

УПРАВЛЯЕМЫЕ ФОТОПРИЕМНЫЕ УСТРОЙСТВА ПРЕДВАРИТЕЛЬНОЙ ОБРАБОТКИ ИЗОБРАЖЕНИЙ НА ОСНОВЕ МЕТОДОВ ГИЛЬБЕРТ-ОПТИКИ

Н. К. Макаренко, Ю. А. Кругляк

Одесский госуниверситет им. И. И. Мечникова

Приведены структуры устройств предварительной обработки изображений, объединяющих управляемые фотоприемники и приборы, реализующие дискретное преобразование Гильберта (ДПГ). Проведено моделирование процессов идентификации и классификации изображений близких объектов по их дифракторграммам и интерферограммам в спектральном пространстве ДПГ.

Развитие видеоинформационных систем (ВИС), решающих задачи технического зрения, дистанционного зондирования, неразрушающего контроля и т. д., обуславливает высокие требования к параметрам видеодатчиков, используемых в этих системах. Одной из важных проблем построения ВИС является согласование скоростей создания информации — многомерных сигналов — в видеодатчиках со скоростями передачи и обработки этих сигналов в вычислительных устройствах ВИС. Эти скорости в настоящее время отличаются на многие порядки. Сократить разрыв в этих величинах можно за счет применения принципов предварительной обработки сигналов и адаптивного управления параметрами видеодатчиков, подобных существующим в зрительных анализаторах человека и других живых существ [1 и др.]. Значительный объем информации следует перерабатывать при распознавании объектов в цветных или многоспектральных (зональных) изображениях. Используя управляемые фотоприемники, например [2-5 и др.], возможно построить устройства предварительной обработки изображений с целью сжатия информации, реализующие функции фильтрации шумов и фонов, контрастирования изображений, бинаризации и срез-разрядовой обработки, пространственной логической корреляционной обработки и выделения характерных признаков распознаваемых объектов.

Вторым перспективным направлением в создании устройств предварительной обработки изображений является объединение фотоприемников и аналоговых дискретных приборов обработки видеосигналов, реализующих принципы Гильберт-оптики [6 и др.]. В данной статье представлены структурные схемы устройств предварительной обработки, использующие принципы Гильберт-оптики и управляемые цветоразличающие фотоприемники для повышения точности анализа и классификации цветовых спектральных (хроматических) характеристик, а также нелинейные фото-

приемники на основе планарных фототиристоров для определения пространственных (дифракционных и интерференционных) характеристик оптических полей.

Структуры анализаторов и классификаторов хроматических характеристик реализуются на основе компенсационного метода измерения цвета [7]. Структурная схема анализатора приведена на рис. 1. Она содержит управляемый фотоприемник, обладающий знакопеременной 5"-образной характеристикой спектральной чувствительности $\#_{\text{цфп}}$ с варьируемой «нулевой» точкой A_0 в диапазоне $A_{\text{min}} \dots A_{\text{max}}$. При подаче на вход анализатора излучения с определенной спектральной характеристикой $t(X)$ выходной сигнал фотоприемника определяется как

(1)

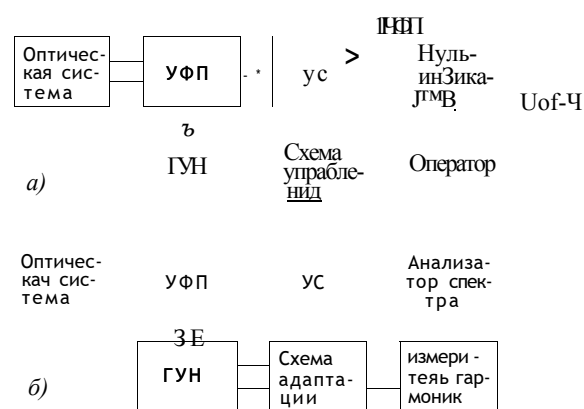


Рис. 1. Структуры интегральных колориметров на основе ИЦФП

а) — неадаптивная схема;

б) «адаптивная» схема;

УФП — управляемый фотоприемник

ГУН — генератор управляющего напряжения,

УС — усилитель видеосигнала

где K — постоянный коэффициент. Варьируя величину постоянного смещения U_0 и перестраивая тем самым величину A_0 , добиваются нулевого значения $S_{\text{фн}}$. При измерении формы $t(X)$ происходит изменение $f_{\text{фн}}$ и, следовательно, необходимо изменять $\lambda(i) = K_0$.

Изменение t/λ может производиться заранее, в процессе настройки на хроматограмму фона, тогда с помощью такого анализатора происходит подавление фона и, следовательно, повышение контраста малоразмерного объекта, полностью попадающего в апертуру фотоприемника при пространственном сканировании. Однако, может быть реализована схема динамического управления фотоприемником. При этом происходит периодическая подстройка X_0 и, следовательно, сигнал $f/\lambda_{\text{ин}}(t)$ является периодическим. Спектральный состав этого сигнала, определяемый с помощью спектроанализатора, является характерным для каждой хроматограммы и может использоваться для распознавания цвета.

Используя принцип следящей системы возможно построение анализатора динамических цветовых характеристик (ДЦХ) с адаптацией X_0 . При этом структурная схема измерителя-анализатора представлена на рис. 1 б.

Алгоритм функционирования состоит в управлении величиной $U_0(t)$, следовательно, A_0 с целью обеспечения равенства нулю $S_{\text{фн}}(1)$. При этом информация о ДЦХ переносится в закон изменения во времени напряжения управляющего сигнала $U_0(t)$. Подобная структура может использоваться в сканирующих радиометрах систем дистанционного зондирования или в других приборах пространственно-хроматического анализа изображений.

Использование методов Гильберт-оптики позволяет повысить качество распознавания хроматограмм в корреляционно-экстремальных классификаторах. С этой целью необходимо дополнить структуру корреляционно-экстремального классификатора хроматограмм устройством вычисления дискретного преобразования Гильберта (ДПГ) (рис. 2). Конкретная реализация такого устройства может быть различной — как цифровой, так и аналоговой. Подчеркивание с помощью алгоритма ДПГ аномалий, особенностей хроматограмм позволяет повысить достоверность их классификации. На рис. 2 б приведены графики вероятностей правильной и ошибочной классификации реальных хроматограмм, из которых видно, что классификация в пространстве преобразования Гильберта значительно эффективнее и помехоустойчивее, чем в исходном пространстве хроматограмм.

Анализаторы пространственных характеристик изображений

Применение управляемых ключевых (логических) видеодатчиков на основе планарных фототиписторов [2; 3; 4] позволяет получать разрядные

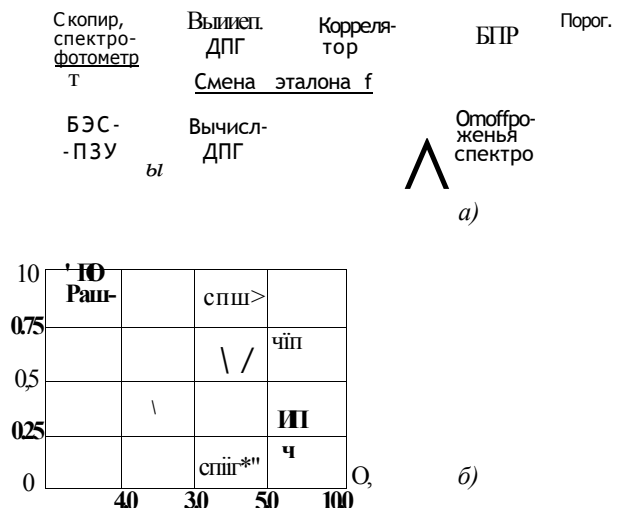


Рис. 2. Структура — а и характеристики — б корреляционно-экстремального классификатора хроматограмм

БЭС-ОЗУ — блок-библиотека эталонных спектров, хранящаяся в ПЗУ,

БПР — блок питания классификационного решения.

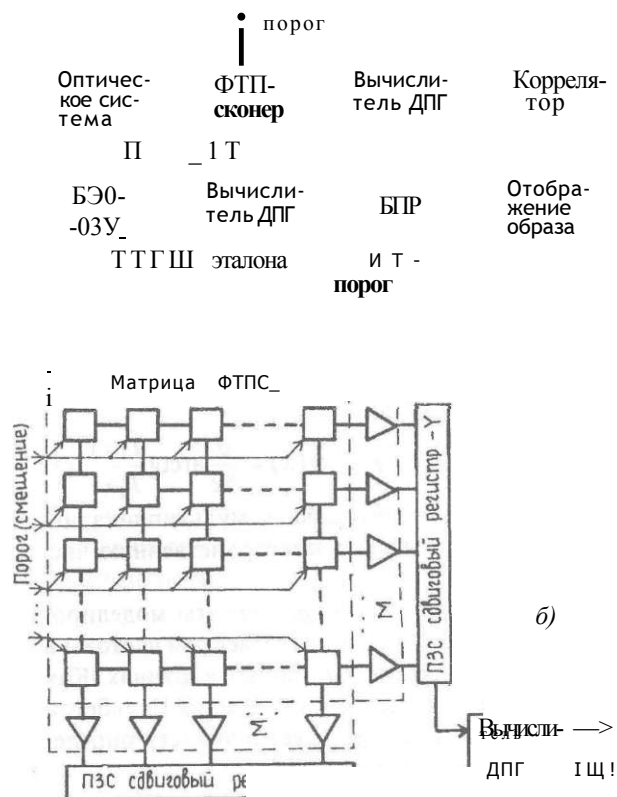


Рис. 3. Классификаторы формы объектов в изображениях на основе топорных фотоприристорных структур и ДПГ разрядных срезов

а) структура классификатора,

б) структура матричного фотоприристорного приемника — сканера с прострочно, постолбцовым суммированием.

срезы — бинарные изображения обрабатываемых полей, веса которых равны степени 2 и управляются электрическим или оптическим смещением. Получаемый в режиме сканирования видеосигнал имеет вид бинарной последовательности и может быть подвергнут одномерному преобразованию Гильберта с последующим корреляционным сравнением в пространстве преобразования (рис. 3 а). Кроме этого, используя принцип построчного (постолбцового) накопления (рис. 3 б) с помощью вращающейся приемной фототиристорной матрицы, возможно производить идентификацию формы объектов, либо производить корреляционно-экстремальную классификацию формы, инвариантную к повороту объекта в плоскости изображения.

Используя преобразование Гильберта возможно повысить качество распознавания объектов, например, частиц или дефектов поверхности по изображениям их дифракционных картин. При этом получаемый с помощью сканирующего фотоприемника видеосигнал, повторяющий во времени форму сечения дифракционной картины, подвергается преобразованию Гильберта и дальнейшему корреляционному сравнению.

В таблице 1 приведены результаты моделирования задачи классификации объектов близкой формы по их дифракционным картинам. Как видим, при воздействии аддитивных шумов (отношение сигнал/шум 10) переход в пространство преобразования Гильберта позволяет в 1, - 7, 5 раз снизить вероятность ошибки (неправильной классификации). Аналогичную структуру можно рекомендовать для анализаторов пространственных частот в интерференционных картинах. Используя преобразование Гильберта одномерной интерференционной картины $I(x)$

$$I(*) = \frac{J}{I_t J} \hat{X} - x', \quad (2)$$

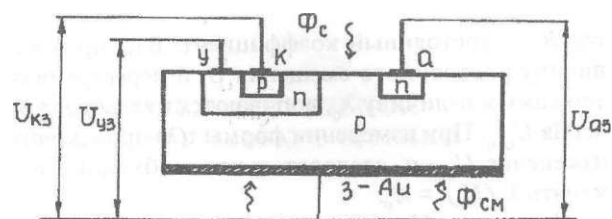
и вычисляя обобщенную огибающую $A(x)$ и частоту $\omega(x)$ по формулам

$$L(x) = \sqrt{I^2(x) + I'^2(x')}; \quad \omega(x) = i - \arctg 4 \Gamma T, \quad (3)$$

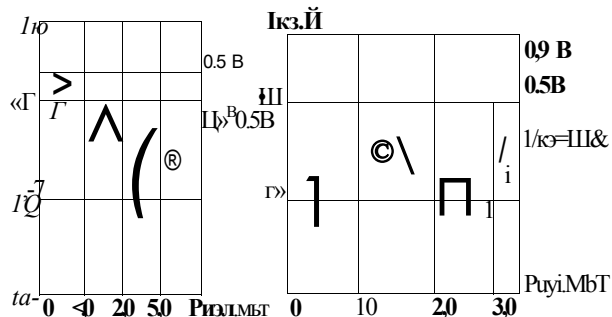
возможно компенсировать мультипликативные помехи и определить пространственную частоту с высокой точностью.

В таблице 2 приведены результаты моделирования задачи оценки пространственной частоты в зашумленных интерференционных картинах. Как видим, использование преобразования Гильберта позволяет повысить помехоустойчивость определения пространственных частот.

Как показано в данной статье, сочетание управляемых фотоприемников с устройствами вычисления дискретного преобразования Гильберта повышает эффективность анализа хроматических и пространственно-частотных характеристик и качество распознавания процессов и объектов с помощью классификаторов, использующих представленные структуры.



сг)



б)

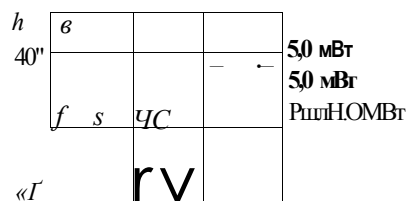


Рис. 4. Конструкция — а и характеристики «Свет-сигнал» планарно-объемной фототиристорной структуры — б).

С целью реализации логической пороговой обработки изображений были разработаны и исследованы планарно-объемные структуры (ПОС), обладающие регулируемыми фотоэлектрическими свойствами. Они представляют собой планарный фототиристор с нанесением со стороны высокоомной базы полупрозрачным покрытием из золота. К покрытию подключается прижимной электрод. ПОС обладает в режиме слабых сходных сигналов знакопеременными свет-сигнальными характеристиками (ССХ), а в режиме сильных сигналов — фототиристорными свойствами. Конструкция ПОС приведена на рис. 4 а, на рис. 4 б приведены семейства ССХ ПОС. Режимы включения определены в комментариях к рисунку. Наличие управляющего электрода позволяет варьировать режимами ПОС-фотоприемника.

Как показывает анализ полученных зависимостей, ПОС-фотоприемники обладают весьма гибкими функциональными возможностями:

1. ССХ является знакопеременной. Нулевая область смещается пропорционально приложенному смещению. Крутизна линейного участка ССХ значительно больше, чем участок насыщения и незначительно изменяется в диапазоне перестройки нулевой области;

2. Изменение напряжения на управляющем электроде приводит к резким изменениям формы ССХ, а также к резким вариациям чувствительности;

3. Вариации коллекторных напряжений приводят к изменениям на 2 или 3 порядка фототоков при фиксированном потоке излучения;

4. ПОС обеспечивает фототиристорные свойства. Поток порога переключения регулируется с помощью напряжения, прикладываемых между управляющим электродом и покрытием высокоомной базы.

Литература

1. Прэтт У. К. Цифровая обработка изображений. / Пер. с англ. Под ред. Д. С. Лебедева. М.: Мир, 1982,—Т. 1,2.

2. Фотоприемники с двумя барьерами Шоттки $\text{Au-pAl}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As-Au}$ на варизонном полупроводнике / Дмитриев М. В., Кулиш У. М., Макаренко Н. К. и др. // Исследование полупроводниковых со-

единений сложного состава и $p-n$ переходов на их основе. — КалГУ, Элиста, 1076. — С. 88-93.

3. Кравченко С. Н., Макаренко Н. К. Фотоприемные устройства на основе тиристорных структур. Современное состояние и пути совершенствования // Фотоэлектроника: Респ. межвед. сб. науч. ст. — 1987.— Вып. 1,—С. 98-102.

4. Кравченко С. Н., Макаренко Н. К. Исследование спектральных характеристик планарных фототиристоров // Фотоэлектроника: Респ. межвед. научн. сб. — 1988. — Вып. 2. — С. 112-114.

5. Макаренко Н. К. Исследование динамических характеристик управляемых оптронных устройств на основе планарных фототиристоров // Фотоэлектроника: Респ. межвед. научн. сб. —1990. — Вып. 3.—С. 67-71.

6. Сороко Л. М. Гильберт-оптика. — М.: Наука. Главная редакция физико-математической литературы, 1981. — 160 с.

7. Якушенков Ю. Г., Луканцев В. Н., Колосов М. П. Методы борьбы с помехами в оптико-электронных приборах. — М.: Радио и связь, 1981. — 180 с.

Таблица 1 а
Характеристики вероятностей правильной (P_m) и ($P_{\text{зн}}$) ошибочной классификации по их дифракционным изображениям в исходном пространстве (отношение $c/\eta \approx 10$)

№№ объектов эталонов	1	2	3	4	5	6	$d(k)_{\text{ип}}$
1	1,0	0,66	0,50	0,40	0,32	0,40	2,14
2	0,08	0,9	0,54	0,44	0,60	0,50	1,97
3	0,56	0,89	0,89	0,66	0,66	0,50	1,34
4	0,72	0,46	0,50	0,95	0,78	0,66	1,17
5	0,64	0,36	0,48	0,56	0,86	0,48	1,85
6	0,42	0,33	0,54	0,60	0,93	0,99	1,82
$p(k)_{\text{ип}}$	0,47	0,45	0,66	0,81	0,46	0,54	

Таблица 1 б
Характеристики вероятностей правильной (P_o) и ошибочной классификации (P_{on}) объектов по их дифракционным изображениям, преобразованным в спектральное пространство преобразования Гильберта (ППГ) ($q = 10$)

№№ объектов №Ду \ . эталонов	1	2	3	4	5	6	$d(k)_{\text{ппг}}$
1	0,90	0,48	0,12	0,55	0,42	0,34	7,35
2	0,20	1,0	0,36	0,10	0,36	0,22	4,55
3	0,34	0,22	1,0	0,35	0,20	0,05	3,5
4	0,06	0,12	0,1	0,95	0,40	0,15	3,4
5	0,06	0,12	0,34	0,20	0,80	0,20	2,34
6	0,10	0,24	0,32	0,25	0,44	0,90	4,64
$I^*(*)_{\text{ни}}$	0,12	0,23	0,28	0,27	0,34	0,19	

Примечание:

- 1) Диагональные элементы — $P_{по}$, внедиагональные — $P_{ош}$;
- 2) объект № 1 (эталон № 1) — частица эллипсоидальной формы;
объект № 2 (эталон № 2) — частица эллиптический цилиндр;
объект № 3 (эталон № 3) — частица круговой цилиндр;
№ 4 (эталон № 4) — частица конической формы;

объект № 5 (эталон № 5) — частица плоская квадратной формы;
объект № 6 (эталон № 6) — частица плоская ромбической формы;

3) $d(k)_{ип}$

$$p(k)_{ош} = \frac{D_y p_{>(k)}^{>(k)}}{5i/Lk}$$

$p(k)$ усредненная по ансамблю эталонов
ошибка классификации к-то объекта.

Таблица 1 в

Характеристики вероятностей правильной ($P_{по}$) и ошибочной ($P_{ош}$) корреляционно-экстремальной классификации объектов заданной формы в исходном пространстве (ИП) и спектральном пространстве преобразования Гильберта ($C_L, ИП$) в зависимости от отношения сигнал/шум

р	q	1,0	3,0	5,0	7,0	9,0	11,0
	$p(ип)_{по}$	0,4	0,48	0,57	0,73	0,94	0,99
	$p(сппг)_{по}$	0,3	0,65	0,86	0,99	0,995	0,998
	$p(ип)_{ош}$	0,4	0,17	0,08	0,01	0,003	0,001
	$p(сппг)_{ош}$	0,14	0,05	0,01	0,003	0,001	0,000

Примечание:

Классификация проводилась путем корреляционного сравнения бинаризованных объектов сложной формы с эталонными объектами, как в исходном пространстве (без предварительного преобра-

зования), так и в спектральном пространстве ДПГ, (с предварительным переносом классифицируемых объектов и эталонов в СП ДПГ) и принятием классификационного решения по максимуму взаимно-корреляционной функции.

Таблица 2 а

Значения нормированной погрешности определения пространственной частоты dw интерферограммы (с помощью ДПГ в условиях шума $q \in (1...10^2)$)

1. Интерферограмма с постоянной пространственной частотой ($F_x = const$)

тип	q	1	3	5	10	30	100
	оценки						
1		0,3	0,17	0,13	0,1	0,05	0,008
2		0,15	0,1	0,07	0,03	0,01	0,005
3		0,2	0,1	0,03	0,015	0,005	0,0015

2. Интерферограмма с пространственной линейной частотной модуляцией (ЛЧМ) ($F = F_0$)

тип	q	1	3	5	10	30	100
1		0,8	0,5	0,4	0,3	0,2	0,03
2		0,6	0,3	0,2	0,15	0,06	0,01
3		0,3	0,15	0,1	0,07	0,02	0,005

Примечание: 1) — оценка частоты баз предварительной обработки;

2) фильтрация с помощью медианного фильтра;
3) фильтрация с помощью скользящего среднего.