

15. *Rangayan R.M.* Analiz biomeditsinskih signalov. Prakticheskiy podkhod [Analysis of biomedical signals. Practical approach]: translation from English, ed. by A.P. Nemirko. Moscow: Fizmatlit, 2007, 440 p.
16. *Pan J, Tompkins W.J.* A real time QRS detection algorithm, *IEEE Trans. Biomed. Eng.*, 1985, Vol. 32, pp. 230-236.
17. *Rangayyan R.M.* Biomedical signal analysis: A Case-Study Approach, *IEEE Press and Wiley*, New York, NY, 2002, 516 p.
18. *Shitikov V.K., Rozenberg G.S.* Randomizatsiya i butstrep: statisticheskiy analiz v biologii i ekologii s ispol'zovaniem R [Randomization and bootstrap: a statistical analysis in biology and ecology with R]. Tol'yatti: Kassadra, 2013, 305 p.
19. *Silverman B.W.* Density Estimation for Statistics and Data Analysis, Monographs on Statistics and Applied Probability, Chapman and Hall. 1986.
20. *Efron B.* An introduction to the bootstrap / Brad Efron, Rob Tibshirani. p. cm. Includes bibliographical references. ISBN 0-412-0423 1-2 1. Bootstrap (Statistics) I. Tibshirani, Robert. 11. Title. QA276.8.E3745 1993 5 19.5'44-dc20 93-4489 CIP.
21. *Sinyutin S.A.* Analiz RR interval'nogo ryada v usloviyakh mnogochislennykh pomekh [Analysis of RR interval time series in the context of many interferences], *Polzunovskiy vestnik* [Polzunovsky vestnik], 2012, No. 3-2, pp. 56-59.

Статью рекомендовал к опубликованию д.т.н., профессор В.П. Карелин.

Горбунова Екатерина Борисовна – Южный федеральный университет; e-mail egorbunova@sfedu.ru; 347910, г. Таганрог, ул. 1-я Котельная, 71, кв. 188; тел.: +79286277299; кафедра встраиваемых систем.

Gorbunova Ekaterina Borisovna – Southern Federal University; e-mail egorbunova@sfedu.ru; 71, 1-st Kotelnaya street, ap. 188, Taganrog, 347910, Russia; phone: +79885847326; the department of embeded systems.

УДК 621.396

DOI 10.23683/2311-3103-2017-6-179-189

Р.Р. Ибадов, С.Р. Ибадов, В.В. Воронин, В.П. Федосов

МОДИФИЦИРОВАННЫЙ МЕТОД РЕКОНСТРУКЦИИ ИЗОБРАЖЕНИЙ НА ОСНОВЕ ПОИСКА ПОДОБНЫХ ОБЛАСТЕЙ*

Для анализа фото- и видеоданных, получаемых с камер, устанавливаемых как на космических устройствах наблюдения, так и на подвижных летательных аппаратах, широко применяются методы текстурного анализа. С использованием методов текстурного анализа решаются задачи качественной кластеризации подстилающей поверхности и поиска целевых объектов, например, замаскированных позиций противника и т.п. Цвет и текстура являются важными характеристиками изображения. Проблема анализа цветных текстур включает в себя такие аспекты, как описание цветных текстур, их классификация, то есть формирование кластеров (при этом под кластером понимают обычно группу объектов, образующих в пространстве описания компактную в некотором смысле область), и сегментация, то есть разбиение изображения на области, которые являются однородными относительно одной или нескольких характеристик, или принадлежат некоторому кластеру. При применении методов текстурного анализа предполагается, что входное изображение имеет текстурные характеристики. Поскольку в настоящее время нет единого определения текстуры, то каждый метод текстурного анализа предполагает описание текстуры некоторым набором признаков, извлекаемых из изображения. В статье рассмотрен метод реконструкции изображений на основе поиска подобных блоков с помощью алгоритма синтеза текстуры. Показана эффективность нового подхода на нескольких примерах для различных областей с потерянными пикселями. Предметом исследования являются методы и алгоритмы обработки пространственно-

* Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научных проектов № 15-01-09092 и №17-57-53192.

временной реконструкции двумерных сигналов на основе геометрической модели изображений. Объектом исследования является набор из тестовых статических изображений. Результатом исследования является модификация метода восстановления изображений на основе поиска подобных блоков с целью уменьшения погрешности реконструкции изображений. Новизной работы является алгоритм, позволяющий повысить качество восстановления изображений. Полученные результаты позволяют уменьшить среднеквадратическую погрешность. При решении поставленных задач получены результаты, на основании которых можно сделать выводы: – разработан метод восстановления изображений на основе поиска подобных блоков, где в качестве модификации, предлагается использовать метод склейки блоков; – анализ результатов проведенного исследования показал, что предложенный метод позволяет улучшить качество реконструкции изображений.

Реконструкция; синтез текстур; сегментация; изображения; восстановление.

R.R. Ibadov, S.R. Ibadov, V.V. Voronin, V.P. Fedosov

MODIFIED METHOD OF RECONSTRUCTION OF IMAGES BASED ON SEARCH OF SIMILAR AREAS

For the analysis of photo and video data obtained from cameras installed both on space surveillance devices and on mobile aircraft, the methods of texture analysis are widely used. Using the methods of texture analysis, the problems of qualitative clustering of the underlying surface and the search for target objects, for example, enemy disguised positions, etc., are solved. Color and texture are important characteristics of the image. The problem of the analysis of color textures includes such aspects as the description of color textures, their classification, that is formation of clusters (at the same time understand as a cluster usually an object group, forming area compact somewhat in description space), and the segmentation, that is a partition of the image on area which are uniform concerning one or several characteristics, or belong to some cluster. The article considers the method of image reconstruction based on the search for similar blocks using the texture synthesis algorithm. The efficiency of the new approach is shown on several examples for different areas with lost pixels. The subject of the study are methods and algorithms for processing the space-time reconstruction of two-dimensional signals based on a geometric model of images. The object of the study is a set of test static images. The result of the study is a modification of the method of image reconstruction based on the search for similar blocks in order to reduce the error of image reconstruction. The novelty of the work is an algorithm which allows improving the quality of image restoration. The received results allow reducing a mean square error. At the solution of objectives results on the basis of which it is possible to draw conclusions are received: developed is the method of recovery of images on the basis of search of similar blocks where it is offered to use a method of gluing the blocks as modification; the analysis of results of the conducted research has shown that the offered method allows improving the quality of images reconstruction.

Reconstruction; synthesis of textures; segmentation; images; restoration.

Введение. Оценивание истинных значений пикселей изображений в той или иной степени необходимо в большинстве задач цифровой обработки изображений. Особенно данная проблема актуальна при автоматической обработке изображений, полученных в светочувствительных матрицах в цифровых фото- и видеокамерах и системах машинного зрения. Методы восстановления двумерных сигналов находят свое применение в задачах обработки архивных документов в виде изображений, имеющих различные искажения (например, царапины, пятна, пыль, не нужные надписи, линии сгиба) [1–6]. В видеосигналах встречаются статические изображения, которые мешают просмотру, закрывая часть полезной информации от зрителя [7–15]. К таким изображениям относятся различные логотипы каналов, дата и время или субтитры, которые были наложены на видеосигнал с дальнейшим кодированием. В настоящее время существуют различные методы цифровой обработки, направленные на решение задач восстановления частично утерянных участков изображения, но для их эффективного использования необходимы значительные объемы априорной информации о полезном изображении. [16–19]. Значительные ограничения на объем априорной информации, что имеет место на практике, существенно усложняют как выбор эффективного метода обработки, так и его значений оптимальных параметров [20–22].

В связи с чем, реконструкция изображений является важным направлением применения современной цифровой вычислительной техники с целью получения достоверной оценки для визуального и особенно автоматического анализа.

Цели и задачи. Целью исследований является уменьшение ошибки реконструкции изображений модифицированным методом восстановления изображений на основе поиска подобных областей.

Задачи исследования:

- ◆ Разработать метод восстановления изображений на основе поиска подобных блоков.
- ◆ Провести анализ результатов предложенного метода.

Основная часть. Предлагаемый метод реконструкции изображений на основе поиска подобных областей состоит из нескольких этапов.

На первом шаге автоматизировано определяются поврежденные участки изображения или пользователем формируется маска дефектных областей.

На втором шаге изображение с потерянными областями восстанавливается с помощью метода ЕВМ (exemplarbasedmethod) [23]. Данный метод позволяет корректно восстанавливать потерянные области с помощью созданной маски, правильно реконструируя значения пикселей. Метод основывается на вычислении приоритета для каждого пикселя границы с последующим поиском похожего квадратного блока в области доступных пикселей и его копировании в область отсутствующих пикселей. Вначале загружается исходная область S с выделенной поврежденной областью Ω . Устанавливается размер окна Ψ 9×9 пикселей. Размер блока зависит от априорной информации о размере и форме области восстановления и геометрических свойств изображения и подбирается вручную – чуть больше самого большого различимого текстурного элемента на исходном изображении. В данном алгоритме каждый пиксель содержит значение цвета (или «пустоты», если пиксель дефектный) и достоверности, которые устанавливаются, как только пиксель заполнен.

Далее вычисляется приоритет $P(p)$ для каждого пикселя границы, который состоит из двух множителей (рис. 1):

$$P(p) = C(p) \cdot D(p)$$

$$C(p) = \frac{\sum_{q \in S} C(q)}{|\Psi_p|}, D(p) = \frac{|\nabla I_p^\perp \cdot n_p|}{\alpha},$$

где p – текущий пиксель на границе доступных пикселей; $C(p)$ – данные доверия; $D(p)$ – данные градиента; $|\Psi_p|$ – количество пикселей квадратного блока с центром в пикселе p ; ∇I_p^\perp – вектор, ортогональный градиенту в точке p ; n_p – вектор, ортогональный границе ∂S в точке p ; α – нормированный множитель, для черно-белых изображений равен 255.

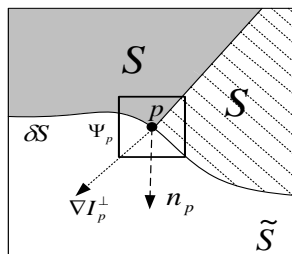


Рис. 1. Построение ортогональных векторов

Вычисление приоритета позволяет придать больший вес пикселям, находящимся на перепадах яркости (границах), таким образом, восстанавливая их в первую очередь. Происходит поиск блока Ψ_p с максимальным приоритетом $p = \operatorname{argmax}_{p \in \delta S(p)}$. Учет данных доверия $C(p)$ позволяет присваивать меньший вес восстановленным пикселям при увеличении дистанции от доступных пикселей из области S . Вначале предполагается, что значение данных доверия C для пикселей из области S равно 1, а для области \tilde{S} равно 0. На следующем шаге находится блок Ψ_q в области доступных пикселей S , для которого евклидова норма минимальна (рис. 2):

$$\sqrt{\sum (\Psi_p - \Psi_q)^2} \longrightarrow \min .$$

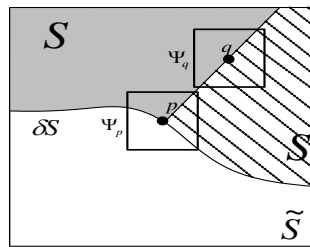


Рис. 2. Поиск похожих блоков

Значения пикселей из найденного блока копируются в области \tilde{S} . Данные доверия C для восстановленных пикселей присваиваются равным текущему значению $C(p)$ с ограничением Ψ_p , что $\forall p \in \Psi_p \subset S$. Процедура пересчета приоритета и поиска похожих областей с последующей заменой повторяется.

Не смотря на способность данного метода восстанавливать границы объектов, данный метод обладает следующими недостатками:

- ◆ видимость границ на восстановленном изображении между найденными похожими блоками;
- ◆ неправильное восстановление при отсутствии похожего блока;
- ◆ чувствительность к выбору размера блока

С целью устранения выше указанных недостатков предлагается модификация метода реконструкции изображений на основе поиска подобных областей.

В данной работе предлагается алгоритм [24], который преодолевает некоторые из недостатков метода на основе поиска подобных областей. Для устранения недостатка, связанного с видимостью границы при копировании блоков предлагается использовать метод склейки блоков. По результатам исследований предлагается использовать алгоритм для синтеза текстуры, предложенный Эфросом и Леунгом [25]. Это позволяет оптимизировать области перекрытия между блоками (рис. 3).

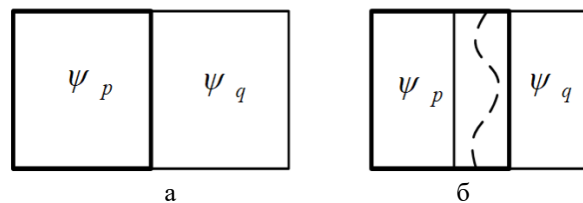


Рис. 3. Минимальная ошибка резкости границы: а – копирование и вставка; б – минимальная ошибка резкости

Алгоритм предлагаемого модифицированного метода можно представить в виде блок-схемы, представленной на рис. 4.

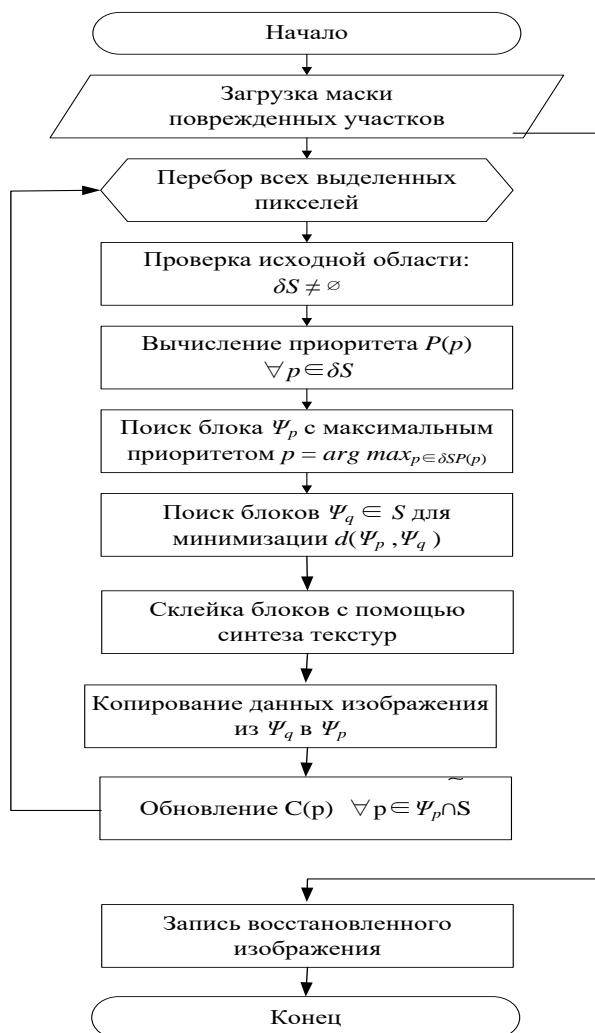


Рис. 4. Общая блок-схема модифицированного метода реконструкции изображений

Алгоритм состоит из следующих этапов:

1. На вход поступает изображение.
2. После загрузки изображения формируется маска заполнения.
3. Поиск схожих областей.
4. Вычисление приоритетных областей для каждого пикселя маски.
5. Копирование данных из приоритетной области в восстанавливаемую с использованием склейкой блоков.
6. Обновление восстанавливаемой области.
7. Сохранение результата обработки.

Далее приводятся результаты обработки модифицированным методом на тестовых изображениях для различных областей с потерянными пикселями. На рис. 5 представлен результат обработки предложенным методом и ЕВМ.

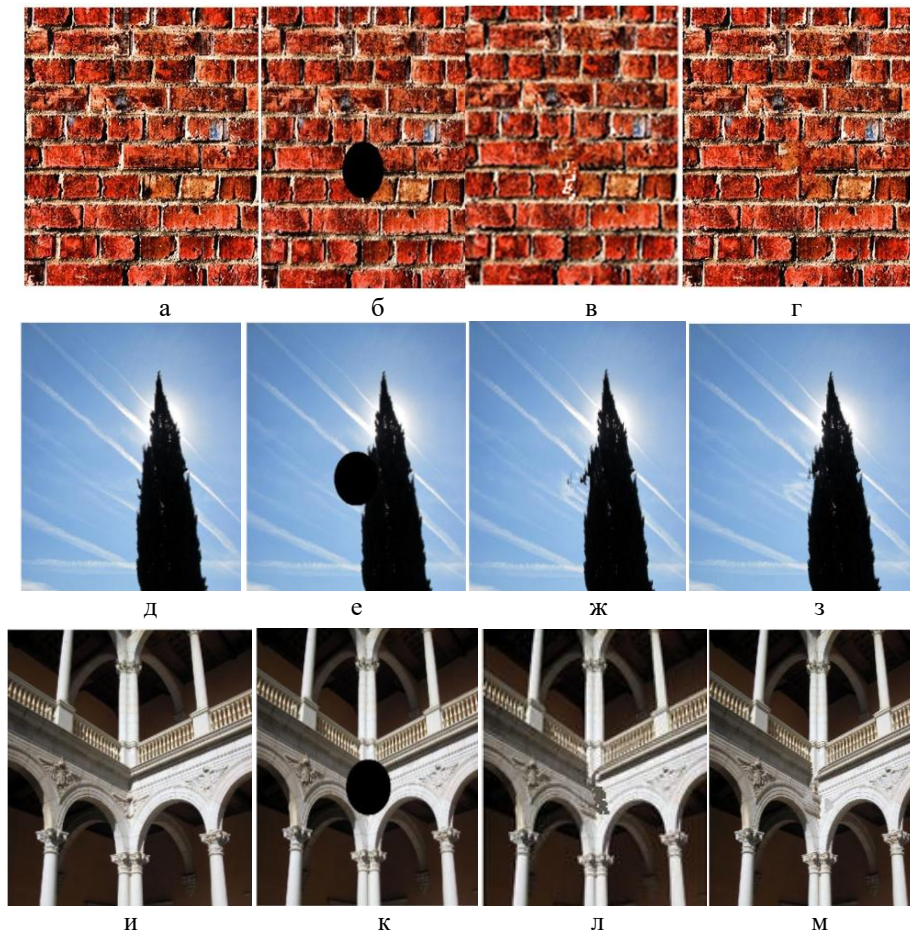


Рис. 5. Результат работы метода: а – исходное изображение; б – изображение с маской искаженных пикселей; в – изображение, восстановленное оригинальным методом; г – изображение, восстановленное предлагаемым методом; д – исходное изображение; е – изображение с маской искаженных пикселей; ж – изображение, восстановленное оригинальным методом; з – изображение, восстановленное предлагаемым методом, и) исходное изображение; к – изображение с маской искаженных пикселей, л) изображение, восстановленное оригинальным методом; м – изображение, восстановленное предлагаемым методом

Анализ результатов показывает, что предложенный метод позволяет эффективно восстанавливать потерянные блоки. Эффективность работы оригинального и модифицированного метода представлены в табл. 1.

Для количественной оценки работы метода используется RMSE (среднеквадратичная ошибка, среднеквадратичное отклонение). Данный критерий качества является достаточно распространённым для определения различий между парой данных. В качестве входных данных используются наблюдаемое изображение и оригинальное изображение.

Таблица 1

Зависимость *RMSE* и *MOS* для различных классов изображений

Изображения	EBM		Модифицированный EBM	
	RMSE	MOS	RMSE	MOS
Изображения				
1.png	16,1580	3,2	15,3554	3,4
2.png	7,4266	3,4	8,1420	3,3
3.png	8,8954	3,4	8,8271	3,5
4.png	19,1273	4,2	17,5780	4,5
5.png	10,0541	2,8	9,7624	3
6.png	3,5852	2,8	4,3571	2,7
7.png	12,9249	2,4	12,1123	2,5
8.png	6,7194	4,6	6,8761	4,5
9.png	15,0586	2,6	14,6051	2,8
10.png	10,8344	3,8	10,6106	3,9
Усредненные оценки	11,07839	3,32	10,82261	3,41
Текстура				
1.png	5,9353	4,8	5,8613	5
2.png	14,5120	5	13,8136	5
3.png	6,2383	5	5,7538	5
4.png	1,3912	5	1,3864	5
5.png	7,5591	5	7,8871	5
6.png	2,6714	4,8	2,6147	4,9
7.png	1,3128	5	1,3759	5
8.png	1,1834	4,8	1,0111	4,9
9.png	7,3580	5	7,1267	5
10.png	9,1476	5	9,3469	5
Усредненные оценки	5,73091	4,94	5,61775	4,98
Структура				
1.png	21,2262	2,4	20,7225	2,6
2.png	11,2367	2,6	11,3973	2,5
3.png	8,6589	3,6	8,9957	3,8
4.png	8,8461	3,8	8,8150	3,9
5.png	14,8764	4,2	14,7701	4,2
6.png	23,3825	3,8	23,8359	3,7
7.png	5,6141	2,6	5,5848	2,7
8.png	6,2352	2,8	6,0679	2,9
9.png	6,4438	2,6	6,1884	2,8
10.png	5,6990	2,6	5,8230	2,5
Усредненные оценки	11,22189	3,1	11,22006	3,16
Усредненные оценки всех значений	9,34373	3,78666667	9,22014	3,85

Выражение *RMSE* показывает, как получить числовое значение данного критерия качества.

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_{n,i} - X_{o,i})^2}{n-1}}$$

В выражении $x_{n,i}$ – наблюдаемое изображение. То есть это то изображение, которое необходимо сравнить с оригиналом. Вторая компонента $x_{0,i}$ – оригинальное изображение. Параметр n указывает на количество пикселей, участвующих в формировании изображения. То есть для определения оценки RMSE используется попиксельная разница. Если изображение цветное, то оно разбивается на цветовые компоненты (обычно RGB).

Анализ результатов представленных в табл. 1 показывает, что для каждого типа изображений существует свой оптимальный размер блока, который зависит от их геометрических особенностей. Так при наличии резких перепадов яркости, размеры которых сравнимы с размером изображения, необходимо выбирать больший размер блока для поиска подобия. При наличии сложной структуры и большего количества границ и перепадов яркости размер блока следует брать меньше. Значение *RMSE* в среднем изменяется на 10 % при увеличении размера блока от 3 до 21 пикселей. Исследование значений погрешности позволяет сделать вывод, что использование модификации метода ЕВМ позволяет увеличить эффективность реконструкции изображений и уменьшить среднеквадратическую погрешность в среднем на 10 %.

Заключение. В заключении можно сделать следующие выводы.

В работе представлен модифицированный метод реконструкции изображений на основе поиска подобных областей. Для устранения недостатка, связанного с видимостью границы при копировании блоков использован метод склейки блоков. Примеры, представленные в работе, демонстрируют эффективность алгоритма для различных областей с потерянными пикселями.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Гонсалес Р., Вудс Р. Цифровая обработка изображений. – М.: Техносфера, 2005. – 1072 с.
2. Фомин А.А., Жизняков А.Л. Удаление пятен с изображений архивных фотодокументов на основе вейвлет преобразования // 8 Международная конференция: Цифровая обработка сигналов и её применение. – М., 2006.
3. Яне Б. Цифровая обработка изображений. – М.: Техносфера, 2007. – 584 с.
4. Грузман И.С., Киричук В.С., Косых В.П., Перетягин Г.И. Цифровая обработка изображений в информационных системах: учеб. пособие для студентов V курса РЭФ (специальности “Радиотехника” и “Средства связи с подвижными объектами”). – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2000. – 168 с.
5. Ярославский Л.П. Введение в цифровую обработку изображений. – М.: Сов. радио, 1979. – 272 с.
6. Переверткин С.М. Бортовая телеметрическая аппаратура космических летательных аппаратов. – М.: Машиностроение, 1977. – 208 с.
7. Марчук В.И., Воронин В.В. Реконструкция значений утраченных пикселей изображений в условиях ограниченной априорной информации // Научно-технические ведомости СПбГПУ. – Санкт-Петербург, 2009. – № 1. – С. 51-55.
8. Сизякин Р.А., Воронин В.В., Марчук В.И., Ибадов С.Р., Ибадов Р.Р., Свириц И.С. Обнаружение и реконструкция дефектов на фотографиях на основе локальных бинарных шаблонов // Научно-технический вестник Поволжья. – 2014. – № 6. – С. 333-336.
9. Марчук В.И., Воронин В.В., Франц В.А. Модифицированный метод восстановления двумерных сигналов // Научно-технические ведомости СПбГПУ. – 2011. – № 1. – С. 31-36.
10. Воронин В.В., Гапон Н.В., Сизякин Р.А., Ибадов Р.Р., Ибадов С.Р., Семенцов Е.А. Исследование метода восстановления искаженных пикселей изображений на основе текстурно-геометрической модели // VII Международная научно-практическая конференция: Вопросы науки: Современные технологии и технический прогресс. Т. 8. – Воронеж 2015. – С. 41-44.
11. Alkachouh, Z., Bellanger M.G. Fast DCT-based spatial domain interpolation of blocks in images // IEEE Trans. Image Process. – 2000. – P. 729-732.

12. *Ballester C., Bertalmio M., Caselles V., Sapiro G., Verdera J.* Filling-in by joint interpolation of vector fields and gray levels // *IEEE Trans. On Image Processing.* – 2001. – No. 10 (8). – P. 1200-1211.
13. *Bertalmio M.L., Vese G. Sapiro S.* Osher Simultaneous texture and structure image inpainting // *Proceedings of the International Conference on Computer Vision and Pattern Recognition.* – 2003. – P. 707-712.
14. *Bertalmio M., Sapiro G., Caselles V., Ballester C.* Image inpainting // *Computer Graphics Proceedings, K. Akeley, Ed. ACM Press ACM SIGGRAPH Addison Wesley Longman.* – 2000. – P. 417-424.
15. *Criminisi A., Pérez P., Toyama K.* Region filling and object removal by exemplar-based image inpainting // *IEEE transactions on image processing.* – 2004. – Vol. 13, No. 9. – P. 1-13.
16. *DeBonet J.S.* Multiresolution sampling procedure for analysis and synthesis of texture images // *In Proc. of SIGGRAPH.* – 1997. – P. 361-368.
17. *Фраленко В.П.* Анализ спектрографических текстур данных дистанционного зондирования Земли // *Искусственный интеллект и принятие решений.* – 2010. – С. 111-118.
18. *Потапов А.А.* Новые информационные технологии на основе вероятностных текстурных и фрактальных признаков в радиолокационном обнаружении малоконтрастных целей // *Радиотехника и электроника.* – 2003. – № 9. – 906 с.
19. *Рогов А.А., Спиридонов К.Н.* Применение спектра фрактальных размерностей Реньи как инварианта графического изображения // *Вестник Санкт-Петербургского университета.* – 2008. – № 2. – С. 30-37.
20. *Мокианина Д.А.* Распознавание полутоновых текстур на основе стохастической геометрии и функционального анализа: дис. ... канд. тех. наук. – Пенза, 2010. – С. 214-221.
21. *Федотов Н.Г.* Теория признаков распознавания образов на основе стохастической геометрии и функционального анализа. – М.: Физматлит, 2009. – 804 с.
22. *Федотов Н.Г., Кадыров А.А.* Новые признаки изображений, инвариантные относительно группы движений и аффинных преобразований // *Автометрия.* – 1997. – 765 с.
23. *Chan T.F., Shen J.* Mathematical models of local non-texture inpaintings // *SIAM J. Appl. – Math,* 2002. – Vol. 62 (3). – P. 1019-1043.
24. *Ибадов Р.Р., Ибадов С.Р., Гапон Н.В., Сизякин Р.А.* Исследование эффективности методов синтеза текстур на основе экспериментальных данных // *Научная весна. – Шахты:* 2016. – С. 167-173.
25. *Efros A.A., Leung T.K.* Texture Synthesis by Non-parametric Sampling // *Proc. ICCV.* – 1999. – P. 210-218.

REFERENCES

1. *Gonsales R., Vuds R.* Tsifrovaya obrabotka izobrazheniy [Digital image processing]. Moscow: Tekhnosfera, 2005, 1072 p.
2. *Fomin A.A., Zhiznyakov A.L.* Udalenie pyaten s izobrazheniy arkhivnykh fotodokumentov na osnove veyvlet preobrazovaniya [Removing stains from images of archival photographs based on the wavelet transform], *8 Mezhdunarodnaya konferentsiya: Tsifrovaya obrabotka signalov i ee primeneniye* [the 8th international conference: Digital signal processing and its application]. Moscow, 2006.
3. *Yane B.* Tsifrovaya obrabotka izobrazheniy [Digital image processing]. Moscow: Tekhnosfera, 2007, 584 p.
4. *Gruzman I.S., Kirichuk V.S., Kosykh V.P., Peretyagin G.I.* Tsifrovaya obrabotka izobrazheniy v informatsionnykh sistemakh: ucheb. posobie dlya studentov V kursa REF (spetsial'nosti "Radiotekhnika" i "Sredstva svyazi s podvizhnymi ob"ektami") [Digital image processing in information systems: textbook for students of V rate of REF (a speciality "radio engineering" and "communication Means with mobile objects")]. Novosibirsk: Izd-vo NGTU, 2000, 168 p.
5. *Yaroslavskiy L.P.* Vvedenie v tsifrovuyu obrabotku izobrazheniy [Introduction to digital image processing]. Moscow: Sov.radio, 1979, 272 p.
6. *Perevertkin S.M.* Bortovaya telemetricheskaya apparatura kosmicheskikh letatel'nykh apparatov [On-Board telemetry equipment spacecraft]. Moscow: Mashinostroenie, 1977, 208 p.

7. Marchuk V.I., Voronin V.V. Rekonstruktsiya znacheniy utrachennykh pikselov izobrazheniy v usloviyakh ogranichennoy apriornoy informatsii [Reconstruction of the lost values of pixels of images with limited a priori information], *Nauchno-tekhnicheskie vedomosti SPbGPU* [Scientific and technical Bulletin of SPbSPU]. Sankt-Peterburg, 2009, No. 1, pp. 51-55.
8. Sizyakin R.A., Voronin V.V., Marchuk V.I., Ibadov S.R., Ibadov R.R., Svirin I.S. Obnaruzhenie i rekonstruktsiya defektov na fotografiiyakh na osnove lokal'nykh binarnykh shablonov [Detection and reconstruction of defects in the photographs based on local binary patterns], *Nauchno-tekhnicheskii vestnik Povolzh'ya* [Scientific and Technical Volga region Bulletin], 2014, No. 6, pp. 333-336.
9. Marchuk V.I., Voronin V.V., Frants V.A. Modifitsirovannyi metod vosstanovleniya dvumernykh signalov [A modified method for reconstruction of two-dimensional signals], *Nauchno-tekhnicheskie vedomosti SPbGPU* [Scientific and technical Bulletin of SPbSPU], 2011, No. 1, pp. 31-36.
10. Voronin V.V., Gapon N.V., Sizyakin R.A., Ibadov R.R., Ibadov S.R., Semenishchev E.A. Issledovanie metoda vosstanovleniya iskazhennykh pikseley izobrazheniy na osnove teksturno-geometricheskoy modeli [Research of a method to restore the distorted image pixel on the basis of textural and geometric models], *VII Mezhdunarodnaya nauchno-prakticheskaya konferentsiya: Voprosy nauki: Sovremennye tekhnologii i tekhnicheskii progress* [VII international scientific-practical conference: Questions of science: Modern technology and technical progress]. Vol. 8. Voronezh, 2015, pp. 41-44.
11. Alkachouh, Z., Bellanger M.G. Fast DCT-based spatial domain interpolation of blocks in images, *IEEE Trans. Image Process*, 2000, pp. 729-732.
12. Ballester C., Bertalmio M., Caselles V., Sapiro G., Verdera J. Filling-in by joint interpolation of vector fields and gray levels, *IEEE Trans. On Image Processing*, 2001, No. 10 (8), pp. 1200-1211.
13. Bertalmio M.L., Vese G. Sapiro S. Osher Simultaneous texture and structure image inpainting, *Proceedings of the International Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*, 2003, pp. 707-712.
14. Bertalmio M., Sapiro G., Caselles V., Ballester C. Image inpainting, *Computer Graphics Proceedings*, K. Akeley, Ed. ACM Press ACM SIGGRAPH Addison Wesley Longman, 2000, pp. 417-424.
15. Criminisi A., P'erez P., Toyama K. Region filling and object removal by exemplar-based image inpainting, *IEEE transactions on image processing*, 2004, Vol. 13, No. 9, pp. 1-13.
16. DeBonet J.S. Multiresolution sampling procedure for analysis and synthesis of texture images, *In Proc. of SIGGRAPH*, 1997, pp. 361-368.
17. Fralenko V.P. Analiz spektrograficheskikh tekstur dannykh distantsionnogo zondirovaniya Zemli [Spectrographic analysis of texture data of remote sensing of the Earth], *Iskusstvennyy intellekt i prinyatie resheniy* [Artificial intelligence and decision-making], 2010, pp. 111-118.
18. Potapov A.A. Novye informatsionnye tekhnologii na osnove veroyatnostnykh tekturnykh i fraktal'nykh priznakov v radiolokatsionnom obnaruzhenii malokontrastnykh tseley [New information technologies based on probabilistic texture and fractal features in the radar detection of low contrast targets], *Radiotekhnika i elektronika* [Journal of Communications Technology and Electronics], 2003, No. 9, 906 p.
19. Rogov A.A., Spiridonov K.N. Primenenie spektra fraktal'nykh razmernostey Ren'i kak invarianta graficheskogo izobrazheniya [The application spectrum of fractal dimensions Renyi as invariant graphic image], *Vestnik Sankt-Peterburgskogo universiteta* [Vestnik of Saint Petersburg University], 2008, No. 2, pp. 30-37.
20. Mokshanina D.A. Raspoznavanie polutonovykh tekstur na osnove stokhasticheskoy geometrii i funktsional'nogo analiza: dis. ... kand. tekhn. nauk [Recognition of gray-scale textures based on stochastic geometry and functional analysis. Cand. of eng. sc. diss.] Penza, 2010, pp. 214-221.
21. Fedotov N.G. Teoriya priznakov raspoznavaniya obrazov na osnove stokhasticheskoy geometrii i funktsional'nogo analiza [The theory of signs recognition based on stochastic geometry and functional analysis]. Moscow: Fizmatlit, 2009, 804 p.
22. Fedotov N.G., Kadyrov A.A. Novye priznaki izobrazheniy, invariantnye otnositel'no gruppy dvizheniy i affinnykh preobrazovaniy [New image features, invariant under the group of motions and affine transformations], *Aviometriya* [Autometry], 1997, 765 p.
23. Chan T.F., Shen J. Mathematical models of local non-texture inpaintings, *SIAM J. Appl. Math*, 2002, Vol. 62 (3), pp. 1019-1043.

