полетом, нечеткий регулятор

FLIGHT CONTROL OF UNMANNED AERIAL VEHICLE AT LEVELING PHASE

Daher Sayfeddine (Lebanon), Ph.D., daher@live.ru

Robotics Projects Manager, Khatib Alami Consulting, Muscat, Sultanate Oman

Abstract: This paper develops flight control system for a fixed-wing unmanned aerial vehicle, in particular, at the leveling stage as part of an autonomous landing. The system allows to replace the human-operator at this stage, which is the most difficult during the flight process. Additionally, fuzzy logic velocity controllers were configured to reduce the UAV mileage on the runway.

Keywords: UAV, autopilot, flight control, leveling phase, fuzzy logic controller

Беспилотный летательный аппарат (БПЛА) в пространстве имеет шесть степеней свободы, и его движение описывается шестью дифференциальными уравнениями движения (Эйлера). Решение этих уравнений в общем случае позволило бы определять характер пространственного движения БПЛА в любой момент времени и, в частности, воздействия оператора на органы управления, а также позволило бы судить об устойчивости этого движения. Однако непосредственное решение этих уравнений представляет известные трудности даже при применении современных вычислительных машин. Если

же за исходный режим полета применять прямолинейный установившийся полет без скольжения и считать отклонения параметров движения от исходных значений достаточно небольшими, то благодаря симметрии БПЛА систему шести уравнений движения можно разделить на две независимые системы уравнений, с неизвестной степенью точности описывающих движение БПЛА в плоскости симметрии (так называемое продольное движение), и в двух других плоскостях (боковое движение).

При этом, посадка является самым напряженным и ответственным этапом полета. Это объясняется скоротечностью процессов управления и дефицитом времени для выработки и реализации управляющих воздействий, необходимостью создания значительных управляющих воздействий в условиях возрастающей скорости движения и близости земли, наличием больших возмущающих воздействий вследствие изменения конфигурации БПЛА и режима работы двигателей, ограниченностью располагаемых дистанций разбега, продолженного и прерванного взлета. Относительная частота летных происшествий на этапе взлета значительно превышает частоту происшествий на маршруте. Во многом безопасность посадки и регулярность полетов зависят и от метеоусловий: плохой видимости, сильного бокового ветра, а также состояний взлетно-посадочной полосы. Для снижения неблагоприятного воздействия всех вышеперечисленных факторов ставится задача автоматизации управления посадкой.

Этап автоматического выравнивания следует за этапом автоматического захода на посадку. При выравнивании задается определенная траектория полета БПЛА, обеспечивающая постепенное по мере приближения к земле уменьшение вертикальной скорости снижения БПЛА от скорости, соответствующей планированию по глиссаде, до заданной посадочной вертикальной скорости.

Автоматическое выравнивание может производиться по «жестким» или «свободным» траекториям. Предпочтение отдается «свободным» в связи с тем, что время выравнивания соизмеримо с временем переходного процесса стабилизации самолета на заданной траектории. Это приводит к тому, что все возмущения или начальные отклонения, «уводящие» БПЛА с заданной траектории, не могут быть парированы за время процесса выравнивания, увеличивая и без того значительные погрешности системы в силу изменения параметров полета из-за нестационарности режима.

В качестве управляющей координаты может использоваться угол тангажа, так как в момент приземления необходимо особенно внимательно контролировать угол тангажа, чтобы исключить посадку на переднюю стойку шасси. Скорость управления БПЛА на фазе посадки определяется в основном тем, что касание ВПП должно происходить при незначительных отклонениях от заданной точки приземления.

В процессе снижения по глиссаде БПЛА имеет довольно высокую скорость планирования, которая по существующим нормам должна превышать скорость срыва не менее чем в 1,3 раза. Так как устойчивость и управляемость БПЛА на фазе посадки во многом обусловлены скоростью планирования, то это приводит к существенному завышению скорости, что в свою очередь является причиной больших вертикальных скоростей снижения по глиссаде, достигающих 3-4 м/с. Естественно, что соприкосновение БПЛА с землей при такой вертикальной скорости недопустимо [2,4].

Необходимое уменьшение вертикальной скорости может быть достигнуто за счет уменьшения угла наклона траектории движения. Этап полета, в процессе которого БПЛА, двигаясь по криволинейной траектории, переходит от снижения по глиссаде на траекторию с малым углом наклона к земной поверхности, называется выравниванием [2].

При автоматическом управлении этапы выдерживания и парашютирования практически отсутствуют. Возможны два способа реализации траектории выравнивания; по жесткой программе, когда траектория формируется по отношению к ВПП с помощью специальных наземных средств (по аналогии с глиссадой), и по гибкой корректируемой программе, когда траектория формируется бортовыми средствами и жестко с ВПП не связана [3].

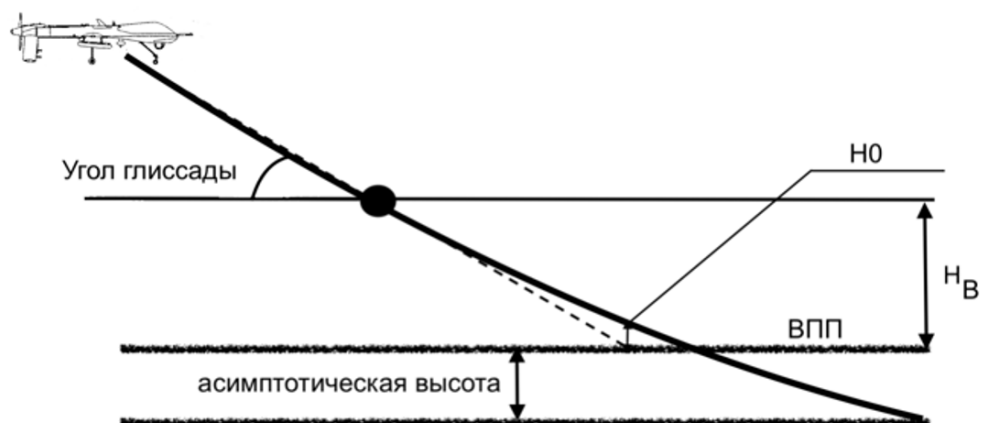


Рис 1. траектория выравнивания при автоматическом управлении посадкой по экспоненциальному закону

Экспоненциальная траектория при автоматическом управлении определяется и решается с помощью уравнения (1)

$$T \frac{dH}{dt} + H = 0; \quad (1)$$

$$H(t) = H_B e^{-t/T};$$

При этом, БПЛА имеет нулевую скорость, но расстояние до приземления велико. Асимптота экспоненты траектории должны находиться ниже ВПП на расстоянии H_{ac} . Дифференциальное уравнение и его решения, описывающее траектории выглядит следующим образом:

$$T \frac{dH}{dt} + H = H_{ac};$$

$$H(t) = C e^{-t/T} - H_{ac}; \quad (2)$$

где C постоянное интегрирования.

При $t=0$, высота $H = H_B = C - H_{ac}$, тогда, $H(t) = (H_B + H_{ac}) * e^{-t/T} - H_{ac}$. Следовательно, вертикальная скорость получается путем дифференцирования уравнения (2) и описывается следующим образом:

$$V_B(t) = \frac{dH}{dt} = -\frac{H_B + H_{ac}}{T} * e^{-t/T}; \quad (3)$$

Траектория выравнивания должна быть плавным продолжением глиссады. Для этого необходимо, чтобы при $t=0$, $V = V_{гл}$ где $V_{гл}$ - скорость на глиссаде. Подставив $t=0$ в (3) получим:

$$V_{гл} = -\frac{H_B + H_{ac}}{T}; \quad (4)$$

В момент приземления $H=0$ тогда из (3) получим время движения на этапе выравнивания $t_{п}$:

$$0 = (H_B + H_{ac}) * e^{-t_{п}/T} - H_{ac}; \quad (5)$$

Разрешив (5) относительно $-t_{п}$ получим:

$$t_{п} = T * \ln\left(\frac{H_B + H_{ac}}{H_{ac}}\right); \quad (6)$$

Скорость во время приземления определяется с помощью следующего уравнения:

$$V_{пр} = \frac{H_B + H_{ac}}{T} e^{-t_{п}/T} = -\frac{H_{ac}}{T}; \quad (7)$$

Следовательно, чтобы урпвлять положением БПЛА на этапе выравнивания нужно управлять скоростью $V_{пр}$, которая состоит из контуров линейной и вертикальной скоростей. Первый контур — это часть системы, которая определяет процесс горизонтального полета. Он состоит из задатчика скорости, который является функцией от высоты, регулятор линейной скорости, контур тяги и датчик обратной связи по скорости. Второй контур состоит из задатчика вертикальной скорости, регулятор вертикальной скорости, привод руля высоты, блок лобового сопротивления и блок инерции БПЛА [3].

С помощью пакета MATLAB, составляем структурные схемы контуров управления с учетом уравнений (1;7). В качестве автопилота режимов скоростей, применяем нечеткие регуляторы и оптимизируем правило так, чтобы следующие параметры были учтены:

$$T = \frac{H_B}{V_{гн} - V_{пр}} = \frac{15}{-5 - (-0.2)} = 3,125c; \quad (8)$$

$$H_{ac} = \frac{H_B}{V_{zn} - V_{np}} * V_{np} = \frac{15 * (-0.2)}{-5 - (-0.2)} = 0.625 \text{ м:}$$

$$t_{\pi} = T * \ln \frac{H_B + H_{ac}}{H_{ac}} = 10.058 \text{ с.}$$

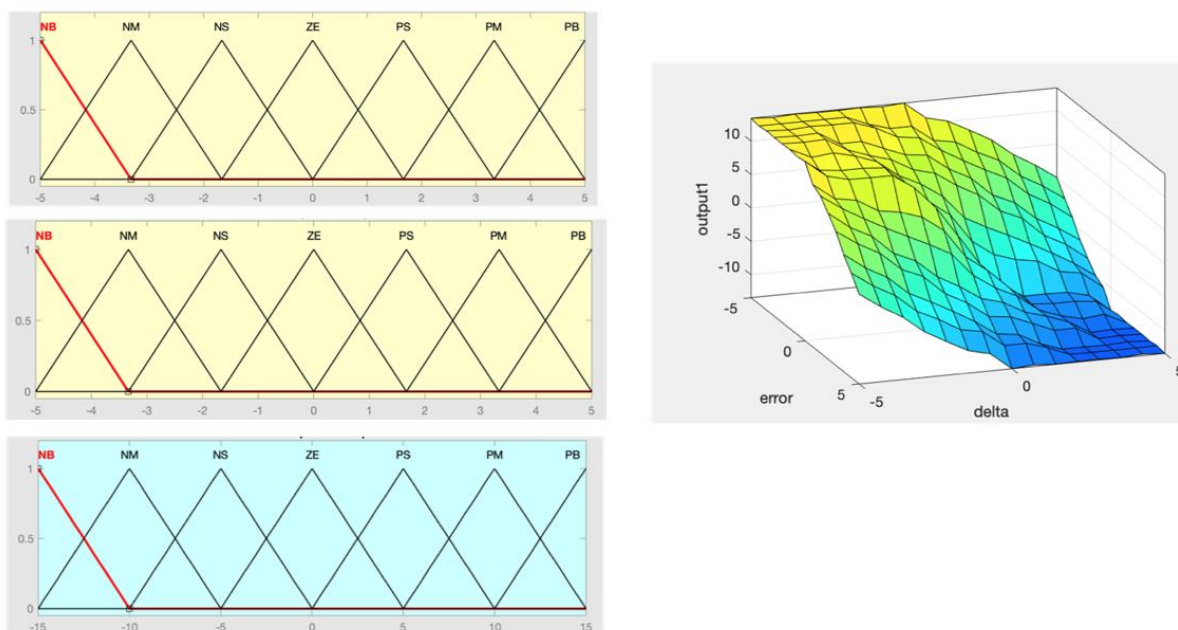


Рис 2. Настройка нечетких правил

Результаты внедрения алгоритмов управления скоростей с помощью нечетких правил представлены в виде переходных процессов замкнутых контуров управлений внесены на рис.3 (для линейной скорости) и рис.4 (для горизонтальной скорости).

Результаты. Как видно из переходных процессов, задача управления скоростью и, следовательно, положением БПЛА выполнено. Максимальные и минимальные значения линейной скорости также учитывались путем изменения значений тяги, которая падает, в результате чего линейная скорость уменьшается, а затем увеличивается, чтобы удерживать подъемную силу, необходимую для предотвращения перпендикулярной посадки (крушение).

Предполагаемое значение асимптотической высоты составляет 0,625 м с отрицательной сигнатурой (8), поскольку оно теоретически неходитм ниже ВПП. Используя нечеткий контроллер, значение асимптотической высоты было уменьшено до -0,496 м. Это снижение является оптимальным для посадки БПЛА, поскольку оно сокращает расстояние пробега на ВПП. Другими словами, процесс пробега и остановки на ВПП был сокращен [5].

Аналогично, для вертикального контура скорости видно, что высота полета отслеживает асимптотическое значение, принимая во внимание уменьшение вертикальной скорости, достигая нулевого значения, когда вре-

мя равно 10,058 с, что подтверждает теоретические результаты, найденные ранее в (8).

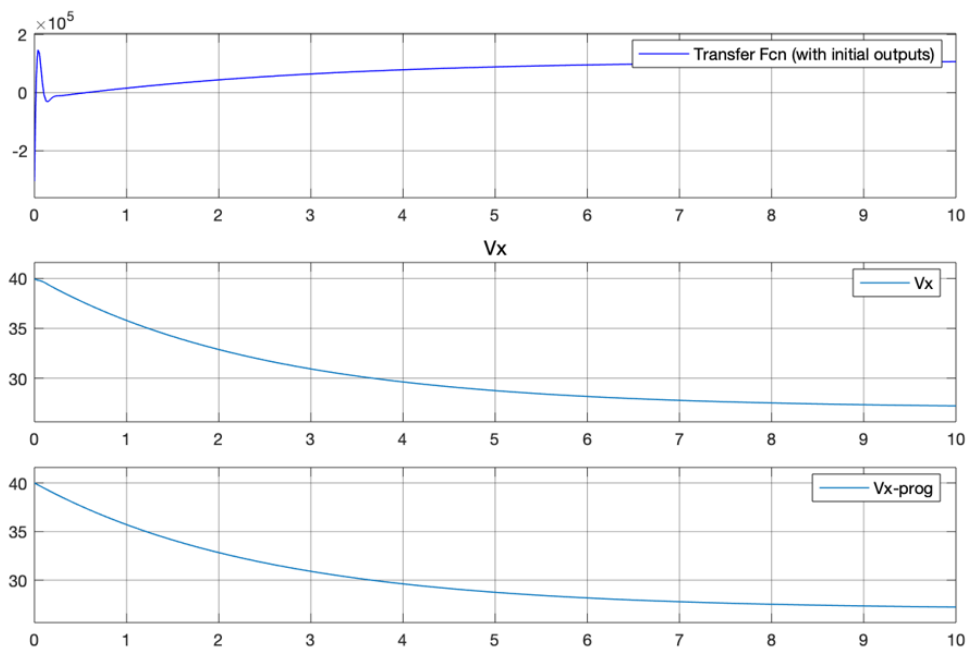


Рис 3. Переходные процессы кортура линейной скорости

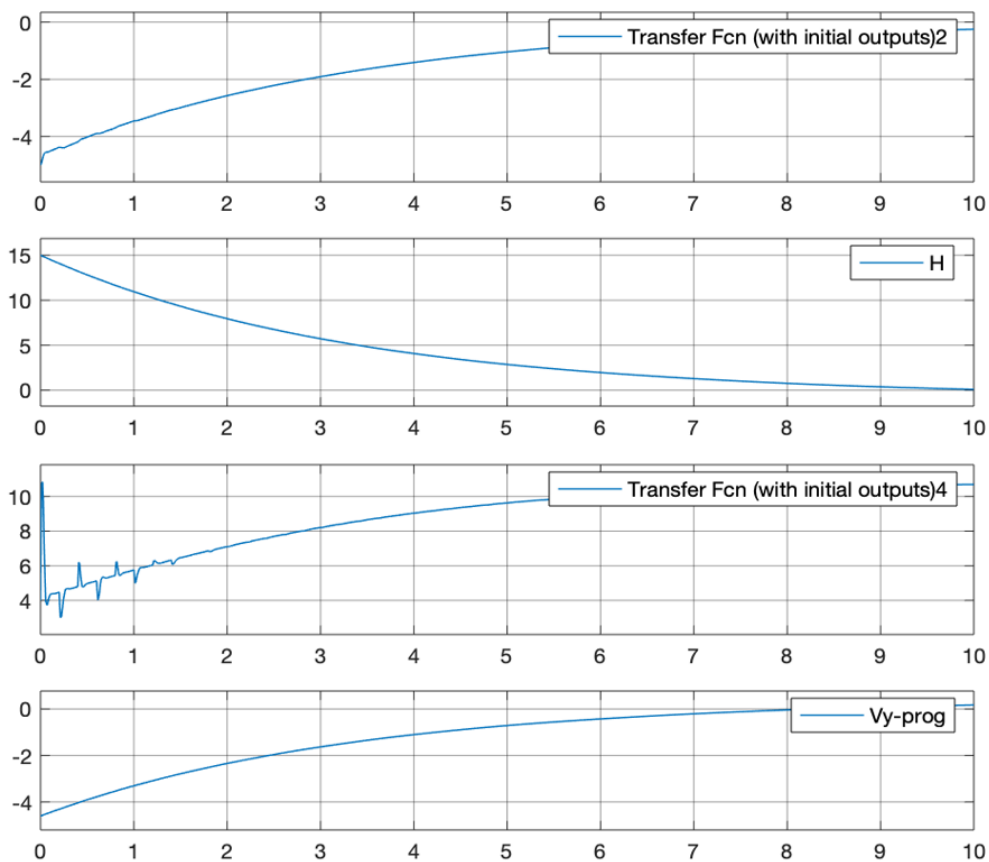


Рис 4. Переходные процессы кортура вертикальной скорости

Список литературы

1. Юревич Е.И. Теория автоматического управления. 2-е изд., — Л.: Энергия, 1975. — 416 с.
2. Воробьев В.Г., Кузнецов С.В. Автоматическое управление полетом самолетов М.: Транспорт. 1995. - 448 с.
3. Кучерявый А.А. Бортовые информационные системы. Курс лекций / под. ред. В.А. Мишина и Г.И. Ключева. — 2-е изд., перераб. и доп. — Ульяновск: УлГТУ, 2004. — 504 с.
4. Анисимов Г.В., Болдинов С.И., Утяцкий А.Г. Автоматическая бортовая система управления АБСУ-134. М.: Воздушный транспорт, 1985. - 231 с.
5. Daher Sayfeddine. Control of fixed-wing UAV at levelling phase using artificial intelligence. 2018 IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng. 327 022092.

Д. А. Юхимец¹, доктор. техн. наук, yukhimets.da@dvfu.ru;
А. А. Сахненко², магистрант, sakhnenko.aa@students.dvfu.ru;
А. А. Сыч², магистрант, sych.aa@students.dvfu.ru

¹ Институт автоматизации и процессов управления ДВО РАН, г. Владивосток, Россия

² Дальневосточный федеральный университет, г. Владивосток, Россия

РЕАЛИЗАЦИЯ ОТКРЫТОЙ РАСПРЕДЕЛЁННОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ НА БАЗЕ МИКРОКОНТРОЛЛЕРОВ ESPRESSIF

Аннотация: Предложен новый подход к реализации открытых распределённых систем автоматического управления, основанных на использовании дешёвых вычислительных узлов от производителя Espressif, обменивающихся данными по беспроводному протоколу ESP-NOW. Это позволяет располагать вычислительные узлы в удалённых точках рабочего пространства без необходимости прокладки линий связи между ними. В работе предлагается базовая архитектура такой системы и описываются особенности реализации отдельного исполнительного узла.

Ключевые слова: программное обеспечение, мехатронный объект, распределённая система управления

IMPLEMENTATION OF AN OPEN DISTRIBUTED CONTROL SYSTEM ON THE BASIS OF ESPRESSIF MICRO CONTROLLERS

D.A. Yuhimets¹, Dr.Sc., yukhimets.da@dvfu.ru;
A. A. Sakhnenko², master student, sakhnenko.aa@students.dvfu.ru;
A. A. Sych², master student, sych.aa@students.dvfu.ru

¹ Institute of Automation and Control Processes FEB RAS, Vladivostok, Russia

² Far Eastern Federal University, Vladivostok, Russia

Abstract: A new approach to the implementation of open distributed automatic control systems based on the use of cheap computing nodes from the manufacturer Espressif, exchanging data via the wireless protocol ESP-NOW, is proposed. This allows to locate the computing nodes in remote points of the workspace without the need for laying communication lines between them. The paper proposes the basic architecture of such system and describes the implementation features of the hotel executive unit.

Key words: software, mechatronic object, distributed system

В наши дни распределенные системы автоматического управления нашли активное применение в многочисленных сферах. Например, в металлургии подобные системы контролируют температуры печей, осуществляют подачу расплавленного вещества в пресс-формы, а также дефектоскопию изделий [1]. Другое актуальное направление, основанное на использовании распределённых систем управления — это так называемый «интернет вещей» (Internet of things, IoT), предполагающий оснащение большинства окружающих людей объектов технологиями взаимодействия друг с другом и внешней средой. [2]

Реализация распределенных систем автоматического управления (САУ) на базе серийных промышленных компонентов требует больших материальных затрат. Цены на промышленные ПЛК Siemens начинаются с отметок в 200\$. Похожая ситуация наблюдается и с готовыми IOT-модулями от различных производителей. Кроме того, каждый производитель использует собственную «экосистему» для объединения компонентов в единую систему. Siemens применяет для этого открытые промышленные сети, основанные на шине Profibus [3], а Xiaomi объединяет модули IOT с помощью беспроводного протокола ZigBee [4].

Разные протоколы передачи данных, интерфейсы и способы взаимодействия между компонентами в сочетании с высокой стоимостью отдельных узлов усложняют построение распределенной САУ.

Решением указанной проблемы является создание открытой распределенной САУ на базе микроконтроллеров Espressif ESP8266 и ESP32 содержащих стандартный набор интерфейсов (I2C, SPI и UART), WiFi модуль, а также поддерживающих беспроводной широкополосный протокол ESP-NOW. Дополнительными преимуществами этих контроллеров можно считать возможность обновления их управляющих программ WiFi, а также низкую цену (менее 3\$ за штуку). Поэтому в работе решается задача разработки принципов построения распределенных следящих систем управления мехатронными объектами на основе указанных контроллеров.

Структура САУ

Структурная схема предлагаемой распределенной САУ показана на рис. 1. Указанная САУ содержит распределяющий узел и исполнительные узлы, которые обмениваются данными с информационно-управляющей системой (ИУС), включающей персональный компьютер оператора с программным обеспечением, необходимым для работы с объектом управления.

Основное назначение распределяющего узла – обеспечение сопряжения интерфейсов связи между ИУС и исполнительными узлами системы. Взаимодействие между ИУС и распределяющим узлом осуществляется по беспроводной сети WiFi, работающей на частоте 2.4 ГГц, с использованием прото-

кола TCP/IP, а взаимодействие между распределяющим и исполнительными узлами осуществляется с помощью протокола ESP-NOW.

Назначение исполнительных узлов – реализация следящих систем, обрабатывающих задания, поступающие от распределяющего узла.

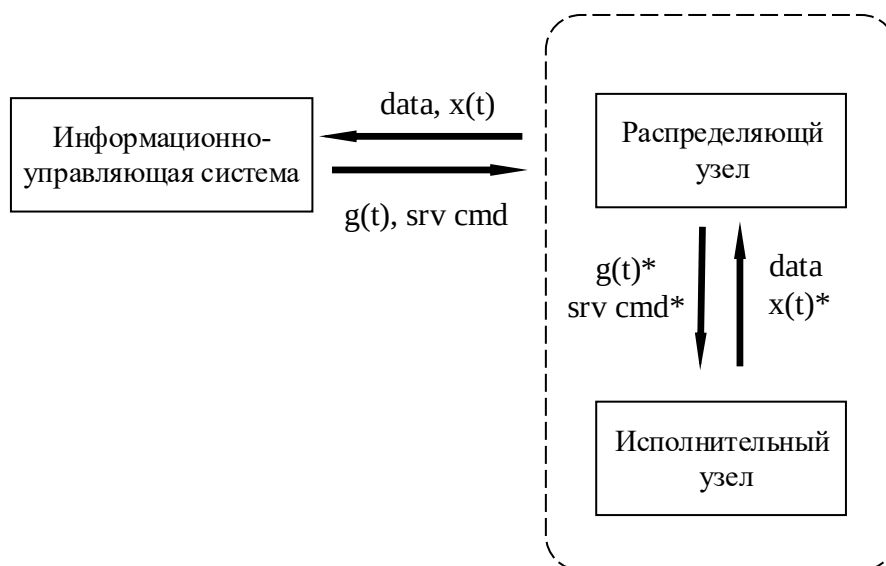


Рис. 1. Структура системы

Распределяющий узел САУ принимает набор пакетов с данными, содержащий желаемое состояние системы « $g(t)$ » и набор сервисных данных « $srv\ cmd$ », и на их основе генерирует сервисные команды « $srv\ cmd^*$ » и желаемые значения состояния « $g(t)^*$ » для каждого исполнительного узла САУ.

Одновременно распределяющий узел принимает поступающий от исполнительных узлов набор пакетов с данными, содержащими текущее состояние каждого узла « $x(t)^*$ » и сервисные данные $data$. Далее эти данные преобразовываются в нужный формат и передаются в ИУС для отображения в человеко-машинном интерфейсе оператора. То есть распределяющий узел выполняет функцию менеджера данных.

Структура исполнительного узла

Исполнительный узел САУ реализует замкнутую следящую САУ, корректирующую состояние объекта управления (угла поворота или скорости вращения электропривода, температуры и т.д.) с помощью реализованных в его программе алгоритмов управления, на основе данных о желаемом состоянии этого объекта, поступающих от распределительного узла.

В качестве микроконтроллеров для исполнительных узлов было решено использовать ESP8266 производителя Espressif.

Использование отдельных узлов позволяет сделать систему модульной, в которой каждый исполнительный узел САУ функционирует независимо и

получает необходимые данные из распределяющего узла. Общая структура исполнительного узла представлена на рисунке 2.

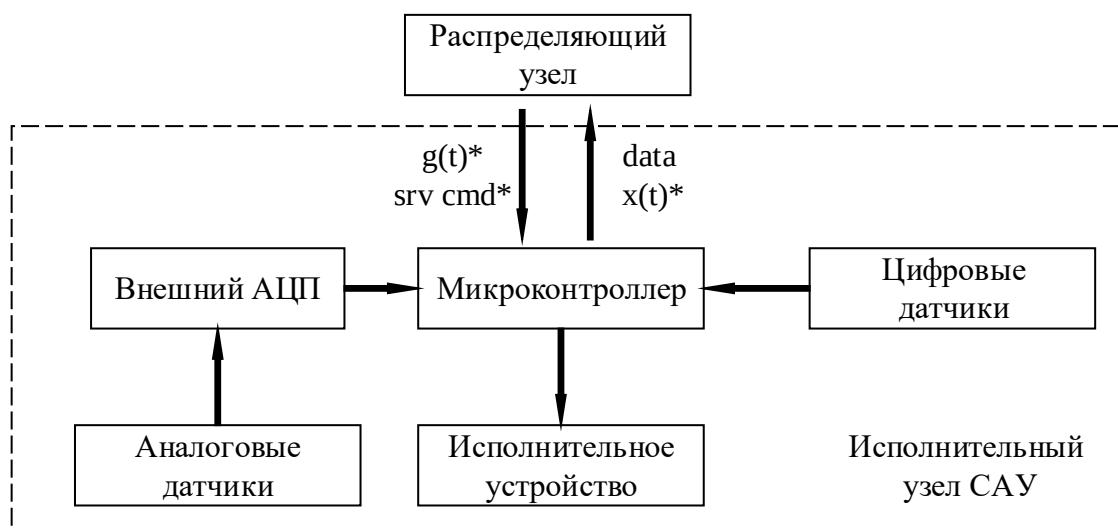


Рис. 2. Структура исполнительного узла.

Исполнительный узел в общем случае включает в себя следующие компоненты: набор цифровых и аналоговых датчиков, АЦП (внешний или встроенный в контроллер), исполнительное устройство и микроконтроллер

В микроконтроллере исполнительного узла реализуется следящая САУ, в задачи которой входит обработка команд, поступающих от распределяющего узла, выработка управляющих сигналов для исполнительного устройства на основе показаний от подсоединенных датчиков. Микроконтроллер исполнительного узла обменивается пакетами данных с распределяющим узлом по беспроводному протоколу передачи данных ESP-NOW.

Реализация и тестирование системы

Для тестирования была собрана распределенная система, состоящая из распределяющего узла и пяти исполнительных узлов. Распределяющий узел был реализован на базе микроконтроллере ESP32, а исполнительные узлы являлись сервоприводами, включающими в себя микроконтроллер ESP8266, внешний АЦП, набор датчиков (тока, скорости и угла поворота), ШИМ преобразователь и двигатель постоянного тока независимого возбуждения. Схема системы представлена на рисунке 3.

В ходе тестирования замерялись следующие величины:

- Время контроллерного цикла распределяющего узла;
- Время контроллерного цикла исполнительного узла;
- Время отправки сообщения одному исполнительному узлу;
- Время отправки сообщения 5 исполнительным узлам.

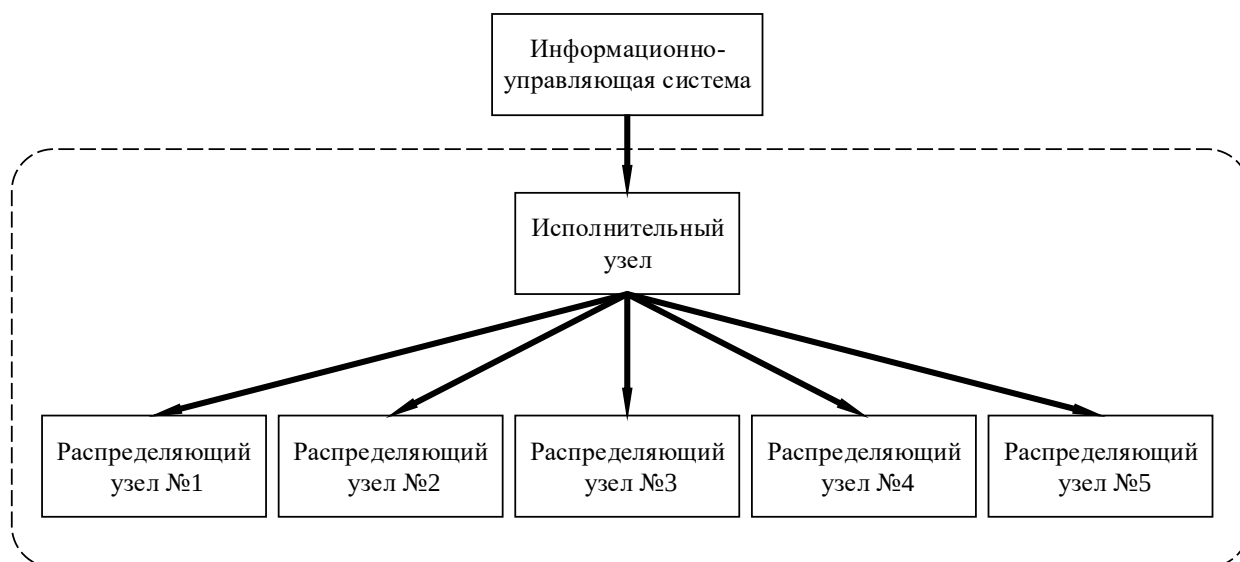


Рис. 3. Структура реализованной системы

Замеры временных промежутков производились с помощью встроенной функции, возвращающей количество микросекунд, прошедших с запуска микроконтроллера.

Время контроллерного цикла управляющей программы исполнительного узла составило 7.2 мс, что позволило системе вырабатывать управляющие сигналы с частотой 138.9 Гц.

Время контроллерного цикла управляющей программы распределяющего узла составило 6.7 мс.

Время для отправки сообщения одному узлу составило 2.6 мс.

Время, прошедшее с момента отправки сообщения первому исполнительному узлу и вызовом функции обратной связи, о получении пакета данных пятым узлом составило 10.8 мс.

Полученные результаты говорят о возможности применения открытой распределённой системы управления на базе микроконтроллеров Espressif на практике для различных объектов управления, не требующих выработки управляющих сигналов с частотой более чем 135 Гц.

Заключение

В данной работе предложен новый подход к созданию открытой распределённой системы управления. Особенность предложенного подхода заключается в том, что он позволяет реализовать распределённую систему автоматического управления, обладающую возможностью дальнейшей модификации и увеличения количества компонентов при низкой стоимости самих вычислительных узлов. Способ коммуникации, используемый в системе для обмена данными между компонентами, позволяет свободно располагать вычислительные узлы в различных точках рабочего пространства, ввиду отсутствия необходимости проводного соединения.

Работа выполнена при поддержке Программы фундаментальных научных исследований по приоритетным направлениям, определяемым Президиумом Российской академии наук, № 7 "Новые разработки в перспективных направлениях энергетики, механики и робототехники".

Список литературы

1. Дорофеев К.П. Основы автоматизации производства и термических цехов и КИП. М. Энергоиздат, 1987. — 176 с.
2. Olivier Hersent, David Boswarthick, Omar Elloumi. The Internet of Things: Key Applications and Protocols. — Willey, 2012. — 370 p.
3. Описание стандартов шины Profibus [Электронный ресурс]URL: режим доступа - <https://www.profibus.com>.
4. Описание стандартов интерфейса Zigbee [Электронный ресурс]: режим доступа - www.zigbee.org.

Д. А. Юхимец¹, доктор. техн. наук, yukhimets.da@dvfu.ru;
А. А. Сахненко², магистрант, sakhnenko.aa@students.dvfu.ru;
А. А. Сыч², магистрант, sych.aa@students.dvfu.ru

¹ Институт автоматизации и процессов управления ДВО РАН, г. Владивосток, Россия

² Дальневосточный федеральный университет, г. Владивосток, Россия

ИНФОРМАЦИОННО-УПРАВЛЯЮЩАЯ СИСТЕМА ДЛЯ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ С РОБОТАМИ-МАНИПУЛЯТОРАМИ

Аннотация: В работе рассматривается способ проектирования информационно-управляющей системы (ИУС), реализующей человеко-машинный интерфейс оператора, для взаимодействия с системами управления (СУ) промышленных манипуляторов разной архитектуры. Предложенный способ позволяет формировать и изменять программу движения манипулятора, а также моделировать ее выполнение независимо от аппаратной реализации объекта управления. Рассмотрен пример реализации такой системы.

Ключевые слова: промышленный манипулятор, автономное программное обеспечение, человеко-машинный интерфейс, информационно-управляющая система, система формирования траектории.

INFORMATION-CONTROL SYSTEM FOR ROBOT MANIPULATOR CONTROL SYSTEM

D.A. Yuhimets¹, Dr.Sc, yukhimets.da@dvfu.ru;
A. A. Sakhnenko², undergraduate, sakhnenko.aa@students.dvfu.ru;
A. A. Sych², undergraduate, sych.aa@students.dvfu.ru

¹ Institute of Automation and Control Processes FEB RAS, Vladivostok, Russia

² Far Eastern Federal University, Vladivostok, Russia

Abstract: The paper considers a method of designing an information-control system for the implementation of the human-machine interface of the operator of an industrial manipulator. The method makes it possible to form such an information-control system that can be implemented in the management of objects of different architectures at low labor costs. Also, the proposed method allows you to model and change the control regardless of the control object. An example of the implementation of such a system is considered.

Key words: industrial manipulator, offline programming, human-machine interface, information-control system, trajectory formation system

При проектировании и разработке управляющего ПО для промышленных роботов возникают проблемы, связанные с предоставлением инструментов управления для конечного пользователя (оператора). Главной архитектурной проблемой, в соответствии с принципом разделения ответственности [1], становится разграничение верхнего уровня от нижнего. При этом традиционно роль верхнего уровня выполняет информационно-управляющая система (ИУС), обеспечивающая взаимодействие с оператором (человеко-машинный интерфейс (human-machine interface, HMI) или ИУС другого робота, а роль нижнего – система управления (СУ) исполнительными устройствами. В противном случае разработчик вынужден столкнуться с проблемами высокой связности программных компонентов и трудностями в создании эффективных инструментов управления.

В настоящее время существует множество подходов по формированию указанных ИУС, которые можно систематизировать следующим образом: связующее программное обеспечение, программное обеспечение для моделирования, программное обеспечение для автономного программирования [2, 3]. При этом для промышленных манипуляторов наиболее удобным является способ реализации ИУС верхнего уровня в парадигме автономного программирования, что позволяет интуитивно создавать и тестировать программы для этих манипуляторов.

В работе используется подход автономного программирования, но в отличие от существующих решений [4] предлагается решить проблему открытости исходного кода и модульности архитектуры для последующего встраивания ПО в системы нижнего уровня.

Постовка задачи

В работе будет рассматриваться ИУС (рис.1) состоящая из двух модулей: пользовательского приложения и серверной программы, реализованной на контроллере.

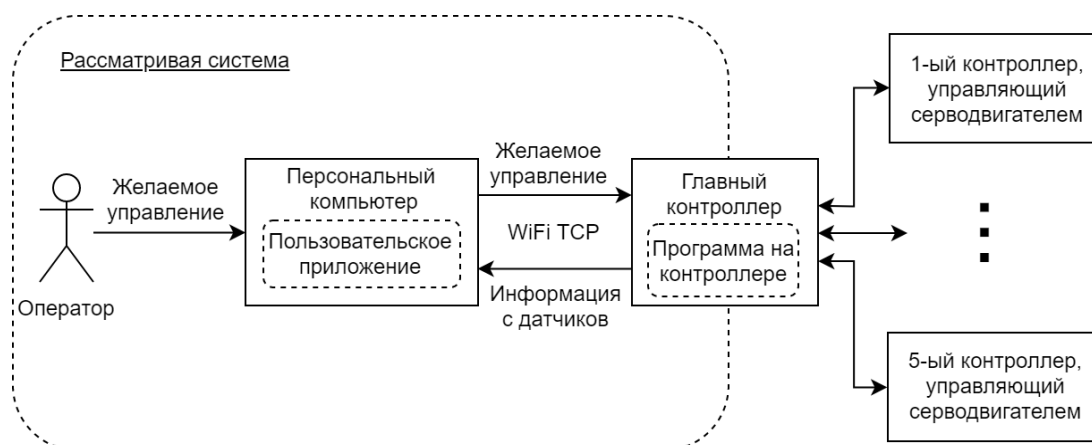


Рис. 1. Схема работы информационно – управляющей системы

Целью работы является разработка ИУС в виде пользовательского приложения и серверной программы с возможностью взаимодействия с СУ манипулятора. Для выполнения поставленной задачи необходимо в рамках пользовательского интерфейса разработать систему формирования траектории (СФТ), задающую программу движения манипулятора, и систему передачи данных между серверной программой, пользовательским приложением и системой управления нижнего уровня.

Описание архитектуры пользовательского приложения

Архитектура построения пользовательского приложения, реализующая все описанные требования, показана на рис.2.

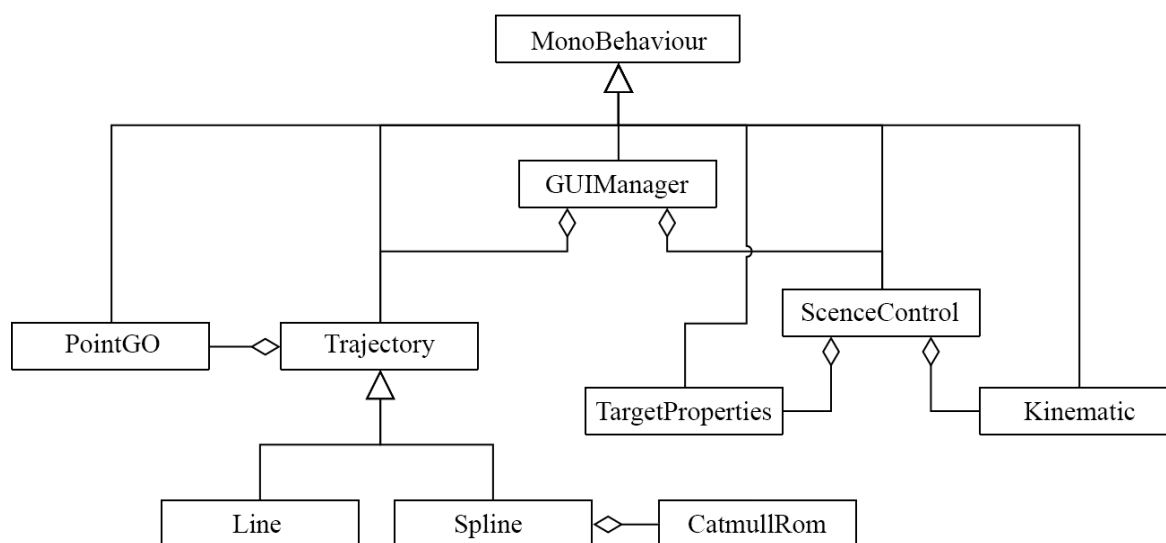


Рис. 2. Диаграмма классов СФТ

Класс Trajectory содержит базовое описание траекторий, включающее в себя описание опорных точек и методы работы с ними. Классы Line и Spline содержат описание методов интерполяции опорных точек: линейную интерполяцию и интерполяцию сплайном CatmullRom соответственно.

Класс ScenceControl содержит описание методов для работы с единственной целевой точкой из массива интерполированных точек траектории. Класс TargetProperties описывает механизм взаимодействия пользователя с целевыми точками. Класс Kinematic содержит решение обратной задачи кинематики, необходимой для расчета задающих команд для сервоприводов манипулятора.

Класс GUIManager содержит описание методов для взаимодействия оператора с СФТ. Объединяя классы Trajectory (описание движений манипулятора) и ScenceControl (описание модели кинематики) класс GUIManager позволяет реализовать автономное программирование роботов.

Описание системы передачи данных

Целью системы передачи данных в разрабатываемой ИУС является связывание двух вычислительных модулей в одну распределённую систему. Для передачи данных используется протокол TCP (Transmission Control Protocol) (рис. 1), так как он содержит встроенные механизмы проверки целостности сообщений и повторную отсылку повреждённых или потерянных пакетов.

Передаваемое сообщение состоит из трех частей (рис. 3): флаг начала сообщения (символ 0x5A); целевое сообщение (массив беззнаковых 16-разрядных целых чисел); флаг типа сообщения (символ в один байт).

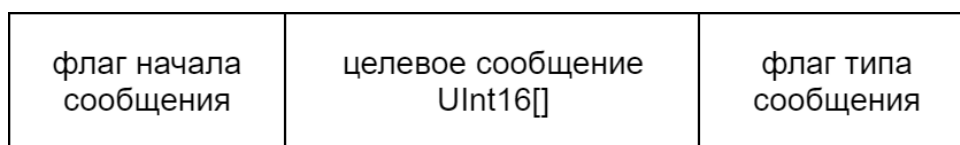


Рис. 3. Структура передаваемого сообщения

Диаграмма классов, реализующих описанную систему передачи данных показан на рис.4.

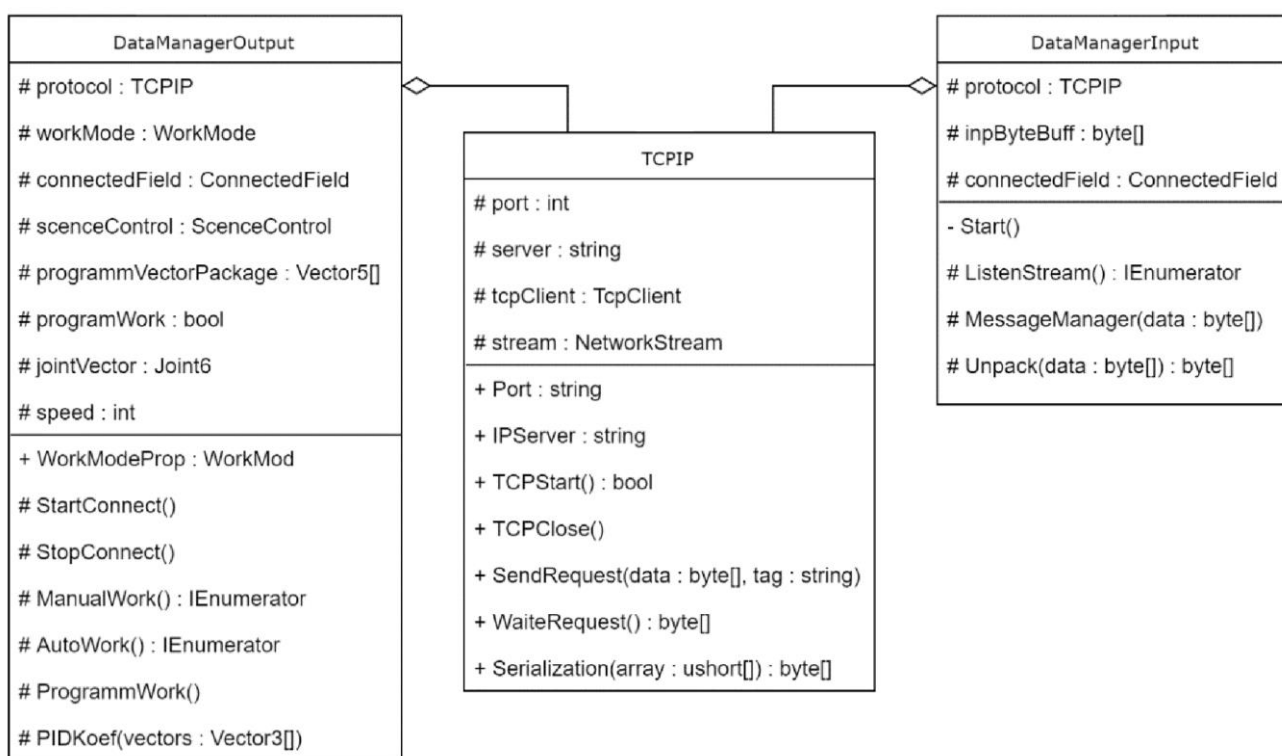


Рис. 4. Диаграмма классов системы передачи данных

Класс DataManagerOutput содержит описание методов для автоматизированной отправки сообщений (рис. 4). Главным, в данном классе, является свойство WorkMod, принимающее от интерфейса

управления следующую информацию: необходимость установки соединения с сервером, требуемый режим работы соединения. Остальные методы описывают автоматическую отсылку изменяющихся данных о состоянии манипулятора или его модели. Класс `DataManagerOutput` описывает методы для приёма сообщений. При получении данных через метод `ListenStream()` они обрабатываются методом `MessageManager()`, который считывает последний байт сообщения, тем самым определяя назначения сообщения, считывает при необходимости целевое сообщение, десериализует (переводит из последовательности байт в формат целевого сообщения) и записывает в соответствующую структуру.

Пример реализации на базе манипулятора ТУР-10

Предложенный в работе подход был использован для реализации человеко-машинного интерфейса для взаимодействия с роботом манипулятором ТУР-10. Вид графического интерфейса представлен на рисунке 5.

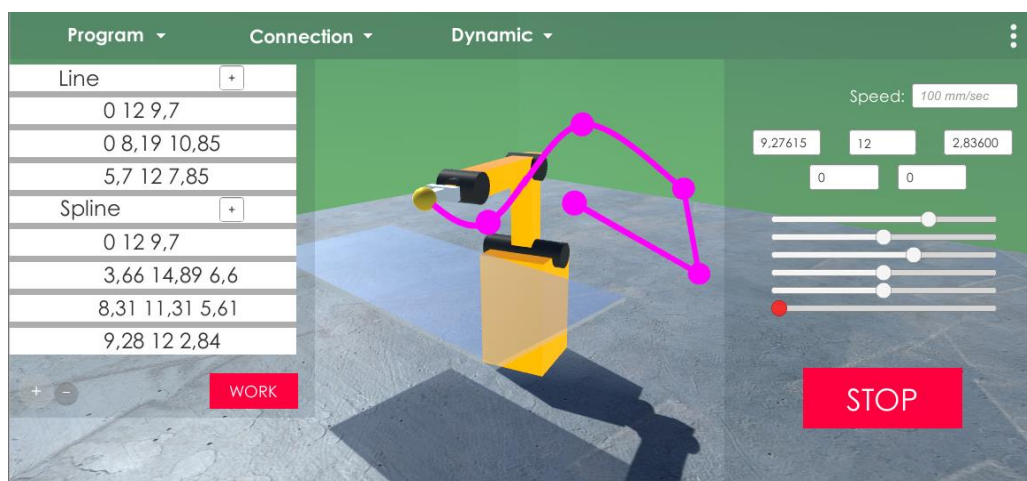


Рис. 5. Главный экран пользовательского приложения

Формирование траектории происходит с помощью динамического списка, с вложенными элементами, показанного в левой части рисунка. Такой список приобретает древовидную структуру и имеет возможность масштабироваться до включения в себя команд любых команд, предусмотренных разработчиком. В правой части показаны параметры целевой точки.

Среднее время прохождения одной итерации работы информационно-управляющей системы, включая цикл обмена данными, занимает около 0,016568 секунды. Этот является успешным, так как быстродействие нижнего уровня является независимыми от верхнего. Таким образом главным критерием достаточности быстродействия является комфорт работы оператора.

Заключение

В работе рассматривается способ проектирования ИУС для СУ промышленного манипулятора и реализации НМІ не требующей использования закрытого программного обеспечения и имеющую модульную архитектуру, что позволяет масштабировать её и\или встраивать в различные робототехнические системы. Пользовательское приложение представляет из себя ПО для автономного программирования. Так же разработана система передачи данных используя протокол ТСР.

Работа выполнена при поддержке Программы Президиума Российской академии наук, № 7 "Новые разработки в перспективных направлениях энергетики, механики и робототехники".

Список литературы

1. Reade, C. Elements of Functional Programming – М.: Addison-Wesley, April 1989. — 600 p.
2. Elkady, A. Robotics Middleware: A Comprehensive Literature Survey and Attribute-Based Bibliography / A. Elkady, T. Sobh – М.: Journal of Robotics, 2012. – 15 с.
3. Mitsi, S. Off-line programming of an industrial robot for manufacturing / S. Mitsi, K.-D. Bouzakis, G. Mansour, D. Sagris – М.: International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 2005.
4. Горовой, К.В. Выбор программы автоматизированного проектирования роботизированного технологического комплекса. / Сборник материалов X всероссийской, научно-практической конференции молодых ученых с международным участием "Россия молодая" Кемерово, 24-27 апреля 2018 г.

Секция 7

ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ И СОЦИОГУМАНИТАРНЫЕ АСПЕКТЫ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА И РОБОТОТЕХНИКИ

ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ ОБУЧАЮЩИЕ СИСТЕМЫ В ВЫСШЕМ ОБРАЗОВАНИИ

Аннотация: Рассматривается проблема получения обучающимися семантической информации. Акцентируется внимание на актуальности и проблеме создания адаптивных интеллектуальных обучающих систем. Отмечены варианты построения и основные составляющие элементы интеллектуальных обучающих систем. Показывается необходимость учитывать в интеллектуальной обучающей системе совместно семантическую и прагматическую информацию, особенно при подготовке по таким междисциплинарным направлениям как робототехника и мехатроника.

Ключевые слова: интеллектуальная обучающая система, семантическая информация, тезаурус, прагматическая информация, модель обучаемого, робототехника.

A.S. Gabrielle, senior lecturer

V.N. Ulanov, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor

Polytechnic University, St. Petersburg, Russia

INTELLECTUAL TRAINING SYSTEMS IN HIGHER EDUCATION

Abstract: The problem of obtaining semantic information by students is considered. The attention is focused on the relevance and problem of creating adaptive intelligent learning systems. The variants of construction and the basic components of intellectual training systems are noted. The necessity to take into account the semantic and pragmatic information in the intellectual learning system, especially in the training in such interdisciplinary areas as robotics and mechatronics, is shown.

Key words: Intelligent learning system, semantic information, thesaurus, pragmatic information, trainee model, robotics.

Вопросы развития и применения искусственного интеллекта (ИИ), особенно в течение последнего десятилетия, становятся все более востребованными в промышленности, медицине, машиностроении, военном деле и особенно в робототехнике. Использование глубоких нейронных сетей и других интеллектуальных систем [1-3] уже достигли достаточно хороших успехов. Но, к сожалению, применение ИИ в образовании находится на развивающемся уровне (по крайней мере, в нашей стране) и является акту-

альной задачей. На наш взгляд вопрос, который необходимо решать в первоочередном порядке, – это адаптивное обучение.

Каждый преподаватель сталкивается с проблемой, суть которой – разный начальный уровень знаний (подготовки) слушателей и различные способности. Эта проблема особенно актуальна в таких направлениях подготовки как робототехника, поскольку объединяет обучающихся с самыми различными способностями (к конструированию, разработке программного обеспечения, математическому моделированию и т.п.). Преподаватель вынужден ориентироваться на «среднюю» по уровню подготовки и способностей аудиторию. В результате возникают определенные трудности в плане изложения материала, кому-то материал оказался не интересным, а кому-то не доступным для понимания.

В теории информации есть понятие тезаурусной или семантической меры, отражающей смысл содержания, целесообразность и существенность передаваемой информации. Тезаурус – это совокупность сведений, которыми обладает получатель информации (в данном случае слушатель). Тезаурусная мера была предложена Юлием Анатольевичем Шрейдером [4]. Зависимость количества семантической информации I_c , воспринимаемой потребителем (слушателем) от его тезауруса S_p представлена на рисунке 1.

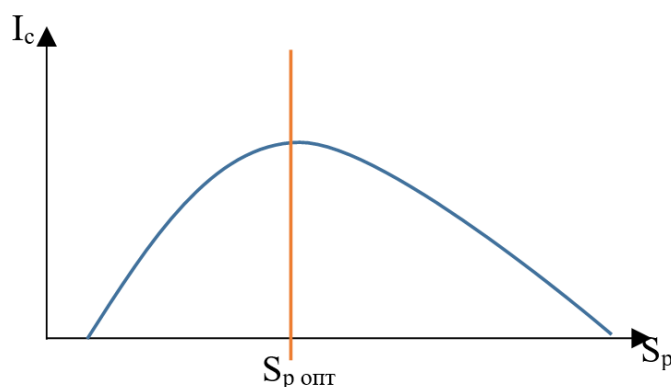


Рис. 1. Зависимость количества семантической информации от тезауруса слушателя.

При S_p , стремящемся к нулю, слушатель не понимает, не воспринимает получаемую информацию. При S_p , стремящемся в бесконечность, слушатель «все знает» и поступающая информация ему не интересна. Если слушатель обладает тезаурусом $S_{p\text{опт}}$, то он получает (воспринимает) максимальное количество информации. Относительной мерой количества семантической информации может служить коэффициент содержательности C , который определяется как отношение количества получаемой семантической информации I_c к ее объему V_d .

$$C = \frac{I_c}{V_d}$$

Из сказанного очевиден вывод, что для наилучшего восприятия получаемой пользователем информации (например, лекционного материала)

необходимо применить принцип адаптивного обучения к каждому обучаемому, что невозможно сделать преподавателю при работе с аудиторией.

В настоящее время средства современных информационных и коммуникационных технологий уже достаточно широко применяются как в процессе управления учебным процессом ВУЗа, так и на разного рода занятиях. В результате повысилась эффективность процесса обучения и появились возможности:

- контролировать качество составления рабочих учебных планов, планов работы и нагрузки преподавателей;
- организовать разнообразные формы деятельности обучаемых по самостоятельному извлечению и представлению знаний и информации;
- осуществить визуализацию учебной информации, моделирования и имитации работы изучаемых объектов, протекания различных процессов и явлений;
- диагностировать интеллектуальные возможности обучаемых, уровень их знаний, умений, навыков;
- автоматизировать процессы информационно-методического обеспечения;
- осуществлять управление работой различных устройств, лабораторных стендов и т.д.

Однако проблема индивидуального подхода к процессу обучения этим не решается. Реализовать это можно только внедрением в процесс обучения адаптивных технологий с использованием искусственного интеллекта в виде интеллектуальных обучающих систем, настроенных на изучение конкретных дисциплин.

Впервые общее представление об интеллектуальных обучающих системах (ИОС) было сформулировано еще в 1970 году Дж. Карбонеллом [5], но реальные исследовательские и коммерческие ИОС появились только в 80-е годы XX века.

Основной задачей информационных обучающих систем является совершенствование методических правил обучения, ориентированных на развитие интеллектуального потенциала учащихся; осуществление информационной деятельности и информационного взаимодействия образовательного назначения; реализацию психолого-педагогической диагностики уровня обучаемости учащихся на базе компьютерного тестирования и т.д. [6].

Интеллектуальная обучающая система должна быть нацелена на оценку действий и коррекцию поведения обучаемого, диагностировать и указывать обучаемому его ошибки, производить их анализ и причины появления, давать советы по исправлению ошибок, вырабатывать определенную стратегию обучения для конкретной модели обучаемого, которую тоже должна построить ИОС. Поэтому она должна иметь в своей структуре блоки, способные решать указанные выше задачи.

Идею семантической сети выдвинул Тим Бернерс-Ли, создатель всемирной паутины (1991–1993 год). Все элементы сети должны были быть дополнены метайнформацией (формальным описанием своего содержания) и иметь произвольное число семантических связей с другими ее элементами. В результате информационные ресурсы такой сети смогут обрабатываться как людьми, так и программами, получая семантически значимые результаты, становится возможной деятельность программных агентов, которые будут выполнять задачи, требующие наличия определенного интеллекта, а все рутинные операции будут выполняться агентами. Пользователь дает только «задания» на выполнение операций [7].

Агенты в информационных обучающих сетях должны реализовать ситуацию обучения. Для этого в ИОС создается модель обучаемого и модель процесса обучения (набор стратегий обучения), она производит анализ имеющихся знаний и способностей пользователя (обучающегося), имеет базы данных и знаний, касающиеся конкретной изучаемой дисциплины, осуществлять необходимые расчёты, контролировать и проверять правильность действий обучаемого, анализировать объем полученных пользователем знаний и их качество [8].

Таким образом, наиболее значимыми компонентами интеллектуальной обучающей системы, отображающими ситуацию обучения, выступают модель обучаемого, и модель процесса обучения (набор стратегий обучения), которые и реализуются агентами. Кроме того, следует иметь интерфейс между экспертной подсистемой и прочими блоками ИОС.

Для лучшего осознания, каким образом преподнести, например, лекционный материал аудитории обучающихся, уровень подготовки и базовых знаний которых неизвестен, преподаватель вынужден сделать опрос, используя набор основных (ключевых) вопросов. В результате полученных ответов будет выявлен «усредненный» тезаурус обучающихся, то есть $Sr_{\text{опт}}$ большинства слушателей. Реализуя в информационной образовательной среде адаптивный подход можно получить $Sr_{\text{опт}}$ для каждого пользователя ИОС.

Основным направлением развития ИОС является понимание процессов человеческого познания, возможность тестирования обучаемого, а основными составными частями интеллектуальных обучающих систем должны быть учебная база данных, база знаний, подсистемы интеллектуального управления ходом учебного процесса.

Учебная база данных должна быть ориентирована на конкретную предметную область и включает в себя разного рода информацию: тексты, таблицы, рисунки, видеофрагменты и т.п. База знаний должна содержать структуру обучения и схему обучающей последовательности, механизмы адаптации системы к конкретному объекту обучения. Кроме того, входящий в базу знаний сервисный модуль должен производить выбор стратегии обучения и обучающих воздействий, осуществлять экспертизу уровня знаний, умений, навыков, правильность решения разного рода задач, собирать данные о промежуточных результатах обучения, формируемых уме-

ниях обучаемого и способах использования этих умений. Эти вопросы решает подсистема интеллектуального управления ходом учебного процесса, которая содержит средства интеллектуального анализа объема и структуры знаний, необходимых для организации и управления учебным процессом.

Помимо этого, в ИОС должна входить интеллектуальная консультативная программа, реализующая интерактивный диалог обучаемого с системой, контрольно-диагностирующий модуль, позволяющий рассчитать и оценить параметры субъекта обучения для определения оптимальной стратегии и тактики обучения на каждом этапе занятия.

Варианты структур информационных образовательных систем представлены, например, в статье [9]. Примеры построения ИОС, методик проведения различного вида занятий (лекционных, практических, лабораторных и т.п.) представлены в статье [10].

Кроме семантического подхода в изложении, например, лекционного материала, при выборе контролирующих вопросов на основании получаемых ответов от обучаемого в ИОС нужно учитывать и прагматический подход. В результате выясняется «правильность» методики изложения материала, целесообразность, полезность и ценность получаемой обучаемым информации.

Одним из основоположников такого подхода был А.А. Харкевич. Он предложил измерять полезность информации с позиции вероятности достижения поставленной цели до и после ее получения [11].

$$H = \log_2 \frac{P_1}{P_2}$$

Здесь H – количество полученной информации, P_1 и P_2 – вероятности достижения желаемого результата «до» и «после» получения информации, соответственно.

Информационные образовательные системы продолжают развиваться и внедряться в процесс обучения. Семантическая и прагматическая оценки информации при обучении являются взаимодополняющими и их необходимо учитывать совместно. Именно совместное использование таких оценок в интеллектуальных образовательных системах позволяет правильно сформировать модель обучаемого и выработать верную стратегию индивидуального адаптивного обучения, что существенно повысит качество образования, особенно в таких многопрофильных направлениях, как робототехника.

Несмотря на интенсивное внедрение систем с искусственным интеллектом, использование нейронных сетей, в том числе и в системе образования, роль «живого» общения с преподавателем, имеющим опыт общения, способность доступно изложить необходимую информацию, используя традиционный подход к обучению, остается с нашей точки зрения приоритетной.

1. A. Shrestha and A. Mahmood, "Review of deep learning algorithms and architectures," IEEE Access, vol. 7. Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc., pp. 53040–53065, 2019.
2. Bakhshiev A., Stankevich L. Prospects for the Development of Neuromorphic Systems. In: Kryzhanovsky B., Dunin-Barkowski W., Redko V. (eds) Advances in Neural Computation, Machine Learning, and Cognitive Research. NEUROINFORMATICS 2017. Studies in Computational Intelligence, vol 736. Springer, Cham, pp 47-52.
3. Fomin, I.S., Orlova, S.R., Gromoshinskii, D.A., Bakhshiev, A.V. Object detection on docking images with deep convolutional network / Studies in Computational Intelligence 799, 2019, pp. 136-143.
4. Шрейдер, Ю.А. О семантических аспектах теории информации / Ю.А. Шрейдер // Информация и кибернетика. – 1967 – № 5 – С. 22–37.
5. Carbonell J.R. AI in CAI: an Artificial Intelligence Approach to Computer-Aided Instruction// IEEE Transactions on Man-Machine Systems. – 1970. – Vol. MMS-11. – №4.
6. Панюкова С.В. Использование интеллектуальных обучающих систем в высшем образовании / С.В. Панюкова // Вестник Рязанского государственного педагогического университета имени С.А. Есенина - 2005 - №1. Стр. 13-21.
7. Луков В.А. Тезаурусный подход: Исходные положения / В.А. Луков, Вл. А. Луков, // Информ. гум. портал «Знание. Понимание. Умение». – 2008. - №9 – Комплексные исследования: тезаурусный анализ мировой культуры. URL: http://www.zpu-journal.ru/2008/9/Lukovs_Thesaurus_Approach.
8. Голенков В.В. Виртуальные кафедры и интеллектуальные обучающие системы / В.В. Голенков, В.В. Емельянов, В.Б. Тарасов // Новости ИИ. – 2001. - №4. <http://nauka.x-pdf.ru/17ekonomika/319675-1-novosti-2001-4-golenkov-emelyanov-tarasov-virtualnie-kafedri-intellektualnie-obuchayuschie-sistemi-odnoy-harakterni.php> (дата обращения 25.11.2019г.). С. 20-27.
9. Храмцова Е.О. Интеллектуальные образовательные системы / Е.О. Храмцова, П.В. Бочкарев // Международный научно-технический журнал «ТЕОРИЯ. ПРАКТИКА. ИНОВАЦИИ» - 2017 – декабрь. С. 56-62.
10. Харкевич А.А. О ценности информации / А.А. Харкевич // Проблемы кибернетики. – 1960 – № 4 – С. 54.
11. Баранов А.М. Теория информации и ее роль в развитии современной экономики / А.М. Баранов – Известия Гомельского государственного университета имени Ф. Скорины, 2013. - №2 (77). С. 3-10.

ПРИМЕНЕНИЕ ЭКСПЕРТНОГО МЕТОДА ДЛЯ ДИНАМИЧЕСКОЙ ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА ЧТЕНИЯ ЛЕКЦИЙ

Аннотация: В статье рассмотрен подход для динамической оценки качества чтения лекций. Подход основан на использовании экспертных систем и мониторинга образовательного процесса. Предложено оценивать содержания педагогического материала, методики чтения, организации лекции, лекторских данных преподавателя и результативности лекции. Разработаны концепции информационных систем и соответствующего программного обеспечения [1].

Ключевые слова: экспертная система, динамическая оценка качества, лекция

APPLICATION OF THE EXPERT METHOD FOR DYNAMIC AS- SESSMENT OF QUALITY OF READING LECTURES

I.S. Erogorova, student, erogovainna@gmail.com
Siberian Federal University, Krasnoyarsk, Russia

Abstract: The article discusses the approach for dynamic evaluation of the quality of lectures. The approach is based on the use of expert systems and monitoring of the educational process. It is offered to estimate the content of pedagogical material, a technique of reading, the organization of a lecture, lecturing data of the teacher and effectiveness of a lecture. Concepts of information systems and related software have been developed [1].

Key words: information system, dynamic quality assessment, lecture

Поиск концептуальных идей модернизации системы российского образования ныне все больше связывается с идеей его качества, которая многими научными и практическими работниками рассматривается как ключевая и доминирующая. Однако признание ее приоритетности далеко от решения проблемы постижения сущности этого феномена и его оценки [2].

Знакомство с исследованиями в области педагогики свидетельствует, что на данный момент нет четко оформленной теории качества образования; даже само это понятие все еще не нашло приемлемого научно-педагогического осмысления и поэтому не вошло в категориальный аппарат педагогики. Большинство публикаций о качестве образования напол-

нены субъективными представлениями, а предлагаемые критерии его оценки часто имеют произвольный характер и неадекватны его сущности.

В целях нашего исследования раскроем понятие «динамическая оценка качества чтения лекций». Для этого представим его как совокупность двух понятий, входящих в его состав. Это:

- динамическая оценка;
- качество чтения лекций.

Динамическая оценка толкуется в словаре основ духовной культуры (энциклопедический словарь педагога) как адаптивная способность педагогического процесса изменяться во времени и пространстве, содержательно и технологично, сохраняя при этом свою сущность, целостность, системность [3].

При этом оценка качества лекций понимается как оценка содержания педагогического материала, методики чтения, организации лекции, руководства работой студентов на лекции, лекторских данных преподавателя, результативности лекции и пр., т. е. составляющих лекции [4].

Исходя из этого, динамическая оценка качества чтения лекций – это оценка сущностных характеристик присущих лекции как форме обучения, которая осуществляется в определенном временном интервале с учетом изменений, при этом опираясь на такие свойства как сущность, целостность и системность.

Для учета динамичности создаваемой системы мы предлагаем использовать экспертную систему.

Основное назначение экспертной обучающей системы может трактоваться как решение задачи перевода исходного состояния знаний учащегося в удовлетворяющее целям исследования.

Можно выделить две подзадачи, решение которых необходимо для достижения главной цели (оценки качества чтения лекций) [5]:

- диагностику состояния знаний обучаемого;
- управление процессом обучения.

Для решения первой подзадачи может быть использована экспертная система с соответствующей базой знаний, ориентированной на распознавание уровня информированности учащегося в предметной области.

Сбор информации организуется таким образом, чтобы состояние знаний учащегося можно было отнести к одному из допустимых или не допустимых значений. При этом для каждого из допустимых значений система предпринимает последовательность действий, направленных на управление процессом обучения.

Вторая подзадача сводится к планированию и реализации эффективной для данного учащегося последовательности обучающих действий, обеспечивающей усвоение необходимых именно ему знаний. Нередко задача управления (навигации в предметной области) конкретизируется и одновременно усложняется дополнительными требованиями: усвоить необходимые знания за минимальное время или максимальный объем знаний за заданное время.

Задачи экспертной системы:

1. реализация отношений «педагог-студент», «студент-педагог», «педагог-группа»;
2. возможность создания рекомендаций и объяснений;
3. тестирование в рамках лекции;
4. отслеживание динамики работы отдельного студента как части учебной группы и учебной группы в целом по разным преподавателям.

Для решения задачи оценки качества чтения лекций, мы предлагаем разбить систему на 4 подзадачи:

1. тестирование студентов во время лекционных занятий;
2. оперативное предоставление информации об успеваемости, активности и посещаемости студента и учебной группы;
3. опрос студентов во время лекции для оценки качества чтения лекции преподавателем (содержание материала, способ представления информации и т.п.);
4. диагностирование динамики поведения основных пользователей системы и составление рекомендаций для улучшения образовательного процесса.

Подзадачи поручаются отдельным агентам-исполнителям. Каждый агент рассматривает свою подзадачу без учета характеристик других агентов, затем объединяет полученные результаты, а проблема непротиворечивости знаний уступает место задачам обеспечения кооперации и коммуникации агентов.

Предполагается создание 4 интеллектуальных групп, которые входят в рамки индивидуальных возможностей:

1. выдача рекомендаций: по просьбе помощи обучаемым для преодоления возникающих проблем в процессе обучения, педагогам по результатам деятельности студента или учебной группы;
2. выдача результатов и заключений тестирований: результаты тестирования: уровень знаний, умений, навыков, уровень компетенции;
3. оценка успеваемости, активности и посещения: определение уровней успеваемости, перспективности и посещаемости;
4. выдача результатов деятельности педагога [6,7].

На представленной структуре (рис. 1) отражено взаимодействие основных элементов, их расположение и содержание каждого из блоков.

Выделим основные преимущества использования интеллектуальной обучающей системы на лекционных занятиях.

Преподаватель получает достоверные данные о результатах учебной деятельности каждого обучающегося и учебной группы в целом. Достоверность определяется тем, что система фиксирует ошибки и затруднения в ответах ученика, выявляет наиболее часто встречаемые затруднения, констатирует причины ошибочных действий обучаемого и посылает на его компьютер соответствующие комментарии и рекомендации; анализирует действия обучающегося, реализует широкий спектр обучающих воздей-

ствий, отслеживает динамику его действий и активность в ходе лекционного занятия.

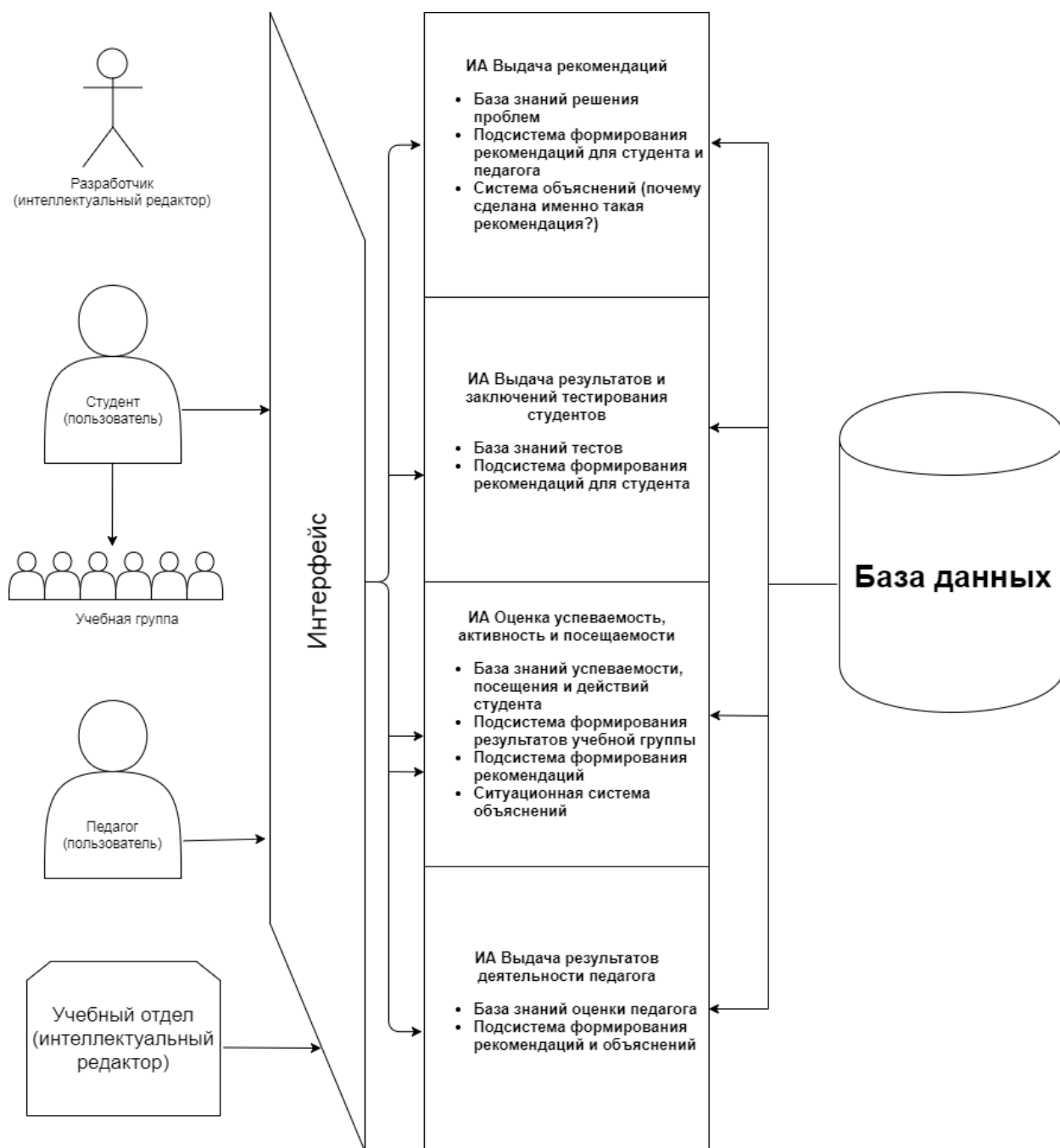


Рис. 1. Структура экспертной системы динамической оценки качества чтения лекций

Таким образом, привлекательное качество экспертных систем – возможность накопления и использования опыта педагога и студентов, обобщения эвристических стратегий решения профессиональных задач. Это позволяет возлагать большие надежды на применение экспертной системы в качестве средства для повышения не только профессионального, но и педагогического мастерства [8].

Список литературы

1. Добронеев, Б.С., Попова, О.А. Информационная система обучению решению сложных задач / Б. С. Добронеев, О.А. Попова // Технологии разработки информационных систем (ТРИС-2016) материалы конференции: в 2-х томах. – 2016. – С. 35-39.
2. Баранникова, И. В., Шафоростова, Е. Н. Методика оценки качества обучения в высших учебных заведениях / И. В. Баранникова, Е. Н. Шафоростова. – Статистика и экономика. – 2018. – Т.15. №6. – С. 36-45.
3. Безрукова, В.С. / Основы духовной культуры (энциклопедический словарь педагога) // В.С. Безрукова, – Екатеринбург. – 2000.
4. Кисметова, Г.Н. Лекция в вузе как средство активизации познавательной деятельности студентов педагогического университета: дис. ... канд. пед. наук : 13.00.08 / Кисметова Галия Нагибудаевна. – Самара, 2004. – 227 с.
5. Желнин, М. Э., Кудинов, В. А., Белоус, Е.С. Роль и место экспертных систем в образовании / М. Э. Желнин, В. А. Кудинов, Е. С. Белоус // Ученые записки: электронный научный журнал Курского государственного университета. – 2012. – № 2 (22). – С. 138-142.
6. Ташани, Н.А. Мультиагентная система управления качеством обучения за рубежом (МАС УКО) / Н. А. Ташани // Электронный научный журнал «Современные проблемы науки и образования». – 2014. – № 6. – URL: www.science-education.ru/120-16700.
7. Ташани, Н. А. Реализация мультиагентной системы управления качеством обучения за рубежом (МАС УКО) по технологии экспертных систем / А. Н. Ташани // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). - 2016. – С. 397-406
8. Hruskocy, C., Cennamo, K.S., Ertmer, P.A., & Johnson, T. Creating a community of technology users: students become technology experts for teachers and peers. *Journal of Technology and Teacher Education*, 8 (1), 69-84.

Н.А. Зорькина, педагог дополнительного образования, natazor@inbox.ru
Красноярский краевой Дворец пионеров, г. Красноярск, Россия

СОВРЕМЕННЫЕ РОБОТОТЕХНИЧЕСКИЕ НАБОРЫ LEGO EDUCATION

Аннотация: дается представление об образовательных робототехнических наборах LEGO Education, описываются принципы работы с ними и методическое обеспечение.

Ключевые слова: робототехника, техническое образование

MODERN ROBOTIC KITS LEGO EDUCATION

N.A. Zorkina, teacher of additional education, natazor@inbox.ru
Krasnoyarsk regional Palace of pioneers, Krasnoyarsk, Russia

Abstract: the idea of educational robotic sets LEGO Education, describes the principles of working with them and methodological support.

Keywords: robotics, technical education

В образовательной робототехнике давно известны конструкторы WeDo 1 и 2 версии, а также наборы LEGO Education Mindstorms, которые на данный момент являются вершиной образовательной линейки LEGO.

Совсем недавно появились наборы LEGO «Экспресс «Юный программист» и SPIKE Prime линейки Education. 29-30 ноября 2019 г. в Красноярске, было организовано мероприятие от компании LEGO Education «Дни программирования», где я была на мастер-классах, на которых презентовали данные наборы.

Оба набора являются роботизированными, набор «Экспресс «Юный программист» рассчитан для детей 3+, SPIKE Prime – от 8-9 лет.

Вообще, современный ассортимент роботизированных конструкторов LEGO включает в себя 7 образовательных наборов различного уровня сложности — от простейших, с которыми вполне может справиться, 3-летний ребенок, до самых сложных, позволяющих создавать подвижные механические устройства (роботов), которыми можно управлять с помощью программируемых блоков.

Итак, набор «Экспресс «Юный программист»» (Рис. 1). Представляет из себя железную дорогу: рельсы, поезд, человечки и кирпичики LEGO® DUPLO®, на рекламном видеоролике видим цветные плоские блоки продолговатой формы, которые дети кладут в рельсы, проезжающий над блоком поезд гудит или останавливается, дети смеются всем весело.



Рис.1 Локомотив из набора LEGO Education «Экспресс «Юный программист»

На мастер-классе я руками потрогала эти блоки и поняла, что это такие контактные блоки из которых выстраивается программа, только не на экране планшета, а в последовательно составленных рельсах.

В набор входят пять цветных пластинок. Каждый цвет отвечает за определенную команду, в вагон встроен Смарт Хаб, двигатель и датчик цвета. Движение по рельсам инерционное, для силы детской руки в самый раз. Также поезд снабжен световым и звуковым сигналами.

Задаем сюжет, расставляем цветные блоки, в зависимости от желаемого действия и играем.

Основы программирования изучается через установление причинно-следственных связей, что является одним из основных элементов логического мышления в возрасте 3-х лет, а основной вид мышления носит наглядно-действенный характер, как психологу, мне это очень понятно и я смело делаю выводы, что с таким набором можно легко начинать знакомство с робототехникой.

Что же касается методической поддержки, то это 72 полноценных академических часа для занятий с детьми (по 25 мин). Много идей и разра-

ботанные уроки, раскраски для выполнения заданий, все это можно скачать на сайте бесплатно.

Так же есть приложение для планшетов, где имеются весёлые, красочные мультики – ситуации, которые нужно решить. Есть уроки, где управление поездом осуществляется с планшета. Перед началом работы с мобильным приложением необходимо соединить поезд из набора с планшетом, по Bluetooth каналу.

Мне понравилось, что компания ограничила установку приложения на телефон. Это сделано для того, чтоб родители и педагоги не предлагали ребенку картинки на маленьком экране, дабы не нарушить зрение.

Мобильное приложение в App Store и Google Play бесплатно – Coding Express, (для планшетов под управлением iOS и Android)

Приложение, предназначенное для детей, содержит четыре основных области для изучения: путешествия, истории с персонажами, музыка и математика. В зависимости от тематики задания, функции активных кубиков меняются и влияют на работу поезда по-разному.

Кирпичиков в наборе достаточно, 234 кубика, тематические дополнительные транспортные средства (самолет, катер, вагоны), декоративные элементы для домов, кафе, парка, есть звери и человечки, а также стрелки для железной дороги, шлагбаумы, дорожные знаки.

Блоки для программирования приятно и комфортно держать в руках, они гладкие и удобно вкладываются в рельс.

Важный момент, нужно понимать, что датчик цвета находится в передней части вагона, а значит блоки нужно ставить друг от друга минимум через 2 рельса, для нормального считывания последующего блока.

Необычный опыт для меня, перекладывать активные блоки с рельса на рельс, интересно наблюдать за изменениями в движении поезда в процессе контактного программирования. А для ребенка это будет нормой, все их познание с окружающим миром происходит в процессе реальных манипуляций с игрушками и предметами. Играть с этим набором лучше в группе от 4 до 6 детей. Важно то, что в каждой задаче, предложенной в методическом комплексе, нет правильного ответа, нет инструкций, педагог должен простимулировать открытое решение, так развивается воображение.

Есть темы: путешествия, истории с персонажами, музыка и математика. В каждой теме предлагается решить задачу открытым способом.

В содержании методического комплекса приводится краткое описание тем, затрагиваемых при выполнении каждой проектной работы. Проекты имеют пометку «Начальный уровень», «Средний уровень» или «Продвинутый уровень» в зависимости от навыков и знаний, необходимых для их выполнения. Для каждого проекта предусмотрено небольшое видео с общей информацией, которая поможет подготовиться к его реализации. Видео можно просмотреть только через приложение на планшете.

Первые три этапа каждого проекта — «Погружение», «Предварительное исследование» и «Пояснение» — можно выполнить на одном занятии. Этап «Проработка материала» может оказаться более сложным для

освоения, его можно перенести на следующее занятие. На этапе «Постоянная оценка» приводится краткая информация о навыках, которые учащиеся осваивают на каждом занятии. На каждый этап, что очень важно и полезно, расписан план работы и хода занятия, цели и задачи данного этапа, указывается комфортное количество детей в группе, в конце каждого описания обязательно присутствует полезный совет по организации занятия.

Важно еще и то, что этот набор соответствует Федеральным государственным образовательным стандартам. Занятия для этого набора разработаны с использованием научных, математических и технических стандартов национальной ассоциации дошкольного образования (NAEYC), системы раннего освоения навыков XXI века (P21), результатов дошкольного образования Head Start, а также в соответствии с требованиями ФГОС ДО РФ.

А теперь перейдем к робототехническому набору LEGO® Education, это SPIKE™ Prime (Рис.2) Первая его презентация была в апреле этого года в Москве. В продажу он поступит с января 2020г. В Красноярске презентовал его Максим Васильев, президент Российской ассоциации образовательной робототехники (РАОР), председатель национального совета Всемирной робототехнической олимпиады (WRO), главный тренер сборной по олимпиадной робототехнике Москвы.



Рис. 2 Состав базового набора LEGO® Education SPIKE™ Prime

Первое впечатление, это то, что все детали ярче, чем в наборах WeDo. Новые цвета, новые детали, удивил программный Хаб: шесть универсальных портов, световая матрица 5*5, которая может показывать тебе сердечко, мордашку с носиком или без, встроенный адаптер Bluetooth, динамик, 6-осевой гироскоп и съемная аккумуляторная батарея.

При визуальном изучении, после Хаба я увидела 3 мотора. Интересной особенностью является возможность автоматического возврата мотора

в начальное стартовое положение. В комплекте 3 датчика: касания, цвета и расстояния.

Новые элементы: «рама» 3х3, деталь – «печенька», кирпич 2х4 с отверстиями для осей Technic, колеса, шестеренки, зажимы для проводов. С такими деталями я собрала манипулятор робо-руку меньше чем за минуту и у меня осталось время на программирование, на тест робота, а потом еще и на игру. На мой взгляд это очень важно для школьников, быстрая сборка и больше времени на изучение нового.

Компания обещает, что с помощью этого конструктора ваши ученики в рамках увлекательного игрового обучения смогут развивать навыки критического мышления и решения задач одинаково успешно, невзирая на уровень подготовки и возраст. Набор подходит и для занятий в рамках внеурочного дополнительного образования. Есть специальный учебный курс SPIKE Prime для школьных уроков и для внеурочной деятельности.

Эти учебные курсы, или модули, предназначены для обучающихся 5–7 классов и по большей части оптимизированы для проведения 45-минутных занятий. На мастер-классе были педагоги разного уровня владения знаний технической направленности, я увидела, что с заданием справились все. Действительно, обучаться на таком наборе легко, независимо от уровня подготовки.

Для учеников предлагаются разные темы: «Отряд изобретателей», «Запускаем бизнес», «Полезные приспособления», «К соревнованиям готовы».

В каждом модуле уделяется внимание его специфике, по каждому модулю педагог ставит конкретные задачи, а на заключительном занятии курса ученики объединяют полученные знания в рамках одного проекта из перечисленных, который предполагает разработку модели, предназначенной для решения определенной проблемы.

Уроки предлагается скачать на сайте, также есть широкий спектр интерактивных вспомогательных материалов. Просмотрев идеи, могу отметить что с подобной поддержкой, педагог будет чувствовать себя уверенно независимо от профессионального опыта.

Считаю, что это прекрасный набор для перехода для более сложного LEGO Education Mindstorms.

Список литературы

1. <https://ru.wikipedia.org/wiki/LEGO>.
2. <https://education.lego.com/ru-ru/product>.
3. <https://dearmummy.ru/razvitie-mozga-rebenka.html>.
4. <https://www.rebenok.com/info/library/psychology/53381/>.
5. <https://psyera.ru/formirovanie-i-razvitie-myshleniya-1398.htm>.
6. https://shkola7gnomov.ru/parrents/fizicheskoe_razvitie/id/1182/.
7. <https://education.lego.com/ru-ru>.

Г.А. Самигулина, д.т.н., доцент, galinasamigulina@mail.ru
Институт Информационных и Вычислительных Технологий, г. Алматы, Казахстан

З.И. Самигулина, Ph.D, zarinasamigulina@mail.ru
Факультет Информационных Технологий, Казахстанско-Британский
Технический Университет, г. Алматы, Казахстан

КОГНИТИВНАЯ SMART-ТЕХНОЛОГИЯ ДИСТАНЦИОННОГО ОБУЧЕНИЯ РАСПРЕДЕЛЁННОЙ СИСТЕМЕ УПРАВЛЕНИЯ ДЛЯ НЕФТЕГАЗОВОЙ ОТРАСЛИ

Аннотация: Исследования посвящены актуальной проблеме дистанционного обучения современной распределённой системе управления Experion PKS фирмы Honeywell широко используемой на нефтегазоперерабатывающих предприятиях Казахстана. Сложность современного оборудования промышленной автоматизации и удалённость объектов добычи нефти, а также стремительное развитие интеллектуальных методов обработки многомерной информации определяет перспективность создания инновационной когнитивной Smart-технологии обучения. Данная технология основана на последних достижениях искусственного интеллекта и учитывает особенности зрения обучающихся с помощью корректировки цветоподачи учебного материала и динамического представления информации с использованием когнитивно - визуальных схем в зависимости от психотипа. Прогноз и корректировка процесса обучения осуществляется с помощью модифицированного алгоритма искусственных иммунных систем.

Ключевые слова: когнитивная Smart-технология, дистанционное обучение, распределённая система управления Experion PKS, нефтегазовая отрасль, интеллектуальные методы, искусственные иммунные системы.

COGNITIVE SMART-TECHNOLOGY OF REMOTE LEARNING OF DISTRIBUTED CONTROL SYSTEM FOR OIL AND GAS INDUSTRY

G.A. Samigulina, doctor of technical sciences, docent, galinasamigulina@mail.ru
Institute of Information and Computing Technologies, c. Almaty, Kazakhstan

Z.I. Samigulina, Ph.D, zarinasamigulina@mail.ru
Faculty of Information Technologies,
Kazakh-British Technical University, c. Almaty, Kazakhstan

Abstract: The studies are devoted to the urgent problem of distance learning of a modern distributed Experion PKS control system by Honeywell widely used at oil and gas refineries in Kazakhstan. The complexity of modern industrial automation equipment and the remoteness of oil production facilities, as well as the rapid development

of intelligent methods for processing multidimensional information, determine the potential for creating innovative cognitive Smart training technology. This technology is based on the latest achievements of artificial intelligence and takes into account the peculiarities of vision of student at teaching by adjusting the color supply of educational material and the dynamic presentation of information using cognitive-visual schemes depending on the psychotype. The forecast and adjustment of the learning process is carried out using modified algorithm of artificial immune systems.

Key words: cognitive Smart-technology, distance learning, Experion PKS distributed control system, oil and gas industry, intelligent methods, artificial immune systems.

Введение. Большие объёмы информации и высокий темп анализа текущих данных, с которыми сталкивается человек на современном производстве, повышают риски принятия неправильных решений при управлении сложными процессами и технологическими линиями. Большое значение приобретают когнитивные методы восприятия визуальной информации с экрана монитора для повышения эффективности работы. Подобные исследования широко используются для разработки сложных человеко-машинных интерфейсов, позволяющих снижать процент аварий по вине оператора в различных прикладных областях [1-3]. Промышленная статистика показывает, что 70% всех аварий вызвана человеческим фактором, поэтому актуальна разработка графических мнемосхем, содержащих сигнальные изображения оборудования на дисплеях рабочих станций, операторских экранах и диспетчерских пультах разработанных с применением новейших когнитивных технологий и современных методов искусственного интеллекта. Однако создание перспективных когнитивных информационных технологий для управления сложными объектами автоматизации также требуют внедрения новых подходов обучения современному сложному технологическому оборудованию.

В настоящий момент мировые тенденции развития профессионального образования определяют необходимость разработки новых когнитивных подходов обучения сложным техническим специальностям и современному оборудованию промышленной автоматизации. Мировые лидеры по производству промышленного оборудования, такие как Honeywell, Schneider Electric и др. уделяют большое внимание дистанционному обучению выпускаемого оборудования. Широко используется в нефтегазовой отрасли распределённая система управления Experion PKS фирмы Honeywell, которая представляет собой комплекс высокотехнологичных инструментов для решения различных задач автоматизации [4]. Актуальной задачей является разработка Smart - технологии обучения данной системе с использованием инновационных подходов.

Постановка задачи. Основной целью исследований является разработка когнитивной Smart-технологии для дистанционного обучения распределённой системе управления Experion PKS фирмы Honeywell с учётом

особенностей зрения обучающихся с помощью корректировки цветоподачи учебного материала [5] и динамического представления информации с использованием когнитивно-визуальных схем в зависимости от психотипа [6], а также прогнозирования результатов обучения на основе модифицированного алгоритма искусственных иммунных систем и оперативной корректировки процесса обучения.

Методы исследования. Интерес, связанный с применением современных когнитивных методик обучения объясняется тем, что руководитель современного высокотехнологичного промышленного производства экономически заинтересован в интенсификации процесса обучения обслуживающего персонала и в обеспечении высокого качества подготовки технических специалистов в самые короткие сроки. Применение последних достижений в области искусственного интеллекта, психологии цветоподачи учебного материала, современных IT технологий позволяет осуществить переход на более высокий уровень персонализированной профессиональной подготовки обучающихся.

Применение биоинспирированного подхода искусственных иммунных систем (Artificial Immune System, AIS) [7] для прогнозирования качества проводимого обучения связано прежде всего с необходимостью обработки и анализа многомерных данных. Предлагается использовать модифицированный алгоритм искусственных иммунных систем.

Предварительная обработка и оптимизация данных осуществляется на основе использования относительно нового метаэвристического алгоритма опыления цветов (Flower Pollination Algorithm, FPA) [8], в основе которого лежит механизм опыления цветов в природе. Данный алгоритм показал хорошие результаты [9] по сравнению с генетическим алгоритмом (Genetic Algorithms, GA) и алгоритмом роя частиц (Particle Swarm Optimization, PSO).

Алгоритм FPA успешно применяется для решения задачи выделения информативных признаков. Например, в работе [10] используется бинарный алгоритм опыления цветов для выбора признаков, при этом пространство поиска представляет собой решётку, где каждое возможное решение или строка битов обозначает, будет ли признак включён в окончательный набор данных. Приведён сравнительный анализ бинарного FPA с алгоритмами PSO и алгоритмом светлячка. Результаты моделирования показали перспективность применения данного алгоритма. Таким образом, FPA в настоящее время успешно применяется для разработки гибридных алгоритмов прогнозирования, а также для решения задачи выделения информативных признаков.

Рассмотрим укрупнённый модифицированный алгоритм FPA-AIS на основе алгоритма опыления цветов и искусственных иммунных систем для прогнозирования качества обучения.

Алгоритм FPA-AIS:

Шаг 1. Формирование базы данных (БД) дескрипторов, характеризующих обучающихся.

Шаг 2. Классификация БД дескрипторов по психотипу и особенностям зрения.

Шаг 3. Построение оптимального набора дескрипторов на основе FPA.

Шаг 4. Решение задачи прогнозирования на основе алгоритма AIS.

Шаг 5. Выбор оптимальной персонализированной траектории обучения и формы подачи учебного материала, а также оперативная корректировка текущего процесса обучения.

Таким образом, разработанная Smart-технология дистанционного обучения распределённой системе управления Experion PKS фирмы Honeywell нацелена на интенсификацию процесса получения знаний и практических навыков, а также повышение качества обучения сложному оборудованию промышленной автоматизации для нефтеперерабатывающих предприятий.

Исследование выполнено при финансовой поддержке КН МОН РК в рамках научного проекта №AP05130018 на тему: «Разработка когнитивной Smart – технологии для интеллектуальных систем управления сложными объектами на основе подходов искусственного интеллекта» (2018-2020 гг.).

Список литературы

1. Kothe C.A., Makeig S. BCILAB: A platform for brain-computer interface development // Journal of Neural Engineering. – 2013. – P. 1- 25.
2. Major T., Conrad J. A survey of brain computer interfaces and their applications // IEEE Southeastcon. – 2014. – P. 1-9.
3. Filippis L., Gaia E., Guglieri G., Re M., Ricco C. Cognitive Based Design of a Human Machine Interface for Telenavigation of a Space Rover // Journal of aerospace technology and management. – 2014. – Vol.6. - №4. – P. 415-430.
4. Парьев Г.В. Централизованная система управления технологическими объектами на базе Единой операторной ООО «ЛУКОЙЛ-Волгограднефтепереработка» // Автоматизация в промышленности. 2015, №7. – С.41-47.
5. G. A. Samigulina, A.S. Shayakhmetova, A.T. Nyusupov. Innovative intelligent technology of distance learning for visually impaired people // Open engineering. – 2017. - №7. – С.444-452.
6. Самигулина Г.А., Лукманова Ж.С. Когнитивная Smart - технология дистанционного обучения современному оборудованию промышленной автоматизации // Вестник НТУ «ХПИ». – Харьков, 2018. - № 42(1318). – С.160-170.
7. Samigulina G.A., Samigulina Z.I. Modified immune network algorithm based on the Random Forest approach for the complex objects control // J. Artificial Intelligent systems. - 2019. – Vol.52, Issue 4. – P.2457-2473.
8. Abdel-Basset M., Shawky L.A. Flower pollination algorithm: a comprehensive review // Artificial Intelligence Review. – Springer, 2019. – Vol. 52, №4. – P. 1-25.
9. Yang X.S. Flower Pollination Algorithm for Global Optimization. In: Durand-Lose J., Jonoska N. (eds) // International conference Unconventional Computation and Natural Computation (UCNC 2012). Lecture Notes in Computer Science. - Springer, Berlin, Heidelberg, 2012. - Vol.7445. – P. 240-249. DOIhttps://doi.org/10.1007/978-3-642-32894-7_27.
10. Rodrigues D., Yang X.C., Souza A.N., Papa J.P. Binary Flower Pollination Algorithm and Its Application to Feature Selection // Recent Advances in Swarm Intelligence and Evolutionary Computation. – 2015. – P. 85-100.

В.А. Филимонов, д.т.н., профессор, trizkin@yandex.ru

Институт математики СО РАН, г. Омск, Россия

В.А. Углев, к.т.н., доцент, uglev-v@uandex.ru

Сибирский федеральный университет, г. Железногорск, Россия

РОБОТОТЕХНИКА И РОБОТОТЕХНИКИ: СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ ПЕРСПЕКТИВ ОТРАСЛИ И ПОДГОТОВКИ СПЕЦИАЛИСТОВ

Аннотация: с использованием системного анализа на базе двух фундаментальных схем рассмотрены перспективы развития робототехники, а также обучения робототехнике. Результаты могут быть использованы для формирования учебных программ подготовки робототехников, а также фрагментов ознакомительных курсов робототехники для смежных специальностей.

Ключевые слова: системный анализ, робототехника, обучение робототехнике, схема «4 уровня», схема «9 окон», стратегия развития ИИ.

V.A. Filimonov Ph.D., professor, filimonov-v-a @yandex.ru

Sobolev Institute of Mathematics SB RAS, Novosibirsk, Russia

V.A. Uglev, PhD, docent, uglev-v@yandex.ru

Siberian Federal University, Zhreznogorsk, Russia

ROBOTICS AND ROBOTIZATORS: SYSTEM ANALYSIS OF INDUSTRY PROSPECTS AND TRAINING OF SPECIALISTS

Аннотация: using a system analysis based on two fundamental schemes, the prospects for the development of robotics, as well as training in robotics, are considered. The results can be used for the formation of training programs for robotizators, as well as fragments of introductory courses of robotics for related specialties.

Ключевые слова: system analysis, robotics, training of robotizators, "4 levels" scheme, "9 Windows" scheme, strategy of AI development

Интенсификация работ в области и искусственного интеллекта и, как следствие, интеллектуальной робототехники, наметившееся в связи с появлением в РФ Указа N 490, имеет ряд объективных сложностей. Одной из них является то, что в упомянутом документе (стратегии), не сформирован образ конечного результата. То есть он конечно же сформулирован в ёмкой фразе: «обеспечение роста благосостояния и качества жизни ее (российского) населения, обеспечение национальной безопасности и правопорядка, достижение устойчивой конкурентоспособности российской эконо-

мики, в том числе лидирующих позиций в мире в области искусственного интеллекта» [1] и уточняется по тексту далее. Но к чему это всё идёт – из документа не очевидно. Попробуем с позиции робототехники (и интеллектуальных технологий в целом) посмотреть на перспективы развития робототехники и человека, как специалиста, сопровождающего робототехнические комплексы (РТК).

Системный подход к раскрытию указанной темы будет опираться на динамичность процесса изменений технологий и профессий, т.е. процесса развития робототехники, а также связанного с ним процесса обучения робототехнике. В качестве инструментов анализа были выбраны авторская схема «4 уровня» [2] и схема «9 окон», известная из ТРИЗ [3].

Суть схемы «4 уровня» сводится к тому, чтобы описать объект в структуре имя-форма-функция-фундамент (законы, обеспечивающие выполнение функций). Для самой робототехники и процесса подготовки робототехников схема представлена в табл. 1 и 2.

Таблица 1. Робототехника в схеме «4 уровня»

Уровень	Описание объекта на данном уровне и комментарии
Имя	Робототехника
Формы	Роботы разной степени человекоподобности (включая формы, вызывающие эффект «зловещей долины»). Робот-пылесос, чат-боты, компоненты умных вещей, домов и т.п. (включая роботы-игрушки).
Функции	Замена функций, выполняемых человеком, животными, вещами и механизмами. Выполнение новых функций и/или в новых условиях. Делегирование машиной человеку работу, которую он не смог поручить другой машине [4].
Фундамент	Объединение вычислительных систем, коммуникационных систем и исполнительных механизмов.

Таблица 2. Обучение робототехнике в схеме «4 уровня»

Уровень	Описание объекта на данном уровне
Фамильное Имя (имена)	Образовательная робототехника для людей. Образовательная робототехника для роботов.
Формы	Учебные курсы + оснащение (программы, конструкторы, учебники, интеллектуальные автоматизированные обучающие системы и виртуальные тьюторы).
Функции	Трансляция знаний. Проверка усвоенных знаний. Воспитание (мораль, этика, шаблоны взаимодействия).
Фундамент	Национальные системы образования и их стандарты. Учебные модули и методы оценки их качества. Учебные заведения (школы, кружки) и ресурсные центры.

Суть схемы «9 окон» позволяет объединить временную динамику (настоящее-прошлое-будущее) с масштабом уровней восприятия (подси-

стема-система-надсистема). Варианты этой схемы представлены в табл. 3 и 4.

Таблица 3. Робототехника в схеме «9 окон»

	Прошлое	Настоящее	Будущее
Надсистема	Индустриальное общество / 4-ый технологический уклад (ТУ).	Постиндустриальное общество / 5-ый ТУ.	Общество 5.0 / 6-ой ТУ. Робщество 1.0. Космический разум (техноноосфера).
Система	Автоматы.	Системы искусственного интеллекта. Роботы.	Роботы с био-компонентами. Люди с чипами и протезами.
Подсистема	Электронные компоненты. Пневматика и гидравлика.	Deep Learning. Модели имитации целеполагания и рефлексивного поведения (например, по В.А. Лефевру [5]).	Роботы с имитацией наличия альтернативной системы.

Таблица 4. Обучение робототехнике в схеме «9 окон»

	Прошлое	Настоящее	Будущее
Надсистема	Аудиторное обучение в ВУЗах.	Дистанционное и электронное обучение (включая школы).	Репозитории знаний и компетенций. Этические кодексы людей и машин.
Система [6]	Учебные планы. Педагоги и ученики (инженера). Программы для автоматов.	Индивидуализированная среда обучения. Тьюторы и ученики (робототехники и инженеры по знаниям). Роботы и системы искусственного интеллекта (слабый ИИ).	Самосоздающие системы обучения (сильный ИИ). Взаимно обучающие интеллектуальные системы (робот-человек-робот)
Подсистема	Книги. Разнородные базы знаний Задачники и алгоритмы обучения искусственных нейронных сетей	Интернет. Конструкторы типа Arduino и чат-ботов. Интеллектуальные автоматизированные обучающие системы [7, 8]. Среды AR и VR. Deep Learning.	Квантовые вычислители. Загрузка (копирование) знаний. Продвинутые средства AR, VR, аватары. Цифровые копии личностей.

Многие утверждения из предлагаемых таблиц являются спорными и носят явный предварительный характер. Громкие выводы или выдвижение программы действий нами считается преждевременными (а с позиции глобальной стратегии – вообще не целесообразным [9]). Авторы продолжают анализ, в частности, с использованием схемы «16 окон». Было бы конструктивно расширить как круг экспертов для обсуждения, конструктив-

ной критики, коллективной корректировки и детализации представленных таблиц, так и охват анализируемой области (например, расширить его до уровня развития всего искусственного интеллекта и подготовки специалистов для него).

Список литературы

1. Указ Президента РФ от 10.10.2019 N 490 "О развитии искусственного интеллекта в Российской Федерации" (вместе с "Национальной стратегией развития искусственного интеллекта на период до 2030 года") [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/72738946/>.
2. Филимонов В.А. Диссертационный танкодром ситуационного центра // Современная наука: проблемы и перспективы развития: Материалы Международной науч.-практ. конф. – Омск: Изд-во Омской гуманитарной академии, 2018. – С. 24-28.
3. Гуленко В.В. Многооконное мышление. О структуре научного знания/ Соционика, ментология и психология личности, 1997, № 5. С. 42-49.
4. Берс А.А. Философия информатики // Рефлексивный театр ситуационного центра-2012: Материалы 6-й Всеросс. конф. с междун. участием. – Омск: Изд-во Омского гос. ин-та сервиса, 2013. С. 9 – 23.
5. Лефевр В.А. Что такое одушевленность? – М.: Когито-центр, 2013. – 125 с.
6. Углев В.А., Устинов В.А. Робототехника в образовании: перспективы технологии // Робототехника как образовательная технология: Материалы II Международной научно-практической конференции. - Железногорск: СФУ, 2011. - С. 19-22.
7. Углев В.А. Автоматизированные обучающие системы нового поколения: основные черты и принципы организации // Перспективные методы и средства интеллектуальных систем: Материалы всероссийского научно-практического семинара и школы молодых ученых. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2015. – С. 37-40.
8. Uglev V.A., Suchinin D.I. Automated Education: Tendency for Scientific Approaches Convergence // ICASSR2014, - 2014. – pp. 20-23. DOI 10.2991/icassr-14.2014.6.
9. Филимонов В.А. Искусственный интеллект-2030: взгляд из-под ЗОНТа-2019 // Математическое и компьютерное моделирование: Материалы VII междун. науч. конф. - Омск : Изд-во Ом. гос. ун-та, 2019.- С. 74-75. [Электронный ресурс]: режим доступа - http://fkn.univer.omsk.su/nauka/Conf/2019/VII_MCM_Conf_2019.pdf

Секция 1

Робототехнические системы и комплексы, мехатроника 4

Антоненко Д.А., Авласко П.В., Капулин Д.В., Ченцов С.В. (Красноярск)

Система управления прецизионным электроприводом двойного питания на базе процессора Baikal-T1 5

Жиравок А.Н., Зувев А.В., Шумский А.Е. (Владивосток)

Метод синтеза робастных скользящих наблюдателей для диагностирования робототехнических систем, описываемых нелинейными динамическими моделями 10

Иващук О.А., Афонин А.Н., Тимофеева Е.В. (Белгород)

Рельсовая система видеонаблюдения для животноводческих комплексов .. 16

Кацурин А.А., Литвин А.В., Юнг Б.Н. (Владивосток)

Управление двумя манипуляторами при транскраниальной магнитной стимуляции 20

Кожина А.А. (Железногорск)

Технология встраивания компонентов в печатные платы 26

Мешков С.С. (Железногорск)

Обзор методов контроля остаточного ресурса химических аккумуляторных батарей..... 31

Мунасыпов Р.А., Мустаев Т.И., Шарипов М.И. (Стерлитамак)

Автоматизация технологического процесса очистки насосно-компрессорных труб при ремонте скважинного оборудования с использованием мобильного робототехнического комплекса 38

Ромашенко В.В., Погребняк В.А. (Красноярск)

Контейнер для транспортировки высокотехнологических объектов ответственного назначения на транспортных устройствах 44

Суховой А.Д., Губанков А.С. (Владивосток)

Разработка метода предотвращения столкновений рабочих органов промышленных роботов при совместном выполнении работ 49

Филаретов В.Ф., Зувев А.В. (Владивосток)

Система диагностирования движителей подводных роботов 55

Филаретов В.Ф., Зувев А.В., Проценко А.А. (Владивосток)

Разработка обобщенного подхода к синтезу систем диагностирования и аккомодации к дефектам в исполнительных элементах и датчиках роботов.... 61

Секция 2

Специальная робототехника 67

Карманова С.В. (Владивосток)

Разработка метода формирования программных сигналов движения подводного аппарата по траектории, описываемой параметрической кривой 68

Кузьмицкий М.А., Гизитдинова М.Р. (Санкт-Петербург)

Вероятностная модель функционирования мобильного подводного робота при поиске по вызову в спасательных операциях 74

Копылов В.М., Волняков К.А. (Санкт-Петербург)

Структура системы управления гидроприводом амфибийного транспортного средства повышенной проходимости 82

Кутлубаев И.М., Богданов А.А., Дудоров Е.А., Пермяков А.Ф., Пронин А.А. (Магнитогорск)

Исследование возможности использования дистанционно-управляемого антропоморфного робота в условиях космического полёта 88

Половка С.А., Смирнова Е.Ю., Плавинский М.Н., Кавтрев С.С. (Санкт-Петербург)

Концепция создания гиперизбыточного многофункционального необитаемого подводного средства 94

Проценко Д.А. (Железногорск)

Перспективы использования космической робототехники для обслуживания космических аппаратов на орбите 100

Чернышев В.В., Вершинина И.П., Арыканцев В.В. (Волгоград)

Динамическая устойчивость шагающих платформ передвигающихся по дну 108

Юхимец Д.А. (Владивосток)

Метод формирования программной скорости движения группы подводных роботов, движущихся в режиме «лидер-ведомые» 114

Секция 3

Инженерия знаний и базы знаний..... 120

Ойнец В. В., Пятаева А. В. (Красноярск)

Наборы данных для обучения нейронных сетей в интеллектуальных транспортных системах 121

Пантелеев М.Г., Киварин Д.М. (Санкт-Петербург)

Исследование моделей оценки полезности действий агентов в виртуальном футболе 127

<i>Самигулина Г.А., Самигулина З.И. (Алматы)</i> Разработка базы знаний и программного обеспечения для мультиагентной Smart-системы прогнозирования на основе искусственных иммунных систем	133
<i>Сорокин А.Б., Железняк Л.М. (Москва)</i> Построение базы знаний на основе ситуационно-деятельностного подхода	138
<i>Талюкина В.И., Пятковский О.И., Гунер М.В. (Барнаул)</i> Разработка модели оценки финансового состояния заемщиков – юридических лиц на основе применения гибридных экспертных систем	145
<i>Титенко Е.А., Варганов В.В., Фролов С.Н., Щитов А.Н., Лаврушков И.А. (Курск)</i> Математические модели коррекции весов инновационных объектов	154
<i>Углев В.А. (Железногорск)</i> Метод унифицированного графического воплощения активности	161
<i>Углев В.А., Некрасов М.В. (Железногорск)</i> Модель для оценки баланса учебной нагрузки методом UGVA для подготовки специалистов в области искусственного интеллекта	173

Секция 4

Модели и методы анализа данных в интеллектуальных системах 182

<i>Гаврилов А.В., Альсова О.К. (Новосибирск)</i> Алгоритм адаптивной резонансной теории ART-2 в приложении к прогнозированию временных рядов	183
<i>Голубчикова Е.Е. (Красноярск)</i> Анализ применимости кинетических моделей для исследования транспортных потоков	190
<i>Добронец Б.С., Попова О.А. (Красноярск)</i> Численное моделирование в условиях неопределенности: сравнение подходов	195
<i>Шатов А.А. (Красноярск)</i> Использование стереоизображений для визуального анализа данных	200
<i>Эркин уулу Н. (Красноярск)</i> Вычислительный вероятностный анализ больших данных	204

Секция 5

Алгоритмы и системы искусственного интеллекта 208

Бойко В.А., Рожков П.И. (Красноярск)

Локализация и классификация элементов графического интерфейса пользователя 209

Вальков А.В., Перфильев Д.А. (Красноярск)

Интеллектуальные технологии управления поисковыми системами 213

Елисеева М.С. (Красноярск)

Обнаружение курения по видео и нейросетевой подход 218

Исхаков А.Р., Маликов Р.Ф. (Уфа)

Параметрический и структурный синтез систем технического зрения 224

Лютикова В.С., Литовченко И.Н. (Алматы)

Обучающий алгоритм распознавания образов при решении практических задач 231

Мерко А.М. (Красноярск)

Численное моделирование и рекурсивные вычисления в задачах робототехники со случайными параметрами 238

Назарова А.А., Гунер М.В. (Барнаул)

Прогнозирование объемов продаж продовольственных товаров при помощи искусственных нейронных сетей 243

Окунев А.Г., Нартова А.В., Лиз М.Ф., Матвеев А.В. (Новосибирск)

Автоматическое распознавание наночастиц на изображениях сканирующей зондовой микроскопии с помощью различных методов глубокого машинного обучения 248

Раевич А.П., Добронев Б.С. (Красноярск)

Применение оперативных витрин данных для обработки больших данных 252

Рускина А.А. (Красноярск)

Анализ рентгеновских снимков с помощью сверточных нейросетей 257

Русин Д.С., Устищенко В.В., Чубарь А.В. (Красноярск)

Применение генетического алгоритма для оптимизации характеристик параметров системы управления автономным объектом с использованием среды динамического моделирования SimInTech 261

Секция 6

Управление роботами и интеллектуальная автоматизация 267

Авласко З.А., Пономарева К.А. (Красноярск)

Оценка трендов цифровизации в промышленности 268

Алтынбек уулу А. (Красноярск)

Применение одноплатных компьютеров для аппаратных проектов управления техническими системами 274

Бахтина В.А., Маринушкин П.С., Левицкий А.А. (Красноярск)

Обработка данных МЭМС-датчиков в системе диагностики двигательных нарушений верхней конечности 279

Битный-Шляхто В.М., Корсаков А.М., Смирнова Е.Ю., Степанов Д.Н. (Санкт-Петербург)

Объектно-ориентированная реконструкция рабочей зоны манипулятора аварийно-спасательного робота 285

Битный-Шляхто В.М., Половко С.А., Куличенко А.Д., Скрипниченко Н.А., Смирнова Е.Ю. (Санкт-Петербург)

Организация взаимодействия специальных роботов на базе критерия осведомленности 292

Горбцов А.С., Андреев А.Е., Сорокин А.В., Тарасов П.С., Маров А.Е. (Волгоград)

Управление ходьбой двуногого робота с использованием регуляторов, учитывающих программные силы в приводах 298

Лебедев А.В. (Владивосток)

Разработка самонастраивающейся системы управления движением беспилотного летательного аппарата в вертикальной плоскости 308

Лопатин П.К. (Красноярск)

Алгоритмы движения манипулятора в неизвестной среде 314

Михайлюк М.В. (Москва), Крючков Б.И., Усов В.М. (Звездный городок)

Дистанционное взаимодействие экипажа орбитального комплекса с центром управления полетами через портативных роботов при обслуживании бортовых систем 320

Мызникова В.А., Толстенков Е.Д., Чубарь А.В. (Красноярск)

Построение системы управления движением автономного объекта в среде SimInTech 326

Новиков Б.М., Пантелеев М.Г. (Санкт-Петербург)

Расчет траектории паса в виртуальном футболе с использованием алгоритма произвольного времени 333

Пожаркова И.Н. (Железногорск)

Оценка эффективности охлаждения строительных металлоконструкций пожарными роботами 340

<i>Пожаркова И.Н. (Железногорск)</i> Моделирование траектории струи пожарного роботизированного ствола в среде динамического моделирования SimInTech	346
<i>Пантелеев М.Г., Салимов А.Ф. (Санкт-Петербург)</i> Навигация агента в виртуальном футболе: сравнительный анализ алгоритмов	351
<i>Сайфеддин Д. (Маскат)</i> Управление посадкой беспилотного летательного аппарата на этапе выравнивания	360
<i>Юхимец Д.А., Сахненко А.А., Сыч А.А. (Владивосток)</i> Реализация открытой распределённой системы управления на базе микроконтроллеров Espressif	367
<i>Юхимец Д.А., Сахненко А.А., Сыч А.А. (Владивосток)</i> Информационно-управляющая система для взаимодействия с роботами-манипуляторами	373

Секция 7

Образовательные и социогуманитарные аспекты искусственного интеллекта и робототехники

379

<i>Габриель А.С., Уланов В.Н. (Санкт-Петербург)</i> Интеллектуальные обучающие системы в высшем образовании	380
<i>Ерогова И.С. (Красноярск)</i> Применение экспертного метода для динамической оценки качества чтения лекций	386
<i>Зорькина Н.А. (Красноярск)</i> Современные робототехнические наборы LEGO Education	391
<i>Самигулина Г.А., Самигулина З.И. (Алматы)</i> Когнитивная Smart-технология дистанционного обучения распределённой системе управления для нефтегазовой отрасли	396
<i>Филимонов В.А. (Омск), Углев В.А. (Железногорск)</i> Робототехника и робототехники: системный анализ перспектив отрасли и подготовки специалистов	400