

вспышек. Рис. 4, в иллюстрирует итог 30-минутного накопления в этом режиме. Следует отметить, что эти кадры получены в условиях сильной зашумленности изображения термоэлектронной эмиссией с фотокатода ЭОП (внутренний шум системы), так как регистрация велась при комнатной температуре. Несмотря на это, возникающие из отдельных фотонов спиральные рукава Галактики можно проследить уже при времени накопления 0,3 с (см. рис. 4, б). Вертикальные полосы на снимке объясняются наводками, возникающими в видеоканале при работе системы.

Как показали предварительные исследования, линейность системы при работе в режиме накопления фотонов достаточно велика: динамический диапазон находится в пределах от 1 до 10^4 фотонов/канал · ч, что соответствует типичным слабым потокам при астрономических наблюдениях.

Заключение. Важной особенностью разработанной системы является возможность прямой обработки изображений в ЭВМ с целью их улучшения или анализа. В системе предусмотрены следующие виды обработки: реставрация и цифровая фильтрация, визуальный анализ и собственно математическая обработка. Под реставрацией в первую очередь подразумевается устранение инструментальных искажений на основе фурье- и автокорреляционного анализов, учет неоднородности чувствительности приемника, устранение постоянных дефектов, связанных с недостатками мишени телевизионной трубки и т. д. Система позволяет получать в процессе накопления сечения изображений в произвольных направлениях, определять с помощью курсоров интенсивности в любых точках изображения. Графическая и буквенная информация могут выводиться на экран монитора параллельно с накапливаемыми данными.

Система предназначена для применения в астрофизических исследованиях в качестве панорамного счетчика фотонов для изучения предельно слабых объектов, а также панорамного накопления изображений повышенной яркости. Рассматривается возможность использования системы для интерферометрических работ (в сочетании со специальным процессором) и для скоростной микроденситометрии астрофотографий.

ЛИТЕРАТУРА

1. Boksenberg A. Performance of the UCL Image Photon Counting System.— In: Auxiliary Instrumentation for Large Telescopes. Geneva, 1972, p. 295—316.
2. Cenalmor V. e. a. Photon Counting and Analog Television Systems with Digital Real Time Image Processing and Display.— Astron. Astrophys., 1978, vol. 69, p. 411—419.
3. Попов Ю. А. Об одном способе оперативного определения центров фотонных вспышек при считывании изображения с экрана ЭОП.— Автометрия, 1978, № 6, с. 19—23.

Поступила в редакцию 2 октября 1979 г.

УДК 681.142.6 : 621.397

И. М. БОКШТЕЙН, Л. П. ЯРОСЛАВСКИЙ

(Москва)

ДИСПЛЕЙНЫЙ ПРОЦЕССОР ДЛЯ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМ ОБРАБОТКИ ИЗОБРАЖЕНИЙ

Введение. Определяя задачи и структуру автоматизированных систем цифровой обработки изображений, следует исходить из того, что изображение — это сигнал, предназначенный для зрительной системы, и главные

задачи обработки изображений — задачи коррекции изображающих систем и препарирования изображений для облегчения их визуальной интерпретации и принятия по ним решений экспертом-пользователем. Поэтому обработка изображений должна быть диалоговой и проводится под наблюдением и управлением пользователя, а в состав систем обработки изображений должны входить устройства динамической визуализации изображений — дисплейные процессоры. Основными функциями дисплейного процессора являются

воспроизведение высококачественных черно-белых и цветных изображений по цифровому сигналу, поступающему от центрального процессора системы обработки изображений;

обеспечение обратной связи пользователя с центральным процессором как посредством управляющих сигналов, так и по видеосигналу.

Кроме того, опыт работы цифровых комплексов обработки изображений показывает, что дисплейный процессор следует наделять возможностью быстрой специализированной обработки изображений в реальном времени, согласованной с временем естественной реакции пользователя и с условиями комфортного наблюдения. Обработка изображений на аппаратном уровне в отличие от обработки по программам в универсальном центральном процессоре позволяет не только ускорить процесс обработки и упростить процесс управления ею, тем самым создавая дополнительные удобства пользователю, но и освободить центральный процессор от выполнения стандартных операций и расширить возможности обслуживания им нескольких пользователей (и соответственно нескольких дисплейных процессоров) в режиме разделения времени.

В настоящее время можно рассматривать как стандартные и допускающие реализацию в дисплейном процессоре следующие виды обработки [1—3]:

поэлементные амплитудные преобразования видеосигнала (в том числе адаптивные преобразования [3, 4]) и представление изображений в псевдоцветах;

отображение количественных характеристик видеосигнала (гистограммы распределения по произвольному участку изображения, локальные значения видеосигнала, локальные средние значения и дисперсии, форма видеосигнала в произвольном сечении и т. п.) в виде графиков и чисел на фоне изображения;

выделение границ и контуров простейшими дифференциальными операторами; поэлементные арифметические и логические операции с несколькими изображениями;

графическое представление изображений и их количественных характеристик, в том числе представление в виде диметрических проекций; простейшие геометрические преобразования изображений (транспонирование, поворот относительно центральной точки, горизонтальной и вертикальной осей, растяжение и сжатие, сдвиг по горизонтали и вертикали и косой сдвиг).

Для того чтобы выполнять указанные выше функции, дисплейный процессор должен обладать [1, 2] запоминающим устройством (ЗУ) для хранения цифрового видеосигнала; двусторонним каналом обмена данными между ЗУ и центральным процессором; арифметическим устройством, обеспечивающим обработку изображений с представлением результатов как только для визуализации, так и для визуализации после записи в ЗУ; графическим процессором с генераторами векторов, графиков и символов; средствами управления (функциональные клавиши, кнопки, рукоятки, световое перо и т. п.).

Запоминающее устройство дисплейного процессора. Визуальный анализ и интерпретация изображений [4] обычно состоят из обзорного анализа, при котором выявляются общие особенности и крупные детали, и детального анализа. Учитывая, что в комфортных условиях наблюдения

венного воспроизведения черно-белого изображения с использованием обработки в дисплейном процессоре число уровней квантования отсчетов должно в соответствии с общепринятыми нормами составлять 256, объем цифрового видеосигнала черно-белого изображения оказывается равным 2 Мбит. Для цветного изображения при представлении его в виде трех цветоделенных компонент объем видеосигнала составляет 6 Мбит. Цифровое ЗУ подобной емкости с достаточным быстродействием оказывается дорогим и ненадежным. Для сокращения требуемой емкости ЗУ дисплейного процессора авторами было предложено использовать кодирование видеосигнала, устраняющее его избыточность [5].

Кодирование изображения можно осуществлять с помощью одного из многочисленных методов трансформационного кодирования, кодирования с предсказанием или с помощью комбинированных методов. В связи с тем, что кодирование и декодирование в дисплейном процессоре выполняются на цифровом уровне и не подвержены воздействию помех, наиболее естественно использовать весьма просто реализуемый и не требующий применения буферных ЗУ метод кодирования с предсказанием — дифференциальное кодирование с предсказанием по предыдущему элементу строки и независимым представлением отдельных строк изображения. Этот метод [6, 7] в отсутствие помех позволяет уменьшить необходимый объем ЗУ в 2,7 раза при хранении черно-белых изображений [7] и в 4—6 раз при хранении цветных изображений [8]. Проведенные в ИППИ АН СССР эксперименты [7, 8] показали, что визуальное качество изображений, воспроизведенных дисплейным процессором с использованием кодирования, оказывается столь же высоким, как и при их непосредственном воспроизведении.

Арифметическое устройство (АУ) дисплейного процессора. Перечисленные выше операции обработки изображений, допускающие реализацию в дисплейном процессоре, можно разбить на две группы.

1. Операции, не требующие сложных и громоздких вычислений и многократного использования запоминающих устройств (поэлементные и простейшие локальные преобразования одного или нескольких изображений). Такие операции естественно выполнять со скоростью телевизионной развертки непосредственно в процессе визуализации изображения. В этом случае пользователь получает возможность многократного выполнения обработки и подбора параметров преобразований в диалоговом режиме. В запоминающее устройство дисплейного процессора должен записываться только окончательный результат обработки.

2. Операции, связанные со значительным объемом вычислений, с одновременным использованием информации о яркости многих точек изображения или с многочисленными перемещениями данных (геометрические преобразования, определение количественных характеристик видеосигнала и т. п.). Результат выполнения таких операций обязательно должен быть записан в основное или в одно из дополнительных буферных ЗУ. Скорость работы дисплейного процессора при этом оказывается менее высокой, но все же достаточной для обеспечения удобства работы.

В связи с указанным разбиением операций обработка изображений в дисплейном процессоре должна осуществляться с помощью двух арифметических устройств: «быстрого» АУ, включенного между выходом декодирующего устройства ЗУ и преобразователем код — аналог, и «медленного» АУ, вход которого соединен с выходом «быстрого» АУ, а выход — со входами основного и буферных ЗУ (рис. 1).

«Быстрое» АУ [1, 9] может быть построено на базе серийно выпускаемых арифметически-логических устройств (АЛУ) и цифровых запоминающих устройств небольшой емкости с произвольной выборкой. Оно должно обеспечивать выполнение в режиме диалога операций поэлементных преобразований каждого из хранимых в ЗУ изображений (с помощью специальным образом заполняемой таблицы), операций совместной обработки нескольких изображений типа сложения, вычитания, логического сложения и др., операций маскирования изображения и наложения на него создаваемой графическим процессором символьной и графической информации, а также операций выделения контуров и их наложения на изображение. В связи с этим естественно разбить «быстрое» АУ на следующие блоки (рис. 2): обработки отдельного изображения, совместной обработки изображений и обработки результатов совместной обработки. В состав «быстрого» АУ следует включить также блоки, обеспечивающие воспроизведение псевдоцветного изображения и увеличение произвольного участка изображения с целью его детального анализа.

«Медленное» АУ [1] предназначено для выполнения широкого набора операций типа обработки строк и фрагментов изображений, геометрических преобразований и графического представления изображений, а также для определения количественных характеристик видеосигнала. Основным элементом «медленного» АУ должен являться микропроцессор, имеющий возможно более высокое быстродействие, например микропроцессор типа K589. Необходимо обеспечить его взаимодействие с буферным ЗУ объемом 512—1024 8-разрядных ячеек (достаточным для хранения отсчетов 1—2 строк или 32×32 отсчета фрагмента изображения) и с программируемым постоянным запоминающим устройством (ППЗУ), содержащим программы обработки. В связи с тем, что быстродействие даже этого микропроцессора (около 100 нс на операцию) все же недостаточно для выполнения в реальном времени многих операций обработки, в состав «медленного» АУ следует включить ряд специализированных блоков. Так, при определении количественных характеристик видеосигнала подсчет промежуточных параметров, связанный непосредственно с анализом изображения, следует проводить в процессе воспроизведения необходимого участка изображения. С помощью микропроцессора в этом случае необходимо выполнять только сравнительно небольшое

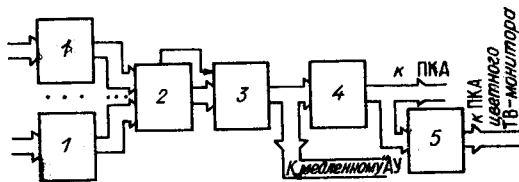


Рис. 2. Структурная схема «быстрого» арифметического устройства:

1 — блок обработки отдельного изображения, 2 — блок совместной обработки изображений, 3 — блок обработки результатов совместной обработки, 4 — блок увеличения участка изображения, 5 — блок формирования псевдоцветного изображения.

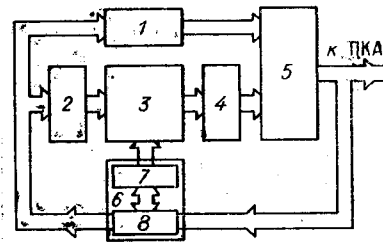


Рис. 1. Упрощенная структурная схема дисплейного процессора:

1 — дополнительное ЗУ, предназначенное для хранения графической и символьной информации; 2 — кодирующее устройство; 3 — основное ЗУ; 4 — декодирующее устройство; 5 — «быстрое» АУ; 6 — «медленное» АУ; 7 — микропроцессор; 8 — буферное ЗУ; ПКА — преобразователь код — аналог.

числом операций с промежуточными параметрами (например, вычисление среднего значения видеосигнала по значениям его отсчетов и суммы всех отсчетов в пределах необходимого участка). С помощью специального блока можно легко осуществить в реальном времени ряд геометрических преобразований изображения (например, его сдвиг по горизонтали и вертикали).

Поскольку основное ЗУ дисплейного процессора в связи с высокими требованиями к его

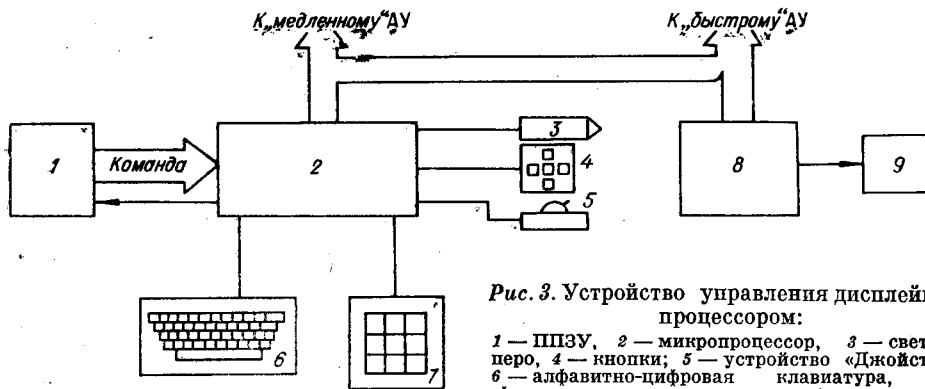


Рис. 3. Устройство управления дисплейным процессором:

1 — ППЗУ, 2 — микропроцессор, 3 — световое перо, 4 — кнопки; 5 — устройство «Джойстик», 6 — алфавитно-цифровая клавиатура, 7 — функциональная клавиатура, 8 — панель управления; 9 — светодиодное табло.

быстродействию должно иметь последовательно-параллельную структуру и так как при хранении в нем данных используется кодирование с предсказанием, к отсчетам видеосигнала возможен только последовательный доступ. Поэтому для обеспечения требуемого быстродействия при обработке строк и фрагментов в состав «медленного» АУ должен входить блок двустороннего обмена данными между основным ЗУ дисплейного процессора и буферным ЗУ. С помощью этого блока массив данных, подлежащий обработке, считывается в буферное ЗУ с произвольной выборкой в течение сравнительно небольшого промежутка времени (около 1/500 с в случае разумной организации основного ЗУ); по окончании обработки массива, время которой определяется сложностью программы и быстродействием микропроцессора, в течение того же времени результат обработки переписывается в основное ЗУ.

Устройство управления и средства управления дисплейным процессором. В связи с разделением АУ дисплейного процессора на два блока, выполняющих различные операции обработки, устройство управления дисплейным процессором (рис. 3) также естественно разбить на два блока. Первый из них, управляющий работой большей части элементов «быстрого» АУ, представляет собой панель управления с клавишами и кнопками, оказывающими непосредственное воздействие на схему АУ. Характер выполняемой операции отображается на светодиодном табло. Наличие панели управления дает возможность быстрой смены операций, снижает требования к специальной подготовке оператора и повышает скорость диалога. Второй блок устройства управления служит для управления работой некоторых элементов «быстрого» АУ и работой «медленного» АУ, а также для организации взаимодействия дисплейного процессора с центральным. Основой этого блока является входящий в состав «медленного» АУ микропроцессор. Выбор конкретной операции обработки осуществляется путем передачи управления одной из управляющих программ, хранящихся в связанном с микропроцессором блоке ППЗУ. Выполнение последовательности микрокоманд этой программы вызывает включение необходимых блоков АУ, обеспечивает использование различных средств управления и соответствующую обработку найденных промежуточных параметров. Запуск управляющей программы проводится нажатием той или иной кнопки функциональной клавиатуры или набором определенной последовательности символов на алфавитно-цифровой клавиатуре. С помощью последней осуществляется также ввод некоторых количественных параметров, определяющих режим обработки.

Задачи обработки изображений, подлежащие решению в дисплейном процессоре, входящем в состав автоматизированных систем цифровой обработки изображений конкретного назначения, могут значительно отличаться друг от друга. Поэтому при создании дисплейного процессора сле-

дует предусмотреть возможность использования набора сменных блоков ППЗУ, ориентированных на решение конкретных классов задач.

Для обеспечения удобства диалога пользователя с дисплейным процессором в его состав должен входить ряд специализированных средств управления: набор опрашиваемых микропроцессором кнопок, устройство «Джойстик» и световое перо. Набор кнопок можно использовать для перемещения по изображению различных жестких фигур (например, крестообразной метки). Для этой же цели может служить более удобное и более быстродействующее устройство «Джойстик»; изменение положения рукоятки этого устройства, имеющей две степени свободы, управляет вводом в дисплейный процессор двух параметров, пропорциональных углам ее наклона. Наличие устройства «Джойстик» и светового пера, генерирующего координаты находящейся под его наконечником точки изображения, дает возможность выделять на изображении подлежащие обработке области произвольной формы, строить графики характеристик обработки и т. п.

Прототип дисплейного процессора. В Институте проблем передачи информации АН СССР построен прототип дисплейного процессора, использующий ЗУ на сдвиговых регистрах. Разработаны система дифференциального кодирования с предсказанием по предыдущему элементу строки, обеспечивающая воспроизведение черно-белых и цветных изображений, «быстрое» и «медленное» арифметические устройства и устройство управления, а также канал двустороннего обмена данными с центральным процессором. Созданное устройство обеспечивает высокую скорость и удобство обработки изображений при минимальных затратах аппаратурных средств. Опыт работы с дисплейным процессором свидетельствует о разумности выбора его структуры и основных параметров.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бокштейн И. М. Дисплейный процессор — устройство диалоговой обработки полутоновых изображений. — В кн.: Цифровая обработка сигналов и ее применения. М., Наука, 1979.
2. Бокштейн И. М. Структура и функции дисплейного процессора. — В кн.: Первая междунар. конф. молодых ученых «Проблемы проектирования и применения дискретных систем в управлении». (Тезисы докладов.) Минск, изд. ВИНТИ, 1977.
3. Ярославский Л. П. Введение в цифровую обработку изображений. М., Сов. радио, 1979.
4. Беликова Т. П., Ярославский Л. П. Использование адаптивных амплитудных преобразований для препарирования изображений. — Вопросы радиоэлектроники. Сер. общетехн., 1974, вып. 14.
5. Ярославский Л. П., Бокштейн И. М. Устройство для отображения информации на экране телевизионного приемника. (Авт. свид-во № 633043.) — БИ, 1978, № 42.
6. Коннор Дж., Брейнард Р., Лимб Дж. Внутрикадровое кодирование изображений для передачи по цифровому каналу. — В кн.: Обработка изображений при помощи цифровых вычислительных машин. М., Мир, 1973.
7. Бокштейн И. М. Использование дифференциальной импульсно-кодовой модуляции для сокращения объема памяти дисплейного процессора. — В кн.: Вопросы кибернетики. Вып. 38. Иконика. Цифровая обработка и фильтрация изображений. М., изд. ВИНТИ, 1978.
8. Бокштейн И. М. Воспроизведение цветных изображений на экране растрового дисплея. — Техника средств связи. Сер. Техника телевидения, 1979, вып. 1.
9. Бокштейн И. М. Быстрое арифметическое устройство дисплейного процессора. — В кн.: Автоматизация научных исследований на основе применения ЭВМ. Новосибирск, изд. ИАиЭ СО АН СССР, 1977.

Поступила в редакцию 27 августа 1979 г.