

В. И. КАБЛУКОВ, В. А. КОЗЛАЧКОВ, И. И. КОРШЕВЕР,  
С. А. ПАВЛОВ, К. В. ТЕСЛЕНКО, М. Ю. ШАДРИН

(Новосибирск)

## ДИСПЛЕЙНЫЙ ПРОЦЕССОР

**Введение.** Дисплейный процессор (ДП) — это специализированный периферийный процессор, имеющий собственный набор команд, оптимизированный относительно задач интерактивной машинной графики, особые форматы данных и собственное микропрограммное управление [1]. Основные особенности процессора: векторное представление вводимых данных, широкая палитра цветов, возможность выполнения различных функций над вводимыми изображениями, большое виртуальное поле отображения, высокая скорость блочных пересылок и гибкое взаимодействие с управляющей ЭВМ.

Большое виртуальное поле памяти и аппаратно поддерживаемый быстродействующий механизм отображения любого фрагмента этого поля на экран в сочетании с высокой скоростью блочных пересылок позволяют реализовать режимы, чрезвычайно удобные для отображения графической и научно-технической информации: режим «скроллинга» («протяжки» изображения в каком-либо направлении в заданном окне), быстрое «листание» фрагментов изображения для имитации мультипликации и др.

ДП ориентирован на подключение к общей шине систем, базирующихся на стандарте МПИ (Q-bus). Как периферийный процессор этой системы ДП выполняет последовательность дисплейных команд, передаваемых на ЭВМ, и генерирует изображение в устройстве отображения. При этом данные, нуждающиеся в отображении на экране дисплея, передаются в ДП не в виде отдельных точек, а в сжатом, «векторном» виде (в виде так называемых «графических примитивов»).

В качестве устройства отображения используется растровый дисплей с цветной электронно-лучевой трубкой с чересстрочной разверткой (частота регенерации полукадра 50 Гц).

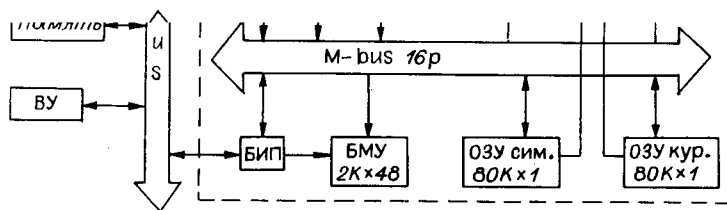
ДП конструктивно исполнен на одной двойной плате формата ЭВМ «Электроника». При проектировании процессора широко использовались микросхемы серий 1804, 565, 555, 531.

Тактовая частота процессора 6 МГц. Скорость отображения в ДП достигает 300 тыс. точек/с. Для примера, иллюстрирующего производительность ДП, отметим, что копирование прямоугольной области экрана размером  $256 \times 256$  точек из одной зоны экрана в другую занимает 0,22 с.

**Функционирование ДП.** Процесс вывода изображения на экран дисплея происходит следующим образом. Программа, находящаяся в УЭВМ, формирует дисплейный файл (ДФ), содержащий описание графического представления объектов, подлежащих выводу на экран, в векторной форме (в целочисленных координатах) и передает его в ДП по каналу прямого доступа к памяти (ПДП).

Виртуальное поле дисплейного файла может содержать изображение, занимающее поле из  $65536 \times 65536$  точек. Для отображения экранного формата  $512 \times 512$  точек из УЭВМ в ДП передаются координаты «окна» — той части общего поля, которая подлежит выводу.

После передачи ДФ в векторную память ДП блок микропрограммного управления (БМУ) начинает обработку этого файла, используя при этом арифметико-логическое устройство (АЛУ), и заполняет буфер регенерации изображения (БРИ), ОЗУ символов и ОЗУ курсора информацией, представленной в растровом виде. Благодаря наличию мощного АЛУ, ДП может выполнять ряд довольно сложных функций по обработке изображений, например, транспонирование прямоугольного массива, заполнение ограниченной области заданным цветом и др.



Структурная схема дисплейного процессора:

ВУ — внешнее устройство, ГТИ — генератор тактовых импульсов, ССМ — сигнал синхросмеси

Одновременно загружается таблица цветов (ТЦ) и устанавливается режим отображения (масштаб, координаты отображаемого окна и т. п.), а система вывода изображения (СВИ) циклически просматривает буфер регенерации изображения, ОЗУ курсора и ОЗУ символов и в соответствии с их содержимым управляет интенсивностью электронного луча дисплея. Заполнение БРИ, ОЗУ символов и курсора производится только в то время, когда к ним не обращается СВИ для того, чтобы не нарушался процесс регенерации изображения, т. е. во время обратного хода строки и кадра.

Восьмиразрядные данные, содержащиеся в БРИ, поступают на вывод через перезагружаемую таблицу цветности.

Обмен данными между всеми блоками ДП осуществляется через 16-разрядную шину M-bus.

ДП отображает на экран дисплея поле  $640 \times 512$  точек, которое условно разбивается на левое ( $512 \times 512$  точек) и правое ( $128 \times 512$  точек). Информация, содержащаяся в буфере регенерации изображения, отображается только в левом поле экрана, а содержимое ОЗУ курсора и ОЗУ символов — на все поле ( $640 \times 512$  точек). Таким образом, правое поле экрана может быть использовано для служебной информации (например, меню).

**Организация ДП.** На рисунке приведена структурная схема ДП, подключенного в качестве периферийного процессора к стандартной системе, базирующейся на шине Q-bus.

Блок микропрограммного управления задает последовательность действий для всех остальных блоков процессора, используя при этом поступающие от них сигналы. В частности, БМУ обрабатывает прерывания, поступающие от интерфейсного блока и системы вывода изображения [2, 3]. В состав БМУ входят следующие устройства: устройство управления выполнением программы (УУВП); управляющая память; конвейерный регистр; мультиплексор условий.

УУВП формирует адрес следующей микрокоманды, выбираемой из управляющей памяти (памяти микрокоманд). Объем управляющей памяти  $2K \times 48$  бит. Основные микропрограммы, записанные в управляющую память: 1) обслуживают обмен с УЭВМ; 2) обслуживают прерывания по регенерации динамической памяти ДП; 3) генерируют примитивы в растровом виде (отрезки, окружности, прямоугольники, символы и т. п.); 4) отсекают хранимое в векторной памяти изображение по заданному окну; 4) загружают таблицу цветов; 5) поддерживают отображение на экран.

Арифметико-логическое устройство выполняет все операции над 16-разрядными данными вводимого изображения (в том числе и генерирование адресов) с быстродействием 6 млн опер./с. В состав АЛУ входят 17 регистров [2, 3], четыре из которых предназначены для взаимодей-

ствия с УЭВМ (см. ниже), четыре используются микропрограммами монитора (микропрограммами ввода/вывода в/из УЭВМ, регенерации динамической памяти ДП, поддержки изображения и др.), а остальные — при операциях над данными, поступающими в ДП для обработки.

В АЛУ микропрограммно реализована операция умножения, выполняемая за 4 мкс.

Блок интерфейса и прерываний (БИП) служит для обмена информацией ДП с УЭВМ и обработки внутренних микропрерываний, асинхронных по отношению к последовательности операций, производимых в БМУ. БИП позволяет осуществлять обмен данными между ДП и памятью УЭВМ по прямому доступу, а также производить прерывание УЭВМ по программно устанавливаемому вектору.

Векторная память используется как универсальная для хранения команд дисплейного файла, загружаемого из памяти УЭВМ по прямому доступу, таблиц кодировки символов и другой служебной информации. Часть векторной памяти отводится для нужд микропрограмм монитора и запрещена для пользования. Объем векторной памяти 128 Кбайт, время доступа к ней 0,33 мкс.

Информация, содержащаяся в векторной памяти и обработанная с помощью АЛУ, помещается далее в буфер регенерации изображения объемом 256 Кбайт (буфер расслоен на четыре банка). Здесь изображение представлено уже в растровом виде: в виде набора элементов изображения (пикселей) разного цвета. Скорость доступа к БРИ в последовательном режиме при выводе изображения на экран составляет 12,5 Мбайт/с (83 нс/байт), а произвольного доступа, возможного лишь во время обратного хода строки или кадра, — 3 Мбайт/с (330 нс/байт). Благодаря наличию регистра маски, определяющего разряды, которые будут модифицированы при записи, имеется возможность побитной записи в это ОЗУ.

ОЗУ символов — отдельная память объемом 80 Кбит ( $320 \times 256$  точек), в которой в растровом виде хранятся символы для надписей и режима меню. ОЗУ символов заполняется микропрограммой в соответствии с содержанием ДФ. Если необходимо отобразить символы, «привязанные» к изображению, то их следует поместить в БРИ. Все символы, записанные в это ОЗУ, отображаются на экран одним цветом, определяемым содержимым специального 6-разрядного регистра цвета символов, расположенного в СВИ (2 бита на цвет).

ОЗУ курсора, полностью аналогичное ОЗУ символов, предназначено для хранения дополнительного изображения (курсора). В частности, это ОЗУ можно использовать для отображения нескольких курсоров (локаторов). Система команд ДП позволяет отображать на экране курсоры двух типов: перекрестье двух линий и прямоугольник размером  $32 \times 32$  точки, содержимое которого задается таблицей в векторной памяти.

Изображение, содержащееся в БРИ, может отображаться в масштабе 1:1, 2:1, 3:1, ..., 16:1, в то время как масштаб изображения в ОЗУ символов и ОЗУ курсора фиксирован.

Векторная память, БРИ, ОЗУ символов и ОЗУ курсора выполнены на микросхемах динамической памяти 565РУ5В.

Таблица (карта) цветов часто применяется разработчиками, чтобы избежать прямого кодирования цвета в пикселе, которое приводит к избыточности цветовой гаммы. При этом значение пиксела является индексом в таблице цветов, а для управления яркостью или цветом используется значение, извлеченное из таблицы по этому индексу и подаваемое на цифроаналоговый преобразователь [1].

В ДП имеется перезагружаемая таблица цветов объемом  $256 \times 15$  бит (по 5 бит на каждый цвет), позволяющая поставить в соответствие каждому из 256 уровней значения точки в БРИ один из 32 768 различных оттенков.

Система вывода изображения циклически построчно просматривает буфер регенерации изображения, ОЗУ курсора и ОЗУ символов и вырабатывает сигналы цветов *R*, *G* и *B* и сигнал синхросмеси в соответствии с телевизионным стандартом ГОСТ 7845—72.

СВИ вырабатывает адрес для БРИ, ОЗУ курсора и ОЗУ символов в соответствии с ходом электронного луча в чересстрочной развертке и воспринимает от них данные (от БРИ с темпом 83 нс на байт, а от ОЗУ курсора и символов с темпом 167 нс на бит). СВИ содержит также загружаемые регистры цвета символов и цвета курсора. Данные из БРИ, прошедшие через таблицу цветов, из регистра цвета курсора (более приоритетного) или регистра цвета символов поступают на вход цифроаналоговых преобразователей. Предусмотрена возможность независимого отключения изображения, курсора и символов.

СВИ может производить масштабирование, необходимое для увеличения изображения в 2, 3, ..., 16 раз, которое выполняется путем повторного употребления значения пикселей, принадлежащих окну. Для увеличения изображения в 2 раза значение каждого пикселя используется 4 раза: дважды на каждой из двух последовательных строк растра. Система генерации изображения не обладает большей разрешающей способностью, чем экран, увеличение масштаба поэтому не выявляет в изображении никаких новых подробностей: просто его детали станут более крупными и «зазубренными».

**Взаимодействие ДП с УЭВМ** осуществляется с помощью четырех адресуемых с *Q*-bus регистров. Адресное пространство этих регистров находится в зоне внешних устройств и задается установкой микропереключателей. Три первых регистра используются для задания параметров в режиме работы с каналом ПДП и в других операциях, которые выполняет ДП, четвертый — регистр статуса и управления (CNTRL) — имеет следующий формат:

с 0-го по 4-й разряд — поле функций для ДП;

5-й — бит запроса прерывания;

6-й — разрешение прерывания;

7-й — бит готовности ДП;

с 8-го по 14-й — не используются;

15-й — бит ошибки во время ПДП.

В ДП могут быть заданы следующие функции:

- запуск обмена данными по прямому доступу между памятью УЭВМ и векторной памятью ДП;
- запуск интерпретации дисплейного файла с заданного адреса;
- продолжение интерпретации дисплейного файла с текущего адреса;
- установка и сброс пошагового режима интерпретации дисплейного файла;
- установка масштаба отображения БРИ;
- установка координат отображаемого окна БРИ;
- заполнение БРИ заданным цветом;
- раздельное включение/отключение отображения БРИ, ОЗУ символов и ОЗУ курсора;
- функции перемещения курсоров (локаторов);
- раздельная установка цвета курсоров и символов;
- раздельные чтение и запись регистров АЛУ, векторной памяти, БРИ, ОЗУ символов, ОЗУ курсора и таблицы цветов;
- сброс ДП.

Все функции, выполняемые ДП, можно разбить на две группы: длинные (например, интерпретация дисплейного файла) и короткие (например, чтение и запись векторной памяти). Перед запуском длинной функции необходимо дождаться готовности ДП, т. е. установки 7-го бита в регистре CNTRL. Для инициации короткой функции в этом необходимости нет. Благодаря этому, более приоритетная короткая функция приостанавливает выполнение длинной. Результат короткой функции готов

уже к тому моменту, когда УЭВМ или другое устройство обратится к одному из регистров ДП.

**Дисплейный файл**, загружаемый в векторную память ДП, представляет собой «программу действий» для ДП. Микропрограмма интерпретации ДФ начинает его просмотр либо с адреса, загруженного в первый регистр ДП, если в CNTRL заносилась команда запуска интерпретации ДФ, либо с его текущего адреса, если в CNTRL была занесена команда продолжения интерпретации дисплейного файла с текущего адреса. Далее сбрасывается бит готовности ДП и процессор начинает последовательно исполнять команды, содержащиеся в ДФ, до тех пор, пока не встретит команду HALT. После этого устанавливается бит готовности ДП. Для целей отладки микропрограмм предусмотрен пошаговый режим.

В процессе просмотра ДФ совершается следующая последовательность действий:

путем последовательного перебора ячеек векторной памяти микропрограмма интерпретации дисплейного файла находит очередное командное слово;

в соответствии с кодом операции, содержащимся в командном слове, управление передается одной из подпрограмм, которая выбирает при этом необходимые параметры из последовательных ячеек, расположенных за командным словом. По выполнении операции управление передается назад микропрограмме интерпретации дисплейного файла и процесс повторяется. Каждый раз при переходе к следующей ячейке текущий адрес дисплейного файла увеличивается на единицу.

Командное слово имеет следующий формат [4]:

- с 0-го по 6-й разряд — поле операции;
- с 7-го по 10-й — тип адресации для операндов;
- с 11-го по 14-й — не используются;
- 15-й — признак командного слова.

Все команды дисплейного файла условно разбиваются на следующие группы [1, 4—6]:

графические примитивы (точка, линия, окружность, массив точек, текст и т. п.);

установка атрибутов графических примитивов (цвет, интенсивность, параметры текста и т. п.);

установка режимов записи в БРИ (побитная запись, клипирование по заданному окну, установка функции записи нового изображения в БРИ);

функции преобразования БРИ (перемещение прямоугольных массивов в БРИ, арифметические и логические операции над ними, заполнение ограниченных областей заданным цветом и т. п.);

управление режимом отображения (установка масштаба отображения, задание отображаемого окна, отдельное включение и отключение отображения БРИ, ОЗУ символов и ОЗУ курсора);

арифметические и логические функции над ячейками векторной памяти;

команды ветвления и подпрограммы;

команды взаимодействия ДП с УЭВМ во время интерпретации дисплейного файла (прерывание УЭВМ, ожидание условия от УЭВМ, прекращение обработки дисплейного файла по условию от УЭВМ).

**Программное обеспечение ДП** содержит системные и тестовые программы, а также микропрограммы.

Системное обеспечение включает в себя кроссассемблер, транслятор с языка описания дисплейного файла, исполняющую систему, драйвер операционной системы RSX-11M и загрузчик дисплейного файла.

Исходный текст программы, написанной на языке описания дисплейного файла, обрабатывается транслятором, в результате чего выдается исполняемый файл. Затем происходит загрузка дисплейного файла в векторную память ДП и запуск его на интерпретацию.

Тестовое программное обеспечение служит для проверки работоспособности каждого из узлов ДП. Тестовая программа работает только в автономном режиме и включает в себя тесты работоспособности каждого блока и канала дисплейного процессора и обеспечивает доступ ко всем его ресурсам.

Микропрограммное обеспечение ДП написано на кроссассемблере и включает в себя монитор, интерпретатор дисплейного файла и математическую библиотеку. Монитор обеспечивает взаимодействие ДП с УЭВМ, производит управление регенерацией изображения на экране и всех блоков памяти ДП. Интерпретатор ДФ производит просмотр дисплейного файла и осуществляет вызов подпрограмм математической библиотеки. Интерпретатор поддерживает и пошаговый режим.

Математическая библиотека включает в себя более 80 процедур [4].

Написание микропрограмм производится на языке микроассемблера ДП. После трансляции исходного текста микроассемблер выдает исполняемый рабочий файл и файл листинга. Рабочий файл может быть загружен в ROM-симулятор, и, кроме того, можно создать выходные файлы в формате, пригодном для программирования ППЗУ. Пользователю передается микропрограммное обеспечение, содержащееся в ППЗУ.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Фоли Дж., Ван Дэм А. Основы интерактивной машинной графики.— М.: Мир, 1985.
2. Мик Дж., Брик Дж. Проектирование микропроцессорных устройств с разрядно-модульной организацией.— М.: Мир, 1984.
3. The Amd 2900 Family Data Book with Related Support Circuits.— Copyright, 1978: By Advanced Micro Devices, Inc. 901 Thompson Place, Sunnyvale.— California, 1978.
4. Каблуков В. И. Сигнальный процессор СП-12: Векторно-растровый дисплейный процессор.— Новосибирск, 1989.— (Препр./СО АН СССР. ИАиЭ; 418).
5. Уокер Б., Гурд Дж., Дроник Е. Интерактивная машинная графика.— М.: Машиностроение, 1980.
6. Роджерс Д., Адамс Дж. Математические основы машинной графики.— М.: Машиностроение, 1980.

*Поступила в редакцию 17 октября 1990 г.*

---