

корни $f_k(z)$ равны по модулю единице и $\sigma_{f_k} = 1$. По той же причине $\sigma_{f_N} = 1$. Будем предполагать, что $N/2 < k < N$. При $z \neq 1$ имеем

$$f_k(z) = (z^{N+1} - 2z^{k+1} + 1) / (1 - z).$$

Так как функция $2r^{k+1} - r^{N+1} - 1$ равна 0 в точке $r=1$ и строго монотонно возрастает на интервале $[1, r_0]$, где $r_0 = (2k + 2/N + 1)^{1/N-k}$, то при $1 < |z| < r_0$ выполнено неравенство

$$|1 + z^{N+1}| \leq 2|z^{k+1}|.$$

По теореме Руше полином $z^{N+1} - 2z^{k+1} + 1$ имеет в любом круге D_r радиуса $r \in (1, r_0)$ с центром в нуле в точности $k+1$ корень. Так как $z=1$ не есть корень f_k , то количество внешних корней полинома f_k равно $N-k$ и все внешние корни удалены от нуля на расстояние, не меньшее r_0 . Отсюда, согласно (1), получаем оценку снизу:

$$\sigma_{f_k} \geq (r_0^{N-k})^2 = 4 \left(\frac{k+1}{N+1} \right)^2.$$

Перейдем к оценке σ_{f_k} сверху. Пусть $|z| > 3^{1/N-k}$. Тогда

$$2|z^{k+1}| \leq |z|^{N+1} - |z|^{k+1} \leq |z^{N+1}| - 1.$$

Отсюда $2|z^{k+1}| < |1 + z^{N+1}|$. Из этого неравенства по теореме Руше вытекает, что количество корней полинома f_k , лежащих в круге $D_{3^{1/N-k}}$ радиуса $3^{1/N-k}$, совпадает с количеством корней в этом круге полинома $z^{N+1} + 1$, т. е. равно $N+1$. Отбрасывая лишний корень $z=1$, получаем, что в круге $D_{3^{1/N-k}}$ лежат все N корней полинома f_k . Поскольку, как доказано выше, f_k имеет $N-k$ внешних корней, неравенство $\sigma_{f_k} \leq 9$ следует теперь непосредственно из (1).

ЛИТЕРАТУРА

1. Loka Akio, Kurashi K. Holographic image formation using phase plates with incoherent imaging property.—“Appl. Opt.”, 1976, vol. 15, p. 1787—1794.
2. Маркушевич А. И. Теория аналитических функций. М., Физматгиз, 1950.
3. Поля Г., Сеге Г. Задачи и теоремы из анализа. Ч. I. М., «Наука», 1978.
4. Parodi M. Sur la localisation des zeros des polynomes.—“Comp. Rend. Acad. Sci.”, 1956, vol. 243, N 16, p. 1093—1099.

Поступила в редакцию 12 мая 1977 г.;
окончательный вариант — 5 мая 1978 г.

УДК 621.396.535.8

А. А. ВАСИЛЬЕВ, И. Н. КОМПАНЕЦ, С. П. КОТОВА,
В. Н. МОРОЗОВ

(Москва)

УПРАВЛЯЕМЫЕ ТРАНСПАРАНТЫ В ГОЛОГРАФИЧЕСКИХ СХЕМАХ С КОДИРОВАННЫМ ОПОРНЫМ ПУЧКОМ

Введение. Кодирование информации в оптоэлектронных вычислительных устройствах представляет важнейшую проблему, поскольку выбор оптимальных методов и схем кодирования позволяет решить много-

численные задачи оптической обработки информации [1]. В частности, путем кодирования опорного пучка при записи наложенных голограмм можно осуществить их раздельное восстановление [2]. Существенно повысить эффективность схем преобразования и кодирования оптических сигналов можно за счет применения в них управляемых транспарантов (УТ) [3].

Известно, что реализуемая на сегодняшний день емкость голографических запоминающих устройств с однократной записью информации на каждом участке регистрирующей среды при оптимальных параметрах оптических схем и габаритах устройств не превышает 10^8 бит [4]. Это соответствует плотности записи информации 10^4 бит/мм², что на 2-3 порядка меньше предельно допустимого значения, определяемого разрешающей способностью и собственными шумами регистрирующей среды. В этих условиях емкость запоминающего устройства может быть повышена более чем на порядок, если организовать хранение информации в виде массивов наложенных голограмм (см., например, [5]), хотя при этом предельная плотность записи уменьшается пропорционально числу последовательных экспозиций каждого участка носителя информации [6].

Для раздельного восстановления наложенных голограмм они кодируются либо посредством изменения угла падения опорного пучка [5], либо с помощью протяженных опорных источников (опорных предметов) [7]. Недостатком первого метода является значительное усложнение оптической схемы устройства. Во втором методе в качестве опорных источников используются, как правило, различные участки матового стекла (диффузора) [2], кодирующие свойства которого близки к идеальным.

Преимущества второго метода могут быть наилучшим образом реализованы при использовании в качестве опорных псевдослучайных или шумоподобных сигналов (ШПС), широко используемых в технике связи и радиолокации [8, 9].

Цель данной работы — теоретическое обоснование и экспериментальная проверка возможности использования для кодирования опорного пучка различных псевдослучайных сигналов, формируемых фазовыми УТ.

Кодирование опорного пучка с помощью бинарных псевдослучайных сигналов. Анализ процесса записи и восстановления фурье-голограмм с протяженным опорным источником показывает, что распределение амплитуд в восстановленном изображении пропорционально свертке входного сигнала с функцией автокорреляции распределения поля в опорном источнике [10]. Это означает, что неискаженное раздельное восстановление изображений с наложенных фурье-голограмм возможно только в том случае, если функции автокорреляций (ФАК) различных опорных источников близки к δ -функциям, а функции взаимных корреляций (ФВК) — к нулю.

Наилучшим образом указанным требованиям отвечает функция комплексного пропускания матового стекла, являющаяся оптическим аналогом белого шума. Однако формирование подобных сигналов фазовыми УТ затруднительно в силу необходимости воспроизведения слишком большого числа градаций фазы, что требует значительного усложнения схемы коммутации многоэлементного УТ. Наиболее подходящими для реализации с помощью управляемых фазовых транспарантов являются бинарные псевдослучайные сигналы. Из них наилучшими корреляционными свойствами обладают последовательности Хаффмена (M -последовательности [11]). Для этих сигналов отношение величины боковых выбросов ФАК к величине с центрального максимума не превышает значения

$$(0,7 \div 1,25) / \sqrt{N}, \quad (1)$$

где N — число элементов последовательности. Относительные значения выбросов ФВК не превосходят величины

$$(1,4 \div 5,1) / \sqrt{N}. \quad (2)$$

Из выражений (1) и (2) следует, что для получения бинарных ШПС с хорошими корреляционными свойствами необходимы управляемые транспаранты с числом элементов 31×31 и более. В нашем распоряжении были экземпляры фазовых УТ, имеющие всего 8×8 элементов. Поэтому в экспериментах по кодированию опорного пучка псевдослучайными сигналами использовались фазовые маски на основе отбеленной фотоэмульсии.

Для изготовления масок использовались фотопластинки ЛОИ-2, обладающие высоким пространственным разрешением и малыми шумами. Фотопластинки экспонировались методом контактной печати. Экспозиция подбиралась таким образом, чтобы после отбеливания оптическая толщина экспонированных участков масок превышала на величину $\lambda/2$ ($\lambda = 632,8$ нм) оптическую толщину неэкспонированных участков. При обработке фотопластинок применялся проявитель Д-19 и отбеливатели на основе хлорной меди со стабилизацией неорганическими красителями [12].

Для получения двумерных псевдослучайных сигналов использовались 6 M -последовательностей длиной в 31 элемент, причем двумерная функция находилась путем прямого перемножения двух одномерных. Изображения неотбеленных масок приведены на рис. 1.

Однородность и глубина фазового контраста отбеленных масок измерялись в интерферометре Маха—Цендера. Однако основной мерой качества таких масок являются их корреляционные функции. ФАК и ФВК комплексного пропускания масок измерялись в схеме голографического согласованного фильтра Вандер Люгта.

На рис. 2 представлен график ФАК одной из псевдослучайных последовательностей с базой $N = 31$ в сравнении с экспериментальными значениями величин боковых выбросов ФАК пропускания псевдослучайной маски, построенной на основе этой последовательности. Из графика видно, что интенсивность боковых выбросов ФАК пропускания маски составляет 3—6% от интенсивности основного максимума. Хотя расчетные относительные значения интенсивностей боковых выбросов не превышают величины 2,6%, тем не менее указанное несовпадение практически не ухудшает корреляционные характеристики масок, поскольку максимальные относительные величины выбросов ФВК масок

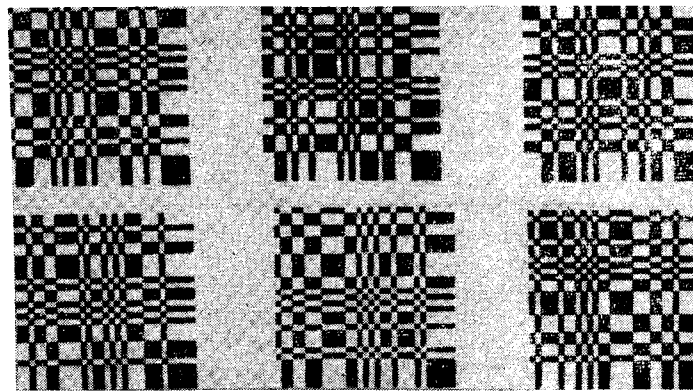


Рис. 1. Изображения неотбеленных масок с псевдослучайными кодами.

(2,5—3,5%) оказались меньше расчетных (свыше 4%). Приведенные результаты измерений указывают на возможность применения псевдослучайных масок, изготовленных на основе фотоэмульсии, для кодирования опорного пучка при записи голограмм.

При записи наложенных голограмм с кодированием опорного пучка псевдослучайными фазовыми масками использовалось диффузное освещение. Голограммы, полученные по этой методике, обладают всеми свойствами обычных фурье-голограмм, однако они характеризуются практически равномерным распределением интенсивностей при любой форме спектра входного сигнала [13]. Это позволяет избежать насыщения фотоэмульсии в области низких пространственных частот при большом числе последовательных записей.

Запись и восстановление голограмм производились по схеме, изображенной на рис. 3. Луч гелий-неонового лазера 1, проходя через микрообъектив 2, освещал на матовом стекле 3 область размером порядка 5 мм. Линза 4 создавала изображение матового стекла в плоскости голограммы 7. Непосредственно за линзой 4 во входной плоскости системы устанавливались транспаранты с двумя отверстиями, в одном из которых располагалась псевдослучайная фазовая маска 5 размером 20×20 мм, а другое размером 5×5 мм служило входным сигналом. Транспаранты с разными масками отличались расположением сигнального отверстия относительно опорного. Линза 8 формировала изображение транспарантов в выходной плоскости 9.

Экспозиция каждой из наложенных голограмм подбиралась таким образом, чтобы их дифракционные эффективности были примерно одинаковыми, а суммарная плотность почернения фотопластинки равнялась оптимальной (соответствующей максимальной эффективности однократно экспонированной голограммы). Для регистрации голограмм использовались фотопластинки ЛОИ-2, которые обрабатывались в проявителе Д-19 без отбеливания, в связи с чем их дифракционная эффективность не превышала 1%.

При восстановлении голограммы освещались через транспарант с соответствующей фазовой маской при закрытом сигнальном отверстии. На рис. 4 представлены изображения, восстановленные с трех наложенных голограмм. Видно, что интенсивность изображений-помех не превосходит интенсивности диффузного шума. При этом отношение сигнал/шум в восстановленном изображении было порядка 5 (расчетные значения, полученные исходя из величины выбросов в ФВК масок и числа

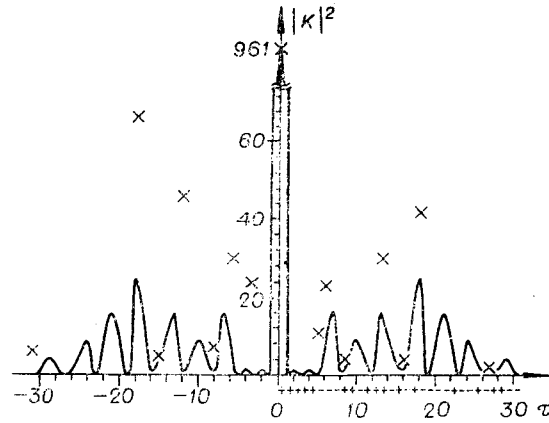


Рис. 2. Результаты измерения (X) и вычисления (сплошная кривая) квадрата модуля функции автокорреляции псевдослучайного кода (внизу справа).

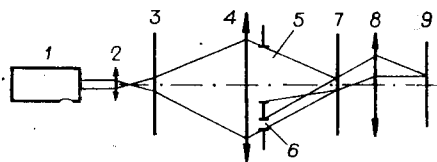


Рис. 3. Схема записи голограмм с кодированием опорного пучка фазовыми масками с псевдослучайными функциями пропуска:

1 — лазер, 2 — микрообъектив, 3 — диффузно-рассеивающая пластина, 4, 8 — линзы, 5 — маска с псевдослучайным кодом, 6 — транспарант с входным сигналом, 7 — голограмма, 9 — плоскость изображения.

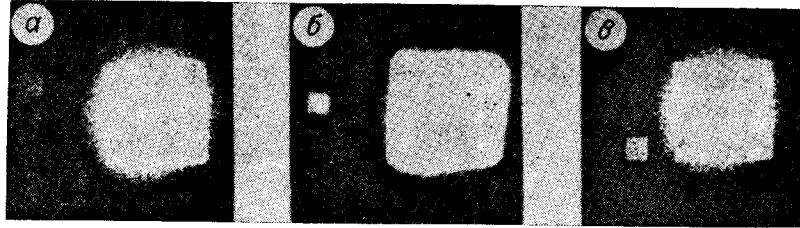


Рис. 4. Изображения, восстановленные с голограмм *a*, *б*, *в*, записанных на одном участке фотопластины при кодировании опорного пучка различными псевдослучайными сигналами.

наложенных голограмм [6], равны 3—5). Для 5 наложенных голограмм отношение сигнал/шум в восстановленных изображениях было порядка 1,5 (расчетные значения — $1,2 \div 1,6$).

Применение функций Уолша для кодирования наложенных голограмм. Несмотря на то, что функции Уолша [14] представляют собой полную ортонормированную систему на конечном интервале и легко реализуются с помощью фазовых УТ [15], их функции корреляций имеют большой уровень боковых выбросов (до 40%). Улучшить корреляционные свойства функций Уолша можно путем умножения каждой из них на одну и ту же видоизменяющую псевдослучайную последовательность [16]. Естественно предположить, что опорные источники с требуемыми корреляционными свойствами могут быть получены аналогичным образом, т. е. путем умножения комплексного пропускающего УТ, реализующего функции Уолша, на случайную или псевдослучайную функцию с хорошими корреляционными свойствами, например на функцию пропускающего матового стекла.

Если матовое стекло с комплексным пропусканием $s(x) = e^{i\varphi(x)}$ (для простоты ограничимся рассмотрением одномерных функций, заданных на отрезке $[-0,5; 0,5]$) установлено вплотную к управляемому транспаранту с пропусканием $w_m(x)$, реализующему m -ю функцию Уолша, то результирующее комплексное пропускание

$$t_m(x) = s(x)w_m(x); \quad 0,5 \leq x \leq 0,5. \quad (3)$$

Для вычисления функций корреляций $C_{mn}(x)$ опорных сигналов с номерами m и n воспользуемся известными теоремами о фурье-преобразовании свертки и корреляции [17]:

$$C_{mn}(x) = t_m * t_n = \mathcal{F}^{-1} \{ [S \otimes W_m] [S \otimes W_n] \} = \int_{-\infty}^{\infty} df_x e^{i2\pi f_x x} \times \\ \times \int_{-\infty}^{\infty} d\xi S(f_x - \xi) W_m(\xi) \int_{-\infty}^{\infty} d\eta S^*(f_x - \eta) W_n^*(\eta), \quad (4)$$

где символы $*$, \otimes и $(*)$ обозначают операции корреляции, свертки и комплексного сопряжения соответственно; \mathcal{F}^{-1} — обратное преобразование Фурье; S и W — фурье-образы функций s и w соответственно; f_x , η , ξ — фурье-координаты (пространственные частоты).

Функции $s(x)$ и $w(x)$ финитны на отрезке $[-0,5; 0,5]$, следовательно, их фурье-образы являются аналитическими целыми функциями порядка 0,5 [18] и в выражении (4) можно изменить порядок интегрирования. Тогда путем замены переменных $v = f_x - \eta$; $\xi = \xi - \eta$ получаем

$$C_{mn}(x) = \int_{-\infty}^{\infty} d\eta e^{i2\pi\eta x} W_n^*(\eta) \int_{-\infty}^{\infty} d\xi W_m(\xi) \int_{-\infty}^{\infty} dv e^{i2\pi v x} S^*(v) S(v - \xi). \quad (5)$$

Воспользовавшись тем, что

$$\chi(x, \zeta) = \int_{-\infty}^{\infty} dv e^{i2\pi v x} S^*(v) S(v - \zeta) \quad (6)$$

представляет собой хорошо известную из теории информации функцию неопределенности сигнала $s(x)$ (см., например, [17, 19]), преобразуем выражение (5) к виду

$$\begin{aligned} C_{mn}(x) &= \int_{-\infty}^{\infty} d\eta e^{i2\pi\eta x} W_n^*(\eta) \int_{-\infty}^{\infty} d\xi W_m(\xi) \chi(x, \xi - \eta) = \\ &= \int_{-\infty}^{\infty} d\eta e^{i2\pi\eta x} W_n^*(\eta) [W_m(\xi) \otimes \chi(x, -\eta)]. \end{aligned} \quad (7)$$

В отсутствие матового стекла, когда

$$\varphi(x) = 0 \text{ и } s(x) = 1(x),$$

функция неопределенности может быть аппроксимирована одномерной δ -функцией

$$\chi(x, f) = \delta(f) = 1(x) \delta(f_x) \quad (8)$$

и выражение (7), как и следовало ожидать, будет равно:

$$C'_{mn}(x) = \int_{-\infty}^{\infty} d\eta e^{i2\pi\eta x} W_m(\eta) W_n^*(\eta) = \omega_m * \omega_n. \quad (9)$$

Особый интерес представляет случай, когда

$$\chi(x, f) = \delta(x) \delta(f_x), \quad (10)$$

что соответствует шумоподобному сигналу $s(x)$ с бесконечно широким спектром. Подставляя выражение (10) в (7), получаем

$$C_{mn}(x) = \delta(x) [\omega_m * \omega_n] = C'_{mn}(0) \delta(x). \quad (11)$$

Функции $\omega_k(x)$ ортонормированы на единичном интервале, следовательно,

$$C'_{mn}(0) = \delta_{mn} \text{ (символ Кронекера)}. \quad (12)$$

Таким образом, искомая функция корреляции

$$C_{mn} = \begin{cases} \delta(x) & \text{при } m = n; \\ 0 & \text{при } m \neq n, \end{cases} \quad (13)$$

т. е. удовлетворяет требованиям, предъявляемым к опорным предметам.

При конечной ширине Δf_x спектра функции $s(x)$ средний квадрат σ_x^2 величины боковых выбросов [19]

$$\sigma_x^2 = |\chi(0, 0)|^2 / 4\Delta x \Delta f_x. \quad (14)$$

Поскольку максимальное значение амплитуды функции корреляции равно $|\chi(0, 0)|$, отношение сигнал/корреляционный шум в изображении точечного источника, восстановленном с однократно экспонированной го-

лограммы, закодированной посредством опорного источника вида $s(x, y) w_{mn}(x, y)$:

$$P_c/P_m = 16\Delta x\Delta y\Delta f_x\Delta f_y. \quad (15)$$

В случае записи фурье-голограмм размером $d=2\Delta f_x\lambda F$, где F — фокусное расстояние оптической системы ($\Delta f_x=\Delta f_y$):

$$P_c/P_m = 4\Delta x\Delta yd^2/\lambda^2F^2 \quad (16)$$

(Δx и Δy — апертура кодирующего транспаранта). Так, при $\Delta x=\Delta y=1,6$ см, $d=1$ см, $\lambda=0,63\cdot 10^{-4}$ см, $F=10$ см получаем

$$P_c/P_m = 2,5 \cdot 10^7. \quad (17)$$

При записи голограмм с наложением отношение P_c/P_m , очевидно, уменьшается пропорционально квадрату числа последовательных экспозиций [6].

Процесс формирования опорных источников в виде произведения набора ортогональных функций на модифицирующий псевдослучайный сигнал моделировался на ЭВМ в одномерном варианте (рис. 5). Максимальные амплитуды боковых выбросов функции неопределенности сигнала с числом элементов (базой) $N = \Delta f_x\Delta x = 256$ и с нормальным законом распределения случайной фазы $\varphi(x)$ (модель диффузной пла-

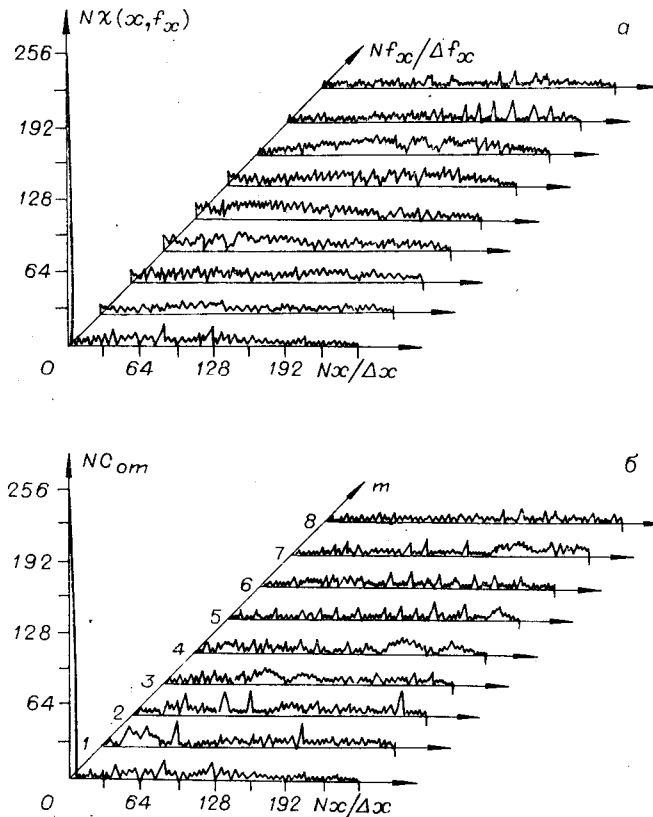
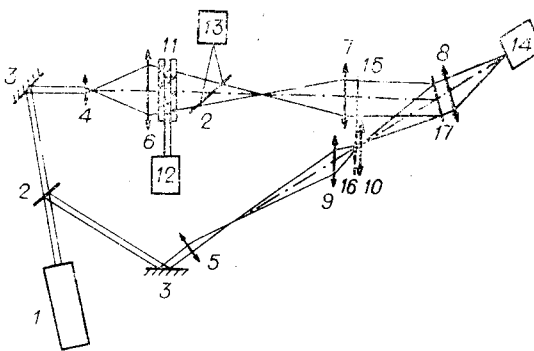


Рис. 5. Корреляционные характеристики опорных источников: а — сечения функции неопределенности $|\chi|$ псевдослучайного сигнала $e^{i\varphi(x)}$; б — функции корреляции сигнала $w_0(x) e^{i\varphi(x)}$ с сигналами $w_m(x) e^{i\varphi(x)}$; m — номер функции Уолша.

Рис. 6. Схема записи голограмм с кодированием опорного пучка с помощью УТ, реализующего функции Уолша:

1 — лазер, 2 — полупрозрачные зеркала, 3 — зеркала, 4, 5, 9 — микрообъективы, 6—8 — объективы, 10 — линза, 11 — УТ, 12 — блок коммутации, 13, 14 — фотоприемники, 15 — матовое стекло, 16 — диафрагма с набором точечных отверстий, 17 — голограмма.



стинки) достигали 6% от амплитуды центрального максимума (среднеквадратичная амплитуда боковых выбросов около 3,3%), что хорошо согласуется с расчетами по формуле (14). При этом максимальные амплитуды боковых выбросов в ФАК и ФВК сигналов вида $s(x)\omega_m(x)$ не превышали 9% от максимума ФАК. В качестве $\omega_m(x)$ использовались ортогональные наборы функций Уолша (строки матрицы Адамара размером 8×8 элементов и циклические перестановки кода на основе 7-элементной M -последовательности M_2^3 с добавлением одного элемента. Эти же функции применялись в экспериментах с кодированными фурье-голограммами.

Запись голограмм с кодированием опорного пучка с помощью УТ и матового стекла осуществлялась в системе, схема которой показана на рис. 6. Луч He-Ne-лазера 1 делился полупрозрачным зеркалом 2 на сигнальный и опорный. Опорный пучок расширялся микрообъективом 4 и с помощью оптической системы, состоящей из объективов 6 и 7, в отсутствие матового стекла 15 фокусировался в плоскости голограммы 17. Непосредственно за объективом 6 был установлен матричный фазовый УТ 11 на основе ориентационного S-эффекта в нематических жидких кристаллах [15]. УТ имел 8×8 элементов и с помощью простейшей схемы коммутации формировал двумерные бинарные сигналы, являющиеся произведением соответствующих одномерных кодов, в том числе 64 двумерные функции Уолша $Wal(m, n, x, y)$. Спектр пропускания транспаранта 11 контролировался с помощью фотоприемника 13 по минимуму интенсивности в области нулевых пространственных частот. Непосредственно за объективом 7 в плоскости, где формировалось изображение транспаранта, устанавливалось матовое стекло 15.

Сигнальный пучок микрообъективом 9 фокусировался в одном из 64 точечных отверстий (диаметром 0,1 мм) диафрагмы 16, расположенной в одной плоскости с диффузором 15. Пройдя через линзу-коллектив 10, луч освещал на голограмме участок диаметром 2 см. Выбор отверстия, служащего сигнальным точечным источником при соответствующем коде (конфигурации включенных элементов) на УТ, осуществлялся посредством перемещения микрообъектива 9. Положение сигнального пучка в плоскости голограммы при этом практически не менялось. Объектив 8 формировал восстановленные изображения в плоскости входного зрачка фотоприемника 14.

Голограммы регистрировались на фотопластинках ЛОИ-2 и обрабатывались в проявителе ГП-2. Дифракционная эффективность в случае однократно экспонированных голограмм достигала 20%.

По этой методике была произведена запись и отдельное восстановление 8 наложенных голограмм. Восстановленные изображения точечных источников показаны на рис. 7. Отношение интенсивности сигнала к интенсивности изображений (помех) было не менее 20. Такое значение определялось точностью воспроизведения функций Уолша, а именно вели-

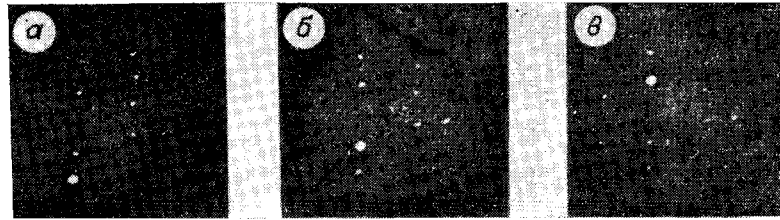


Рис. 7. Изображения точечного источника, восстановленные с трех из восьми наложенных голограмм; УТ реализует различные функции: а — $Wal(0, 0, x, y)$; б — $Wal(1, 1, x, y)$; в — $Wal(2, 2, x, y)$.

чиной соответствующих скалярных произведений этих функций. Уровень диффузного шума за счет рассеяния считывающего пучка на матовом стекле не превышал 1% от максимума интенсивности в восстановленном изображении. Это, однако, не позволило определить истинное значение автокорреляционных шумов в силу их малости (см. выражение (17)).

Заключение. В работе экспериментально доказана возможность записи и отдельного восстановления наложенных голограмм кодированием опорного пучка с помощью псевдослучайных сигналов на основе M -последовательностей. Предложен также способ формирования опорных источников путем сочетания УТ, реализующего набор ортогональных функций, со случайной фазовой маской. Теоретический анализ, численные расчеты на ЭВМ и экспериментальные результаты показывают эффективность данного метода кодирования опорного пучка при записи и раздельном восстановлении наложенных голограмм.

Достоинством последнего способа формирования опорных источников является возможность получения практически любых наперед заданных корреляционных свойств (путем подбора или синтеза единственной фазовой маски) при ограниченном числе элементов УТ. Схема коммутации самого матричного транспаранта предельно проста (она состоит из нескольких триггеров и полусумматоров [20]), причем управляющие напряжения на электродах транспаранта для смены функций УТ формируются практически за один такт.

В случае кодирования опорного пучка с помощью УТ, реализующего двумерные сигналы на основе M -последовательностей, хорошие корреляционные свойства опорных источников можно получить только при достаточно большом числе элементов транспаранта, что усложняет его изготовление и коммутацию. В то же время кодирование наложенных голограмм M -последовательностями обладает более широкими функциональными возможностями, в частности, оно позволяет осуществлять сдвиг и мультипликацию изображений [7].

ЛИТЕРАТУРА

1. Хайкин Б. Е. Операции, методы и структуры обработки информации в оптических вычислительных машинах.— В кн.: Оптические методы обработки информации. Л., «Наука», 1974.
2. Macchia J. T., White D. L. Coded multiple exposure holograms.— "Appl. Opt.", 1968, vol. 7, N 1, p. 91.
3. Vasiliev A. A., Kompanets I. N., Sobolev A. G. Controlled transparencies for optical information processing.— In: USA — USSR Seminar on Optical Information Processing (1975, Washington D. C.). N. Y., Plenum Publishing Corp., 1976, p. 129; Васильев А. А., Вашурип П. В., Компанец И. Н. Перестраиваемые пространственные фильтры в устройствах оптической обработки информации.— «Квант. электроника», 1977, т. 4, № 8, с. 1714.

4. Акаев А., Майоров С. А., Смирнов Н. А. Голографические оперативные 3У— состояние и перспективы развития.— «Зарубеж. радиоэлектроника», 1975, № 5, с. 57, № 6, с. 80.
5. D'Auria L., Huignard J. P., Spitz E. Experimental holographic read-write memory using 3-D storage.— "Appl. Opt.", 1974, vol. 13, N 4, p. 808.
6. Микаэлян А. Л., Бобринев В. И. Голографические системы памяти.— В кн.: Оптические методы обработки информации. Л., «Наука», 1974.
7. Stroke G. W. A reformulated general theory of holography.— In: Symp. of Modern Opt. N. Y., 1967.
8. Морозов В. Н. К теории голограммы с кодированным опорным пучком.— «Квант. электроника», 1977, т. 4, № 8, с. 1694.
9. Шумоподобные сигналы в системах передачи информации. Под ред. Пестрякова В. Б. М., «Сов. радио», 1973.
10. Coillier R. J., Burckhardt C. B., Lin L. H. Optical holography N. Y.— L., Acad. Press, 1971.
11. Huffman D. A. The synthesis of linear sequential coding network. In information theory. N. Y., Acad. Press, 1956, p. 77—95.
12. Norman S. L. Dye — induced stabilization of bleached holograms.— "Appl. Opt.", 1972, vol. 11, N 5, p. 1234.
13. Membrey F., Duvernoy J. Reconnaissance d'une forme et determination de ces dimension an mogen d'un filtre-hologramme a adaptation multiples.— "Nouv. Rev. Optique", 1973, t. 4, N 2, p. 88.
14. Harmuth H. F. Transmission of information by orthogonal functions. Berlin, Heidelberg, N. Y., 1970.
15. Васильев А. А., Вашурин П. В., Компанец И. Н. Фазовые управляемые транспаранты в когерентно-оптических устройствах, реализующих преобразования Уолша и Гильберта.— «Квант. электроника», 1977, т. 4, № 9, с. 1917.
16. Stiffler D. D. Synchronization of telemetry codes.— "IRE Trans.", 1962, vol. SET-8, N 2, p. 112.
17. Сороко Л. М. Основы голографии и когерентной оптики. М., «Наука», 1971.
18. Хурин Я. И., Яковлев В. П. Методы теории целых функций в радиофизике, теории связи и оптике. М., Физматгиз, 1962.
19. Кук Ч., Бернфельд М. Радиолокационные сигналы. М., «Сов. радио», 1971.
20. Inokuchi S., Morita Y., Sakurai Y. Optical pattern processing utilizing nematic liquid crystals.— "Appl. Opt.", 1972, vol. 11, N 10, p. 2223.

Поступила в редакцию 24 марта 1978 г.

УДК 681.335 : 681.372.58

П. Е. ТВЕРДОХЛЕБ

(Новосибирск)

ТАБЛИЧНЫЙ МЕТОД ПОИСКА КООРДИНАТ ФРАГМЕНТА НА ИЗОБРАЖЕНИИ

Задача поиска координат фрагмента на изображении решается при создании систем обработки фотоснимков, навигации летательных аппаратов, ввода данных в ЭВМ, информационного поиска и т. п.

Некоторые из существующих методов поиска основаны на использовании оптических корреляторов. Применение таких устройств эффективно тогда, когда в составе корреляторов имеются параллельные устройства ввода изображений и в качестве метрики можно использовать скалярное произведение. Коррелятор с позиционным кодированием [1] позволяет вычислять более широкий класс метрик, однако требует применения параллельных устройств ввода.

В настоящей работе предложен табличный метод решения задачи поиска и указаны пути его оптико-электронной реализации. Метод рассчитан на использование в системах поиска вводных устройств сканирующего типа, наиболее часто встречающихся в практике, и не зависит