

ФАЗОВАЯ АПОДИЗАЦИЯ ИЗОБРАЖАЮЩЕЙ СИСТЕМЫ С ЦЕЛЬЮ УВЕЛИЧЕНИЯ ГЛУБИНЫ ФОКУСА В КОГЕРЕНТНОМ И НЕКОГЕРЕНТНОМ СЛУЧАЯХ

Хонина С.Н.

Институт систем обработки изображений РАН

Аннотация

Проведено моделирование влияния искажающих факторов в виде волновых aberrаций на изображение в когерентном и некогерентном случаях. Показано, что дефокусировку можно компенсировать не только с помощью кубического фазового распределения, но и другими типами асимметричных фазовых функций, в том числе с дробной степенью. При этом аподизация изображающей системы такой фазовой функцией обеспечивает более гладкий характер оптической передаточной функции, что может быть полезно при восстановлении закодированного изображения.

Ключевые слова: изображающая система, когерентное и некогерентное излучение, увеличение глубины фокуса, асимметричное фазовое распределение.

Введение

Разрешение и глубина фокуса изображающей системы связаны с выходным зрачком системы. Разрешение улучшается при увеличении зрачка, но при этом одновременно уменьшается глубина фокуса. Задача увеличения глубины фокуса изображающей системы при фиксированном размере выходного зрачка остаётся актуальной и сейчас.

Технология кодирования волнового фронта, предложенная E.R. Dowski и W.T. Cathey [1], в некоторой степени решает эту проблему. Эта технология не только увеличивает глубину фокуса без потери разрешения оптической системы, но также позволяет уменьшить влияние некоторых типов aberrаций – как хроматических [2, 3], так и внеосевых [4, 5].

В настоящее время технология кодирования волнового фронта широко используется в различных областях [6-9] и позволяет одинаково контрастно изображать объекты, расположенные на различных расстояниях.

Фазовая маска, установленная в выходном зрачке классической оптической изображающей системы, меняет форму волнового фронта так, что модуль оптической передаточной функции (ОПФ) системы становится независимым от дефокусировки. Заметим, что наличие фазовой маски меняет функцию размытия точки (ФРТ) системы, которая теперь существенно отличается от δ -функции и в случае кубической фазы представляет собой функцию Эйри. Это портит изображение в фокусе, однако теперь ФРТ вне фокуса точно такая же, как в фокусе. Таким образом, изображение искажено одинаковым способом на длинном отрезке (теоретически глубина фокуса увеличивается в несколько десятков раз [10]). Восстановить изображение, не зависящее теперь от дефокусировки, можно цифровым методом.

Изначально была предложена и обычно используется кубическая фазовая аподизация выходного зрачка системы, однако рассматриваются и другие типы фазовых функций – логарифмические [11], с различной степенной зависимостью [12].

В данной работе рассмотрено влияние различной фазовой аподизации выходного зрачка изображающей системы в когерентном и некогерентном случаях.

1. Построение изображения в когерентном и некогерентном случаях

Рассмотрим построение изображения объекта $a(x)$ для наглядности в одномерном случае. Изображение $b(x)$ представляет собой свёртку объекта $a(x)$ с импульсным откликом изображающей системы, который определяется выходным зрачком системы. При этом функция выходного зрачка представляет собой пространственный спектр функции импульсного отклика [13]. Таким образом, спектр изображения легко вычисляется как произведение функции выходного зрачка и спектра объекта.

Построить изображение можно, используя следующие выражения:

$$b(u) = \int S_b(\xi) \exp\left(\frac{iku\xi}{f}\right) d\xi, \quad (1)$$

$$S_b(\xi) = S_a(\xi)P(\xi), \quad (2)$$

$$S_a(\xi) = \sqrt{\frac{k}{f}} \int a(x) \exp\left(-\frac{ik\xi x}{f}\right) dx, \quad (3)$$

где $S_a(\xi)$ – пространственный спектр исходного объекта, $P(\xi)$ – функция зрачка изображающей системы, $k = 2\pi/\lambda$ – волновое число, λ – длина волны излучения, f – фокус изображающей системы.

Как видно из выражений (1)–(3), для получения идеального изображения объекта функция зрачка должна быть бесконечно протяжённой константой. Однако в реальности изображающие системы пространственно ограничены и подвержены влиянию aberrаций, что вносит искажения в получаемое изображение. Будем обозначать функцию, учитывающую такие искажения, через $D(\xi)$.

Для уменьшения негативного влияния aberrаций, особенно дефокусировки, используется коди-

рование волнового фронта [1, 11, 12] за счёт дополнения изображающей системы фазовым оптическим элементом. Такую функцию аподизации зрачка изображающей системы будем обозначать как $C(\xi)$.

Функция зрачка системы с учётом искажающих и аподизирующих факторов представляет собой произведение:

$$P(\xi) = D(\xi)C(\xi). \tag{4}$$

Для изображающих оптических систем, в которых используется некогерентное излучение, рассматривается интенсивность изображения, которая определяется свёрткой интенсивности объекта и интенсивности импульсного отклика. Оптическая передаточная функция, представляющая собой пространственный спектр импульсного отклика системы, может быть также вычислена через функцию зрачка [13]:

$$W_p(\xi) = \frac{\int P(s - \xi/2)P^*(s + \xi/2) ds}{\int |P(s)|^2 ds}. \tag{5}$$

Тогда интенсивность изображения определяется из выражений:

$$I_b(u) = \int W_b(\xi) \exp\left(\frac{iku\xi}{f}\right) d\xi, \tag{6}$$

$$W_b(\xi) = W_a(\xi)W_p(\xi), \tag{7}$$

$$W_a(\xi) = \frac{\sqrt{k/f} \int |a(x)|^2 \exp(-ik\xi x/f) dx}{\int |a(x)|^2 dx}. \tag{8}$$

2. Влияние искажающих факторов на изображение

Рассмотрим влияние искажающих факторов $D(\xi)$ на изображение. Искажениями могут служить волновые aberrации, описываемые фазовой степенной зависимостью [12]:

$$D(\xi) = \begin{cases} \exp\left[i2\pi\alpha \operatorname{sgn}(\xi)(\xi/\Omega)^n\right], & |\xi| \leq \Omega, \\ 0, & |\xi| > \Omega, \end{cases} \tag{9}$$

где $\operatorname{sgn}(\xi) = \begin{cases} 1, & \xi > 0, \\ -1, & \xi < 0, \end{cases} \tag{10}$

Ω – ограничение диапазона пространственных частот, n – степень, α – параметр.

Наличие или отсутствие знаковой функции в выражении (9) позволяет получать симметричные или асимметричные распределения для значений n с различной чётностью.

Заметим, что в работе [12] были использованы только целые значения степени n , однако выражение:

$$D(\xi) = \begin{cases} \exp\left[i2\pi\alpha \operatorname{sgn}(\xi)(|\xi|/\Omega)^\gamma\right], & |\xi| \leq \Omega, \\ 0, & |\xi| > \Omega, \end{cases} \tag{11}$$

позволяет строить обобщённые фазовые распределения с дробной степенью γ . Такие распределения были введены и рассматривались в [14].

В работе [12] показано, что при высоких значениях n ($n > 4$) в (9) картины выглядят менее размытыми, но имеется большая зависимость от дефокусировки (обеспечивается меньшая глубина фокуса).

В табл. 1 приведены изображения прямоугольного одномерного объекта:

$$a(x) = \begin{cases} 1, & |x| \leq T, \\ 0, & |x| > T, \end{cases} \tag{12}$$

в когерентном случае при наличии различных искажений. Параметры моделирования: $\lambda = 0,000633$ мм, $f = 100$ мм, $T = 8$ мм, $\Omega = 1$ мм.

Как видно из табл. 1, пространственное ограничение функции зрачка приводит в когерентном случае к осцилляциям на изображении в тех местах, которые соответствуют на объекте резким перепадам, т.е. высокочастотным деталям.

Функция зрачка, соответствующая знаковой функции (10), используется для выполнения преобразования Гильберта. Это преобразование похоже по действию на взятие производной и выделяет места резких перепадов амплитуды объекта.

При $n = 1$ в асимметричном случае происходит просто смещение изображения. Асимметричные фазовые распределения при $n \geq 2$ могут быть использованы для кодирования, позволяющего увеличить глубину фокуса изображающей системы [12].

Как видно из табл. 2, в некогерентном случае пространственное ограничение функции зрачка не приводит к осцилляциям на изображении. Также преобразование Гильберта в данном случае не выполняется. В остальном влияние искажений похоже на когерентный случай.

3. Углубление фокуса за счёт фазовой аподизации зрачка

Функция размытия точки определяется следующим выражением:

$$PSF(x) = \left| \int P(\xi) \exp\left(i\frac{k}{f}\xi x\right) d\xi \right|^2 \tag{13}$$

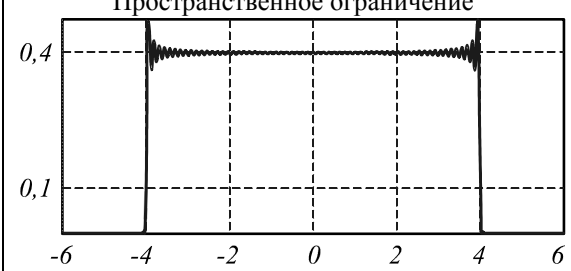
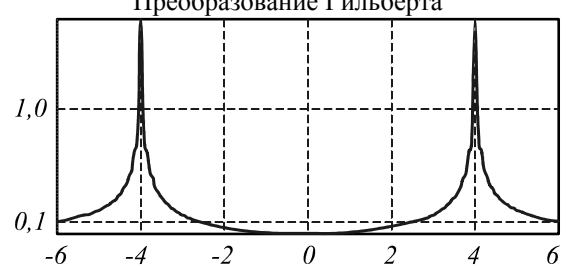
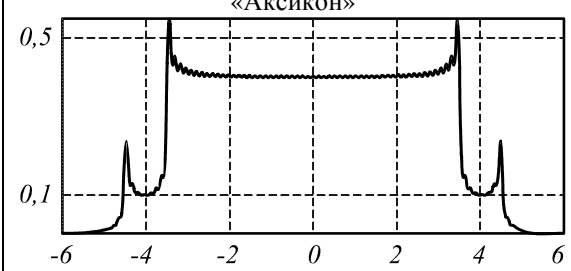
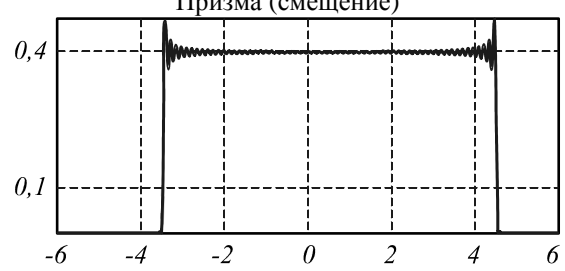
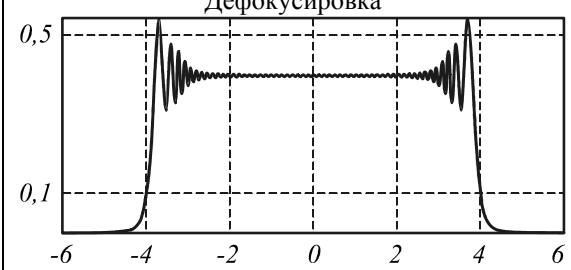

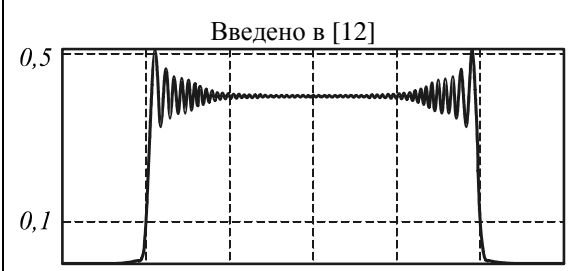
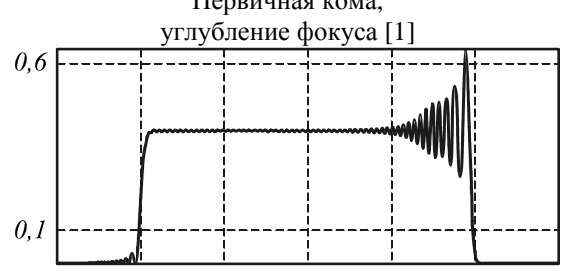
и соответствует интенсивности пространственного спектра от функции зрачка.

Так как в нашем случае функция зрачка определяется произведением искажающей и аподизирующей функций (4), каждая из которых может быть представлена в виде (9) или (11) и зависит от своих параметров, то рассмотрим так называемую параметрическую функцию размытия точки:

$$PSF(x, \alpha, \beta) = \left| \int P(\xi, \alpha, \beta) \exp\left(i\frac{k}{f}\xi x\right) d\xi \right|^2, \tag{14}$$

где α – параметр искажающей функции, а β – параметр аподизирующей функции.

Таблица 1. Влияние искажений на изображение в когерентном случае

	Симметричное	Асимметричное
n=0, α=1	<p>Пространственное ограничение</p> 	<p>Преобразование Гильберта</p> 
n=1, α=8	<p>«Аксикон»</p> 	<p>Призма (смещение)</p> 
n=2, α=16	<p>Дефокусировка</p> 	<p>Углубление фокуса [12]</p> 
n=3, α=32	<p>Введено в [12]</p> 	<p>Первичная кома, углубление фокуса [1]</p> 

Рассмотрим влияние дефокусировки как искажающего изображение фактора. В этом случае

$$D(\xi, \alpha) = \begin{cases} \exp[i2\pi\alpha(\xi/\Omega)^2], & |\xi| \leq \Omega, \\ 0, & |\xi| > \Omega. \end{cases} \quad (15)$$

При отсутствии аподизирующего элемента в изображающей системе параметрическая ФРТ $PSF(x, \alpha, 0)$ при дефокусировке будет выглядеть, как показано на рис. 1.

Как видно из рис. 1, ФРТ существенно меняется в зависимости от параметра α , что приводит к искажениям в изображении. В частности, предметы, расположенные на различном расстоянии от изображающей системы, будут изображаться с различной степенью чёткости.

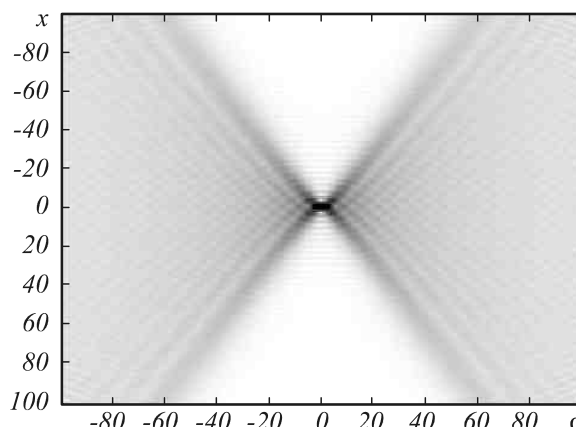


Рис. 1. Параметрическая ФРТ $PSF(x, \alpha, 0)$ при дефокусировке (негативное изображение)

Таблица 2. Влияние искажений на изображение в некогерентном случае

	Симметричное	Асимметричное
$n = 0,$ $\alpha = 1$	<p>Пространственное ограничение</p>	<p>Пространственное ограничение</p>
$n = 1,$ $\alpha = 8$	<p>«Аксикон»</p>	<p>Призма (смещение)</p>
$n = 2,$ $\alpha = 16$	<p>Дефокусировка</p>	<p>Углубление фокуса [12]</p>
$n = 3,$ $\alpha = 32$	<p>Введено в [12]</p>	<p>Первичная кома, углубление фокуса [1]</p>

Внесение аподизирующего элемента в выходной зрачок системы позволяет избежать такой зависимости. На рис. 2 показано действие кубической фазы [1] с различным значением параметра β :

$$C(\xi, \beta) = \begin{cases} \exp\left[i2\pi\beta\left(\frac{\xi}{\Omega}\right)^3\right], & |\xi| \leq \Omega, \\ 0, & |\xi| > \Omega. \end{cases} \quad (16)$$

Заметим, что ФРТ в этом случае вместо аппроксимации δ -функции представляет собой аппроксимацию функции Эйри [15].

Видно, что теперь (сравните рис. 1 и 2) для некоторого диапазона параметра искажений α ФРТ имеет примерно одинаковый вид. С увеличением параметра аподизирующей функции β этот диапазон

увеличивается, однако при этом становится сильнее отличие ФРТ от идеальной дельта-функции. Таким образом, само изображение будет меньше зависеть от дефокусировки, но выглядеть оно будет более «закодированным» и менее узнаваемым.

В работе [12] было показано, что увеличение степени n в (9) приводит к уменьшению глубины фокуса. Поэтому рассмотрим аподизирующую функцию (11) с $1 < n < 3$ (при $n = 1$ имеет место лишь смещение).

Как видно из рис. 3, ФРТ при использовании аподизирующей функции (11) с $1 < \gamma < 3$ также обладает относительной независимостью от дефокусировки. Более детальное сравнение параметров различных аподизирующих функций будет проведено в следующей работе.

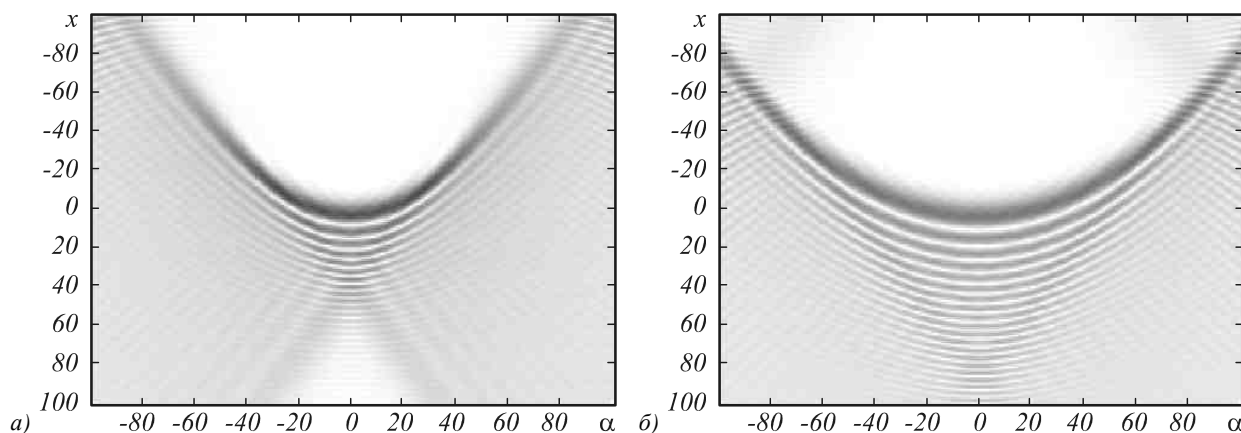


Рис. 2. Параметрическая ФПТ $PSF(x, \alpha, \beta)$ при дефокусировке и аподизации кубической фазой с $\beta = 3,2$ (а) и $\beta = 6,4$ (б) (негативное изображение)

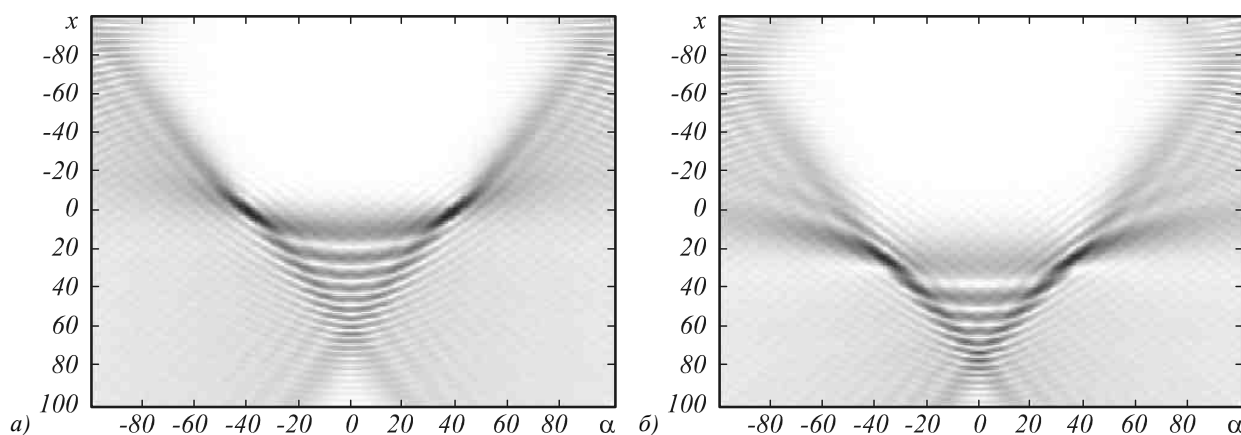


Рис. 3. Параметрическая ФПТ $PSF(x, \alpha, \beta)$ при дефокусировке и аподизации фазой (11) с $n = 2, \beta = 6,4$ (а) и $n = 1,5, \beta = 9,6$ (б) (негативное изображение)

4. Возможность восстановления кодированного некогерентного изображения

Возможность восстановления изображения при аподизации изображающей системы фазовыми распределениями в некогерентном случае определяется по виду оптической передаточной функции системы. В частности, при отсутствии нулей в ОПФ (5) кодированное изображение может быть восстановлено без потерь:

$$I_c(x) = \int \frac{W_b(\xi)}{W_p(\xi)} \exp\left(i \frac{k}{f} x \xi\right) d\xi, \tag{17}$$

$$W_b(\xi) = \frac{\sqrt{k/f} \int I_b(x) \exp(-ik\xi x/f) dx}{\int I_b(x) dx}, \tag{18}$$

где $I_b(x)$ – интенсивность кодированного изображения, $W_p(\xi)$ – ОПФ изображающей системы.

ОПФ системы при различной степени дефокусировки можно построить как радиальное сечение двумерной функции неопределённости [16]:

$$AF(\xi, q) = \int P\left(x - \frac{\xi}{2}\right) P^*\left(x + \frac{\xi}{2}\right) \exp(-i2\pi qx) dx. \tag{19}$$

Связь ОПФ изображающей системы с дефокусировкой (15), задаваемой параметром α , и функции неопределённости (19) выражается следующим образом [1, 12]:

$$W_p(\xi, \alpha) = AF(\xi, \alpha\xi/\Omega). \tag{20}$$

На рис. 4а показана функция неопределённости (19) для изображающей системы в отсутствие функции аподизации выходного зрачка. А на рис. 4б приведены графики амплитуды ОПФ при различных значениях параметра дефокусировки, соответствующие различным радиальным сечениям распределения (19). Видно, что только радиальное сечение вдоль горизонтальной оси, т.е. в фокусе, не имеет нулевых значений. Причём форма ОПФ существенно меняется в зависимости от параметра дефокусировки.

На рис. 5а показана функция неопределённости (19) для изображающей системы в присутствии кубической функции аподизации выходного зрачка, а

на рис. 5б приведены соответствующие графики амплитуды ОПФ при различных значениях параметра дефокусировки. Видно, что теперь ОПФ не имеет нулевых значений и практически сохраняет свою форму даже при значительной дефокусировке.

На рис. 6 показаны результаты для изображающей системы в присутствии функции аподизации

(11) с $\gamma=2,5$. В этом случае ОПФ также не имеет нулевых значений и сохраняет свою структуру при значительной дефокусировке, причём вид функции более гладкий. Последнее свойство может оказаться важным при восстановлении кодированных изображений, что планируется исследовать в дальнейшем.

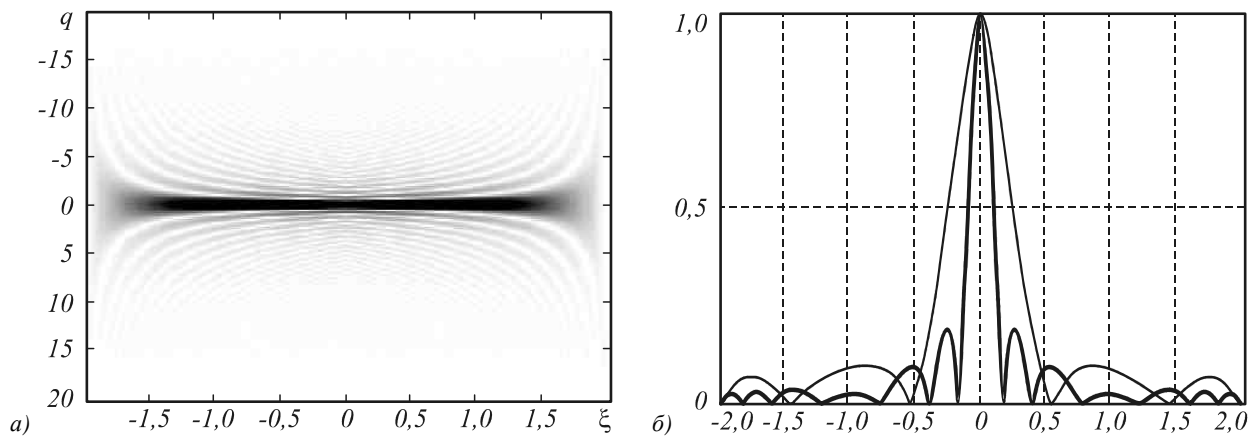


Рис. 4. Влияние дефокусировки: функция неопределённости $AF(\xi, q)$ (негативное изображение) (а) и амплитуда ОПФ при $\alpha = 5$ (тонкая линия) и $\alpha = 15$ (толстая линия) (б)

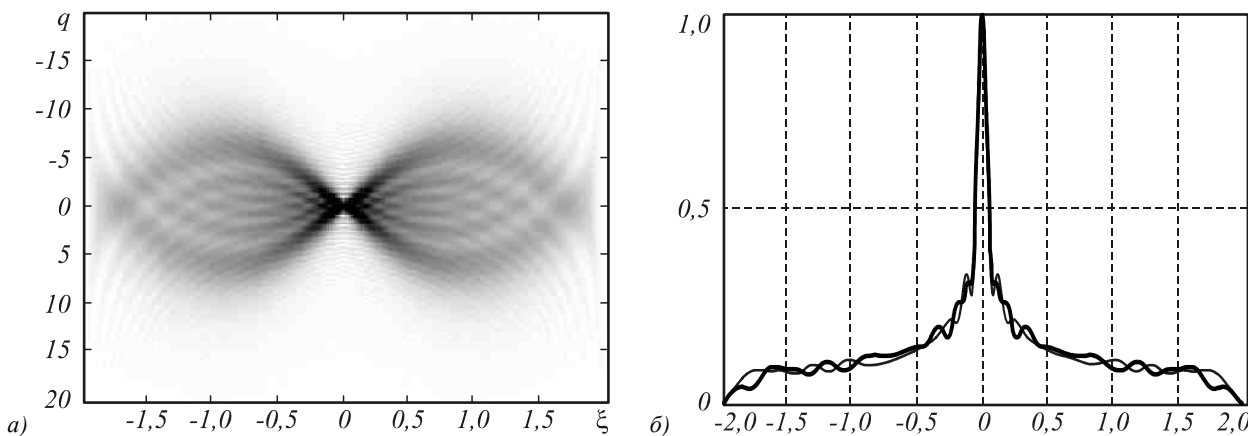


Рис. 5. Компенсация дефокусировки при кубической функции аподизации: функция неопределённости $AF(\xi, q)$ (негативное изображение) (а) и амплитуда ОПФ при $\alpha = 5$ (тонкая линия) и $\alpha = 15$ (толстая линия) (б)

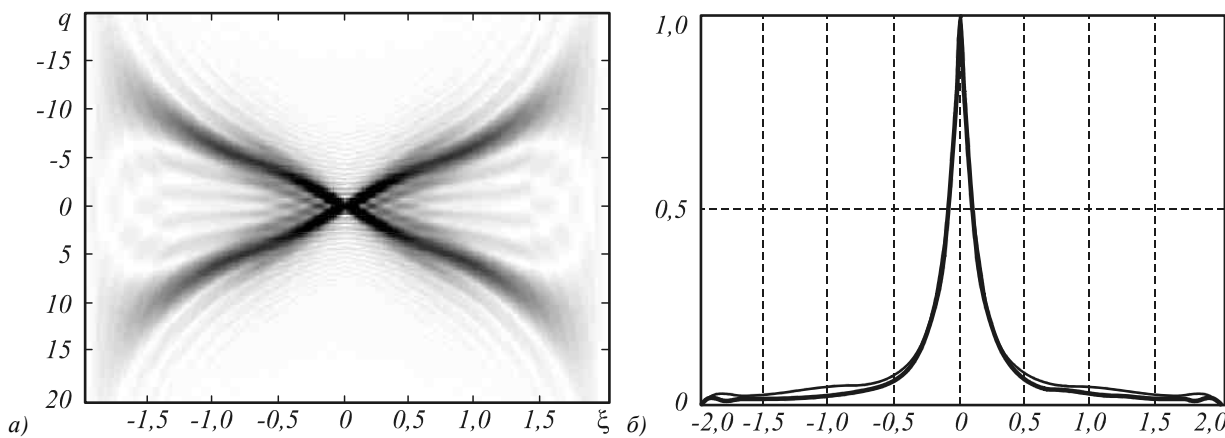


Рис. 6. Компенсация дефокусировки в присутствии функции аподизации (11) с $\gamma=2,5$: функция неопределённости $AF(\xi, q)$ (негативное изображение) (а) и амплитуда ОПФ при $\alpha = 5$ (тонкая линия) и $\alpha = 15$ (толстая линия) (б)

Заключение

В работе проведено моделирование влияния искажающих факторов в виде волновых aberrаций на изображение в когерентном и некогерентном случаях.

Показано, что пространственное ограничение функции зрачка приводит в когерентном случае к осцилляциям на изображении в тех местах, которые соответствуют на объекте резким перепадам, т.е. высокочастотным деталям. В некогерентном случае пространственное ограничение функции зрачка не приводит к осцилляциям на изображении.

Предложено выполнять компенсацию дефокусировки асимметричными степенными фазовыми функциями с дробной степенью. Показано, что аподизация изображающей системы фазовой функцией со степенью $1 < \gamma < 3$ обеспечивает более гладкий характер оптической передаточной функции, что может быть полезно при восстановлении закодированного изображения.

Благодарности

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ 10-07-00109-а и гранта Президента РФ поддержки ведущих научных школ НШ-4128.2012.9.

Литература

1. **Dowski, E.R.** Extended depth of field through wavefront coding / E.R. Dowski and W.T. Cathey // *Appl. Opt.* – 1995. – Vol. 34. – P. 1859-1866.
2. **Tucker, S.C.** Extended depth of field and aberration control for inexpensive digital microscope systems / S.C. Tucker, W.T. Cathey and E.R. Dowski // *Opt. Express.* – 1999. – Vol. 4(11). – P. 467-474.
3. **Wach, H.** Control of chromatic focal shift through wavefront coding / H. Wach, E.R. Dowski and W.T. Cathey // *Appl. Opt.* – 1998. – Vol. 37. – P. 5359-5367.
4. **Zhang, W.Z.** Ray aberrations analysis for phase plates illuminated by off-axis collimated beams / W.Z. Zhang, Z. Ye, Y.P. Chen, T.Y. Zhao and F.H. Yu // *Opt. Express.* – 2007. – Vol. 15. – P. 3031-3046.
5. **Yan, F.** Image restoration of an off-axis three-mirror anastigmatic optical system with wavefront coding technology / F. Yan, L.G. Zheng and X.J. Zhang // *Opt. Eng.* – 2008. – Vol. 47. – P. 8.
6. **Marks, D.L.** Three-dimensional tomography using a cubic-phase plate extended depth-of-field system / D.L. Marks, R.A. Stack and D.J. Brady // *Opt. Lett.* – 1999. – Vol. 24. – P. 253-255.
7. **Narayanswamy, R.** Extending the imaging volume for biometric iris recognition / R. Narayanswamy, G.E. Johnson, P.E.X. Silveira and H.B. Wach // *Appl. Opt.* – 2005. – Vol. 44. – P. 701-712.
8. **Silveira, P.E.X.** Signal-to-noise analysis of task-based imaging systems with defocus / P.E.X. Silveira and R. Narayanswamy // *Appl. Opt.* – 2006. – Vol. 45. – P. 2924-2934.
9. **Simonov, A.N.** Cubic optical elements for an accommodative intraocular lens / A.N. Simonov, G. Vdovin, M.C. Rombach // *Opt. Express.* – 2006. – Vol. 14(17). – P. 7757-7775.
10. **Pan, C.** Extension ratio of depth of field by wavefront coding method / C. Pan, J. Chen, R. Zhang, S. Zhuang // *Opt. Express.* – 2008. – Vol. 16(17). – P. 13364-13371.
11. **Sherif, S.S.** Phase plate to extend the depth of field of incoherent hybrid imaging systems / S.S. Sherif, W.T. Cathey and E.R. Dowski // *Applied Optics.* – 2004. – Vol. 43, N 13. – P. 2709-2721.
12. **Castro, A.** Asymmetric phase masks for extended depth of field / A. Castro and J. Ojeda-Castaneda // *Applied Optics.* – 2004. – Vol. 43, N 17. – P. 3474-3479.
13. **Гудмен, Дж.** Введение в Фурье-оптику / Дж. Гудмен. – М.: «Мир», 1970. – 364 с.
14. **Хонина, С.Н.** Фраксикон – дифракционный оптический элемент с конической фокальной областью / С.Н. Хонина, С.Г. Вологовский // *Компьютерная оптика.* – 2009. – Т. 33, № 4. – С. 401-411.
15. **Born, M.** Principles of Optics / M. Born, E. Wolf. – Oxford: Pergamon Press, 1968.
16. **Brenner, K.** The ambiguity function as a polar display of the OFT / K. Brenner, A. Lohmann and J.O. Casteneda // *Opt. Commun.* – 1983. – Vol. 44. – P. 323-326.

References

1. **Dowski, E.R.** Extended depth of field through wavefront coding / E.R. Dowski and W.T. Cathey // *Appl. Opt.* – 1995. – Vol. 34. – P. 1859-1866.
2. **Tucker, S.C.** Extended depth of field and aberration control for inexpensive digital microscope systems / S.C. Tucker, W.T. Cathey and E.R. Dowski // *Opt. Express.* – 1999. – Vol. 4(11). – P. 467-474.
3. **Wach, H.** Control of chromatic focal shift through wavefront coding / H. Wach, E.R. Dowski and W.T. Cathey // *Appl. Opt.* – 1998. – Vol. 37. – P. 5359-5367.
4. **Zhang, W.Z.** Ray aberrations analysis for phase plates illuminated by off-axis collimated beams / W.Z. Zhang, Z. Ye, Y.P. Chen, T.Y. Zhao and F.H. Yu // *Opt. Express.* – 2007. – Vol. 15. – P. 3031-3046.
5. **Yan, F.** Image restoration of an off-axis three-mirror anastigmatic optical system with wavefront coding technology / F. Yan, L.G. Zheng and X.J. Zhang // *Opt. Eng.* – 2008. – Vol. 47. – P. 8.
6. **Marks, D.L.** Three-dimensional tomography using a cubic-phase plate extended depth-of-field system / D.L. Marks, R.A. Stack and D.J. Brady // *Opt. Lett.* – 1999. – Vol. 24. – P. 253-255.
7. **Narayanswamy, R.** Extending the imaging volume for biometric iris recognition / R. Narayanswamy, G.E. Johnson, P.E.X. Silveira and H.B. Wach // *Appl. Opt.* – 2005. – Vol. 44. – P. 701-712.
8. **Silveira, P.E.X.** Signal-to-noise analysis of task-based imaging systems with defocus / P.E.X. Silveira and R. Narayanswamy // *Appl. Opt.* – 2006. – Vol. 45. – P. 2924-2934.
9. **Simonov, A.N.** Cubic optical elements for an accommodative intraocular lens / A.N. Simonov, G. Vdovin, M.C. Rombach // *Opt. Express.* – 2006. – Vol. 14(17). – P. 7757-7775.
10. **Pan, C.** Extension ratio of depth of field by wavefront coding method / C. Pan, J. Chen, R. Zhang, S. Zhuang // *Opt. Express.* – 2008. – Vol. 16(17). – P. 13364-13371.
11. **Sherif, S.S.** Phase plate to extend the depth of field of incoherent hybrid imaging systems / S.S. Sherif, W.T. Cathey and E.R. Dowski // *Applied Optics.* – 2004. – Vol. 43, N 13. – P. 2709-2721.
12. **Castro, A.** Asymmetric phase masks for extended depth of field / A. Castro and J. Ojeda-Castaneda // *Applied Optics.* – 2004. – Vol. 43, N 17. – P. 3474-3479.
13. **Goodman, J.W.** Introduction to Fourier Optics / Joseph W. Goodman. – New York: Department of Electrical En-

- gineering Stanford University, McGraw-Hill Book Company, 1968. – 287 p. – (In Russian).
14. **Khonina, S.N.** Fraxicon – diffractive optical element with conical focal domain / S.N. Khonina, S.G. Volotovskiy // Computer Optics. – 2009. – Vol. 33, N 4. – P. 401-411. – (In Russian).
15. **Born, M.** Principles of Optics / M. Born, E. Wolf. – Oxford: Pergamon Press, 1968.
16. **Brenner, K.** The ambiguity function as a polar display of the OFT / K. Brenner, A. Lohmann and J.O. Casteneda // Opt. Commun. – 1983. – Vol. 44. – P. 323-326.

PHASE APODIZATION OF IMAGING SYSTEM TO INCREASE THE FOCAL DEPTH IN COHERENT AND INCOHERENT CASES

S.N. Khonina

Image Processing Systems Institute of the RAS

Abstract

The simulation of the distorting effect of wave aberrations on the image in coherent and incoherent cases is implemented. It is shown that the defocusing can be compensated by using not only the cubic phase distribution, but also with other types of asymmetric phase functions, including fractional power. In the latter case apodization of imaging system provides a smooth character of optical transfer function, which can be useful for recovery the encoded image.

Key words: imaging system, coherent and incoherent radiation, increasing the focal depth, the asymmetric phase distribution.

Сведения об авторе Хонина Светлана Николаевна – см.стр. 356 этого номера

В редакцию поступила 30 июня 2012 г.