

## ОБРОБКА РЕЗУЛЬТАТІВ ФІЗИЧНИХ ЕКСПЕРИМЕНТІВ

УДК 535.317.1

### КОРРЕКЦИЯ ИСКАЖЕНИЙ ИЗОБРАЖЕНИЯ, ОБУСЛОВЛЕННЫХ РАВНОМЕРНЫМ СДВИГОМ

Е.Д. Прилепский

(Харьковский университет Воздушных Сил им. И. Кожедуба)

*Рассмотрена задача коррекции изображения, искаженного прямолинейным равномерным сдвигом. Построен корректирующий оператор и исследовано влияние шумов в измеренном смазанном изображении на возможности его коррекции.*

*изображение, искаженное сдвигом; корректирующий оператор*

**Постановка проблемы и анализ литературы.** Среди задач обработки изображений особое место занимают задачи коррекции изображений, которые подвергались искажениям в результате неточного наведения оптической системы. Характерным примером таких искажений является смазывание, связанное с погрешностями отслеживания объекта. При малых величинах экспозиции приближение равномерного прямолинейного смазывания является весьма точным [1]. Постановка задачи линейного смазывания предполагает, что в течение регистрации изображения объект и оптическая система линейно и равномерно двигались друг относительно друга. В этом случае измерительной аппаратурой регистрируется искаженное изображение, связанное с неискаженным (исходным) изображением уравнением первого рода типа свертки [2]. Одна из трудностей коррекции искажений, вызванных прямолинейным равномерным сдвигом, методом инверсной фильтрации [3, 4] связана с тем, что корректирующий фильтр для такого искажения принимает бесконечные значения на дискретном множестве точек области пространственных частот. В случае коррекции это приводит к появлению ложных контуров в скорректированном изображении, которые обусловлены повышенным уровнем ошибок. В настоящее время существу-

ют методы нахождения решения таких уравнений, устойчивые к ошибкам в исходных данных, называемые методами регуляризации. Однако параметр регуляризации, т.е. степень близости точного и регуляризированного операторов задачи, задается априори и не связан непосредственно с исходной задачей.

**Целью настоящей статьи** является разработка условно устойчивого к некоррелированному шуму регуляризированного метода коррекции изображений, искаженных смазом.

**Основные соотношения и формулировки.** Рассмотрим одномерную задачу, что снижает громоздкость выкладок, а обобщение на двумерный случай не вызывает принципиальных затруднений. При линейном смазывании регистрируемое изображение  $f(x)$  связано с исходным  $g(x)$  уравнением [1]

$$\int_{-\infty}^{\infty} S(x' - x) g(x) dx = f(x'), \quad x' \in D, \quad (1)$$

где  $S(x)$  – аппаратная функция системы, отражающая сглаживающие свойства системы;  $D$  – область определения искаженного изображения.

В случае прямолинейного равномерного смазывания аппаратная функция имеет вид [1]

$$S(x) = \begin{cases} 0; & x < 0, x > T, \\ T^{-1}; & 0 < x < T, \end{cases}$$

где величина смаза  $T = \tau v$  ( $\tau$  – время экспонирования,  $v$  – скорость сканирования изображения).

В соответствии с методом работы [5] рассмотрим равномерно дискретизированное с интервалом  $\Delta x$  смазанное изображение  $f(x'_n) = f_n$ :

$$\int S(x'_n - x) g(x) dx = f(x'_n) = f_n, \quad x'_n \in D, \quad (2)$$

и будем считать систему функций  $S(x'_n - x) = S_n(x)$  линейно независимой. Тогда решение уравнений (2) имеет вид [5]

$$F(x) = F[(n + \gamma)\Delta x] = \sum_{n'} Q_{n-n'}(\gamma) f_{n'}, \quad (3)$$

где 
$$Q_1(\gamma) = (2\pi)^{-1} \int_{\Omega} \left( \int_0^1 |H(\omega, \gamma')|^2 d\gamma' \right)^{-1} H(\omega, \gamma) \exp(i\omega \Delta x) d\omega, \quad (4)$$

$n$  и  $\gamma$  – целая и дробная части  $x \Delta x^{-1}$ , т.е.  $x = (n + \gamma) \Delta x$ ;  $\Omega$  – область пространственных частот:  $|\omega| \leq \pi \Delta x^{-1}$ ,

$$H(\omega, \gamma) = \sum_n S[(n - \gamma)\Delta x] \exp(-i\omega n \Delta x) - \quad (5)$$

передаточная функция (ПФ) системы.

Дисперсия погрешности восстановления изображения, вызванная аддитивным шумом, для случая некоррелированной стационарной помехи равна

$$\sigma_F^2 = K\sigma^2, \quad (6)$$

где коэффициент генерации шума при коррекции изображения

$$K = (2\pi\Delta x)^{-1} \int_{\Omega} \left( \int_0^1 |H(\omega, \gamma)|^2 d\gamma \right)^{-1} d\omega, \quad (7)$$

$\sigma^2$  – дисперсия аддитивного шума в измеренном изображении  $f(x')$ .

Анализ показывает, что коэффициент генерации шума  $K$  (7) минимален при величине смаза  $T = (N + 1/2)\Delta x$ , где  $N$  – целая часть  $T\Delta x^{-1}$ . Для этой величины смаза получаем коэффициенты  $Q_1(\gamma)$  (4) и  $K$  (7) в виде:

$$Q_1(\gamma) = 2(2N + 1)\pi^{-1} \int_0^{\pi} \frac{\cos[(1 + 2l)/2 + N] \sin[x/2] \sin[Nx/2]}{\{2 - \cos[Nx] - \cos[(1 + N)x]\}} dx, \quad (8)$$

$$K = 2(2N + 1)^2 (2\pi)^{-1} \int_0^{\pi} \frac{\sin[x/2] dx}{\{2 - \cos[Nx] - \cos[(1 + N)x]\}}, \quad (9)$$

Из выражения (8) видно, что  $Q_1(\gamma)$  – четная функция  $l$  относительно середины интервала смаза –  $(N + 1)/2$  и убывает с ростом  $l$ . Это означает, что при коррекции смаза участвуют изображения, сдвинутые на расстояние нескольких смазов  $T$ . Из выражения (9) видно, что реально значение  $N$  должно быть не очень велико, так как иначе получается сверхразрешение (т.е.  $\Delta x \ll T$ ) и большая помеха  $K \sim N^2$  в скорректированном изображении.

На рис. 1 представлены примеры коррекции смазанного изображения при различном уровне шумов.

Исходное изображение – две гауссоиды, сдвинутые относительно друг друга. Величина смаза  $T = 1,25$ ;  $N = 4$ ;  $\Delta x \cong 0,28$ . На рис. а – коррекция без шума, на рис. б и в – коррекция с шумом 5% и 10% от амплитуды сигнала соответственно.

Приведенные результаты показывают, что задача коррекции смазанного изображения оператором (3) может быть достаточно уверенно решена в случае достаточно высокого уровня шума.

**Выводы.** В предлагаемом методе коррекции смазанного изображения интервал дискретизации является естественным параметром регуляризации задачи. Он непосредственно связан с видом исходного изображения, аппаратной функцией системы и уровнем шума в измеренном изображении. Ограничить нарастание шума в скорректированном изображении можно, если интервал дискретизации  $\Delta x = T/(N + 1/2)$ , где  $T$  – величина смаза,  $N$  – целое число. Существенный для коррекции участок смазанного изображения

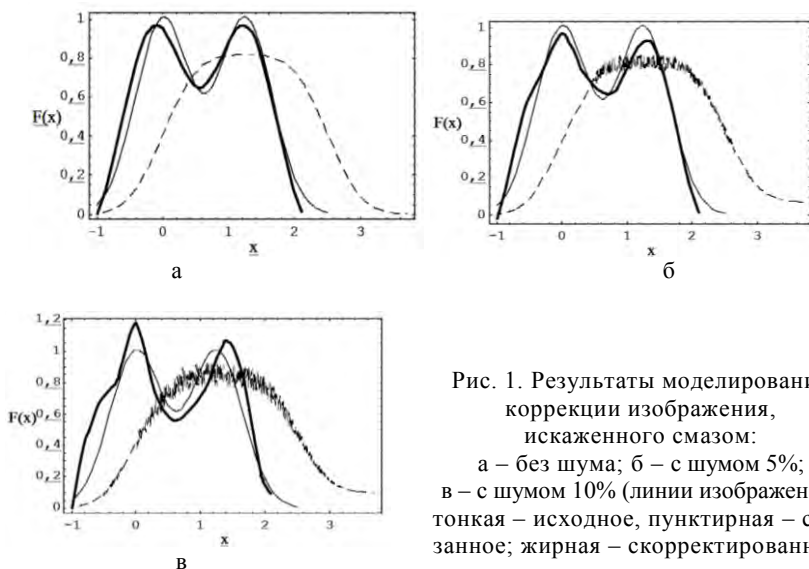


Рис. 1. Результаты моделирования коррекции изображения, искаженного смазом:  
 а – без шума; б – с шумом 5%;  
 в – с шумом 10% (линии изображений: тонкая – исходное, пунктирная – смазанное; жирная – скорректированное)

соответствует нескольким  $N\Delta x$ , так как при обработке амплитуда сдвинутых дискретных изображений быстро уменьшается.

Отметим, что предлагаемый метод коррекции изображения применим и при нечетком смазе. В реальных случаях  $N$  не очень велико (иначе возникает сверхразрешение и растет шум), поэтому возможно определение  $Q_1(\gamma)$  и  $K$  по формулам (8) и (9).

## ЛИТЕРАТУРА

1. Тихонов А.Н., Гончарский А.В., Степанов В.В., Кочкиков И.В. Некорректные задачи обработки изображений // ДАН СССР. – 1987. – Т. 294, № 4. – С. 832-837.
2. Тихонов А.Н., Арсенин В.Я. Методы решения некорректных задач. – М.: Наука, 1986. – 288 с.
3. Василенко Г.И., Тараторин А.М. Восстановление изображений. – М.: Радио и связь, 1986. – 304 с.
4. Обработка изображений и цифровая фильтрация. Пер. с англ. / Под ред. Т. Хаунга. – М.: Наука, 1979. – 318 с.
5. Прилепский Е.Д. Цифровое регуляризованное восстановление радиоизображений // Системы обработки информации. – Х.: XV ПС, 2005. – Вып. 3 (43). – С. 161-164.

Поступила 1.04.2006

**Рецензент:** доктор технических наук, профессор А.И. Стрелков  
 Харьковский университет Воздушных Сил им. И. Кожедуба.