

3. Свидзинский К. К. Элементарная база когерентных оптических ЦВМ.— «Электрон. пром-сть», 1973, вып. 6 (20), с. 56—62.
4. Свидзинский К. К. Оптические логические устройства на активных управляемых транспарантах.— «Микроэлектроника», 1974, т. 3, № 3, с. 200—207.
5. Meitzler A. H., Maldonado J. R., Fraser D. B. Image storage and display devices using fine-grain ferroelectric ceramics.— «Bell Syst. Techn. J.», 1970, vol. 49, N 6, p. 953—967.
6. Salvo C. Solid-State light valve.— «IEEE Trans. on Electron Devices», 1971, vol. ED-18, N 9, p. 748—757.

*Поступила в редакцию 29 мая 1974 г.;  
окончательный вариант — 8 июля 1974 г.*

УДК 681.327.02 : 771.534.14

**Е. К. ШМАРЕВ**

(Киев)

### ГОЛОГРАФИЧЕСКИЙ СУММАТОР НА ФОТОПЛАСТИКЕ

При построении когерентных оптических систем распознавания и обработки изображений часто ставится задача их обучения и адаптации. В ряде случаев для этого необходимо осуществлять временное суммирование комплексных световых полей, соответствующих реализациям самих изображений, или же некоторых передаточных функций. При этом использование обычных фотографических материалов наталкивается на существенные трудности. Во-первых, при увеличении числа суммируемых происходит переполнение регистрирующей среды по постоянной составляющей, что сопряжено с уменьшением дифракционной эффективности и отношения сигнал/шум. Во-вторых, возможно получение лишь конечного результата суммирования, так как проявление осуществляется один раз, в то время как для реализации алгоритмов Видроу—Хоффа, стохастической аппроксимации, калмановской фильтрации и других необходимо использование голографического транспаранта в оптическом корреляторе после выполнения суммирования каждого последующего слагаемого.

Рассмотрим возможность реализации свободного от перечисленных недостатков голографического сумматора на основе фотопластических сред. За основу примем схему оптического коррелятора Ван дер Люгта с фотопластическим элементом в частотной плоскости, описанную в работе [1]. Предположим, что на фотопластике голографически записана комплексная функция  $H_1(\xi, \eta)$  и его комплексное пропускание

$$\tau(\xi, \eta) = 1 + jmH_1(\xi, \eta) \exp[-j\omega\xi] + jmH_1^*(\xi, \eta) \exp[j\omega\xi]. \quad (1)$$

Задача состоит в том, чтобы осуществить повторную запись новой функции  $H_2(\xi, \eta)$  без стирания первичного изображения. Если провести повторную равномерную зарядку фотопластического носителя и проэкспонировать его интенсивностью света

$$I(\xi, \eta) = |H_2(\xi, \eta)|^2 + 1 + H_2(\xi, \eta) \exp[-j\omega\xi] + H_2^*(\xi, \eta) \exp[j\omega\xi], \quad (2)$$

то зарядное изображение на фотопластике в пределах небольшой зарядной модуляции

$$\sigma(\xi, \eta) = \sigma_0 + \sigma_{\sim}(It_0), \quad (3)$$

где  $t_0$ — время экспозиции,  $\sigma_0$  и  $\sigma_{\sim}$ — соответственно постоянная и переменная составляющие плотности заряда. Переменная составляющая  $\sigma_{\sim}$

создает силовое поле, действие которого приводит к образованию новой, вынужденной деформации. При нагреве фотопластика будет происходить развитие уже существующей деформации, определяемой функцией  $H_1(\xi, \eta)$ , и вынужденной деформации, определяемой  $H_2(\xi, \eta)$ .

В соответствии с рассмотрением, проведенным Баддом [2], развитие  $i$ -й гармоники первичной деформации  $\Delta L_i$  на поверхности термопластического слоя, равномерно заряженного с плотностью  $\sigma_0$ , при отсутствии релаксации заряда и в приближении вязкой ньютоновской жидкости можно представить в виде

$$L_i = \Delta L_i \exp[\omega_i t], \quad (4)$$

где

$$\omega_i = -\frac{T^* k (\text{sh } 2kd)/2 - kd}{2\mu (\text{ch}^2 kd + k^2 d^2)}, \quad (5)$$

$$T^* = T_m \frac{\epsilon_1 \epsilon_2 k d}{\epsilon_1 \text{sh } kd + \epsilon_2 \text{ch } kd}, \quad (6)$$

$T^*$  — эффективное напряжение на границе,  $\mu$  — коэффициент вязкости,  $k$  — волновое число деформации,  $d$  — толщина слоя,  $\epsilon_1$  и  $\epsilon_2$  — диэлектрические постоянные.

Для того чтобы при повторном нагреве для первичной деформации было обеспечено квазистационарное равновесие, необходимо соблюдение условия  $\omega_i = 0$ , что возможно при  $T^* = 0$ . Из выражений (5) и (6) можно получить требуемое значение постоянной составляющей плотности заряда на поверхности

$$\sigma_0^* = \frac{T_m \epsilon_1 k}{\text{ch } kd} \left( \text{sh } kd + \frac{\epsilon_1}{\epsilon_2} \text{ch } kd \right). \quad (7)$$

В результате соблюдения данного условия при повторной равномерной зарядке и экспонировании интенсивностью  $I(\xi, \eta)$  на поверхности слоя будет развиваться лишь вынужденная деформация и результирующее пропускание фотопластического прозрачного с учетом фильтрации низкочастотных составляющих будет определяться суммой первичной деформации, не претерпевшей изменений, и вынужденной деформации, соответствующей суммируемой функции  $H_2(\xi, \eta)$ :

$$\tau(\xi, \eta) = 1 + jm(H_1 + H_2) \exp[-j\omega\xi] + jm(H_1^* + H_2^*) \exp[j\omega\xi]. \quad (8)$$

Повторяя описанный процесс нужное число раз, можно получить голографический фильтр с пропусканием на несущей пространственной частоте

$$\tau_{\text{ит}} = jm \sum_{i=1}^N H_i(\xi, \eta) \exp[-j\omega\xi] + jm \sum_{i=1}^N H_i^*(\xi, \eta) \exp[j\omega\xi]. \quad (9)$$

Если величина суммы ограничена  $\left| \sum_{i=1}^N H_i(\xi, \eta) \right| \leq A$ , то процесс суммирования на фотопластическом носителе ограничивается лишь его циклическостью. Однако вследствие зависимости правой части выражения (7) от  $k$  должна наблюдаться трансформация передаточной функции фотопластического слоя в процессе суммирования, направленная в сторону ее сужения.

Другая возможность создания преимущества для развития вынужденной деформации, а тем самым и реализации требуемого режима суммирования может основываться на описанном в работе [3] явлении более раннего начала развития регулярного рельефа, чем хаотического

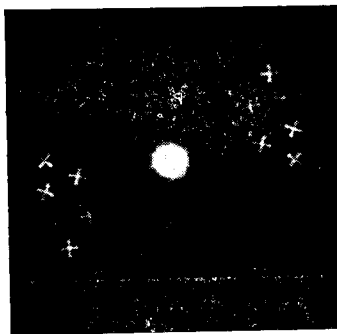


Рис. 1. Изображение, восстановленное с фурье-голограммы, полученной методом последовательного суммирования.

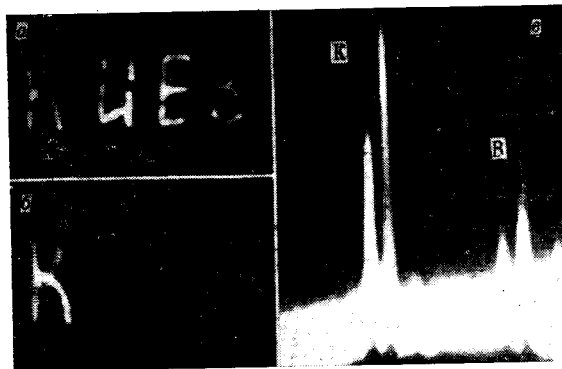


Рис. 2. Вычитание изображений:  
*а* — исходное изображение, зарегистрированное на голограмме (снимок с телевизионного экрана); *б* — результат вычитания с весом для ИЕ — 1, для В — 0,5; *в* — сечение распределения интенсивности в результирующем изображении (сигнал строки видикона).

(или вообще баддовского). Так, если время проявления выбрать достаточно малым, то уже существующий рельеф не будет претерпевать изменений, в то время как новая суммируемая функция будет записана. Кроме того, использование кратковременного прогрева фотопластического носителя на стадии проявления способствует сохранению квазистационарного равновесия для существующей деформации даже при наличии релаксации поверхностного заряда. На практике одновременное использование режима зарядки фотопластика, обеспечивающего выполнение условия (7) для постоянной составляющей плотности заряда, и кратковременного импульсного прогрева позволяет осуществлять устойчивое суммирование последовательности изображений с ухудшением их качества, обусловленным лишь износом фотопластического материала.

На основе голографического сумматора на фотопластике в когерентном оптическом корреляторе, кроме рекуррентных алгоритмов обучения, может быть осуществлено вычисление различных разностных функционалов от изображений. Задание отрицательного знака при суммировании осуществляется за счет сдвига фазы опорной волны на  $\pi$ .

На рис. 1 представлен результат последовательного суммирования на фурье-голограмме разноориентированных изображений креста с различными пространственными несущими.

Точность выполнения операции суммирования на фотопластике определяется степенью стабилизации режимов зарядки и проявления. В проведенных экспериментах она была порядка 10%. Начальная величина поверхностного заряда слоя задавалась посредством предварительной некогерентной засветки фотопластического носителя (перед этим слой заряжался от короны до предельного потенциала), а значение величины  $\sigma_{\sim}$  определялось длительностью экспозиции. При этом вариация весовых значений суммируемых изображений осуществлялась за счет изменения  $\sigma_{\sim}$  при постоянном значении  $\sigma_0$ .

На рис. 2, б представлен результат вычитания из слова КИЕВ рис. 2, а букв ИЕ с весом 1 и буквы В с весом 0,5. На рис. 2, в приведен сигнал одной строки видикона, представляющий распределение интенсивности света в результирующей картине по одному из горизонтальных сечений.

В заключение отметим, что режим работы фотопластического носителя может быть также использован для локального стирания и перезаписи информации в системах оперативной голографической памяти.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Митрофанова Л. А., Островский А. С., Почерняев И. М., Шмарев Е. К. Методы фотопластической записи в задачах фильтрации изображений.— «Автометрия», 1976, № 3, с. 16.
2. Budd H. Dynamical theory of thermoplastic deformation.— "J. Appl. Phys.", 1965, vol. 36, N 5, p. 1613.
3. Кувшинский Н. Г., Баженов Ю. М., Соколов Н. И. Голографическая регистрация на термопластичных средах.— Материалы VII Всесоюзной школы по голографии. Л., ЛИЯФ, 1975, с. 377.

*Поступила в редакцию 19 ноября 1976 г.;  
окончательный вариант — 14 февраля 1977 г.*

УДК 681.327.02 : 621.378.9

**А. Г. БЕСЕДИН, Ю. И. ХАБАРОВ**

*(Москва)*

### **СХЕМА ЗАПИСИ ИНФОРМАЦИИ НА ОДНОМЕРНЫЕ ГОЛОГРАММЫ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ УПРАВЛЯЕМОГО ТРАНСПАРАНТА И МОДУЛЯТОРА ОПОРНОГО ПУЧКА НА ЖИДКИХ КРИСТАЛЛАХ**

Для реализации голографической системы памяти с бегущим пятном [1], в которой успешно сочетается большая емкость и высокое быстродействие, необходимо создание электрически управляемого устройства постраничного ввода информации в оптический канал такой системы — управляемого транспаранта (УТ). Проблема создания УТ большой информационной емкости в настоящее время не решена. Из известных электрооптических эффектов ни один не удовлетворяет всему комплексу требований, предъявляемых к таким устройствам, в частности к устройствам с матричной адресацией.

Если необходимо хранить большой объем информации, а время доступа может быть не очень малым, возможно применение голографических систем памяти на основе многодорожечной записи одномерных голограмм [2—4]. Основные преимущества этой системы в том, что при записи и считывании достаточно линейки модуляторов и линейки фотоприемников; значительно упрощается геометрия оптической схемы устройства. Также упрощается ввод и вывод аналоговой информации.

Общим недостатком упомянутых выше систем является большое время доступа, сравнимое с временем доступа обычных ЗУ на магнитных лентах, а также использование во всех этих системах узлов механического перемещения.

Предлагается схема постраничной записи информации с последовательным построчным вводом ее на одномерные фурье-голограммы, осуществляемым с помощью УТ на ЖК (жидких кристаллах) и пространственного модулятора опорного пучка на жидких кристаллах (см. рисунок). Считывание информации постраничное. В схеме отсутствуют узлы механического перемещения. Таким образом, схема сочетает в себе преимущества обоих вышеупомянутых принципов построения голографических систем памяти.

Благодаря использованию цилиндрической линзы вместо сферической фурье-преобразование в этой схеме совершается только в одном направлении. Уменьшающие телескопические системы в каналах опорного и сигнального лучей обеспечивают необходимые геометрические размеры голограмм.