

И. А. ВОДОВАТОВ, М. Г. ВЫСОЦКИЙ, В. Ю. ПЕТРУНЬКИН,  
С. А. РОГОВ, В. Г. САМСОНОВ

(Ленинград)

## СИСТЕМА РЕГИСТРАЦИИ И ОБРАБОТКИ ОПТИЧЕСКИХ СИГНАЛОВ НА ОСНОВЕ ПЗС-СТРУКТУР И МИКРОЭВМ «ЭЛЕКТРОНИКА 60М»

За последнее время в оптических системах различного назначения в качестве фотоприемных устройств стали широко применяться линейные и матричные формирователи видеосигнала на основе приборов с зарядовой связью (ПЗС). Механическая прочность, малые габариты, жесткая привязка сигнала к координате, относительно высокий динамический диапазон ПЗС-структур [1] и т. д. в сочетании с простотой цифрового управления позволяют эффективно использовать их для регистрации и обработки сигналов оптических устройств на базе современной вычислительной техники [2].

Несмотря на сообщения о применении ПЗС-приборов в системах оптической обработки информации [3, 4] и разработке отдельных устройств управления ими [5], вопрос о создании системы регистрации и обработки оптических сигналов достаточно общего вида на основе ПЗС-структур и микроЭВМ остается актуальным. В настоящей статье предлагается один из возможных вариантов такой системы, реализованной на базе микроЭВМ «Электроника 60М» и программируемого устройства управления ПЗС-датчиком (ПЗС-контроллера). Рассмотрена функциональная схема и алгоритм работы отдельных узлов контроллера, описывается метод определения координат максимума светового пятна, обеспечивающий повышенную точность. Приведены данные экспериментального испытания системы применительно к задаче определения уточненных координат максимума лазерного пучка, возникающей при использовании лазеров для технологических целей, видеозаписи и т. д.

Рассматриваемая система регистрации и обработки сигналов состоит из микроЭВМ «Электроника 60М» (Э 60М) с оперативным запоминающим устройством (ОЗУ) емкостью 56 Кбайт, ПЗС-контроллера, ПЗС-датчика и набора стандартных периферийных устройств ввода-вывода.

Основа всей системы — ПЗС-контроллер. Его функциональная схема приведена на рис. 1. Основными частями контроллера являются: блок аналоговой обработки (БАО), аналого-цифровой преобразователь (АЦП), программно-управляемый генератор — формирователь тактовых импульсов (ГФТИ), буферное запоминающее устройство с логикой сортировки и определения координат максимумов (БЗУ), интерфейс прямого доступа к памяти (ИПДП), цифроаналоговый интерфейс (ЦАИ), источник питания (ИП). Контроллер реализован на трех платах размером  $240 \times 280$  мм<sup>2</sup> конструктива Э 60М с использованием микросхем 155, 531, 559, 589, 572-х серий (~200 корпусов). ИП формирует напряжения +5 В (6 А), -26 В (0,5 А), ±15 В (0,3 А), +30 В (0,5 А). В качестве внешнего устройства ПЗС-контроллер подключается к общей шине Э 60М (ОШ).

Рассмотрим функционирование наиболее важных частей контроллера.

ГФТИ разработан с учетом требований, предъявляемых к устройствам управления ПЗС-структурами [6], и позволяет формировать последовательность тактовых импульсов для управления трехфазным ПЗС-формирователем (линейным или матричным). В зависимости от размерности и типа используемого ПЗС-датчика осуществляется предварительная настройка ГФТИ.

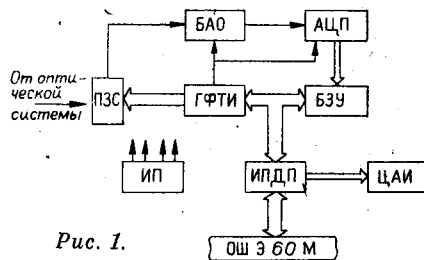


Рис. 1.

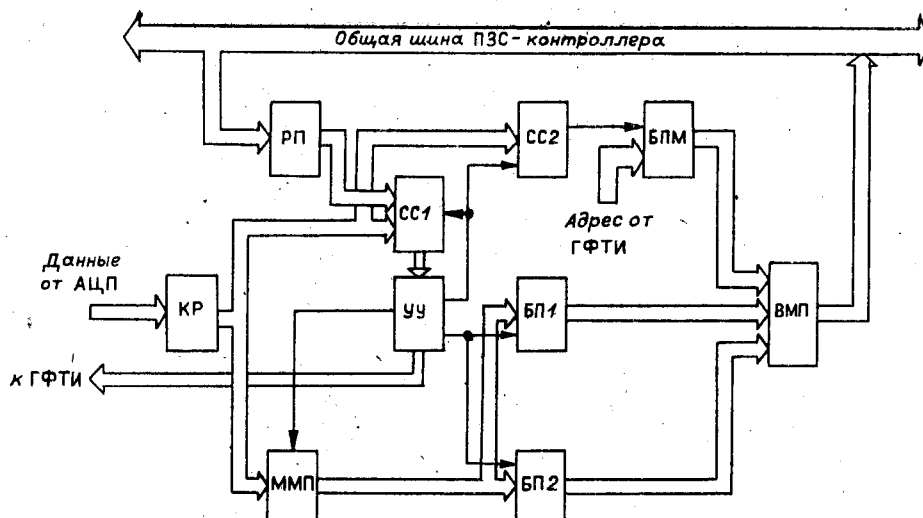


Рис. 2.

Сигнал, регистрируемый ПЭС-формирователем, поступает на БАО, где происходит усиление, двойная коррелированная выборка и фильтрация. Сформированный таким образом сигнал подается на вход АЦП. В предлагаемой системе используется 8-разрядный АЦП типа Ф7077/2 с временем преобразования 3 мкс, однако он может быть заменен любым другим разрядностью не выше 8 и скоростью преобразования не более 3 МГц. Цифровой отсчет видеосигнала  $D_{ij}$  ( $i$  — адрес строки,  $j$  — адрес элемента ПЭС) поступает с выхода АЦП на вход схемы БЗУ.

Функциональная схема БЗУ представлена на рис. 2. В число основных функций, выполняемых БЗУ, входят: согласование скорости АЦП со скоростью обмена по каналу прямого доступа; анализ очередного цифрового отсчета  $D_{ij}$ ; запись  $D_{ij}$ , удовлетворяющего критерию предварительной сортировки, в буферную память; определение и запись координат (адресов) локальных максимумов видеосигнала в буферную память максимумов (БПМ); формирование запроса прерывания к ИПДП при заполнении одного из подбуферов.

Значение  $D_{ij}$  заносится во входной конвейерный регистр (КР). С выхода КР код сигнала подается на схему сравнения (СС1), на второй вход которой поступает код  $D_0$  с программно-доступного регистра порога (РП). Содержимое РП определяет нижний порог чувствительности системы.

При выполнении неравенства

$$D_{ij} > D_0 \quad (1)$$

$D_{ij}$  (будем называть его в этом случае информативным отсчетом) записывается в один из подбуферов БП1 или БП2, номер которого определяет устройство управления (УУ), через входной мультиплексор (ММП). В БЗУ данной системы реализован так называемый координатно-позиционный способ записи информации [7]. Таким образом, каждая группа информативных отсчетов начинается маркерной последовательностью, где указываются координаты  $i, j$  (базовый адрес) первого отсчета  $D_{ij}$ , внутри же группы отсчеты записываются последовательно: позиция соответствующего отсчета определяет его адрес относительно базового адреса всей группы. Таким образом удается минимизировать объем необходимого ОЗУ Э 60М, а также использовать канал ПДП для ввода только информативных отсчетов.

Одновременно  $D_{ij}$  поступает на вход схемы сравнения СС2, где сравнивается с предыдущим цифровым отсчетом  $D_{i,j-1}$ . Если

$$D_{ij} \geq D_{i,j-1}, \quad (2)$$

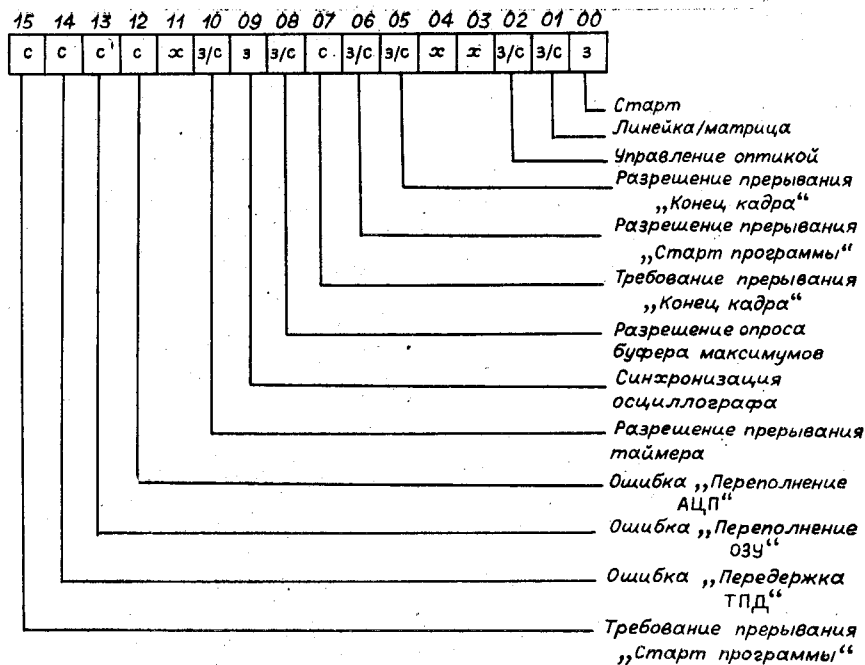


Рис. 3.

то  $i, j$  считается адресом локального максимума и записывается в БПМ на место предыдущего адреса  $i, j - 1$ ; в противном случае  $i, j - 1$  — адрес локального максимума. Емкость БПМ составляет 16 ячеек, что позволяет буферизировать до 16 пар адресов локальных максимумов сигнала. Для многих практических применений этого вполне достаточно, однако при необходимости емкость БПМ легко наращивается. Буферная память отсчетов видеосигнала емкостью 128 байт реализована в виде двух подбуферов БП1 и БП2. При заполнении одного из них УУ подключает выход ММП к другому и вырабатывается сигнал, по которому ИПДП формирует запрос прямого доступа к памяти (ТПД); после его удовлетворения содержимое заполненного подбуфера передается через выходной мультиплексор (ВМП) к ИПДП. В конце цикла съема кадра формируется дополнительное ТПД для ввода в ОЗУ содержимого БПМ.

ИПДП предназначен для связи ПЗС-контроллера с Э 60М, управления ОП Э 60М в режиме ПДП и задания режимов работы ГФТИ и БЗУ. Алгоритм функционирования ПЗС-контроллера определяется содержанием пяти регистров: регистра состояния контроллера (РС), регистра адреса ОЗУ (РА), регистра управления ГФТИ (РУ), регистра порога БЗУ (РП), регистра данных цифроаналогового интерфейса (РД). Все регистры программно доступны. РД используется для хранения кода данных цифроаналогового преобразователя, который через цифроаналоговый интерфейс подключен к видеоконтрольному устройству (ВКУ), входящему в состав стандартных периферийных устройств системы. РП определяет нижний порог чувствительности БЗУ. РУ задает минимальный и максимальный адреса строк ПЗС-датчика, подлежащих предварительной обработке и вводу в микроЭВМ для вторичной обработки, при этом остальные строки суммируются на нижнем регистре ПЗС и теряются. РА содержит текущий адрес ОЗУ Э 60М при обращении к нему в режиме ПДП. На рис. 3 приведен формат РС и указано назначение каждого бита. Буква «с» означает, что соответствующий разряд может быть только считан Э 60М, «з» — только записан, «х» — соответствующий разряд зарезервирован для возможных расширений системы.

В описываемой системе регистрации и обработки оптических сигналов в качестве базового системного обеспечения адаптирована дисковая

операционная система реального времени RT11-V04. На основе системного программного обеспечения разработан пакет прикладных программ применительно к управлению ПЗС-контроллером и обработке сигналов ПЗС-структур. Основными являются следующие модули:

CCD INT — подпрограмма (ПП) обработки прерываний ПЗС-контроллера и управления режимами его работы;

CCD STS — ПП статистической обработки сигналов ПЗС-фотоприемников;

CCD COR — ПП уточнения координат максимумов сигнала ПЗС-прибора;

CCD DIS — ПП вывода на ВКУ или графопостроитель результатов обработки сигналов ПЗС-прибора.

Рассмотрим более подробно подпрограмму CCD COR. Точность определения координат максимума светового пятна однозначно связана с размером разрешимой точки, т. е. в данном случае с размером элемента ПЗС-датчика. Повысить эту точность при небольшом числе элементов, входящих на световое пятно ( $\sim 2 \times 2$  элемента ПЗС), позволяет следующий алгоритм: вычисляется отношение двух максимальных отсчетов сигнала и в зависимости от полученного отношения по данным, хранящимся в памяти ЭВМ, определяется сдвиг центра светового пятна относительно центра элемента с максимальным зарегистрированным отсчетом видеосигнала. В основу алгоритма уточнения координат было положено то, что при перемещении в плоскости регистрации форма светового пятна не меняется.

Экспериментальная проверка проводилась с помощью оптической системы, осуществляющей фокусировку луча He-Ne-лазера до размеров  $2 \times 2$  элемента ПЗС. В качестве фотоприемных устройств использовались линейный ПЗС-формирователь типа А1033 (число элементов 1024, размер элемента  $15 \times 15$  мкм<sup>2</sup>); матричный ПЗС-формирователь типа 1200СМ1 (число элементов  $144 \times 234$ , размер элемента  $21 \times 27$  мкм<sup>2</sup>). Перемещение светового максимума в плоскости регистрации имитировалось перемещением фотоприемника, установленного на столик с микрометрической подачей.

В результате экспериментальной проверки удалось определить координаты максимума светового пятна с точностью, близкой к 0,1 размера элемента ПЗС прибора, и, таким образом, подтвердить правильность выбранного алгоритма повышения точности. Аппаратная реализация алгоритма определения координат максимумов видеосигнала существенно увеличила скорость обработки данных и при совместном использовании с программно-реализованным алгоритмом уточнения координат дало возможность вычислить уточненные координаты и значения максимумов видеосигнала в режиме реального времени.

Промежуточное буферирование и аппаратная реализация алгоритма предварительной сортировки позволили согласовать скорость АЦП и канала ПДП, которая составила 3 Мбайт/с, ввести только информативные отсчеты видеосигнала и в промежутках между циклами ПДП осуществить вторичную обработку данных в соответствии с заданной программой.

Рассмотренная система была использована в ряде задач оптико-цифровой обработки сигналов таких, как спектральный анализ, распознавание образов, оптическое моделирование и др. Дальнейшее развитие системы ведется в направлении увеличения быстродействия, повышения динамического диапазона, наращивания проблемно-ориентированного программного обеспечения.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Иванов С. А. Чувствительность телевизионной камеры на матричном фотоприемнике с переносом заряда.— Техника средств связи. Сер. Техника телевидения, 1982, вып. 4.
2. Пресс Ф. Н. Формирователи видеосигнала на приборах с зарядовой связью.— М.: Радио и связь, 1981.

3. Водоватов И. А., Высоцкий М. Г., Лавров А. Ц., Рогов С. А. Оптическое моделирование диаграмм направленности антенных устройств с использованием многоэлементных ПЭС-фотоприемников.— Автометрия, 1983, № 1.
4. Бухарин Н. А., Есепкина Н. А., Котов Ю. А., Михайлов А. В. Гибридный оптико-цифровой акустооптический коррелятор.— Письма в ЖТФ, 1980, т. 6, вып. 2.
5. Афанасьев С. Я., Бородин С. М., Стенин В. Я. Программируемое устройство управления матричным формирователем видеосигнала на ПЭС.— Автометрия, 1983, № 3.
6. Гольдшер А. И. и др. Управление матрицами элементов с зарядовой связью.— Электрон. пром-сть, 1982, № 7.
7. Байкин И. А., Фельдберг К. X. Сокращение объема цифровой памяти при записи изображений.— Техника средств связи. Сер. Техн. телевидения, 1982, вып. 2 (34).

*Поступила в редакцию 12 января 1984 г.*

УДК 535.317.2 : 681.332

**В. И. КОЗИК, А. Н. ОПАРИН, О. И. ПОТАТУРКИН**

*(Новосибирск)*

### **МНОГОКАНАЛЬНЫЙ ОПТИКО-ЭЛЕКТРОННЫЙ ПРОЦЕССОР С ОБРАБОТКОЙ КОРРЕЛЯЦИОННОЙ ФУНКЦИИ**

В [1, 2] рассмотрены оптико-электронные процессоры (ОЭП) на основе голографических корреляторов интенсивности (ГКИ) с оперативным оптическим вводом и оконтуриванием обрабатываемых изображений (ОИ). Такие ОЭП предназначены для решения задач распознавания изображений заданной конфигурации в поле наблюдения и определения их координат. Проведенные экспериментальные исследования показали хорошую работоспособность созданных ОЭП при оперативном распознавании двухградационных тестовых и реальных полутоновых изображений, причем в качестве функции сходства выбиралась корреляционная функция оконтуренного ОИ и эталонного изображения (ЭИ). Однако в этих работах не рассматривались вопросы инвариантности процесса распознавания к таким геометрическим преобразованиям ОИ, как изменение масштаба, ориентации и т. п. При этом наибольший интерес с нашей точки зрения представляет инвариантность к ракурсным преобразованиям ОИ, т. е. к таким преобразованиям, которые приводят к изменению не только параметров, но и формы изображений.

Кроме того, в условиях априорной неопределенности коэффициент корреляции как мера сходства далеко не всегда обеспечивает достоверное распознавание даже при расширении класса решающих функций, например, за счет выбора параметра расфокусировки при оконтуривании ОИ и профиля контура ЭИ [1]. Согласно [3] один из методов повышения надежности функционирования ОЭП заключается в цифровой обработке полученной корреляционной функции после сжатия информации на выходе ГКИ. Поэтому в данной работе исследуется возможность повышения достоверности распознавания за счет дополнительной цифровой обработки корреляционной функции с помощью клеточных операторов, а также приводятся результаты экспериментального исследования ОЭП, в котором реализован инвариантный к ракурсным преобразованиям процесс распознавания изображений реальных объектов.

Выше отмечалось, что ракурсные преобразования в отличие от масштабных и ориентационных приводят к изменению формы изображений, т. е. для каждого ракурса ОИ необходимо соответствующее ему ЭИ. Следовательно, процесс распознавания в этом случае реализуется с помощью параллельного или последовательного перебора эталонов (конечно, возможны и промежуточные варианты). С точки зрения производительности ОЭП наиболее предпочтительна параллельная (многоканальная)