



2/2018

# **Вопросы** *радиоэлектроники*

ISSN 2218–5453

# Вопросы радиоэлектроники

НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ

ИЗДАЕТСЯ С 1959 ГОДА

Серия  
«Электронная вычислительная техника» (ЭВТ)  
ВЫПУСК 1

Журнал зарегистрирован в Федеральной службе по надзору за соблюдением законодательства в сфере массовых коммуникаций и охране культурного наследия (свидетельство ПИ № ФС77-31114 от 15 февраля 2008 года).

Журнал включен в перечень изданий, рекомендованных Высшей аттестационной комиссией Министерства образования и науки Российской Федерации для опубликования результатов диссертационных исследований (**Перечень ВАК**).

Журнал включен в Российский индекс научного цитирования (**РИНЦ**).

## ГЛАВНЫЙ РЕДАКТОР

**А. В. Фомина**, д.э.н., проф., чл.-корр. Академии военных наук

## РЕДАКЦИОННЫЙ СОВЕТ

**Г. В. Анцев**, к.т.н., доц. (АО «НПП «Радар ммс»)  
**В. М. Балашов**, д.т.н., проф. (АО «НПП «Радар ммс»)  
**Я. В. Безель**, д.т.н., проф. (АО «Концерн ПВО «Алмаз-Антей»)  
**А. И. Белоус**, чл.-корр. НАН Беларуси, д.т.н., проф. (ОАО «ИНТЕГРАЛ»)  
**А. Б. Бляхман**, д.т.н., проф. (АО «ФНПЦ «ННИИРТ»)  
**М. М. Бутаев**, д.т.н., проф. (АО «НПП «Рубин»)  
**Н. Ю. Жибуртович**, д.т.н., проф. (АО «Корпорация Фазотрон-НИИР»)  
**Н. Н. Иванов**, д.т.н. (ОАО «Авангард»)  
**А. В. Киселев**, д.т.н., проф. (ФГБОУ ВО НГТУ)  
**В. Е. Красовский**, к.т.н., проф. (ПАО «ИНЭУМ им. И. С. Брука»)  
**А. В. Люхин**, к.т.н. (ПАО «МАК «Вымпел»)  
**В. В. Мартынов**, д.т.н., проф. (ФБГНУ «Аналитический центр»)  
**Н. А. Махутов**, чл.-корр. РАН, д.т.н., проф. (ИМАШ РАН)  
**Н. Л. Прохоров**, д.т.н., проф. (ПАО «ИНЭУМ им. И. С. Брука»)  
**С. А. Прохоров**, д.т.н., проф. (Самарский национальный исследовательский университет имени академика С. П. Королева)  
**В. И. Сергеев**, д.т.н., доц. (ВКБ АФУ (ОАО))  
**П. И. Смирнов**, к.т.н. (АО «НИИ «Масштаб»)  
**С. А. Сорокин**, к.т.н. (АО «НИИВК им. М. А. Карцева»)  
**А. Ф. Страхов**, д.т.н., проф. (АО «ГПТП «Гранит»)  
**В. Ф. Хватов**, д.т.н. (Гостехнадзор Ленинградской области)  
**С. В. Хохлов** (Департамент радиоэлектронной промышленности Минпромторга России)  
**В. И. Штейнберг**, к.т.н. (АО «НИИ «Аргон»)

Полное или частичное воспроизведение материалов допускается только с письменного разрешения АО «ЦНИИ «Электроника».

При перепечатке материалов ссылка на журнал «Вопросы радиоэлектроники» обязательна.

Ответственность за содержание рекламных материалов несут рекламодатели.

Ответственность за достоверность приведенных сведений, за наличие данных, не подлежащих открытой публикации, и точность информации по цитируемой литературе несут авторы.

Позиция редакции может не совпадать с мнением автора.

Все поступившие в редакцию материалы подлежат рецензированию.

Редакция не вступает в переписку с авторами статей, получившими мотивированный отказ в опубликовании.

Материалы, переданные в редакцию, не возвращаются.

Требования к оформлению статей размещены на сайте [www.instel.ru](http://www.instel.ru).

## Учредитель

АО «ЦНИИ «Электроника»

## Издатель

АО «ЦНИИ «Электроника»

## Генеральный директор, главный редактор

Алена Фомина  
[instel@instel.ru](mailto:instel@instel.ru)  
 +7 (495) 940-65-00

## Руководитель издательского отдела

Полина Корсунская  
[korsunskaya\\_p@instel.ru](mailto:korsunskaya_p@instel.ru)  
 +7 (495) 940-65-24

## Выпускающий редактор

Галина Романова  
[publish@instel.ru](mailto:publish@instel.ru)  
 +7 (495) 940-65-24

## Реклама

Михаил Фельдман  
[feldman\\_m@instel.ru](mailto:feldman_m@instel.ru)  
 +7 (495) 940-65-24

## Распространение и подписка

Вероника Филиппова  
[filippova\\_v@instel.ru](mailto:filippova_v@instel.ru)  
 +7 (495) 940-65-46

## Корректор

Юлия Никулина

## Компьютерная верстка

Григорий Арифудиин

## Адрес редакции

127299, г. Москва,  
 ул. Космонавта Волкова, д. 12  
 +7 (495) 940-65-00  
[www.instel.ru](http://www.instel.ru)  
[instel@instel.ru](mailto:instel@instel.ru)

## Подписка

В редакции  
[publish@instel.ru](mailto:publish@instel.ru)  
 +7 (495) 940-65-46

Агентство «Роспечать»  
 Индекс **84529**  
 (каталог «Газеты. Журналы»)  
 Индекс **59981**  
 (каталог «Научно-технические издания»)

Агентство «Урал-Пресс»  
[www.ural-press.ru](http://www.ural-press.ru)  
 +7 (495) 961-23-62

Подписано в печать 22.01.2018.

Отпечатано в ООО «РА «Фора-профит Медиа»».

# Voprosy radioelektroniki

(Questions of radio  
electronics)

**SCIENTIFIC JOURNAL PUBLISHED FROM 1959**

Electronic computing machinery  
VOLUME 1

The journal is registered at the Federal Service for Compliance with the Law in Mass Communications and Cultural Heritage Protection (Certificate PI № FS77-31114 of February 15th, 2008).

The journal is included into the List of periodicals recommended by the State commission for academic degrees and titles for publishing of dissertation research results.

This journal is included in Russian Science Citation Index (RSCI).

## EDITOR-IN-CHIEF

**A. V. Fomina**, Doctor of Economics, Professor, Corresponding Member of Russian Academy of Military Sciences

## EDITORIAL COUNCIL

**G. V. Antsev**, Candidate of Engineering, Assistant Professor (Radar mms)  
**V. M. Balashov**, Doctor of Engineering, Professor (Radar mms)  
**Y. V. Besel**, Doctor of Engineering, Professor (Concern PVO Almaz-Antei)  
**A. I. Belous**, Corresponding Member of the National Academy of Sciences of Belarus, Doctor of Engineering, Professor (Joint Stock Company INTEGRAL)  
**A. B. Blyakhman**, Doctor of Engineering, Professor (NNIIRT)  
**M. M. Butaev**, Doctor of Engineering, Professor (NPP Rubin)  
**N. Y. Zhiburtovich**, Doctor of Engineering, Professor (PHAZOTRON-NIIR)  
**N. N. Ivanov**, Doctor of Engineering (Public Joint Stock Company Avangard)  
**A. V. Kiselev**, Doctor of Engineering, Professor (Novosibirsk State Technical University)  
**V. E. Krasovskiy**, Candidate of Engineering, Professor (The Institute of Electronic Control Computers named after I. S. Bruk)  
**A. V. Lyukhin**, Candidate of Engineering (MAK Vympel)  
**V. P. Martynov**, Doctor of Engineering, Professor (Analytical Center at the Ministry of Education and Science of the Russian Federation)  
**N. A. Makhutov**, Corresponding Member of Russian Academy of Sciences, Doctor of Engineering, Professor (Russian Academy of Sciences)  
**N. L. Prokhorov**, Doctor of Engineering, Professor (The Institute of Electronic Control Computers named after I. S. Bruk)  
**S. A. Prokhorov**, Doctor of Engineering, Professor (Samara University)  
**V. I. Sergeev**, Doctor of Engineering, Assistant Professor (Voronezh Design Bureau Antenna Feeders)  
**P. I. Smirnov**, Candidate of Engineering (Scientific Research Institute Mashtab)  
**S. A. Sorokin**, Candidate of Engineering (Scientific Research Institute of Computer Science named after M. A. Karzev)  
**A. F. Strakhov**, Doctor of Engineering, Professor (Head center maintenance and repair Granite)  
**V. F. Khvatov**, Doctor of Engineering (State Technical Supervision Body of Leningrad Region)  
**S. V. Khokhlov** (Radio electronics Department of the Ministry of industry and trade of the Russian Federation)  
**V. I. Shteinberg**, Candidate of Engineering (Research Institute «Argon»)

Full or partial reproduction of materials is allowed only with the written permission of the Central Research Institute of Economy, management and information systems «Electronics».

At a reprint of materials the link on journal «Questions of radio electronics» is mandatory.

Advertisers are responsible for the content of advertisements.

Authors are responsible for reliable information, for the availability of data are not subject to open publication, and accuracy of information on the cited literature.

The editorial standpoint may not correspond with authors' opinions.

All incoming manuscripts are subject to review.

Editors do not correspond with authors, whose articles are considered unsuitable for the publication. Materials sent to the editor will not be returned.

## Founder

Central Research Institute of Economy, management and information systems «Electronics»

## Publisher

Central Research Institute of Economy, management and information systems «Electronics»

## General director, Editor-in-Chief

Alena Fomina  
instel@instel.ru  
+7 (495) 940-65-00

## Head of publish department

Polina Korsunskaya  
korsunskaya\_p@instel.ru  
+7 (495) 940-65-24

## Managing editor

Galina Romanova  
publish@instel.ru  
+7 (495) 940-65-24

## Advertise

Mikhail Feldman  
feldman\_m@instel.ru  
+7 (495) 940-65-24

## Distribution and subscribe

Veronika Filippova  
filippova\_v@instel.ru  
+7 (495) 940-65-46

## Proofreader

Yuliya Nikulina

## Design

Grigoriy Arifulin

## Editorial office

127299, Moscow,  
Kosmonavta Volkova st., 12  
+7 (495) 940-65-00  
www.instel.ru  
instel@instel.ru

## Subscribe

publish@instel.ru  
+7 (495) 940-65-46

Signed to print 22.01.2018.

Printed in Fora-profit Media.

# Вопросы радиоэлектроники

## СОДЕРЖАНИЕ

«Эльбрус» расширяет границы .....	5	Фролов П. В. Система интеграции инженерных тестов на основе статического распределения ресурсов .....	76
<b>ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ НА БАЗЕ МНОГОЯДЕРНЫХ МИКРОПРОЦЕССОРОВ</b>		Лебедев Д. А., Стотланд И. А. Автономная верификация контроллеров сопряжения интерфейсов на основе эталонных функциональных моделей... 81	
Ким А. К., Перекатов В. И., Фельдман В. М. На пути к российской экзасистеме: планы разработчиков аппаратно-программной платформы «Эльбрус» по созданию суперкомпьютера экзафлопсной производительности.....	6	Билялетдинов И. Е., Ометов А. Е., Тимин Л. С. Оптимизация параметров высокоскоростных каналов процессора с целью повышения отказоустойчивости вычислительного комплекса .....	87
Молчанов И. А., Бычков И. Н. Анализ показателей платформы «Эльбрус» с учетом переноса приложений и выполнения требований совместимости .....	14	<b>ПРОТОТИПИРОВАНИЕ</b>	
Недбайло Ю. А. Проблемы масштабирования производительности подсистемы памяти многоядерного микропроцессора и методы их решения .....	23	Юрлин С. В. Универсальный подход к построению масштабируемых прототипов многоядерных микропроцессоров (КУБ-ПРО) .....	93
<b>АРХИТЕКТУРА И МИКРОАРХИТЕКТУРА МИКРОПРОЦЕССОРОВ</b>		<b>РОБОТОТЕХНИКА</b>	
Кожин А. С., Сурченко А. В. Исследование применимости компрессии данных в кэш-памяти микропроцессоров с архитектурой «Эльбрус» .....	32	Бочаров Н. А., Парамонов Н. Б., Славин О. А., Янко Д. В. Оценка перспектив использования вычислительных средств семейства «Эльбрус» при реализации алгоритмов распознавания в современных робототехнических комплексах... 99	
Деменко Р. В., Трофимов В. Б. Аппаратная поддержка виртуализации системы прерываний в микропроцессорах семейства «Эльбрус» .....	40	<b>РАДИОЭЛЕКТРОНИКА – МЕДИЦИНЕ</b>	
<b>СИСТЕМЫ ПРОГРАММИРОВАНИЯ</b>		Щербаков А. В., Баловнев Д. А., Знайко Г. Г. Определение точностных характеристик видеоокулографов с помощью имитатора глаза человека .....	106
Русяев Р. М., Баранников С. В., Нейман-заде М. И. Особенности реализации механизма обработки исключений C++ для платформы «Эльбрус» .....	45	Прилуцкий Д. А., Гусев А. П., Знайко Г. Г. Аппаратный модуль потоковой обработки высокочастотного видеоизображения .....	112
Горелов М. А. Оптимизация доступа к элементам массива при аппаратной поддержке архитектуры «Эльбрус» .....	51	Захаров С. М., Захаров М. С. Спектральный анализ аритмий сердца .....	120
Шалаев М. А., Аникина А. О. Проблемы автоматизированной сборки пакетов в дистрибутив класса Debian на платформе «Эльбрус» .....	55	Баширов А. С., Соловьев В. Ю., Баловнев Д. А., Красовский В. Е. Оценка уровня шума генератора сигналов сверхмалого напряжения .....	128
Родзевич С. А. Аппаратная поддержка двоичной трансляции x86 вещественной арифметики в процессорах «Эльбрус» .....	59	<b>СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ</b>	
<b>ОПЕРАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ</b>		Глухов А. В., Прилипка В. А. Перспективные разработки управляющей вычислительной техники на отечественной элементной базе .....	136
Имкенов А. А., Морозов Ю. В., Межуев Ю. В. Фильтрация сетевых пакетов на основе мандатных меток в операционной системе «Эльбрус» .....	65	Басыров А. Г., Казанцев Д. И., Карытко А. А., Шаменков Н. А., Трушкин К. А. Вероятностный анализ потоков задач высокопроизводительных вычислений .....	144
<b>ВЕРИФИКАЦИЯ И ТЕСТИРОВАНИЕ</b>		Ершова О. А., Гусев А. П., Андреев А. М. Организация межмашинного взаимодействия устройств сети с носимым айтрекером .....	151
Порошин П. А., Мешков А. Н., Черных С. В. Разработка симулятора, поддерживающего потактовый режим работы, на основе текущей версии функционального симулятора архитектуры «Эльбрус» .....	69	<b>ПРАВИЛА ПРЕДСТАВЛЕНИЯ СТАТЕЙ</b> .....	159

## CONTENTS

Elbrus expands its horizons.....	5	simulation mode on base of the existing instruction set simulator of the Elbrus architecture.....	69
<b>COMPUTING SYSTEMS BASED ON MULTICURRENT MICROPROCESSORS</b>		Frolov P. V. System-level test integration based on static resource allocation....	76
Kim A. K., Perekatov V. I., Feldman V. M. On the way to russian exasistemes: plans of the Elbrus hardware-software platform developers on creation of an exaflops performance supercomputer.....	6	Lebedev D. A., Stotland I. A. Standalone verification of communication controllers based on reference functional models .....	81
Molchanov I. A., Bychkov I. N. Study of Elbrus computing platform in the field of compatibility including software adaptation.....	14	Bilyaletdinov I. E., Ometov A. E., Timin L. S. Optimization of parameters of high-speed channels of the processor in order to increase the fault tolerance of the computer complex .....	87
Nedbailo Yu. A. Memory subsystem performance scaling problems in chip multiprocessors and their solution .....	23	<b>PROTOTYPING</b>	
<b>THE ARCHITECTURE AND MICROARCHITECTURE OF MICROPROCESSORS</b>		Yurlin S. V. A universal approach to building scalable prototypes of multi-core microprocessors (KUB-PRO) .....	93
Kozhin A. S., Surchenko A. V. Evaluation of cache compression for Elbrus processors.....	32	<b>ROBOTICS</b>	
Demenko R. V., Trofimov V. B. Hardware virtualization support for interrupt controller in Elbrus series processors .....	40	Bocharov N. A., Paramonov N. B., Slavin O. A., Yanko D. V. Assessment of perspectives of exploitation of computer systems Elbrus for implementing recognition algorithms in modern robotic complexes .....	99
<b>PROGRAMMING SYSTEMS</b>		<b>RADIOELECTRONICS TO THE MEDICAL SERVICES</b>	
Rusyaev R. M., Barannikov S. V., Neiman-Zade M. I. Features of exceptions handling implementation for Elbrus architecture .....	45	Shcherbakov A. V., Balovnev D. A., Znayko G. G. Determination of accuracy characteristics of video oculosgraphs by using of the human eye imitator .....	106
Gorelov M. A. Array Access optimization with hardware support of Elbrus architecture .....	51	Prilutsky D. A., Gusev A. P., Znayko G. G. Hardware module of flow processing of high-frequency video image .....	112
Shalaev M. A., Anikina A. O. Problems of automated assembly of packages in the Debian family distributions on the Elbrus hardware platform .....	55	Zakharov S. M., Zakharov M. S. Spectral analysis of heart arrhythmias .....	120
Rodzevich S. A. Hardware support for binary translation of x86 floating point arithmetic in Elbrus processors .....	59	Bashirov A. S., Soloviev V. Yu., Balovnev D. A., Krasovsky V. E. Noise analysis of an ultra-low-voltage generator.....	128
<b>OPERATING SYSTEMS</b>		<b>CONTROL SYSTEMS</b>	
Imkenov A. A., Morozov Yu. V., Mezhuev Yu. V. Packet filtering based on mandatory labels in the Elbrus operating system .....	65	Glukhov A. V., Prilipko V. A. Advanced developments based on domestic hardware components .....	136
<b>VERIFICATION AND TESTING</b>		Basyrov A. G., Kazantsev D. I., Karytko A. A., Shamenkov N. A., Trushkin K. A. Probabilistic analysis of flows of HPC.....	144
Poroshin P. A., Meshkov A. N., Chernyh S. V. Development of simulator with support of cycle-accurate		Ershova O. A., Gusev A. P., Andreev A. M. Organization of machine-to-machine communication for the portable eyetracker device.....	151
		<b>RULES FOR SUBMITTING ARTICLES</b> .....	161





## «Эльбрус» расширяет границы

*Мы живем в эпоху, когда  
расстояние от самых безумных фантазий  
до совершенно реальной действительности  
сокращается с невероятной быстротой.*

*Максим Горький*

Люди часто недооценивают реальный уровень прогресса и качества жизни, который может быть достигнут благодаря развитию информационных технологий. Еще в середине XX века все манипуляции на операционном столе выполнялись исключительно руками человека. Сегодня же роботы-ассистенты, способные облегчить работу хирурга и снизить вероятность ошибок, вызванных человеческим фактором, производятся серийно, и с их помощью проводят операции в сотнях клиниках по всему миру.

На службе у людей состоят миллиарды вычислительных комплексов и моделей, способных спрогнозировать погоду или развитие международного конфликта, обеспечить высокоскоростную связь людей, находящихся на разных континентах,

и даже решать задачи, непосильные для человеческого мозга.

В последние годы наша страна уверенно взяла курс на импортозамещение, и данный процесс уже успел охватить все основные сферы нашей жизни. Одним из приоритетных направлений является развитие высокопроизводительных вычислительных комплексов. Создаются новые серверные станции, поставляемые IT-компаниям, производятся новые российские линейки десктопных компьютеров, обеспечивающих работу как государственных структур, где ключевым требованием является высокий уровень безопасности, так и бизнеса.

Текущий номер журнала «Вопросы радиоэлектроники» подготовлен совместно с ПАО «ИНЭУМ им. А.С. Брука», объединившим свои усилия с АО «МЦСТ» в работе над развитием семейства «Эльбрус». Одной из их последних разработок стал персональный компьютер модели 101-PC, способный выполнять функции управления промышленным производством или выступать в роли бортового вычислителя на транспортных средствах.

Производимые вычислительные комплексы позволяют использовать технологии компьютерного зрения, применяемого для распознавания документов из России и более чем 35 стран мира. Существующая система распознавания основана на использовании сверхбыстрых нейронных сетей, а ее применение способствует снижению влияния человеческого фактора при работе с документами благодаря автоматическому режиму получения нужной информации.

Разработки ПАО «ИНЭУМ им. А.С. Брука» применимы не только в образовании, но и в сфере здравоохранения, хотя в данном случае речь идет уже не о семействе «Эльбрус», а о мобильном трекере глаз, воплощенном в системе альтернативной коммуникации АДК-01. Данное устройство предназначено для людей с поражениями нервной системы, проявляющимися в нарушении речевых и двигательных функций. Использование видеоокулографии и технологии дополненной реальности предлагает им альтернативные способы коммуникации с окружающим миром, позволяющие преодолеть ограничения, связанные с состоянием здоровья, и расширить границы своих возможностей.

*А.В. Фомина,  
доктор экономических наук,  
главный редактор журнала  
«Вопросы радиоэлектроники»*

**А. К. Ким<sup>1, 2</sup>, В. И. Перекатов<sup>1, 2, 3</sup>, В. М. Фельдман<sup>1, 2, 3</sup>**

<sup>1</sup> ПАО «ИНЭУМ им. И. С. Брука», <sup>2</sup> АО «МЦСТ», <sup>3</sup> МФТИ (ГУ)

# **НА ПУТИ К РОССИЙСКОЙ ЭКЗАСИСТЕМЕ: ПЛАНЫ РАЗРАБОТЧИКОВ АППАРАТНО- ПРОГРАММНОЙ ПЛАТФОРМЫ «ЭЛЬБРУС» ПО СОЗДАНИЮ СУПЕРКОМПЬЮТЕРА ЭКЗАФЛОПСНОЙ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ**

---

*Обсуждаются вопросы построения суперкомпьютеров эксафлопсной производительности на аппаратно-программной платформе «Эльбрус». Рассматриваются аспекты выбора микропроцессоров для получения высокого показателя соотношения производительности и потребляемой мощности. Оценивается эффективность использования микропроцессоров с различными архитектурами для получения высокой производительности на реальных задачах. Эти вопросы сегодня являются актуальными в контексте задачи достижения лидерства в высокотехнологичном производстве, на которое опирается цифровая экономика. Рассматриваются аспекты выбора архитектуры микропроцессоров для получения высокого показателя соотношения производительности и потребляемой мощности. Отмечено, что графические и векторные процессоры, обеспечивающие получение высоких значений пиковой производительности на синтетических тестах, проигрывают универсальным микропроцессорам на тесте HPCG, который более разносторонним образом тестирует производительность аппаратуры. Оценивается эффективность использования микропроцессоров с архитектурой «Эльбрус» для получения высокой производительности на реальных задачах. Показано, что микропроцессоры «Эльбрус» имеют большой потенциал для увеличения производительности.*

**Ключевые слова:** архитектура микропроцессора, суперкомпьютер, производительность, надежность, компилятор, потребляемая мощность.

---

**И. А. Молчанов<sup>1, 2</sup>, И. Н. Бычков<sup>1, 2</sup>**

<sup>1</sup> АО «МЦСТ», <sup>2</sup> ПАО «ИНЭУМ им И. С. Брука»

# **АНАЛИЗ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ПЛАТФОРМЫ «ЭЛЬБРУС» С УЧЕТОМ ПЕРЕНОСА ПРИЛОЖЕНИЙ И ВЫПОЛНЕНИЯ ТРЕБОВАНИЙ СОВМЕСТИМОСТИ**

---

*Проведена проверка поддержки аппаратного и программного обеспечения в вычислительных комплексах платформы «Эльбрус». Основное внимание уделено ранее не исследованному использованию данных комплексов в широком круге применений с расчетом на возможность замещения вычислительных машин общего назначения, таких как серверы, рабочие станции и домашние компьютеры, что актуально для создания широкой системы поддержки и распространения отечественной вычислительной техники. С целью этого рассмотрен набор программного и аппаратного обеспечения, характерного для данных систем, разбитый на несколько подсистем: вычислительную, графическую, сетевую, дисковую и т.п. Выявлен ряд проблем, предложены пути решения некоторых из них, а также дальнейшие действия по развитию вычислительных систем платформы «Эльбрус» и улучшению их совместимости с программным и аппаратным обеспечением.*

**Ключевые слова:** аппаратное обеспечение, программное обеспечение, архитектура «Эльбрус», высокопроизводительные вычисления, вычислительные системы, серверы, компьютеры общего назначения, поддержка альтернативных процессорных архитектур.

---



**Ю. А. Недбайло<sup>1, 2</sup>**

<sup>1</sup> АО «МЦСТ», <sup>2</sup> ПАО «ИНЭУМ им. И. С. Брука»

# **ПРОБЛЕМЫ МАСШТАБИРОВАНИЯ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ ПОДСИСТЕМЫ ПАМЯТИ МНОГОЯДЕРНОГО МИКРОПРОЦЕССОРА И МЕТОДЫ ИХ РЕШЕНИЯ**

---

*Пока закон Мура позволяет регулярно наращивать количество ядер, многоядерные микропроцессоры целесообразно делать с распределенным общим кэшем. Их разработка в основном сводится к проектированию подсистемы памяти. С увеличением количества ядер поддержание производительности подсистемы памяти (пропускной способности, времени доступа, качества обслуживания) таких процессоров на необходимом уровне сопряжено с рядом проблем. В статье рассмотрены основные из них, такие как оптимизация времени доступа в распределенный общий кэш, его ассоциативность и разбиение, поддержка когерентности (кодирование и обновление справочника) и архитектура сети соединений на кристалле. Для всех рассмотренных проблем приведены некоторые существующие методы их решения. Анализ и эксперименты позволяют оценить предел эффективной масштабируемости таких процессоров при решении данных проблем рассмотренными методами порядком тысячи ядер.*

**Ключевые слова:** архитектура, многоядерность, подсистема памяти, общий кэш, когерентность, сеть на кристалле.

---

**А. С. Кожин<sup>1, 2</sup>, А. В. Сурченко<sup>1, 2</sup>**

<sup>1</sup> АО «МЦСТ», <sup>2</sup> МФТИ (ГУ)

# **ИССЛЕДОВАНИЕ ПРИМЕНИМОСТИ КОМПРЕССИИ ДАННЫХ В КЭШ-ПАМЯТИ МИКРОПРОЦЕССОРОВ С АРХИТЕКТУРОЙ «ЭЛЬБРУС»**

---

*Кэш-память играет важную роль в универсальных микропроцессорах, позволяя уменьшить время доступа к данным и число обращений в оперативную память. Ее объем в современных микропроцессорах достигает сотен мегабайт, основными ограничивающими факторами являются площадь и рассеиваемая мощность. Аппаратное сжатие (компрессия) данных в кэш-памяти может увеличить ее эффективный объем при неизменных физических параметрах, но оно до сих пор не имеет широкого применения в серийных микропроцессорах. Данная работа является первым исследованием в области аппаратного сжатия данных в кэш-памяти микропроцессоров с архитектурой «Эльбрус». Для аппаратной реализации были выбраны алгоритмы ZCA, Base+Delta и Base-Delta-Immediate, которые обладают малой по сравнению с другими алгоритмами задержкой декомпрессии и достаточно высокой степенью сжатия. Схемы компрессии были протестированы в кэш-памяти третьего уровня модифицированного прототипа микропроцессора «Эльбрус-8С2». В статье приведены результаты изменений доли сжатых кэш-строк и степени сжатия на задачах из пакета SPEC CPU2000. Алгоритм Base-Delta-Immediate обеспечил наибольшую степень сжатия среди тестируемых алгоритмов (примерно 1,43 для целочисленных задач и 1,30 для задач с плавающей точкой). Полученные результаты позволяют сделать вывод о практической применимости алгоритма компрессии Base-Delta-Immediate для повышения эффективного объема кэш-памяти.*

**Ключевые слова:** архитектура, производительность микропроцессора, компрессия данных, кэш-память, прототип.

---

**Р. В. Деменко<sup>1, 2</sup>, В. Б. Трофимов<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> АО «МЦСТ», <sup>2</sup> МФТИ (ГУ)

# **АППАРАТНАЯ ПОДДЕРЖКА ВИРТУАЛИЗАЦИИ СИСТЕМЫ ПРЕРЫВАНИЙ В МИКРОПРОЦЕССОРАХ СЕМЕЙСТВА «ЭЛЬБРУС»**

---

*В современных многоядерных микропроцессорах реализуется архитектурная поддержка виртуализации аппаратных ресурсов, с целью уменьшения накладных расходов. В отличие от процессорного ядра успешные реализации аппаратной поддержки виртуализации компонентов ввода-вывода появились относительно недавно. Одним из механизмов, для которых аппаратная поддержка виртуализации целесообразна, является доставка гостевого прерывания целевому виртуальному ядру без привлечения гипервизора. В статье представлен обзор архитектуры распределенного контроллера прерываний микропроцессора «Эльбрус», а также приведены основные принципы реализации аппаратной поддержки системы прерываний. Предложено ввести гостевой набор управляющих регистров контроллера прерываний, приведен алгоритм доставки гостевых прерываний с использованием аппаратной таблицы соответствия виртуальных и физических ядер. Описаны механизмы, обеспечивающие корректность работы рассматриваемого подхода к реализации аппаратной поддержки виртуализации системы прерываний в рамках четырехпроцессорной системы.*

**Ключевые слова:** «Эльбрус», виртуализация, гипервизор, контроллер прерываний, виртуальные прерывания.

---

**Р. М. Русяев<sup>1, 2</sup>, С. В. Баранников<sup>1</sup>, М. И. Нейман-заде<sup>1, 2, 3</sup>**

<sup>1</sup> АО «МЦСТ», <sup>2</sup> ПАО «ИНЭУМ им. И. С. Брука», <sup>3</sup> МФТИ (ГУ)

# **ОСОБЕННОСТИ РЕАЛИЗАЦИИ МЕХАНИЗМА ОБРАБОТКИ ИСКЛЮЧЕНИЙ C++ ДЛЯ ПЛАТФОРМЫ «ЭЛЬБРУС»**

---

*Механизм исключений является важной частью крупных приложений, написанных на языках высокого уровня, таких как C++, поэтому имеется острая необходимость в их эффективной реализации. В данной работе рассматривается подход к обработке исключений, называемый *zero cost exceptions handling*, позволяющий минимизировать накладные расходы на обработку исключений в пользовательском приложении. Это достигается благодаря локализации вспомогательного кода, требуемого для обработки исключений, в специальные участки, называемые *landing pad*. Дано подробное описание реализации данного механизма, показывающее, за счет чего происходит минимизация накладных расходов. Дается краткий обзор альтернативного подхода к обработке исключений (механизм *setjmp/longjmp*), используемого в предыдущей версии компилятора и основанного на использовании функций из стандартной библиотеки языка C – *setjmp, longjmp*. Описаны нововведения и доработки со стороны компилятора и оптимизирующих фаз, необходимые для реализации рассматриваемого механизма. Приведены результаты сравнения производительности, подтверждающие преимущество механизма *zero cost exceptions handling* по сравнению с механизмом *setjmp/longjmp*.*

**Ключевые слова:** архитектура «Эльбрус», исключения C++, обработка исключений, *zero cost exceptions handling*.

---

**М. А. Горелов<sup>1, 2</sup>**

<sup>1</sup> АО «МЦСТ», <sup>2</sup> ПАО «ИНЭУМ им. И. С. Брука»

# **ОПТИМИЗАЦИЯ ДОСТУПА К ЭЛЕМЕНТАМ МАССИВА ПРИ АППАРАТНОЙ ПОДДЕРЖКЕ АРХИТЕКТУРЫ «ЭЛЬБРУС»**

---

*Производительность современных научных приложений во многом определяется эффективностью исполнения вычислительных циклов. Поэтому оптимизация таких циклов является одной из наиболее острых задач оптимизирующей компиляции. Особенно это характерно для архитектур со статическим планированием кода, в частности для архитектуры «Эльбрус». В данной работе рассмотрена оптимизация, называемая Array Access, которая позволяет снизить количество операций, необходимых для вычисления адреса при регулярном обращении к элементам массивов, и за счет этого добиться более эффективного планирования цикла с точки зрения аппаратных ресурсов. Подробно описаны алгоритм работы оптимизации и аппаратные средства архитектуры «Эльбрус», на которых она основана. Также приведены результаты экспериментальных замеров производительности на задачах пакета SPEC CPU2006, подтверждающие эффективность оптимизации.*

**Ключевые слова:** оптимизирующий компилятор, архитектура «Эльбрус», цикловые оптимизации, array access.

---

**М. А. Шалаев<sup>1</sup>, А. О. Аникина<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> АО «МЦСТ»

# **ПРОБЛЕМЫ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СБОРКИ ПАКЕТОВ В ДИСТРИБУТИВ КЛАССА DEBIAN НА ПЛАТФОРМЕ «ЭЛЬБРУС»**

---

*Описывается понятие дистрибутива и кросс-сборки программного обеспечения для формирования целевой системы под аппаратную платформу, отличающуюся от той, где производится компиляция. Рассматриваются основные проблемы сборки и портирования пакетов дистрибутива семейства Debian на аппаратную платформу «Эльбрус». Ставится проблема портирования ограниченным количеством разработчиков дистрибутива, развиваемого для остальных архитектур крупными группами и множеством энтузиастов. Предложены методы и средства устранения типичных ошибок и особенности реализации системы кросс-компиляции. Подробно изложены пути автоматизированного разрешения простых, сложных, а также кольцевых зависимостей. Описывается процесс автоматизации сборки, повышающий эффективность пополнения дистрибутива новыми пакетами. Реализация для системы кросс-сборки может быть использована разработчиками для пополнения пакетной базы и формирования полноценного дистрибутива на аппаратную платформу «Эльбрус».*

**Ключевые слова:** кросс-компиляция, сборка программных пакетов, аппаратные платформы, кольцевые зависимости, портирование дистрибутива.

---



**С. А. Родзевич<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> АО «МЦСТ»

# **АППАРАТНАЯ ПОДДЕРЖКА ДВОИЧНОЙ ТРАНСЛЯЦИИ X86 ВЕЩЕСТВЕННОЙ АРИФМЕТИКИ В ПРОЦЕССОРАХ «ЭЛЬБРУС»**

---

*Двоичная трансляция – исполнение кода, скомпилированного под одну архитектуру, на процессорах другой архитектуры. В целях расширения области применения процессоров «Эльбрус» применяется двоичная трансляция с архитектуры x86, так как она является наиболее распространенной и под нее написано огромное количество ПО. Вещественная арифметика является отдельным подмножеством системы команд x86 и имеет некоторые особенности, затрудняющие ее эффективную двоичную трансляцию на процессорах «Эльбрус». В статье рассматриваются эти особенности и проблемы, к которым они приводят в контексте двоичной трансляции. Приводятся основные особенности архитектуры «Эльбрус», описывается многоуровневая схема двоичного транслятора. Рассматриваются последовательные этапы развития аппаратной поддержки двоичной трансляции вещественной арифметики и то, как они повлияли на эффективность генерируемого кода третьего уровня двоичного транслятора. В результате была разработана схема, которая позволила избавиться от большей части проблем и сделала эффективность трансляции вещественной арифметики сопоставимой с таковой для целочисленной.*

**Ключевые слова:** «Эльбрус», двоичная трансляция.

---

**А. А. Имкенов<sup>1, 2</sup>, Ю. В. Морозов<sup>1</sup>, Ю. В. Межуев<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> АО «МЦСТ», <sup>2</sup> МФТИ (ГУ)

# **ФИЛЬТРАЦИЯ СЕТЕВЫХ ПАКЕТОВ НА ОСНОВЕ МАНДАТНЫХ МЕТОК В ОПЕРАЦИОННОЙ СИСТЕМЕ «ЭЛЬБРУС»**

---

*Для защиты сегментов сети или отдельных узлов от несанкционированного доступа применяются средства межсетевого экранирования. Межсетевой экран – комплекс программных и/или аппаратных средств, осуществляющих фильтрацию сетевых пакетов на основе заданных правил. В операционной системе «Эльбрус» всем сетевым пакетам назначаются мандатные атрибуты (метки) безопасности, обеспечивающие разграничение доступа локальных процессов к ресурсам операционной системы. Для повышения степени защищенности при межсетевом взаимодействии необходимо обеспечить поддержку мандатных атрибутов при создании правил фильтрации. В статье подробно рассмотрено устройство межсетевого экрана Netfilter, применяемого в операционной системе «Эльбрус». Описана реализованная схема фильтрации входящих, исходящих и транзитных сетевых пакетов на основе их мандатных атрибутов безопасности. Приведен пример построения правил фильтрации.*

**Ключевые слова:** межсетевое экранирование, защита от несанкционированного доступа, операционная система «Эльбрус», Netfilter.

---

**П. А. Порошин<sup>1, 2</sup>, А. Н. Мешков<sup>1, 3</sup>, С. В. Черных<sup>3</sup>**

<sup>1</sup> ПАО «ИНЭУМ им. И. С. Брука», <sup>2</sup> МТУ (МИРЭА), <sup>3</sup> АО «МЦСТ»

## **РАЗРАБОТКА СИМУЛЯТОРА, ПОДДЕРЖИВАЮЩЕГО ПОТАКТОВЫЙ РЕЖИМ РАБОТЫ, НА ОСНОВЕ ТЕКУЩЕЙ ВЕРСИИ ФУНКЦИОНАЛЬНОГО СИМУЛЯТОРА АРХИТЕКТУРЫ «ЭЛЬБРУС»**

*В процессе разработки вычислительных систем и сопутствующего им программного обеспечения возникают потребности в программных моделях процессоров разной степени детализации и быстродействия. Быстроту моделирования обеспечивают функциональные модели, высокую детализацию – потактовые. Одновременная разработка функционального и потактового симуляторов является трудоемкой задачей. В данной работе рассматривается задача снижения сложности разработки и поддержки программных моделей разного уровня точности для микропроцессоров архитектур широкого командного слова. В качестве решения предлагается построение одной программной модели, способной работать в качестве как функционального, так и потактового симулятора. На примере архитектуры «Эльбрус» описывается способ построения такой модели, основанный на постепенном расширении и уточнении функционального симулятора до возможности потактового моделирования и на полуавтоматическом упрощении получившейся потактовой модели до функциональной. Производительность получившейся функциональной модели не уступает оригинальной, замедление потактовой модели относительно функциональной оценивается в пределах 10–15 раз.*

**Ключевые слова:** архитектура «Эльбрус», программное моделирование, функциональный симулятор, потактовый симулятор.

**П. В. Фролов**<sup>1, 2, 3</sup>

<sup>1</sup> ПАО «ИНЭУМ им. И. С. Брука», <sup>2</sup> АО «МЦСТ», <sup>3</sup> МФТИ (ГУ)

# **СИСТЕМА ИНТЕГРАЦИИ ИНЖЕНЕРНЫХ ТЕСТОВ НА ОСНОВЕ СТАТИЧЕСКОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ РЕСУРСОВ**

---

*Существует практическая необходимость интеграции отдельных решений для системной логической верификации микропроцессоров. В статье представлен подход, позволяющий формировать системные тесты из отдельных подтестов путем распараллеливания их исполнения на разных вычислительных ядрах верифицируемого многоядерного микропроцессора. При этом распределение доступных системных ресурсов осуществляется статически на основе заранее сформированных ресурсных требований подтестов. Полученные значения ресурсных параметров передаются в подтесты на стадии компоновки системного теста. Программная среда исполнения при запуске моделирования осуществляет инициализацию системных ресурсов и передает управление подтестам. В статье описаны структура программного комплекса, реализующего представленный подход, алгоритм формирования системного теста и используемый для этого инструментарий. Приведены основные сценарии применения на примере маршрута логической верификации микропроцессора «Эльбрус-8С2».*

**Ключевые слова:** системная верификация, генерация тестов, многоядерность.

---

Д. А. Лебедев<sup>1</sup>, И. А. Стотланд<sup>1</sup>

<sup>1</sup> АО «МЦСТ»

# АВТОНОМНАЯ ВЕРИФИКАЦИЯ КОНТРОЛЛЕРОВ СОПРЯЖЕНИЯ ИНТЕРФЕЙСОВ НА ОСНОВЕ ЭТАЛОННЫХ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ МОДЕЛЕЙ

---

*Рассмотрены вопросы автономной верификации контроллеров сопряжения интерфейсов, участвующих в передаче и преобразовании потока данных в современных микропроцессорных системах. Для корректного функционирования системы такие преобразования должны проходить быстро и без потерь. Точность функционирования контроллера подтверждается при проведении верификации. Приведена классификация методов верификации модулей микропроцессорных систем. Описан подход к построению автономного тестового окружения для контроллеров сопряжения интерфейсов при помощи методологии UVM. Обоснован выбор проверяющего модуля тестового окружения. Рассмотрены основные особенности автономной верификации аппаратных контроллеров сопряжения с использованием функциональных эталонных моделей, позволяющих проводить комплексную проверку этих устройств. Описаны сложности, возникшие в процессе разработки тестовой системы на основе методологии UVM, и способы их разрешения. Приведены результаты применения таких решений при верификации контроллеров микропроцессоров и дальнейший план наращивания тестовой системы.*

**Ключевые слова:** автономная верификация, тестовая система, контроллер сопряжения интерфейсов, микропроцессор «Эльбрус», UVM.

---

**И. Е. Билялетдинов<sup>1, 2</sup>, А. Е. Ометов<sup>3</sup>, Л. С. Тимин<sup>1, 3</sup>**

<sup>1</sup> ПАО «ИНЭУМ им И. С. Брука», <sup>2</sup> МТУ (МИРЭА), <sup>3</sup> АО «МЦСТ»

# **ОПТИМИЗАЦИЯ ПАРАМЕТРОВ ВЫСОКОСКОРОСТНЫХ КАНАЛОВ ПРОЦЕССОРА С ЦЕЛЬЮ ПОВЫШЕНИЯ ОТКАЗОУСТОЙЧИВОСТИ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОГО КОМПЛЕКСА**

---

*В современных вычислительных средствах семейства «Эльбрус» используются высокоскоростные каналы передачи данных – каналы памяти DDR3, каналы межпроцессорного взаимодействия и ввода-вывода, построенные на базе PCI Express. Их физические уровни имеют большое число настроек, таких как номинал терминирующего резистора, preemphasis и equalization, амплитуда выходного сигнала и т.д. Все они влияют на работоспособность канала и целостность сигналов. Для повышения отказоустойчивости вычислительного комплекса требуется найти наиболее оптимальный вариант настройки для физического уровня высокоскоростных каналов. Ввиду большого количества возможных настроек необходимо иметь возможность произвести оценку за наименьшее время и с минимальным количеством дополнительного оборудования. Авторы данной статьи разработали методику определения качества настроек, использующую внутренние механизмы физического уровня каналов.*

**Ключевые слова:** DDR3, PCI Express, внутреннее самотестирование, глазковые диаграммы.

---



**С. В. Юрлин<sup>1, 2</sup>**

<sup>1</sup> АО «МЦСТ», <sup>2</sup> ПАО «ИНЭУМ им И. С. Брука»

# УНИВЕРСАЛЬНЫЙ ПОДХОД К ПОСТРОЕНИЮ МАСШТАБИРУЕМЫХ ПРОТОТИПОВ МНОГОЯДЕРНЫХ МИКРОПРОЦЕССОРОВ (КУБ-ПРО)

---

*Специализированное прототипирование является комплексной многоуровневой задачей с критически малым, как правило, временем на ее решение. Применение стандартных конструктивных решений для реализации прототипов многоядерных микропроцессоров не позволяет создавать эффективное оборудование. В статье рассматриваются рассчитанные на стандартизацию принципы и детали конструктивного исполнения основных функциональных компонентов, входящих в состав масштабируемых систем эмуляции (прототипов) нового поколения микропроцессоров семейства «Эльбрус». Заложенные в ней возможности должны обеспечить повторное использование ранее созданной аппаратуры и автоматизацию процессов подготовки прототипов к эксплуатации. Это может существенно увеличить время, непосредственно затрачиваемое на верификацию. По мнению автора, ряд решений этого проекта может быть взят в качестве стандарта при построении матричных масштабируемых систем эмуляции.*

**Ключевые слова:** *СНК, аппаратура, ПЛИС, прототип, «Эльбрус», эмуляция, КУБ-ПРО.*

---

**Н. А. Бочаров<sup>1</sup>, Н. Б. Парамонов<sup>2</sup>, О. А. Славин<sup>3</sup>, Д. В. Янко<sup>4</sup>**

<sup>1</sup> АО «МЦСТ», <sup>2</sup> ПАО «ИНЭУМ им И. С. Брука», <sup>3</sup> ИСА ФИЦ «Информатика и управление» РАН, <sup>4</sup> 432 ВП МО

# **ОЦЕНКА ПЕРСПЕКТИВ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ СРЕДСТВ СЕМЕЙСТВА «ЭЛЬБРУС» ПРИ РЕАЛИЗАЦИИ АЛГОРИТМОВ РАСПОЗНАВАНИЯ В СОВРЕМЕННЫХ РОБОТОТЕХНИЧЕСКИХ КОМПЛЕКСАХ\***

---

*При разработке современных автономных наземных робототехнических комплексов одной из главных задач является создание интеллектуальной системы управления. Существенным, но не решенным вопросом является оснащение таких систем управления вычислительной техникой, созданной на базе отечественных микропроцессоров, и программным обеспечением отечественной разработки. Цель работы – исследовать применимость вычислительных средств на базе многоядерных микропроцессоров «Эльбрус» для решения задач компьютерного зрения в таких интеллектуальных системах. Авторами были исследованы алгоритмы распознавания и работы системы стереозрения и разработаны программные средства, моделирующие данные алгоритмы с учетом особенностей микропроцессоров «Эльбрус». Получены временные характеристики для алгоритмов стереореконструкции и калибровки. Показано, что вычислительные комплексы на базе микропроцессоров «Эльбрус» могут удовлетворять требованиям, выдвигаемым к системам управления современными робототехническими комплексами.*

**Ключевые слова:** алгоритмы распознавания, многоядерные вычислительные системы, микропроцессоры «Эльбрус», моделирование.

---

**А. В. Щербаков<sup>1</sup>, Д. А. Баловнев<sup>1</sup>, Г. Г. Знайко<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> ПАО «ИНЭУМ им. И. С. Брука»

# **ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТОЧНОСТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ВИДЕООКУЛОГРАФОВ С ПОМОЩЬЮ ИМИТАТОРА ГЛАЗА ЧЕЛОВЕКА**

---

*Предложена методика определения точностных характеристик видеоокулографов, и реализована экспериментальная установка на основе имитатора глаза человека. Обоснована целесообразность применения предлагаемой методики при оценке прецизионности и порога чувствительности (разрешения видеоокулографов), а также определены границы ее применимости. Показано, что основным преимуществом использования имитатора глаза для оценки точностных характеристик видеоокулографов является тот факт, что фиксированные угловые положения можно задавать многократно с большой точностью. При помощи разработанной установки произведено исследование характеристик прототипа носимого видеоокулографа, и определены его прецизионность и порог чувствительности. Результаты настоящего исследования демонстрируют, что разработанная экспериментальная установка может быть полезной для оценки характеристик видеоокулографов в промышленных и исследовательских приложениях.*

**Ключевые слова:** видеоокулография, айтрекинг, точность, прецизионность, разрешение видеоокулографов.

---

**Д. А. Прилуцкий<sup>1, 2</sup>, А. П. Гусев<sup>1, 2</sup>, Г. Г. Знайко<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> ПАО «ИНЭУМ им. И. С. Брука», <sup>2</sup> МГТУ им. Н. Э. Баумана

# **АППАРАТНЫЙ МОДУЛЬ ПОТОКОВОЙ ОБРАБОТКИ ВЫСОКОЧАСТОТНОГО ВИДЕОИЗОБРАЖЕНИЯ**

---

*Приведен подход к реализации системы, позволяющей получать поток преобразованных видеоизображений с помощью локальных методов цифровой обработки, с минимальными затратами на построение такой системы. Даны анализ возможных для реализации алгоритмов и структура решения. В результате получен аппаратный модуль обработки видеоизображений, реализованный на одной программируемой логической интегральной схеме, позволяющий изменять свою внутреннюю конфигурацию в режиме реального времени. Выходное изображение с блока имеет задержку, обусловленную хранением четырех строк исходного изображения. Полученный аппаратный модуль имеет низкое энергопотребление, что позволяет использовать его в носимых устройствах. Благодаря гибкой функциональной структуре блока возможно его применение для построения более сложной цепочки анализа изображений. Приведены результаты обработки видеопотока на различных этапах алгоритма детектирования границ.*

**Ключевые слова:** потоковая обработка, цифровая обработка изображения, CPLD, архитектура Pipe-And-Filter.

---

**С. М. Захаров<sup>1</sup>, М. С. Захаров<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> ПАО «ИНЭУМ им. И. С. Брука», <sup>2</sup> ЗАО «Сбербанк-Технологии»

# СПЕКТРАЛЬНЫЙ АНАЛИЗ АРИТМИЙ СЕРДЦА

---

*Представлен спектральный анализ электрокардиографических (ЭКГ) сигналов, связанных с нарушениями сердечного ритма и возникновением в работе сердца некоторых аритмий. Спектрограммы проанализированы для десятисекундных и минутных временных записей. Все расчеты выполнены в среде Maple 5v4. В зависимости от степени развития патологии различные ЭКГ сравниваются с так называемыми «стандартными», полученными от здоровых пациентов. На качественном уровне отмечаются отличия в выраженности степени «упорядоченности» или «разупорядоченности» отдельных спектральных частот. То же самое отмечается и для спектра в целом. В итоге разупорядоченность в спектре может свидетельствовать о возникновении патологии в работе сердца.*

**Ключевые слова:** спектральный анализ, электрокардиограмма, разупорядоченность спектра, спектральное разрешение.

---

**А. С. Баширов<sup>1</sup>, В. Ю. Соловьев<sup>1</sup>, Д. А. Баловнев<sup>1</sup>, В. Е. Красовский<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> ПАО «ИНЭУМ им. И. С. Брука»

## **ОЦЕНКА УРОВНЯ ШУМА ГЕНЕРАТОРА СИГНАЛОВ СВЕРХМАЛОГО НАПРЯЖЕНИЯ**

*Одним из важнейших параметров имитатора электрической активности головного мозга человека является нижняя граница его динамического диапазона. Так, для имитации вызванных потенциалов амплитуда сигнала должна быть в диапазоне 1–5 мкВ. Минимальная амплитуда сигнала, которую может выдать генератор сверхмалых напряжений, ограничена уровнем его шума. В данной работе проведена оценка уровня шума электронной схемы подобного генератора. Внутренний шум схемы в области малых частот (0,1–30 Гц) имеет величину около 3,5 мкВ «пик-пик», что подтверждается экспериментально. Основным источником шумов генератора сверхмалого напряжения является 1/f шум ЦАП, который зависит от качества изготовления кристалла. Достигнутый уровень шума позволяет осуществлять имитацию электрической активности головного мозга человека сигналом амплитудой 11 мкВ при соотношении сигнал/шум 10 дБ.*

**Ключевые слова:** шум, генератор, операционный усилитель, инструментальный усилитель, фликкер-шум, шум 1/f, сверхмалое напряжение.



**А. В. Глухов<sup>1</sup>, В. А. Прилипко<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> ПАО «ИНЭУМ им. И. С. Брука»

# **ПЕРСПЕКТИВНЫЕ РАЗРАБОТКИ УПРАВЛЯЮЩЕЙ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ ТЕХНИКИ НА ОТЕЧЕСТВЕННОЙ ЭЛЕМЕНТНОЙ БАЗЕ**

*Рассматриваются перспективные разработки ПАО «ИНЭУМ им. И. С. Брука» на отечественной элементной базе для промышленных применений. Характеристики современных процессоров серии «Эльбрус» удовлетворяют требованиям построения на их базе электроники для применения в автоматизированных системах управления технологическими процессами (АСУТП). Представлены основные разработки, выполняемые на текущий момент, такие как промышленные компьютеры, программируемые логические контроллеры, средства программирования на языках стандарта МЭК 61131–3. Впервые выпускается линейка безвентиляторных промышленных компьютеров на базе отечественного микропроцессора «Эльбрус-1С+». Разрабатываются защищенные промышленные компьютеры, предназначенные для тяжелых условий эксплуатации. Важным фактором является ориентация оборудования на гражданский рынок, что становится возможным с учетом снижения стоимости микропроцессора. Описывается разработка программируемого логического контроллера (ПЛК), построенного на базе микропроцессора «Эльбрус-1С+». Разрабатываемый ПЛК сочетает в себе наиболее востребованные на данный момент функции, такие как резервирование, горячая замена компонентов, задел для безударной корректировки прикладного ПО. Вместе с процессорным модулем ПЛК разрабатывается также линейка модулей ввода-вывода, предназначенных для подключения датчиков и исполнительных механизмов. Модули строятся на базе отечественного микроконтроллера «Миландр». Впервые ПЛК создаются на отечественной электронно-компонентной базе без применения зарубежной интеллектуальной электроники. Эти разработки позволяют сделать серьезный шаг в направлении импортозамещения в области электроники для АСУТП.*

**Ключевые слова:** электроника для АСУТП, промышленная автоматизация, контроллер, программируемый логический контроллер, промышленный компьютер, микропроцессор «Эльбрус», СМ1820.

**А. Г. Басыров<sup>1</sup>, Д. И. Казанцев<sup>1</sup>, А. А. Карытко<sup>1</sup>, Н. А. Шаменков<sup>2</sup>,  
К. А. Трушкин<sup>3</sup>**

<sup>1</sup> Военно-космическая академия имени А. Ф. Можайского, <sup>2</sup> НИИЦ ЦНИИ ВВКО МО, <sup>3</sup> ПАО «ИНЭУМ им. И. С. Брука»

# **ВЕРОЯТНОСТНЫЙ АНАЛИЗ ПОТОКОВ ЗАДАЧ ВЫСОКОПРОИЗВОДИТЕЛЬНЫХ ВЫЧИСЛЕНИЙ**

---

*Применение вычислительных систем с большим количеством процессорных ядер ставит ряд задач по рациональному распределению задач на соответствующие вычислители. В работе приводится метод вероятностного анализа загрузки вычислительных систем при заданном потоке данных. Представлены результаты исследования характеристик потоков данных, обслуживаемых вычислительными системами, на основе применения технологий виртуализации. Особенность метода в том, что данные описываются как нестационарные и неоднородные случайные потоки. Осуществлен анализ сетевого трафика. Дана оценка влияния варианта распределения аппаратных ресурсов вычислительной системы между гостевыми виртуальными машинами, а также режимов обработки требований, поступающих в систему, на ее производительность. Приведены результаты экспериментов по оценке характеристик конфигураций виртуальных машин. Дан анализ условий и факторов, оказывающих непосредственное влияние на результативность процесса функционирования вычислительной системы.*

**Ключевые слова:** вычислительная система, виртуализация, производительность.

---

**О. А. Ершова<sup>1</sup>, А. П. Гусев<sup>1, 2</sup>, А. М. Андреев<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> ПАО «ИНЭУМ им. И. С. Брука», <sup>2</sup> МГТУ им. Н. Э. Баумана

# **ОРГАНИЗАЦИЯ МЕЖМАШИННОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ УСТРОЙСТВ СЕТИ С НОСИМЫМ АЙТРЕКЕРОМ**

---

*Предлагается метод организации сетевой коммуникации устройств, присутствующих в повседневной жизни человека. Для связи устройств используется протокол CoAP, предназначенный для обмена сообщениями между устройствами с ограниченными ресурсами в целях экономии потребляемой электроэнергии. Подобная сеть призвана эффективно и экономично способствовать повышению качества жизни людей. Механизм работы предлагаемого метода рассматривается на примере носимого дисплея дополненной реальности, который устанавливает соединение с компьютером по выводимому на монитор изображению идентификационного QR-кода. В результате дисплей получает возможность передать управление курсором мыши на мониторе компьютера пользователя встроенному айтрекеру. Организуемая сеть демонстрирует высокую производительность, адаптивность к изменениям и модификациям, а также поддерживает автоматическое обновление программного обеспечения для всех элементов системы.*

**Ключевые слова:** межмашинное взаимодействие, сетевые коммуникации, Интернет вещей, CoAP, дисплей дополненной реальности.

---

## ПРАВИЛА ПРЕДСТАВЛЕНИЯ СТАТЕЙ

К рассмотрению принимаются нигде не опубликованные ранее рукописи статей с оригинальными результатами теоретических и экспериментальных исследований в области радиоэлектроники. Максимальный объем статьи – 23 000 печатных знаков (с пробелами), включая формулы, иллюстрации, таблицы.

Обязательными являются следующие элементы статьи:

- **Тематическая рубрика журнала**, к которой должна быть отнесена статья.
- **Индекс УДК**.
- **Название статьи**, максимально конкретное и информативное, на русском и английском языках.
- **Ф.И.О. всех авторов** (полностью) на русском и английском языках.
- **Информация об авторах** на русском и английском языках: регалии; место работы (полное и сокращенное название организации, почтовый адрес с указанием города и почтового индекса), должность; электронный адрес; телефон. Если авторов несколько, то информация должна быть представлена по каждому из них.
- **Аннотация статьи** на русском и английском языках. В аннотации подчеркивается новизна и актуальность темы (без повтора заглавия статьи в тексте аннотации). Аннотация статьи должна быть информативной и подробной, описывать методы и главные результаты исследования. Из аннотации должно быть ясно, какие вопросы поставлены для исследования и какие ответы на них получены. Предпочтительна структура аннотации, повторяющая структуру статьи и включающая введение, цели и задачи, методы, результаты/обсуждение, заключение/выводы. Объем аннотации составляет 100–200 слов.
- **Ключевые слова** на русском и английском языках. Должны отражать основное содержание статьи, но, по возможности, не повторять ее название. Рекомендуемый объем – 3–6 слов или коротких словосочетаний.
- **Основной текст статьи**. Следует соблюдать единообразие терминов, а также единообразие в обозначениях, системах единиц измерения, номенклатуре. Следует избегать излишних сокращений, кроме общеупотребительных. Если сокращения все-таки используются, то они должны быть расшифрованы в тексте при первом упоминании.
- **Список литературы**, на русском и английском языках. Должен в достаточной мере отражать современное состояние исследуемой области и не быть избыточным. Должен содержать ссылки на доступные источники. Не цитируются тезисы, учебники, учебные пособия, диссертации без депонирования. Допустимый объем самцитирования автора не более 20% от источников в списке литературы.
- **Список иллюстраций** должен располагаться в конце статьи и содержать названия статей и подписи, размещенные на рисунке.

## Правила оформления статей

Материалы статьи представляются для публикации в электронном виде.

В состав электронной версии статьи должны входить текстовая часть в формате MS Word (формулы в MathType), а также иллюстрации в виде отдельных графических файлов (каждый файл должен содержать один рисунок).

Статья представляется в итоговом варианте, т.е. не предполагает существенных авторских изменений и дополнений, а также не содержит исправлений, отображаемых на полях или в тексте работы.

Английский блок должен включать (в указанном порядке): заголовок статьи, Ф.И.О. всех авторов, аннотацию, ключевые слова, список литературы в романском алфавите.

## Графический материал

Все иллюстрации должны быть черно-белыми.

Иллюстрации для каждой статьи должны находиться в отдельной папке с названием статьи; название файла должно включать номер рисунка. Каждый файл должен содержать только один рисунок.

Параметры иллюстраций:

- форматы \*.tif или \*.eps;
- цветовая модель Grayscale (Black 95%), разрешение 300 dpi при 100%-ной величине;
- цветовая модель Bitmap, разрешение не ниже 600 dpi;
- толщины линий не менее 0,5 point;
- не следует использовать точечные закрашки в программах работы с векторной графикой, таких как Noise, Black&white noise, Top noise;
- не следует добавлять сетку или серый фон на задний план графиков и схем;
- желательны иллюстрации предоставлять в двух вариантах (первый – со всеми надписями и обозначениями, второй – без текста и обозначений);
- все надписи на рисунках и названия рисунков обязательно (!) должны быть набраны текстом и располагаться на отдельной странице в текстовой части статьи.

## Текст статьи

Текст должен быть в формате MS Word; набран через двойной интервал; шрифтом Times New Roman, размер шрифта – 12 пунктов.

Не следует вводить больше одного пробела подряд (в том числе при нумерации формул). Используйте абзацный отступ и табуляцию.

Подзаголовки должны быть без нумерации.

Таблицы представляются в формате MS Word. Их следует располагать в тексте непосредственно после ссылки на таблицу.

В тексте статьи должны быть ссылки на все рисунки и таблицы. Если в статье один рисунок и/или таблица, номер не ставится. Рисунки с цифро-буквенной нумерацией обозначаются в тексте без запятой и пробела (например, рис. 1а).

В шапке таблицы пустых ячеек быть не должно.

В таблице не должно быть графы с порядковым номером. Если нумерация строк необходима, то порядковый номер указывается непосредственно перед текстом.

При отсутствии данных в ячейках должны быть прочерки (т.е. пустых ячеек быть не должно).

Подписи к рисункам должны содержать расшифровку всех обозначений, использованных на рисунке.

На отдельном листе в конце статьи должны быть набраны названия рисунков с подписями, а также текст, размещенный на рисунках.

### Формулы и буквенные обозначения

Все формулы должны быть набраны только (!) в математическом редакторе MathType с настройками строго (!) по умолчанию. Не допускается набор из составных элементов (часть – текст, часть – математический редактор). Не допускается также вставка формул в виде изображений. Формулы располагают по месту в тексте статьи.

По возможности следует избегать «многоэтажных» формул. В частности, в сложных формулах экспоненту рекомендуется представлять как «exp».

Дроби предпочтительно располагать отдельной строкой, числитель от знаменателя отделять горизонтальной чертой.

В десятичных дробях для отделения целой части используется запятая (например, 10,5).

В качестве знака умножения используется символ точка ( $\cdot$ ), при переносе формулы в качестве знака умножения следует использовать символ крест ( $\times$ ).

Знак умножения в формулах ставится только (!) перед цифрой и между дробями.

В формулах и тексте скалярные величины, обозначаемые латинскими буквами, набираются курсивом, обозначаемые греческими буквами – прямым шрифтом. Для обозначения векторных величин используется прямой полужирный шрифт, стрелка сверху не ставится.

Одиночные буквы или символы, одиночные переменные или обозначения, у которых есть только верхний или только нижний индекс, единицы измерения и цифры в тексте, а также простые математические и химические формулы следует набирать в текстовом режиме без использования внедренных рамок (т.е. без использования математических редакторов).

Слова «минус» и «плюс» перед цифрами обозначаются знаками (например, +4; –6).

### Размерности

Размерности отделяются от числа пробелом, кроме градусов, процентов, промилле.

Для сложных размерностей допускается использование как отрицательных степеней, так и скобок. Главное условие – соблюдение единообразия написания одинаковых размерностей по всему тексту и в иллюстрациях.

При перечислении, а также в числовых интервалах размерность приводится только после последнего числа (например, 18–20 кг), за исключением угловых градусов.

Числовой диапазон оформляется коротким тире без пробелов (например, 18–20).

Размерности переменных пишутся после их обозначений через запятую, а не в скобках.

### Список литературы

В журналах принимается Ванкуверская система цитирования – последовательный численный стиль: ссылки нумеруются по ходу их упоминания в тексте, таблицах и рисунках. Единый список литературы оформляется также в порядке упоминания в тексте.

На все работы, включенные в список литературы, должна быть ссылка в тексте.

Допустимый объем самоцитирования автора не более 20% от источников в списке литературы.

Не цитируются:

- тезисы, учебники, учебные пособия;
- диссертации без депонирования.

Единый список литературы на русском языке размещают в конце текста статьи и озаглавливают «Список литературы».

Единый список литературы в романском алфавите (латинице) размещают в англоязычном блоке после ключевых слов (Keywords) и озаглавливают References.

В тексте статьи ссылки приводят квадратных скобках: [1–5] или [1, 3, 5].

Источники приводят на языке оригинала. Русские – на русском, англоязычные – на английском.

Пример оформления статьи из периодического издания:

Таран П.П., Иванов А.А. Глобализация и трудовая миграция: необходимость политики, основанной на правах человека // Век глобализации. 2010. № 1. С. 66–88.

Пример оформления книги:

Костылева Л.В. Неравенство населения России: тенденции, факторы, регулирование. М.: ИСЭРТ РАН, 2011. 200 с.

Пример оформления электронного источника:

Костылева Л.В. Неравенство населения России: тенденции, факторы, регулирование [Электронный ресурс]. М., 2011. 30 с. Адрес доступа: <http://elsevierscience.ru/>

### Подписи к рисункам

На отдельном листе должны быть набраны (в порядке упоминания в тексте) порядковый номер рисунка, его название, а также все надписи, расположенные на рисунке. Подписи к рисункам должны содержать расшифровку всех обозначений, использованных на рисунке.

### Комплект предоставляемых материалов

Комплект материалов рукописи статьи должен включать электронную версию статьи; иллюстрации в виде отдельных графических файлов; акт экспертизы.

Материалы следует присылать на электронную почту [publish@instel.ru](mailto:publish@instel.ru).

## RULES FOR SUBMITTING ARTICLES

Accepted for consideration manuscript with original results of theoretical and experimental research in the field of electronics with no publishing record. The maximum amount of 23000 articles printed characters (with spaces), including formulas, illustrations, tables.

The mandatory elements of the articles are the following:

- Thematic heading of magazine to which article should be carried
- Index of the universal decimal classification.
- The name of article, at the most specific and informative, in Russian and English languages.
- The information on authors, in Russian and English languages: regalia; place of job (the full and shorthand name of the organization, the post address with the indication of city and the postal index), a position; the electronic address; phone. If there're few authors then the information should be presented on each of them.
- The summary of article in Russian and English languages. Novelty and a urgency of subject matter (without repetition of the title of article in the text of the summary) should be emphasized in the summary. The summary of article have to be informative and detailed, describe methods and the main results of research. The summary has to cover what questions are put for research and the answers to them are received. The structure of the summary has to repeat structure of article and including introduction, objectives and problems, methods, results/discussions, the conclusion/conclusions is preferential. The volume of the summary makes 100–200 words.
- Key words in Russian and English languages. Should reflect the main content of the article, but if possible not to repeat its name. The recommended amount – 3–6 words or short phrases.
- The main text of the article. The uniformity of terms should be observed as well as uniformity in the notation, systems of units, nomenclature. Avoid unnecessary abbreviations commonly used in addition. If the abridgement is still used then it must be transcribed in the text at the first mention.
- References in English and Russian languages. Must adequately reflect the current state of the study area and not be excessive. Must contain references to available sources. Not quoted theses, textbooks, manuals, thesis without deposit. The allowable amount of self-citation of the author should not exceed 20% of the sources in the bibliography.
- The list of illustrations should be placed down in the end of article and contain names of articles and the signatures placed in picture.

### Formalized rules for articles

Materials of the Articles are submitted for publication in electronic form.

The electronic version of the paper should include the text portion in MS Word format (formulas in Math-Type), as well as illustrations as separate image files (each file should contain one figure).

The article appears in the final version and copyright does not involve significant changes and additions, as well as does not include patches that are displayed in the fields or in the text of the work.

English unit should include (in indicated order): title of the article, name all authors, abstract, keywords, references in the Roman alphabet.

### Graphical material

All illustrations should be in black and white.

Illustrations for each article must be in a separate folder with the title of the article; File name should include the figure number. Each file must contain only one drawing.

illustrations parameters:

- formats \*.tif or \*.eps;
- color model Grayscale (Black 95%), the resolution of 300 dpi at 100% value;
- color model Bitmap, resolution of at least 600 dpi;
- Lines's thickness of not less than 0,5 point;
- It is not necessary to use dot shadings in programs of work with vector graphics, such as Noise, Black\*white noise, Top noise
- It is not necessary to add a grid or a grey background on a background of charts and diagrams;
- it is desirable to provide the illustrations in two versions (the first – with all the inscriptions and symbols, the second – without text and symbols);
- All signs in the figures and the names of figures is obligatory (!) Should be typed in the text and placed on a separate page in the text of the article.

### The text of article

The text should be in MS Word format; typed double-spaced; font Times New Roman, font size – 12 points.

Do not enter more than one space in a row (including the numbering of formulas). Use indentation and tabs.

Subtitles should be without numbering.

Tables submitted in MS Word format. They should be placed in the text immediately following the reference to the table.

The text of the article should be a reference for all figures and tables. If an article of one figure and / or table number is not assigned. Figures alphanumeric numbering are indicated in the text without a comma and a space (for example, Fig. 1a).



In the header of the table empty cells should not be.

The table should not have graphs with a serial number. If line numbering is needed, the serial number is indicated immediately before the text.

In the absence of data in the cells must be dashes (empty cells should not be).

Captions should include decoding of symbols used in the figure.

On a separate sheet at the end of the article should be typed in the names of images with captions, and also the text that appears in the figures.

### Formulas and letter designations

All formulas should be typed only (!) In MathType mathematical editor. Not allowed set of constituents (Part – text part – mathematical editor). There can be no insert formulas in the form of images. Formula for a place in the text.

If possible, avoid «multi-storey» formulas. In particular, complex formulas recommended exponent of as «exp».

Fractions are preferably arranged separately, the numerator by the denominator separated by a horizontal line.

In decimal fractions to separate the integer part of a comma (eg 10,5).

As a sign of multiplication using the dot ( $\cdot$ ), when transferring the formula should use the cross symbol ( $\times$ ) as a multiplication sign.

The multiplication sign in the formulas is put only (!) before a figure between fractions.

In the formulas and text scalar quantities, denoted by Latin letters, italicized, denoted by Greek letters – font. To indicate vector quantities used straight bold, arrow at the top is not put.

Single letters or symbols, single variables or symbols that have only the upper or only the lower the index, units, and figures in the text, as well as simple mathematical and chemical formulas should be typed in text mode without the use of embedded frames (ie, without the use of Mathematical editors).

The words «minus» and «plus» to the numbers indicated by signs (eg 4, –6).

### Dimensions

Dimensions are separated from the number by a space, except degrees, percent, per mille.

For complex dimensions allowed as the negative powers, and parentheses. The main condition – that the consistency of writing the same dimensions throughout the text and illustrations.

In the listing, as well as the dimension of the numerical ranges given only after the last day (e.g. 18–20 kg) except angular degrees.

A numeric range is made short dash without spaces (for example, 18–20).

The dimensions of the variables are written after the notation, separated by commas, but not in parentheses.

### Bibliography

The magazines use the Vancouver citation system – consistent numerical style: links are numbered in the course of their appearance in the text, tables and figures. A single list of references is also executed in the order mentioned in the text.

All work included in the list of references should be referenced in the text.

The allowable amount of self-citation is not the author of more than 20% of the sources in the bibliography.

Do not quoted:

- theses, textbooks, teaching aids;
- dissertation without deposit.

A unified list of literature in Russian is placed at the end of the text and the headline «References».

A unified list of references in the Roman alphabet (Roman alphabet) are placed in an English-speaking unit after keywords (CET Keywords) and headline References.

The text of the article links lead brackets: [1–5] or [1, 3, 5].

Sources of lead in the original language. Russian – Russian, English language – English.

A sample of articles from periodicals:

Taran P. P., Ivanov A. A. Globalization and labor migration: the need for a policy based on human rights // Century of Globalization. 2010. № 1. pages 66–88.

### Formalizing example for the book

Kostyleva L. V. Inequality of the Russian population: trends, factors that regulation. M.: ISERT RAS, 2011. 200 p.

Example of electronic sources:

Kostyleva L. V. Inequality population of Russia: tendencies, factors, regulation [electronic resource]. M., 2011. 30 p. Access Location: <http://elsevierscience.ru/>

### Signatures to pictures

On a separate sheet should be typed (in order of appearance in the text) the serial number of the picture, its name, as well as all the inscriptions located in the picture. Captions should include decoding of symbols used in the figure.

### The complete set of provided materials

The complete set of materials of the manuscript of article should include the electronic version of article; illustrations in the form of separate graphic files; the certificate of examination.

Materials should be sent by e-mail [publish@instel.ru](mailto:publish@instel.ru).

