А К А Д Е М И Я Н А У К С С С Р
СИБИРСКОЕ ОТДЕЛЕНИЕ
А В Т О М Е Т Р И Я

№ 6 1980

КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ

УДК 681.335 : 681.7

П. Е. ТВЁРДОХЛЕБ
(Новосибирск)

МНОГОКАНАЛЬНОЕ ВЫЧИСЛЕНИЕ КВАДРАТИЧНОЙ ФОРМЫ НЕКОГЕРЕНТНЫМИ МЕТОДАМИ

Метод вычисления квадратичной формы, предложенный в [1], предусматривает использование системы оптической пространственной фильтрации с голографическим фильтром. Недостатками такого метода являются одноканальность, значительные потери световой мощности и большие погрешности вычислений, возникающие из-за применения когерентного света и голографических фильтров.

Покажем, что указанных недостатков в значительной мере лишена некогерентная оптическая система, разработанная для анализа фрагментов изображений по произвольному базису [2]. С этой целью обратимся к рис. 1, где в двух проекциях изображена оптическая система, осуществляющая умножение трех матриц.

Если в плоскостях P_1, P_2 и P_3 этой системы разместить соответственно полутоновые транспаранты T_1, T_2 и T_3 с функциями пропускания

$$f_1(y_1, x_1) = \sum_{t=-T/2}^{T/2} \sum_{q=-G/2}^{G/2} a_{tq} \operatorname{rect}\left[\frac{y_1 - t\Delta y_1}{\Delta y_1}\right] \operatorname{rect}\left[\frac{x_1 - q\Delta x_1}{\Delta x_1}\right],$$

$$f_2(y_2, x_2) = \sum_{p=-P/2}^{P/2} \sum_{q=-G/2}^{G/2} r_{pq} \operatorname{rect}\left[\frac{y_2 - p\Delta y_2}{\Delta y_2}\right] \operatorname{rect}\left[\frac{x_2 - q\Delta x_2}{\Delta x_2}\right],$$

$$f_3(y_3, x_3) = \sum_{p=-P/2}^{P/2} \sum_{s=-S/2}^{S/2} b_{ps} \operatorname{rect}\left[\frac{y_3 - p\Delta y_3}{\Delta y_3}\right] \operatorname{rect}\left[\frac{x_3 - s\Delta x_3}{\Delta x_3}\right],$$

где функция

$$\operatorname{rect}[\theta] = \begin{cases} 1, & \text{если } |\theta| \leqslant 1/2; \\ 0, & \text{если } |\theta| > 1/2, \end{cases}$$

то значение освещенности света на элементе выходной плоскости P_4 с координатами

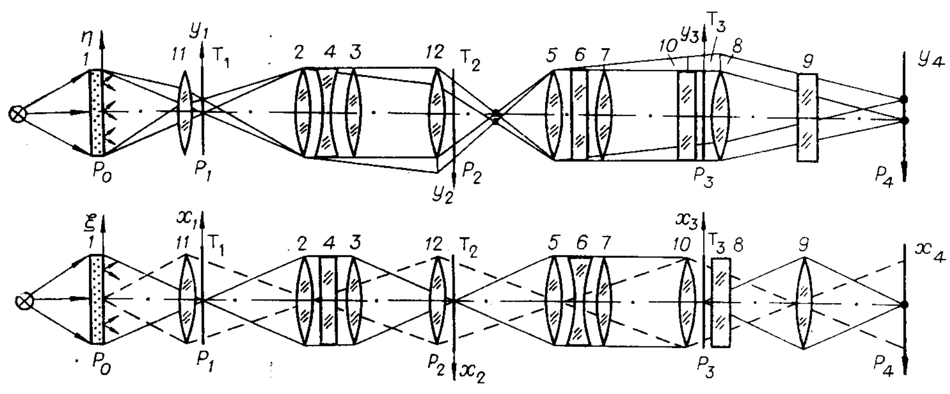

Рис. 1.

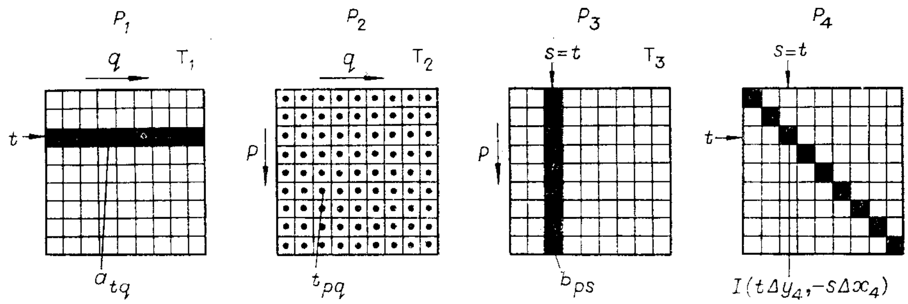

Рис. 2.

$t\Delta y_4$, $-s\Delta x_4$ можно вычислить по формуле

$$I\left(t\Delta y_4,\ -s\Delta x_4\right) = K \sum_{p=-P/2}^{P/2} \sum_{q=-G/2}^{G/2} a_{tq} r_{pq} b_{ps} \tag{1}$$

(K — коэффициент пропорциональности).

Уточним смысл этой формулы с помощью рис. 2. Первые три матрицы на этом рисунке соответствуют изображениям, представленным на транспарантах T_1, T_2 и T_3, а четвертая из них — распределению освещенности в выходной плоскости системы. Можно видеть, что освещенность на заданном элементе выходной плоскости определяется значениями элементов t-й строки и s-го столбца первой и третьей матриц и всеми элементами второй матрицы.

Допустим, что на t-й строке транспаранта T_1 и $s=t$-м столбце транспаранта T_3 записаны одинаковые векторы признаков, причем так, что $a_{tq}=b_{ps}$. Тогда из (1) получим, что

$$I\left(t\Delta y_4,\ -s\Delta x_4\right) = K \sum_{p=-P/2}^{P/2} \sum_{q=-G/2}^{G/2} a_{tq} r_{pq} a_{pt}. \tag{2}$$

Известно [3], что квадратичная форма центрированного вектора $\widetilde{Z}$ вычисляется по формуле

$$\psi_m\left(\widetilde{Z}\right) = \sum_{d=1}^{D} \sum_{k=1}^{D} \widetilde{z}_d g_{dk}^{(m)} \widetilde{z}_k, \tag{3}$$

где $g_{dk}^{(m)}$ — элементы обратной ковариационной матрицы сигналов класса m. Отсюда следует полная эквивалентность выражений (2) и (3) при условиях, что $a_{tq}=\bar{z}_d$, $a_{pt}=\bar{z}_k$, $D=P+1$, $P=G$, а $r_{pq}=g_{dk}$. Последнее из условий означает, что отсчет r_{pq} — элемент транспонированной обратной ковариационной матрицы.

Таким образом, если на t-й строке транспаранта T_1 и t-м столбце транспаранта T_3 записать элементы центрированного вектора $\bar{Z}$, а на транспаранте T_2 — элементы обратной ковариационной матрицы, то освещенность элемента выходной плоскости с индексами t, $-t$ будет пропорциональна значению искомой квадратичной формы. Переход к оценке меры близости вектора $\bar{Z}$ к классу $(m+1)$ достигается путем смены (перезаписи) транспаранта T_2.

Если компоненты вектора $\bar{Z}$ являются знакопеременными, то значение квадратичной формы можно вычислить по формуле

$$\psi_m\left(\widetilde{Z}\right) = \psi_m^{++} - \psi_m^{+-} - \psi_m^{-+} + \psi_m^{--},$$

где

$$\psi_m^{++} = \sum_{d=1}^{D} \sum_{k=1}^{D} \widetilde{z}_d^{+} g_{dk}^{(m)} \widetilde{z}_k^{+},$$

$$\psi_m^{+-} = \sum_{d=1}^{D} \sum_{k=1}^{D} \widetilde{z}_d^{+} g_{dk}^{(m)} \widetilde{z}_k^{-},$$

$$\psi_m^{-+} = \sum_{d=1}^{D} \sum_{k=1}^{D} \widetilde{z}_d^{-} g_{dk}^{(m)} \widetilde{z}_k^{+},$$

$$\psi_m^{--} = \sum_{d=1}^{D} \sum_{k=1}^{D} \widetilde{z}_d^{-} g_{dk}^{(m)} \widetilde{z}_k^{-},$$

именных строках и столбцах транспарантов T_1 и T_3. В этом случае искомым значениям квадратичных форм будут пропорциональны значения освещенностей на диагональных элементах выходной матрицы, где должны быть установлены фотоприемники. Места расположения фотоприемников выделены на рис. 2 темными квадратами. Рассматриваемая некогерентная оптическая система обладает высоким коэффициентом использования светового потока и повышенной точностью вычислений, особенно тогда, когда ее осветительная часть содержит линзо-растровые элементы [4].

Согласно [5] произведение числа строк, имеющихся на транспарантах T_1 и T_3, является постоянной величиной и определяется выражением

$$(T+1)(P+1)=(1/2\lambda)(F_1/F)(L/F)L=\mathrm{const}. \quad (4)$$

где F — фокусное расстояние объектива *11*; F_1 — эквивалентный фокус оптического блока, составленного из объективов *2—4*; L — размер рабочего поля; λ — средняя длина волны применяемого некогерентного источника света (см. рис. 1). В нашем случае параметр $(T+1)$ определяет возможное число параллельных каналов в системе, а параметр $(P+1)$ — возможное число признаков во входном векторе $\bar{Z}$. Эти параметры, как следует из (4), взаимосвязаны. Если один из них выбран произвольно, то второй должен быть определен из выражения (4).

Признаки входного вектора $\bar{Z}$ размещаются на транспаранте T_1 вдоль строки. Это означает, что

$$(G+1)=(P+1), \quad (5)$$

где $G+1$ — размерность транспаранта вдоль оси x. Исходя из условия (5) можно определить размерность транспаранта T_2, на котором воспроизводятся элементы обратной ковариационной матрицы.

Пусть для вычисления квадратичной формы применена оптическая система, для которой $F_1/F=1/3$, $L/F=1/5$, $L=60$ мм и $\lambda=0{,}5\cdot10^{-3}$ мм. Тогда из выражения (4) получим, что $(T+1)$ $(P+1)\sim4\cdot10^3$. Если принять, что число параллельных каналов равно 32, то входной вектор будет содержать ~128 признаков. Размерности транспарантов: T_1 — 32×128, T_2 — 128×128, T_3 — 128×32. Выходная плоскость системы состоит из 32×32 элементов; из них информативные — 32 элемента, расположенные по диагонали.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Нежевенко Е. С., Твердохлеб П. Е.** Когерентно-оптические методы распознавания одномерных сигналов.— Автометрия, 1972, № 5.
2. **Кривенков Б. Е., Михляев С. В., Твердохлеб П. Е., Чугуй Ю. В.** Некогерентная оптическая система для выполнения матричных преобразований.— Автометрия, 1975, № 3.
3. **Нильсон Н.** Обучающиеся машины. М.: Мир, 1967.
4. **Михляев С. В., Твердохлеб П. Е., Чугуй Ю. В.** Линзо-растровая некогерентная оптическая система для матричных преобразований.— Опт. и спектр., 1978, т. 44, вып. 2.
5. **Твердохлеб П. Е.** Разрешающая способность оптической системы для матричных преобразований.— Автометрия, 1979, № 1.

Поступило в редакцию 4 июня 1980 г.

УДК 535.241.13 : 681.332

В. И. ФЕЛЬДБУШ

(Новосибирск)

УПРАВЛЯЕМЫЙ ТРАНСПАРАНТ ДЛЯ ОКОНТУРИВАНИЯ ИЗОБРАЖЕНИЙ

Рассмотрен управляемый транспарант на основе монокристалла $Bi_{12}GeO_{20}$, структура которого идентична структуре транспаранта, описанного в [1]. Отличие состоит в том, что вместо монокристалла со срезом (100) использовался срез (110). При такой ориентации кристалла продольный электрооптический эффект отсутству-