сетевой научный журнал ISSN 2518-1092

НАУЧНЫЙ РЕЗУЛЬТАТ

RESEARCH RESULT

Том 3 | № 3
Volume 3 | 2018

ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

INFORMATION TECHNOLOGY

Сайт журнала:
rrinformation.ru
сетевой научный рецензируемый журнал
online scholarly peer-reviewed journal

НАУЧНЫЙ РЕЗУЛЬТАТ
RESEARCH RESULT

ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ
INFORMATION TECHNOLOGIES SERIES

Журнал зарегистрирован в Федеральной службе по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций (Роскомнадзор)
Свидетельство о регистрации средства массовой информации Эл. № ФС77-69101 от 14 марта 2017 г.

The journal has been registered at the Federal service for supervision of communications information technology and mass media (Roskomnadzor)
Mass media registration certificate El. № FS 77-69101 of March 14, 2017

Том 3, № 3. 2018

СЕТЕВОЙ НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ
Издается с 2016 г.
ISSN 2518-1092

Volume 3, № 3. 2018

ONLINESCHOLARLYPEER-REVIEWEDJOURNAL
First published online: 2016
ISSN 2518-1092

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ:

ГЛАВНЫЙ РЕДАКТОР: ***Черноморец А.А.,*** *доктор технических наук, профессор кафедры прикладной информатики и информационных технологий Белгородского государственного национального исследовательского университета.*

ОТВЕТСТВЕННЫЙ СЕКРЕТАРЬ: ***Болгова Е.В.,*** *старший преподаватель кафедры прикладной информатики и информационных технологий Белгородского государственного национального исследовательского университета.*

РЕДАКТОР АНГЛИЙСКИХ ТЕКСТОВ СЕРИИ: ***Ляшенко И.В.,*** *кандидат филологических наук, доцент*

ЧЛЕНЫ РЕДАКЦИОННОЙ КОЛЛЕГИИ:

Басов О.О., *доктор технических наук (Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики (Университет ИТМО), г. Санкт-Петербург)*

Белов С.П., *доктор технических наук, профессор (Белгородский государственный национальный исследовательский университет, г. Белгород)*

Волчков В.П., *доктор технических наук, профессор (Московский технический университет связи и информатики, г. Москва)*

Дмитриенко В.Д., *доктор технических наук, профессор (Харьковский национальный технический университет «ХПИ», г. Харьков, Украина)*

Иващук О.А., *доктор технических наук, профессор (Белгородский государственный национальный исследовательский университет, г. Белгород)*

Корсунов Н.И., *заслуженный деятель науки РФ, доктор технических наук, профессор (Белгородский государственный национальный исследовательский университет, г. Белгород)*

Коськин А.В., *доктор технических наук, профессор (Орловский государственный университет им. И. С. Тургенева, г. Орел)*

Ломазов В.А., *доктор физико-математических наук, профессор (Белгородский государственный аграрный университет им. В.Я. Горина, г. Белгород)*

Маторин С.И., *доктор технических наук, профессор (Белгородский государственный национальный исследовательский университет, г. Белгород)*

Рубанов В.Г., *заслуженный деятель науки РФ, доктор технических наук, профессор (Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, г. Белгород)*

EDITORIAL TEAM:

EDITOR-IN-CHIEF: ***Andrey A. Chernomorets,*** *Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Belgorod State National Research University*

EXECUTIVE SECRETARY: ***Evgeniya V. Bolgova,*** *Senior Lecturer, Belgorod State National Research University*

ENGLISH TEXT EDITOR: ***Igor V. Lyashenko,*** *Ph.D. in Philology, Associate Professor*

EDITORIAL BOARD:

Oleg O. Basov, *Doctor of Technical Sciences, Professor (Russia)*

Sergey P. Belov, *Doctor of Technical Sciences, Professor (Russia)*

Valery P. Volchkov, *Doctor of Technical Sciences, Professor (Russia)*

Valery D. Dmitrienko, *Doctor of Technical Sciences, Professor (Ukraine)*

Olga A. Ivaschuk, *Doctor of Technical Sciences, Professor (Russia)*

Nikolay I. Korsunov, *Honoured Science Worker of Russian Federation, Doctor of Technical Sciences, Professor (Russia)*

Alexander V. Koskin, *Doctor of Technical Sciences, Professor (Russia)*

Vadim A. Lomazov, *Doctor of Physico-mathematical Sciences, Professor (Russia)*

Sergey I. Matorin, *Doctor of Technical Sciences, Professor (Russia)*

Vasily G. Rubanov, *Honoured Science Worker of Russian Federation, Doctor of Technical Sciences, Professor (Russia)*

Учредитель: Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования
«Белгородский государственный национальный исследовательский университет»
Издатель: НИУ «БелГУ». Адрес издателя: 308015 г. Белгород, ул. Победы, 85.
Журнал выходит 4 раза в год

Founder: Federal state autonomous educational establishment of higher education
«Belgorod State National Research University»
Publisher: Belgorod State National Research University
Address of publisher: 85 Pobeda St., Belgorod, 308015, Russia
Publication frequency: 4 /year

© Белгородский государственный национальный исследовательский университет, 2018
© Belgorod State National Research University, 2018

СОДЕРЖАНИЕ

КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ

Петров Д.В., Михелев В.М., Васильев П.В.
Применение GPU-вычислений для построения и визуализации воксельных геомоделей **3**

СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ И УПРАВЛЕНИЕ

Кузнецов Д.А., Кузнецов А.В., Тезин А.В., Басов О.О.
Сравнительный анализ синтезаторов речи для подсистемы оповещения интеллектуального зала совещаний **9**

Маторин С.И., Жихарев А.Г., Игрунов К.К.
Классификация систем как элементов «Узел-Функция-Объект» **15**

Кузнецов Д.А., Безручко В.В., Кузнецов А.В., Басов О.О.
Подсистемы жизнеобеспечения интеллектуального зала совещаний **28**

ИНФОРМАЦИОННО-ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

Белов С.П., Жиляков Е.Г., Белов А.С., Золотарь Н.И.
Об особенностях мониторинга занятости частотных ресурсов каналов связи при передаче информации когнитивными системами беспроводной связи **37**

Смирнов А.В., Безручко В.В., Басов О.О.
Прототип устройства внесения неисправностей в электрический кабель связи **45**

Сойникова Е.С., Батищев Д.С., Михелев В.М.
О распознавании форменных объектов крови на основе медицинских изображений **54**

CONTENTS

COMPUTER SIMULATION HISTORY

Petrov D.V., Mikhelev V.M., Vassiliev P.V.
Application of GPU-calculations for construction and visualization of voxel geomodels **3**

SYSTEM ANALYSIS AND PROCESSING OF KNOWLEDGE

Kuznetsov D.A., Kuznetsov A.V., Tezin A.V., Basov O.O.
The comparative analysis of the speech synthesizers for the notification subsystem of smart hall **9**

Matorin S.I., Zhikharev A.G., Igrunov K.K.
Classification of systems as elements «Unit-Function-Object» **15**

Kuznetsov D.A., Bezruchko V.V., Kuznetsov A.V., Basov O.O.
The life support subsystems of meetings smart hall **28**

INFORMATION TECHNOLOGIES AND TELECOMMUNICATION

Belov S.P., Zhilyakov E.G., Belov A.S., Zolotar N.I.
About features of monitoring of employment of frequency resources of communication channels at the communication of information by cognitive wireless communication systems **37**

Smirnov A.V., Bezruchko V.V., Basov O.O.
Prototype of the device intended for causing fault in the electrical communication cable **45**

Soynikova E. S., Batishchev D.S., Mikhelev V.M.
About blood formed elements detection based on medical images **54**

КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ
COMPUTER SIMULATION HISTORY

УДК 681.3.06:539.51 **DOI: 10.18413/2518-1092-2018-3-3-0-1**

Петров Д.В.[1]
Михелев В.М.[2]
Васильев П.В.[1]

ПРИМЕНЕНИЕ GPU-ВЫЧИСЛЕНИЙ ДЛЯ ПОСТРОЕНИЯ И ВИЗУАЛИЗАЦИИ ВОКСЕЛЬНЫХ ГЕОМОДЕЛЕЙ

[1] Белгородский государственный национальный исследовательский университет, ул. Победы д. 85, г. Белгород, 308015, Россия
[2] Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, ул. Костюкова д. 46, г. Белгород, 308012, Россия

e-mail: petrov@bsu.edu.ru, vm.mikhelev@gmail.com, geoblock@mail.ru

Аннотация
В геоинформационных системах недропользования применяется широкий комплекс вычислительных методов создания полигональных и воксельных моделей, включающий методы геостатистики, триангуляции, интерполяции и оптимизации границ извлечения запасов. Для решения горных задач требуется построение детальных блочных или воксельных моделей, обеспечивающих оперативное планирование дискретных объёмов выемки горных пород. В статье показаны возможности реализации GPU-ускорения для выполнения параллельных вычислений по вокселизации поверхностей раздела сред и объёмных геологических тел с применением технологии программирования CUDA и OpenCL. В системе Gexoblock используется библиотека NVIDIA по вокселизации на основе параллельных вычислений по технологии CUDA gvdb-voxels. Предложенный гибридный подход включает методы распараллеливания триангуляции, интерполяции и оптимизации последовательности этапов выемки сырья при поиске наилучшей стратегии извлечения рудных запасов.
Ключевые слова: параллельные вычисления на GPU; интерполяция; тетраэдрализация; диаграмма Вороного; вокселизация; октодерево.

UDC 681.3.06:539.51

Petrov D.V.
Mikhelev V.M.
Vassiliev P.V.

APPLICATION OF GPU-CALCULATIONS FOR CONSTRUCTION AND VISUALIZATION OF VOXEL GEOMODELS

[1] Belgorod State National Research University, 85 Pobedy St., Belgorod, 308015, Russia
[2] Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov, 46 Kostyukova St.,Belgorod, 308012, Russia

e-mail: petrov@bsu.edu.ru, vm.mikhelev@gmail.com, geoblock@mail.ru

Abstract
In Geoinformation Systems for Mining a wide range of computational methods for creating polygonal and voxel models, including methods of geostatistics, triangulation, interpolation and optimization of resource extraction boundaries, are used. For the solution of the mining task requires the construction of detailed voxel or block models for operational planning of discrete volumes for rocks under excavation. The article shows the possibilities of implementing GPU acceleration to perform parallel calculations on voxelization of the surfaces of the media and volume geological bodies with the use of CUDA and OpenCL programming technology. In the

Gexoblock system the library NVIDIA voxelization based on parallel computing technology CUDA gvdb-voxels is used. The proposed hybrid approach includes methods for parallelizing triangulation, interpolation, and optimization of the sequence of extraction steps in the search for the best extraction strategy for ore reserves.
Keywords: parallel computing; interpolation; tetrahedralization; Voronoi diagram; voxelization; sparse octree.

В GIS недропользования применяется широкий комплекс вычислительных методов создания полигональных и воксельных моделей, включающий методы геостатистики, триангуляции, интерполяции и оптимизации границ извлечения запасов. Для решения горно-геологических задач требуется построение детальных блочных или воксельных моделей, обеспечивающих оперативное планирование дискретных объёмов выемки горных пород. В работе показаны возможности реализации GPU-ускорения для выполнения параллельных вычислений по вокселизации поверхностей раздела сред и объёмных геологических тел с применением технологии программирования CUDA и OpenCL.

В программной системе Gexoblock задействованы средства библиотеки NVIDIA gvdb-voxels для вокселизации на основе параллельных вычислений по технологии CUDA. При выполнении наиболее трудоёмких операций создания сеточных, каркасных и блочных моделей на основе алгоритмов триангуляции и интерполяции параллельные вычисления обеспечивают значительное ускорение расчетов. В частности, ранее были предложены методы GPU вычислений по технологии CUDA для 3D триангуляции и интерполяции по методу кригинга [2, 4].

На рис. 1 представлена общая схема основных моделей и методов оценки извлекаемых запасов руды и металла в системе рационального недропользования.

Системный анализ данной технологии выявил возможность сократить необходимый набор операций при заданной целевой функции подсчета запасов за счет исключения ряда методов, используемых преимущество для графического представления полигональных моделей и высококачественной визуализации объёмных тел на промежуточных этапах вычислений.

Главная особенность эксплуатационной модели недропользования в отличие от других имитационных, скалярных или картографических геоинформационных моделей, состоит в её обусловленности технологией порционного, дискретного извлечения элементов. Именно блочное или воксельное представление подземных геоструктур, рудных тел, соответствует последовательному или многопоточному извлечению сырья из недр в единицах селективной выемки, в сменных, суточных, месячных или годовых объёмах. В этой связи наиболее целесообразной стратегией моделирования является цепь операций, в которой по массиву исходных точек непосредственно строится вначале блочная модель, затем выполняется вокселизация [1, 6] с построением структуры октодерева (SVO), и далее выполняется оптимизация конечной оболочки открытой разработки для подсчета величины извлекаемых запасов минерального сырья [9, 10].

Исходя из этого в работе [5] было предложено использовать параллельные вычисления на GPU для интерполяции Сибсона при построении блочных моделей. Реализован вариант вокселизации по исходным рассеянным геоданным с построением гигаблочной модели по методу естественных соседей NNI без промежуточного построения диаграммы Вороного. В настоящей работе кроме реализации GPU-ускорения дискретного метода DNNI с применением технологии программирования CUDA и OpenCL выполнена также оптимизация предельной оболочки карьера, построенного на гигавоксельной [3, 8] модели.

Рис. 1. Общая схема основных моделей и методов оценки извлекаемых запасов руды
Fig. 1. General scheme of the basic models and evaluation methods recoverable ore

На рис. 2 показаны результаты тестирования при проведении расчетов на стандартной базе геоданных точек месторождения ABC.

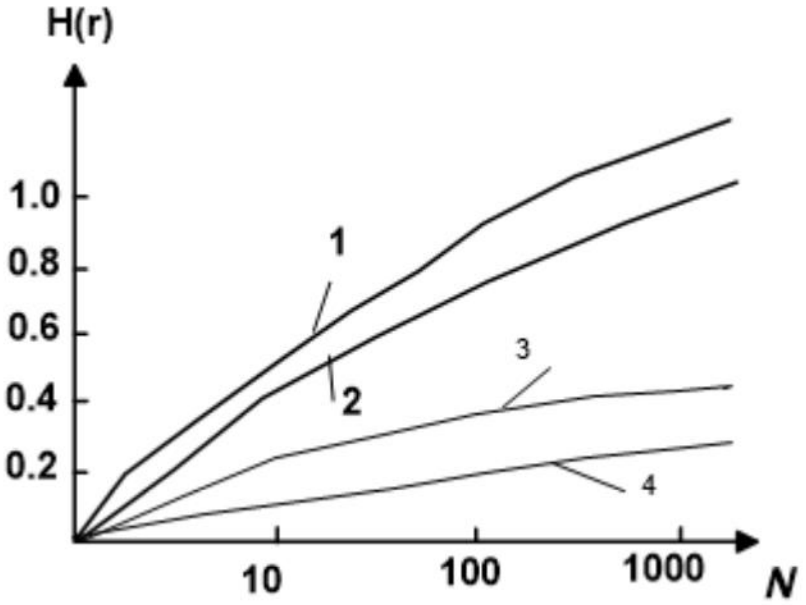


Рис. 2. Результаты тестирования при проведении расчетов на стандартной базе геоданных точек месторождения ABC

Fig. 2. Results of testing during calculations on the standard geodatabase of the ABC field points

Верхняя кривая 1 показывает производительность без GPU-ускорения, кривая 2 – CUDA - вычисления триангуляции, кривая 3 – OpenCL-интерполяция по методу Сибсона, кривая 4 – OpenCL оптимизация оболочки выемки по методу максимизации псевдопотоков.

В предложенный гибридный подход к моделированию геостуктур на основе CPU/GPU вычислений были включёны методы выбора оптимальной и наиболее эффективной последовательности этапов извлечения запасов рудного сырья за счет распараллеливания методов триангуляции, интерполяции и оптимизации границ ведения открытой разработки.

При проектировании системы Gexoblock для хранения блоков с вещественными атрибутами предложено использовать СУБД SQLite с таблицами геомоделей, в которых данные представлены в виде структуры октодерева.

Для выполнения операций вокселизации на GPU использована библиотека NVIDIA gvdb-voxels [7] с процедурами на основепараллельных вычислений по технологиям CUDA/OpenCL. При визуализации конечных результатов выполняется построение изоповерхности g=f(x,y,z) с помощью распараллеленного алгоритма Marching Cubes, основанного на модуле из GLScene.

Гибридный подход к оценке запасов сырья включает также метод оптимизации предельной оболочки карьера на основе максимизации сетевых псевдопотоков с верхней меткой для GPU вычислений, что позволило получить суммарное ускорение расчетов в 5-10 раз по сравнению с ранее применяемой последовательностью операций, выполняемых на одноядерном CPU.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ в рамках проектов № 18-47-310001 и № 17-07-00636

Список литературы

1. Crassin C., Green S. Octree-based sparse voxelization using the GPU hardware rasterizer. In OpenGL Insights /CRC Press, Boston, MA. 2012. p. 17-33.
2. Cheng T. Accelerating universal Kriging interpolation algorithm using CUDA-enabled GPU. Computers & Geosciences 54. 2013. p. 178–183.

3. Mei G, Xu L, Xu N. Accelerating adaptive inverse distance weighting interpolation algorithm on a graphics processing unit. R. Soc. open sci. 4: 170436. 2017. http://dx.doi.org/10.1098/rsos.170436

4. Fang Huang, Shuanshuan Bu, Jian Tao, and Xicheng Tan. OpenCL Implementation of a Parallel Universal Kriging Algorithm for Massive Spatial Data Interpolation on Heterogeneous Systems. ISPRS Int. J. Geo-Inf. 2016, 5, 96; http://dx.doi:10.3390/ijgi5060096

5. Васильев П.В., Майдаков М.А. Использование графического ускорения интерполяции Сибсона для моделирования геоструктур //1-я международная научно-техническая конференция «Компьютерные науки и технологии». Изд-во БелГУ, 2009, Ч. 2. с. 137-142.

6. Alejandro Graciano, Antonio J. Rueda, Francisco R. Feito, Real-time visualization of 3D terrains and subsurface geological structures. Advances in Engineering Software. 2017 http://dx.doi.org/10.1016/j.advengsoft.2017.10.002

7. NVIDIA: Библиотека вокселизации на основе параллельных вычислений по технологии CUDA https://github.com/NVIDIA/gvdb-voxels

8. Roosta S.H. Parallel Processing and Parallel Algorithms: Theory and Computation. Springer, 2000. 66 p.

9. Петров Д.В., Михелев В.М. «Моделирование карьеров рудных месторождений на высоко-производительных гибридных вычислительных системах», Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Вычислительная математика и информатика. 2014. Т. 3. № 3. С. 124-129.

10.Espinoza D, Goycoolea M, Moreno E, Newman A. Minelib, 2011. A library of open pit production scheduling problems // Ann. Oper. Res., 2013. Vol.206 (1), P. 93-114.

References

1. Crassin C., Green S. Octree-based sparse voxelization using the GPU hardware rasterizer. In OpenGL Insights / CRC Press, Boston, MA. 2012. p. 17-33.

2. Cheng T. Accelerating universal Kriging interpolation algorithm using CUDA-enabled GPU. Computers & Geosciences 54. 2013. p. 178-183.

3. Mei G, Xu L, Xu N. Accelerating adaptive inverse distance weighting interpolation algorithm on a graphics processing unit. R. Soc. open sci. 4: 170436. 2017. http://dx.doi.org/10.1098/rsos.170436

4. Fang Huang, Shuanshuan Bu, Jian Tao, and Xicheng Tan. OpenCL Implementation of a Parallel Universal Kriging Algorithm for Massive Spatial Data Interpolation on Heterogeneous Systems. ISPRS Int. J. Geo-Inf. 2016, 5, 96; http: //dx.doi: 10.3390 / ijgi5060096

5. Vasiliev P.V., Maydakov M.A. Using the graphic acceleration of Sibson interpolation for modeling geostructures // The 1-st International Scientific and Technical Conference "Computer Science and Technology". Publishing house of BelGU, 2009, Part 2. c.137-142.

6. Alejandro Graciano, Antonio J. Rueda, Francisco R. Feito, Real-time visualization of 3D terrains and subsurface geological structures. Advances in Engineering Software. 2017 http://dx.doi.org/10.1016/j.advengsoft.2017.10.002

7. NVIDIA: A voxelization library based on parallel computing using CUDA technology https://github.com/NVIDIA/gvdb-voxels

8. Roosta S.H. Parallel Processing and Parallel Algorithms: Theory and Computation. Springer, 2000. 566 p.

9. Petrov D.V., Mikhelev V.M. "Modeling quarries of ore deposits on high-performance hybrid computing systems", Bulletin of South Ural State University. Series: Computational Mathematics and Informatics. 2014. T. 3. No. 3. P. 124-129.

10.Espinoza D, Goycoolea M, Moreno E, Newman A. Minelib, 2011. A library of open pit production scheduling problems // Ann. Oper. Res., 2013. Vol.206 (1), P. 93-114.

Петров Денис Васильевич, старший преподаватель кафедры математического и программного обеспечения информационных систем
Михелев Владимир Михайлович, кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры программного обеспечения вычислительной техники и автоматизированных систем
Васильев Павел Владимирович, кандидат технических наук, доцент кафедры математического и программного обеспечения информационных систем

Petrov Denis Vasilevich, senior lecturer at the Department of Mathematical and Software Information Systems
Mikhelev Vladimir Mikhailovich, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor at the Department of Computer Software and Automated Systems Software
Vassiliev Pavel Vladimirovich, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor at the Department of Mathematical and Software Information Systems

СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ И УПРАВЛЕНИЕ
SYSTEM ANALYSIS AND PROCESSING OF KNOWLEDGE

УДК 004.75 **DOI: 10.18413/2518-1092-2018-3-3-0-2**

Кузнецов Д.А.[1]
Кузнецов А.В.[1]
Тезин А.В.[1]
Басов О.О.[2]

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ СИНТЕЗАТОРОВ РЕЧИ ДЛЯ ПОДСИСТЕМЫ ОПОВЕЩЕНИЯ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОГО ЗАЛА СОВЕЩАНИЙ

[1)] Федеральное государственное казённое военное образовательное учреждение высшего образования «Академия Федеральной службы охраны Российской Федерации», ул. Приборостроительная, д. 35, г. Орёл, 302034, Россия
[2)] Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики», Кронверкский пр., д. 49, г. Санкт-Петербург, 197101, Россия

e-mail: wvxp@mail.ru, oficerow@mail.ru, kvaa77@mail.ru, oobasov@mail.ru

Аннотация
Развитие концепции интеллектуального зала совещаний влечет за собой реализацию взаимодействия человек-машина, посредством которого осуществляется обмен информацией между пользователями и устройством управления интеллектуальным залом совещания. Одним из способов такого обмена является воспроизведение синтезированной речи на основе обрабатываемых данных. В настоящее время существует два типа синтезаторов речи: с ограниченным и неограниченным словарем. Устройства первого класса хранят речь в виде слов и предложений, которые выводятся в определенной последовательности при синтезе сообщения. Эти синтезаторы используют модель компилятивного синтеза и параметрическое представление. Устройства второго типа требуют большого объема знаний акустических и лингвистических ограничений. Такие синтезаторы речи используют метод полного синтеза по правилам. Для сравнения существующих решений по синтезу речи вынесен ряд оценочных критериев. При анализе учтена возможная необходимость модернизации программы под конкретную реализацию с учетом требований, предъявляемых заказчиком.
Ключевые слова: интеллектуальное пространство; зал; исполнительные модули; освещение; автоматизация; климат-контроль; жизнеобеспечение.

UDC 004.75

Kuznetsov D.A.[1]
Kuznetsov A.V.[1]
Tezin A.V.[1]
Basov O.O.[2]

THE COMPARATIVE ANALYSIS OF THE SPEECH SYNTHESIZERS FOR THE NOTIFICATION SUBSYSTEM OF SMART HALL

[1)] Federal state military educational institution of higher professional education "Academy of the Federal security service of the Russian Federation", 35 Priborostroitelnaya St, Orel, 302034, Russia
[2)] Saint Petersburg National Research University of Information Technologies, Mechanics and Optics, 49 Kronverkskiy prospekt, St. Petersburg, 197101, Russia

e-mail: wvxp@mail.ru, oficerow@mail.ru, kvaa77@mail.ru, oobasov@mail.ru

Abstract
Development of the concept of the intellectual hall of meetings involves realization of interaction of people technician through which exchange of information between users and the control unit by the intellectual hall of a meeting is carried out. One of ways of exchange of information between the actuation device of the intellectual hall of a meeting and a wide range of users is reproduction of the synthesized speech on the basis of the processed data. Now there are two types of synthesizers of the speech: with the limited and unlimited dictionary. Devices of the first class store the speech in the form of words and offers which are displayed in a certain sequence at synthesis messages. These synthesizers use model of kompilyativny synthesis and parametrical representation. Devices of the second type demand the large volume of knowledge of acoustic and linguistic restrictions. Such synthesizers of the speech use a method of full synthesis by rules. For comparison of the existing decisions on synthesis of the speech a number of estimated criteria is taken out. In the analysis possible need of modernization of the program under concrete realization taking into account requirements imposed by the customer is considered.
Keywords: intellectual space; room; executive modules; lighting; automation; climate control; life support.

ВВЕДЕНИЕ

Важной составляющей концепции интеллектуального зала совещаний [1] является реализация взаимодействия человек-машина, посредством которого осуществляется обмен информацией между пользователями и устройством управления интеллектуальным залом совещания [2]. Управляющее устройство (ПЭВМ) осуществляет прием информации от пользователей посредством различных датчиков, модулей, путем распознавания речи и изображений [3]. Одним из способов передачи информации от ПЭВМ [4] к широкому кругу пользователей является воспроизведение синтезированной речи на основе обрабатываемых данных. В связи с этим стоит задача выбора синтезатора речи, пригодного к применению в подсистеме оповещения интеллектуального зала совещаний.

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

Описание синтезаторов речи

Синтезаторы речи являются специальными программами, которые предоставляют возможность перевести текстовую информацию в озвученные человеческим голосом предложения. В предлагаемом интеллектуальном зале совещания предлагается использовать данные синтезаторы в подсистеме оповещения для отображения информации о текущем состоянии в зале (температура, влажность), о состоянии исполнительных модулей (положение), для оповещения участников совещания в процессе конференции (кто выступает, кто задает вопрос и т.п.), а также для интерактивного общения с пользователями.

Существует два типа синтезаторов речи: с ограниченным и неограниченным словарем [5].

Устройства первого класса хранят речь в виде слов и предложений, которые выводятся в определенной последовательности при синтезе сообщения. Эти синтезаторы используют модель компилятивного синтеза и параметрическое представление.

Модель компилятивного синтеза

Данная модель предполагает синтез речи путем «склеивания» записанных образцов отдельных звуков, записанных заранее [6]. В этом случае составляется база данных звуковых фрагментов, как правило, не меньше слова. Такой способ синтеза речи обеспечивает высокое качество синтезируемой речи, так как позволяет воспроизводить форму естественного речевого сигнала. Важное достоинство метода заключается в том, что не требуется знаний об устройстве речевого тракта и структуре языка, однако существенным недостатком является необходимость в большом объеме памяти, а также трудность в генерации высококачественной речи при попытке соединения сообщений в более длинное из-за разных значений параметров речевой волны. Таким

образом, модель компилятивного синтеза достаточно проста в реализации и эффективна в системах, где не требуется синтез заранее неизвестных предложений.

Параметрическое представление

Метод параметрического представления сигнала разработан с целью устранения недостатков модели компилятивного синтеза. Этот способ представляет речевую волну в виде определенных параметров. Такой подход уменьшает объем требуемой памяти для словаря и дает большую гибкость по сравнению с моделью компилятивного синтеза [7]. Параметры отражают характерную информацию во временной или частотной области. Один из вариантов параметрического представления речевого сообщения – формантный, который генерирует речь искусственным путем, создавая нужный набор резонансов. Такая система оперирует параметрами основного тона и формантами [8]. Изменения этих параметров дают возможность изменять интонацию и временные характеристики сообщения. Такое представления является эффективным способом хранения речевой информации по сравнению с методом модели компилятивного синтеза. Другим важным преимуществом метода является гибкость, так как смысловая информация содержится в формантах, а мелодическая – периоде основного тона и временном распределении речи. Таким образом формантный подход требует меньшего объема памяти, но ему необходимо произвести больше вычислений, чтобы воспроизвести речевой сигнал, а также требуется знание моделей речеобразования [9].

Полный синтез по правилам

Этот способ также использует компилятивный и параметрический методы синтеза, слогов. Метод синтеза по правилам базируется на знании акустических и лингвистических ограничений и не использует непосредственно элементы речи. Для запоминания этой информации не требуется большого количества памяти, но, чтобы извлечь из нее параметры, необходимы знания эксперта. Анализ текста включает в себя определение фонетических, слоговых, морфемных и синтаксических форм, а также вычисление семантической информации [10]. Данный метод дает полную свободу моделирования параметров и позволяет воспроизводить любой текст, а также экономит память, однако синтезированная речь звучит значительно хуже реальной. Кроме того, такая система сложна в разработке. Поэтому был разработан метод синтеза по правилам с использованием предварительно запомненных отрезков речи. Обычно в качестве таких отрезков используются сегменты, содержащие половину согласного и половину примыкающего к нему гласного. Такой сегмент называется полуслогом. Качество такого синтеза не соответствует качество реальной речи даже при использовании больших объемов памяти для хранения словоформ, однако такой метод синтеза речи является более качественным по сравнению с простым методом синтеза по правилам.

Синтезатор речи Acapela

Синтезатор речи, который получил название «Алёна» разработанный компанией Acapela. Работает на SAPI5, SAPI4 с частотой 22 КГц. По качеству синтезируемой речи «Алёна» опережает аналогичные русские голоса, имея намного более приятный тембр голоса и интонацию.

Программа поддерживает стандартные программные интерфейсы SAPI4 и SAPI5 и совместима со множеством речевых приложений для чтения с экрана. В наличии имеется полный набор инструментов для контроля параметров голоса, таких как скорость чтения, громкость, высота, паузы, настройки эквалайзера и режима чтения (чтение фразы, чтение отдельных слов и посимвольное чтение).

Синтезатор речи Demagog

Программа предназначена для чтения вслух текстовых файлов с использованием пакетов речевых функций Microsoft Speech API 4/5 (SAPI4 и SAPI5). Вместо чтения вслух текст может быть ускоренно записан в аудиофайл формата WAV или MP3. Таким образом можно создавать аудиокниги. Имеется возможность автоматического выделения тембром и громкостью прямой речи персонажей. Поддерживаются словари корректировки произношения популярного формата

DIC. Синтезатор поддерживает пять языков: английский, русский, украинский, эсперанто и испанский. При необходимости программа позволяет добавить новые языки.

Синтезатор речи Infovox 4

Infovox4 является инновационным программным обеспечением, позволяющим слабовидящим пользователям прослушивать текстовую информацию используя высококачественный синтезатор речи. Программное обеспечение Infovox4 представляет собой USB накопитель, позволяя пользователю подключиться к любому компьютеру без предварительной установки. Кроме того, программа может быть предустановлена на трех ПК. Предустановленные версии программы будут работать независимо от наличия флеш-накопителя. ПО включает в себя программы чтения с экрана, программу создания голосовых MP3-файлов, а также широкий диапазон выбора языков и голоса. Для каждого языка доступны две версии голосов преобразования текста в речь: голоса высокого качества High Quality (HQ) для обычного, приятного чтения и Colibri голоса с улучшенной разборчивостью речи на высокой скорости чтения. Программа обеспечивает поддержу 62 голосов на 26 языках, поддерживает SAPI4 и SAPI5 интерфейсы, обеспечивает интеграцию со многими программами экранного доступа. Синтезатор имеет меню на основе графического интерфейса, что облегчает навигацию при помощи программы экранного чтения, а также имеет возможность регулировки темпа речи, высоты тона (только для Colibri голосов), длительности пауз и настройки эквалайзера для каждого голоса. Возможно выбрать 3 доступных режима чтения: непрерывный, по словам и по буквам.

Синтезатор речи Балаболка

Программа предназначена для чтения вслух текстовых файлов. Для воспроизведения звуков человеческого голоса могут использоваться любые речевые синтезаторы, установленные на компьютере. Программа умеет читать вслух содержимое буфера обмена, показывать текст, содержащийся в AZW, AZW3, CHM, DjVu, DOC, DOCX, EML, EPUB, FB2, HTML, LIT, MOBI, ODS, ODT, PDB, PDF, PRC, RTF, TCR, WPD, XLS, XLSX файлах, произносить набираемый на клавиатуре текст. Текст может быть сохранен в вида аудиофайла (поддерживаются форматы WAV и MP3. Балаболка умеет работать с различными версиями пакета речевых функций Microsoft Speech API (SAPI). Он позволяет изменять скорость, тембр и громкость речи.

Выбор синтезатора речи для подсистемы оповещения интеллектуального зала совещаний

Исходя из вышесказанного, проведем сравнение перечисленных синтезаторов речи (табл. 1) по следующим критериям: доступность (цена), количество используемых голосов, тип интерфейса, наличие дополнительных настроек.

Таблица 1

Сравнение синтезаторов речи

Table 1

Comparison of synthesizers of the speech

Вид синтезатора речи	Критерии оценки			
	Доступность	Количество используемых голосов	Тип интерфейса	Наличие дополнительных настроек
Acapela	Платная	2	SAPI4/5	Да
Demagog	Бесплатная	2*	SAPI4/5	Да
Infovox 4	Платная	62	SAPI4/5	Да
Балаболка	Бесплатная	2*	SAPI4/5	Да

*-возможна установка дополнительных голосов

Из представленных данных видно, что платные программы обладают расширенным функционалом относительно бесплатных, но для решения поставленной задачи это преимущество

не является значимым, поэтому целесообразнее использовать один из бесплатных синтезаторов речи с открытым кодом Demagog или Балаболка.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Анализ существующих синтезаторов речи показал, что не смотря на их большое многообразие, все они базируются на использовании одного и того же речевого ядра и отличаются лишь функциональными возможностями и качеством воспроизводимой речи. Однако применительно к подсистеме оповещения интеллектуального зала данные факторы не являются важными. Важной является необходимость модернизации программы под конкретную реализацию с учетом требований, предъявляемых заказчиком. Исходя из этого, можно сделать вывод о возможности использования в подсистеме оповещения интеллектуального зала совещаний бесплатного программного обеспечения с открытым кодом, такого как Балаболка и Demagog.

Работа выполнена при финансовой поддержке фонда РФФИ (проект № 18-07-00380).

Список литературы

1. Кузнецов Д.А. Предпосылки создания интеллектуального зала совещаний / Кузнецов Д.А., Офицеров А.И., Кузнецов А.В., Чистяков С.В., Басов О.О. // Научный результат. Информационные технологии. 2018. Том 3. Вып. 2. С. 44-50.
2. Нэкэшима Х. Руководство по интеллектуальному окружению и Умной окружающей среде / Агэджэн Х. К., Аугусто Х. К. // Спрингер. 2010. 1294 с.
3. Ронжин Ал.Л. Система аудиовизуального мониторинга участников совещания в интеллектуальном зале / Ронжин Ал.Л., Ронжин Ан.Л. // Доклады ТУСУРа, № 1 (22), ч. 1, 2011. С. 153-157.
4. Филлингер А. Промежуточное программное обеспечение и Метрология для Распространяющегося будущего / Хэмчи Ай., Дегре С., Дидач Л., Роуз Т., Фискус Дж., Стэнфорд V // IEEE Распространяющиеся Вычислительные Мобильные и Повсеместные Системы. Издание 8, номер. 3, 2009. С. 74-83.
5. Рыбин С.В. Синтез речи / Рыбин С.В. // Учебное пособие по дисциплине «Синтез речи». Университет ИТМО. 2014. 92 с.
6. Пугач А.С. Сравнительный анализ методов синтеза речи / Пугач А.С. // Молодой ученый. 2016. 156 с.
7. Сорокин В.Н. Синтез речи / Сорокин В.Н. // М.: Наука. 1992. 392 с.
8. Пугач. А.С. Базовые принципы построения системы синтеза речи / Пугач А.С. // Молодой ученый. 2017. С. 16-19.
9. Фролов А.В. Синтез речи. Современные решения [Электронный ресурс]. – Режим доступа: URL: http://www.frolov-lib.ru/books/hi/ch07.html#_Toc153187665 (Дата обращения 5.09.2018).
10. Рахимова М.И. Синтез и анализ лингвистической системы // Молодой ученый. 2016. С. 1159-1161.

References

1. Kuznetsov D. A. Prerequisites of creation of the intellectual hall Meetings / Kuznetsov D.A., Ofitserov A.I., Kuznetsov A.V., Chistyakov S.V., Basov O.O. //Scientific result. Information technologies. 2018. Volume 3. Issue 2. Page 44-50.
2. Nakashima H. Handbook of Ambient Intelligence and Smart Environments / Aghajan H. K., Augusto J. C. // Springer. 2010. 1294 p.
3. Ronzhin A. The system of audiovisual monitoring of participants of the meeting in the intellectual hall / Ronzhin Al., Ronzhin An. // Reports ТУСУРа, № 1 (22), p. 1, 2011, p. 153-157.
4. Fillinger A. Middleware and Metrology for the Pervasive Future /., Hamchi I., Degré S., Diduch L., Rose T., Fiscus J., Stanford V. // IEEE Pervasive Computing Mobile and Ubiquitous Systems. Vol. 8, num. 3, 2009. pp. 74-83.
5. Rybin S.V. Synthesis of speeches / Big fishes of S.V.//the Manual on discipline "Synthesis of the speech". ITMO university. 2014. 92 pages.

6. Pugach A.C. Comparative analysis of methods of synthesis speech / Pugach A.C. //Young scientist. 2016. 156 p.
7. Sorokin V.N. Synthesis Speech / Sorokin V.N.//M.: Science. 1992. 392 p.
8. Pugach A.C. Basic principles of creation of system of synthesis speech / Pugach A.C. //Young scientist. 2017. p. 16-19.
9. Frolov A.V. Synthesis of the speech. Modern decisions [An electronic resource]. – Access mode: URL: http://www.frolov-lib.ru/books/hi/ch07.html#_Toc153187665 (Date of the address 9/5/2018)].
10. Rakhimova M.I. Synthesis and analysis of linguistic system//Young scientist. 2016. p. 1159-1161.

Кузнецов Денис Андреевич, студент Академии Федеральной службы охраны Российской Федерации
Кузнецов Андрей Викторович, кандидат технических наук, сотрудник Академии Федеральной службы охраны Российской Федерации
Тезин Александр Васильевич, кандидат технических наук, доцент, сотрудник Академии Федеральной службы охраны Российской Федерации
Басов Олег Олегович, доктор технических наук, профессор кафедры речевых информационных систем

Kuznetsov Denis Andreevich, student Academy of the Federal security service of the Russian Federation
Kuznetsov Andrey Viktorovich, candidate of technical sciences, Academy of the Federal security service of the Russian Federation
Tezin Aleksandr Vasil'evich, candidate of technical sciences, Associate Professor, Academy of the Federal security service of the Russian Federation
Basov Oleg Olegovich, doctor of technical sciences, Professor of Department of Speech Information Systems

УДК: 001.51; 005 **DOI: 10.18413/2518-1092-2018-3-3-0-3**

Маторин С.И.
Жихарев А.Г.
Игрунов К.К.

КЛАССИФИКАЦИЯ СИСТЕМ КАК ЭЛЕМЕНТОВ «УЗЕЛ-ФУНКЦИЯ-ОБЪЕКТ»

Белгородский государственный национальный исследовательский университет, ул. Победы д. 85, г. Белгород, 308015, Россия

e-mail: matorin@bsu.edu.ru, zhikharev@bsu.edu.ru, 745673@bsu.edu.ru

Аннотация
В статье обсуждается возможность создания общей теории систем на основе системно-объектного подхода, приводится концептуальная классификационная схема системных компонент и их свойств, обосновывающая подход к системе как к конструкции «Узел-Функция-Объект», а также исследуется возможность формализации понятия «система» с использованием идей алгебраического аппарата исчисления объектов Абади-Кардели. Предложена классификация систем как элементов Узел-Функция-Объект, которая использует классификацию потоков связей, входящую в концепцию системно-объектного подхода. Показано, что с помощью формально-семантического алфавита системных элементов графоаналитических моделей, предложенного на основе базовой иерархии классов системных связей, возможно упростить процедуру декомпозиции сложной системы.
Ключевые слова: системно-объектный подход «Узел-Функция-Объект»; графоаналитическое моделирование; классификация УФО-элементов; формально-семантический алфавит.

UDC 001.51; 005

Matorin S.I.
Zhikharev A.G.
Igrunov K.K.

CLASSIFICATION OF SYSTEMS AS ELEMENTS «UNIT-FUNCTION-OBJECT»

Belgorod State National Research University, 85 Pobedy St., Belgorod, 308015, Russia

e-mail: matorin@bsu.edu.ru, zhikharev@bsu.edu.ru, 745673@bsu.edu.ru

Abstract
The article discusses the possibility of creating a general theory of systems based on the system-object approach, provides a conceptual classification scheme of system components and their properties, which justifies the approach to the system as to the construction of the "Node-Function-Object", and also explores the possibility of formalizing the concept of "system" with using the ideas of the algebraic apparatus of the calculus of Abadi-Kardeli objects. A classification of systems as Node-Function-Object elements is proposed, which uses the classification of communication flows that is included in the concept of the system-object approach. It is shown that with the help of the formal semantic alphabet of system elements of graphoanalytical models proposed on the basis of the basic hierarchy of classes of systemic connections, it is possible to simplify the procedure of decomposition of a complex system.
Keywords: system-object approach "Unit-Function-Object"; graphoanalytic modeling; classification of UFO-elements; formal-semantic alphabet.

ВВЕДЕНИЕ

С момента возникновения системных исследований как самостоятельного научного направления не прекращаются попытки создания, так называемой, «общей теории систем» [1]. Несмотря на наличие определенных результатов полноценной системной теории на сегодняшний день не существует. И более того, имеют место сомнения в возможности ее создания [2]. По мнению авторов, это обусловлено сложностью содержательной и формальной идентификации понятий «система» и «свойства системы» как понятий предельного уровня абстракции с учетом возможности их приложения в конкретных предметных областях.

Авторы считают возможным создание общей теории систем на основе системно-объектного подхода «Узел-Функция-Объект», что обосновано нами в работе [3], уточняющей результаты, представленные в [4]. В упомянутой работе [3] показана целесообразность определения основных системных понятий, с помощью которых предлагается осуществлять построение общей теории систем, путем развертывания концептуальной классификационной схемы системных компонент и их свойств. В качестве основы (корня) такой классификации предлагается рассматривать категориальную иерархию классов, представленную на рисунке 1.

Данная категориальная концептуальная схема иерархии классов основана на предложенной в работе [5] семантической модели системы парных категорий в виде иерархической структуры системы категориальных понятий с одной вершиной.

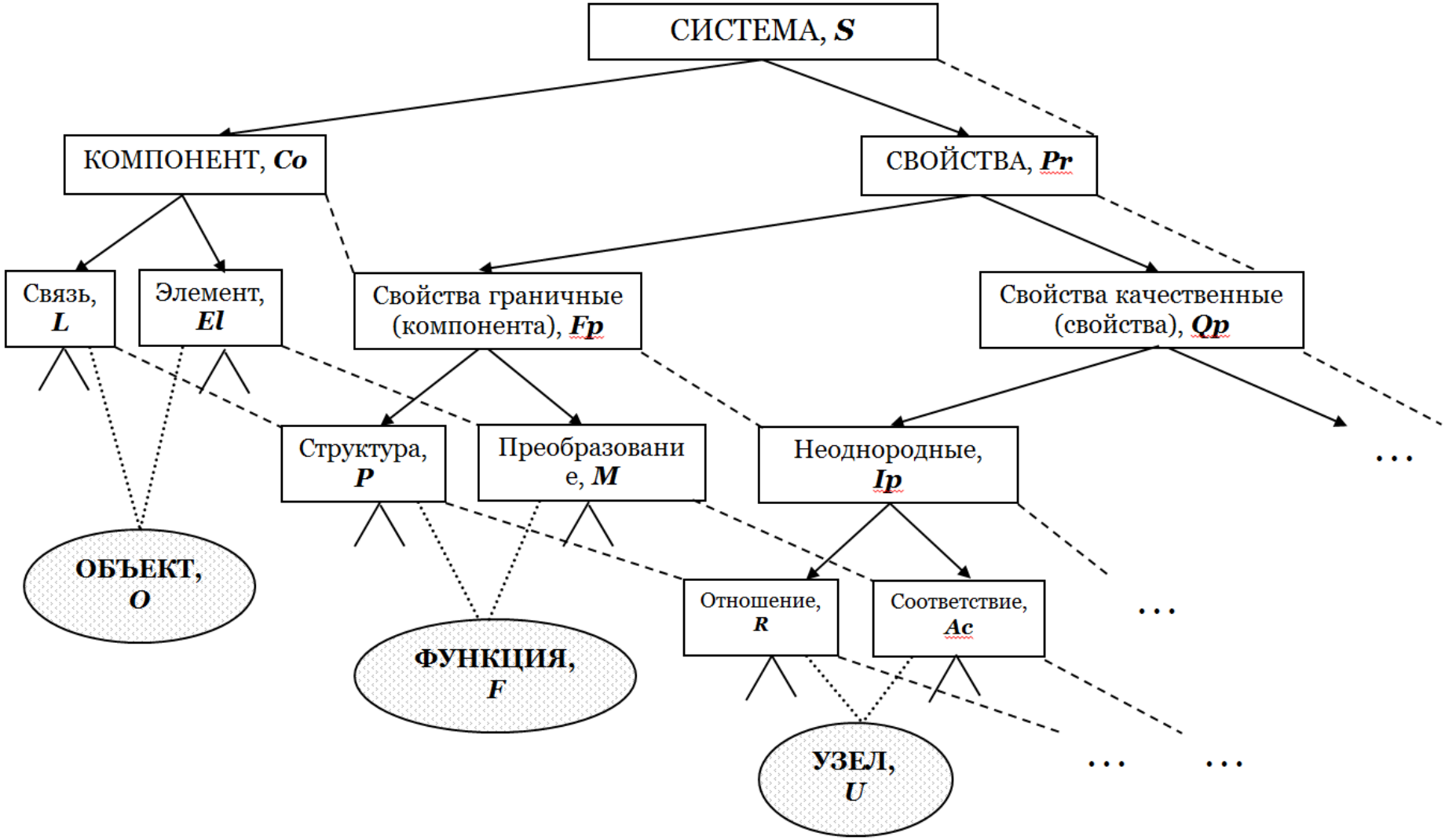


Рис. 1. Классификационная схема системных компонент и их свойств
Fig. 1. Classification scheme of system components and their properties

В результате ее развития и уточнения получена классификационная схема, учитывающая закономерности естественной классификации, обоснованные, например, в работе [6]. Учет данных закономерностей означает представление обычной таксономии в виде параметрической классификации. Параметрической же считается классификация, в которой классифицируемые элементы систематизированы в соответствии с классификацией их свойств, являющейся частью общей иерархии классов [7]. Практически это означает, что в данной иерархии для каждого классифицируемого компонента (как класса или понятия) присутствует не только его родовой признак (вышестоящий класс), но и понятие (класс), являющееся видовым отличием в содержании классифицируемого понятия, т.е. свойство компонента. На рисунке связь понятия с его видовым отличием (класса с его свойством) изображена пунктирной линией.

ФОРМАЛЬНОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОНЯТИЯ «СИСТЕМА»

Представленная концептуальная схема обосновывает возможность рассмотрения системы как объекта, граничным свойством которого является функция, а качественным – узел (т.е. структурная характеристика системы более высокого яруса). Данная схема позволяет сформулировать следующие определения:

–объект – это система, обусловленная ее функцией в системе более высокого яруса;

–функция – это граничное свойство системы, обусловленное узлом в структуре системы более высокого яруса;

–узел – это качественное свойство системы, обусловленное структурными свойствами системы более высокого яруса.

Предлагаемый подход хорошо согласуется с мнением ряда специалистов в области системных исследований, которые утверждают, что определение понятия «система» дать невозможно, так как оно является понятием предельного уровня абстракции. В данном случае мы и не даем этому понятию родовидового определения, но определяем системные явления и свойства, соответствующие системному подходу, используя данное понятие. Кроме того, эти определения хорошо согласуются с системным подходом Г.П. Мельникова [8], который рассматривает систему как функциональный объект, функция которого обусловлена функцией объекта более высокого яруса.

Упомянутое в данном определении системы явление обуславливания функции системы функцией надсистемы рассматривается как функциональный запрос надсистемы на систему с определенной функцией (внешняя детерминанта системы). Эта детерминанта соответствует перекрестку функциональных связей системы в структуре надсистемы, т.е. узлу в структуре надсистемы.

Внешняя детерминанта системы есть причина ее возникновения, цель ее существования и главный определитель ее структурных, функциональных и субстанциальных свойств. Таким образом, она рассматривается в качестве **универсального системообразующего фактора**. Функционирование же системы под влиянием внешней детерминанты является ее внутренней детерминантой, так как непосредственно определяет ее внутренние свойства (структурные, функциональные и субстанциальные свойства подсистем). Эта детерминанта есть функция объекта, соответствующего данной системе.

В рассматриваемой концептуальной классификационной схеме узел представляет собой более конкретное понятие, по сравнению с понятием функции, а последнее является более конкретным по сравнению с понятием объекта. Данное расположение понятий соответствует таким общесистемным закономерностям как «закон иерархических компенсаций» *(в системе рост разнообразия на верхнем уровне иерархии обеспечивается его ограничением на более низких уровнях)* [9] и принцип «необходимого разнообразия» *(для создания системы, способной справится с решением проблемы, обладающей определенным разнообразием, необходимо*

обеспечить, чтобы система имела большее разнообразие возможностей, чем разнообразие решаемой проблемы) [10].

Подход «Узел-Функция-Объект» (УФО-подход) позволяет также использовать для формального описания понятия «система» идей алгебраического аппарата исчисления объектов Абади-Кардели [11], что обосновано при создании системно-объектного метода представления знаний (СОМПЗ) [12], основанного на УФО-подходе.

Представленное в концептуальной схеме содержательное понимание системы как элемента «Узел-Функция-Объект» (УФО-элемента) позволяет формализовать определение системы **s** в виде специального объекта исчисления объектов, состоящего из полей и методов: **s = [U, f, O]**, где:

U – **узел**, представляет собой поле для описания множества функциональных связей данной системы. **U = L? ∪ L!**, где **L?** – множество входящих интерфейсных потоковых объектов, соответствующих входящим связям системы **s**, **L!** – множество исходящих интерфейсных потоковых объектов, соответствующих выходящим связям системы **s**. Причем: **L? ⊂ L** и **L! ⊂ L**, т.е. относятся к множеству всех связей **L** (потоковых объектов).

f – **функция**, представляет собою метод, описывающий функцию системы **s**, т.е. процесс преобразования входящих интерфейсных потоковых объектов (входящих связей системы) **L?** в выходящие **L!**. Далее, в соответствии с принятой в теории объектов манерой обозначений, метод объекта будем представлять в следующем виде: **f(L?)L!**, где **f** – метод объекта (функция/процесс системы **s**) с областью определения **L?** и областью значений **L!**, соответственно.

O – **объект**, представляющий собою множество полей объекта для описания субстанциальных характеристик системы **s**. Множество полей для описания этих характеристик системы состоит из трех подмножеств: **O = O?∪O!∪Of**, где **O?** - множество полей, которое содержит интерфейсные входные характеристики объекта (системы **s**), **O!** - множество полей, которое содержит интерфейсные выходные характеристики объекта (системы **s**), **Of** - множество полей, которое содержит передаточные характеристики объекта (системы **s**).

Таким образом, в полном соответствии с содержательным определением [8], система **s**, формально представляется в виде следующего выражения, впервые предложенного (в других обозначениях) в работе [12]:

s = [(L?, L!); f(L?)L!; (O?, O!, Of)].

Формальное определение системы **s**, приведенное выше, требует уточнения. Дело в том, что результаты естественных наук и здравый смысл убеждают в том, что получение из некоторого конкретного входного потока другого потока на выходе без привлечения второго входного потока представляется невозможным. Невозможно преобразовать некоторый поток во что-то другое путем каких-либо манипуляций только с этим потоком. Самопроизвольный радиоактивный распад в данном случае не рассматривается, хотя, на самом деле, он также осуществляется под воздействием космических излучений, т.е. другого потока.

Таким образом, формальное определение системы должно выглядеть следующим образом: $\mathbf{s=[(L?_i,L?_j, L!); f(L?_i,L?_j)L!; (O?_i,O?_j, O!, Of)]}$.

КЛАССИФИЦИРОВАНИЕ ЭЛЕМЕНТОВ «УЗЕЛ-ФУНКЦИЯ-ОБЪЕКТ»

В рамках системно-объектного подхода рассматриваются не абстрактные связи **L**, т.е. любые потоки вообще, а связи/потоки, имеющие определенное содержание. Это обусловлено введением в концепцию рассматриваемой системной теории *классификации связей*. В данной классификации абстрактный класс «*Связь* (**L**)» делится на непересекающиеся подклассы «*Материальная связь* (**M**)» и «*Информационная связь* (**I**)»; класс материальных связей делится на непересекающиеся подклассы «*Вещественная связь* (**V**)» и «*Энергетическая связь* (**E**)»; класс информационных связей – на непересекающиеся подклассы «*Связь по данным* (**D**)» и «*Управляющая связь* (**C**)» [13]. Данная классификация связей/потоков дополняется более конкретными потоками при описании систем определенной предметной области и является основой создания объектов (УФО-

элементов) различных типов. Кроме того, предложенная классификация представляет собой механизм, обеспечивающий специализацию системных понятий и приложение этих понятий к конкретным предметным областям.

Использование классификации связей позволяет классифицировать УФО-элементы по их узлам первоначально на уровне материальных и информационных потоков (см. таблицу 1).

Таблица 1

Классификация узлов материя/информация

Table 1

Classification of unit's matter/information

	M!	**I!**	**M!, I!**
$M?_i$, $M?_j$	*		
$I?_i$, $I?_j$		*	
M?, I?			*

Данная классификация обусловлена, в первую очередь, тем, что материя не может преобразовываться в информацию, а информация не может преобразоваться в материю (классы материальных и информационных потоков не пересекаются). Кроме того, для любого преобразования и материального, и информационного потока требуется определенное воздействие другого потока.

Таким образом, на данном уровне система может быть представлена в виде разновидностей определения **$s = [(L?_i,L?_j, L!); f(L?_i,L?_j)L!; (O?_i,O?_j, O!, Of)]$**:

$s=[(M?_i,M?_j, M!); f(M?_i,M?_j)M!; (O?_{Mi},O?_{Mj}, O!_M, Of)]$.

$s=[(I?_i,I?_j, I!); f(I?_i,I?_j)I!; (O?_{Ii},O?_{Ij}, O!_I, Of)]$.

$s=[(M?,I?, M!,I!); f(M?,I?)M!,I!; (O?_M,O?_I, O!_M,O!_I, Of)]$.

Классифицирование УФО-элементы по их узлам на уровне вещественных и энергетических потоков (см. таблицу 2) обусловлено тем, что вещество не может преобразовываться в энергию в чистом виде, а энергия не может преобразоваться в вещество (классы вещественных и энергетических потоков не пересекаются). Кроме того, для любого преобразования и вещественного, и энергетического потока требуется определенное воздействие другого потока.

Таблица 2

Классификация узлов вещество/энергия

Table 2

Classification of unit's substance/energy

	V!	**E!**	**V!, E!**
$V?_i$, $V?_j$	*		
$E?_i$, $E?_j$		*	
V?, E?			*

Таким образом, на данном уровне система может быть представлена в виде разновидностей определения **$s = [(M?_i,M?_j, M!); f(M?_i,M?_j)M!; (O?_{Mi},O?_{Mj}, O!_M, Of)]$**:

$s=[(V?_i,V?_j, V!); f(V?_i,V?_j)V!; (O_{Vi}?,O_{Vj}?, O!_V, Of)]$.

$s=[(E?_i,E?_j, E!); f(E?_i,E?_j)E!; (O_{Ei}?,O_{Ej}?, O!_E, Of)]$.

$s=[(V?,E?, V!,E!); f(V?,E?)V!,E!; (O?_V,O?_E, O!_V,O!_E, Of)]$.

Классифицирование УФО-элементы по их узлам на уровне потоков данных и потоков управления (см. таблицу 3) обусловлено тем, что данные не могут преобразовываться в управление полностью, а управление не может преобразоваться в данные (классы данных и

управленческих потоков не пересекаются). Кроме того, для любого преобразования и потока данных, и потока управления требуется определенное воздействие другого потока.

Таблица 3

Классификация узлов данные/управление

Table 3

Classification of unit's data/control

	D!	**C!**	**D!, C!**
$D?_i$, $D?_j$	*		
$C?_i$, $C?_j$		*	
D?, C?			*

Таким образом, на данном уровне система может быть представлена в виде разновидностей определения **s = [($I?_i$,$I?_j$, I!); f($I?_i$,$I?_j$)I!; ($O?_{Ii}$,$O?_{Ij}$, $O!_I$, Of)]**:

s=[($D?_i$, $D?_j$, D!); f($D?_i$, $D?_j$)D!; ($O?_{Di}$, $O?_{Dj}$, $O!_D$, Of)].

s=[($C?_i$, $C?_j$, C!); f($C?_i$, $C?_j$)C!; ($O?_{Ci}$, $O?_{Cj}$, $O!_C$, Of)].

s=[(D?,C?, D!,C!); f(D?,C?)D!,C!; ($O?_D$,$O?_C$, $O!_D$,$O!_C$, Of)].

Соответственно, разновидностями определения **s = [(M?,I?, M!,I!); f(M?,I?)M!,I!; ($O?_M$,$O?_I$, $O!_M$,$O!_I$, Of)]** будут (см. таблицу 4) следующие определения:

s=[(V?,D?, V!,D!); f(V?,D?)V!,D!; ($O?_V$,$O?_D$, $O!_V$,$O!_D$, Of)]

s=[(V?,C?, V!,C!); f(V?,C?)V!,C!; ($O?_V$,$O?_C$, $O!_V$,$O!_C$, Of)]

s=[(E?,D?, E!,D!); f(E?,D?)E!,D!; ($O?_E$,$O?_D$, $O!_E$,$O!_D$, Of)]

s=[(E?,C?, E!,C!); f(E?,C?)E!,C!; ($O?_E$,$O?_C$, $O!_E$,$O!_C$, Of)]

Таблица 4

Классификация смешанных узлов

Table 4

Classification of mixed unit's

	V!, D!	**V!, C!**	**E!, D!**	**E!, C!**
V?, D?	*			
V?, C?		*		
E?, D?			*	
E?, C?				*

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ КЛАССИФИКАЦИИ УФО-ЭЛЕМЕНТОВ ПРИ ПОСТРОЕНИИ ГРАФОАНАЛИТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ

Приведенные выше рассуждения показывают, что графоаналитические модели, отражающие системность некоторой предметной области, не могут строиться из произвольных элементов. На нижнем уровне иерархии эти модели должны представлять собой совокупности взаимодействующих «алфавитных» материальных элементов, представленных на рисунке 2, информационных элементов, представленных на рисунке 3 и смешанных – на рисунке 4.

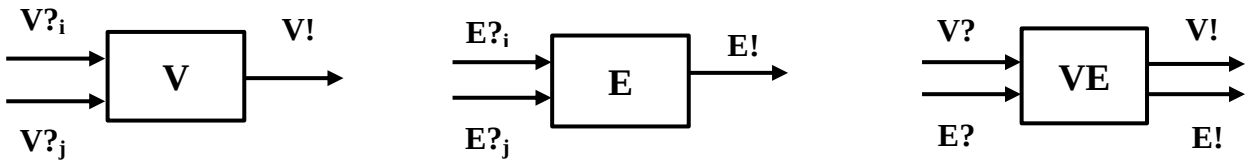


Рис. 2. Алфавитные материальные элементы.
Fig. 2. Alphabetical material elements.

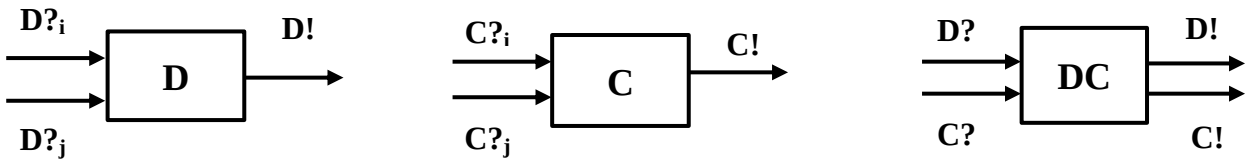


Рис. 3. Алфавитные информационные элементы
Fig. 3. Alphabetical information elements

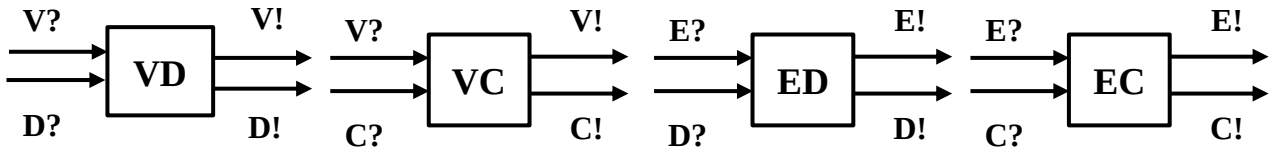


Рис. 4. Алфавитные смешанные элементы
Fig. 4. Alphabetical mixed elements

Таким образом, использование содержательной классификации связей позволяет рассматривать не бесчисленное множество видов элементов моделей, а весьма ограниченный их набор. Эти ограничения на возможные преобразования связей возникают естественным образом в связи с делением связей на непересекающиеся классы, что соответствует основному принципу построения классификаций. При этом, чем конкретнее предметная область, тем конкретней набор алфавитных элементов.

К представленным алфавитным элементам могут быть применены операции исчисления систем как УФО-элементов, предложенные в работе [14]. Например, в соответствии с операцией соединения, элемент **V**, соединенный с элементом **VE**, при условии **V!≡V?** и $\mathbf{O!_V}\boldsymbol{R}\mathbf{O?_V}$ образуют элемент: $\mathbf{s=[(V?_i,V?_j,E?,\ V!,E!);\ f(V?_i,V?_j,E?)V!,E!;\ (O_{Vi}?,O_{Vj}?,O?_E,\ O!_V,O!_E,\ Of)]}$. Соединение, например, элементов **VC** и **VE** при аналогичных условиях образует элемент: $\mathbf{s=[(V?,C?,E?,\ V!,C!,E!);\ f(V?,C?,E?)V!,C!,E!;\ (O_V?,O_C?,O?_E,\ O!_V,O_C!,O!_E,\ Of)]}$. Объединение этих элементов по входу и выходу даст тот же результат.

Оперируя алфавитными и производными от них элементами можно собирать графоаналитические системно-объектные модели, различных предметных областей. Пример такой сборки представлен на рисунках 5 и 6. При этом на рисунке 5 представлена типовая модель производственного процесса, выполненная в стандарте функционального моделирования IDEF0. А на рисунке 6 та же модель, но выполненная с помощью УФО-элементов, образованных соединением алфавитных элементов **VC** и **VE** как описано выше. На данном рисунке использованы следующие условные обозначения: узлы Р1 и С1 – соответственно разветвитель и соединитель потоков энергии; потоки VC, VЗ, VД, VКкон, VК – соответственно вещественные потоки сырья, заготовок, деталей, комплектующих на контроль и результирующих комплектующих; СЧ – управляющая информация в виде чертежа; ЕЗ?, ЕД?, ЕК?, Екон? – энергия для производства соответственно заготовок, деталей, комплектующих и процедуры контроля; ЕЗ!, ЕД!, ЕК!, Екон! – энергия оставшаяся после производства соответственно заготовок, деталей, комплектующих и процедуры контроля.

Приведенный пример показывает, что предлагаемый набор модельных элементов, в некоторой степени, направляет процесс моделирования. Это соответствует известному среди специалистов бизнес-моделирования положению, что наименьший вред организации принесет инструментарий моделирования, «*лишающий разработчика той части «творческих» возможностей, которые ведут к разнообразию представления организационных моделей*» [15]. При этом степень соответствия этому требованию инструментария, использующего нотацию IDEF0, оценивается как крайне низкая.

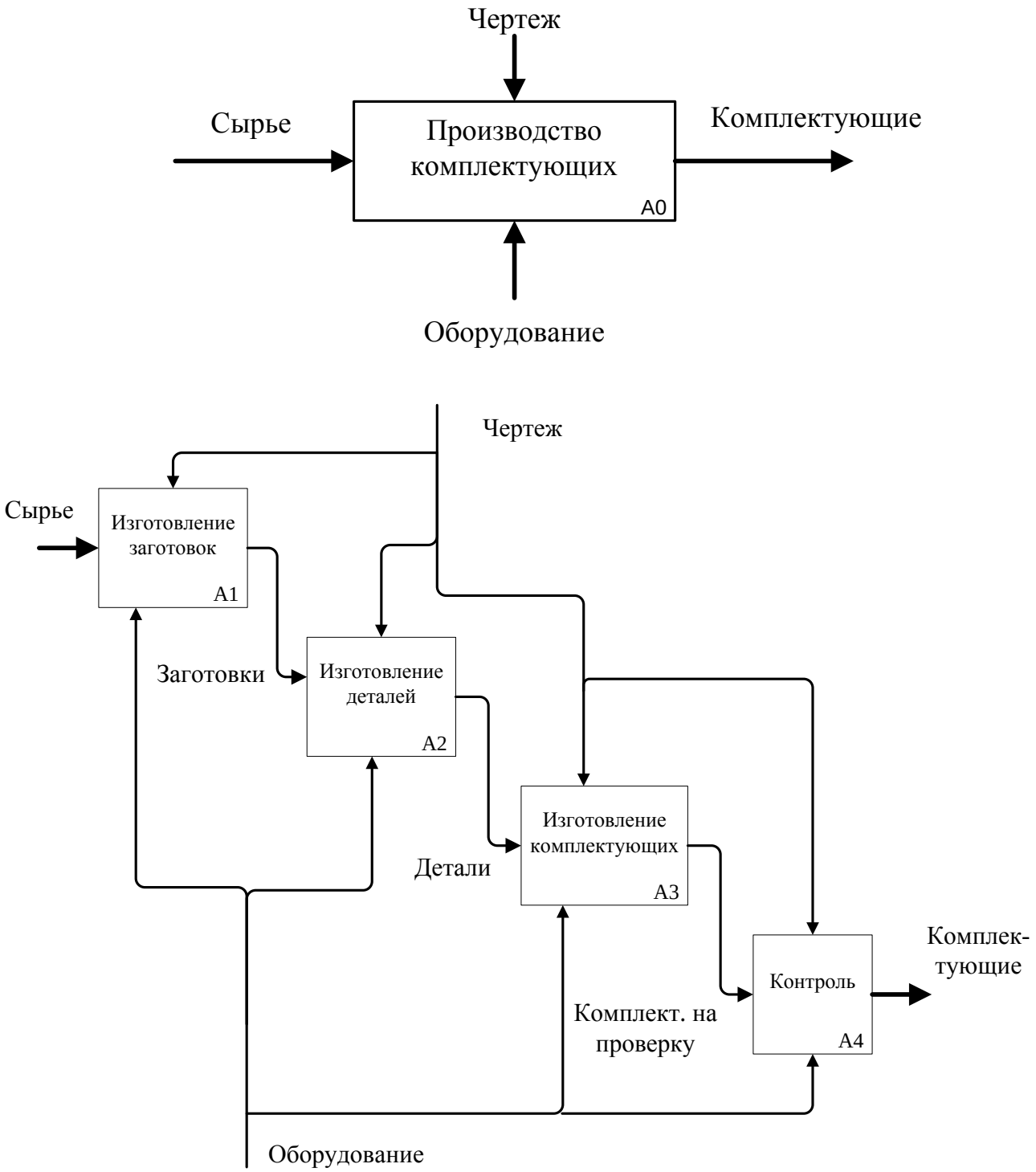


Рис. 5. Модель производственного процесса в стандарте IDEF0
Fig. 5. Model of the production process in the IDEF0 standard

Модель на рисунке 6, полностью отображает типовой производственный процесс, как и рисунок 5. Но, в отличие от последнего, управляющая информация (СК) входит в систему и, поучаствовав во всех процессах, выходит из нее. Кроме того, на рисунке 6 учтены энергетические затраты (Е? разного вида) и, более того, учитывается общеизвестный факт не 100% КПД используемой в производственных процессах энергии, т.е. выход избыточной энергии (Е! разного

вида). При этом в данной модели не происходит потери каких-либо материальных или информационных потоков, что свойственно всем другим нотациям. Таким образом, УФО-модель в большей степени соответствует реальной действительности, причем это достигается использованием предлагаемого алфавита модельных элементов.

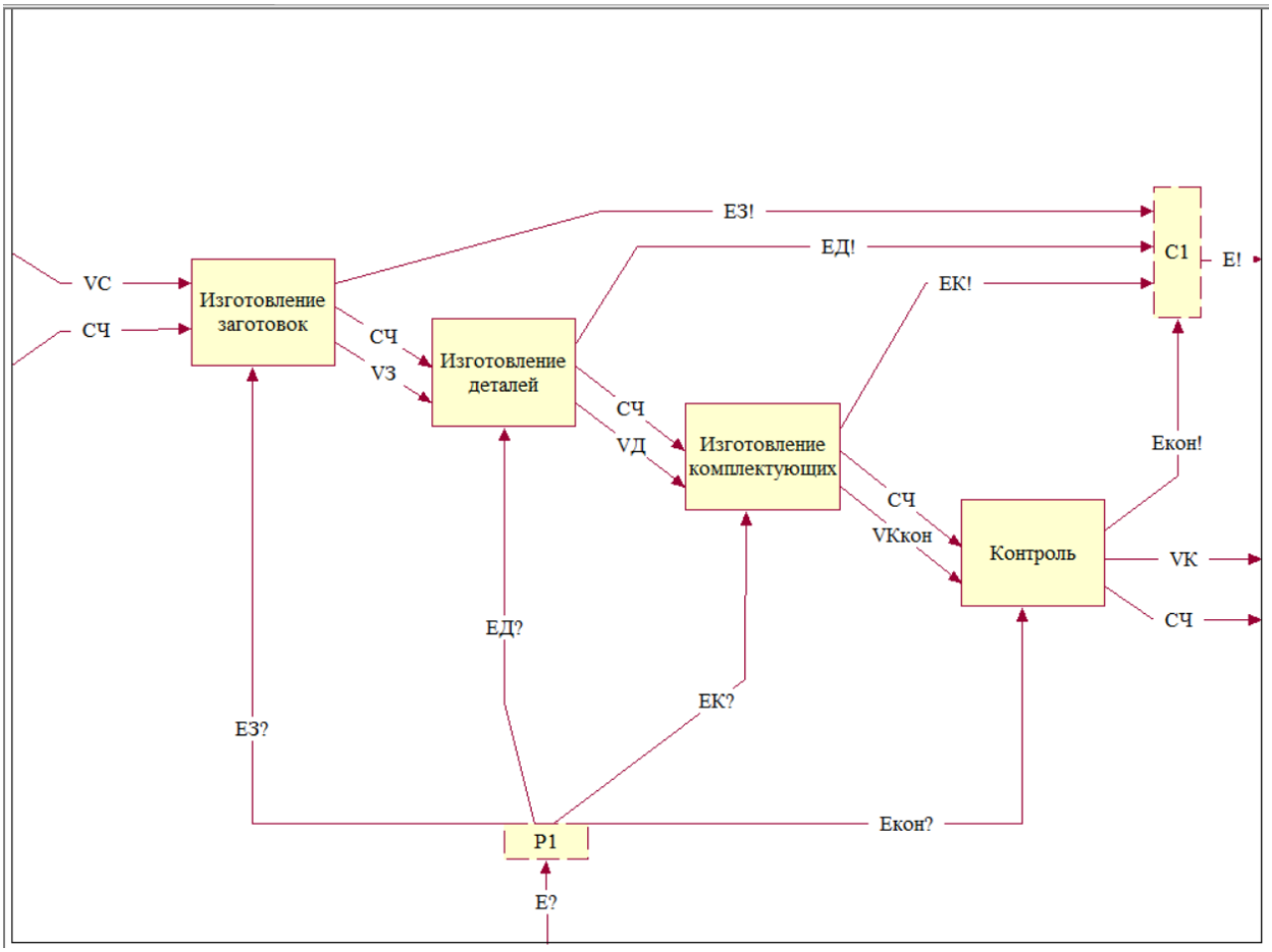


Рис. 6. Модель производственного процесса в терминах УФО-подхода
Fig. 6. Model of the production process in terms of the UFO-approach

Использование алфавита, создаваемого по предложенному принципу, позволяет ограничить число возможных вариантов декомпозиции сложной системы и упростить, таким образом, ее анализ. При этом целесообразно использование алгоритма «интерфейсной декомпозиции», предложенного в работе [16]. Суть данного алгоритма сводится к итерационной процедуре поиска элементов, которые могут быть подсоединены внутри системы к ее входам и выходам с последующей идентификацией новых входов и выходов системы.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Исследования в области формализации системно-объектного подхода показали перспективность этого направления. Представленное выше алгебраическое описание системы как элемента «Узел-Функция-Объект» с использованием идей исчисления объектов Абади-Кардели, а также основные операции с такими элементами, т.е. системами, позволяют формально описывать графоаналитические модели сложных систем, решая задачу их агрегации из простых элементов. Предложенная в работе классификация УФО-элементов по их узлам на основании классификации связей показывает целесообразность использования при построении графоаналитических моделей систем узлов только определенной конфигурации, что облегчает решение задачи декомпозиции сложных элементов модели.

По мнению авторов, описанные в работе формализмы могут быть положены в основу исчисления систем, представляемых в виде УФО-элементов. Разрабатываемое же на данной основе исчисление целесообразно использовать для построения формальной общей теории систем, что обосновывается представленными в данной работе результатами.

Работа поддержана грантами РФФИ 16-07-00193а и 16-07-00460а.

Список литературы

1. Общая теория систем URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/ Общая_теория_систем (20.04.2018).
2. Dubrovsky, V.J. To ward system principles: General system theory and the alternative approach // Systems Research and Behavioral Science. 2004. №21 P. 109–122.
3. Маторин С.И., Зимовец О.А., Щербинина Н.В., Сульженко Т.С. Концепция формализованной теории систем, основанной на подходе «Узел-Функция-Объект» // Научные ведомости БелГУ. Серия Информатика. 2016. №16(237). Выпуск 39. С. 159-166.
4. Маторин С.И. Анализ и моделирование бизнес-систем: системологическая объектно-ориентированная технология. Предисл. Э.В. Попова. Харьков: ХНУРЭ, 2002. 322с.
5. Matorin S.I. Systems-Theoretic Investigation Of The Structure Of Categories // Automatic Document and Mathematical Linguistics. 1998. V.31. No.2. P. 4-9.
6. Bondarenko M.F., Elchaninov D.B., Solov'eva E.A. and Matorin S.I. Systemological and Mathematical Foundations of a Natural Classification // International Journal on Information Theories & Applications. 2001. V.8. No.3. P.151-157.
7. Забродин В.Н. О критериях естественности классификации // Научно-техническая информация. Сер.2. 1981. №8. С. 92-112.
8. Мельников Г.П. Системология и языковые аспекты кибернетики. М.: Сов.радио, 1978. 368 с.
9. Седов Е.А. Информационно-энтропийные свойства социальных систем // ОНС. 1993. № 5. С.92-100.
10. Ashby Ross W. An introduction to cybernetics. London: CHAPMAN & HALL LTD, 1956. 296 p.
11. Abadi Martin and Luca Cardelli A Theory of Objects. Springer-Verlag, 1996. 397p.
12. Жихарев А.Г., Маторин С.И., Маматов Е.М., Смородина Н.Н. О системно-объектном методе представления организационных знаний // Научные ведомости БелГУ. Сер. Информатика. 2013. №8(151). Выпуск 26/1. С. 137-146.
13. Matorin S., Popov A., Matorin V. Organization simulation technology in the light of a new unit-function-object approach // Automatic Document and Mathematical Linguistics. 2005. V. 39. No.1. P. 1-8.
14. Маторин С.И., Жихарев А.Г., Зимовец О.А. Исчисление объектов в системно-объектном методе представления знаний // Искусственный интеллект и принятие решений. 2017. №3. С. 95-106.

15. Рубцов С. Какой CASE-инструмент нанесет наименьший вред организации? // Директор ИС. 2002. №1. URL: http://www.hr-portal.ru/article/kakoy-case-instrument-naneset-naimenshiy-vred-organizacii (01.05.2018).

16. Маторин С.И., Жихарев А.Г., Зимовец О.А.. Системно-объектное моделирование адаптации и эволюции экономических систем // Вестник Белгородского университета кооперации, экономики и права. 2016. №4(60). С. 81-92.

References

1. General theory of systems URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/ Obshchaya_teoriya_sistem (20.04.2018). (in Russian)

2. Dubrovsky, V. J. To ward system principles: General system theory and the alternative approach // Systems Research and Behavioral Science. No.21. 2004. P. 109–122.

3. Matorin S.I., Zimovec O.A., SHCHerbinina N.V., Sul'zhenko T.S. The concept of a formalized theory of systems based on the "Unit-Function-Object" approach // Nauchnye vedomosti BelGU. Seriya Informatika. No.16(237). V.39. 2016. P. 159-166. (in Russian)

4. Matorin S.I. Analysis and modeling of business systems: systemological object-oriented technology. Har'kov: HNUREH, 2002. 322p. (in Russian)

5. Matorin S.I. Systems-Theoretic Investigation Of The Structure Of Categories // Automatic Document and Mathematical Linguistics. V.31. No.2. 1998. P. 4-9.

6. Bondarenko M.F., Elchaninov D.B., Solov'eva E.A. and Matorin S.I. Systemological and Mathematical Foundations of a Natural Classification // International Journal on Information Theories & Applications. V.8. No.3. 2001. P.151-157.

7. Zabrodin V.N. About criteria of naturalness of classification // Nauchno-tekhnicheskaya informaciya. Ser.2. No.8. 1981. P. 92-112. (in Russian)

8. Mel'nikov G.P. Systemology and language aspects of cybernetics. M .: Sov . radio , 1978. 368 p. (in Russian)

9. Sedov E.A. Information-entropic properties of social systems // ONS. No.5. 1993. P.92-100. (in Russian)

10. Ashby Ross W. An introduction to cybernetics. London: CHAPMAN & HALL LTD, 1956. 296 p.

11. Abadi Martin and Luca Cardelli A Theory of Objects. Springer-Verlag, 1996. 397 p.

12. ZHiharev A.G., Matorin S.I., Mamatov E.M., Smorodina N.N. On the system-object method of representing organizational knowledge // Nauchnye vedomosti BelGU. Seriya Informatika. No.8(151). V.26/1. 2013. P. 137-146. (in Russian)

13. Matorin S., Popov A., Matorin V. Organization simulation technology in the light of a new unit-function-object approach // Automatic Document and Mathematical Linguistics. 2005. V. 39. No.1. P. 1-8.

14. Matorin S.I., ZHiharev A.G., Zimovec O.A. Objects calculus in the system-object method of knowledge representation // Artificial Intelligence and Decision Making. No.3. 2017. P. 95-106. (in Russian)

15. Rubcov S. Which CASE tool will do the least harm to the organization?// Direktor IS. No.1. 2002. URL: http://www.hr-portal.ru/article/kakoy-case-instrument-naneset-naimenshiy-vred-organizacii (01.05.2018) (in Russian)

16. Matorin S.I., ZHiharev A.G., Zimovec O.A. System-object modeling of adaptation and evolution of economic systems // Vestnik Belgorodskogo universiteta kooperacii, ehkonomiki i prava. No.4(60). 2016. P. 81-92. (in Russian)

Маторин Сергей Игоревич, доктор технических наук, профессор, профессор кафедры информационных и робототехнических систем
Жихарев Александр Геннадиевич, кандидат технических наук, доцент кафедры информационных и робототехнических систем
Игрунов Константин Константинович, аспирант кафедры информационно-телекоммуникационных систем и технологий

Matorin Sergey Igorevich, Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor of the Department of Information and Robotics Systems
Zhikharev Alexander Gennadievich, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Information and Robotics Systems
Igrunov Konstantin Konstantinovich, postgraduate student of the Department of Information and Telecommunication Systems and Technologies

УДК 004.75 **DOI: 10.18413/2518-1092-2018-3-3-0-4**

Кузнецов Д.А.[1]
Безручко В.В.[1]
Кузнецов А.В.[1]
Басов О.О.[2]

ПОДСИСТЕМЫ ЖИЗНЕОБЕСПЕЧЕНИЯ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОГО ЗАЛА СОВЕЩАНИЙ

[1)] Федеральное государственное казённое военное образовательное учреждение высшего образования «Академия Федеральной службы охраны Российской Федерации», ул. Приборостроительная, д. 35, г. Орёл, 302034, Россия
[2)] Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики», Кронверкский пр., д. 49, г. Санкт-Петербург, 197101, Россия

e-mail: wvxp@mail.ru, vlvd@mail.ru, kvaa77@mail.ru, oobasov@mail.ru

Аннотация
Концепция интеллектуального пространства подразумевает автоматическое или автоматизированное управление его подсистемами, обеспечивающими реализацию определенных целей. Ключевыми из них являются подсистемы жизнеобеспечения интеллектуального зала совещаний, такие как подсистемы кондиционирования, освещения и отопления. Для функционирования подсистем жизнеобеспечения необходимы устройства, осуществляющие автоматическую обработку данных, поступающих с различных датчиков, принятие решений на основе полученной информации или по команде пользователя, а также непосредственное управление функциональными элементами интеллектуального зала совещаний. Такими устройствами являются предлагаемые авторами исполнительные модули, осуществляющие свою работу во взаимодействии с общим устройством управления подсистемами освещения, кондиционирования и отопления. Предложенные устройства позволят организовать работу подсистем освещения и климат-контроля в соответствии с принятыми ГОСТ и руководящими документами в соответствующих областях, повысить комфортность участников совещаний и приведут к росту продуктивности их проведения.
Ключевые слова: интеллектуальное пространство; зал; исполнительные модули; освещение; автоматизация; климат-контроль; жизнеобеспечение.

UDC 004.75

Kuznetsov D.A.[1]
Bezruchko V.V.[1]
Kuznetsov A.V.[1]
Basov O.O.[2]

THE LIFE SUPPORT SUBSYSTEMS OF MEETINGS SMART HALL

[1)] Federal state military educational institution of higher professional education "Academy of the Federal security service of the Russian Federation", 35 Priborostroitelnaya St, Orel, 302034, Russia
[2)] Saint Petersburg National Research University of Information Technologies, Mechanics and Optics, 49 Kronverkskiy prospekt, St. Petersburg, 197101, Russia

e-mail: wvxp@mail.ru, vlvd@mail.ru, kvaa77@mail.ru, oobasov@mail.ru

Abstract
The concept of intellectual space means automatic or automated management of subsystems of this space, the definite purposes providing realization. Key subsystems of the intellectual hall of meetings are life support subsystems, such as subsystems of conditioning, lighting and heating. The devices which are carrying out automatic data processing, arriving from sensors, cameras and microphones, decision-making on the basis of the obtained information or at the command of the

user and also direct management of functional elements of the intellectual hall of meetings are necessary for functioning of subsystems of life support. Such devices are the executive modules offered by authors which are carrying out the work in interaction with the general control unit as subsystems of lighting, conditioning and heating. The offered devices will allow to organize work of subsystems of lighting and climate control according to the documents accepted by GOST and leading in these areas, will increase comfort and will lead to growth of efficiency of a meeting.
Keywords: intellectual space; room; executive modules; lighting; automation; climate control; life support.

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время прототипы интеллектуальных залов совещаний исследуются во многих университетах мира [1]. С учетом известных решений в разрабатываемом авторами прототипе интеллектуального зала совещаний (рис. 1) предполагается реализация следующих подсистем [2]:

–кондиционирования;
–отопления;
–освещения;
–отображения данных;
–сопровождения совещаний;
–контроля и управления доступом.

Рис. 1. Визуальное представление интеллектуального зала совещаний
Fig. 1. Visual representation of the meetings smart hall

Основной задачей при создании интеллектуального зала совещаний является их интеграция под контролем общего устройства управления, так как создание интеллектуального зала совещаний требует автоматизации функционирования его элементов [3]. Использование общего устройства управления на ПЭВМ позволит осуществить автоматическую обработку данных, поступающих с датчиков, камер и микрофонов [4], представляющих собой сенсорную сеть, запись и чтение данных из базы данных [5], автоматическое управление функциональными элементами зала на основе обрабатываемой информации [6].

При наличии значительного количества решений по построению вышеуказанных систем создание первых трех из них, объединенных авторами общим названием «жизнеобеспечивающие», требует индивидуализации, обуславливающей реализацию конкретных (нетиповых) решений для каждого отдельного интеллектуального пространства. В связи с чем, в данной работе авторами предлагаются собственные решения по построению указанных подсистем (кондиционирования, отопления, освещения).

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

Описание подсистем жизнеобеспечения интеллектуального зала совещаний

Подсистемы жизнеобеспечения интеллектуального зала совещаний представляют собой (рис. 2) совокупность датчиков [7], исполнительных модулей и элементов зала, обеспечивающую требуемую микроклиматическую обстановку в соответствии с требованиями нормативных документов [8, 9].

Рис. 2. Взаимосвязь подсистем жизнеобеспечения интеллектуального зала совещаний
Fig. 2. Interconnection of the life support subsystems of meetings smart hall

Их основу составляют непосредственно элементы зала, такие как кондиционеры, радиаторы отопления, окна, жалюзи и элементы освещения (лампы, светодиодные ленты и т.п.).

Для непосредственного взаимодействия пользователей с ними предусмотрены стандартные устройства управления в виде пультов дистанционного управления кондиционерами и другой климатической техникой, вентилей радиаторов отопления, механизмов открывания окон и жалюзи, выключателей (переключателей) освещения.

Для комплексной оценки текущей обстановки (температуры, влажности воздуха, уровня освещенности) и передачи соответствующей информации в устройство управления используется сенсорная сеть, включающая в себя датчики влажности, температуры, давления, уровня освещенности, а также датчики положения окон и жалюзи.

Ключевой составляющей представленной иерархической структуры подсистем жизнеобеспечения являются разработанные авторами исполнительные устройства. Они выполняют роль функциональных узлов, непосредственно воздействующих на элементы зала с целью задания режимов их работы.

Исполнительный модуль подсистемы кондиционирования

Исполнительный модуль подсистемы кондиционирования подключается в USB-разъём на корпусе климатического прибора и позволяет управлять его настройками, функциями и режимами, расширяя возможности стандартных устройств (пультов) управления климатическими приборами, обеспечивая гибкость и централизацию такого управления с целью создания комфортных условий для проведения совещаний, заседаний, конференций и других мероприятий. В качестве такого модуля возможно использование WiFi-модуля управления фирмы Rubetek [10].

Исполнительный модуль подсистемы отопления

Исполнительный модуль подсистемы отопления предназначен для управления вентилем радиатора отопления, установленного в интеллектуальном зале совещаний, для обеспечения комфортного температурного режима в нем (рис. 3).

Рис. 3. Внешний вид исполнительного модуля подсистемы отопления
Fig. 3. External view of the heating subsystem executive module

Устройство позволяет устанавливать заданное положение вентиля радиатора отопления в соответствии с командами, полученными от устройства управления или датчиков температуры воздуха. Также предусмотрена ручная установка положения вентиля. Устройство передает информацию об установленном положении вентиля в устройство управления подсистемами интеллектуального зала совещаний с помощью радиоинтерфейса WiFi.

Исполнительный модуль управления нагрузкой

Исполнительный модуль управления нагрузкой предназначен для управления подключаемой нагрузкой, в качестве которой выступают механизмы открывания (закрывания) жалюзи, окон, для обеспечения заданного режима естественного освещения и проветривания.

Модуль позволяет регулировать угол поворота жалюзи, открытия окна посредством получения команд от устройства управления подсистемами интеллектуального зала совещаний, а также от внешних датчиков посредством радиоинтерфейса WiFi, или в ручном режиме с помощью кнопок на корпусе устройства.

Исполнительный модуль управления освещением

Исполнительный модуль управления освещением предназначен для управления светодиодными лампами и лентами белого (теплого или холодного) и RGB-свечения, обеспечивающими комфортный режим освещенности основных и вспомогательных зон интеллектуального зала совещаний и подсветки его конструктивных элементов (рис. 4).

Функционирование модуля основано на получении команд от устройства управления подсистемами интеллектуального зала совещаний, а также от внешних датчиков освещенности посредством радиоинтерфейса WiFi. Он позволяет устанавливать режимы работы светодиодными лампами и лентами белого и RGB-свечения в соответствии с полученными командами, передает информацию об установленном режиме работы в устройство управления.

Предлагаемый исполнительный модуль подсистемы освещения интеллектуального зала совещаний расширяет возможности стандартных устройств управления освещением, обеспечивая включение освещения (подсветки) заданных зон интеллектуального зала и подсветки его конструктивных элементов с целью создания комфортных условий для проведения совещаний, заседаний, конференций и других мероприятий.

Для обработки информации, полученной от сенсорной сети, выработки управляющих воздействий на основе полученных данных и передачи их в исполнительные модули с целью задания режима работы элементов зала, обеспечивающего требуемую микроклиматическую обстановку и уровень освещенности, помимо внешней управляющей ПЭВМ (см. рис. 2) авторами предложено устройство управления подсистемами жизнеобеспечения.

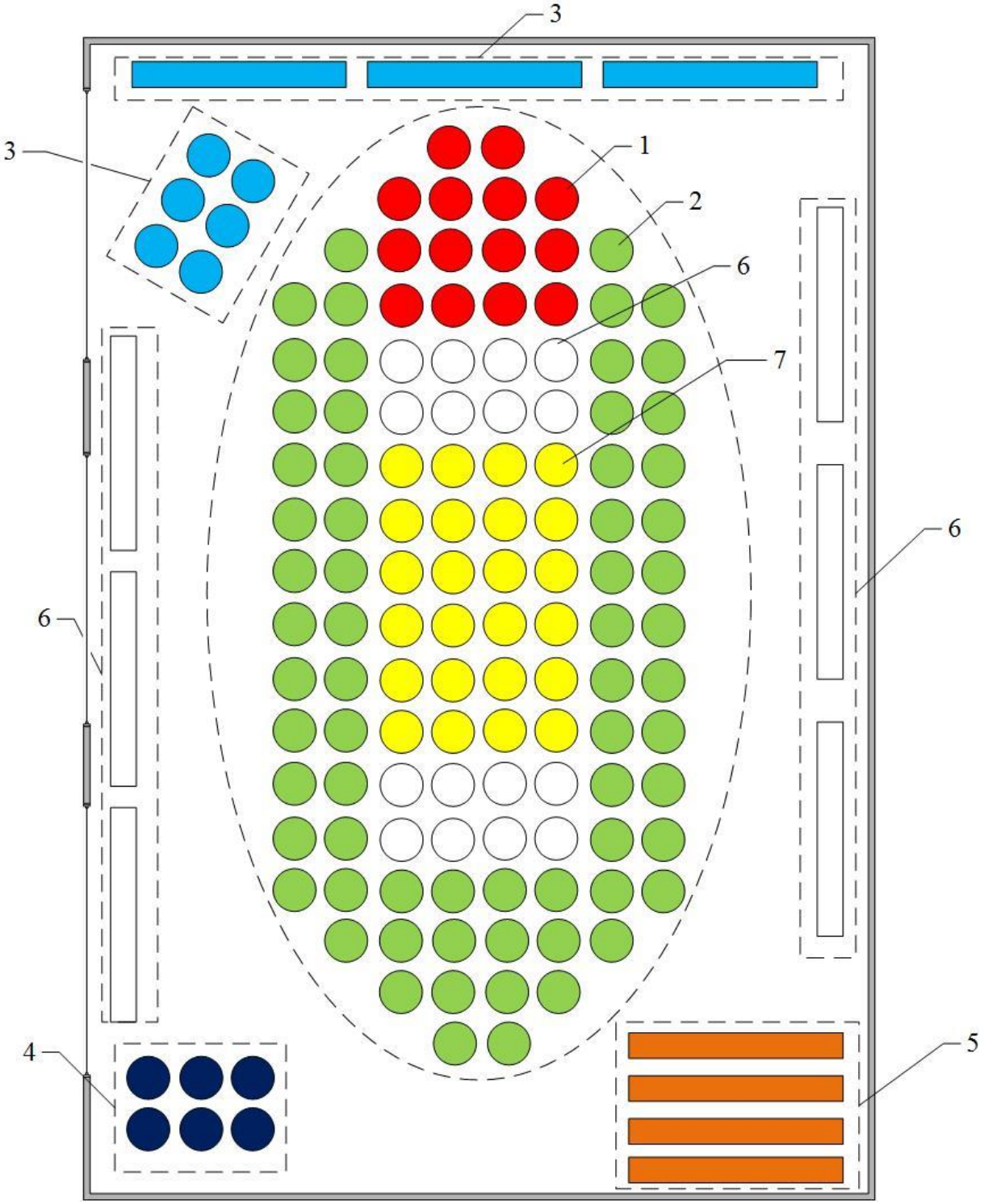


Рис. 4. Схема освещения интеллектуального зала совещаний
1 – Зона председателя заседания, 2 – Зона участников конференции, 3 – Зона выступающего, 4 – Зона секретаря, 5 – Зона журналистов, 6 – Зона дополнительного освещения, 7 – Зона освещение мониторов
Fig. 4. Lighting scheme of the meetings smart hall
1 – Zone of the chairman of a meeting, 2 – Zone of participants of the meeting, 3 – Zone of the speaker, 4 – Zone of the secretary, 5 – Zone of journalists, 6 – Zone of additional lighting, 7 – Zone of lighting of monitors

Устройство управления подсистемами освещения, кондиционирования и отопления интеллектуального зала совещаний

Устройство предназначено для беспроводного управления подсистемами освещения, кондиционирования и отопления интеллектуального зала совещаний с использованием сенсорного ввода и получения информации о состоянии указанных подсистем с их последующим выводом на ЖК-экран (рис. 5).

Рис. 5. Внешний вид устройства управления подсистемами освещения, кондиционирования и отопления интеллектуального зала совещаний
Fig. 5. External view of the control unit for lighting, air conditioning and heating subsystem of the meetings smart hall

Предлагаемое устройство управления подсистемами жизнеобеспечения расширяет возможности стандартных устройств управления климатической техникой и освещением, обеспечивая гибкость и централизацию управления отдельными элементами указанных подсистем. Дополнительно обеспечивается возможность отображения состояния всех подсистем на одном устройстве. Кроме того, в качестве несомненных достоинств разработанного устройства следует отметить его мобильность и удобство размещения, например, у входа в интеллектуальный зал совещаний (рис. 6).

Рис. 6. Расположение устройства управления подсистемами освещения, кондиционирования и отопления в интеллектуальном зале совещаний
Fig. 6. Location of the control unit for lighting, air conditioning and heating subsystem of the meetings smart hall

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, описанные выше устройства позволяют реализовать предложенную концепцию интеллектуального зала совещаний, осуществляя автоматическое (автоматизированное) управление подсистемами освещения, кондиционирования и отопления интеллектуального зала. Важно отметить, что предложенные модули не ограничивают существующие методы управления указанными подсистемами, а расширяют возможности по их управлению, оставляя пользователю возможность управления ими с помощью традиционных способов.

Работа выполнена при финансовой поддержке фонда РФФИ (проект № 18-07-00380).

Список литературы

1. Ронжин Ал.Л. Сравнительный анализ функциональности прототипов интеллектуальных пространств / Ронжин Ал.Л., Карпов А.А. // Труды СПИИРАН. 2013. Вып. 24. С. 277=290.
2. Кузнецов Д.А. Предпосылки создания интеллектуального зала совещаний / Кузнецов Д.А., Офицеров А.И., Кузнецов А.В., Чистяков С.В., Басов О.О. // Научный результат. Информационные технологии. 2018. Том 3. Вып. 2. С. 44-50.
3. Nakashima H. Handbook of Ambient Intelligence and Smart Environments / Aghajan H. K., Augusto J. C. // Springer. 2010. 1294 p.
4. Ронжин Ал.Л. Система аудиовизуального мониторинга участников совещания в интеллектуальном зале / Ронжин Ал.Л., Ронжин Ан.Л. // Доклады ТУСУРа. 2011. № 1 (22), ч. 1. С. 153=157.

5. Fillinger A. Middleware and Metrology for the Pervasive Future / Hamchi I., Degré S., Diduch L., Rose T., Fiscus J., Stanford V. // IEEE Pervasive Computing Mobile and Ubiquitous Systems. Vol. 8, num. 3, 2009. pp. 74-83.

6. . Chou H. Automated lecture recording system / Wang J., Fuh C., Lin S., Chen S. // International Conference on System Science and Engineering, 2010. pp. 167-172.

7. Kadirov R Sensors in a Smart Room: Preliminary Study / Cvetkov E., Korzun D. // Conf. Open Innovations Framework Program FRUCT, Oulu, Finland, 2012. pp. 37-42.

8. СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278-03 «Гигиенические требования к естественному, искусственному и совмещенному освещению жилых и общественных зданий». Постановление Главного государственного санитарного врача Российской Федерации от 2010-15-03 № 20.

9. ГОСТ 30494-2011. Здания жилые и общественные. Параметры микроклимата в помещения: Межгосударственная научно-техническая комиссия по стандартизации. 2011.

10. WiFi-модуль управления: [Электронный ресурс] // Rubetek – системы «Умный дом». 2018. URL: https://rubetek.com/product/wi-fi-modul-upravlenija-rm-3712 (Дата обращения 10.07.2018).

References

1. Ronzhin Al. Comparative analysis of functionality of prototypes of intellectual spaces / Ronzhin Al., Karpov A.A. // SPIIRAN Works. 2013. Vol. 24. P. 277-290.

2. Kuznetsov D. A. Prerequisites of creation of the intellectual hall Meetings / Kuznetsov D.A., Ofitserov A.I., Kuznetsov A.V., Chistyakov S.V., Basov O.O. //Scientific result. Information technologies. 2018. Volume 3. Issue 2. P. 44-50.

3. Nakashima H. Handbook of Ambient Intelligence and Smart Environments / Aghajan H.K., Augusto J.C. // Springer. 2010. 1294 p.

4. Ronzhin A. The system of audiovisual monitoring of participants of the meeting in the intellectual hall / Ronzhin Al., Ronzhin An. // TUSUR Reports. 2011. № 1 (22), vol. 1. P. 153-157.

5. Fillinger A. Middleware and Metrology for the Pervasive Future / Hamchi I., Degré S., Diduch L., Rose T., Fiscus J., Stanford V. // IEEE Pervasive Computing Mobile and Ubiquitous Systems. Vol. 8, num. 3, 2009. P. 74-83.

6. Chou H. Automated lecture recording system / Wang J., Fuh C., Lin S., Chen S. // International Conference on System Science and Engineering, 2010. P. 167-172.

7. Kadirov R Sensors in a Smart Room: Preliminary Study / Cvetkov E., Korzun D. // Conf. Open Innovations Framework Program FRUCT, Oulu, Finland, 2012. P. 37-42.

8. SanPiN 2.2.1/2.1.1.1278-03. Hygienic requirements to the natural, artificial and combined lighting of residential and public buildings. The resolution of the Chief state health officer of the Russian Federation from 2010-15-03, No. 20.

9. GOST 30494-2011. Buildings inhabited and public. Microclimate parameters to rooms: Interstate scientific and technical commission on standardization, 2011.

10. WiFi management module: [Electronic resource] // Rubetek – «The clever house» systems 2018. URL: https://rubetek.com/product/wi-fi-modul-upravlenija-rm-3712 (Date of the address 10.7.2018).

Кузнецов Денис Андреевич, студент Академии Федеральной службы охраны Российской Федерации
Безручко Валерий Владимирович, кандидат технических наук, сотрудник Академии Федеральной службы охраны Российской Федерации
Кузнецов Андрей Викторович, кандидат технических наук, сотрудник Академии Федеральной службы охраны Российской Федерации
Басов Олег Олегович, доктор технических наук, профессор кафедры речевых информационных систем

Kuznetsov Denis Andreevich, student Academy of the Federal security service of the Russian Federation
Bezruchko Valerij Vladimirovich, candidate of technical sciences, Academy of the Federal security service of the Russian Federation
Kuznetsov Andrey Viktorovich, candidate of technical sciences, Academy of the Federal security service of the Russian Federation
Basov Oleg Olegovich, doctor of technical sciences, Professor of Department of Speech Information Systems

ИНФОРМАЦИОННО-ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ
INFORMATION TECHNOLOGIES AND TELECOMMUNICATION

УДК 621.391.8 **DOI: 10.18413/2518-1092-2018-3-3-0-5**

Белов С.П.[1]
Жиляков Е.Г.[2]
Белов А.С.[1]
Золотарь Н.И.[2]

ОБ ОСОБЕННОСТЯХ МОНИТОРИНГА ЗАНЯТОСТИ ЧАСТОТНЫХ РЕСУРСОВ КАНАЛОВ СВЯЗИ ПРИ ПЕРЕДАЧЕ ИНФОРМАЦИИ КОГНИТИВНЫМИ СИСТЕМАМИ БЕСПРОВОДНОЙ СВЯЗИ

[1)] Белгородский университет кооперации, экономики и права, ул. Садовая, д. 116а, г. Белгород, 308023, Россия
[2)] Белгородский государственный национальный исследовательский университет, ул. Победы д. 85, г. Белгород, 308015, Россия

e-mail: belovssergei@gmail.com, Zhilyakov@bsu.edu.ru, belov_as@bsu.edu.ru, zolotar_kola@mail.ru

Аннотация
Стремительное развитие беспроводных систем связи приводит к постоянному усложнению методов регулирования использования частотного спектра. Число услуг беспроводной связи растет и требуется выделение все большего числа диапазонов частот для их обеспечения. Помехи от одновременно используемых в одном частотном диапазоне радиопередатчиков приводят к значительным искажениям в передаваемой информации и могут значительно затруднять работу телекоммуникационных систем различного назначения. Достижения в сфере программно-ориентированных радиосистем и в частности когнитивного радио позволяют решить указанные проблемы. В существующем стандарте когнитивного радио IEEE 802.22 используются различные подходы к детектированию сигнала первичного пользователя канала. Высокая точность детектирования сигнала необходима для стабильной работы сенсинга когнитивного радио и всей системы в целом. Каждый метод, применяемый в стандарте IEEE 802.22, имеет свои преимущества и недостатки. Применение того или иного метода зависит от условий радиообстановки. В статье проводится анализ методов детектирования применяемых в стандарте когнитивного радио путем имитационного моделирования в среде MATLAB.
Ключевые слова: когнитивное радио; детектирование сигнала первичного пользователя; имитационное моделирование в среде MATLAB.

UDC 621.391.8

Belov S.P.[1]
Zhilyakov E.G.[2]
Belov A.S.[1]
Zolotar N.I.[2]

ABOUT FEATURES OF MONITORING OF EMPLOYMENT OF FREQUENCY RESOURCES OF COMMUNICATION CHANNELS AT THE COMMUNICATION OF INFORMATION BY COGNITIVE WIRELESS COMMUNICATION SYSTEMS

[1)] Belgorod University of Cooperation, Economics and Law, 116a Sadovaya St., Belgorod, 308023, Russia
[2)] Belgorod State National Research University, 85 Pobedy St., Belgorod, 308015, Russia

e-mail: belovssergei@gmail.com, Zhilyakov@bsu.edu.ru, belov_as@bsu.edu.ru, zolotar_kola@mail.ru

Annotation
The rapid development of wireless communication systems leads to a constant complication of methods for regulating the use of the frequency spectrum. The number of wireless communication services is growing and more and more frequency bands need to be allocated to provide them. Interference from simultaneously used in one frequency range of radio transmitters leads to significant distortions in transmitted information and can significantly hinder the

operation of telecommunication systems for various purposes. Achievements in the field of software-oriented radio systems and, in particular, cognitive radio allow solving these problems. The existing standard of IEEE 802.22 cognitive radio uses different approaches to detecting the signal of the primary user of the channel. High accuracy of signal detection is necessary for stable operation of sensing of cognitive radio and the whole system. Each method used in the IEEE 802.22 standard has its advantages and disadvantages. The application of this or that method depends on the radio conditions. The article analyzes methods for detecting the cognitive radio used in the standard by simulation in the MATLAB environment.
Keywords: cognitive radio; primary signal detection; simulation in MATLAB environment.

ВВЕДЕНИЕ

Подход к построению интеллектуальных систем беспроводной связи, получивший название когнитивное радио, является передовой технологией, позволяющей обеспечить рациональное использование радиочастотного спектра [1-2]. Кроме того, знание о состоянии спектра может быть применено для принятия решения запуска расширенных алгоритмов приемника, а также адаптивного подавления помех [3]. Одной из основных задач при работе когнитивного радио, является проведение постоянного сенсинга (мониторинга) радиочастотного спектра на условие отсутствия первичного пользователя и поиска новых свободных участков на случай необходимости перестроиться на другую частоту [4].

Предполагается, что сенсинг основывается на двух этапах: быстрый и точный сенсинг [4-6]. На этапе быстрого сканирования используется алгоритм грубого сенсинга, например, используется детектор энергии. Стадия точного сенсинга инициируется на основе результатов быстрого сенсинга. Точный мониторинг включает более подробное определение состояния занятости радиочастотного спектра, где уже применяются более сложные и точные методы. Это необходимо для устранения неопределенности [7], которая может возникнуть при сборе информации вторичным пользователем о состоянии занятости частотных ресурсов канала связи и таким образом повлиять на производительность работы когнитивной системы. Несколько методов, которые были предложены и включены в проект стандарта, включают детектирование энергии, сенсинг по форме волны (обнаружение последовательности PN511 или PN63 и/или обнаружение синхронизации сегмента), детектирование по циклостационарным признакам и применение согласованного фильтра. Базовая станция может распределять нагрузку по сенсингу между абонентскими станциями. Результаты поступают в базовую станцию, которая использует эти результаты для управления передачами.

В общем виде сканирования спектра можно выразить как задачу бинарной проверки гипотезы: H_0 – первичный пользователь отсутствует, H_1 – первичный пользователь работает со спектром. Вероятность корректного обнаружения первичных пользователей P_d и вероятность ложной тревоги P_f имеют важное значение для оценки эффективности обнаружения и определяются как:

$$P_d = P\langle decision = H_1\rangle \quad |H_1$$
$$P_f = P\langle decision = H_1\rangle \quad |H_0 \qquad (1)$$

Одной из групп методов сканирования спектра является метод обнаружения передатчика – метод основанный на обнаружении вторичными пользователями слабого сигнала от первичного передатчика. Обобщённая модель метода обнаружения передатчика может быть выражена как:

$$x(n) = \begin{cases} w(n) & H_0 \\ y(n) + w(n) & H_1 \end{cases} \qquad (2)$$

где *x(n)* – принятый сигнал, *y(n)* – передаваемый сигнал, *w(n)* – шум.
H_0 – нулевая гипотеза, согласно которой в определенной полосе частот нет первичный пользователей, а H_1 указывает на наличие первичных пользователей в данной полосе частот [8].

Для оценки эффективности наиболее широко используемых в настоящее время в системах когнитивного радио методов мониторинга занятости частотных ресурсов каналов связи проведем их имитационной моделирование.

ОБНАРУЖЕНИЕ ЭНЕРГИИ ДЕТЕРМИНИРОВАННЫХ СИГНАЛОВ В АДДИТИВНОМ ШУМЕ

H_0: последовательность отсчетов является некоторой случайной последовательностью $\vec{u}$ с нулевым математическим ожиданием, дисперсией и гауссовским распределением, так что корреляционная функция равна [9]:

$$R_\tau = \begin{cases} \sigma_u^2, & \tau = 0 \\ 0, & \tau \neq 0 \end{cases} \tag{3}$$

Альтернативная гипотеза: $H_1 = \overline{H}_0$: выборка состоит из смеси шума и сигнала

$$x_i = s_i + u_i\,, \tag{4}$$

где S_i –сигнал, i=1,..., N.

Решение в пользу той или иной гипотезы принимается при обработке фиксированных N отсчетов.

Тогда отношение правдоподобия равно:

$$g(\vec{x}) = \exp[-\frac{m_1 - m_0}{2\sigma_u^2}\sum_{i=1}^{N}(x_i - \frac{m_1 + m_0}{2})]\,. \tag{5}$$

Принятие решения в пользу H_0 принимается тогда, когда (начальная гипотеза более правдоподобна):

$$g(\vec{x}) \geq h > 1\,. \tag{6}$$

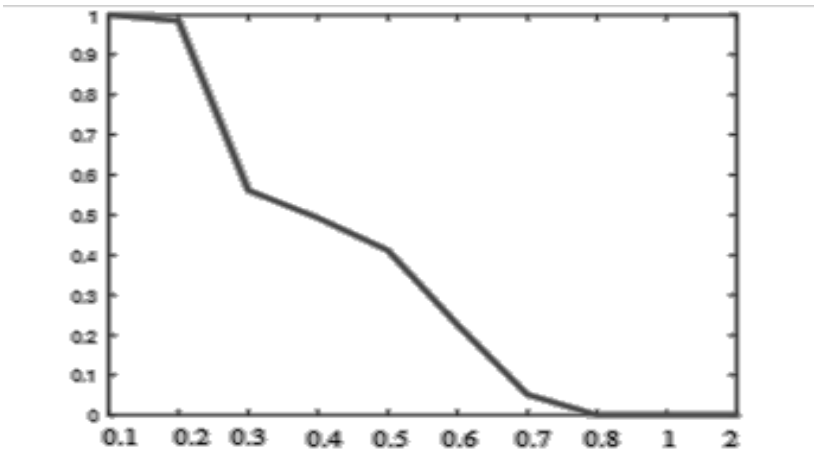


Рис. 1. Зависимость вероятностей ошибок процедуры обнаружения сигнала в аддитивном шуме от отношения сигнал/шум (от 0,1 до 2)

Fig. 1. Dependence of the error probabilities of the signal detection procedure in additive noise on the signal-to-noise ratio (from 0.1 to 2)

ОБНАРУЖЕНИЕ ЭНЕРГИИ СИГНАЛОВ С НЕИЗВЕСТНОЙ ЧАСТОТОЙ В АДДИТИВНОМ ШУМЕ

Пусть начало и длительность сигнала $s_i = a_i \cos(\omega_0 i)$ известны, но неизвестна частота ω_0. Логарифмическое отношение правдоподобия для произвольного значения круговой частоты будет иметь вид:

$$l(\vec{x}/\omega) = -\frac{1}{2\sigma_u^2}\sum_{i=1}^{N}[a_i^2\cos^2(\omega i) - 2x_i a_i \cos\omega i)] \quad . \tag{7}$$

При выполнении нулевой гипотезы (сигнал отсутствует) случайная величина будет гауссовской с нулевым математическим ожиданием и дисперсией. Поэтому целесообразно использовать неравенство:

$$|\, l(\vec{x}/\omega)\,| > h(\omega), \tag{8}$$

выполнение которого принимается за признак несправедливости нулевой гипотезы.

Граница критической области зависит от выбираемой частоты. Должно выполняться равенство:

$$h(\omega) = D_l(\omega) h_{\alpha/2}, \tag{9}$$

где имеет место:

$$\alpha = 2(1 - F(h_{\alpha/2})). \tag{10}$$

Вероятность превышения этого порога при наличии сигнала определяется соотношением

$$1 - \beta = 2(1 - F(h_{\alpha.2} - M(l(\vec{x}/\omega)/D_l(\omega)) \tag{11}$$

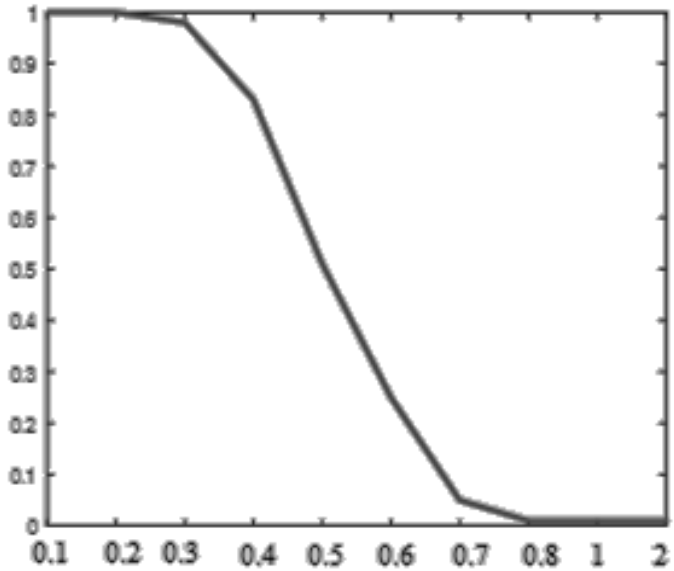


Рис. 2. Зависимость вероятностей ошибок процедуры обнаружения сигнала в аддитивном шуме от отношения сигнал/шум (от 0,1 до 2)

Fig. 2. Dependence of the error probabilities of the signal detection procedure in additive noise on the signal-to-noise ratio (from 0.1 to 2)

ДЕТЕКТИРОВАНИЕ СИГНАЛОВ ПО ПРИЗНАКАМ ЦИКЛИЧЕСКОЙ СТАЦИОНАРНОСТИ

Принимаемый сигнал *x(t)* считается циклостационарным, если его математическое ожидание и автокорреляция имеет признаки периодичности:

$$m_x\,(t+T0) = m_x\,(t) \tag{12}$$

$$R_x\,(t+T0,\ u+T0) = R_x\,(t,\ u) \tag{13}$$

где период мат. ожидания и автокорреляции равен T_0. Если *t* и *u* заменить в автокорреляционном уравнении на $t+\tau/2$ и $t-\tau/2$, то получим

$$R_x\left(t+\frac{\tau}{2}, t-\frac{\tau}{2}\right) = \sum R_x^{\alpha}(\tau)e^{j2\pi\alpha t} \tag{14}$$

где R_x^{α} представляет собой циклическую автокорреляционную функцию (CAF), а α обозначает циклическую частоту. Предполагается, что циклическая частота – это известный параметр на приемной стороне. CAF вычисляется следующим образом:

$$R_x^{\alpha}(\tau) = \frac{1}{T}\int_{-1/T}^{1/T} R_x\left(t+\frac{\tau}{2}, t-\frac{\tau}{2}\right)e^{-j2\pi\alpha t}dt \tag{15}$$

Циклическая спектральная плотность (CSD) получается так:

$$S_x^{\alpha}(f) = \int_{-\infty}^{\infty} R_x^{\alpha}(\tau)e^{-j2\pi f t}dt \tag{16}$$

Сигналы, передаваемые основными пользователями, в основном содержат циклические префиксы, расширяющиеся кодовые последовательности и т.п., которые имеют периодичность в их статистике, как математическое ожидание и автокорреляция. Когда вычисляется CSD для таких сигналов, это помогает выделять такие периодичности. Преобразование Фурье коррелированного сигнала приводит к пику на частотах, которые являются специфическими для сигнала, и поиск этих пиков помогает в определении присутствия основного пользователя, тогда как шум является случайным по своей природе и он не проявляет таких периодичностей, поэтому он не выделяется в процессе корреляции [10]. Это можно пронаблюдать на полученных графиках (рис. 3-5).

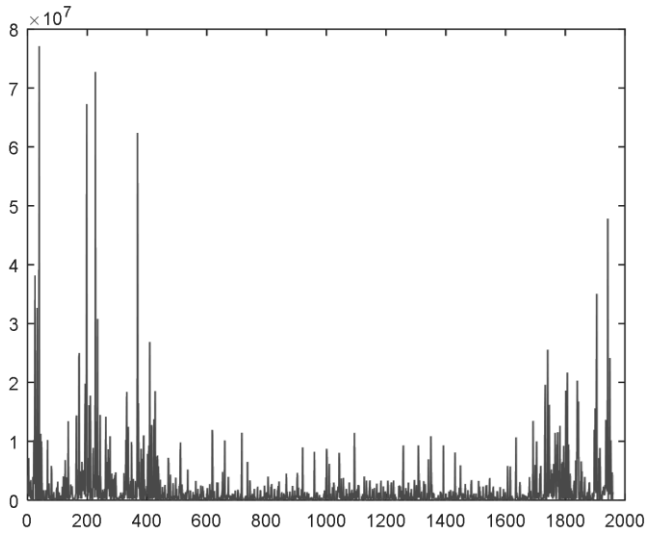


Рис. 3. Циклическая спектральная плотность для сигнала + шум
Fig. 3. Cyclic spectral density for the signal + noise

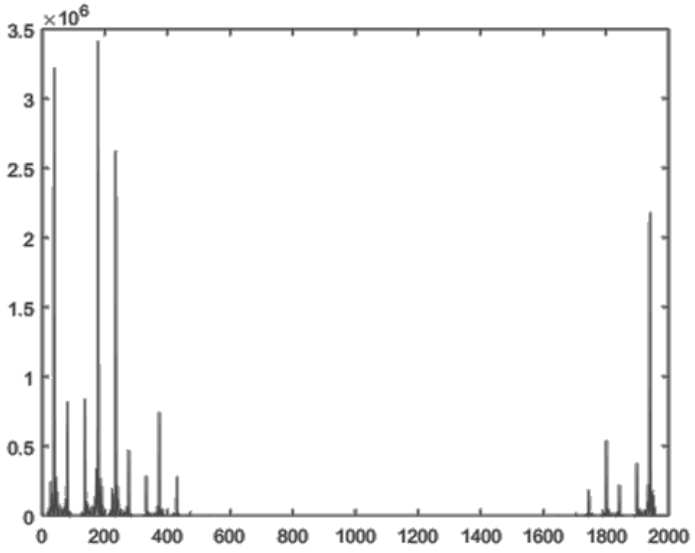


Рис. 4. Циклическая спектральная плотность сигнала без шума
Fig. 4. Cyclic spectral density of the signal without noise

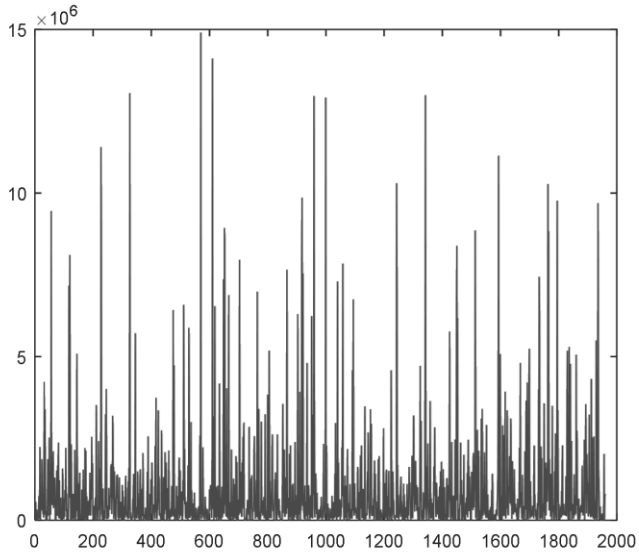


Рис. 5. Циклическая спектральная плотность шума
Fig. 5. Cyclic noise spectral density

АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ МЕТОДОВ ДЕТЕКТИРОВАНИЯ СИГНАЛОВ

Анализ эффективности предложенных методов детектирования проведен в среде MATLAB с помощью имитационного моделирования. В качестве критерия эффективности выбрана вероятность общей ошибки $p_{ош}$.

Из графика, представленного на рисунке 6 видно, что наиболее эффективным методом в условиях низких значений отношения сигнал/шум является метод детектирования по признакам циклической стационарности.

Методы детектирования энергии при высоком уровне шума в линии связи имеют высокую вероятность ошибки обнаружения сигнала первичного пользователя канала. В плане сложности, детектор энергии проще в реализации и требует меньше вычислительной мощности в сравнении с методом детектирования по признакам циклостационарности. Поэтому эти методы принято использовать вместе в когнитивном радио, при быстром сенсинге где нет требования высокой

точности детектирования и точном сенсинге, где проводится более тщательное сканирование спектра. Проблема с определением первичного пользователя связана со свойствами реальных каналов связи. Многолучевое затухание, затенения, и другие факторы вынуждают систему когнитивного радио работать в условиях сложной помеховой обстановке. Некоторые лицензированные сигналы (например, цифровое телевидение) должны быть детектированы при низком значении SNR.

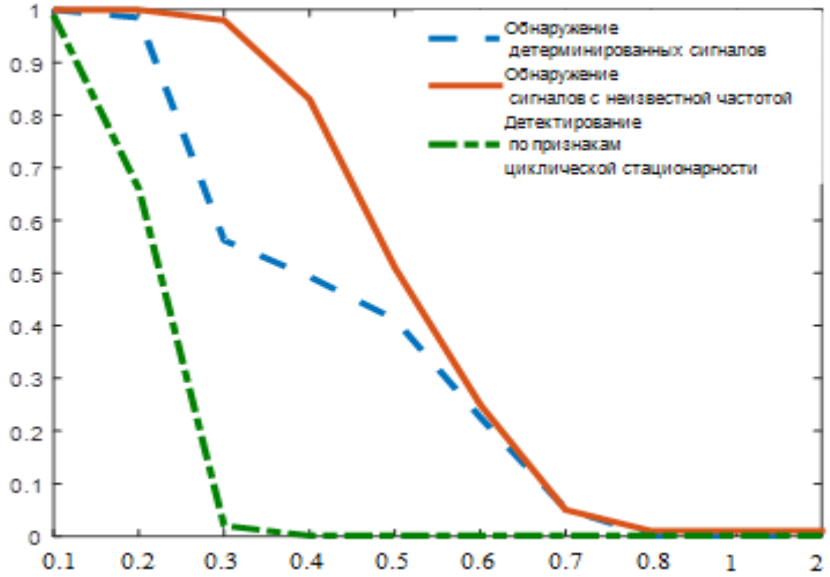


Рис. 6. Сравнительный график трех методов детектирования сигнала
Fig. 6. Comparative graph of three methods of signal detection

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Из проведенного анализа видно, что даже наиболее точный метод детектирования по циклостационарности при низких значениях сигнал/шум не может гарантировать точность определения. В таких случаях система может сталкиваться с проблемой неопределенности присутствия первичного пользователя. Поэтому для стабильности работы системы необходимо применять дополнительные инструменты из области методов принятия решения.

Исследования выполнены при поддержке гранта РФФИ № 17-07-00268

Список литературы

1. Гурьянов, И.О. Когнитивное радио: новые подходы к обеспечению радиочастотным ресурсом перспективных радиотехнологий / И.О. Гурьянов // Электросвязь. 2012. № 8. С. 5-8.
2. C. R. Stevenson, C. Cordeiro, E. Sofer.“Functional requirements for the 802.22 WRAN standard,” IEEE 802.22-05/0007r46, Sept. 2005.
3. J. Andrews. “Interference cancellation for cellular systems: a contemporary overview,” IEEE Wireless Commun. Mag., vol. 12, no. 2, pp. 19–29, 2005.
4. C. Cordeiro, K. Challapali, and D. Birru. “IEEE 802.22: An introduction to the first wireless standard based on cognitive radios” Journal of communications, vol. 1, no. 1, Apr. 2006.
5. Standard for Wireless Regional Area Networks (WRAN) – Specific requirements - Part 22: Cognitive Wireless RAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications: Policies and procedures for operation in the TV Bands, The Institute of Electrical and Electronics Engineering, Inc. Std. IEEE 802.22.
6. Draft Supplement to STANDARD FOR Telecommunications and Information Exchange Between Systems - LAN/MAN Specific Requirements - Part 11: Wireless Medium Access Control (MAC) and physical layer (PHY) specifications: Specification for Radio Resource Measurement, The Institute of Electrical and Electronics Engineering, Inc. Std. IEEE 802.11k/D0.7, Oct. 2003.

7. D. Dubois and H. Prade, “Possibility theory in information fusion. Third Intern. Conf. Information Fusion, 2000.

8. Ролич, М.Л. Методы обнаружения первичных пользователей в когнитивных радиосетях / М.Л. Ролич // Молодой ученый. 2015. № 20. С. 70–73.

9. Теория и методы статистических решений в радиотехнике и связи: учебное пособие / Жиляков Е.Г., Фирсова А.А. – Белгород: Изд-во НИУ «БелГУ», 2014. 51-67с.

10.R. Kumar. “Analysis of Spectrum Sensing Techniques in Cognitive Radio” International Journal of Information and Computation Technology, vol. 4, no. 4, 2014 pp. 437-444.

References

1. Guryanov, I.O. Cognitive radio: new approaches to providing radio frequency resources of promising radio technologies / I.O. Guryanov // Electrosvyaz. 2012. No. 8. P. 5-8.

2. C. R. Stevenson, C. Cordeiro, E. Sofer. "Functional requirements for the 802.22 WRAN standard," IEEE 802.22-05 / 0007r46, Sept. 2005.

3. J. Andrews."Interference cancellation for cellular systems: a contemporary overview," IEEE Wireless Commun. Mag., Vol. 12, no. 2, pp. 19-29, 2005.

4. C. Cordeiro, K. Challapali, and D. Birru. "IEEE 802.22: An introduction to the first wireless standard based on cognitive radios" Journal of Communications, vol. 1, no. 1, Apr. 2006.

5. Standard for Wireless Regional Area Networks (WRAN) - Specific requirements - Part 22: Cognitive Wireless RAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications: Policies and procedures for the TV Bands, The Institute of Electrical and Electronics Engineering, Inc. Std. IEEE 802.22.

6. Draft Supplement to STANDARD FOR Telecommunications and Information Exchange Between Systems - LAN / MAN Specific Requirements - Part 11: Wireless Medium Access Control (MAC) and physical layer (PHY) specifications: Specification for Radio Resource Measurement, The Institute of Electrical and Electronics Engineering, Inc. Std. IEEE 802.11k / D0.7, Oct. 2003.

7. D. Dubois and H. Prade, "Possibility theory in information fusion. Third Intern. Conf. Information Fusion, 2000.

8. Rolich, M.L. Methods for detecting primary users in cognitive radio networks / M.L. Rolich // Young Scientist. 2015. No. 20. P. 70-73.

9. Theory and methods of statistical solutions in radio engineering and communications: Textbook / Zhilyakov EG, Firsova AA - Belgorod: Publishing house of the National Research University "BelGU", 2014. 51-67 s.

10. R. Kumar. "Analysis of Spectrum Sensing Techniques in Cognitive Radio" International Journal of Information and Computation Technology, vol. 4, no. 4, 2014 pp. 437-444.

Белов Сергей Павлович, доктор технических наук, профессор, профессор кафедры организации и технологии защиты информации

Жиляков Евгений Георгиевич, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой информационно-телекоммуникационных систем и технологий

Белов Александр Сергеевич, кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры организации и технологии защиты информации, к.т.н., Белгородский университет кооперации

Золотарь Николай Иванович, аспирант кафедры информационно-телекоммуникационных систем и технологий

Belov Sergey Pavlovich, Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor of the Department of Organization and Technology of Information Protection

Zhilyakov Evgeny Georgievich, Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department of Information and Telecommunication Systems and Technologies

Belov Alexander Sergeevich, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Organization and Technology of Information Protection

Zolotar Nikolai Ivanovich, postgraduate student of the Department of Information and Telecommunication Systems and Technologies

УДК 621.316.824 **DOI: 10.18413/2518-1092-2018-3-3-0-6**

Смирнов А.В.[1]
Безручко В.В.[1]
Басов О.О.[2]

ПРОТОТИП УСТРОЙСТВА ВНЕСЕНИЯ НЕИСПРАВНОСТЕЙ В ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ КАБЕЛЬ СВЯЗИ

[1)] Федеральное государственное казённое военное образовательное учреждение высшего образования «Академия Федеральной службы охраны Российской Федерации», ул. Приборостроительная, д. 35, г. Орёл, 302034, Россия
[2)] Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики», Кронверкский пр., д. 49, г. Санкт-Петербург, 197101, Россия

e-mail: sav_smirnof@mail.ru, vlvd@mail.ru, oobasov@mail.ru

Аннотация
На основе проведенного ранее имитационного моделирования процесса возникновения неисправностей в электрическом кабеле связи и натурного моделирования устройства внесения таких неисправностей разработан его прототип. Рассмотрены назначение, внешний вид и возможности прототипа устройства внесения неисправностей в электрический кабель связи. Представлены схемы исполнительного модуля и управляющей части разработанного прототипа. Определены пути исследования влияния неисправностей в кабеле связи на качество передачи информации в системах передачи с помощью разработанного устройства.
Ключевые слова: линия связи, электрический кабель, неисправность, повреждение изоляции, короткое замыкание, асимметрия сопротивления.

UDC 621.316.824

Smirnov A.V.[1]
Bezruchko V.V.[1]
Basov O.O.[2]

PROTOTYPE OF THE DEVICE INTENDED FOR CAUSING FAULT IN THE ELECTRICAL COMMUNICATION CABLE

[1)] Federal state military educational institution of higher professional education "Academy of the Federal security service of the Russian Federation", 35 Priborostroitelnaya St, Orel, 302034, Russia
[2)] Saint Petersburg National Research University of Information Technologies, Mechanics and Optics, 49 Kronverkskiy prospekt, St. Petersburg, 197101, Russia

e-mail: sav_smirnof@mail.ru, vlvd@mail.ru, oobasov@mail.ru

Abstract
Based on the simulation of the process of faults in the electrical communication cable and the simulation of the device for making such faults, a prototype was developed. The purpose, appearance and capabilities of the prototype of the device for introducing malfunctions into the electrical communication cable are considered. The schemes of the executive module and the control part of the developed prototype are presented. The ways of studying the influence of faults in the communication cable on the quality of information transmission in transmission systems using the developed device are determined.
Keywords: communication line, electrical cable, fault, insulation damage, short circuit, asymmetry, resistance.

ВВЕДЕНИЕ

Территориальная распределенность абонентов систем связи общего пользования и географическая протяженность нашей страны обуславливают необходимость применения современных аппаратно-программных средств и направляющих сред телекоммуникаций значительной длины [1, 2].

При установленных закономерностях влияния применяемых технологий и характеристик среды передачи на качество транспортируемой информации до настоящего времени нерешенной остается задача определения взаимосвязи ошибок в работе аппаратно-программного средства связи и неисправностей, возникающих в тракте передачи на различных уровнях его предоставления (согласно ЭМВОС) [3]. В этой связи создание устройства внесения неисправностей в кабель связи и его использование в изучаемых системах является актуальной научной задачей. Учитывая значительные преимущества оптических кабелей связи над электрическими в отношении подверженности влиянию внешних воздействий, естественным ограничением при решении поставленной научной задачи является рассмотрение в качестве объекта исследования только электрических кабелей связи, получивших широкое распространение в сетях доступа [4–6].

На основе полученных в [7] данных для исследования влияния неисправностей в четырехпроводном экранированном электрическом кабеле связи на качество передачи информации в системах связи было предложено соответствующее устройство (рис. 1).

Рис. 1. Внешний вид устройства внесения неисправностей в электрический кабель связи
Fig. 1. Appearance of the device for making faults in the electrical communication cable

К основным возможностям устройства внесения неисправностей относятся:

1) подключение любого четырехпроводного экранированного кабеля связи;
2) получение команд от внешней управляющей ПЭВМ посредством локальной вычислительной сети (LAN);
3) имитация длины (до 10 км) электрического кабеля связи путем изменения сопротивления его жил и экрана;
4) имитация омической асимметрии электрического кабеля связи;
5) имитация основных неисправностей электрического кабеля связи (короткого замыкания и снижения сопротивления изоляции (в том числе относительно экрана), обрыв жил и экрана;
6) индикация основных режимов работы;
7) индикация установленного режима неисправностей или сымитированных неисправностей;
8) передача информации о режиме работы устройства (установленном режиме неисправностей, сымитированных неисправностях) во внешнюю управляющую ПЭВМ посредством локальной вычислительной сети;
9) перепрограммирование устройства через USB-порт.

Устройство внесения неисправностей в электрический кабель связи состоит из исполнительного модуля (рис. 2) и управляющей части (рис. 3).

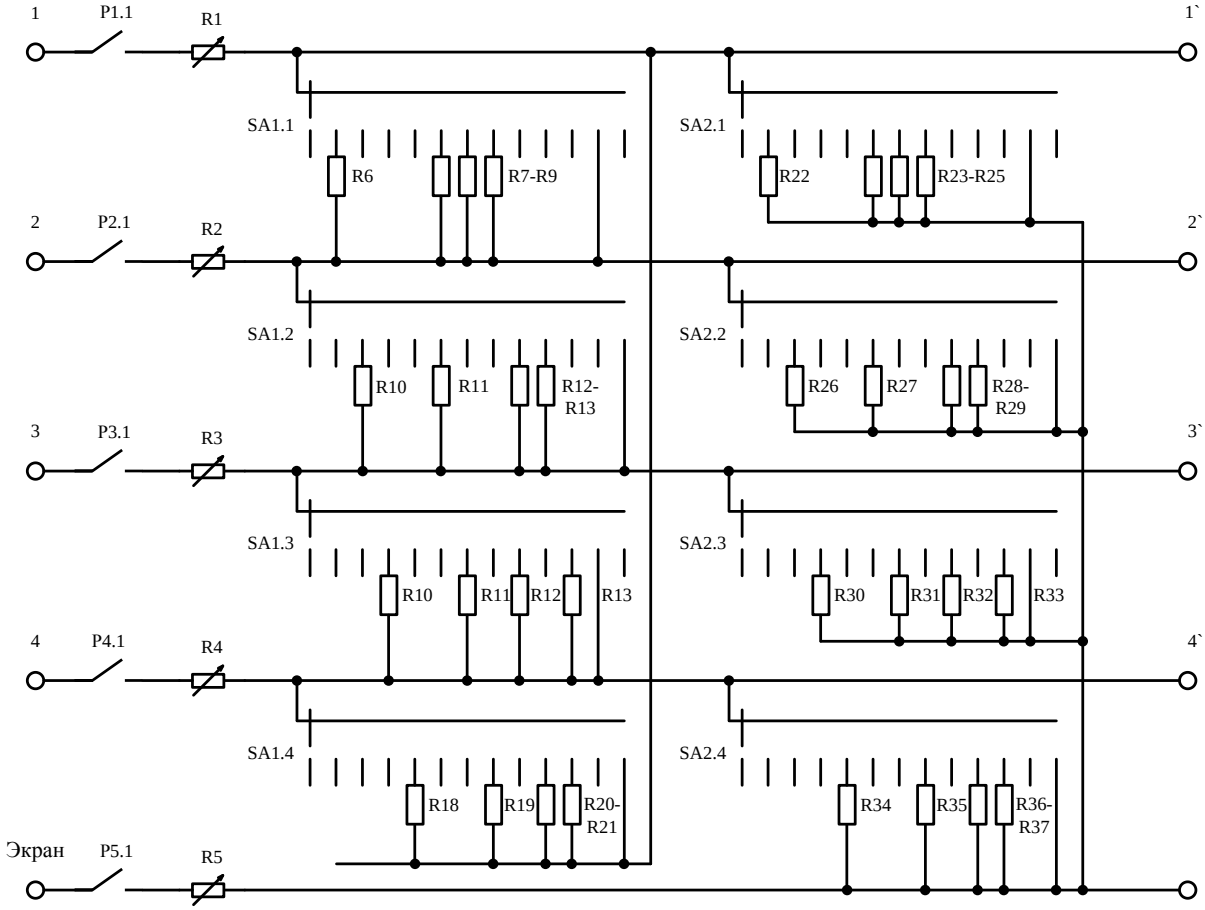
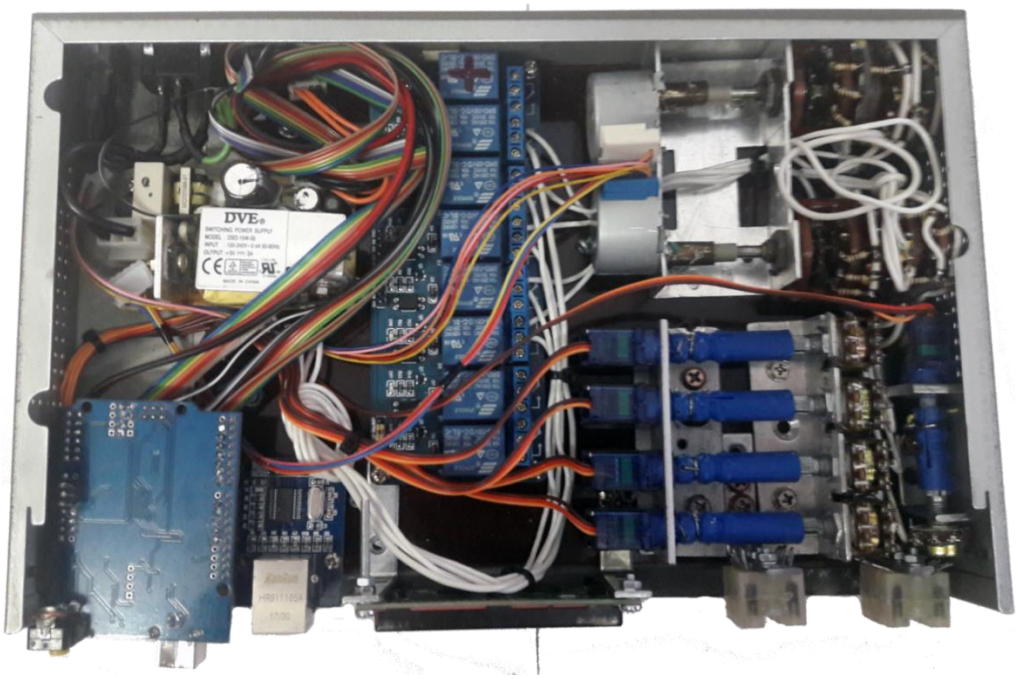


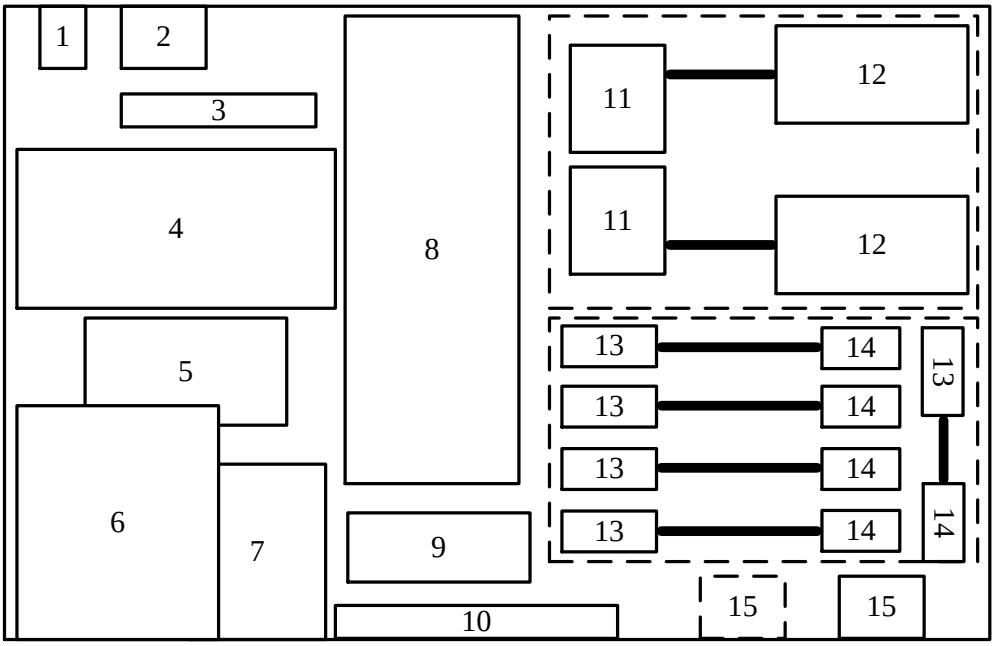
Рис. 2. Принципиальная схема исполнительной части устройства внесения неисправностей в электрический кабель связи

Fig. 2. Schematic diagram of the executive part of the device for making faults in the electrical communication cable

Исполнительный модуль (рис. 2) предназначен для разрыва электрических цепей между входными (1–2–3–4–Экран) и выходными (1`–2`–3`–4`–Экран) клеммами с помощью контактов реле *P*1–*P*5, установки в требуемые положения переменных резисторов *R*1-*R*5, селекторных многопозиционных переключателей *SA*1 и *SA*2. В схеме применены переменные резисторы *R*1–*R*4 с номинальным сопротивлением 2 кОм, *R*5 – с номинальным сопротивлением 1 кОм. Снижение сопротивления изоляции (в том числе относительно экрана) осуществляется в различных комбинациях (путем установки соответствующего положения переключателей *SA*1 и *SA*2) резисторами *R*6–*R*37, номиналом 10 Мом.



а)



б)

Рис. 3. Размещение основных модулей устройства внесения неисправностей в электрический кабель связи: а) внешний вид; б) схема
1 – кнопка включения питания; 2 – разъем питания; 3 – преобразователь тока; 4 – блок питания; 5 – ШИМ-модуль; 6 – плата Arduino UNO; 7 – Ethernet-модуль; 8 – релейный модуль; 9 – драйверы; 10 - ЖК-дисплей; 11 – шаговый двигатель; 12 – многопозиционный переключатель; 13 – сервопривод; 14 – переменный резистор; 15 – входные и выходные клеммы

Fig. 3. Placing the main modules in the device for making faults in the electrical communication cable: а) appearance; б) diagram
1 – power button; 2 – power connector; 3 – current converter; 4 – power supply; 5 – PWM module; 6 –Arduino UNO; 7 – Ethernet module; 8 – relay module; 9 – drivers; 10 - LCD display; 11 – stepper motor; 12 – multi-position switch; 13 – servo; 14 – variable resistor; 15 – input and output terminals

Управляющая часть устройства внесения неисправностей четырехпроводный экранированный электрический кабель связи (рис. 3) состоит из:

– платы *Arduino UNO;*
– 8-канального релейного модуля;
– 16-канального ШИМ-модуля PCA9685;
– Ethernet-модуля ENC28J60;
– символьного ЖК-дисплея LCD 1602 (HD44780);
– пяти сервоприводов Micro servo sg90;
– двух шаговых двигателей 28BYJ-48 с драйверами ULN2003;
– блока питания;
– преобразователь тока;
– блока индикации и управления.

Плата Arduino UNO представляет собой платформу для разработки устройств на базе микроконтроллера ATmega328P. Платформа имеет 14 цифровых вход/выходов, 6 аналоговых входов, кварцевый генератор 16 МГц, разъем USB, силовой разъем, разъем ICSP и кнопку перезагрузки.

Технические характеристики Arduino Nano:

– напряжение питания 5 В;
– входное питание 7 В – 12 В (рекомендованное);
– количество цифровых выводов – 14;
– 6 аналоговых входов;
– максимальный ток цифрового выхода 40 мА;
– флэш- память 16 Кб или 32 Кб, в зависимости от чипа;
– ОЗУ 1 Кб или 2 Кб, в зависимости от чипа;
– EEPROM 512 байт или 1 Кб;
– частота 16 МГц;
– размеры 69 мм×53 мм×12 мм;
– вес 29 г.

Питание платы может осуществляться двумя способами:

– через mini-USB или micro-USB при подключении к ПЭВМ;
– через внешний источник питания, имеющий напряжение 6–20 В с низким уровнем пульсаций.

Стабилизация внешнего источника выполняется при помощи схемы LM1117IMPX-5.0 на 5 В. При подключении через кабель от компьютера подключение к стабилизатору происходит через диод Шоттки.

Дополнительно на плате Arduino UNO вместо разъема для подключения внешнего источника питания размещена кнопка (с фиксацией положения) «ВКЛ ПИТ» (рис. 1).

Восьмиканальный релейный модуль предназначен для включения (выключения) реле P1-P5. Технические характеристики модуля:

– рабочий ток одного реле 15 мА – 20 мА;
– управляющее напряжение реле 5 В;
– светодиодная индикация состояния каждого реле;
– физические размеры 160×60×18 мм;
– вес 57 г.

16-канальный ШИМ-модуль PCA9685 предназначен для подключения 5 сервоприводов и двух шаговых двигателей с драйверами ULN2003 к Arduino UNO. Предусмотрена отдельная подача напряжения питания для них. Технические характеристики модуля:

– напряжение питания 2,3–5,5 В;
– предельное потребление 12 мА;

– ток потребления в спящем режиме 1 мА;
– напряжение питания нагрузки – до 6 В;
– ток питания одной нагрузки 25 мА;
– суммарное потребление всех нагрузок 400 мА;
– частота ШИМ – 40–1000 Гц;
– количество подключаемых нагрузок: 16;
– размер 66×25 мм;
– вес 11 г.

Ethernet-модуль ENC28J60 предназначен для управления устройством внесения неисправностей по локальной вычислительной сети. Технические характеристики модуля:
– интерфейс связи с Arduino UNO: SPI;
– напряжение питания 3.3 В;
– частота работы 25 МГц;
– размер 55×36 мм.

Символьного ЖК-дисплея LCD 1602 (HD44780) предназначен для вывода режимов работы устройства, подсказок и приветствий. Технические характеристики ЖК-дисплея:
– формат: 16×2 символа;
– видимая область: 64,5×13,8 мм;
– размер символа 4,35×2,95 мм;
– размер точки: 0,5×0,5 мм;
– подсветка: голубая;
– цвет символов: белый;
– интерфейс HD44780;
– напряжение питания 5 В;
– рабочая температура: 0–50ºС;
– размеры: 80×36 мм.

Сервопривод Micro servo sg90 позволяет установить и удерживать угол поворота переменного резистора *R*1–*R*5. Технические характеристики сервопривода:
– диапазон вращения 180°;
– крутящий момент 1,3 кг·см при 4,8 В;
– скорость вращения: 60° за 0,12 сек при 4,8 В;
– напряжение питания 4,8–6 В;
– потребляемый ток: 200 мА (макс. 500 мА);
– внутренний интерфейс: аналоговый;
– материал шестерней: нейлон;
– материал корпуса: пластик;
– размеры 23,2×12,5×22 мм;
– вес 9 г.

Шаговые двигатели 28BYJ-48 с драйверами ULN2003 предназначены для установки в требуемое положение переключателей *SA*1, *SA*2. Технические характеристики шагового двигателя 28BYJ-48:
– номинальное напряжение питания 5 В;
– количество фаз – 4;
– количество шагов – 64;
– шаг 5.625 град.;
– номинальная частота 100 Гц;
– номинальное сопротивление обмоток (при 25 град) 50 Ом;
– частота холостого хода (по/против часовой стрелки) 600/1000 Гц;
– крутящий момент (по часовой стрелке, при частоте 120 Гц) 34,3 Н/м;

– вращающий момент 34,3 Н/м;
– момент трения (сопротивление вращению) 600-1200 г/см;
– номинальная тяга 3500 г/см;
– уровень шума <40 дБ.

Преобразователь тока предназначен для уменьшения тока, выдаваемого блоком питания, со значения 2А до значения 0,3 А, требуемого для корректной работы платы Arduino UNO. Технические характеристики преобразователя:

– входное напряжение от 3 В до 40 В;
– выходное напряжение от 1.5 В до 35 В;
– выходной ток от 0,2 А до 3 А;
– высокий КПД;
– размеры 45×20×14 мм.

Блок питания представляет собой понижающий преобразователь напряжения.

Блок индикации и управления предназначен для индикации соединения и передачи данных между управляющей ПЭВМ и платой Arduino UNO в режиме ее программирования с помощью светодиода «LINK», индикации наличия напряжения питания 5 В на плате Arduino UNO с помощью светодиода «+5 В», сброса программы микроконтроллера ATmega328P с помощью кнопки «СБРОС».

Принципиальная электрическая схема управляющей части устройства внесения неисправностей в электрический кабель связи представлена на рисунке 4.

Функционирование устройства основано на получении команд от внешней управляющей ПЭВМ по локальной вычислительной сети и имитации требуемых (заданных) неисправностей в четырехпроводном экранированном электрическом кабеле связи. Наличие в схеме устройства внесения неисправностей в электрический кабель связи входных (1–2–3–4–Экран) и выходных (1`–2`–3`–4`–Экран) клемм для включения в линию связи, пяти переменных резисторов $R1$–$R5$ для имитации различной длины электрического кабеля, изменения сопротивления его жил и экрана, омической асимметрии, двух селекторных переключателей $SA1$, $SA2$ для имитации короткого замыкания и снижения сопротивления изоляции (в том числе относительно экрана), реле $P1$–$P5$, управляемые выходы которого позволяют имитировать обрыв жил и экрана обеспечивает возможность имитации всех возможных неисправностей в четырехпроводном экранированном электрическом кабеле связи.

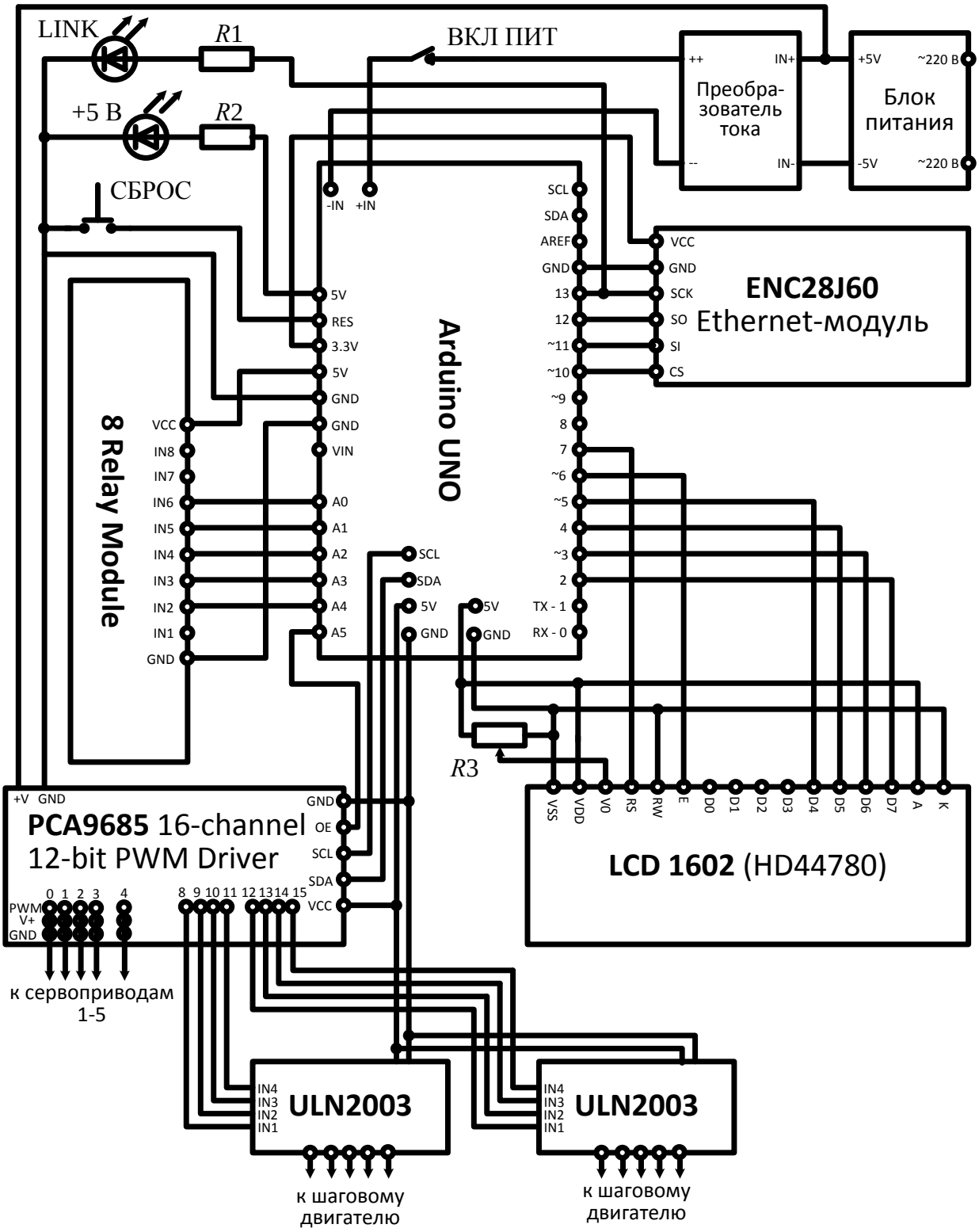


Рис. 4. Принципиальная электрическая схема управляющей части устройства внесения неисправностей в электрический кабель связи

Fig. 4. Schematic diagram of the control part of the device for making faults in the electrical communication cable

Для исследования влияния неисправностей в кабеле связи на качество передачи информации в дальнейшем предполагается использовать разработанный прототип устройства в совокупности с реальным кабелем связи П-296 при организации систем передачи различного типа.

Список литературы

1. Кучерявый А.Е., Цуприков А.Л. Сети связи следующего поколения. – М.: ФГУП ЦНИИС, 2006. – 278 с.
2. Мардер Н.С. Современные телекоммуникации. – М.: ИРИАС, 2006. – 384 с.
3. Трегубов Р.Б. Теоретические основы анализа и оптимизации иерархических многоуровневых маршрутизирующих систем. Монография; под ред. проф. Саитова И.А. – Орёл, 2016. – 585 с.
4. Agrawal G.P. Fiber-Optic Communications Systems; Third Edition. – John Wiley & Sons, Inc., 2002. – 561 p.
5. Андреев В.А., Портнов Э.Л. Направляющие системы электросвязи: учебник для вузов. В 2-х томах. Том 1 – Теория передачи и влияния. – 7-е изд., перераб. и доп. – М.: Горячая линия – Телеком, 2006. – 424 с.
6. Парфенов Ю.А., Мирошников Д.Г., Цифровые сети доступа. – М.: Натекс-Экотрендз, 2005. – 288 с.
7. Смирнов А.В., Волощенко И.С., Кузнецов А.В., Басов О.О. Имитационное и натурное моделирование устройства внесения неисправностей в электрический кабель связи // Научный результат. Информационные технологии. – Том 3, Выпуск №1, 2018. – С. 36–42.

References

1. Kucheryavyj A.E., TSuprikov A.L. Seti svyazi sleduyushhego pokoleniya. – M.: FGUP TSNIIS, 2006. – 278 s.
2. Marder N.S. Sovremennye telekommunikatsi. – M.: IRIAS, 2006. – 384 s.
3. Tregubov R.B. Teoreticheskie osnovy analiza i optimizatsii ierarkhicheskikh mnogourovnevykh marshrutiziruyushhikh sistem; Monografiya; pod red. prof. Saitova I.A. – Oryol, 2016. – 585 s.
4. Agrawal G.P. Fiber-Optic Communications Systems; Third Edition. – John Wiley & Sons, Inc., 2002. – 561 p.
5. Andreev V.A., Portnov Je.L. Napravljajushhie sistemy jelektrosvjazi: uchebnik dlja vuzov. V 2-h tomah. Tom 1 – Teorija peredachi i vlijanija. – 7-e izd., pererab. i dop. – M.: Gorjachaja linija – Telekom, 2006. – 424 s.
6. Parfenov Ju.A., Miroshnikov D.G. Cifrovye seti dostupa. – M.: Nateks-Jekotrendz, 2005. – 288 s.
7. Smirnov A.V., Voloshhenko I.S., Kuznetsov A.V., Basov O.O. Imitatsionnoe i naturnoe modelirovanie ustrojstva vneseniya neispravnostej v ehlektricheskij kabel' svyazi // Nauchnyj rezul'tat. Informatsionnye tekhnologii. – Tom 3, Vypusk №1, 2018. – S. 36–42.

Смирнов Андрей Вячеславович, студент Академии Федеральной службы охраны Российской Федерации
Безручко Валерий Владимирович, кандидат технических наук, сотрудник Академии Федеральной службы охраны Российской Федерации
Басов Олег Олегович, доктор технических наук, профессор кафедры речевых информационных систем

Smirnov Andrey Vajcheslavovich, student Academy of the Federal security service of the Russian Federation
Bezruchko Valerij Vladimirovich, candidate of technical sciences, Academy of the Federal security service of the Russian Federation
Basov Oleg Olegovich, doctor of technical sciences, Professor of Department of Speech Information Systems

УДК 004.9 **DOI: 10.18413/2518-1092-2018-3-3-0-7**

Сойникова Е.С.[1]
Батищев Д.С.[1]
Михелев В.М.[2]

О РАСПОЗНАВАНИИ ФОРМЕННЫХ ОБЪЕКТОВ КРОВИ НА ОСНОВЕ МЕДИЦИНСКИХ ИЗОБРАЖЕНИЙ

[1)] Белгородский государственный национальный исследовательский университет, ул. Победы д. 85, г. Белгород, 308015, Россия
[2)] Белгородский государственный технологический университет им. В.Г.Шухова, ул. Костюкова д. 46, г. Белгород, 308012, Россия

e-mail: batishchev@bsu.edu.ru

Аннотация
В данной статье рассматривается задача постановки возможного диагноза по гематологическому анализу цифрового изображения эритроцитов. Описываются шаги по предварительной обработке изображения для уменьшения шумов и точности сегментации объектов клеток на классы. Для каждого этапа приведены примеры работы фильтров. Заключительным шагом является построение гистограммы распределения площадей объектов клеток – кривая Прайс-Джонса. По форме гистограммы можно предположить о наличии заболевания у человека, у которого взяли препарат крови на исследование. В заключении статьи приводятся описания типичных заболеваний, которые могу быть выявлены с помощью такого рода анализа. Для реализации анализа реализована программа на языке Python 2.7 с библиотеками OpenCV и Seaborn.
Ключевые слова: гематологический анализ; сегментация изображения; компьютерное зрение.

UDC 004.9

Soynikova E. S.[1]
Batishchev D.S.[1]
Mikhelev V.M.[2]

ABOUT BLOOD FORMED ELEMENTS DETECTION BASED ON MEDICAL IMAGES

[1)] Belgorod State National Research University, 85 Pobedy St., Belgorod, 308015, Russia
[2)] Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov, 46 Kostyukova St., Belgorod, 308012, Russia

e-mail: batishchev@bsu.edu.ru

Abstract
This article is about implementing a hematological analysis through computer vision algorithms. This type of analysis is one of the basic analyses providing huge amount information about patient and his state. We propose a pipeline with a few steps for image preprocessing thus image become more contrast and noiseless. At first image color space converting – so we separate a luminance channel and ignore other channels (due to source image features). Then we blur image with Gaussian filter and apple CLAHE filter for contrast improvement, so background pixels form more homogenous areas and become less bright in comparison to cell's pixels. The next step is background removal and image binarization based on Otsu algorithm for border pixel luminance level detection. Afterwards we extract an array of contours from binary image and use this array as an input source for Watersched algorithm. As a result, we have a color image where every single class of object has its own color and an array of object. This array then used as a source for cells diameters distribution histogram – a Price-Jones curve. All described steps implemented in Python 2.7 with OpenCV and Seaborn libraries.
Keywords: hematological analysis, image segmentation, computer vision.

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время интенсивно развиваются интеллектуальные системы, предназначенные для автоматической обработки медицинских изображений. Автоматизированная обработка и анализ медицинских изображений являются универсальным инструментом медицинской диагностики [1][2]. Современные системы гематологического анализа позволяют выполнить предварительную классификацию клеток крови. Например, такие системы эффективно сортируют лейкоциты (8–10% ошибок) и обеспечивают более детальную информативность анализов крови [3][4].

Классификация клеток крови на микроскопическом изображении представляет собой, в терминах компьютерного зрения, задачу распознавания объектов. Стандартный подход к решению этой задачи предусматривает следующие два этапа:

- разделение (сегментация) изображения на области, соответствующие объектам и фону;
- непосредственно распознавание объектов, включающее в себя выделение характерных признаков объектов и распределение объектов в соответствии с их признаками по классам.

Примерно за пять десятилетий развития компьютерного зрения как науки предложено множество методов сегментации изображений, формирования векторов признаков объектов и их классификации. Такое разнообразие [5] ставит перед исследователем непростую проблему выбора методов, наиболее адекватных специфике конкретной задачи.

Специфика задачи сказывается на формировании векторов признаков объектов, на выборе метода сегментации, а так же классификатора.

Таким образом, при выборе стратегии решения данной задачи особое внимание должно быть уделено изучению опыта применения различных методов сегментации микроскопических изображений и характерным признакам, используемым для классификации клеток крови.

Основным результатом сегментации микроскопического изображения мазка крови является выделение объектов интереса (клеток крови) с целью их дальнейшей классификации. Качество сегментации – ключевой фактор для получения адекватных значений характерных признаков объекта. Так, в работе [6] отмечено, что более половины ошибок классификации лейкоцитов были обусловлены неправильной сегментацией.

Основные причины, ведущие к ошибкам сегментации микроскопических изображений: перекрывание одной клетки другой, сильная вариация клеток по форме и размеру, воздействие разных факторов на внешний вид клетки, слабая контрастность изображений, зашумленность и артефакты на снимке препарата. Также влияет окраска препаратов крови: часто после окраски контрастность контуров структурных элементов внутри клетки превышает контрастность границ самой клетки, это может вызвать пересегментацию изображения, либо потерю части пикселе внутри объекта клетки.

Предлагаемый нами [7] метод предварительной обработки изображений предусматривает следующие этапы:

Смена цветового пространства

Перевод изображения в цветовое пространство HSL (HLS в представлении OpenCV) с выделением отдельно канала L – светимость конкретного пикселя. Специфика исходных данных (изначально изображения представлены в оттенках серого) позволяет первым этапом выделить один канал и с ним дальше работать. Также, большинство методов OpenCV, необходимых для обработки изображения, тоже работают с одним каналом. В этом есть и доля оптимизации – нет необходимости на каждом этапе L-канал из изображения и в конце восстанавливать канальность изображения в исходное состояние, за исключением методов работы с многоканальными изображениями, но, в любом случае, это вычислительно дешевле, нежели выделение и пересборка изображения на каждом этапе.

В общем виде перевод цветового пространства изображения из RGB в HSL можно записать как:

$$V_{\max} \leftarrow \max(R, G, B)$$
$$V_{\min} \leftarrow \min(R, G, B)$$
$$L \leftarrow \frac{V_{\max} + V_{\min}}{2}$$
$$S \leftarrow \begin{cases} \dfrac{V_{\max} - V_{\min}}{V_{\max} + V_{\min}}, L < 0.5 \\ \dfrac{V_{\max} - V_{\min}}{2 - (V_{\max} + V_{\min})}, L \geq 0.5 \end{cases}$$
$$H \leftarrow \begin{cases} \dfrac{60(\mathrm{G} - \mathrm{B})}{\mathrm{S}}, V_{\max} = R \\ 120 + \dfrac{60(\mathrm{B} - \mathrm{R})}{\mathrm{S}}, V_{\max} = G \\ 240 + \dfrac{60(\mathrm{R} - \mathrm{G})}{\mathrm{S}}, V_{\max} = B \end{cases}$$

Но, так как в изображении в оттенках серого каждый пиксель в RGB кодируется одинаковыми значениями для каждой компоненты, достаточно выделить один любой канал в качестве L-канала HSL. Однако, правильное разложение по каналом оставлено на тот случай, если выходные данные будут представляться полноцветными изображениями.

Удаление фона

Удаление заднего фона на изображениях: в некоторых местах есть области пересвечивания пикселей и наоборот – затемнения, из-за которых происходит неправильное контурирование клетки. Так как изначально изображение зашумлено, необходимо также сгладить перепады между группой соседних пикселей.

Сглаживание изображения просто сделать через размытие по Гауссу. Ядра размером 3x3 вполне достаточно, чтобы убрать неравномерности в шумах фона, но в то же время не потерять границы объектов. Пример сглаживания представлен на рис. 1.

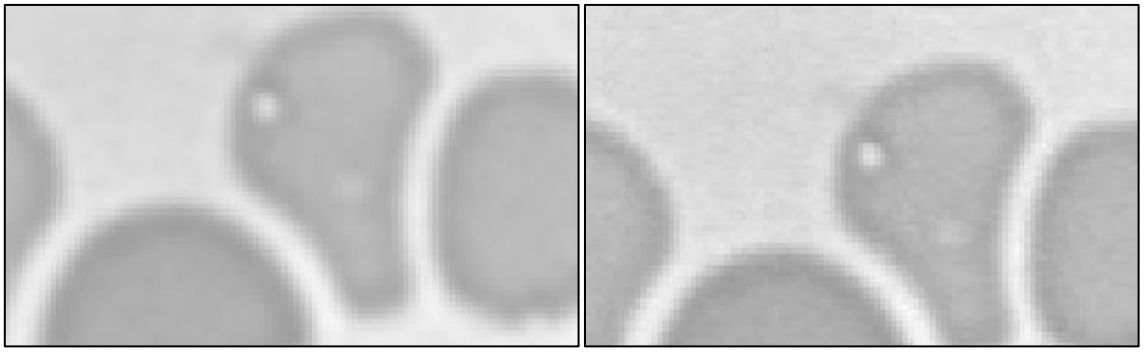


Рис. 1. Применение размытия Гаусса. Слева – размытое изображение, справа – оригинал
Fig. 1. Gaussian blur application. On the left – the blurred image, on the right – source one

После выравнивания фоновых пикселей изображения необходимо увеличить контрастность изображения, чтобы при удалении фоновых пикселей оставить пиксели объектов, которые примерно равны по светимости фоновым.

Для увеличения контрастности изображения используется алгоритм CLAHE (Contrast Limited Adaptive Histogram Equalization) [8]. Данный алгоритм, как и все алгоритмы с

выравниванием гистограммы, использует функцию плотности вероятности (1) и кумулятивную функцию плотности (2) для приведения гистограммы интенсивности светимости пикселей к нужному виду. Если принять, что N – количество пикселей в изображении, L – общее количество оттенков серого (уровней интенсивности) на изображении, а n_k – это общее количество пикселей со светимостью l_i, то функция плотности вероятности и кумулятивная функция плотности будут иметь вид:

$$f_i(i_k) = \frac{n_k}{N} \tag{1}$$

$$F_k(i_k) = \sum_{j=0}^{k} f_i(i_k) \tag{2}$$

Отличие CLAHE от других алгоритмов в том, что он выполняет эквализацию на ограниченной области изображения с предварительно ограниченной гистограммой светимости. Таким образом, он более устойчив к порождению шума на гомогенных областях.

Результат применения алгоритма CLAHE на исследуемом изображении приведен на рисунке 2.

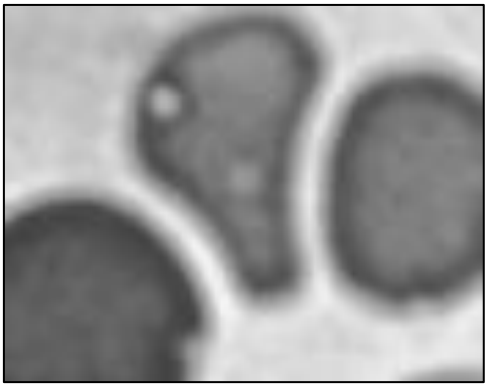


Рис. 2. Применения алгоритма CLAHE
Fig. 2. CLAHE filter application

Теперь, когда клетки (объекты) сильно контрастируют с фоном, можно удалить фоновые пиксели с изображения.

$x_i = \begin{cases} 255, x_i \geq mean(X) * 0.9 \\ x_i, в\ остальных\ случаях \end{cases}$, *где* x_i *– светимость i-го пикселя изображения, X – множество всех пикселей.*

То есть, в том случае, если светимость пикселя больше или равна 90% средней светимости по всему изображению, ему присваивается значение 255 – белый цвет, остальные пиксели неизменны. Значение в 90% было подобрано эмпирически. При таком пороге удаляются практически все фоновые пиксели, при этом остаются неизменными пиксели объектов. Пример удаления фона приведен на рисунке 3.

Рис. 3. Результат удаления фоновых пикселей
Fig. 3. Background removal result

Бинаризация изображения

Следующим шагом необходимо выполнить бинаризацию изображения, то есть приведение изображение к виду, когда каждый пиксель кодируется либо единицей, либо нулем. Этот шаг необходим, так как некоторые последующие функции OpenCV используют бинарное изображение, как один из аргументов.

Выбор порога сегментации выполняется по методу Оцу. Так как после предыдущего шага на изображении присутствует как бы два класса пикселей – фоновые и объектные, Оцу подходит для определения границы бинаризации лучше – выше будет межклассовая дисперсия. Пример бинаризации изображения приведен на рисунке 4.

Рис. 4. Бинаризация изображения
Fig. 4. Image binarization

Определение контуров объектов на бинарном изображении

Далее по списку – определение контуров объектов на бинаризованном изображении.

В OpenCV используется алгоритм топологического структурного анализа бинарных изображений, предложенный Сатоши Сузуки и Кейчи Эйбом[8]. Алгоритм предполагает нахождение контуров с учетом вложенности, то есть способен определить, когда в контур одного объекта вложен другой. В предметной области исследования это может возникать при наличии на снимке здоровых двояковогнутых эритроцитов. При этом при засветке вогнутость эритроцита не фиксируется матрицей камеры, таким образом, объект получается с «дыркой», и с точки зрения алгоритма Suzuki85 содержит два объекта, а полную площадь можно посчитать, сложив площади самого объекта и его «дырки».

В OpenCV данный режим для cv::findContours называется CV_RETR_CCOMP. Он извлекает все контуры и организует их в двухуровневую иерархию. На верхнем уровне существуют внешние

границы компонентов. На втором уровне есть границы отверстий. Если в отверстии подключенного компонента есть еще один контур, он все еще находится на верхнем уровне.

Пример выделения контуров объектов представлен на рисунке 5.

Рис. 5. Определение контуров объектов
Fig. 5. Objects contours detection

Выделение каждой клетки в свой класс

Классификация областей: пиксели, которые соответствуют номеру класса, красятся в соответствующий цвет.

Далее для наглядности и удобства расчета площади объекта, найденные контуры заливаются случайными неповторяющимися цветами.

Алгоритм работает с изображением как с функцией от двух переменных f = I(x,y), где x,y – координаты пикселя.

Значением функции может быть интенсивность или модуль градиента. Для наибольшего контраста можно взять градиент от изображения. Если по оси O_z откладывать абсолютное значение градиента, то в местах перепада интенсивности образуются хребты, а в однородных регионах – равнины. После нахождения минимумов функции f, идет процесс заполнения “водой”, который начинается с глобального минимума. Как только уровень воды достигает значения очередного локального минимума, начинается его заполнение водой. Когда два региона начинают сливаться, строится перегородка, чтобы предотвратить объединение областей. Вода продолжит подниматься до тех пор, пока регионы не будут отделяться только искусственно построенными перегородками.

В данном случае, информацией о перегородках выступают контуры объектов с предыдущего шага, а значение пикселей на контурах – высотой плато. Таким образом, каждая равнина (группа пикселей, заключенных в контур) является уникальным классом. За счет иерархичности контуров, правильно (в рамках предметной области, то есть не артефакты и ошибки сегментации) заливают и вложенные объекты.

Исходное изображение мазка крови представлено на рисунке 6.

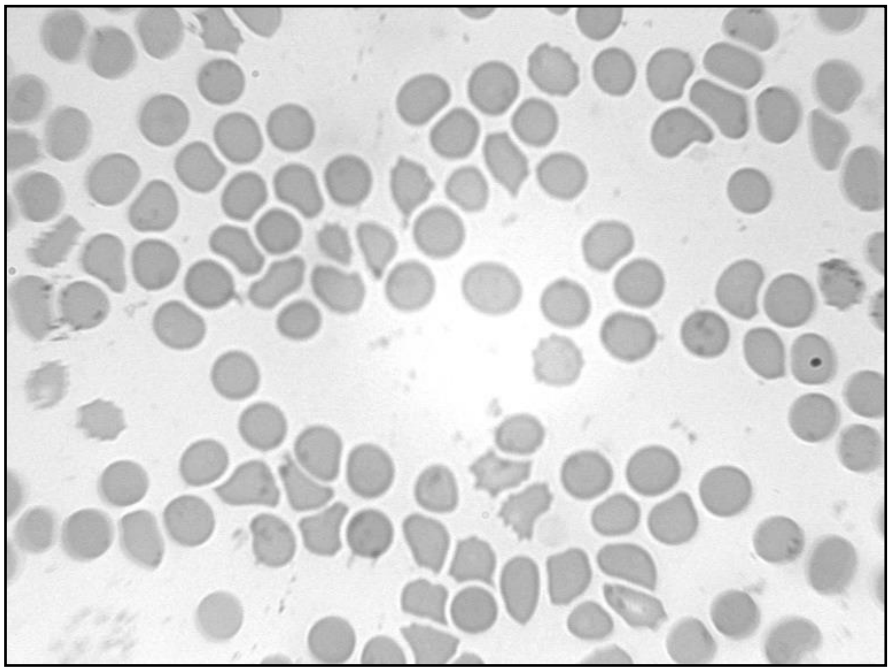


Рис. 6. Исходное изображение мазка крови
Fig. 6. Source image of blood probe

В результате обработки исходного изображения согласно выше приведенного метода мы получаем изображение, представленное на рисунке 7.

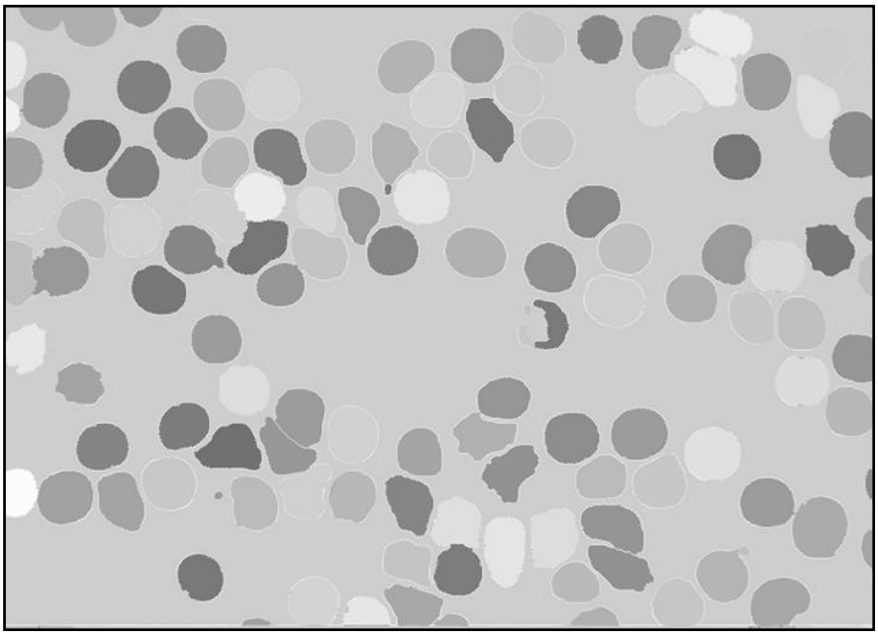


Рис. 7. Изображение мазка крови после предварительной обработки и сегментации
Fig. 7. Source image after preprocessing and segmentation

После предварительной обработки изображения появляется возможность определить площади клеток крови по наиболее тонким и четким контурам.

Из площади клеток крови вычисляем диаметр каждой клетки и строим гистограмму распределения диаметров клеток, которая представлена на рисунке 8. Это возможно, так как мы знаем, что каждый пиксель на изображении занимает 0,154 мкм, в нашем случае.

Кривая Прайса-Джонса может быть представлена как кривая плотности вероятности вхождения клетки в определенный класс (рисунок 9). Где по оси абсцисс откладывают величину площади эритроцитов (в мкм), а по оси ординат — вероятность вхождения клетки в свой класс, класс в данном случае – диаметр клетки.

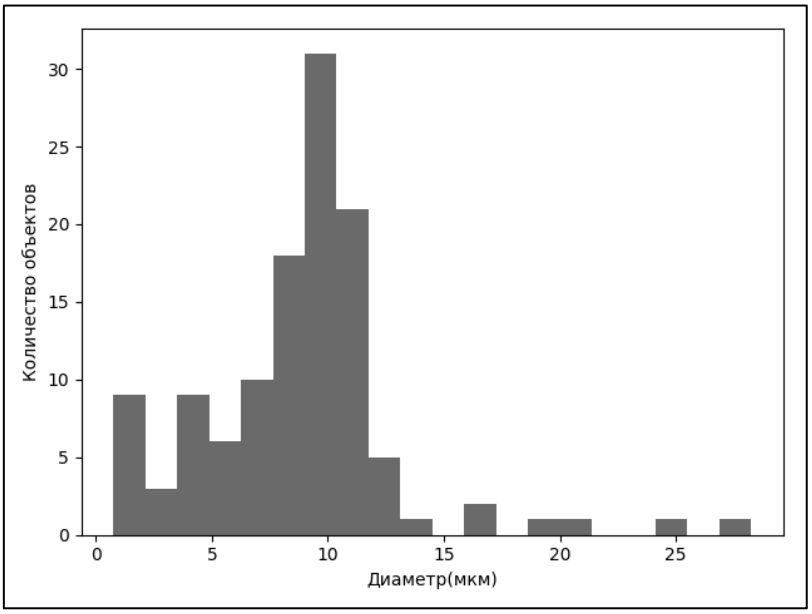


Рис. 8. Гистограмма распределения диаметров эритроцитов
Fig. 8. An erythrocytes diameters distribution histogram

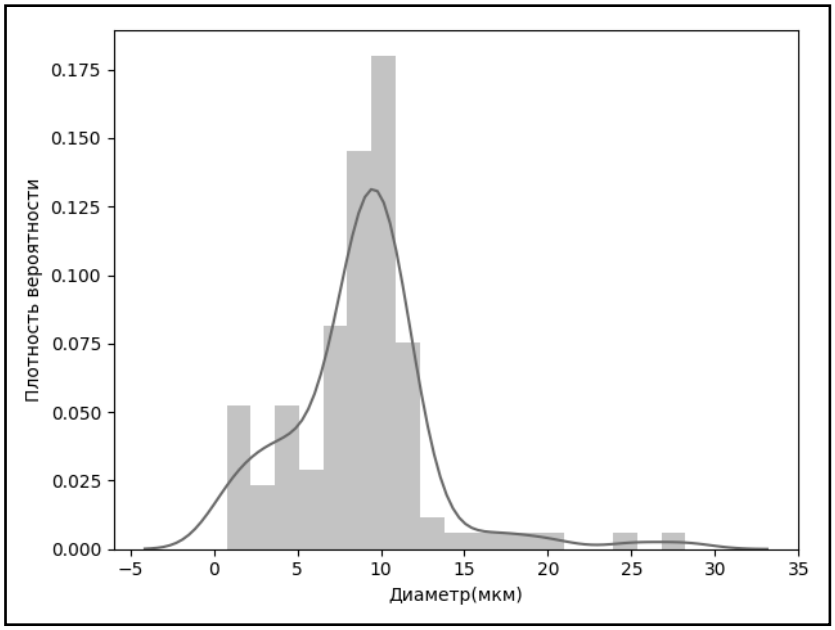


Рис. 9. Кривая плотности вероятности вхождения клетки в класс
Fig. 9. A curve of probability density of cell class affiliation

Кривая Прайса-Джонса у здоровых людей имеет правильную треугольную форму с высокой вершиной и узким основанием. При этом преобладают эритроциты с диаметром 6-8 мкм, которые составляют 70-75% всех эритроцитов. На долю микроцитов (клетки диаметром меньше 6 мкм) и макроцитов (диаметр более 8 мкм) приходится приблизительно одинаковое количество 12-15%,

ширина кривой отражает степень анизоцитоза, а положение максимума - средний диаметр эритроцита.

При микроцитозе (характерном, например, для железодефицитоной анемии) эритроцитометрическая кривая сдвигается влево, кривая становится ассиметричной, ширина ее увеличивается.

При макроцитозе (например, сопровождающем В12 и фолиеводефицитную анемию) кривая Прайс-Джонса сдвигается вправо, уплощается, основание ее расширяется.

Построение кривой Прайс-Джонса вручную – чрезвычайно трудоемкая процедура. Поэтому разработанная система гематологического анализа позволяем в автоматическом режиме быстро и с высокой точностью построить кривую Прайса-Джонса, что дает возможность увидеть процентное соотношение всех видов красных кровяных телец. Это позволяет достаточно быстро выявить анизоцитоз у больного и подобрать соответствующие методы его лечения.

Статья подготовлена в рамках гранта РФФИ 16-07-00435 А.

Список литературы

1. Батищев Д.С., Михелев В.М. Инфраструктура высокопроизводительной компьютерной системы для реализации облачных сервисов хранения и анализа данных персональной медицины // Научные ведомости Белгородского государственного университета. Серия: Экономика. Информатика. - Белгород: Изд-во НИУ БелГУ, 2016. - С. 88-92.
2. Беляков В.К., Сухенко Е.П., Захаров А.В., Кольцов П.П., Котович Н.В., Кравченко А.А., Куцаев А.С., Осипов А.С., Кузнецов А.Б. Об одной методике классификации клеток крови и ее программной реализации // Программные продукты и системы. – 2014. -№ 4 (108). – С. 46-56.
3. Борисовский С.А. Гибридные модели и алгоритмы для анализа сложноструктурированных изображений в интеллектуальных системах медицинского назначения: дис. канд. т.н. наук: 05.13.01. – Курск, 2012.
4. Грибков И.В., Захаров А.В., Кольцов П.П., Котович Н.В., Кравченко А.А., Куцаев А.С., Осипов А.С. Сравнительное исследование методов анализа изображений - М.: Изд-во НИИСИ РАН, 2005.
5. Методическое руководство: Общий анализ крови (трактовка результатов исследований, выполненных на гематологических анализаторах) // Ставропольский государственный медицинский университет URL: stgmu.ru/userfiles/depts/clinical_lab_diagnosis_pe/Obschij_analiz_krovi.rtf (дата обращения: 1.04.2018).
6. Система красной крови / Липунова Е.А., Под ред. Скоркиной М.Ю. - Белгород: Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Белгородский государственный национальный исследовательский университет». – 215 с.
7. Сойникова Е.С., Рябых М.С., Батищев Д.С., Синюк В.Г., Михелев В.М. Высокопроизводительный метод обнаружения границ на медицинских изображениях // Научный результат. Информационные технологии. 2016. - С. 4-9.
8. Соколинский Б.З., Демьянов В.Л., Медный В.С., Парпара А.А., Пятницкий А.М. Автоматическая сортировка лейкоцитов мазка крови с использованием методов обучаемых нейронных сетей и watershed // В сб.: Методы микроскопического анализа. М.: Медицинские компьютерные системы, 2009. С. 128-132
9. Соколинский Б.З., Демьянов В.Л., Медный В.С., Парпара А.А., Пятницкий А.М. Автоматическая сортировка лейкоцитов мазка крови с использованием методов обучаемых нейронных сетей и watershed // В сб.: Методы микроскопического анализа. М.: Медицинские компьютерные системы, 2009. С. 128-132.
10. Томакова Р.А., Филист С.А., Жилин В.В., Борисовский С.А. Программное обеспечение интеллектуальной системы классификации форменных элементов крови // Фундаментальные исследования. – 2013. – № 10-2. – С. 303-307.
11. Bessman, J.D. and D.I. Feinstein, 1979. Quantitative Anisocytosis as a Discriminant Between Iron Deficiency and Thalassem. Blood, 53. Date Views 1.04.2018 www.bloodjournal.org/content/bloodjournal/53/2/288.full.pdf?sso-checked=true.
12. Beucher, S. and F. Meyer, 1992. Optical Engineering. New York: Marcel Dekker Incorporated, pp: 433-481.

13. Biggs, R. and R.L. MacMillan, 1948. The errors of some haematological methods as they are used in a routine laboratory. J Clin Pathol, 1. Date Views 1.04.2018 jcp.bmj.com/content/jclinpath/1/5/269.full.pdf.

14. Hawksley, J.C., R. Lightwood and U.M. Bailey, 1934. Iron-deficiency anaemia in children: Its association with gastro-intestinal disease, achlorhydria and haemorrhage. Archives of disease in childhood, 9. Date Views 1.04.2018 pdfs.semanticscholar.org/6a86/f416daf9c3d90217db7e25cb86273bb1be42.pdf.

15. Image Thresholding. Date Views 01.04.2018 docs.opencv.org/trunk/d7/d4d/tutorial_py_thresholding.html.

16. Jambhekar N. Red blood cells classification using image processing. Science Research, 2011, vol. 1, no. 3, pp. 151-154. Date Views 1.04.2018 studyres.com/doc/17754179/red-blood-cells-classification-using-image

17. Price-Jones, S. and M.B. Lond, 1910. The variation in the sizes of reb blood cells. British Medical Journal, 2. Date Views 1.04.2018 digitalcommons.ohsu.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1062&context=hca-cac, pp: 1418-1419.

18. Sasi, N.M. and V.K. Jayasree, 2013. Contrast Limited Adaptive Histogram Equalization for Qualitative Enhancement of M yocardial Perfusion Images. Engineering, 5. Date Views 1.04.2018 file.scirp.org/pdf/ENG_2013110109155688.pdf.

19. Satoshi, S. and A. Keiichi, 1985. Topological Structural Analysis of Digitized Binary Images by Border Following. Computer vision, graphics, and image processing, 30. Date Views 1.04.2018 download.xuebalib.com/xuebalib.com.17233.pdf.

20. Watershed approaches for color image segmentation. Date Views 1.04.2018 www.gipsa-lab.grenoble-inp.fr/~jocelyn.chanussot/publis/ieee_nsip_99_chanuss_watershed.pdf.

References

1. Batishchev D.S., Mikhelev V.M. Infrastruktura vysokoproizvoditel'noy komp'yuternoy sistemy dlya realizatsii oblachnykh servisov khraneniya i analiza dannykh personal'noy meditsiny // Nauchnye vedomosti Belgorodskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Ekonomika. Informatika. - Belgorod: Izd-vo NIU BelGU, 2016. - S. 88-92.

2. Belyakov V.K., Sukhenko E.P., Zakharov A.V., Kol'tsov P.P., Kotovich N.V., Kravchenko A.A., Kutsaev A.S., Osipov A.S., Kuznetsov A.B. Ob odnoy metodike klassifikatsii kletok krovi i ee programmnoy realizatsii // Programmnye produkty i sistemy. – 2014. -№ 4 (108). – S. 46-56.

3. Borisovskiy S.A. Gibridnye modeli i algoritmy dlya analiza slozhnostrukturirovannykh izobrazheniy v intellektual'nykh sistemakh meditsinskogo naznacheniya: dis. kand. t.n. nauk: 05.13.01. – Kursk, 2012.

4. Gribkov I.V., Zakharov A.V., Kol'tsov P.P., Kotovich N.V., Kravchenko A.A., Kutsaev A.S., Osipov A.S. Sravnitel'noe issledovanie metodov analiza izobrazheniy // - M.: Izd-vo NIISI RAN, 2005.

5. Metodicheskoe rukovodstvo: Obshchiy analiz krovi (traktovka rezul'tatov issledovaniy, vypolnennykh na gematologicheskikh analizatorakh) // Stavropol'skiy gosudarstvennyy meditsinskiy universitet URL: stgmu.ru/userfiles/depts/clinical_lab_diagnosis_pe/Obschij_analiz_krovi.rtf (Date Views: 1.04.2018).

6. Sistema krasnoy krovi / Lipunova E.A., Pod red. Skorkinoy M.Yu. - Belgorod: Federal'noe gosudarstvennoe avtonomnoe obrazovatel'noe uchrezhdenie vysshego professional'nogo obrazovaniya "Belgorodskiy gosudarstvennyy natsional'nyy issledovatel'skiy universitet". - 215 s.

7. Soynikova E.S., Ryabykh M.S., Batishchev D.S., Sinyuk V.G., Mikhelev V.M. Vysokoproizvoditel'nyy metod obnaruzheniya granits na meditsinskikh izobrazheniyakh // Nauchnyy rezul'tat. Informatsionnye tekhnologii. 2016. – S. 4-9.

8. Sokolinskiy B.Z., Dem'yanov V.L., Mednyy V.S., Parpara A.A., Pyatnitskiy A.M. Avtomaticheskaya sortirovka leykotsitov mazka krovi s ispol'zovaniem metodov obuchaemykh neyronnykh setey i watershed // V sb.: Metody mikroskopicheskogo analiza. M.: Meditsinskie komp'yuternye sistemy, 2009. S. 128-132

9. Sokolinskiy B.Z., Dem'yanov V.L., Mednyy V.S., Parpara A.A., Pyatnitskiy A.M. Avtomaticheskaya sortirovka leykotsitov mazka krovi s ispol'zovaniem metodov obuchaemykh neyronnykh setey i watershed // V sb.: Metody mikroskopicheskogo analiza. M.: Meditsinskie komp'yuternye sistemy, 2009. S. 128–132.

10. Tomakova R.A., Filist S.A., Zhilin V.V., Borisovskiy S.A. Programmnoe obespechenie intellektual'noy sistemy klassifikatsii formennykh elementov krovi // Fundamental'nye issledovaniya. – 2013. – № 10-2. – S. 303-307.

11. Bessman, J.D. and D.I. Feinstein, 1979. Quantitative Anisocytosis as a Discriminant Between Iron Deficiency and Thalassem. Blood, 53. Date Views 1.04.2018 www.bloodjournal.org/content/bloodjournal/53/2/288.full.pdf?sso-checked=true.

12. Beucher, S. and F. Meyer, 1992. Optical Engineering. New York: Marcel Dekker Incorporated, pp: 433-481.

13. Biggs, R. and R.L. MacMillan, 1948. The errors of some haematological methods as they are used in a routine laboratory. J Clin Pathol, 1. Date Views 1.04.2018 jcp.bmj.com/content/jclinpath/1/5/269.full.pdf.

14. Hawksley, J.C., R. Lightwood and U.M. Bailey, 1934. Iron-deficiency anaemia in children: Its association with gastro-intestinal disease, achlorhydria and haemorrhage. Archives of disease in childhood, 9. Date Views 1.04.2018 pdfs.semanticscholar.org/6a86/f416daf9c3d90217db7e25cb86273bb1be42.pdf.

15. Image Thresholding. Date Views 01.04.2018 docs.opencv.org/trunk/d7/d4d/tutorial_py_thresholding.html.

16. Jambhekar N. Red blood cells classification using image processing. Science Research, 2011, vol. 1, no. 3, pp. 151-154. Date Views 1.04.2018 studyres.com/doc/17754179/red-blood-cells-classification-using-image

17. Price-Jones, S. and M.B. Lond, 1910. The variation in the sizes of reb blood cells. British Medical Journal, 2. Date Views 1.04.2018 digitalcommons.ohsu.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1062&context=hca-cac, pp: 1418-1419.

18. Sasi, N.M. and V.K. Jayasree, 2013. Contrast Limited Adaptive Histogram Equalization for Qualitative Enhancement of M yocardial Perfusion Images. Engineering, 5. Date Views 1.04.2018 file.scirp.org/pdf/ENG_2013110109155688.pdf.

19. Satoshi, S. and A. Keiichi, 1985. Topological Structural Analysis of Digitized Binary Images by Border Following. Computer vision, graphics, and image processing, 30. Date Views 1.04.2018 download.xuebalib.com/xuebalib.com.17233.pdf.

20. Watershed approaches for color image segmentation. Date Views 1.04.2018 www.gipsa-lab.grenoble-inp.fr/~jocelyn.chanussot/publis/ieee_nsip_99_chanuss_watershed.pdf.

Сойникова Екатерина Сергеевна, студент кафедры математического и программного обеспечения информационных систем

Батищев Денис Сергеевич, ассистент кафедры математического и программного обеспечения информационных систем

Михелев Владимир Михайлович, кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры программного обеспечения вычислительной техники и автоматизированных систем

Soynikova Ekaterina Segeevna, student at the Department of Mathematical and Software Information Systems

Batishchev Denis Sergeevich, senior lecturer at the Department of Mathematical and Software Information Systems

Mikhelev Vladimir Mikhailovich, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor at the Department of Computer Software and Automated Systems Software