

ИНФОРМАТИКА И ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА

DOI: 10.25586/RNU.V9I87.20.03.P.111

УДК 621.383.72

А.А. Трушин

ПОВЫШЕНИЕ КАЧЕСТВА ЦИФРОВЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ, ИСКАЖЕННЫХ В ПРОЦЕССЕ ФОТОСЪЕМКИ

Рассматриваются существующие на данный момент подходы и методы повышения качества изображений, искаженных в результате движения фотооборудования, а также типы этих искажений – расфокусировка и смаз. Разработан алгоритм и на его основе программное обеспечение, позволяющие восстанавливать искаженные изображения. Представлены результаты обработки изображений с линейными параметрами искажения.

Ключевые слова: расфокусировка, смаз, деконволюция, регуляризация.

А.А. Trushin

IMPROVING THE QUALITY OF DIGITAL IMAGES THAT ARE DISTORTED DURING PHOTOGRAPHY

The article considers the currently existing approaches and methods for improving the quality of images distorted as a result of movement of photographic equipment, as well as the types of these distortions – “defocusing” and “blurring”. An algorithm and software based on it have been developed to restore distorted images. The results of image processing with linear distortion parameters are presented.

Keywords: defocus, blur, deconvolution, regularization.

Причины искажений изображений

Одной из основных трудностей, с которой приходится сталкиваться при решении задач восстановления изображений, является проблема размывания и смазывания изображений [4], которые возникают при взаимном относительном движении оптического сенсора и объекта во время экспозиции. Размывание (аналог расфокусировки изображения), возникающее, когда сцена и регистрирующее устройство находятся в покое по отношению друг к другу, можно смоделировать низкочастотными фильтрами в пространственной или частотной областях. Другая важная модель искажения изображений смазыванием соответствует равномерному прямолинейному перемещению сцены относительно регистрирующих устройств и датчиков в процессе фиксирующей съемки.

У некоторых исследователей присутствует мнение, что искажения являются необратимой операцией. Но информация перераспределяется по определенному закону и поэтому ее можно восстановить с некоторыми ограничениями. Другими словами, можно сказать, что в ходе процесса искажения любой пиксель исходного изображения отображается в случае расфокусировки в пятно, и в случае простого смаза – в отрезок. Можно сформулировать эту задачу и для искаженного изображения. В этом варианте любой пиксель искаженного изображения есть образ пикселей какого-то множества в исходном изображении. Именно соответствие какому-то закону, по которому собирается один пиксель, и называют функцией искажения. Другие названия-синонимы: *PSF (Point spread function,*

т.е. функция распределения точки) [9], ядро искажающего оператора [1]. Размерность этой функции обычно меньше размерности самого изображения.

Модель процесса искажения цифрового изображения может быть представлена в пространственной области в виде выражения

$$g(x, y) = h(x, y) * f(x, y) + n(x, y), \quad (1)$$

где $g(x, y)$ – значение яркости пикселя искаженного изображения; $h(x, y)$ – функция, представляющая искажающий оператор в пространственной области (функция искажения, или *PSF*); $f(x, y)$ – функция, представляющая неискаженное изображение; $n(x, y)$ – функция шума, * – оператор свертки.

Операцию применения функции искажения к другой функции (в данном случае к изображению) называют сверткой (convolution) [Там же] и обозначают «*». То есть в результате операции «*» некоторое множество в исходном изображении сворачивается в один пиксель искаженного изображения. Операцию свертки к изображению можно представить в виде выражения

$$g(x, y) = h(x, y) * f(x, y) = \sum_{i=0}^{m-1} \sum_{j=0}^{n-1} h(i, j) f\left(x - \frac{m}{2} + i, y - \frac{n}{2} + j\right) + n(x, y). \quad (2)$$

Теорема о свертке гласит, что операция свертки в пространственной области эквивалентна обычному умножению в частотной области.

Процесс искажения в частотной области можно представить в виде

$$G(u, v) = H(u, v) * F(u, v) + N(u, v), \quad (3)$$

где $G(u, v)$, $H(u, v)$ и $F(u, v)$ – образы двумерного преобразования Фурье искаженного изображения, функции искажения и исходного изображения соответственно.

Таким образом, процесс искажения можно представить с помощью двух моделей – пространственной и частотной, каждая из которых обладает своими особенностями.

Подходы и методы для повышения качества цифровых изображений

Операция, обратная по отношению к свертке, называется деконволюцией (от англ. *deconvolution*). Модель восстановления изображения при искажении представлена на рисунке 1.

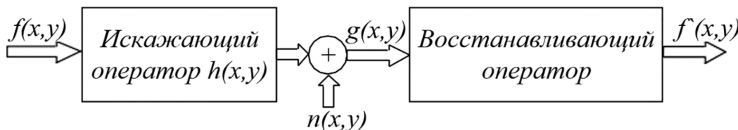


Рис. 1. Модель искажения и восстановления изображения

Существующие подходы повышения качества изображений можно классифицировать по нескольким признакам:

- 1) по области обработки;
- 2) по наличию информации об искажающей функции:
 - при известной функции,
 - при неизвестной функции.

На рисунке 2 представлена классификация подходов к повышению качества изображений.



Рис. 2. Классификация подходов повышения качества изображений

Подходы по улучшению качества изображений по области обработки распадаются на две большие категории – обработка в пространственной области и обработка в частотной области. Термин «пространственная область» относится к плоскости растрового изображения, состоящего из отдельных пикселей, и объединяет методы, основанные на прямом манипулировании пикселями изображения [7]. Подходы, предназначенные для обработки в частотной области, основываются на модификации сигнала, формируемого путем применения к изображению преобразования Фурье или других аналогичных преобразований [1].

При применении методов повышения качества производится попытка реконструировать или воссоздать изображение, которое было до этого искажено, используя априорную информацию о явлении, вызвавшем ухудшение изображения.

Теория восстановления размытых изображений сначала рассматривала лишь размытие изображений при известной искажающей функции. Такая задача достаточно успешно решается применением фильтра Винера, алгоритмов Ричардсона – Люси и регулязации Тихонова.

Фильтр Винера рассматривает изображение и шум как случайные процессы и находит такую оценку F' для неискаженного изображения f , чтобы среднеквадратическое отклонение этих величин было минимальным. Минимум этого отклонения достигается на функции в частотной области [2] в виде выражения

$$F'(u,v) = \left(\frac{|H(u,v)|^2}{H(u,v) \left(|H(u,v)|^2 + \frac{S_\eta(u,v)}{S_f(u,v)} \right)} \right) G(u,v), \quad (4)$$

где $H(u,v)$ – образ двумерного преобразования Фурье функции искажения; $H^*(u,v)$ – комплексно сопряженное с $H(u,v)$; $|H(u,v)|^2 = H^*(u,v) H(u,v)$; $S_\eta(u,v)$ – энергетический спектр шума; $S_f(u,v)$ – энергетический спектр неискаженного изображения.

Идея регулязации по Тихонову заключается в формулировке задачи в матричном виде с дальнейшим решением соответствующей задачи оптимизации [Там же].

Это решение записывается в виде выражения

$$F'(u,v) = \left(\frac{H(u,v)}{|H(u,v)|^2 + \gamma |P(u,v)|^2} \right) G(u,v), \quad (5)$$

где γ – параметр регуляризации; $P(u,v)$ – Фурье-преобразование оператора Лапласа

$$p(x,y) = \begin{bmatrix} 0 & -1 & 0 \\ -1 & 4 & -1 \\ 0 & -1 & 0 \end{bmatrix}, \quad (6)$$

Метод, основанный на алгоритме Люси – Ричардсона, является нелинейным в отличие от предыдущих, что потенциально может дать лучший результат; также алгоритм является итерационным, соответственно, возникают трудности с критерием останова итераций. Вычисление по данному алгоритму производится на основе формулы (7) без использования преобразования Фурье – все операции осуществляются в пространственной области [1]:

$$f'_{k+1}(x,y) = f'_k(x,y) \left[h(-x,-y) * \frac{g(x,y)}{h(x,y) * f'_k(x,y)} \right], \quad (7)$$

где k – номер итерации, на котором осуществляется применение алгоритма.

Вышерассмотренные методы получили широкое применение для решения специализированных задач (например, для космической и медицинской области), но их применение требует знание функции искажения.

На практике параметры размытия (функция искажения) неизвестны или известны лишь приблизительно по характеру видимых искажений. Поэтому в настоящее время в направлении повышения качества изображений развивается метод слепой деконволюции [8; 10].

Наиболее целесообразно использовать метод слепой деконволюции тогда, когда исследователь не располагает информацией об имеющихся искажениях (размытие и шум). Алгоритм восстанавливает одновременно изображение и функцию протяженности точки (PSF). Дополнительные характеристики оптической системы (например, камеры) могут быть использованы в качестве исходных параметров, которые приведут к улучшению восстановления изображений [3]. Поэтому исходное изображение должно быть восстановлено непосредственно из смазанного с использованием неполной информации о процессе смаза.

Как правило, метод слепой деконволюции содержит два этапа [9]. Во-первых, ядро размытия оценивается по входному изображению. Процесс оценки выполняется математическим способом [6]. Во-вторых, используя оценочное ядро, мы применяем стандартный алгоритм деконволюции для оценки скрытого (неровного) изображения, рассмотренный выше.

Методы слепого восстановления содержат много проблем, не имеющих однозначного решения, поэтому в этой области возможно проведение многочисленных исследований. Слепое восстановление изображений применяется в различных технических областях, таких как астрономические изображения, дистанционное зондирование, рентгенография,

Трушин А.А. Повышение качества цифровых изображений...

оптика, фотография, приложения высоких разрешений, приложения отслеживания движений и др. [5].

Таким образом, рассмотренные подходы принято разделять на подходы по областям обработки и наличию информации о функции искажения, которые коррелируют между собой в методах восстановления качества изображений. Также можно отметить, что метод слепой деконволюции является наиболее применимым при отсутствии большинства априорных сведений об искаженном изображении, но требует больших вычислительных ресурсов.

Алгоритм повышения качества искаженных изображений

В основе предлагаемого автором алгоритма восстановления лежит линейная фильтрация Винера (см. п. 2).

В алгоритме восстановления искаженных цифровых изображений предусмотрены следующие основные процедуры обработки:

- 1) считывание изображения из файла;
- 2) вычисление функции искажения на основе введенных параметров искажений;
- 3) вычисление отношения сигнал – шум изображения;
- 4) размытие контуров исходного изображения с целью предотвращения появления эффекта звона на краях изображения (искривления элементов изображения на границах), появляющегося при использовании двумерного дискретного преобразования в блоке деконволюции;
- 5) получение монохромного изображения путем преобразования массивов значений интенсивности пикселей цветовых составляющих R , G , B полноцветного изображения в соответствующие им значение яркости с целью уменьшения времени, необходимого для обработки в блоке деконволюции;
- 6) деконволюция монохромного изображения с использованием метода восстановления с помощью фильтра Винера на основе вычисленной функции искажения и отношения сигнал – шум;
- 7) вывод преобразованного изображения;
- 8) при удовлетворительном визуальном качестве изображения в соответствии с алгоритмом пользователю предоставляется возможность сохранить результаты восстановления обрабатываемого изображения.

Программная реализация алгоритма и результаты обработки изображений

Предложенный автором алгоритм реализован программно. Программное обеспечение (ПО) позволяет при изменении параметров настройки специальных функций обработки восстанавливать цифровые изображения, искаженные в результате таких видов воздействий, как смаз и расфокусировка.

Входными данными для работы ПО являются цифровые изображения любых форматов хранения и тип искажения. ПО реализовано на базе функций библиотеки Image Processing Toolbox пакета прикладных программ для решения технических задач MATLAB.

Разработанное ПО предназначено для коррекции и улучшения четкости изображений. В результате применения программы появляется возможность повышения визуального качества деталей объектов на изображении, которые на исходном снимке явно видны не были.

ПО позволяет восстанавливать качество всего изображения в случае, если искажению подверглось равномерно вся площадь фотоснимка. Для улучшения качества изображений подразумевается подбор параметров обработки в ручном режиме при постоянном визуальном контроле результатов обработки на каждой итерации. В качестве тестовых изображений выбраны те, у которых параметры искажения линейны, т.е. функция искажения при смазывании – отрезок, а при размывании (расфокусировки) – пятно с некоторым радиусом.

На исходном изображении автомобиля (рис. 3) наблюдается искажение типа смаз. Номер автомобиля читается с трудом.



Рис. 3. Окно программы с искаженным изображением автомобиля

При этом если анализировать направление смаза, то относительно вертикальной оси изображения он составляет приблизительно 45 градусов. Установить длину смаза в данном случае затруднительно в силу того, что не известен истинный размер отображаемого в окне программы изображения. Поэтому длина смаза подбиралась вручную и в итоге составила порядка 21–22 точек.

Результат обработки и сохранения полноцветного варианта восстановленного изображения представлены на рисунках 4–5.



Рис. 4. Результат восстановления изображения автомобиля



Рис. 5. Сохранение полноцветного варианта изображения

Исходное изображение лица при портретной съемке (рис. 6).

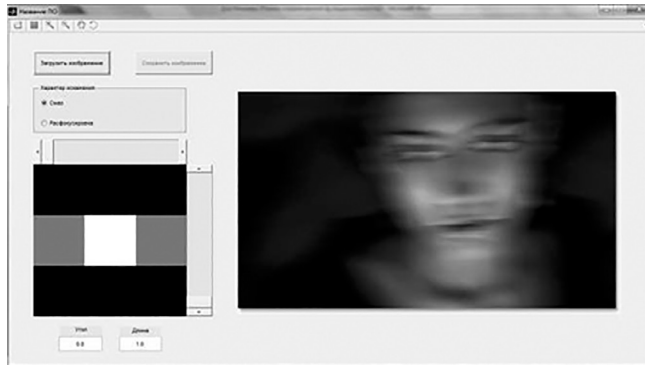


Рис. 6. Окно программы с искаженным изображением лица

На изображении также наблюдается искажение типа смаз. В данном случае направление смаза относительно вертикальной оси изображения составило приблизительно 175–180 градусов. Путем визуального анализа изображения при изменении длины смаза было установлено, что она равна порядка 60 точек. Результаты обработки и сохранения восстановленного изображения представлены соответственно на рисунках 7–8.



Рис. 7. Результат обработки изображения лица с заданными параметрами смаза



Рис. 8. Результат сохранения полноцветного варианта восстановленного изображения лица
Еще один вариант изображения лица (рис. 9).



Рис. 9. Окно программы с искаженным изображением лица

На изображении также наблюдается искажение типа смаз. В данном случае направление смаза относительно вертикальной оси изображения составило приблизительно 175–180 градусов. Путем визуального анализа изображения при изменении длины смаза было установлено, что она равна порядка 60 точкам. Результаты обработки и сохранения восстанавливаемого изображения представлены соответственно на рисунках 10–11.



Рис. 10. Результат обработки изображения лица с заданными параметрами смаза



Рис. 11. Результат сохранения полноцветного варианта восстановленного изображения лица

На рисунке 12 представлен вариант изображения с наблюдаемым на нем искажением типа расфокусировка, т.е. нечеткое изображение.

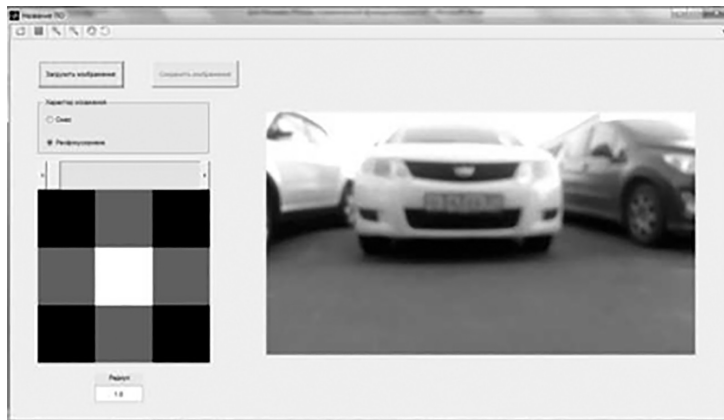


Рис. 12. Окно программы с искаженным изображением автомобиля на стоянке

При этом номер автомобиля не читаем даже при увеличении масштаба. Путем визуального анализа изображения при изменении радиуса расфокусировки было установлено, что она составляет порядка 26 точек. Результаты обработки и сохранения восстанавливаемого изображения представлены соответственно на рисунках 13–14.

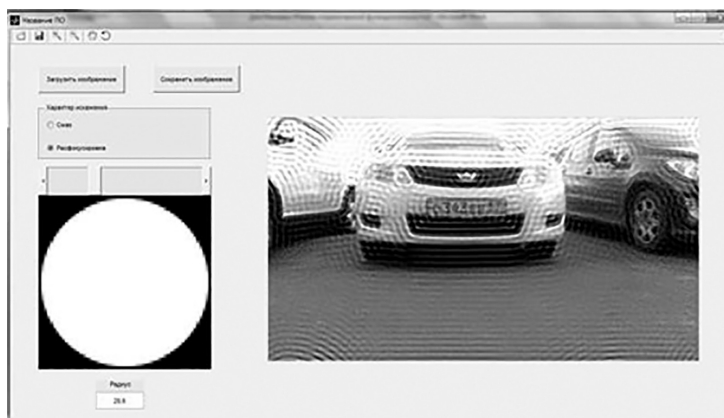


Рис. 13. Результат обработки изображения автомобиля (тип искажения расфокусировка)



Рис. 14. Результат сохранения монохромного варианта изображения автомобиля

На рисунке 15 также представлено изображение с искажением типа расфокусировка.



Рис. 15. Окно программы с загруженным искаженным изображением таблички

Путем визуального анализа изображения при изменении радиуса расфокусировки было установлено, что она составляет порядка 22 точек. Результаты обработки и сохранения восстанавливаемого изображения представлены соответственно на рисунках 16–17.

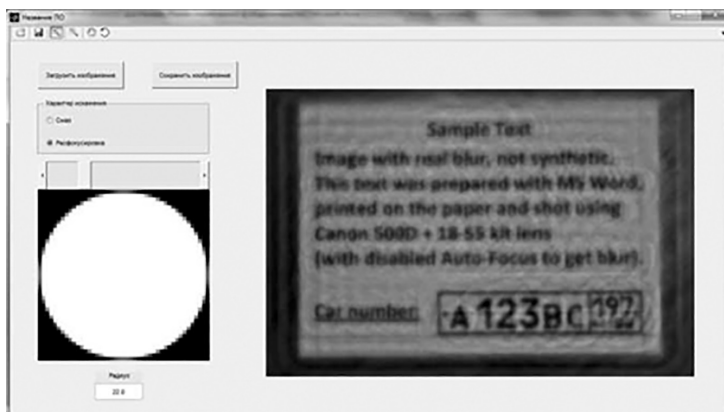


Рис. 16. Результаты обработки изображения сообщения на английском языке (тип искажения расфокусировка)

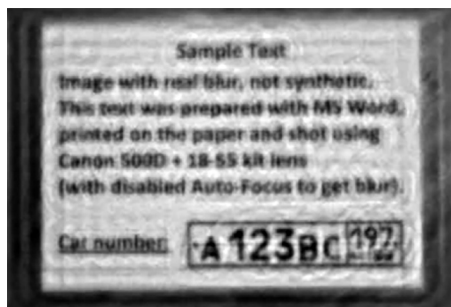


Рис. 17. Результаты обработки изображения сообщения на английском языке (тип искажения расфокусировка)

Заключение

Рассматриваемый автором процесс повышения качества изображения состоит в том, чтобы снимок «выглядел лучше». Неудивительно поэтому, что если цель намечена туманно, то и методы, применяемые для повышения качества изображений, оказываются весьма разнообразными. Субъективные суждения о том, что изображение «выглядит лучше», связаны также с критериями, зависящими от предназначения изображения (изображение должно «выглядеть лучше» применительно к определенной задаче). Если использование изображения связано с точным анализом или количественными измерениями, то радикальные операции, приводящие к значительному изменению пространственных или яркостных соотношений в изображении, могут оказаться неприемлемыми.

С другой стороны, если изображение применяется только для субъективных целей, то допустимы операции, существенно изменяющие пространственные или яркостные соотношения или же и те, и другие, но в целом улучшающие субъективное восприятие изображения.

Следовательно, для повышения качества изображения можно применять широкий круг методов; пригодность каждого из них зависит от целей повышения качества данного изображения.

Литература

1. Гонсалес Р, Вудс Р. Цифровая обработка изображений в среде MATLAB. М.: Техносфера, 2006. 616 с.
2. Гонсалес Р, Вудс Р. Цифровая обработка изображений. Изд. 3-е, испр. и доп. М.: Техносфера, 2012. 1104 с.
3. Журавель И.М. Краткий курс теории обработки изображений. М., 1999. 43 с.
4. Коробейников А.Г., Федосовский М.Е., Алексанин С.А. Разработка автоматизированной процедуры для решения задачи восстановления смазанных цифровых изображений // Кибернетика и программирование. 2016. № 1. С. 115–119.
5. Седова Н.В. Проблема шумоподавления при редактировании изображений // Вестник Тамбовского университета. Серия «Естественные и технические науки». 2009. Т. 14, вып. 5-1. С. 906–909.
6. Седунов Б.И. Моделирование ПЗС-формирователя сигналов изображений со сверхразрешением // Вестник Российского нового университета. Серия «Сложные системы модели, анализ и управление». 2019. Вып. 4. С. 23–34.
7. Соловьёв Н.В., Сергеев А.М. Улучшение качества растровых изображений: учебное пособие. СПб., 2010. 158 с.

8. Cho S., Lee S. Fast Motion Deblurring // ACM Transactions on Graphics. 2009. Vol. 28, № 5.
9. Fergus R., Singh B., Hertzmann A., Roweis S.T., Freeman W.T. Removing Camera Shake from a Single Photograph // ACM Transactions on Graphics. 2006. Vol. 25, № 3. P. 787–794.
10. Shan Q., Jia J., Agarwala A. High-Quality Motion Deblurring from a Single Image // ACM Transactions on Graphics. 2008. Vol. 27, № 3. P. 35–42.

Literatura

1. Gonsales R., Vuds R. Tsifrovaya obrabotka izobrazhenij v srede MATLAB. M.: Tekhnosfera, 2006. 616 s.
2. Gonsales R., Vuds R. Tsifrovaya obrabotka izobrazhenij. Izd. 3-e, ispr. i dop. M.: Tekhnosfera, 2012. 1104 s.
3. Zhuravel' I.M. Kratkij kurs teorii obrabotki izobrazhenij. M., 1999. 43 s.
4. Korobejnikov A.G., Fedosovskij M.E., Aleksanin S.A. Razrabotka avtomatizirovannoj protsedury dlya resheniya zadachi vosstanovleniya smazannykh tsifrovyykh izobrazhenij // Kibernetika i programmirovaniye. 2016. № 1. С. 115–119.
5. Sedova N.V. Problema shumopodavleniya pri redaktirovanii izobrazhenij // Vestnik Tambovskogo unversiteta. Seriya "Estestvennye i tekhnicheskie nauki". 2009. T. 14, vyp. 5-1. S. 906–909.
6. Sedunov B.I. Modelirovaniye PZS-formirovatel'ya signalov izobrazhenij so sverkhrazresheniem // Vestnik Rossijskogo novogo universiteta. Seriya "Slozhnye sistemy modeli, analiz i upravleniye". 2019. Vyp. 4. S. 23–34.
7. Solov'jov N.V., Sergeev A.M. Uluchsheniye kachestva rastrovyykh izobrazhenij: uchebnoye posobie. SPb., 2010. 158 s.
8. Cho S., Lee S. Fast Motion Deblurring // ACM Transactions on Graphics. 2009. Vol. 28, № 5.
9. Fergus R., Singh B., Hertzmann A., Roweis S.T., Freeman W.T. Removing Camera Shake from a Single Photograph // ACM Transactions on Graphics. 2006. Vol. 25, № 3. P. 787–794.
10. Shan Q., Jia J., Agarwala A. High-Quality Motion Deblurring from a Single Image // ACM Transactions on Graphics. 2008. Vol. 27, № 3. P. 35–42.

DOI: 10.25586/RNUV9187.20.03.P.122

УДК 004.7

А.Я. Олейников, Д.В. Растягаев, И.А. Фомин

ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ КОНЦЕПЦИИ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ИНТЕРОПЕРАБЕЛЬНОСТИ СЕТЕЦЕНТРИЧЕСКИХ ИНФОРМАЦИОННО-УПРАВЛЯЮЩИХ СИСТЕМ*

Приведены основные положения Концепции обеспечения интероперабельности в сетевых информационных управляющих системах. Концепция представляет первый этап в подходе к обеспечению интероперабельности, зафиксированном в ГОСТ Р 55062-2012 и учитывает положения актуальных зарубежных и отечественных документов.

Ключевые слова: концепция, сетевые информационно-управляющие системы, интероперабельность, оценка и обеспечение, барьеры интероперабельности.

* Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований, грант № 19-07-00774.