

или после преобразования

$$S = \frac{1}{\sqrt{2}} \left[ A_y \exp i \left[ e_y + \pi (2n + 1) \exp i \pi \left( \frac{1}{3} + n_1 \right) \right] \right], \quad (19)$$

где  $n_1 = 0, \pm 1, \pm 2, \pm 3, \dots$ . В этом случае  $P = 1$ .

Таким образом, по направлению  $\delta$  описанное устройство моделирует функцию  $P_1 = A \oplus 1 \vee B \oplus 1$ , описывающую операцию Шеффера, а по направлениям  $6$  и  $7$ , как это следует из (11), выполняется инверсия  $A$  и инверсия  $B$  в соответствии с выражениями  $P_2 = A \oplus 1$ ,  $P_3 = B \oplus 1$ . При этом интенсивность выходного потока, соответствующая значению выходной переменной  $P = 1$ , как следует из (16), (17) и (19), неизменна и пропорциональна  $A_y^2/2$ .

Следовательно, для работы элемента (см. рис. 1) входная информация должна быть представлена циркулярно-поляризованными световыми потоками. В устройстве, показанном на рис. 2, используются для этой цели линейно-поляризованные световые потоки. Поэтому для согласования элементов названного типа необходимы устройства, преобразующие линейно-поляризованный свет в циркулярно-поляризованный и обратно. Эти задачи могут быть решены с помощью соответствующих поляризаторов. Очевидно, что оба описанных элемента обладают в совокупности функциональной полнотой.

Представляется также, что описанный принцип построения элементов оптических автоматов может быть использован и при построении ряда измерительных устройств в оптическом диапазоне, например калибратора фазы, измерителя временных интервалов и длительностей оптических импульсов, измерителя показателя преломления среды и т. д.

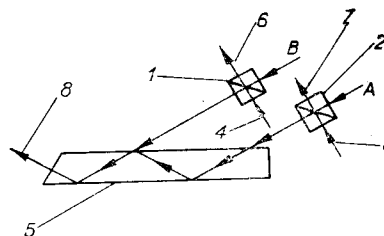


Рис. 2.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Оптическая обработка информации. М., «Мир», 1965.
2. Н. В. Кравцов, Л. Е. Чирков, В. Л. Поляченко. Элементы оптоэлектронных информационных систем. М., «Наука», 1970.
3. Ю. С. Манукян и Ю. А. Джагаров. К вопросу построения элементов цифровых машин на основе взаимодействия световых потоков. Когерентно-оптические элементы обработки информации.— Тезисы конференции по автоматизации научных исследований на основе применения ЭЦВМ. Новосибирск, 1972.
4. Шеркл и ф. ф. Поляризованный свет. М., «Мир», 1965.

Поступило в редакцию 13 июля 1972 г.

УДК 681.332

Э. Г. АВЕТИСОВ, Б. Е. ХАЙКИН, В. С. ХИТРОВА  
(Ереван)

#### К ВОПРОСУ О РАЗЛИЧИИ ИЗМЕНЕНИЙ В ИЗОБРАЖЕНИЯХ

В последние годы получили распространение методы различения изменений в двух изображениях, записанных на пленку (изображения микросхем, контроль изделий, сравнение двух фотоснимков [1]). Выделение претерпевших изменение деталей осуществляется с помощью оптического вычитания с двойной экспозицией. При этом следует записать голограмму первого изображения, что делает невозможным визуальный контроль при выборе нужных изображений и не позволяет определить, на каком из изображений произошли изменения. Применение в схеме оптического вычитания синусоидальных решеток [2] хотя и устраняет необходимость записи голограммы первого изображения, но не позволяет определить, в каком из изображений произошли изменения.

Решение задачи различения изображений с указанием факта изменения с одновременным выяснением, в каком из изображений произошли изменения, может быть достигнуто на основе использования свойств преобразования Фурье для негатива и позитива

сравниваемых изображений, связанных соотношениями:

$$F_1(\omega_x, \omega_y) = F_{01} + |F_1| e^{i\psi_1}; \quad F_2(\omega_x, \omega_y) = F_{02} + |F_1| e^{i\psi_1} e^{i\pi}, \quad (1)$$

где

$$F_{01} = \iint f_1(x, y) dx dy; \quad F_{02} = \iint f_2(x, y) dx dy,$$

т. е. спектры позитива и негатива одинаковых изображений имеют различные постоянные составляющие, а фазы переменных составляющих отличаются на  $180^\circ$ .

Заметим, что различие фаз переменных составляющих спектра негатива и позитива на  $180^\circ$  позволяет осуществить операцию оптического вычитания без фазовых  $\pi$ -пластинок, а сумма постоянных составляющих спектров влияет на изменение соотношения между интенсивностью фона и объекта.

Негатив и позитив сравниваемых изображений размещается в плоскости объекта  $P_1$  схемы фильтрации (рис. 1) на равном расстоянии от оптической оси. Суммарное распределение в плоскости объекта имеет вид

$$t(x, y) = f_1(x-b, y) + f_2(x+b, y). \quad (2)$$

При освещении плоскости  $P_1$  параллельным пучком когерентного света в плоскости  $P_2$  в результате преобразования Фурье, выполняемого линзой  $L_1$ , находим

$$T(\omega_x, \omega_y) = F_1(\omega_x, \omega_y) e^{ib\omega_x} + F_2(\omega_x, \omega_y) e^{-ib\omega_y}. \quad (3)$$

Для получения преобразования Фурье суммы двух комплексных функций  $f_1(x-b, y)$  и  $f_2(x+b, y)$  нужно предварительно устранить фазовые множители спектров позитива и негатива, возникающие в результате смещения объектов относительно оптической оси. Эта операция может быть выполнена с помощью дифракционных решеток, например, с помощью синусоидальной решетки, амплитудная функция пропускания которой приближенно может быть представлена в виде

$$D(\omega_x) = C + e^{ib\omega_x} + e^{-ib\omega_x}. \quad (4)$$

После взаимодействия преобразования Фурье суммы комплексных функций позитива и негатива с функцией синусоидальной решетки на выходе плоскости  $P_2$  получим

$$R[P_2] = CF_1(\omega_x, \omega_y) e^{ib\omega_x} + CF_2(\omega_x, \omega_y) e^{-ib\omega_x} + F_1(\omega_x, \omega_y) e^{2ib\omega_x} + F_2(\omega_x, \omega_y) e^{-2ib\omega_x} + F_1(\omega_x, \omega_y) + F_2(\omega_x, \omega_y). \quad (5)$$

Линза  $L_2$  осуществляет преобразование Фурье, в результате которого в плоскости изображения  $P_3$

$$R[P_3] = cf_1(x_1-b, y_1) + cf_2(x_1-b, y_1) + f_1(x_1-2b, y_1) + f_1(x_1, y_1) + f_2(x_1, y_1). \quad (6)$$

Проанализируем сумму последних членов уравнения (5). При одинаковых сравниваемых объектах

$$F_1(\omega_x, \omega_y) + F_2(\omega_x, \omega_y) = F_{01} + F_{02} = N_0 \quad (7)$$

в плоскости изображения получается однородный фон за счет суммы постоянных составляющих спектров позитива и негатива. При неодинаковых сравниваемых объектах различающиеся детали могут быть ярче либо светлее фона в зависимости от того, появились эти детали или исчезли. В этом случае сумма спектров сравниваемых объектов может быть выражена в виде

$$F_{01} + |F_1| e^{i\psi_1} \pm \Delta F_1(\omega_x, \omega_y) + F_{02} - |F_1| e^{i\psi_1} \pm \Delta F_1(\omega_x, \omega_y) = N_0 \pm \Delta F_1(\omega_x, \omega_y) \pm \Delta F_2(\omega_x, \omega_y), \quad (8)$$

где  $\Delta F_1(\omega_x, \omega_y) + \Delta F_2(\omega_x, \omega_y)$  — возможные изменения спектров сравниваемых объектов, а  $N_0$  — постоянная составляющая. Анализ выражения (8) показывает, что возможны четыре варианта соотношений между интенсивностями различающихся деталей объекта и фона. Если детали объекта светлее фона, то при исчезновении они будут видны в пло-

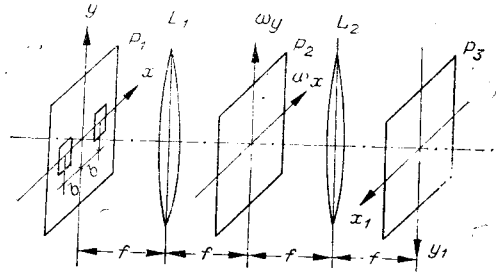


Рис. 1.

скости  $P_3$  ярче фона, а при появлении — бледнее фона. Если детали объекта темнее фона, то при исчезновении они будут видны темнее фона в выходной плоскости системы, а при появлении — ярче фона.

Результат экспериментального определения изменений в изображениях приведен на рис. 2, который представляет собой фотографию результирующей плоскости схемы сравнения  $P_3$  (см. рис. 1). На фотографии видны: первое изображение (верхнее изображение), негатив второго изображения (нижнее изображение) и результат сравнения (среднее изображение). Из сравнения ясно, что исчез квадрат (темный на светлом фоне) и появился ромб (светлый на темном фоне), что подтверждает правильность аналитического рассмотрения метода. Для наглядности детали негатива (треугольник и круг) выбраны несколько меньше аналогичных деталей первого объекта.

Как видно из приведенных результатов, некоторым ограничением метода является требование априорной информации о соотношении между предметом и фоном. Однако для практических приложений, в которых это соотношение обычно известно (микросхемы, детали и т. п.), главную роль играют два основных достоинства метода — возможность определения, в каком из изображений произошли изменения, и возможность исключения фазовой пластинки, обычно применяемой в схемах оптического вычитания и требующей достаточно точной юстировки и компенсации.

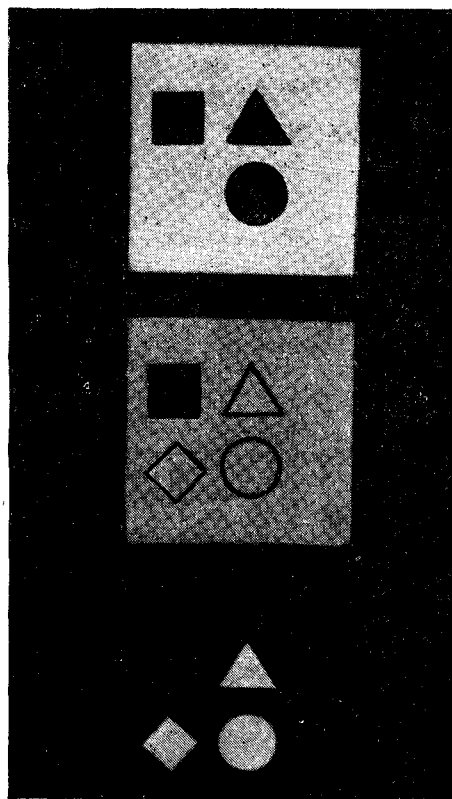


Рис. 2.

## ЛИТЕРАТУРА

1. New Scientist and Science Journal. 1971, 18/III, № 743.
2. S. H. Lee et al. Optical Image Synthesis (Complex Amplitude Addition and Subtraction) in Real Time by a Diffraction — Grating Interferometric Method. — Journal of the Opt. Soc. of America, 1970, v. 60, № 8.

Поступило в редакцию 10 января 1973 г.

УДК 539.02-621.378

Б. Б. АВЕРБУХ, Г. В. КРИВОЩЕКОВ, Н. Г. НИКУЛИН  
(Новосибирск)

### ВОЗБУЖДЕНИЕ ВТОРОЙ ГАРМОНИКИ СЛУЧАЙНОЙ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЬЮ СВЕРХКОРОТКИХ ИМПУЛЬСОВ СВЕТА

Как показано в [1], генерируемый в лазере с самосинхронизацией мод [2] сверхкороткий импульс (СКИ) света имеет субструктуру. При исследовании субструктуры СКИ часто изучают коэффициент преобразования излучения в импульсе во вторую гармонику [3]. Обычно для удвоения частоты используют достаточно тонкие нелинейные кристаллы (около 5 мм). Такая толщина кристаллов позволяет проводить удвоение частоты квазистатически лишь для «обогащающего» СКИ. Для каждого из субимпульсов процесс удвоения нестационарный [4]. Последнее может существенно влиять на измеряемую величину и приводить к неверной интерпретации.