

УДК 004.932.4

DOI: 10.46548/21vek-2020-0951-0003

МЕТОД ПОВЫШЕНИЯ КАЧЕСТВА ЦИФРОВЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ С ПРОИЗВОЛЬНЫМ УВЕЛИЧЕНИЕМ ИХ РАЗРЕШЕНИЯ

©2020

Колесенков Александр Николаевич, кандидат технических наук,
доцент, доцент кафедры «Космические технологии»

Костров Борис Васильевич, доктор технических наук, профессор,
заведующий кафедрой «Электронные вычислительные системы»

Фетисов Дмитрий Вадимович, аспирант

*Рязанский государственный радиотехнический университет имени В.Ф. Уткина
(390005, г. Рязань, ул. Гагарина, 59/1, e-mails: sk62@mail.ru, kostrov.b.v@evm.rsreu.ru, morzitko@gmail.com)*

Аннотация. Статья посвящена разработке алгоритма и программного модуля, позволяющего повысить качество снимков, полученных в результате аэрокосмической съемки со спутника путем произвольного увеличения их разрешения при решении задач дистанционного зондирования Земли. Данная задача является актуальной как при поиске полезных ископаемых, отслеживании состояния земной поверхности, так и в целом при работе с изображениями плохого качества, требующими их улучшения. Предлагается новый метод субпиксельной обработки изображений, приводятся основные формулы для обработки матриц изображений и блок-схемы алгоритмов разработки программного модуля. Главная идея алгоритма состоит в обработке нескольких входных изображений, которые представлены в виде матриц в градациях серого, с помощью математических и алгоритмических операторов, в результате работы которых получается одно выходное изображение лучшего качества. Корректная работа алгоритма подразумевает задание параметров требуемого разрешения, смещение исходных снимков относительно друг друга на долю пикселя, представление снимков в виде матриц изображений. Экспериментальные исследования разработанного программного модуля подтвердили его эффективность, оцениваемую повышением скорости обработки изображения с произвольным увеличением его разрешения и уменьшением размера сетки пикселей, что является несомненным преимуществом метода.

Ключевые слова: аэрокосмический снимок, матрица, пиксель, алгоритм, произвольное разрешение, повышение качества, программный модуль.

IMPROVING METHOD OF THE DIGITAL IMAGE QUALITY WITH AN ARBITRARY INCREASING IN THEIR RESOLUTION

©2020

Kolesenkov Aleksandr Nikolaevich, PhD in Engineering Sci.,
associate Professor, associate Professor of «Space Technology»

Kostrov Boris Vasilievich, doctor of Technical Sciences, professor,
head of the Department of «Electronic Computing Systems»

Fetisov Dmitry Vadimovich, postgraduate student

*Ryazan State Radio Engineering University named after V. F. Utkin
(390005, Ryazan, Gagarin St., 59/1, e-mails: sk62@mail.ru, kostrov.b.v@evm.rsreu.ru, morzitko@gmail.com)*

Abstract. The article is devoted to the development of an algorithm and software module that makes it possible to improve the quality of images obtained as a result of aerospace imagery from a satellite, through an arbitrary increase in their resolution for their subsequent use for solving problems of remote sensing of the Earth. This task is relevant both when monitoring minerals, tracking the state of the earth's surface, and in general when working with images of poor quality that require its improvement. This work describes in detail one of the methods of sub-pixel processing of low quality images. Also, the article presents the basic formulas with which the image matrices are processed; the block diagrams of the algorithm necessary for writing a software module are given. The main idea of the algorithm is to process several input images, which are represented in the form of grayscale matrices, using mathematical and algorithmic operators, as a result of which result in one output image of the best quality. The main conditions for the correct operation of the algorithms are the displacement of the input images relative to each other in any directions by a fraction of the pixel, setting the parameters of the required resolution, and presenting the images in the form of image matrices. Experimental studies were carried out to analyze the effectiveness of the developed software module, which showed that the rate of image quality improvement with an arbitrary increase in its resolution increases with decreasing pixel grid size, which is an undoubted advantage of the developed algorithm.

Keywords: aerospace image, matrix, pixel, algorithm, arbitrary resolution, quality enhancement, software module.

Введение. Космические технологии дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) [1] в настоящее время являются незаменимым инструментом мониторинга и исследования нашей планеты, который помогает

эффективнее управлять ее ресурсами. Развитие подобных технологий расширяет сферу их применения, проникая в нашу жизнь, дом, работу и бизнес. Космические системы и технологии позволяют получить

необходимые данные с больших, опасных и труднодоступных участков Земли [2, 3] за короткое время. В свою очередь изображения, получаемые со спутников ДЗЗ, охватывают разнообразные сферы деятельности во многих отраслях (геологические исследования, мониторинг полезных ресурсов, охрана окружающей среды и в других целях).

В настоящей работе представлен один из методов субпиксельной обработки изображений низкого качества, полученных со спутников ДЗЗ [4], с целью их последующих преобразований в единое изображение лучшего качества [5] с заданным разрешением. Основными условиями для последующей обработки снимков являются:

- возможность смещения изображений относительно друг друга в горизонтальном, вертикальном или одновременно в двух направлениях на долю пикселя;
- задание параметров разрешения в виде $R1 \times R2$, где $R1$ – параметр разрешения по горизонтали, $R2$ – параметр разрешения по вертикали;
- входные снимки представляются в виде матрицы [6].

Основная идея алгоритма, реализующего задачу повышения качества изображений [7, 8], заключается в «наложении» входных матриц снимков, смещенных на долю пикселя относительно друг друга. Численные значения параметров матрицы выходного изображения получаются путем применения различных математических операторов к значениям пикселей входных изображений.

Цель данной работы заключается в повышении

качества изображений за счет увеличения разрешения, заданного пользователем произвольно. Актуальность разработки такого программного модуля обусловлена необходимостью детального исследования земной поверхности в нуждах геологии, сельского хозяйства, обороны [9 – 11] и много другого. Поскольку на сегодняшний день общество стремится к более рациональному использованию ресурсов земли, охране окружающей среды, а этого можно достигнуть благодаря получению качественных изображений.

Материалы и результаты исследования. Пусть имеется четыре входных снимка A, B, C, D , которые представлены в виде соответствующих матриц, и выходная матрица с обозначением M . При сдвиге матриц относительно друг друга на часть «большого» пикселя выходное изображение изменится только за счет смещения их краев, т. е. основной и единственный вклад в эти изменения вносят области пикселя, которые соответствуют крайним малым пикселям. Матрицы, которые сдвинуты друг относительно друга не более чем на долю пикселя по горизонтали и/или вертикали, называются смежными. Можно представить всего четыре разных положения «большого» пикселя, который смещен на один «малый» пиксель (рис. 1).

Области совмещения изображений выделены прямоугольниками, а ячейки в них обозначают «малые» пиксели выходной матрицы. «Большие» пиксели входных изображений низкого качества представлены квадратами. Белым цветом обозначены ячейки матриц, значения которых берутся со знаком минус, черным – со знаком плюс, а серым обозначаются ячейки с нулевым значением.

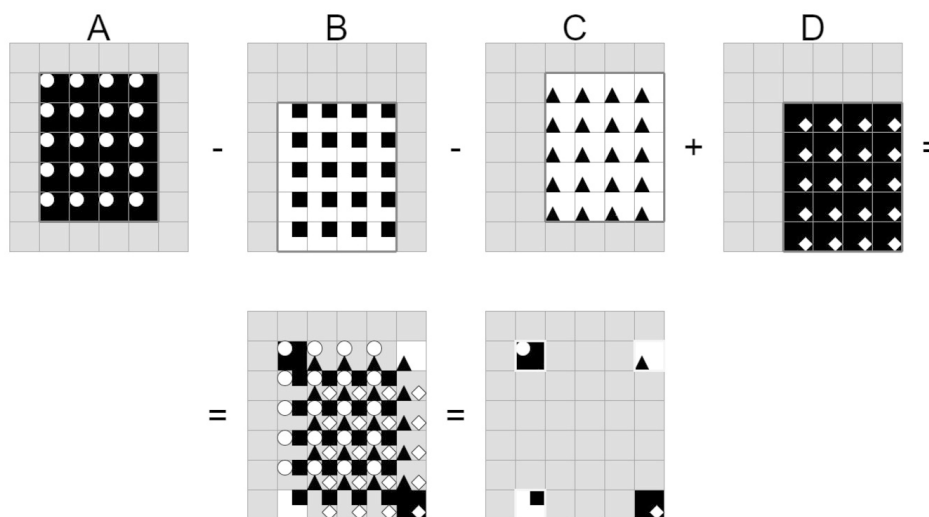


Рисунок 1 – Получение матрицы результирующего изображения высокого качества на основе совмещения нескольких матриц входных изображений низкого разрешения

Значения четырех «больших» пикселей напрямую связаны со значениями «малых» пикселей результирующей матрицы, следующим образом:

$$M = A + D - B - C = A_{R1*i, R2*j} + D_{R1*(i+1) R2*(j+1)} - B_{R1*i, R2*(j+1)} - C_{R1*(i+1) R2*j} \quad (1)$$

Соотношение (1) является главным для решения задачи повышения качества изображения [12]. Зна-

чения больших пикселей выходного изображения известны заранее из входных матриц, поэтому при разработке программного модуля можно использовать такие краевые условия.

На пересечении границ сдвинутых больших пикселей образуются области, которые соответствуют четырем маленьким пикселям (рис. 1). Четыре сосед-

ние ячейки, которые принадлежат разным входным матрицам, связаны набором ячеек формулами (2) – (5) синтезированной матрицы:

$$A_{i,j} = \sum_{p=-1}^{R1-1} \sum_{q=-1}^{R2-1} A_{R1*i+p, R2*j+q} ; \quad (2)$$

$$B_{i,j} = \sum_{p=-1}^{R1-1} \sum_{q=0}^{R2} B_{R1*i+p, R2*j+q} ;$$

$$C_{i,j} = \sum_{p=0}^{R1} \sum_{q=-1}^{R2-1} C_{R1*i+p, R2*j+q} ; \quad (4)$$

$$D_{i,j} = \sum_{p=0}^{R1} \sum_{q=0}^{R2} D_{R1*i+p, R2*j+q} ; \quad (5)$$

С помощью формул (1) – (5) получаем следующую формулу для расчета значений «малых» пикселей:

$$D_{R1*(i+1) R2*(j+1)} = A_{i,j} + D_{i,j} - B_{i,j} - C_{i,j} - A_{R1*i, R2*j} + B_{R1*i, R2*(j+1)} + C_{R1*(i+1) R2*j} \quad (6)$$

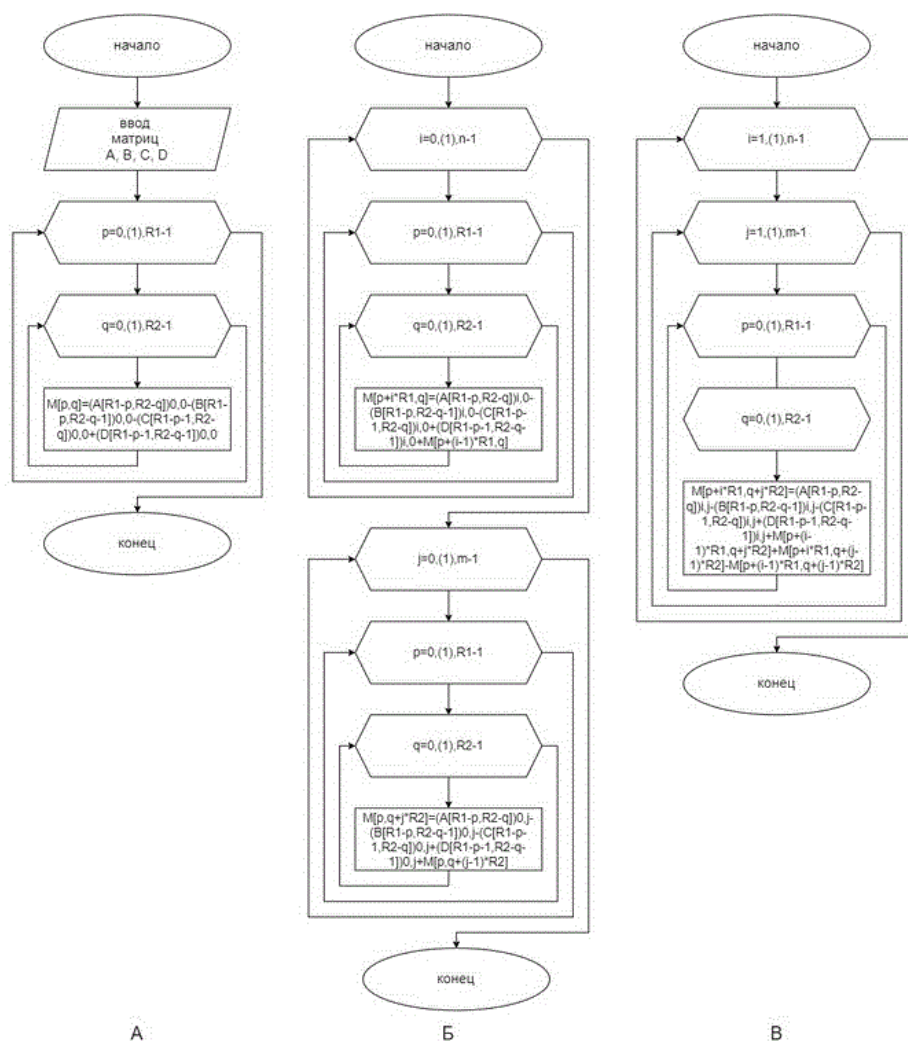


Рисунок 2 – Блок-схема алгоритма повышения качества изображений с произвольным увеличением разрешения

Имена матриц A, B, C, D приняты для обозначения четверки смежных матриц. Подобных четверок может быть много, а весь набор их названий сам может представляться в виде матрицы с элементами $W_{p,q}$ где индекс p принимает значения от 0 до $R1-1$, а индекс q от 0 до $R2-1$ [13]. Тогда в общем виде элементы четырех смежных матриц, имеющих индексы (i,j) , можно представить в виде $(W_{p,q})_{i,j}, (W_{p+1,q})_{i,j}, (W_{p,q+1})_{i,j}, (W_{p+1,q+1})_{i,j}$.

В результате блок-схему алгоритма, реализующего процесс повышения качества изображений с произвольным разрешением [14, 15], можно представить в

виде рисунка 2.

Для вычисления значений пикселей выходного изображения необходимо сначала обработать пиксели с координатами (0,0) всех снимков (рис. 2А). Затем рассчитываются пиксели, находящиеся в первой строке и первом столбце (рис. 2Б). На заключительном этапе рассчитываются все остальные пиксели результирующего изображения (рис. 2В).

Данное разбиение на отдельные процедуры расчета определенных пикселей обусловлено особенностями постановки задачи, поскольку разрешение задается произвольно [16].

Разработанный алгоритм, решающий задачу повышения качества снимков с произвольным разрешением, был реализован в виде программного модуля на языке программирования C# [17, 18]. Также был создан графический интерфейс со следующими элементами:

- поле выбора и загрузки снимков;
- поля ввода требуемого разрешения;
- поля ввода размера выходного изображения (при необходимости);
- область с отображением входных снимков и выходного улучшенного изображения;
- область с отображением временных затрат.

Для анализа эффективности разработанного алгоритма повышения качества изображений, которые были получены с помощью аэрокосмической съемки, был произведен ряд экспериментов. В качестве исходных данных выбраны восемь цветных снимков, разбитых на две группы по четыре изображения одинакового размера и смещенных относительно друг друга на долю пикселя в горизонтальном и вертикальном направлениях.

Быстродействие процедуры повышения качества изображения на основе нескольких изображений низкого качества оценивалось относительно размерности выходной сетки пикселей и заданным разрешением

[19]. Например, программный модуль работает с четырьмя изображениями в сетке размером 128x128 и заданным пользователем разрешением, равным 100x120. Также эксперименты проводились с увеличением масштаба снимков от 2 до 8 раз в сетке [20]. Результаты экспериментов представлены в таблице 1 и на рисунке 3.

Таблица 1 – Результаты экспериментов

Размер сетки	Оригинальные снимки в сетке 128x128 (0..127)	Снимки с масштабом 2 раза в сетке 64x64 (0..63)	Снимки с масштабом 4 раза в сетке 32x32 (0..31)	Снимки с масштабом 8 раз в сетке 16x16 (0..15)
Разрешение	100x120	62x51	15x15	
1 набор снимков	116 мс	87 мс	51 мс	50 мс
2 набор снимков	124 мс	85 мс	49 мс	53 мс

Согласно полученным данным, скорость повышения качества изображения с произвольным увеличением его разрешения и уменьшением размера сетки пикселей увеличивается, что является несомненным преимуществом разработанного алгоритма. Качество нового изображения, ранее подверженного масштабированию, не уступает изображению, полученному из оригинальных снимков.

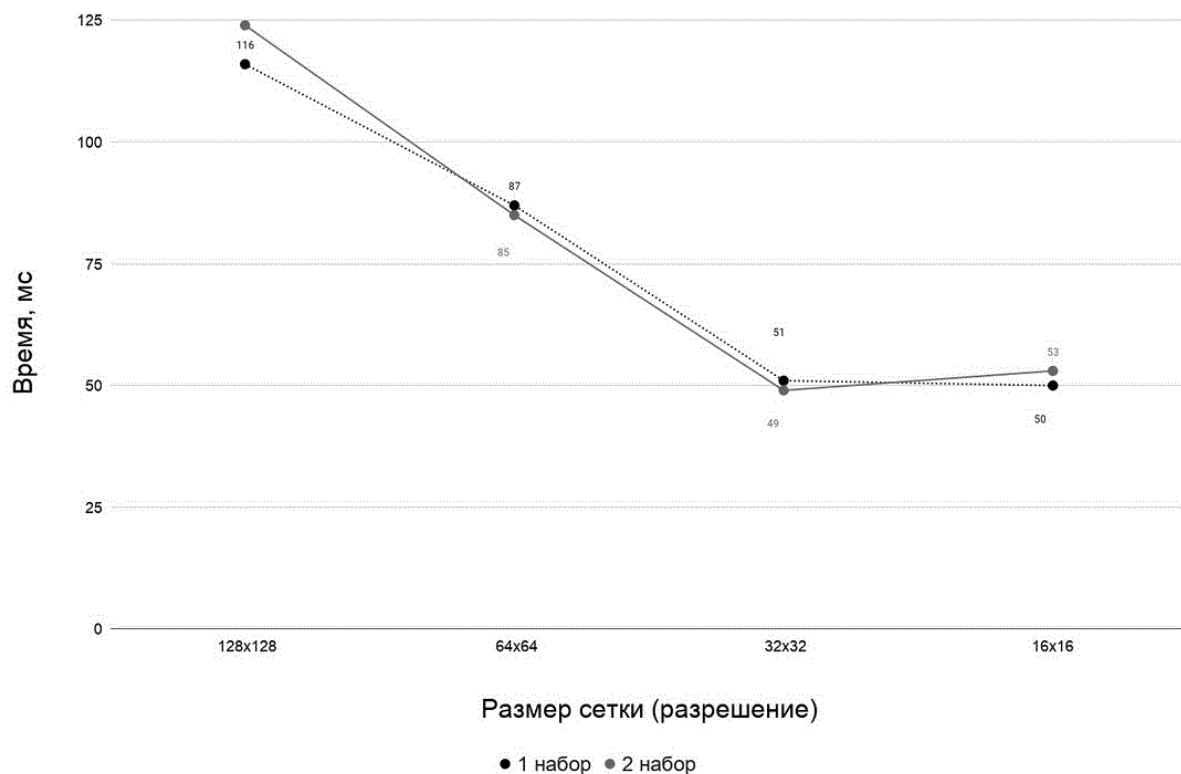


Рисунок 3 – Скорость повышения качества изображения с произвольным увеличением его разрешения

К достоинству данного алгоритма можно отнести также то, что при разных сетках исходных снимков с одинаковым разрешением алгоритм работает примерно одинаково. Однако в сравнении с ранее разработанными алгоритмами сканирования и восстановления изображений данный алгоритм несколько уступает

по временным затратам, поскольку он работает не с двумя матрицами снимков, а с четырьмя, что снижает скорость работы алгоритма, но позволяет получить изображение лучшего качества.

Таким образом, разработанный алгоритм позволяет наглядно представить повышение качества исход-

ного изображения. В целом, полученные на выходе изображения весьма полезны при интерактивном режиме обработки данных, когда исследователь быстро обнаруживает неоднородности анализируемого объекта для последующего исследования.

Выводы и перспективы. Повышение качества цифровых изображений с произвольным увеличением их разрешения является более сложной и трудоемкой задачей по сравнению с одномерным или двумерным сканированием. Также можно выделить следующие преимущества разработанного модуля:

- для получения качественного изображения требуется небольшой набор снимков довольно низкого качества;
- для получения изображения высокого качества используется несложный математический аппарат;
- алгоритм устойчив к шуму и помехам;
- модуль обладает универсальностью в части разрешения, которое задается пользователем.

Разработанный алгоритм, повышающий качество снимков, которые были получены со спутников ДЗЗ, имеет различные аспекты для дальнейшего исследования. В частности, можно дополнительно применить фильтры, позволяющие выделить ту или иную необходимую область снимка. Также можно провести сравнительный анализ данного алгоритма с другими уже существующими алгоритмами субпиксельной обработки данных (одномерное и двумерное сканирование, одномерное и двумерное/абсолютное восстановление) и сделать выводы об их применимости при решении различных прикладных задач в области мониторинга полезных ископаемых и ДЗЗ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Fetisov D.V., Kolesenkov A.N., Fetisova T.A., and Strotov V.V. Sub-pixel matching data of environmental remote sensing in the monitoring of natural resources // Proceedings Collections from SPIE Remote Sensing. – 2020. – Paper 1153406. – 6 p.
2. Fetisov D.V., Kolesenkov A.N., Fetisova T.A. Automatic Scaling Method of Aerospace Images Using Spectral Transformation // 2018 International Russian Automation Conference (IRAC). – 2018. – Paper 18168403. – 7 p.
3. Taganov A., Kolesenkov A., Babaev S. Ecological monitoring of dangerous objects on the basis of vegetation indexing and evolutionary approach // 2016 5th Mediterranean Conference on Embedded Computing, MECO 2016 - Including ECyPS 2016, BIOENG.MED 2016, MECO: Student Challenge 2016. – 5. – 2016. – P. 468-472.
4. William H. Press Numerical recipes in C: the art of scientific computing / William H. Press // Cambridge University Press. - 2nd ed. – 1995. – 994 p.
5. Beskid P.P. Geographic Information Systems and Technologies // Spb.: Russian State Hydrometeorological University. – 2013. – 173 p.
6. Фетисов Д.В., Колесенков А.Н. Экспериментальные исследования в области повышения качества цифровых изображений, полученных в результате аэрофотосъемки // Сборник трудов международной научно-технической и научно-методической конференции «Современные технологии в науке и образовании» (СТНО-2020). – Рязань, 2020. – Том 6. – С.196-201.
7. Блажевич С.В., Селютина Е.С. Повышение разрешения цифрового изображения с использованием субпиксельного

сканирования // Журнал «Научные ведомости Белгородского государственного университета», серия: Математика. Физика. – Белгород, 2014 г. – С. 186 – 190.

8. Sinha S., Frahm J.M., Pollefeys M. and Genc. Y. GPU-based Video Feature Tracking and Matching // In: Workshop on Edge Computing Using New Commodity Architectures, Chapel Hill, US. – 2006. – 15 p.

9. Дронов А. Н., Шумилов Ю. Ю. Комплексная оценка качества изображений для систем видеомониторинга реального времени // Естественные и технические науки. – 2009. – № 6 (44). – С. 485—486.

10. Козлов В.Л. Измеритель дальности и размерных параметров объектов на основе цифровой фотокамеры / В.Л. Козлов, И.Р. Кузьмичев // Вестник БГУ. – № 1. – 2011. – С. 33-37.

11. Fraundorfer F., Stewenius H. and Nist'ér D. A Binning Scheme for Fast Hard Drive Based Image Search // In: Proc. IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, Minneapolis, Minnesota. – 2007. – 6 p.

12. Aditya Vailaya, Mario A.T Figueiredo, Anil.K Jain, and Hong-Jiang. Image Classification for Content Based Indexing // Published in IEEE TRANSACTIONS ON IMAGE PROCESSING. – 2001. – Vol. 10. – № 1. – P. 117-130.

13. Козлов В.Л., Васильчук А.С. Субпиксельная обработка изображений для измерения дальности на основе цифровой фотокамеры // Журнал «Приборы и методы измерений». – Беларусь, 2012. – С. 115-120.

14. Блажевич С.В. Синтез цифровых изображений субпиксельного уровня разрешения с использованием расфокусировки // Сб. науч. ст. Техническое зрение в системах управления –М.: Ротапринт ИКИ РАН. – 2012. С.127-137.

15. Чернявский Г.М. Перспективы космического мониторинга земли // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. – 2004. – Т.1. – С. 39-46.

16. Гонсалес Р.С. Цифровая обработка изображений: Монография / Р.С. Гонсалес, Р.Е. Вудс; пер. с англ. под ред. П.А. Чочиа. – М.: Техносфера. – 2006. – 1072 с.

17. Skvortsov S.V., Fetisova T.A., Bakuleva M.A. Improving the Performance of Software Applications for Sort and Search Data by Means of GPUs // 7th Mediterranean Conference on Embedded Computing (MECO). – 2018. – P. 153-156.

18. Костров Б.В., Саблина В.А. Адаптивная фильтрация изображений со структурными искажениями // Цифровая обработка сигналов. – 2008. – № 4. – С. 49-53.

19. Kozlov V.L. Measuring Instrument of Range and Size Parameters of Objects on the Basis of a Digital Camera / V.L. Kozlov, I.R. Kuzmichev // Bulletin of BSU. – No1. – 2011. – P. 33-37.

20. Skvortsov S.V., Fetisova T.A., Bakuleva M.A., Bakulev A.V. The Implementation on CUDA Platform Parallel Algorithms Sort the Data // 6th Mediterranean Conference on Embedded Computing (MECO). – 2017. – P. 51-54.

Статья поступила в редакцию 14.10.2020

Статья принята к публикации 11.12.2020