При параметрах системы, указанных в качестве примера выше, и диаметре объектива $D_4=150$ мм $S+1=10^4$.

Оценку общего количества элементов разрешения системы, а следовательно максимальной размерности умножаемых матриц, можно произвести по формуле

$$(T+1)(S+1)=[1/2\lambda^2(P+1)](F_1/F)^2(L/F)^2 LD_4,$$

которая получена с учетом выражений (8) и (9). Предполагается, что в этом случае, кроме параметров оптической системы, известно также число строк в матрице, регистрируемой на транспаранте T_3 либо на транспаранте T_1.

Поступило в редакцию 9 августа 1978 г.

УДК 002.5 : 543.4(045)

С. К. ЛИ

(Ленинград)

СПОСОБ ВЫЧИСЛЕНИЯ ИНВАРИАНТНОГО СПЕКТРА ИЗОБРАЖЕНИЯ

В данной работе рассматривается один из способов получения инвариантного спектра Уолша изображения при естественном его сдвиге во входной плоскости, имеющий наименьший объем вычисления. Здесь под инвариантным спектром понимается преобразованное изображение в выходной плоскости, не зависящее от дискретного сдвига изображения, осуществляемого без потери информации, во входной плоскости. Для простоты показано вычисление инвариантного спектра Уолша одномерного изображения.

Пусть входное изображение задано множеством N элементов:

$$S_{01},\ S_{02},\ \ldots,\ S_{0N},$$

где $N=2^n$. Вычисление инвариантного спектра производится на n этапах, при этом на каждом i-м этапе вычисляются N частичных спектров в виде

$$S_{i,jc(i)+k(i)}=\left|S_{i-1,\delta jc(i)+k(i)}+(-1)^{\delta}S_{i-1,(\delta j+1)c(i)+k(i)}\right|\ldots, \qquad (*)$$

где $c(i)=N/2^i$; $k(i)=R(i)-(2-\delta)[N/2-(j-2^{i-1})c(i)]$;

$$R(i)=1,\ 2,\ \ldots,\ c(i);\ j=0,\ 1,\ 2,\ \ldots,\ 2^i-1; \qquad \delta=\begin{cases}2 \text{ при } j<2^{i-1};\\ 1 \text{ при } j\geqslant 2^{i-1};\end{cases}$$

$i=1,\ 2,\ \ldots,\ n$. Результатом вычисления инвариантного спектра является множество $S_{n1},\ S_{n2},\ \ldots,\ S_{nN}$.

Справедливость вычисления инвариантного спектра выражением (*) доказывается тем, что нечетные $\{S_0\}$ и четные $\{S_0\}$ элементы группируются между собой; действительно, группируемая пара элементов имеет номера, отличающиеся между собой на величину $c(i)$, т. е.

$$(\delta j+1)c(i)+k(i)-[\delta jc(i)+k(i)]=c(i).$$

Следовательно, при заданном числе элементов, равном 2^n, их сдвиг не влечет за собой группирования четных элементов с нечетными, так как при сдвиге заданных элементов $\{S_0\}$ меняются только значения j или $k(i)$, от которых разность нумерации $c(i)$ не меняется. Операции вычитания сгруппированных чисел производятся абсолютно по модулю, поэтому от перестановок этих разностей сумма их не зависит.

Для наглядности приведем пример.

Дано изображение в виде S_{01}, S_{02}, S_{03}, S_{04}. По выражению (*) для $i=1$ получаем

$$S_{11}=|S_{01}+S_{03}|,\ S_{12}=|S_{02}+S_{04}|,\ S_{13}=|S_{01}-S_{03}|,\ S_{14}=|S_{02}-S_{04}|,$$

для $i=2$ —

$$S_{21}=|S_{11}+S_{12}|=||S_{01}+S_{03}|+|S_{02}+S_{04}||;$$

$$S_{22}=|S_{13}+S_{14}|=||S_{01}-S_{03}|+|S_{02}-S_{04}||;$$

$$S_{23} = |S_{11} - S_{12}| = ||S_{01} + S_{03}| - |S_{02} + S_{04}||;$$
$$S_{24} = |S_{13} - S_{14}| = ||S_{01} - S_{03}| - |S_{02} - S_{04}||.$$

Пусть входное изображение сдвинулось на один шаг вправо, т. е. S_{04}, S_{01}, S_{02}, S_{03}. Аналогично для $i=1$ имеем

$$S_{11} = |S_{04} + S_{02}|,\ S_{12} = |S_{01} + S_{03}|,\ S_{13} = |S_{04} - S_{02}|,\ S_{14} = |S_{01} - S_{03}|,$$

для $i=2$ —

$$S_{21} = |S_{11} + S_{12}| = ||S_{04} + S_{02}| + |S_{01} + S_{03}||;$$
$$S_{22} = |S_{13} + S_{14}| = ||S_{04} - S_{02}| + |S_{01} - S_{03}||;$$
$$S_{23} = |S_{11} - S_{12}| = ||S_{04} + S_{02}| - |S_{01} + S_{03}||;$$
$$S_{24} = |S_{13} - S_{14}| = ||S_{04} - S_{02}| - |S_{01} - S_{03}||.$$

Из этого примера видно, что вычисляемый таким образом спектр не зависит от сдвига входного изображения. Отличием инвариантного спектра от спектров Уолша, Крестенсона и других является невозможность обратного его преобразования в исходное изображение, так как в процессе вычисления теряются знаковые компоненты; однако для распознавания изображения инвариантный спектр, как наиболее просто вычисляемый, может быть широко использован на практике. Результаты экспериментального исследования показывают, что вычисление инвариантного спектра рассматриваемым способом наиболее производительно выполняется в оптическом процессоре [1, 2]. В этом случае входное изображение с числом градаций по пространству 1000×1000 и по интенсивности 100 можно преобразовать в инвариантный спектр за время менее чем 10^{-3} с. Это обеспечивает обработку и распознавание изображения в реальном масштабе времени.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Басов Н. Г., Компанец И. Н., Ли С. К., Мнацаканян Э. А., Морозов В. Н., Попов С. А., Попов Ю. М., Смолов В. Б.** Принципы построения оптических процессоров с переменными операторами.— «Квант. электроника», 1978, № 3, с. 526—532.
2. **Басов Н. Г., Волчков В. Г., Компанец И. Н., Кулибанов Ю. М., Ли С. К., Мнацаканян Э. А., Морозов В. Н., Парфенов А. В., Попов С. А., Попов Ю. М., Смолов В. Б.** Способы реализации оптического процессора с переменными операторами.— «Квант. электроника», 1978, № 3, с. 533—541.

Поступило в редакцию 21 июля 1978 г.

УДК 621.391.156

И. И. МОХУНЬ, К. С. МУСТАФИН, В. И. ПРОТАСЕВИЧ

(Казань)

ОПТИЧЕСКАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ МАСШТАБНО-ИНВАРИАНТНОГО ПРЕОБРАЗОВАНИЯ

Основной операцией, выполняемой когерентной оптической системой обработки информации, является преобразование Фурье. Известно, что фурье-преобразование инвариантно относительно сдвига входной функции, но не инвариантно относительно масштаба. Масштабной инвариантностью обладает другое интегральное преобразование — меллин-преобразование. Меллин-образ функции по мнимой оси записывается как

$$M(ju, jv) = \int_0^\infty\!\!\int f(x, y)\, x^{-ju-1} y^{-jv-1} dx dy, \tag{1}$$

что эквивалентно фурье-преобразованию функции $f(\exp x, \exp y)$ [1]. Таким образом, реализация меллин-преобразования сводится к преобразованию функции $f(x, y)$ в $f(\exp x, \exp y)$.

Из известных методов осуществления этого преобразования наиболее перспективно, с нашей точки зрения, применение голограмм, синтезированных на ЭВМ [2]. В этой