

IBM PC В ПРОМЫШЛЕННОСТИ

Сергей Сорокин

КОМПЬЮТЕРЫ

Подробно рассмотрены все аспекты применения IBM PC в промышленности: мощные компьютеры, предназначенные для управления производственными и технологическими процессами в масштабах производственного участка, цеха или завода; системы автоматизации нижнего уровня, которые могут встраиваться непосредственно в промышленное или бортовое оборудование; внешние устройства; сетевые протоколы, предназначенные для промышленных систем автоматизации; специфичное программное обеспечение.

Рассматривая особенности применения компьютеров в промышленности, нельзя не учитывать, что эта сфера не является обособленной и в той или иной степени воспринимает тенденции компьютерного рынка вообще. Одним из проявлений таких тенденций является постоянно растущая популярность архитектуры IBM PC, чему в основном и посвящена данная статья. Часто употребляемое здесь слово «архитектура» в нашем случае означает общие принципы построения и функционирования вычислительной системы или ее составной части. С известной степенью упрощения архитектура определяется системой команд процессора и типом системной шины, используемой для подключения дополнительных внешних устройств.

Немного истории

Через некоторое время после того как в СССР было принято решение не разрабатывать свои компьютеры, а копировать западные, нашу страну заполнили аналоги мэйнфреймов IBM (EC ЭВМ), а также клоны мини- и микрокомпьютеров фирмы DEC (CM ЭВМ, «Электроника-60», ДВК). Эти же компьютеры составили костяк автоматизированных систем управления (АСУ) и промышленных систем автоматизации первой волны. В настоящее время мэйнфреймы, повсеместно теснимые распределенными вычислительными системами на базе локальных сетей, в нашей стране ввиду глубокого экономического кризиса практически не вымерли. Архитектура фирмы DEC оказалась более живучей. Однако, несмотря на то что целое поколение

специалистов, кому сейчас за 30, было воспитано на этой архитектуре, компьютеры линии LSI-11, PDP-11 и VAX неумолимо сдают свои последние позиции. В качестве основы для систем самого низкого уровня, как правило, использовались освоенные нашей промышленностью микроконтроллеры, совместимые с изделиями MCS80, MCS48 и MCS51 фирмы Intel.

В остальном мире развитие мини-компьютеров шло различными путями. В результате повышения степени интеграции элементной базы появились так называемые рабочие станции. Повальное увлечение процессорами с сокращенным набором команд (RISC) привело к появлению архитектур SPARC (Sun Microsystems), Alpha (DEC), MIPS (Silicon Graphics), PA-RISC (Hewlett-Packard) и некоторых других. Упомянутые архитектуры продвигаются на рынок достаточно мощными компаниями и в той или иной степени находят применение в системах промышленной автоматизации и управления.

Каждый изготовитель мини-компьютеров, как правило, использовал системную шину самостоятельной разработки. Поэтому не удивительно, что в этой области были предприняты попытки стандартизации. В качестве универсальных системных шин для промышленных мини-компьютеров фирмой Intel была предложена шина Multibus II, а фирмой Motorola — шина VME. После некоторого периода конкурентной борьбы шина VME получила более широкое признание независимых изготовителей, в результате чего Intel недавно объявила о прекращении производства изделий с шиной Multibus.

Параллельно конкуренция между этими же компаниями определяла и развитие рынка микропроцессоров и микроконтроллеров. Хотя сейчас свои однокристалльные контроллеры выпускает практически каждая крупная электронная компания, именно разработки Intel и Motorola легли в основу большинства систем автоматизации нижнего уровня. Такие системы, конструктивно оформленные в виде законченных устройств, получили название программируемых логических контроллеров (PLC). Для связи с объектом управления эти контроллеры име-

ют некоторое количество аналоговых и/или цифровых входов/выходов, зачастую есть встроенные интерпретаторы специализированных языков, например язык релейной автоматики, и, как правило, PLC снабжены возможностью подключения устройств для связи с оператором (Man Machine Interface). Наши специалисты знакомы с PLC таких фирм, как Siemens, GE-Fanuc, ABB и ряда других.

В качестве универсальной системной шины в компьютерах и контроллерах нижнего уровня получила широкое распространение 8-разрядная шина STD, а в качестве шины расширения («мезонинной» шины) для одноплатных устройств успешно применяется предложенная фирмой Intel шина iSBX.

Компьютерная революция

Я думаю, что когда Стивен Джобс колдовал в своем гараже над первой моделью компьютера Apple, он не предполагал, насколько значительное влияние окажут персональные компьютеры на нашу жизнь. Сейчас даже трудно вообразить, как бы мы смогли обходиться без персональных компьютеров, проникших во все сферы человеческой деятельности.

Хотя у нас в силу различных причин оборудование фирмы Apple получило весьма ограниченное распространение, компьютеры этой фирмы занимают довольно большую долю рынка в других странах. Apple бдительно охраняет права на аппаратное и программное обеспечение своих компьютеров, архитектура которых остается в значительной степени закрытой. Фирма до сих пор является практически единственным изготовителем компьютеров линии Macintosh и не уделяет рынку индустриальных систем какого-либо внимания. По этой причине вы не найдете никаких следов Apple в промышленных системах автоматизации.

В то же время компьютеры Apple преобладают в системе образования США, в связи с чем часто применяются в лабораторных системах сбора информации и для научных экспериментов. Некоторые фирмы, например National Instruments, выпускают для этого периферийные платы (АЦП, IEEE-488 и т. п.) и соответствующее программное обеспечение.

Следующей важнейшей вехой компьютерной эры стало решение IBM создать свой персональный компьютер на базе нового тогда микропроцессора 8088 фирмы Intel. По моему мнению, еще более важным было решение IBM сделать архитектуру нового компьютера совершенно открытой, что позволило сотням компаний во всем мире производить полностью совместимые изделия. Кроме того, по условиям соглашения между IBM и Microsoft последняя имела право свободно продавать операционную систему, разработанную для IBM PC, третьим фирмам. Сейчас мы видим, что архитектура IBM PC занимает все более значительное место в области автоматизации промышленности, с одной стороны, тесня мини-компьютеры, с другой, находя применение там, где раньше господствовали PLC-контроллеры. В чем же состоит причина такого успеха?

Во-первых, наличие большого количества независимых поставщиков аппаратных средств и специализированных микросхем, ожесточенная конкуренция между которыми ведет к постоянному снижению цен и повышению технико-экономических показателей. Как следствие, вы имеете дешевую платформу для разработки, в то время как PC сейчас есть практически в любой фирме на каждом столе.

Во-вторых, огромный задел программного обеспечения, в том числе в области систем реального времени.

И в-третьих, большое количество высококвалифицированных специалистов по архитектуре и программированию IBM PC.

В целом все это является отражением того факта, что сейчас на рынке IBM PC совместимых изделий сосредоточены финансовые и интеллектуальные ресурсы, во много раз превышающие возможности любой отдельной взятой компании.



Рис. 1. Типовой системный блок промышленного компьютера

Парад шин

8-, а затем 16-разрядная шина ISA, используемая в персональных компьютерах фирмы IBM, стала стандартом de facto в отрасли. Однако по мере увеличения быстродействия микропроцессоров шина ISA стала узким местом для приложений, требующих быстрого обмена по системной магистрали.

Некоторое время спустя IBM попыталась оторваться от наступающих на пятки конкурентов, предложив запа-

тентованную архитектуру на базе шины Micro Channel. Однако, несмотря на экономическую мощь IBM, второго чуда не произошло: из-за несовместимости с уже существующими периферийными платами, а также из-за требовании лицензионных отчислений с фирм-изготовителей совместимого оборудования шина Micro Channel не получила поддержки независимых производителей. Разумеется, она не нашла широкого распространения и в промышленных приложениях, хотя и используется в промышленных компьютерах, выпускаемых самой IBM.

Более счастливая судьба оказалась у шины EISA, разработанной по инициативе Compaq. Шина, сочетающая 32-разрядную архитектуру и совместимость с традиционными 16- и 8-разрядными платами, получила достаточно широкое распространение в критичных по быстродействию промышленных приложениях. В настоящее время число компаний, выпускающих изделия с шиной EISA, быстро падает.

Разумеется, взрывной рост популярности систем на базе 32-разрядной шины VL Local Bus (VESA) не обошел и рынок средств автоматизации. Прошло совсем немного времени, и в каталогах изготовителей промышленных компьютеров появились системы на базе этой шины. Однако ориентация шины VL Local Bus на устаревающий микропроцессор 80486 фирмы Intel и недостаточная буферизация стали тормозом на пути ее развития. И хотя соответствующий комитет работает над

улучшением стандарта, на горизонте появилась новая звезда — шина PCI.

Разработанная в 1992 году фирмой Intel, шина PCI получает растущее признание независимых изготовителей.

Во-первых, PCI со своей пропускной способностью до 132 Мбайт в секунду отвечает возросшим возможностям современных микропроцессоров.

Во-вторых, независимость шины от типа используемого процессора дает

возможность уравнивать шансы конкурентам фирмы Intel, таким как DEC с микропроцессором Alpha или альянс Apple/IBM/Motorola с микропроцессором Power PC.

В-третьих, унификация используемой шины позволяет изготовителям периферийных плат не распялывать свои силы на разработку различных вариантов одного и того же изделия для разных шин.

Все это, по-видимому, предопределяет широкое распространение шины PCI в будущем, и уже появились промышленные компьютеры, основанные на новой шине. Несколько фирм совместно работают над промышленной версией PCI, которая позволит применять большее количество слотов расширения, чем предусмотрено действующим стандартом, а фирмы IBM и Motorola предлагают удвоить тактовую частоту шины с 33 до 66 МГц.

Тем не менее необходимо отметить, что в связи с консервативностью рынка промышленных компьютеров шина ISA будет преобладать здесь еще довольно долгое время.

Компьютеры большие...

На верхнем уровне иерархии IBM PC совместимых промышленных систем мы видим мощные компьютеры, предназначенные для управления производственными и технологическими процессами в масштабах производственного участка, цеха или завода. Такие компьютеры имеют повышенную надежность, предназначены для круглосуточной работы в условиях запыленности, больших перепадов температуры, вибрации и других неблагоприятных факторов, включая уровень подготовки персонала.

Первые энтузиасты применения персональных компьютеров в промышленности брали за основу материнские платы обычных офисных компьютеров и помещали их в специальные корпуса. С течением времени, однако, выработались вполне определенные характерные черты, которыми отличаются современные промышленные PC.

Как правило, вместо стандартной материнской платы применяется пассивная объединительная панель, в один из слотов которой вставляется процессорная плата. Для обеспечения связи с различными датчиками, исполнительными устройствами и каналами коммуникации может потребоваться большое количество плат

расширения, поэтому допустимое число таких плат в промышленных персональных компьютерах достигает 12 - 14, в отличие от 6 - 8 в офисных

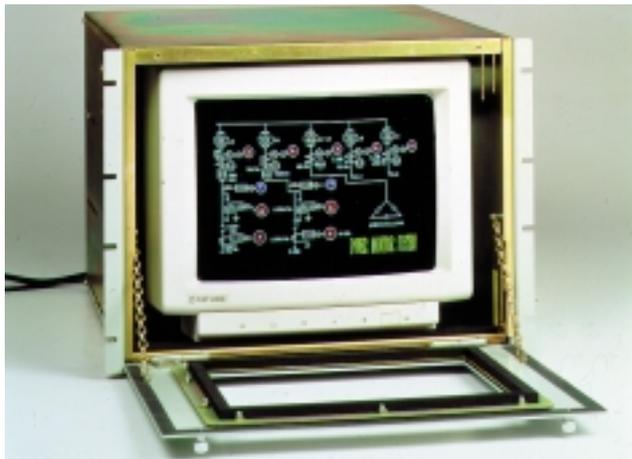


Рис. 2. Монитор в защитном корпусе с приспособлениями для обеспечения вибростойкости

моделях. Иногда применяют секционированные панели, которые позволяют компоновать несколько независимых компьютеров в одном корпусе. Применение пассивной панели существенно сокращает время ремонта, а соответственно и время простоя технологического оборудования. Замена любой платы, в том числе процессорной, не превышает 5-10 минут. Кто хотя бы один раз менял материнскую плату в стандартном персональном компьютере, согласится, что это хорошее время.

Компьютеры имеют упрочненные металлические корпуса, как правило, предназначенные для монтажа в стандартные стойки шириной 19 дюймов. Во многих системах применяются специальные средства для обеспечения повышенной виброустойчивости. Часто доступ к НГМД закрыт специальной дверцей с замком для предохранения от загрязнений и несанкционированного доступа. Получили распространение так называемые промышленные рабочие станции (Industrial Workstation), которые характеризуются тем, что системный блок и дисплей размещены в одном защищенном корпусе, а клавиатура, выполненная по мембранной технологии, встроена непосредственно в переднюю панель.

Обычно промышленные компьютеры снабжены источником питания большой мощности и имеют развитую систему воздушного охлаждения со сменными пылеулавливающими фильтрами и положительным внутренним давлением очищенного воздуха.

Некоторые фирмы для особо ответственных приложений выпускают отказоустойчивые компьютеры с дуб-

лированием важнейших узлов и способностью их замены во время работы.

На нашем рынке производители промышленных компьютеров представлены такими фирмами, как Advantech, ICP, Intecolor, Texas Micro и другие. На рис. 1 показан типовой системный блок промышленного компьютера, а на рис. 2 — монитор, помещенный в защитный корпус с приспособлениями для обеспечения вибростойкости. На рис. 3 можно видеть типичную промышленную рабочую станцию.

... И маленькие

Сегодня мы можем смело утверждать, что архитектура PC распространяется все ниже и ниже в иерархии автоматизированных систем управления. Автомобильная промышленность США, которая контролирует 35% рынка PLC-контроллеров, уже приняла решение о переходе на IBM PC совместимые компьютеры и контроллеры. Более того, разработка и начало производства такими компаниями как Intel, AMD, C&T однокристалльных PC привели к тому, что сейчас архитектура PC вторгается на рынок недорогих контроллеров, где раньше безраздельно господствовали микроконтроллеры типа 8051 или 68HC11.

Характерной особенностью систем автоматизации нижнего уровня является то, что такие системы могут встраиваться непосредственно в промышленное или бортовое оборудование. Они располагаются на самом объекте управления и часто должны работать в необорудованных и неотопляемых помещениях, а то и просто на улице. Во многих случаях управляющие компьютеры и контроллеры являются неотъемлемой частью какого-либо прибора, станка или агрегата, поэтому их часто называют встраиваемыми (embedded). Далее вы увидите, что хотя мы и относим такие системы к нижнему уровню систем управления, это не означает автоматически, что их возможности или быстрдействие ограничены. В то

же время особенности их применения накладывают ряд специфических требований.

Наряду с ужесточением требований по вибростойкости, ударопрочности, рабочему диапазону температур добавляются такие, как малые габариты и низкий уровень потребляемой мощности. Кроме того, могут предъявляться достаточно экзотические требования по взрывобезопасности, радиационной стойкости, стойкости к химически агрессивным средам или сильным электромагнитным полям. С функциональной точки зрения мы также видим вещи, не характерные для офисных компьютеров, например «сторожевой таймер» (watchdog timer), автоматически перезапускающий систему в случае «зависания» программы, или хранение параметров SETUP в энергонезависимой памяти, что позволяет обходиться без специальных батареек. Часто операционная система загружается из ПЗУ, а в качестве накопителей используются электронные диски, в том числе на базе флэш-памяти.

Разработчики встраиваемых систем, желающие использовать архитектуру PC, стоят перед выбором: либо разрабатывать систему «с нуля», используя тот или иной набор микросхем, либо применять в качестве основы готовые изделия специализированных компаний. Можно констатировать, что второй подход все чаще берет верх, и тому есть много причин.

● Во-первых, разработка вычислительной системы, например класса 386 или 486, является дорогим удовольствием. Необходим штат высококвалифицированных схемотехников и программистов. Высокие тактовые частоты используемых микропроцессоров требуют особо тщательного проектирования печатных плат, а современная элементная база даже для изготовления прототипа требует высококлассного технологического оборудования, обеспечи-



Рис. 3. Промышленная рабочая станция

вающего монтаж на поверхность. Хотя кажется, что устройство, разработан-

ное с учетом конкретных нужд и не включающее в себя ничего лишнего, обойдется вам дешевле, чем универсальные, а значит, избыточные изделия специализированных компаний, это впечатление может оказаться обманчивым, так как существует множество скрытых затрат, таких как организация и поддержка разработки и производства, входной и выходной контроль, испытания и тестирование, отладка программного обеспечения, гарантийные обязательства и т. п. Кроме того, изготовители стандартных плат закупают комплектующие



Рис. 4. Процессорный модуль фирмы Advantech

большими партиями по более дешевым ценам. Вот почему самостоятельная разработка может быть экономически выгодна только при достаточно большой тиражности изделия.

● Во-вторых, в условиях жесткой конкуренции очень важно минимизировать время от идеи до готового изделия (Time-to-Market). Поэтому многие, даже крупные компании предпочитают сосредоточить свои ресурсы на том, что они умеют делать лучше других, а не изобретать колесо, особенно, если стоимость системы управления составляет лишь малую долю от стоимости всего изделия.

● В-третьих, время жизни наборов микросхем, используемых в PC, часто не превышает и одного года. Не исключена ситуация, когда, закончив разработку, вы неожиданно обнаружите, что микросхемы, использованные в проекте, сняты с производства. Время же жизненного цикла систем автоматизации достигает 10 лет. В этой ситуации фирмы, специализирующиеся на изготовлении плат, как правило, заключают специальные соглашения с ведущими изготовителями компонентов, по условиям которых они заблаговременно получают информацию как о планах снятия каких-либо компонентов с производства, так и о планах выпуска новых. Это позволяет таким фирмам закупить необходимое количество «критических» компонентов для обеспечения необходимого жизненного цикла своей продукции. Кроме того, они способны обеспечить полную совместимость снизу вверх последующих поколений своих изделий.

● И наконец, в-четвертых, при приемлемом тираже вашей продукции спе-

циализированные фирмы могут внести необходимые изменения в свои стандартные изделия, чтобы те удовлетворяли вашим требованиям.

У нас известны такие производители встраиваемых PC, как Octagon Systems, Ampro, PEP, Radisys и другие.

Условно встраиваемые компьютеры можно разделить на две группы. К первой относятся компьютеры, собираемые из нескольких плат, объединяемых системной шиной, а ко второй — одноплатные компьютеры, где все необходимые функции интегрированы на одной плате небольшого размера.

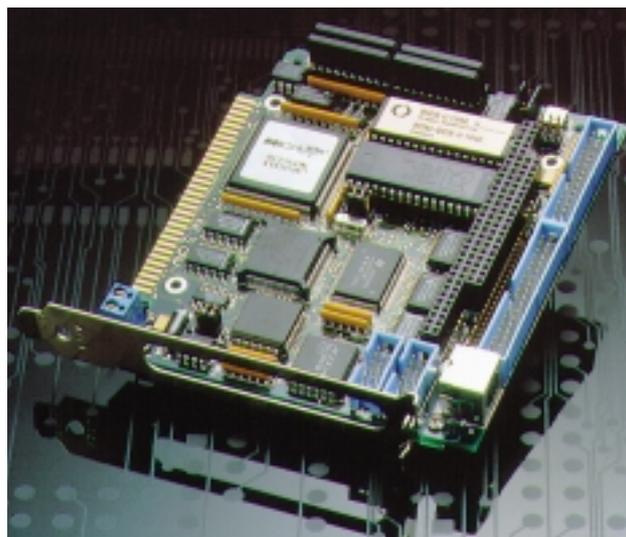


Рис. 5. Процессорная плата фирмы Octagon Systems

Использование стандартного подхода с системной шиной позволяет создавать функционально более мощные системы управления, обладающие гибкостью в плане переконфигурации и настройки на конкретное приложение. Компьютеры на одной плате, не имея

средств поддержки общей системной шины, могут оказаться более дешевым решением в тех случаях, когда особая гибкость не нужна. Тем не менее, одноплатные компьютеры, как правило, снабжаются шиной расширения, или, как ее иногда называют, мезонинной шиной (mezzanine bus), для подключения при необходимости дополнительных плат, выполняющих какие-либо специфические функции, требуемые в конкретных приложениях. Необходимо отметить, что в области шин расширения также начинает чувствоваться влияние PCI, для которой разработан стандарт по ее использованию в качестве мезонинной шины.

Какие только шины не используют изготовители, чтобы разместить IBM PC на платах меньшего размера, чем стандартные платы полной длины. Это и ESP, и PC/104, и AT96, и VME, и многие другие. Пожалуй, только фирма Octagon Systems при стандартном размере платы 114 × 124 мм сохранила полную совместимость с IBM PC по разъему. Кроме того, Octagon Systems является крупнейшим поставщиком компьютеров для расширенного температурного диапазона (-40°C...+85°C). Предложенная фирмой Ampro шина PC/104 получила широкое распространение взамен iSBX в качестве мезонинной шины для одноплатных компьютеров. В то же время ряд фирм выпускает и процессорные платы, имеющие стандартный для PC/104 размер 90 × 96 мм.

На рис. 4 показан процессорный модуль фирмы Advantech, объединяющий на небольшой плате все функции материнской платы IBM PC/386/4 Мб ОЗУ, электронный диск емкостью до 1 Мбайт, а также последовательный и параллельный порты.

На рис. 5 показана процессорная плата фирмы Octagon Systems, включающая все функции материнской платы IBM PC/386/4 Мб ОЗУ, два электронных диска общей емкостью до 1,5 Мбайт, два последовательных и один двудirectionalный параллельный порт, контроллер НГМД и 2,5" НЖМД, а также программатор флэш-памяти. На одном из электронных дисков предварительно установлена DOS V6. Плата универсальна и может использоваться как в системах с пассивной системной шиной, так и в

параллельный порт, контроллер НГМД и 2,5" НЖМД, а также программатор флэш-памяти. На одном из электронных дисков предварительно установлена DOS V6. Плата универсальна и может использоваться как в системах с пассивной системной шиной, так и в

качестве одноплатного компьютера с возможностью расширения через мезонинную шину PC/104.

На рис. 6 показан одноплатный компьютер фирмы Octagon Systems размером 150 × 200 мм. Вычислительная мощность до 486DX4-100, объем ОЗУ до 32 Мбайт, три электронных диска общей емкостью до 2,5 Мбайт, четыре последовательных порта RS-232/485, параллельный порт принтера, порт клавиатуры, программатор флэш-памяти, IDE-контроллер гибких и жестких дисков, к локальной шине с высокоскоростным 33 МГц подключены интерфейсы SCSI, Ethernet и SVGA (1 Мбайт) с поддержкой как ЭЛТ-дисплеев, так и плоских панелей, шина расширения PC/104.

Отдельного разговора заслуживают специальные защищенные и упрочненные компьютеры для

мобильных пользователей. На рис. 7 показан пример такого компьютера фирмы Getas, который может работать как в условиях пыльной бури, так и в условиях морского шторма. Несмотря на внешнее сходство с обыкновенным ноутбуком, он имеет ряд уникальных характеристик, таких как пыле- и водонепроницаемый металлический корпус, вибро- и ударопрочность в соответствии с военными стандартами, рабочий диапазон температур от -20°C до +50°C и т. п. Такие защищенные ноутбуки находят применения как в военной, так и в промышленной сфере, например для съема данных с необслуживаемых станций, в передвижных диагностических лабораториях и др.

Внешние устройства

В качестве устройств хранения информации наиболее популярными являются накопители на гибких и жестких дисках. Среди наработанных решений в области защиты накопителей от вредных воздействий можно назвать используемые в системном блоке фирмы Advantech (рис. 1). Во-первых, это противоударное крепление блока накопителей, во-вторых, защитная дверца, предохраняющая от попадания загрязнений, и в-третьих, пылеулавливающий фильтр и система вентиляции, обеспечивающая положительное внутреннее давление очищенного воздуха. В случае если необ-

ходима более высокая ударопрочность, применяются специальные накопители на жестких дисках. Так, например, накопители в виде карт стандарта PCMCIA позволяют, с одной стороны, отказаться от гибких дисков как сменных носителей информации, а с другой стороны, вы получаете высоконадежное устройство большой емкости и повышенной прочности. Например,



Рис. 6. Одноплатный компьютер фирмы Octagon Systems размером 150 × 200 мм

фирма Integral выпускает PCMCIA-накопители емкостью до 340 Мбайт, выдерживающие перегрузки до 2g при вибрации и до 200g при ударе в рабочем состоянии. Внутреннее пространство накопителя заполнено инертным газом, а время безотказной работы достигает 300000 часов. В то же время, когда требуется еще более высокая надежность, более широкий диапазон рабочих температур или повышенная

ударопрочность, например в бортовых системах, как правило, используются накопители на полупроводниковой флэш-памяти. Одной из ведущих фирм в области разработки аппаратных средств для линейных накопителей на флэш-памяти является компания M-Systems, которая выпускает ряд изделий емкостью до 900 Мбайт для работы с ISA, PC/104, PCMCIA, SCSI и т. п. Фирма SanDisk лидирует в области флэш-дисков ATA с интерфейсом PCMCIA или IDE. Хотя число циклов

перезаписи во флэш-память ограничено, его типовое значение для современных систем достигает миллиона.

Существенным элементом интерфейса с оператором является, конечно, дисплей. Кожух, показанный на рис. 2, обеспечивает как вибростойкость встраиваемого дисплея, так и защиту его от пыли и влаги со стороны экрана. Однако встраиваемый дисплей, конечно, не рассчитан на эксплуатацию в тяжелых условиях, поэтому такой метод защиты можно рассматривать как компромиссный. Некоторые фирмы разрабатывают дисплеи для систем автоматизации «с нуля». Например, фирма Intecolor изготавливает мониторы с диагональю 20 дюймов, в том числе для морских применений, которые выдерживают удар в 20g и имеют повышенную степень защиты от внешних воздействий (рис. 8). В тех приложениях, где малые габариты изделия существенны, предпочтительно применять плоские панели на базе жидкокристаллических индикаторов. Для низких температур, где, как правило, не годятся ни дисплеи на ЖКИ, ни ЭЛТ, применяют электролюминесцентные или плазменные дисплеи. При этом рабочий диапазон температур может достигать от -55°C до +70°C при отличных показателях по вибростойкости.

Еще одной особенностью промышленных приложений является широкое применение сенсорных экранов. С одной стороны, это позволяет обходиться без клавиатуры, с другой стороны, обеспечивает определенные удобства для обслуживающего персонала, который зачастую привык к простым функциональным клавиатурам, в то



Рис. 7. Специальный ноутбук для работы в полевых условиях



Рис. 8. Монитор 20" фирмы Intecolor

время как 101 клавиша в стандартной клавиатуре IBM PC вызывает страх. Использование сенсорного экрана позволяет программно рисовать функциональную клавиатуру на экране, например, как часть мнемосхемы управляемого объекта. Более того, вы можете иметь на экране несколько разных функциональных клавиатур в зависимости от выполняемой операции, а для изменения их состава или местоположения достаточно внести соответствующие коррективы в программное обеспечение.

Тем не менее клавиатуры используются, и используются широко. Для обеспечения пыле- и брызгозащиты применяются наклейки из прозрачного пластика, наклеиваемые поверх клавиш, либо клавиатуры выполняют по мембранной технологии (рис. 3). Существуют клавиатуры, которые могут работать в агрессивных средах, на которые можно проливать нефтепродукты, а затем мыть водой с порошком. С такой же степенью защиты выпускаются манипуляторы мышь (Durapoint Mouse), не содержащие движущихся частей (рис. 9).

Специфичными для промышленных применений являются аппаратные средства, предназначенные для непосредственной связи вычислительной системы и объекта управления. Эти средства ответственны за нормирование и/или линеаризацию входных сигналов с датчиков или усиление выходных сигналов для исполнительных устройств. При этом весьма часто предъявляются требования полной гальванической развязки вычислительной системы от каждого из входных или выходных каналов, а также между самими каналами. Ряд фирм, таких как Analog Devices, Grayhill, Opto22 и другие, выпускает специальные модули (Data Acquisition Modules), реали-

зующие эти требования. В последнее время получают распространение удаленные модули, имеющие непосредственный выход на одну из шин класса Fieldbus, что позволяет легко интегрировать датчики и исполнительные устройства в распределенных системах управления. Типичным примером могут служить модули серии ADAM-4000, производимые фирмой Advantech (рис. 10).

Сети

Ни у кого не вызывает сомнения, что наиболее распространенным сетевым решением в настоящее время является Ethernet, а последние достижения в области увеличения скорости работы Ethernet до 100 Мбит/с еще более увеличивают привлекательность этого стандарта. Ethernet широко используется в системах промышленной автоматизации, однако его применение ограничено там, где циркулирует информация, требующая принятия решений в реальном времени. Это связано с недетерминированной природой са-



Рис. 9. Мышь Durapoint

мого протокола Ethernet. Иными словами, при большой загрузке сети существует маленькая, но отличная от нуля вероятность того, что сообщение, посланное одним из узлов, никогда не достигнет адресата. Теперь представим, что этим сообщением является информация об аварии в оборудовании ядерного реактора, требующая немедленных действий со стороны другой подсистемы управления реактором, являющейся тем самым адресатом. Вот почему в приложениях, где необходима гарантированная доставка информации в течение заданного интервала времени, более подходящими оказываются протоколы Token Ring (4/16 Мбит/с) или Arcnet (2,5 Мбит/с). В настоящее время существует стандарт Arcnet II со скоростью до 20 Мбит/с, однако применение этого стандарта тормозится ограниченной поддержкой со

стороны изготовителей специализированных сетевых микросхем. Поклонники ATM предсказывают, что вскоре Asynchronous Transfer Mode вытеснит всех, даже Ethernet, и, возможно, окажутся во многом правы при условии поддержки ATM со стороны изготовителей микросхем. Важное значение для повсеместного внедрения ATM может сыграть инициатива IBM по созданию дешевого варианта ATM со скоростью 25 Мбит/с.

Существуют также сетевые протоколы, специфичные для промышленных систем автоматизации низкого уровня, такие, например, как средне-скоростные CAN, FIP, Profibus, BIT-bus и т. п. Все они часто называются одним словом Fieldbus. Стандарт CAN пользуется растущим признанием и имеет две основные конкурирующие реализации протоколов верхнего уровня: DeviceNet фирмы Allen-Bradley и SDS фирмы Honeywell. В США специальный комитет работает над стандартом Fieldbus, призванным объединить все положительные стороны существующих подходов. Новый стандарт должен быть готов в 1996 году. В качестве дешевой низкоскоростной магистрали широко применяется интерфейс RS-485, который обеспечивает связь по витой паре сегментами длиной до 1,2 км и позволяет подключать до 32 узлов на сегмент. В качестве логических протоколов работы по RS-485 получили распространение Optomux, Promux и другие совместимые с ними.

Наличие сильных электромагнитных полей на объектах управления приводит к тому, что в качестве физической линии связи часто применяется оптоволокно, а невозможность или дороговизна прокладки кабелей может привести к необходимости использования в качестве линии связи радиоканала.



Рис. 10. Модуль серии ADAM-4000 фирмы Advantech

Программное обеспечение

Естественно, специфика промышленных применений наложила свой отпечаток на используемое программное обеспечение. Конечно, это тема для отдельной большой статьи, поэтому здесь я приведу основные, на мой взгляд, требования к программному обеспечению и небольшой обзор основных продуктов в этой области.

● Первым требованием является надежность программного обеспечения. Действительно, одно дело, когда у вас «зависает» редактор текста в офисе, а другое дело, когда неправильно работает программа, управляющая ядерным реактором или космическим кораблем. В конечном счете, многие новации последнего времени, типа структурного программирования, объектно-ориентированных языков, CASE-технологий, появились в результате стремления писать все более сложные программы с меньшим количеством ошибок.

● Вторым требованием является быстрое реагирование на какие-либо внешние события или изменения в параметрах управляемых процессов. Системы, работающие в соответствии со вторым требованием, часто называют системами реального времени. Разумеется, понятие «быстрый» является относительным. Типовое время реагирования на внешние воздействия, необходимое современным промышленным системам, составляет десятки микросекунд. В то же время существует много задач, где инерционность протекающих процессов позволяет реагировать с задержкой в десятки, а то и в сотни миллисекунд. В этом случае часто применяется понятие «мягкое реальное время».

Строго говоря, отождествление понятий «реальное время» и «быстрый» не является верным. Например, если ваша система регистрирует уровень грунтовых вод, то и одно измерение в час соответствует требованиям реального времени для этого процесса.

● И третьим требованием, часто предъявляемым к программному обеспечению систем управления, является многозадачность. Это требование проистекает из подчас чрезвычайно сложной и многоуровневой природы управляемых процессов, когда необходимо одновременно реализовать сложные алгоритмы управления различными аспектами или частями реального объекта. Каждая задача выполняет свою долю работы по управлению объектом, и все они делают между собой ресурсы вычислительной системы в зависимости от своего приоритета и от внешних и внутренних

событий, связанных с конкретной задачей. Существует целый ряд алгоритмов распределения ресурсов между задачами, рассмотрение которых, впрочем, выходит за рамки данной статьи. Другим тесно связанным с многозадачностью понятием является многопоточность. Хотя терминология здесь не совсем устоялась, под многопоточностью, как правило, понимают возможность выполнения в рамках одной задачи нескольких независимых процессов (потоков команд), которые, в отличие от задач, пользуются общими участками кода и данных.

Названным требованиям должны удовлетворять все уровни программного обеспечения системы. Условно можно разделить программное обеспечение на три уровня:

1. Базовая система ввода-вывода (BIOS).
2. Операционная система и драйверы (ОС).
3. Собственно прикладные программы.

BIOS осуществляет непосредственный интерфейс между аппаратурой и программным обеспечением верхних уровней. Ведущие фирмы-поставщики BIOS ориентируются в основном на рынок офисных компьютеров и не применяют специальных мер для обеспечения требований промышленных приложений. Основная опасность при обращении к BIOS — это возможность запрета прерываний на достаточно долгое время, в результате чего может быть пропущена важная информация от быстродействующих датчиков или телекоммуникационных устройств. Вот почему, с одной стороны, есть фирмы, предлагающие BIOS, ориентированные на приложения «жесткого» реального времени, а с другой стороны, многие операционные системы минимизируют взаимодействие с BIOS или не обращаются к ней вообще.

Операционная система выполняет базовые функции по интерфейсу с оператором, запуску программ, распределению памяти, поддержке файловой системы и т. п. Наиболее распространенной операционной системой, конечно, является MS-DOS фирмы Microsoft и другие совместимые с ней. Последние версии обладают приемлемой надежностью, однако нет никакой поддержки многозадачности, а попытки реализовать ее в виде надстройки наталкиваются на необходимость решения проблемы нерендерельности DOS. Создатель системы автоматизации, как правило, встает перед выбором: или использовать многозадачное ядро реального времени, работающее над DOS, или перейти на другую операционную систему. В первом

случае используются самодельные или коммерчески распространяемые библиотеки программ, реализующие функции многозадачной ОС, например C-TASK или RT-Kernel. Во втором случае открывается богатый выбор операционных систем, разработанных специально для применения в системах «жесткого» реального времени. Эти ОС часто так и называют операционными системами реального времени. На рынке существует несколько десятков операционных систем реального времени. У нас известны такие ОС, как QNX, OS-9000, VxWorks, iRMX, VRTX, Nucleus и другие.

Существует два подхода к переносимости программного обеспечения: первый — это поддержка одной ОС одновременно нескольких аппаратных платформ, второй — это обеспечение стандартного интерфейса между прикладными программами и ОС. В качестве такого стандарта часто используют программный интерфейс, разработанный для UNIX подобных операционных систем и получивший название POSIX (Portable Operating System Interface for UNIX). То есть ваша программа, написанная в соответствии со стандартом POSIX, должна надежно работать на любой аппаратной платформе при условии применения POSIX совместимой операционной системы.

При проектировании ОС реального времени все чаще используется идеология микроядра, которая увеличивает надежность программного обеспечения и позволяет использовать только те компоненты операционной системы, которые необходимы в каждом конкретном случае. Так, например, микроядро одной из самых распространенных операционных систем QNX имеет размер менее 10 кбайт. Модуль, ответственный за файловую систему, например, запускается как одна из задач и может быть легко удален. Все драйверы также функционируют как независимые задачи. То есть, если в вашей встроенной системе не используются файловые операции или отсутствуют интерфейсы с какими-либо внешними устройствами, вы можете просто не включать в состав операционной системы, функционирующей в вашем изделии, соответствующие модули, высвобождая тем самым память для более эффективного выполнения приложений.

«А как же многозадачные и многопоточные Windows NT и OS/2?» — резонно спросит читатель. Да, эти новейшие операционные системы оказывают определенное давление на рынок операционных систем реального времени. Тем не менее обе системы ориентированы на офисные применения и не мо-

гут обеспечить скорость отклика на внешние воздействия, сравнимую со специализированными ОС реального времени. Кроме общей неразвитости механизмов управления приоритетами, могут возникать проблемы некоторой непредсказуемостью поведения этих ОС. Например, совершенно неожиданно система может инициировать массивный свопинг на диск, забирая для этого мероприятия практически все ресурсы. Вот почему чувствительные к задержкам задачи, типа обмена данных в мультимедиа-приложениях, оформляются в виде драйверов. Так что пока Windows NT и OS/2 можно использовать только в задачах «мягкого» реального времени, а то, что количество их дистрибутивных дисков превосходит число пальцев на обеих руках, не внушает оптимизма разработчикам встраиваемых систем, где каждый мегабайт на счету.

Фирма Microsoft, однако, все-таки обратила свой высочайший взор на встроенные системы и объявила о скором выпуске операционной системы реального времени Microsoft At Work, основанной на концепции микроядра. Конечно, у нас есть основания скептически относиться к заявлениям Microsoft, однако, если будет реализована обещанная совместимость с Windows API, эта новая операционная система может стать заметным игроком на рынке ОС для встраиваемых систем. Вообще с появлением Windows-95 и следующих версий OS/2 и Windows NT проникновение этих операционных систем на рынок систем реального времени будет возрастать, и, по-видимому, скоро мы будем свидетелями конкуренции в этой области между операционными системами, совместимыми с POSIX и WIN32. Более того, совсем недавно объявлено о создании альянса между IBM и DEC по разработке операционной системы реального времени следующего поколения на базе микроядра IBM. Конкурентная борьба между крупнейшими мировыми компаниями обещает быть очень интересной, и, возможно, мы вскоре увидим новые операционные системы, пригодные для применения в промышленных сис-

темах автоматизации. Хотя некоторые горячие головы предсказывают доминирование какой-то одной операционной суперсистемы на всех аппаратных платформах и для любых приложений, 25-летняя история UNIX не позволяет надеяться, что уже нынешнее поколение будет жить при таком «коммунизме».

Немного особняком стоит программное обеспечение, предназначенное для эксплуатации на верхнем уровне систем автоматизации, например, в

свои наработки в этой области. В то же время есть фирмы, специализирующиеся на разработке универсальных SCADA-программ, таких как Genesis (Iconics), FixDmacs (Intellution), InTouch (Wonderware). Из отечественных разработок хотелось бы отметить программу Trace Mode (Aadastra Research Group). На рис. 11 показаны примеры экрана с мнемосхемами объектов, реализованные в системе Genesis.

Граница между программным обеспечением класса SCADA и MMI весьма условная, поэтому многие системы SCADA могут работать в качестве интерфейса MMI для систем нижнего уровня. В последнее время получает распространение программное обеспечение класса MES (Manufacturing Execution Systems), основной задачей которого является оптимизация управления производством в целом, включая планирование запасов комплектующих, расписание технологических процессов и т. д. Системы MES, с одной стороны, взаимодействуют с системами SCADA, образуя единую систему управления производством, с другой стороны, они часто интегрируются в систему планирования и управления предприятием в целом.

В заключение мне хотелось бы поблагодарить фирмы Advantech, Getac, Iconics, Interlink и Octagon Systems, с любезного разрешения которых напечатаны иллюстрации к этой статье, и выразить надежду, что Россия, пойдя по пути интеграции в мировую экономику, быстро восстановит свой экономический потенциал, и не в последнюю очередь благодаря внедрению современных средств автоматизации в промышленности. ●

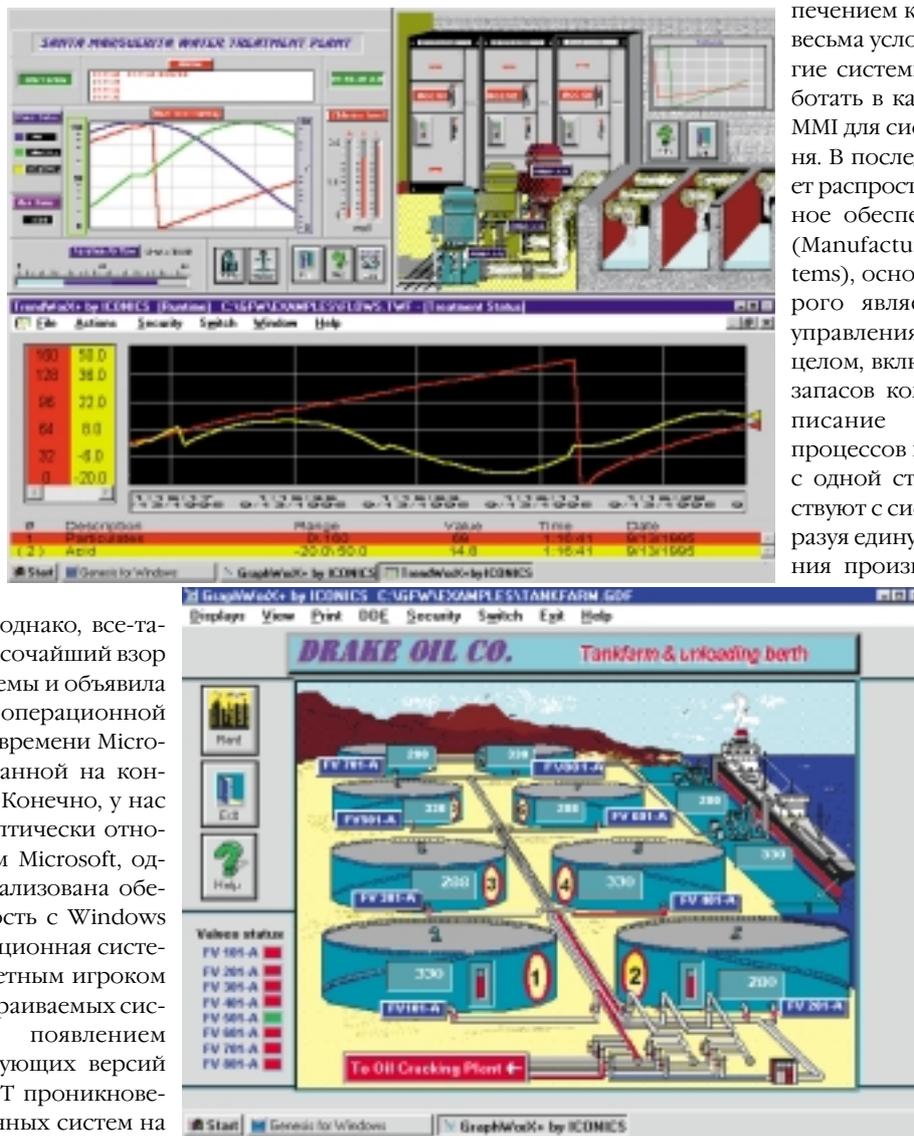


Рис. 11. Отображения объектов управления, созданные с помощью пакета Genesis

диспетчерских электростанций, пультах управления сложными агрегатами и т. д. Главными функциями таких SCADA-программ (Supervisor Control And Data Acquisition) являются отображение технологического процесса в виде мнемосхем, сигнализация об аварийных ситуациях, ведение системного журнала, обеспечение общего управления процессом со стороны оператора и т. п. Многие системные интеграторы или подразделения АСУ крупных предприятий, как правило, имеют