

Поскольку величины $n(t + jh)$, $j = 0, \pm 1, \dots, \pm m$ не коррелированы, то

$$ME_1^2 = \sigma_n^2 \sum_{j=-m}^m [f_j(\gamma)]^2,$$

где σ_n^2 — дисперсия помехи.

Экспериментальная проверка разработанного метода проведена на модельных и реальных сигналах. В качестве примера практической реализации описываемого метода рассмотрим его применение для обработки результатов хроматографического анализа. На рис. 2 сплошной линией показана реальная хроматограмма. В данном случае хроматографические методы не позволяют полностью разделить сложную смесь анализируемых веществ. Хроматограмма в целом имеет две моды. Построение пробной функции дает возможность отчетливо выявить все скрытые компоненты (аналитические пики), что доказывает эффективность использования рассмотренного метода.

Рис. 2. Повышение степени разделения хроматограммы:

сплошная кривая — исходная хроматограмма; штриховая — преобразованная хроматограмма; 1—6 — компоненты.



ЛИТЕРАТУРА

1. Ланге П. К., Сайфуллин Р. Т., Шафранский И. В. Применение ЦВМ в системах автоматизации хроматографического анализа.— М.: ЦНИИТЭнефтехим, 1979.
2. Сайфуллин Р. Т. Повышение уровня разделения хроматографических сигналов математическими методами.— В кн.: Хроматографические процессы, их применение в кинетике и катализе, автоматизация измерений: Тез. докл. Всесоюз. конф. Ташкент, 1981.
3. Корн Г., Корн Т. Справочник по математике для научных работников и инженеров.— М.: Наука, 1973.
4. Уилкс С. Математическая статистика.— М.: Наука, 1967.
5. Jhon F. Differential equations with approximate and improper date: lectures.— N. Y.: Univ, 1955.

Поступило в редакцию 14 января 1982 г.

УДК 621.373.826 : 772.99

Е. Ф. ОЧИН
(Ленинград)

ВЫПОЛНЕНИЕ ОПЕРАЦИЙ КЛЕТочНОЙ ЛОГИКИ В КОГЕРЕНТНОМ ОПТИЧЕСКОМ ПРОЦЕССОРЕ С ПОМОЩЬЮ ПРОСТЕЙШЕГО ПРОСТРАНСТВЕННО-ЧАСТОТНОГО ФИЛЬТРА

В операциях клеточной логики операнды и результат операции задаются в виде матриц отсчетов (клеток) — двумерных функций, являющихся, в частности, оптическими изображениями. Каждой клетке результата операции ставится в соответствие значение некоторой функции, зависящей от состояний клеток операнда и подмножества соседних клеток. В общем виде подмножество соседних клеток может образовывать произвольную геометрическую конфигурацию. Некоторые конфигурации имеют специальные названия, например окрестность Мура или окрестность фон Неймана [1]. В первом случае результат операции является функцией от пяти точек операнда, во втором — от девяти (рис. 1, а, б). Функциональные возможности клеточных автоматов не зависят от вида окрестности.

Наибольшее распространение на практике получила окрестность Мура:

$$a'_{m,n} = \sum_{k=-1}^1 \sum_{l=-1}^1 a_{m+k,n+lf_{k,l}} \quad (1)$$

Так, например, при

$$f = \begin{vmatrix} \frac{1}{16} & \frac{1}{8} & \frac{1}{16} \\ \frac{1}{8} & \frac{1}{4} & \frac{1}{8} \\ \frac{1}{16} & \frac{1}{8} & \frac{1}{16} \end{vmatrix} \quad (2)$$

функция (1) описывает один из сглаживающих фильтров.

Большинство клеточных автоматов, построенных на электронных цифровых схемах, реализуют операции вида (1) последовательно. В данном сообщении предложен метод параллельного выполнения некоторых операций клеточной логики с помощью когерентного оптического процессора [2], при этом скорость вычислений определяется только временем ввода операнда в процессор.

Когерентный оптический процессор (КОП), схема которого показана на рис. 2, имеет ограниченную пространственно-частотную полосу пропускания ($2\xi_{\max} \times 2\eta_{\max}$). Наименьший элемент входного изображения, проходящий через процессор без искажений, имеет размеры

$$\Delta x = 1/2\xi_{\max}, \quad \Delta y = 1/2\eta_{\max}. \quad (3)$$

Обрабатываемое изображение установлено во входной плоскости процессора и представляет собой амплитудный транспарант:

$$A(x, y) = \sum_m \sum_n a_{m,n} \operatorname{rect} \frac{x_m - x}{\Delta x} \operatorname{rect} \frac{y_n - y}{\Delta y}, \quad (4)$$

где $-x_{\max}/\Delta x \leq m \leq x_{\max}/\Delta x$, $-y_{\max}/\Delta y \leq n \leq y_{\max}/\Delta y$, $2x_{\max} \times 2y_{\max}$ — размеры транспаранта.

В непосредственной близости с входным транспарантом установим элементарный фазовый модулятор (линза, аксикон, призма и т. п.), описываемый уравнением

$$F(x, y) = \exp [i\varphi(x, y)]. \quad (5)$$

Функция амплитудно-фазовой модуляции транспаранта и модулятора принимает вид

$$C(x, y) = A(x, y) F(x, y) = \sum_m \sum_n a_{m,n} \exp [i\varphi(x, y)] \operatorname{rect} \frac{x_m - x}{\Delta x} \operatorname{rect} \frac{y_n - y}{\Delta y}. \quad (6)$$

При передаче через КОП с полосой пропускания ($2\xi_{\max} \times 2\eta_{\max}$) изображение (6) усредняется в пределах каждого из элементов разрешения. Характер усреднения можно приближенно описать следующим образом:

$$C'(x, y) \approx \sum_m \sum_n c_{m,n} \operatorname{rect} \frac{x_m - x}{\Delta x} \operatorname{rect} \frac{y_n - y}{\Delta y}, \quad (7)$$

$$\text{где } c_{m,n} = a_{m,n} \int_{x_m - \Delta x/2}^{x_m + \Delta x/2} \int_{y_n - \Delta y/2}^{y_n + \Delta y/2} \exp [i\varphi(x, y)] dx dy.$$

Введем в фурье-плоскость процессора прямоугольную диафрагму

$$d(\xi, \eta) = \operatorname{rect} (\xi/d\xi) \operatorname{rect} (\eta/d\eta), \quad (8)$$

$d\xi \times d\eta$ — размеры диафрагмы. При полностью открытой диафрагме ($d\xi = 2\xi_{\max}$, $d\eta = 2\eta_{\max}$) КОП обладает наибольшим разрешением. Если размеры диафрагмы

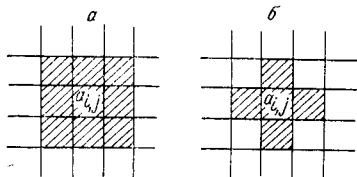


Рис. 1.

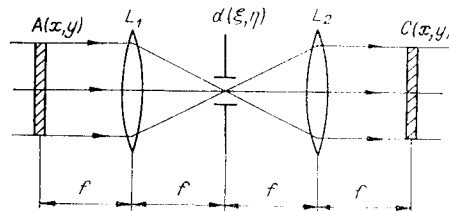


Рис. 2.

N	Размер диафрагмы	Конфигурация	N	Размер диафрагмы	Конфигурация
1	$2\xi_{\max} \times 2\eta_{\max}$		6	$\xi_{\max} \times 2\eta_{\max}/3$	
2	$\xi_{\max} \times 2\eta_{\max}$		7	$2\xi_{\max}/3 \times 2\eta_{\max}/3$	
3	$2\xi_{\max} \times \eta_{\max}$		8	$\xi_{\max}/2 \times \eta_{\max}/2$	
4	$\xi_{\max} \times \eta_{\max}$				
5	$2\xi_{\max}/3 \times 2\eta_{\max}$				

уменьшать, то разрешающая способность КОП будет понижаться. Так, если $d\xi = \xi_{\max}$ и $d\eta = \eta_{\max}$, то

$$c_{m,n} = \int_{x_m - \Delta x}^{x_m + \Delta x} \int_{y_n - \Delta y}^{y_n + \Delta y} C(x, y) dx dy = \sum_{k=0}^1 \sum_{l=0}^1 \left[a_{m+k, n+l} \int_{x'}^{x''} \int_{y'}^{y''} \exp[i\varphi(x, y)] dx dy \right]. \quad (9)$$

Здесь

$$\begin{aligned} x' &= x_m + (k-1)\Delta x, & y' &= y_n + (l-1)\Delta y, \\ x'' &= x_m + k\Delta x, & y'' &= y_n + l\Delta y. \end{aligned}$$

В этом случае значение выходной клетки $c_{m,n}$ зависит от состояния четырех соседних клеток, образующих прямоугольник размером $2\Delta x \times 2\Delta y$. В операции (9) может участвовать произвольное количество клеток. В таблице приведены наиболее характерные конфигурации клеточных групп и соответствующие им размеры диафрагмы. Если, например, диафрагма имеет вид, указанный в п. 7 таблицы, то

$$c_{m,n} = \sum_{k=-1}^1 \sum_{l=-1}^1 \left[a_{m+k, n+l} \int_{x'}^{x''} \int_{y'}^{y''} \exp[i\varphi(x, y)] dx dy \right], \quad (10)$$

где

$$\begin{aligned} x' &= x_m + (k-0,5)\Delta x, & y' &= y_n + (l-0,5)\Delta y, \\ x'' &= x_m + (k+0,5)\Delta x, & y'' &= y_n + (l+0,5)\Delta y. \end{aligned}$$

Выражения типа (9), (10) имеют хорошую геометрическую интерпретацию. Так, входящие в них интегралы определяют множество произвольно ориентированных векторов различной длины, а коэффициенты $a_{m,k}$ — веса, с которыми производится векторное сложение элементов данного множества. Так как результат операции в КОП регистрируется с помощью квадратичного приемника, то переход от комплексных значений векторной суммы к действительным носит естественный характер:

$$c'_{m,n} = |c_{m,n}|^2. \quad (11)$$

Пусть фазовым модулятором является призма, характеризующаяся функцией пропускания

$$p(x, y) = \exp[2\pi i(k_x x + k_y y)], \quad (12)$$

где k_x, k_y — конструктивные параметры призмы. Тогда, подставляя (12) в (10), получим

$$c_{m,n}^p = \sum_{k=-1}^1 \sum_{l=-1}^1 [a_{m+k, n+l} \exp\{2\pi i [k_x(m+k)\Delta x + k_y(n+l)\Delta y]\}]. \quad (13)$$

Однако действие призмы в плоскости входного изображения можно заменить смещением диафрагмы в частотной плоскости. Диафрагма, смещенная на величины k_x и k_y , описывается следующим выражением:

$$d(\xi, \eta) = \text{rect}((\xi - k_x)/d_\xi) \text{rect}((\eta - k_y)/d_\eta). \quad (14)$$

Отсюда следует, что за счет изменения четырех параметров диафрагмы (d_ξ, d_η, k_x, k_y) можно задать различные операции клеточной логики. Если, например,

$$d_\xi = \xi_{\max}, \quad d_\eta = \eta_{\max}, \quad k_x = 1/2\Delta x, \quad k_y = 1/2\Delta y,$$

$$= (a_{m,n} - a_{m+1,n}) + i (a_{m,n+1} - a_{m+1,n+1}).$$

Данная операция клеточной логики представляет собой дифференциальный оператор вида

$$c'_{m,n} = |c^p_{m,n}|^2 = (a_{m,n} - a_{m+1,n})^2 + (a_{m,n+1} - a_{m+1,n+1})^2.$$

Расширение класса операций клеточной логики, реализуемых в КОП, достигается путем введения амплитудных, фазовых или комплексных пространственно-частотных фильтров в фурье-плоскость процессора.

ЛИТЕРАТУРА

1. Престон К. и др. Основы клеточной логики с приложениями к обработке изображений в медицине.— ТИИЭР, 1979, т. 67, № 5.
2. Оптическая обработка информации/Под ред. Д. Кейсесента.— М.: Мир, 1980.

Поступило в редакцию 19 ноября 1982 г.

УДК 621.391.837 : 681.3

Д. В. ДОВНАР, К. Г. ПРЕДКО
(Могилев)

МЕТОД УСТРАНЕНИЯ ПРЯМОЛИНЕЙНОГО РАВНОМЕРНОГО СМАЗА ИЗОБРАЖЕНИЯ

Одной из актуальных практических задач коррекции изображений является задача устранения нерезкости, обусловленной равномерным прямолинейным движением (смазом) на величину $2a$. Трудности, возникающие при решении этой задачи, связаны с тем, что функция передачи модуляции в этом случае $T(\omega) = \sin a\omega/a\omega$ принимает нулевые значения на дискретном множестве пространственных частот $\omega_k = k\pi/a$, $k = 1, 2, \dots$. Это приводит к неединственности решения, поскольку $z(x) = \sum_k b_k e^{i\omega_k x}$ ($z(x)$ — неискаженный объект, b_k — произвольные численные коэффициенты) также является решением. В случае устранения нерезкости методом инверсной фильтрации корректирующий инверсный фильтр $Y(\omega) = a\omega/\sin a\omega$ принимает бесконечные значения на множестве частот $\omega_k = k\pi/a$, что значительно затрудняет его численное аппроксимирование [1, с. 140]. Чтобы устранить эту трудность, разработаны методы дифференцирования изображения [1, с. 143] и свертки с маской Сунделла [2, с. 215]. Однако корректирующие функции размытия точки (КФРТ), соответствующие оператору однократного дифференцирования или маске Сунделла, не являются четными. Поэтому результатом коррекции изображений этими методами будет разность двух сдвинутых объектов повышенной резкости.

Цель данной работы — получение четных и не имеющих особых точек КФРТ, в результате применения которых получался бы единственный объект повышенной резкости.

Предлагаемый метод есть реализация метода инверсной фильтрации в области координат путем представления корректирующего фильтра рядом функций, фурье-спектр которых не имеет особых точек.

Как показано в [3, с. 56], функцию $\sin^{-1} y$ можно представить в виде

$$\sin^{-1} y = y^{-1} + \sum_{n=1}^{\infty} (-1)^n [1/(y - n\pi) + 1/(y + n\pi)]. \quad (1)$$

Умножив (1) на y и выполнив преобразования под знаком суммы, получим

$$a\omega/\sin a\omega = 1 + 2 \sum_{n=1}^{\infty} (-1)^n [1 + (n\pi/a)^2/(\omega^2 - (n\pi/a)^2)], \quad (2)$$

где $\omega = y/a$ — круговая пространственная частота.

Рассмотрим усеченный ряд

$$Y_L(\omega) = 1 + 2 \sum_{n=1}^L (-1)^n [1 + (n\pi/a)^2/(\omega^2 - (n\pi/a)^2)] \quad (3)$$