Сравнение показывает, что результаты машинной и тщательной "ручной" обработки практически совпадают. Наблюдавшиеся иногда расхождения в несколько процентов связаны с погрешностью оператора при преобразовании кривых в цифровую форму на установке "Д-МАК".

А.Я. Смирнов, Г.Г. Меньшиков

КОРРЕКЦИЯ УСТРОЙСТВ ВВОДА-ВЫВОДА ИЗОБРАЖЕНИЙ НА ЭВМ

(Ленинград)

В большинстве практических случаях искажения изображений в устройствах ввода-вывода изображений для ЭВМ можно свести к линейной однородной пространственной фильтрации и добавлению аддитивного шума [1]. Импульсная характеристика пространственного фильтра $h(x,y)$ может отличаться от оптимальной (в том или ином смысле) импульсной характеристики $b(x,y)$. Для получения требуемой характеристики $b(x,y)$ последовательно с устройствами ввода-вывода могут включаться фильтры-корректоры. Импульсная характеристика корректора $z(x,y)$ определяется следующим уравнением свертки:

$$b(x,y)=\iint\limits_{(\varkappa)\,(\eta)} z(\varkappa,\eta)h(x-\varkappa,y-\eta)\,d\varkappa\, d\eta. \qquad (1)$$

Нас будет интересовать численное решение уравнения (1) или, другими словами, расчет $z(x,y)$ по заданным $h(x,y)$ и $b(x,y)$. При этом учтем, что численное решение задачи двумерной коррекции сводится к решению эквивалентной задачи одномерной коррекции [2]:

$$b(x)=\int_{-T_1}^{T_1} z(\varkappa)h(x-\varkappa)\,d\varkappa. \qquad (2)$$

Результатом расчета является совокупность отсчетов искомой характеристики корректора в точках дискретизации $i\Delta x$(i = 0, ±1, ±2, ..., ± L ; $L=T_1/\Delta x$). Предположим, что в результате некоторой интерполяции отсчетов $\tilde{z}_i$ получена функция $\tilde{z}(x)$ заданная во всех точках интервала $[-T_1, T_1]$. Свертка функций $\tilde{z}(x)$ и $h(x)$ по (2) в общем случае дает функцию $\tilde{b}(x)$, отличную от $b(x)$. Будем называть погрешностью расчета разность $\Delta b(x)=\tilde{b}(x)-b(x)$. Можно указать, по крайней мере, 3 известных источника погрешности $\Delta b(x)$: во-первых, дискретизацию и квантование дискретных значений функций $h(x), b(x)$ во-вторых, интерполяцию отсчетов $\tilde{z}_i$, в-третьих, погрешность задания (измерения) характеристики $h(x)$. Кроме того, имеется четвертый источник погрешности $\Delta b(x)$, рассмотрение которого является основной целью данной работы. Речь идет об отсутствии решения уравнение (2) в классе непрерывных функций с ограниченными областями задания.

Если функции $z(x)$ и $h(x)$ заданы в интервалах $[-T_1, T_1]$ и $[-T_2, T_2]$, то областью задания функции $b(x)$ по выражению (2) является интервал $[-T_1-T_2, T_1+T_2]$ [3]. В таком случае справедлива следующая теорема:

При некоторых положительных T_1 и T_2 существуют на $(-\infty, \infty)$ кусочно-непрерывные функции:

I) $h(t)$, удовлетворяющая условию

$$h(t)=0 \quad (t \notin [0, T_2]),$$

2) $b(t)$, удовлетворяющая условию

$$b(t)=0 \quad (t \notin [0, T_1+T_2])$$

такие, что уравнение

$$b(t)=\int_{-\infty}^{t} a(\tau)h(t-\tau)d\tau \tag{3}$$

не имеет решений $a(t)$ в классе непрерывных функций, удовлетворяющих условию

$$a(t)=0 \quad (t \notin [0, T_1]). \tag{4}$$

Доказательство. Положим $T_1=T_2=T>0$ и возьмем

$$h(t)=\begin{cases} 1, & t \in [0, T], \\ 0, & t \notin [0, T]. \end{cases}$$

При любом данном t условие $t-\tau \in [0, T]$, т.е. неравенство $0 \leqslant t-\tau \leqslant T$ равносильно следующему: $t-T \leqslant \tau \leqslant t$.

Поэтому уравнение (3) примет вид

$$b(t)=\int_{t-T}^{t} a(\tau)d\tau . \tag{5}$$

Допустим противное: выражение (3) имеет непрерывное решение $a(t)$, подчиненное условию (4). По непрерывности $a(t)$ функция $b(t)$ дифференцируема. Продифференцировав выражение (4), получаем

$$b'(t)=a(t)-a(t-T)$$

или

$$a(t)=b'(t)+a(t-T) \quad (6)$$

Теперь потребуем, чтобы

$b(t)=0 \ (0\leqslant t\leqslant T)$.

Тогда в равенстве (5) $b'(t)=0$, вследствие чего, согласно выражению (4), из равенства (6) получаем:

$a(t)=0 \ (0\leqslant t\leqslant T)$.

Тогда на $[T,2T]$ будет $a(t-T)=0$ и, согласно (6), $a(t)=b'(t)$.

Возьмем на $[T,2T]$ функцию $b(t)$ так, чтобы $b'(t)\neq 0$, т.е. при некотором $t_0 \notin (T,2T)$ будет $b'(t)\neq 0$.

Тогда по выражению (6) окажется

$a(t_0)\neq 0$.

Условие (4) нарушено, теорема доказана.

Применительно к практике расчета фильтров-корректоров доказанную теорему можно интерпретировать следующим образом. Если импульсные характеристики $h(x,y)$ и $b(x,y)$ имеющегося и требуемого фильтров заданы в ограниченных областях пространственных координат, то в общем случае невозможно найти характеристику корректора $z(x,y)$, свертка которой с характеристикой $h(x,y)$ по выражению (I) давала бы заданную характеристику $b(x,y)$. Можно только подобрать характеристику $\tilde{z}(x,y)$, свертка которой с $h(x,y)$ даст характеристику $\tilde{b}(x,y)$, наименее (в некотором смысле) отличающуюся от заданной характеристики $b(x,y)$.

В процессе моделирования корректоров на ЭВМ в качестве критерия q близости рассчитанной и требуемой характеристик была выбрана сумма квадратов разностей в точках дискретизации:

$$q=\sum_{(i)}\left(\tilde{b}_i-b(i\Delta x)\right)^2. \quad (7)$$

Исследовались методы расчета нерекурсивных корректоров в пространственной области, рекурсивных корректоров в пространственной области и нерекурсивных корректоров в области пространственных частот. Моделирование показало возможность некоторого уменьшения значения q по выражению (7) за счет увеличения объема вычислений, а также позволило сформулировать рекомендации по практическому применению каждого из трех методов расчета [4], [5], [6].

Л и т е р а т у р а

1. Я р о с л а в с к и й Л.П. Устройства ввода-вывода изображений для цифровых вычислительных машин. М., "Энергия", 1968, с. 88.
2. С м и р н о в А.Я., Н о в и к о в В.С., М а т ю ш к и н Б.Д. Матричное представление линейных однородных преобразований изображений. Труды электротехнических институтов связи. Вып. 85, 1977, с. 100-106.
3. П а п у л и с А. Теория систем и преобразований в оптике. М., "Мир", 1971, с. 495.
4. С м и р н о в А.Я. Вычислительная погрешность цифровой модели линейного однородного пространственного фильтра. Депонированная рукопись, ВИМИ, № 3683/75.
5. С м и р н о в А.Я. Метод коррекции однородных пространственных фильтров. Депонированная рукопись, ВИМИ, № 3-5026.
6. С м и р н о в А.Я. Рекурсивные корректоры линейных однородных пространственных фильтров. Труды электротехнических институтов связи. Вып. 83, 1977, с. 47-53.

Я.Е. Тахтаров, А.Г. Храмов

ИССЛЕДОВАНИЕ СОВМЕСТНОГО ПРИМЕНЕНИЯ АЛГОРИТМОВ СЖАТИЯ И ФИЛЬТРАЦИИ ПРИ ЦИФРОВОЙ ОБРАБОТКЕ ПОЛЕЙ

(Куйбышев)

Применение алгоритмов сжатия многомерных экспериментальных данных позволяет существенно повысить эффективность системы автоматизации эксперимента за счет сокращения требуемого объема внешней и оперативной памяти ЭВМ и уменьшения времени на поиск информации и операции обмена. Однако реальные поля (например, аэрокосмические изображения) часто содержат помехи в виде аддитивных шумов, которые снижают коэффициент сжатия, определяемый из соотношения

$$K_c = Q/q, \tag{1}$$