

ИНФОРМАТИКА,
ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА
И УПРАВЛЕНИЕ

INFORMATICS,
COMPPUTER ENGINEERING
AND CONTROL

УДК 004.9; 528.1

DOI: 10.17212/2782-2001-2021-3-87-98

Метод шифрования геоизображений на основе реорганизации внутренней структуры цифрового фильтра

И.Л. ЖБАНОВ^а, В.Л. ЖБАНОВА^б

214013, РФ, г. Смоленск, Энергетический пр., 1, филиал Национального исследова-
тельского университета МЭИ в г. Смоленске

^а gens84@yandex.ru ^б vera-zhbanova@yandex.ru

В работе представлен метод шифрования геоизображений на основе реорганизации внутренней структуры фильтра. За основу приняты методы цифровой фильтрации изображений в среде MATLAB. Суть шифрования – в управлении наложением шумов и ядром смазывания. Знание этих величин позволит адресату восстановить передаваемые карты с минимальными помехами, что для перехватчика данных будет недостижимым. В условиях неблагоприятных факторов иногда возникают условия, приводящие к потере информативности изображений и, как следствие, к повреждению информации, поэтому развитие способов, минимизирующих их влияние, является актуальной задачей исследования. Таким образом, предлагается один из подходов по построению пространственных фильтров с управляемой структурой для выделения контрастных изображений в шумах различной интенсивности. Описана процедура преобразования любого пространственного фильтра из начального отображения в вид, позволяющий управлять его внутренним состоянием. Полученные результаты исходного и преобразованного изображения позволяют сделать выводы о возможности практического применения предлагаемого инвариантного пространственного фильтра в блоках анализа исходного изображения. За счет факториальной зависимости найти необходимое результирующее положение всех параметров шифрования изображения (размеров, вида функции искажения, параметра регуляризации α и σ) вычислительным путем для перехватчиков информации весьма проблематично, так как вычислительные затраты при этом не соизмеримы с возможностями современных ЭВМ. Это может быть использовано для передачи фото, видеосообщений и текстовой информации между потребителями использующими системы передачи данных любого назначения, особенно при передаче картографической информации.

Ключевые слова: шифрование, сингулярный, геоизображения, цифровые фильтры, цифровые изображения, картография, обработка изображений, факториал, пространственный фильтр, MATLAB

* Статья получена 10 февраля 2021 г.

ВВЕДЕНИЕ

Конфиденциальность информации на сегодняшнем этапе развития современных телекоммуникационных технологий является актуальной областью интересов современного общества. Возрастают требования по криптоустойчивости при хранении и передаче данных. Обработка изображений ввиду распространения визуального контента становится всё более востребованной [1–6]. Наиболее важным направлением исследования является защита картографической информации – геоизображений [6–11]. Геодезия и картография являются направлениями, тесно связанными с радиотехнической разведкой местности, изображение которой получают мобильные средства локации, реализующие различные принципы синтеза апертуры антенны. Не исключено, что существует возможность применять данные подходы на «закрытых» секторах ответственности, а чтобы сформированные таким образом изображения передавались быстро (по открытым линиям передачи данных без предварительного избыточного кодирования), предложен новый способ шифрования изображений. Если возникает необходимость передачи информации в виде, доступном только общающимся абонентам, то, применяя метод, указанный в данной статье, это возможно без особых многоэтапных процедур (согласно действующему законодательству с соблюдением требований режима секретности).

Интеллектуализация современного общества диктует новые условия и требования для совершенствования криптоустойчивости цифровых изображений, а именно по их надежности и безотказности. На сегодняшний день приоритет основных криптографических устройств определен опτικο-электронными системами с возможностью выделения отдельных участков изображения по определенным алгоритмам с нейросетевым интерфейсом [8, 12].

Однако в условиях неблагоприятных факторов (собственные шумы, радиация, неисправность отдельных блоков и систем и т. д.) возникают условия, приводящие к потере информативности изображений и, как следствие, к потере части передаваемой информации, поэтому развитие подходов, минимизирующих их влияние, является актуальной задачей исследования. Основная задача исследования – разработка метода шифрования геоизображений. Предлагается применить методы цифровой фильтрации изображений в среде MATLAB. Основой шифрования является управление наложением шумов и ядром смазывания. Знание этих величин позволит адресату восстановить передаваемые карты с минимальными помехами, что для перехватчика данных будет невозможным. Последнее достигается применением фильтрации на основе сингулярного дополнения матрицы опорного фильтра свертки.

РАЗРАБОТКА МЕТОДА ШИФРОВАНИЯ

В качестве одного из возможных направлений развития теории пространственной фильтрации изображений предложен подход, который заключается в возможности преобразования стандартного фильтра в инвариантный с управляемой структурой, который раскрыт в следующей последовательности действий на примере одного изображения (рис. 1, *a*). Выбирается

фильтр восстановления изображения, имеющий матричную форму записи \mathbf{A} (N , K -размер в пикселях). В предлагаемом способе в качестве такого фильтра предложено использовать фильтр Лапласа `laplacian` (широко используется в пакете программирования MATLAB), которым описывается эффект расфокусировки объектива камеры (рис. 1, б).

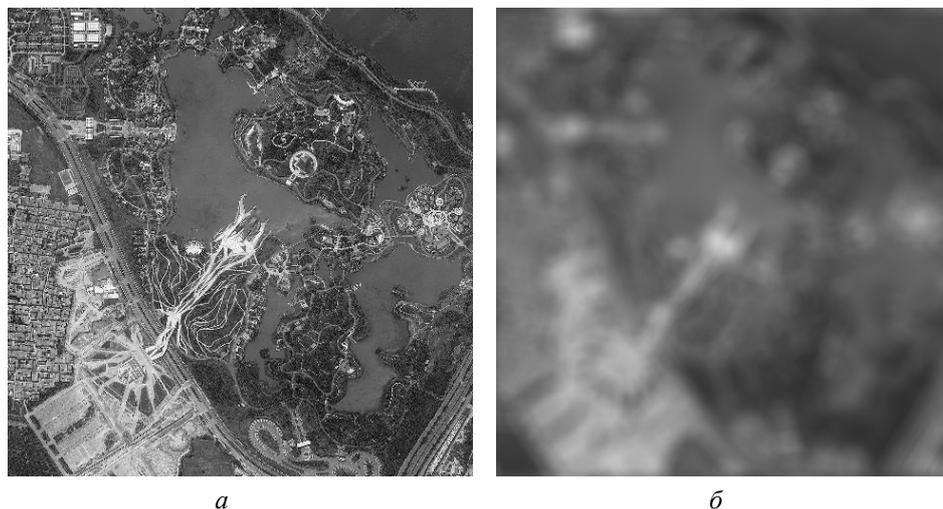


Рис. 1. Обработка изображений:

a – исходное изображение; b – применение «смазывания» к исходному изображению

Fig. 1. Image processing:

a is an original image; b is applying “blur” to the original image

Далее фильтр восстановления \mathbf{A} ($N \times N$) подвергается сингулярному разложению [13, 14]

$$\mathbf{A} = \mathbf{U}\mathbf{\Sigma}\mathbf{V}^H, \quad (1)$$

где \mathbf{U} и \mathbf{V} – унитарные матрицы порядка N , состоящие из левых и правых сингулярных векторов соответственно; $()^H$ – Эрмитово сопряжение; $\mathbf{\Sigma}$ – диагональная матрица порядка N сингулярных значений ξ_i матрицы \mathbf{A} .

Таким образом, формируется новая матричная запись инвариантного фильтра восстановления \mathbf{X} , полученная методом сингулярного дополнения матрицы \mathbf{A} :

$$\mathbf{X} = (\mathbf{A} + \alpha\mathbf{U}\mathbf{V}^T), \quad (2)$$

где α – регуляризирующий множитель, принимающий значения от нуля до N ; $()^T$ – оператор транспонирования.

Затем формируется новое изображение \mathbf{I}^* на основе исходного (\mathbf{I}) путем его свертки с инвариантным фильтром восстановления \mathbf{X} :

$$\mathbf{I}^* = \mathbf{X} \otimes \mathbf{I}, \quad (3)$$

где \otimes – оператор свертки [15].

Для сравнения результатов работы предложенного инвариантного фильтра с исходным проводилось принудительное зашумление изображения с нормальным законом распределения, нулевым математическим ожиданием и среднеквадратическим отклонением α (вид шума «соль–перец») (рис. 2, *a*).

В результате полученное изображение обозначим \mathbf{Z} , и оно будет описываться по следующему выражению:

$$\mathbf{Z} = \mathbf{I} + \sigma \quad (4)$$

Анализ рис. 2, *a* показывает, что для выделения наиболее контрастных областей необходимы сложные соответствующие процедуры поиска и определения границ исследования, и невозможно выставить порог принятия решения (рис. 2, *б*, 3, 4, 5, *a*), в то время как при использовании предложенного подхода, описанного выше, данная процедура осуществима с некоторой потерей качества исходного изображения.

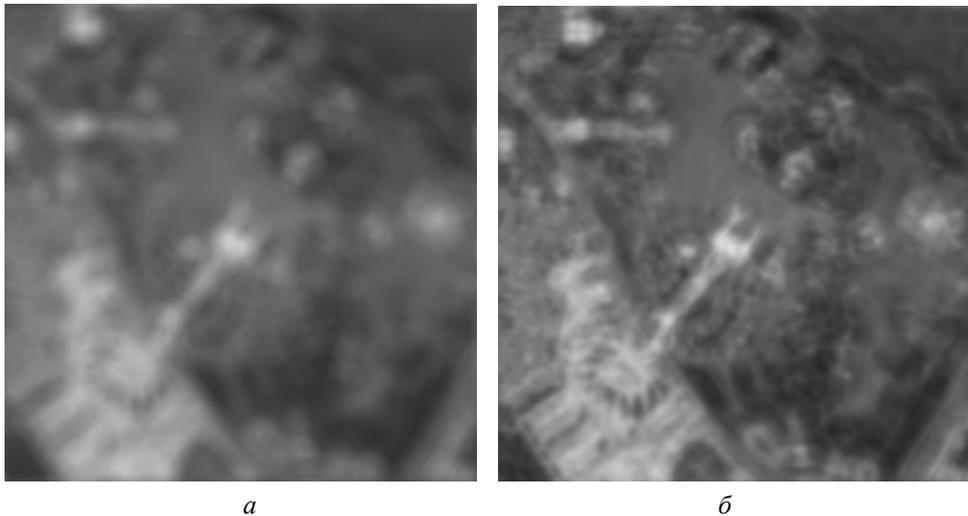


Рис. 2. Обработка изображений:

a – применение «смазывания» и «шума» к исходному изображению; *б* – восстановление изображения методом Винера

Fig. 2. Image processing:

a is applying “blur” and “noise” to the original image; *b* is image restoration by the Wiener method

Обратите внимание, насколько нечетко происходит восстановление изображения по каждому методу. Дело в том, что при каждом восстановлении не известно ядро смазывания и параметр шума. Но если отправитель пересылает данные с заранее известным получателю набором исходных вмешательств, восстановление любым из методов будет результативным. Как пример, восстановление изображения методом Винера без заданных параметров (рис. 5, *a*) и с заданными параметрами (рис. 5, *б*).

Основным достоинством в первую очередь выступает отсутствие необходимости двойного преобразования Фурье в отличие от фильтрации в частотной области, что существенно снижает вычислительные затраты при данном подходе.

Стоит отметить, что для декодирования информации потребителю необходимо знать размеры, вид функции искажения, параметр регуляризации α и σ , что повышает уровень адресности передаваемых данных.

Для декодирования информации на пункте приема потребителю после ввода вышеуказанных параметров необходимо провести операцию восстановления изображения \mathbf{I}^{\times} по следующему правилу (рис. 5, б):

$$\mathbf{I}^{\times} = \mathbf{Z} \otimes \mathbf{X}_B^{-1}, \quad (5)$$

где \mathbf{X}_B – функция искажения по Винеру, получаемая на основе преобразования функции \mathbf{X} [16].

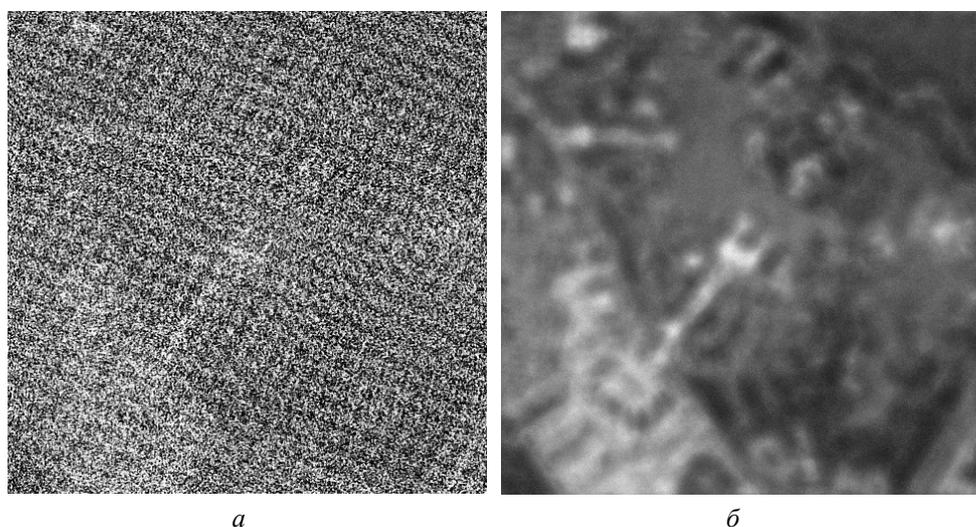


Рис. 3. Обработка изображений:

a – восстановление изображения методом Тихонова; *б* – восстановление изображения методом «слепой» деконволюции

Fig. 3. Image processing:

a is image restoration by the Tikhonov method; *b* is image restoration by the “blind” deconvolution method

При анализе изображения \mathbf{I}^{\times} можно отметить, что оно стало несколько «зернистей» и зашумленной, однако общая детальность изображения не потеряна, этот эффект возникает за счет влияния шумов, которые оптимально ограничиваются стабилизатором Винера с учетом информации о значении σ .

Допустим, что перехватчикам информации известны функция искажения \mathbf{A} , критерий σ , выражение восстановления изображения (5), но не известны параметры преобразования \mathbf{A} в \mathbf{X} и параметра α , тогда восстановленное изображение примет вид, представленный на рис. 5, *a*.

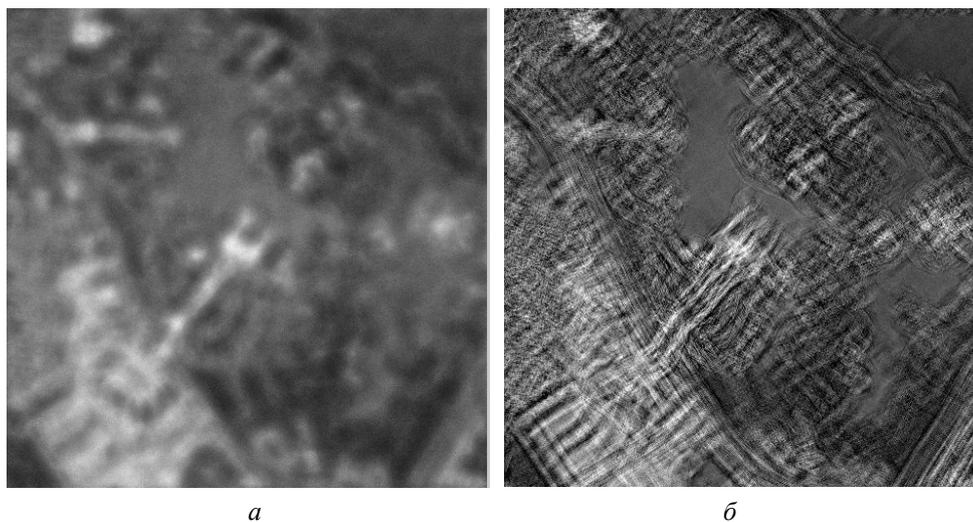
*a**б*

Рис. 4. Обработка изображений:

a – восстановление изображения методом Люси–Ричардсона; *б* – смазывание «своим» ядром и добавление шума

Fig. 4. Image processing:

a is image restoration by the Lucy–Richardson method; *b* is smearing with “own” core and adding noise

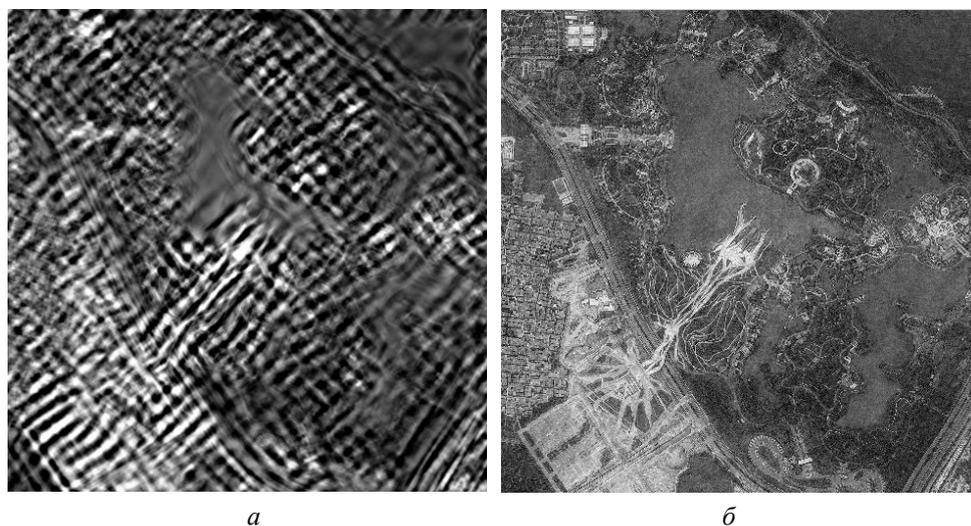
*a**б*

Рис. 5. Обработка изображений:

a – восстановление обработанного изображения методом Винера; *б* – восстановление изображения авторским методом Винера

Fig. 5. Image processing:

a is restoration of the processed image by the Wiener method; *b* is image restoration by the author Wiener's method

Далее, подбирая параметр регуляризации α при шифровании изображения I , возможно регулировать области изображения, необходимые для представления потребителю.

Для выбора критерия эффективности предлагаемого способа шифрования фото- и видеоинформации на основе преобразования функции рассогласования визуальных изображений предложено выражение (6), максимизирующее вероятностный эффект восстановления изображения за счет перебора возможных комбинаций из размеров, вида функции искажения, параметра регуляризации α и σ [12].

В статье приведен пример, в котором восстановленное изображение несколько хуже исходного лишь потому, что после его свертки с фильтром был наложен шум, уровень шума влияет на уровень защиты изображения, так как делает процедуру его восстановления нелинейной и оптимальной только для предложенного сингулярно измененного фильтра. Если не применять шум, то изображение восстановится без потерь.

Для этого зададимся их конечными значениями. Пусть размер изображения будет от 0 до \mathbf{R} , вид функции – от 0 до \mathbf{F} , параметр регуляризации $\alpha = 0 \dots \mathbf{N}$ и $\sigma = 0 \dots \mathbf{Sk}$, а в качестве показателя криптоустойчивости системы передачи данных зададимся параметром \mathbf{D} , характеризующим количество необходимых сочетаний и перестановок для восстановления переданной информации из известного пространства показателей, кодирующего один битовый знак:

$$\mathbf{K}_{\max} = \mathbf{D} + \left(\mathbf{K}_{\mathbf{R}+\mathbf{F}+\mathbf{N}+\mathbf{Sk}}^4 \right) = \mathbf{D} + \frac{(\mathbf{R} + \mathbf{F} + \mathbf{N} + \mathbf{Sk})!}{(\mathbf{R} + \mathbf{F} + \mathbf{N} + \mathbf{Sk} - 4)!}. \quad (6)$$

Из представленного выражения видно, что за счет факториальной зависимости найти необходимое результирующее положение всех параметров шифрования изображения (размеров, вида функции искажения, параметра регуляризации α и σ) вычислительным путем весьма проблематично, так как вычислительные затраты при этом несоизмеримы с возможностями современных ЭВМ. Из-за превышения количества переборов $\mathbf{P} = 100$ всех комбинаций процедура восстановления изображения является невыполнимой задачей для ЭВМ даже при известных конечных значениях \mathbf{R} , \mathbf{F} , \mathbf{N} , \mathbf{Sk} (рис. 6).

Этот пример показывает, что факториальный рост комбинаций сочетаний и перестановок всех вариантов применения фильтров с учетом их размерностей и вариаций изменения СКО шума, помноженного на вычислительные затраты, делает процедуру восстановления изображения несвоевременной. Реально принципы шифрования изображений и фильтр искажения неизвестны. Поэтому выбор из бесконечного пространства способов шифрования и фильтров искажений является бесконечно мерной задачей восстановления изображения.

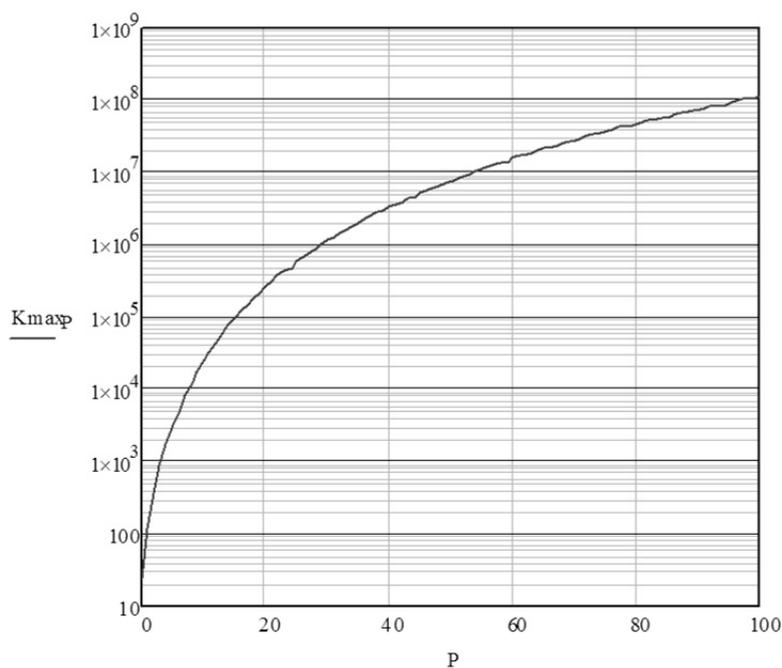


Рис. 6. Зависимость K_{\max} от P

Fig. 6. Dependence of K_{\max} on P

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Предложенный способ шифрования геоизображений на основе преобразования функции рассогласования визуальных изображений легко реализуется и накладывает требования на вычислительные затраты только по возможности выполнения операции свертки, предложенной авторами.

Метод может быть использован для передачи фото- и видеосообщений и текстовой информации между потребителями, использующими системы передачи данных любого назначения.

За счет факториальной зависимости найти необходимое результирующее положение всех параметров шифрования изображения (размеров, вида функции искажения, параметра регуляризации α и σ) вычислительным путем для перехватчиков информации весьма проблематично, так как вычислительные затраты при этом несоизмеримы с возможностями современных ЭВМ.

На сегодняшний день теория инверсной фильтрации с учетом многообразия фильтров является достаточно проработанной. В предложенной статье показано, как из любого известного двумерного фильтра получить еще N фильтров, которые отличны по структуре и имеют зашумленный вид из-за разрыва корреляционных связей между векторами и столбцами исходного фильтра. Уровень зашумленности можно определить параметром регуляризации и восстановить, зная исходный фильтр, чего невозможно добиться фильтром Винера, учитывающим СКО шума.

В следующих трудах авторы планируют рассмотреть влияние параметров регуляризации α и σ на точность восстановления информации различными методами обработки геоизображений.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гонсалес Р., Вудс Р. Цифровая обработка изображений. – М.: Техносфера, 2005. – 1072 с.
2. Гонсалес Р., Вудс Р., Эддинс С. Цифровая обработка изображений в среде MATLAB. – М.: Техносфера, 2006. – 616 с.
3. Приоров А.Л., Ганин А.Н., Хрящев В.В. Цифровая обработка изображений. – М.: Мир, 2001. – 312 с.
4. Using a Haar wavelet transform, principal component analysis and neural networks for OCR in the presence of impulse noise / V.G. Spitsyn, Yu.A. Bolotova, N.H. Phan, T.T.T. Bui // Computer Optics. – 2016. – Vol. 40 (2). – P. 249–257. – DOI: 10.18287/2412-6179-2016-40-2-249-257.
5. Жбанов И.Л., Жбанова В.Л. Способ шифрования текстовой информации сингулярным дополнением матрицы опорного фильтра свертки // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. – 2021. – № 2. – С. 73–78.
6. Семантическая сегментация спутниковых снимков аэропортов с помощью сверточных нейронных сетей / В.А. Горбачёв, И.А. Криворотов, А.О. Маркелов, Е.В. Котлярова // Компьютерная оптика. – 2020. – Т. 44, № 4. – С. 636–645. – DOI: 10.18287/2412-6179-СО-636.
7. Евдокимов А.А., Вязовов В.А., Жирный А.В. Нейронная сеть для шифрования изображений // Мир науки глазами современной молодежи: материалы Всероссийской научной конференции. – Ставрополь, 2014. – С. 137–141.
8. Вербицкий Б.Б., Вербицкая Е.А., Журкин И.Г. Особенности применения нейронных сетей в задачах автоматизированного дешифрирования аэрокосмических изображений при обновлении электронных карт // Известия высших учебных заведений. Геодезия и аэрофотосъемка. – 2014. – № 1. – С. 103–108.
9. Журкин И.Г., Бадышев Т.Т., Бадышева Е.К. Шифрование геоизображений средствами программного продукта MATLAB // Известия высших учебных заведений. Геодезия и аэрофотосъемка. – 2014. – № 1. – С. 108–111.
10. Райхлин В.А., Вершинин И.С. Моделирование процессов двумерно-ассоциативного маскирования распределенных точечных объектов картографии // Нелинейный мир. – 2010. – Т. 8, № 5. – С. 288–296.
11. Титков Б.В., Галактионов И.Е., Тришин Н.Д. Сжатие данных шифрованных изображений // Вопросы радиоэлектроники. – 2018. – № 9. – С. 43–48.
12. Евдокимов А.А., Вязовов В.А., Жирный А.В. Нейронная сеть для шифрования изображений // Мир науки глазами современной молодежи: материалы Всероссийской научной конференции. – Ставрополь, 2014. – С. 137–141.
13. Дьяконов В.П., Абраменкова И. Matlab. Обработка сигналов и изображений: специальный справочник. – СПб.: Питер, 2002. – 602 с.
14. Gentle J.E. Singular value factorization // Gentle J.E. Numerical linear algebra for applications in statistics. – Berlin: Springer, 1998. – P. 102–103.
15. Василенко Г.И. Теория восстановления сигналов. – М.: Советское радио, 1979. – 272 с.
16. Гуриев М.А. Теория вероятностей и элементы математической статистики. – М.: Воениздат, 1980. – 383 с.

Жбанов Игорь Леонидович, кандидат технических наук, преподаватель Военной академии ВПВО ВС РФ, г. Смоленск. Основное направление – преобразователи информации, обработка изображений. Имеет более 20 публикаций. E-mail: gens84@yandex.ru

Жбанова Вера Леонидовна, кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры оптико-электронных систем филиала Национального исследовательского университета «МЭИ» в г. Смоленске. Основное направление – колориметрия и оптико-электронные приборы и системы. Имеет более 40 публикаций, в том числе одну монографию. E-mail: vera-zhbanova@yandex.ru

Zhbanov Igor L., candidate of technical sciences, lecturer at the Military Academy of the Air Defense Forces of the Armed Forces of the Russian Federation, Smolensk. The main direction is information converters, image processing. Over 20 publications. E-mail: gens84@yandex.ru

Zhbanova Vera L., candidate of technical sciences, scientific title of associate professor, position Associate Professor of the Department of Optoelectronic Systems of The Branch of National Research University "Moscow Power Engineering Institute" in Smolensk. The main direction is colorimetry and optoelectronic devices and systems. Over 40 publications, including a monograph. E-mail: vera-zhbanova@yandex.ru.

DOI: 10.17212/2782-2001-2021-3-87-98

Method for encryption of cartographic images on the basis of internal reorganization of the digital filter structure*

I.L. ZHBANOV^a, V.L. ZHBANOVA^b

Branch of the National Research University "Moscow Power Engineering Institute" in Smolensk, 1 Energetichesky Prospekt, Smolensk, 214013, Russian Federation

^a gens84@yandex.ru ^b vera-zhbanova@yandex.ru

Abstract

The paper presents a method for encrypting geo-images based on the reorganization of the internal structure of the filter. Methods for digital image filtering in the MATLAB environment are taken as a basis. The essence of encryption is to control the aliasing of noise and the kernel of smearing. Knowing these values will allow the addressee to recover the transmitted cards with minimal interference, which will be unattainable for the data interceptor. Under conditions of unfavorable factors, conditions sometimes arise that lead to the loss of information content of images and, as a consequence, damage to information. Therefore, the development of methods to minimize their influence is an urgent task of the study. Thus, one of the approaches to the construction of spatial filters with a controlled structure is proposed for the selection of contrasting images in noises of different intensities. The procedure for converting any spatial filter from an initial display to a form that allows you to control its internal state is described. The obtained results of the original and transformed images make it possible to draw conclusions about the possibility of practical application of the proposed invariant spatial filter in the blocks for analyzing the original image. The method can be used to transfer photo, video messages and text information between consumers using data transmission systems for any purpose. Due to the factorial dependence, it is very problematic for information interceptors to find the required resulting position of all image encryption parameters (sizes, type of the distortion function, regularization parameters α and σ) for information interceptors, since the computational costs are not commensurate with the capabilities of modern computers. This can be used to transfer photo, video messages and text information between consumers using data transmission systems for any purpose, especially when transferring cartographic information.

Keywords: encryption, singular, geoinaging, digital filters, digital images, cartography, image processing, factorial, spatial filter, MATLAB

* Received 10 February 2021.

REFERENCES

1. Gonzalez R.C., Woods R.E. *Tsifrovaya obrabotka izobrazhenii* [Digital image processing]. Moscow, Tekhnosfera Publ., 2005. 1072 p. (In Russian).
2. Gonzalez R.C., Woods R.E., Eddins S.L. *Tsifrovaya obrabotka izobrazhenii v srede MATLAB* [Digital image processing using MATLAB]. Moscow, Tekhnosfera Publ., 2006. 616 p. (In Russian).
3. Priorov A.L., Ganin A.N., Khryashchev V.V. *Tsifrovaya obrabotka izobrazhenii* [Digital image processing]. Moscow, Mir Publ., 2001. 312 p.
4. Spitsyn V.G., Bolotova Yu.A., Phan N.H., Bui T.T.T. Using a Haar wavelet transform, principal component analysis and neural networks for OCR in the presence of impulse noise. *Computer Optics*, 2016, vol. 40 (2), pp. 249–257. DOI: 10.18287/2412-6179-2016-40-2-249-257.
5. Zhanov I.L., Zhanova V.L. Sposob shifrovaniya tekstovoi informatsii singulyarnym dopolnieniem matritsy opornogo fil'tra svertki [A method for encrypting text information by singular complement of the matrix of the basic convolution filter]. *Izvestiya Tul'skogo gosudarstvennogo universiteta. Tekhnicheskie nauki = News of the Tula state university. Technical sciences*, 2021, no. 2, pp. 73–78.
6. Gorbachev V.A., Krivorotov I.A., Markelov A.O., Kotlyarova E.V. Semanticheskaya segmentatsiya sputnikovykh snimkov aeroportov s pomoshch'yu svertochnykh neironnykh setei [Semantic segmentation of satellite images of airports using convolutional neural networks]. *Kompyuternaya optika = Computer Optics*, 2020, vol. 44, no. 4, pp. 636–645. DOI: 10.18287/2412-6179-CO-636. (In Russian).
7. Evdokimov A.A., Vyazovov V.A., Zhirnyi A.V. [Neural network for image encryption]. *Mir nauki glazami sovremennoi molodezhi: materialy Vserossiiskoi nauchnoi konferentsii* [The world of science through the eyes of modern youth]. Stavropol, 2014, pp. 137–141. (In Russian).
8. Verbitskii B.B., Verbitskaya E.A., Zhurkin I.G. Osobennosti primeneniya neironnykh setei v zadachakh avtomatizirovannogo deshifirovaniya aerokosmicheskikh izobrazhenii pri obnovlenii elektronnykh kart [Features of the use of neural networks in the tasks of automated decoding of aerospace images when updating electronic maps]. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. Geodeziya i aerofotos"emka = Izvestia vuzov. Geodesy and aerophotosurveying*, 2014, no. 1, pp. 108–111.
9. Zhurkin I.G., Badyshev T.T., Badysheva E.K. Shifrovanie geoizobrazhenii sredstvami programmnogo produkta MATLAB [Encryption of geoimages by means of the MATLAB software product]. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. Geodeziya i aerofotos"emka = Izvestia vuzov. Geodesy and aerophotosurveying*, 2014, no. 1, pp. 108–111.
10. Raikhlin V.A., Vershinin I.S. Modelirovanie protsessov dvumerno-assotsiativnogo maskirovaniya raspredelennykh tochechnykh ob"ektov kartografii [Modelling the processes of two-dimensional-associative masking of the distributed dot objects of cartography]. *Nelineinyi mir = Non-linear world*, 2010, vol. 8, no. 5, pp. 288–296.
11. Titkov B.V., Galaktionov I.E., Trishin N.D. Szhatie dannykh shifrovannykh izobrazhenii [Data compressing of encrypted images]. *Voprosy radioelektroniki = Issues of radio electronics*, 2018, no. 9, pp. 43–48.
12. Evdokimov A.A., Vyazovov V.A., Zhirnyi A.V. [Neural network for image encryption]. *Mir nauki glazami sovremennoi molodezhi: materialy Vserossiiskoi nauchnoi konferentsii* [The world of science through the eyes of modern youth]. Stavropol, 2014, pp. 137–141. (In Russian).
13. D'yakonov V.P., Abramenkova I. *Matlab. Obrabotka signalov i izobrazhenii* [Signal and image processing]. St. Petersburg, Piter Publ., 2002. 602 p.
14. Gentle J.E. Singular value factorization. Gentle J.E. *Numerical Linear Algebra for Applications in Statistics*. Berlin, Springer, 1998, pp. 102–103.
15. Vasilenko G.I. *Teoriya vosstanovleniya signalov* [Signal recovery theory]. Moscow, Sovetskoe radio Publ., 1979. 272 p.
16. Guriev M.A. *Teoriya veroyatnostei i elementy matematicheskoi statistiki* [Probability theory and elements of mathematical statistics]. Moscow, Voenizdat Publ., 1980. 383 p.

Для цитирования:

Жбанов И.Л., Жбанова В.Л. Метод шифрования геоизображений на основе реорганизации внутренней структуры цифрового фильтра // Системы анализа и обработки данных. – 2021. – № 3 (83). – С. 87–98. – DOI: 10.17212/2782-2001-2021-3-87-98.

For citation:

Zhbanov I.L., Zhanova V.L. Metod shifrovaniya geoizobrazhenii na osnove reorganizatsii vnutrennei struktury tsifrovogo fil'tra [Method for encryption of cartographic images on the basis of internal reorganization of the digital filter structures]. *Sistemy analiza i obrabotki dannykh = Analysis and Data Processing Systems*, 2021, no. 3 (83), pp. 87–98. DOI: 10.17212/2782-2001-2021-3-87-98.