

УДК 621.396

МАРКИРОВАНИЕ ЧАСТЕЙ СПЕКТРАЛЬНО ИСКАЖЁННОГО ИЗОБРАЖЕНИЯ С ПРОГНОЗОМ ВОЗМОЖНОСТЕЙ РЕКОНСТРУКЦИИ

А. В. Кокошкин, В. А. Коротков, К. В. Коротков, Е. П. Новичихин

Фрязинский филиал Института радиотехники и электроники им. В.А. Котельникова
РАН, 141120, Московская область, Фрязино, пл. академика Введенского, 1

Статья поступила в редакцию 9 июля 2018 г.

Аннотация. Представлена методика автоматического определения фрагментов на спектрально искажённых изображениях перспективных для проведения деконволюции. Предложенная процедура, с помощью плавающего спрайта, попиксельно, вычисляет коэффициент восстановимости изображения C_{ri} (аббревиатура от Coefficient of recoverability image). Это позволяет уменьшить влияние человеческого фактора на выбор места и положения фрагментов перспективных для повышения их качества. Методика протестирована как на модельных, так и на реальных изображениях. С её помощью достаточно надёжно определяются области (фрагменты) как неискажённые, так и с искажениями разной степени.

Ключевые слова: спектральные искажения, коэффициент восстановимости изображения, фрагменты, искажённые в разной степени.

Abstract. In practice, it often happens that different objects on the same image appear with varying degrees of distortion (for example, because of defocusing due to being location at the different distances from the receiving device). In such cases, there are difficulties in the real image recovery, since the distorting hardware function (Point spread function (PSF)) is not the same across the entire image. Therefore, when working with images on which areas are distorted in various ways, as a rule, the original improved image is divided into parts (sprites), which, presumably, were affected by one distorting hardware function (Point spread function PSF). And after

that, autonomously for each part (sprite), they make a reconstruction, and as a result, they fold the restored fragments into a general image.

This work presents a technique for automatically determining fragments on spectrally distorted images that are promising for deconvolution. The proposed procedure, using a floating sprite, pixel-by-pixel, calculates the image recovery coefficient C_{ri} (an abbreviation of Coefficient of recoverability image). C_{ri} has the physical meaning of estimating the fraction of the amplitude spectrum of the image under study, located in a given neighborhood of the universal reference spectrum ((URS) or, same General-purpose reference spectrum (GRS)). This makes it possible to reduce the influence of the human factor on the choice of location and position of fragments that are promising to improve their quality. The technique has been tested both on model and real images. With its help, regions (fragments) are defined reliably as undistorted, and with distortions of different degrees.

Key words: spectral distortion, Coefficient of recoverability image, fragments distorted to varying degrees.

1. Введение

На практике часто случается, что различные объекты на одном изображении проявляются с разной степенью искажений (например, для дефокусировки по причине нахождения на разных расстояниях от приёмного устройства). В таких случаях возникают трудности восстановления, поскольку искажающая аппаратная функция (АФ) неодинакова по всему изображению [1, 2]. Если использовать только одну АФ, то Винеровской фильтрацией [2], методом опорного изображения [3, 4], или методом перенормировки с ограничением [5] не удастся улучшить качество изображения с несколькими степенями дефокусировки. Поэтому в случаях работы с изображениями на которых присутствуют области искажённые различным образом, как правило, исходное улучшаемое изображение разбивают на части (спрайты), на которые, предположительно, воздействовала одна искажающая аппаратная функция (АФ). И после этого, автономно по каждой части (спрайту), производят

реконструкцию, в результате складывая восстановленные фрагменты в общее изображение. Для случая разной степени дефокусированного изображения в работе [6] предложен способ определения дефокусировки фрагмента изображения по объективному критерию.

В подходе с разбиением на отдельные фрагменты исходного, искажённого разными АФ изображения есть доля творчества. Т.е. исследователь, субъективно оценивает и экспертным образом разбивает на части плоскость улучшаемого изображения.

Чтобы уменьшить влияние человеческого фактора на выбор места и положения спрайтов перспективных для повышения их качества. Мы предлагаем использовать коэффициент восстановимости изображения C_{ri} (аббревиатура от Coefficient of recoverability image), из работы [7]. Такой оригинальный подход к оценке качества цифровых изображений, позволяет сделать прогноз в отношении перспектив возможного улучшения изображения или его фрагмента. C_{ri} имеет физический смысл оценки доли амплитудного спектра исследуемого изображения, находящуюся в заданной окрестности универсального опорного спектра (УОС) [7, 8].

Предполагаем что на исходном изображении могут присутствовать области (фрагменты) искажённые различным образом (от неискажённых до искажённых в различной степени и различными АФ). Для реализации процедуры выдающей прогноз о благоприятности применения процедур деконволюции с использованием коэффициента восстановимости создадим плавающее окно (спрайт) внутри которого будет вычисляться C_{ri} . Передвижение спрайта по поверхности исследуемого изображения происходит попиксельно. Таким образом и коэффициент восстановимости определяется для каждого пиксела (для крайних и близких краю пикселов к изображению добавлены поля заполненные средней яркостью всего изображения). В результате мы получаем картину C_{ri} по всей поверхности изображения. Там где значения коэффициента восстановимости находятся вблизи нуля там прогноз улучшения качества изображения неблагоприятный, что может говорить о том что либо тут нет

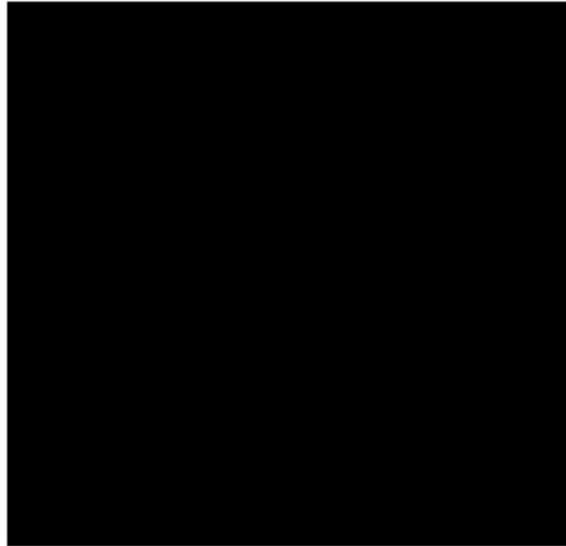
искажений, либо в этом фрагменте процедуры реконструкции вряд ли сработают.

Предложенный подход актуален для практического применения при анализе различных видов изображений, поскольку в любых задачах требуется определение степени искажения или достоверности отображения отдельных объектов на исследуемых изображениях. Как было сказано выше, по-другому эта задача может быть сформулирована как задача определения фрагментов изображения перспективных для повышения их качества.

В данной работе рассматривается в основном случай искажения дефокусом.

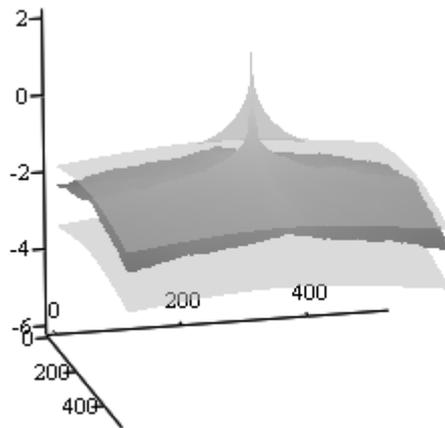
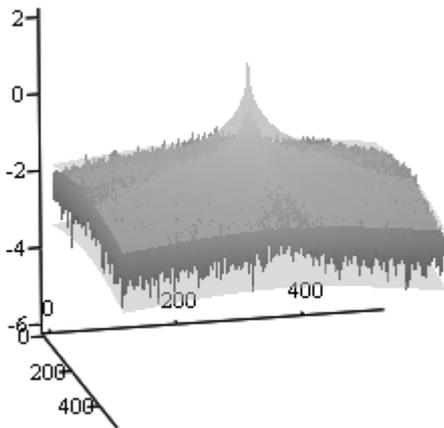
2. Реализация методики определения фрагментов изображения перспективных для повышения их качества.

Для тестирования предложенного способа возьмём исходное изображение размером 512 на 512 пикселей рис.1. Размер плавающего спрайта составляет 121 на 121 пиксела. Если вычислить коэффициент восстановимости для исходного изображения не по спрайтам, а полностью, то $C_{ri}=0$, что указывает на отсутствие искажений. Рис.1(в) показывает амплитудный пространственный спектр изображения рис.1(а) и заданную окрестность УОС вверх и вниз (в шесть раз) - полупрозрачные серые сплошные поверхности. Поскольку универсальный опорный спектр это модель изотропной части усреднённого амплитудного спектра, то и оценивать коэффициент восстановимости надо по усреднённому спектру. Рис.1(г) демонстрирует усреднённый по спрайтам 21 на 21 пиксел амплитудный спектр рис.1(в) в аналогичной окрестности УОС (полупрозрачные серые сплошные поверхности). Рис.1(б) изображает вычисленный по спрайтам C_{ri} для каждого пиксела изображения (чёрный цвет $C_{ri}=0$, белый цвет $C_{ri}=1$).



а)

б)



в)

г)

Рис. 1. Исходное неискажённое тестовое изображение размером 512 на 512 пикселей.- (а); вычисленный по плавающим спрайтам размером 121 пиксел C_{ri} для каждого пиксела изображения (чёрный цвет $C_{ri}=0$, белый цвет $C_{ri}=1$) - (б); амплитудный пространственный спектр исходного изображения рис.1(а) в логарифмическом масштабе - (в); усреднённый по спрайтам 21 на 21 пиксел амплитудный пространственный спектр рис.1(в) в логарифмическом масштабе - (г).

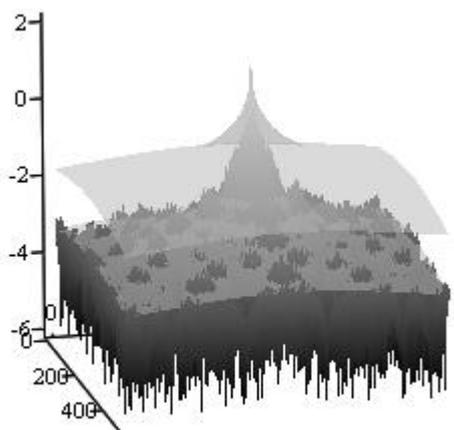
Рисунок 1(б) демонстрирует карту восстановимости для тестового изображения рис.1(а). Коэффициент восстановимости по всему полю изображения рис.1(б) близок к нулю (чёрный цвет), что означает негативный прогноз на улучшение. Применительно к рассматриваемому случаю это свидетельствует об отсутствии искажений.

На рис.2(а) показано моделирование размытия (дефокусировки) - равномерное искажение всего изображения АФ круглое пятно радиусом 6 пикселей.

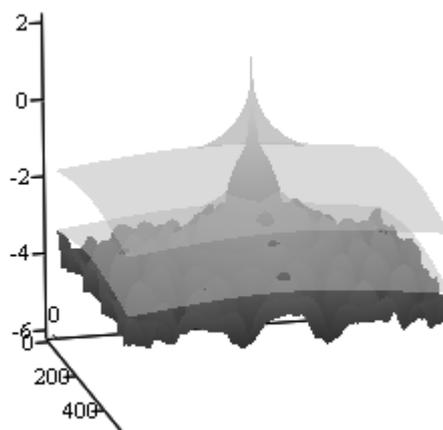


а)

б)



в)



г)

Рис. 2. Искажённое изображение рис.1(а) АФ дефокусировки «круглое пятно» радиусом 6 пикселей - (а); вычисленный по плавающим спрайтам размером 121 пиксел C_{ti} для каждого пиксела изображения (чёрный цвет $C_{ti}=0$, белый цвет $C_{ti}=1$) - (б); амплитудный пространственный спектр изображения рис.2(а) в логарифмическом масштабе - (в); усреднённый по спрайтам 21 на 21 пиксел амплитудный пространственный спектр рис.2(в) в логарифмическом масштабе - (г).

Рис.2(в) показывает амплитудный пространственный спектр изображения рис.2(а) и заданную окрестность УОС вверх и вниз (в шесть раз) - полупрозрачные серые сплошные поверхности. Рис.2(г) демонстрирует усреднённый спектр рисунка 2(в) и заданную окрестность УОС. Из рис.2(г) - хорошо видно что в заданную окрестность вокруг УОС практически ничего из усреднённого спектра не попадает, а это значит что коэффициент восстановимости для исследуемого изображения близок к единице. Если вычислить коэффициент восстановимости для всего изображения, то $C_{ri}=0,944$. Отдельные мелкие фрагменты серого цвета на рис.2(б) являются исключением из правила, и поскольку они не формируют сколько-нибудь значимых областей, можно считать что всё изображение имеет благоприятный прогноз для улучшения.

Теперь смоделируем изображение таким образом что четверть его поверхности (в левом верхнем углу) искажена размытием (АФ круглое пятно радиусом 6 пикселей), а остальное осталось неискаженным рис.3.

Объёмное картографирование коэффициента восстановимости для рис.3(а) демонстрирует автоматическое выделение областей с фрагментами дефокусированными в разной степени. Заметим что общий для всего изображения амплитудный пространственный спектр (рис.3(в - г)) выглядит как спектр неискажённого исходного изображения, т.е. находится в пределах допустимого отклонения от УОС. Однако, как было сказано выше, если такое изображение попытаться восстановить целиком, т.е. не выделяя области с различными искажениями, то исследователь неизбежно потерпит неудачу, поскольку не выполняется условие применимости операции свёртки. Это относится к тем изображениям в которых можно выделить две или более аппаратные функции искажения участвовавших в создании улучшаемой модели. Предлагаемая нами процедура вычисления с помощью плавающего спрайта по всему полю изображения позволяет выделить и локализовать области с различными АФ, а затем уже работать с ними отдельно.

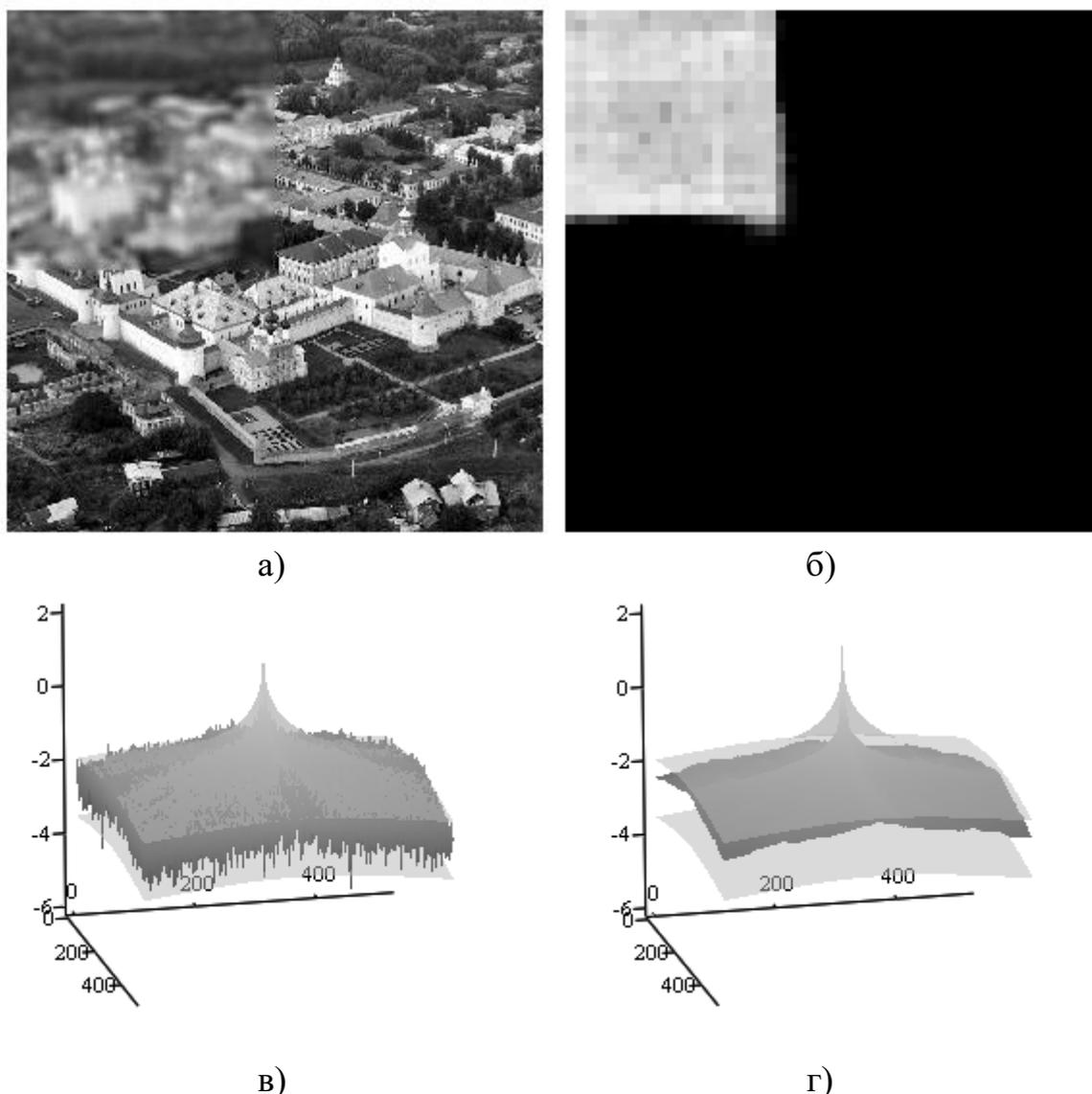


Рис.3. Частично искажённое изображение рис.1(а) (одна четверть площади в верхнем левом углу) АФ дефокусировки «круглое пятно» радиусом 6 пикселей - (а); вычисленный по плавающим спрайтам размером 121 пиксел C_{ri} для каждого пиксела изображения (чёрный цвет $C_{ri}=0$, белый цвет $C_{ri}=1$) - (б); амплитудный пространственный спектр изображения рис.3(а) в логарифмическом масштабе - (в); усреднённый по спрайтам 21 на 21 пиксел амплитудный пространственный спектр рис.3(в) в логарифмическом масштабе - (г).

Это справедливо и в тех случаях когда на искажённом изображении нет чётких (неискажённых) областей.

Рис.4(а) показывает изображение рис.1(а) искажённое двумя аппаратными функциями дефокусировки (круглое пятно) радиусом 6 пикселей (верхняя левая четверть площади) и радиусом 1 пиксел (всё остальное изображение). Как

видно из рис.4(б) метод картографирования C_{ri} указывает на потенциально благоприятный прогноз на улучшение всего изображения (не разделяя по фрагментам с разной степенью дефокусировки). Внимательно изучив рисунок 4(б), можно заметить что разные радиусы дефокусировки имеют, в среднем, разный уровень коэффициента восстановимости. Если в процедуре бинаризации подобрать уровень порога, то достаточно явно можно увидеть локализацию фрагментов с разными степенями дефокусировки.

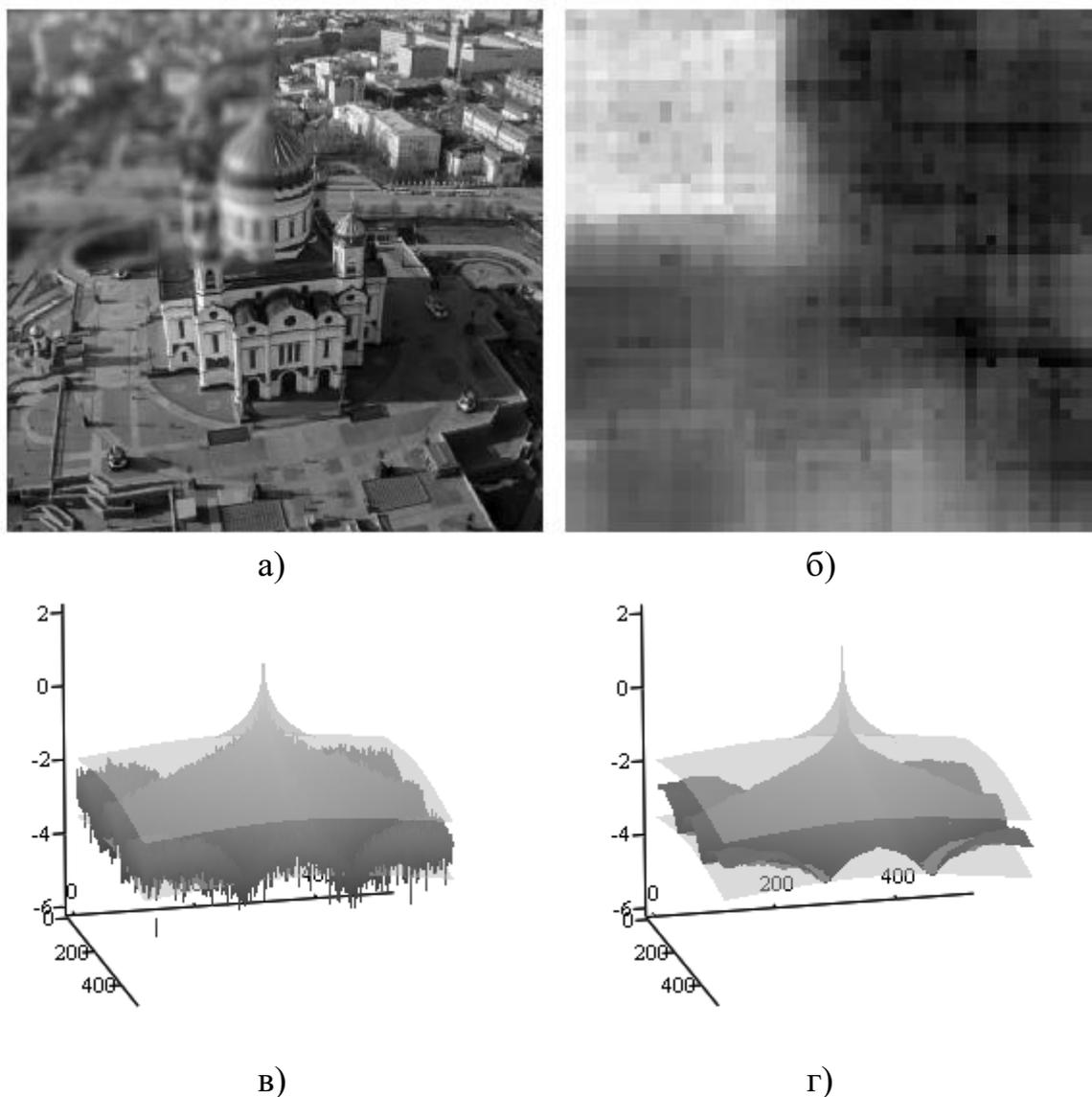


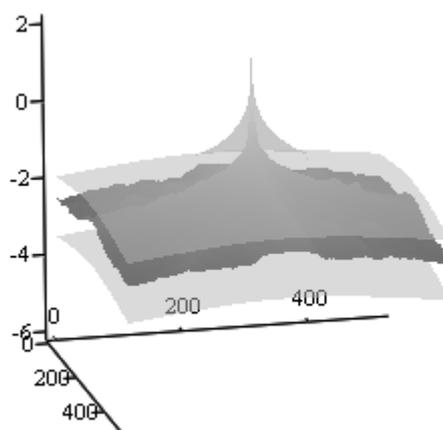
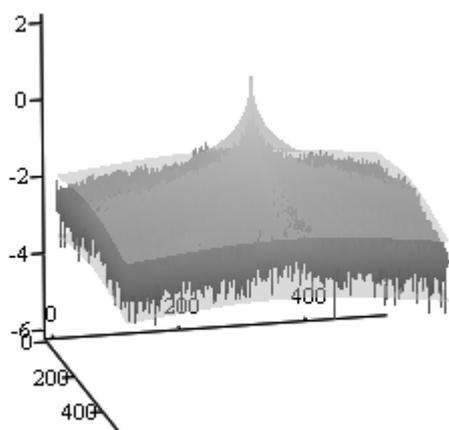
Рис.4. Искажённое изображение рис.1(а) (одна четверть площади в верхнем левом углу) АФ дефокусировки «круглое пятно» радиусом 6 пикселей, остальное АФ дефокусировки «круглое пятно» радиусом 1 пиксел - (а); вычисленный по плавающим спрайтам размером 121 пиксел C_{ri} для каждого пиксела изображения (чёрный цвет $C_{ri}=0$, белый цвет $C_{ri}=1$) - (б); амплитудный пространственный спектр изображения рис.4(а) в логарифмическом масштабе - (в); усреднённый по спрайтам 21 на 21 пиксел

амплитудный пространственный спектр рис.4(в) в логарифмическом масштабе - (г).



а)

б)



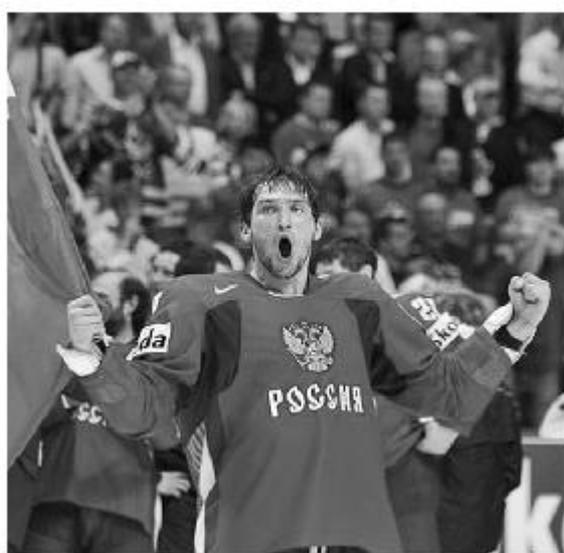
в)

г)

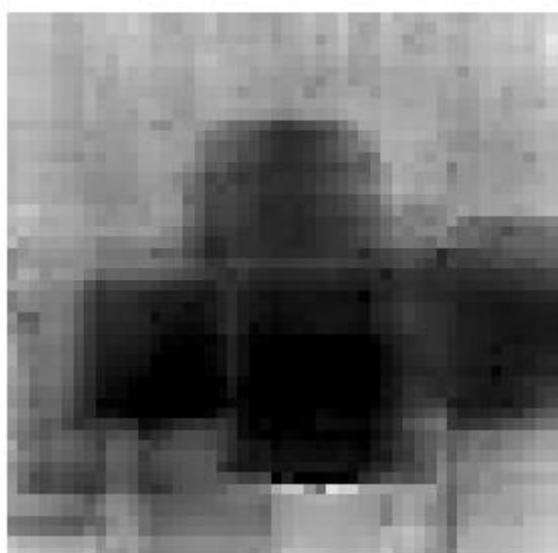
Рис.5. Искажённое изображение рис.1(а) - одна четверть площади в верхнем левом углу - АФ дефокусировки «круглое пятно» радиусом 6 пикселей, одна четверть площади в левом нижнем углу - без искажений, остальное АФ дефокусировки «круглое пятно» радиусом 1 пиксел - (а); вычисленный по плавающим спрайтам размером 121 пиксел C_{ri} для каждого пиксела изображения (чёрный цвет $C_{ri}=0$, белый цвет $C_{ri}=1$) - (б); амплитудный пространственный спектр изображения рис.5(а) в логарифмическом масштабе - (в); усреднённый по спрайтам 21 на 21 пиксел амплитудный пространственный спектр рис.5(в) в логарифмическом масштабе - (г).

Рис.5 демонстрирует результаты обработки изображения искажённого как: одна четверть площади в верхнем левом углу - АФ дефокусировки «круглое пятно» радиусом 6 пикселей, одна четверть площади в левом нижнем углу - без искажений, остальное АФ дефокусировки «круглое пятно» радиусом 1 пиксел.

Интересно отметить что даже малые искажения, как говорят - «невидимые невооружённым взглядом», определяются и локализуются на площади изображения. Например, рисунки 4 и 5 иллюстрируют результаты исследования изображений с фрагментами искажёнными аппаратной функцией круглое пятно радиусом 1 пиксел.



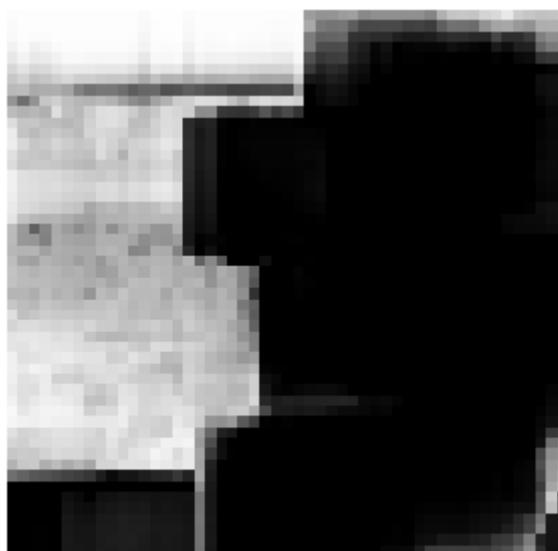
а)



б)



в)



г)



д)

е)

Рис.6. Частично искажённое реальное изображение размером 512 на 512 пикселей (левая колонка) - (а, в, д); вычисленный по плавающим спрайтам размером 121 пиксел C_i для каждого пиксела изображения (чёрный цвет $C_i=0$, белый цвет $C_i=1$) (правая колонка) - (б, г, е).

Обратим внимание на то что если, помимо размытых в разной степени, на исследуемом изображении присутствуют неискажённые фрагменты, их коэффициент восстановимости равен нулю (как для неискажённого изображения), поскольку его общий амплитудный пространственный спектр находится в заданных пределах отклонения от УОС - см. рисунки 1, 3, 5. И наоборот, если на общем изображении нет неискажённых (чётких) фрагментов, то результирующий амплитудный спектр имеет вид соответствующий искажённому - см рисунки 2 и 4.

Необходимо отметить что в результате работы процедуры формирования карты коэффициента восстановимости фрагменты с меньшим искажением залезают на половину ширины спрайта сканирования на близлежащие фрагменты с большим искажением.

Рисунок 6 иллюстрирует применение предложенной методики к реальным изображениям размером 512 на 512 пикселей. Размер плавающего спрайта составляет 121 на 121 пиксел. Шаг через 10 пикселей.

3. Заключение

Предложен метод локализации фрагментов с различными степенями искажений на изображениях использующий плавающее окно внутри которого вычисляются коэффициенты восстановимости для центрального пиксела в окне.

Методика протестирована как на модельных, так и на реальных изображениях. С её помощью достаточно надёжно определяются области (фрагменты) как неискажённые, так и с искажениями разной степени. Для этого плавающее окно (спрайт) должно быть не больше размера фрагмента с характерными искажениями.

Методика использует коэффициент восстановимости изображения C_{ri} (аббревиатура от Coefficient of recoverability image) и позволяет уменьшить влияние человеческого фактора на выбор места и положения фрагментов перспективных для повышения их качества. C_{ri} имеет физический смысл оценки доли амплитудного спектра исследуемого изображения, находящуюся в заданной окрестности универсального опорного спектра (УОС) [7, 8]. Такой оригинальный подход к оценке качества цифровых изображений, позволяет сделать прогноз в отношении перспектив возможного улучшения изображения и его фрагментов.

Литература

1. Гонсалес Р., Вудс Р. Цифровая обработка изображений. М. «Техносфера», 2005, 1071 стр.
2. Ягола А.Г. , Кошев Н.А. «Восстановление смазанных и дефокусированных цветных изображений». // Вычислительные методы и программирование. 2008, Т.9., 207-212
3. Зражевский А.Ю., Кокошкин А.В., Новичихин Е.П., Титов С.В. «Повышение качества радиоизображений». «Нелинейный Мир», № 9, 2010г., с. 582-590
4. Гуляев Ю.В., Зражевский А.Ю., Кокошкин А.В., Коротков В.А., Черепенин В.А. «Коррекция пространственного спектра, искаженного оптической

системой, с помощью метода опорного изображения. Часть 2. Адаптивный метод опорного изображения (АМОИ)». // Журнал радиоэлектроники [электронный журнал]. 2013. №12. Режим доступа: <http://jre.cplire.ru/jre/dec13/2/text.html>

5. Кокошкин А.В., Коротков В.А., Коротков К.В., Новичихин Е.П. «Использование метода перенормировки с ограничением для восстановления искаженных изображений при наличии помех и шума с неизвестными параметрами.» 2015. №7. Режим доступа: <http://jre.cplire.ru/jre/jul15/4/text.html>
6. Кокошкин А.В., Коротков В.А., Коротков К.В., Новичихин Е.П. «Восстановление изображений, на которых присутствуют фрагменты с разной степенью дефокусировки». Журнал радиоэлектроники [электронный журнал], 2015. №10. Режим доступа: <http://jre.cplire.ru/jre/oct15/6/text.html>
7. Кокошкин А.В., Коротков В.А., Коротков К.В., Новичихин Е.П. «Метод прогнозирования возможного улучшения качества искажённых изображений». Журнал радиоэлектроники [электронный журнал], 2015, №6. Режим доступа: <http://jre.cplire.ru/jre/jun15/5/text.html>
8. Гуляев Ю.В., Зражевский А.Ю., Кокошкин А.В., Коротков В.А., Черепенин В.А. «Коррекция пространственного спектра, искаженного оптической системой, с помощью метода опорного изображения. Часть 3. Универсальный опорный спектр». Журнал радиоэлектроники [электронный журнал], 2013, №12. Режим доступа: <http://jre.cplire.ru/jre/dec13/3/text.html>

Для цитирования:

А. В. Кокошкин, В. А. Коротков, К. В. Коротков, Е. П. Новичихин. Маркирование частей спектрально искажённого изображения с прогнозом возможностей реконструкции. Журнал радиоэлектроники [электронный журнал]. 2018. №7. Режим доступа: <http://jre.cplire.ru/jre/jul18/9/text.pdf>
DOI 10.30898/1684-1719.2018.7.9