

ОБЪЕКТИВНЫЙ КРИТЕРИЙ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ДЕФОКУСИРОВАННОГО ИЗОБРАЖЕНИЯ

А. Ю. Зражевский, В. А. Коротков, К. В. Коротков
ИРЭ им. В.А.Котельникова РАН, Фрязинский филиал

Статья получена 1 мая 2014 г.

Аннотация. В работе предложены объективные критерии оценки качества восстановления изображений при дефокусировке, позволяющие определить величину параметра дефокусировки аппаратной функции оптической системы.

Ключевые слова: радиовидение, миллиметровый диапазон волн, аппаратная функция, радиотепловое изображение, восстановление изображения, опорное изображение, дефокусированное изображение, усреднённый опорный спектр.

Abstract: In the work objective criteria of an assessment of quality of recovery of images are offered at the defocusing, allowing to determine the size of parameter of defocusing of hardware function of optical system, average basic range.

Key words: radio vision, millimetric wave band, hardware function, radio thermal image, recovery of the image, basic image, the anti-focused image.

Восстановление дефокусированного изображения основано, как правило, на решении уравнения свертки [1]:

$$I(\vec{r}) = \int_D A(\vec{r} - \vec{r}') I_0(\vec{r}') ds(\vec{r}') + N(\vec{r}), \quad (1)$$

где D – область наблюдения, $ds(\vec{r}')$ – элементарная площадка в точке (x, y) , $A(\vec{r})$ – аппаратная функция (АФ) системы, $I_0(\vec{r})$ – исходное изображение, $I(\vec{r})$ – изображение на выходе этой системы, $N(\vec{r})$ – аддитивный шум. При этом возникающие проблемы сводятся к определению аппаратной функции (АФ) и учету влияния помех и шумов.

Реальные случаи, которые описывает уравнение свертки (1), соответствуют формированию изображения плоских предметов, расположенных перпендикулярно лучу наблюдения. Изображения обычно

получают с помощью оптических (квазиоптических) объективов, что предполагает достаточно широкий диапазон длин волн – от сантиметров до микрометров. Данная работа посвящена как случаям самосветящихся объектов (тепловое излучение), так и случаям изображений объектов, подсвеченных пространственно некогерентными источниками.

Если перейти к спектральным представлениям изображений: исходного $I_0(\vec{r})$, на выходе системы $I(\vec{r})$, шума N и спектра АФ $A(f)$:

$$\begin{aligned} J_0(\vec{f}) &= \iint_D e^{2\pi i \vec{f} \vec{r}'} I_0(\vec{r}') ds(\vec{r}'), \\ J(\vec{f}) &= \iint_D e^{2\pi i \vec{f} \vec{r}} I(\vec{r}) ds(\vec{r}), \\ N(\vec{f}) &= \iint_D e^{2\pi i \vec{f} \vec{r}} N(\vec{r}) ds(\vec{r}) \\ A(\vec{f}) &= \int_D e^{2i \vec{f} \vec{r}} A(\vec{r}) ds(\vec{r}), \end{aligned} \quad (2)$$

то в частотной области пространственный спектр $J(\vec{f})$ изображения на выходе системы выражается через спектр исходного изображения $J_0(\vec{f})$ и $A(\vec{f})$:

$$J(\vec{f}) = A(\vec{f})J_0(\vec{f}) + N(\vec{f}). \quad (3)$$

Решение (3) относительно $J_0(\vec{f})$ можно получить с помощью инверсной фильтрации, разделив обе части (3) на $A(\vec{f})$. Для компенсации влияния шума $N(\vec{f})$ и ошибок в определении параметров АФ можно использовать метод Винера или метод опорного изображения [1,2]. Определение величины дефокусировки (параметра АФ) обычно ведется путем перебора величины параметра АФ при визуальной оценке результатов восстановления.

Данная работа рассматривает объективные критерии качества восстановления дефокусированного изображения для выбора параметра АФ. Использовать в качестве такого критерия оценку качества изображения предложенную в ряде работ, например в [3], затруднительно, поскольку для этого необходимо иметь неискаженное (эталонное) изображение. Ниже

рассмотрены два предложенных варианта выбора объективных критериев качества восстановления: амплитудный и спектральный.

Амплитудный вариант.

Рассмотрим подробнее процесс дефокусировки и восстановления изображения с помощью инверсной фильтрации с ограничением шума [2,4] (в данном случае шума дискретизации). Исходное и дефокусированное изображения представлены на Рис.1.

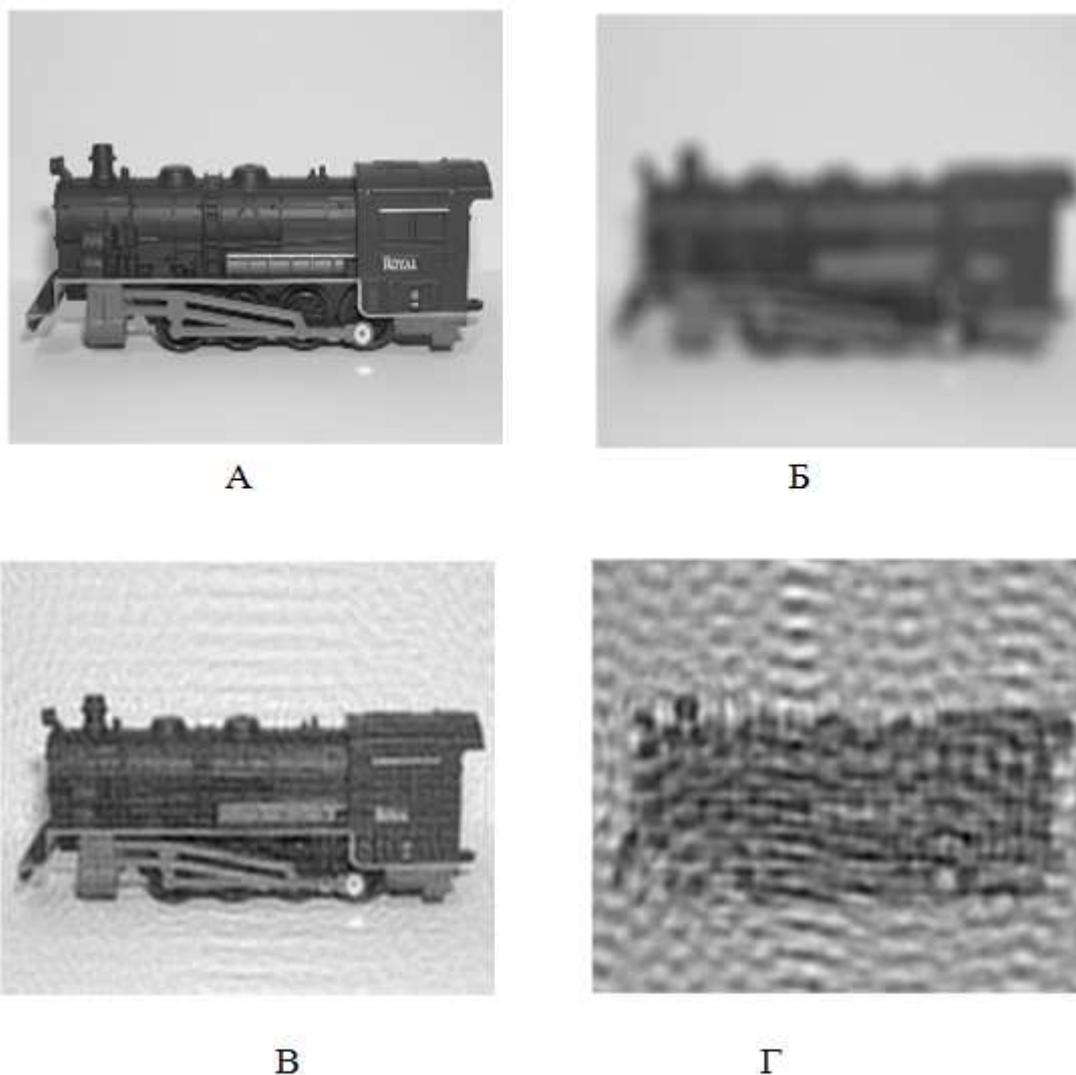


Рис.1. Изображения 180x244 пикселей:

А) - исходное; Б) – дефокусированное (при $n=8$ и $S_0=6$); В) - восстановленное при точно повторенных параметрах дефокусировки (при $n=8$ и $S_0=6$); Г) - восстановленное при ошибке в параметре S дефокусировки (при $n=8$ и $S_0=7$).

В качестве аппаратной функции использовалась функция (4), аналогичная фильтру Баттерворта [1]:

$$A(\vec{r}) = \frac{1}{1 + (r / S_0)^{2n}}, \quad (4)$$

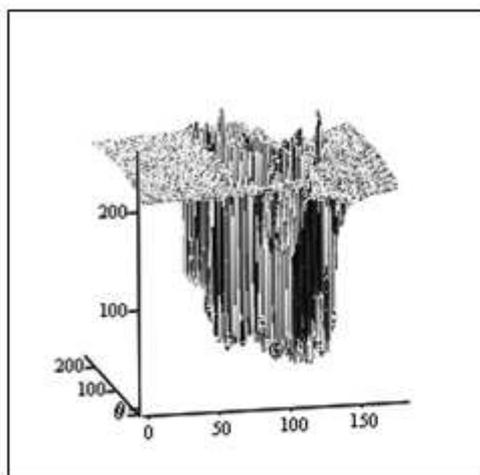
где $A_k(\vec{r})$ - аппаратная функция, $r = \sqrt{x^2 + y^2}$ - модуль \vec{r} , S_0 и n - параметры фильтра Баттерворта [1]. В дальнейшем $n = 8$.

На Рис.1-2 представлены исходные изображения, до воздействия АФ – Рис.1А и Рис.2А; после воздействия АФ (дефокусировки) – Рис.1Б и Рис.2Б; изображения восстановлены при точно известных параметрах Рис.1В и Рис.2В; изображения восстановлены при ошибке в параметрах S_0 дефокусировки (при $n=8$ и $S_0=7$) – Рис.1Г и Рис.2Г. Группы, помещенные на Рис.1 и Рис.2 отличаются тем, что на Рис.1 представлены изображения, а на Рис.2 представлены графики поверхностей, соответствующих интенсивностям (яркостям) пикселей данных изображений.

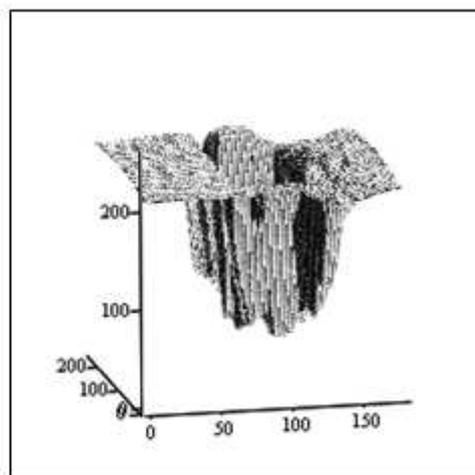
Анализ графиков (А, Б) Рис.2 позволяет сделать вывод о том, что при дефокусировке средний уровень интенсивности в основном сохраняется, но диапазон значений интенсивности уменьшается и наблюдаемый рельеф становится сглаженным.

Явление уменьшения диапазона значений интенсивности при дефокусировке по сравнению с исходным диапазоном значений можно использовать в качестве признака степени дефокусировки.

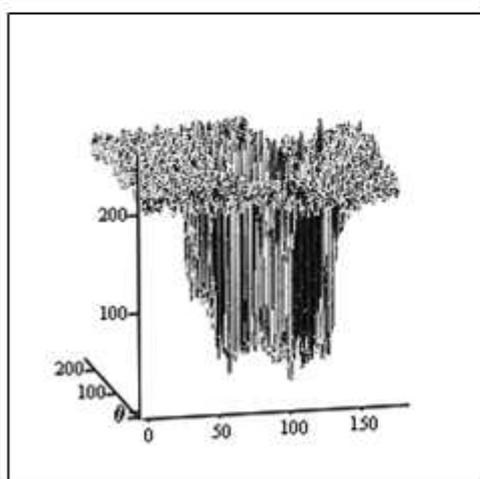
Для проверки действенности этого способа будем вычислять $K_V(S_0, S'_0)$ - количество выходов за пределы диапазона допустимых интенсивностей (яркостей) от 0 до 255 в зависимости от параметров дефокусировки S_0 и S'_0 , соответствующих параметрам АФ при дефокусировке и восстановлении изображения соответственно.



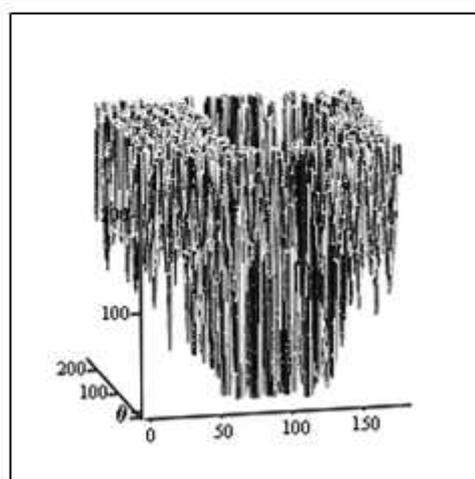
А



Б



В



Г

Рис.2. Графики поверхности, соответствующие интенсивностям (яркостям) изображений, приведенных на Рис.1. А) - исходное; Б) – дефокусированное (при $n=8$ и $S_0=6$); В) - восстановленное при точно известных параметрах дефокусировки (при $n=8$ и $S_0=6$); Г) - восстановленное при ошибке в параметре дефокусировки (при $n=8$ и $S_0=7$).

На Рис.3 представлен график зависимости $Kv(S_0, S'_0)$ при изменении параметров S_0 и S'_0 в диапазоне 0 – 10 при $n = 8$.

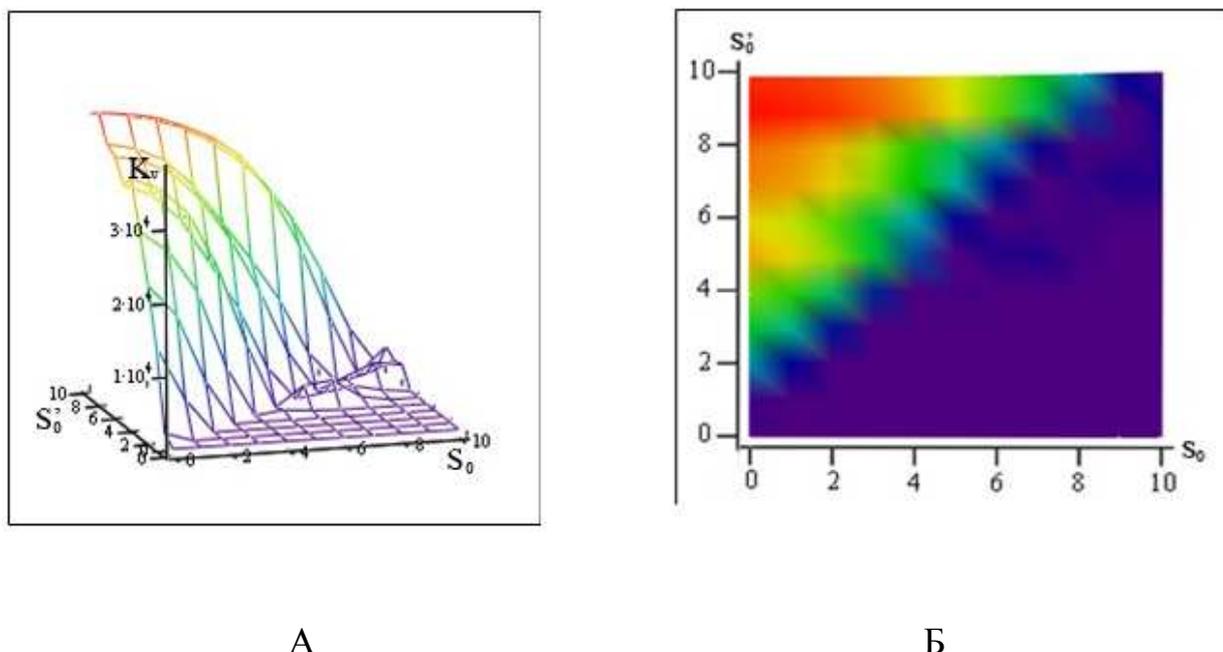


Рис.3. График зависимости $Kv(S_0, S'_0)$ при изменении параметров S_0 и S'_0 в диапазоне 0 – 10 при $n = 8$. А) вид сбоку; Б) вид сверху

На Рис.3 видно, что при $S'_0 < S_0$ $Kv(S_0, S'_0)$ близка к 0. При дальнейшем увеличении S'_0 при $S'_0 > S_0$ величина $Kv(S_0, S'_0)$ быстро увеличивается.

Вывод.

Показано, что в качестве объективного критерия правильности определения S_0 при восстановлении дефокусированного изображения можно использовать число выходов интенсивности (яркости) восстановленного инверсной фильтрацией (с ограничением [4]) за пределы диапазона допустимых интенсивностей (яркостей) от 0 до 255.

Замечено, что одной неприятной особенностью амплитудного варианта критерия правильности определения S_0 является зависимость результатов от сохранения диапазона интенсивностей (яркостей) дефокусированного изображения. Например, нормировка интенсивности этого дефокусированного изображения, приводящая к увеличению диапазона интенсивностей, может привести к невозможности использования этого критерия.

Спектральный вариант.

Рассмотрим подробнее процесс дефокусировки и восстановления изображения с помощью инверсной фильтрации с ограничением шума, приведенный в [2,4]. Исходное и дефокусированное изображения представлены на Рис.1. Амплитудные спектры в логарифмическом масштабе представлены на Рис.4.

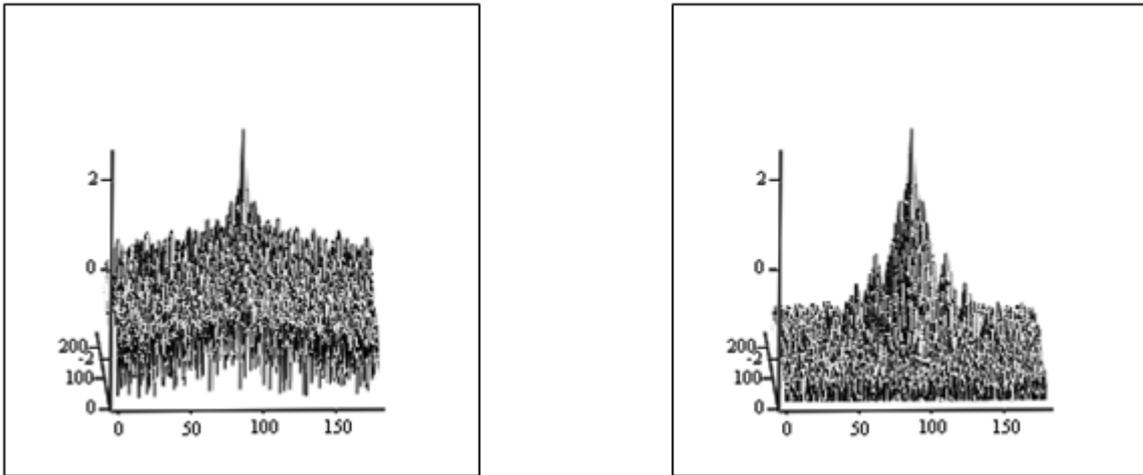


Рис.4. Амплитудные спектры в логарифмическом масштабе. Рис.4А соответствует Рис.1А (до воздействия АФ), а Рис.4Б соответствует Рис.1Б дефокусированному изображению (при $n=8$ и $S_0=6$).

На рис.4Б хорошо видно, что искажения спектра аппаратной функцией, соответствующей дефокусировке (4) приводят к подавлению высоких частот. В отличие от амплитудного случая, рассмотренного выше, чтобы не зависеть от величины диапазона интенсивностей у дефокусированного изображения, перед его восстановлением каждый раз будет производиться нормализация этого диапазона в максимально возможный – от 0 до 255.

На Рис.5 приведены изображения, восстановленные с помощью инверсной фильтрации с ограничением шума [2,4] при $n=8$ и различными S'_0 .

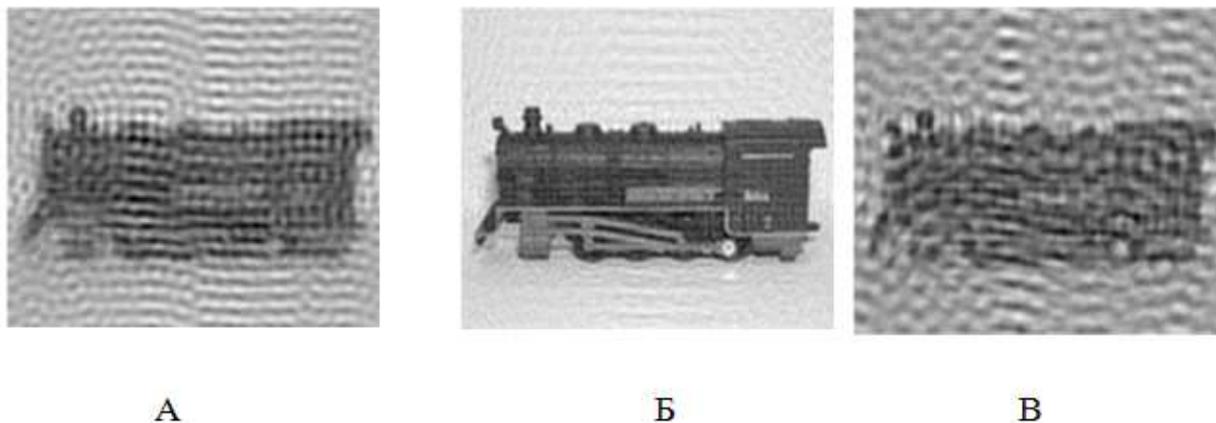


Рис.5. Изображения, восстановленные из Рис.1А с помощью инверсной фильтрации с ограничением шума [2,4] при $n = 8$ и различными S'_0 . $S'_0 = 5$ соответствует Рис.5А, $S'_0 = 6$ соответствует Рис.5Б, $S'_0 = 7$ соответствует Рис.5В.

Амплитудные спектры, соответствующие Рис.5, приводятся на Рис.6.

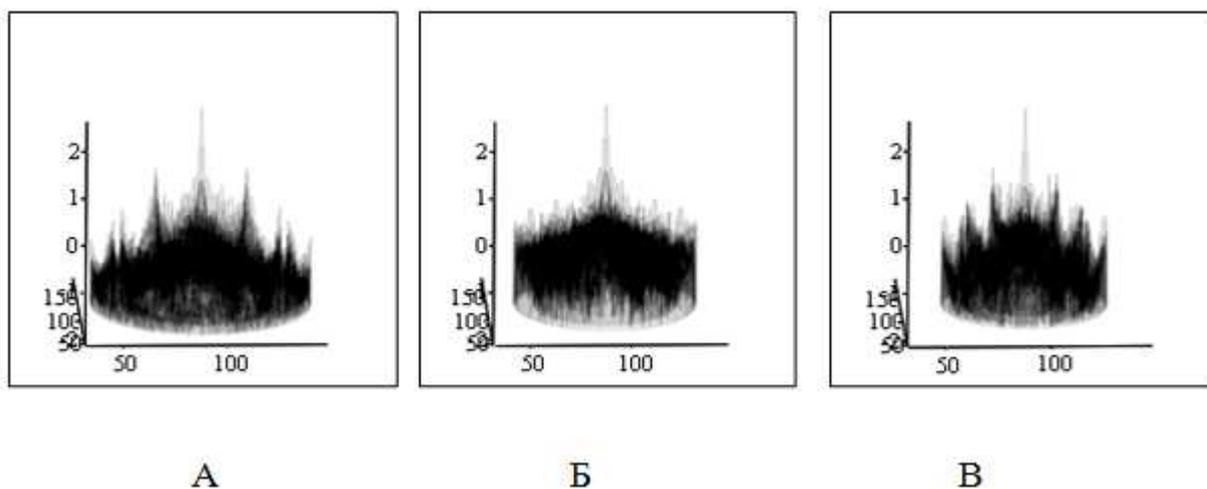


Рис.6. Амплитудные спектры изображений с $S'_0 = 5$, $S'_0 = 6$ и $S'_0 = 7$ соответственно. Рис.7 в логарифмическом масштабе.

Анализ Рис.5-6 позволяет сделать вывод о том, что если S'_0 , используемая при восстановлении с помощью инверсной фильтрации не равна S_0 , используемой при получении дефокусированного изображения, то на восстановленном изображении возможно появление характерных артефактов. Эти артефакты в амплитудном спектре проявляются в виде заметных

«выбросов» спектральной интенсивности, на фоне в среднем монотонно падающей с увеличением частоты спектральной интенсивности.

Это явление можно использовать в качестве объективного критерия правильности определения S_0 при восстановлении дефокусированного изображения. Для использования этого явления необходимо выбрать «эталонный» спектр, относительно которого можно регистрировать «выбросы». В качестве «эталонного» спектра возможно использовать усредненный опорный спектр-УОС [5], опорным спектром выберем спектр полученного после инверсной фильтрации дефокусированного изображения.

На Рис.7 приведены разрезы графиков Рис.6 и график усредненного опорного спектра (УОС). На рисунке 7 видно, что красная и зеленая линии чаще, чем синяя пересекают график УОС, соответствующий черной линии.

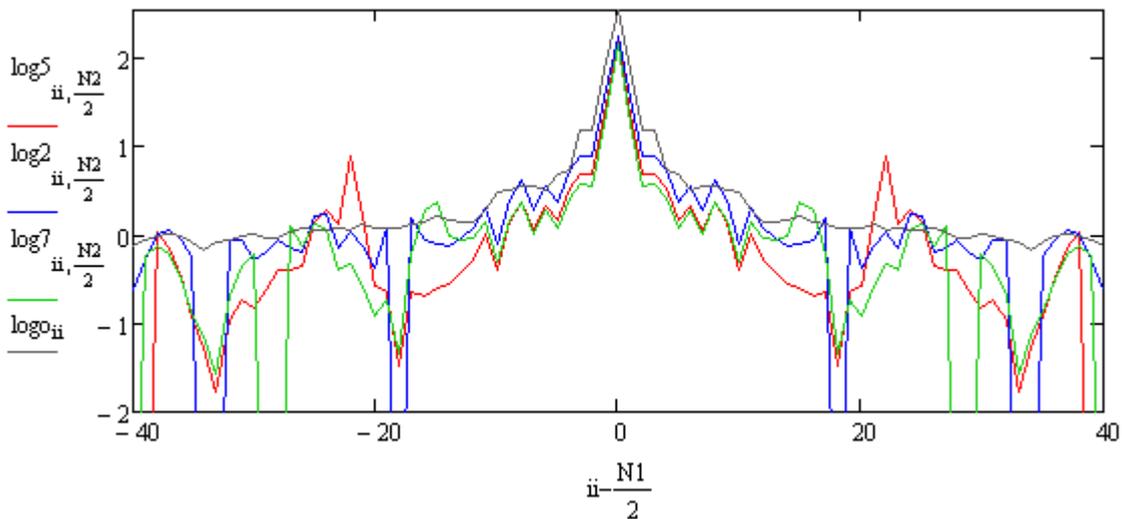


Рис.7. Графики разрезов амплитудных спектров изображений объектов Рис.6 и УОС, причем серая линия соответствует УОС, а красная, синяя и зеленые линии соответствуют случаям $S'_0 = 5$, $S'_0 = 6$ и $S'_0 = 7$ и Рис.6А, Рис.6Б и Рис.6В.

Для проверки действенности этого критерия будем вычислять $Kv(S_0, S'_0)$ - суммарную величину превышений над усредненным опорным спектром спектральной амплитуды восстановленного инверсной фильтрацией

изображения в зависимости от параметров дефокусировки S_0 и S'_0 . S_0 и S'_0 соответствуют параметрам АФ, которая использовалась при дефокусировке изображения и затем для его восстановления соответственно. Второй параметр АФ (4) $n = 8$.

На Рис.8 представлен график зависимости $Kv(S_0, S'_0)$ при изменении параметров S_0 и S'_0 в диапазоне 0 – 10 при $n = 8$.

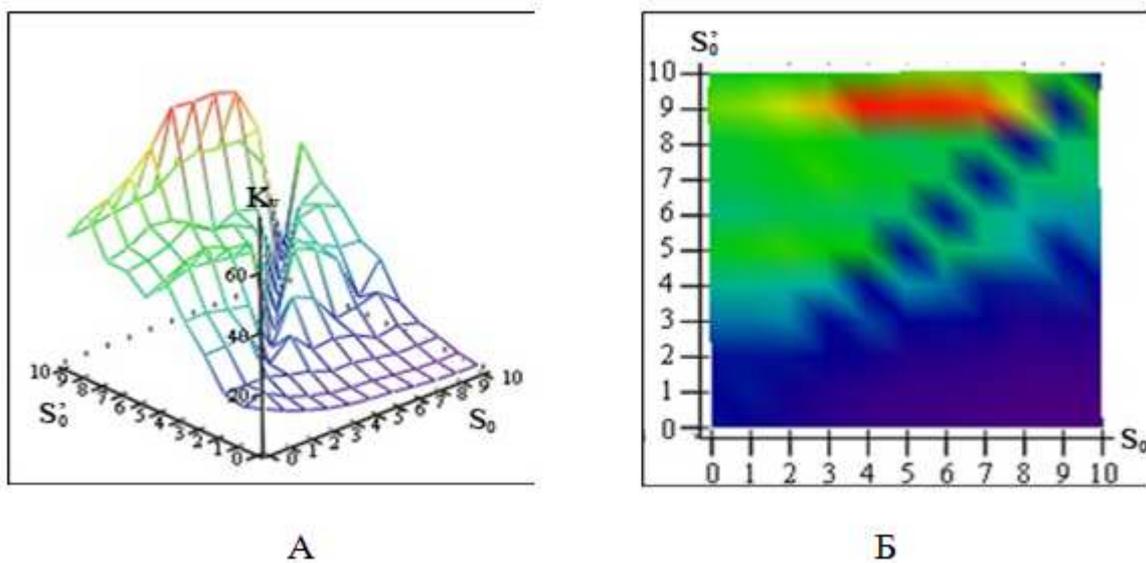


Рис.8. График зависимости $Kv(S_0, S'_0)$ при изменении параметров S_0 и S'_0 в диапазоне 0 – 10 при $n = 8$ - Рис.8А, вид сверху на Рис.8А - Рис.8Б. Цвета на Рис.8 условные. Изменение цвета от синего к красному соответствует увеличению величины $Kv(S_0, S'_0)$.

Из Рис.8 следует, что глобальный минимум $Kv(S_0, S'_0)$ достигается при $S_0 = S'_0$. Это хорошо иллюстрирует темно синяя диагональ на Рис.8Б, соответствующая $S_0 = S'_0$.

Вывод.

Количество превышений спектральной амплитуды восстановленного инверсной фильтрацией с ограничением [4] над усредненным опорным

спектром можно использовать в качестве объективного критерия правильности определения S_0 при восстановлении дефокусированного изображения.

Заключение.

В данной работе показано, что:

1. При восстановлении дефокусированного изображения существуют объективные критерии правильного определения параметра дефокусировки S_0 .
- 2 В зависимости от условий получения дефокусированного изображения может быть использован как амплитудный, так и спектральный вариант.
- 3 Спектральный критерий в отличие от амплитудного не зависит от диапазона интенсивностей восстанавливаемого изображения.

Литература

1. Р. Гонсалес, Р. Вудс. Цифровая обработка изображений. М. «Техносфера», 2005, 1071 стр.
2. А.Ю. Зражевский, В.А. Коротков. Влияние шума и ошибок в определении аппаратной функции на восстановление изображения с помощью метода опорного изображения и фильтрации по методу Винера. // Журнал радиоэлектроники [электронный журнал]. 2014. №2. URL: <http://jre.cplire.ru/jre/feb14/10/text.html>
3. Ю.И. Монич, В.В. Старовойтов. «Оценки качества для анализа цифровых изображений» // «Штучний інтелект», №4, 2008.
4. А.Ю. Зражевский, А.В. Кокошкин, В.А. Коротков. Особенности применения инверсной фильтрации для восстановления изображений с учетом квантования яркости при записи в BMP файл. // Журнал радиоэлектроники [электронный журнал]. 2013. №6. URL: <http://jre.cplire.ru/jre/jun13/14/text.html>
5. Ю.В. Гуляев, А.Ю. Зражевский, А.В. Кокошкин, В.А. Коротков, В.А. Черепенин. Коррекция пространственного спектра, искаженного оптической системой, с помощью метода опорного изображения.

Часть 2. Адаптивный метод опорного изображения (АМОИ). // Журнал радиоэлектроники [электронный журнал]. 2013. №12. URL: <http://jre.cplire.ru/jre/dec13/2/text.html>