

Представление информации в арифметико-логическом преобразователе оптического процессора

Н. Ф. Сыцевич^{1*}, Д. В. Крахмалев², М. С. Чипчагов², А. С. Вербицкий³

¹ ФГКВ ОУ ВО «Военная академия Ракетных войск стратегического назначения имени Петра Великого» Министерства обороны Российской Федерации, г. Балашиха, Российская Федерация
Адрес: 143900, Российская Федерация, г. Балашиха, ул. Карбышева, д. 8

² ФГБОУ ВО «Финансовый университет при правительстве Российской Федерации» г. Москва, Российская Федерация

Адрес: 125993, Российская Федерация, г. Москва, Ленинградский пр., д. 49/2

³ ФГКВ ОУ ВО «Московское высшее общевойсковое командное орденов Жукова, Ленина и Октябрьской Революции Краснознамённое училище» Министерства обороны Российской Федерации, г. Москва, Российская Федерация

Адрес: 109380, Российская Федерация, г. Москва, ул. Головачева, д. 2

* nikolayfs@mail.ru

Аннотация

В статье рассмотрены вопросы решения задачи из области специальных вычислительных комплексов и касаются представления информации в Арифметико-Логических Преобразователях, построенных на принципах обработки цвето-световых сигналов. Анализ построения вычислительных систем, применяемых на практике, в т.ч. в ОПК, показывает, что как правило основными видами обрабатываемой информации являются: числа (основа – цифры), тексты (основа – буквы), звуки (основа – кодеки), цветовые и видеоизображения (основа – световая гамма цветов). При этом можно выделить две основных характерных черты большинства перечисленных видов информации: они в природе в чистом виде не существуют; их обработка в конечном счете ведется, как правило, в цифровом виде (рассматриваем только системы цифровой обработки сигналов). Для повышения точности обработки всех видов информации в работе отказались от системы описания цвета – RGB, характеризующейся неоднозначностью системы координат RGB и аппаратной зависимостью; неясным представлением о цвете на основе соотношения этих сигналов, так как воздействие на один из них приводит к изменению цвета, которое трудно предсказать и корректно обработать. Поэтому предложено перейти к отображению информации в координатной системе координат с фиксированными длинами волн основных цветовых сигналов. Это позволит упростить и ускорить обработку цветных изображений представляющих в закодированном виде цифро-буквенную, звуковую и видео информацию и обеспечит стабильность работы оптических узлов оптического или гибридного процессора, в том числе при воздействии внешних дестабилизирующих факторов.

Ключевые слова: оптический процессор, арифметико-логический преобразователь, программная модель, цвето-световые сигналы

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Представление информации в арифметико-логическом преобразователе оптического процессора / Н. Ф. Сыцевич [и др.] // Современные информационные технологии и ИТ-образование. 2023. Т. 19, № 1. С. 172-179. doi: <https://doi.org/10.25559/SITITO.019.202301.172-179>

© Сыцевич Н. Ф., Крахмалев Д. В., Чипчагов М. С., Вербицкий А. С., 2023



Контент доступен под лицензией Creative Commons Attribution 4.0 License.
The content is available under Creative Commons Attribution 4.0 License.



Representation of Information in an Arithmetic Logic Converter of an Optical Processor

N. F. Sytsevich^{a*}, D. V. Krakhmalev^b, M. S. Chipchagov^b, A. S. Verbitskiy^c

^aThe Military Academy of Strategic Rocket Troops after Peter the Great, Balashikha, Russian Federation
Address: 8 Karbysheva St., Balashikha 143900, Russian Federation

^bFinancial University under the Government of the Russian Federation, Moscow, Russian Federation
Address: 49/2 Leningradsky Prospekt, Moscow 125167, Russian Federation

^cMoscow Higher Combined Arms Command School, Moscow, Russian Federation
Address: 2 Golovacheva St., Moscow 109380, Russian Federation

* nikolayfs@mail.ru

Abstract

The article considers the issues of solving the certain problem of special computing complexes and relates to the representation of information in Arithmetic-Logical Converters, built on the principles of color-light signal processing. Analysis of the construction of computing systems used in practice, incl. in the MIC, shows that, as a rule, the main types of processed information are: numbers (base - numbers), texts (base - letters), sounds (base - codecs), color and video images (base - light colors). And hereby, two main characteristic features of most of the listed types of information can be distinguished: they do not exist in nature in their pure form; their processing is ultimately carried out, as a rule, in digital form (we consider only digital signal processing systems). To improve the accuracy of processing all types of information, we abandoned the RGB color description system, since this system is characterized by the ambiguity of the RGB coordinate system, is device-dependent, gives an unclear idea of color based on the ratio of these signals, since exposure to one of these signals leads to a color change, which is difficult to predict and process correctly. Therefore, it is proposed to switch to displaying information in a colorimetric coordinate system with fixed wavelengths of the main color signals. This will simplify and speed up the processing of color images representing alphanumeric, audio and video information in an encoded form and ensure the stability of the optical nodes of an optical or hybrid processor, including when exposed to external destabilizing factors.

Keywords: optical processor, arithmetic logic converter, software model, color-light signals

Conflict of interests: The authors declare no conflict of interest.

For citation: Sytsevich N.F., Krakhmalev D.V., Chipchagov M.S., Verbitskiy A.S. Representation of Information in an Arithmetic Logic Converter of an Optical Processor. *Modern Information Technologies and IT-Education*. 2023;19(1):172-179. doi: <https://doi.org/10.25559/SITITO.019.202301.172-179>



Введение

Анализ построения вычислительных систем, широко применяемых на практике, в т.ч. в ОПК, показывает, что как правило основными видами обрабатываемой информации являются: числа (основа – цифры), тексты (основа – буквы), звуки (основа – кодеки), цветовые изображения (основа – световая гамма цветов).

При этом можно выделить две основных характеристики большинства перечисленных видов информации:

- 1) цифры, буквы, звука, цвета в природе в чистом виде не существуют;
- 2) обработка этих видов информации, в конечном счете ведется как правило в цифровом виде (рассматриваем только системы цифровой обработки сигналов).

Исследование путей модернизации реконфигурируемых вычислительных систем подробно рассмотрено в работе [1-5].

Цель исследования

Для достижения поставленной цели повышения быстродействия и качества обработки сигналов различных видов информации авторами предлагается использовать АЛП, построенные на принципах обработки цвето-световых сигналов, где в качестве носителя обрабатываемой информации являются цвет и свет. Основное отличие от зарубежных аналогов заключается в том, что вместо разложения исходной информации, представленной в виде картины цветного изображения, в ряд Фурье с помощью плоских линз, предлагается использовать источники и приемники цветовых сигналов с фиксированными длинами волн и унифицированными характеристиками.

Представление информации в АЛП

В ходе исследований предполагалось провести анализ построения АЛП работающих как в симметричных системах счисления (например – троично-симметричная), так и в несимметричных (например – восьмеричная), а также синтезировать систему команд для АЛП нацеленную на обработку цвето-световых сигналов. Требования к надежности, живучести и наращиваемости вычислительных систем, в дальнейшем – ВС, наиболее точно были сформулированы А. В. Каляевым в монографии «Многопроцессорные системы с программируемой архитектурой»¹, а также в работах² [6-18].

Одним цветом или сочетанием нескольких цветов предлагается кодировать например следующие виды информации:

- 1) цифры, сочетание цифр, числа, ...;
- 2) буквы, сочетание букв, слова, предложения, ...;
- 3) звуки, сочетание звуков, аккорд, ...;
- 4) цвета, сочетание цветов, цветовая смесь, ...;
- 5) прочие.

При этом предполагается, что при кодировании информации различных видов необходимо применять разные матрицы весовых коэффициентов.

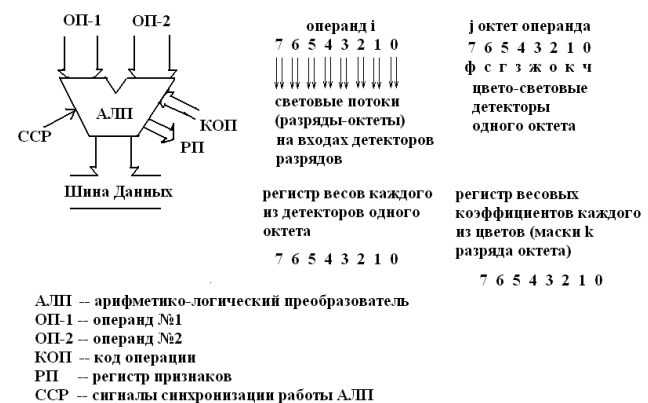
В качестве примера рассмотрим построение АЛП на восьмиразрядных регистрах. Каждый разряд регистра (назовем его – су-

брегистром) может принимать одно или несколько значений из восьми цветов. Распределение цветов по разрядам субрегистра будем задавать в соответствии с маской цветов разрядов субрегистра, а весовые коэффициенты цветов – в соответствии с матрицей весовых коэффициентов. В основу разложения цветовых изображений выбираем семь основных цветов: К-красный, О-оранжевый, Ж-желтый, З-зеленый, Г-голубой, С-синий, Ф-фиолетовый (расположены по мере увеличения частоты и уменьшения длины волны). Например: для восьмеричной системы счисления разрядам восьмиразрядного регистра с номерами 7,6,5,4,3,2,1,0 будут соответствовать цвета Ф, С, Г, З, Ж, О, К, Ч, где Ч-отсутствие цвета, т.е. например – черный или белый цвет. Матрица весовых коэффициентов необходима при обработке в т.ч. анализе и синтезе цветовых изображений для которых характерно наличие нескольких градаций яркости того или иного цвета, например: шесть долей зеленого плюс три доли красного плюс одна доля синего позволяют соблюсти баланс белого цвета.

В ходе исследований авторами рассматривались вопросы разработки арифметико-логического преобразователя операционного автомата оптического процессора (цвето-светового процессора ЦСП) [19-21], в том числе – следующие:

- 1 Программная модель АЛП операционного автомата (ОА) ЦСП;
- 2 Программная модель обработки цифро-буквенной информации;
- 3 Программная модель обработки цветовых изображений;
- 4 Программная модель обработки звуковых сигналов;
 - 4.1 Обработка речевых нормированных сигналов;
 - 4.2 Обработка звуковых ненормированных случайных сигналов;
 - 4.3 Обработка звуковых нормированных музыкальных сигналов.

На рисунке 1 представлена логическая модель АЛП-ОА цвето-светового процессора.



Р и с. 1. Логическая модель АЛП-ОА ЦСП

Fig. 1. Logical model ALC-OM CLP (ALC – arithmetic logic converter, OM – operating machine, CLP – color-light processor)

Источник: здесь и далее в статье все рисунки составлены авторами.

Source: Hereinafter in this article all figures were made by the authors.

¹ Каляев А. В. Многопроцессорные системы с программируемой архитектурой. М.: Радио и связь, 1984. 240 с.

² Сухман С. М., Бернов А. В., Шевкопляс Б. В. Синхронизация в телекоммуникационных системах. Анализ инженерных решений. М.: Эко-Трендз, 2003. 272 с.



В качестве примера в статье подробно рассмотрен вопрос обработки звуковых нормированных музыкальных сигналов. В качестве исходной информации для обработки используем кодировку октав музыкального звукоряда:

- 1 С3 – инфразвуки;
- 2 С2 – субконтроктава;
- 3 С1 – контроктава;
- 4 С – большая октава;
- 5 с – малая октава;
- 6 с1 – первая октава;
- 7 с2 – вторая октава;
- 8 с3 – третья октава;
- 9 с4 – четвертая октава;
- 10 с5 – пятая октава;
- 11 с6 – шестая октава;
- 12 с7 – ультразвуки.

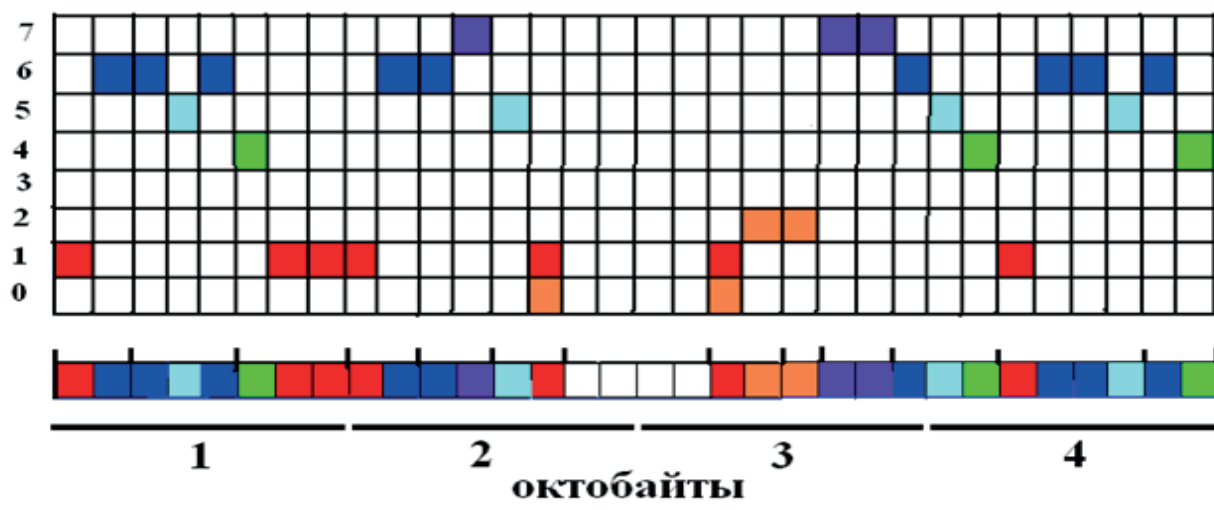
Кодировка отдельных нот в пределах одной октавы соответ-

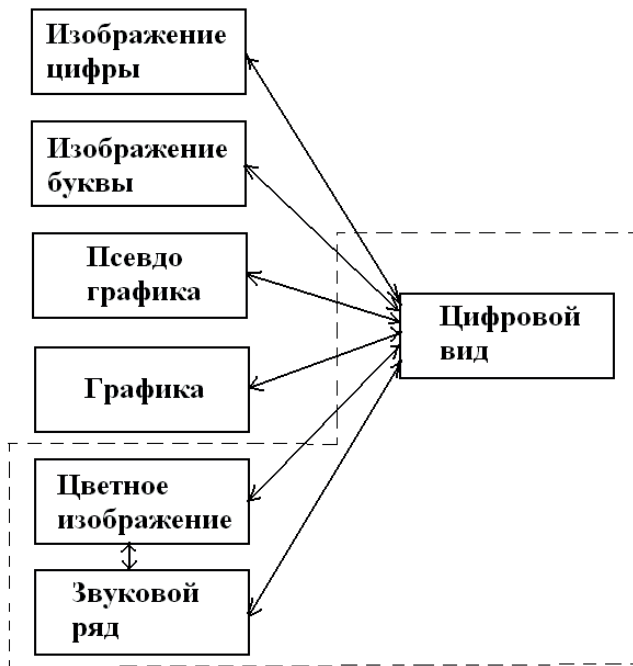
ствует цветовой гамме сигналов октобита, при этом соблюдается правило – чем выше частота цветового сигнала, тем выше частота тона звукового сигнала, т.е. принято следующее соответствие:

- 1) красный цвет-нота С(до);
- 2) оранжевый цвет-нота D(ре);
- 3) желтый цвет-нота E(ми);
- 4) зеленый цвет-нота F(фа);
- 5) голубой цвет-нота G(соль);
- 6) синий цвет-нота А(ля);
- 7) фиолетовый цвет-нота В(си).

Сигналы перечислены в порядке от младшего разряда к старшему.

Пример из планирования эксперимента воспроизведения звуковой последовательности в пределах первой и второй октав (все ноты целые) приведен на рисунке 2.





Р и с. 3. Схема преобразования информации
F i g. 3. Information conversion scheme

На схеме приведенной на рисунке 3, пунктиром выделены блоки, преобразование сигналов которых осуществляется с применением команд и микрокоманд находящихся в разработке. Группы Функциональных Устройств (ФУ) соответствующие основным системным процессам в АЛП-ОА ЦСП:

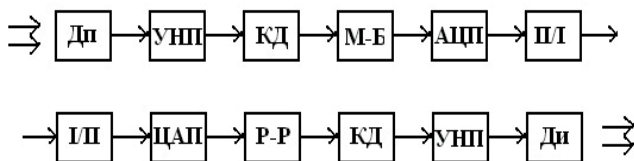
М – хранения информации;

Т – передачи информации;

Р – преобразования информации;

С – управления АЛП- ОА ЦСП.

Тракт функционального преобразователя (детектора) одного цвета октобита процессора-спутника АЛП представлен на рисунке 4.



Р и с. 4. Тракт функционального преобразователя (детектора)
F i g. 4. The path of the functional converter (detector)

Тракт функционального преобразователя (детектора) одного цвета октобита процессора-спутника АЛП состоит из функциональных частей:

- 1) Дп-датчик приемника цвето-светового сигнала определенной длины волны соответствующей одному цвету;
- 2) УНП-усилитель нормирующий программируемый цвето-светового сигнала от датчика определенной длины волны соответствующей одному цвету;
- 3) КД-калибратор датчика источника или приемника;
- 4) М-Б-масштабирования или балансировки цвето-светового сигнала от датчика определенной длины волны соответствующей одному цвету;
- 5) АЦП-аналого-цифровой преобразователь;
- 6) ЦАП-цифро-аналоговый преобразователь;
- 7) Р-Р-регулятор размерности;
- 8) Ди-датчик источника цвето-светового сигнала определенной длины волны соответствующей одному цвету;
- 9) П/П-преобразователь параллельного кода в последовательный;
- 10) И/П- преобразователь последовательного кода в параллельный.

Тракт октобита включает в себя восемь функциональных преобразователей основных и дополнительных цветовых сигналов на передачу и восемь на прием. При этом тракты интерфейсов приемников и источников сигналов должны быть отдельными, т.е. системный интерфейс процессора должен состоять из интерфейса приемников и интерфейса источников информации. Это позволит упростить и ускорить обработку цвето-световых сигналов.

Выше (на Рис. 2) был показан фрагмент музыкального произведения, представленный в виде цветного изображения, где отдельные ноты представлены различным цветом с определенной яркостью. Обработка цвето-световых сигналов позволяет накладывать один фрагмент на другой при формировании изображения с последующим считыванием и распознаванием этих фрагментов [22-25].

Заключение

В работе предложено при обработке цвето-световых сигналов вместо разложения исходной информации, представленной в виде цветного изображения, в ряд Фурье с помощью плоских линз, использовать источники и приемники цветовых сигналов с фиксированными длинами волн и унифицированными характеристиками. Это позволит упростить и ускорить обработку цветных изображений представляющих в закодированном виде цифро-буквенную, звуковую, видео информацию. Применение источников и приемников цветовых сигналов с фиксированными длинами волн и унифицированными характеристиками обеспечит стабильность работы оптических узлов оптического процессора при воздействии внешних дестабилизирующих факторов.



Список использованных источников

- [1] Мельников А. К. Исследование путей модернизации реконфигурируемых вычислительных систем // Известия ЮФУ. Технические науки. 2014. № 12(161). С. 83-89. EDN: TIOOIB
- [2] Мельников А. К. Исследование путей модернизации реконфигурируемых вычислительных систем в интересах решения вычислительно трудоемких задач // Вестник компьютерных и информационных технологий. 2016. № 2(140). С. 52-60. <https://doi.org/10.14489/vkit.2016.02.pp.052-059>
- [3] Левин И. И. Семейство высокопроизводительных реконфигурируемых вычислительных систем // Вестник Томского государственного университета. Управление, вычислительная техника и информатика. 2008. № 2(3). С. 77-93. EDN: KGCWZT
- [4] Малашенко Ю. Е., Назарова И. А. Модель управления поэтапной модернизацией гетерогенной вычислительной системы // Известия Российской академии наук. Теория и системы управления. 2016. № 6. С. 83-96. <https://doi.org/10.7868/S0002338816050115>
- [5] Леохин Ю. Л., Дворецкий И. Н. Энергоэффективный гетерогенный многопроцессорный аппаратно-программный комплекс // Известия высших учебных заведений. Приборостроение. 2017. Т. 60, № 5. С. 440-446. <https://doi.org/10.17586/0021-3454-2017-60-5-440-446>
- [6] Повышение живучести мажоритарно-резервированных систем управления / А. С. Ксенофонтов, Н. Ф. Сыцевич, Р. С. Кулиев, С. Н. Сыцевич // Известия Кабардино-Балкарского научного центра РАН. 2015. № 6-2(68). С. 100-104. EDN: VBSIBF
- [7] Мажоритирование сигналов USART в мажоритарно-резервированных системах / Н. Ф. Сыцевич, Р. С. Кулиев, Д. В. Крахмалев, Ж. Ж. Жабоев // Современные наукоемкие технологии. 2018. № 12-2. С. 366-370. EDN: YVMDJB
- [8] Синхронизация работы мажоритарных элементов резервированных комплектов систем управления / Н. Ф. Сыцевич, Р. С. Кулиев, Л. А. Москаленко, М. З. Молочков // Современные наукоемкие технологии. 2016. № 8-2. С. 261-264. EDN: WHKSXT
- [9] Мажоритирование сигналов с допустимым уровнем рассогласования в мажоритарно-резервированных системах / Н. Ф. Сыцевич, Р. С. Кулиев, Д. В. Крахмалев, Ж. Ж. Жабоев // Современные наукоемкие технологии. 2017. № 5. С. 73-77. EDN: YRYDQZ
- [10] Крахмалев Д. В., Сыцевич Н. Ф., Титов В. А. Повышение живучести в суперкомпьютерных структурах на основе резервированных интерфейсов // Вестник Института мировых цивилизаций. 2018. Т. 9, № 2(19). С. 121-127. EDN: UTPDQG
- [11] Datta A. K., Munshi S. Signed-negabinary-arithmetic-based optical computing by use of a single liquid-crystal-display panel // Applied Optics. 2002. Vol. 41, issue 8. P. 1556-1564. <https://doi.org/10.1364/AO.41.001556>
- [12] Wong W. M., Blow K. J. Design and analysis of an all-optical processor for modular arithmetic // Optics Communications. 2006. Vol. 265, issue 2. P. 425-433. <https://doi.org/10.1016/j.optcom.2006.03.044>
- [13] Nakarmi B., Rakib-Uddin M., Won Y. H. Realization of All-Optical Digital Comparator Using Single Mode Fabry-Pérot Laser Diodes // Journal of Lightwave Technology. 2011. Vol. 29, issue 19. P. 3015-3021. <https://doi.org/10.1109/JLT.2011.2165833>
- [14] Кузнецов П. В. Исследование технологии создания модульно-наращиваемых многопроцессорных вычислительных систем с программируемой архитектурой на основе реконфигурируемой элементной базы // Научно-технический вестник Санкт-Петербургского государственного университета информационных технологий, механики и оптики. 2006. № 25. С. 13-20. EDN: JURWJH
- [15] Технология программирования вычислительных систем гибридного типа / И. А. Каляев, А. И. Дордопуло, И. И. Левин [и др.] // Вычислительные технологии. 2016. Т. 21, № 3. С. 33-44. EDN: WHTGZP
- [16] Шалагин С. В. Реализация устройств вычислительной техники на многопроцессорных системах с программируемой архитектурой // Вестник Марийского государственного технического университета. Серия: Радиотехнические и инфокоммуникационные системы. 2011. № 1(11). С. 38-46. EDN: NULMCL
- [17] Высокопроизводительная система числового программного управления на базе программируемых логических интегральных схем / А. А. Зеленский, М. А. Харьков, С. П. Ивановский, Т. Х. Абдуллин // Вестник Воронежского государственного технического университета. 2018. Т. 14, № 5. С. 8-12. EDN: YLHJIT
- [18] Многопроцессорные рабочие станции с программируемой архитектурой – эффективный инструмент решения сложных научно-технических задач / И. И. Левин, И. М. Пономарев, Р. В. Шахов, А. В. Шматок // Известия ТРТУ. 2002. № 2(25). С. 180-183. EDN: KRSFDV
- [19] Шибяев С. С., Новиков В. М., Роздобудько В. В. Теория акустооптического спектроанализатора с синтезированной апертурой // Физика волновых процессов и радиотехнические системы. 2010. Т. 13, № 1. С. 55-60. EDN: MNHDYZ
- [20] О комплексной обработке оптических сигналов в задаче обнаружения объектов / А. А. Черноморец, Е. В. Болгова, А. Н. Заливин, И. И. Олейник // Научные ведомости Белгородского государственного университета. Серия: Экономика. Информатика. 2019. Т. 46, № 4. С. 764-773. <https://doi.org/10.18413/2411-3808-2019-46-4-764-773>
- [21] Zhilyakov E. G., Konstantinov I. S., Chernomoretz A. A. Decomposition of images into additive components // International Journal of Imaging and Robotics. 2016. Vol. 16, issue 1. P. 1-8. URL: <http://www.ceser.in/ceserp/index.php/iji/article/view/4020> (дата обращения: 09.01.2023).
- [22] Bernardin K., Stiefelwagen R. Evaluating Multiple Object Tracking Performance: The CLEAR MOT Metrics // EURASIP Journal on Image and Video Processing. 2008. Article number: 246309. <https://doi.org/10.1155/2008/246309>



- [23] Dufour J.-Y. Intelligent Video Surveillance Systems; ed. by J.-Y. Dufour. John Wiley & Sons, Inc., 2012. 352 p. <https://doi.org/10.1002/9781118577851>
- [24] Gonza'lez-Marcos A. P., Marti'n-Pereda J. A. Method to analyze the influence of hysteresis in optical arithmetic units // Optical Engineering. 2001. Vol. 40, issue 11. P. 2371-2385. <https://doi.org/10.1117/1.1413747>
- [25] Theoretical Basis and Implementation Mechanism of the Programming Platform for Ternary Optical Computer / S. Li, Z. Wang, S. Wang, D. An // IEEE Access. 2022. Vol. 10. P. 5585-5594. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2022.3142329>

Поступила 09.01.2023; одобрена после рецензирования 17.03.2023; принята к публикации 20.03.2023.

Об авторах:

Сыцевич Николай Федорович, старший преподаватель кафедры вычислительных комплексов автоматизированных систем обработки информации и управления специального назначения, ФГКБОУ ВО «Военная академия Ракетных войск стратегического назначения имени Петра Великого» Министерства обороны Российской Федерации (143900, Российская Федерация, Московская обл., г. Балашиха, ул. Карбышева, д. 8), советник ПАЕ, **ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1834-9625>**, nikolayfs@mail.ru

Крахмалев Дмитрий Владимирович, доцент кафедры бизнес-информатики, ФГБОУ ВО «Финансовый университет при правительстве Российской Федерации» (125993, Российская Федерация, г. Москва, Ленинградский пр., д. 49/2), кандидат технических наук, доцент, **ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5362-8676>**, dkrakhmalev@fa.ru

Чипчагов Михаил Сергеевич, доцент Департамента анализа данных и машинного обучения, ФГБОУ ВО «Финансовый университет при правительстве Российской Федерации» (125993, Российская Федерация, г. Москва, Ленинградский пр., д. 49/2), кандидат технических наук, **ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2038-9108>**, Chip614@mail.ru

Вербицкий Андрей Сергеевич, доцент кафедры общепрофессиональных дисциплин, ФГКБОУ ВО «Московское высшее общевойсковое командное орденов Жукова, Ленина и Октябрьской Революции Краснознамённое училище» Министерства обороны Российской Федерации, (Российская Федерация, г. Москва, ул. Головачева, д. 2), кандидат технических наук, **ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0689-0975>**, verb25@yandex.ru

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

References

- [1] Melnikov A.K. Research of possible modifications of reconfigurable computer systems. *Izvestiya SFedU. Engineering sciences*. 2014;(12):83-89. (In Russ., abstract in Eng.) EDN: TIOOIB
- [2] Melnikov A.K. Research of methods of reconfigurable computer systems improvement for implementation of computationally laborious tasks. *Vestnik komp'yuternykh i informatsionnykh tekhnologii* = Herald of computer and information technologies. 2016;(2):52-60. (In Russ., abstract in Eng.) <https://doi.org/10.14489/vkit.2016.02.pp.052-059>
- [3] Levin I.I. The generation of high performance reconfigurable computer systems. *Tomsk State University Journal of Control and Computer Science*. 2008;(2):77-93. (In Russ., abstract in Eng.) EDN: KGCWZT
- [4] Malashenko Y.E., Nazarova I.A. Control model of the phased upgrade of a heterogeneous computing system. *Journal of Computer and Systems Sciences International*. 2016;55(6):924-937. <https://doi.org/10.1134/S1064230716050117>
- [5] Leokhin Yu.L., Dvoretzkiy I.N. Energy-efficient heterogeneous multiprocessor hardware and software complex. *Journal of Instrument Engineering*. 2017;60(5):440-446. (In Russ., abstract in Eng.) <https://doi.org/10.17586/0021-3454-2017-60-5-440-446>
- [6] Ksenofontov A.S., Sytsevich N.F., Kuliyeu R.S., Sytsevich S.N. Increase of vitality of the majority-reserved systems of management. *News of the Kabardino-Balkarian Scientific Center of the RAS*. 2015;(6-2):100-104. (In Russ., abstract in Eng.) EDN: VBSIBF
- [7] Sytsevich N.F., Kuliev R.S., Krakhmalev D.V., Zhaboev Zh.Zh. Majorization of USART signals in majority-reserved systems. *Modern high technologies*. 2018;(12-2):366-370. (In Russ., abstract in Eng.) EDN: YVMDJB
- [8] Sytsevich N.F., Kuliyeu R.S., Moskalenko L.A., Molov M.Z. Synchronization of work of majority elements of the reserved complete sets of systems managements. *Modern high technologies*. 2016;(8-2):261-264. (In Russ., abstract in Eng.) EDN: WHKSXT
- [9] Sytsevich N.F., Kuliyeu R.S., Krakhmalev D.V., Zhaboev Zh.Zh. Mazhority signals with an acceptable level mismatch in majority-redundant system. *Modern high technologies*. 2017;(5):73-77. (In Russ., abstract in Eng.) EDN: YRYDQZ
- [10] Krakhmalev D.V., Sytsevich N.F., Titov V.A. The increase of survivability in supercomputing structures based on redundant interfaces. *Bulletin of the Institute of World Civilizations*. 2018;9(2):121-127. (In Russ., abstract in Eng.) EDN: UTPDQG
- [11] Datta A.K., Munshi S. Signed-negabinary-arithmetic-based optical computing by use of a single liquid-crystal-display panel. *Applied Optics*. 2002;41(8):1556-1564. <https://doi.org/10.1364/AO.41.001556>
- [12] Wong W.M., Blow K.J. Design and analysis of an all-optical processor for modular arithmetic. *Optics Communications*. 2006;265(2):425-433. <https://doi.org/10.1016/j.optcom.2006.03.044>
- [13] Nakarmi B., Rakib-Uddin M., Won Y.H. Realization of All-Optical Digital Comparator Using Single Mode Fabry-Pérot Laser Diodes. *Journal of Lightwave Technology*. 2011;29(19):3015-3021. <https://doi.org/10.1109/JLT.2011.2165833>
- [14] Kuzhakov P.V. *Issledovanie tekhnologii sozdaniya modul'no-narashhivaemykh mnogoprocessornykh vychislitel'nykh sistem s programmiruemoj arhitekturoj na osnove rekonfiguriruemoj jelementnoj bazy* [Study of the technology for creating modularly



- scalable multiprocessor computing systems with a programmable architecture based on a reconfigurable element base]. *Scientific and Technical Journal of Information Technologies, Mechanics and Optics*. 2006;(25):13-20. (In Russ.) EDN: JURWJH
- [15] Kalyaev I.A., Dordopulo A.I., Levin I.I., Gudkov V.A., Gulenok A.A. Programming technology for hybrid computer systems. *Computational Technologies*. 2016;21(3):33-44. (In Russ., abstract in Eng.) EDN: WHTGZP
- [16] Shalagin S.V. Realization of computer engineering devices on multiprocessor systems with programmable architecture. *Vestnik of Mari State Technical University. Series Radio Engineering and Infocommunication Systems*. 2011;(1):38-46. (In Russ., abstract in Eng.) EDN: NULMCL
- [17] Zelenskiy A.A., Khar'kov M.A., Ivanovskiy S.P., Abdullin T.Kh. High-performance numerical control system based on programmable logic devices. *Bulletin of the Voronezh State Technical University*. 2018;14(5):8-12. (In Russ., abstract in Eng.) EDN: YLHJIT
- [18] Levin I.I., Ponomarev I.M., Shakhov R.V., Shmatok A.V. *Mnogoprocessornye rabochie stancii s programmiruemoj arhitekturoj – jeffektivnyj instrument reshenija slozhnyh nauchno-tehnicheskikh zadach* [Multiprocessor workstations with programmable architecture – an effective tool for solving complex scientific and technical problems]. *Izvestia TRTU*. 2002;2(25):180-183. EDN: KRSDVD
- [19] Shibaev S.S., Novikov V.M., Rozdobud'ko V.V. Ethe theory of acoustooptic spectrum analyzer with aperture synthesis. *Physics of Wave Processes and Radio Systems*. 2010;13(1):55-60. (In Russ., abstract in Eng.) EDN: MNHDYZ
- [20] Chernomorets A.A., Bolgova E.V., Zalivin A.N., Oleynik I.I. A optical signals combined processing in the object detection task. *Belgorod State University Scientific Bulletin. Economics. Information technologies*. 2019;46(4):764-773. (In Russ., abstract in Eng.) <https://doi.org/10.18413/2411-3808-2019-46-4-764-773>
- [21] Zhilyakov E.G., Konstantinov I.S., Chernomorets A.A. Decomposition of images into additive components. *International Journal of Imaging and Robotics*. 2016;16(1):1-8. Available at: <http://www.ceser.in/ceserp/index.php/iji/article/view/4020> (accessed 09.01.2023).
- [22] Bernardin K., Stiefelhaven R. Evaluating Multiple Object Tracking Performance: The CLEAR MOT Metrics. *EURASIP Journal on Image and Video Processing*. 2008. Article number: 246309. <https://doi.org/10.1155/2008/246309>
- [23] Dufour J.-Y. Intelligent Video Surveillance Systems. In: Dufour J.-Y., ed. John Wiley & Sons, Inc.; 2012. 352 p. <https://doi.org/10.1002/9781118577851>
- [24] Gonza'lez-Marcos A.P., Marti'n-Pereda J.A. Method to analyze the influence of hysteresis in optical arithmetic units. *Optical Engineering*. 2001;40(11):2371-2385. <https://doi.org/10.1117/1.1413747>
- [25] Li S., Wang Z., Wang S., An D. Theoretical Basis and Implementation Mechanism of the Programming Platform for Ternary Optical Computer. *IEEE Access*. 2022;10:5585-5594. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2022.3142329>

Submitted 09.01.2023; approved after reviewing 17.03.2023; accepted for publication 20.03.2023.

About the authors:

Nikolay F. Sytsevich, Senior Lecturer of the Department of Computer Complexes of Automated Information Processing and Special Purpose Control Systems, The Military Academy of Strategic Rocket Troops after Peter the Great (8 Karbysheva St., Moscow Region, Balashikha 143900, Russian Federation), Adviser to the RAE, **ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1834-9625>**, nikolayfs@mail.ru

Dmitry V. Krakhmalev, Associate Professor of the Department of Business Informatics, Financial University under the Government of the Russian Federation (49/2 Leningradsky Prospekt, Moscow 125167, Russian Federation), Cand. Sci. (Tech.), Associate Professor, **ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5362-8676>**, dkrakhmalev@fa.ru

Mikhail S. Chipchagov, Associate Professor of the Department of Data Analysis and Machine Learning, Financial University under the Government of the Russian Federation (49/2 Leningradsky Prospekt, Moscow 125167, Russian Federation), Cand. Sci. (Tech.), **ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2038-9108>**, Chip614@mail.ru

Andrey S. Verbitskiy, Associate Professor of the Department of General Professional Disciplines, Moscow Higher Combined Arms Command School (2 Golovacheva St., Moscow 109380, Russian Federation), Cand. Sci. (Tech.), **ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0689-0975>**, verb25@yandex.ru

All authors have read and approved the final manuscript.

