

Ю. А. ДЖАГАРОВ, Ю. С. МАНУКЯН

(Тбилиси)

## О ВОЗМОЖНОСТИ РЕАЛИЗАЦИИ ЭЛЕМЕНТОВ ОПТИЧЕСКИХ АВТОМАТОВ НА ОСНОВЕ ПОЛЯРИЗАЦИОННО-ИНТЕРФЕРЕНЦИОННОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ СВЕТОВЫХ ПОТОКОВ

Одним из перспективных направлений в решении задач обработки измерительной информации является использование свойств света для создания оптических автоматов и аппаратуры [1]. В ряде случаев, например при решении задачи автоматизации проверки оптических устройств, использование оптических автоматов позволяет избежать промежуточных преобразований форм представления информации, что обеспечивает существенно меньшие погрешности, а также увеличивает объемы перерабатываемой информации за счет специфических особенностей оптических автоматов, связанных с возможностью работы по многим каналам. Один из основных факторов прогресса в этой области — разработка и совершенствование новых логических схем и устройств. К настоящему времени основные тенденции при разработке полностью оптических схем связаны с использованием эффектов взаимодействия вещества с электромагнитным потоком [2] или процессов лазерного усиления, генерации оптических сигналов и др.

Представляется перспективным использование для этой цели также и эффектов поляризационно-интерференционного взаимодействия когерентных световых потоков [3]. Ниже описан ряд схем, реализованных на этой основе.

Зададим информацию в форме когерентных полностью поляризованных световых потоков  $I_1$  и  $I_2$  с соответственно правой и левой формами циркулярной поляризации. Описывая эти потоки с помощью полных векторов Джонса [4], введем следующие соотношения между световыми потоками и двоичными переменными  $A$  и  $B$ :

$$I_1 = \begin{cases} \begin{bmatrix} A_x \exp i\varepsilon_x \\ A_x \exp i\left(\varepsilon_x + \frac{\pi}{2}\right) \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}; & A = 1; \\ \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \end{bmatrix}; & A = 0; \end{cases} \quad (1)$$

$$I_2 = \begin{cases} \begin{bmatrix} A_x \exp i\varepsilon_x \\ A_x \exp i\left(\varepsilon_x - \frac{\pi}{2}\right) \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}; & B = 1; \\ \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \end{bmatrix}; & B = 0. \end{cases} \quad (2)$$

Здесь  $A_x$  — максимальная величина  $x$ -компоненты электрического вектора  $\vec{E}(E_x; E_y)$ ;  $\varepsilon_x$  — некоторая начальная фаза. Кроме того, значениям двоичных переменных  $A=1$ ,  $B=1$  соответствует наличие света, а значениям  $A=0$ ,  $B=0$  — отсутствие света.

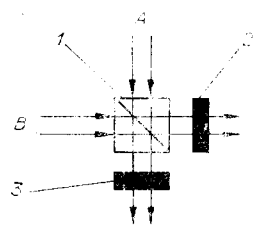


Рис. 1.

Рассмотрим процессы взаимодействия потоков  $I_1$  и  $I_2$  при совмещении на светоделителе  $I$  (рис. 1), на выходах которого по направлению распространения света установлены линейные поляризаторы  $2$  и  $3$  с азимутом оси пропускания  $\Theta = 90^\circ$ . Для описания действия поляризатора воспользуемся матрицей Джонса [4]

$$K = \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix}. \quad (3)$$

При комбинации входных сигналов  $A=1$  и  $B=1$  потоки  $I_1$  и  $I_2$  совмещаются:

$$\begin{aligned} I_1 + I_2 &= \frac{1}{\sqrt{2}} \begin{bmatrix} A_x \exp i\varepsilon_x \\ A_x \exp i\left(\varepsilon_x + \frac{\pi}{2}\right) \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} + \frac{1}{\sqrt{2}} \begin{bmatrix} A_x \exp i\varepsilon_x \\ A_x \exp i\left(\varepsilon_x - \frac{\pi}{2}\right) \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} = \\ &= \begin{bmatrix} \sqrt{2} A_x \exp i\varepsilon_x \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}. \end{aligned} \quad (4)$$

Выражение в правой части (4) — вектор Джонса, описывающий линейно-поляризованный поток с азимутом  $0^\circ$ . Взаимодействие этого потока с линейными поляризаторами

2 и 3 дает значение выходного потока

$$S = K(I_1 + I_2) = \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \sqrt{2} A_x \exp i \varepsilon_x \\ 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \end{bmatrix}. \quad (5)$$

Связь выходной двоичной переменной  $P$  с потоком  $S$  обозначим следующим образом:

$$P=0 \text{ при } S = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \end{bmatrix}; \quad P=1 \text{ при } S \neq \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \end{bmatrix}, \text{ т. е. для выражения (5) } P=0.$$

При входной комбинации  $A=1, B=0$  из (1) с учетом (3) имеем

$$S = \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \frac{1}{\sqrt{2}} A_x \exp i \varepsilon_x \\ \frac{1}{\sqrt{2}} A_x \exp i \left( \varepsilon_x + \frac{\pi}{2} \right) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ \frac{1}{\sqrt{2}} A_x \exp i \left( \varepsilon_x + \frac{\pi}{2} \right) \end{bmatrix}. \quad (6)$$

Вектор в правой части описывает линейно-поляризованный свет с азимутом  $90^\circ$ . Следовательно, для данной комбинации входных сигналов  $P=1$ .

При входной комбинации  $A=0, B=1$  из (2) и (3) аналогично получим

$$S = \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \frac{1}{\sqrt{2}} A_x \exp i \varepsilon_x \\ \frac{1}{\sqrt{2}} A_x \exp i \left( \varepsilon_x - \frac{\pi}{2} \right) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ \frac{1}{\sqrt{2}} A_x \exp i \left( \varepsilon_x - \frac{\pi}{2} \right) \end{bmatrix}. \quad (7)$$

Здесь вектор в правой части тоже описывает линейно-поляризованный свет и  $P=1$ . При отсутствии входных световых потоков отсутствует и выходной поток. Поэтому  $P=0$ , если  $A=0, B=0$ . Таким образом, очевидно, что устройство (см. рис. 1) может быть использовано в качестве элемента, реализующего функцию  $P = \bar{x}y \vee x\bar{y}$ , совпадающую с логической функцией «сумма по mod 2». Очевидно также, что при сочетаниях  $A=1, B=0$  и  $A=0, B=1$  описанный элемент может реализовать функции инвертора по входам  $B$  и  $A$  соответственно.

Использование поляризационных эффектов наряду с интерференцией позволяет построить логические элементы с универсальными свойствами. Примером такого устройства является схема, представленная на рис. 2. Здесь  $A$  и  $B$  задаются линейно-поляризованными потоками, фаза которых сдвинута на  $(2n+1)\pi$  ( $n=0, \pm 1, \pm 2, \dots$ ) относительно фазы постоянных линейно-поляризованных потоков 3 и 4. По аналогии с (1) и (2) для  $A$  и  $B$  в этом случае запишем:

$$I_3 = \begin{cases} \begin{bmatrix} 0 \\ A_y \exp i \varepsilon_y \end{bmatrix}; & A = 1; \\ \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \end{bmatrix}; & A = 0; \end{cases} \quad (8)$$

$$I_4 = \begin{cases} \begin{bmatrix} 0 \\ A_y \exp i \varepsilon_y \end{bmatrix}; & B = 1; \\ \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \end{bmatrix}; & B = 0. \end{cases} \quad (9)$$

Вектор Джонса потоков 3 и 4 в этом случае будет иметь вид

$$R = \begin{bmatrix} 0 \\ A_y \exp i [\varepsilon_y + \pi(2n+1)] \end{bmatrix}. \quad (10)$$

При комбинации  $A=1$  и  $B=1$  на выходах светоделителей 1 и 2 без учета сдвига фаз, вносимых светоделителями, получим

$$S_{1,2} = \frac{1}{\sqrt{2}} \begin{bmatrix} 0 \\ A_y \exp i \varepsilon_y \end{bmatrix} + \frac{1}{\sqrt{2}} \begin{bmatrix} 0 \\ A_y \exp i [\varepsilon_y + \pi(2n+1)] \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \end{bmatrix}, \quad (11)$$

т. е. вследствие интерференционного гашения световой поток отсутствует ( $P=0$ ). При идентичности светоделителей 1 и 2 сдвиги по фазе, вносимые ими, легко учитываются известными методами, так, например, установкой у входных граней фазокорректирующих пластинок. При  $A=1$  и  $B=0$  из (8), (9) и (10) для светового потока на выходе светоделителя 1

$$\begin{aligned} S_1 &= K + I_4 = \frac{1}{\sqrt{2}} \begin{bmatrix} 0 \\ A_y \exp i [\varepsilon_y + \pi(2n+1)] \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \end{bmatrix} = \\ &= \frac{1}{\sqrt{2}} \begin{bmatrix} 0 \\ A_y \exp i [\varepsilon_y + \pi(2n+1)] \end{bmatrix}, \end{aligned} \quad (12)$$

а для светового потока на выходе светоделителя 2—

$$S_2 = R + I_3 = \frac{1}{\sqrt{2}} \begin{bmatrix} 0 \\ A_y \exp i [\varepsilon_y + \pi (2n + 1)] \end{bmatrix} + \frac{1}{\sqrt{2}} \begin{bmatrix} 0 \\ A_y \exp i \varepsilon_y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \end{bmatrix}. \quad (13)$$

Потоки  $S_1$  и  $S_2$  поступают в смеситель 5, настроенный на совмещение световых потоков с разностью фаз  $2\pi \left(\frac{1}{3} + n\right)$ . Поэтому если рассматривать смеситель 5 по отношению к  $S_1$  как изотропную однородную пластину с матрицей Джонса вида

$$M_1 = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix}, \quad (14)$$

то по отношению к  $S_2$  он будет эквивалентен однородной изотропной пластинке, вносящей сдвиг фаз  $\Delta\varphi = 2\pi \left(\frac{1}{3} + n\right)$  относительно  $S_1$  за счет разности хода  $\Delta l = \frac{\lambda \Delta\varphi}{2\pi}$ , вносимой смесителем до совмещения потоков  $S_1$  и  $S_2$ . Такая пластина может быть описана матрицей Джонса вида

$$M_2 = \begin{bmatrix} \exp \left[ i2\pi \left(\frac{1}{3} + n\right) \right] & 0 \\ 0 & \exp \left[ i2\pi \left(\frac{1}{3} + n\right) \right] \end{bmatrix}. \quad (15)$$

Тогда

$$M_1 S_1 = \frac{1}{\sqrt{2}} \begin{bmatrix} 0 \\ A_y \exp i [\varepsilon_y + \pi (2n + 1)] \end{bmatrix}; \quad M_2 S_2 = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \end{bmatrix}.$$

Таким образом, для вектора Джонса результирующего выходного потока

$$S = M_1 S_1 + M_2 S_2 = \frac{1}{\sqrt{2}} \begin{bmatrix} 0 \\ A_y \exp i [\varepsilon_y + \pi (2n + 1)] \end{bmatrix}, \quad \text{т. е. } P=1. \quad (16)$$

Аналогично при комбинации  $A=0, B=1$

$$S_1 = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \end{bmatrix}; \quad S_2 = \frac{1}{\sqrt{2}} \begin{bmatrix} 0 \\ A_y \exp i [\varepsilon_y + \pi (2n + 1)] \end{bmatrix}.$$

Поэтому

$$M_1 S_1 = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \end{bmatrix}; \quad M_2 S_2 = \frac{1}{\sqrt{2}} \begin{bmatrix} 0 \\ A_y \exp i [\varepsilon_y + \pi (2n + 1)] \exp i \frac{2}{3} \pi \end{bmatrix}$$

и для выходного излучения

$$S = M_1 S_1 + M_2 S_2 = \frac{1}{\sqrt{2}} \begin{bmatrix} 0 \\ A_y \exp i [\varepsilon_y + \pi (2n + 1)] \exp i \frac{2}{3} \pi \end{bmatrix}, \quad \text{т. е. } P=1. \quad (17)$$

При комбинации  $A=0, B=0$

$$S_1 = S_2 = \frac{1}{\sqrt{2}} \begin{bmatrix} 0 \\ A_y \exp i [\varepsilon_y + \pi (2n + 1)] \end{bmatrix}. \quad (18)$$

С помощью (14) и (15) из (18) получим:

$$M_1 S_1 = \frac{1}{\sqrt{2}} \begin{bmatrix} 0 \\ A_y \exp i [\varepsilon_y + \pi (2n + 1)] \end{bmatrix}; \\ M_2 S_2 = \frac{1}{\sqrt{2}} \begin{bmatrix} 0 \\ A_y \exp i [\varepsilon_y + \pi (2n + 1)] \exp i \frac{2}{3} \pi \end{bmatrix},$$

откуда для выходного излучения

$$S = M_1 S_1 + M_2 S_2 = \frac{1}{\sqrt{2}} \begin{bmatrix} 0 \\ A_y \exp i [\varepsilon_y + \pi (2n + 1)] \end{bmatrix} + \\ + \frac{1}{\sqrt{2}} \begin{bmatrix} 0 \\ A_y \exp i [\varepsilon_y + \pi (2n + 1)] \exp i \frac{2}{3} \pi \end{bmatrix} = \\ = \frac{1}{\sqrt{2}} \begin{bmatrix} 0 \\ A_y \exp i [\varepsilon_y + \pi (2n + 1)] \left( 1 + \exp i \frac{2}{3} \pi \right) \end{bmatrix}$$

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 8 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.

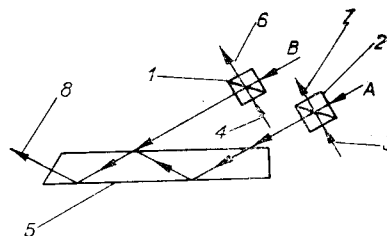


Рис. 2.

#### 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