

# Анализ спектра изображения для диагностики искажающего оператора

П.А. Чочиа<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Институт проблем передачи информации РАН, Большой каретный 19, Москва, Россия, 127051

**Аннотация.** Изучается проблема диагностики искажения по полученному изображению. Исследуются вопросы определения типа и параметров линейных однородных операторов свертки трех видов: круговой формы прямоугольного профиля, круговой формы Гауссова профиля и линейной формы прямоугольного профиля. Для идентификации искажений применяется анализ *среднего радиального профиля* амплитуды спектра изображения. Предложены и исследованы алгоритмы диагностики для каждого из рассматриваемых типов искажений. Показано влияние шума и точности представления данных на достоверность результатов анализа.

## 1. Введение

Качество регистрируемых изображений определяется параметрами оптических систем и условиями съемки. Чаще всего искажения вызываются неточностями фокусировки, взаимными смещениями наблюдаемой сцены и устройства регистрации, рассеянием излучения в среде прохождения сигнала. Если известны характеристики камеры, ее положение и движение по отношению к объекту съемки, оптические свойства среды и пр., то возможно вычисление функции рассеяния точки и решение задачи восстановления сигнала. На практике эти данные известны редко. Зачастую удается лишь предполагать класс возможных дефектов, в то время как конкретные параметры искажений, требуемые для формирования восстанавливающего оператора, остаются неизвестными и могут быть установлены лишь по наблюдаемому сигналу. Поэтому актуальным является диагностика искажений по наблюдаемому изображению.

Проблеме диагностики искажающего оператора по полученному сигналу, так называемой задаче «слепого оценивания», посвящено много исследований. Основная их часть касается вопросов оценки параметров линейного сглаживания в результате сдвига наблюдаемой сцены относительно устройства регистрации [1]–[3]. Существенно меньшая часть работ посвящена определению параметров кругового рассеяния [4],[5], в том числе и неоднородного [6], и совсем малая — вопросам оценки параметров Гауссова рассеяния [7]. Несмотря на обилие публикаций по указанной тематике, проблема определения типа и параметров искажения остается к данному моменту еще недостаточно изученной.

В настоящей работе мы ограничимся вопросами диагностики по полученному искаженному изображению типа и параметров линейных однородных операторов свертки, задаваемых двумерными функциями следующих трех видов: круговой формы прямоугольного профиля (круговое рассеяние), круговой формы Гауссова профиля (Гауссово рассеяние) и линейной формы прямоугольного профиля (линейный смаз). Первые два типа сглаживающих операторов

имеют круговую симметрию, а последний является анизотропным. Эти качества будут использованы при анализе.

## 2. Линейный искажающий оператор

Получаемое изображение  $f(x,y)$  может рассматриваться как результат процесса регистрации, осуществляемого некоторой системой формирования, описываемого уравнением

$$f(x, y) = \gamma \left\{ \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} g(u, v) h(x, y, u, v) du dv \right\} + \xi(x, y), \quad -\infty < (x, y) < \infty.$$

Здесь  $g(u, v)$  — исходный сигнал наблюдаемой сцены,  $h(x, y, u, v)$  — искажающий оператор,  $s\{\cdot\}$  задает нелинейность системы регистрации, а  $\xi$  — некоррелированный случайный шум.

Считая импульсный отклик однородным,  $h(x, y, u, v)$  будет функцией разности аргументов:  $h(x-u, y-v)$ . Пренебрегая нелинейностями  $\gamma\{\cdot\}$ , получим более удобный интеграл свертки:

$$f(x, y) = \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} g(u, v) h(x-u, y-v) du dv + \xi(x, y), \quad -\infty < (x, y) < \infty, \quad (1)$$

где  $h(x, y)$  — функция рассеяния точки (ФРТ), называемая также апертурой сглаживания.

Согласно теореме о свертке, уравнение (1) можно записать как произведение спектров сигнала  $G(\omega)$  ( $\omega = \{\omega_x, \omega_y\}$ ) и функции рассеяния  $H(\omega)$  в сумме со спектром шума  $\Xi(\omega)$ :

$$F(\omega) = H(\omega)G(\omega) + \Xi(\omega). \quad (2)$$

Амплитуды спектров реальных исходных изображений  $G(\omega)$ , вообще говоря, не обладают какими-то специфическими свойствами [8], поэтому по их спектрам удается сделать лишь общие заключения о характеристиках изображения [9],[10]. Спектр случайного шума  $\Xi(\omega)$  можно считать равномерным. Спектры же искажающих операторов  $H(\omega)$  и изображений  $G(\omega)$  существенно различаются. Согласно (2), отличительные черты  $H(\omega)$  переносятся в спектры искаженных изображений  $F(\omega)$  [11],[12]. Тем самым, если  $H(\omega)$  имеет специфическую амплитудно-частотную характеристику, то эти особенности могут быть обнаружены в спектре  $F(\omega)$  и использованы для диагностики типа и параметров искажающего оператора.

Искажающий оператор определяется ядром  $h(x, y)$  в (1). В реальности  $h(x, y)$  — функция с конечным носителем эффективного размера  $d_h$ , и  $h(x, y) = 0$  при  $(|x|, |y|) \geq d_h$ . Но изображение реальной сцены задано на всей плоскости и является пространственно не ограниченной функцией. Отсюда, если  $h(x, y)$  пространственно ограничена, то спектр полученного изображения будет характеризоваться упорядоченным расположением нулей на плоскости  $(\omega_x, \omega_y)$ . Найдя характерные особенности  $F(\omega)$ , можно определить тип и параметры искажающего оператора.

## 3. Средний радиальный профиль спектра

Ограничимся вопросами диагностики параметров линейных пространственно-инвариантных искажений, описываемых (1). Два из трех рассматриваемых ниже искажающих операторов имеют круговую симметрию. Значит, любое центральное сечение спектра в одинаковой мере несет информацию об особенностях такого искажения. Но каждое из сечений содержит и часть информации о сигнале изображения, которую желательно подавить. Для этого сформируем *средний радиальный профиль* спектра изображения  $P(\omega)$ , вычисляемый следующим образом.

Пусть  $M(\omega, \varphi)$  — значение амплитуды спектра  $F(\omega_x, \omega_y)$  в полярных координатах. Усреднив  $M(\omega, \varphi)$  по  $\varphi$ , получим среднее значение амплитуды спектра по каждому из значений частоты  $\omega$ :

$$P(\omega) = \int_{\varphi} M(\omega, \varphi) d\varphi / 2\pi\omega. \quad (3)$$

В дискретном виде данное соотношение запишется следующим образом:

$$P(\omega) = \sum_{C(\omega)} M(\omega_x, \omega_y) / N(\omega). \quad (4)$$

Здесь  $C(\omega)$  — кольцо радиуса  $\omega$  и ширины  $\Delta\omega$ , центрированное в точке нулевых спектральных координат,  $(\omega_x, \omega_y) \in C(\omega)$ ;  $M(\omega_x, \omega_y)$  — значение амплитуды спектра в точке  $(\omega_x, \omega_y)$ , а  $N(\omega)$  — число точек в кольце  $C(\omega)$ . Назовем функцию  $P(\omega)$  *средним радиальным профилем* амплитуды спектра изображения. Эксперименты показали, что форма  $P(\omega)$  мало зависит от сюжета выбранного изображения при условии его «хорошего качества».

#### 4. Круговое рассеяние

Центрированный оператор кругового рассеяния прямоугольного профиля радиуса  $r$  имеет вид:

$$h_c(x,y) = \begin{cases} 1/(\pi r^2) & x^2 + y^2 \leq r^2; \\ 0 & \text{в остальных точках.} \end{cases} \quad (5)$$

Оператор  $h_c(x,y)$  в сечении является прямоугольным сглаживающим импульсом. Амплитудная характеристика спектра одномерного, единичного на отрезке  $\pm r$  импульса имеет вид:

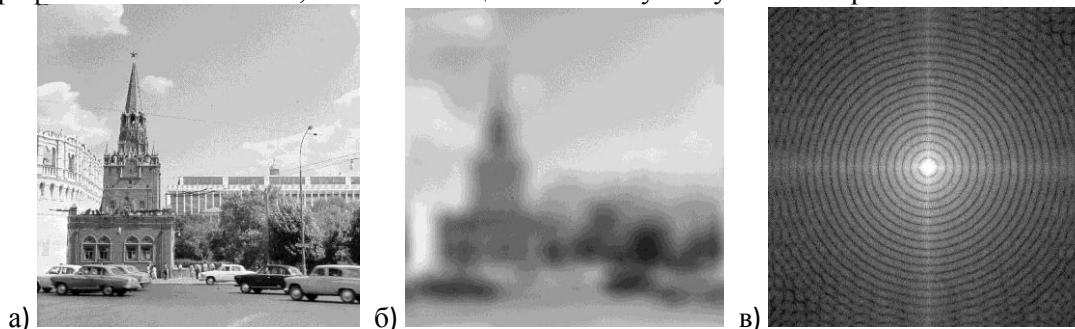
$$S(\omega) = 2r |\sin(\omega r)| / (\omega r). \quad (6)$$

Функция (6) имеет нули в точках  $\omega = \pm n\rho$ , где  $\rho = \pi/r$ ,  $n = 1, 2, \dots$ , которые будут присутствовать и в двумерном спектре изображения, формируя концентрические кольца соответствующих радиусов. Диагностика искажения сводится к определению периода  $\rho$  и вычислению радиуса рассеяния  $r$ . Для этого может использоваться «кепстральное» преобразование сигнала [13],[14]:

$$C(q_1, q_2) = |\Phi \{ \log |S(\omega_x, \omega_y)|^2 \}|. \quad (7)$$

Здесь  $|\cdot|$  — амплитуда сигнала, а  $\Phi\{\cdot\}$  — преобразование Фурье. По сути, кепстр представляет собой энергетический спектр функции  $\log |S(\omega)|^2$ .

На рисунке 1(а) показано изображение размерами  $512 \times 512$  элементов; на (б) — результат его искажения оператором (5) с  $r=20$  элементов. На (в) — амплитуда спектра изображения (б) в логарифмическом масштабе; темные кольца соответствуют нулям спектра.



**Рисунок 1.** а) Исходное изображение; б) сглаживание круговым рассеянием с  $r=20$  элементов; в) амплитуда спектра изображения (б).

Диагностику искажения можно проводить как на основе амплитуды спектра изображения (рисунок 1,в), так и на основе кепстра. Как показали эксперименты, второй вариант весьма чувствителен к точности данных и шуму. Более устойчивыми к искажениям сигнала являются амплитуда спектра и средний радиальный профиль амплитуды спектра изображения (4).

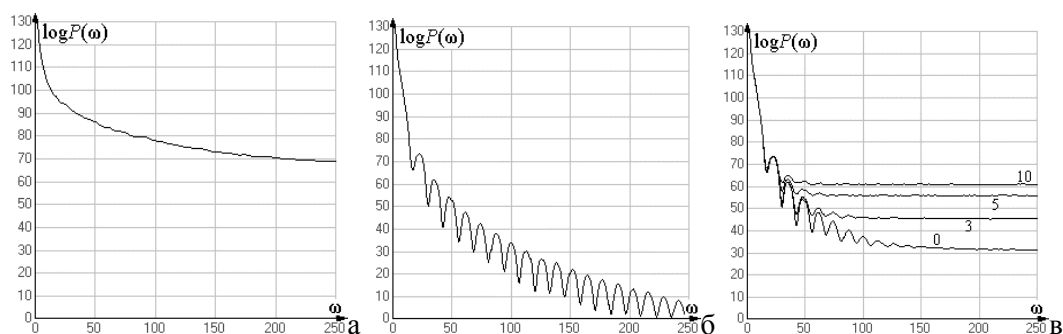
Структуру спектра (рисунок 1,в) удобно анализировать с помощью среднего радиального профиля амплитуды спектра  $P(\omega)$ , вычисляемого согласно (4). Период  $\rho$  находится как точка максимума функционала

$$\rho_c = \arg \max_{\rho_{\min} \leq \rho \leq \rho_{\max}} \left( \frac{1}{[W/\rho]-1} \sum_{n=1}^{[W/\rho]-1} (P(n\rho + \rho/2) - P(n\rho)) \right), \quad (8)$$

где  $W$  — размер изображения, а  $[\cdot]$  — взятие целой части. Если вариация  $P(\omega)$  не превышает размаха  $P(\omega)$  более чем на некоторый порог, то считается, что кругового рассеяния не обнаружено. Найдя  $\rho_c$ , радиус рассеяния  $r_c$  вычисляется как

$$r_c = W/\rho_c. \quad (9)$$

Проводились эксперименты по анализу устойчивости алгоритма к искажениям изображения. Для этого точность сигнала сглаженного изображения снижалась до 256 градаций, а затем наносился Гауссов шум. Результаты показаны на рисунке 2, где приведены средние радиальные профили амплитуды спектров изображений рисунка 1. Исходному изображению (рисунок 1,а) соответствует график 2,а; сглаженному круговым рассеянием (5) с  $r=20$  элементов (рисунок 1,б) — график 2,б. На 2,в показаны следующие варианты изменения графика 2,б: 0 — уменьшение точности до 256 градаций; 3-10 — дополнительное искажение Гауссовым шумом с СКО 3, 5 и 10 градаций яркости (кривые 3, 5 и 10 соответственно).



**Рисунок 2.** а) Графики среднего радиального профиля спектра изображения: а) исходного (рисунок 1,а); б) сглаженного (рисунок 1,б); в) точность 256 градаций и добавление Гауссова шума: 0 – без шума, 3 – шум  $\sigma=3$  градаций, 5 – шум  $\sigma=5$  градаций, 10 – шум  $\sigma=10$  градаций.

### 5. Гауссово рассеяние

Оператор Гауссова рассеяния с круговой симметрией, центрированный в нуле, имеет вид:

$$h_G(x,y) = C \exp\{-(x^2+y^2)/2\sigma^2\}. \quad (10)$$

Функция  $h_G(x,y)$  не ограничена пространственно и в любом сечении имеет профиль нормального распределения. Фурье-спектр изображения, сглаженного Гауссовым рассеянием, будет:

$$F(\omega_x, \omega_y) = C \exp\{-(x^2+y^2)/2\sigma^2\} G_M(\omega) + \Xi(\omega_x, \omega_y).$$

Вычислив среднее значение радиального профиля амплитуды (4), получим:

$$P(\omega) = C \exp\{-\omega^2/2\sigma^2\} G_M(\omega) + \Xi_M(\omega). \quad (11)$$

Здесь  $G_M(\omega)$  и  $\Xi_M(\omega)$  — средние значения амплитуд спектра сигнала наблюдаемой сцены и спектра аддитивного некоррелированного случайного шума пространственной частоты  $\omega$ .

Первое слагаемое в (11) спадает достаточно быстро с ростом  $\omega$ , а второе можно считать постоянным, причем мощность шума не превышает нескольких процентов мощности сигнала. В пространстве  $\omega$  удастся выделить две области, различающиеся соотношениями слагаемых. При больших  $\omega$ , когда  $C \exp\{-\omega^2/2\sigma^2\} G_M(\omega) < \Xi_M(\omega)/2$ , для амплитуды спектра можно записать:

$$\log P(\omega) \approx \log \Xi_M(\omega) \approx C_1,$$

т.е. в этом случае значения  $\log P(\omega)$  близки к константе, определяемой уровнем шума  $\Xi_M$ . В области малых  $\omega$ , когда  $C \exp\{-\omega^2/2\sigma^2\} G_M(\omega) > 2\Xi_M(\omega)$ ,

$$\log P(\omega) \approx -\omega^2/2\sigma^2 + \log G_M(\omega) + C_2 = A(\omega) + B(\omega) + C. \quad (12)$$

Здесь первая составляющая,  $A(\omega) = -\omega^2/2\sigma^2$ , определяется Гауссовым рассеянием, вторая,  $B(\omega) = \log G_M(\omega)$ , зависит от конкретного изображения, а  $C$  — константа.

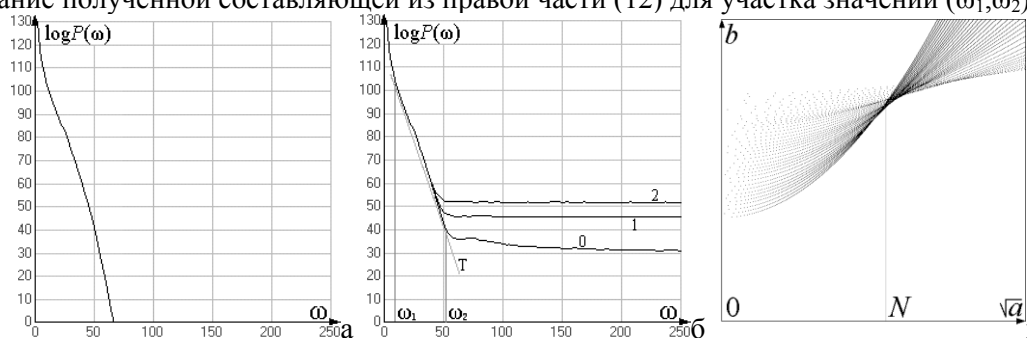
Оценка Гауссова рассеяния сводится к определению значения  $\sigma$ , задающего форму  $A(\omega)$  в (12). Для этого необходимо найти способ оценки параметров одного из сигналов по смеси двух. Компонента  $B(\omega)$  зависит от конкретного изображения. Анализ реальных изображений показал, что на протяжении интересующего диапазона  $\omega$  (кроме области малых  $\omega$ )  $B(\omega)$  выпукла вниз. С другой стороны, составляющая  $A(\omega)$  описывается формулой  $y = -ax^2 + b$  и всюду выпукла вверх. Эксперименты с искажением изображений оператором (10) показали, что на рассматриваемом участке  $\omega$  амплитуда выпуклости  $A(\omega)$  выше, чем у  $B(\omega)$ , в результате чего на кривой  $\log P(\omega)$  удастся найти участок  $(\omega_x, \omega_y)$ , где  $\log P(\omega)$  выпукла вверх.

Это означает, что на графике среднего радиального профиля амплитуды спектра  $\log P(\omega)$  изображения, искаженного Гауссовым круговым рассеянием, при малых  $\omega$  должен быть участок, близкий функции  $y = -ax^2 + b$ , где  $a = 1/(2\sigma^2)$ . Для нахождения значений  $a$  и  $b$  воспользуемся преобразованием Хафа [9],[15], отображающим анализируемое множество точек в пространство параметров функции, в котором формируется диаграмма накопления. Тем самым, если на графике среднего радиального профиля амплитуды спектра имеется участок, соответствующий параболе вида  $-ax^2 + b$ , то на диаграмме Хафа получим экстремум (узловую точку) с координатами, равными  $a$  и  $b$ . Зная  $a$ , дисперсия Гауссова сглаживания находится как

$$\sigma_G = 1/\sqrt{2a}. \quad (13)$$

Важнейшим является выбор участка среднего радиального профиля амплитуды спектра, участвующего в анализе. Для этого отыскивается касательная снизу к начальной части графика

(линия ‘Г’ на рисунке 3,б). Точки ее касания с кривой ( $\omega_1$  и  $\omega_2$ ) задают границы используемого участка. Если обнаруживается лишь одна точка касания (т.е.  $\log P(\omega)$  всюду выпукла вниз), либо значения  $\omega_1$  и  $\omega_2$  излишне близки, считается, что Гауссова рассеяния не обнаружено. При таком способе оценки значения  $a$  и  $b$  будут искажены влиянием не устраненной составляющей  $B(\omega)$  в (12). Это приведет к уменьшению кривизны  $\log P(\omega)$ , и, как следствие, к завышению искомого значение  $a$ . Поэтому представляется перспективным оценка некоторой средней формы  $\log G_M(\omega)$  по представительному набору изображений хорошего качества и вычитание полученной составляющей из правой части (12) для участка значений ( $\omega_1, \omega_2$ ).



**Рисунок 3.** Графики среднего радиального профиля спектра при Гауссовом сглаживании (10) с  $\sigma=5$  пикселей: а) — точное, б) — точность 256 градаций (0) и добавление Гауссова шума с СКО 1 и 2 градации; в) — диаграмма накопления Хафа для участка ( $\omega_1, \omega_2$ ) профиля 0 на (б).

Рисунок 3 иллюстрирует анализ изображения (рисунок 3,а) искаженного Гауссовым сглаживанием (10) с  $\sigma=5$  пикселей. На (а) показан средний радиальный профиль амплитуды спектра при точном сглаживании, на (б) — его изменения при уменьшении точности до 256 градаций: 0 — без дополнительного шума, 1 и 2 — при нанесении Гауссова шума с СКО 1 и 2 градации соответственно. Рисунок (г) — диаграмма накопления в пространстве параметров Хафа для сглаженного изображения с точностью дискретизации 256 градаций, вычисленную по участку ( $\omega_1, \omega_2$ ) профиля 0 на (б). Символом  $N$  отмечена узловая точка. Найденное значение дисперсии составило 5,45 градаций. Отличие в 9% от дисперсии реального сглаживания (5 градаций) объясняется влиянием не устраненной составляющей  $B(\omega)$  в (12), которое обсуждалось выше.

### 6. Линейный смаз

Линейный смаз вызывается равномерным прямолинейным смещением устройства регистрации и наблюдаемой сцены. Параметрами являются направление смещения  $\alpha$  ( $0 \leq \alpha < 2\pi$ ) и величина смещения  $r$ . Централно-симметричный оператор линейного смаза описывается формулой:

$$h_s(x,y) = \begin{cases} 1/r & y = x \tan \alpha, \quad x^2 + y^2 \leq r^2/4; \\ 0 & \text{в остальных точках.} \end{cases} \quad (14)$$

Оператор означает свертку сигнала изображения с отрезком длины  $r$ , ориентированным под углом  $\alpha$ . Амплитуду спектра оператора (14) можно записать в виде

$$S(\omega_x, \omega_y) = 2|\sin(\Omega r/2)|/(\Omega r/2), \quad \text{где } \Omega = \sqrt{\omega_x^2 + \omega_y^2} \cos(\alpha - \arctan(\omega_y/\omega_x)). \quad (15)$$

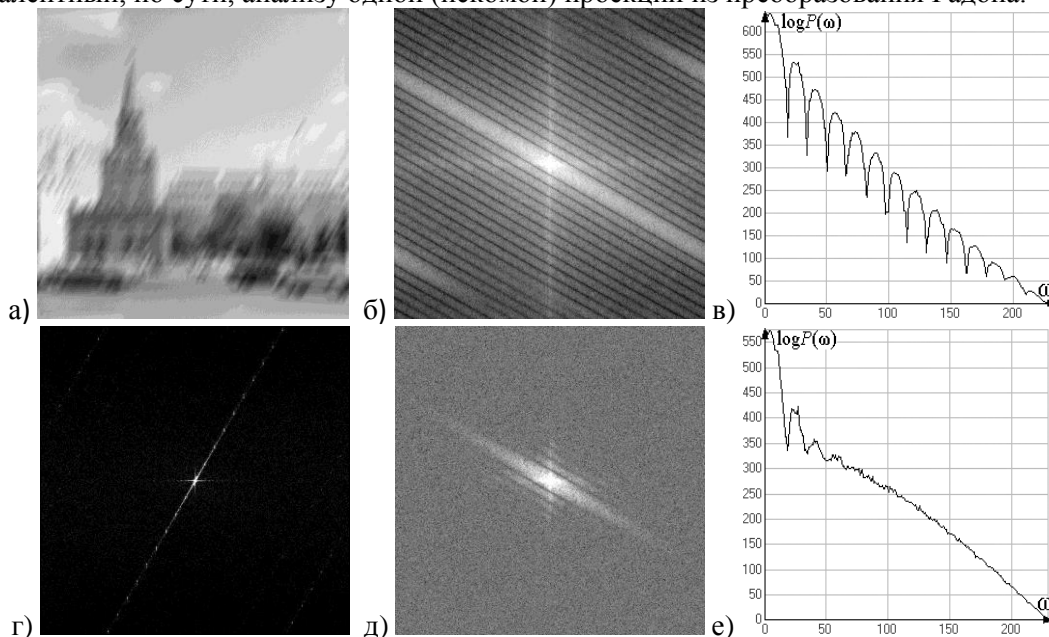
Таким образом,  $S(\omega_x, \omega_y)$  выглядит как набор полос, перпендикулярных направлению смаза  $\alpha$  и имеющих период  $W/r$ , где  $W$  — размер изображения, а  $r$  — величина смаза. Профиль сечения  $S(\omega_x, \omega_y)$  в направлении, перпендикулярном  $\alpha$ , имеет вид  $|\sin x|/x$ . Для диагностики подобных искажений в некоторых работах предлагается применять преобразование Радона [2]. Мы же предлагаем использовать значения  $C(q_1, q_2)$ , получаемые кепстральным преобразованием (7).

Если изображение искажено смазом, то в его спектре будут присутствовать полосы нулей, а в кепстре появится проходящая через начало координат линия повышенных значений с множеством локальных максимумов. Данная линия перпендикулярна полосам спектра, т.е. совпадает с направлением смаза изображения и обнаруживается анализом кепстра в полярных координатах  $(\alpha, q)$ , где  $\alpha$  — угол, а  $q$  — расстояние от центра. Угол  $\alpha_{Res}$  соответствует максимуму интеграла вдоль прямой, проходящей через центр под углом  $\alpha$ :

$$\alpha_{Res} = \arg \max_{\alpha} \int_q C_S(\alpha, q) dq, \tag{16}$$

Если значение интеграла в правой части (16), соответствующего  $\alpha_{Res}$ , не превосходит среднего значения данного интеграла по всем  $\alpha$  на некоторый задаваемый порог, то считается, что линейного смаза не обнаружено.

Экстремумы на обнаруженной в кепстре линии расположены с периодом  $r$ , равным размеру смаза, что в принципе позволяет определить одновременно и направление и величину смаза. Но из-за шума экстремумы оказываются слабо выраженными, а найденные по ним значения — недостаточно достоверными. Более устойчив следующий способ определения периода полос, эквивалентный, по сути, анализу одной (искомой) проекции из преобразования Радона.



**Рисунок 4.** а) Изображение на рисунке 1,а, искаженное линейным смазом; б) спектр (а) в логарифмическом масштабе; в) профиль амплитуды спектра; г) кепстр изображения (б); д) спектр (а) с Гауссовым шумом  $\sigma=7$  градаций; е) профиль амплитуды спектра (д).

Найдя направление смаза  $\alpha_{Res}$ , а значит и ортогональное ему направление полос спектра  $\psi$ , по значениям логарифма амплитуды  $\log |S(\omega_x, \omega_y)|$  вычисляются средние значения  $P_{\alpha}(q)$  вдоль линий  $L_{\psi, q}$ , проходящих через точки  $(\alpha, q)$  в направлении  $\psi$ , ортогональном  $\alpha_{Res}$ :

$$P_{\alpha}(q) = \frac{1}{L} \int_{l \in L_{\psi, q}} \log |S(\omega_x, \omega_y)| dl, \quad (\omega_x, \omega_y) \in L_{\psi, q}. \tag{17}$$

Здесь  $L$  — длина линии  $L_{\psi, q}$  в пределах пространства спектра, а  $\omega_x$  и  $\omega_y$  задаются следующим образом:  $\omega_x = q \cos \alpha + l \sin \alpha$  и  $\omega_y = q \sin \alpha - l \cos \alpha$ . Затем, аналогично (8), по вычисленным значениям  $P_{\alpha}(q)$  находится период полос  $\rho_L$  как точка максимума функционала:

$$\rho_L = \arg \max_{\delta_{min} \leq \delta \leq \delta_{max}} \left( \frac{1}{n} \sum_{n=1}^{n(\delta+1) < W/2} (P_{\alpha}(n\delta + \delta/2) - P_{\alpha}(n\delta)) \right). \tag{18}$$

Получив значение периода  $\rho_L$ , и зная размер изображения  $W$ , вычисляется величина смаза  $r_S$ :

$$r_S = W/\rho_L. \tag{19}$$

Рисунок 4 иллюстрирует процесс анализа. На 4,а показано изображение (рисунок 1,а), искаженное линейным смазом под углом 60 градусов и размером 32 пикселя. На 4,б — спектр изображения 4,а в точном виде (в логарифмическом масштабе), а на 4,д — при уменьшении точности сглаженного изображения до 256 градаций и нанесении Гауссова шума с СКО  $\sigma=7$  градаций. На 4,г показан кепстр (7) изображения 4,б, а на 4,в и 4,е — зависимости  $P_{\alpha}(q)$  в (18), т.е. средние профили полос амплитуд спектров.

## 7. Выводы

Исследованы так называемые «слепые» методы диагностики, когда кроме полученного сигнала не имеется никакой дополнительной информации о возможных искажениях и их наличии. Предложены алгоритмы, позволяющие по наблюдаемому изображению обнаруживать искажения и определять параметры линейных однородных искажающих операторов трех видов: кругового рассеяния, Гауссова рассеяния и линейного смаза. Эксперименты показали достаточно высокую точность идентификации вида и параметров искажения, а также устойчивость алгоритмов к уровню дискретизации сигнала и добавлению шума.

## 8. Литература

- [1] Tiwari, S. Review of Motion Blur Estimation Techniques / S. Tiwari, V.P. Shukla, A.K. Singh // *Journal of Image and Graphics*. – 2013. – Vol. 1(4). – P. 176-184.
- [2] Dash, R. Motion Blur Parameters Estimation for Image Restoration / R. Dash, B. Majhi // *Optik*. – 2014. – Vol. 125. – P. 1634-1640.
- [3] Song, Y.X. Parameter Estimation and Restoration of Motion Blurred Image / Y.X. Song, Y.M. Zhang // *Applied Mechanics and Materials*. – 2014. – Vol. 608-609. – P. 855-859.
- [4] Oliveira, J.P. Parametric Blur Estimation for Blind Restoration of Natural Images: Linear Motion and Out-of-Focus / J.P. Oliveira, M.A. Figueiredo, J.M. Bioucas-Dias // *IEEE Trans. Image Process.* – 2014. – Vol. 23(1). – P. 466-477.
- [5] Liang, M. Parameter Estimation for Defocus Blurred Image Based on Polar Transformation / M. Liang // *Rev. Tec. Ing. Univ. Zulia*. – 2016. – Vol. 39(1). – P. 333-338.
- [6] Zhu, X. Estimating Spatially Varying Defocus Blur From a Single Image / S. Cohen, S. Schiller, P. Milanfar // *IEEE Trans. Image Processing*. – 2013. – Vol. 22(12). – P. 4879-4891.
- [7] Gajjar, R. Defocus Blur Parameter Estimation Technique / R. Gajjar, A. Pathak, T. Zaveri // *Int. J. Electronics and Communication Engineering & Technology (IJECET)*. – 2016. – Vol. 7(4). – P. 85-90.
- [8] Оппенхайм, А.В. Важность фазы при обработке сигналов / А.В. Оппенхайм, Дж.С. Лим // *ТИИЭР*. – 1981. – Т. 69, № 5. – С. 39-54.
- [9] Прэтт, У. Цифровая обработка изображений / Т. 1-2. – М.: Мир, 1982.
- [10] Гонсалес, Р. Цифровая обработка изображений / Р. Гонсалес, Р. Вудс. – М.: Техносфера, 2012.
- [11] Милюкова, О.П. Априорная информация в задачах восстановления / О.П. Милюкова // *Компьютерная оптика*. – 1995. – Т. 14-15, № 1. – С. 148-55.
- [12] Милюкова, О.П. Использование метрических и топологических характеристик изображения для диагностики искажений в задаче восстановления сигнала / О.П. Милюкова, П.А. Чочиа // *Информационные процессы*. – 2017. – Т. 17, № 4. – С. 236-244.
- [13] Noll, M.A. Cepstrum Pitch Determination / M.A. Noll // *J. Acoustical Society of America*. – 1967. – Vol. 41(2). – P. 293-309.
- [14] Wu, S. Blind Image Blur Identification in Cepstrum Domain / S. Wu, Z. Lu, E.P. Ong, W. Lin // *Proc. of 16th Int. Conf. Computer Communications and Networks*. – 2007. – P. 1166-1171.
- [15] Duda, R.O. Use of the Hough Transformation to Detect Lines and Curves in Pictures / R.O. Duda, P.E. Hart // *Comm. ACM*. – 1972. – Vol. 15. – P. 11-15.

# Image Spectrum Analysis for Distortion Operator Diagnostic

P.A. Chochia<sup>1</sup>

<sup>1</sup>ИИП РАС – Institute for information transmission problem RAS, Bolshoy karetny 19, Moscow, Russia, 127051

**Abstract.** The problem of estimating the distortion type and parameters on the basis of observed image (the “blind estimation” task) is researched. We explore the questions of diagnostic the linear homogeneous convolution operators of three defocus types: circular form with rectangular profile, circular form with Gaussian profile, and motion blur ones. The so-called *average radial profile* of the image spectrum is used for distortion identification. The diagnostic and parameters estimation algorithms for every considered distortion types are proposed and researched. The influence of the noise and the data accuracy to the reliability of the results is demonstrated.