

- the American-Soviet Seminar on Optical Information Processing. N. Y., Plenum Publish Corp., 1975.
46. W. Schneider, W. Fink. Incoherent optical matrix multiplication.—“Optica Acta”, 1975, № 11, p. 879—889.
  47. М. А. Гофман, С. Ф. Кибирев, Б. Е. Кривенков, П. Е. Твердохлеб, Ю. В. Чугуй. Многоканальный поиск информации в некогерентных оптических системах памяти.—«Автометрия», 1976, № 6, с. 48—54.
  48. О. М. Карпова, Е. С. Нежевенко, Г. Д. Уманцев. Распознавание изображений известной формы на фотоснимках.—«Автометрия», 1975, № 3, с. 68—73.
  49. Ф. Ф. Веряскин, Л. В. Выдрин, В. Г. Давыдов, Т. Н. Мантуш, Е. С. Нежевенко, Б. Н. Панков, П. Е. Твердохлеб. Оптико-электронный процессор для распознавания изображений.—«Автометрия», 1975, № 3, с. 73—77.

Поступила в редакцию 15 июля 1976 г.

УДК 621.391.156

**Е. С. НЕЖЕВЕНКО, Б. И. СПЕКТОР**

(Новосибирск)

## **АФИННЫЕ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ИЗОБРАЖЕНИЙ В ОПТИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ С ОБРАТНОЙ СВЯЗЬЮ**

При решении задач распознавания и идентификации двумерных изображений в когерентно-оптических системах значительные трудности возникают при необходимости обеспечить инвариантность к аффинным преобразованиям (ориентации, масштабу и т. п.) в реальном времени.

Существует ряд способов, которыми пользуются в этом случае. Их можно разделить на две основные группы [1]. К первой группе относятся способы, в которых применяются механические узлы смещения, вращения, смены фильтров и т. д. Ко второй группе относятся способы, в которых в систему обработки вводится мультипликация или многоканальность.

Основными недостатками способов первой группы являются малое быстродействие и наличие вибрации системы, вызываемое механическими смещениями узлов. При использовании способов второй группы необходимо иметь несколько независимых каналов, что в конечном счете снижает информационную емкость и пропускную способность системы распознавания.

Вообще говоря, в настоящее время в оптических системах идентификации, распознавания и поиска изображений с неизвестными параметрами ориентации и масштаба существует противоречие между скоростью вычисления решающей функции в оптической системе ( $\sim 10^{-8}$  с) и скоростями смены параметров ориентации и масштаба (в некоторых случаях до  $10^{-4}$ — $10^{-5}$  с). Отметим, что характерные времена фотоэлектрических устройств считывания уже находятся на уровне  $10^{-8}$ ÷ $10^{-10}$  с (ФЭУ, PIN-диоды).

В данной работе рассмотрен один из возможных путей устранения указанного выше противоречия, основанный на применении оптических систем с обратной связью. Ранее [2] нами была рассмотрена и подтверждена возможность применения таких оптических систем для нелинейной обработки изображений.

Рассмотрим более общую, чем в [2], систему оптической обработки изображений, включающую замкнутую и разомкнутую части (рис. 1). Луч лазера 1 расширяется коллиматором 2, 3 и освещает изображение, которое, фокусируясь объективом 4, через светоделительный клин 5

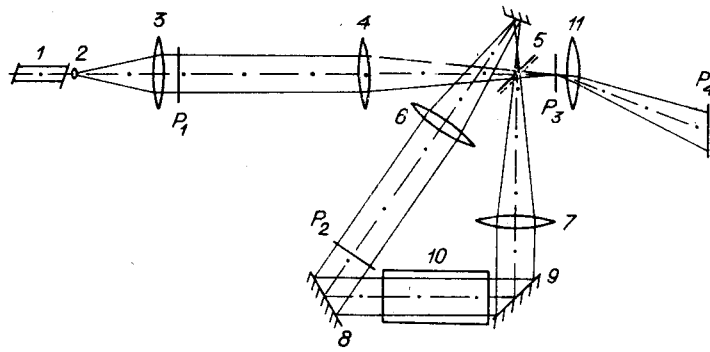


Рис. 1.

вводится в замкнутую оптическую систему, состоящую из объективов 6, 7 и плоских зеркал 8, 9, между которыми помещается система поворота изображения 10 (призма, система зеркал). Часть светового потока отражается от светоделителя 5 и возвращается в замкнутую систему, а прошедший через светоделитель световой поток фокусируется объективом в плоскости голографического фильтра. Объектив 11 формирует корреляционное поле в плоскости считывания. Если изображение помещается в замкнутой части системы (плоскость  $P_2$ ), то, организовав взвешивание «порядков» (световых пучков, отличающихся по числу проходов в замкнутой системе), получим нелинейное преобразование изображения, описанное в работе [2].

Поместим теперь изображение  $T(x, y)$  в разомкнутой части (плоскость  $P_1$ ). Рассмотрим функционирование системы, когда фокусные расстояния объективов 6 и 7 равны. Введем прямоугольную праввинтовую систему координат, связанную с изображением на транспаранте. Ось  $Z$  совпадает с направлением распространения световых лучей, а ось  $X$  находится в плоскости, определяемой оптической осью замкнутой части системы.

Распределение интенсивности в плоскости считывания будет представлено в виде суммы интенсивностей световых потоков, которые характеризуются различным числом проходов через замкнутую часть системы. Рассмотрим в отдельности формирование изображения в плоскости считывания каждым из потоков в системе, изображенной на рис. 1.

Минимальный оптический путь проходит световой поток, который прошел через светоделитель 5. Из него с помощью объективов 4 и 11 в плоскости считывания формируется изображение транспаранта  $T_0 = T(x, -y)$ .

Часть светового потока, отразившегося от светоделителя 5 в «замкнутую» часть системы, рассмотрим подробнее. После отражения от зеркала 8 в параллельном пучке распределение интенсивностей будет пропорционально  $T(-x, -y)$ . Выберем ориентацию системы поворота изображения так, чтобы происходило оборачивание изображения, проходящего через нее вокруг оси  $X$ . Тогда после отражения от зеркала 9 будем иметь распределение интенсивностей, пропорциональное  $T(-x, y)$ , а в плоскости считывания после двойного оборачивания на объективах 7 и 11 —  $T_1 = T(x, -y)$ . Часть потока, отраженная от светоделителя 5, при первом прохождении замкнутой части системы создает после отражения от зеркала 8 распределение интенсивностей, пропорциональное  $T(-x, -y)$ , после отражения от зеркала 9 —  $(T(-x, y))$ , а в плоскости считывания —  $T_2 = T(x, -y)$ .

Таким образом, изображения, отличающиеся по числу проходов, в замкнутой части системы сохраняют ориентацию и форму в плоскости считывания.

В случае идеальной (без потерь) оптики получим

$$S(x, y) = T_0(x, y) + T_1(x, y) + \dots + T_n(x, y),$$

где  $n$  — количество проходов через замкнутую часть системы, т. е. энергия света в освещающем пучке перераспределяется в набор аналогичных изображений, совмещенных в плоскости считывания. Пусть теперь в замкнутой части системы действует некоторый оператор  $\mathcal{F}$ , вызывающий преобразование изображения. Это может быть оператор изменения масштаба (при использовании разнофокусных объективов 6, 7), оператор поворота (при установке системы поворота на угол, отличный от указанного выше), оператор сдвига (может осуществляться взаимным разворотом зеркал 8, 9) или любой другой. Тогда при первом прохождении изображение не изменяется, после первого прохода через замкнутую часть оно будет иметь вид  $\mathcal{F}[T(x, y)]$ , после второго —  $\mathcal{F}^2[T(x, y)]$  и т. д., изображение на выходе системы, попадающее на фильтр, будет представлено в виде

$$S(x, y) = \mathcal{F}[T(x, y, t)] + \mathcal{F}^2[T(x, y, t + \tau)] + \dots + \mathcal{F}^n[T(x, y, t + n\tau)].$$

Третий аргумент в скобке отражает то, что изображения, отличающиеся по числу проходов через замкнутую часть, сдвинуты во времени,  $\tau$  — время задержки в ней. Если время освещения прозрачного элемента намного больше  $\tau$ , все слагаемые  $S(x, y)$  будут существовать практически одновременно. В случае, если время освещения меньше  $\tau$ , на фильтр будет проектироваться последовательность разделенных во времени изображений. Так, если в замкнутой части действует оператор изменения масштаба, получим последовательность разномасштабных изображений, если действует оператор изменения ориентации, — последовательность разноориентированных изображений и т. д.

До сих пор не учитывались потери световой энергии, возникающие в любой пассивной системе с обратной связью. Для их оценки воспользуемся результатами, полученными для многоходовых оптических линий задержки, применяющихся в системах измерения слабого поглощения газов, для моделирования систем дальней связи и т. д.

Замкнутая часть оптической системы, изображенной на рис. 1, представляет собой конфокальный резонатор специального вида. Известно, что в таких системах можно получить до  $10^3$  проходов светового луча при затухании в линии меньше 10 дБ [3, 4]. Для этого необходимо минимизировать число элементов и перейти от линзовой оптики к отражающей. Учитывая, что коэффициент отражения зеркал может достигать 0,998, при светоделителе с коэффициентом деления 0,97, можно получить оптическую линию задержки, обеспечивающую 50 проходов с затуханием последнего сигнала по отношению к первому меньше 10 дБ.

Рассмотрим теперь вопрос разделения световых распределений в выходной плоскости, сформированных световыми пучками с разным числом проходов. При этом можно использовать различные параметры, по которым отличаются эти световые распределения. Как уже говорилось, при освещении изображения коротким световым импульсом световые пучки с различным числом проходов через замкнутую часть системы разделяются во времени. Кроме того, за счет разной длины хода эти пучки взаимно некогерентны, так что они могут быть выделены методом гетеродинамирования. Достаточно просто можно световые распределения пространственно разнести в выходной плоскости. Для этого в замкнутую часть системы достаточно ввести элемент, сдвигающий световой пучок по фазе в области Фурье.

Наконец, существуют задачи распознавания, при решении которых можно вообще не разделять функции, соответствующие различным ориентациям или масштабам, а вести распознавание по их сумме.

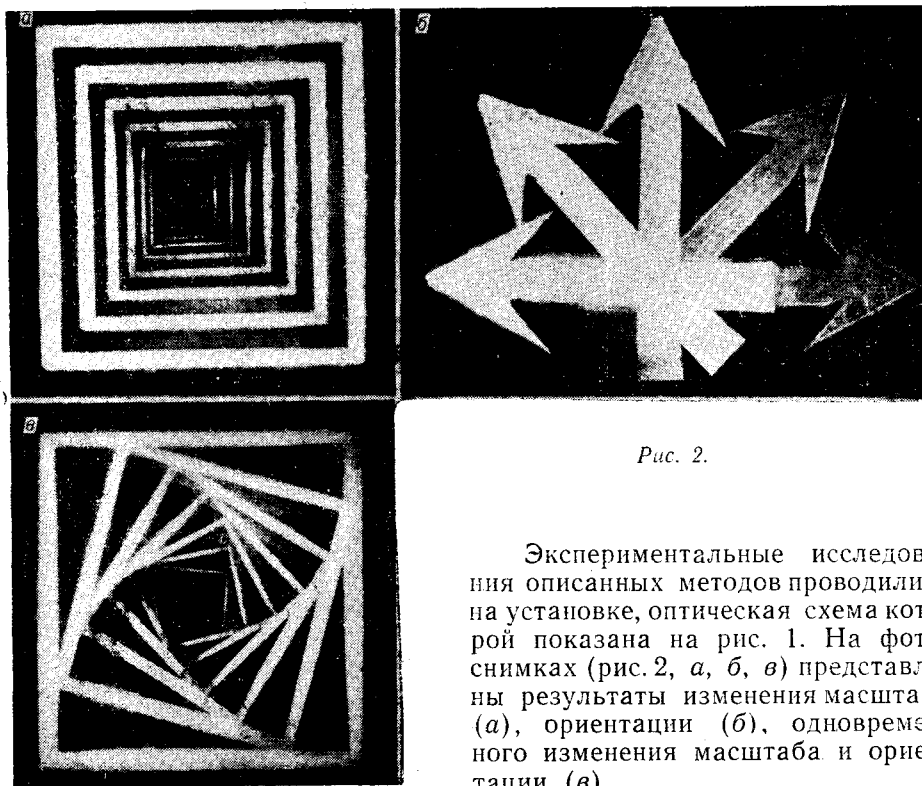


Рис. 2.

Экспериментальные исследования описанных методов проводились на установке, оптическая схема которой показана на рис. 1. На фотоснимках (рис. 2, а, б, в) представлены результаты изменения масштаба (а), ориентации (б), одновременного изменения масштаба и ориентации (в).

На рис. 3 приведены результаты по распознаванию изображения кольца с перебором масштаба. Фильтр снимался с кольца меньшего размера, на входе системы устанавливалось кольцо с максимальным диаметром. Перебор шел в сторону уменьшения диаметра кольца. Корреляционные функции, соответствующие разному числу проходов изображения, для наглядности разнесены в корреляционной плоскости. При совпадении масштабов изображения, записанного на фильтре, и изображения, полученного на некотором проходе, возникает максимум, остальные изображения, как и следует из теории, дают взаимно-корреляционную функцию в виде кольца с диаметром, равным модулю разности диаметров кольца, записанного на фильтре, и кольца, выведенного из замкнутой части системы. Настройка системы достаточно проста: при совпадении хотя бы двух Фурье-образов изображений, прошедших неодинаковое количество раз через замкнутую систему, остальные Фурье-образы совпадают автоматически.

Как видно, экспериментальные результаты полностью подтвердили возможность осуществления с высокой скоростью аффинных преобразований изображений в когерентно-оптической

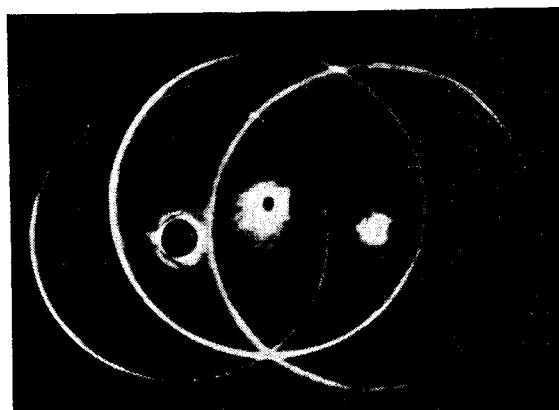


Рис. 3.

системе. Меняя оператор в замкнутой части системы, можно получать, кроме описанных, самые различные последовательности преобразований: растяжение или сжатие по одной координате, разложение изображений по моментам другого изображения, сдвиг изображения с субсветовой скоростью и т. д.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. J. R. Ullmann. A review of optical pattern recognition techniques.—“Opto-electronics”, 1974, vol. 6, № 5, p. 319—332.
2. Е. С. Нежевенко, Б. И. Спектор. Оптическое нелинейное преобразование изображений.—«Автометрия», № 3, 1975, с. 98—103.
3. С. А. Раскутин. Многоходовые оптические линии задержки. М., Изд. Ин-та ТМ и ВТ АН СССР, 1967.
4. O. E. Delange. Losses suffered by coherent light redirected and refocused many times in an enclosed medium.—“The Bell Syst. Techn. J.”, 1965, vol. XLIV, № 2, p. 283—302.

*Поступила в редакцию 15 июня 1976 г.*

УДК 535.317.2

**Н. А. БУХАРИН, В. А. ГРИГОРЬЕВ, Н. А. ЕСЕПКИНА,  
С. В. ПРУСС-ЖУКОВСКИЙ, С. А. РОГОВ**

*(Ленинград)*

### **ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МНОГОКАНАЛЬНЫХ УЛЬТРАЗВУКОВЫХ МОДУЛЯТОРОВ В СИСТЕМАХ ОПТИЧЕСКОЙ СОГЛАСОВАННОЙ ФИЛЬТРАЦИИ**

Для решения различных задач распознавания образов, корреляционной обработки сигналов, создания запоминающих устройств и других широко используется метод оптической согласованной фильтрации. Реализация оптических систем, использующих принципы согласованной фильтрации, требует изготовления специальных фильтров, функция пропускания которых (передаточная функция) равна комплексно-сопряженному спектру входного сигнала. Как правило, такие фильтры изготавливаются голографическим способом [1, 2].

1. В оптических системах, в которых согласованная фильтрация должна проводиться в реальном масштабе времени, в качестве устройства ввода сигналов можно использовать акустооптические модуляторы света. В этом случае информация о входном сигнале содержится в отклоненном ультразвуковой волной свете, т. е. в дифракционном порядке [3].

При использовании для модуляции света бегущей ультразвуковой волны частота дифрагированного света отличается от частоты света, падающего на модулятор, на величину, равную частоте входного сигнала [3]. Так как устойчивую интерференционную картину дают световые колебания одинаковой частоты, то для формирования опорного луча при записи голограммы необходимо использовать дифракционный порядок одного из каналов ультразвукового модулятора света (если в системе используется многоканальный модулятор) или дифракционный порядок от специального модулятора [4—6]. Второй способ компенсации сдвига частот сигнального и опорного лучей является более выгодным, так как для формирования опорного луча можно использовать более эффектив-