

А. Н. ОПАРИН, О. И. ПОТАТУРКИН,
В. И. ФЕЛЬДБУШ, П. М. ШИПОВ
(Новосибирск)

ГОЛОГРАФИЧЕСКИЙ КОРРЕЛЯТОР ИНТЕНСИВНОСТИ С ФОТОЭЛЕКТРООПТИЧЕСКИМ УПРАВЛЯЕМЫМ ТРАНСПАРАНТОМ ПРИЗ

В работе [1] рассмотрена оптико-электронная система распознавания изображений (ОЭС), в которой оперативный ввод и предварительная обработка осуществлялись с помощью фотоэлектрооптического управляемого транспаранта (УТ) типа «Фототитус» [2]. В такой системе успешно реализован процесс обработки контурных распознаваемых изображений (РИ). Однако при обработке силуэтных и полутонных изображений, составляющих большинство реальных РИ (промышленные детали, изображения местности и т. п.), из-за невысокого контраста получаемых контуров существенно снижался динамический диапазон значений корреляционных функций, что, в свою очередь, приводило к уменьшению достоверности распознавания таких изображений. Поэтому перед нами возникла задача повышения контраста контуров РИ, которую удалось решить путем применения УТ на поперечном электрооптическом эффекте. В таких УТ, как известно, оперативный ввод и предварительная обработка РИ проводятся за один цикл «запись — стирание» модулятора (вместо двух), что обеспечивает им дополнительное преимущество.

Цель настоящей статьи — изложить результаты разработки и исследования (на тестовых и реальных РИ) голографического коррелятора интенсивности (ГКИ) с усреднением результирующего светового распределения [3, 4], в котором использован УТ на поперечном электрооптическом эффекте типа ПРИЗ [5, 6].

Пусть амплитудное пропускание РИ пропорционально $f(r)$. Это изображение в ГКИ освещается коллимированным пучком света с переменным во времени углом наклона $\alpha(t)$; за счет этого световое распределение, пропорциональное пространственному спектру Фурье, описывает в плоскости голографического фильтра траекторию $S(\omega)$. Амплитудный импульсный отклик системы $h(r)$, представляющий собой эталонное изображение (ЭИ), модулируется случайной фазовой маской и регистрируется в виде голограммы Фурье с огибающей $\mathcal{F}[h(r)]$, где \mathcal{F} — символ преобразования Фурье. В результате квадратурирования и усреднения во времени результирующего амплитудного распределения на выходе коррелятора получим [4]

$$g(r) = \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \tilde{g}(r, r_1) \tilde{g}^*(r, r_1') \gamma(r_1 - r_1') dr_1' dr_1, \quad (1)$$

где $\tilde{g}(r, r_1) = f(r_1)h(r + r_1)$, $\gamma(\cdot) = \mathcal{F}[S(\omega)]$. Функция $\gamma(\cdot)$ характеризует пространственную зависимость излучения в плоскости изображений и имеет смысл степени частичной пространственной когерентности, хотя фактически является спектром Фурье траектории $S(\omega)$.

Из (1) следует, что при $\gamma(\cdot) = \text{const}$ в ГКИ обеспечивается линейность обработки РИ по амплитуде, а при $\gamma(\cdot) = \delta(\cdot)$ — линейность обработки по интенсивности. В интересующем нас втором случае наиболее оптимально с точки зрения изотропности обработки и простоты реализации отклонять входной коллимированный световой пучок по окружности радиусом $\omega_0 = (2\pi/\lambda) \text{tg } \alpha$. Тогда $\gamma(\cdot)$ будет иметь ширину центрального пика $\delta_0 \sim 1/\omega_0$, тем меньшую, чем больше угол отклонения дефлектора α . Однако значение угла α ограничено сверху апертурой голографического фильтра, которая, в свою очередь, определяется размером элемента разрешения случайной фазовой маски δ_1 . Поэтому ω_0 целесообразно

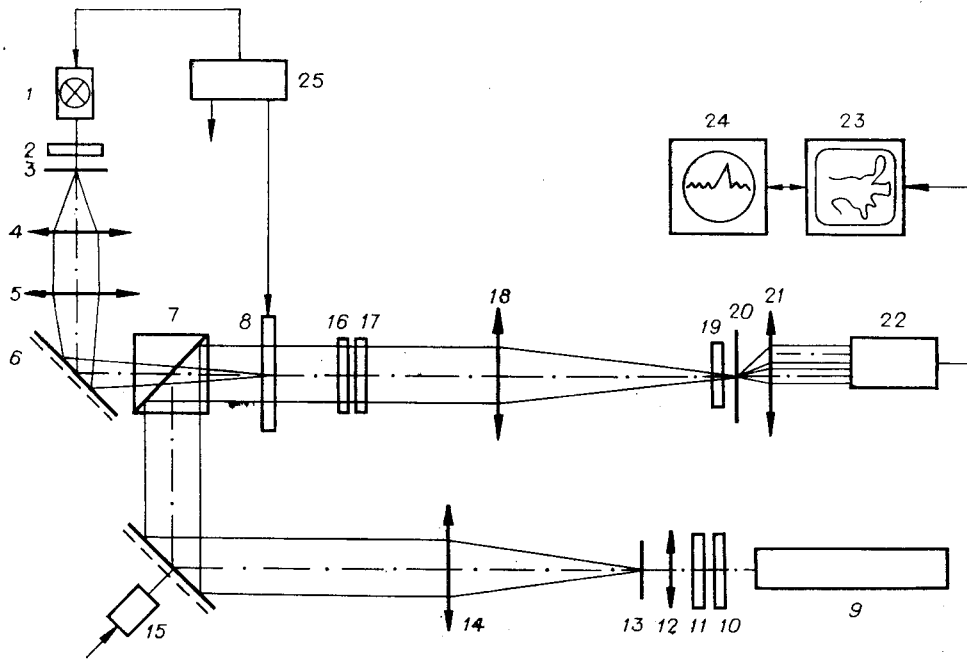


Рис. 1.

но выбирать примерно равным четверти размера голограммы, а δ_1 — существенно меньшим размера элемента разрешения РИ. Тогда функция $\gamma(\cdot)$ будет стремиться к δ -функции и из (1) получим, что

$$g_{hc}(r) = |f(r)|^2 * |h(r)|^2.$$

Дополнительная погрешность, возникающая из-за конечного размера δ_0 , будет составлять величину порядка δ_0/l_0 , где l_0 — линейная апертура коррелятора в плоскости РИ [7].

Особенность модуляторов света типа ПРИЗ — способность осуществлять оконтуривание регистрируемых изображений. Дело в том, что запись изображений в монокристаллических пластинах силиката и германата висмута с ориентацией [110] и [111] производится за счет возникновения в них под действием регистрируемого излучения и внешнего однородного продольного электрического поля пространственно распределенного положительного заряда [8]. В результате этого возникает пропорциональное градиенту заряда поперечное электрическое поле, которое визуализируется из-за наличия в указанных кристаллах внутреннего поперечного электрооптического эффекта.

Полученное распределение заряда является нестационарным и деградирует в зависимости от образца кристалла в течение 10^{-1} — 10^{-2} с. Следовательно, существует возможность выбрать УТ с регулируемым (в широких пределах) временем хранения изображений, которое определяется временем деградации заряда. При необходимости зарегистрированные изображения стираются путем засветки УТ однородным пучком света.

В работе использовался УТ, созданный на основе монокристалла германата висмута толщиной 1 мм и ориентацией [111] с нанесенными на поверхности прозрачными электродами. Высокочастотное распыление проводника в вакууме с одновременным контролем пропускания позволило увеличить прозрачность УТ с первоначальных 70 до 85% в красной области спектра. Диаметр УТ составлял величину 30 мм, напряжение питания — 3 кВ, время хранения — 10—15 с, а толщина контура зарегистрированного силуэтного двухградационного изображения — 50 мкм. Для устранения анизотропии поперечного электрооптического эффекта считывание осуществлялось циркулярно-поляризованным светом с после-

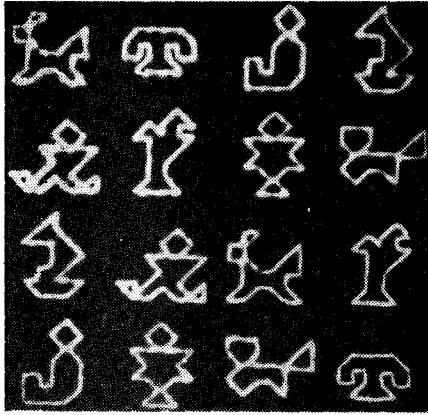


Рис. 2.

рообъектив; 13 — диафрагма; 14 — коллимирующий объектив; 15 — вращающееся зеркало; 17 — анализатор; 18, 21 — фурье-объективы; 19 — красный светофильтр; 20 — блок со сменными голографическими фильтрами; 22 — фотосчитывающее устройство; 23 — монитор; 24 — осциллограф с выделенным телевизионной строки; 25 — электронный блок управления системой.

Телескопическая система, включающая объективы 4, 5, осуществляет проецирование из плоскости РИ в плоскость УТ. С помощью вращающегося зеркала формируется переменный во времени наклонный световой пучок, в результате чего пространственный спектр РИ описывает в плоскости 20 траекторию в виде окружности диаметром, равным половине линейной апертуры голографического фильтра. Четвертьволновая пластина 11 предназначена для преобразования линейной поляризации в круговую, а пластина 16 является компенсирующей. Объектив 18 осуществляет прямое преобразование Фурье записанного и обработанного на УТ РИ, а объектив 21 — обратное преобразование Фурье. Светофильтр 19 служит для поглощения прошедшего через УТ регистрируемого излучения.

Элементы ГКИ: объективы 4, 5 — «Юпитер-36Б» ($f = 250$ мм, относительное отверстие — 1:3,5); лазер — ЛГ-79-1 (мощность излучения 18 мВт); микрообъектив — 20^x; объектив 14 — «Юпитер-6-2» ($f = 180$ мм, 1:2,8); объектив 18 — «О-2» ($f = 750$ мм, 1:10); объектив 21 — «Калейпар-3Б» ($f = 150$ мм, 1:2,8), слюдяные четвертьволновые пластины, стандартные светофильтры, поляризаторы, осветитель, видикон.

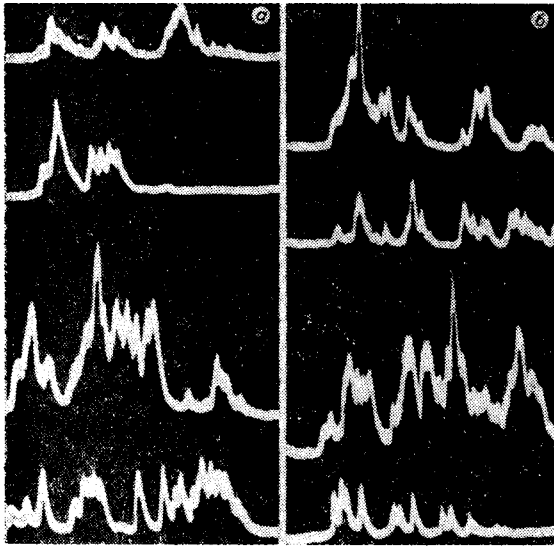
В качестве тестовых силуэтных РИ и контурных ЭИ в работе использованы изображения, приведенные в [1] на рис. 4, 5, а. На рис. 2 представлены РИ, зарегистрированные и оконтуренные на УТ, а на рис. 3, а, б — сканограммы корреляционных функций соответственно для обоих ЭИ (скапирование осуществлялось вдоль четырех строк через условные центры РИ).

Реальным РИ являлось изображение местности, показанное на рис. 4. Восстановленное с голографического фильтра ЭИ представлено на рис. 5, а РИ, зарегистрированное и оконтуренное на УТ, — на рис. 6. На рис. 7 приведено световое распределение полученной корреляционной функции, а на рис. 8 — ее сканограмма вдоль трех строк, одна из которых проходит через автокорреляционный максимум, более чем в 2 раза превышающий значения кросс-корреляционных функций. Отсюда следует, что искомый фрагмент находится в пределах РИ, а координаты его центра определяются положением максимума.

Таким образом, разработанный голографический коррелятор интенсивности с одновременным оперативным вводом и предварительной обработкой РИ на управляемом транспаранте типа ПРИЗ позволяет реализовать процесс распознавания реальных полутоновых изображений местно-

дующей компенсацией и выделением перпендикулярной (относительно первоначальной) составляющей вектора поляризации. Это позволило осуществить изотропное оконтуривание за счет усреднения по всем направлениям.

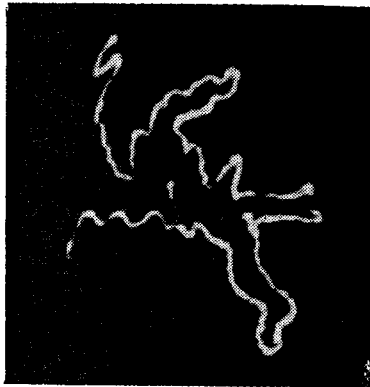
Схема разработанного ГКИ приведена на рис. 1, где 1 — осветитель; 2 — синий светофильтр; 3 — плоскость распознаваемого изображения; 4, 5 — объективы телескопической системы; 6 — поворотное зеркало; 7 — светоделительный кубик; 8 — фотоэлектрооптический УТ; 9 — лазер; 10 — поляризатор; 11, 16 — четвертьволновые пластины; 12 — мик-



Puc. 3.



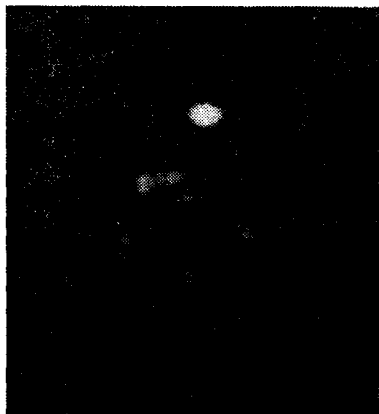
Puc. 4.



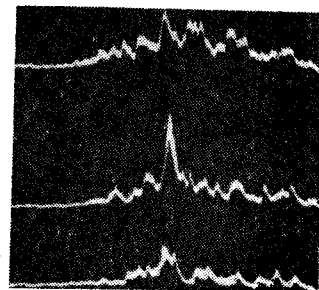
Puc. 5.



Puc. 6.



Puc. 7.



Puc. 8.