

Лекция 5. Видеосистема

1. Принципы вывода изображений

Видеосистема РС ориентирована на растровый метод вывода изображения. *Растровый метод* подразумевает, что некий рисующий инструмент, способный оставлять видимый след, сканирует всю поверхность, на которую выводится изображение. Траектория движения инструмента постоянна и не зависит от выводимого изображения, но инструмент может рисовать, а может и не рисовать отдельные точки траектории. Видимое изображение образуется оставляемыми им точками.

В случае видеомонитора инструментом является модулированный луч (или три луча базисных цветов), построчно сканирующий экран и вызывающий свечение люминофора, нанесенного на внутреннюю поверхность экрана. Каждая строка раstra разбивается на некоторое количество точек — *пикселей* (pixel — сокращение от picture element — элемент изображения), засветкой каждой из которых по отдельности может управлять устройство, формирующее изображение (например, графическая карта).

Видеомонитор является растровым устройством вывода динамически изменяемых изображений. Его луч сканирует экран с частотой, которая не должна позволять глазу видеть мерцание изображения. Матричные дисплеи, применяемые в блокнотных ПК, также относятся к растровым устройствам. Растровыми устройствами вывода статических изображений являются принтеры, в которых сканирование листа производится однократно (хотя возможны и многократные проходы).

Альтернатива растровым устройствам — векторные устройства вывода изображений. В этих устройствах инструмент прорисовывает только изображаемые фигуры и его траектория движения определяется выводимым изображением. Изображение состоит из графических примитивов, которыми могут быть отрезки прямых — векторы (откуда и название метода вывода), дуги, окружности. К векторным устройствам вывода статических изображений относятся перьевые плоттеры. Существовали (а может, где-то и сейчас используются) и векторные мониторы, однако ввиду сложности построения системы управления лучом, обеспечивающей быстрое и точное движение луча по сложной траектории, эта линия угасла.

Существует два основных режима вывода информации — графический и символьный (текстовый). Первые дисплейные адаптеры из-за технических ограничений на доступный объем памяти адаптера работали в символьном режиме. Современные адаптеры в основном работают в графическом режиме, текстовый режим используется только до загрузки ОС.

Графический режим

В графическом режиме имеется возможность индивидуального управления свечением каждой точки экрана монитора независимо от состояния остальных. Этот режим обозначают как Gt (Graphics) или APA (All Points Addressable — «все точки адресуемы»).

В графическом режиме каждой точке экрана — пикселю — соответствует ячейка специальной памяти, которая сканируется схемами адаптера синхронно с движением луча монитора. Точнее было бы сказать наоборот — физически движение луча вторично, так как монитор можно и не подключать, а графический адаптер все равно будет сканировать память, но логически вся

конструкция строится исходя именно из поведения монитора. Эта постоянно циклически сканируемая (с кадровой частотой) память называется видеопамью (video memory), или VRAM (Video RAM). Процесс постоянного сканирования видеопамти называется регенерацией изображения, и, к счастью, микросхемам динамической памяти, применяемой в этом узле, оказывается достаточно сканирования для регенерации информации.

Для программно-управляемого построения изображений к видеопамти также должен обеспечиваться доступ со стороны системной магистрали компьютера, причем как по записи, так и по чтению. Количество битов видеопамти, отводимое на каждый пиксель, определяет возможное число состояний пикселя — цветов, градаций яркости или иных атрибутов (например, мерцания). Так, при одном бите на пиксель возможны лишь два состояния — светится или не светится. Два бита на пиксель доставляли немало удовольствия любителям цветных игр даже на адаптерах CGA — можно было иметь одновременно четыре цвета на экране. Четыре бита на пиксель (16 цветов), обеспечиваемые адаптером EGA, были достаточны для многих графических приложений, например графики в системах автоматического проектирования (САПР). Пределом мечтаний в свое время было 256 цветов (8 бит на пиксель) адаптера VGA — цветная фотография розы из комплекта графического редактора Paintbrush на экране монитора казалась великолепной. Сейчас остановились на режимах High Color (15 бит — 32 768 цветов; или 16 бит — 65 536 цветов) и True Color — «истинный цвет» (24 бита — 16,7 миллиона цветов), реализуемых современными адаптерами и мониторами SVGA.

Логически видеопамть может быть организована по-разному, в зависимости от количества битов на пиксель. Здесь мы опустим описание устаревших режимов с 1-4 битами на точку (адаптеры MDA, CGA и EGA, см. [1]) и остановимся на режимах VGA(8 бит), High Color и True Color (16 и 24 бита цвета). В этих режимах используется линейная организация памяти: последовательность байтов экранного буфера (область видеопамти, отображаемая на экране) представляет последовательность пикселей экрана. За каждый пиксель отвечают 1-4 смежных байта. В режимах High Color и True Color содержимое этих байтов непосредственно задает цвет через двоичные коды уровней интенсивности базисных цветов RGB. Форматы байтов (младший бит — справа) выглядят следующим образом:

- 15 бит/пиксел: URRR RRG GGG BB (5-5-5);
- 16 бит/пиксел: RRRR RGG GGG BB (5-6-5), для зеленого цвета добавили лишний бит, поскольку чувствительность глаза к этому цвету выше;
- 24 бита/пиксел: RRRR RRRR GGG GGG BB BB (8-8-8);
- 32 бита/пиксел: UUUU UUUU RRRR RRRR GGG GGG BB BB (8-8-8).

Здесь U обозначает биты, не используемые для формирования цвета, а в цепочках битов базисных цветов (R, G, B) младший бит расположен справа.

32 бита на пиксель выгодно отводить с точки зрения повышения производительности обмена при попиксельном обращении, хотя при этом увеличивается объем видеопамти. При 32-битном кодировании информация о пикселе передается по шине PCI/AGP быстрее всего — требуется всего одна фаза данных.

В режиме VGA каждый байт экранного буфера хранит 8-битный код цвета, определяющий номер цвета (индекс) в палитре — таблице цветов. В монитор передается информация, описывающая уровень каждого из трех базисных цветов. Если принять разрядность представления уровня каждого цвета 8 бит, то $3 \times 8 = 24$ бита позволяют кодировать $2^{24} \approx 16\,000\,000$ цветов. Однако в режиме VGA из них одновременно доступны лишь 256 (предел индексации 8-битным числом).

Объем видеопамати (в битах), требуемый для хранения образа экрана, определяется как произведение количества пикселей в строке на количество строк и на количество битов на пиксел. Так, для режима 720 x 350 HGC с одним битом на точку он составляет 252 000 бит, или около 31 Кбайт, а для режима 1280 x 1024 True Color (32 бита) — около 5 Мбайт. Если физический объем видеопамати превышает необходимый для отображения матрицы всего экрана, видеопамать можно разбить на страницы.

Страница — это область видеопамати, в которой умещается образ целого экрана. При многостраничной организации видеопамати только одна из них может быть активной — отображаемой на экран.

Текстовый режим

В *символьном*, или *текстовом* режиме формирование изображения происходит несколько иначе. Если в графическом режиме (APA) каждой точке экрана соответствует своя ячейка видеопамати, то в текстовом режиме ячейка видеопамати хранит информацию о символе, занимающем на экране знакоместо определенного формата.

Знакоместо представляет собой матрицу точек, в которой может быть отображен один из символов определенного набора. Здесь умышленно применяется слово «точка», а не «пиксел», поскольку пиксел является сознательно используемым элементом изображения, в то время как точки разложения символа в общем случае программиста не интересуют. В ячейке видеопамати хранятся код символа, определяющий его индекс в таблице символов, и атрибуты символа, определяющие способ его отображения. К атрибутам относятся цвет фона, цвет символа, инверсия, мигание и подчеркивание символа.

В текстовом режиме экран организуется в виде матрицы знакомест, образованной горизонтальными линиями (Line, LIN) и вертикальными колонками (Column, COL). Этой матрице соответствует аналогичным образом организованная видеопамать. Адаптер, работающий в текстовом режиме, имеет дополнительный блок — *знакогенератор*. Во время сканирования экрана выборка данных из очередной ячейки видеопамати происходит при подходе к соответствующему знакоместу (рис. 10.2), причем одна и та же ячейка видеопамати выбирается при проходе по всем строкам раstra, образующим линию знакомест. Считанные данные попадают в *знакогенератор*, который вырабатывает построчную развертку соответствующего символа — его изображение на экране.

Знакогенератор представляет собой запоминающее устройство — ОЗУ или ПЗУ. На его старшие адресные входы поступает код текущего символа из видеопамати, а на младшие — номер текущей строки в отображаемой линии знакомест. Выходные данные содержат побитную развертку текущей строки разложения символа (в графическом режиме эти данные поступали из видеопамати).

Несмотря на большее количество узлов текстового адаптера по сравнению с чисто графическим, его цена была гораздо ниже. Дело в том, что в текстовом режиме с форматом 25 строк по 80 символов (максимальном для существующих чисто текстовых адаптеров) требуется всего 2 Кбайт видеопамати для символов и 2 Кбайт для их атрибутов. При этом символы могут иметь вполне удобочитаемую матрицу разложения 9 x 14 и по 8 бит для атрибутов, определяющих цветовое оформление знакоместа. Частота считывания видеопамати для регенерации изображения невысока: за время прямого хода по строке должно быть считано всего 80 слов. Графический режим (720 x 350) для отображения такой же матрицы символов потребует уже около 32 Кбайт видеопамати в монохромном варианте, а в 16-цветном — уже 128 Кбайт. Конечно, в настоящее время экономия видеопамати в таких объемах уже не сказывается на цене адаптера, но не следует забывать и о том,

что при выводе изображения эту память нужно заполнять. Поскольку в текстовом режиме в адаптер передаются только коды символов, заполнение всего экрана занимает в десятки раз меньше времени, чем построение того же изображения в графическом режиме.

2. Дисплей

Самым главным устройством вывода визуальной информации в РС является дисплей (display — устройство отображения). Дисплей может быть основан на различных физических принципах: здесь применимы электронно-лучевые трубки, газоплазменные матрицы, жидкокристаллические индикаторы и другие приборы. Наибольшее распространение получили дисплеи на электронно-лучевых трубках и жидкокристаллических матрицах, которым и уделим здесь основное внимание.

Электронно-лучевой дисплей

В настоящее время менее распространенными устройствами отображения информации являются мониторы на основе ЭЛТ. Принцип действия таких мониторов мало отличается от принципа действия обычного телевизора и заключается в том, что испускаемый электронной пушкой пучок электронов, попадая на экран, покрытый люминофором, вызывает его свечение. На пути пучка электронов обычно находятся дополнительные электроды: модулятор, регулирующий интенсивность пучка электронов и связанную с ней яркость изображения, фокусирующий электрод, определяющий размер светового пятна, а также размещенные на горловине ЭЛТ катушки отклоняющей системы, позволяющие изменять направление пучка. Заметим, что любое текстовое или графическое изображение на экране монитора компьютера (так же, как и телевизора) состоит из множества дискретных точек люминофора, представляющих собой минимальный элемент изображения (растра), называемых пикселями. Электронный луч в этом случае периодически сканирует весь экран, образуя на нем близко расположенные строки развертки. По мере движения луча по строкам видеосигнал, подаваемый на модулятор, изменяет яркость светового пятна и образует видимое на экране изображение. Разрешающая способность монитора определяется числом элементов изображения, которые он способен воспроизводить по горизонтали и вертикали, например, 640x480 или 1024x768 пикселей.

Матричные дисплеи

Дисплеи на электронно-лучевых трубках применительно к портативным компьютерам имеют два принципиальных неустраняемых недостатка — большие габариты (объем) и потребляемую мощность. Надо заметить, что в первом портативном компьютере IBM PC Portable был применен все-таки дисплей на ЭЛТ, но если переносить этот компьютер было нетрудно (всего-то килограммов 10-15), то об автономном питании речи не шло. В наколенных (LapTop) и блокнотных (NoteBook) ПК применяют плоские дисплейные панели (flat panel display), основанные на различных физических принципах. В последнее время плоские дисплеи стали применять и для настольных компьютеров — их цена и качество стали уже вполне приемлемыми для замены громоздких и тяжелых ЭЛТ-мониторов.

Плоские дисплеи выполняются в виде *матрицы ячеек* с какими-либо электрооптическими эффектами.

Дисплеи на жидкокристаллических панелях (Liquid Crystal Display, LCD), или ЖК-дисплеи, основаны на изменении оптической поляризации отраженного или проходящего света под действием электрического поля. Слой жидкокристаллического вещества расположен между двумя стеклами с поляризационными решетками. Жидкокристаллическое вещество способно менять направление поляризации проходящего света в зависимости от состояния молекул. При отсутствии электрического поля направление поляризации меняется на 90° , а в дисплеях, изготовленных по технологии STN (Super Twisted Nematic), поворот достигает 270° .

Под действием электрического поля молекулы «распрямляются», и угол поворота уменьшается. Таким образом, в сочетании с поляризационными решетками стекол можно управлять прозрачностью элемента, изменяя величину электрического поля. В дисплеях DSTN (Double Super Twisted Nematic) ячейки сдвигаются, что позволяет повысить контрастность изображения. Дисплейная панель представляет собой матрицу ячеек, каждая из которых находится на пересечении вертикальных и горизонтальных координатных проводников.

В пассивной матрице (passive matrix) дисплеев на жидкие кристаллы воздействуют поля самих координатных проводников. Ячейкам пассивной матрицы свойственна большая инерционность — порядка 300-400 мс (время на «перестройку» структуры молекул жидкокристаллического вещества), из-за чего на такие дисплеи плохо выводится динамическое изображение. Специально для них применяется особый режим отображения указателя мыши — за ним тянется шлейф, без которого быстро перемещаемый указатель визуально теряется.

В активной матрице (active matrix) каждая ячейка управляется транзистором, которым, в свою очередь, управляют через координатные шины.

Дисплеи с активной матрицей имеют лучшую яркость и предоставляют возможность смотреть на экран даже с отклонением до 85° и более (то есть при угле обзора 170°) без ущерба качеству изображения, что невозможно в случае с пассивной матрицей, которая позволяет видеть качественное изображение только с фронтальной позиции по отношению к экрану. Заметим, что для дорогих моделей LCD-мониторов с активной матрицей угол обзора приближается к 180° . На панели с активной матрицей можно отображать движущиеся изображения без видимого искажения, так как время отклика у них 8–30 мс против 300 мс для пассивной матрицы, а контрастность изображения даже лучше, чем у CRT-мониторов (время отклика — это время за которое можно перевести пиксел из белого состояния в черное). Следует отметить, что яркость отдельного элемента экрана остается неизменной на всем интервале времени между обновлениями картинки, а не представляет собой короткий импульс света, излучаемый элементом люминофора CRT-монитора сразу после прохождения по этому элементу электронного луча. Именно поэтому для LCD-мониторов достаточной является частота регенерации 60 Гц.

Эффективное разрешение у каждого LCD-монитора только одно, его называют native («родное»), оно неизменно и определяется размером и количеством пикселей, которые физически фиксированы. Именно в native-разрешении LCD-монитор воспроизводит изображение лучше всего. Например, если LCD-монитор имеет native-разрешение 1024×768 , то на каждой из 768 линий расположено 1024 пиксела. Есть, правда, возможность использовать и более низкое, чем native, разрешение, прибегая к одному из двух методов:

- *центрирование* (centering) — для отображения берется только то количество пикселей, которое необходимо для формирования картинки с более низким разрешением. В результате изображение получается не во весь экран, а только в его середине. Все неиспользуемые пиксели остаются черными, то есть вокруг изображения образуется широкая черная рамка;

- *растяжение* (expansion) — при воспроизведении изображения с более низким, чем native, разрешением используются все пикселы, то есть изображение занимает весь экран. Однако из-за того, что изображение растягивается на весь экран, возникают небольшие искажения и ухудшается резкость.

Переход к нужному методу выполняется включением (expansion) или выключением (centering) режима Zoom — масштабирования изображения.

В любом случае панели требуют *подсветки* — либо задней (back light), либо боковой (side light) от дополнительного (чаще люминесцентного) источника освещения. Активные матрицы обеспечивают более высокую контрастность изображения. Цветные дисплеи имеют более сложные ячейки, состоящие из трех элементов для управления каждым из базисных цветов.

Современные плоские TFT LCD-дисплеи представляют собой «бутерброд» из двух стекол, между которыми расположены слои жидкокристаллического вещества и матрица тонкопленочных транзисторов (Thin Film Transistor, TFT). На переднем и заднем стеклах нанесены поляризационные решетки со взаимно перпендикулярным направлением поляризации.

Жидкокристаллическая прослойка при отсутствии электрического поля поворачивает угол поляризации проходящего света на 90°, благодаря чему «бутерброд» становится прозрачным для проходящих лучей. Под действием электрического поля от напряжения, подаваемого транзистором каждой ячейки матрицы, угол поворота поляризации может быть уменьшен до нуля. Чем больше приложенное напряжение, тем меньше угол поворота и тем менее прозрачной будет ячейка. Инерционность ячеек активной матрицы у старых дисплеев составляла 20-30 мс — меньше, чем для пассивной, но все равно ощутимо. На современных дисплеях инерционность снизили до 12 мс, и на них хорошо смотрятся «живое» видео и динамические игры.

В цветных дисплеях пиксел состоит из трех ячеек, каждая из которых снабжена своим светофильтром (красным, зеленым или синим). Управляя тремя транзисторами пиксела, можно изменять его цвет и яркость, что, собственно, и требуется от дисплея. Разрешающая способность по цвету у ЖК-мониторов пока ниже — только 6 бит на каждый цветовой канал, так что 24-битный режим True Color они могут только эмулировать. (*IPS матрицы уже могут*)

Матричная организация экрана не позволяет изменять разрешение экрана с той же легкостью, что у ЭЛТ-монитора: увеличить его просто невозможно, а уменьшить без потери качества можно только одновременно с уменьшением размера изображения.

Естественное (native) разрешение определяется форматом матрицы. В графическом режиме с меньшим или большим разрешением доступно два варианта: использование не всей матрицы (или вывод не всех пикселов) или масштабирование. Масштабирование выполняется встроенными средствами монитора, выполняющими интерполяцию цвета каждого пиксела экрана, что, естественно, ухудшает качество изображения.

Поскольку элементы матрицы весьма инерционны, возникают определенные сложности в плане совместимости ЖК-дисплеев с обычными графическими адаптерами, ориентированными на ЭЛТ. Дело в том, что время, в течение которого передается информация пиксела для ЭЛТ, несоизмеримо со временем реакции ЖК-элемента. Так, даже при частоте пикселов 50 МГц (а это низкая частота) один пиксел выводится за 20 нс, а инерционность самой быстрой активной матрицы — 12 мс (в 500 000 раз выше).

В ЖК-дисплеях управление осуществляется всеми ячейками одной строки одновременно (а не последовательно, как пробегает луч ЭЛТ). Это позволяет увеличить время, в течение которого производится управление ячейкой.

В любом случае аналоговые сигналы RGB от VGA-интерфейса непосредственно использоваться для управления матрицей не могут. В ЖК-дисплеях эти сигналы оцифровываются, полученные значения (для каждого пиксела) сохраняются в буферной памяти и оттуда уже построчно выводятся на матрицу. К сожалению, в обычном VGA-интерфейсе нет сигнала синхронизации пикселей, так что дисплею приходится формировать стробы для отсчетов пикселей самостоятельно, привязывая их к импульсам строчной синхронизации. При этом, естественно, появляется дополнительная погрешность (апертурная) оцифровки сигнала и, следовательно, качество изображения ухудшается. В интерфейсах EVC и DVI-A сигнал пиксельной синхронизации присутствует, что несколько облегчает оцифровку.

Матричная организация располагает к применению цифрового интерфейса связи с графическим адаптером. Однако большинство плоских дисплеев имеет обычный аналоговый интерфейс, совместимый с любым (S)VGA-адаптером. Более дорогие модели снабжаются цифровым интерфейсом DVI (иногда и DFP). Заметим, что из-за инерционности ячеек слишком высокой частоты развертки не требуется — даже при 60 Гц мерцания экрана нет.

К **преимуществам** ЖК-дисплеев (TFT LCD) относятся высокая яркость изображения, отсутствие геометрических искажений, четкая фокусировка, отсутствие мерцания экрана (из-за инерционности ячеек), малое энергопотребление (25-40 Вт) и тепловыделение; вдобавок они легче и занимают меньше места. Кроме того, они практически нечувствительны к внешним электромагнитным полям, от которых плавают, дергается и искажается изображение ЭЛТ-мониторов. Ряд моделей позволяет поворачивать экран на 90° (и, соответственно, менять местами координаты) — так, что он принимает «портретную» ориентацию.

Вместе с тем TFT-дисплеи имеют ряд **недостатков**, обусловленных их природой, — это, в частности, низкая контрастность изображения, зависимость качества изображения от угла наблюдения (меньший угол нормального восприятия цветного изображения), инерционность ячеек, невозможность смены разрешения (кроме как малопривлекательной интерполяцией), возможность отказа ячеек (на дисплее допускается неработоспособность нескольких транзисторов) и, конечно же, пока высокая цена. Фотореалистичность изображений, характерная для современных ЭЛТ-дисплеев, для ЖК-дисплеев пока что недостижима.

Плазменные мониторы

В плазменных мониторах (PDP — Plasma Display Panels) изображение формируется сопровождаемыми излучением света газовыми разрядами в пикселях панели. Конструктивно панель состоит из трех стеклянных пластин, на две из которых нанесены тонкие прозрачные проводники: на одну пластину — горизонтально, на другую — вертикально. Между ними находится третья пластина, в которой в местах пересечения проводников двух первых пластин имеются сквозные отверстия, это и есть пиксели. Эти отверстия при сборке панели заполняются инертным газом: неоном или аргоном. При подаче высокого напряжения на один из вертикально и один из горизонтально расположенных проводников в отверстии, находящемся на их пересечении, возникает газовый разряд.

Плазма газового разряда излучает свет в ультрафиолетовой части спектра, который вызывает свечение частиц люминофора в диапазоне, видимом человеком. Фактически каждый пиксел на экране работает как обычная флуоресцентная лампа (иначе говоря, лампа дневного света).

При разрешающей способности 512×512 пикселей панель имеет размеры порядка 200×200 мм, при 1024×1024 пикселей — 400×400 мм; толщина панели порядка 6–8 мм.

Высокая яркость и контрастность наряду с отсутствием дрожания являются большими преимуществами таких мониторов. Кроме того, угол, под которым можно увидеть изображение на плазменных мониторах, больше, чем у LCD-мониторов. Главными недостатками такого типа мониторов являются довольно высокая потребляемая мощность, возрастающая при увеличении диагонали монитора, и низкая разрешающая способность, обусловленная большим размером элемента изображения. Кроме этого, свойства люминофорных элементов быстро ухудшаются, и экран становится менее ярким, поэтому срок службы плазменных мониторов ограничен 20 000 часами (это около 10 лет в офисных условиях). Из-за этих ограничений такие мониторы используются пока только для конференций, презентаций, информационных щитов, то есть там, где требуются большие размеры экранов для отображения информации. Сейчас ведутся работы по созданию технологии PALC (Plasma Addressed Liquid Crystal), которая обещает соединить в себе преимущества плазменных и LCD-экранов с активной матрицей с целью эффективного использования PALC-панелей в компьютерах.

Светодиодные матрицы, или матрицы LED (Light Emitted Diode — светоизлучающий диод), казалось бы, могли стать решением всех проблем плоских дисплеев. Однако светодиоды имеют настолько высокую потребляемую мощность по сравнению с другими типами индикаторов, что их в плоских панелях не применяют.

Мониторы на «электронной бумаге»

Электронная бумага (e-paper, electronic paper) или *электронные чернила* (e-ink) — технологии отображения информации, обеспечивающие имитацию обычных чернил на бумаге. Электронная бумага формирует изображение в отраженном свете, может показывать текст и графику неопределенно долго, не потребляя при этом электричество. Точки изображения стабильны, сохраняют цвет даже при отсутствии постоянного напряжения. Угол обзора у электронной бумаги больше, чем у жидкокристаллических плоских дисплеев. Дисплеи на электронной бумаге могут быть гибкими.

Электронная бумага впервые была разработана в Исследовательском Центре компании Херох Ником Шеридоном в 70-х годах и называлась Гирикон, состояла из полиэтиленовых сфер (20–100 мкм в диаметре), включающих в себя отрицательно заряженную черную и положительно заряженную белую половины, помещенные в масляный раствор внутри силиконового листа. Сферы вращались под воздействием полярности подаваемого электричества, изменяя цвет точки на дисплее.

Другой тип электронной бумаги был изобретен спустя 20 лет. Бумага содержала микрокапсулы, заполненные окрашенным маслом, в которые помещались электрически заряженные белые частички. Эта технология позволила сделать дисплей с использованием гибких пластиковых листов вместо стекла.

Современная цветная электронная бумага состоит из тонких окрашенных оптических фильтров, которые добавляются к монохромному дисплею. Множество точек разбито на триады, как правило, состоящие из трех стандартных цветов: голубого, пурпурного и желтого (СМУ), с помощью которых формируются цвета пикселей. На подложке — специальной электропроводящей водоотталкивающей «бумаге» цветные пиксели создаются масляными капельками органического светоизлучателя. Нужная конфигурация размещения капелек формируется электростатическим полем, при его снятии изображение исчезает. Сверху масляная пленка закрывается стеклом с напыленным прозрачным электропроводящим слоем. Если вместо стекла использовать полимерную пленку, то электронную бумагу и весь экран монитора можно сворачивать в рулон.

Компания E Ink в 2007 году показывала прототипы продуктов, использующих технологию «электронной бумаги» («электронных чернил») в виде гибкого дисплея размером 9,7 дюйма по диагонали и разрешением 1200 × 820 пикселей, часов с дисплеем из электронной бумаги, обеспечивающей разнообразие форматов отображения информации на дисплее.

3. Видеоконтроллеры

Видеоконтроллеры (видеоадаптеры) являются внутрисистемными устройствами, преобразующими данные в сигнал, отображаемый монитором, и непосредственно управляющими мониторами и выводом информации на их экран. Видеоконтроллер содержит графический процессор (видеочипсет), оперативную память (видеопамять, хранящую воспроизводимую на экране информацию), микросхемы ПЗУ, цифроаналоговый преобразователь (ЦАП).

Графический процессор (GPU — Graphics Processing Unit) формирует управляющие сигналы для монитора и управляет выводом закодированного изображения из видеопамяти, а также взаимодействием с центральным процессором. GPU с аппаратной поддержкой некоторых функций, позволяющей освободить центральный процессор от выполнения части типовых операций, называется акселератором (ускорителем). Акселераторы эффективны при работе со сложной графикой: многооконным интерфейсом, трехмерной (3D) графикой и т. п. Основными компонентами графического процессора являются: SVGA-ядро, ядро 2D-ускорителя, ядро 3D-ускорителя, видеоядро, контроллер памяти, интерфейс системной шины, интерфейс внешнего порта ввода-вывода. Аппаратно большая часть этих компонентов реализуется на одном кристалле видеочипсета.

Поясним некоторые компоненты.

- 2D-ускоритель — устройство, осуществляющее обработку графики в двух координатах на одной плоскости;
- 3D-ускоритель — устройство, осуществляющее формирование и обработку трехмерных (3D) изображений. В процессе формирования 3D-изображения аппаратный 3D-ускоритель взаимодействует со специализированным программным обеспечением. Таким программным обеспечением, существенно облегчающим работу 3D-ускорителя, являются интерфейсы API: DirectX, OpenGL, OpenML. Эти интерфейсы поддерживаются большинством современных видеочипсетов.

В чипсете GeForce3 впервые стали использоваться небольшие программки — шейдеры (конвейеры), посылаемые прикладными программами на видеоконтроллер. Если последний распознает их, то обеспечивается возможность обрабатывать трехмерные изображения с гораздо большей скоростью и точностью.

Процесс 3D обработки состоит из нескольких этапов:

- определение состояния объектов и соответствующих текущему состоянию геометрических трехмерных моделей;
- разбиение этих моделей на простые элементы — графические многоугольные примитивы, в качестве которых обычно используют треугольники (именно на этом этапе подключается аппаратный 3D-ускоритель);
- преобразование параметров примитивов в целочисленные значения, с которыми работают аппаратные компоненты;
- закраска примитивов (формирование текстур) и финальная обработка.

Текстура — это поверхность среза трехмерного объекта, фрагмент изображения, заносимый в примитив или на весь графический слой. Текстуры хранятся в буфере видеопамати и путем прямой адресации могут оперативно выводиться на отображение в мониторе.

Шейдеры бывают вершинные и пиксельные (в современных моделях видеочипсетов поддерживающих API DirectX 10 используются унифицированные шейдеры, выполняющие и вершинные и пиксельные программы).

Вершинные шейдеры выполняют расчет каркаса слоя — расчет координат вершин треугольника, отображающего плоскость, на которую заносится текстура слоя трехмерного объекта.

Пиксельные шейдеры формируют текстуру слоя на этой плоскости. У видеокарт бывает до 32 пиксельных конвейеров. Все пиксельные конвейеры работают параллельно, поэтому от их количества непосредственно зависит производительность видеокарты.

Основные аппаратные элементы 3D-ускорителя: геометрический процессор, механизм установки и механизм закраски примитивов. Характеристиками ускорителей являются максимальная пропускная способность (треугольников в секунду), максимальная производительность закраски (точек в секунду), скорость (кадров в секунду).

Важная характеристика — емкость видеопамати, она определяет количество хранимых в памяти пикселей и их атрибутов. Видеоконтроллер должен обеспечить естественное качественное изображение на экране монитора, что возможно при большом числе воспроизводимых цветовых оттенков, высокой разрешающей способности и высокой скорости вывода изображения на экран.

Под разрешающей способностью здесь (так же, как и для мониторов) понимается то количество выводимых на экран монитора пикселей, которое может обеспечить видеоконтроллер. При разрешении 1024×768 на экран должно выводиться 786 432 пиксела, а при разрешении 2048×1536 — 3 145 728 пикселей. Для каждого пиксела должна храниться и его характеристика — атрибут.

Количество воспроизводимых цветовых оттенков (глубина цвета) зависит от числа двоичных разрядов, используемых для представления атрибута каждого пиксела.

Необходимую емкость видеопамати для работы с двумерной графикой можно приблизительно рассчитать, умножив количество байтов атрибута на количество пикселей, выводимых на экран. Например, в стандарте TrueColor при разрешающей способности монитора 1024×768 пикселей емкость видеопамати должна быть не менее 2,5 Мбайт, а при разрешении 2048×1536 — не менее 9,5 Мбайт. При работе со сложными графическими программами, такими например, как Photoshop, AutoCad, ImageReady, 3D Max и др., ввиду необходимости отображения стереоструктур, их слоев и формирующих их примитивов, необходимая емкость видеопамати может достигать 128 Мбайт и более (в атрибут каждого пиксела включается кроме его координат X и Y на плоскости значение его третьей координаты Z — глубины).

В сложных графических системах требуется большая разрядность Z-буфера (до 32 бит), иначе бывает трудно различить близко расположенные по глубине точки изображения. Кроме того, для ускорения последовательной выборки текстур из памяти иногда создаются два буфера. Пока на экран выводится содержимое из одного буфера, ведется расчет размещения текстур для другого буфера. Затем буферы меняются местами. Это позволяет придать движению изображения на экране большую плавность, но требует двукратного увеличения объема видеопамати. Поэтому для 3D-графики иногда необходима видеопамать 256 Мбайт и более. Правда, существует возможность размещать текстуры в оперативной памяти ЭВМ, но это дополнительно существенно загружает центральный процессор, и даже при использовании современных скоростных интерфейсов (PCI Express 16x, например) замедляет работу видеосистемы и ухудшает качество изображения.

В текстовых режимах работы требуется существенно меньший объем видеопамати.

Скорость вывода изображения на экран зависит от скорости обмена данными видеопамати со специализированным процессором, цифро-аналоговым преобразователем и с центральным процессором.

4. Интерфейсы мониторов и видеосистем

Для подключения монитора (дисплея) к графическому адаптеру используют прямую подачу сигналов на входы видеоусилителей базовых цветов — RGB-интерфейс. В ходе эволюции дискретный интерфейс монохромных и первых цветных мониторов CGA и EGA с сигналами TTL [1,6] сменился популярным ныне аналоговым интерфейсом VGA, обеспечивающим передачу большого количества цветов. Однако далее качество передачи аналогового сигнала перестало удовлетворять растущие потребности (с повышением частот развертки и разрешения), и появился цифровой интерфейс DVI. Для матричных дисплеев этот интерфейс более приемлем, хотя большинство матричных дисплеев и видеокарт используют противоестественный для них аналоговый интерфейс VGA.

Аналоговые интерфейсы

VGA — аналоговый интерфейс, разработанный в 1987 году и предназначенный для мониторов на электронно-лучевых трубках (ЭЛТ). Также данным интерфейсом оснащаются некоторые проигрыватели DVD и многие плазменные и ЖК-телевизоры. VGA передаёт сигнал построчно, при этом изменение напряжения означает изменение яркости (напряжение сигнала составляет 0,7—1 В), для ЭЛТ оно означает изменение интенсивности луча электронных пушек кинескопа (и, соответственно, яркость светового пятна на экране).

В настоящее время VGA считается устаревшим и активно вытесняется цифровыми интерфейсами DVI, HDMI и DisplayPort. Крупнейшие производители электроники Intel и AMD объявили о полном отказе от поддержки VGA к 2015 году.[1]

Цифровые интерфейсы

Повсеместный переход на цифровые технологии коснулся и видеомониторов. Традиционный аналоговый канал передачи видеосигналов стал узким местом видеосистемы. По пути от ЦАП к входам видеоусилителей монитора сигнал проходит через пару разъемов и кабель. Несогласованность элементов, вызывающая отражения сигналов («звон») и неравномерности частотных характеристик, приводит к искажению формы сигналов цветов, что становится особо заметным на режимах с высокими разрешением и частотой регенерации. Повысить качество изображения можно, перенеся устройства ЦАП в монитор, прямо на плату видеоусилителей, и подав на них цифровые сигналы базисных цветов.

Плоские дисплеи (матрицы TFT) строятся на основе цифровых технологий, и им приходится входные аналоговые сигналы преобразовывать обратно в цифровую форму. Все эти причины привели к необходимости разработки цифрового интерфейса для передачи информации в монитор. От этого интерфейса требуется огромная пропускная способность: к примеру, при частоте пикселей 150 МГц и кодировании каждого пикселя 24-битным числом (True Color) требуется пропускная способность 3,6 Гбит/с (450 Мбайт/с).

Digital Visual Interface, сокр. DVI (англ. цифровой видеоинтерфейс) — стандарт на интерфейс и соответствующий разъём, предназначенный для передачи видеоизображения на цифровые устройства отображения, такие как жидкокристаллические мониторы, телевизоры и проекторы. Разработан консорциумом Digital Display Working Group.

Формат данных, используемый в DVI, основан на PanelLink — формате последовательной передачи данных, разработанном фирмой Silicon Image. Использует технологию высокоскоростной передачи цифровых потоков TMDS (Transition Minimized Differential Signaling, дифференциальная передача сигналов с минимизацией перепадов уровней) — три канала, передающие потоки видео и дополнительных данных, с пропускной способностью до 3,4 Гбит/с на канал.[3]

Максимальная длина кабеля не указана в спецификации DVI, потому что она зависит от количества передаваемой информации. Кабель длиной 10,5 метра можно использовать для передачи изображения с разрешением до 1920 x 1200 точек. По кабелю длиной 15 метров получится передать в нормальном качестве изображение с разрешением 1280 x 1024 точек. Для усиления сигнала при передаче по кабелю большой длины применяются специальные устройства. При их использовании длина кабеля может быть увеличена до 61 метра (в случае использования усилителя с собственным источником питания).

Разновидности разъёмов DVI

Single link (одинарный режим) DVI использует четыре витых пары проводов (красный, зелёный, синий, и clock), обеспечивающих возможность передавать 24 бита на пиксель. С ним может быть достигнуто максимальное возможное разрешение 1920x1200 (60 Гц) или 1920x1080 (75 Гц).

Dual link (двойной режим) DVI удваивает пропускную способность и позволяет получать разрешения экрана 2560x1600 и 2048x1536. Поэтому для самых крупных ЖК мониторов с большим разрешением, таких, как 30" модели, обязательно нужна видеокарта с двухканальным DVI-D Dual-Link выходом. Если у монитора максимальное разрешение экрана 1280x1024, то подключать его кабелем dual link не имеет смысла, так как данный кабель предназначен для мониторов с бóльшим разрешением.

High Definition Multimedia Interface (HDMI) — интерфейс для мультимедиа высокой чёткости, позволяющий передавать цифровые видеоданные высокого разрешения и многоканальные цифровые аудиосигналы с защитой от копирования (англ. High Bandwidth Digital Copy Protection, HDCP).

Разъём HDMI обеспечивает цифровое DVI-соединение нескольких устройств с помощью соответствующих кабелей. Основное различие между HDMI в том, что разъём HDMI меньше по размеру, а также поддерживает передачу многоканальных цифровых аудиосигналов. Является заменой аналоговых стандартов подключения, таких как SCART или RCA.

Характеристики

- HDMI имеет пропускную способность в пределах от 4,9 (HDMI 1.0) до 18 (HDMI 2.0) Гбит/с.
- Длина стандартного кабеля может достигать 10 метров[2], также возможно увеличение длины до 20-35 метров и более с применением как внешних усилителей-повторителей, так и вмонтированных сразу в кабель. Некоторые производители устанавливают ферритовые кольца в начале и в конце кабеля для защиты от помех. Особое внимание следует обратить на то, что усилители (репитеры, эквалайзеры) стоит ставить не на

выходе источника сигнала, а именно на входе у панели или телевизора. Для увеличения расстояния передачи также используются так называемые видеосендеры.

- Поддерживает управляющие протоколы CEC и европейский AV.link.
- Существуют переходники с HDMI на DVI и обратно, в целях совместимости с различными устройствами, не имеющими одного из этих входов/выходов.

Производители устройств с HDMI выплачивают минимум 4 цента за каждое устройство (15 центов, если не указан логотип HDMI на продукте и в рекламных материалах).

5. Видеосервис BIOS

Дисплейный адаптер как обязательный компонент PC имеет поддержку основных функций в BIOS. Эти функции выполняются через вызов программного прерывания Int 10h — видеосервиса BIOS.

Видеосервис позволяет устанавливать и переключать видеорежим, выполнять вывод символов и пикселей, очищать и прокручивать экран универсальными способами без особой оглядки на установленный видеорежим и выполнять некоторые другие функции. Видео-сервис BIOS необходим по крайней мере до загрузки операционной системы, которая в дальнейшем может работать с графическим адаптером напрямую; через собственные загружаемые драйверы, специфические для конкретного адаптера. Драйверы для адаптеров MDA и CGA по традиции встроены в системную микросхему BIOS (по крайней мере, у всех компьютеров, имеющих шину ISA). Программная поддержка графических адаптеров, интегрированных в системную плату, также встроена в системную микросхему BIOS. Все остальные адаптеры имеют собственный модуль расширения BIOS (Video BIOS), в котором хранятся коды драйверов видеосервиса (INT 10h) и таблицы знакогенераторов. Этот модуль появился с адаптерами EGA и VGA и обеспечивает возможность установки любой карты без размышлений о проблемах программной совместимости.

Модуль расширения получает управление для инициализации графического адаптера почти в самом начале теста POST (до тестирования основной памяти), и его заставка появляется на экране до заставки системной микросхемы BIOS. Модуль имеет начальный адрес C0000h, его размер зависит от модели адаптера: конечный адрес EGA BIOS — C3FFFh, VGA BIOS — C7FFF/ CFFFFh.

Первичной задачей BIOS графического адаптера является управление видеорежимом (BIOS Video Mode), определяющим формат экрана. Микросхема BIOS адаптера должна выполнять программирование всех стандартных и специфических управляющих регистров для установки (смены) требуемого видеорежима и выбранных параметров развертки — о способах этих переключений остальное ПО может не знать.

Большинство видеорежимов стандартизованы, и каждому присвоен свой номер.

Первоначально для задания номера режима отводился один байт, и режим устанавливался параметром функции 0 Int 10h (AH = 0, AL = Mode). Режимы 0— 13h являются стандартными для адаптеров MDA, CGA, EGA, VGA. Режимы 14h - 7Fh используются с нестандартными VGA- или SVGA-расширениями BIOS, они специфичны для конкретных моделей графических адаптеров. Позже появилось стандартизованное расширение функций видеосервиса VBE (VESA BIOS Extensions) для адаптеров VGA и SVGA и были определены новые видеорежимы с двухбайтными номерами выше 100h. Эти режимы устанавливаются параметром функции 4F02h Int 10h (AX = 4F02h, BX = VMode).

В пределах возможностей установленного видеорежима видеосервис предоставляет средства отображения информации на различных уровнях. Простейший для программиста телетайпный режим позволяет посылать поток символов, которые построчно отображаются на экране с отработкой символов возврата каретки, перевода строки, обеспечивая «прокрутку» изображения при заполнении экрана. Есть функции и для полноэкранной работы с текстом, при которой доступны и атрибуты символа. В графическом режиме имеется возможность чтения и записи пиксела с указанными координатами.