

УДК 621.396

ВЛИЯНИЕ УРОВНЯ БОКОВЫХ ЛЕПЕСТКОВ АППАРАТНОЙ ФУНКЦИИ НА КАЧЕСТВО ВОССТАНОВЛЕННОГО ИЗОБРАЖЕНИЯ

А. Ю. Зражевский, А. В. Кокошкин

Институт радиотехники и электроники им. В.А. Котельникова РАН, Фрязинский филиал

Получена 15 апреля 2013 г.

Аннотация. При восстановлении изображений (повышении качества изображений) множество факторов влияют на конечный результат. Одним из важнейших условий корректной работы предложенного нами ранее метода, основанного на априорной информации о статистических характеристиках спектров объектов аналогичного класса и известной аппаратной функции системы, является максимально возможно точное задание аппаратной функции (АФ). Целью данной работы является выяснение степени важности учёта боковых лепестков в аппаратной функции при улучшении качества радиоизображений.

Ключевые слова: улучшение качества радиоизображений, аппаратная функция с боковыми лепестками, восстановление изображений.

Abstract. A variety of factors influence the result of image restoration (of increasing image quality). One of the most important conditions of correct functionality of the method proposed in our previous publications is precise determination of a point spread function. The method is based on the fact that statistical characteristics of spectra of objects of the same class and point spread function are known. The purpose of this paper is to clarify the important role of consideration of side lobes of a point spread function for improving the quality of radio images.

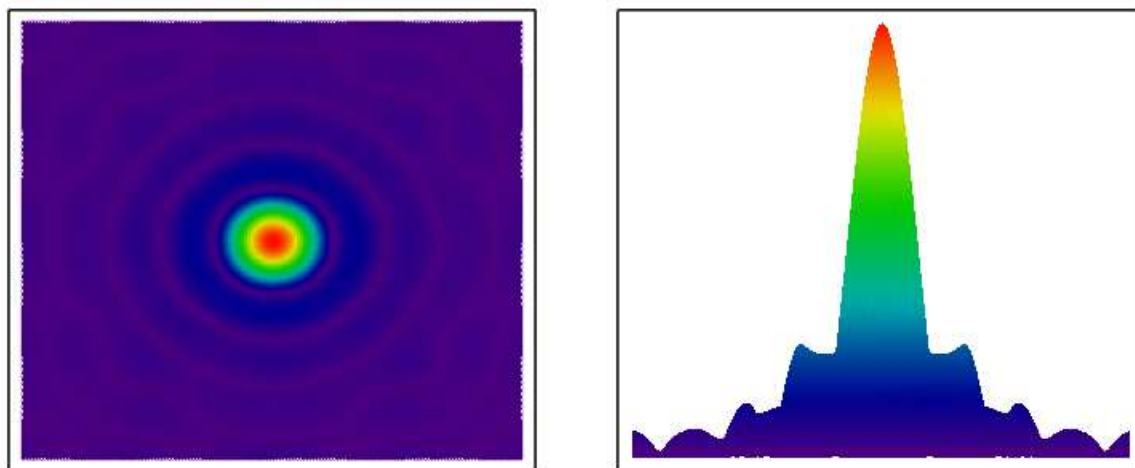
Key words: improvement of the quality of radio images, point spread function with side lobes, image restoration.

1. Введение

Применительно к задачам радиовидения качество изображения есть совокупность свойств, позволяющих обнаруживать и идентифицировать объекты. Оно может оцениваться количественно через вероятность распознавания объекта, которая зависит от отношения «сигнал/шум» и пространственного разрешения [1 – 15]. Известно, что приемная антенна изменяет исходное изображение и его пространственный спектр. Из-за относительно небольших размеров антенн, применяемых в системах радиовидения ММ диапазона, пространственное разрешение изображений часто оказывается недостаточным для уверенного распознавания объектов. Поэтому из различных методов восстановления и улучшения изображений [1 – 9] в ММ диапазоне в первую очередь необходимы те, которые улучшают пространственное разрешение. Предлагаемая работа посвящена оценке влияния боковых лепестков АФ на качество восстановленного изображения предложенным нами ранее методом, основанным на априорной информации о статистических характеристиках спектров объектов аналогичного класса и известной аппаратной функции системы [1, 6, 12, 15].

2. Влияние боковых лепестков АФ при восстановлении исторического портрета

Сформируем аппаратную функцию в пространственной области, которая имеет значительные боковые лепестки (максимальный уровень порядка 0,3 от максимума АФ). Основной лепесток этой АФ создан на основе диаграммы направленности реальной антенны (рис.1). Далее, осуществим процедуру моделирования (размытия), а затем восстановления изображения исторического портрета размером 200 на 164 пикселей. Эти действия проводились по методу, представленному в [1].



а) Аппаратная функция. Вид сверху. б) Аппаратная функция. Вид сбоку.

Рис. 1.

Реализуется метод как фильтрация ложных выбросов в пространственном спектре улучшаемого изображения. В настоящей работе, в качестве аппаратной функции используется АФ с боковыми лепестками, тогда как ранее, в [1, 6, 12, 15], использовалась АФ по Гауссу. Исходным исследуемым изображением выбран портрет царя Шумера и Аккада Саргона Древнего (конец 24 – начало 23 вв. до н.э.), а в качестве опорного изображения в этой статье, аналогично [1, 6, 12, 15], используем другой исторический портрет – фараона Хефрена (Хафра) (26 в. до н.э.).

Оказывается, что, если при восстановлении изображения используется та же самая аппаратная функция что и при получении изображения, то, несмотря на сильное искажение исходного изображения размытием, боковые лепестки не влияют на качество улучшаемого изображения.

Однако, если использовать для восстановления ту же самую АФ, но без боковых лепестков (отрезать их), в то время как при формировании изображения использовалась полная АФ (с боковыми лепестками), то восстанавливаемое изображение разрушается (рис. 2).

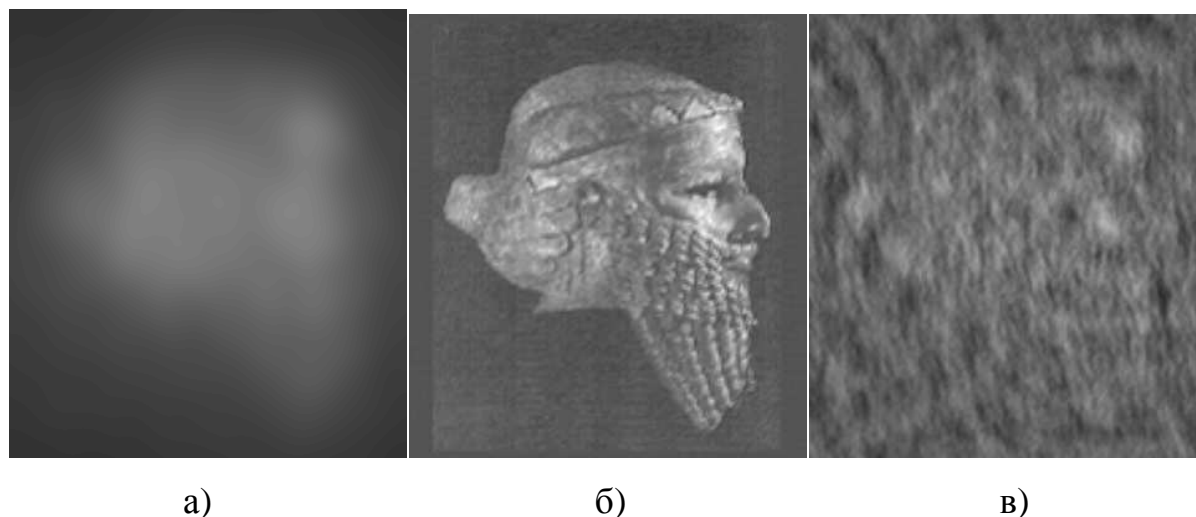


Рис. 2.

На рисунке 2:

- а) изображение размытое исходной АФ (модель радиоизображения),
- б) восстановленное изображение по точно известной АФ (с боковыми лепестками),
- в) восстановленное изображение той же самой АФ, но без учёта её боковых лепестков (приравнены нулю), которые, однако, реально участвовали в формировании исходного изображения.

Для определения влияния степени разрушения восстановленного изображения, в зависимости от точности знания уровня боковых лепестков АФ, нужно смоделировать АФ с различными уровнями боковых лепестков.

Используем разделение АФ в пространственной области на две части. Во внутреннем круге находится основной лепесток АФ, который надо оставить без изменений. Значения АФ находящиеся вне области главного лепестка (т. е. все боковые лепестки), варьируем путём умножения на коэффициент \mathbf{K} , который подбираем для задания нужного уровня боковых лепестков. При \mathbf{K} равном единице АФ сохраняет исходные значения. При \mathbf{K} равном нулю АФ оказывается без боковых лепестков. При вариациях \mathbf{K} можно наблюдать изменения в картине восстановления изображения (рис. 3).



а) При $K = 0,9$ (бок лепестки 90%)



б) При $K = 0,8$ (бок лепестки 80%)



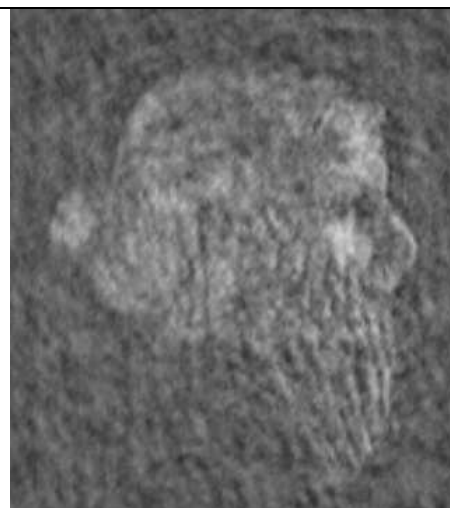
в) При $K = 0,7$ (бок лепестки 70%)



г) При $K = 0,6$ (бок лепестки 60%)



д) При $K = 0,5$ (бок лепестки 50%)



е) При $K = 0,4$ (бок лепестки 40%)

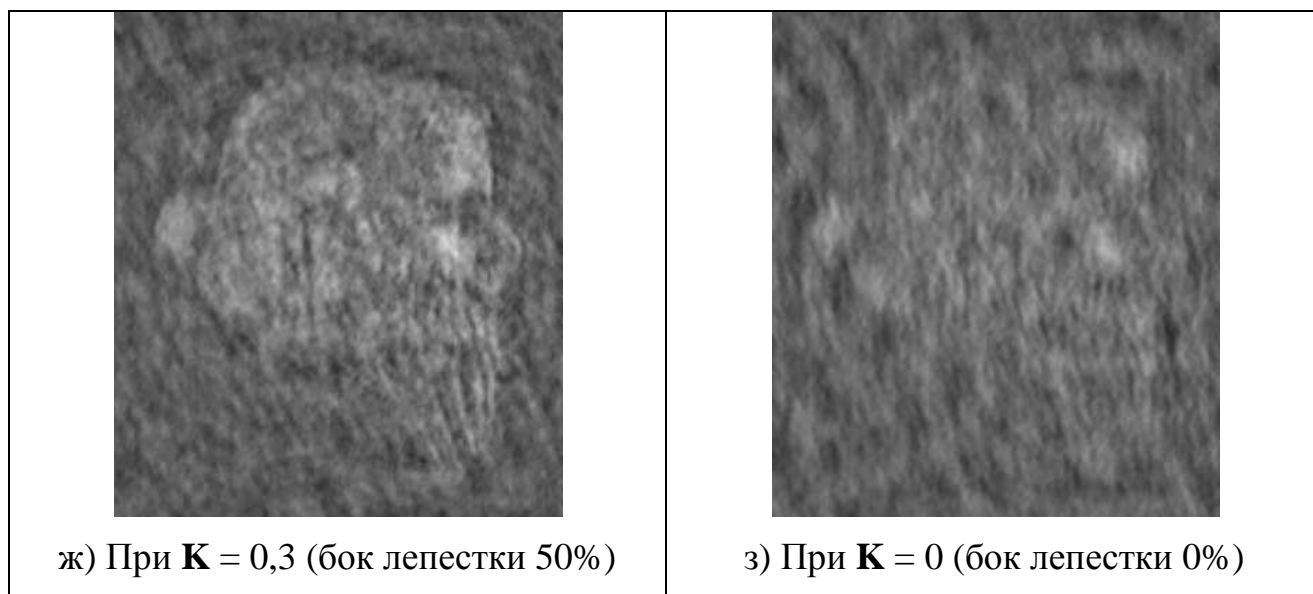
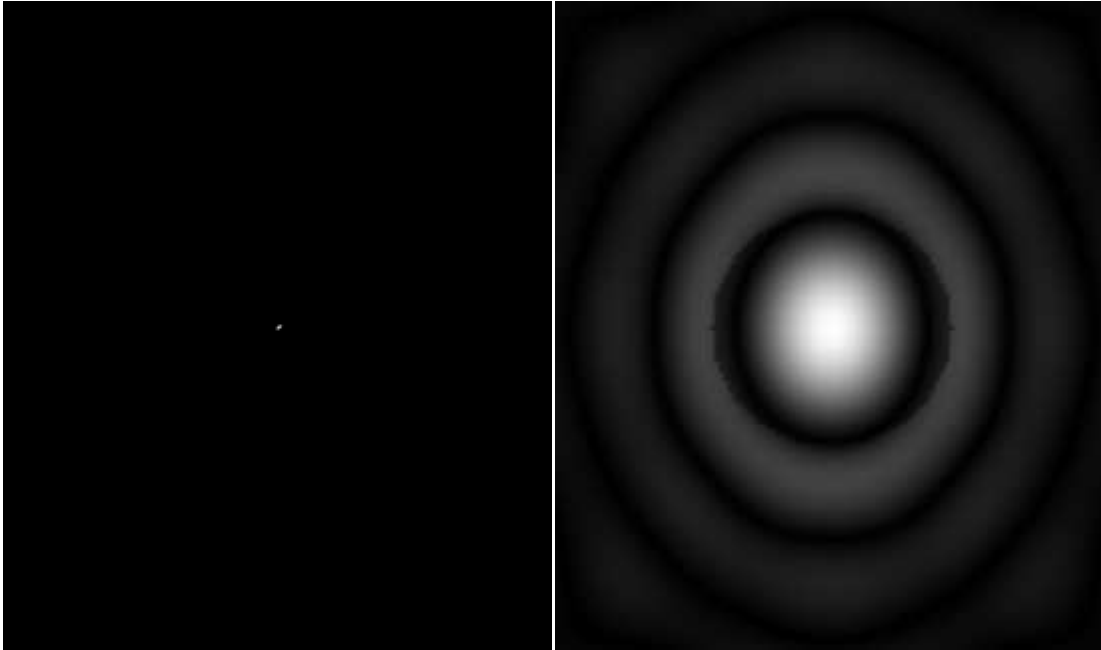


Рис. 3. Восстановление изображения при различных уровнях боковых лепестков АФ.

3. Выявление характеристик шумов, возникающих при восстановлении изображений и обусловленных неточным знанием боковых лепестков АФ.

Проверим предложенный нами в [1] метод восстановления изображений с помощью тестового объекта «яркая точка на чёрном фоне». Использование такого тестового изображения позволяет выявить шумы обработки, возникающие при работе с одним единственным пикселем изображения. Эти шумы обработки, при неблагоприятных условиях, разрушают восстанавливаемое изображение.

Зададим тестовое изображение вида: точка (максимальной яркости равной 256 условных яркостных единиц) в один пиксель в центре, остальное чёрный фон (минимальной яркости равной 0 условных яркостных единиц) (рис. 4 (а)).



а) Тестовое изображение.

б) Размытое изображение (автомасштаб яркостей).

Рис. 4.

Размываем это изображение процедурой перемножения спектров. Размытие тестового изображения, при исходном масштабе яркостей (от 0 до 256 условных единиц), практически полностью маскирует наличие яркой точки размером в один пиксел на изображении. Однако, если нормировать изображение размытой яркой точки на чёрном фоне, то получим, насколько это возможно, точное изображение аппаратной функции (рис. 4 (б)). Чем больше пикселей в изображении, тем точнее проявляется изображение АФ.

Таким образом, из изображения АФ (рис.4), методом, описанным в [1], восстанавливаем тестовое изображение (яркая точка на чёрном фоне). При коэффициенте **К** равном 1 (бок лепестки 100%), применяя процедуру восстановления по методу, описанному в [1], получаем практически идеальное восстановление тестового изображения (яркость восстановленной точки составляет 256, точно соответствует яркости исходной точки). Яркость максимальной ложной восстанавливаемой точки равна $1,4 \cdot 10^{-11}$. Шумы в

восстановленном изображении находятся практически на уровне шумов машинной точности вычислений (рис. 5).

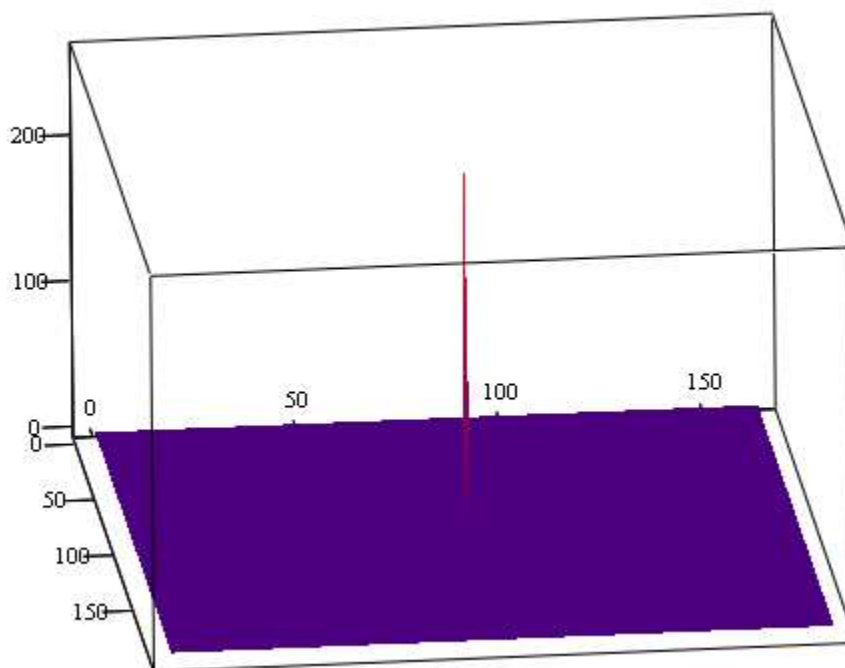


Рис. 5. Восстановленное тестовое изображение яркая точка на чёрном фоне при точно известных боковых лепестках АФ, т.е. составляющих 100% от истинных ($K=1$) (масштаб по оси яркостей от 0 до 256).

Таким образом, в таблице 1, при K равном 1, как яркость максимальной ложной восстанавливаемой точки, так и уровень шумов приравнены нулю. Поскольку, типовое стандартное отклонение шума на чёрном фоне восстановленного изображения составило $3,8 \cdot 10^{-12}$, а среднее шума на чёрном фоне восстановленного изображения оказалось равным $2,8 \cdot 10^{-12}$.

Результаты численного эксперимента при точно таких же, как было показано выше для исторического портрета, вариациях уровней боковых лепестков АФ, сведены в таблицу 1.

Таблица 1.

К	яркость восстановленной точки	яркость максимальной ложной точки	типичное стандартное отклонение шума	среднее шума
1	256	0	0	0
0,9	256	8,4	1	0,7
0,8	253,6	13,4	1,4	1
0,7	230,7	18,3	1,9	1,3
0,6	189,4	33,5	2	1,4
0,5	154,5	40,1	2,4	1,6
0,4	104,9	32,4	2,6	1,8
0,3	77,5	32,8	2,7	1,8
0,2	45,8	26,8	2,4	1,6
0,1	15,6	20,6	2,4	1,6
0	11,8	16,3	2	1,4

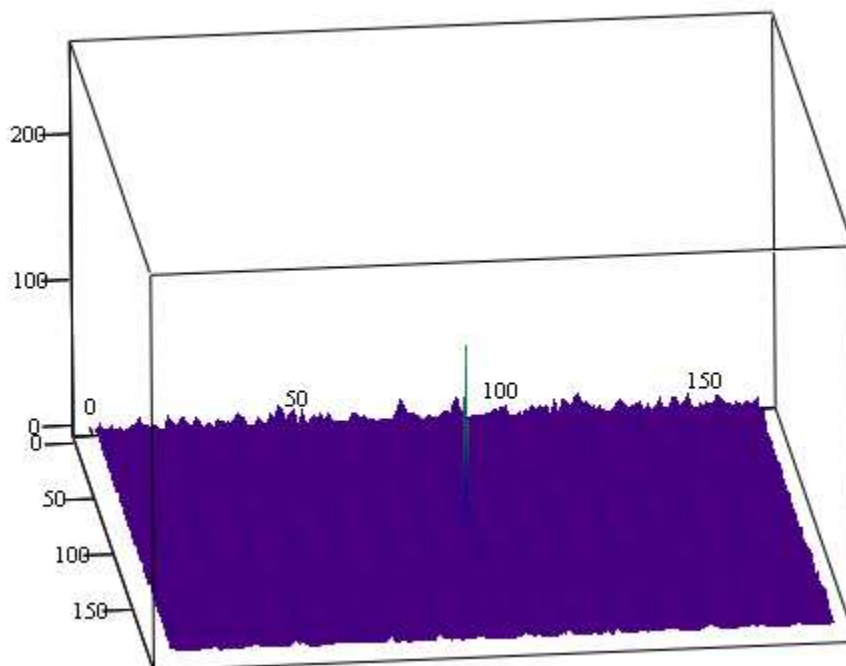


Рис. 6. Восстановленное тестовое изображение яркая точка на чёрном фоне при боковых лепестках АФ, составляющих 50% от истинных ($K = 0,5$) (масштаб по оси яркостей от 0 до 256).

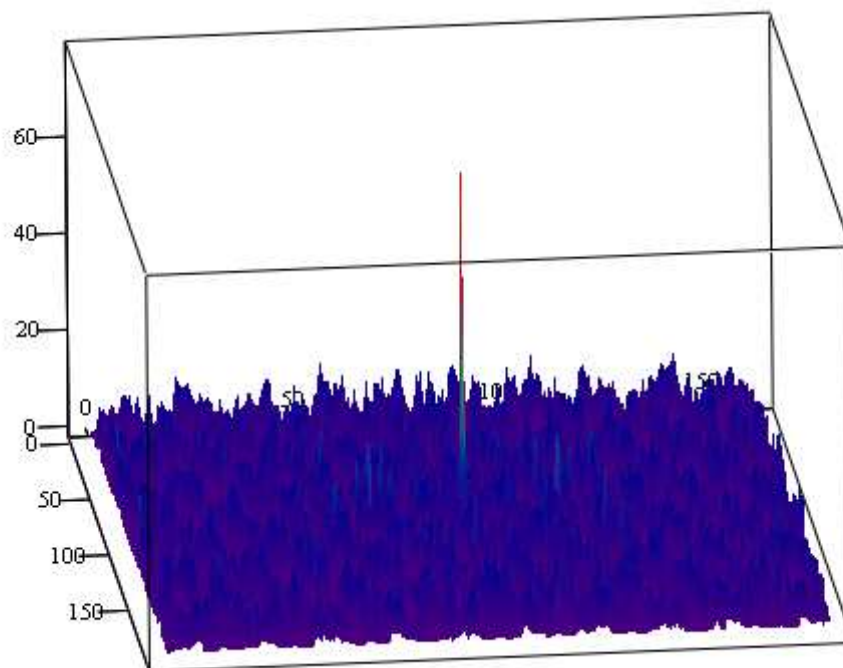


Рис. 7. Восстановленное тестовое изображение яркая точка на чёрном фоне при боковых лепестках АФ, составляющих 30% от истинных ($K = 0,3$) (автомасштаб по оси яркостей).

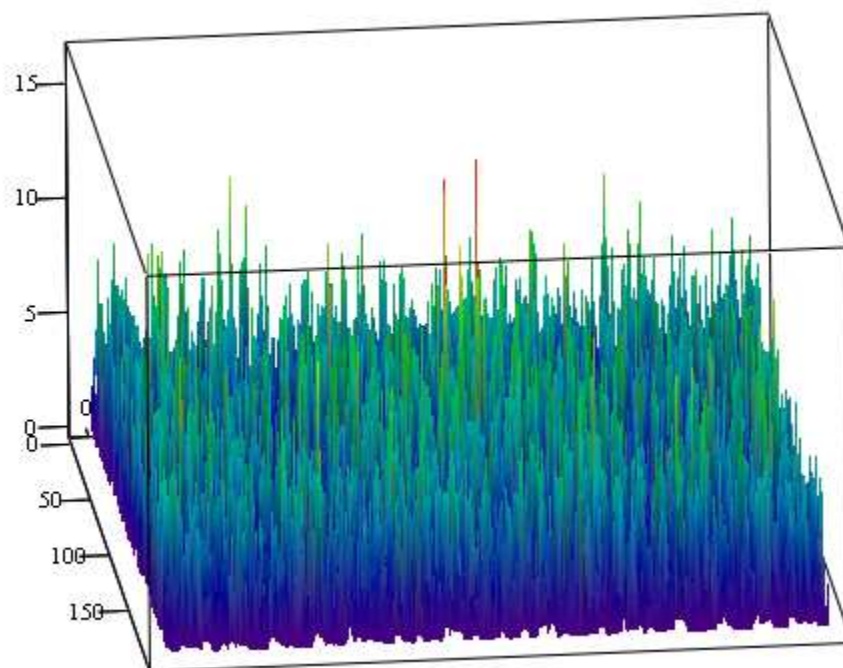


Рис. 8. Восстановленное тестовое изображение яркая точка на чёрном фоне при боковых лепестках АФ, составляющих 0% от истинных ($K = 0$) (автомасштаб по оси яркостей).

Рисунки 9 и 10 иллюстрируют статистику процедуры улучшения качества изображения при неточном знании уровня боковых лепестков аппаратной функции.

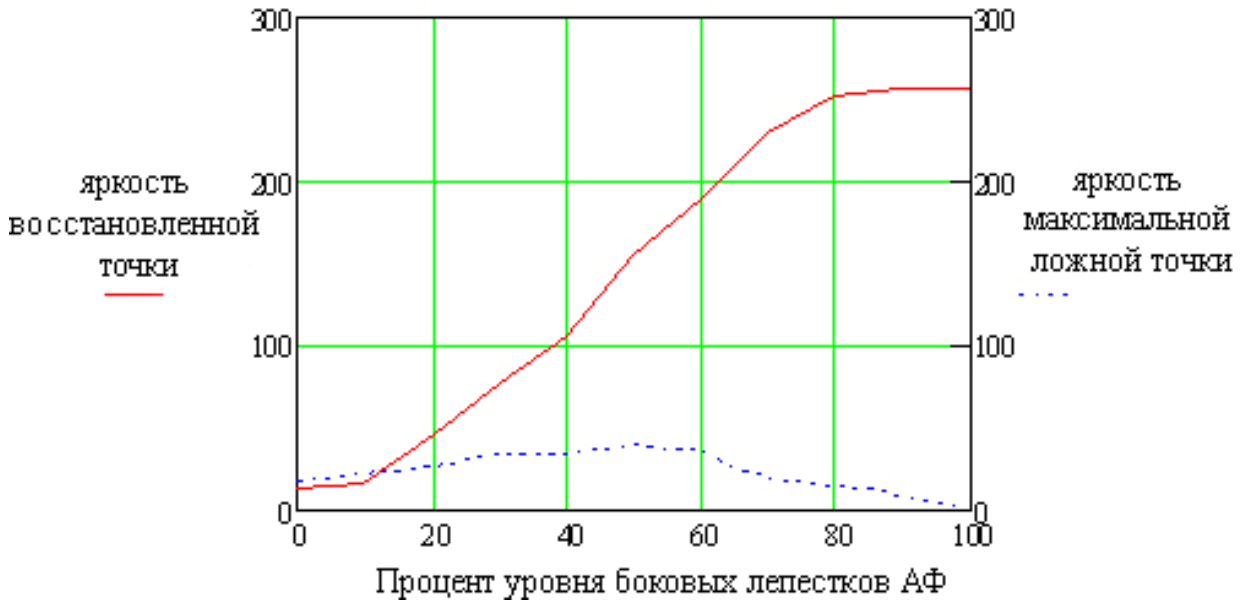


Рис. 9.

На рисунке 9:

Красная линия – Зависимость яркости восстановленной точки (по вертикали), от процента уровня боковых лепестков АФ, используемой в процедуре улучшения качества изображения (по горизонтали).

Синий пунктир – Зависимость яркость максимальной ложной точки (по вертикали), от процента уровня боковых лепестков АФ, используемой в процедуре улучшения качества изображения (по горизонтали).

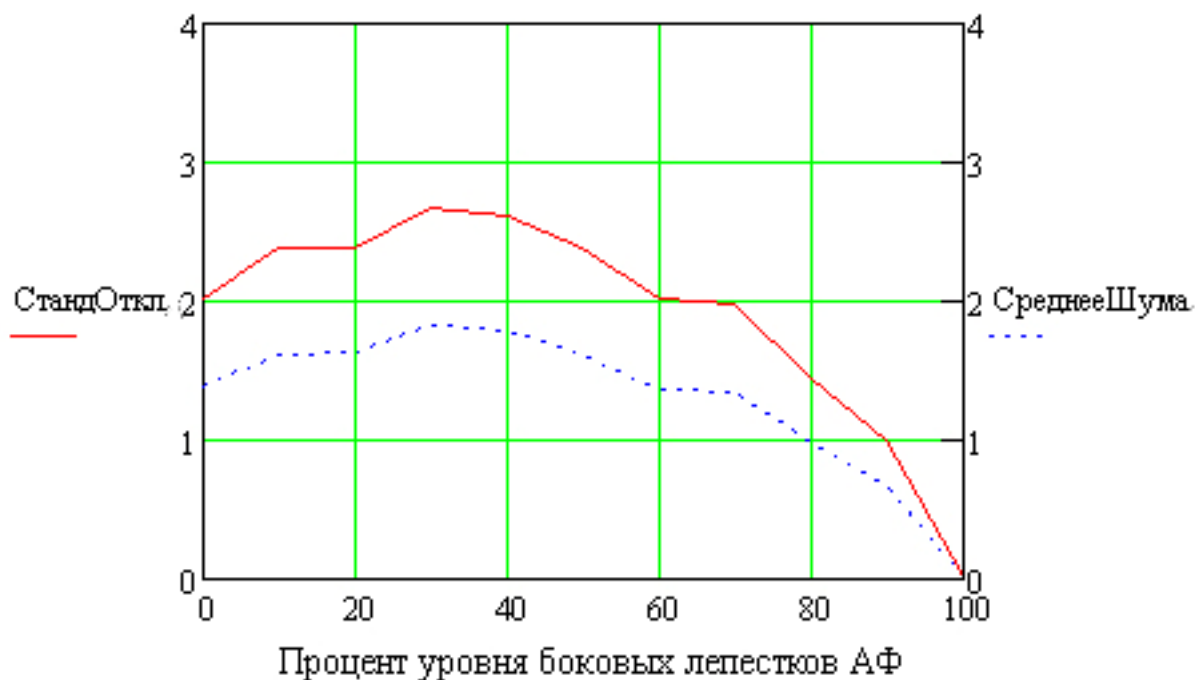


Рис. 10.

На рисунке 10:

Красная линия – Зависимость типового стандартного отклонения шума на чёрном фоне восстановленного изображения (по вертикали), от процента уровня боковых лепестков АФ, используемой в процедуре улучшения качества изображения (по горизонтали).

Синий пунктир – Зависимость среднего значения шума на чёрном фоне восстановленного изображения (по вертикали) от процента уровня боковых лепестков АФ, используемой в процедуре улучшения качества изображения (по горизонтали).

На рис. 11 показана статистика распределения шума, возникающего при восстановлении изображений. Анализ проводился по всему полю изображения и при приравненной к нулю искомой восстанавливаемой тестовой точки. Распределение, для всех **К**, напоминает экспоненциальное.

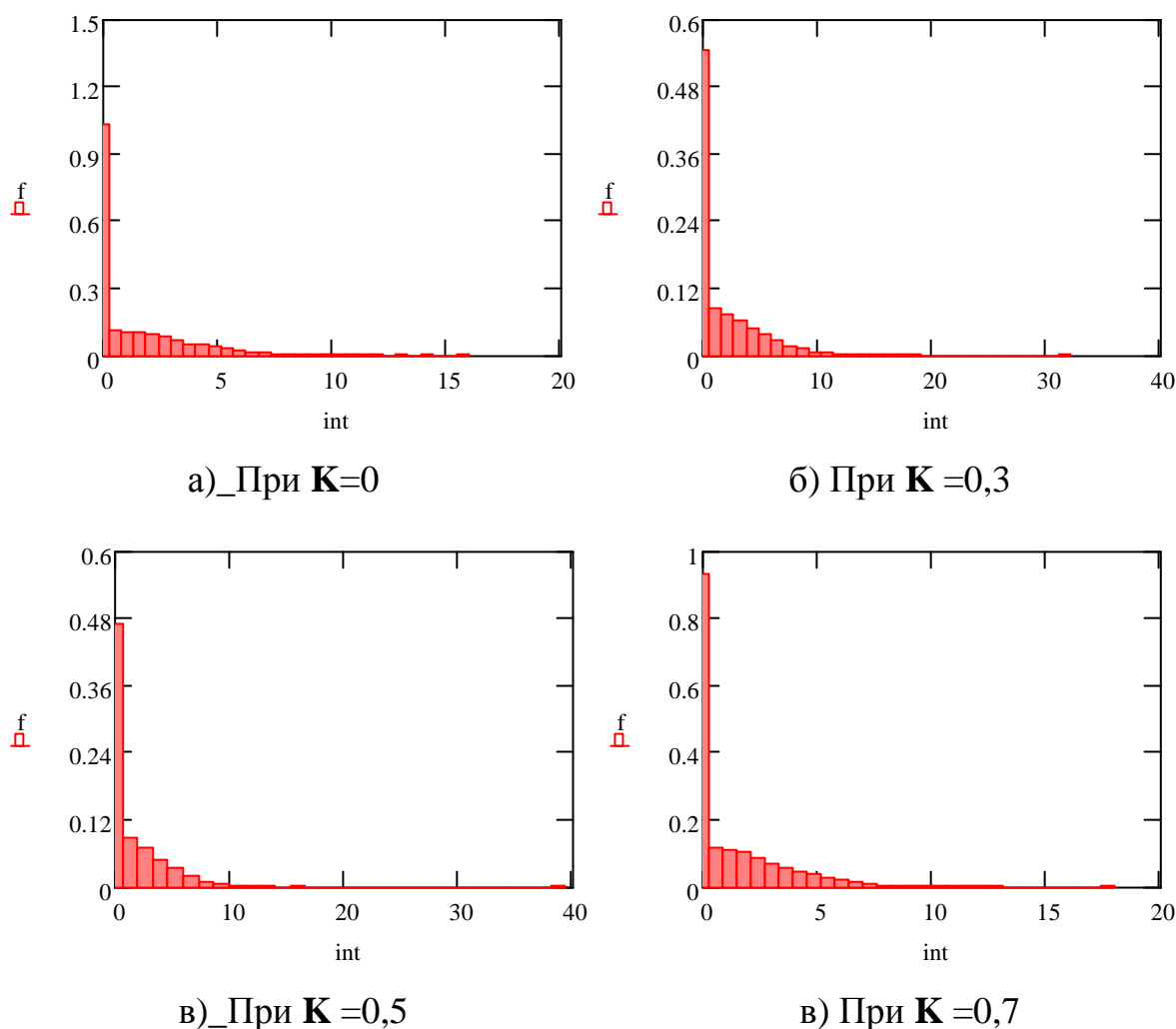


Рис. 11. Гистограммы шума, возникающего при восстановлении изображений при различных уровнях боковых лепестков (K).

Заключение.

Если уровень боковых лепестков аппаратной функции, используемой для восстановления изображения, занижен не более чем на 20 процентов от истинного значения, то изображение восстанавливается вполне корректно. Сама восстановленная точка имеет яркость от 100 до 99 процентов от исходной и получается ярче максимальной ложной восстановленной точки не менее чем в 19 раз (рис. 9). Общий уровень шума на восстановленном изображении, вызванный неточным знанием АФ, во всех случаях небольшой – несколько условных единиц градаций яркости (рис. 10). Большее значение при разрушении тестового изображения играет появление ложных восстановленных

точек, яркость которых, по мере всё более значительного расхождения истинной АФ с используемой в процедуре улучшения качества изображения, становится соизмеримой с яркостью восстанавливаемой тестовой точки (рис. 9). В дальнейшем, имеет практический смысл проверить и для других мешающих факторов предложенный нами в [1] метод восстановления изображений с помощью тестового изображения «яркая точка на чёрном фоне». Поскольку использование такого тестового изображения позволяет выявить параметры шумов обработки, возникающих при работе с одним единственным пикселом изображения. А эти шумы обработки, могут разрушать восстанавливаемое изображение.

Если говорить о задачах радиовидения, то, при отсутствии подробной и достаточно точной информации о диаграмме направленности (ДН) антенной системы, формирующей это изображение, попытки улучшить качество радиоизображений неизбежно потерпят неудачу. Но, если мы обладаем достоверным знанием АФ, при этом она может иметь боковые лепестки, то можно значительно повысить качество изображения. На практике, гораздо удобнее работать с АФ гладкой формы, т.е. без боковых лепестков, поскольку получение адекватных данных с достаточно большой точностью о трёхмерной АФ с боковыми лепестками сопряжено со значительными техническими трудностями.

Литература

1. А.Ю. Зражевский, А.В. Кокошкин, Е.П. Новичихин, С.В. Титов «Повышение качества радиоизображений», Нелинейный мир, 2010, №9.
2. Infrared and Millimeter Waves. v.4 Millimeter Systems. Edited by J. Button, J.S.Wilts. 1981, Academic Press, New York.
3. Р. Гонсалес, Р. Вудс. Цифровая обработка изображений. М. «Техносфера», 2005, 1071 стр.

4. Пирогов Ю.А., Гладун В.В., Тищенко Д.А., Тимановский А.Л., Шлемин И.В, Джен С.Ф., // Сверхразрешение в системах радиовидения миллиметрового диапазона. Журнал радиоэлектроники (<http://jre.cplire.ru>), 2004, №3 – Март.
5. Бейтс Р. Мак-Доннел М. Восстановление и реконструкция изображений. /Пер. с англ.к. ф-м н. Б.С. Кругликова и С.Л. Ярославского под редакцией д. ф-м н. Л.П. Ярославского. М.: «Мир», 1989, 487с.
6. А.Ю.Зражевский, А.В.Кокошкин, Е.П.Новичихин, С.В.Титов, «Метод улучшения пространственного разрешения радиоизображений в миллиметровом диапазоне волн», Сб.докладов III Всероссийская научно-техническая конференция «Радиолокация и радиосвязь», Москва, 2009, т. 1, стр.213-215. (В электронном виде доклад опубликован на <http://jre.cplire.ru/jre/library/3conference/pdf/r019.pdf>)
7. Pirogov Yu.A., Gladun V.V., Krivoruchko V.I., Kulikov A.P., Tychko A.P., Tischenko D.A. 11-element linear array of sensors for passive radio-imaging systems of 8-mm wave range. Proc.SPIE, “AeroSense’98”, Orlando, FL, USA, Apr.13-17, 1998, p.81-83.
8. Пытьев Ю.П. Математические методы интерпретации эксперимента. М.: Высшая школа, 1998, 351 с.
9. Новейшие методы обработки изображений. / Под ред. А.А. Потапова. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2008, 496 с.
10. Применение цифровой обработки сигналов. / Под ред. Э. Оппенгейма, пер. с англ. Под ред. А.М. Разанцева. – М.: Издательство «Мир», 1980., 552 с. (Applications of Digital Signal Processing. Allan V. Oppenheim, Editor, New Jersey, 1978)
11. А.Ю.Зражевский, А.В.Кокошкин, Е.П.Новичихин, Тезисы доклада. «Моделирование метода улучшения пространственного разрешения радиотепловых портретов различных объектов в ММ диапазоне волн». XVI

- Международная конференция «Радиолокация и радиосвязь», Москва, 2008, стр.280-285.
12. А.Ю.Зражевский, А.В.Кокошкин, Е.П.Новичихин, «Метод улучшения пространственного разрешения радиотепловых портретов в миллиметровом диапазоне волн». Всероссийский семинар по радиофизике миллиметровых и субмиллиметровых волн, Нижний Новгород, 2009, стр.92.
 13. В.А. Голунов, Г.К.Загорин, А.Ю. Зражевский, Б.А. Розанов, А.В. Соколов, Л.Ф. Черная. Пассивная радиолокация на миллиметровых волнах. В кн. Вопросы перспективной радиолокации. М., Изд. «Радиотехника», 2003, с. 393-463.
 14. А.Ю.Зражевский, В.А.Голунов, С.С.Гапонов, Е.П.Новичихин, Е.Б.Терентьев, А.П.Чернушич. Особенности и возможности поляризационного стереорадиовидения в ММ диапазоне волн. Радиотехника, №5, 2006 г., с.19-29.
 15. A.Yu.Zrazhevsky, A.V.Kokoshkin, E.P.Novichihin, **S.V.Titov** (*poster*), «Method of Improvement of the Spatial Resolution of Radio Images in the Millimeter Wave Band» 34th International Conference on Infrared, Millimeter, and Terahertz Waves (IRMMW-THz 2009) in Busan, Korea, 2009. (Program Guide Download), Conference Guide p.105. <http://irmmw-thz2009.org/>