

ВОССТАНОВЛЕНИЕ ИСКАЖЕННОГО ОПТИЧЕСКОЙ СИСТЕМОЙ С НЕИЗВЕСТНЫМИ ПАРАМЕТРАМИ РАДИОИЗОБРАЖЕНИЯ С ПОМОЩЬЮ МЕТОДА ОПОРНОГО ИЗОБРАЖЕНИЯ

А. Ю. Зражевский, В. А. Коротков

ИРЭ им. В.А. Котельникова РАН, г. Фрязино Московской области

Получена 9 сентября 2013 г.

Аннотация. В работе рассмотрена возможность восстановления искаженного оптической системой радиоизображения с помощью метода опорного изображения.

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

Abstract. The work considers the possibility to restore the radio image, distorted by optical system, using the reference image.

Keywords: radio-wave imaging, millimeter-wave instrument function, radiothermal image, image recovery, backup image.

Формирование изображения оптической системой неизбежно сопровождается различными искажениями. Известно [1], что оптические искажения изображения определяются аппаратной функцией (АФ) приемной системы и сопровождаются изменениями в пространственном спектре изображения. Для компенсации этих изменений применяются различные методы [1,3].

Они могут быть разбиты на 3 группы:

- 1- выделение областей пространственного спектра содержащих в основном помехи и исключение их из процесса инверсной фильтрации [8];
- 2- построение регуляризованного фильтра, восстанавливающего спектр изображения на основе известных параметров оптической системы и воздействующих на изображение шумов [1,3];

3- инверсная фильтрация спектра изображения с последующим нормированием с помощью спектра опорного изображения [2,5,6].

В [7] показано, что недостаточно точное определение параметров формирующей оптической системы приводит к невозможности восстановления изображения. Причем подчеркивается, что этот вывод справедлив и тогда, когда главный лепесток аппаратной функции измерен точно, а боковые лепестки известны лишь приближенно.

В данной работе рассмотрена такая модификация метода опорного изображения – МОИ, которая позволяет восстанавливать изображение при отсутствии информации о параметрах помех (шумов). Кроме этого, в случае оптической системы с действительным неотрицательным спектром аппаратной функции, появляется возможность восстанавливать изображение при неизвестных значениях параметров оптической системы.

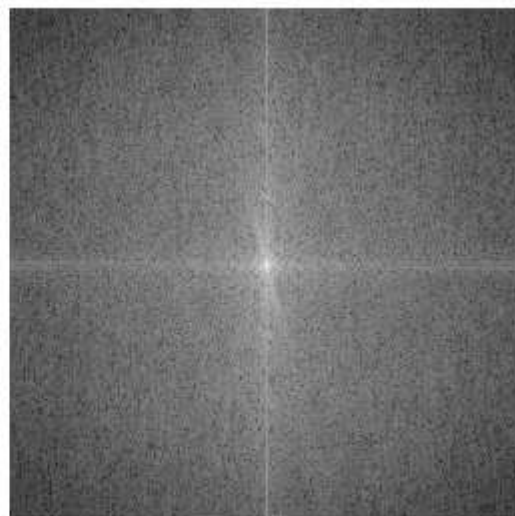
Анализ амплитудных пространственных спектров различных изображений показал, что в основном спектры осесимметричны относительно нуля. Конечно наблюдаются и элементы анизотропии, но они соответствуют конкретному изображению и не меняют общей картины. Поэтому для описания опорного спектра можно выбрать осесимметричную функцию, например такую:

$$Gr(r) = 128 N[0.99925 \exp(-aG1 * r^{0.4}) + 0.00075 \exp(-aG2 * r^{1.5})], \quad (1)$$

где $r = \sqrt{i^2 + j^2}$, i и j – координаты пиксела пространственного спектра, $aG1 = 2.5$ и $aG2 = 100/256^2$ - константы, причем при расчетах $N=256$ – количество пикселей по вертикали и горизонтали. На Рис.1-5 показаны различные изображения естественных и искусственных объектов с соответствующими им изображениями пространственных спектров, на которых яркость пропорциональна логарифму амплитуды спектра.



А

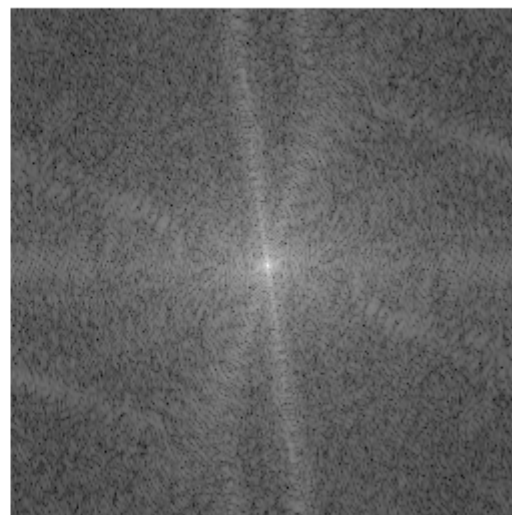


Б

Рис.1. Изображение танка «Тигр» - А и его пространственный спектр –Б.



А

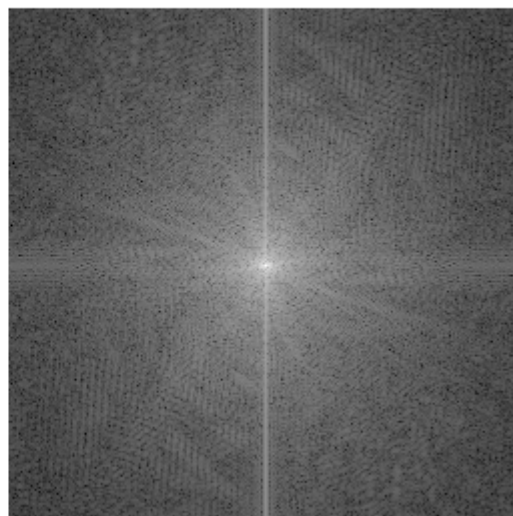


Б

Рис.2. Изображение автомобиля «УАЗ» - А и его пространственный спектр –Б.



А

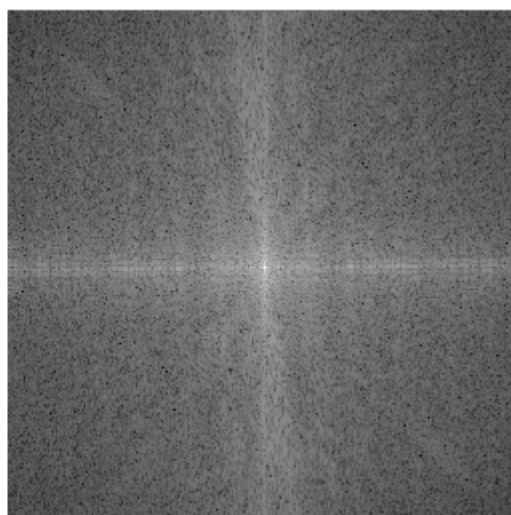


Б

Рис.3. Изображение лица человека - А и его пространственный спектр –Б.



А



Б

Рис.4. Изображение здания - А и его пространственный спектр –Б.

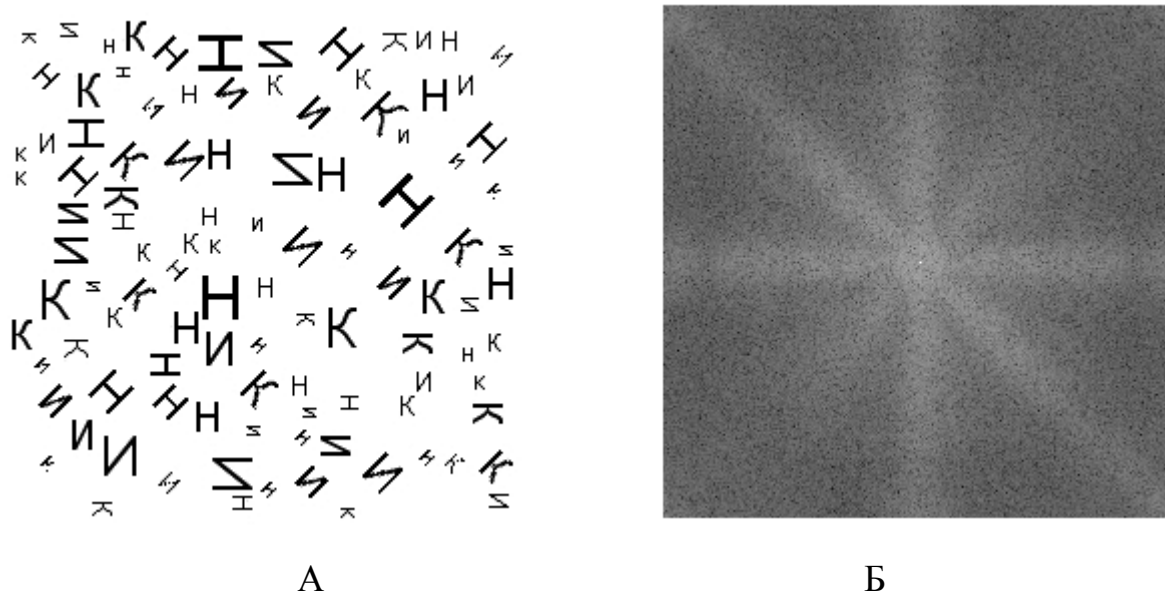


Рис.5. Изображение букв - А и его пространственный спектр –Б.

Для наглядности рассмотрим теперь спектры этих изображений в виде графика вдоль одной из диагоналей квадрата и сравним с графиком (1) – Рис.6. Видно, что (1) достаточно объективно описывает поведение спектров представленных изображений. Голубой график, соответствующий Рис.5 выбивается из общей группы из-за того, что в его случае яркость диагональных элементов спектра отличается от рядом лежащих.

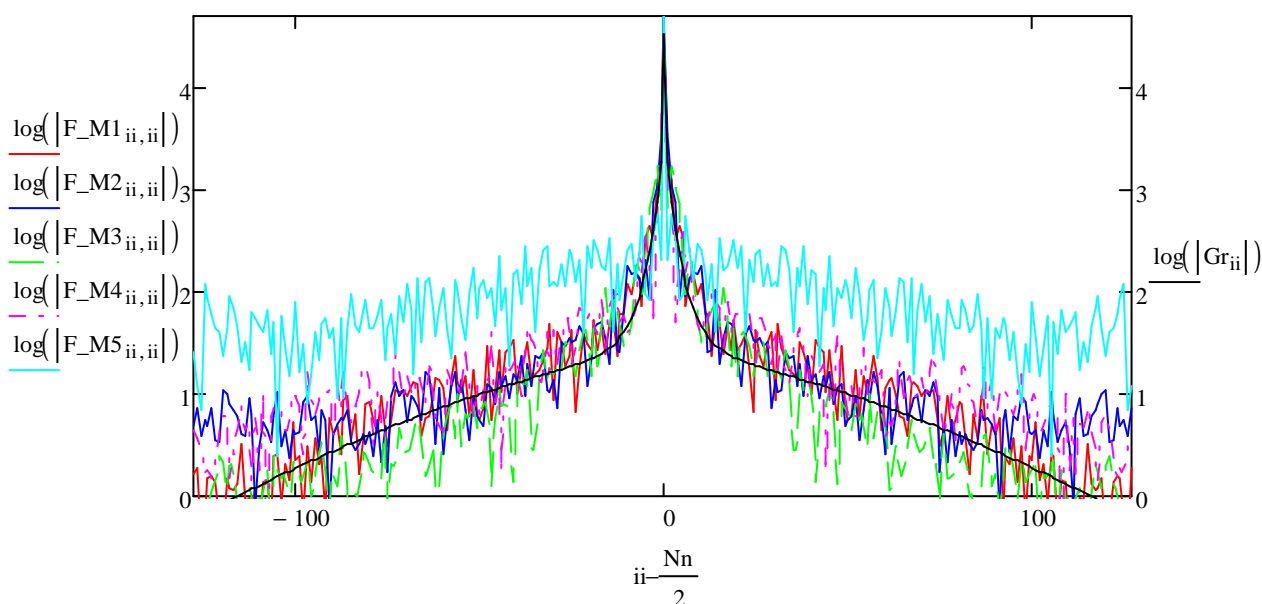


Рис.6. Графики разрезов вдоль диагонали логарифмов пространственных спектров изображений Рис.1-5 – цветные линии и график логарифма $Gr(r)$ по формуле (1) – черная линия.

Расчеты по методу МОИ [3] показали, что замена спектра опорного изображения выбранной функцией возможна, однако потенциал самого МОИ еще не исчерпан до конца. Было предложено модифицировать МОИ следующим образом:

А) Рассчитать среднюю по спрайту 9x9 амплитуду спектра восстанавливаемого изображения. Отметим, что спектр в области 19x19 вокруг нуля не усредняется.

Б) Нормировать амплитуду спектра изображения по формуле:

$$F(i, j) = Gr(i, j) Fi(i, j) / Fs(i, j), \quad (2)$$

где $F(i, j)$ - нормированный на спектр опорного изображения пространственный спектр, $Fi(i, j)$ - спектр восстанавливаемого изображения, $Fs(i, j)$ - средняя по спрайту 9x9 амплитуда спектра восстанавливаемого изображения, $Gr(i, j)$ - функция из (1).

В) Если полученный спектр $F(i, j)$ в конкретной точке по амплитуде отличался от $Gr(i, j)$ больше, чем на sGr (в расчетах полагалось $sGr = 10$), то амплитуда $F(i, j)$ менялась так, чтобы это отличие было равно sGr .

Идея такой модификации МОИ понятна из Рис.7, где показаны графики логарифмов амплитуд спектров изображений исходного (Рис.2), отфильтрованного оптической системой и опорного спектра.

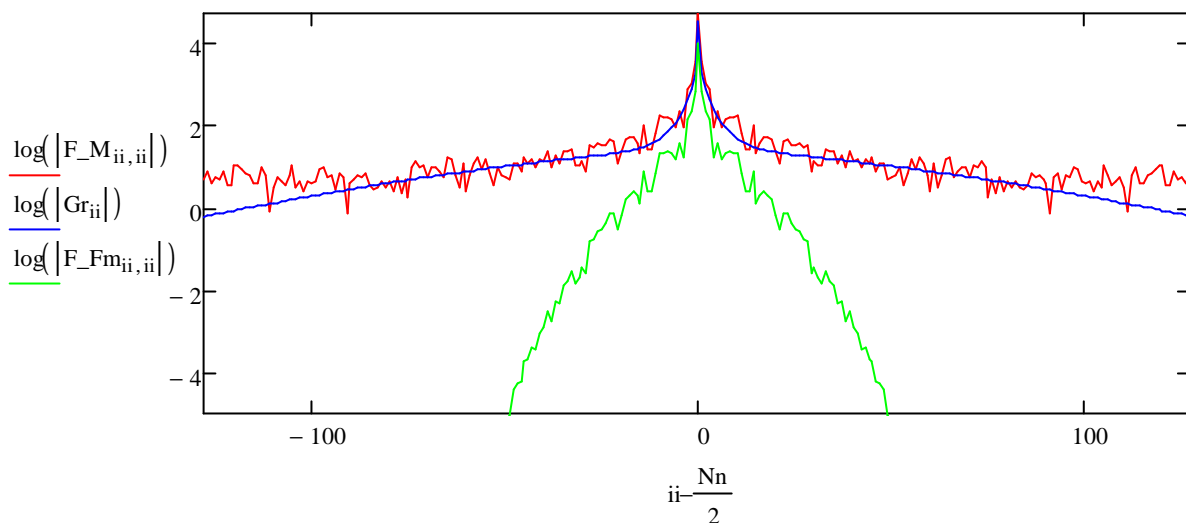


Рис.7. Графики разрезов вдоль диагонали логарифмов пространственных спектров изображения (Рис.2) – красная линия, отфильтрованного оптической системой при $S=4$ – зеленая линия и опорного спектра – синяя линия.

Оптическая система в данной работе описывается аппаратной функцией Гаусса, как и в [6]:

$$h(x, y) = \exp(-(x^2 + y^2) / S^2), \quad (3)$$

где S – среднеквадратичное отклонение. Видно, что если мы каким-либо образом заставим пройти зеленую линию в среднем по синей линии опорного спектра, то красная и зеленая линии практически совпадут. Расчеты, проделанные согласно модифицированному МОИ представлены на Рис.8.

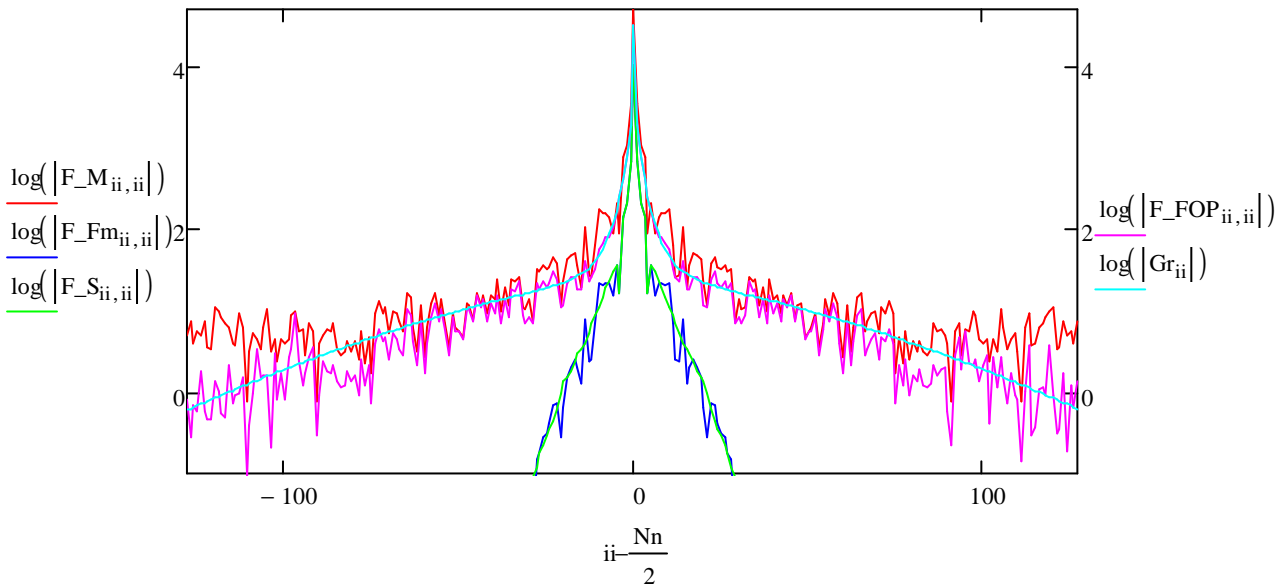


Рис.8. Графики разрезов вдоль диагонали логарифмов пространственных спектров изображения (Рис.2) – красная линия, отфильтрованного оптической системой при $S=4$ – синяя линия и усредненного по спрайту 9×9 – зеленая линия, восстановленного по МОИ – фиолетовая линия и опорного спектра – голубая линия.

Видно, что красная и фиолетовые линии, соответствующие исходному и восстановленному спектру изображений, лежат вблизи друг от друга.

Отфильтрованное оптической системой и восстановленное МОИ изображения представлены на Рис.9.



А



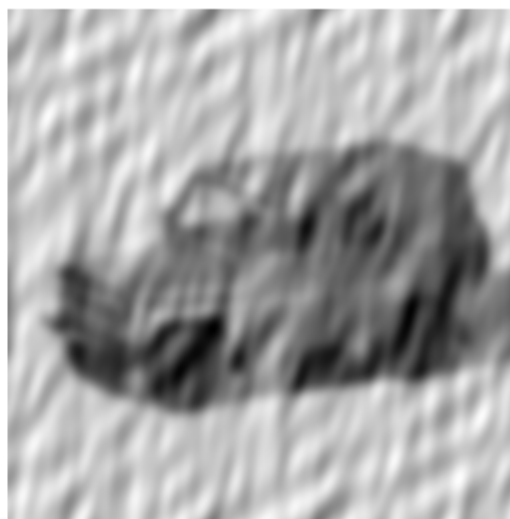
Б

Рис.9. «Размытое» изображение автомобиля «УАЗ» - А и восстановленное –Б.

В работе [6] приводился пример восстановления изображения, содержащего анизотропный шум, и «размытого» оптической системой. Данная модификация МОИ также справилась с этой задачей - Рис.10-11.



А



Б

Рис.10. Исходное изображение автомобиля «УАЗ», содержащего анизотропный шум - А и отфильтрованного «размытого» оптической системой при $S=4$ – Б.

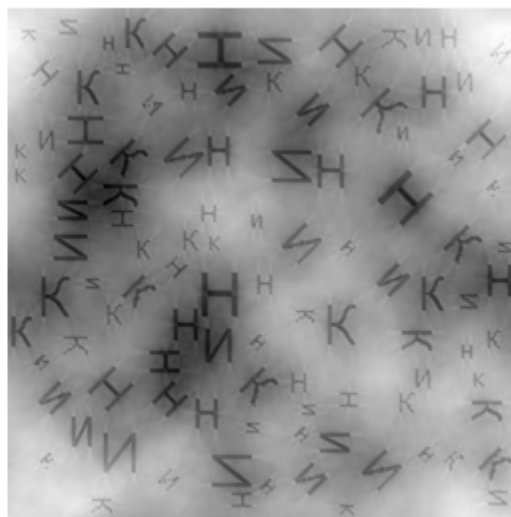


Рис.11. Восстановленное МОИ изображение из изображения Б на Рис.9.

Спектр изображения букв на Рис.5 имел большие отличия от в основном осесимметричных спектров на Рис.1-4. Поэтому использование осесимметричной функции в качестве спектра опорного изображения может показаться проблематичным. К счастью этого не происходит – Рис.12.



А



Б

Рис.12. Отфильтрованное «размытое» оптической системой при $S=4$ изображения букв (Рис.5) - А и восстановленное изображение – Б.

Таким образом, в данной работе показана возможность восстановления изображений, отфильтрованных оптической системой, без использования значений параметров, характеризующих эту оптическую систему. Это восстановление показано для случая действительного неотрицательного спектра аппаратной функции оптической системы при применении модифицированного МОИ.

Литература

1. Р. Гонсалес, Р. Вудс. Цифровая обработка изображений. М. «Техносфера», 2005, 1071 стр.
2. Зражевский А.Ю., Кокошкин А.В., Новичихин Е.П., Титов С.В., «Повышение качества радиоизображений». «Нелинейный Мир», № 9, 2010г., с. 582-590.
3. Тихонов А.Н., Арсенин В.Я. - Методы решения некорректных задач. М.Наука, 1979
4. Зражевский А. Ю., Коротков В. А. Восстановление одномерных финитных сигналов, прошедших через фильтр низких частот. // Журнал радиоэлектроники: электронный журнал. 2013. N3. URL: <http://jre.cplire.ru/jre/mar13/10/text.pdf>
5. Зражевский А. Ю., Коротков В.А. Восстановление искаженного оптической системой радиоизображения с помощью метода опорного изображения. Сб. Тезисы докладов IX Всероссийский семинар по радиофизике миллиметровых и субмиллиметровых волн. С.122. Нижний Новгород. 2013.
6. Зражевский А. Ю., Коротков В.А. Особенности восстановления искаженного оптической системой радиоизображения с помощью метода опорного изображения. . // Журнал радиоэлектроники: электронный журнал. 2013. N4. URL: <http://jre.cplire.ru/jre/apr13/3/text.pdf>
7. Зражевский А. Ю., Кокошкин А. В. Влияние уровня боковых лепестков аппаратной функции на качество восстановленного изображения. //

- Журнал радиоэлектроники: электронный журнал. 2013. N4. URL:
<http://jre.cplire.ru/jre/apr13/8/text.pdf>
8. Зражевский А. Ю., Кокошкин А. В., Коротков В.А. Особенности применения инверсной фильтрации для восстановления изображений с учетом квантования яркости при записи в BMP файл. // Журнал радиоэлектроники: электронный журнал. 2013. N6. URL:
<http://jre.cplire.ru/jre/jun13/14/text.pdf>