

МИНОБРНАУКИ РОССИИ

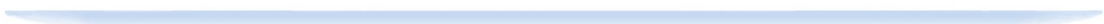
Известия

**Юго-Западного
государственного университета**

**Серия: Управление, вычислительная
техника, информатика. Медицинское
приборостроение**

Научный журнал

Том 11 № 2 / 2021



Proceedings

**of the Southwest
State University**

**Series: Control, Computer Engineering,
Information Science. Medical
Instruments Engineering**

Scientific Journal

Vol. 11 № 2 / 2021



**Известия Юго-Западного
государственного университета.
Серия: Управление, вычислительная
техника, информатика. Медицинское приборостроение
(Izvestiya Yugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta.
Seriya: Upravlenie, vychislitel'naya tekhnika, informatika.
Meditsinskoe priborostroenie)**

Научный рецензируемый журнал
Основан в 2011 г.

Цель издания – публичное представление научно-технической общественности научных результатов фундаментальных, проблемно-ориентированных научных исследований в таких областях, как информационные и интеллектуальные системы, мехатроника и робототехника, распознавание и обработка изображений, системный анализ и принятие решений, моделирование в медицинских и технических системах, приборы и методы контроля природной среды.

В журнале публикуются оригинальные работы, обзорные статьи, рецензии и обсуждения, соответствующие тематике издания.

Публикация статей в журнале для авторов бесплатна.

Целевая аудитория: научные работники, профессорско-преподавательский состав образовательных учреждений, экспертное сообщество, молодые ученые, аспиранты, заинтересованные представители широкой общественности.

Журнал придерживается политики открытого доступа. Полнотекстовые версии статей доступны на сайте журнала, научной электронной библиотеки eLIBRARY.RU.

Журнал включен в перечень ведущих научных журналов и изданий ВАК Минобрнауки России, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученых степеней доктора наук, кандидата наук по следующим научным специальностям:

Приборы и методы измерения (по видам измерений) (технические науки) – 05.11.01.

Приборы и методы контроля природной среды, веществ, материалов и изделий (технические науки) – 05.11.13.

Приборы, системы и изделия медицинского назначения (технические науки) – 05.11.17

Системы, сети и устройства телекоммуникаций (технические науки) – 05.12.13.

Системный анализ, управление и обработка информации (по отраслям) (технические науки) – 05.13.01.

ГЛАВНЫЙ РЕДАКТОР:

Емельянов Сергей Геннадьевич, д-р техн.наук, профессор, Лауреат премии Правительства РФ в области науки и техники, ректор, ФГБОУ ВО «Юго-Западный государственный университет» (г. Курск, Россия)

ЗАМЕСТИТЕЛЬ ГЛАВНОГО РЕДАКТОРА:

Томакова Римма Александровна, д-р техн. наук, профессор,
ФГБОУ ВО «Юго-Западный государственный
университет» (г. Курск, Россия)

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

Р. М. Алгулиев, д-р техн. наук, профессор;
Ю. С. Бехтин, д-р техн. наук, профессор;
В. Н. Гридин, д-р техн. наук, профессор;
А. Л. Жизняков, д-р техн. наук, профессор;
Ж. Т. Жусубалиев, д-р техн. наук, профессор;
С. А. Зинкин, д-р техн. наук, доцент;
Зо Зо Тун, канд. техн. наук, профессор;
И. В. Зотов, д-р техн. наук, профессор;
Н. А. Кореневский, д-р техн. наук, профессор;
Е. Н. Коровин, д-р техн. наук, профессор;

А. Н. Пылькин, д-р техн. наук, профессор;
Риад Таха Аль-Касасбех, д-р техн. наук, профессор;
В. Г. Рубанов, д-р техн. наук, профессор;
С. П. Серегин, д-р мед. наук, профессор;
А. С. Сизов, д-р техн. наук, профессор;
В. С. Титов, д-р техн. наук, профессор,
заслуженный деятель науки России;
С. А. Филист, д-р техн. наук, профессор;
А. В. Филонович, д-р техн. наук, профессор;
А. А. Ханова, д-р техн. наук, доцент

Учредитель и издатель:

ФГБОУ ВО «Юго-Западный государственный университет»

Адрес учредителя, издателя и редакции:

305040, г. Курск, ул. 50 лет Октября, 94

Телефон: +7(4712) 22-25-26,

Факс: +7(4712) 50-48-00.

E-mail: rio_kursk@mail.ru

Наименование органа, зарегистрировавшего издание:

Журнал зарегистрирован Федеральной службой
по надзору в сфере связи, информационных
технологий и массовых коммуникаций
(ПИ №ФС77-44620 от 15.04.2011).

ISSN 2223-1536 (Print)

Сайт журнала: <https://swsu.ru/izvestiya/seriesivt/>

Типография:

Полиграфический центр
Юго-Западного государственного
университета, 305040, г. Курск,
ул. 50 лет Октября, 94

Подписка и распространение:

журнал распространяется
по подписке.

Подписной индекс журнала 44288
в объединенном каталоге
«Пресса России».

Периодичность: четыре раза в год

Свободная цена.

Оригинал-макет подготовлен О. В. Кофановой

© Юго-Западный государственный университет, 2021



Материалы журнала доступны

под лицензией Creative Commons Attribution 4.0 License

Подписано в печать 28.05.2021. Формат 60x84/8.

Дата выхода в свет 10.06.2021.

Бумага офсетная. Усл. печ. л. 17,7.

Тираж 1000 экз. Заказ 23.

16+



Proceedings of the Southwest State University.
Series: Control, Computer Engineering,
Information Science. Medical Instruments Engineering

Peer-reviewed scientific journal

Published since 2011

These Proceedings present the results of scientific fundamental and applied research in such areas as information and intelligent systems; mechatronics, robotics; image recognition and processing; system analysis and decision making; simulation in medical and technical systems; devices and methods for monitoring the natural environment.

The journal publishes scientific articles, critical reviews, reports and discussions in the above mentioned areas.

All papers are published free of charge.

Target readers are scientists, university professors and teachers, experts, young scholars, graduate and post-graduate students, stakeholders and interested public.

The Editorial Board of the journal pursues open access policy. Complete articles are available at the journal web-site and at eLIBRARY.RU .

The journal is included into the Register of the Top Scientific Journals of the Higher Attestation Commission of the Russian Federation as a journal recommended for the publication of the findings made by the scientists working on a doctoral or candidate thesis in the following areas:

Devices and methods of measurement (by type of measurement) (technical Sciences) – 05.11.01.

Devices and methods of control of the natural environment, substances, materials and products (technical Sciences) – 05.11.13.

Devices, systems and medical devices (technical Sciences) – 05.11.17.

Telecommunication systems, networks and devices (technical Sciences) – 05.12.13.

System analysis, management and information processing (by industry) (technical Sciences) – 05.13.01.

EDITOR-IN-CHIEF

Sergei G. Emelianov, Dr. of Sci. (Engineering), Correspondent Member of the Russian Academy of Architecture and Construction Sciences, a Holder of the Russian Government Prize in the Field of Science and Engineering, Rector of the Southwest State University (Kursk, Russia)

DEPUTY EDITOR-IN-CHIEF

Rimma A. V. Tomakova, Dr. of Sci. (Engineering), Professor,
Southwest State University (Kursk, Russia)

EDITORIAL BOARD

R. M. Alguliyev, Dr. of Sci. (Engineering), Professor;

Y. S. Bekhtin, Dr. of Sci. (Engineering), Professor;

V. N. Gridin, Dr. of Sci. (Engineering), Professor;

A. L. Zhiznyakov, Dr. of Sci. (Engineering), Professor;

Zh. T. Zhusubaliyev, Dr. of Sci. (Engineering), Professor;

S. A. Zinkin, Dr. of Sci. (Engineering),

Associate Professor;

Zo Zo Thun, Candidate of Engineering, Professor;

I. V. Zotov, Dr. of Sci. (Engineering);

N. A. Korenevsky, Dr. of Sci. (Engineering), Professor;

E. N. Korovin, Dr. of Sci. (Engineering), Professor;

A. N. Pylkin, Dr. of Sci. (Engineering), Professor;

Riad Taha Al-Kasasbeh, Dr. of Sci. (Engineering),
Professor;

V. G. Rubanov, Dr. of Sci. (Engineering), Professor;

S. P. Seryogin, Doctor of Sci. (Medical), Professor;

A. S. Sizov, Dr. of Sci. (Engineering), Professor;

V. S. Titov, Dr. of Sci. (Engineering), Professor;

S. A. Filist, Dr. of Sci. (Engineering), Professor;

A. V. Filonovich, Dr. of Sci. (Engineering), Professor;

A. A. Khanova, Dr. of Sci. (Engineering),
Associate Professor

Founder and Publisher :

“Southwest State University”

Official address of the Founder, Publisher and Editorial Office:

50 Let Oktyabrya str. 94, Kursk 305040, Russian Federation

Phone: (+74712) 22-25-26,

Fax: (+74712) 50-48-00.

E-mail: rio_kursk@mail.ru

The Journal is officially registered by:

The Federal Supervising Authority in the Field of Communication,
Information Technology and Mass media

(PI №FS77-44620 of 15.04.2011).

ISSN 2223-1536 (Print)

Web-site: <https://swsu.ru/izvestiya/seriesivt/>

Printing office:

Printing Center

of the Southwest State University,
50 Let Oktyabrya str., 94,
Kursk 305040, Russian Federation

Subscription and distribution:

the journal is distributed by subscription.

Subscription index 44288
in the General Catalogue “Pressa Rossii”

Frequency: Quarterly

Free price

Original lay-out design: O. V. Kofanova

© Southwest State University, 2021



Publications are available in accordance with
the Creative Commons Attribution 4.0 License

Signed for printing 28.05.2021. Format 60x84/8.

Release date 10.06.2021.

Offset paper. Printer's sheets: 17,7.

Circulation 1000 copies. Order 23.

16+

СОДЕРЖАНИЕ

ИНФОРМАЦИОННЫЕ И ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ.....	8
Оригинальные статьи	
Разработка системы автоматического диагноза на наличие антител иммуноглобулинов IgG и IgM SARS-CoV-2	8
<i>Костарев С. Н., Кочетова О. В., Татарникова Н. А., Середа Т. Г.</i>	
Сверточная нейронная сеть для моделей классификаторов медицинского риска с синергетическими каналами	25
<i>Крупчатников Р. А., Медников Д. А., Протасова З. У., Сафронов Р. И., Шаталова О. В., Стадниченко Н. С.</i>	
Анализ стратегий игровых пространств с использованием нейронных сетей	51
<i>Томакова Р. А., Джабраилов В. В., Томаков М. В., Егоров И. С., Реутов Д. К.</i>	
МЕХАТРОНИКА, РОБОТОТЕХНИКА.....	66
Оригинальные статьи	
Использование передаточной функции в низкоэнтропийной форме при проектировании электронных схем	66
<i>Алябьева В. В., Алябьев С. А., Дегтярев С. В., Никулин Д. В., Иванова Е. Н.</i>	
РАСПОЗНАВАНИЕ И ОБРАБОТКА ИЗОБРАЖЕНИЙ.....	76
Оригинальные статьи	
Сегментирование данных в задачах распознавания объектов	76
<i>Дегтярев С. В., Криушин Е. А., Никулин Д. В., Иванова Е. Н.</i>	
СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ И ПРИНЯТИЕ РЕШЕНИЙ.....	87
Оригинальные статьи	
Сокращение расчетов характеристик электронных компонентов на основе системного анализа	87
<i>Алябьев С. А., Алябьева В. В., Дегтярев С. В., Никулин Д. В., Иванова Е. Н.</i>	
Автоматизация рабочего места преподавателя вуза.....	97
<i>Лисицин Л. А., Лисицин А. Л., Халин Ю. А.</i>	
Комплекс дистанционного обнаружения загрязнений поверхности земли несанкционированными объектами размещения отходов	108
<i>Иорданова А. В.</i>	
МОДЕЛИРОВАНИЕ В МЕДИЦИНСКИХ И ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ.....	120
Оригинальные статьи	
Оценка влияния электромагнитных полей радиочастотного диапазона на функциональное состояние и работоспособность операторов на основе технологии мягких вычислений.....	120
<i>Корневский Н. А., Титова А. В., Сурнина А. И.</i>	
Система компьютерного моделирования планировщика задач операционной системы.....	138
<i>Чаплыгин А. А., Петрик Е. А.</i>	
К сведению авторов	152

CONTENT

INFORMATION AND INTELLIGENT SYSTEMS	8
Original articles	
Development of an Automatic Diagnosis System for the Presence of Immunoglobulin IgG and IgM SARS – CoV-2.....	8
<i>Kostarev S. N., Kochetova O. D., Tatarnikova N. A., Sereda T. G.</i>	
Conventional Neural Network for Models of Medical Risk Classifiers with Synergy Channels.....	25
<i>Krupchatnikov R. A., Mednikov D. A., Protasova Z. U., Safronov R. I., Shatalova O. V., Stadnichenko N. S.</i>	
Analysis of Game Space Strategies Using Neural Networks.....	51
<i>Tomakova R. A., Dzhabrailov V. V., Tomakov M. V., Egorov I. S., Reutov D. K.</i>	
MECHATRONICS, ROBOTICS.....	66
Original articles	
Using the Low-Entropic Transfer Function in the Design of Electronic Circuits	66
<i>Alyabyeva V. V., Alyabyev S. A., Degtyarev S. V., Nikulin D. V., Ivanova E. N.</i>	
IMAGE RECOGNITION AND PROCESSING	76
Original articles	
Data Segmentation in Object Recognition Tasks.....	76
<i>Degtyarev S. V., Kriushin E. A., Nikulin D. V., Ivanova E. N.</i>	
SYSTEM ANALYSIS AND DECISION-MAKING	87
Original articles	
Reduction of Calculations of Characteristics of Electronic Components Based on System Analysis	87
<i>Alyabyev S. A., Alyabyeva V. V., Degtyarev S. V., Nikulin D. V., Ivanova E. N.</i>	
Automation of the Workplace of a University Teacher.....	97
<i>Lisitsin L. A., Lisitsin A. L., Khalin Y. A.</i>	
Complex for Remote Detection of Contamination of the Earth's Surface by Unauthorized Waste Disposal Facilities	108
<i>Iordanova A. V.</i>	
MODELING IN MEDICAL AND TECHNICAL SYSTEMS.....	120
Original articles	
Evaluation of the Influence of Electromagnetic Fields of the Radio Frequency Range on the Functional State and Operability of Operators Based on Soft Computing Technology	120
<i>Korenevsky N. A., Titova A. V., Surnina A. I.</i>	
Computer Modeling of the Task Scheduler	138
<i>Chaplygin A. A., Petrik E. A.</i>	
Information for Authors	152

УДК 681.5

Разработка системы автоматического диагноза на наличие антител иммуноглобулинов IgG и IgM SARS-CoV-2

С. Н. Костарев^{1,2} ✉, О. В. Кочетова^{1,3}, Н. А. Татарникова¹, Т. Г. Середа¹

¹ Пермский государственный аграрно-технологический университет имени академика Д. Н. Прянишникова
ул. Петropавловская 23, г. Пермь 614000, Российская Федерация

² Пермский военный институт войск национальной гвардии Российской Федерации
ул. Гремячий лог 1, г. Пермь 614030, Российская Федерация

³ Пермский институт ФСИН России
ул. Карпинского 125, г. Пермь 614012, Российская Федерация

✉ e-mail: iums@dom.raid.ru

Резюме

Цель исследования. SARS-CoV-2 – новое эпидемическое инфекционное заболевание, характеризующееся сравнительно высокой контагиозностью и вероятностью развития жизнеугрожающих осложнений в виде острого респираторного дистресс-синдрома, острой дыхательной и полиорганной недостаточности. Возбудитель заболевания – оболочечный зоонозный РНК-вирус SARS-CoV-2 относится к семейству Coronaviridae, роду Betacoronavirus, как и известные ранее вирусы SARS-CoV и MERS-CoV, которые вызывают тяжелый острый респираторный синдром и ближневосточный респираторный синдром соответственно. Эпидемия SARS-CoV-2 быстро распространилась по всему миру и в настоящее время охватывает 213 стран, в которых зарегистрировано более 1,6 млн заболевших, из которых на данный момент умерло более 90 000 человек. В весенне-летний период 2021 г. прогнозируется третья волна вспышки заболевания коронавирусом SARS-CoV-2. Доступность анализа на наличие антител иммуноглобулинов SARS-CoV-2 позволит своевременно обнаружить заболевание и принять меры к лечению и самоизоляции.

Целью исследования является разработка модуля автоматического диагноза для прибора экспресс-анализатора на наличие антител иммуноглобулинов IgG и IgM SARS-CoV-2.

Методы исследования основываются на общей теории систем, теории конечных автоматов, минимизации логических выражений. В качестве программно-аппаратного комплекса используется программируемый контроллер Omron. Разработан интерфейс оператора-аналитика с использованием CX-Designer. Программирование микроконтроллера выполнено на языке Ladder Diagram (МЭК 61131-3). Наличие контрольного сигнала позволит повысить достоверность анализа. Экспресс-анализатор построен на методике Immunosorbent Assay (ELISA), использующей жидкофазную иммуноферментную среду.

© Костарев С. Н., Кочетова О. В., Татарникова Н. А., Середа Т. Г., 2021

Результаты. Разработано программное обеспечение для проектирования прибора жидкофазного анализатора на наличие антител иммуноглобулинов IgM, IgG SARS-CoV-2 на базе микроконтроллера CP1H Omron. Проведено имитационное моделирование, которое показало правильную логику работы проектируемого прибора и удовлетворительные результаты по постановке предварительного диагноза заболевания.

Заключение. Производство портативных экспресс-анализаторов на наличие антител иммуноглобулинов IgG и IgM SARS-CoV-2 позволит оперативно определять стадию заболевания и будет способствовать своевременной изоляции и лечению.

Ключевые слова: SARS-CoV-2; Omron; Ladder Diagram.

Конфликт интересов: Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.

Для цитирования: Разработка системы автоматического диагноза на наличие антител иммуноглобулинов IgG и IgM SARS-CoV-2 / С. Н. Костарев, О. В. Кочетова, Н. А. Татарникова, Т. Г. Середа // Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Управление, вычислительная техника, информатика. Медицинское приборостроение. 2021. Т. 11, № 2. С. 8–24.

Поступила в редакцию 20.03.2021

Подписана в печать 19.04.2021

Опубликована 28.05.2021

Development of an Automatic Diagnosis System for the Presence of Immunoglobulin IgG and IgM SARS – CoV-2

Sergey N. Kostarev^{1,2} ✉, Oksana D. Kochetova^{1,3}, Natalya A. Tatarnikova¹,
Tatyana G. Sereda¹

¹ Perm State Agrarian and Technological University named after Academician D. N. Pryanishnikov
23 Petropavlovsk str., Perm 614000, Russian Federation

² Perm Military Institute of the National Guard Troops of the Russian Federation
1 Gremyachy Log str., Perm 614030, Russian Federation

³ Perm Institute of the Federal Penitentiary Service of Russia
125 Karpinsky str., Perm 614012, Russian Federation

✉ e-mail: iums@dom.raid.ru

Abstract

Purpose of research. SARS-CoV-2 is a new epidemic infectious disease characterized by a relatively high contagiousness and the likelihood of life-threatening complications in the form of acute respiratory distress syndrome, acute respiratory and multiple organ failure. The causative agent of the disease, the enveloped zoonotic RNA virus SARS-CoV-2, belongs to the Coronaviridae family, the genus Betacoronavirus, as well as the previously known SARS-CoV and MERS-CoV viruses, which cause severe acute respiratory syndrome and Middle East respiratory syndrome, respectively. The COVID-19 epidemic has quickly spread around the world and currently covers 213 countries, in which more than 1.6 million cases have been registered, of which more than 90,000 people have died so far. In the spring-summer period of 2021, the third wave of the SARS-CoV-2 coronavirus outbreak is predicted. The availability of an analysis for the presence of antibodies of immunoglobulin's SARS-CoV-2 will allow timely detection of the disease and take measures for treatment and self-isolation.

The aim of the study is to develop an automatic diagnosis module for the rapid analyzer device for the presence of IgG and IgM SARS-CoV-2 immunoglobulin antibodies.

Methods of research are based on general systems theory, theory of finite automata, and minimization of logical expressions. An Omron programmable controller is used as a hardware and software complex. An operator-analyst interface has been developed using CX-Designer. The microcontroller is programmed in Ladder Diagram language (IEC 61131-3). The presence of a control signal will increase the reliability of the analysis. The express analyzer is based on the immunosorbent assay (ELISA) method using a liquid-phase enzyme immunoassay.

Results. Software has been developed for designing a liquid-phase analyzer device for the presence of immunoglobulin antibodies IgM, IgG SARS – CoV-2 on the basis of the CP1H Omron microcontroller. Simulation modeling was carried out, which showed the correct logic of the designed device and satisfactory results in the formulation of a preliminary diagnosis of the disease.

Conclusion. The production of portable express analyzers for the presence of immunoglobulin IgG and IgM antibodies SARS-CoV-2 will allow to quickly determine the stage of the disease and will contribute to timely isolation and treatment.

Keywords: SARS-CoV-2, Omron, Ladder Diagram.

Conflict of interest: The Authors declare the absence of obvious and potential conflicts of interest related to the publication of this article.

For citation: Kostarev S. N., Kochetova O. D., Tatarnikova N. A., Sereda T. G. Development of an Automatic Diagnosis System for the Presence of Immunoglobulin IgG and IgM SARS – CoV-2. *Izvestiya Yugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Upravlenie, vychislitel'naya tekhnika, informatika. Meditsinskoe priborostroenie* = *Proceedings of the Southwest State University. Series: Control, Computer Engineering, Information Science. Medical Instruments Engineering*. 2021; 11(2): 8–25. (In Russ.)

Received 20.03.2021

Accepted 19.04.2021

Published 28.05.2021

Введение

В связи с высокой вирулентностью коронавируса SARS-CoV-2 (COVID-19) разработка автоматизированных средств диагностики по определению инфицирования является актуальной задачей [1; 2; 3]. В качестве средств индикации инфицирования человека коронавирусом могут выступать прямые методы, например полимеразной цепной реакции, на наличие РНК SARS-CoV-2 [4; 5], выращивание культуры и косвенные методы – на наличие антител в организме, которые можно разделить на твердо- и жидкофазные. К твердофазному методу можно отнести иммунохроматографический метод. Разработка модели прибора экс-

пресс-анализа антигена семейства коронавирусов, использующего твердофазный иммунохроматографический метод, была описана в работах [6; 7; 8; 9]. К жидкофазному методу относится метод, использующей жидкофазную иммуноферментную среду (ИФА), основанный на определении антител, выработанных на внедрение чужеродного антигена [10; 11; 12]. Под антигенами понимаются белки иммуноглобулина, вырабатываемые иммунной системой. На практике для мониторинга наличия антител используется равновесная константа диссоциации K_d (моль/л), показывающая отношение равновесных концентраций

свободного антигена и свободного антитела к комплексу «антиген-антитело» [13]:

$$Kd = \frac{[AG] + [AT]}{[AG \cdot AT]}.$$

Определено пять основных классов иммуноглобулинов: IgM, IgG, IgA, IgD, IgE. Основное внимание в работе уделено иммуноглобулинам IgM и IgG. Иммуноглобулин IgM является индикатором первичной инфекции. При дальнейшем развитии заболевания вырабатывается иммуноглобулин IgG, оказывающий нейтрализующее действие на коронавирус. Совместное наличие иммуноглобулинов IgG и IgM свидетельствует о пассивной стадии болезни. При выздоровлении человека антитела IgM не обнаруживаются, а антитела IgG, наоборот, сохраняются длительное время. Результат анализа на иммуноглобулины определяется по равновесной константе диссоциации Kd .

К универсальным промышленным анализаторам на наличие иммуноглобулинов можно отнести прибор EUROIMMUN Medizinische Labor-diagnostika AG (Seekamp 31, 23560 Lubeck, Germany), выдающий результат в виде коэффициента позитивности, который нуждается в дополнительной расшифровке.

В разрабатываемом приборе заложен контроль пограничного интервала, позволяющий определять положительный или отрицательный диагноз без

привлечения узких специалистов диагностов.

Материалы и методы

Для проектирования системы экспресс-анализа предлагается использовать: программируемый логический контроллер ПЛК CP1H (модуль на 14 точек ввода/вывода, с питанием от источника переменного тока), сенсорный монитор NT-21, блок датчиков определения антител иммуноглобулина IgM, IgG SARS-CoV-2, программные средства: CX-Programmer, CX-Designer и NT-series Support Tool [14; 15].

Методы исследования основываются на общей теории систем, теории конечных автоматов, минимизации логических выражений. В качестве программно-аппаратного комплекса используется программируемый контроллер Omron. Разработан интерфейс оператора-аналитика с использованием CX-Designer. Программирование микроконтроллера выполнено на языке Ladder Diagram (МЭК 61131-3). Наличие контрольного сигнала позволит повысить достоверность анализа. Экспресс-анализатор построен на методике Immunosorbent Assay (ELISA), использующей жидкофазную иммуноферментную среду.

Результаты и их обсуждение

Построение графа вероятности состояний здоровья человека

Общую модель инфицирования SARS-CoV-2 [16; 17; 18] и протекания

болезни человека можно описать графом состояний и переходов (рис. 1). Модель передачи заболевания человеку на примере Wuhan City была рассмотрена в работах [19; 20; 21]. С учетом вероятности переходов α_{ij} изменения состояний здоровья человека S_n система уравнений Колмогорова в соответствии с граф-схемой (см. рис. 1) примет следующий вид:

$$\begin{aligned}\frac{dS_0(t)}{dt} &= -\alpha_{01}S_0(t), \\ \frac{dS_1(t)}{dt} &= \alpha_{CoV}S_0(t) + \alpha_{01}S_0(t) + \\ &\quad + \alpha_{21}S_2(t) - \alpha_{12}S_2(t), \\ \frac{dS_2(t)}{dt} &= \alpha_{12}S_1(t) - \alpha_{21}S_1(t) - \alpha_{23}S_3(t), \\ \frac{dS_3(t)}{dt} &= \alpha_{23}S_2(t).\end{aligned}\quad (1)$$

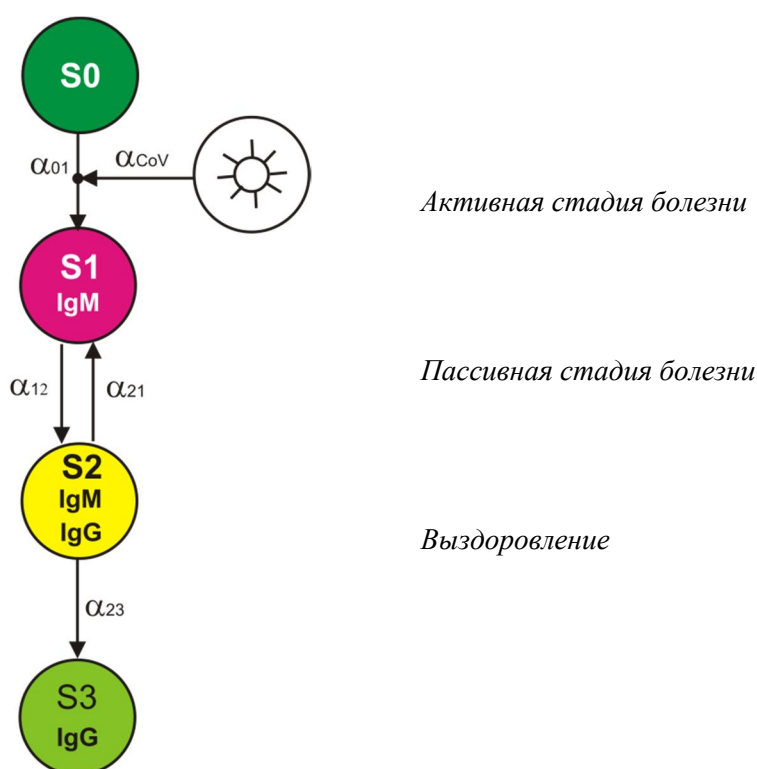


Рис. 1. Граф вероятности состояний S_n и переходов α_{ij} жизнедеятельности человека от наличия иммуноглобулинов IgM, IgG SARS-CoV-2

Fig 1. Probability graph of S_n states and transitions α_{ij} of human health from the presence of immunoglobulins IgM, IgG SARS-CoV-2

Разработка общей схемы прибора

Упрощенная схема проектируемого прибора будет включать 4 основных модуля: модуль M1 – забор биоматериала, модуль M2 – выделение иммуноглобу-

линов, модуль M3 – ввод моноклональных антител, модуль M4 – анализ равновесной константы диссоциации K_d комплекса $[AG \cdot AT]$ иммуноглобулинов IgM, IgG, S0–S3 – состояния исследуемого пациента (рис. 2).

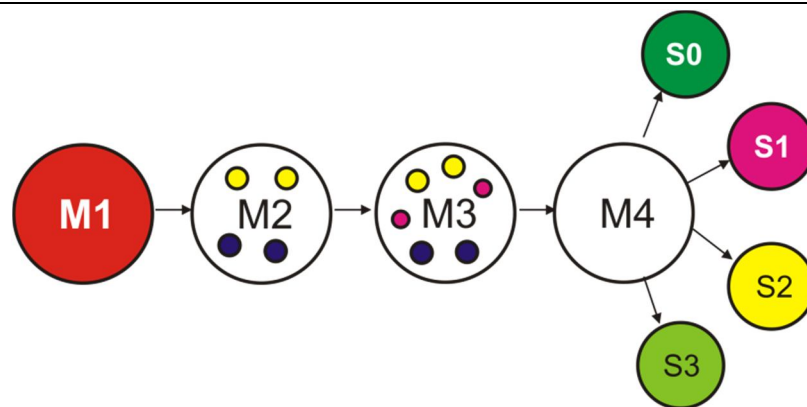


Рис. 2. Упрощенная технологическая карта экспресс-анализатора: модуль 1 – забор венозной крови; модуль 2 – выделение иммуноглобулинов; модуль М3 – ввод моноклональных антител коронавируса; модуль М4 – анализ равновесной константы диссоциации иммуноглобулинов IgM, IgG; S0–S3 – состояния исследуемого пациента

Fig. 2. Simplified flow chart of the express analyzer: module 1 – venous blood sampling; module 2 – isolation of immunoglobulins; module M3 – injection of monoclonal antibodies of coronavirus; module M4 – analysis of the equilibrium dissociation constant of immunoglobulins IgM, IgG; S0–S3 – states of the patient under study

Для получения биоматериала производится забор крови из вены. В качестве индикатора CoV-антител иммуноглобулинов SARS-CoV-2 предлагается использовать коллоидный раствор, содержащий моноклональные антитела с образованием комплекса «антиген-антитело». Для контроля анализа также введен сигнал «С», если анализ проведен верно.

Проектирование прибора по определению антигенов коронавируса

Для разработки системы оперативного мониторинга на основе графа состояний и переходов (см. рис. 1) составим таблицу истинности работы устройства экспресс-анализа на наличие антител иммуноглобулинов IgM и IgG. Ре-

зультат анализа может принять 7 состояний, включающих: отрицательную реакцию (N); положительные реакции: активная фаза болезни (А), пассивная фаза болезни (Р); недостоверный результат анализа (V); сомнительный результат анализа (D), положительная реакция на иммуноглобулин IgG, ранее перенесенное заболевание (R) и референтный (пограничный) интервал коэффициента позитивности IgM (MR). Для построения схемы устройства необходимо задать блоки входных (I:) и выходных (O:) сигналов. Блок ввода-вывода сигналов показан в таблице 1.

В качестве численных значений серологических маркеров инфекций в данной работе приняты для тест-систем SARS-CoV-2- IgM-ИФА-БЕСТ и ARCHI-тест SARS-CoV-2- IgG, Abbott.

Таблица 1. Блок ввода-вывода сигналов**Table 1.** Signal input / output unit

Обозначение/ Designation	Назначение/ Function	Порты/ Ports
m	Наличие иммуноглобулина IgM SARS-CoV-2	I: 0.00
g	Наличие иммуноглобулина IgG SARS-CoV-2	I: 0.01
c	Контроль анализа	I: 0.02
N	Отрицательная реакция	O: 100.00
MR	Референтный интервал IgM (коэффициент позитивности находится в диапазоне 0,8–1,1)	O: 100.06
A	Положительная реакция. Активная фаза болезни	O: 100.01
P	Положительная реакция. Пассивная фаза болезни	O: 100.02
V	Недостовверный результат анализа	O: 100.08
D	Сомнительный результат анализа	O: 100.04
R	Положительная реакция на иммуноглобулин IgG Ранее перенесенное заболевание SARS-CoV-2	O: 100.09
MR, N	Промежуточные сигналы (коэффициент позитивности IgM находится в диапазоне 0 – 1,1)	2.00
MR, R		2.01
Область памяти дан- ных	Оперативная величина IgM	D 200
	Минимальная граница референтного интервала IgM	D 201
	Максимальная граница референтного интервала IgM	D 203

Датчик на антитела IgM может иметь три состояния, отрицательный результат, пограничный и положительный результаты. Для составления таблицы истинности примем, что «0» будет соответствовать коэффициенту позитивности (КР) $IgM < 1,1$ с дальнейшим анализом пограничного и отрицательного результатов (MR, N), а «1» – состоянию КР $IgM \geq$ больше или равным 1,1 – положительный результат (A). Рассмотрим

разработанную таблицу истинности, показывающую отображение множества входных сигналов I (m, g, c) на множество выходных сигналов O (N, MR, A, P, V, D, R) (табл. 2).

Синтез логических уравнений был получен с помощью карт Карно (табл. 3–8).

Анализ сигналов MR,R и MR,N в зависимости от КР IgM опишется граф-схемой (рис. 3).

Таблица 2. Таблица истинности выходных сигналов**Table 2.** Output signals

Датчики / Signals			Диагноз / Diagnostic					
IgM	IgG	C	MR, N	A	P	V	D	MR, R
0	0	0	0	0	0	1	0	0
0	0	1	1	0	0	0	0	0
0	1	0	0	0	0	0	1	1
0	1	1	0	0	0	0	0	1
1	0	0	0	1	0	0	1	0
1	0	1	0	1	0	0	0	0
1	1	0	0	0	1	0	1	0
1	1	1	0	0	1	0	0	0

Таблица 3. Референтный интервал, отрицательная реакция**Table 3.** Intermediate interval. Reaction negative antibody

IgG,C \ IgM	00	01	11	10	Логическое уравнение / Equation logical
0	0	1	0	0	$MR, N = \bar{m} \cdot \bar{g} \cdot c$
1	0	0	0	0	

Таблица 4. Положительная реакция. Активная фаза заболевания**Table 4.** Test positive. Phase of the disease active

IgG,C \ IgM	00	01	11	10	Логическое уравнение / Equation logical
0	0	0	0	0	$A = m \cdot \bar{g}$
1	1	1	0	0	

Таблица 5. Положительная реакция. Пассивная фаза болезни**Table 5.** Test positive. Phase of the disease passive

IgG,C \ IgM	00	01	11	10	Логическое уравнение / Equation logical
0	0	0	0	0	$P = m \cdot g$
1	0	0	1	1	

Таблица 6. Недостоверный результат анализа**Table 6.** Unreasonable test result

IgG,C \ IgM	00	01	11	10	Логическое уравнение / Equation logical
0	1	0	0	0	$V = \overline{m} \cdot \overline{g} \cdot \overline{c}$
1	0	0	0	0	

Таблица 7. Сомнительный результат анализа**Table 7.** Doubtful test result

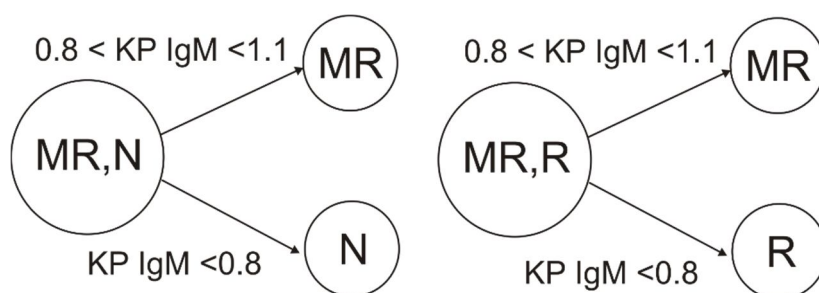
IgG, C \ IgM	00	01	11	10	Логическое уравнение / Equation logical
0	0	0	0	1	$D = \overline{c}(m \vee g)$
1	1	0	0	1	

Таблица 8. Референтный интервал, ранее перенесенное заболевание SARS-CoV-2**Table 8.** Intermediate interval. Past illness

IgG,C \ IgM	00	01	11	10	Логическое уравнение / Equation logical
0	0	0	1	1	$MR, R = \overline{m} \cdot g$
1	0	0	0	0	

Построение релейно-контактных схем произведено в соответствии с МЭК 61131-3. Для построения модели экспресс-анализатора выбран PLC Omron.

Разработка релейно-контактной схемы прибора проведена с использованием CX-Programmer (рис. 4).

**Рис. 3.** Граф-схема сигналов MR,R и MR,N в зависимости от KP IgM**Fig. 3.** Signal diagram MR, R and MR, N from conditions KP IgM

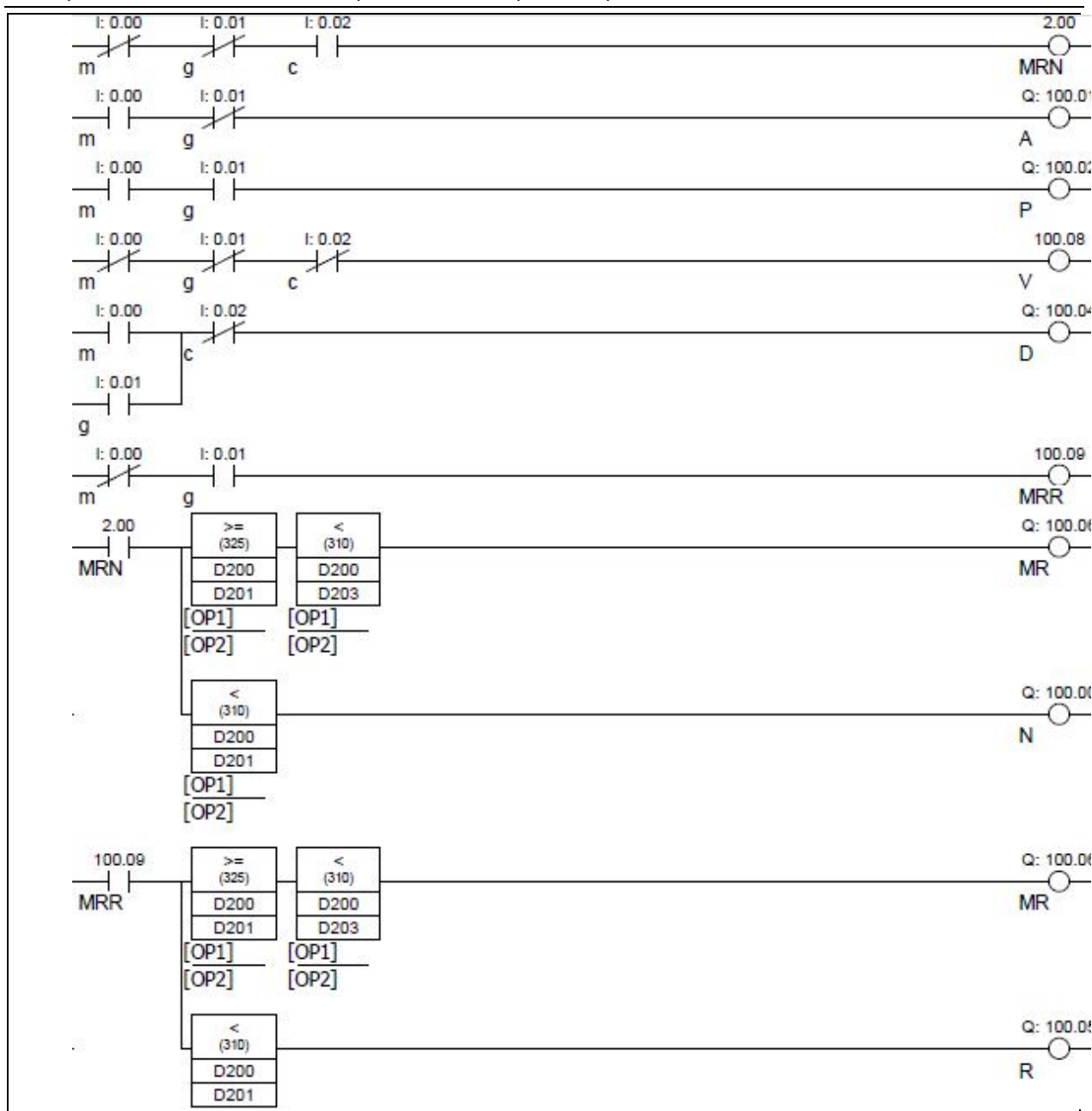


Рис. 4. Фрагмент релейно-контактной схемы

Fig. 4. Fragment of the relay-contact circuit

Разработка сенсорного монитора лаборанта оператора экспресс-анализа выполнена с помощью модуля CX-Designer. Разработанный интерфейс прибора экспресс-анализатора показан ниже (рис. 5).

Для определения диагноза пациента с помощью разработанной программы были использованы результаты исследования на серологические маркеры инфекций, проведенные медицинской лабораторией «KDL-анализы» (рис. 6), и проведена симуляция работы схемы.

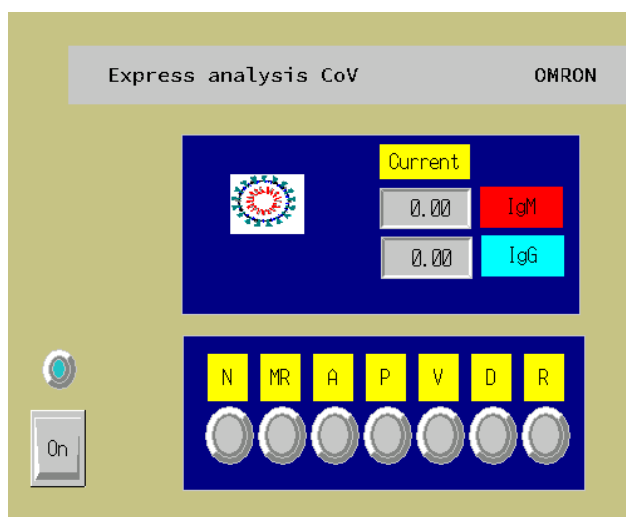


Рис. 5. Структура диалогового окна системы диагностики экспресс-анализа

Fig. 5. The structure of the rapid analysis diagnostic system dialog box

№ направления:	2212416007	дата:	2020-09-01	Фамилия:	Костарев
ЛПУ:	МО Г.Успенского13/Куйбышева63	Имя:	Сергей Николаевич		
В:	0500002344	Дата рождения:	1966-12-17		
Адрес пациента:		Пол:	мужской		

Наименование исследования	Результат	Ед. изм.	Нормальные значения
СЕРОЛОГИЧЕСКИЕ МАРКЕРЫ ИНФЕКЦИЙ			
Антитела IgM к коронавирусу SARS-CoV-2	0.07	КП	
<0,8 - отрицательный результат 0,8-1,1 - пограничный результат >=1,1 - положительный результат Исследование выполнено на тест-системах SARS-CoV-2-IgM-ИФА-БЕСТ, АО Вектор-Бест Выявление антител класса IgM может быть как признаком текущего или недавно перенесенного заболевания, так и проявлением неспецифической реакции иммунитета в связи с другими заболеваниями. При отсутствии симптомов целесообразно провести повторный тест на антитела через 3 недели. При наличии симптомов заболевания необходимо обратиться к врачу. Результаты теста могут быть оценены только с учетом клинических данных и результатов других методов обследования.			
Антитела к коронавирусу (SARS-Cov2), IgG	0.95	Индекс	
<1,4 - Не обнаружены >=1,4 - Обнаружены			

Рис. 6. Результаты исследования на серологические маркеры инфекций, проведенные медицинской лабораторией «KDL-анализы»

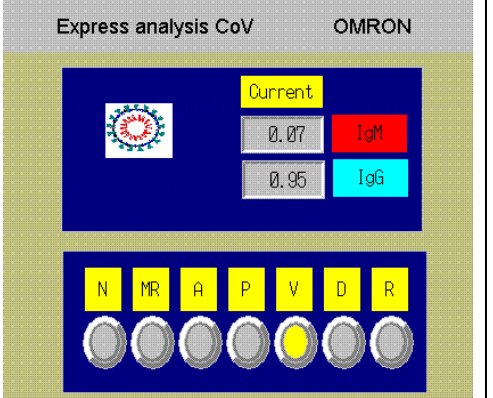
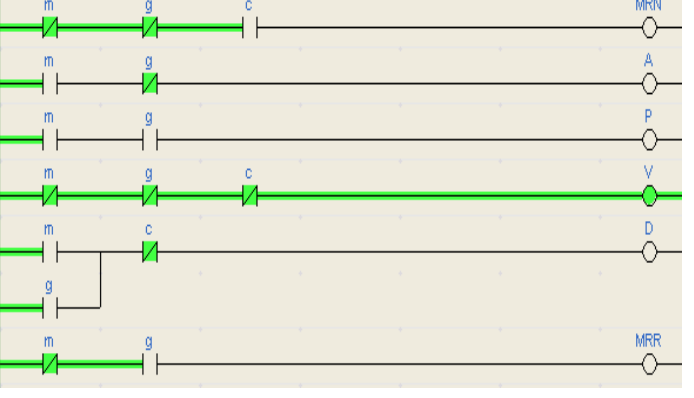
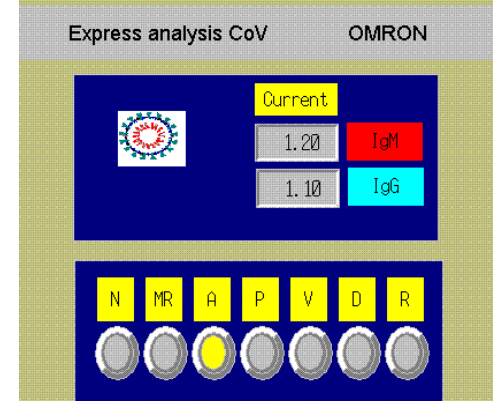
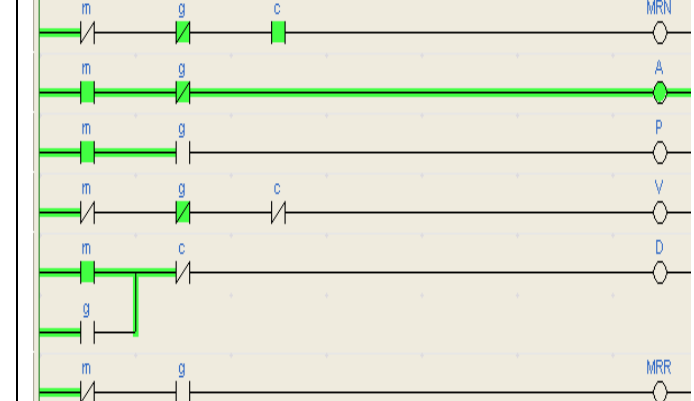
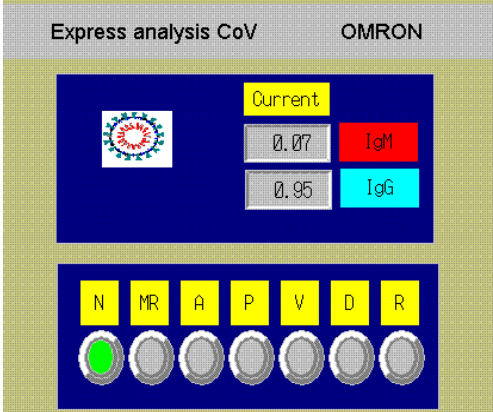
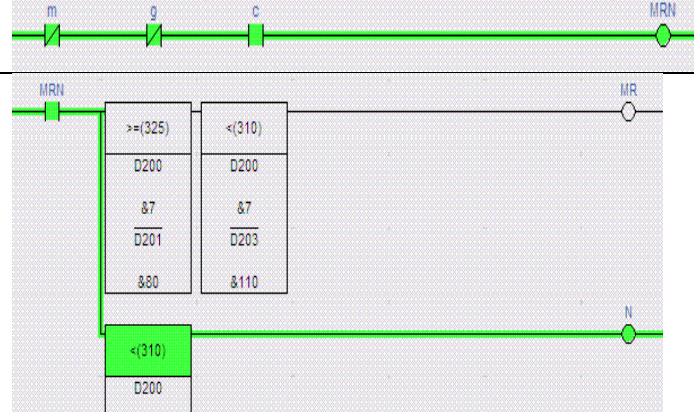
Fig. 6. The results of the study for serological markers of infections, carried out by the medical laboratory "KDL-analyzes"

Описание работы схемы диагностики экспресс-анализа приведено в таблице 9. Позиция 3 таблицы 9, согласно

показателям IgM и IgG (см. рис. 6), показала отрицательную реакцию.

Таблица 9. Описание работы релейно-контактной схемы экспресс-анализа

Table 9. Ladder diagram simulation

Монитор Screen	Релейно-контактная схема Ladder diagram
1. Не активирован сигнал “С”, недостоверный результат анализа	
	
2. Положительная реакция. Активная фаза болезни	
	
3. Отрицательный результат	
	

Выводы

Разработан проект прибора экспресс-анализатора по анализу проб венозной крови человека на наличие антител иммуноглобулинов IgM, IgG. Использование промышленного контроллера OMRON, учитывая его широкое использование в медицине, для проектирования серии приборов по определению антител SARS-CoV-2 экономически це-

лесообразно. Разработана технологическая карта прибора. Проведен анализ и синтез логических уравнений на основе минимизации дизъюнктивной нормальной формы логических выражений. Разработан интерфейс оператора-диагноста с использованием программного обеспечения CX-One. Симуляция работы схемы прибора показала удовлетворительные результаты по определению предварительного диагноза заболевания.

Список литературы

1. Covid-19. Этиология, патогенез, диагностика и лечение / В. П. Баклаушев, С. В. Кулемзин, А. А. Горчаков, Г. М. Юсубалиева, В. Н. Лесняк // Клиническая практика. 2020. Т. 11, № 1. С. 7–19.
2. Comparative therapeutic efficacy of remdesivir and combination lopinavir, ritonavir, and interferon beta against MERS-CoV / T. P. Sheahan [et al.] // Nature Communications. 2020. Vol. 11, N 1. P. 222.
3. Comparative genetic analysis of the novel coronavirus (2019-nCoV/SARS-CoV-2) receptor ACE2 in different populations / Y. Cao [et al.] // Cell Discovery. 2020. Vol. 6, N 1. P. 11.
4. Смирнов И. В. COVID-19 (SARS-COV-2) – от диагностики до вакцины // Лаборатория и производство. 2020. № 3-4 (13). С. 108–117.
5. Масягутова Л. М. Опыт и первые результаты определения антител к SARS-COV-2 // Медицина труда и экология человека. 2020. № 4 (24). С. 153–160.
6. Project design of a device for express analysis for Coronaviridae antigens based on Omron industrial programmable logic controller / S. N Kostarev., O. V. Kochetova, N. A. Tatarnikova, T. G Sereda. // International Journal of Biology and Biomedical Engineering. 2020. Vol. 14. P. 21–32.
7. Разработка автоматизированной системы мониторинга наличия антигенов COV/TU336/F/2008 у служебных собак Росгвардии и ФСИН России / С. Н. Костарев, О. В. Кочетова, Т. Г. Серeda, А. Р. Мельникова // Актуальные проблемы собаководства в правоохранительных структурах-2020: сборник материалов Всероссийской научно-практической конференции / Пермский институт ФСИН России. Пермь, 2020. С. 48–54.

8. Медведева М. Приручить коронавирус // Аргументы и факты. Прикамье. 2021. № 8 (1329). С. 15.
9. Домашний экспресс-тест на «корону»! // Техника-молодёжи. 2021. № 5 (1068). С. 110.
10. Акиншина Ю. А., Марданлы С. С., Киселева В. А. Иммуно-хроматографическая тест-система для дифференцированного выявления антител классов М и G к коронавирусу SARS-COV-2 // Известия ГГТУ. Медицина, фармация. 2020. № 3. С. 12–16.
11. Design study of a brain-dedicated time-of-flight PET system with a hemispherical detector arrangement / S. Takyu [et al.] // Physics in medicine and biology. 2020. Vol. 65, N 3. P. 035012.
12. Detection of 2019 novel coronavirus (2019-nCoV) by real-time RT-PCR / V. M. Corman [et al.] // European communicable disease bulletin. 2020. Vol. 25, N 3. P. 2000045.
13. Большая медицинская энциклопедия / гл. ред. акад. Б. В. Петровский; Акад. мед. наук СССР. 3-е изд. М.: Советская энциклопедия, 1974–1989.
14. Sereda T. G., Tatarnikova N. A. Development of an automated system histology security of food production // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 2019. Vol. 315(3). P. 032003.
15. Creation of the automatic machine of the cell pathology recognizer / S. N. Kostarev, T. G. Sereda, N. A. Tatarnikova, O. V. Kochetova // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 2020. Vol. 421. P. 042003.
16. Comparative therapeutic efficacy of remdesivir and combination lopinavir, ritonavir, and interferon beta against MERS-CoV / T. P. Sheahan [et al.] // Nature Communications. 2020. Vol. 11, N 1. P. 222.
17. Comparative genetic analysis of the novel coronavirus (2019-nCoV/SARS-CoV-2) receptor ACE2 in different populations / Y. Cao [et al.] // Cell Discovery. 2020. Vol. 6, N 1. P. 11.
18. HIV-1 did not contribute to the 2019-nCoV genome / C. Xiao [et al.] // Emerging microbes & infections. 2020. Vol. 9, N 1. P. 378–381.
19. A mathematical model for simulating the phasebased transmissibility of a novel coronavirus / T.-M. Chen [et al.] // Infectious Diseases of Poverty. 2020. Vol. 9(1). P. 24.
20. Genomic characterization of the 2019 novel human-pathogenic coronavirus isolated from a patient with atypical pneumonia after visiting Wuhan / J. F.-W Chan [et al.] // Emerging microbes & infections. 2020. Vol. 9 (1) P. 221–236.

21. Higher glycemic variability within the first day of ICU admission is associated with increased 30-day mortality in ICU patients with sepsis / T.-M. Chen [et al.] // *Annals of Intensive Care*. 2020. Vol. 10, N 1. P. 17.

References

1. Baklaushev V. P., Kulemzin S. V., Gorchakov A. A., Jusubalieva G. M., Lesnjak V. N. Covid-19. Jetiologija, patogenez, diagnostika i lechenie [Etiology, pathogenesis, diagnosis and treatment]. *Klinicheskaja praktika = Clinical Practice*, 2020, vol. 11, no.1, pp. 7–19.

2. Sheahan T. P., eds. Comparative therapeutic efficacy of remdesivir and combination lopinavir, ritonavir, and interferon beta against MERS-CoV. *Nature Communications*, 2020, vol. 11, no.1, p. 222.

3. Cao Y., eds. Comparative genetic analysis of the novel coronavirus (2019-nCoV/SARS-CoV-2) receptor ACE2 in different populations. *Cell Discovery*, 2020, vol. 6, no. 1, p. 11.

4. Smirnov I. V. COVID-19 (SARS-COV-2) - ot diagnostiki do vakciny [SARS-COV-2 From diagnosis to vaccine]. *Laboratoriya i proizvodstvo = Laboratory and Production*, 2020, no. 3-4 (13), pp. 108–117.

5. Masjagutova L. M. Opyt i pervye rezultaty opredelenija antitel k SARS-COV-2 [Experience and first results of determining antibodies to SARS-COV-2]. *Medicina truda i jekologija cheloveka = Labor Medicine and Human Ecology*, 2020, no. 4 (24), pp. 153–160.

6. Kostarev S. N., Kochetova O. V., Tatarnikova N. A., Sereda T. G. Project design of a device for express analysis for Coronaviridae antigens based on Omron industrial programmable logic controller. *International Journal of Biology and Biomedical Engineering*, 2020, vol. 14, pp. 21–32.

7. Kostarev S. N., Kochetova O. V., Sereda T. G., Mel'nikova A. R. [Development of an automated system for monitoring the presence of COV / TU336 / F / 2008 antigens in service dogs of the Russian Guard and the Federal Penitentiary Service of Russia]. Aktual'nye problemy sobakovodstva v pravoohranitel'nyh strukturah – 2020». Sbornik materialov Vserossijskoj nauchno-prakticheskoj konferencii [Actual problems of dog breeding in law enforcement structures-2020. Collection of materials of the All-Russian Scientific and Practical Conference]. *Perm', Perm Institute of the Federal Penitentiary Service of Russia Publ.*, 2020, pp. 48–54. (In Russ.)

8. Medvedeva M. Priruchit' koronavirus [Tame the coronavirus]. *Argumenty i fakty. Prikam'e = Arguments and Facts. Prikamye*, 2021, no. 8(1329), p. 15.

9. Domashnij jekspress-test na «koronu»! [Home express test for the "crown"!], *Tehnika-molodjozhi = Technique of Youth*, 2021, no. 5 (1068), p. 110.

10. Akinshina Yu. A., Mardanly S. S., Kiseleva V. A. Immuno-hromatograficheskaya test-sistema dlya differencirovannogo vyyavleniya antitel klassov M i G k koronavirusu SARS-COV-2 [Immunochromatographic test system for the differentiated detection of antibodies of classes M and G to the SARS-COV-2 coronavirus]. *Izvestiya GGTU. Medicina, farmaciya = Proceedings of the GSTU. Medicine, Pharmacy*, 2020, no. 3, pp. 12–16.
11. Takyu S., eds. Design study of a brain-dedicated time-of-flight PET system with a hemispherical detector arrangement. *Physics in Medicine and Biology*, 2020, vol. 65, no. 3, p. 035012.
12. Corman V. M., eds. Detection of 2019 novel coronavirus (2019-nCoV) by real-time RT-PCR. *European Communicable Disease Bulletin*, 2020, vol. 25, no. 3, p. 2000045.
13. Bol'shaya medicinskaya enciklopediya [Big Medical Encyclopedia]; ed. by B. V. Petrovskij. 3th ed. Moscow, Sovetskay Enciklopediya Publ., 1974–1989.
14. Sereda T. G., Tatarnikova N. A. Development of an automated system histology security of food production. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 2019, vol. 315(3), p. 032003.
15. Kostarev S. N., Sereda T. G., Tatarnikova N. A., Kochetova O. V. Creation of the automatic machine of the cell pathology recognizer. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 2020, vol. 421, p. 042003.
16. Sheahan T.P., eds. Comparative therapeutic efficacy of remdesivir and combination lopinavir, ritonavir, and interferon beta against MERS-CoV. *Nature Communications*, 2020, vol. 11, no 1, p. 222.
17. Cao Y., eds. Comparative genetic analysis of the novel coronavirus (2019-nCoV/SARS-CoV-2) receptor ACE2 in different populations. *Cell Discovery*, 2020, vol. 6, no. 1, p. 11.
18. Xiao C., eds. HIV-1 did not contribute to the 2019-nCoV genome. *Emerging Microbes & Amp; Infections*, 2020, vol. 9, no. 1, pp. 378–381.
19. Chen T.-M., eds. A mathematical model for simulating the phasebased transmissibility of a novel coronavirus. *Infectious Diseases of Poverty*, 2020, vol. 9(1), p. 24.
20. Chan J. F.-W., eds. Genomic characterization of the 2019 novel human-pathogenic coronavirus isolated from a patient with atypical pneumonia after visiting Wuhan. *Emerging Microbes & Amp; Infections*, 2020, vol. 9 (1), pp. 221–236.
21. Chao W.-C., eds. Higher glycemic variability within the first day of ICU admission is associated with increased 30-day mortality in ICU patients with sepsis. *Annals of Intensive Care*, 2020, vol. 10, no. 1, p. 17.

Информация об авторах / Information about the Authors

Костарев Сергей Николаевич, доктор технических наук, профессор кафедры безопасности жизнедеятельности, Пермский государственный аграрно-технологический университет имени академика Д. Н. Прянишникова, профессор кафедры ВМКСиС, Пермский военный институт войск национальной гвардии Российской Федерации, Российская Федерация, e-mail: iums@dom.raid.ru, ORCID: 0000-0002-3097-7037

Кочетова Оксана Валерьевна, доктор ветеринарных наук, профессор кафедры внутренних незаразных болезней, хирургии и акушерства, Пермский государственный аграрно-технологический университет имени академика Д. Н. Прянишникова, профессор кафедры зоотехнии, Пермский институт ФСИН России, Российская Федерация, e-mail: kochetovaox@yandex.ru, ORCID: 0000-0001-6997-9067

Татарникова Наталья Александровна, доктор ветеринарных наук, профессор, заведующий кафедрой инфекционных болезней, Пермский государственный аграрно-технологический университет имени академика Д. Н. Прянишникова, Российская Федерация, e-mail: tatarnikova.n.a@yandex.ru

Серета Татьяна Геннадьевна, доктор технических наук, профессор кафедры безопасности жизнедеятельности, Пермский государственный аграрно-технологический университет имени академика Д. Н. Прянишникова, Российская Федерация, e-mail: iums@dom.raid.ru

Sergey N. Kostarev, Dr. of Sci. (Engineering), Professor of the Department of Life Safety, Perm State Agrarian-Technological University named after Academician D. N. Prianishnikov, Professor of the Department of Computers, Complexes, Systems and Networks, Perm Military Institute of National Guard Troops of the Russian Federation, Russian Federation, e-mail: iums@dom.raid.ru, ORCID: 0000-0002-3097-7037

Oksana V. Kochetova, Dr. of Sci. (Veterinary), Professor of the Department of Internal Non-communicable Diseases, Surgery and Obstetrics, Perm State Agrarian-Technological University named after Academician D. N. Prianishnikov, Professor of the Department of Animal Science, Perm Institute of the FPS of Russia, Russian Federation, e-mail: kochetovaox@yandex.ru, ORCID: 0000-0001-6997-9067

Natalia F. Tatarnikova, Dr. of Sci. (Veterinary), Professor, Head of the Department of Infectious Diseases, Perm State Agrarian-Technological University named after Academician D. N. Prianishnikov, Russian Federation, e-mail: tatarnikova.n.a@yandex.ru

Tatayna G. Sereda, Dr. of Sci. (Engineering), Professor of the Department of Life Safety, Perm State Agrarian-Technological University named after Academician D. N. Prianishnikov, Russian Federation, e-mail: iums@dom.raid.ru

УДК 004.93'12

Сверточная нейронная сеть для моделей классификаторов медицинского риска с синергетическими каналами

Р. А. Крупчатников¹, Д. А. Медников², З. У. Протасова², Р. И. Сафронов¹,
О. В. Шаталова¹ ✉, Н. С. Стадниченко²

¹ Курская государственная сельскохозяйственная академия имени И. И. Иванова
ул. Карла Маркса 70, г. Курск 305021, Российская Федерация

² Юго-Западный государственный университет
ул. 50 лет Октября 94, г. Курск 305040, Российская Федерация

✉ e-mail: Shatolg@mail.ru

Резюме

Цель исследования заключается в повышении качества прогнозирования сердечно-сосудистых рисков путем использования синергетических каналов, формируемых посредством сверточных нейронных сетей.

Методы. Для прогнозирования функционального состояния живых систем предложено дополнить факторы риска сердечно-сосудистых заболеваний виртуальными факторами, учитывающие влияние реальных факторов риска друг на друга. Разработан метод построения сверточной нейронной сети, предназначенной для анализа и классификации изображений, построенных по результатам моделирования синергетических каналов, отличающийся использованием минимальной размерности сверточных фильтров и способов доопределения исходных изображений.

Результаты. Для апробации предложенных метода и модели классификатора была сформирована экспериментальная группа из пациентов с тремя градациями риска ишемической болезни сердца (ИБС) и построен классификатор риска ИБС на основе сверточной нейронной сети по трем градациям. В качестве сопутствующего заболевания, которое может стимулировать синергетический эффект, в данной модели использована вибрационная болезнь, а фактором внешней среды, способствующим синергетическому эффекту, принято электромагнитное поле. В качестве еще двух сегментов факторов риска выбраны традиционные факторы риска ИБС и дескрипторы, определенные на основе электрокардиографических исследований. Учитывая, что в качестве объекта исследования выбраны машинисты локомотивных бригад, в качестве пятого сегмента факторов риска, приводящих к появлению и развитию ИБС, взяты факторы риска, связанные с их профессиональной деятельностью.

Заключение. В ходе экспериментального оценивания и в результате математического моделирования было показано, что при использовании всех факторов риска уверенность в правильном прогнозе ИБС превышает величину 0,8 по всем группам наблюдения и по всем показателям качества классификации. Показатели качества прогнозирования выше, чем у известной системы прогнозирования SCORE, в среднем на 14%.

Ключевые слова: риск сердечно-сосудистого заболевания; сверточная нейронная сеть; синергетический эффект; фактор риска.

© Крупчатников Р. А., Медников Д. А., Протасова З. У., Сафронов Р. И., Шаталова О. В.,
Стадниченко Н. С., 2021

Конфликт интересов: Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.

Финансирование: Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 19-38-90116.

Для цитирования: Сверточная нейронная сеть для моделей классификаторов медицинского риска с синергетическими каналами / Р. А. Крупчатников, Д. А. Медников, З. У. Протасова, Р. И. Сафронов, О. В. Шаталова, Н. С. Стадниченко // Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Управление, вычислительная техника, информатика. Медицинское приборостроение. 2021. Т. 11, № 2. С. 25–50.

Поступила в редакцию 10.03.2021

Подписана в печать 08.04.2021

Опубликована 28.05.2021

Conventional Neural Network for Models of Medical Risk Classifiers with Synergy Channels

Roman A. Krupchatnikov¹, Dmitry A. Mednikov², Zeynab U. Protasova²,
Roman I. Safronov¹, Olga V. Shatalova², Nikita S. Stadnichenko² ✉

¹ Kursk State Agricultural Academy named after I. I. Ivanov
70 Karl Marx str., Kursk 305021, Russian Federation

² Southwest State University
50 Let Oktyabrya str. 94, Kursk 305040, Russian Federation

✉ e-mail: Shatolg@mail.ru

Abstract

The purpose of research is to improve the quality of predicting cardiovascular risks by using synergistic channels formed by convolutional neural networks.

Methods. To predict the functional state of living systems, it is proposed to supplement the risk factors for cardiovascular diseases with virtual factors, taking into account the influence of real risk factors on each other. A method has been developed for constructing a convolutional neural network intended for the analysis and classification of images constructed from the results of modeling synergetic channels, which is characterized by the use of the minimum dimension of convolutional filters and methods for completing the definition of the original images.

Results. To test the proposed method and model of the classifier, an experimental group was formed of patients with three gradations of the risk of coronary heart disease (IHD) and a classifier of IHD risk was built on the basis of a convolutional neural network in three gradations. As a concomitant disease that can stimulate a synergistic effect, this model uses vibration disease, and the electromagnetic field is taken as an environmental factor contributing to the synergistic effect. Traditional coronary heart disease risk factors and descriptors determined on the basis of electrocardiographic studies were selected as two more segments of risk factors. Considering that locomotive crew drivers were selected as the object of the study, risk factors associated with their professional activities were taken as the fifth segment of risk factors leading to the onset and development of coronary heart disease.

Conclusion. In the course of experimental assessment and as a result of mathematical modeling, it was shown that when all risk factors were used, confidence in the correct prognosis of IHD exceeds 0.8 for all observation groups and for all indicators of classification quality. Indicators of forecasting quality are higher than those of the well-known SCORE forecasting system, on average, by 14%.

Keywords: cardiovascular disease risk; convolutional neural network; synergistic effect; risk factor.

Conflict of interest: The Authors declare the absence of obvious and potential conflicts of interest related to the publication of this article.

Funding: The reported study was funded by RFBR, project number 19-38-90116.

For citation: Krupchatnikov R. A., Mednikov D. A., Protasova Z. U., Safronov R. I., Shatalova O. V., Stadnichenko N. S. Conventional Neural Network for Models of Medical Risk Classifiers with Synergy Channels. *Izvestiya Yugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Upravlenie, vychislitel'naya tekhnika, informatika. Meditsinskoe priborostroenie* = *Proceedings of the Southwest State University. Series: Control, Computer Engineering, Information Science. Medical Instruments Engineering*. 2021; 11(2): 25–50. (In Russ.)

Received 10.03.2021

Accepted 08.04.2021

Published 28.05.2021

Введение

Диагностика риска сердечно-сосудистых заболеваний (ССЗ) принадлежит к числу важнейших задач кардиологии [1; 2]. Современные исследования факторов риска (ФР) ССЗ направлены на анализ причинно-следственных связей между отдельным ФР и сердечно-сосудистым риском (ССР). Однако в настоящее время проводятся недостаточно исследований, в которых бы осуществлялся системный подход к оценке влияния совокупности ФР на ССР, а также проводилась бы оценка взаимного влияния ФР на их статус в системах стратификации ССР. Отсутствие таких возможностей не позволяет им обеспечивать надежное предсказание возникновения сердечно-сосудистых катастроф. Поэтому перспективным является не только включение ряда новых ФР в прогностическую модель ССР, но и оценка корреляционных связей между ФР, приводящих к изменению их статуса в интеллектуальной системе поддержки принятия решений (ИСППР) по прогнозированию ССР.

За основу построения ИСППР по прогнозированию ССР взяты мультиагентные информационные системы (МИС) [2; 3; 4; 5], включающие множество автономных интеллектуальных агентов (АИА). Каждый АИА привязан к своему сегменту ФР или их производных. АИА распределены по различным иерархическим уровням с возможностью дублирования принятия решений. Однако, так как АИА структурно связаны с различными ФР и АИА более низкого иерархического уровня, то уверенность в надежности их решений определяется их весами – степенью компетенции (коэффициентами уверенности), которые определяются путем настройки или обучения АИА как в автономном режиме, так и в ансамбле классификаторов.

В качестве базовой модели ИСППР взята диагностическая модель, представленная в работах [6; 7; 8]. Согласно этой модели, ФР ССР группируются в определенные сегменты, которым ставятся в соответствие определенные АИА. На выходе этих АИА имеем частные уве-

ренности в ССР, которые могут использоваться в качестве предикторов ССР классификаторами более высокого уровня. Такая структура классификатора позволяет учитывать синергетический эффект не между отдельными ФР, а между сегментами ФР, что позволяет ослабить влияние взаимосвязей между ФР.

Материалы и методы

Модели синергетических каналов в классификаторах медицинского риска

Известно, что ФР ССЗ часто коррелируют друг с другом, а в некоторых случаях непосредственно влияют друг на друга, что приводит либо к усилению, либо к ослаблению частного риска ССЗ

по данному фактору [2; 3]. Эффект этого влияния может выражаться как в увеличении доли риска, связанного с этим фактором, так и ослаблении сочетанного ФР на риск ССЗ. Этот эффект может наблюдаться как на выходах «слабых» классификаторов, т. е. на результатах классификации риска агентами нижнего иерархического уровня, так и на более высоких иерархических структурах, когда классификация ведется по агрегированным предикторам.

Рассмотрим формальную модель влияния факторов риска друг на друга на примере двух ФР – X_1 и X_2 (рис. 1). В этой модели факторы риска модифицируют друг друга посредством ввода двух функций влияния – $f_1(X_1, X_2)$ и $f_2(X_1, X_2)$.

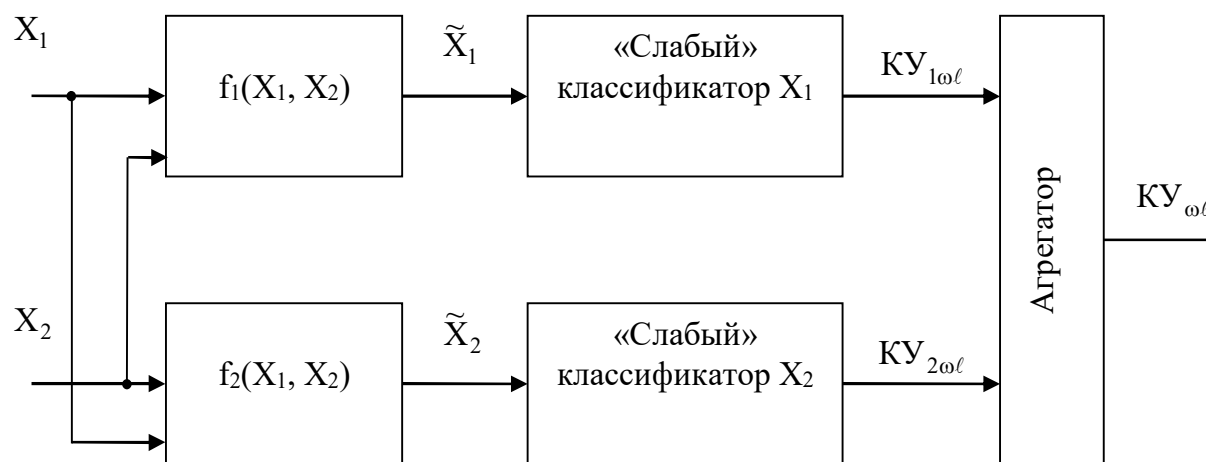


Рис. 1. Схема взаимодействия двух факторов риска в иерархическом классификаторе медицинского риска

Fig. 1. Diagram of the interaction of two risk factors in the hierarchical classifier of medical risk

Несмотря на кажущуюся простоту модели (см. рис. 1), при реализации такой схемы влияния возникает ряд трудностей, связанных с взаимодействием функций

влияния и частных коэффициентов уверенности: это взаимодействие может приводить к изменению величины ФР или к изменению структуры «слабого» классификатора, связанного с этим ФР. Здесь

необходимо решить, оставляем ли мы «слабый» классификатор неизменным, а модифицируем только

$$X \rightarrow \tilde{X}, \quad (1)$$

или модифицируем функцию преобразования «слабого» классификатора, например, представленную на рисунке 2.

Рассмотрим модель влияния на примере линейного «слабого» классификатора, функция преобразования которого представлена ниже (рис. 2).

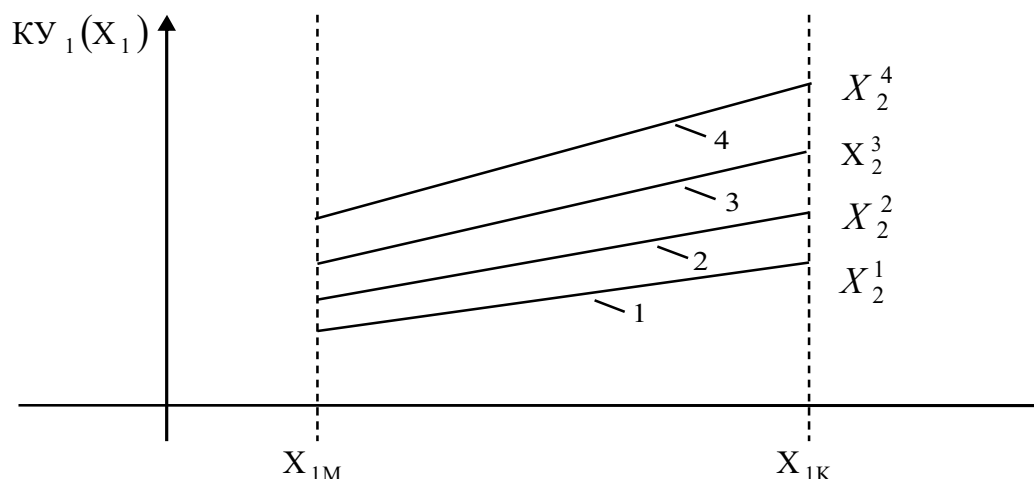


Рис. 2. Графики функций преобразования «слабого» классификатора по фактору риска X_1 при различных значениях фактора риска X_2

Fig. 2. Graphs of the transformation functions of the "weak" classifier by the risk factor X_1 at different values of the risk factor X_2

Полагаем, что динамический диапазон ФР X_1 $[X_{1H}; X_{2K}]$ и частный коэффициент уверенности в риске ССЗ по этому ФР в заданном диапазоне X_1 является линейной функцией

$$KV_1(X_1) = b + kX_1, \quad (2)$$

где b, k – параметры линейной функции.

Если ФР X_2 влияет на правую часть (2), то это влияние математически выражается в замене X_1 на $\tilde{X}$ согласно выражению (1), т. е. в подстановке в (2) вместо X_1 некоторой функции $\tilde{X}_1 = f_1(X_1, X_2)$ или введением в параметры правой части (2) параметра, зависящего от X_2 . Остановимся на первом варианте.

Полагаем, что

$$\tilde{X}_1 = \varphi_1(X_2) \cdot X_1, \quad (3)$$

где φ_1 – функция ФР X_2 , в общем случае нелинейная.

Так как при отсутствии влияния ФР X_2 на ФР X_1 имеет место пропорциональная зависимость между $\tilde{X}_1$ и X_1 с коэффициентом пропорциональности, равным единице, то

$$\varphi_1(X_2) = 1 + \psi_1(X_2). \quad (4)$$

Если $X_2 = 0$, то влияние X_2 на X_1 отсутствует априори, следовательно, $\psi_1(0) = 0$.

Аппроксимируя ψ_1 полиномиальной зависимостью, получим

$$\psi_1(X_2) = a_1X_2 + a_2X_2^2 + a_3X_2^3 + \dots \quad (5)$$

Полагая, что в правой части уравнения (5) не равно нулю значение только первого коэффициента, получим

$$\psi_1(X_2) = a_1X_2, \quad (6)$$

следовательно,

$$\phi_1(X_2) = 1 + a_1X_2. \quad (7)$$

Подставляя (7) в (3), получим

$$\tilde{X}_1 = (1 + a_1 \cdot X_2) \cdot X_1 = X_1 + a_1 \cdot X_1 \cdot X_2. \quad (8)$$

Уравнение (8) показывает, что учет влияния одного ФР на другой ФР приводит к появлению нового предиктора – виртуального ФР (ВФР), в данном случае $a_1X_1X_2$, для которого необходимо построить свой «слабый» классификатор. Понятно, что такой «слабый» классификатор построить весьма сложно на основе экспертных оценок, посредством которых строились «слабые» классификаторы для факторов риска X_1 и X_2 , так как на физическом уровне неизвестно, как взаимодействуют между собой X_1 и

X_2 , а на экспертном уровне неизвестно, какова информационная ценность их произведения.

Используя полученные ВФР и ФР, можем построить обучаемый классификатор, например, обучить нейронную сеть прямого распространения и в процессе обучения определить информативную ценность ВФР. Однако в этом случае необходимо учитывать, что X_1X_2 и X_2X_1 – это разные ВФР, т. е.

$$X_1 \cdot X_2 \neq X_2 \cdot X_1, \quad (9)$$

так как сложные системные связи могут усилить первый ФР за счет второго ФР, и при этом первый ФР не окажет влияние на второй ФР или может влиять на него даже в противоположную сторону. Нейронная сеть прямого распространения не может учесть эти обстоятельства, так как воспринимает произведения в (8) как один предиктор. Выходом из этой ситуации является представление пространства ФР и ВФР в виде изображения с последующей классификацией полученного изображения. Рассмотрим пример матрицы-изображения, сформированной на основе пяти ФР (табл. 1).

Таблица 1. Матрица-изображение, сформированная по пяти факторам риска

Table 1. Image matrix formed by five risk factors

№	1	2	3	4	5
1	X_1	X_1X_2	X_1X_3	X_1X_4	X_1X_5
2	X_2X_1	X_2	X_2X_3	X_2X_4	X_2X_5
3	X_3X_1	X_3X_2	X_3	X_3X_4	X_3X_5
4	X_4X_1	X_4X_2	X_4X_3	X_4	X_4X_5
5	X_5X_1	X_5X_2	X_5X_3	X_5X_4	X_5

Диагональные элементы матрицы – это исходные ФР. Элементы, лежащие выше и ниже диагонали матрицы, отражают значения ВФР, учитывающие влияние ФР друг на друга. Учитывая то обстоятельство, что матрица описывает некоторое изображение, для классификации ССР по дескрипторам, представленным в виде матрицы (см. табл. 1), используем методологию сверточных нейронных сетей [1; 4].

Метод формирования сверточной нейронной сети для классификатора медицинского риска с синергетическими каналами

Свёрточная нейронная сеть (СНС) вместо обычных слоёв использует оператор свёртки. На вход СНС мы отправляем матрицу, соответственно, пространственно близкие пиксели обрабатываются одним оператором свёртки.

Оператор свёртки с ядром $w(i, j), i = 0, \dots, (N - 1), j = 0, \dots, (M - 1)$, получая на вход изображение $I(p, q)$, на выходе формирует матрицу $L(p, q)$:

$$L(p, q) = \sum_{n=0}^{N-1} \sum_{m=0}^{M-1} w(n, m) \cdot I(p + n - N/2, q + m - M/2). \quad (10)$$

В качестве функции активации используем функцию $ReLU$ (рис. 3) и добавим свободный член b для нормализации, т. е. (10) примет вид

$$L1(p, q) = ReLU \left(\sum_{n=0}^{N-1} \sum_{m=0}^{M-1} w(n, m) \cdot I(p + n - N/2, q + m - M/2) + b \right). \quad (11)$$

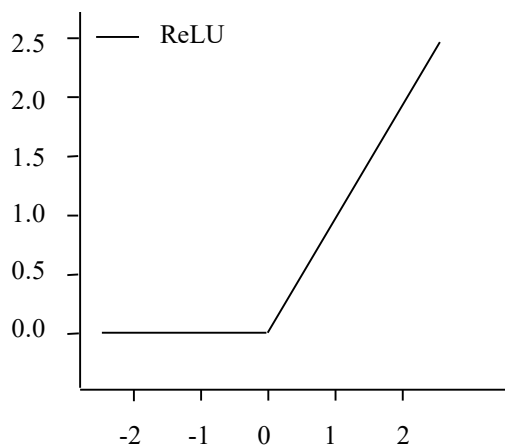


Рис. 3. Графики функции активации ReLU

Fig. 3. Graphs of the ReLU activation function

ReLU, или Rectified Linear Unit, вычисляет функцию $f(x) = \max(0, x)$, т. е. выдаёт значения «ноль» и «не ноль». Это решает проблему обнуления градиента для положительных чисел. Кроме того, ReLU очень просто вычисляется: примерно в шесть раз быстрее сигмоиды и тангенса. Однако в ней отсутствует нулевое центрирование.

В отличие от широко используемых архитектур СНС, в которых размеры маски-фильтра выбираются нечетными, в предлагаемой архитектуре СНС в связи с малоразмерностью изображения (количество сегментов ФР ограничено), выбираем размерность масок-фильтров 2×2 . Размерность изображения существенно не увеличится, даже если мы повысим степень полинома, аппроксимирующего левую часть (5).

Следующее отличие предлагаемой архитектуры СНС заключается в до-

определении матрицы (см. табл. 1). В известных архитектурах СНС для того, чтобы не снизить размерности матриц в сверточных слоях, исходное изображение дополняют нулевыми элементами. Число дополняемых строк и столбцов зависит от размерности маски-фильтра w . Учитывая, что в предлагаемой архитектуре используется маска размером 2×2 , то к исходному изображению необходимо добавить столбец справа и строку снизу.

Если размер исходного изображения $H \times W$, то для осуществления этой процедуры скопируем первый столбец исходного изображения в $(H+1)$ -й столбец исходного изображения, а первую строку – в $(W+1)$ -ю строку исходного изображения. На рисунке 4 представлена матрица исходного изображения, полученная в результате такой процедуры.

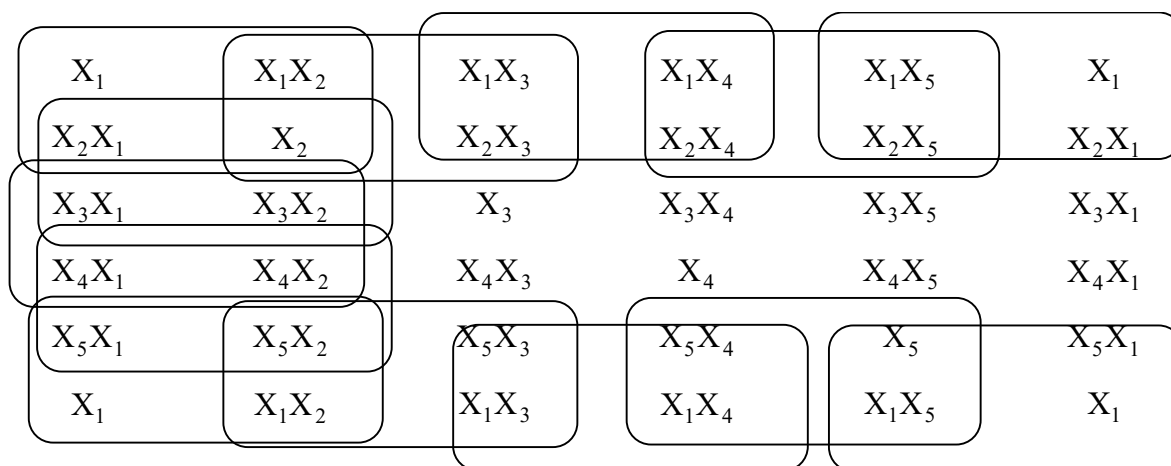


Рис. 4. Матрица исходного изображения после дополнения $(H+1)$ -м столбцом и $(W+1)$ -й строкой

Fig. 4. The matrix of the original image after the addition of the $(H+1)$ - th column and $(W+1)$ - th row

Если мы получаем глубинное изображение сверточного слоя, то его элементами являются суммы элементов матрицы рисунок 5, попавшие в маску-фильтр w , умноженные на соответствующие веса нейронов (веса маски-фильтра), которые одинаковы для всех положений маски-фильтра в пределах одного глубинного изображения. На рисунке 5 возможные положения маски-фильтра

обведены овалом. Веса или коэффициенты масок-фильтров определяются по результатам настройки СНС. Так как, как правило, элементы маски-фильтра несимметричны, то произведения $X_1 \cdot X_2$ и $X_2 \cdot X_1$ будут складываться с разными весами, что и обеспечит условие (9).

За основу СНС возьмем архитектуру СНС, представленную ниже (рис. 5) [9].

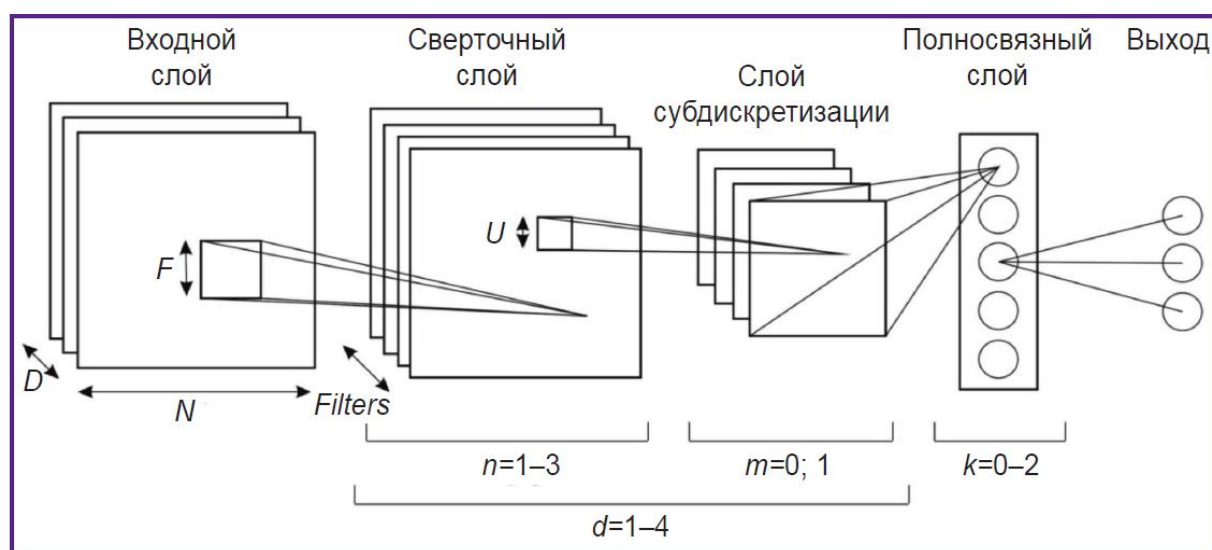


Рис. 5. Исходная архитектура сверточной нейронной сети

Fig. 5. Initial architecture of a convolutional neural network

На рисунке 5 используем следующие обозначения:

D – глубина входного слоя СНС, в нашем случае априори используется один канал, т. е. $D = 1$;

P – количество строк и столбцов, добавляемых к границам слоя, который предшествует сверточному слою, в нашем случае $P=1$;

S – смещение между фильтрами при формировании сигналов нейронов в

слоях свертки и субдискретизации, в нашем случае $S = 2$;

F – размер квадратных фильтров сверточного слоя, в нашем случае $F=2$;

Filters – глубина сверточного слоя (количество фильтров);

U – размер квадратного окна для слоя пулинга (субдискретизации);

Subf – тип функции слоя субдискретизации (max – максимум либо avg – расчет среднего);

К – количество нейронов в полно-связном слое;

С – количество классов в задаче, принадлежность к которым определяется классификатором (для нашей классификации $C=3$, т. е. низкий риск, средний риск, высокий риск).

Синтез СНС начнем с создания базы данных масок-фильтров. Из базы данных задаем начальные значения, а в процессе настройки сети меняем весовые коэффициенты в масках в нужную сторону. Это позволит оптимизировать процесс обучения по сравнению с обучением, при котором весовые коэффициенты в масках задаются случайным образом. В литературе рекомендуется использовать маски-фильтры в сверточных слоях размерами 3×3 , 5×5 и 7×7 .

Учитывая, что СНС строится для каждого сегмента ФР, что обуславливает малую размерность изображения, соответствующего сегменту ФР, в нашей СНС размер фильтров-масок составляет 2×2 . Учитывая требование (8), в качестве весовых коэффициентов выбираем три числа: 1, 0, -1. Это позволит получить $3^4=81$ различных фильтров. На рисунке 6 представлены эти фильтры, развернутые по строкам. Минус единица кодируется цифрой 2, а фильтр с весовыми коэффициентами 0000 не показан. В итоге имеем матрицу с десятью строками и восьмью столбцами. При этом для оптимизации остается восемьдесят фильтров.

Представим фильтры (рис. 6) в виде масок 2×2 (рис. 7), заменив при этом символ «2» числом -1.

0001	0002	0010	0011	0012	0020	0021	0022
0100	0101	0102	0110	0111	0112	0120	0121
0122	0200	0201	0202	0210	0211	0212	0220
0221	0222	1000	1001	1002	1010	1011	1112
1020	1021	1022	1100	1101	1102	1110	1111
1112	1120	1121	1122	1200	1201	1202	1210
1211	1212	1220	1221	1222	2000	2001	2002
2010	2011	2012	2020	2021	2022	2100	2101
2102	2110	2111	2112	2120	2121	2122	2200
2201	2202	2210	2211	2212	2220	2221	2222

Рис. 6. Восемьдесят сверточных фильтров, представленных в виде построчной развертки (минус единица кодируется символом «2»)

Fig. 6. Eighty convolutional filters, represented as a line-by-line scan (minus one is encoded by the symbol "2")

	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	0 0 0 0	0 0	0 0 0 -1	0 0 1 0	0 0 1 1	0 0 1 -1	0 0 -1 0	0 0 -1 1	0 0 -1 -1
2	0 1 0 0	0 1	0 1	0 1	0 1	0 1	0 1	0 1	0 1
3	0 -1 0 0	0 -1	0 -1	0 -1	0 -1	0 -1	0 -1	0 -1	0 -1
4	1 0 0 0	1 0	1 0	1 0	1 0	1 0	1 0	1 0	1 0
5	1 1 0 0	1 1	1 1	1 1	1 1	1 1	1 1	1 1	1 1
6	1 -1 0 0	1 -1	1 -1	1 -1	1 -1	1 -1	1 -1	1 -1	1 -1
7	-1 0 0 0	-1 0	-1 0	-1 0	-1 0	-1 0	-1 0	-1 0	-1 0
8	-1 1 0 0	-1 1	-1 1	-1 1	-1 1	-1 1	-1 1	-1 1	-1 1
9	-1 -1 0 0	-1 -1	-1 -1	-1 -1	-1 -1	-1 -1	-1 -1	-1 -1	-1 -1

Рис. 7. Исходный пул сверточных фильтров

Fig. 7. Source pool of convolutional filters

Рассмотрим исходный пул сверточных фильтров, представленный на рисунке 7, в виде 81 матрицы 2x2. Выделим из него фильтры – повторители, которые имеют только одну единицу, независимо от знака. Это фильтры (1,2); (1,3); (1,4); (1,7); (2,1); (3,1); (4,1); (7,1). Вместо этих фильтров можем оставить

только один фильтр с положительным или отрицательным знаком с учетом того, что предпочтительный знак определяется в процессе обучения СНС.

Кроме этих фильтров, из пула исключим симметричные фильтры, которые отличаются только знаками единиц, входящих в эти фильтры. Это фильтры:

(1,5) и (1,9); (1,6) и (1,8); (2,2) и (3,3);
 (2,3) и (3,2); (2,4) и (3,7); (2,5) и (3,9);
 (2,6) и (3,8); (2,7) и (3,4); (2,8) и (3,6);
 (2,9) и (3,5); (4,2) и (7,3); (4,3) и (7,2);
 (4,5) и (7,9); (4,6) и (7,8); (4,7) и (7,4);
 (4,8) и (7,6); (4,9) и (7,5); (5,2) и (9,3);
 (5,3) и (9,2); (5,4) и (9,7); (5,5) и (9,9);
 (5,6) и (9,8); (5,7) и (9,4); (5,8) и (9,6);
 (5,9) и (9,5); (6,1) и (8,1); (6,2) и (8,3);
 (6,3) и (8,2); (6,4) и (8,7); (6,5) и (8,9);
 (6,6) и (8,8); (6,7) и (8,4); (6,8) и (8,6);
 (6,9) и (8,5).

Из каждой пары представленных фильтров оставляем только один. Кроме

вышеперечисленных фильтров из исходного пула необходимо удалить фильтр (1,1) и эквивалентные фильтры в парах (2,2) и (4,4); (1,5) и (5,1).

Таким образом, имеем окончательный пул масок-фильтров, который можем использовать в качестве начальных значений для весовых коэффициентов сверточной нейронной сети. В итоге получаем 35 фильтров. В таблице 2 представлены эти фильтры в виде мета матрицы, элементами которой они являются.

Таблица 2. Итоговый пул масок-фильтров, используемых в качестве начальных значений для весовых коэффициентов сверточной нейронной сети

Table 2. The final pool of filter masks used as initial values for the weight coefficients of a convolutional neural network

	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	$\begin{bmatrix} 0 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 0 & 0 \\ 1 & 1 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 0 & 0 \\ 1 & -1 \end{bmatrix}$						
2	$\begin{bmatrix} 0 & 1 \\ 0 & 1 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 0 & 1 \\ 0 & -1 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 0 & 1 \\ 1 & 0 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 0 & 1 \\ 1 & 1 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 0 & 1 \\ 1 & -1 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 0 & 1 \\ -1 & 0 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 0 & 1 \\ -1 & 1 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 0 & 1 \\ -1 & -1 \end{bmatrix}$	
3	$\begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & -1 \end{bmatrix}$		$\begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 1 & 1 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 1 & -1 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 1 & 0 \\ -1 & 0 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 1 & 0 \\ -1 & 1 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 1 & 0 \\ -1 & -1 \end{bmatrix}$	
4		$\begin{bmatrix} 1 & 1 \\ 0 & 1 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 1 & 1 \\ 0 & -1 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 1 & 1 \\ 1 & 0 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 1 & 1 \\ 1 & 1 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 1 & 1 \\ 1 & -1 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 1 & 1 \\ -1 & 0 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 1 & 1 \\ -1 & 1 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 1 & 1 \\ -1 & -1 \end{bmatrix}$
5	$\begin{bmatrix} 1 & -1 \\ 0 & 0 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 1 & -1 \\ 0 & 1 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 1 & -1 \\ 0 & -1 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 1 & -1 \\ 1 & 0 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 1 & -1 \\ 1 & 1 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 1 & -1 \\ 1 & -1 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 1 & -1 \\ -1 & 0 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 1 & -1 \\ -1 & 1 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 1 & -1 \\ -1 & -1 \end{bmatrix}$

Метод построения СНС осуществляется посредством выполнения следующих процедур.

Процедура построения классификатора, использующего технологии СНС, неформализованна. Для решения большинства прикладных задач классификации с помощью СНС используются достаточно простые подходы к формированию архитектуры классификаторов [10; 11; 12]. Для решения задачи классификации МР нами предложен следующий метод построения классификатора на основе СНС:

1. Задаемся размером входного изображения $W \times H \times 1$. Его размер определяется выбранным числом ФР и порядком полинома, аппроксимирующего функции влияния. В случае, если аппроксимирующая функция является полиномом первой степени, исходное изображение имеет форму квадрата. В любом случае число строк в растре изображения определяется числом выбранных ФР.

2. Создаем базу данных для обучения СНС. Для этого формируем три обучающих выборки: низкий МР, средний риск МР, высокий риск МР. Изображения в обучающих выборках формируются согласно таблице 1.

3. Вычитание среднего. Чтобы избежать смещения данных и сделать их симметричными относительно нуля, из каждого элемента изображения вычитается среднее значение. Это помогает предотвратить ситуации, когда все ис-

ходные числа оказываются только положительными или отрицательными. Операция в $Num\ Py$ выглядит как $X -= \text{pr.mean}(X, \text{axis} = 0)$. В частности, при обработке изображений можно вычитать одно значение из всех пикселей (например, $X -= \text{pr.mean}(X)$).

4. Входные данные каждого конкретного значения ФР в обучающих выборках нормализуются в диапазон от 0 до 1 по формуле

$$f(\Phi P_i, \min_i, \max_i) = \frac{\Phi P_i - \min_i}{\max_i - \min_i}, \quad (12)$$

где f – функция нормализации;

ΦP_i – конкретное значение i -го фактора риска;

$\min$ – минимальное значение i -го фактора риска;

$\max$ – максимальное значение i -го фактора риска.

5. Формируем первый сверточный слой. В подобной архитектуре нейронной сети ℓ принимается нечетным числом, т. е. $\ell = 1, 3, \dots, 2a + 1$. Задаем число фильтров *Filters* в сверточном слое. Число фильтров совпадает с числом глубинных изображений в сверточном слое. Задаем F – размер квадратных фильтров сверточного слоя, в нашем случае $F=2$. Доопределяем изображения в обучающих выборках на величину P – количество строк и столбцов, добавляемых к границам слоя, который предшествует сверточному слою, в нашем случае $P=1$. Задаем S – шаг перемещения

маски фильтра при формировании сигналов нейронов в слоях свертки и субдискретизации.

Для карты признаков n введём следующие обозначения: $w_{m,n}^\ell$ – фильтр, применяемый к карте m на слое $\ell - 1$, и b_n^ℓ – добавочное пороговое значение. Для формирования глубинного изображения n для слоя ℓ фильтр-маска $w_{m,n}^\ell$, соответствующий этому изображению, сканирует карту признаков m слоя $\ell - 1$ с шагом $S=1$.

Из матрицы фильтра и матрицы, сформированной из части изображения, над которой маска фильтра зависает, путем операции свертки формируем новый элемент глубинного изображения. Карта признаков n сверточного слоя ℓ будет вычисляться согласно уравнению (10) следующим образом:

$$y_n^\ell = f_\ell \left(y_m^{\ell-1} \otimes w_{m,n}^\ell + b_n^\ell \right), \quad (13)$$

где под оператором $\otimes$ понимается математическая операция двумерной свертки.

После сканирования выводится карта активности фильтров размером $W_2 \times H_2 \times D$, где $W_2 = (W_1 - F + 2P_w)/S$; $H_2 = (H_1 - F + 2P_H)/S$; $D=1$.

6. Слой субдискретизации (пулинга). В свёрточной нейронной сети субдискретизирующий слой ℓ принято принимать чётным числом, т. е. $\ell = 2, 4, \dots, 2a$. Существует два типа пулинга – максимальный (Max Pooling) и

средний (Average Pooling). Максимальный пулинг возвращает максимальное значение из части изображения, покрываемой ядром. Для него определяются два параметра – размер ядра $(M \times N)$ и сдвиг $(D_x \times D_y)$:

$$\begin{aligned} M(p, q, c) = \\ = \max \{ I(i, j, c) \mid i = D_x \cdot p, \dots, (D_x \cdot p + M); \\ j = D_y \cdot q, \dots, (D_y \cdot q + N) \}. \end{aligned} \quad (14)$$

Оператор уменьшает пространственные размеры матрицы в D_x раз по горизонтали и в D_y раз по вертикали.

Разделим m -ю карту признаков $(l-1)$ -го слоя на непересекающиеся блоки размером 2×2 пикселя. Затем просуммируем значения четырёх пикселей в каждом блоке и в результате получим матрицу $y_m^\ell = \{ y_m^\ell(i, j) \}$, элементами которой будут являться соответствующие значения сумм. Таким образом, формула для вычисления значений элементов матрицы будет иметь следующий вид:

$$\begin{aligned} y_m^\ell = y_m^{\ell-1}(2i-1, 2j-1) + y_m^{\ell-1}(2i-1, 2j) + \\ + y_m^{\ell-1}(2i, 2j-1) + y_m^{\ell-1}(2i, 2j). \end{aligned} \quad (15)$$

Фильтр размера 2×2 применяем с шагом 2. Размер $H^\ell \times W^\ell$ карты признаков y_m^ℓ субдискретизирующего слоя ℓ (рис. 8) определяется по формуле

$$H^\ell = \frac{H^{\ell-1}}{2}, W^\ell = \frac{W^{\ell-1}}{2}. \quad (16)$$

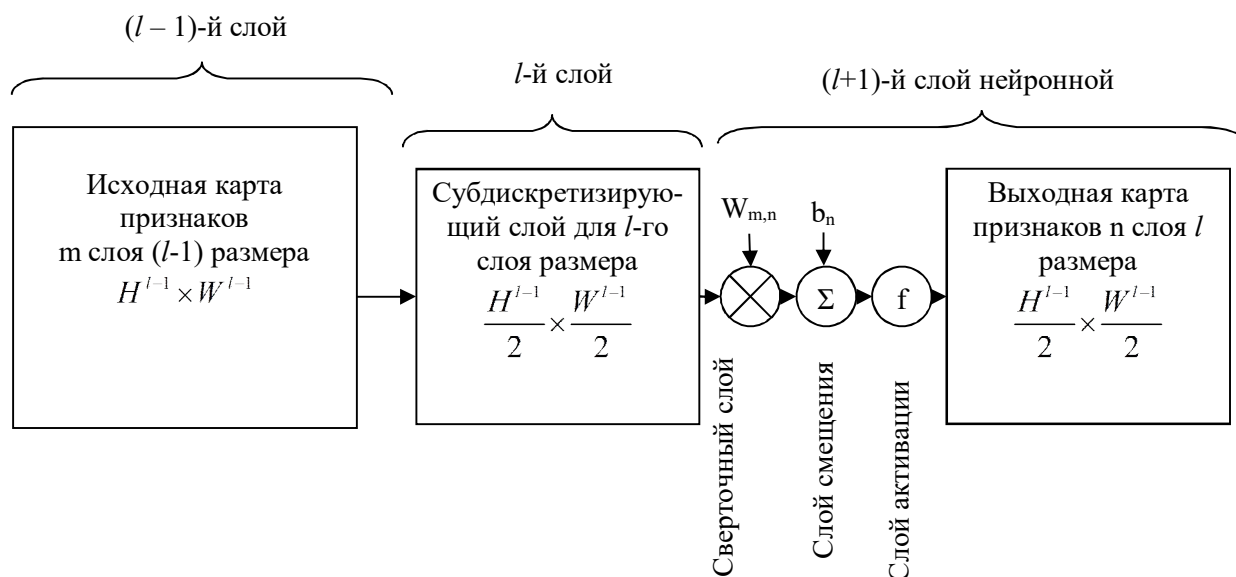


Рис. 8. Схема преобразования данных в слоях сверточной нейронной сети

Fig. 8. Data transformation diagram in convolutional neural network layers

7. Полносвязный слой. Данный слой является одномерным, и в нём каждый нейрон связан с каждым нейроном предыдущего слоя на всех уровнях, если у предыдущего слоя присутствует параметр глубины. Основное назначение данного слоя – преобразование сигналов, полученных из свёрточных уровней сети к одномерному виду, и выделение

признаков на одномерном уровне. Данный слой также может использоваться в качестве последнего (выходного) слоя СНС, результатом которого является вероятность принадлежности входного изображения определённому классу. Схема данного слоя представлена на рисунке 9.

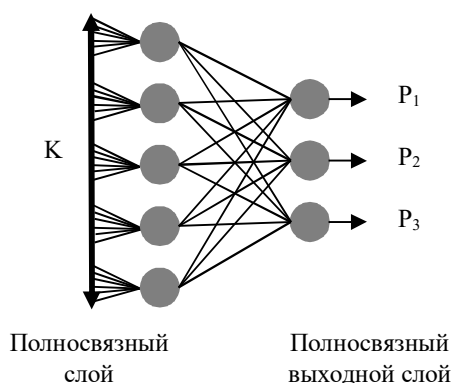


Рис. 9. Два полносвязных слоя свёрточной нейронной сети, один из которых используется в качестве входного слоя

Fig. 9. Two fully connected layers of a convolutional neural network, one of which is used as the input layer

Единственным параметром данного слоя является количество нейронов K . Обычно оно выбирается исходя из размера предыдущего слоя и количества классов (необходимого количества выходов) сети.

Нейроны каждой карты предыдущего подвыборочного слоя связаны с одним нейроном скрытого слоя. Таким образом, число нейронов скрытого слоя

равно числу карт подвыборочного слоя. Перед помещением сигнала на полносвязный слой сигнал преобразуется из двумерных матриц в одномерные векторы. Схема получения этого вектора из матрицы путём записи её элементов построчно в одну строку показана ниже (рис. 10).

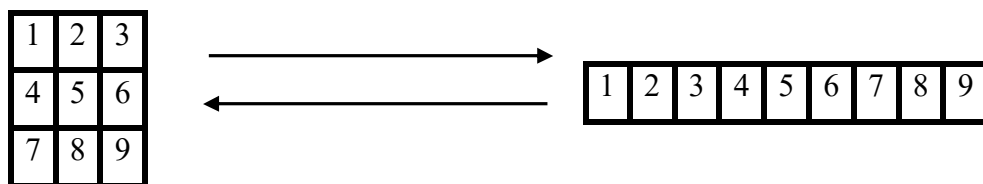


Рис. 10. Преобразованные матрицы в одномерный вектор-строку

Fig. 10. Transformed matrices into a one-dimensional string vector

В полносвязном слое СНС каждый нейрон первого слоя нейронов связан с каждым нейроном второго слоя нейронов (т. е. по принципу «каждый с каждым»). Вычисление значений нейронов второго слоя производится по следующим формулам [13]:

$$z_{2,j} = F(S_{2,j}), j = \overline{1..n}, \quad (17)$$

$$S_{2,j} = \left(\sum_{i=1}^m z_{1i} \cdot \omega_{ij} \right) - T_{2j}, \quad i = \overline{1..m}, \quad (18)$$

где F – значение функции активации от взвешенной суммы $S_{2,j}$;

$z_{1,i}$ и $z_{2,j}$ – значения i -го нейрона первого слоя нейронов и j -го нейрона второго слоя, соответственно;

ω_{ij} – значение связи между i -м нейроном первого слоя нейронов и j -м нейроном второго слоя соответственно;

T_{2j} – значение порога (смещения) j -го нейрона второго слоя.

Рассмотрим пример параметров сверточной сети, полученной согласно вышеописанному методу (табл. 3).

Таблица 3. Параметров сверточной нейронной сети**Table 3.** Convolutional neural network parameters

Тип слоя	Размерность плоскости нейронов	P	S	F/U	K	Filters	AF/Subf
1. Входной	6x6x1	-	-	-	-	-	-
2. Сверточный	6x6x37	1	1	1	-	37	ReLU
3. Пулинг	3x3x37	1	2	1	-	-	Max
4. Сверточный	2x2x37	0	1	1	-	37	ReLU
5. Пулинг	1x1x37	0	0	1	-	-	Max
6. Полносвязный	1x1x37	-	-	-	37	-	Сигмоидная
7. Выходной	1x3	-	-	-	3	-	-

Результаты и их обсуждение

Апробация классификатора МР на основе СНС осуществлялась на оценке риска ишемической болезни сердца (ИБС). Обучающие и контрольные выборки формировались из пациентов, находящихся на лечении в лечебно-профилактических учреждениях г. Курска. Пациенты находились в состоянии ремиссии относительно основного заболевания. Состояние сердечно-сосудистой системы (ССС) оценивалось по стандартным методикам, исходя из наличия оборудования, находящегося в распоряжении медицинского персонала.

Экспериментальная группа формировалась из мужчин и женщин всех возрастов. По результатам экспертной оценки было установлено, что в экспериментальной группе у 37% пациентов имеет место высокий риск ИБС, средний риск – у 33% пациентов, низкий риск – у 30% пациентов. Всего в течение трех лет под наблюдением находилось 380 пациентов.

Все ФР ИБС были сгруппированы в пять сегментов, для каждого из которых получен интегральный фактор риска. В модели прогнозирования риска ИБС в пространстве ФР сегменты выделены таким образом, чтобы посредством экспертной оценки можно было оценить влияние предикторов сегментов на риск ИБС [15; 16]. При выборе пула ФР для прогнозирования риска ИБС исходим из того, что ишемические поражения чаще всего носят системный характер, при котором развитие периферических ишемических осложнений несёт за собой ишемию центральной гемодинамической системы. При этом происходит нелинейное взаимовлияние систем друг на друга, приводящее к взаимоотягощению ишемических процессов, вплоть до летального исхода [7]. Поэтому важен учет синергетического эффекта ФР. В связи с этим в качестве базовой системы прогнозирования риска ИБС была взята диагностическая модель, которая учитывает, что ФР ИБС могут быть не только

определенные биомедицинские показатели, но и уже имеющиеся заболевания или синдромы. В качестве сопутствующего заболевания, которое может стимулировать синергетический эффект, в данной модели использована вибрационная болезнь (ВБ), а фактором внешней среды, способствующим синергетическому эффекту, в данной модели принято электромагнитное поле (ЭП) [17]. В связи с этими обстоятельствами часть экспериментальной группы составляли машинисты электролокомативов, находящиеся на лечении в «РЖД-Медицина» города Курска.

В качестве еще двух сегментов ФР выбраны традиционные факторы риска ИБС (возраст, курение, артериальная гипертензия, сахарный диабет, избыточная масса тела, психосоциальный стресс, отягощенная наследственность) и дескрипторы, определенные на основе электрокардиографических исследований [8].

Учитывая, что в качестве объекта исследования выбраны машинисты локомотивных бригад, в качестве пятого сегмента ФР, приводящих к появлению

и развитию ИБС, взяты ФР, связанные с их профессиональной деятельностью. На экспертном уровне были отобраны: уровень эргономичности (YE); уровень хронической психоэмоциональной напряженности (YPH); уровень хронического утомления (YUH); наличие заболеваний нервной системы, способствующих появлению и развитию ИБС (UNS); уровень загазованности кабины (UZK) [18].

В качестве известного метода прогноза ИБС, по сравнению с которым осуществлялось сопоставление показателей качества прогнозирования, выбрана шкала SCORE [1]. В качестве расчетных показателей качества диагностических решающих правил были выбраны показатели диагностической чувствительности (ДЧ), диагностической специфичности (ДС) и диагностической эффективности (ДЭ) [19].

Результаты работы модели классификатора по прогнозированию ИБС на обучающей выборке с учетом решений на всех иерархических уровнях приведены в таблице 4.

Таблица 4. Экспериментальные данные по прогнозированию ИБС в модели классификатора на СНС

Table 4. Experimental data on the prediction of CHD in the classifier model on the SNA

Обследуемые	Модель полного классификатора		
	высокий риск	средний риск	низкий риск
$n_{\omega_1}^1 = 120$ (высокий риск)	101	19	0
$n_{\omega_1}^2 = 110$ (средний риск)	16	92	2
$n_{\omega_1}^3 = 80$ (низкий риск)	0	15	75
Всего	117	126	77

Показатели качества классификации модели определялись для экспериментальной и контрольной групп. Для оценки эффективности включения в модель классификатора каналов побочных заболеваний и фактора производственной среды контрольная выборка формировалась из профессиональной группы машинистов электролокомотивов, для которых профессиональным заболева-

нием является ВБ, а ФР производственной среды – электромагнитное поле. Показатели качества классификации для этих групп представлены в таблице 5.

Прогноз по этим выборкам на шкале SCORE представлен в таблице 6. При этом полагалось, что высокий ИР соответствует риску по шкале SCORE более 10%, а низкий риск – менее одного процента.

Таблица 5. Показатели качества прогнозирования ИБС на обучающей и контрольной выборках модели классификатора на СНС

Table 5. Indicators of the quality of IHD forecasting on the training and control samples of the classifier model on the SNA

Класс	Обучающая выборка			Контрольная выборка		
	ДЧ	ДС	ДЭ	ДЧ	ДС	ДЭ
$n_{\omega_1}^1$	84%	92%	83,3%	92%	86%	90%
$n_{\omega_1}^2$	83,6%	83%		84%	93%	
$n_{\omega_1}^3$	80%	98%		94%	88%	

Таблица 6. Показатели качества прогнозирования ИБС на обучающей и контрольной выборках по шкале SCORE

Table 6. Indicators of the quality of IHD prediction on the training and control samples on the SCORE scale

Класс	Обучающая выборка			Контрольная выборка		
	ДЧ	ДС	ДЭ	ДЧ	ДС	ДЭ
$n_{\omega_1}^1$	79%	87%	78,5%	80%	90%	79%
$n_{\omega_1}^2$	79%	87%		78%	84%	
$n_{\omega_1}^3$	78%	93%		78%	93%	

Выводы

Итак:

1. Предложена модель формирования синергетических каналов в классификаторах ишемического риска, заключающаяся в учете влияния одного ФР на другой ФР, отличающаяся тем, что это влияние объясняется наличием виртуального предиктора, который описывается функцией влияния и вычисляется на основе полиномиальной аппроксимации попарных зависимостей ФР, входящих в классификатор.

2. Предложена модель данных с синергетическими каналами в виде квадратной матрицы-изображения, на диагонали которой размещены факторы риска, а вне диагональные элементы являются виртуальными факторами риска, полученными на основе модели формирования синергетических каналов.

3. Разработан метод построения сверточной нейронной сети, предназначенной для анализа и классификации изображений, построенных по результатам моделирования синергетических каналов, отличающийся использованием минимальной размерности сверточных фильтров и способов доопределения исходных изображений.

4. Проведены экспериментальные исследования предложенной модели классификатора на оценке риска ИБС. В ходе экспериментального оценивания и в результате математического моделирования было показано, что при использовании всех ФР уверенность в правильном прогнозе ИБС превышает величину 0,8 по всем группам наблюдения и по всем показателям качества классификации. Показатели качества прогнозирования выше, чем у известной системы прогнозирования SCORE, в среднем на 14%.

Список литературы

1. Прогностические факторы развития сердечно-сосудистых осложнений во время аномальной жары 2010 г. (кагорное наблюдательное исследование) / М. Д. Смирнова, Т. В. Фофанова, Ф. Т. Агеев [и др.] // Кардиологический вестник. 2016. № 11(1). С. 43–51.

2. Гибридные нечеткие модели для прогнозирования возникновения и осложнений артериальной гипертензии с учетом энергетических характеристик биоактивных точек / М. А. Ефремов, С. А. Филист, О. В. Шаталова [и др.] // Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Управление, вычислительная техника, информатика. Медицинское приборостроение. 2018. Т. 8, № 4 (29). С. 104–119.

3. Использование гибридных нейросетевых моделей для многоагентных систем классификации в гетерогенном пространстве информативных признаков / С. А. Филист,

А. Г. Курочкин, В. В. Жилин [и др.] // Прикаспийский журнал: управление и высокие технологии. Научно-технический журнал. 2015. № 3 (31). С. 85–95.

4. Филист С. А., Томакова Р. А., Зар До Яа Универсальные сетевые модели для задач классификации биомедицинских данных // Известия Юго-Западного государственного университета. 2012. № 4 (43), ч. 2. С. 44–50.

5. Филист С. А., Шаталова О. В., Ефремов М. А. Гибридная нейронная сеть с макрослоями для медицинских приложений // Нейрокомпьютеры. Разработка и применение. 2014. № 6. С. 35–39.

6. Нейросетевые модули с виртуальными потоками для классификации и прогнозирования функционального состояния сложных систем / А. В. Киселев, Т. В. Петрова, С. В. Дегтярев [и др.] // Известия Юго-Западного государственного университета. 2018. Т. 22, № 4. С. 123–134.

7. Прогнозирование и оценка степени тяжести ишемии сердца на основе гибридных нечётких моделей / И. А. Комлев, О. В. Шаталова, С. В. Дегтярев, А. В. Серебровский // Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Управление, вычислительная техника, информатика. Медицинское приборостроение. 2019. Т. 9, № 1 (30). С. 133–145.

8. Модель формирования функциональных систем с учетом менеджмента адаптационного потенциала / С. А. Филист, А. Н. Шуткин, Е. С. Шкатова, С. В. Дегтярев, Д. Ю. Савинов // Биотехносфера. 2018. № 1 (55). С. 32–37.

9. Диагностика патологий по данным видеоэндоскопии с использованием ансамбля сверточных нейронных сетей / С. В. Аксенов, К. А. Костин, А. В. Иванова, J. Liang, А. В. Замятин // Современные технологии в медицине. 2018. № 10 (2). С. 7–19. <https://doi.org/10.17691/stm2018.10.2.01>.

10. Nibali A., He Z., Wollersheim D. Pulmonary nodule classification with deep residual networks // Int J Comput Assist Radiol Surg. 2017. N 12(10). P. 1799–1808. <https://doi.org/10.1007/s11548-017-1605-6>.

11. Tajbakhsh N., Gurudu S. R., Liang J. Automatic polyp detection in colonoscopy videos using an ensemble of convolutional neural networks // IEEE 12th International Symposium on Biomedical Imaging (ISBI), 2015. <https://doi.org/10.1109/isbi.2015.7163821>.

12. LeCun Y., Kavukcuoglu K., Farabet C. Convolutional networks and applications in vision // Proceedings of 2010 IEEE International Symposium on Circuits and Systems, 2010. <https://doi.org/10.1109/iscas.2010.5537907>.

13. Созыкин А. В. Обзор методов обучения глубоких нейронных сетей // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Вычислительная математика и информатика. 2017. Т. 6, № 3. С. 28–59. <https://doi.org/10.14529/cmse170303>.
14. Бредихин А. И. Алгоритмы обучения сверточных нейронных сетей // Вестник Югорского государственного университета. 2019. Вып. 1 (52). С. 41–54.
15. Хронические неинфекционные заболевания: эффекты сочетанного влияния факторов риска / О. С. Кобякова, И. А. Деев, Е. С. Куликов, Е. А. Старовойтова, Р. Д. Малых, М. А. Балаганская, Т. А. Загрова // Профилактическая медицина. 2019. № 22(2). С. 45–50.
16. Li K., Hüsing A., Kaaks R. Lifestyle risk factors and residual life expectancy at age 40: a German cohort study // BMC Medicine. 2014. N 12(1). <https://doi.org/10.1186/1741-7015-12-59>.
17. Белый О. В., Барина Л. Д., Абрамов А. М. Проблемы электромагнитной безопасности на транспорте // Транспорт Российской Федерации. 2018. № 2 (75). С. 71–73.
18. Модели латентных предикторов в интеллектуальных системах прогнозирования состояния живых систем / А. В. Киселев, О. В. Шаталова, З. У. Протасова, С. А. Филист, Н. С. Стадниченко // Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Управление, вычислительная техника, информатика. Медицинское приборостроение. 2020. № 10(1). С. 114–133.
19. Dudchenko A., Ganzinger M., Kopanitsa G. Machine Learning Algorithms in Cardiology Domain: A Systematic Review // The Open Bioinformatics Journal. 2020. N 13. P. 25–40. <https://doi.org/10.2174/1875036202013010025>.

References

1. Smirnova M. D., Fofanova T. V., Ageev F. T., eds. Prognosticheskie faktory razvitiya serdechno-sosudistyh oslozhnenij vo vremya anomal'noj zhary 2010 g. (kagornoe nablyudatel'noe issledovanie) [Predictive factors for the development of cardiovascular complications during the heat wave of 2010 (Cahors observational study)]. *Kardiologicheskij vestnik = Cardiological Bulletin*, 2016, no. 11(1), pp. 43–51.
2. Efremov M. A. , Filist S. A., Shatalova O. V., eds. Gibridnye nechetkie modeli dlya prognozirovaniya vozniknoveniya i oslozhnenij arterial'noj gipertenzii s uchetom energeticheskikh harakteristik bioaktivnyh toчек [Hybrid fuzzy models for predicting the occurrence and complications of arterial hypertension, taking into account the energy

characteristics of bioactive points]. *Izvestiya Yugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Upravlenie, vychislitel'naya tekhnika, informatika. Medicinskoe priborostroenie = Proceedings of the Southwest State University. Series Control, Computer Engineering, Information Science. Medical Instruments Engineering*, 2018, vol. 8, no. 4 (29), pp. 104–119.

3. Filist S. A., Kurochkin A. G., Zhilin V. V., eds. Ispol'zovanie gibridnyh nejrosetevykh modelej dlya mnogoagentnykh sistem klassifikatsii v geterogennom prostranstve informativnykh priznakov [Using hybrid neural network models for multi-agent classification systems in a heterogeneous space of informative features]. *Prikaspijskij zhurnal: upravlenie i vysokie tekhnologii. Nauchno-tekhnicheskij zhurnal = Caspian Journal: Management and High Technologies. Scientific and Technical Journal*, 2015, no. 3 (31), pp. 85–95.

4. Filist S. A., Tomakova R. A., Zar Do Yaa. Universal'nye setevye modeli dlya zadach klassifikatsii biomeditsinskih dannykh [Universal network models for biomedical data classification problems]. *Izvestiya Yugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta = Proceedings of the Southwest State University*, 2012, no 4 (43), pt. 2, pp. 44–50.

5. Filist S. A., Shatalova O. V., Efremov M. A. Gibridnaya nejronnaya set' s makrosloyami dlya medicinskih prilozhenij [Hybrid neural network with macro layers for medical applications]. *Nejrokompyutery. Razrabotka i primenenie = Neurocomputers. Development and Application*, 2014, no. 6, pp. 35–39.

6. Kiselev A. V., Petrova T. V., Degtyarev S. V., eds. Nejrosetevye moduli s virtual'nymi potokami dlya klassifikatsii i prognozirovaniya funktsional'nogo sostoyaniya slozhnykh sistem [Hybrid Deciding Modules with Virtual Streams for Classification and Prediction of Functional State of Complex Systems]. *Izvestiya Yugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta = Proceedings of the Southwest State University*, 2018, vol. 22, no. 4, pp. 123–134.

7. Komlev I. A., Shatalova O. V., Degtyarev S. V., Serebrovsky A. V. Prognozirovaniye i otsenka stepeni tyazhesti ishemii serdtsa na osnove gibridnykh nechetkikh modelei [Prediction and assessment of the severity of heart ischemia on the basis of hybrid fuzzy models]. *Izvestiya Yugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Upravlenie, vychislitel'naya tekhnika, informatika. Medicinskoe priborostroenie = Proceedings of the Southwest State University. Series: Control, Computer Engineering, Information Science. Medical Instruments Engineering*, 2019, vol. 9, no. 1 (30), pp. 133–145.

8. Filist S. A., Shutkin A. N., Shkatova E. S., Degtyarev S. V., Savinov D. Yu. Model' formirovaniya funktsional'nykh sistem s uchetom menedzhmenta adaptatsionnogo potentsiala [Model of the formation of functional systems taking into account the management of adaptive potential]. *Biotekhnosfera = Biotechnosphere*, 2018, no. 1 (55), pp. 32–37.

9. Aksenov S. V., Kostin K. A., Ivanova A. V., Liang J., Zamyatin A. V. Diagnostika patologij po dannym videoendoskopii s ispol'zovaniem ansamblya svertochnyh nejronnyh setej [Diagnosis of pathologies according to video endoscopy using an ensemble of convolutional neural networks]. *Sovremennye tekhnologii v medicine = Modern technologies in medicine*, 2018, no. 10(2), pp. 7–19. <https://doi.org/10.17691/stm2018.10.2.01>
10. Nibali A., He Z., Wollersheim D. Pulmonary nodule classification with deep residual networks. *Int J Comput Assist Radiol Surg*, 2017, no. 12(10), pp. 1799–1808. <https://doi.org/10.1007/s11548-017-1605-6>
11. Tajbakhsh N., Gurudu S. R., Liang J. Automatic polyp detection in colonoscopy videos using an ensemble of convolutional neural networks. IEEE 12th International Symposium on Biomedical Imaging (ISBI), 2015. <https://doi.org/10.1109/isbi.2015.7163821>
12. LeCun Y., Kavukcuoglu K., Farabet C. Convolutional networks and applications in vision. Proceedings of 2010 IEEE International Symposium on Circuits and Systems, 2010. <https://doi.org/10.1109/iscas.2010.5537907>
13. Sozykin A. V. Obzor metodov obucheniya glubokih nejronnyh setej [Overview of methods for training deep neural networks]. *Vestnik Yuzhno-Ural'skogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Vychislitel'naya matematika i informatika = Bulletin of the South Ural State University. Series: Computational Mathematics and Informatics*, 2017, vol. 6, no. 3, pp. 28–59. <https://doi.org/10.14529/cmse170303>
14. Bredihin A. I. Algoritmy obucheniya svertochnyh nejronnyh setej [Convolutional neural network learning algorithms]. *Vestnik Yugorskogo gosudarstvennogo universiteta = Bulletin of the Ugra State University*, 2019, vol. 1 (52), pp. 41–54.
15. Kobyakova O. S., Deev I. A., Kulikov E. S., Starovojtova E. A., Malyh R. D., Balaganskaya M. A., Zagromova T. A. Hronicheskie neinfekcionnye zabolevaniya: efekty sochetannogo vliyaniya faktorov riska [Chronic noncommunicable diseases: effects of the combined influence of risk factors]. *Profilakticheskaya medicina = Preventive Medicine*, 2019, no. 22(2), pp. 45–50.
16. Li K., Hüsing A., Kaaks R. Lifestyle risk factors and residual life expectancy at age 40: a German cohort study. *BMC Medicine*, 2014, no. 12(1). <https://doi.org/10.1186/1741-7015-12-59>
17. Belyj O. V., Barinova L. D., Abramov A. M. Problemy elektromagnitnoj bezopasnosti na transporte [Problems of electromagnetic safety in transport]. *Transport Rossijskoj Federacii = Transport of the Russian Federation*, 2018, no. 2 (75), pp. 71–73.
18. Kiselev A. V., Shatalova O. V., Protasova Z. U., Filist S. A., Stadnichenko N. S. Modeli latentnyh prediktorov v intellektual'nyh sistemah prognozirovaniya sostoyaniya zhivyh system [Latent predictor models in intelligent systems for predicting the state of living

systems]. *Izvestiya Yugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Upravlenie, vychislitel'naya tekhnika, informatika. Medicinskoe priborostroenie* = *Proceedings of the Southwest State University. Series: Control, Computer Engineering, Information Science. Medical Instruments Engineering*, 2020, no. 10(1), pp. 114–133. (In Russ.)

19. Dudchenko A., Ganzinger M., Kopanitsa G. Machine Learning Algorithms in Cardiology Domain: A Systematic Review. *The Open Bioinformatics Journal*, 2020, no. 13, pp. 25–40. <https://doi.org/10.2174/1875036202013010025>

Информация об авторах / Information about the Authors

Крупчатников Роман Анатольевич, доктор
технических наук, профессор кафедры
стандартизации и оборудования перерабатываю-
щих производств, Курская государственная
сельскохозяйственная академия имени
И. И. Иванова, г. Курск, Российская Федерация,
e-mail: roman0406@yandex.ru

Roman A. Krupchatnikov, Dr. of Sci.
(Engineering), Professor of the Department of
Standardization and Equipment for Processing
Industries, Kursk State Agricultural
Academy named after I. I. Ivanov, Kursk,
Russian Federation,
e-mail: roman0406@yandex.ru

Медников Дмитрий Андреевич, аспирант
кафедры биомедицинской инженерии,
Юго-Западный государственный университет,
г. Курск, Российская Федерация,
e-mail: kstu-bmi@yandex.ru

Dmitry A. Mednikov, Post-Graduate Student of
the Biomedical Engineering, Southwest State
University, Kursk, Russian Federation,
e-mail: kstu-bmi@yandex.ru

Протасова Зейнаб Усама, аспирант
кафедры биомедицинской инженерии,
Юго-Западный государственный университет,
г. Курск, Российская Федерация,
e-mail: zeinab.zeidan@yandex.ru

Zeinab U. Protasova, Post-Graduate Student of
the Biomedical Engineering, Southwest State
University, Kursk, Russian Federation,
e-mail: zeinab.zeidan@yandex.ru

Сафронов Руслан Игоревич, кандидат
технических наук, доцент кафедры
электротехники и электроэнергетики, Курская
государственная сельскохозяйственная
академия имени И. И. Иванова,
г. Курск, Российская Федерация,
e-mail: russafronov@yandex.ru

Ruslan I. Safronov, Cand. of Sci. (Engineering),
Associate Professor of the Department of
Electrical Engineering and Electric Power
Engineering, Kursk State Agricultural Academy
named after I. I. Ivanov, Kursk,
Russian Federation,
e-mail: russafronov@yandex.ru

Шаталова Ольга Владимировна, кандидат
технических наук, доцент, Юго-Западный
государственный университет,
г. Курск, Российская Федерация,
e-mail: shatolg@mail.ru

Olga V. Shatalova, Cand. of Sci. (Engineering),
Associate Professor, Southwest State University,
Kursk, Russian Federation,
e-mail: shatolg@mail.ru

Стадниченко Никита Сергеевич, аспирант
кафедры биомедицинской инженерии,
Юго-Западный государственный университет,
г. Курск, Российская Федерация,
e-mail: stadnikita@gmail.com

Nikita S. Stadnichenko, Post-Graduate Student
of the Biomedical Engineering, Southwest State
University, Kursk, Russian Federation,
e-mail: stadnikita@gmail.com

Оригинальная статья / Original article

УДК 004.89

Анализ стратегий игровых пространств с использованием нейронных сетей**Р. А. Томакова¹ ✉, В. В. Джабраилов¹, М. В. Томаков¹,
И. С. Егоров¹, Д. К. Реутов¹**

¹ Юго-Западный государственный университет
ул. 50 лет Октября 94, г. Курск 305040, Российская Федерация

✉ e-mail: rtomakova@mail.ru

Резюме

Цель исследования заключается в разработке методов повышения эффективности работы нейронных сетей для построения систем искусственного интеллекта при анализе игрового пространства.

Методы. В качестве основного метода, используемого в разрабатываемом программном решении, применялся метод глубинного обучения нейронных сетей с подкреплением, основанный на использовании модели проксимальной оптимизации стратегии. В работе применялся специальный плагин ML-Agents для игрового движка Unity. На его основе были использованы готовые среды для обучения агентов, а также разработаны новые, адаптивно изменяющиеся в процессе реализации игры среды для обучения агентов. Представлена схема взаимодействия среды обучения с системой Python API, приведены компоненты, составляющие плагин. Сформирован цикл обучения с подкреплением, который позволяет сформировать порядок различных состояний, возможные действия игрока в соответствующих ситуациях и потенциальные награды, получаемые им в процессе обучения. Цель заключается в максимизации ожидаемого выигрыша, который возможно получить игроку при выполнении всего цикла обучения. Алгоритм проксимальной оптимизации стратегии в плагине ML-Agents реализован через программную библиотеку для машинного обучения Tensor Flow и выполняется в отдельном процессе Python API, который взаимодействует с запущенной сценой Unity посредством внешнего коммуникатора.

Результаты. Показано, что повышение эффективности работы нейронных сетей для последующего обучения искусственного интеллекта достигается, во-первых, за счет использования сверточных нейронных сетей, а во-вторых, за счет расширения функциональных возможностей, с помощью выбора опорной точки формулы.

Заключение. Рассмотрение действий игроков поможет осуществлять разработку программного продукта для анализа игровой стратегии с использованием нейронных сетей, которая автоматически определяет их поведение, направленное на изучение индивидуальных особенностей игрового пространства.

Ключевые слова: нейронные сети; искусственный интеллект; ML-Agents; обучение с подкреплением; оптимизация стратегии; агенты обучения; академия; среда обучения; Unity.

Конфликт интересов: Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.

© Томакова Р. А., Джабраилов В. В., Томаков М. В., Егоров И. С., Реутов Д. К., 2021

Для цитирования: Анализ стратегий игровых пространств с использованием нейронных сетей / Р. А. Томакова, В. В. Джабраилов, М. В. Томаков, И. С. Егоров, Д. К. Реутов // Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Управление, вычислительная техника, информатика. Медицинское приборостроение. 2021. Т. 11, № 2. С. 51–65.

Поступила в редакцию 20.03.2021

Подписана в печать 18.04.2021

Опубликована 28.05.2021

Analysis of Game Space Strategies Using Neural Networks

Rimma A. Tomakova¹ ✉, Vadim V. Dzhabrailov¹, Maxim V. Tomakov¹,
Ilya S. Egorov¹, Dmitry K. Reutov¹

¹ Southwest State University

50 Let Oktyabrya str. 94, Kursk 305040, Russian Federation

✉ e-mail: rtomakova@mail.ru

Abstract

The purpose of the research is to develop methods to improve the efficiency of neural networks for building artificial intelligence systems in the analysis of the game space.

Methods. As the main method used in the developed software solution, the method of deep learning of neural networks with reinforcement, based on the use of a model of proximal strategy optimization, was used. We used a special ML-Agents plugin for the Unity game engine. On its basis, ready-made environments for training agents were used, and new environments for training agents that adaptively change during the implementation of the game were developed. The diagram of the interaction of the learning environment with the Python API system is presented, the components that make up the plugin are shown. A reinforcement learning cycle has been formed, which allows you to form the order of various states, the player's possible actions in relevant situations and the potential rewards he receives in the learning process. The goal is to maximize the expected payoff that a player can get during the entire learning cycle. The proximal strategy optimization algorithm in the ML-Agents plugin is implemented through the Tensor Flow machine learning software library and is executed in a separate Python API process that interacts with the launched Unity scene through an external communicator.

Results. It is shown that an increase in the efficiency of neural networks for the subsequent training of artificial intelligence is achieved, firstly, through the use of ultra-precise neural networks, and secondly, due to the expansion of functional capabilities, by choosing the pivot point of the formula.

Conclusion. Consideration of the actions of players will help to develop a software product for analyzing a game strategy using neural networks, which automatically determines their behavior, aimed at studying the individual characteristics of the game space.

Keywords: neural networks; artificial intelligence; ML-Agents; reinforcement learning; strategy optimization; learning agents; academy; learning environment; Unity.

Conflict of interest: The Authors declare the absence of obvious and potential conflicts of interest related to the publication of this article.

For citation: Tomakova R. A., Dzhabrailov V. V., Tomakov M. V., Egorov I. S., Reutov D. K. Analysis of Game Space Strategies Using Neural Networks. *Izvestiya Yugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Upravlenie,*

Received 20.03.2021

Accepted 18.04.2021

Published 28.05.2021

Введение

В настоящее время разработано большое количество видов нейронных сетей, которые ранее не использовались в игровых приложениях [1; 2; 3].

На сегодняшний день наиболее успешным примером применения нейронных сетей в видеоиграх является искусственный интеллект (ИИ) OpenAI Five, который используется для анализа поведения виртуальных соперников в видеоиграх [4]. Нейронные сети, составляющие основу искусственного интеллекта в OpenAI Five, обучены применительно к 18 игрокам из 119, принимающих участие в этой игре. Однако и при таких ограничениях ИИ успешно побеждает разнообразные команды реальных соперников, принимающих участие в игре.

Обучение нейронных сетей, предназначенных для последующего их использования в видеоиграх, сопряжено с рядом возникающих проблем. Эти проблемы обусловлены тем, что видеоигровая среда достаточно динамична и нетривиальна для обучения нейронной сети и один участник игры во время проведения геймплея не способен сгенерировать необходимый объем информативных признаков о тактике поведения, достаточный для обучения нейронной

сети. В то же время модели ИИ, применяемые для ведения бизнеса или в симуляторах для автопилотов, дают возможность принимать решения в условиях четко установленных ограничений и правил, в отличие от видеоигровых.

Специфика решения такого рода задач также состоит в необходимости обучения алгоритмов обработки информации в условиях малых объемов выборок информативных признаков, поскольку во многих случаях сбор и обработка дополнительных обучающих данных существенно затруднены либо невозможны.

В связи с этим возникает актуальная задача разработки новых алгоритмов и методов, предназначенных для повышения качества обучения нейронных сетей при малом объеме исходных обучающих данных, а также разработки универсальных методов искусственного размножения информативных признаков [5; 6; 7].

Подобные алгоритмы могут быть применены для решения широкого класса задач, возникающих на практике. В настоящее время для решения проблемы обучения алгоритмов с использованием обучающих выборок ограниченного объема в [5; 6; 7] применяют методы генерации и искусственного размножения данных с использованием

стандартных и смешанных непараметрических оценок плотности распределения.

Для прогнозирования состояния поведения игроков в видеоиграх могут быть использованы гибридные модули с виртуальными потоками, которые отражают скрытые системные связи между полученными в результате проведения игры данными и виртуальными данными.

С этой целью в формируемые виртуальные потоки целесообразно вводить

дополнительные информативные признаки, которые несут информацию о скрытых связях между исходными признаками [8; 9]. Скрытые связи определяются аппроксимирующей функцией, построенной по данным, извлеченным из обучающей выборки, на основе вероятностного программирования [10; 11]. Возможная архитектура нейронной сети с виртуальным потоком представлена ниже (рис. 1).

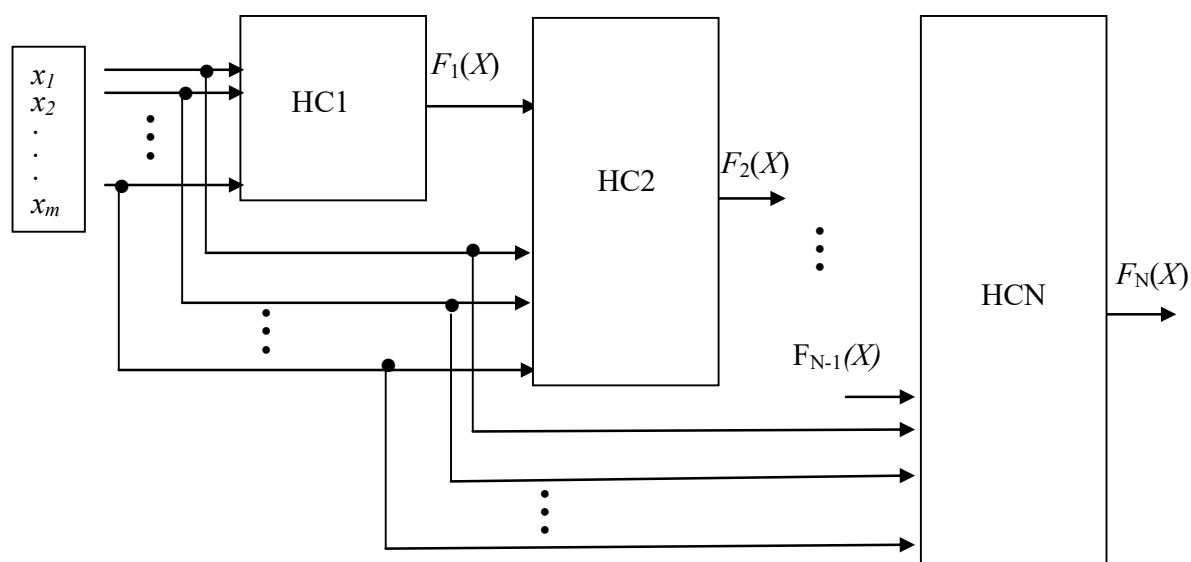


Рис. 1. Архитектура нейронной сети с виртуальными потоками, предназначенная для генерирования данных

Fig. 1. The architecture of a neural network with virtual threads, designed to generate data

При разработке процедур проведения игр следует учитывать большое разнообразие участников, каждый из которых обладает различными личностными предпочтениями, темпераментом, манерой ведения игрового процесса, использованием возможностей, которые представляет геймплей в игровом приложе-

нии [12; 13]. При этом участники с одинаковым игровым опытом и навыком часто используют различные неординарные и сложные игровые приемы, сосредотачивают свое внимание на различных элементах и возможных подходах к геймплею. В этом заключается основная проблема, состоящая в оптималь-

ном формировании игрового пространства и процедур ведения игры с целью организации высокой заинтересованности и наибольшего одновременного привлечения участников игры. Для решения этой проблемы формируются задачи исследований, включающие создание разработчиками стандартов сложности, позволяющие участникам игрового процесса выбирать и анализировать предоставляемые возможные уровни сложности с учетом личностных ориентиров.

Процесс индивидуализации игрового пространства с использованием нейронных сетей может быть построен значительно более гибко. На основе нейронных сетей различной архитектуры появляется возможность установления статистических характеристик и вероятностей выбора решений, агрегирования и кластеризации накопленной информации, полученной в процессе проведения игры, такой как:

- характеристика психологических особенностей индивида (его миролюбивости, импульсивности, агрессивности, уравновешенности и т. д.);
- время реакции игрока на изменение ситуации в игровом пространстве;

– наиболее часто применяемые критерии выбора решений.

Сбор и анализ информации на основании нейронных сетей дает возможность мгновенно менять соответствующие характеристики противников, а также позиции игрового окружения с целью привлечения заинтересованности в процессе ведения игры [9; 10; 11].

Значительная часть игр, используемая в настоящее время, предусматривает возможность выделения небольших ресурсов, приблизительно от 1 до 5% ресурсов процессора, на применение искусственного интеллекта, что существенно тормозит внедрение новых технологий с применением нейронных сетей.

Объект исследования

В качестве объекта исследования использовался специальный плагин ML-Agents, предназначенный для игрового движка Unity, позволяющий создавать новые или использовать готовые среды для обучения агентов [12; 13; 14; 15; 16].

Плагин состоит из трех компонентов (рис. 2).

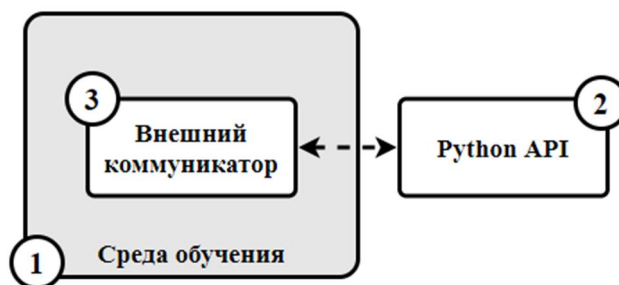


Рис. 2. Схема взаимодействия среды обучения с Python API

Fig. 2. Diagram of interaction between the learning environment and the Python API

Первый блок представляет среду обучения (Learning Environment), которая содержит элементы среды и сцену из Unity.

Второй блок содержит Python API, в котором расположены алгоритмы обучения с подкреплением, например Proximal Policy Optimization и Soft Actor-

Critic. Python API используется для запуска, обучения, тестирования и сохранения с выводом результатов.

Третий блок представляется как внешний коммуникатор, который связывает Python API со средой обучения. При этом среда обучения состоит из компонентов, продемонстрированных ниже (рис. 3).

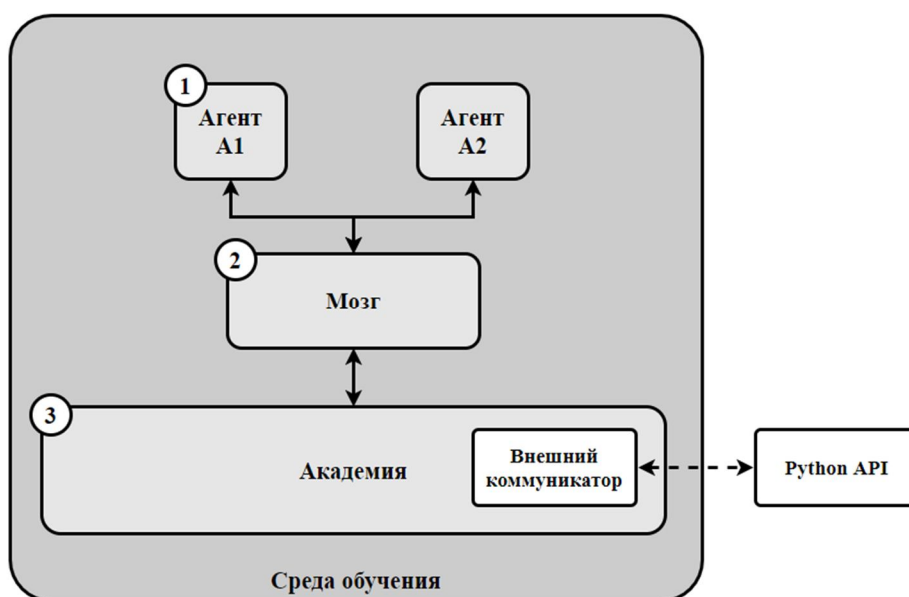


Рис. 3. Схема компонентов ML-Agents

Fig. 3. ML-Agents Component Diagram

Первый компонент представляется как Агент (Agent) – актер сцены, которого необходимо тренировать.

Вторым компонентом выступает блок «Мозг» (Brain) – в него записываются и хранятся всевозможные воздействия, которые следует выполнять в каждом из возможных состояний объекта.

Третий компонент – «Академия» (Academy) – предназначен для процессов обработки запросов от системы

Python API, посылаемых через внешний коммуникатор. Этот компонент выполняет функции управления агентами на сцене, а также процессом принятия решений, посылаемых через мозг агента.

Для достижения поставленных целей требуется воспользоваться процессом RL (Reinforcement Learning, или обучение с подкреплением) [16; 17; 18; 19]. Его функционирование можно представить в виде цикла (рис. 4).

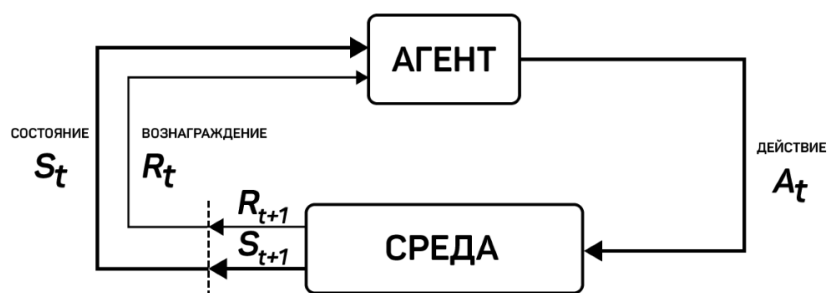


Рис. 4. Схема работы цикла процесса RL

Fig. 4. Scheme of the RL process cycle operation

В том случае, если предположить, что агенту хотелось бы научиться играть в платформер, процесс RL при этом будет содержать следующее:

- агент попадет в новое состояние S_0 из внешней среды, возникающей в первом кадре планируемого платформера;
- руководствуясь текущим состоянием S_0 , агент выполняет произвольное действие A_0 , затем перемещается вправо;
- вследствие выполненных действий среда переходит из состояния S_0 в новое состояние S_1 ;

– за каждый произведенный шаг агент приобретает награду R_1 , при этом успех оценивается $+1$, а неудача -1 . Награду получает агент в том случае, если он смог добраться до окончания уровня.

Данный цикл обучения с подкреплением формирует порядок состояний, действий и награды, используемые для обучения. Цель агента заключается в максимизации ожидаемой суммы наград, полученных при выполнении цикла обучения.

На рисунке 5 представлены взаимодействия элементов среды обучения.



Рис. 5. Описание работы среды обучения

Fig. 5. Description of the learning environment

Следовательно, Академия обеспечивает синхронизацию между агентами и посылает им установки, при этом выполняются процедуры:

- сбор наблюдений в процессе;
- подбор действий в зависимости от заложенных инструкций;
- свершение действия и его завершение;
- анализ действия (если число шагов исчерпывается или цель достигается, то происходит сброс).

Материалы и методы

В основе программного обеспечения для анализа игровой стратегии лежат общие методы и материалы о нейронных сетях и возможностях их применения.

Метод обучения с подкреплением применяется в плагине ML-Agents от компании Unity, для данного способа применяется модель проксимальной оптимизации стратегии (PPO) [19]. PPO применяет нейронную сеть для аппроксимации идеальной функции, что сравнивает наблюдения агента с наилучшими результатами его действий, которыми агент мог бы заняться в текущем состоянии [4; 16; 17]. Алгоритм проксимальной оптимизации стратегии в плагине ML-Agents реализован через программную библиотеку для машинного обучения Tensor Flow от компании Google и выполняется в отдельном процессе Python API, который взаимодействует с запущенной сценой Unity посредством внешнего коммуникатора.

Результаты и их обсуждение

В результате проведенных исследований было разработано программное изделие для анализа игровой стратегии с использованием нейронных сетей.

На первом этапе исследования решалась задача об установлении возможностей обучения искусственной нейронной сети реагировать на объекты в игровых пространствах. Для этого исследователю потребуется сначала оценить сложность существующих уровней – оценить их в виде весовых коэффициентов.

При создании игровых пространств искусственный интеллект дает возможность организовывать для каждого пользователя свои личные уровни, подходящие его приоритетам, игровому опыту и навыку, для того, чтобы предоставить ему гарантированный интересный видеоигровой процесс. В качестве единицы игрового пространства выступает представляемая самодостаточная комната. Схожее возможно заметить в играх жанра «рогастики», такие как, например, The Binding of Isaac.

Искусственный интеллект будет рекомендовать игроку новое игровое пространство с подходящей сложностью, зависящей от методов ведения игры, поведения индивида и сложности текущего уровня [2; 18; 19]. Сложность уровней каждого игрового пространства устанавливается на основании алгоритма, оценивающего соперников, и предметов на текущем уровне (рис. 6).



Рис. 6. Сложности уровней, рекомендуемые в последовательности уровней

Fig. 6. Difficulty levels recommended in the sequence of levels

Наиболее простым шагом в процессе оценки является установление численных значений для соперников или выявления их радиуса и дальности зрения. Значительно сложнее оценивать отыскивающиеся в комнате интерактивные объекты для взаимодействия с игроком (ключи и коллекционные объекты). Именно поэтому целесообразно использовать воспользуемся искусственную нейронную сеть, заменив такой эвристический алгоритм.

Для обучения искусственного интеллекта потребуются необходимые све-

дения [19]. Для систематизации игрового пространства по сложности требуется единица информации, которая представима в виде пары «уровень-сложность». На рисунке 7 приведены возможные оценки сложности уровней. Следует заметить, что анализ состояний любого пространства на основе алгоритма не сможет постоянно формировать множество разумных результатов. Причина заключается в том, что формируемое множество результатов ограничено сверху, поскольку это предусмотрено самим алгоритмом.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
1	N	Game Level Name	Design Intention	Play Style Combat	Play Style Evasive	Puzzle	Play Style Combat	Play Style Evasive	Puzzle
2	1	Level_1	Combat Level	1	1		2	2	
3	2	Level_2	Tutorial Level 1	1	1	o	1	1	o
4	3	Level_3	Tutorial Level 2	1	1	o	1	1	o
5	4	Level_4	Tutorial Level 3	3	2	o	1	1	o
6	5	Level_5	Hard Level	4	4	o	3	5	o
7	6	Level_6	Platform Level	3	3	o	2	3	o
8	7	Level_7	Puzzle Level	2	2	o	2	3	o
9	8	Level_8	Medium Level	1	1	o	2	3	o

Рис. 7. Пример оценки сложности уровней

Fig. 7. An example of assessing the difficulty of levels

С этой целью потребуются предварительно создать геймплейного бота, способствующего успешному прохождению возникающих уровней и позволяющего оценивать сложность игрового пространства по полученным результатам. Однако при этом нельзя повысить скорость игрового процесса до значений, подходящих для обучения. Поэтому понадобится отказаться от данной идеи и вначале делать прохождение человеком.

Как только разметка данных по игровым пространствам будет завершена, понадобится совершить скриншоты экрана сцен Unity с игровым пространством в редакторе, которые далее впоследствии станут версией нового уровня. При этом учитывается, что обучение агента будет проходить с помощью набора предоставленных данных в виде пар «снимок игрового пространства – сложность». Для этого применяются снимки сцен с уровнями, поскольку они в низком разрешении более

различимы, нежели скриншоты в высоком разрешении, другими словами, производительнее с позиции скорости обучения искусственного интеллекта и в качестве поступающих данных для результатов.

Для успешного достижения желаемого результата процесса игры целесообразно использовать сверточные нейронные сети (Convolutional Neural Network, CNN), поскольку они лучше подходят для классификации различных типов изображений (рис. 8). Для оценки возможностей работы этой нейронной сети понадобится выбрать опорную точку, которая выведена заранее. Применение сверточных нейронных сетей позволило получить следующие результаты:

- прогнозирование сложности, основанное на формуле, повысило точность на 42%;
- прогнозирование сложности, основанное на снимках сцен с уровнями из редактора Unity, повысило точность на 62%.

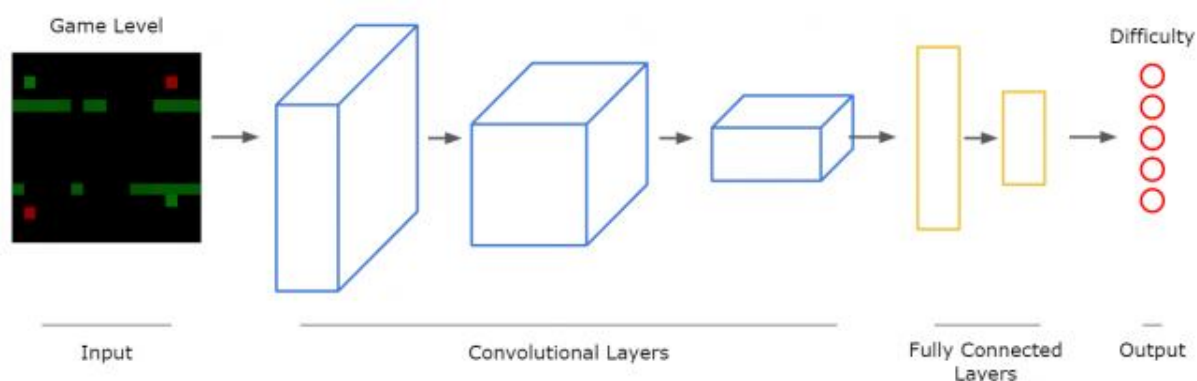


Рис. 8. Прогнозирование посредством CNN

Fig. 8. Forecasting via CNN

При применении обычной модели CNN при прогнозировании сложности, основанный на снимках, точность увеличилась до 20%. Даже при использовании прочих сложных моделей CNN результат сильно не изменился. На результаты отрицательно воздействует лишь возможность небольшого количества данных (всего около 1000 пар).

Выводы

Разработан проект прибора экспресс-анализатора по анализу проб венозной крови человека на наличие антител иммуноглобулинов IgM, IgG. Использование промышленного контрол-

лера OMRON, учитывая его широкое использование в медицине, для проектирования серии приборов по определению антител SARS-CoV-2 экономически целесообразно. Разработана технологическая карта прибора. Проведен анализ и синтез логических уравнений на основе минимизации дизъюнктивной нормальной формы логических выражений. Разработан интерфейс оператора-диагноста с использованием программного обеспечения CX-One. Симуляция работы схемы прибора показала удовлетворительные результаты по определению предварительного диагноза заболевания.

Список литературы

1. Рутковская Д., Рутковский Л., Пилиньский М. Нейронные сети, генетические алгоритмы и нечеткие системы. М.: Горячая линия-Телеком, 2006. 452 с.
2. Методы классификации и прогнозирования. Нейронные сети. URL: https://www.intuit.ru/studies/professional_skill_improvements/1210/courses/6/lecture/178 (дата обращения: 10.02.2021).
3. Перцептроны. URL: <https://neuralnet.info/chapter/перцептроны/> (дата обращения: 10.02.2021).
4. Рышард Т., Барбара Б. Введение в машинное обучение с помощью Python. Руководство для специалистов по работе с данными. М.: Горячая линия-Телеком, 2017. 546 с.
5. Донских А. О., Сирота А. А. Метод искусственного размножения данных в задачах машинного обучения с использованием непараметрических ядерных оценок плотности распределения вероятностей // Вестник Воронежского государственного университета. Серия: Системный анализ и информационные технологии. 2017. № 3. С. 142–155.
6. Многослойные морфологические операторы для сегментации сложноструктурируемых растровых полутоновых изображений / С. А. Филист, А. Р. Дабагов, Р. А. Томакова, Д. С. Кондрашов // Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Управление, вычислительная техника, информатика. Медицинское приборостроение. 2019. Т. 9, № 3 (32). С. 44–63.

7. Томакова Р. А. Насер А. А., Шаталова О. В. Математическое обеспечение распознавания и классификации сложноструктурируемых биологических объектов // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. 2012. № 4. С. 48–49.
8. Клеточные процессоры в классификаторах многоканальных изображений / С. А. Филист, Р. А. Томакова, А. Н. Брежнева, И. А. Малютина, В. А. Алексеев // Радио-промышленность. 2019. № 1. С. 45–52.
9. Универсальные сетевые структуры в задачах классификации многомерных данных / Р. А. Томакова, А. А. Насер, О. В. Шаталова, Е. В. Рудакова // Современные наукоемкие технологии. 2012. № 8. С. 48–49.
10. Рашид Т. Создаем нейронную сеть. М.: Издательский дом «Вильямс», 2018. 435 с.
11. Кан К. А. Нейронные сети. Эволюция. М.: ЛитРес, 2019. 428 с.
12. Plug-inml-agent для unity. URL: <https://habr.com/ru/post/416297/> (дата обращения: 15.02.2021).
13. Unity ML-Agents Toolkit. URL: <https://github.com/Unity-Technologies/ml-agents> (дата обращения: 26.02.2020).
14. AI basedon Unity ML Agents. URL: https://api-2d3d-cad.com/unity_ml_agents_quickstart/ (дата обращения: 07.03.2020).
15. Примеры создания окружения для обучения в ML-Agents URL: https://github.com/Unity-Technologies/ml-agents/blob/release_2_docs/docs/Learning-Environment-Examples.md (дата обращения: 15.02.2021).
16. Создание агентов в ML-Agents. URL: https://github.com/Unity-Technologies/ml-agents/blob/release_2_docs/docs/Learning-Environment-Design-Agents.md (дата обращения: 17.02.2021).
17. Примеры оптимизации агентов в ML-Agents. URL: <https://blogs.unity3d.com/ru/2019/11/11/training-your-agents-7-times-faster-with-ml-agents> (дата обращения: 20.02.2021).
18. Создание окружения в ML-Agents. URL: https://github.com/Unity-Technologies/ml-agents/blob/release_2_docs/docs/Learning-Environment-Create-New.md (дата обращения: 20.02.2021).
19. UnityML-Agents 1.0 – Training your first A.I. URL: https://www.youtube.com/watch?v=_9aPZH6pyA8&ab_channel=Sebastian_Schuchmann (дата обращения: 21.02.2021).

References

1. Rutkovskaya D., Rutkovsky L., Pilinsky M. Neironnye seti, geneticheskie algoritmy i nechetkie sistemy [Neural networks, genetic algorithms and fuzzy systems]. Moscow, Hotline-Telecom Publ., 2006. 452 с.

2. Metody klassifikatsii i prognozirovaniya. Neironnye seti [Classification and forecasting methods. Neural networks]. Available at: https://www.intuit.ru/studies/professional_skill_improvements/1210/courses/6/lecture/178. (accessed 10.02.2021)

3. Perseptrony [Perceptrons]. Available at: <https://neuralnet.info/chapter/персептроны/>. (accessed 10.02.2021)

4. Ryszard T., Barbara B. Vvedenie v mashinnoe obuchenie s pomoshch'yu Python. Rukovodstvo dlya spetsialistov po rabote s dannymi [Introduction to Machine learning using Python. Guide for specialists in working with data]. Moscow, Hotline-Telecom Publ., 2017. 546 p.

5. Donskikh A. O., Sirota A. A. Metod iskusstvennogo razmnzheniya dannykh v zadachakh mashinnogo obucheniya s ispol'zovaniem neparametricheskikh yadernykh otsenok plotnosti raspredeleniya veroyatnostei [The method of artificial reproduction of data in machine learning problems using nonparametric nuclear estimates of the probability distribution density]. *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Sistemnyi analiz i informatsionnye tekhnologii = Bulletin of the Voronezh State University. Series: System Analysis and Information Technologies*, 2017, no. 3. pp. 142–155.

6. Filist S. A., Dabagov A. R., Tomakova R. A., Kondrashov D. S. Metod iskusstvennogo razmnzheniya dannykh v zadachakh mashinnogo obucheniya s ispol'zovaniem neparametricheskikh yadernykh otsenok plotnosti raspredeleniya veroyatnostei [Multilayered morphological operators for segmentation of complex-structured raster semitone images]. *Izvestiya Yugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Upravlenie, vychislitel'naya tekhnika, informatika. Meditsinskoe priborostroenie = Proceedings of the State University. Series: Management, Computer Engineering, Computer Science. Medical Instrumentation*, 2019, vol. 9, no. 3(32), pp. 44–63.

7. Tomakova R. A., Naser A. A., Shatalova O. V. Matematicheskoe obespechenie raspoznavaniya i klassifikatsii slozhnostrukturiruemyykh biologicheskikh ob"ektov [Mathematical support for recognition and classification of complexly structured biological objects]. *Mezhdunarodnyi zhurnal prikladnykh i fundamental'nykh issledovaniy = International Journal of Applied and Functional Research*, 2012, no. 4, pp. 48–49.

8. Filist S. A., Tomakova R. A., Brezhneva A. N., Malyutina I. A., Alekseev V. A. Kletochnye protsessory v klassifikatorakh mnogokanal'nykh izobrazhenii [Cellular processors in classifiers of multichannel images]. *Radiopromyshlennost' = Radio Industry*, 2019, no. 1, pp. 45–52.

9. Tomakova R. A., Naser A. A., Shatalova O. V., Rudakova E. V. Universal'nye setevye struktury v zadachakh klassifikatsii mnogomernykh dannykh [Universal network structures in problems of classification of multidimensional data]. *Sovremennye naukoemkie tekhnologii = Modern High-tech Technologies*, 2012, no. 8, pp. 48–49.

10. Rashid T. Sozdaem neironnuyu set' [Creating a neural network]. Moscow, Publishing House "Williams", 2018. 435 p.
11. Kan K. A. Neironnye seti. Evolyutsiya [Neural networks. Evolution]. Moscow, LitRes Publ., 2019. 428 p.
12. Plug-in ml-agent for unity. Available at: <https://habr.com/ru/post/416297/>. (accessed 15.02.2021)
13. Unity ML-Agents Toolkit. Available at: <https://github.com/Unity-Technologies/ml-agents>. (accessed 15.02.2021)
14. AI based on Unity ML Agents. Available at: https://api-2d3d-cad.com/unity_ml_agents_quickstart/. (accessed 15.02.2021)
15. Primery sozdaniya okruzheniya dlya obucheniya v ML-Agents [Examples of creating an environment for training in ML-Agents]. Available at: https://github.com/Unity-Technologies/ml-agents/blob/release_2_docs/docs/Learning-Environment-Examples.md. (accessed 17.02.2021)
16. Sozдание Agentov v ML-Agents [Creating Agents in ML-Agents]. Available at: https://github.com/Unity-Technologies/ml-agents/blob/release_2_docs/docs/Learning-Environment-Design-Agents.md. (accessed 17.02.2021)
17. Primery optimizatsii agentov v ML-Agents [Examples of agent optimization in ML-Agents]. Available at: <https://blogs.unity3d.com/ru/2019/11/11/training-your-agents-7-times-faster-with-ml-agents>. (accessed 20.02.2021)
18. Sozдание okruzheniya v ML-Agents [The creation of an environment in the ML-Agents]. Available at: https://github.com/Unity-Technologies/ml-agents/blob/release_2_docs/docs/Learning-Environment-Create-New.md. (accessed 20.02.2021)
19. Unity ML-Agents 1.0. Available at: [https://www.youtube.com/watch?v=_9aPZH6pyA8&ab_channel=Sebastian Schuchmann](https://www.youtube.com/watch?v=_9aPZH6pyA8&ab_channel=Sebastian_Schuchmann). (accessed 21.02.2021)

Информация об авторах / Information about the Authors

Томакова Римма Александровна, доктор технических наук, профессор, Юго-Западный государственный университет, г. Курск, Российская Федерация, e-mail: rtomakova@mail.ru

Rimma A. Tomakova, Dr. of Sci. (Engineering), Professor, Southwest State University, Kursk, Russian Federation, e-mail: rtomakova@mail.ru

Джабраилов Вадим Вагифович, магистрант, Юго-Западный государственный университет, г. Курск, Российская Федерация, e-mail: vadwave@yandex.ru

Vadim S. Dzhabrailov, Master's Student, Southwest State University, Kursk, Russian Federation, e-mail: vadwave@yandex.ru

Томаков Максим Владимирович, кандидат технических наук, доцент, Юго-Западный государственный университет, г. Курск, Российская Федерация, e-mail: tomakovmv@mail.ru

Maxim V. Tomakov, Cand. of Sci. (Engineering), Associate Professor, Southwest State University, Kursk, Russian Federation, e-mail: tomakovmv@mail.ru

Егоров Илья Сергеевич, аспирант, Юго-Западный государственный университет, г. Курск, Российская Федерация, e-mail: egorov.ilia@mail.ru

Iliya S. Egorov, Post-Graduate Student, Associate Professor, Southwest State University, Kursk, Russian Federation, e-mail: egorov.ilia@mail.ru

Реутов Дмитрий Константинович, магистрант, Юго-Западный государственный университет, г. Курск, Российская Федерация, e-mail: sdfh.sgh@inbox.ru

Dmitry K. Reutov, Master's Student, Southwest State University, Kursk, Russian Federation, e-mail: sdfh.sgh@inbox.ru

УДК 004

Использование передаточной функции в низкоэнтропийной форме при проектировании электронных схем

В. В. Алябьева¹ ✉, С. А. Алябьев¹, С. В. Дегтярев¹, Д. В. Никулин¹,
Е. Н. Иванова¹

¹ Юго-Западный государственный университет
ул. 50 лет Октября 94, г. Курск 305040, Российская Федерация

✉ e-mail: se_vv@bk.ru

Резюме

Цель исследования. Одним из начальных этапов разработки электронных устройств является проектирование их электронных схем. Электронные схемы включают в себя условные обозначения всех элементов разрабатываемого устройства и связей между ними. Использование существующих методов для анализа схем на этапе проектирования позволяет проанализировать принцип работы схемы, внести изменения при необходимости и облегчить разработку устройств, поскольку ошибки, допущенные на этом этапе, гораздо легче и дешевле исправить, чем на этапе сборки. Поэтому целью исследования является упрощение оценки влияния отдельных электронных компонентов на всё проектируемое устройство. В статье рассматриваются особенности применения передаточной функции, записанной в форме с низкой энтропией, при проектировании электрических принципиальных цепей, необходимость поиска нулей и полюсов передаточной функции и взаимосвязь отдельного компонента схемы со всей схемой.

Методы. В работе рассматривается применение метода построения передаточной функции, содержащей основную информацию о приложенных к цепи воздействиях и позволяющей наглядно отобразить влияние отдельных электронных компонентов схемы на её характеристики. Данный метод включает математическое описание электрической цепи, из которого определяется передаточная функция схемы разрабатываемого устройства, приводимая к каноническому виду.

Результаты. Рассмотрены различные применения метода построения передаточной функции при проектировании электронных устройств, а также особенности применения данных методов.

Заключение. Передаточная функция, записанная в рациональном виде с вещественными коэффициентами, имеет громоздкий вид записи и приводит к усложнению вычисления нулей и полюсов, в то время как при канонической записи передаточной функции, называемой также низкоэнтропийной, получаем более простую и наглядную форму записи.

© Алябьева В. В., Алябьев С. А., Дегтярев С. В., Никулин Д. В., Иванова Е. Н., 2021

Ключевые слова: передаточная функция; каноническая форма; электрическая принципиальная цепь; проектирование.

Конфликт интересов: Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.

Для цитирования: Использование передаточной функции в низкоэнтропийной форме при проектировании электронных схем / В. В. Алябьева, С. А. Алябьев, С. В. Дегтярев, Д. В. Никулин, Е. Н. Иванова // Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Управление, вычислительная техника, информатика. Медицинское приборостроение. 2021. Т. 11, № 2. С. 66–75.

Поступила в редакцию 05.03.2021

Подписана в печать 03.04.2021

Опубликована 28.05.2021

Using the Low-Entropic Transfer Function in the Design of Electronic Circuits

Valentina V. Alyabyeva¹ ✉, Sergey A. Alyabyev¹, Sergey V. Degtyarev¹,
Denis V. Nikulin¹, Elena N. Ivanova¹

¹ Southwest State University

50 Let Oktyabrya str. 94, Kursk 305040, Russian Federation

✉ e-mail: se_vv@bk.ru

Abstract

Purpose of research. One of the initial stages in the development of electronic devices is the design of their electronic circuits. Electronic circuits include conventional designations of all elements of the device being developed and the connections between them. Using existing methods for analyzing circuits at the design stage allows you to analyze the principle of operation of the circuit, make changes if necessary, and facilitate the development of devices, since mistakes made at this stage are much easier and cheaper to fix than at the assembly stage. Therefore, the purpose of the study is to simplify the assessment of the impact of individual electronic components on the entire designed device. The article discusses the features of the application of the transfer function, written in the form with low entropy, in the design of electrical circuit circuits, the need to search for the zeros and poles of the transfer function and the relationship of an individual circuit component with the entire circuit.

Methods. The paper considers the application of the method for constructing a transfer function, which contains basic information about the influences applied to the circuit and allows you to visually display the effect of individual electronic components of the circuit on its characteristics. This method includes a mathematical description of the electrical circuit, from which the transfer function of the circuit of the device under development is determined, which is reduced to the canonical form.

Results. Various applications of the method for constructing the transfer function in the design of electronic devices, as well as the features of the application of these methods, are considered.

Conclusion. The transfer function, written in a rational form with real coefficients, has a cumbersome form of notation and leads to a complication in the calculation of zeros and poles, while with the canonical notation of the transfer function, also called low-entropy, we obtain a simpler and more visual form of notation.

Keywords: transfer function; canonical form; electrical principle circuit; design.

Conflict of interest: The Authors declare the absence of obvious and potential conflicts of interest related to the publication of this article.

For citation: Alyabyeva V. V., Alyabyev S. A., Degtyarev S. V., Nikulin D. V., Ivanova E. N. The use of a transfer function in a low-entropy form in the design of electronic circuits. *Izvestiya Yugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Upravlenie, vychislitel'naya tekhnika, informatika. Meditsinskoe priborostroenie* = *Proceedings of the Southwest State University. Series: Control, Computer Engineering, Information Science. Medical Instruments Engineering*. 2021; 11(2): 66–75. (In Russ.)

Received 05.03.2021

Accepted 03.04.2021

Published 28.05.2021

Введение

Одним из начальных этапов разработки любых электронных схем является моделирование и анализ их цепей. Процесс моделирования позволяет проектировать электронные схемы без избыточного запаса компонентов, а также позволяет дорабатывать конструкцию, обосновывая влияние различных изменений. Существующие в настоящий момент программные продукты для моделирования электрических принципиальных схем (LTSpice, PSpice, TopSpice, Simplis, MATLAB и др.) позволяют проводить комплексные расчёты электрических цепей, такие как анализ схем на постоянном и переменном токе, проверка целостности сигналов схемы, проведение измерений различных величин, построение графиков. Однако они не позволяют наглядно отобразить влияние отдельных компонентов на всю схему.

Для решения этой проблемы существует метод преобразования к каноническому виду передаточной функции, рассчитанной из математического описания электрической цепи.

Материалы и методы

Передаточная функция электронной цепи представляет собой отношение реакции цепи к воздействию на цепь [1]. Другими словами, передаточная функция связывает выходной и входной сигналы электронной цепи. Под воздействием обычно понимают напряжение или ток источника сигнала, а под реакцией – напряжение между парой узлов или ток в ветви цепи.

Из данного определения следует, что передаточная функция может связывать напряжение или ток на входе и выходе цепи, а значит, в этих случаях быть безразмерной и показывать коэффициент усиления напряжения и тока соответственно. Однако передаточная функция в некоторых случаях может иметь размерность сопротивления (Ом) или проводимости (См, Ом⁻¹) [2; 3].

В общем виде запись передаточной функции $H(s)$ цепи выглядит следующим образом:

$$H(s) = \frac{M(s)}{N(s)},$$

где $M(s)$ представляет собой реакцию цепи (например, $V_{\text{вых}}$) на воздействие $N(s)$ (например, $V_{\text{вх}}$).

Запись передаточной функции в виде рациональной функции с вещественными коэффициентами, имеет вид

$$H(s) = \frac{M(s)}{N(s)} = \frac{a_0 s^m + a_1 s^{(m-1)} + \dots + a_m}{b_0 s^n + b_1 s^{(n-1)} + \dots + b_n} = \frac{a_0 (s - z_1)(s - z_2) \dots (s - z_m)}{b_0 (s - p_1)(s - p_2) \dots (s - p_n)},$$

где $z_1, z_2, \dots, z_m$ – корни числителя, которые называются также нулями передаточной функции; $p_1, p_2, \dots, p_n$ – корни знаменателя, которые называются также полюсами передаточной функции [4; 5; 6].

Характеристическое уравнение, полученное путём приравнивания полинома знаменателя передаточной функции $N(s)$ к нулю, позволяет определить устойчивость системы, в то время как числитель передаточной функции $M(s)$ содержит информацию о начальных условиях и приложенных к цепи воздействиях.

Передаточная функция, записанная в виде рациональной функции с вещественными коэффициентами, имеет такие недостатки, как громоздкость записи и сложность вычисления нулей и полюсов. Из-за указанных недостатков такая форма записи получила название высокоэнтропийной.

Результаты и их обсуждение

Для того чтобы избавиться от описанных выше недостатков, следует записать передаточную функцию в каноническом виде, который является низкоэнтропийной формой записи [7; 8; 9]:

$$H(s) = \frac{1 + \frac{s}{\omega_z}}{1 + \frac{s}{\omega_p}},$$

где ω_z и ω_p содержат компоненты, определяющие нули и полюса системы.

Так, например, для электрической цепи, схема которой представлена на рисунке 1, передаточная функция, записанная не в каноническом виде, будет иметь вид [10; 11; 12; 13]:

$$H(s) = \frac{\frac{1 + s r_c C_1}{s C_1}}{\frac{1 + s r_c C_1}{s C_1} + R_1}.$$

В то время как эта же самая функция, записанная в канонической форме, выглядит следующим образом:

$$H(s) = H_0 \frac{1 + \frac{s}{\omega_z}}{1 + \frac{s}{\omega_p}},$$

где $\omega_z = \frac{1}{r_c C_1}$, $\omega_p = \frac{1}{(r_c + R_1) C_1}$, $H_0 = 1$.

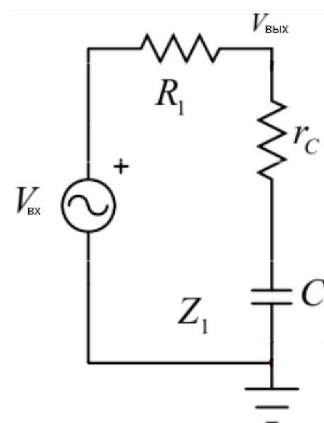


Рис. Пример схемы электрической цепи

Fig. An example of a circuit diagram

Отсюда следует, что каноническая форма записи передаточной функции более наглядно отражает влияние отдельных компонентов на всю схему [14; 15].

Существующий алгоритм поиска передаточной функции электрической цепи включает в себя поиск дифференциальных уравнений цепи, которые описывают все протекающие в ней процессы, если такие уравнения неизвестны, и решение полученной системы дифференциальных уравнений.

И для более информативной записи необходимо привести передаточную функцию к низкоэнтропийной форме,

содержащей наборы нулей и полюсов, из которых находятся компоненты, их определяющие [16; 17; 18].

Выводы

Таким образом, передаточная функция, записанная в виде выражения с низкой энтропией, позволяет наглядно отобразить влияние каждого компонента системы на всю схему и содержит основную информацию о поведении цепи, о начальных условиях и приложенных к цепи воздействиях. Всё это приводит к тому, что проектирование электрической принципиальной цепи становится проще и быстрее.

Список литературы

1. Хоровиц П., Хилл У. Искусство схемотехники. М.: БИНОМ, 2020. 704 с.
2. Лисицин А. Л. Системный подход как общенаучный метод // Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Управление, вычислительная техника, информатика. Медицинское приборостроение. 2016. Т. 1, № 18. С. 72–77.
3. Корнев Г. Н., Яковлев В. Б. Системный анализ. М.: Риор, 2016. 308 с.
4. Алябьева В. В. Передаточная функция для проектирования электрических принципиальных цепей // Информационные системы и технологии: сборник материалов VIII Всероссийской очной научно-технической конференции / Юго-Западный государственный университет. Курск, 2020. С. 11–12.
5. Алябьев С. А. Передаточная функция в дискретных нелинейных стационарных системах // Информационные системы и технологии: сборник материалов VIII Всероссийской очной научно-технической конференции / Юго-Западный государственный университет. Курск, 2020. С. 10–11.
6. Ефимов С. В., Пушкарев М. И., Афонюшкин А. В. Получение взаимобратной зависимости передаточной функции переходной характеристики на основе простейших обратных преобразований Лапласа // Перспективы науки. 2018. № 11 (110). С. 40–45.

7. Ефимов С. В., Суходеев М. С., Курганкин В. В. Проектирование передаточных функций на основе заданных прямых показателей качества переходных процессов // Перспективы науки. 2015. № 5(68). С. 56–61.
8. Михалевич С. С., Байдали С. А., Чурсин Ю. А. Расчет сложной передаточной функции обобщенного объекта // Промышленные АСУ и контроллеры. 2013. № 9. С. 46–51.
9. Дегтярев С. В., Лысенко Я. А. Математическая модель расчета расписания диагностирования при параллельном контроле показаний панелей приборов // Перспективы развития научных исследований в XXI веке: сборник материалов XIII Международной научно-практической конференции. Махачкала: Апробация, 2017. С. 23–25.
10. Марухленко С. Л., Дегтярев С. В. Системный анализ в решении задач анализа риска негативного воздействия техногенных аварий // Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Управление, вычислительная техника, информатика. Медицинское приборостроение. 2012. Т. 2, № 2. С. 33–37.
11. Борсук А. И., Томилова В. А. Передаточные функции четырехполосников и их использование при исследовании электрических цепей // Повышение эффективности производства и использования энергии в условиях Сибири: материалы Всероссийской научно-практической конференции с международным участием / Иркутский национальный исследовательский технический университет. Иркутск, 2019. С. 44–49.
12. Дежина Е. В., Рясный Ю. В., Черных Ю. С. Разработка и анализ метода идентификации передаточной функции дискретной цепи // Современные проблемы телекоммуникаций: материалы Российской научно-технической конференции / Сибирский государственный университет телекоммуникаций и информатики. Новосибирск, 2019. С. 128–133.
13. Гаспарян О. Н., Оганян О. Г. Исследование многомерных дискретных систем регулирования методом характеристических передаточных функций // Приоритетные научные направления: от теории к практике. 2016. № 22. С. 132–141.
14. Пуствовов М. Ю. Передаточная функция трансформатора // Страна живет, пока работают заводы: сборник научных трудов Международной научно-технической конференции (9–10 декабря 2015 года). Курск: ИП Пучков Игорь Иванович, 2015. С. 296–300.
15. Смирнов А. В. О влиянии нулей передаточной функции на оптимизированные характеристики электрических фильтров // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2016. № 7–1. С. 81–86.

16. Белокобыльский С. В., Елисеев С. В., Кашуба В. Б. Импедансные подходы как одна из форм оценки динамических свойств механических колебательных систем в структурном математическом моделировании // Системы. Методы. Технологии. 2015. № 4(28). С. 7–15.

17. Абдуллин А. А., Дроздов В. Н., Маматов А. Г. Влияние нулей передаточной функции объекта на свойства регулятора // ТРУДЫ СПИИРАН. 2017. № 4(53). С. 73–96.

18. Новосельцев В. И., Тарасов Б. В. Теоретические основы системного анализа. М.: Осипенко А. И., 2013. 536 с.

References

1. Horowitz P., Hill W. *Iskusstvo skhemotekhniki* [The art of circuitry]. Moscow, BINOM Publ., 2020. 704 p.

2. Lisitsin A. L. *Sistemnyi podkhod kak obshchenauchnyi metod* [A systematic approach as a general scientific method]. *Izvestiya Yugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: upravlenie, vychislitel'naya tekhnika, informatika. Meditsinskoe priborostroenie = Proceeding of the Southwest State University. Series: Management, Computer Technology, Informatics. Medical Instrumentation*, 2016, vol. 1, no. 18, pp. 72–77.

3. Kornev G. N., Yakovlev V. B. *Sistemnyi analiz* [System analysis]. Moscow, Rior Publ., 2016. 308 p.

4. Alyabyeva V. V. [Transfer function for designing electrical principal circuits]. *Informatsionnye sistemy i tekhnologii. Sbornik materialov VIII Vserossiiskoi ochnoi nauchno-tekhnikeskoi konferentsii*. [Information systems and technologies. Collection of materials of the 8th All-Russian Full-Time Scientific and Technical Conference]. Kursk, Southwest State University Publ., 2020, pp. 11–12. (In Russ.)

5. Alyabyev S. A. [Transfer function in discrete nonlinear stationary systems]. *Informatsionnye sistemy i tekhnologii: sbornik materialov VIII Vserossiiskoi ochnoi nauchno-tekhnikeskoi konferentsii Yugo-Zapadnyi gosudarstvennyi universitet* [Information systems and technologies. Collection of Materials of the 8th all-Russian full-time scientific and technical conference]. Kursk, Southwest State University Publ., 2020, pp. 10–11. (In Russ.)

6. Efimov S. V., Pushkarev M. I., Afonyushkin A. V. *Poluchenie vzaimoobratnoi zavisimosti peredatochnoi funktsii perekhodnoi kharakteristiki na osnove prostykh obratnykh preobrazovaniy Laplasya* [Obtaining the reciprocal dependence of the transfer function of the transient response based on the simplest inverse Laplace transformations]. *Perspektivy nauki = Perspectives of Science*, 2018, no. 11 (110), pp. 40–45.

7. Efimov S. V., Sukhodeev M. S., Kurgankin V. V. Proektirovanie peredatochnykh funktsii na osnove zadannykh pryamykh pokazatelei kachestva perekhodnykh protsessov [Design of transfer functions on the basis of given direct indicators of the quality of transient processes]. *Perspektivy nauki = Prospects for Science*, 2015, no. 5 (68), pp. 56–61.

8. Mikhalevich S. S., Baidali S. A., Chursin Yu. A. Raschet slozhnoi peredatochnoi funktsii obobshchennogo ob"ekta [Calculation of a complex transfer function of a generalized object]. *Promyshlennye ASU i kontrolyery = Industrial ACS and controllers*, 2013, no. 9, pp. 46–51.

9. Degtyarev S. V., Lysenko Ya. A. [Mathematical model for calculating the diagnostic schedule with parallel control of instrument panel readings]. *Perspektivy razvitiya nauchnykh issledovaniy v XXI veke: sbornik materialov XIII Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii* [Prospects for the development of scientific research in the XXI st century. Collection of materials of the XIII International Scientific and Practical Conference]. Makhachkala, Approbation Publ., 2017, vol. 2, pp. 23–25. (In Russ.)

10. Marukhlenko S. L., Degtyarev S. V. Sistemnyi analiz v reshenii zadach analiza riska negativnogo vozdviizviya tekhnogennykh avarii [System analysis in solving the problems of risk analysis of the negative impact of technogenic accidents]. *Izvestiya Yugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Upravlenie, vychislitel'naya tekhnika, informatika. Meditsinskoe priborostroenie = Proceeding of the Southwest State University. Series: Management, Computer Technology, Informatics. Medical Instrumentation*, 2012, no. 2, pp. 33–37.

11. Borsuk A. I., Tomilova V. A. [Transfer functions of four-poles and their use in the study of electrical circuits]. *Povyshenie effektivnosti proizvodstva i ispol'zovaniya energii v usloviyakh Sibiri. Materialy Vserossiiskoi nauchno-prakticheskoi konferentsii s mezhdunarodnym uchastiem* [Increasing the efficiency of energy production and use in Siberia. Materials of the All-Russian scientific-practical conference with international participation]. Irkutsk, Irkutsk National Research University Publ., 2019, pp. 44–49. (In Russ.)

12. Dezhina E. V., Ryasny Yu. V., Chernykh Yu. S. [Development and analysis of a method for identifying the transfer function of a discrete circuit]. *Sovremennye problemy telekommunikatsii. Materialy Rossiiskoi nauchno-tekhnicheskoi konferentsii* [Modern problems of telecommunications. Materials of the Russian scientific and technical conference]. Novosibirsk, Siberian State University of Telecommunications and Information Publ., 2019, pp. 128–133. (In Russ.)

13. Gasparyan O. N., Ohanyan O. G. Issledovanie mnogomernykh diskretnykh sistem regulirovaniya metodom kharakteristicheskikh peredatochnykh funktsii [Investigation of

multidimensional discrete control systems by the method of characteristic transfer functions]. *Prioritetnye nauchnye napravleniya: ot teorii k praktike = Priority Scientific Directions: from Theory to Practice*, 2016, no. 22, pp. 132–141.

14. Pustovetov M. Yu. Peredatochnaya funktsiya transformatora [Transfer function of the transformer]. *Strana zhivet, poka rabotyayut zavody. Sbornik nauchnykh trudov Mezhdunarodnoi nauchno-tekhnicheskoi konferentsii (9–10 dekabrya 2015 goda)*. [The country lives while the factories are working. Collection of scientific papers of the International Scientific and Technical Conference (December 9–10, 2015)]. Kursk, Individual Entrepreneur Puchkov Igor Ivanovich Publ., 2015, pp. 296–300. (In Russ.)

15. Smirnov A. V. O vliyani nulei peredatochnoi funktsii na optimizirovannye kharakteristiki elektricheskikh fil'trov [On the influence of the transfer function zeros on the optimized characteristics of electric filterx]. *Aktual'nye problemy gumanitarnykh i Estestvennykh nauk = Actual Problems of the Humanities and Natural Sciences*, 2016, no. 7-1, pp. 81–86.

16. Belokobylsky S. V., Eliseev S. V., Kashuba V. B. Impedansnye podkhody kak odna iz form otsenki dinamicheskikh svoistv mekhanicheskikh kolebatel'nykh sistem v strukturnom matematicheskom modelirovanii [Impedance approaches as one of the forms of assessing the dynamic properties of mechanical oscillatory systems in structural mathematical modeling]. *Sistemy. Metody. Tekhnologii = Systems. Methods. Technology*, 2015, no. 4 (28), pp. 7–15.

17. Abdullin A. A., Drozdov V. N., Mamatov A. G. Vliyanie nulei peredatochnoi funktsii ob"ekta na svoistva regul'yatora [The influence of the zeros of the transfer function of the object on the properties of the regulator]. *TRUDY SPIIRAN = WORKS OF SPIIRAN*, 2017, no. 4 (53), pp. 73–96.

18. Novoseltsev V. I., Tarasov B. V. Teoreticheskie osnovy sistemnogo analiza [Theoretical foundations of system analysis]. Moscow, Osipenko A. I. Publ., 2013. 536 p.

Информация об авторах / Information about the Authors

Алябьева Валентина Владимировна, аспирант,
Юго-Западный государственный университет,
г. Курск, Российская Федерация,
e-mail: se_vv@bk.ru

Valentina V. Alyabyeva, Post-Graduate
Student, Southwest State University, Kursk,
Russian Federation,
e-mail: se_vv@bk.ru

Алябьев Сергей Андреевич, аспирант, Юго-
Западный государственный университет,
г. Курск, Российская Федерация,
e-mail: dold4712@gmail.com

Sergey A. Alyabyev, Post-Graduate Student,
Southwest State University, Kursk, Russian
Federation,
e-mail: dold4712@gmail.com

Дегтярев Сергей Викторович, доктор технических наук, профессор, Юго-Западный государственный университет, г. Курск, Российская Федерация,
e-mail: sergeyd12@gmail.com

Никулин Денис Владимирович, аспирант, Юго-Западный государственный университет, г. Курск, Российская Федерация,
e-mail: se_vv@bk.ru

Иванова Елена Николаевна, кандидат технических наук, Юго-Западный государственный университет, г. Курск, Российская Федерация,
e-mail: sergeyd12@gmail.com

Sergey V. Degtyarev, Dr. of Sci. (Engineering), Professor Southwest State University, Kursk, Russian Federation,
e-mail: sergeyd12@gmail.com

Denis V. Nikulin, Post-Graduate Student, Southwest State University, Kursk, Russian Federation,
e-mail: se_vv@bk.ru

Elena N. Ivanova, Cand. of Sci. (Engineering), Southwest State University, Kursk, Russian Federation,
e-mail: sergeyd12@gmail.com

УДК 621

Сегментирование данных в задачах распознавания объектов

С. В. Дегтярев¹ ✉, Е. А. Криушин¹, Д. В. Никулин¹, Е. Н. Иванова¹

¹ Юго-Западный государственный университет
ул. 50 лет Октября 94, г. Курск 305040, Российская Федерация

✉ e-mail: sergeyd12@gmail.com

Резюме

Цель исследования – исследование возможности ускорения процессов распознавания объектов на изображениях при помощи алгоритмов сегментирования данных по заданным параметрам с помощью устройства упрощенного аппаратного распознавания образов.

Методы: используется метод деления кадра при помощи устройства упрощенного аппаратного распознавания образов на наиболее подходящие под описание искомым объектам контуры. Сегментирование данных производится устройством, способным формировать массив координат, которые определяют области, отвечающие заданным параметрам. Устройство принимает ряд параметров, таких как: цветовой диапазон; форма контура; размер; допустимые отклонения формы и размера контура. Привычная схема процесса распознавания объектов модифицируется предварительной обработкой вне конечной системы, за счёт чего исчезает необходимость в таких этапах, как «Первичная обработка» и «Формирование признаков».

Результаты: сегментирование данных ускоряет процесс распознавания объектов на кадре конечной системой ввиду уменьшения области поиска. Результат скорости распознавания зависит от количества найденных объектов и их размеров. В приведенном примере результат увеличения скорости может достигать 8 раз.

Заключение: алгоритмы распознавания позволяют производить обработку значительно быстрее за счёт значительного сокращения рабочей области относительно исходного кадра. Для получения хорошего результата необходимо тщательно подбирать сам алгоритм распознавания для конечной системы либо закрашивать область кадра, которая не была определена устройством, как искомая. Это необходимо, так как большинство алгоритмов распознавания не предназначено для работы с подобным подходом.

Ключевые слова: распознавание; области распознавания; координаты сегмента для распознавания; массив координат объектов.

© Дегтярев С. В., Криушин Е. А., Никулин Д. В., Иванова Е. Н., 2021

Конфликт интересов: Автор декларирует отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.

Для цитирования: Сегментирование данных в задачах распознавания объектов / С. В. Дегтярев, Е. А. Криушин, Д. В. Никулин, Е. Н. Иванова // Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Управление, вычислительная техника, информатика. Медицинское приборостроение. 2021. Т. 11, № 2. С. 76–86.

Поступила в редакцию 17.03.2021

Подписана в печать 15.04.2021

Опубликована 28.05.2021

Data Segmentation in Object Recognition Tasks

Sergey V. Degtyarev¹ ✉, Evgeniy A. Kriushin¹, Denis V. Nikulin¹, Elena N. Ivanova¹

¹ Southwest State University

50 Let Oktyabrya str. 94, Kursk 305040, Russian Federation

✉ e-mail: sergeyd12@gmail.com

Abstract

The purpose of the research is to study the possibility of accelerating the processes of object recognition in images using algorithms for segmenting data according to specified parameters using a device for simplified hardware pattern recognition.

Methods: the method of dividing the frame, with the help of a device simplified hardware pattern recognition, into the contours most suitable for the description of the sought objects is used. Data segmentation is performed by a device capable of forming an array of coordinates that define areas corresponding to the specified parameters. The device accepts a number of parameters, such as: color range; contour shape; the size; permissible deviations in the shape and size of the contour. The usual scheme of the object recognition process is modified by preliminary processing outside the final system, due to which the need for such stages as "Primary processing" and "Formation of features" disappears.

Results: data segmentation speeds up the process of recognizing objects on a frame by the end system, due to a decrease in the search area. The speed superiority result depends on the number of objects found and their size. In a simple example given, the result of increasing the speed can be up to 8 times.

Conclusion: recognition algorithms will be able to perform processing much faster, due to a significant reduction in the working area, relative to the original frame. To obtain a good result, it is necessary to carefully select the recognition algorithm itself for the final system, or paint over the area of the frame that was not determined by the device as the desired one. This is necessary, since most recognition algorithms do not know how to work with this approach.

Keywords: recognition; recognition areas; segment coordinates for recognition; an array of object coordinates.

Conflict of interest: The Author declare the absence of obvious and potential conflicts of interest related to the publication of this article.

For citation: Degtyarev S. V., Kriushin E. A., Nikulin D. V., Ivanova E. N. Data segmentation in object recognition tasks. *Izvestiya Yugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Upravlenie, vychislitel'naya tekhnika, informatika. Meditsinskoe priborostroenie* = *Proceedings of the Southwest State University. Series: Control, Computer Engineering, Information Science. Medical Instruments Engineering*. 2021; 11(2): 76–86. (In Russ.)

Received 17.03.2021

Accepted 15.04.2021

Published 28.05.2021

Введение

Распознавание объектов является актуальным направлением, которое охватывает большое количество областей применения. Данный процесс требует больших вычислительных мощностей от систем, с помощью которых оно производится. Существуют простейшие задачи из разряда определения контура лица на единичном кадре, не требующие специализированных устройств и высоких мощностей, а также задачи, при решении которых распознавание применяются к видеопотоку, а искомые объекты не ограничены в числе, при этом аппаратура должна обладать высокой производительностью для минимизации задержек при выполнении алгоритма обработки.

Алгоритм, реализующий процесс распознавания объектов, просматривает пиксели на заданном пиксельном пространстве (изображении) и при помощи нейросети определяет местоположение

искомых объектов [1; 2; 3]. Чем больше размер пиксельного пространства для поиска, тем дольше протекает процесс; и чем больше кадров в секунду, тем выше должна быть общая производительность системы.

Материалы и методы

Для упрощения процесса распознавания вводится устройство аппаратного распознавания контуров, наиболее вероятно содержащих искомый объект [4; 5; 6; 7]. Устройство действует по принципу упрощенного распознавания. Оно предполагает обработку кадра с устройства записи изображений и видео(камер), при котором будет формироваться массив координат контуров [8]. На рисунках 1 (без обработки устройством) и 2 (с обработкой устройством) приведены примеры того, как будет выглядеть кадр для распознавания конечным алгоритмом.

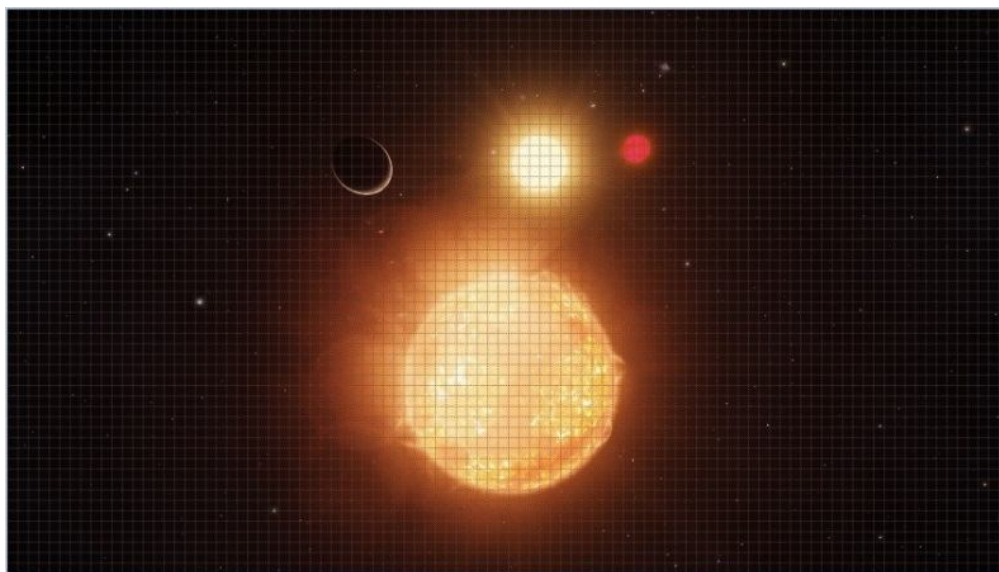


Рис. 1. Кадр без обработки устройством

Fig. 1. Frame without processing by the device

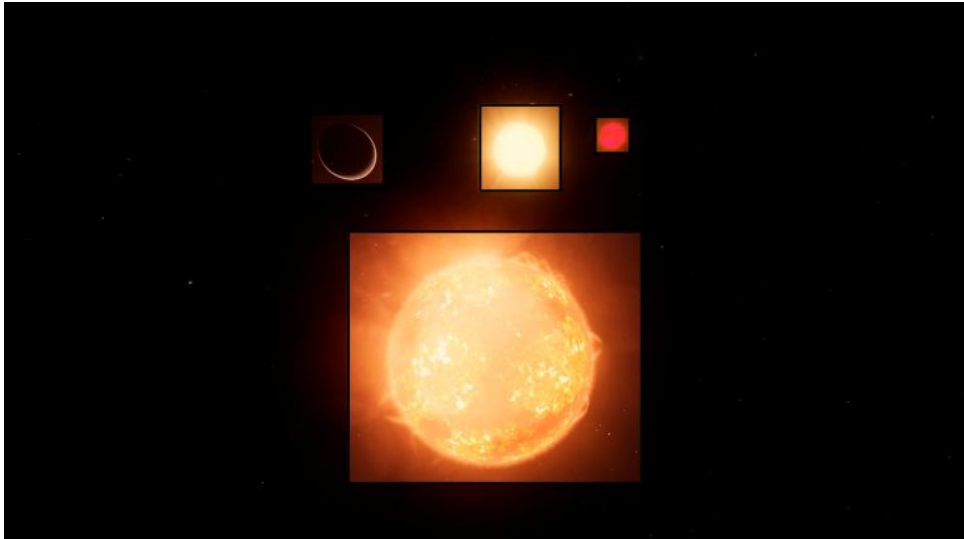


Рис. 2. Кадр после обработки устройством

Fig. 2. Frame after processing by the device

Устройство принимает ряд параметров, таких как: цветовой диапазон поиска ($R(x-y)$, $G(a-b)$, $B(c-d)$), где x , a , c – переменные, обозначающие нижний порог цветовой гаммы в формате RGB, а переменные y , b , d – верхний порог; форма области поиска и её вариации отклонения задаётся по аналогии с цветовым диапазоном, количество пар переменных являет собой геометрическую фигуру; минимальный и максимальный размер области.

Алгоритм распознавания объектов подразделяется на следующие этапы: получение входных данных; первичная обработка изображений, такая как нормализация данных, определение типа входных данных, фильтрация шумов, выявление признаков; формирование векторов признаков; классификация или предсказание на основе полученных данных. При включении в систему

устройства сегментирования данных основной алгоритм будет выглядеть в соответствии с рисунком 3, где этапы «Первичная обработка» и «Формирование признаков» исполнены устройством [8].

Алгоритм работы устройства упрощённого аппаратного распознавания образов заключается в наложении заданной формы с минимальным размером и отклонением на первый пиксель изображения таким образом, чтобы крайняя часть формы оказалась на этом пикселе [9; 10; 11; 12]. После чего алгоритм производит пошаговое расширение формы до максимальных размеров и отклонений. В случае нахождения большого скопления пикселей (10% от минимально допустимого размера области) в заданном цветовом диапазоне алгоритм смещает форму поиска на центр найденной области и производит повторную проверку на соответствие. В случае,

если алгоритм не обнаруживает подходящей области для поиска, происходит смещение формы поиска на пиксель с координатами X, Y , где « X » равняется: «начальная точка формы поиска» + («текущая ширина формы поиска» / («максимальное отклонение по ширине» – «минимальное отклонение по ширине»)), а « Y » «начальная точка формы поиска» + («текущая высота формы поиска» / («максимальное отклонение по высоте» –

«минимальное отклонение по высоте»)). За счёт данного алгоритма будет проверено всё изображение, а области, удовлетворившие условиям поиска, будут переданы дополнительным пакетом данных вместе с кадром [13; 14]. Пакет данных с результатами поиска представляет собой набор координат верхней левой точки и правой нижней (рис. 4) для каждого обнаруженного объекта.

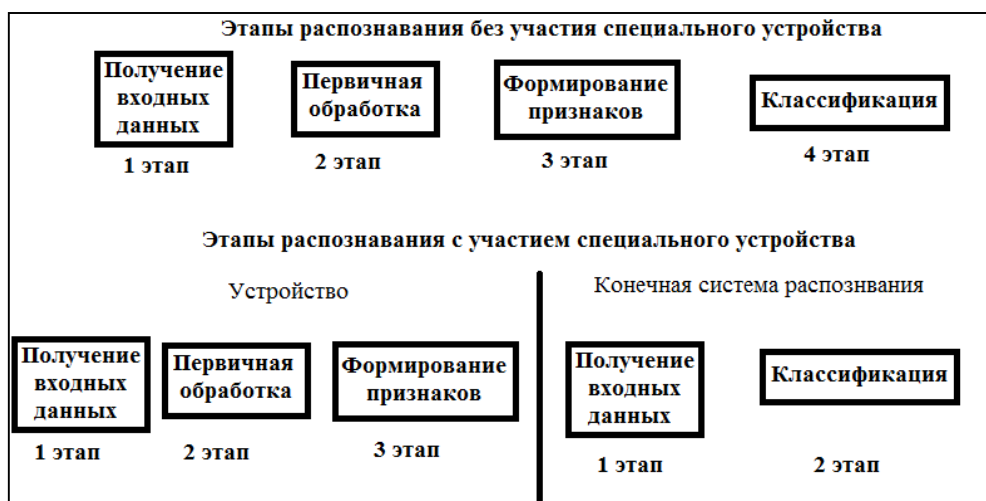


Рис. 3. Этапы распознавания

Fig. 3. Stages of recognition

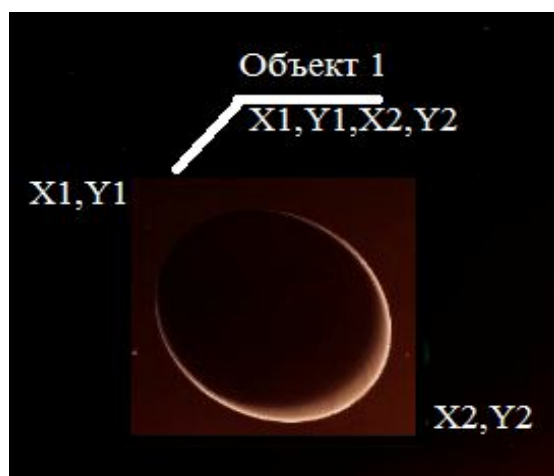


Рис. 4. Обнаруженный объект, иллюстрация координат области

Fig. 4. Detected object, illustration of area coordinates

Результаты и их обсуждение

Таким образом, при необходимости обработать изображение размером 1920×1080 пикселей конечной системе, производящей распознавание, будет достаточно проверить лишь фрагменты изображения [8; 15; 16; 17]. Имея массив координат объектов, отвечающих первичному требованию, алгоритм распознавания сможет сократить время, затрачиваемое на распознавание объектов, сконцентрировав свои ресурсы на выделенных областях, что также существенно повысит точность распознавания при необходимости в детальном распознавании. Допустим, что кадр 1920×1080 (2 073 600 пикселей), найдены 5 областей, размерами 100×100 , системе распознавания будет достаточно проверить область 500×500 (250 000 пикселей), что сократит необходимое время в данном примере как минимум в 8 раз. Но всё зависит от конкретных задач и количества объектов, а также от самого алгоритма распознавания конечной системы [18; 19; 20]. В любом случае сужение области поиска ведёт к уменьшению затрачиваемого времени на поиск.

Выводы

Аппаратная обработка изображений значительно упрощает процесс распознавания объектов, так как рабочая зона

алгоритма будет сокращена, что позволяет произвести поиск значительно быстрее либо более детально и точно, что благоприятно скажется на итоговом результате работы с изображением. Однако для получения хорошего результата необходимо модифицировать алгоритмы распознавания для конечных систем либо закрашивать область кадра, которая не была определена устройством как искомая. В этом случае исходный кадр всё равно должен быть передан системе, что накладывает дополнительные требования к конечной системе распознавания. Данный подход не распространён, и для реализации его потенциала на конечной системе необходимо программно учитывать особенности сегментации, а именно: вместе с кадром передаётся массив координат, который необходимо передавать конечной системе распознавания либо в исходном виде (при условии, что система способна принимать подобные данные и обрабатывать их как области для поиска), либо потоком вырезанных кадров из исходного кадра; кадр может быть обработан таким образом, что видимыми останутся лишь области, которые определило устройство, однако, исходный кадр должен быть также отправлен в конечную систему распознавания для статистических вычислений (даже если конечная система этого не требует, возможность такая должна быть).

Список литературы

1. Дегтярёв С. В., Лысенко Я. А., Иванова Е. Н. Синтез структур устройств контроля показаний панелей приборов // Информационно-измерительные и управляющие системы. 2015. Т. 13, № 6. С. 20–25.
2. Оптико-электронное устройство параллельного контроля показаний панели приборов / С. В. Дегтярев, Я. А. Лысенко, Е. Н. Иванова [и др.] // Информационно-измерительные и управляющие системы. 2016. Т. 14, № 10. С. 31–33.
3. Криушин Е. А. Аппаратный ускоритель обработки изображения для систем распознавания образов // Глобализация науки и техники в условиях кризиса: материалы XXIX Всероссийской научно-практической конференции (15 марта 2021г.): в 2 ч. Ростов н/Д: Изд-во Южного университета ИУБиП, 2021. Ч. 1. 314 с.
4. Труды ИСА РАН: Системное моделирование. Наукометрия и управление наукой. Распознавание образов / под ред. С. В. Емельянова. М.: Ленанд, 2015. 104 с.
5. Информационные технологии и вычислительные системы: Обработка информации и анализ данных. Программная инженерия. Математическое моделирование. Прикладные аспекты информатики / под ред. С. В. Емельянова. М.: Ленанд, 2015. 104 с.
6. Информационные технологии и вычислительные системы. Вычислительные системы. Компьютерная графика. Распознавание образов. Математическое моделирование / под ред. С. В. Емельянова. М.: Ленанд, 2015. 100 с.
7. Труды ИСА РАН: Математические модели социально-экономических процессов. Моделирование характеристик деятельности отраслевых и региональных подсистем. Динамические системы. Математические проблемы динамики неоднородных систем: Информационные технологии / под ред. С. В. Емельянова. М.: Ленанд, 2015. 112 с.
8. Дударев В. А. Методы распознавания образов в компьютерном конструировании неорганических соединений. М.: Синергия, 2014. 325 с.
9. Автоматическое управление и вычислительная техника: сборник. М.: Машиностроение, 2016. Вып. 10. 256 с.
10. Астахова И., Мищенко В., Краснояров А. Модели распознавания образов на основе нечетких нейронных сетей. М.: Palmarium Academic Publishing, 2013. 104 с.
11. Капитонова Т. А. Нейросетевое моделирование в распознавании образов. Философско-методические аспекты. М.: Мир, 2019. 549 с.
12. Гендерная классификация по изображению лица / Л. А. Шмаглит, М. Н. Голубев, А. Н. Ганин, В. В. Хрящев // Цифровая обработка сигналов и ее применение: доклады XIV Международной конференции (DSPA-2012). М., 2012. Т. 2. 425 с.

13. Миленький А. В. Классификация сигналов в условиях неопределенности. Статистические методы самообучения в распознавании образов. М.: Советское радио, 2017. 328 с.
14. Алгоритмы распознавания объектов / А. А. Цветков, Д. К. Шорох, М. Г. Зубарева [и др.] // Технические науки: проблемы и перспективы: материалы IV Международной научной конференции (г. Санкт-Петербург, июль 2016 г.). СПб.: Свое издательство, 2016. С. 20–28.
15. Автоматическое управление и вычислительная техника: сборник. М.: Машиностроение, 2015. Вып. 10. 256 с.
16. Локтев А. А., Алфимцев А. Н., Локтев Д. А. Алгоритм распознавания объектов // Вестник МГСУ. 2012. № 5. С. 194–201.
17. Елисеева И. И., Рукавишников В. О. Группировка, корреляция, распознавание образов (статистические методы классификации и измерения связей). М.: Огни, 2016. 144 с.
18. Бойко И. А., Гурьянов Р. А. Распознавание объектов на основе видеосигнала, полученного с камеры, установленной на подвижной платформе // Молодой ученый. 2013. № 6 (53). С. 34–36.
19. Работягов А. Основы распознавания образов. М.: LAP Lambert Academic Publishing, 2014. 273 с.
20. Фукунага К. Введение в статистическую теорию распознавания образов. М.: Наука, 2013. 368 с.

References

1. Degtyarev S. V., Lysenko Ya. A., Ivanova E. N. Sintez struktur ustroystv kontrolya pokazanii paneli priborov [Synthesis of structures of indication control devices dashboards]. *Informatsionno-izmeritel'nye i upravlyayushchie sistemy = Information-Measuring and Control Systems*, 2015, vol. 13, no. 6, pp. 20–25.
2. Degtyarev S. V., Lysenko Ya. A., Ivanova E. N., eds. Optiko-elektronnoe ustroystvo parallel'nogo kontrolya pokazanii paneli priborov [Optical-electronic device for parallel control of instrument panel readings]. *Informatsionno-izmeritel'nye i upravlyayushchie sistemy = Information-Measuring and Control Systems*, 2016, vol. 14, no. 10, pp. 31–33.
3. Kriushin E. A. [Hardware accelerator of image processing for image recognition system]. *Globalizatsiya nauki i tekhniki v usloviyakh krizisa. Materialy XXIX Vserossiiskoi nauchno-prakticheskoi konferentsii (15 marta 2021 g.)* [Globalization of science and technology in a crisis. Materials of the XXIX All-Russian Scientific and Practical Conference (March 15, 2021)]. Rostov-on-Don, Publishing House of the Southern University IUBiP, 2021, pt. 1. 314 p. (In Russ.)

4. Trudy ISA RAN: Sistemnoe modelirovanie. Naukometriya i upravlenie naukoj. Raspoznavanie obrazov [Proceedings of ISA RAS. System modeling. Scientometrics and Science Management. Pattern Recognition]; ed. by S. V. Emelyanov. Moscow, Lenand Publ., 2015, 104 p.
5. Informatsionnye tekhnologii i vychislitel'nye sistemy: Obrabotka informatsii i analiz dannykh. Programmaya inzheneriya. Matematicheskoe modelirovanie. Prikladnye aspekty informatiki [Information technology and computing systemsю Information processing and data analysis. Software engineering. Mathematical modeling. Applied Aspects of Informatics]; ed. by S. V. Emelyanov. Moscow, Lenand Publ., 2015. 104 p.
6. Informatsionnye tekhnologii i vychislitel'nye sistemy. Vychislitel'nye sistemy. Komp'yuternaya grafika. Raspoznavanie obrazov. Matematicheskoe modelirovanie [Information technology and computing systems. Computing systems. Computer graphics. Pattern recognition. Mathematical modeling]; ed. by S. V. Emelyanov. Moscow, Lenand Publ., 2015. 100 p.
7. Trudy ISA RAN: Matematicheskie modeli sotsial'no-ekonomicheskikh protsessov. Modelirovanie kharakteristik deyatel'nosti otraslevykh i regional'nykh podsystem. Dinamicheskies sistemy. Matematicheskie problemy dinamiki neodnorodnykh sistem: Informatsionnye tekhnologii [Proceedings of ISA RAS. Mathematical models of socio-economic processes. Modeling the performance characteristics of sectoral and regional subsystems. Dynamical systems. Mathematical problems of the dynamics of inhomogeneous systems. Information technologies]; ed. by S. V. Emelyanov. Moscow, Lenand Publ., 2015, 112 p.
8. Dudarev V. A. Metody raspoznavaniya obrazov v komp'yuternom konstruirovanii neorganicheskikh soedinenii [Methods of pattern recognition in computer design of inorganic compounds]. Moscow, Synergy Publ., 2014. 325 p.
9. Avtomaticheskoe upravlenie i vychislitel'naya tekhnika: sbornik [Automatic control and computer technology. Collection]. Moscow, Mechanical Engineering Publ., 2016, is. 10. 256 p.
10. Astakhova I., Mishchenko V., Krasnoyarov A. Modeli raspoznavaniya obrazov na osnove nechetkikh neironnykh setei [Pattern recognition models based on fuzzy neural networks]. Moscow, Palmarium Academic Publishing, 2013. 104 p.
11. Kapitonova T. A. Neirosetevoe modelirovanie v raspoznavanii obrazov. Filosofsko-metodicheskie aspekty [Neural network modeling in pattern recognition. Philosophical and methodological aspects]. Moscow, Mir Publ., 2019. 549 p.
12. Shmaglit L. A., Golubev M. N., Ganin A. N., Khryashchev V. V. [Gender classification by facial image]. Tsifrovaya obrabotka signalov i ee primeneniye: doklady XIV Mezhdunarodnoi. konferentsii (DSPA-2012). [Digital signal processing and its application (DSPA-2012). Reports of the XIV International Conference], Moscow, 2012, vol. 2, 425 p. (In Russ.)

13. Milenky A. V. Klassifikatsiya signalov v usloviyakh neopredelennosti. Statisticheskie metody samoobucheniya v raspoznavanii obrazov [Classification of signals in conditions of uncertainty. Statistical methods of self-learning in pattern recognition]. Moscow, Soviet Radio Publ., 2017. 328 p.
14. Tsvetkov A. A., Shorokh D. K., Zubareva M. G., eds. [Object recognition algorithms]. Tekhnicheskie nauki: problemy i perspektivy: materialy IV Mezhdunarodnoi nauchnoi konferentsii (g. Sankt-Peterburg, iyul' 2016 g.) [Technical sciences. Problems and prospects. Materials of the IV Intern. Scientific. Conf. (St. Petersburg, July 2016)]. St. Petersburg, Own Publishing House, 2016, pp. 20–28. (In Russ.)
15. Avtomaticheskoe upravlenie i vychislitel'naya tekhnika: sbornik [Automatic control and computer technology. Collection]. Moscow, Mechanical Engineering Publ., 2015, is. 10. 256 p.
16. Loktev A. A., Alfimtsev A. N., Loktev D. A. Algoritm raspoznavaniya ob"ektov [Object recognition algorithm]. *Vestnik MGSU = Newspaper MGSU*, 2012, no. 5, pp. 194–201.
17. Eliseeva I. I., Rukavishnikov V. O. Gruppirovka, korrelyatsiya, raspoznavanie obrazov (statisticheskie metody klassifikatsii i izmereniya svyazei) [Grouping, correlation, pattern recognition (statistical methods of classification and measurement of connections)]. Moscow, Lights Publ., 2016. 144 p.
18. Boyko I. A., Guryanov R. A. Raspoznavanie ob"ektov na osnove videosignala, poluchennogo s kamery, ustanovlennoi na podvizhnoi platforme [Object recognition based on the video signal received from a camera installed on a mobile platform]. *Molodoi uchenyi = Young Scientist*, 2013, no. 6 (53), pp. 34–36.
19. Rabotyagov A. Osnovy raspoznavaniya obrazov [Fundamentals of pattern recognition]. Moscow, LAP Lambert Academic Publishing, 2014. 273 p.
20. Fukunaga K. Vvedenie v statisticheskuyu teoriyu raspoznavaniya obrazov [Introduction to the statistical theory of pattern recognition]. Moscow, Nauka Publ., 2013. 368 p.

Информация об авторе / Information about the Author

Дегтярев Сергей Викторович, доктор
технических наук, профессор, Юго-Западный
государственный университет,
г. Курск, Российская Федерация,
e-mail: sergeyd12@gmail.com

Sergey V. Degtyarev, Dr. of Sci. (Engineering),
Professor, Southwest State University, Kursk,
Russian Federation,
e-mail: sergeyd12@gmail.com

Криушин Евгений Александрович, аспирант, Юго-Западный государственный университет, г. Курск, Российская Федерация, e-mail: miron_22_91@mail.ru

Evgeny A. Kriushin, Post-Graduate Student, Southwest State University, Kursk, Russian Federation, e-mail: eugenyPWN@gmail.com

Никулин Денис Владимирович, аспирант, Юго-Западный государственный университет, г. Курск, Российская Федерация, e-mail: se_vv@bk.ru

Denis V. Nikulin, Post-Graduate Student, Southwest State University, Kursk, Russian Federation, e-mail: se_vv@bk.ru

Иванова Елена Николаевна, кандидат технических наук, Юго-Западный государственный университет, г. Курск, Российская Федерация, e-mail: sergeyd12@gmail.com

Elena N. Ivanova, Cand. of Sci. (Engineering), Southwest State University, Kursk, Russian Federation, e-mail: sergeyd12@gmail.com

УДК 004

Сокращение расчетов характеристик электронных компонентов на основе системного анализа

С. А. Алябьев¹ ✉, В. В. Алябьева¹, С. В. Дегтярев¹, Д. В. Никулин¹,
Е. Н. Иванова¹

¹ Юго-Западный государственный университет
ул. 50 лет Октября 94, г. Курск 305040, Российская Федерация

✉ e-mail: dold4712@gmail.com

Резюме

Цель исследования. При проектировании электронных устройств существует необходимость выполнения большого количества расчётов при подборе отдельных электронных компонентов. Поэтому целью исследования является сокращение расчётов характеристик электронных компонентов схем путём применения методов системного анализа.

Методы. В работе рассматривается представление последовательности расчётов характеристик электронных компонентов как многомерной дискретной стационарной системы, на вход которой подаются условия использования и физические свойства компонентов, а также применение системного анализа для сокращения расчетов характеристик электронных компонентов схем на примере дросселя в условиях проектирования электронных устройств.

Результаты. Рассмотрено применение методов системного анализа для сокращения времени расчёта характеристик электронных компонентов при проектировании устройств.

Заключение. Для создания высокоэффективного импульсного источника питания одной из главных задач является расчет сердечника и обмотки дросселя. При выборе индуктора необходимо выбрать и рассчитать сердечник, рассчитать обмотку и выбрать дроссель, удовлетворяющий заданным начальным критериям. Каждый производитель тороидальных сердечников предоставляет описание и средства расчета характеристик только для своей продукции и в удобном только для себя нестандартизированном формате, что приводит к большому количеству ручной работы по расчету характеристик сердечников, обмотки и сравнительного анализа полученных результатов, для выбора наиболее подходящего варианта в условиях поставленной задачи. Представление последовательности расчета характеристик электронных компонентов в виде многомерной дискретной стационарной системы позволяет сократить время расчета характеристик электронных компонентов за счет сокращения их объема.

© Алябьев С. А., Алябьева В. В., Дегтярев С. В., Никулин Д. В., Иванова Е. Н., 2021

Ключевые слова: передаточная функция; каноническая форма; электрическая принципиальная цепь; проектирование.

Конфликт интересов: Авторы декларируют отсутствие конфликта интересов, связанных с публикацией данной статьи.

Для цитирования: Сокращение расчетов характеристик электронных компонентов на основе системного анализа / С. А. Алябьев, В. В. Алябьева, С. В. Дегтярев, Д. В. Никулин, Е. Н. Иванова // Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Управление, вычислительная техника, информатика. Медицинское приборостроение. 2021. Т. 11, № 2. С. 87–96.

Поступила в редакцию 05.03.2021

Подписана в печать 02.04.2021

Опубликована 28.05.2021

Reduction of Calculations of Characteristics of Electronic Components Based on System Analysis

Sergey A. Alyabyev¹ ✉, Valentina V. Alyabyeva¹, Sergey V. Degtyarev¹,
Denis V. Nikulin¹, Elena N. Ivanova¹

¹ Southwest State University

50 Let Oktyabrya str. 94, Kursk 305040, Russian Federation

✉ e-mail: dold4712@gmail.com

Abstract

Purpose of research. When designing electronic devices, there is a need to perform a large number of calculations in the selection of individual electronic components. Therefore, the purpose of the study is to reduce the calculations of the characteristics of electronic components of circuits by applying the methods of system analysis.

Methods. The paper considers the presentation of the sequence of calculating the characteristics of electronic components as a multidimensional discrete stationary system, to the input of which the conditions of use and physical properties of the components are supplied, as well as the use of system analysis to reduce the calculations of the characteristics of electronic components of circuits using the example of a choke in the design of electronic devices.

Results. The application of the methods of system analysis to reduce the time of calculating the characteristics of electronic components in the design of devices is considered.

Conclusion. To create a highly efficient switching power supply, one of the main tasks is to calculate the core and winding of the choke. When choosing an inductor, it is necessary to select and calculate the core, calculate the winding and select the choke that meets the given initial criteria. Each manufacturer of toroidal cores supplies a description and means of calculating characteristics only for their products and in a convenient non-standardized format only for themselves, which leads to a lot of manual work in calculating the characteristics of the cores, winding and comparative analysis of the results obtained to select the most suitable option in the conditions the task at hand. The presentation of the sequence of calculating the characteristics of electronic components in the form of a multidimensional discrete stationary system allows you to reduce the time for calculating the characteristics of electronic components by reducing their volume.

Keywords: transfer function; canonical form; electrical principle circuit; design.

Conflict of interest: The authors declares no conflict of interest related to the publication of this article.

For citation: Alyabyev S. A., Alyabyeva V. V., Degtyarev S. V., Nikulin D. V., Ivanova E. N. Reduction of calculations of characteristics of electronic components based on system analysis. *Izvestiya Yugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Upravlenie, vychislitel'naya tekhnika, informatika. Meditsinskoe priborostroenie = Proceedings of the Southwest State University. Series: Control, Computer Engineering, Information Science. Medical Instruments Engineering*. 2021; 11(2): 87–96. (In Russ.)

Received 05.03.2021

Accepted 02.04.2021

Published 28.05.2021

Введение

Электронное устройство не может работать без питания (аккумулятор, батарея и т. д.). Существуют источники напряжения, обеспечивающие питание мобильных устройств и осуществляющие преобразование напряжения от 220 В до необходимого устройства, например 12 В. Для разработки электронного источника питания требуется осуществление подбора электронных компонентов, одним из которых является дроссель. От точности соответствия подобранного дросселя установленным условиям использования зависит качество работы источника питания. Дроссель представляет собой магнитопровод (сердечник), на который намотан медный провод (обмотка). При протекании тока по обмотке в дросселе возникает магнитное поле. Когда ток пропадает, магнитное поле дросселя уменьшается, вызывая возникновение напряжения на концах обмотки. Таким образом, чем чаще будет происходить включение и выключение тока обмотки, тем меньше будет выходное напряжение, за счет

этого будет происходить преобразование входного напряжения в выходное, которое необходимо для питания конкретного устройству.

Материалы и методы

В процессе отбора дросселя часто возникает ситуация, когда для одних и тех же заданных начальных условий подходят сразу несколько, которые отличаются различными характеристиками [1; 2]. Из отобранных компонентов необходимо выбрать наиболее подходящий, рассмотрев каждый в соответствии с требованиями к конкретному узлу электронной схемы или ко всему изделию (например, минимизация стоимости или тепловыделения). Для расчета и отбора компонента используется разработанный алгоритм, представленный ниже (рис. 1).

При данном подходе необходимо выполнять много вычислений для каждого из множества компонентов, после чего производить выбор подходящих [3; 4]. Для расчета большого числа компонентов используются средства автоматического проектирования, например MathCad.

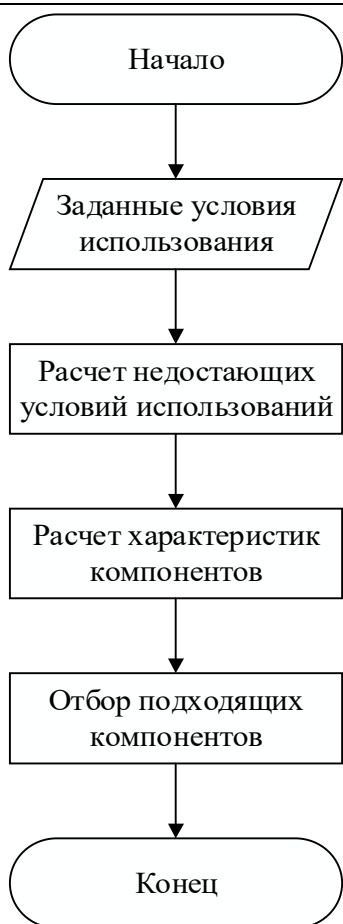


Рис. 1. Алгоритм расчета и отбора компонентов

Fig. 1. Algorithm for calculating and selecting components

Для большого количества компонентов необходима большая вычислительная мощность ПК, т. к. используется метод перебора всех компонентов и все расчеты производятся над каждым компонентом, иначе время расчета может занять неопределенное количество времени (от 1 минуты до нескольких дней недель в зависимости от объема расчетов и количества компонентов) [5; 6; 7].

Результаты и их обсуждение

В качестве примера приведём пример расчета дросселя, выполняющийся в несколько шагов:

1. После установления условий использования рассчитываются необходимые характеристики сердечника.

2. Из базы данных сердечников выбираются те, характеристики которых удовлетворяют рассчитанным в п. 1. В некоторых случаях на данном этапе может быть отобрано больше 800 сердечников.

3. Рассчитываются оставшиеся характеристики сердечника, которые не рассчитывались в п. 2 (для их расчета необходимы физические свойства конкретного сердечника, например размеры и т. д.).

4. Рассчитываются характеристики всех возможных вариантов катушки дросселя, т. е. перебираются варианты катушки проводами разных диаметров или разным количеством витков. Для одного дросселя возможно от 1 до 6 вариантов катушки, т. е. если изначально было отобрано 800 сердечников, то уже количество компонентов достигает $800 \cdot 6 = 4800$.

5. По заданным критериям выбирается наилучший компонент (например, с минимальным нагревом, стоимостью или наибольшим КПД).

Порядок расчета, начиная с п. 3, необходимо рассматривать как многомерную дискретную стационарную систему [8; 9; 10]. Дискретная стационарная система представляет собой математическую модель системы, обладающую свойством дискретности, параметры которой описываются нелинейными урав-

нениями и неизменны во времени. Система является дискретной, т. к. преобразует дискретную последовательность на входе в дискретную последовательность на выходе. Система является стационарной по той причине, что расчеты характеристик компонентов не зависят от времени [11; 12; 13].

Последовательность расчетов характеристик рассматривается как многомерная дискретная система, на вход которой подаются условия использования

и физические свойства выбранного сердечника. В примере с системой расчета дросселя входными условиями являются входной/выходной ток, частота, входное/выходное напряжение и др., а физическими свойствами сердечника – размер, сопротивление и др. Выходными данными будут являться общее сопротивление дросселя, нагрев, КПД, количество витков обмотки и т. д. [14; 15]. Рассмотрим графическое представление данной системы (рис. 2).

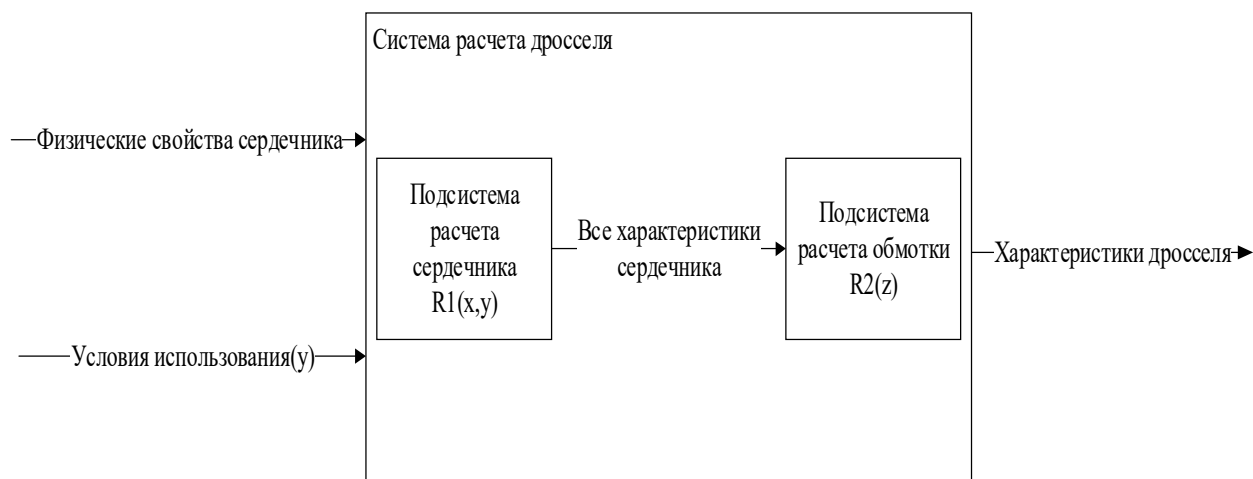


Рис. 2. Графическое представление системы расчета дросселя

Fig. 2. Graphic representation of the throttle calculation system

Из представленного изображения схемы видно, что работа системы описывается оператором

$$R(x, y) = R2(R1(x, y)),$$

где R – оператор, описывающий работу системы расчета дросселя; x, y – массивы входных данных; $R1$ – оператор, описывающий работу под системы рас-

чета сердечника; $R2$ – оператор, описывающий работу подсистемы расчета обмоток.

Для сокращения объема расчетов необходимо определить операторы $R, R1, R2$, которые описывают работу системы. Зная эти операторы, можно синтезировать новую систему, объединив подсистемы расчета сердечника и рас-

чета обмотки, сократив количество расчет до одного оператора $R(x, y)$ [16; 17; 18].

Выводы

Таким образом, применение системного подхода для представления по-

следовательности расчетов в виде многомерной дискретной стационарной системы и применение методов системного анализа позволят сократить время расчета характеристик электронного компонента за счет сокращения числа математических операций.

Список литературы

1. Корнев Г. Н., Яковлев В. Б. Системный анализ. М.: Риор, 2016. 308 с.
2. Марухленко С. Л., Дегтярев С. В. Системный анализ в решении задач анализа риска негативного воздействия техногенных аварий // Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Управление, вычислительная техника, информатика. Медицинское приборостроение. 2012. Т. 2, № 2. С. 33–37.
3. Алябьев С. А. Передаточная функция в дискретных нелинейных стационарных системах // Информационные системы и технологии: сборник материалов VIII Всероссийской очной научно-технической конференции / Юго-Западный государственный университет. Курск, 2020. С. 10–11.
4. Алябьева В. В. Передаточная функция для проектирования электрических принципиальных цепей // Информационные системы и технологии: сборник материалов VIII Всероссийской очной научно-технической конференции «ИИС-2020» / Юго-Западный государственный университет. Курск, 2020. С. 11–12.
5. Вдовин В. М., Суркова Л. Е., Валентинов В. А. Теория систем и системный анализ. М.: Дашков и К, 2020. 642 с.
6. Волкова В. Н. Системный анализ информационных комплексов. СПб.: Лань, 2020. 336 с.
7. Новосельцев В. И., Тарасов Б. В. Теоретические основы системного анализа. М.: Осипенко А. И., 2013. 536 с.
8. Козлов В. Н. Системный анализ, оптимизация и принятие решений. М.: Проспект, 2016. 176 с.
9. Ефимов С. В., Пушкарев М. И., Афонюшкин А. В. Получение взаимобратной зависимости передаточной функции переходной характеристики на основе простейших обратных преобразований Лапласа // Перспективы науки. 2018. № 11 (110). С. 40–45.
10. Ефимов С. В., Суходеев М. С., Курганкин В. В. Проектирование передаточных функций на основе заданных прямых показателей качества переходных процессов // Перспективы науки. 2015. № 5(68). С. 56–61.

11. Михалевич С. С., Байдали С. А., Чурсин Ю. А. Расчет сложной передаточной функции обобщенного объекта // Промышленные АСУ и контроллеры. 2013. № 9. С. 46–51.
12. Дегтярев С. В., Лысенко Я. А. Математическая модель расчета расписания диагностирования при параллельном контроле показаний панелей приборов // Перспективы развития научных исследований в XXI веке: сборник материалов XIII Международной научно-практической конференции. Махачкала: Апробация, 2017. С. 23–25.
13. Лисицин, А. Л. Системный подход как общенаучный метод // Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Управление, вычислительная техника, информатика. Медицинское приборостроение. Т. 1, № 18. 2016. С. 72–77.
14. Борсук А. И., Томилова В. А. Передаточные функции четырехполюсников и их использование при исследовании электрических цепей // Повышение эффективности производства и использования энергии в условиях Сибири: материалы Всероссийской научно-практической конференции с международным участием / Иркутский национальный исследовательский университет. Иркутск, 2019. С. 44–49.
15. Дежина Е. В., Рясный Ю. В., Черных Ю. С. Разработка и анализ метода идентификации передаточной функции дискретной цепи // Современные проблемы телекоммуникаций: материалы Российской научно-технической конференции / Сибирский государственный университет телекоммуникаций и информатики. Новосибирск, 2019. С. 128–133.
16. Гаспарян О. Н., Оганян О. Г. Исследование многомерных дискретных систем регулирования методом характеристических передаточных функций // Приоритетные научные направления: от теории к практике. 2016. № 22. С. 132–141.
17. Пустоветов М. Ю. Передаточная функция трансформатора // Страна живет, пока работают заводы: сборник научных трудов Международной научно-технической конференции (9–10 декабря 2015 года) / Юго-Западный государственный университет. Курск: ИП Пучков Игорь Иванович, 2015. С. 296–300.
18. Смирнов А. В. О влиянии нулей передаточной функции на оптимизированные характеристики электрических фильтров // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2016. № 7-1. С. 81–86.

References

1. Kornev G. N., Yakovlev V. B. Sistemnyi analiz [System analysis]. Moscow, Rior Publ., 2016. 308 p.
2. Marukhlenko S. L., Degtyarev S. V. Sistemnyi analiz v reshenii zadach analiza riska negativnogo vozdviistviya tekhnogennykh avarii [System analysis in solving the problems of

risk analysis of the negative impact of technogenic accidents]. *Izvestiya Yugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Upravlenie, vychislitel'naya tekhnika, informatika. Meditsinskoe priborostroenie* = *Proceeding of the Southwest State University. Series: Management, Computer Technology, Informatics. Medical Instrumentation*, 2012, vol. 2, no. 2, pp. 33–37.

3. Alyabyev S. A. [Transfer function in discrete nonlinear stationary systems] *Informatsionnye sistemy i tekhnologii. Sbornik materialov VIII Vserossiiskoi ochnoi nauchno-tekhnicheskoi konferentsii Yugo-Zapadnyi gosudarstvennyi universitet* [Information systems and technologies. Collection of Materials of the 8th All-Russian full-time scientific and technical conference]. Kursk, Southwest State University Publ., 2020, pp. 10–11. (In Russ.)

4. Alyabyeva V. V. [Transfer function for designing electrical principal circuits]. *Informatsionnye sistemy i tekhnologii: sbornik materialov VIII Vserossiiskoi ochnoi nauchno-tekhnicheskoi konferentsii* [Information systems and technologies. Collection of materials of the XIII All-Russian full-time scientific and technical conference]. Kursk, Southwest State University Publ., 2020, pp. 11–12. (In Russ.)

5. Vdovin V. M., Surkov L. E., Valentinov V. A. *Teoriya sistem i sistemnyi analiz* [System theory and system analysis]. Moscow, Dashkov and K Publ., 2020. 642 p.

6. Volkova V. N. *Sistemnyi analiz informatsionnykh kompleksov* [System analysis of information complexes]. St. Petersburg, Lan Publ., 2020. 336 p.

7. Novoseltsev V. I., Tarasov B. V. *Teoreticheskie osnovy sistemnogo analiza* [Theoretical foundations of system analysis]. Moscow, Osipenko A. I. Publ., 2013. 536 p.

8. Kozlov V. N. *Sistemnyi analiz, optimizatsiya i prinyatie reshenii* [System analysis, optimization and decision making]. Moscow, Prospect Publ., 2016. 176 p.

9. Efimov S. V., Pushkarev M. I., Afonyushkin A. V. *Poluchenie vzaimoobratnoi zavisimosti peredatochnoi funktsii perekhodnoi kharakteristiki na osnove prosteishikh obratnykh preobrazovaniy Laplasya* [Obtaining the reciprocal dependence of the transfer function of the transient response based on the simplest inverse Laplace transformations]. *Perspektivy nauki = Perspectives of Science*, 2018, no. 11 (110), pp. 40–45.

10. Efimov S. V., Sukhodeev M. S., Kurgankin V. V. *Proektirovanie peredatochnykh funktsii na osnove zadannykh pryamykh pokazatelei kachestva perekhodnykh protsessov* [Design of transfer functions on the basis of given direct indicators of the quality of transient processes]. *Perspektivy nauki = Prospects for Science*, 2015, no. 5 (68), pp. 56–61.

11. Mikhalevich S. S., Baidali S. A., Chursin Yu. A. *Raschet slozhnoi peredatochnoi funktsii obobshchennogo ob"ekta* [Calculation of a complex transfer function of a generalized

object]. *Promyshlennye ASU i kontrollery = Industrial ACS and Controllers*, 2013, no. 9, pp. 46–51.

12. Degtyarev S. V., Lysenko Ya. A. [Mathematical model for calculating the diagnostic schedule with parallel control of instrument panel readings]. *Perspektivy razvitiya nauchnykh issledovaniy v XXI veke: sbornik materialov XIII Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii* [Prospects for the development of scientific research in the XXI st century. Collection of materials of the XIII International Scientific and Practical Conference]. Makhachkala, Aprobatsiya Approbation Publ., 2017, pp. 23–25. (In Russ.)

13. Lisitsin A. L. Sistemnyi podkhod kak obshchenauchnyi metod [A systematic approach as a general scientific method]. *Izvestiya Yugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Upravlenie, vychislitel'naya tekhnika, informatika. Meditsinskoe priborostroenie = Proceeding of the Southwest State University. Series: Management, Computer Technology, Informatics. Medical Instrumentation*, 2016, vol. 1, no. 18, pp. 72–77.

14. Borsuk A. I., Tomilova V. A. [Transfer functions of four-poles and their use in the study of electrical circuits]. *Povyshenie effektivnosti proizvodstva i ispol'zovaniya energii v usloviyakh Sibiri: materialy Vserossiiskoi nauchno-prakticheskoi konferentsii s mezhdunarodnym uchastiem* [Increasing the efficiency of energy production and use in Siberia. Materials of the All-Russian scientific-practical conference with international participation]. Irkutsk, Irkutsk National Research University Publ., 2019, pp. 44–49. (In Russ.)

15. Dezhina E. V., Ryasny Yu. V., Chernykh Yu. S. [Development and analysis of a method for identifying the transfer function of a discrete circuit]. *Sovremennyye problemy telekommunikatsii: materialy Rossiiskoi nauchno-tekhnicheskoi konferentsii* [Modern problems of telecommunications. Materials of the Russian scientific and technical conference]. Novosibirsk, Siberian State University of Telecommunications and Informatics Publ., 2019, pp. 128–133. (In Russ.)

16. Gasparyan O. N., Ohanyan O. G. *Issledovanie mnogomernykh diskretnykh sistem regulirovaniya metodom kharakteristicheskikh peredatochnykh funktsii* [Investigation of multidimensional discrete control systems by the method of characteristic transfer functions]. *Prioritetnye nauchnye napravleniya: ot teorii k praktike = Priority Scientific Directions: from Theory to Practice*, 2016, no. 22, pp. 132–141.

17. Pustovetov M. Yu. [Transfer function of the transformer]. *Strana zhivet, poka rabotayut zavody: sbornik nauchnykh trudov Mezhdunarodnoi nauchno-tekhnicheskoi konferentsii (9–10 dekabrya 2015 goda)* [The country lives while the factories are working. Collection of scientific papers of the International Scientific and Technical Conference (December 9–10, 2015)]. Kursk, Individual Entrepreneur Puchkov Igor Ivanovich Publ., 2015, pp. 296–300. (In Russ.)

18. Smirnov A. V. O vliyaniі nulei peredatochnoi funktsii na optimizirovannye kharakteristiki elektricheskikh fil'trov [On the influence of the transfer function zeros on the optimized characteristics of electric filterx]. *Aktual'nye problemy gumanitarnykh i estestvennykh nauk = Actual Problems of the Humanities and Natural Sciences*, 2016, no. 7–1, pp. 81–86.

Информация об авторах / Information about the Authors

Алябьев Сергей Андреевич, аспирант,
Юго-Западный государственный университет,
г. Курск, Российская Федерация,
e-mail: dold4712@gmail.com

Sergey A. Alyabyev, Post-Graduate Student,
Southwest State University, Kursk, Russian
Federation,
e-mail: dold4712@gmail.com

Алябьева Валентина Владимировна, аспирант,
Юго-Западный государственный университет,
г. Курск, Российская Федерация,
e-mail: se_vv@bk.ru

Valentina V. Alyabyeva, Post-Graduate
Student, Southwest State University, Kursk,
Russian Federation,
e-mail: se_vv@bk.ru

Дегтярев Сергей Викторович, доктор
технических наук, профессор, Юго-Западный
государственный университет, г. Курск,
Российская Федерация,
e-mail: sergeyd12@gmail.com

Sergey V. Degtyarev, Dr. of Sci. (Engineering),
Professor, Southwest State University,
Kursk, Russian Federation,
e-mail: sergeyd12@gmail.com

Никулин Денис Владимирович, аспирант,
Юго-Западный государственный университет,
г. Курск, Российская Федерация,
e-mail: se_vv@bk.ru

Denis V. Nikulin, Post-Graduate Student,
Southwest State University, Kursk, Russian
Federation,
e-mail: se_vv@bk.ru

Иванова Елена Николаевна, кандидат
технических наук, Юго-Западный
государственный университет», г. Курск,
Российская Федерация,
e-mail: sergeyd12@gmail.com

Elena N. Ivanova, Cand. of Sci. (Engineering),
Southwest State University, Kursk, Russian
Federation,
e-mail: sergeyd12@gmail.com

Оригинальная статья / Original article

УДК 004.932

Автоматизация рабочего места преподавателя вуза

Л. А. Лисицин¹ ✉, А. Л. Лисицин², Ю. А. Халин¹

¹ Юго-Западный государственный университет
ул. 50 лет Октября 94, г. Курск 305040, Российская Федерация

² Курский государственный университет
ул. Радищева 33, г. Курск 305000, Российская Федерация

✉ e-mail: leo_263@mail.ru

Резюме

Цель исследования. Информационный век накладывает особые требования на оформление и структуризацию информации в экономике, юриспруденции и образовании.

В данной статье рассмотрены возможности сокращения рутинных работ, связанных с безошибочным оформлением документации в условиях обработки больших объемов информации в образовательной сфере. Рутинная работа занимает много времени в работе преподавателей вуза и является более утомительной по сравнению с творческой работой. Помимо ошибок, связанных с человеческим фактором, в процессе реформы образования часто меняются формы документов и приходится переделывать большие объемы текста.

Методы. Системы документооборота не оправдывают себя из-за высокой цены, сложности требуют настройки, сопровождения и обучения персонала. Поэтому предпочтительна работа с широко известным программным обеспечением, например MS Office (любой модификации). При помощи макросов создается программа, которая по предоставленным данным в файле EXCEL формирует экзаменационных билеты по заданному шаблону в Word. При этом гибко можно менять количество вопросов в билетах, количество задач в билете и количество самих билетов.

Результаты. Программа из вопросов и задач позволяет многократно сократить время создания билетов для экзаменов, не требует обучения и настройки, а также исключает ошибки за счет высокой точности работы.

Заключение. Рассмотрена специализированная программа для создания экзаменационных билетов дисциплин.

Ключевые слова: автоматизация; билеты; учебно-методический комплекс.

Конфликт интересов: Авторы декларируют отсутствие конфликта интересов, связанных с публикацией данной статьи.

Для цитирования: Лисицин Л. А., Лисицин А. Л., Халин Ю. А. Автоматизация рабочего места преподавателя вуза // Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Управление, вычислительная техника, информатика. Медицинское приборостроение. 2021. Т. 11, № 2. С. 97–107.

Поступила в редакцию 26.03.2021

Подписана в печать 24.04.2021

Опубликована 28.05.2021

© Лисицин Л. А., Лисицин А. Л., Халин Ю. А., 2021

Automation of the Workplace of a University Teacher

Leonid A. Lisitsin¹ ✉, Alexander L. Lisitsin², Yuri A. Khalin¹

¹ Southwest State University

50 Let Oktyabrya str. 94, Kursk 305040, Russian Federation

² Kursk State University

33 Radischeva str., Kursk 305000, Russian Federation

✉ e-mail: leo_263@mail.ru

Abstract

Purpose of research. The information age imposes special requirements on the design and structuring of information in the economy, law and education.

This article discusses the possibilities of reducing routine work associated with error-free documentation in the conditions of processing large amounts of information in the educational field. Routine work takes up a lot of time in the work of university teachers and is more tedious than creative work. In addition to errors related to the human factor, in the process of education reform, the forms of documents often change and large volumes of text have to be redone.

Methods. Document management systems do not justify themselves due to the high price, complexity, and require configuration, maintenance, and training of personnel. Therefore, it is preferable to work with well-known software, such as MS Office (any modification). With the help of a macro, a program is created that, based on the data provided in the EXCEL file, generates exam tickets according to a given template in Word. At the same time, you can flexibly change the number of questions in the tickets, the number of issues in the ticket, and the number of tickets themselves.

Results. The program of questions and tasks allows you to repeatedly reduce the time of creating tickets for exams, does not require training and configuration, and also eliminates errors due to high accuracy of work.

Conclusion. A specialized program for creating exam tickets for disciplines is considered.

Keywords: automation; tickets; educational and methodical complex.

Conflict of interest: The authors declares no conflict of interest related to the publication of this article.

For citation: Lisitsin L. A., Lisitsin A. L., Khalin Yu. A. Automation of the Workplace of a University Teacher. *Izvestiya Yugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Upravlenie, vychislitel'naya tekhnika, informatika. Meditsinskoe priborostroenie* = *Proceedings of the Southwest State University. Series: Control, Computer Engineering, Information Science. Medical Instruments Engineering*. 2021; 11(2): 97–107. (In Russ.)

Received 26.03.2021

Accepted 24.04.2021

Published 28.05.2021

Введение

Внедрение в России Болонского процесса повлекло за собой изменения стандартов в оформлении учебных документов. Причем стандарты порой меняются несколько раз в семестре. При нагрузке преподавателя десятью дисциплинами переделка даже незначительной пары пунктов на дисциплину выливается в многочасовую работу.

Оформление образовательной документации в настоящее время является созданием *информационного интеллектуального продукта вуза*, публикуется на сайте и является рекламой для абитуриентов. При современной высокой нагрузке преподавателя программа позволяет всё выполнить безупречно. Для облегчения труда преподавателя на сего-

дняшний день требуется создание многих специализированных программ, одной из которых является программа по формированию билетов. Следует отметить, что аналогичные программы существуют в более сложных вариантах с применением языков программирования. Однако они требуют для использования квалификацию программиста и не всегда универсальны.

Материалы и методы

Разработка учебно-методических комплексов (УМК) [1] является основной документацией учебного процесса и затрагивает большое число работников. Рабочая программа (РП) должна быть согласована с учебным планом, и на её основе разрабатываются фонд оценочных средств (вопросы, билеты к зачету и экзаменам), лекции и методические указания к лабораторным и практическим занятиям. Поэтому важной задачей становится *автоматизация учебного процесса вуза* [2].

По экспертным оценкам, при работе с текстами более 80% ошибок приходится на рутинную работу [3]: перенос данных, указание неверных дат, оформление таблиц, указание формата текста и другое. Каждый преподаватель ведет обычно 5–12 дисциплин по очному и заочному обучению. Монотонная числовая информация в текстах дисциплин часто пугается. Однако её легко автоматизировать при помощи программы макросов [4]. Для этого можно сформировать

отформатированный шаблон [5] в Word документ, вписав в него все данные, кроме тех, которые впишет сам преподаватель на последнем этапе создания.

В зарубежных версиях программ составления учебных билетов для дисциплин можно отметить в первую очередь программы сайта ExcelDataPro [6]. Они разработаны с учетом законодательства Великобритании, но представляет интерес для любых стран. Одно из положительных качеств – наличие бесплатных программ с большим ассортиментом выбора. В разделе Download Free Educational Templates For School Teachers & Students In Excel («Скачать бесплатные образовательные шаблоны для школьных учителей и учеников в Excel») можно найти программу генератора билетов. Однако данная программа завязана с набором школьного курса. В некоторых программах сайта предусмотрены гибкие настройки для пользователей, где определенные графы можно изменять и заполнять. Программы сайта могут послужить примером для оформления и для новых идей при автоматизации преподавательской работы.

Из зарубежных программ представляет интерес статья [7], где рассматривается применение функции случайного поиска в процессе выбора вопроса на электронных экзаменах. В трудах [8] рассмотрены идеи создания экзаменационных билетов без подробностей программирования.

На форумах по программированию предлагают создавать билеты путем слияния документов MS Word и EXCEL

Суть метода заключается в формировании столбцов данных для задач и для вопросов билета (рис. 1). Вопросы могут оформляться в виде теста с выбором правильного ответа. Столбцы для вопросов и задач подсвечиваются разными цветами.

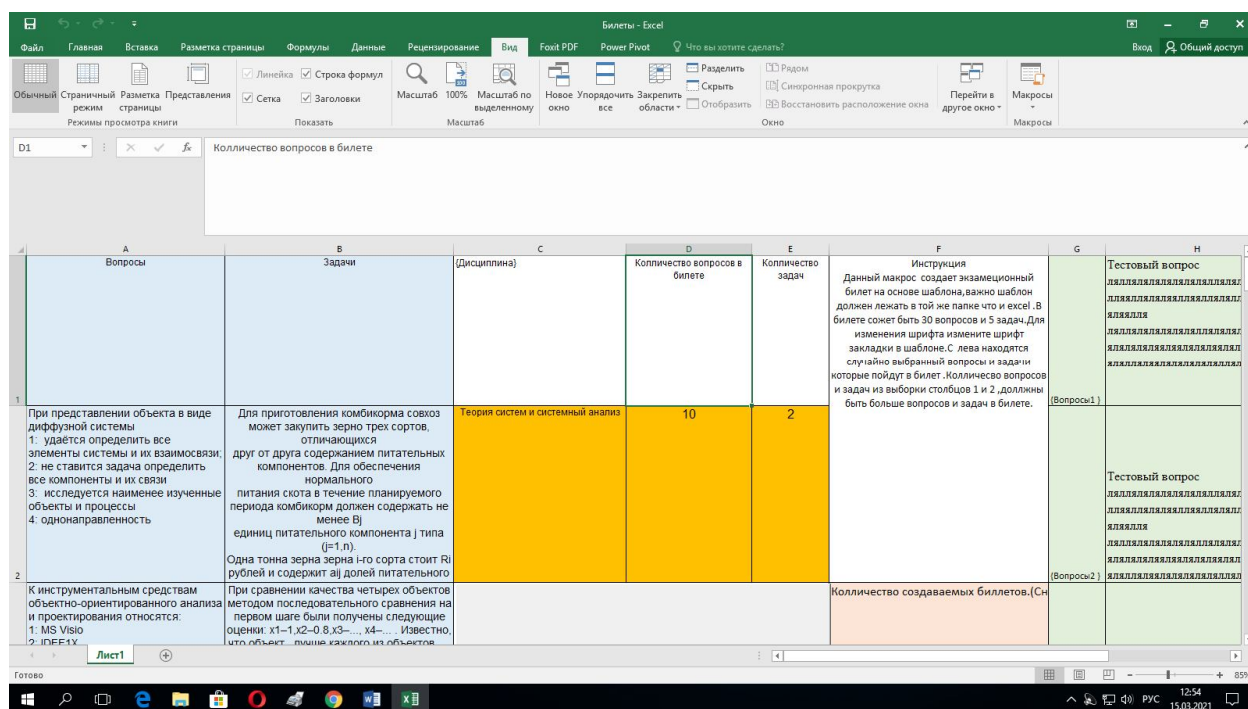


Fig. 1. Formation of data for the examination card

Алгоритм работы программы [14]:

в текущем каталоге формируются нужное количество билетов. Билеты формируются из вопросов и задач, загружаемых пользователем. Пользователь в определенных ячейках указывает количество вопросов в билете, количество задач и количество самих билетов. Вопросы и задачи выбираются из общих списков случайным образом [15].

Результаты и их обсуждение

Данные заполняются простым копированием. Для каждой дисциплины создается свой каталог. Строки данных можно дополнять новыми вопросами и задачами. Для каждой дисциплины формируется свой шаблон в Word.

После набора данных и ввода меток в шаблон (рис. 2) макрос [16] формирует билеты. Время автоматического формирования 25 билетов на среднем офисном компьютере – около 20 с.

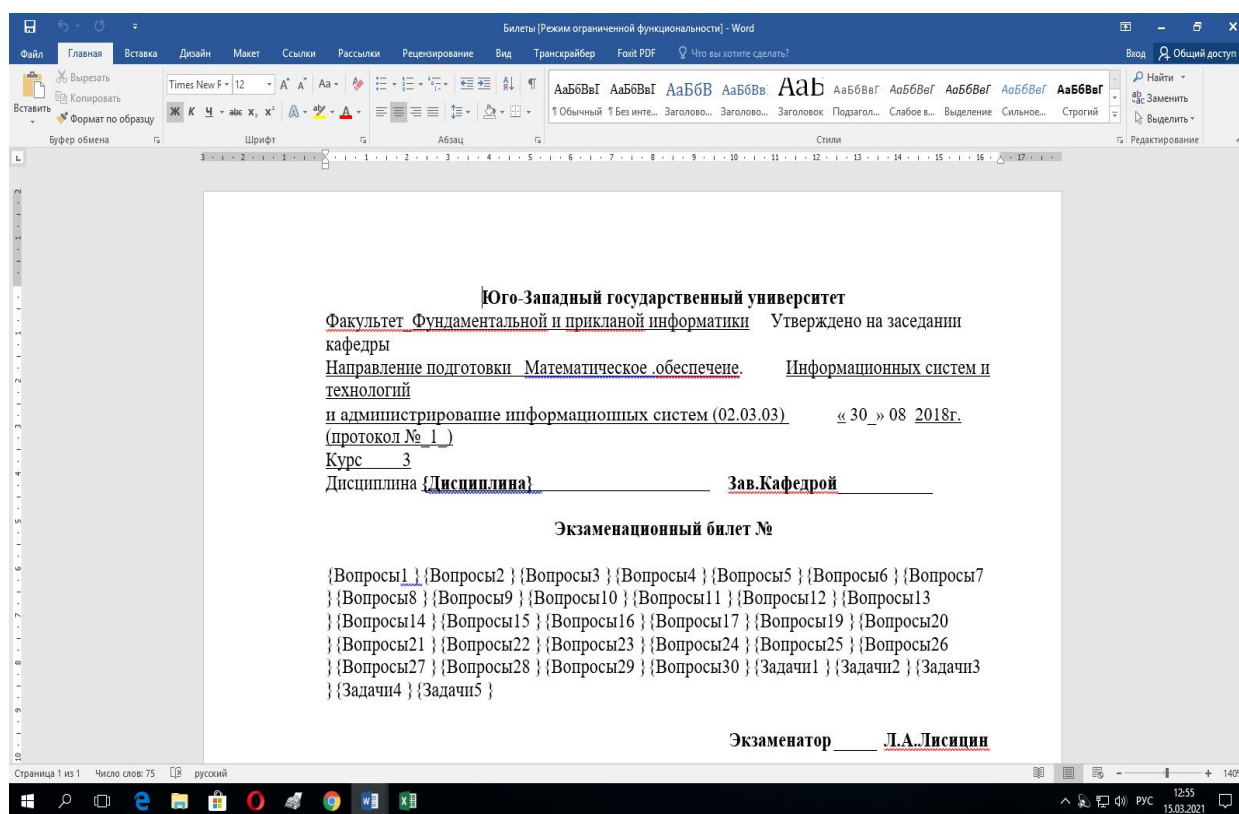


Рис. 2. Шаблон экзаменационного билета с метками

Fig. 2. Exam ticket template with labels

Экспериментально посчитаем загрузку преподавателя на переделку 25 билетов по дисциплине с учетом того, что вопросы и задачи в билетах должны

быть разные. Возьмем вначале 12 вопросов и 3 задачи. В ручном режиме средняя скорость составления билета будет

равна 30 мин и более. При этом возможны повторы. В автоматическом режиме всё происходит за 20 с, повторы исключены даже при минимальных количествах вопросов и задач.

Особенно это актуально, если и для зачета требуется создать бланковые формы тестирования [17], а также для промежуточной аттестации [18].

При закреплении за каждым преподавателем 10 дисциплин реальное время оформления билетов будет не меньше двух недель. При помощи автоматизации процесса этот срок может сократиться до 2 ч на всю работу, связанную с оформлением билетов дисциплин. Основную часть времени все-таки придется тратить на заполнение данными строк билетов в EXCEL.

Выводы

Достоинства метода формирования билетов состоит в следующем:

- простота работы по данному методу не требует какого-либо дополнительного обучения;

- подготовкой модели УМК до 80% может заниматься практически один человек на кафедре с использованием программы-бота;
- проверка УМК после программы бота или не требуется, или упрощается многократно, используя математический аппарат EXCEL;
- работа преподавателя на оформление учебной документации значительно сократится, и останется только профессиональная, творческая её часть;
- в случае изменения рабочих планов (что происходит неоднократно за учебный год) или шаблонов документов переоформление билетов не составит труда даже без самого преподавателя инженерными работниками кафедр;
- информацию легко структурировать [19]: добавляются новые строки, новые шаблоны или удаляются;
- программа будет работать с любым частичным набором данных (т. е. невведенные данные будут равны 0);
- текст в шаблоне легко форматируется простым форматом метки [20];
- макрос легко переносится на любую версию EXCEL.

Список литературы

1. О проблемах современного образования. URL: <https://trizway.com/art/form/problemny-sovremennogo-obrazovaniya.html> (дата обращения: 11.02.2021).
2. Автоматизация задач с помощью средства записи макросов – Excel. URL: <https://support.microsoft.com/ru-ru/office/%D0%B0%D0%B2%D1%82%D0%BE%D0%BC%D0%B0%D1%82%D0%B8%D0%B7%D0%B0%D1%86%D0%B8%D1%8F-%D0%>

B7%D0%B0%D0%B4%D0%B0%D1%87-%D1%81-%D0%BF%D0%BE%D0%BC%D0%BE%D1%89%D1%8C%D1%8E-%D1%81%D1%80%D0%B5%D0%B4%D1%81%D1%82%D0%B2%D0%B0-%D0%B7%D0%B0%D0%BF%D0%B8%D1%81%D0%B8-%D0%BC%D0%B0%D0%BA%D1%80%D0%BE%D1%81%D0%BE%D0%B2-%E2%80%94-excel-974ef220-f716-4e01-b015-3ea70e64937b (дата обращения: 11.02.2021).

3. Автоматическая обработка текстов на естественном языке и анализ данных: учебное пособие / Е. И. Большакова, К. В. Воронцов, Н. Э. Ефремова, Э. С. Клышинский, Н. В. Лукашевич, А. С. Сапин. М.: Изд-во НИУ ВШЭ, 2017. 269 с.

4. Роботизация как образовательный тренд / О. М. Карпенко, В. Н. Фокина, М. Е. Широкова, О. А. Дегтярева // Дистанционное и виртуальное обучение. 2017. № 5 (119). С. 24–32.

5. Использование шаблона. URL: <https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%92%D0%B8%D0%BA%D0%B8%D0%BF%D0%B5%D0%B4%D0%B8%D1%8F:%D0%A8%D0%B0%D0%B1%D0%BB%D0%BE%D0%BD%D1%8B> (дата обращения: 11.02.2021).

6. Free Excel Pro Templates. URL: <https://exceldatapro.com/templates/educational/> (дата обращения: 11.02.2021).

7. Qasimov H. A. O. Application of rnd function in the process of question choice in electronic exams // European Science Review. 2017. N 3–4. P. 94–97.

8. The methodology of development of electronic educational resources for learning of general Scientific disciplines in non-native language / M. V. Lapenok, A. M. Lozinskaya, L. G. Shestakova, L. V. Voronina, P. V. Zuev, O. M. Patrusheva // Smart Innovation, Systems and Technologies. 2019. Vol. 144. P. 127–137.

9. Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ 2019611753 Российская Федерация. Автоматизированная система комплектования экзаменационных билетов (ticketgen) / Лапко А. Н., Куцакин М. А., Ключков О. И., Ноздрачев П. В., Семенов Д. В. № 2019610528; заявл. 22.01.19; опублик. 04.02.19.

10. Шмальц Т. А. Создание программы для генерации билетов на экзамен // Проблемы современных интеграционных процессов и поиск инновационных решений: сборник статей Международной научно-практической конференции. Уфа, 2020. С. 93–99.

11. Старостина А.К. Автоматизация процесса создания экзаменационных билетов // Научно-практические исследования. 2017. № 8 (8). С. 143–145.

12. Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ 2016610660 Российская Федерация. Автоматизированное рабочее место преподавателя кафедры вуза / Хасухаджиев А. С. А., Ахмадова Л. Л., Бикаев И. М., Халиева Х. С. № 2015661195; заявл. 20.11.15; опублик. 15.01.16.

13. Glazov A. B., Gaidarzhi G. Kh. On the functions of the specialized program Teacher's Calendar // Pedagogical Informatics. 2011. N 3. P. 58–65.
14. ГОСТ 19.701–90 (ИСО 5807–85). Единая система программной документации. URL: <https://docs.cntd.ru/document/9041994> (дата обращения: 11.02.2021).
15. Зарезина А. С., Лаппа А. В. Опыт использования электронного экзамена по курсу «Теория вероятностей» для физиков // Современные образовательные технологии как средство развития научно-педагогического потенциала: сборник. Челябинск: Печатный двор, 2018. С. 73–76.
16. Как написать макрос в Excel. URL: <https://exceltable.com/vba-macros/kak-napisat-makros> (дата обращения: 11.02.2021).
17. Ткаченко В. Я. Особенности компьютерного тестирования и практика применения // Системный анализ в науке и образовании. 2018. № 4. С. 101–107.
18. Артамошина М. Н. Промежуточная аттестация учащихся с использованием информационных технологий // Профессиональное образование. 2007. № 1. С. 15–16.
19. Гусарова Н. Ф. Структурирование учебной информации при ее компьютерном представлении // Телекоммуникации и информатизация образования. 2002. № 2. С. 4.
20. Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ 2016618553 Российская Федерация. Автоматизированная система подготовки данных / Абакумов Е. М., Кожевников Н. О., Казанбеков С. Б., Адмиральская М. Г., Кондратьева Г. А., Ильин К. С. № 2016615723; заявл. 03.06.16; опубл. 02.08.16.

References

1. O problemakh sovremennogo obrazovaniya [About the problems of modern education]. Available at: <https://trizway.com/art/form/problemey-sovremennogo-obrazovaniya.html>. (accessed 11.02.2020)
2. Avtomatizatsiya zadach s pomoshch'yu sredstva zapisi makrosov – Excel [Automation of tasks using the macro recording tool – Excel]. Available at: <https://support.microsoft.com/ru-ru/office/%D0%B0%D0%B2%D1%82%D0%BE%D0%BC%D0%B0%D1%82%D0%B8%D0%B7%D0%B0%D1%86%D0%B8%D1%8F-%D0%B7%D0%B0%D0%B4%D0%B0%D1%87-%D1%81-%D0%BF%D0%BE%D0%BC%D0%BE%D1%89%D1%8C%D1%8E-%D1%81%D1%80%D0%B5%D0%B4%D1%81%D1%82%D0%B2%D0%B0%D0%B7%D0%B0%D0%BF%D0%B8%D1%81%D0%B8-%D0%BC%D0%B0%D0%BA%D1%80%D0%BE%D1%81%D0%BE%D0%B2-%E2%80%9494-excel-974ef220-f716-4e01-b015-3ea70e64937b>. (accessed 11.02.2021)

3. Bolshakova E. I., Vorontsov K. V., Efremova N. E., Klyshinsky E. S., Lukashevich N. V., Sapin A. S. *Avtomaticheskaya obrabotka tekstov na estestvennom yazyke i analiz dannykh* [Automatic natural language text processing and data analysis]. Moscow, Publishing House of the Higher School of Economics, 2017. 269 p
4. Karpenko O. M., Fokina V. N., Shirokova M. E., Degtyareva O. A. Robotizatsiya kak obrazovatel'nyi trend [Robotization as an educational trend]. *Distantcionnoe i virtual'noe obuchenie = Distance and Virtual Learning*, 2017, no. 5 (119), pp. 24–32.
5. Ispol'zovanie shablona [Using the template]. Available at: <https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%92%D0%B8%D0%BA%D0%B8%D0%BF%D0%B5%D0%B4%D0%B8%D1%8F:%D0%A8%D0%B0%D0%B1%D0%BB%D0%BE%D0%BD%D1%8B>. (accessed 11.02.2021)
6. Free Excel Pro Templates. Available at: <https://exceldatapro.com/templates/educational/>. (accessed 11.02.2021)
7. Qasimov H. A. O. Application of rnd function in the process of question choice in electronic exams. *European Science Review*, 2017, no. 3-4, pp. 94–97.
8. Lapenok M. V., Lozinskaya A. M., Shestakova L. G., Voronina L. V., Zuev P. V., Patrusheva O. M. The methodology of development of electronic educational resources for learning of general Scientific disciplines in non-native language. *Smart Innovation, Systems and Technologies*, 2019, vol. 144, pp. 127–137.
9. Lapko A. N., Kutsakin M. A., Klochkov O. I., Nozdrachev P. V., Semenov D. V. *Avtomatizirovannaya sistema komplektovaniya ekzamenatsionnykh bile-tov (ticketgen)* [Automated system for completing exam tickets (ticketgen)]. Patent RF, no. 2019611753, 2019.
10. Shmalts T. A. [Creating a program for generating tickets for the exam]. *Problemy sovremennykh integratsionnykh protsessov i poisk innovatsionnykh reshe-nii: sbornik statei Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii* [Problems of modern integration processes and the search for innovative solutions. Collection of articles of the International Scientific and Practical Conference]. Ufa, 2020, pp. 93–99. (In Russ.)
11. Starostina A. K. *Avtomatizatsiya protsessa sozdaniya ekzamenatsionnykh biletov* [Automation of the process of creating exam tickets]. *Nauchno-prakticheskie issledovaniya = Scientific and Practical Research*, 2017, no. 8 (8), pp. 143–145.
12. Khasukhadzhiev A. S. A., Akhmadova L. L., Bikaev I. M., Khalieva H. S. *Avtomatizirovannoe rabochee mesto prepodavatela kafedry vuza* [Automated workplace of a teacher of the university department]. Patent RF, no. 2016610660, 2016.

13. Glazov A. B., Gaidarzhi G. Kh. On the functions of the specialized program Teacher's Calendar. *Pedagogical Informatics*, 2011, no. 3, pp. 58–65.
14. GOST 19.701–90 (ISO 5807-85). Edinaya sistema programmnoi dokumenta-tsii [State Standard 19.701–90 (ISO 5807-85). Unified system of program documentation]. Available at: <https://docs.cntd.ru/document/8041994>. (accessed 11.02.2021)
15. Zarezina A. S., Lappa A. V. [Experience of using the electronic exam for the course "probability theory" for physicists]. *Sovremennye obrazovatel'nye tekhnologii kak sredstvo razvitiya nauchno-pedagogicheskogo potentsiala: sbornik* [Modern educational technologies as a means of developing scientific and pedagogical potential. Collector]. Chelyabinsk, Printing Yard Publ., 2018, pp. 73–76. (In Russ.)
16. Kak napisat' makros v Excel [How to write a macro in Excel]. Available at: <https://exceltable.com/vba-macros/kak-napisat-makros>. (accessed 11.02.2021)
17. Tkachenko V. Ya. Osobennosti komp'yuternogo testirovaniya i praktika primeneniya [Features of computer testing and application practice]. *Sistemnyi analiz v nauke i obrazovanii = System Analysis in Science and Education*, 2018, no. 4, pp. 101–107.
18. Artamoshina M. N. Promezhutochnaya attestatsiya uchashchikhsya s ispol'zovaniem informatsionnykh tekhnologii [Intermediate certification of students using information technologies]. *Professional'noe obrazovanie = Professional Education*, 2007, no. 1, pp. 15–16.
19. Gusarova N. F. Strukturirovanie uchebnoi informatsii pri ee komp'yuternom predstavlenii [Structuring of educational information in its computer representation]. *Telekommunikatsii i informatizatsiya obrazovaniya = Telecommunications and Informatization of Education*, 2002, no. 2, p. 4.
20. Abakumov E. M., e. a. Avtomatizirovannaya sistema podgotovki dannykh [Automated data preparation system]. Patent RF, no. 2016615723, 2016.

Информация об авторах / Information about the Authors

Лисицин Леонид Александрович,
кандидат технических наук, доцент
кафедры информационных систем и технологий,
Юго-Западный государственный университет,
г. Курск, Российская Федерация,
e-mail: leo_263@mail.ru

Leonid A. Lisitsin, Cand. of Sci.
(Engineering), Associate Professor of the
Department Information Systems and
Technologies, Southwest State
University, Kursk, Russian Federation,
e-mail: leo_263@mail.ru,

Лисицин Александр Леонидович,
ассистент кафедры информационной
безопасности, Курский государственный
университет, г. Курск, Российская Федерация,
e-mail: vip.lisicin@mail.ru

Alexander L. Lisitsin, Assistant of the
Department of Information Security, Kursk State
University, Kursk, Russian Federation,
e-mail: vip.lisicin@mail.ru

Халин Юрий Алексеевич, кандидат
технических наук, доцент кафедры
программной инженерии, Юго-Западный
государственный университет, Курск,
Российская Федерация,
e-mail: yur-khalin@yandex.ru

Khalin Yuri A., Cand. of Sci. (Engineering),
Associate Professor of the Department of
Software Engineering, Southwest State
University, Kursk, Russian Federation,
e-mail: yur-khalin@yandex.ru

Оригинальная статья / Original article

УДК 528.8

Комплекс дистанционного обнаружения загрязнений поверхности земли несанкционированными объектами размещения отходов**А. В. Иорданова¹** ✉

¹ Юго-Западный государственный университет
ул. 50 лет Октября 94, г. Курск 305040, Российская Федерация

✉ e-mail: asy.gnezdilova@yandex.ru

Резюме

Цель исследования заключается в повышении эффективности обнаружения и контроля загрязнения поверхности земли несанкционированными объектами размещения отходов (ОРО) за пределами городской черты посредством разработки комплекса инфракрасного дистанционного обнаружения несанкционированных ОРО.

Методы. Работа комплекса инфракрасного дистанционного обнаружения загрязнений поверхности земли ОРО базируется на методах дистанционного зондирования, которые подразделяются на активные, полуактивные и пассивные. К пассивным методам дистанционного зондирования относят методы, основанные на регистрации теплового излучения Земли (ИК, СВЧ). В силу того, что несанкционированные свалки, расположенные за пределами населенных пунктов, находятся там достаточно продолжительное время, в теле свалок начинают протекать экзотермические химические реакции, приводящие к возникновению температурного контраста между поверхностью земли и несанкционированной свалкой. На полученном температурном контрасте и базируется работа комплекса инфракрасной дистанционной диагностики загрязнения поверхности земли несанкционированными ОРО.

Результаты. Разработанный комплекс инфракрасного дистанционного обнаружения несанкционированных ОРО состоит из комплекта входной оптики, инфракрасного объектива, устройства для вертикального и горизонтального сканирования, фотоприемника с системой охлаждения, усилителя с предусилителем, а также блока обработки поступающих сигналов, GPS-приемника и ЭВМ. Комплекс может быть установлен на малый мобильный летательный аппарат (квадрокоптер и т. п.), что позволит осуществлять оперативный контроль и обнаружение несанкционированных ОРО за пределами городской черты.

Заключение. Данные, полученные с помощью комплекса инфракрасного дистанционного обнаружения загрязнений поверхности земли несанкционированными ОРО, могут быть обработаны, систематизированы и использованы для разработки планов ликвидации обнаруженных ОРО с учетом приоритетов экологической политики.

Ключевые слова: объект размещения отходов (ОРО); несанкционированная свалка; дистанционное зондирование; инфракрасный диапазон, температурный контраст.

Конфликт интересов: Авторы декларируют отсутствие конфликта интересов, связанных с публикацией данной статьи.

Финансирование: Работа выполнена в рамках гранта Президента РФ для государственной поддержки молодых российских ученых МК-941.2019.5.

Для цитирования: Иорданова А. В. Комплекс дистанционного обнаружения загрязнений поверхности земли несанкционированными объектами размещения отходов // Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Управление, вычислительная техника, информатика. Медицинское приборостроение. 2021. Т. 11, № 2. С. 108–119.

Поступила в редакцию 11.03.2021

Подписана в печать 08.04.2021

Опубликована 28.05.2021

Complex for Remote Detection of Contamination of the Earth's Surface by Unauthorized Waste Disposal Facilities

Anastasiya V. Iordanova¹ ✉

¹ Southwest State University

50 Let Oktyabrya str. 94, Kursk 305040, Russian Federation

✉ e-mail: asy.gnezdilova@yandex.ru

Abstract

The purpose of research is to improve the efficiency of detection and control of contamination of the earth's surface by unauthorized waste disposal facilities (ORO) outside the city limits by developing a complex of infrared remote detection of unauthorized WDF.

Methods. The work of the complex of infrared remote detection of pollution of the earth's surface WDF is based on remote sensing methods, which are divided into active, semi-active and passive. Passive methods of remote sensing include methods based on the registration of thermal radiation of the Earth (IR, microwave). Due to the fact that unauthorized landfills located outside of settlements are located there for a long time, exothermic chemical reactions begin to occur in the body of landfills, leading to the appearance of a temperature contrast between the surface of the earth and the unauthorized landfill. The work of the complex of infrared remote diagnostics of contamination of the earth's surface by unauthorized WDF is based on the obtained temperature contrast.

Results. The developed complex of infrared remote detection of unauthorized ORO consists of a set of input optics, an infrared lens, a device for vertical and horizontal scanning, a photodetector with a cooling system, an amplifier with a preamp, as well as a unit for processing incoming signals, a GPS receiver and a computer. The complex can be installed on a small mobile aircraft (quadrocopter, etc.), which will allow for operational control and detection of unauthorized ORO outside the city limits.

Conclusion. The data obtained using the complex of infrared remote detection of contamination of the earth's surface by unauthorized SRW can be processed, systematized and used to develop plans for the elimination of detected SRW, taking into account the priorities of environmental policy.

Keywords: waste disposal facility (WDF); unauthorized landfill; remote sensing, infrared range; temperature contrast.

Conflict of interest: The authors declares no conflict of interest related to the publication of this article.

Funding: The work was carried out within the framework of the grant of the President of the Russian Federation for state support of young Russian scientists MK-941.2019.5.

For citation: Iordanova A. Complex for Remote Detection of Contamination of the Earth's Surface by Unauthorized Waste Disposal Facilities *Izvestiya Yugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta. Serija: Upravljenje, vychislitel'naja tehnika, informatika. Meditsinskoe priborostroenie* = *Proceedings of the Southwest State University. Series: Control, Computer Engineering, Information Science. Medical Instruments Engineering*. 2021; 11(2): 108–119. (In Russ.)

Received 11.03.2021

Accepted 08.04.2021

Published 28.05.2021

Введение

В связи с ростом количества образующихся несанкционированных свалок становится актуальной проблема их оперативного обнаружения и ликвидации. Несанкционированные свалки, находящиеся в черте города, могут быть обнаружены с помощью привлечения человеческого ресурса (неравнодушных граждан), которые могут сообщить о найденной свалке в соответствующие органы или воспользоваться специализированными ресурсами [1; 2; 3].

Обнаружение несанкционированных объектов размещения отходов за пределами городской черты сталкивается с рядом проблем. Свалки, находящиеся вне населенных пунктов, как правило, располагаются в труднодоступных зонах, размещены там довольно продолжительное время (от 1 года и более) и достаточно объемны. Обнаружение их с помощью использования человеческого ресурса не всегда возможно.

Данная проблема может быть решена путем применения методов дистанционного зондирования, которые в настоящее время получили достаточно широкое распространение при проведении комплексного мониторинга загрязнения природной среды.

Дистанционные методы зондирования играют важную роль в экологическом мониторинге, выступая в качестве источника непрерывного получения оперативных достоверных данных о состоянии контролируемых объектов. Методами дистанционного зондирования можно получать широкий спектр всевозможных данных об объекте наблюдения, что позволяет дать комплексную оценку его состояния и на основании полученных данных построить качественный прогноз изменения этого состояния [4; 5; 6].

Существует три основных вида методов дистанционного зондирования: активные, полуактивные и пассивные. Сущность активных методов заключается в регистрации отраженного излучения, посылаемого со спутника сигнала собственного источника энергии в заданном спектральном диапазоне (например, лазера). При использовании полуактивных методов происходит облучение естественными или искусственными источниками электромагнитного излучения и дальнейшая обработка поступающих сигналов измененного спектрального состава. Использование пассивных методов подразумевает регистрацию и

анализ теплового излучения поверхности земли или естественного гамма-излучения [7; 8; 9; 10].

Как было отмечено ранее, несанкционированные свалки, находящиеся за чертой города, как правило, располагаются там достаточно продолжительное время, в связи с чем в теле свалки начинают протекать экзотермические химические реакции. Это приводит к возникновению температурного контраста между поверхностью земли и несанкционированной свалкой. Данная аномалия позволяет использовать дистанционные методы зондирования для обнаружения стихийных несанкционированных ОРО.

Таким образом, цель данного исследования заключается в повышении эффективности обнаружения и контроля загрязнений поверхности земли несанкционированными объектами размещения отходов (ОРО) за пределами городской черты посредством разработки комплекса инфракрасного дистанционного обнаружения несанкционированных ОРО.

Материалы и методы

Метод инфракрасной диагностики загрязнения поверхности земли несанкционированными свалками является пассивным методом. В нем отсутствует непосредственное воздействие средства измерения на окружающую среду. Кроме того, данный метод очень устойчив к воздействию внешних условий, при которых производятся измерения,

не требует применения прецизионной и дорогостоящей аппаратуры, имеет достаточно высокие метрологические характеристики [11; 12; 13; 14; 15].

Следует отметить, что температурный контраст между поверхностью земли и несанкционированной свалкой может достигать около 10°C.

Исходя из семейства изотерм, вычисленных по формуле Планка, можно определить спектральный диапазон, в котором излучение будет максимальным. Максимум излучения будет лежать в диапазоне длин волн от 8 до 14 мкм (дальняя инфракрасная область).

В настоящее время для измерения температурных и спектральных характеристик объектов окружающей природной среды используют тепловизоры. Среди отечественных разработок следует выделить авиационные тепловизоры «Вулкан» или «Тайга-2». Однако данные тепловизоры имеют ряд существенных недостатков, что не позволяет в полной мере использовать их для реализации поставленной нами цели. Данными недостатками являются недостаточная температурная чувствительность и неподходящий рабочий спектральный диапазон.

Таким образом, для построения комплекса дистанционной инфракрасной диагностики загрязнений поверхности земли несанкционированными ОРО представляется наиболее рациональным использование детекторов теплового излучения КРТ. Данный вид детекторов

выполнен на базе фотоприемников, поддерживающих соединение таких элементов, как теллурид кадмия и ртуть. Отсюда и сокращенное название – КРТ [16; 17; 18].

Для достижения рабочей температуры можно использовать два способа охлаждения:

1) Джоуля-Томсона. В данном способе охлаждение достигается путем резкого изменения давления в вакууме;

2) Стирлинга. Данный способ базируется на применении компрессионных холодильных агрегатов в термодинамическом цикле Стирлинга.

Темпы развития современной тепловизионной аппаратуры позволяют выделить в качестве наиболее рациональных тепловизионных приборов приборы III поколения, которые в качестве фотоприемников используют SPRITE-детекторы (SPRITE – Signal Processing in the Element). Другое их название – TED-детекторы.

Преимущество данных детекторов заключается в том, что задержка и суммирование принимаемых сигналов происходят исключительно внутри детектора, что позволяет обойтись без электронных схем – обязательного элемента приборов предшествующих поколений. Данная особенность позволяет также сократить количество используемых соединительных проводов, что в свою очередь позволяет сократить размеры и массу системы охлаждения. Также с помощью TED-детекторов можно получить более качественные изображения [19; 20].

Также при построении тепловизионной аппаратуры следует обратить внимание на способы сканирования. Они могут быть параллельными, последовательными и параллельно-последовательными. Параллельно-последовательный способ сканирования нашел наиболее широкое распространение в приборах II и III поколений как уравнивающий недостатки и достоинства, характерные для первых двух методов.

Разрешающая способность по температуре при этом вполне достаточна для решения задач разрабатываемого комплекса дистанционного обнаружения загрязнения поверхности земли несанкционированными объектами размещения отходов.

Результаты и их обсуждение

Разработанный комплекс инфракрасной дистанционной диагностики загрязнения поверхности земли несанкционированными объектами размещения отходов (рис.) состоит из комплекта входной оптики переменного увеличения 1, инфракрасного объектива 2, устройства вертикального 3 и горизонтального 4 сканирования, фотоприемника 5 с системой охлаждения 6, предусилителя 7 и усилителя 8, а также блока обработки сигналов 9, GPS приемника 13 и ЭВМ 10.

Работает комплекс следующим образом: тепловое излучение 11 от исследуемой поверхности 12 поступает в комплект входной оптики переменного уве-

лучения 1, который состоит из афокального объектива, с установленным за ним блоком переключающихся линз с целью обеспечения большего увеличения (с одновременным уменьшением угла зрения). Далее излучение попадает в инфракрасный объектив 2, который состоит из набора линз, изготовленных из материала с наивысшим коэффициентом пропускания ИК-излучения в диапазоне от 8 до 14 мкм. Такими материалами являются германий, кремний или оптическая керамика. К основным параметрам объектива относятся фокусное расстояние и относительное отверстие. Данные параметры определяются исходя из фактического расстояния от комплекса инфра-

красной диагностики до поверхности исследуемой территории и требуемого угла обзора.

Далее излучение поступает на сканирующее устройство, которое состоит из колеблющегося зеркала, обеспечивающего вертикальное сканирование 3, и зубчатого ротора, реализующего горизонтальное сканирование 4.

Следующим элементом комплекса, куда попадает инфракрасное излучение, является фотоприемник 5, представляющий собой TED-детектор, размещенный в сосуде Дьюара с соответствующей системой охлаждения 6, основанной либо на эффекте Джоуля-Томсона, либо на цикле Стирлинга.

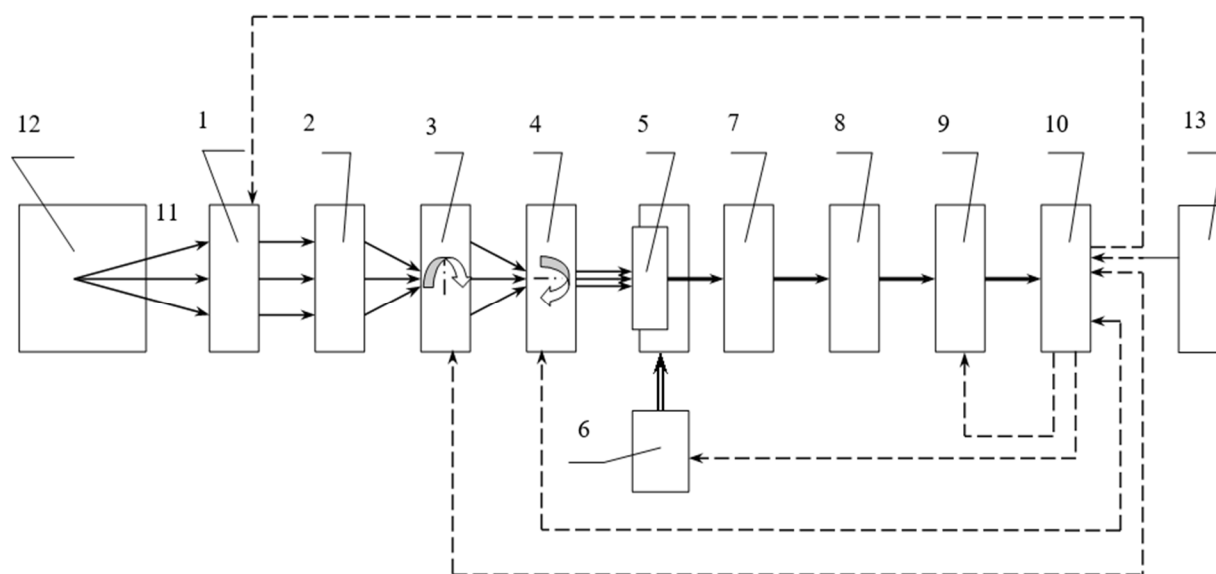


Рис. 1. Структура комплекса инфракрасной дистанционной диагностики загрязнения поверхности земли несанкционированными ОРО: $\equiv$ – инфракрасное излучение; $\Rightarrow$ – охлаждение; $-\rightarrow$ – управляющий сигнал; $\longrightarrow$ – электрический сигнал от детектора (изображение в инфракрасной области спектра)

Fig. 1. Structure of the complex of infrared remote diagnostics of contamination of the earth's surface by unauthorized WDF: $\equiv$ – infrared radiation; $\Rightarrow$ – cooling; $-\rightarrow$ – control signal; $\longrightarrow$ – electrical signal from the detector (image in the infrared region of the spectrum)

После TED-детектора сигналы поступают на предусилители 7 и усилители 8, после чего направляются на блок обработки сигналов 9. Блок обработки сигналов 9 имеет обратную связь со сканирующим устройством и работает с ним синхронно.

На последнем этапе обработанный сигнал в цифровом формате поступает на ЭВМ 10, где осуществляется контроль и управление работой основных элементов комплекса, а также определение контуров обнаруженного загрязнения и других заложенных характеристик.

К ЭВМ подключен GPS-приемник 13, с помощью которого можно определить точное положение несанкционированного объекта размещения отходов на поверхности исследуемой территории.

Разработанный комплекс может быть установлен на малые мобильные летательные аппараты, что позволит

осуществлять комплексный мониторинг загрязнения поверхности земли несанкционированными объектами размещения отходов за пределами городской черты.

Выводы

Таким образом, разработанный комплекс дистанционного обнаружения загрязнений поверхности земли несанкционированными объектами размещения отходов, реализованный посредством описанных технологий, позволит в режиме реального времени эффективно осуществлять дистанционное зондирование с целью выявления загрязнений поверхности земли несанкционированными свалками, что в свою очередь будет способствовать повышению оперативности и качества принимаемых решений при проведении природоохранных мероприятий.

Список литературы

1. Разработка элементов информационно-аналитической системы учета несанкционированных свалок / В. В. Юшин, В. М. Попов, И. О. Кирильчук, А. В. Гнездилова // Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Управление, вычислительная техника, информатика. Медицинское приборостроение. 2018. Т. 8, № 3 (28). С. 68–80.
2. Иорданова А. В. Использование web-технологий в решении экологических и природоохранных задач // Медико-экологические информационные технологии – 2019: сборник научных статей по материалам XXII Международной научно-технической конференции / отв. ред. Н. А. Корневский; Юго-Западный государственный университет. Курск, 2019. С. 100–105.

3. Кирильчук, И. О., Иорданова, А. В. Использование интерактивных технологий при формировании эколого ориентированного мировоззрения обучающихся // *Alma mater* (Вестник высшей школы). 2020. № 4. С. 89–93.
4. Попов В. М., Кирильчук И. О., Коровина А. Ю. Социально-экономическая оценка объектов размещения отходов // *Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Техника и технологии*. 2017. Т. 7, № 2 (23). С. 56–65.
5. Юшин В. В., Кирильчук И. О. Геоинформационный учет и оценка опасности стихийных несанкционированных свалок // *Безопасность жизнедеятельности*. 2017. № 6 (198). С. 34–42.
6. Привалов В. Е., Фотиади А. Э., Шеманин В. Г. Дистанционное лазерное зондирование и экологическая безопасность // *Национальная безопасность и стратегическое планирование*. 2013. № 2 (2). С. 72–82.
7. Расулова Н. А. Экологический мониторинг объектов рекреационной прибрежной зоны на базе ГИС-технологий и данных дистанционного зондирования // *Альтернативная энергетика и экология*. 2012. № 11 (115). С. 69–75.
8. Using remote sensing to assess peatland resilience by estimating soil surface moisture and drought recovery / K. J. Lees, R. R. E. Artz, D. Chandler, T. Aspinall, C. A. Boulton, J. Buxton, N. R. Cowie, T. M. Lenton // *Science of the Total Environment*. 2021. Vol. 761.
9. Коменданова Т. М., Имескенова Э. Г., Абгалдаев Ю. В. Применение методов дистанционного зондирования для мониторинга почвенно-растительного покрова Кабанского района Республики Бурятия // *Вестник Бурятской государственной сельскохозяйственной академии им. В. Р. Филиппова*. 2015. № 3 (40). С. 63–68.
10. Грехнев Н. И., Липина Л. Н., Усиков В. И. К вопросу оценки экологического риска с использованием метода дистанционного зондирования земли // *Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал)*. 2015. № S30. С. 437–447.
11. Миртова И. А., Швецов Д. В. Использование методов дистанционного зондирования для целей локального мониторинга опасных экзогенных процессов // *Известия высших учебных заведений. Геодезия и аэрофотосъемка*. 2016. № 4. С. 84–89.
12. Чикунов И. А. Решение задач экологической безопасности с применением методов дистанционного зондирования // *Modern Science*. 2020. № 11-1. С. 427–431.
13. Чикунов И. А. Мониторинг экологического состояния земли с помощью методов дистанционного зондирования // *Modern Science*. 2020. № 11-1. С. 431–435.
14. Akmalov Sh. B., Gerts J., Samiev L. N. Using the remote sensing of very high resolution images in observation of technical conditions of open drainage system in Syrdarya province // *Science and World*. 2015. Vol. 3, N 12 (28). P. 136–141.

15. Асатрян Р. С., Хачатрян Н. Р., Караян Г. С. Об одном методе дистанционного инфракрасного мониторинга // *Colloquium-journal*. 2018. № 13–7 (24). С. 11–15.
16. Виноградов А. Н., Демидова Д. С., Егоров В. В. Возможности дистанционного мониторинга объектов земной поверхности с помощью гиперспектрального комплекса в диапазоне длин волн 400–1700 нм // *Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса*. 2018. Т. 15, № 3. С. 21–28.
17. Колокутин Г. Э., Фомин Б. А. Новые спектроскопические базы и дистанционное зондирование земли методами инфракрасной спектроскопии высокого разрешения // *Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса*. 2014. Т. 11, № 3. С. 278–287.
18. Онуфрей А. Ю., Разумов А. В., Ваганов А. А. Метод оценивания достоверности информации об обнаружении малоразмерных высокотемпературных объектов // *Вопросы радиоэлектроники. Серия: Техника телевидения*. 2020. № 4. С. 89–96.
19. Estimation of the transpiration of urban shrubs using the modified three-dimensional three-temperature model and infrared remote sensing / G. Y. Qiu, B. Wang, T. Li, X. Zhang, Z. Zou, C. Yan // *Journal of Hydrology*. 2021. Vol. 594.
20. Monitoring properties of the salt-affected soils by multivariate analysis of the visible and near-infrared hyperspectral data / G. R. Mahajan, B. Das, B. Gaikwad, D. Murgaonkar, A. Desai, S. C. Morajkar, K. P. Patel, R. M. Kulkarni // *Catena*. 2021. Vol. 198.

References

1. Yushin V. V., Popov V. M., Kirilchuk I. O., Gnezdilova A. V. Razrabotka elementov informatsionno-analiticheskoi sistemy ucheta nesanktsionirovannykh svalok [Development of elements of an information and analytical system for accounting for unauthorized landfills]. *Izvestiya Yugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Upravlenie, vychislitel'naya tekhnika, informatika. Medicinskoe priborostroenie = Proceedings of the Southwest State University. Series: Management, Computer Engineering, Computer Science. Medical Instrumentation*, 2018, no. 3(28), pp. 68–80.
2. Iordanova A. V. [The use of web technologies in solving environmental and environmental problems]. *Mediko-ekologicheskie informacionnye tekhnologii – 2019: sbornik nauchnykh statej po materialam XXII Mezhdunarodnoj nauchno-tekhnicheskoj konferencii* [Medico-ecological information technologies-2019. Collection of scientific articles based on the materials of the XXII International Scientific and Technical Conference]; ed. by N. A. Korenevskij. Kursk, Southwest State University Publ., 2019, pp. 100–105. (In Russ.)

3. Kirilchuk I. O., Iordanova A. V. Ispol'zovanie interaktivnykh tekhnologii pri formirovani ekologo orientirovannogo mirovozzreniya obuchayushchikhsya [The use of interactive technologies in the formation of an eco-oriented worldview of students]. *Alma mater (Vestnik vysshei shkoly) = Alma Mater (Bulletin of the Higher School)*, 2020, no. 4, pp. 89–93. (In Russ.)
4. Popov V. M., Kirilchuk I. O., Korovina A. Yu. Sotsial'no-ekonomicheskaya otsenka ob'ektov razmeshcheniya otkhodov [Socio-economic assessment of waste disposal facilities]. *Yugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Tekhnika i tekhnologii = Proceedings of the Southwest State University. Series: Equipment and Technologies*, 2017, no. 2 (23), pp. 56–65.
5. Yushin V. V., Kirilchuk I. O. Geoinformatsionnyi uchet i otsenka opasnosti stikhiinykh nesanktsionirovannykh svalok [Geoinformational accounting and risk assessment of natural unauthorized landfills]. *Bezopasnost' zhiznedeyatel'nosti = Life Safety*, 2017, vol. 7, no. 6 (198), pp. 34–42.
6. Privalov V. E., Fotiadi A. E., Shemanin V. G. Distantstionnoe lazernoe zondirovanie i ekologicheskaya bezopasnost' [Remote laser sensing and environmental safety]. *Natsional'naya bezopasnost' i strategicheskoe planirovanie = National Security and Strategic Planning*, 2013, no. 2(2), pp. 72–82.
7. Rasulova N. A. Ekologicheskii monitoring ob'ektov rekreatsionnoi pribrezhnoi zony na baze GIS-tekhnologii i dannykh distantstionnogo zondirovaniya [Ecological monitoring of recreational coastal zone objects based on GIS technologies and remote sensing data]. *Al'ternativnaya energetika i ekologiya = Alternative Energy and Ecology*, 2012, no. 11 (115), pp. 69–75.
8. Lees K. J., Artz R. R. E., Chandler D., Aspinall T., Boulton C. A., Buxton J., Cowie N. R., Lenton T. M. Using remote sensing to assess peatland resilience by estimating soil surface moisture and drought recovery. *Science of the Total Environment*, 2021, vol. 761.
9. Komendantova T. M., Keskinov E. G., Abildaev Yu. V. Primenenie metodov distantstionnogo zondirovaniya dlya monitoringa pochvenno-rastitel'nogo pokrova Kabanskogo raiona Respubliki Buryatiya [Application of remote sensing for monitoring land cover Kabansky district of the Republic of Buryatia]. *Vestnik Buryatskoj gosudarstvennoj sel'skohozyajstvennoj akademii im. V. R. Filippova = Bulletin of the Buryat State Agricultural Academy named after V. R. Filippov*, 2015, no. 3 (40), pp. 63–68.
10. Grekhnev N. I., Lipina L. N., Usikov V. I. K voprosu otsenki ekologicheskogo riska s ispol'zovaniem metoda distantstionnogo zondirovaniya zemli [On the issue of environmental risk assessment using the method of remote sensing of the Earth]. *Gornyi informatsionno-*

analiticheskii byulleten' (nauchno-tekhnicheskii zhurnal = Mining Information and Analytical Bulletin (Scientific and Technical Journal), 2015, no. S30, pp. 437–447.

11. Mirtova I. A., Shvetsov D. V. Ispol'zovanie metodov distantsionnogo zondirovaniya dlya tselei lokal'nogo monitoringa opasnykh ekzogennykh protsessov [The use of remote sensing methods for the purposes of local monitoring of dangerous exogenous processes]. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenij. Geodeziya i aerofotos"emka = Proceedings of the Higher Educational Institutions. Geodesy and Aerial Photography*, 2016, no. 4, pp. 84–89.

12. Chikunov I. A. Reshenie zadach ekologicheskoi bezopasnosti s primeneniem metodov distantsionnogo zondirovaniya [Solving environmental safety problems using remote sensing methods]. *Modern science*, 2020, no. 11-1, pp. 427–431.

13. Chikunov I. A. Monitoring ekologicheskogo sostoyaniya zemli s pomoshch'yu metodov distantsionnogo zondirovaniya [Monitoring of the ecological state of the earth using remote sensing methods]. *Modern science*, 2020, no. 11-1, pp. 431–435.

14. Akmalov Sh. B., Gerts J., Samiev L. N. Using the remote sensing of very high resolution images in observation of technical conditions of open drainage system in Syrdarya province. *Science and World*, 2015, vol. 3, no. 12 (28), pp. 136–141.

15. Asatryan R. S., Khachatryan N. R., Karayan G. S. Ob odnom metode distantsionnogo infrakrasnogo monitoringa [About one method of remote infrared monitoring]. *Colloquium-journal*, 2018, no. 13–7 (24), pp. 11–15.

16. Vinogradov A. N., Demidova D. S., Egorov V. V. Vozmozhnosti distantsionnogo monitoringa ob"ektov zemnoi poverkhnosti s pomoshch'yu giperspektral'nogo kompleksa v diapazone dlin voln 400–1700 nm [Possibilities of remote monitoring of objects on the Earth's surface using a hyperspectral complex in the wavelength range of 400-1700 nm]. *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa = Modern Problems of Remote Sensing of the Earth from Space*, 2018, no. 3, pp. 21–28.

17. Kolokutin, G. E., Fomin, B. A. Novye spektroskopicheskie bazy i distantsionnoe zondirovanie zemli metodami infrakrasnoi spektrometrii vysokogo razresheniya [New spectroscopic bases and remote sensing of the Earth by high-resolution infrared spectrometry methods]. *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa = Modern Problems of Remote Sensing of the Earth from Space*, 2014, vol. 11, no. 3, pp. 278–287.

18. Onufrey A. Yu., Razumov A. V., Vaganov A. A. Metod otsenivaniya dostovernosti informatsii ob obnaruzhenii malorazmernykh vysokotemperaturnykh ob"ektov [Method for evaluating the reliability of information about the detection of small-sized high-temperature objects]. *Voprosy radioelektroniki. Seriya: Tekhnika televideniya = Questions of Radio Electronics. Series: TV Equipment*, 2020, no. 4, pp. 89–96.

19. Qiu G. Y., Wang B., Li T., Zhang X., Zou Z., Yan C. Estimation of the transpiration of urban shrubs using the modified three-dimensional three-temperature model and infrared remote sensing. *Journal of Hydrology*, 2021, vol. 594.

20. Mahajan G. R., Das B., Gaikwad B., Murgaonkar D., Desai A., Morajkar S., Patel K. P., Kulkarni R. M. Monitoring properties of the salt-affected soils by multivariate analysis of the visible and near-infrared hyperspectral data. *Catena*, 2021, vol. 198.

Информация об авторах / Information about the Authors

Иорданова Анастасия Владимировна,
аспирант кафедры биомедицинской инженерии,
Юго-Западный государственный университет,
г. Курск, Российская Федерация,
e-mail: asy.gnezdilova@yandex.ru,
ORCID: 0000-0001-7780-497X,
Researcher ID: AAH-7282-2020

Anastasiya V. Iordanova, Post-Graduate Student
of the Department of Biomedical Engineering,
Southwest State University, Kursk, Russian
Federation,
e-mail: asy.gnezdilova@yandex.ru,
ORCID: 0000-0001-7780-497X,
Researcher ID: AAH-7282-2020

МОДЕЛИРОВАНИЕ В МЕДИЦИНСКИХ И ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ

MODELING IN MEDICAL AND TECHNICAL SYSTEMS

Оригинальная статья / Original article

УДК 004.932

Оценка влияния электромагнитных полей радиочастотного диапазона на функциональное состояние и работоспособность операторов на основе технологии мягких вычислений

Н. А. Корневский¹ ✉, А. В. Титова¹, А. И. Сурнина¹

¹ Юго-Западный государственный университет
ул. 50 лет Октября 94, г. Курск 305040, Российская Федерация

✉ e-mail: kstu-bmi@yandex.ru

Резюме

Цель исследования – синтез нечетких математических моделей оценки влияния электромагнитных полей радиочастотного диапазона (ЭМПРЧ) на функциональное состояние и работоспособность операторов на основе технологии мягких вычислений, позволяющих получать решающие правила, обеспечивающие приемлемое для психологии и профилактической медицины качество принятия решений.

Методы. С учетом плохоформализуемой структуры данных и их нечеткого представления в качестве основного метода исследования выбрана методология синтеза гибридных нечетких решающих правил, которая хорошо показала себя при решении аналогичного класса задач со схожим типом неопределенности. Для оптимизации состава информативных признаков использована теория измерений латентных переменных. Для оценки функционального состояния и его составляющих на психологическом уровне выбраны методики исследования параметров внимания и памяти, а для оценки функционального состояния и его составляющих на физиологическом уровне – электрические характеристики биологически активных точек.

Результаты. С использованием выбранных методов получены математические модели исследования динамики функционального состояния организма и его составляющих и оценки динамики работоспособности операторов под воздействием ЭМПРЧ в сочетании с другими факторами риска.

Заключение. Практическое применение предлагаемого метода позволит повысить качество принимаемых решений по оценке рисков возникновения заболеваний, где одним из факторов риска является повышенный уровень ЭМПРЧ, а также производить оценки риска снижения работоспособности и, как следствие, оценки рисков возникновения нештатных ситуаций в энергонасыщенных биотехнических системах, в состав которых входят генераторы ЭМПРЧ.

© Корневский Н. А., Титова А. В., Сурнина А. И., 2021

Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Управление,
вычислительная техника, информатика. Медицинское приборостроение. 2021; 11(2): 120–137

Ключевые слова: математическая модель; нечеткая логика; прогнозирование; диагностика, электромагнитное поле; радиочастотный диапазон.

Конфликт интересов: Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.

Для цитирования: Корневский Н. А., Титова А. В., Сурнина А. И. Оценка влияния электромагнитных полей радиочастотного диапазона на функциональное состояние и работоспособность операторов на основе технологии мягких вычислений // Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Управление, вычислительная техника, информатика. Медицинское приборостроение. 2021. Т. 11, № 2. С. 120–137.

Поступила в редакцию 03.03.2021

Подписана в печать 01.04.2021

Опубликована 28.05.2021

Evaluation of the Influence of Electromagnetic Fields of the Radio Frequency Range on the Functional State and Operability of Operators Based on Soft Computing Technology

Nikolay A. Korenevsky¹ ✉, Anna V. Titova¹, Aleksandra I. Surnina¹

¹ Southwest State University

50 Let Oktyabrya str. 94, Kursk 305040, Russian Federation

✉ e-mail: kstu-bmi@yandex.ru

Abstract

The aim of the research is to develop a method for the synthesis of fuzzy mathematical models for assessing the influence of electromagnetic fields of the radio frequency range on the functional state and operability of operators based on soft computing technology, which allows us to obtain decision rules that ensure the quality of decision-making acceptable for psychology and preventive medicine.

Research methods. Taking into account the incomplete and fuzzy description of the class of states under study, the soft computing technology and, in particular, the methodology for the synthesis of hybrid fuzzy decision rules, which has proven itself well in solving problems with a similar data structure and type of uncertainty, are chosen as the basic mathematical apparatus. To optimize the composition of informative features, the theory of measurement of latent variables is used. To assess the functional state and its components at the psychological level, the methods of studying the parameters of attention and memory were chosen, and to assess the functional state and its components at the physiological level – the electrical characteristics of biologically active points.

Results. Using the selected research methods, mathematical models were obtained to assess changes in the functional state of the body and its components and to assess the dynamics of the operability of operators under the influence of EMPRF in combination with other risk factors.

Conclusion. The practical application of the proposed method will improve the quality of decisions made to assess the risks of diseases, where one of the risk factors is an increased level of EMPH, as well as to assess the risk of reduced performance and, as a result, assess the risks of abnormal situations in energy-saturated biotechnical systems that include EMPH generators.

Keywords: method; mathematical model; fuzzy logic; forecasting; diagnostics; electromagnetic field; radio frequency range.

Conflict of interest: The Authors declares the absence of obvious and potential conflicts of interest related to the publication of this article.

For citation: Korenevsky N. A., Titova A. V., Surnina A. I. Evaluation of the Influence of Electromagnetic Fields of the Radio Frequency Range on the Functional State and Operability of Operators Based on Soft Computing Technology. *Izvestiya Yugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Upravlenie, vychislitel'naja tekhnika, informatika. Meditsinskoe priborostroenie = Proceedings of the Southwest State University. Series: Control, Computer Engineering, Information Science. Medical Instruments Engineering*. 2021; 11(2): 120–137. (In Russ.)

Received 03.03.2021

Accepted 01.04.2021

Published 28.05.2021

Введение

Проведенные исследования показали, что воздействие электромагнитных полей (ЭМП) радиочастотного диапазона (РЧ) приводит к изменению функционального состояния (ФС) как интегрального «портрета» функций и качеств человека, которые прямо или косвенно обуславливают выполнение любой деятельности. От ФС целостного организма зависит физическое и психическое состояние человека, успешность его труда, обучения, творчества [1; 2; 3; 4; 5; 6; 7; 8]. Существует много определений ФС организма, его органов и систем, причем оценка функционального состояния на психологическом и физиологическом уровнях имеет весьма существенные различия [2; 5]. В данной работе оценку ФС человека будем рассматривать с позиций системного подхода в интерпретации доктора В. В. Плотникова, который предлагал интегративную функцию функционального состояния оценивать ее четырьмя важнейшими составляющими: состоянием оперативного покоя, активацией, уровнями психоэмоционального напряжения

и утомления [2; 5; 9]. Причем две последние составляющие имеют тесную связь с решаемыми в работе задачами. Они, с одной стороны, являются существенными факторами риска в появлении и развитии целого ряда социально значимых заболеваний, а с другой – влияют на качество трудовой деятельности работников различных профессий, включая операторов, работающих в условиях действия ЭМПРЧ [10; 11; 12; 13; 14; 15; 16].

Функциональное состояние с математической точки зрения относится к плохоформализуемым понятиям, которые на современном уровне развития медицины не могут быть представлены функциональными зависимостями от используемых в медицинской и психологической практике показателей описывающих состояние организма. Установление надежных статистических зависимостей требует большого объема исследований с заранее неизвестным результатом, что подтверждают данные литературы и собственные исследования [2; 5]. Опыт, полученный при решении задач оценки ФС для различных прикладных задач, показал, что хороших

практических результатов удастся достигать при использовании методологии синтеза гибридных нечетких решающих правил (МСГНРП) [2; 3; 4; 9]. Отличительной особенностью МСГНРП является активное соединение интеллекта врачей и психологов (клиническое мышление) и интеллекта инженера-когнитолога с элементами искусственного интеллекта. Клиническое мышление восполняет недостаток необходимых статистических данных и позволяет при взаимодействии с инженером-когнитологом строить формальные модели для плохоформализуемых задач. Инженер-когнитолог, используя данные разведочного анализа, подбирает математические модели, адекватные структуре данных решаемых задач [1; 17; 18; 19; 20; 21; 22; 23]. Рациональное взаимодействие интеллектуальных составляющих обеспечивается соответствующим алгоритмическим обеспечением МСГНРП [1; 5; 17; 18].

Материалы и методы

В качестве технического, методического и математического обеспечения будем использовать аппаратно-программные комплексы кафедры биомедицинской инженерии (БМИ) ЮЗГУ, хорошо зарекомендовавшие себя при решении задач оценки ФС, и определение уровня работоспособности и надежности операторов человеко-машинных систем, работающих в условиях воздействия ЭМПРЧ [1; 5; 9].

Для оценки функционального состояния на психологическом уровне используется аппаратно-программный комплекс оценки параметров внимания, позволяющий оценивать текущие уровни психоэмоционального напряжения (ПЭН) и утомления по трем параметрам внимания: переключаемость (ПВ), концентрированность (КВ) и устойчивость (УВ).

Для выбора состава информативных признаков в рамках МСГНРП использована теория измерения латентных переменных (ТИЛП), в рамках которой функциональное состояние определяется как латентная переменная, а показатели, с помощью которых это состояние определяется, представляют собой индикаторные переменные. Связь между латентной и индикаторными переменными реализуется с помощью модели Г. Раша, связывающей «успех» объекта с уровнем его качества и значимостью индикатора [24; 25; 26]:

$$P_{ij} = \frac{e^{\theta_i - \beta_j}}{1 + e^{\theta_i - \beta_j}}, \quad (1)$$

где P_{ij} – вероятность достижения i -м объектом значения латентной переменной θ_i при значении j -й индикаторной переменной β_j .

Соответствие индикаторной переменной модели измерения проверяется по критерию «Хи-квадрат». Считается, что при уровне соответствия индикаторной переменной, измеряемой латентной

переменной меньше, чем 0,05, индикаторную переменную следует исключить из набора переменных. Практически эта задача решается диалоговой системой RUMM 2020.

В ходе реализации пакета RUMM 2020 рассчитываются:

ChiSq Prob ($\chi^2_{\text{критич}}$ Prob) – степень соответствия индикаторных переменных модели измерения;

Location – местоположения индикаторной переменной, измеряемой в логитах;

SE – погрешность измерения местоположения индикаторной переменной, измеряемой в логитах;

FitResid – величина, характеризующая суммарное отклонение значений данного индикатора от ожидаемых значений на основе модели.

Индикаторные переменные, для которых $\chi^2_{\text{критич}}$ Prob $\geq 0,05$, считаются информативными и включаются в модели оценки функциональных состояний. Мерой информативности служит параметр *Location*.

Применительно к решаемой задаче оценки изменения ФС под воздействием ЭМПРЧ, с учетом рекомендаций [1; 5], в качестве индикаторных переменных следует рассматривать: показатели ситуативной (СТ- X_1) и личной (ЛТ- X_2) тревожности; переключаемость (ПВ- X_3), концентрированность (КВ- X_4) и устой-

чивость (УВ- X_5) внимания; энергетическую реакцию биологически активных точек, «связанных» с ФС (X_6).

Результаты и их обсуждение

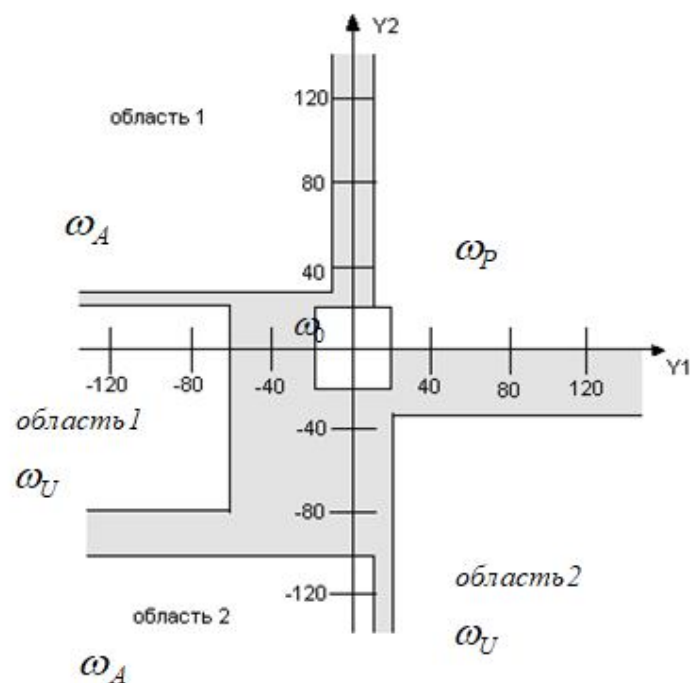
В ходе первого этапа исследований для различных функциональных состояний производилось измерение значений перечисленных выше индикаторных переменных. Полученные результаты обрабатывались пакетом RUMM 2020. Результаты обработки приведены в таблице. Анализ *ChiSq Prob* ($\chi^2_{\text{критич}}$ Prob) показывает, что переменные X_1, X_2 удовлетворяют условию $\chi^2_{\text{критич}}$ Prob $\leq 0,05$.

Это свидетельствует о целесообразности их исключения из списка информативных признаков.

Информативные показатели свойств внимания позволяют дать оценку функционального состояния на психологическом уровне как на интегративном уровне, так и по отдельным его составляющим (оперативный покой, психоэмоциональное напряжение, утомление, активация). Для получения количественных оценок изменения уровня ФС в целом и его составляющих на психологическом уровне в качестве базовой модели выбрана модель, предложенная профессором В. В. Плотниковым и развитая его последователями [27]. Базовая модель В. В. Плотникова, построенная на пространстве параметров внимания, приведена ниже (рис. 1).

Таблица. Оценка характеристик по значению ChiSq Prob**Table.** Evaluation of features by value ChiSq Prob

Индикаторные переменные	<i>Location</i>	<i>SE</i>	<i>ChiSq Prob</i>
X_3	0,147	0,088	0,673
X_5	-0,100	0,077	0,336
X_4	-0,303	0,290	0,301
X_6	-0,365	0,072	0,297
X_1	-0,605	0,078	0,040
X_2	0,458	0,106	0,028

**Рис. 1.** Двумерное классификационное пространство для разделения классов активации, эмоционального стресса и усталости, оцениваемое по параметрам аттенции**Fig. 1.** Two-dimensional classification space for the separation of classes of activation, emotional stress and fatigue, evaluated by the parameters of attention

Границы (см. рис 1). разделяют классы: ω_0 – фоновое состояние спокойного бодрствования; ω_A – активация;

ω_P – ПЭН; ω_U – утомление. Заштрихованная область относится к сочетанным классам состояний. Координатные оси

связаны с параметрами внимания следующим образом:

$$Y1 = (ПВ - ПВ_0) + (КВ - КВ_0),$$

$$Y2 = УВ - УВ_0,$$

где ПВ, ПВ₀ – текущая переключаемость внимания и переключаемость внимания, измеренная в состоянии спокойного бодрствования; КВ, КВ₀ – соответствующие показатели концентрирования внимания; УВ, УВ₀ – соответствующие показатели устойчивости внимания.

Анализ данных, используемых для формирования разделяющих границ составляющих ФС на психологическом уровне, и собственные исследования (в

соответствии с общими рекомендациями МСГНРП) позволили определить функцию принадлежности для лингвистической переменной НФС нормальное ФС–НФС = $\mu_{\text{фн}}(Z)$, где Z – базовая переменная, определяемая как мера близости к началу координат в отображающем пространстве (см. рис. 1).

С учетом характера разделяющих границ между составляющими ФС величина Z определяется выражением

$$Z = |Y1| + |Y2|. \quad (2)$$

Рассмотрим график функции принадлежности $\mu_{\text{фн}}(Z)$ (рис. 2).

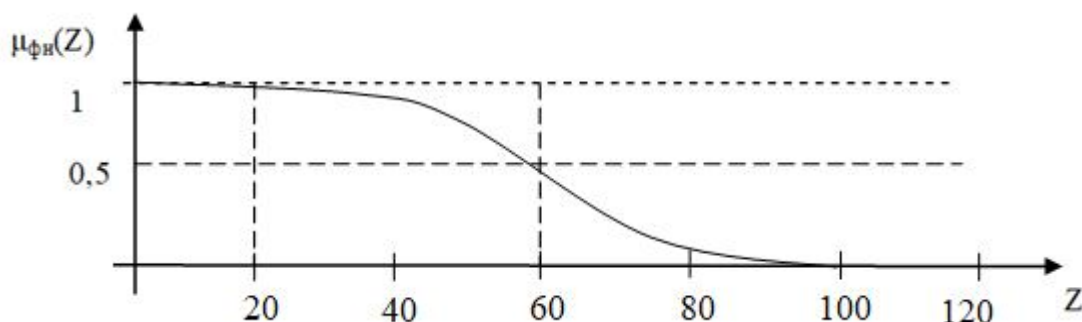


Рис. 2. Функция принадлежности для лингвистической переменной NFS

Fig. 2. Membership function for the linguistic variable NFS

Аналитически график (см. рис. 2) описывается выражением

$$\mu_{\text{фн}}(Z) = \begin{cases} 1, & \text{если } z \leq 20; \\ 1 - 0,00031(z - 20)^2, & \text{если } 20 \leq z < 60; \\ 0,00031(z - 100)^2, & \text{если } 60 \leq z < 100; \\ 0, & \text{если } z \geq 100. \end{cases} \quad (3)$$

При оценке влияния ЭМПРЧ на функциональное состояние практический интерес представляет функция, ха-

рактеризующая ухудшение ФС воздействием исследуемых факторов риска. Определим эту функцию как функцию сдвига ФС от номинального значения –

FSN . Эта функция определяется выражением

$$FSN = 1 - \mu_{\text{фн}}(Z). \quad (4)$$

С учетом рекомендаций [5] для составляющих ФС, определяемых на пси-

хологическом уровне, получены функции уровня ПЭН – FUP , уровня утомления – FUU и уровня активации – FUA . Аналитически эти функции определяются следующими выражениями:

$$FUP = \min[UP(Y1), UP(Y2)], \quad (5)$$

где

$$UP(Y1) = \begin{cases} 0, & \text{если } Y1 < -20; \\ 0,00448(Y1 + 20)^2, & \text{если } -20 \leq Y1 < 10; \\ 0,8 - 0,00448(Y1 - 40)^2, & \text{если } 10 \leq Y1 < 40; \\ 0,8, & \text{если } Y1 \geq 40, \end{cases}$$

$$UP(Y2) = \begin{cases} 0, & \text{если } Y2 < -20; \\ 0,001(Y2 + 20)^2, & \text{если } -20 \leq Y2 < 0; \\ 0,8 - 0,001(Y2 - 20)^2, & \text{если } 0 \leq Y2 < 20; \\ 0,8, & \text{если } Y2 \geq 20. \end{cases}$$

$$FUU = \max\{\min[UU_1(Y1), UU_1(Y2)], \min[UU_2(Y1), UU_2(Y2)]\} \quad (6)$$

где

$$UU_1(Y1) = \begin{cases} 0,8, & \text{если } Y1 < -60; \\ 0,8 - 0,00044(Y1 + 60)^2, & \text{если } -60 \leq Y1 < -30; \\ 0,00044(Y1 + 30)^2, & \text{если } -30 \leq Y1 < 0; \\ 0, & \text{если } Y1 \geq 0, \end{cases}$$

$$UU_1(Y2) = \begin{cases} 0, & \text{если } Y2 < -120; \\ 0,00025(Y2 + 120)^2, & \text{если } -120 \leq Y2 < -80; \\ 0,8 - 0,00025(Y2 + 40)^2, & \text{если } -80 \leq Y2 < -40; \\ 0,8, & \text{если } -40 \leq Y2 < 0; \\ 0,8 - 0,001(Y2)^2, & \text{если } 0 \leq Y2 < 20; \\ 0,001(Y2 - 40)^2, & \text{если } 20 \leq Y2 < 40; \\ 0, & \text{если } Y2 \geq 40, \end{cases}$$

$$UU_2(Y1) = \begin{cases} 0, & \text{если } Y1 < -10; \\ 0,00044(Y1 + 10)^2, & \text{если } -10 \leq Y1 < 20; \\ 0,8 - 0,00044(Y1 - 50)^2, & \text{если } 20 \leq Y1 < 50; \\ 0,8, & \text{если } Y1 \geq 50, \end{cases}$$

$$UU_2(Y2) = \begin{cases} 0,8, & \text{если } Y2 < -80; \\ 0,8 - 0,00025(Y2 + 80)^2, & \text{если } -80 \leq Y2 < -40; \\ 0,00025(Y2)^2, & \text{если } -40 \leq Y2 < 0; \\ 0, & \text{если } Y2 \geq 0. \end{cases}$$

$$FUA = \max\{\min[UA_1(Y1), UA_1(Y2)], \min[UA_2(Y1), UA_2(Y2)]\} \quad (7)$$

где

$$\begin{aligned}
 UA_1(Y1) &= \begin{cases} 0,8, \text{ если } Y1 < -40; \\ 0,8 - 0,00044(Y1 + 40)^2, \text{ если } -40 \leq Y1 < -10; \\ 0,00044(Y1 - 20)^2, \text{ если } -10 \leq Y1 < 20; \\ 0, \text{ если } Y1 \geq 20, \end{cases} \\
 UA_1(Y2) &= \begin{cases} 0, \text{ если } Y2 < -0; \\ 0,00064(Y2)^2, \text{ если } -0 \leq Y2 < 25; \\ 0,8 - 0,00064(Y2 - 50)^2, \text{ если } 25 \leq Y2 < 50; \\ 0,8, \text{ если } Y2 \geq 50, \end{cases} \\
 UA_2(Y1) &= \begin{cases} 0,8, \text{ если } Y1 < -20; \\ 0,8 - 0,00044(Y1 + 20)^2, \text{ если } -20 \leq Y1 < 10; \\ 0,00044(Y1 - 40)^2, \text{ если } 10 \leq Y1 < 40; \\ 0, \text{ если } Y1 \geq 40, \end{cases} \\
 UUA_2(Y2) &= \begin{cases} 0,8, \text{ если } Y2 < -125; \\ 0,8 - 0,00065(Y2 + 125)^2, \text{ если } -125 \leq Y2 < -100; \\ 0,00065(Y2 + 75)^2, \text{ если } -100 \leq Y2 < -75; \\ 0, \text{ если } Y2 \geq -75. \end{cases}
 \end{aligned}$$

Для оценки функционального состояния организма на физиологическом уровне, учитывая результаты работ кафедры биомедицинской инженерии в области теории биофизики акупунктуры, будем использовать энергетические характеристики биологически активных точек (БАТ). В известных атласах меридиан понятие функционального состояния в современной его интерпретации не определяется. Проведенные нами исследования позволили сделать вывод о том, что для количественной оценки ФС могут быть использованы электрические характеристики БАТ, «связанных» с общесистемной реакцией организма (E23, E36, RP6, V40, V60 и VB20 [5].

В соответствии с рекомендациями [5; 27] задачу оценки уровня ФС по электрическим характеристикам БАТ будем проводить в 2 этапа. На первом этапе

эксперты в области биофизики акупунктуры определяют электрический разбаланс ER_s общесистемных точек в соответствии с выражением

$$ER_s = F_E(EY_{sj}) \quad (8)$$

где EY_{sj} – энергетический разбаланс БАТ с именем Y_{sj} , выбранных как информативные по отношению к ФС.

Далее электрический разбаланс ER_s общесистемных БАТ выбирается в качестве базовой переменной для функции принадлежности $\mu_{\text{фн}}(ER_s)$ к лингвистической переменной – нормальное функциональное состояние на физиологическом уровне. Получение $\mu_{\text{фн}}(ER_s)$ производят эксперты, специалисты в области функциональных состояний.

Функция сдвига ФС от номинального значения на физиологическом уровне ($FSN_{\text{ф}}$) определяется выражением

$$FSN_{\text{фн}} = 1 - \mu_{\text{фн}}(ER_s). \quad (9)$$

Оценки величины ER_s производились по рекомендациям работ [5; 27]. Энергетический разбаланс информативной точки EY_j с номером j определяется

по базовой переменной δR_j – величине относительного отклонения сопротивления БАТ от своего номинального значения.

Рассмотрим пример варианта графика $EY_j(\delta R_j)$ (рис. 3).

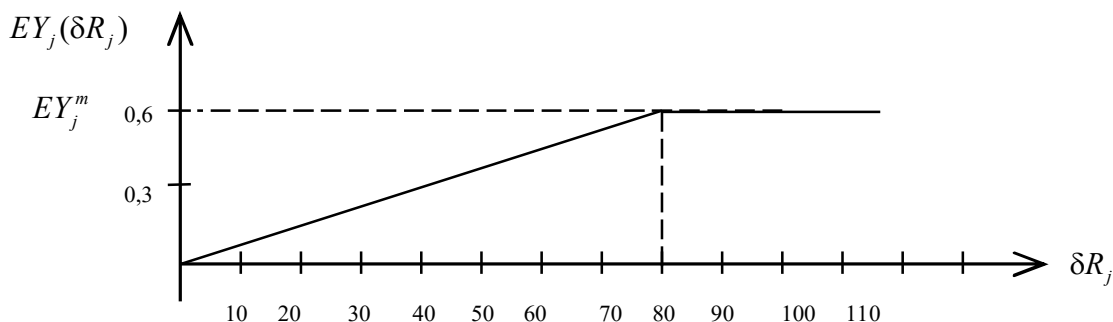


Рис. 3. Вариант графика $EY_j(\delta R_j)$

Fig. 3. Version of the graph $EY_j(\delta R_j)$

По полученным выражениям $EY_j(\delta R_j)$ величины энергетического разбаланса ER_s определяются следующими выражением [5; 27]:

$$\begin{aligned} & \text{ЕСЛИ} \left[\begin{aligned} & (\delta R_{Y_2}^D > \delta R^{\Pi}) \text{ И} \\ & (\delta R_{Y_1}^D > \delta R^{\Pi}), \dots, (\delta R_{Y_{ms}}^D > \delta R^{\Pi}) \end{aligned} \right], \quad (10) \\ & \text{ТО} [ER_s = FE(EY_j)], \text{ ИНАЧЕ } (ER_s = 0). \end{aligned}$$

где $\delta R_{Y_j}^D$ – величина относительного отклонения сопротивления R_{Y_j} из списка ДЗТ от своего номинального значения для БАТ с идентификатором Y_j ; δR^{Π} – пороговое значение отклонений БАТ от номинального значения.

В качестве агрегатора F_E выбрано среднее арифметическое $EY_j(\delta R_j)$:

$$ER_s = \frac{1}{J} \sum_{j=1}^J EY_j. \quad (11)$$

Учитывая, что функция принадлежности $\mu_{\text{фн}}(ER_s)$ ранее не определялась, рекомендуется для ее синтеза использовать внешний критерий (кроме БАТ), с помощью которого получить количественные оценки ФС, сопоставляя их со значениями ER_s и используя, например, регрессионный анализ. Далее, используя рекомендации МСГНРП, строится $\mu_{\text{фн}}(ER_s)$. В качестве внешнего «измерителя» ФС рекомендуется использовать

известные и хорошо отработанные методики или их комбинации, например, описанные в работах [1; 3; 4; 5; 6].

Методы измерения таких составляющих ФС, как утомление, ПЭН и активация, по величине энергетических характеристик БАТ хорошо отработаны и достаточно полно описаны в работах [3; 5; 6; 9], поэтому в данной работе не описываются.

Таким образом, получен инструментарий для измерения уровня ФС на психологическом и физиологическом уровнях.

На следующих этапах исследования строятся два типа таблиц экспериментальных данных (ТЭД). Первый тип таблиц связывает уровень ФС и (или) его составляющих с величинами энергетических экспозиций ЭМПРЧ для выбранных диапазонов частот. Второй тип таблиц связывает показатели качества выполнения профессионально важных свойств внимания и памяти, оцениваемых с помощью прибора, описанного в работах [5; 9], с величинами энергетических экспозиций ЭМПРЧ для выбранных диапазонов частот. Обработка ТЭД с использованием МСГНРП позволяет

получить математические модели оценки влияния ЭМПРЧ на ФС человека и его составляющих и оценки их влияния на работоспособность операторов энергонасыщенных систем.

Выводы

В ходе проведенных исследований разработан метод оценки влияния ЭМП радиочастотного диапазона на функциональное состояние и работоспособность операторов, позволяющий синтезировать модели оценки изменения функционального состояния организма и его составляющих и оценки динамики работоспособности операторов под воздействием ЭМП в сочетании с другими факторами риска. Практическое применение предлагаемого метода позволит повысить качество принимаемых решений по оценке рисков возникновения заболеваний, где одним из факторов риска является повышенный уровень ЭМПРЧ, а также производить оценки риска снижения работоспособности и, как следствие, оценки рисков возникновения нештатных ситуаций в энергонасыщенных биотехнических системах, в состав которых входят генераторы ЭМПРЧ.

Список литературы

1. Корневский Н. А., Родионова С. Н., Хрипина И. И. Методология синтеза гибридных нечетких решающих правил для медицинских интеллектуальных систем поддержки принятия решений. Старый Оскол: ТНТ, 2019. 472 с.
2. Гибридные нечеткие модели оценки функционального состояния и состояния здоровья человека-оператора информационно-насыщенных систем / Н. А. Корневский, С. Н. Родионова, И. И. Хрипина, М. А. Мясоедова // Системный анализ и управление в биомедицинских системах. 2019. Т. 18, № 2. С. 105–109.

3. Прогнозирование и диагностика заболеваний, вызываемых вредными производственными и экологическими факторами на основе гетерогенных моделей / Н. А. Кореневский, Н. А. Серебровский, В. И. Коптева, Н. А. Говорухина. Курск: Издательство Курской государственной сельскохозяйственной академии имени И. И. Иванова, 2012. 231 с.
4. Использование технологий мягких вычислений для прогнозирования и диагностики профессиональных заболеваний работников агропромышленного комплекса: монография / Р. В. Степашов, Н. А. Кореневский, А. В. Серебровский, Т. Н. Говорухина. Курск: Издательство Курской государственной сельскохозяйственной академии имени И. И. Иванова, 2016. 224 с.
5. Оценка и управление состояния здоровья обучающихся на основе гибридных интеллектуальных технологий: монография / Н. А. Кореневский, А. Н. Шуткин, С. А. Горбатенко, В. И. Серебровский. Старый Оскол: ТНТ, 2016. 472 с.
6. Method of the ergonomics assessment of the technical systems and its influence on operators / R. T. Al-Kasasbeh, N. Korenevskiy, M. S. Alshamasin, I. Maksim // Proceedings of the Advances in the International Conference on Applied Human Factors and Ergonomics Human Factors and Ergonomics in Healthcare and Medical Devices (AHFE'17). Los Angeles, 2017. Vol. 590. P. 581–592.
7. Method of Ergonomics Assessment of Technical Systems and Its Influence on Operators Health on Basis of Hybrid Fuzzy Models' / R. T. Al-Kasasbeh, N. Korenevskiy, M. S. Alshamasin, I. Maksim // Advances in Intelligent Systems and Computing. Bern: Springer, 2018. Vol. 590.
8. Fuzzy model evaluation of vehicles ergonomics and its influence on occupational diseases / R. T. Al-Kasasbeh, N. Korenevskiy, M. S. Alshamasin, S. Korenevskya, E. T. Al-Kasasbeh, I. Maksim // Advances in Intelligent Systems and Computing. Bern: Springer, 2019. Vol. 792.
9. Конева Л. В., Кореневский Н. А., Дегтярев С. В. Оценка уровня психоэмоционального напряжения и утомления по показателям, характеризующим состояние внимания человека // Системный анализ и управление в биомедицинских системах. 2012. Т. 11, № 4. С. 993–1000.
10. Григорьев Ю. Г., Григорьев О. А. Сотовая связь и здоровье: электромагнитная обстановка, радиобиологические и гигиенические проблемы, прогноз опасности. М.: Экономика, 2013. 565 с.
11. Метод синтеза математических моделей прогнозирования и диагностики профессиональных заболеваний работников предприятий электроэнергетики / Н. А. Кореневский, Н. А. Серебровский, В. И. Коптева, Н. А. Говорухина. Курск: Издательство Курской государственной сельскохозяйственной академии имени И. И. Иванова, 2012. 231 с.

невский, М. А. Мясоедова, К. В. Разумова, А. В. Серебровский // Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Управление, вычислительная техника, информатика. Медицинское приборостроение. 2019. Т. 9, № 2. С. 127–143.

12. Корневский Н. А., Титова А. В. Метод синтеза нечетких моделей оценки влияния электромагнитных полей радиочастотного диапазона на состояние здоровья // Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Управление, вычислительная техника, информатика. Медицинское приборостроение. 2020. Т. 10, № 2. С. 102–109.

13. Математические модели оценки влияния электромагнитных полей на появление и развитие профессиональных заболеваний в электроэнергетической отрасли / М. А. Мясоедова, Н. А. Корневский, Л. В. Стародубцева, М. В. Писарев // Моделирование, оптимизация и информационные технологии. 2019. Т. 7, № 2. С. 27–42.

14. Математические модели прогнозирования и ранней диагностики заболеваний нервной системы у работников электроэнергетических предприятий / М. А. Мясоедова, Л. В. Стародубцева, А. В. Титова, П. В. Шульга // Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Управление, вычислительная техника, информатика. Медицинское приборостроение. 2019. Т. 9, № 3. С. 160–172.

15. Мясоедова М. А. Прогнозирование и ранняя диагностика профессиональных заболеваний работников электроэнергетической отрасли на основе гибридных нечетких моделей: дис. ... канд. техн. наук. Курск, 2019. 162 с.

16. Проблема изучения влияния электромагнитных полей на здоровье человека. Итоги и перспективы / Ю. П. Пальцев, Л. В. Походзей, Н. Б. Рубцова, С. Ю. Перов, Е. В. Богачева // Медицина труда и промышленная экология. 2013. № 6. С. 35–40.

17. Корневский Н. А. Проектирование нечетких решающих сетей, настраиваемых по структуре данных для задач медицинской диагностики // Системный анализ и управление в биомедицинских системах. 2005. Т. 4, № 1. С. 12–20.

18. Корневский Н. А. Использование нечеткой логики принятия решений для медицинских экспертных систем // Медицинская техника. 2015. № 1. С. 33–35.

19. Korenevskiy N. A. Application of fuzzy logic for decision-making in medical expert systems // Biomedical engineering. 2015. Vol. 49, is. 1. P. 46–49.

20. Use of an Interactive Method for Classification in problems of Medical Diagnosis / N. A. Korenevskiy, S. V. Degtyarev, S. P. Seregin, A. V. Novikov // Biomedical Engineering. 2013. Vol. 47, is. 4. P. 169–172.

21. Korenevskiy N. A., Krupchatnikov R. A., Gorbatenko S. A. Generation of fuzzy network models taught on basic of data structure for medical expert systems // Biomedical Engineering Journal. 2008. Vol. 42, no. 2, pp. 67–72.

22. Fuzzy determination of the human's level of psycho-emotional / N. A. Korenevskiy, R. T. Al-Kasasbeh, F. Ionescou, M. Alshamasin, E. Alkasasbeh, A. P. Smith // IFMBE Proceedings, 2013. Vol. 40. P. 213–216.
23. Smit Fuzzy Determination of The Humans Level of Psycho-Emotional / N. Korenevskiy, RiadTaha Al-Kasasbeh, F. Ionescou, M. Alshamasin, P. Anrew // Mega-Conference on Biomedical Engineering: Proceedings of the 4th International conferecejn the develpment of Biomedical Engineering. Berlin, 2012. P. 354–357.
24. Применение теории измерения латентных переменных для формирования пространства информативных признаков в задачах оценки функционального состояния человека / А. В. Бойцов, Л. П. Лазурина, С. Н. Кореньевская, А. Н. Шуткин // Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Управление, вычислительная техника, информатика. Медицинское приборостроение, 2014. № 6 (57). С. 52–58.
25. Оценка и управление состоянием здоровья на основе моделей Г. Раша / Н. А. Кореньевский, А. Н. Шуткин, Е. А. Бойцова, В. В. Дмитриева // Медицинская техника. 2015. № 6. С. 37–40.
26. Evaluation and management of health status based on G. Rush's models / N. A. Korenevsky, A. N. Shutkin, E. A. Boytsova, V. V. Dmitrieva // Medical equipment. 2015. P. 37–40.
27. Кореньевский Н. А., Крупчатников Р. А., Аль-Касасбех Р. Т. Теоретические основы биофизики акупунктуры с приложениями в медицине, психологии и экологии на основе нечетких сетевых моделей. Старый Оскол: ТНТ. 2013. 528 с.

References

1. Korenevsky N. A., Rodionova S. N., Khripina I. I. Metodologiya sinteza gi-bridnykh nechetkikh reshayushchikh pravil dlya meditsinskikh intellektual'nykh sistem podderzhki prinyatiya reshenii [Methodology of synthesis of hybrid fuzzy decision rules for medical intelligent decision support systems]. Stary Oskol, TNT Publ., 2019. 472 p.
2. Korenevsky N. A., Rodionova S. N., Khripina I. I., Myasoedova M. A. Gibridnye nechetkie modeli otsenki funktsional'nogo sostoyaniya i sostoyaniya zdorov'ya cheloveka-operatora informatsionno-nasyshchennykh sistem [Hybrid fuzzy models for assessing the functional state and state of health of a human operator of information-saturated systems]. *Sistemnyi analiz i upravlenie v biomeditsinskikh sistemakh = System Analysis and Management in Biomedical Systems*, 2019, vol. 18, no. 2, pp. 105–109.
3. Korenevsky N. A., Serebrovsky N. A., Kopteva V. I., Govorukhina N. A. Prognozirovanie i diagnostika zabolevanii, vyzyvaemykh vrednymi proizvodstvennymi i ekologicheskimi faktorami na osnove geterogennykh modelei [Prognostication and diagnostics of diseases caused by harmful industrial and environmental factors on the basis of heterogeneous models].

Kursk, Publishing House of Kursk State Agricultural Academy named after I. I. Ivanova, 2012. 231 p.

4. Stepashov R. V., Korenevsky N. A., Serebrovsky A. V., Govorukhina T. N. Ispol'zovanie tekhnologii myagkikh vychislenii dlya prognozirovaniya i dia-gnostiki professional'nykh zabolevaniy rabotnikov agropromyshlennogo kompleksa [The use of soft computing technologies for predicting and diagnosing occupational diseases of agricultural workers]. Kursk, Publishing House of Kursk State Agricultural Academy named after I. I. Ivanova, 2016. 224 p.

5. Korenevsky N. A., Shutkin A. N., Gorbatenko S. A., Serebrovsky V. I. Otsenka i upravlenie sostoyaniya zdorov'ya obuchayushchikhsya na osnove gibridnykh intellektual'nykh tekhnologii [Assessment and management of the health status of students based on hybrid intelligent technologies]. Staryy Oskol: TNT Publ., 2016. 472 p.

6. Al-Kasasbeh R. T., Korenevskiy N., Alshamasin M. S. Method of the ergonomics assessment of the technical systems and its influence on operators. Proceedings of the Advances in the International Conference on Applied Human Factors and Ergonomics Human Factors and Ergonomics in Healthcare and Medical Devices (AHFE'17). Los Angeles, 2017, vol. 590, pp. 581–592.

7. Al-Kasasbeh R. T., Korenevskiy N., Alshamasin M. S., Maksim I. Method of Ergonomics Assessment of Technical Systems and Its Influence on Operators Health on Basis of Hybrid Fuzzy Models'. Advances in Intelligent Systems and Computing. Bern, Springer Publ., 2018, vol. 590.

8. Al-Kasasbeh R. T., Korenevskiy N., Alshamasin M. S., Korenevskaya S., Al-Kasasbeh E. T. Fuzzy model evaluation of vehicles ergonomics and its influence on occupational diseases. Advances in Intelligent Systems and Computing. Bern, Springer Publ., 2019, vol. 792.

9. Koneva L. V., Korenevsky N. A., Degtyarev S. V. Otsenka urovnya psikhoemotsional'nogo napryazheniya i utomleniya po pokazatelyam, kharakterizuyushchim sostoyanie vni-maniya cheloveka [Evaluation of the level of psychoemotional tension and fatigue according to the indicators that characterize the state of human attention]. *Sistemnyi analiz i upravlenie v biomeditsinskikh sistemakh = System Analysis and Management in Biomedical Systems*, 2012, vol. 11, no. 4, pp. 993–1000.

10. Grigoriev Yu. G., Grigoriev O. A. Sotovaya svyaz' i zdorov'e: elektromagnitnaya obstanovka, radiobiologicheskie i gigienicheskie problemy, prognoz opasnosti [Cellular communication and health: electromagnetic environment, radiobiological and hygienic problems, hazard forecast]. Moscow, Ekonomika Publ., 2013. 565 p.

11. Korenevsky N. A., Myasoedova M. A., Razumova K. V., Serebrovsky A. V. Metod sinteza matematicheskikh modelei prognozirovaniya i diagnostiki professional'nykh zabolevaniy rabotnikov predpriyatii elektroenergetiki [Method of synthesis of mathematical

models of forecasting and diagnostics of occupational diseases of employees of electric power industry enterprises]. *Izvestiya Yugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Upravlenie, vychislitel'naya tekhnika, informatika. Meditsinskoe priborostroenie = Proceedings of the Southwest State University. Series: Management, Computer Engineering, Computer Science. Medical Instrumentation*, 2019, vol. 9, no. 2, pp. 127–143.

12. Korenevsky N. A., Titova A. V. Metod sinteza nechetkikh modelei otsenki vliyaniya elektromagnitnykh polei radiochastotnogo diapazona na sostoyanie zdorov'ya [Method of synthesis of fuzzy models for assessing the influence of electromagnetic fields of the radio frequency range on the state of health]. *Izvestiya Yugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Upravlenie, vychislitel'naya tekhnika, informatika. Meditsinskoe priborostroenie = Proceedings of the Southwest State University. Series: Management, Computer Engineering, Computer Science. Medical Instrumentation*, 2020, vol. 10, no. 2, pp. 102–109.

13. Myasoedova M. A., Korenevsky N. A., Starodubtseva L. V., Pisarev M. V. Matematicheskie modeli otsenki vliyaniya elektromagnitnykh polei na poyavlenie i razvitie professional'nykh zabolevanii v elektroenergeticheskoi otrasli [Mathematical models for assessing the influence of electromagnetic fields on the appearance and development of occupational diseases in the electric power industry]. *Modelirovanie, optimizatsiya i informatsionnye tekhnologii = Modeling, Optimization and Information Technology*, 2019, vol. 7, no. 2, pp. 27–42.

14. Myasoedova M. A., Starodubtseva L. V., Titova A. V., Shulga P. V. Matematicheskie modeli prognozirovaniya i rannei diagnostiki zabolevanii nervnoi sistemy u rabotnikov elektroenergeticheskikh predpriyatii [Mathematical models of forecasting and early diagnosis of diseases of the nervous system in employees of electric power enterprises]. *Izvestiya Yugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Upravlenie, vychislitel'naya tekhnika, informatika. Meditsinskoe priborostroenie = Proceedings of the Southwest State University. Series: Management, Computer Engineering, Computer Science. Medical Instrumentation*, 2019, vol. 9, no. 3, pp. 160–172.

15. Myasoedova M. A. Prognozirovanie i rannyya diagnostika professional'nykh zabolevanii rabotnikov elektroenergeticheskoi otrasli na osnove gibridnykh nechetkikh modelei. Diss. kand. tekhn. nauk [Forecasting and early diagnosis of occupational diseases of electric power industry workers based on hybrid fuzzy models. Cand. techn. sci. diss.]. Kursk, 2019. 162 p.

16. Paltsev Yu. P., Fingers Yu. P., Pokhodzey L. V., Rubtsova N. B., Perov S. Yu., Bogacheva E. V. Problema izucheniya vliyaniya elektromagnitnykh polei na zdorov'e cheloveka. Itogi i perspektivy [The problem of studying the influence of electromagnetic fields on human health. Results and prospects]. *Meditsina truda i promyshlennaya ekologiya = Occupational Medicine And Industrial Ecology*, 2013, no. 6, p. 35–40.

17. Korenevsky N. A. Proektirovanie nechetkikh reshayushchikh setei, nastraivae-mykh po strukture dannykh dlya zadach meditsinskoi diagnostiki [Design of fuzzy decision networks, configurable by the data structure for the tasks of medical diagnostics]. *Sistemnyi analiz i upravlenie v biomeditsinskikh sistemakh = System Analysis and Management in Biomedical Systems*, 2005, vol. 4, no. 1, pp. 12–20.
18. Korenevsky N. A. Ispol'zovanie nechetkoi logiki prinyatiya reshenii dlya meditsinskikh ekspertnykh sistem [The use of fuzzy decision-making logic for medical expert systems]. *Meditsinskaya tekhnika = Medical Equipment*, 2015, no. 1, pp. 33–35.
19. Korenevskiy N. A. Application of fuzzy logic for decision-making in medical expert systems. *Biomedical Engineering*, 2015, vol. 49, is. 1, pp. 46–49.
20. Korenevskiy N. A., Degtyarev S. V., Seregin S. P., Novikov A. V. Use of an Interactive Method for Classification in problems of Medical Diagnosis. *Biomedical Engineering*, 2013, vol. 47, is. 4, pp. 169–172.
21. Korenevskiy N. A., Krupchatnikov R. A., Gorbatenko S. A. Generation of fuzzy network models taught on basic of data structure for medical expert systems. *Biomedical Engineering Journal*, 2008, vol. 42, no. 2, pp. 67–72.
22. Korenevskiy N. A., Al-Kasasbeh R. T., Ionescuc F., Alshamasin M., Alkasasbeh E., Smith A. P. Fuzzy determination of the human's level of psycho-emotional. IFMBE Proceedings, 2013, vol. 40, pp. 213–216.
23. Korenevskiy N., Al-Kasasbeh R. T., Ionescuc F., Alshamasin M., Anrew P. Smit Fuzzy Determination of The Humans Level of Psycho-Emotional. Mega-Conference on Biomedical Engineering. Proceedings of the 4th International Conferecejn the Develjpment of Biomedical Engineering. Berlin, 2012, pp. 354–357.
24. Boytsov A. V., Lazurina L. P., Korenevskaya S. N., Shutkin A. N. Primenenie teorii izmereniya latentnykh peremennykh dlya formirovaniya prostranstva informativnykh priznakov v zadachakh otsenki funktsional'nogo sostoyaniya cheloveka [Application of the theory of measurement of latent variables for the formation of the space of informative signs in the tasks of assessing the functional state of a person]. *Izvestiya Yugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Upravlenie, vychislitel'naya tekhnika, informatika. Meditsinskoe priborostroenie = Proceedings of the Southwest State University. Series: Management, Computer Engineering, Computer Science. Medical Instrumentation*, 2014, no. 6 (57), pp. 52–58.
25. Korenevsky N. A., Shutkin A. N., Boitsova E. A., Dmitrieva V. V. Otsenka i upravlenie sostoyaniem zdorov'ya na osnove modelei G. Rasha [Assessment and management of the state of health based on the models of G. Rush]. *Meditsinskaya tekhnika = Medical Technology*, 2015, no. 6, pp. 37–40.
26. Korenevsky N. A., Shutkin A. N., Boytsova E. A., Dmitrieva V. V. Evaluation and management of health status based on G. Rush's models. *Medical Equipment*, 2015, pp. 37–40.

27. Korenevsky N. A., Krupchatnikov R. A., Al-Kasasbeh R. T. Teoreticheskie osnovy biofiziki akupunktury s prilozheniyami v meditsine, psikhologii i ekolo-gii na osnove nechetkikh setevykh modelei [Theoretical foundations of biophysics of acupuncture with applications in medicine, psychology and ecology based on fuzzy network model]. Stary Oskol, TNT Publ., 2013. 528 p.

Информация об авторах / Information about the Authors

Корневский Николай Алексеевич, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой биомедицинской инженерии, Юго-Западный государственный университет, г. Курск, Российская Федерация, e-mail: kstu-bmi@yandex.ru

Nikolai A. Korenevsky, Dr. of Sci. (Engineering), Professor, Head of the Department of Biomedical Engineering, Southwest State University, Kursk, Russian Federation, e-mail: kstu-bmi@yandex.ru

Титова Анна Владимировна, аспирант, Юго-Западный государственный университет, г. Курск, Российская Федерация, e-mail: nyatarr@yandex.ru

Anna V. Titova, Post-Graduate Student, Southwest State University, Kursk, Russian Federation, e-mail: nyatarr@yandex.ru

Сурнина Александра Игоревна, магистрант, Юго-Западный государственный университет, г. Курск, Российская Федерация, e-mail: aleks-emeralda@yandex.ru

Aleksandra I. Surnina, Undergraduate, Southwest State University, Kursk, Russian Federation, e-mail: aleks-emeralda@yandex.ru

УДК 004.451

Система компьютерного моделирования планировщика задач операционной системы

А. А. Чаплыгин¹ ✉, Е. А. Петрик¹

¹ Юго-Западный государственный университет
ул. 50 лет Октября 94, г. Курск 305040, Российская Федерация

✉ e-mail: alex_chaplygin@mail.ru

Резюме

Цель исследований заключается в компьютерном моделировании процессов планировщика задач операционной системы, моделировании алгоритмов планирования процессов, исследовании загрузки процессора при различном времени ожидания операций ввода-вывода. Приводятся современные представления о процессах и планировании задач, рассматриваются состояния процессов, варианты переходов между этими состояниями. Предложена модель процесса, приводится расчет времени работы процесса при известной вероятности состояния ожидания. Рассмотрен способ изменения приоритета процесса.

Методы. Процессы находятся в одном из трех состояний – два активных и одно пассивное. Каждый процесс может быть вытеснен другим при истечении своего кванта времени. Порядок вытеснения определяется приоритетом процесса. Приоритет включает базовую часть и динамическую, которая изменяется с течением времени, а также может измениться по требованию пользователя.

Результаты. В результате компьютерного моделирования была разработана операционная система, реализующая модель процесса и планировщика процессов. Структура процесса включает в себя идентификатор процесса, состояние, контекст процессора (значение регистров), карту памяти. Планировщик реализует алгоритм круговорот (round-robin). При возникновении прерывания таймера сохраняется контекст предыдущего процесса и восстанавливается контекст следующего. В результате моделирования была получена зависимость между числом процессов и загрузкой ЦПУ при различном времени ожидания ввода-вывода.

Заключение. Полученная модель может быть использована при моделировании работы процессов и планировщика задач операционной системы. Она позволяет тестировать алгоритмы планирования с целью повышения производительности операционной системы.

Ключевые слова: компьютерное моделирование; процесс; планирование; приоритет; операционная система.

Конфликт интересов: Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.

Для цитирования: Чаплыгин А. А., Петрик Е. А. Система компьютерного моделирования планировщика задач операционной системы // Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Управление, вычислительная техника, информатика. Медицинское приборостроение. 2021. Т. 11, № 2. С. 138–151.

Поступила в редакцию 20.03.2020

Подписана в печать 17.04.2021

Опубликована 28.05.2021

© Чаплыгин А. А., Петрик Е. А., 2021

Computer Modeling of the Task Scheduler

Aleksand A. Chaplygin¹ ✉, Elena A. Petrik¹

¹ Southwest State University

50 Let Oktyabrya str. 94, Kursk 305040, Russian Federation

✉ e-mail: alex_chaplygin@mail.ru

Abstract

Purpose of the research is to simulate computer processes and the task scheduler of the operating system, to model process scheduling algorithms, to study the CPU load at different waiting times for I / O operations. Modern concepts of processes and task planning are presented, the states of processes and options for transitions between these states are considered. A process model is proposed, and the calculation of the process operation time is given for a known probability of waiting state. The method of changing the priority of the process is considered.

Methods. Processes are in one of three states: two active and one passive. Each process can be superseded by another when its time quantum expires. The order of displacement is determined by the priority of the process. The priority includes the basic part and the dynamic part, which changes over time, and can also change at the request of the user.

Results. As a result of computer simulation, an operating system was developed that implements the process model and the process scheduler. The process structure includes the process ID, state, processor context (register value), and memory card. The scheduler implements the round-robin algorithm. When a timer interrupt occurs, the context of the previous process is saved and the context of the next process is restored. As a result of the simulation, a relationship was obtained between the number of processes and CPU utilization at different I / O waiting times.

Conclusion. The resulting model can be used to model the operation of processes and the task scheduler of the operating system. It allows you to test scheduling algorithms to improve the performance of the operating system.

Keywords: computer simulation; process; planning; priority; operating system.

Conflict of interest: The Authors declare the absence of obvious and potential conflicts of interest related to the publication of this article.

For citation: Chaplygin A. A., Petrik E. A. Computer Modeling of the Task Scheduler. *Izvestiya Yugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Upravlenie, vychislitel'naya tekhnika, informatika. Meditsinskoe priborostroenie = Proceedings of the Southwest State University. Series: Control, Computer Engineering, Information Science. Medical Instruments Engineering*. 2021; 11(2): 138–151. (In Russ.)

Received 20.03.2021

Accepted 17.04.2021

Published 28.05.2021

Введение

Процессы являются одной из основных абстракций операционных систем (ОС) [1]. Производительность ОС напрямую зависит от скорости переключения контекста центрального процессора между процессами [1]. Компонент ОС, который осуществляет переключение

процессов, называется планировщик задач [2; 3]. Скорость переключения определяется алгоритмом планировщика. В зависимости от вычисленных параметров планировщик определяет, какой следующий процесс должен быть запущен или же переключения не должно быть. Для исследования переключения про-

цессов можно использовать модель процесса и модель планировщика, а также исследовать алгоритмы работы планировщика задач с помощью системы компьютерного моделирования.

Целью работы является разработка системы компьютерного моделирования планировщика задач и проверка основных алгоритмов планирования.

Вычисления в компьютере невозможны без понятия процесса [4; 5]. Одновременно выполняется множество программ. Процессы создаются и уничтожаются динамически. По сути процесс является контейнером для группировки определенных ресурсов: адресное пространство, потоки, открытые файлы, права доступа и др. В различных ОС группировка осуществляется по-разному.

Потоки – это разновидность процессов, выполняющихся в одном адресном пространстве [2; 6; 7]. По сравнению с процессами они имеют преимущество в более быстром переключении контекста процессора вследствие отсутствия необходимости в изменении карты памяти. Также потоки позволяют распараллелить вычисления в пределах одной программы. Процессы вместе с потоками позволяют масштабировать операционные системы для выполнения ресурсоемких вычислений.

В работе [8] рассматривается возможность записи и воспроизведения выполнения процесса. Это позволяет раз-

работчикам выполнять обратное отслеживание трудно обнаруживаемых ошибок, особенно ошибок безопасности.

Планирование процессов происходит в однопроцессорных и мультипроцессорных системах [2; 4; 5]. В зависимости от типа ОС применяются различные алгоритмы планирования. В пакетных системах [9] одной из главных задач планировщика является поддержание максимально возможной задействованности всех составных частей системы.

Интерактивные системы [10] сводят к минимуму время отклика системы – это время между выдачей команды и получением результата. Это достигается применением приоритетов процессов. Наиболее высокий приоритет отдается пользовательским интерактивным процессам, а системные фоновые процессы имеют низкий приоритет.

Системы реального времени [11], в отличие от других систем, назначают крайние сроки выполнения процессов, которые обязательно выдерживаются (или выдерживаются с определенными допусками). Эти системы характеризуются предсказуемым планированием.

В системе с виртуальной машиной [12] процессы могут быть реализованы благодаря механизму виртуальной памяти. В работе [13] рассматриваются вопросы виртуализации центрального процессора наряду с технологиями обработки и планирования.

Межпроцессное взаимодействие [14; 15; 16; 17] представляет собой слож-

ную область, в которой возникают задачи предоставления доступа нескольким процессам к одному общему ресурсу. При этом используются такие технологии, как активное ожидание, семафоры, мониторы.

Современные процессоры содержат несколько ядер [18; 19; 20]. В этом слу-

чае одной из проблем является конкуренция за обладание совместными ресурсами, при этом необходимо специальное планирование.

Материалы и методы

Каждый процесс в текущий момент времени имеет одно из состояний (рис. 1).

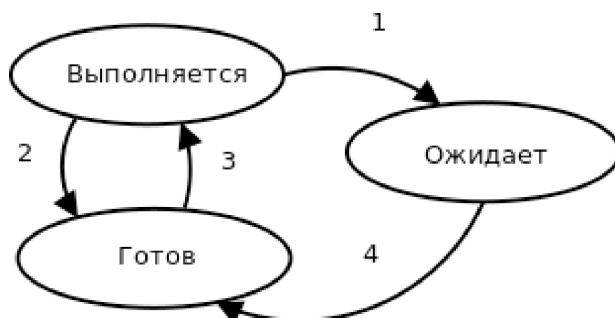


Рис. 1. Состояния процессов

Fig. 1. Process states

Состояние «Выполняется» означает, что процесс в данный момент использует процессор. Состояние «Готов» происходит, когда процесс временно остановлен в работе, но он может быть выбран планировщиком. Состояние «Ожидает» относится к процессу, который не работает, не может быть выбран планировщиком и ожидает внешнее событие.

Между состояниями может быть 4 перехода:

1. Операционная система определяет, что данный процесс дальше выполняется не может, процесс читает или пишет данные из устройств ввода-вывода.

2. Процесс вытесняется планировщиком, когда израсходовал свой квант времени.

3. Процесс выбирается планировщиком, и происходит переключение контекста процессора.

4. Событие, которое ожидал процесс, произошло, и процесс готов к дальнейшему выполнению.

Возьмем модель процесса, когда все выполняемые вычисления происходят последовательно (в распоряжении компьютера – один процессор). Процесс – это экземпляр выполняемой программы P . Он включает в себя множество значений регистров R , значение счетчика команд i , значения внутренних переменных $f(x)$:

$$P = \{R, i, f(x)\}. \quad (1)$$

Функция $f(x)$ показывает значение ячейки памяти с адресом x .

Центральный процессор имеет один счетчик команд, который принимает одно из значений i_p , регистры принимают значения R_p . В один момент времени процессор может или производить вычисления, или ожидать выполнения операции ввода вывода. Обозначим: p – время ожидания; n – число процессов. Тогда время работы процессора определяется

$$t_p = 1 - p^n, \quad (2)$$

где p^n – вероятность, что все процессы находятся в состоянии ожидания.

Планировщик является самым нижним уровнем операционной системы. Он скрывает обработку прерываний и все действия по запуску и остановке процессов. В этом случае остальную часть операционной системы можно структурировать, используя процессы (рис. 2).



Рис. 2. Роль планировщика процессов в структуре ОС

Fig. 2. Process scheduler role in OS structure

Чтобы обеспечить высокую производительность системы, планировщик должен выбирать, какой процесс должен выполняться следующим, учитывая потребности пользователей системы. Обычно планировщик запускается в следующих ситуациях:

1. При создании нового процесса.
2. При завершении работы процесса.
3. Когда процесс блокируется в ожидании завершения операции ввода-вывода.
4. При возникновении прерывания ввода-вывода.
5. При возникновении прерывания таймера.

Чаще всего используется приоритетный алгоритм планирования. Всем процессам присваивается приоритет – число, определяющее, в какую очередь будет определен процесс. При выборе процесса планировщик просматривает очереди, начиная с высоких приоритетов и заканчивая низкими, выбирая первую непустую очередь. Если в очереди присутствуют несколько процессов, то эти процессы выбираются в порядке их поступления в очередь, предоставляя процессам одинаковое время выполнения. Когда процесс исчерпывает свой квант времени, то он помещается в конец той же очереди.

Размер кванта времени определяет отклик системы: чем меньше квант, тем быстрее система отвечает на запрос пользователя. Но больший размер

кванта повышает загрузженность центрального процессора вследствие того, что меньше тратится времени на переключение контекста процессора.

Приоритеты могут динамически изменяться, отражая требования процессов к ресурсам. Процессы перемещаются между очередями вследствие изменения приоритета. Процессы, использующие операции ввода-вывода, имеют меньший приоритет, чем интерактивные процессы. Это повышает отклик системы. Приоритет рассчитывается

$$P_u = P_{user} + \frac{P_{cpu}}{n_t} + 2 \cdot P_{nice}, \quad (3)$$

где P_{user} – базовый приоритет пользователя; P_{cpu} – текущее время использования процессора процессом; n_t – число временных интервалов или период, за

который вычисляется приоритет; P_{nice} – фактор корректировки приоритета выбираемый пользователем от –20 до 20. Его начальное значение – 0, чем меньше значение, тем выше приоритет.

В результате вычислений по формуле (3) приоритет процесса уменьшается линейно, основываясь на времени использования ЦПУ (чем выше значение, тем ниже приоритет). Корректировка вносит пользовательские требования к приоритету. Отрицательные значения корректировки нивелируют высокое использование ЦПУ. Счетчик времени использования ЦПУ увеличивается с каждым отсчетом таймера.

Рассмотрим очереди процессов (рис. 3).

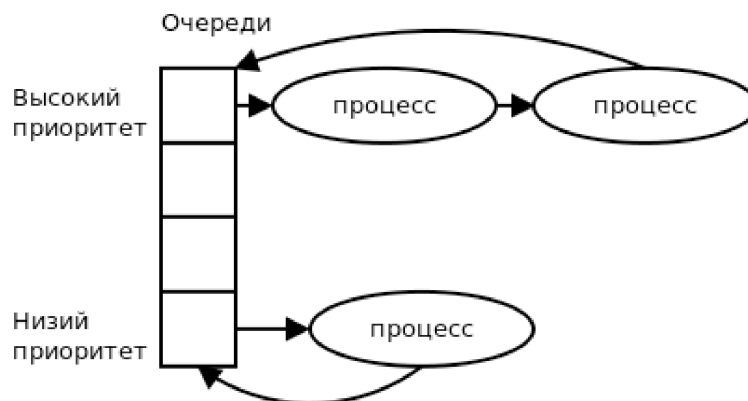


Рис. 3. Роль планировщика процессов в структуре ОС

Fig. 3. Processes queues

Результаты и их обсуждение

В результате компьютерного моделирования был создан прототип операционной системы с планировщиком, переключающим процессы. Для хранения

процессов использована таблица процессов. Она организована как массив структур. Состояния процесса обозначены как константы (рис. 4). Добавлено состояние «Остановлен», когда процесс завершает работу, но еще не удален из таблицы процессов.

```
#define STATUS_READY 0 /**< состояние процесс" готов" */
#define STATUS_RUNNING 1 /**< состояние процесс" запущен" */
#define STATUS_SLEEPING 2 /**< состояние процесс" заморожен" */
#define STATUS_STOPPING 3 /**< состояние процесс" остановлен" */
#define REGS_SIZE 64 /**< размер буфера регистров процесса */
#define STACK_SIZE 1024 /**< размер стека в байтах */
```

Рис. 4. Состояния процессов**Fig. 4.** Process states

Рассмотрим структуру процесса (рис. 5).

```
struct proc {
    int pid; /**< номер процесса */
    int parent_id; /**< номер родительского процесса*/
    int state; /**< состояние */
    int sleep_param; /**< причина сна */
    void* codePtr; /**< адрес кода */
    int code_size; /**< размер сегмента кода */
    void* dataPtr; /**< адрес данных */
    int data_size; /**< размер сегмента данных */
    void* stackPtr; /**< адрес стека */
    void *program_counter; /**< счетчик команд */
    void *stack_pointer; /**< указатель стека */
    int regs[REGS_SIZE]; /**< буфер регистров */
};
```

Рис. 5. Структура в таблице процессов**Fig. 5.** Process structure

При инициализации создается пустая таблица процессов. При создании нового процесса заполняется структура, для процесса выделяется память под сегменты кода, данных и стека, устанавливаются начальные значения регистров: селектор сегмента кода – 0x08 (сегмент

кода ядра), селектор сегмента данных – 0x10, значения флагов – 0x200 (установлен флаг разрешения прерываний).

Код планировщика с алгоритмом круговорота (round-robin) показан ниже (рис. 6).

```

void sheduler()
{
    if (current_proc->state != STATUS_SLEEPING)
        current_proc->state = STATUS_READY;
    for (current_proc++; current_proc->state != STATUS_READY; current_proc++);
    current_proc->state=STATUS_RUNNING;
    while (current_proc->pid == -1) {
        if (current_proc >= processes + MAX_PROC_AMOUNT - 1) {
            current_proc = processes;
            break;
        }
        current_proc++;
    }
    restore_regs();
}

```

Рис. 6. Код планировщика

Fig. 6. Scheduler source code

Главная часть кода, которая переключает контекст процессора, написана

на ассемблере. Она состоит из двух частей – сохранение контекста процессора и восстановление контекста (см. рис. 7).

```

;; сохранение регистров
save_regs:
;; состояние стека:
;; адрес[ возврата в обработчик]
;; [IP процесса]
;; [CS процесса]
;; флаги
;; -> стек процесса
mov [return_esp], esp ; сохраняем указатель стека
mov esp, [current_proc]
add esp, regs + 64 * 4 ; &regs[63] с этого адреса начинаются сохраненные регистры
pusha ; сохранение регистров EAX, ECX, EDX, EBX, ESP, EBP, ESI, EDI
push ds
push es
push fs
push gs

```

Рис. 7. Переключение контекста процессора (начало)

Fig. 7. CPU context switching (beginning)

```

mov ebx, [return_esp] ; в ebx значение esp
mov eax, [ebx + 12] ;EFLAGS
push eax ; сохраняем флаги
mov eax, [ebx + 8] ;CS
push eax ; сохраняем CS
mov eax, [ebx + 4] ;IP
mov esp, [current_proc]
add esp, program_counter + 4 ;current_proc->program_counter + 4
push eax ; сохраняем IP
mov eax, ebx
add eax, 16 ; указатель стека процесса
mov esp, [current_proc]
add esp, stack_pointer + 4 ; esp = current_proc->stack_pointer + 4
push eax ; сохраняем esp
mov esp, [return_esp] ; устанавливаем стек ядра возврат( в обработчик прерывания)
ret
;; восстановление регистров
restore_regs:
mov esp, [current_proc]
add esp, program_counter ; current_proc->program_counter
pop dword [proc_ip]
mov esp, [current_proc]
add esp, stack_pointer
pop dword [proc_stack] ; здесь указатель стека current_proc->stack_pointer
mov esp, [current_proc]
add esp, regs + 64 * 4
sub esp, 14 * 4 ; восстанавливаем в обратном порядке
pop dword [proc_cs] ; CS
pop dword [proc_flags] ; EFLAGS
pop gs
pop fs
pop es
pop ds
popa ; восстанавливаем все регистры
mov esp, [proc_stack]
; установили сохраненное значение стека
push dword [proc_flags]
push dword [proc_cs]
push dword [proc_ip]
iretd

```

Рис. 7. Переключение контекста процессора (окончание)**Fig. 7.** CPU context switching (ending)

Для моделирования процессов были созданы несколько тестовых процессов, которые выводят на экран различные

символы. На рисунке 8 показана зависимость времени задействования процессора от количества процессов.

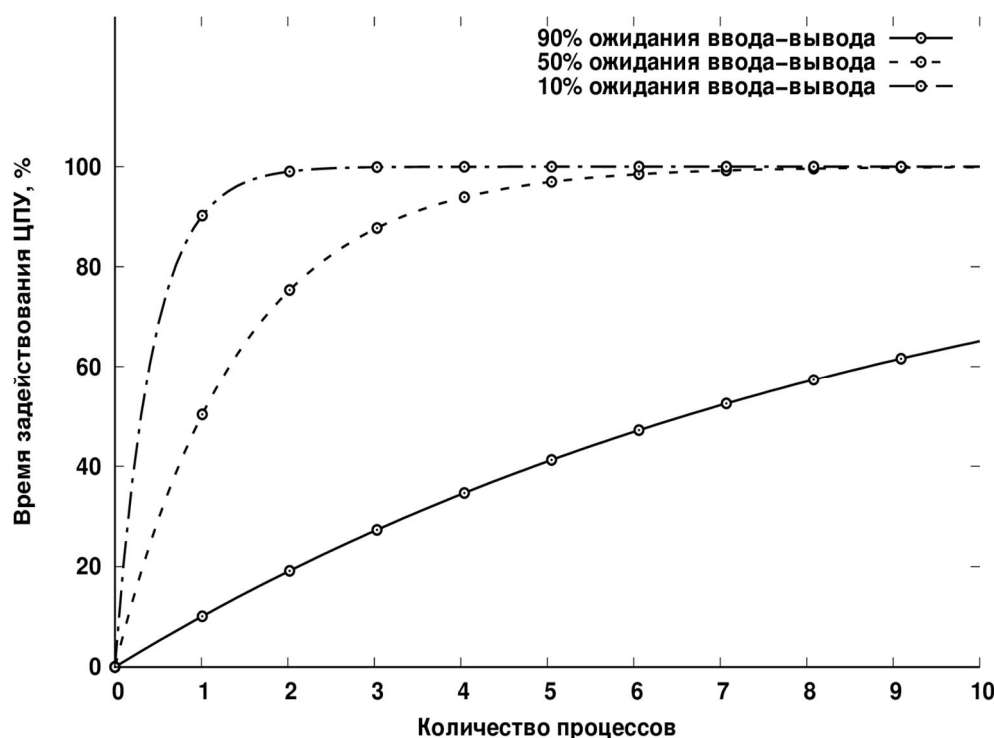


Рис. 8. Время задействования центрального процессора

Fig. 8. CPU usage time

Анализируя рисунок 8, приходим к выводу: чем больше у процессора время ожидания ввода-вывода, тем больше требуется процессов, чтобы загрузить центральный процессор. В случае нескольких процессоров возможна ситуация, когда одна часть процессоров задействована, т. е. загружены работающими процессами, а другая часть загружена процессами, ожидающими окончание операций ввода-вывода. Когда процессор один, то каждый выполняемый

процесс ожидает своей очереди, следовательно, процессы не могут быть независимыми.

Выводы

Таким образом, разработанная система компьютерного моделирования планировщика задач позволяет моделировать работу процессов в операционной системе. Данная модель позволяет настроить параметры планировщика задач в операционной системе и тем самым повысить производительность системы.

Список литературы

1. Ли И. В., Балса А. Р. Современные подходы к разработке операционных систем для масштабируемых многоядерных систем // Информационные технологии и системы: управление, экономика, транспорт, право. 2014. № 1. С. 6–14.
2. Бовет Д., Чезати М. Ядро Linux. 3-е изд. СПб.: БХВ-Петербург, 2007. 1105 с.
3. Чепцов В. Ю., Черкасова Н. И. Разработка метода динамической модификации расширений ядра в операционной системе macos для обработки радиолокационной и метеоинформации // Вестник Санкт-Петербургского государственного университета гражданской авиации. 2017. № 3. С. 61–71.
4. Таненбаум Э., Бос Н. Современные операционные системы. 4-е изд. СПб.: Питер, 2015. 1120 с.
5. Minix – Национальная библиотека им. Н. Э. Баумана. URL: <https://ru.bmstu.wiki/MINIX> (дата обращения 10.02.2020).
6. Сартаков В. А., Атовмян И. О., Заева М. А. Опыт разработки и тестирования встраиваемой микроядерной операционной системы // Прикладная информатика. 2011. № 6. С. 33–37.
7. Кастер Х. Основы Windows NT и NTFS. М.: Русская Редакция, 1996. 440 с.
8. Viennot N., Nair S., Nieh J. Transparent Mutable Replay for Multicore Debugging and Patch Validation // Proceedings of the 18th International Conference on Architectural Support for Programming Languages and Operating Systems (ASPLOS '13). Houston, TX, 2013.
9. Batch Processing: Design – Build – Run: Applied Practices and Principles. Oreilly. URL: <https://www.oreilly.com/...design-build/9780470257630...batch.html> (дата обращения: 18.02.2021).
10. Announcing Windows 10 Insider Preview Build 21354 // Windows Experience Blog. 2021. April 7.
11. Wind River's VxWorks Powers Mars Science Laboratory Rover, Curiosity // Virtual Strategy Magazine. 2012. August 6.
12. Чаплыгин А. А. Малышев А. В. Операционная система с ядром на основе виртуальной машины с уменьшенным набором команд // Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Управление, вычислительная техника, информатика. Медицинское приборостроение. 2020. № 1. С. 8–20.
13. Arpaci-Dusseau R. H., Arpaci-Dusseau A. C. Operating Systems: Three Easy Pieces. Madison: University of Wisconsin-Madison, 2018.

14. Andrews G. R., Schneider F. B. Concepts and Notations for Concurrent Programming // ACM Computing Surveys. 1983. Vol. 15, no. 1.
15. Ben-Ari M. Principles of Concurrent Programming. Boston: Addison-Wesley, 2006.
16. Silberschatz A. Operating System Concepts. 9th ed. New York: John Wiley & Sons, 2012.
17. Coffman E. System Deadlocks // ACM Computing Surveys. 1971. Vol. 3, no. 2.
18. Zhuravlev S. Survey of Scheduling Techniques for Addressing Shared Resources in Multicore Processors // ACM Computing Surveys. 2012. Vol. 45, no. 1.
19. Stallings W. Operating Systems: Internals and Design Principles. 7th ed. PE, 2011.
20. Kwok Y. K. Ahmad I. Static Scheduling Algorithms for Allocating Directed Task Graphs to Multiprocessors // ACM Computing Surveys. 1999. Vol. 31, is. 4.

References

1. Li I. V., Balsa A. R. Sovremennye podkhody k razrabotke operatsionnykh sistem dlya masshtabiruemykh mnogoyadernykh sistem [Modern methods of developing of operating systems for clustering multicore systems]. *Informacionnye tekhnologii i sistemy: upravlenie, ekonomika, transport, pravo = Information Technologies and Systems: Management, Economics, Transport, Law*, 2014, no. 1, pp. 6–14.
2. Bovet D., Chezati M. Yadro Linux [Linux kernel]. 3th ed. St. Petersburg, BHV-Peterburg Publ., 2007. 1105 p.
3. Chepcov V. U., Cherkasova N. I. Razrabotka metoda dinamicheskoi modifikatsii rasshirenii yadra v operatsionnoi sisteme macos dlya obrabotki radiolokatsionnoi i meteoinformatsii [Developing of dynamic modification method for kernel modules in MacOS operating system for radio- and meteo-information processing]. *Vestnik Sankt-Peterburgskogo gosudarstvennogo universiteta grazhdanskoj aviatsii = Bulletin of the St. Petersburg State University of Civil Aviation*, 2017, no. 3, pp. 61–71.
4. Tanenbaum E., Bos H. Sovremennye operatsionnye sistemy [Modern operating systems]. 4th ed. St. Petersburg, Piter Publ., 2015. 1120 p.
5. Minix – Natsional'naya biblioteka im. N. E. Bauman [Minix – National Library named after N. E. Bauman]. Available at: <https://ru.bmstu.wiki/MINIX>. (assessed 10.02.2020)
6. Sartakov V. A., Atovmyan I. O., Zaeva M. A. Opyt razrabotki i testirovaniya vstraivaemoi mikroyadernoi operatsionnoi sistemy [Developing and testing experience of embedded microkernel operating system]. *Prikladnaya informatika = Applied Computer Science*, 2011, no. 6, pp. 33–37.

7. Kaster H. Osnovy Windows NT i NTFS [Windows NT and NTFS basics]. Moscow, Russkaya Redakciya Publ., 1996. 440 p.
8. Viennot N., Nair S., Nieh J. Transparent Mutable Replay for Multicore Debugging and Patch Validation. Proceedings of the 18th International Conference on Architectural Support for Programming Languages and Operating Systems (ASPLOS '13). Houston, TX Publ., 2013.
9. Batch Processing: Design – Build – Run: Applied Practices and Principles. Oreilly. Available at: <https://www.oreilly.com/...design-build/9780470257630...batch.html>. (assessed 18.02.2021)
10. Announcing Windows 10 Insider Preview Build 21354. *Windows Experience Blog*, 2021, April 07.
11. Wind River's VxWorks Powers Mars Science Laboratory Rover, Curiosity. *Virtual Strategy Magazine*, 2012, August 06.
12. Chaplygin A. A., Malyshev A. V. Operatsionnaya sistema s yadrom na osnove virtual'noi mashiny s umen'shennym naborom komand [The operating system with the virtual machine based kernel with reduced instruction set]. *Izvestiya Yugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Upravlenie, vychislitel'naya tekhnika, informatika. Meditsinskoe priborostroenie = Proceedings of the Southwest State University. Series: Control, Computer Engineering, Information Science. Medical Instruments Engineering*, 2020, vol. 1, pp. 8–20.
13. Arpaci-Dusseau R. H., Arpaci-Dusseau A. C. Operating Systems: Three Easy Pieces. Madison, University of Wisconsin-Madison Publ., 2018.
14. Andrews G. R., Schneider F. B. Concepts and Notations for Concurrent Programming. *ACM Computing Surveys*, 1983, vol. 15, no. 1.
15. Ben-Ari M. Principles of Concurrent Programming. Boston, Addison-Wesley Publ., 2006.
16. Silberschatz A. Operating System Concepts. 9th ed. New York, John Wiley & Sons Publ., 2012.
17. Coffman E. System Deadlocks. *ACM Computing Surveys*, 1971, vol. 3, no. 2.
18. Zhuravlev S. Survey of Scheduling Techniques for Addressing Shared Resources in Multicore Processors. *ACM Computing Surveys*, 2012, vol. 45, no. 1,
19. Stallings W. Operating Systems: Internals and Design Principles. 7th ed. PE, 2011.
20. Kwok Y. K. Ahmad I. Static Scheduling Algorithms for Allocating Directed Task Graphs to Multiprocessors. *ACM Computing Surveys*, 1999, vol. 31, is. 4.

Информация об авторах / Information about the Authors

Чаплыгин Александр Александрович, кандидат технических наук, доцент кафедры программной инженерии, Юго-Западный государственный университет, г. Курск, Российская Федерация, e-mail: alex_chaplygin@mail.ru

Aleksandr A. Chaplygin, Cand. of Sci. (Engineering), Associate Professor of the Department of Software Engineering, Southwest State University, Kursk, Russian Federation, e-mail: alex_chaplygin@mail.ru

Петрик Елена Анатольевна, кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры программной инженерии, Юго-Западный государственный университет, г. Курск, Российская Федерация, e-mail: petrik.ea@mail.ru

Elena A. Petrik, Cand. of Sci. (Engineering), Associate Professor, Associate Professor of Software Engineering Department, Southwest State University, Kursk, Russian Federation, e-mail: petrik.ea@mail.ru

К сведению авторов

1. К публикации в журнале «Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Управление, вычислительная техника, информатика. Медицинское приборостроение» принимаются актуальные материалы, содержащие новые результаты научных и практических исследований, соответствующие профилю журнала, не опубликованные ранее и не переданные в редакции других журналов.

2. Авторы статей должны представить в редакцию журнала:

- статью, оформленную в соответствии с правилами оформления статей, представляемых для публикации в журнале;

- разрешение на опубликование в открытой печати статьи от учреждения, в котором выполнена работа.

- сведения об авторах (фамилия, имя отчество, место работы, должность, ученая степень, звание, почтовый адрес, телефон, e-mail);

- лицензионный договор.

3. Бумажный вариант статьи подписывается всеми авторами.

4. Редакция не принимает к рассмотрению рукописи, оформленные не по правилам.

5. **Публикация бесплатная.**

6. Основной текст рукописи статьи (кроме аннотации и ключевых слов) набирают в текстовом редакторе MS WORD шрифтом «Times New Roman» размером 14 пт с одинарным интервалом, выравнивание по ширине. Поля с левой стороны листа, сверху и снизу – 2,5 см, с правой стороны – 2 см. Абзацный отступ – 1,5 см.

7. Схема построения публикации: УДК (индекс по универсальной десятичной классификации), фамилия и инициалы автора(ов) с указанием ученой степени, звания, места работы (полностью), электронного адреса (телефона), название (строчные), аннотация и ключевые слова, текст с рисунками и таблицами, список литературы. Авторы, название, аннотация и ключевые слова, список литературы приводятся на русском и английском языках.

Перед основным текстом печатается аннотация (200-250 слов), отражающая краткое содержание статьи.

8. При формировании текста не допускается применение стилей, а также внесение изменения в шаблон или создание собственного шаблона. Слова внутри абзаца следует разделять одним пробелом; набирать текст без принудительных переносов; не допускаются разрядки слов.

9. Для набора формул и переменных следует использовать редактор формул MathType версии 5.2 и выше с размерами: обычный – 12 пт; крупный индекс 7 пт, мелкий индекс – 5 пт; крупный символ – 18 пт; мелкий символ – 12 пт.

Необходимо учитывать, что **полоса набора – 75 мм**. Если формула имеет больший размер, ее необходимо упростить или разбить на несколько строк. **Формулы, внедренные как изображение, не допускаются!**

Все русские и греческие буквы (Ω , η , β , μ , ω , ν и др.) в формулах должны быть набраны прямым шрифтом. Обозначения тригонометрических функций ($\sin$, $\cos$, $\tg$ и т.д.) – прямым шрифтом. Латинские буквы – прямым шрифтом.

Статья должна содержать лишь самые необходимые формулы, от промежуточных выкладок желательно отказаться.

10. Размерность всех величин, принятых в статье, должна соответствовать Международной системе единиц измерений (СИ).

11. Рисунки и таблицы располагаются по тексту. Таблицы должны иметь тематические заголовки. Иллюстрации, встраиваемые в текст, должны быть выполнены в одном из стандартных форматов (TIFF, JPEG, PNG) с разрешением не ниже 300 dpi и публикуются в черно-белом (градации серого) варианте. Качество рисунков должно обеспечивать возможность их полиграфического воспроизведения без дополнительной обработки. **Рисунки, выполненные в MS Word, недопустимы.**

Рисунки встраиваются в текст через опцию «Вставка-Рисунок-Из файла» с обтеканием «В тексте» с выравниванием по центру страницы без абзацного отступа. Иные технологии вставки и обтекания **не допускаются**.

12. **Список литературы к статье обязателен** и должен содержать все цитируемые и упоминаемые в тексте работы (не менее 10). Пристатейные библиографические списки оформляются в соответствии с ГОСТ Р 7.0.5-2008. «Библиографическая ссылка. Общие требования и правила составления». Ссылки на работы, находящиеся в печати, не допускаются. При ссылке на литературный источник в тексте приводится порядковый номер работы в квадратных скобках.

13. В материале для публикации следует использовать только общепринятые сокращения.

Все материалы направлять по адресу: 305040, г.Курск, ул. 50 лет Октября, 94. ЮЗГУ, редакционно-издательский отдел.

Тел.(4712) 22-25-26, тел/факс (4712) 50-48-00.

E-mail: rio_kursk@mail.ru

Изменения и дополнения к правилам оформления статей и информацию об опубликованных номерах можно посмотреть на официальном сайте журнала: <https://swsu.ru/izvestiya/seriesivt/>.