

# Шина PCI в специальных приложениях

Сергей Сорокин

Рассматриваются различные вопросы применения шины PCI во встраиваемых и промышленных приложениях.

## Введение

Как известно, шина PCI была предложена фирмой Intel первоначально в качестве средства связи между микросхемами. Однако потребовалось совсем немного времени, чтобы рожденный в 1992 году стандарт PCI занял господствующее положение в области шин расширения для персональных компьютеров. В настоящее время основной (офисный) стандарт PCI держит в своих руках и продолжает развивать такая организация, как PCI SIG (PCI Special Interest Group), куда наряду с Intel входит более 200 фирм-участников. Не вызывает сомнения, что шина PCI оказала влияние не только на офисные компьютеры, но и на вычислительную технику специального назначения. Поэтому давайте проследим, в каких же ипостасях проявляется шина PCI в области промышленных и других встраиваемых компьютеров.

В настоящее время PCI активно используется в качестве локальной шины для связи между микросхемами как в рамках архитектуры Intel, так и в системах на базе Power PC, Alpha и т. п. Нас же будут прежде всего интересовать вариации PCI в качестве шины расширения, то есть интерфейса, предназначенного для добавления пользователем в систему дополнительных плат или модулей. Более подробную информацию по некоторым из рассмотренных шин можно почерпнуть в журнале «Современные технологии автоматизации» № 1 за 1997 год.

Так как национальные и международные организации по стандартизации не поспевают за развитием компьютерных технологий, слово «стандарт» в контексте дальнейшего изложения означает, что соответствующие спецификации приняты и поддерживаются какими-либо общественными организациями или группой производителей.

## Ближе к истокам

Для промышленных компьютеров существует несколько реализаций шины PCI, которые по типоразмерам применяемых плат наиболее близки к офисным компьютерам. Более того, в таких промышленных системах могут без каких-либо переделок применяться обычные платы PCI. Однако в остальном промышленные компьютеры достаточно сильно отличаются от своих офисных собратьев.

## PCI+ISA

Спецификации шины PCI+ISA были предложены в начале 1995 года и явились первым результа-

том работы консорциума PICMG (PCI Industrial Computer Manufacturer's Group). В консорциум, образованный в 1994 году, вошли компании, заинтересованные в применении шины PCI для промышленных и других специальных применений. Практически новая шина открыла PCI путь в сферу промышленных компьютеров. Процессорные платы, разработанные в соответствии с этим стандартом, представляют собой полноразмерные платы IBM PC, на краевой разъем которых выведена как шина ISA, так и PCI (рис. 1). Соответственно в системе могут применяться одновременно как платы ISA, так и до 4 плат расширения с шиной PCI. Число слотов PCI может быть увеличено с помощью микросхем мостов PCI-to-PCI.

## PISA/PCISA

Шина PISA поддерживается рядом европейских и азиатских производителей. Из-за конфликта торговых марок шину в послед-



Рис. 1. Плата с шиной PCI+ISA (Advantech PCA-6175)

нее время чаще называют PCISA. На краевой разъем процессорных плат PCISA также выведены обе шины (ISA и PCI), однако, в отличие от стандарта PICMG, используется сильно переработанная версия подзабытой многими шины EISA. На двухэтажный ламельный разъем выведены одновременно сигналы ISA и PCI. Во всем остальном идеология построения промышленного компьютера на базе PCISA совпадает с PCI+ISA, за исключением того, что компьютер может быть более малогабаритным, так как процессорная плата может иметь половинную длину.

### NLX

NLX представляет собой новую спецификацию Intel для офисных компьютеров, появившуюся в 1996 году. NLX предусматривает быстрое удаление материнской платы из системы, что значительно упрощает обслуживание компьютеров. Материнская плата имеет краевой 340-контактный разъем, через который осуществляется связь с остальными компонентами компьютера. В настоящее время уже появляются промышленные компьютеры, которые используют творчески переработанные спецификации NLX. Так же как и в случае с PCISA, процессорные платы могут иметь половинную длину, при этом, в отличие от последней, секции шин ISA и PCI в разъеме NLX разделены, что позволяет уменьшить перекрестные наводки. Еще одним преимуществом NLX является то, что, кроме сигналов ISA и PCI, на краевой разъем выведены сигналы интерфейсов HГМД/НЖМД, последовательных портов и т. п. Это позволяет подключать внешние устройства, например дисковые накопители, не к самой процессорной плате, а через пассивную объединительную панель, что облегчает обслуживание системы.

### PCI

В настоящее время ассоциация PICMG разрабатывает спецификации промышленного компьютера, в котором могут использоваться платы только с шиной PCI. Работа еще не закончена, но, по-видимому, изменения коснутся в основном конфигурации краевых разъемов процессорной платы при сохранении размеров плат в рамках стандарта IBM PC.

### Фантазии на тему Евромеханики

Конструктивы в стандарте Евромеханики (МЭК-297) достаточно популярны в сфере телекоммуникаций, на транспорте и в других специальных прило-

жениях. Неудивительно, что различные вариации шины PCI в этой области не заставили себя долго ждать.

### Industrial PCI

Стандарт Industrial PCI, или сокращенно IPCI, предложен консорциумом SiPS (Standard Industrial PC Systems), куда входят в основном европейские фирмы.

Стандарт, появившийся в конце 1995 года, допускает размещение на пассивной объединительной панели до 5 плат PCI, включая процессорную. Платы могут иметь высоту от 3U до 6U, а количество гнезд PCI может увеличиваться группами по 5 с помощью мостов PCI-to-PCI. Шина IPCI построена на основе 5-рядного метрического телекоммуникационного разъема и имеет до 3 секций. Первая 120-контактная секция содержит сигналы 32-разрядной версии PCI, вторая 60-контактная секция содержит 64-разрядное расширение шины PCI, и, наконец, третья 60-контактная секция предназначена для дополнительной шины расширения. В настоящее время в качестве такой дополнительной шины могут использоваться AT96/ISA96, SMP16, VME, ECB, расширения ввода/вывода типа FDD/HDD или SCSI, телекоммуникационная шина H.100. Для предотвращения ошибочных включений тип используемой шины расширения кодируется механически. Все три секции разъема умещаются в габариты 3U, а дополнительная шина расширения позволяет использовать гибридные объединительные платы, где наряду с гнездами для плат PCI могут располагаться гнезда для других стандартных евромеханических шин типа AT96, VME и т. п., что позволяет использовать существующий задел в области плат ввода/вывода. В настоящее время ведутся работы по обеспечению для плат IPCI возможности «горячей» замены.

### Compact PCI

Стандарт Compact PCI, или сокращенно CPCI, был предложен в ноябре 1995 года уже знакомой нам общественной организацией PICMG. Стандарт предусматривает два типоразмера плат: 3U (100×160 мм) и 6U (233×160 мм). В системе может использоваться до 8 плат CPCI, включая процессорную (рис. 2). Количество плат расширения может быть увеличено с помощью мостов PCI-to-PCI. Как и в случае с Industrial PCI, системная шина Compact PCI выведена на пятирядный метрический разъем, разработанный в свое время для телекоммуникационных применений. По сравнению с офисной версией PCI, добавле-



Рис. 2. Плата с шиной Compact PCI (Advantech MIC-3375)

но несколько новых сигналов, изменены требования по применению согласующих резисторов, нагрузочной способности формирователей и допустимой длины отводов от системной шины.

CPCI поддерживает как 32-, так и 64-разрядную спецификации PCI с тактовой частотой шины 33 МГц. Разъем системной шины состоит из двух секций по 110 контактов каждая. Первая секция (J1) — содержит сигналы 32-разрядной версии CPCI, а вторая (J2) — 64-разрядное расширение. В отличие от IPCI дополнительные шины расширения не вписываются в формат 3U и в случае их необходимости используются платы высотой 6U, для которых предусмотрено еще до трех дополнительных разъемов (J3, J4, J5) с общим числом контактов 315. Назначение дополнительных разъемов стандартом не определено, и пока каждый использует их как Бог на душу положит. В то же время инициативные группы в составе PICMG пытаются выработать общие рекомендации по использованию дополнительных разъемов в качестве мостов на шину VME64, телекоммуникационные шины типа H.110 и т. п., проводится работа по обеспечению возможности «горячей» замены плат CPCI.

### PXI

Шина PXI (PCI Extensions for Instrumentations) предложена фирмой National Instruments для создания высокопроизводительных измерительных систем. Шина основана на спецификациях Compact PCI, за исключением того, что ряд не использовавшихся там контактов системной магистрали переопределен в пользу нескольких новых сигнала-

лов, предназначенных для запуска и синхронизации процессов измерения. В настоящее время рабочая группа в рамках PCIMG работает над тем, чтобы шина PCI была принята в качестве стандарта.

### Мобильные приложения

Важной сферой применения специализированных компьютеров являются переносные и бортовые вычислительные комплексы, где предъявляются повышенные требования к эксплуатационным и массо-габаритным показателям используемых компонентов и блоков.

### Card Bus

Здесь, безусловно, нужно вспомнить старую добрую карточку в стандарте PCMCIA. Механические и электрические спецификации этого небольшого устройства размером в два спичечных коробка были выпущены одноименной организацией Personal Computer Memory Card International Association. Некоторые, правда, шуточно расшифровывали ее название как «People Can't Memorize Computer Industry Abbreviations» (в переводе: «Люди не могут запомнить аббревиатуры компьютерной индустрии»). Ассоциация была создана в 1989 году с целью стандартизации миниатюрных картриджей расширения памяти. К 1991 году стандарт уже был дополнен средствами поддержки устройств ввода/вывода, а затем спецификациями Socket Services и Card Services. Многие по привычке называют такой картридж по имени организации, его породившей (PCMCIA), однако более правильным названием является PC Card.

В 1995 году стандарт на PC Card претерпел существенные изменения, и в дополнение к старой 16-разрядной версии интерфейса были выпущены спецификации на 32-разрядную версию, получившую название Card Bus. Практически Card Bus является реализацией PCI в рамках технологии PC Card. И 16-, и 32-разрядные версии стандарта PC Card используют один и тот же 68-контактный разъем и одну и ту же конструкцию карточки размером 85,6x54 мм (рис. 3). Разрешены три разновидности карт, отличающихся по толщине: Type I — 3,3 мм, Type II — 5 мм, Type III — 10,5 мм.

Шина Card Bus из-за ограниченного числа выводов не поддерживает 64-разрядного расширения шины PCI и имеет только одну линию прерывания вместо четырех. Отсутствует ряд других служебных и управляющих сигналов, предусмотренных основным стандартом,

зато появился ряд новых, включая сигнализацию состояния батареи, управление тактовой частотой шины и т. п.

### Small-PCI

Следуя потребностям рынка мобильных и малогабаритных компьютеров, ассоциация PCI SIG выпустила в 1996 году стандарт Small-PCI, или сокращено SPCI. Модули Small-PCI не совместимы с PC Card, хотя имеют такие же физические размеры, как и карточки PC Card. Вместо трех значений толщины карт (Type I, II, III) предусмотрено только два (Style A и B). Вместо 68-контактного разъема используется 108-контактный, который имеет специальную конструкцию, предотвращающую возможность установки в него PC Card.

Разъем имеет три разновидности в зависимости от напряжения питания сменных модулей SPCI: 5 В, 3,3 В или универсальные.

Как и PC Card, стандарт SPCI поддерживает только 32-разрядную версию PCI и так же предусматривает дополнительные сигналы для управления частотой системной шины и энергопотреблением модулей. В отличие от PC Card, модули SPCI поддерживают режим bus-mastering и могут непосредственно подключаться к локальной шине PCI без дополнительных аппаратно-программных средств обслуживания слота. В то же время стандарт SPCI разрабатывался в качестве внутренней шины расширения, поэтому он не поддерживает возможности «горячей» замены и все манипуляции с картами SPCI должны производиться при выключенном питании. Соответственно и разъем рассчитан только на 100 циклов сочленения против 10000 у PC Card.

### Мезонинные технологии

Более 40% всех встраиваемых применений PC приходится на одноплатные компьютеры. То есть всё необходимое для решения задачи умещается на одной плате, в связи с чем отпадает необходимость в использовании какой-либо системной магистрали общего назначения. Но и в случае применения одноплатных компьютеров периодически возникает необходимость в не-

большом расширении их возможностей или в их адаптации для конкретного применения.

Для этого, как правило, применяют специальные платы расширения уменьшенного размера, прикрепляемые непосредственно к платам-носителям. Подобные платы расширения, как и используемые для связи с ними интерфейсы, получили название мезонинных.

### PMC

Платы в стандарте PMC (PCI Mezzanine Card) имеют размер 75x150 мм и присоединяются к основной

плате через двухрядные 64-контактные разъемы.

Допускается до 5 таких разъемов на плате. Два обязательных разъема (Jn1, Jn2) содержат сигналы 32-разрядной версии PCI. Для 64-разрядного расширения PCI требуется еще

один разъем (Jn3). Если мезонинный модуль использует дополнительные шины или линии ввода/вывода, то могут добавляться еще один или два разъема (Jn4, Jn5). Для защиты от неправильного включения платы PMC имеют различное расположение монтажных отверстий в зависимости от их напряжения питания. Универсальные платы, воспринимающие как 5 В, так и 3,3 В, имеют монтажные отверстия обоих типов. По своим геометрическим размерам модули PMC хорошо «ложатся» на платы евроформата (1 модуль для платы 3U и 2 модуля — для 6U). Предусмотрен вариант PMC-модуля двойного размера (150x150 мм). PMC является подмножеством проекта стандарта IEEE P1386, который, впрочем, с 1995 года увяз в процессах голосований и согласований в недрах IEEE (Институт инженеров по электронике и электротехнике).



Рис. 3. Миниатюрный картридж PC Card (M-Systems PC Card-2000)

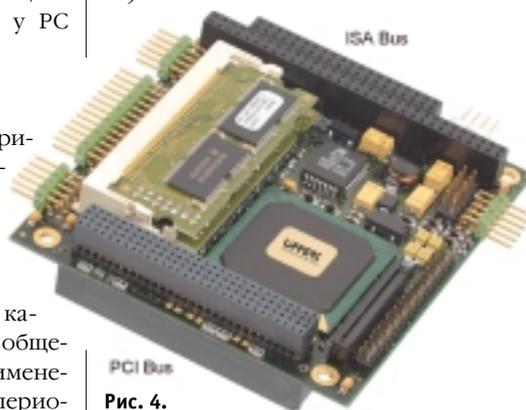


Рис. 4. Плата с шиной PC/104+ (Lippert Road Runner)

## PC/104+

Стандарт PC/104+ был предложен в 1997 году консорциумом PC/104 Consortium, куда входят компании, поддерживающие мезонинные технологии PC/104. Стандарт определяет как геометрические размеры мезонинных модулей (90×96 мм), так и расположение разъемов шин расширения, разделенных на две части (рис. 4). Логические сигналы первой части соответствуют шине ISA, а сигналы второй части в основном повторяют 32-разрядную шину PCI. Спецификации PC/104+ не предусматривают 64-разрядного расширения и не используют несколько сигналов из основного стандарта PCI. Существенное отличие шины PC/104+ от многих других мезонинных технологий состоит в том, что на плате-носителе может располагаться несколько модулей расширения в виде этажерки.

## PC-MIP

PC-MIP представляет собой новый стандарт мезонинных модулей расширения, разработанный несколькими компаниями в рамках ассоциации VITA. Определены два основных типа модулей: Type I — размером 47×90 мм и Type II размером 47×99 мм с фронтальным разъемом. Для обоих типов предусмотрены модули двойного размера шириной 94 мм. Соединение модуля с платой-носителем осуществляется с помощью трех 64-контактных разъемов того же типа, что применяются в модулях PMC. Два разъема (J1, J2) содержат сигналы шины PCI, а третий (J3) предназначен для линий ввода/вывода. PC-MIP по существу является симбиозом модулей M-Modules и IndustryPack с шиной PCI. Первые изделия в новом стандарте появились на рынке совсем недавно.

## Почему PCI?

Закончив краткое рассмотрение основных вариаций шины PCI, давайте зададимся вопросом о причинах ее популярности в промышленных и других встраиваемых системах. По-видимому, основную роль здесь играет растущее признание PCI в качестве стандартной шины для офисных персональных компьютеров, что имеет сразу несколько последствий. Во-первых, это наличие большого числа дешевых электронных компонентов, ориентированных на шину PCI, а во-вторых, это большой задел программного обеспечения как в области системного ПО, так и в области драйверов устройств ввода/вывода. Следующее, что необходимо отметить, — это независимость PCI от типа цент-

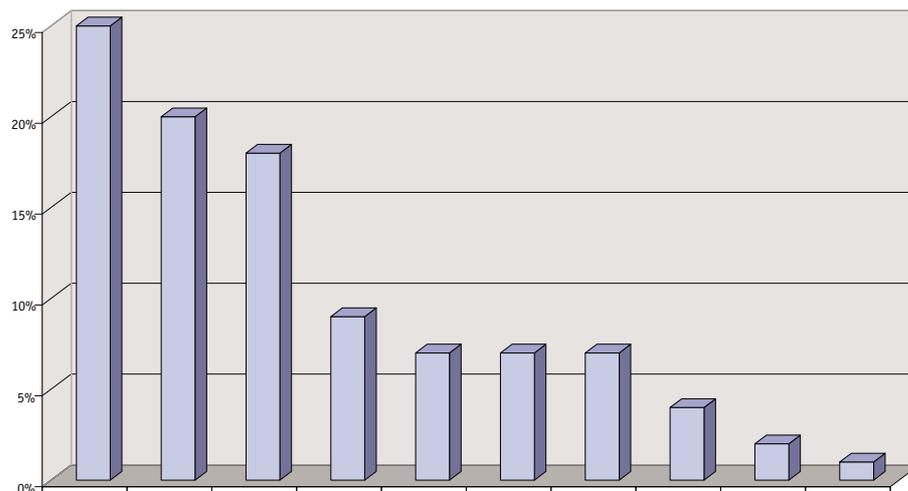


Рис. 5. Использование различных шин в IBM PC совместимых встраиваемых компьютерах

- |                               |                   |
|-------------------------------|-------------------|
| 1 ISA 25 %                    | 6 PCI 7 %         |
| 2 Одноплатные компьютеры 20 % | 7 VME 7 %         |
| 3 Уникальные шины 18 %        | 8 Compact PCI 1 % |
| 4 PC/104 9 %                  | 9 Другие PCI 2 %  |
| 5 ISA/PCI (PICMG) 7 %         | 10 Другие 4 %     |

рального процессора. Сейчас PCI в качестве локальной шины используется не только в системах с микропроцессором класса Intel x86, но и для Power PC, Alpha, MIPS и т. п. И, наконец, нельзя забывать, что пропускная способность шины адекватно соответствует быстродействию современных микропроцессоров. Все это вместе обеспечивает разработчикам встраиваемых систем сокращение длительности цикла «от идеи до готового изделия», что в условиях жесткой конкуренции на рынке весьма важно.

Здесь читатель может спросить: «Неужели все так хорошо и у PCI нет никаких недостатков?» Конечно, есть, и они, как обычно, являются продолжением достоинств. Так как исторически PCI разрабатывалась в качестве интерфейса связи микросхем, она не поддерживает мультипроцессорность и не имеет развитой системы прерываний. Кроме того, нагрузочная способность PCI оставляет желать лучшего. Максимальное число плат расширения колеблется от 4 (PCI+ISA) до 7 (Compact PCI), в то время как для традиционных шин (например ISA или VME) это число доходит до 20. Для некоторых промышленных приложений, требующих большого числа плат расширения, это может оказаться существенным недостатком. Нагрузочная способность PCI может быть увеличена с помощью специальных мостов PCI-to-PCI, однако в ущерб производительности шины.

PCI, в отличие от традиционных асинхронных шин, является синхрон-

ной, в связи с чем для ее нормальной работы временная диаграмма сигналов на шине должна выдерживаться с точностью до 2 нс при длительности периода синхросигнала 30 нс. Из-за этого становится сложнее обеспечивать работоспособность системы в условиях промышленных помех, а также в широком диапазоне температур.

Какое же место сейчас занимает шина PCI во встраиваемых PC-системах? На рис. 5 показано распределение долей различных шин, согласно результатам исследования, проведенного фирмой Embedded Systems Research (ESR). Рисунок отражает состояние американского рынка в 1997 году. Видно, что значительная часть систем (20%) вообще не использует какие-либо шины и примерно такую же долю (18%) занимают уникальные шины собственной разработки. При анализе оставшейся части видно, что различные разновидности шины PCI уже составляют около 17% рынка.

## Всегда ли PCI такая быстрая

У всех на слуху большие значения пропускной способности шины PCI. Так, например, через наиболее распространенную 32-разрядную версию PCI с тактовой частотой 33 МГц теоретически можно передавать 132 Мбайт в секунду. Давайте, однако, поконкретнее рассмотрим вопросы быстродействия шины PCI применительно к промышленным системам. Как известно, у PCI линии адреса и данных мультиплексируются, причем при блоковых передачах по шине достаточно один раз задать

начальный адрес для обмена, а затем весь блок данных может передаваться непрерывно, порциями по 4 байта за один такт шины (30 нс). Другими словами, теоретическая пропускная способность шины достигается при передаче бесконечно большого блока данных. Отсюда видно, что PCI может служить отличным интерфейсом для устройств, которые по своей природе предназначены для работы с блоками данных (НЖМД, Fast Ethernet и т. п.).

Здесь, однако, необходимо отметить, что набор периферийных устройств в системах промышленного назначения может сильно отличаться от того, что мы привыкли видеть в офисных компьютерах. Видеоподсистема и дисковые накопители могут совсем отсутствовать, коммуникации зачастую используются медленные, а основной подсистемой является аппаратура аналогового и дискретного ввода/вывода, через которую и осуществляется связь с объектом управления.

Технологические параметры поступают в систему в основном как байтовые или двухбайтовые двоичные переменные (точность АЦП, как правило, меньше 16 разрядов), которые затем обрабатываются по определенному алгоритму с целью выдачи управляющих воздействий. Отсюда видно, что в системах технологического управления циркулируют в основном не блоки данных, а одиночные значения (отсчеты) различных параметров. На считывание одиночного значения, например, с платы АЦП шина PCI затратит 4 такта работы (120 нс). Кроме того, циклу передачи по шине предшествуют несколько этапов (арбитраж и т. п.), которые характеризуются следующими возможными задержками: Arbitration Latency, Acquisition Latency, Target Latency. Суммарная задержка лежит в пределах от 2 тактов (60 нс) до 258 тактов (7,74 мкс). В случае применения мостов PCI-to-PCI суммарная максимально возможная задержка получается умножением на число мостов плюс минимум один такт задержки на каждый мост. Такого рода задержки не в последнюю очередь явились причиной миграции интерфейсов видеоподсистем с шины PCI на шину AGP. Стандарт PCI в подсистемах, критичных к задержкам, рекомендует предусматривать буфер для хранения данных в течение 30 мкс (примерно соответствует максимальной задержке для 4 мостов). Между процессором и системной магистралью в промышленных системах (в том числе с Compact PCI) всегда устанавливается хотя бы один мост PCI-to-

PCI, поэтому к 4 тактам чтения и 2 тактам задержки на локальной шине нужно добавить минимум 3 такта задержки, необходимых для перехода на следующий сегмент PCI-шины через мост PCI-to-PCI. В итоге получается, что в идеальном случае (без тактов ожидания) мы сможем считать значение за 9 тактов, или 270 нс. Эквивалентное быстроедействие при этом равно 3,7 миллионов отсчетов в секунду.

Шина ISA использует немультимплексированные линии адреса/данных, и при тактовой частоте шины 8 МГц максимальное быстроедействие без тактов ожидания составит 4 миллиона отсчетов в секунду (2 такта шины ISA). Для восьмиразрядной шины ISA, применяемой например в контроллерах MicroPC, требуется два цикла шины для получения одного 16-разрядного отсчета, поэтому максимально возможное быстроедействие составляет 2 млн. отсчетов в секунду. В современных процессорных платах переход с быстроедействующей ( $\geq 33$  МГц) локальной шины на шину ISA, как правило, осуществляется с помощью специальных мостов, для которых характерны уже упомянутые задержки на локальной шине. Но даже «заторможенная» (с двумя тактами ожидания) 8-разрядная шина ISA имеет быстроедействие 1 млн. отсчетов в секунду. На шине ISA также возможны дополнительные задержки, если шина занята каким-либо устройством, инициировавшим цикл прямого доступа в память (до 2,7 мкс для XT/4,7 МГц).

В результате получается, что в случае одиночных обращений превосходство шины PCI даже над 8-разрядной ISA не такое уж и большое. Но давайте пойдем дальше. Очевидно, что компьютерная система управления занимается не только тем, что постоянно считывает какие-либо данные, она еще и «задумывается» над ними. Типовым алгоритмом в системах автоматического регулирования является так называемый ПИД-алгоритм. В соответствии с этим алгоритмом считанное значение (например температура воды в резервуаре) сравнивается с эталонным, после чего в зависимости от величины рассогласования выдается соответствующее управляющее воздействие (например, пошире открыть заслонку горячей воды). ПИД-алгоритм со всеми необходимыми преобразованиями и проверками на граничные условия на распространенном в промышленности микропроцессоре 5x86/133 МГц (по быстроедействию соответствует Pentium 75) выполняется примерно за 100 мкс и требует за это время двух обращений к внешним уст-

ройствам (1 — считать значение и 2 — выдать управляющее воздействие).

Давайте подсмотрим, какое реальное ускорение получит пользователь, используя «идеальную» шину PCI вместо «заторможенной» (2 такта ожидания) 8-разрядной шины ISA, учитывая, что цикл записи на шине PCI выполняется в среднем на один такт быстрее, чем цикл чтения.

$$\left(1 - \frac{t_{\text{bus}} + t_{\text{memPCI}} + t_{\text{memPCI}}}{t_{\text{bus}} + t_{\text{memISA}} + t_{\text{memISA}}}\right) \times 100\% = \left(1 - \frac{100 + 0,27 + 0,24}{100 + 1 + 1}\right) \times 100\% = 1,4\%$$

Трудно рассматривать полтора процента как сколько-нибудь значительное ускорение. В связи с изложенным многие используют шину PCI в качестве шины расширения не из-за того, что она существенно влияет на быстроедействие системы, а из-за соображений моды или благодаря другим потребительским свойствам шины, таким, например, как поддержка технологии plug&play (справедливости ради надо сказать, что и для шины ISA такая технология существует). Многие производители применяют гибридный подход, когда для работы со стандартными блочными устройствами используется PCI, а для специализированного ввода/вывода — другая шина, для которой существуют необходимые платы расширения или которая общепринята для конкретной сферы применения.

### «Голосуй, или проиграешь»

Приблизительно в этом стиле написан целый цикл статей, опубликованный в последнее время в нескольких журналах. Основные идеи этих публикаций можно выразить достаточно кратко: только с шиной Compact PCI мы сможем шагнуть в светлое будущее встраиваемых систем, в связи с чем необходимо немедленно прекратить использование шины ISA, а также любых промышленных компьютеров, конструкция которых не соответствует стандартам Евромеханики. Представляется, что в упомянутых статьях не совсем корректно освещен ряд моментов, непосредственно связанных с темой данной статьи, поэтому мне хотелось бы высказать свое мнение по вопросам ISA, Евромеханики и Compact PCI

### Бедная «старушка» ISA

Автор цикла в весьма мрачных тонах описывает перспективы шины ISA в области промышленного компьютеринга. Говоря точнее, он просто предсказывает ее немедленную смерть по целой совокупности клинических признаков:

- 1) шина ISA «устарела»;
- 2) Microsoft «предложила в ближайшее время полностью отказаться от... ши-

ны ISA» и больше не будет «сертифицировать ISA-продукцию для аудиоприложений»;

3) Intel и Microsoft считают ISA «одним из самых застарелых барьеров на пути использования современного ПО типа Windows NT» и не включили ее в качестве шины расширения в «новую модель ПК». Другими словами, ISA-архитектура «серьезно противоречит технологическим и финансовым интересам крупнейших компьютерных компаний»;

4) появился могильщик в обличье Compact PCI, у которого «на малогабаритной платформе 3U Compact PCI при приблизительно равных требованиях к конфигурации получают вычислительные/сетевые/графические/дисковые узлы, по самым скромным оценкам, в 50 раз более эффективные, с точки зрения соотношения цена/производительность, чем на основе классической ISA-шины, не говоря уже о выигрыше в компактности, удобстве эксплуатации и промышленной надежности...»

Исходя из изложенного, по мнению автора, «серьезно обсуждать перспективы ISA-архитектуры... применительно к промышленному компьютерингу... — занятие бесперспективное».

После таких статей у компаний, занимающихся утилизацией драгметаллов, должно сильно прибавиться работы, потому что любой начальник, прочитав, что удельная стоимость систем с шиной Compact PCI в 50 раз ниже, чем у систем с шиной ISA, немедленно прикажет выбросить последние на свалку.

Здесь мне хотелось бы немного подержать «старушку» ISA, которая много лет верой и правдой служит компьютерному сообществу.

Очевидна глубокая взаимосвязь между рынками офисных и промышленных компьютеров, однако нельзя ставить между ними знак равенства. Приведу простой пример шины VME. По возрасту она еще старше ISA, Microsoft никогда не сертифицировала VME-платы для аудиоприложений, а в качестве шины расширения VME не входит не только в последнюю модель ПК Intel и Microsoft, но и не входила ни в одну из предыдущих. Тем не менее рынок VME-аппаратуры преспокойно существует безо всякого благословения со стороны этих уважаемых компаний уже около 20 лет. В промышленных системах до сих пор применяется и ряд других не менее древних архитектур типа STD или Multibus.

Относительно эталонной модели ПК, спецификации которой периодически



Рис. 6. Процессорная плата с шиной ISA (Advantech PCA-6154)

выпускаются компаниями Microsoft и Intel, у многих складывается впечатление, что это — сговор первых — писать все более громоздкие и неповоротливые программы, а вторых — выпускать все более быстрые процессоры для решения этой проблемы, и все это для того, чтобы выудить денежки из карманов заказчиков, вынужденных тратить на очередную модернизацию программно-аппаратных средств. Если говорить серьезно, то, взглянув на проект спецификаций PC99, мы действительно увидим рекомендацию прекратить выпуск персональных компьютеров с шиной ISA, начиная с 1 января 2000 года. Возможно, судьбу этих рекомендаций постигнет судьба «заклинаний» вокруг USB, однако я вполне допускаю, что большинство изготовителей материнских плат могут им последовать.

Значит ли это, что в области встраиваемых систем произойдут резкие перемены? Думаю, что нет. Этот рынок гораздо более инерционен и весьма консервативен. Срок жизни встраиваемых систем может составлять 10 и более лет, в течение которых потребителей, заинтересованных в выпуске запасных частей и другой совместимой продукции, меньше всего интересует мнение Microsoft о том, какую шину им надо сейчас использовать, а какую нет. Вполне понятно желание Microsoft облегчить свою жизнь, переведя всех на единую

аппаратную платформу, однако я не думаю, что и Intel так любит Windows NT, что не спит ночами, лишь бы сокрушить ISA как «застарелый барьер» на пути ее использования. На самом деле интересам Intel не противоречит ни одна из существующих шин, покуда используются ее микропроцессоры.

Что касается шины ISA, то у нее уже был опыт противоречия интересам самой крупной компьютерной компании (вспомните IBM с шиной MCA), однако она жива и здравствует. Более того, заряд живучести ISA оказался настолько сильным, что она пережила своих потомков EISA и VL-bus.

Давайте теперь вернемся к «могильщику» (Compact PCI). Правофланговым среди производителей техники Compact PCI в цикле статей названа фирма Inova Computers, у которой «вычислительные сетевые/графические/дисковые узлы» по «отношению цена/производительность» объявлены в 50 раз более эффективными, чем у аналогичных изделий с «устаревшей» шиной ISA.

Мы уже видели, что для промышленных приложений преимущества PCI в качестве шины расширения ввода/вывода (и Compact PCI как ее разновидности) перед ISA, с точки зрения быстрейшего действия, неочевидны.

Что же, давайте сравним характеристики процессорной платы Inova Computers в стандарте Compact PCI

Таблица 1. Сравнение характеристик аналогичных процессорных плат ISA и Compact PCI

	Advantech PCA-6154	Inova ICP-K233
1. Процессор	AMD K6/233 МГц	AMD K6/233 МГц
2. Кэш-память	512 кбайт	512 кбайт
3. ОЗУ	64 Мбайт	64 Мбайт
4. Сеть	10/100 Base-T, PCI	10/100 Base-T, PCI
5. Графика	1/2/4 Мбайт SVGA	2/4 Мбайт SVGA
6. Дисковые интерфейсы	EIDE+floppy, PCI	EIDE+floppy, PCI
7. Шина расширения	ISA	Compact PCI
8. Стоимость	591	2930

\* Цены указаны по состоянию на 09/98

Таблица 2. Ценовые характеристики аналогичных компьютеров Octagon и Inova

Octagon (MicroPC)		Inova	
Состав компьютера	Цена	Состав компьютера	Цена
Плата CPU MicroPC 5066 5x86/133 МГц, 32 Мбайт ОЗУ	1147	Плата CPU ICP-S86133-32 5x86/133 МГц	3019
Плата Ethernet 10 Base-T	278	10/100 Base-T Ethernet, 32 Мбайт ОЗУ	
Плата SVGA	373		
Плата 3,5" НГМД 1,4 Мбайт+2,5" НЖМД 2 Гбайт	786	Модуль 2,5" НЖМД 2 Гбайт	435
		Модуль 3,5" НГМД 1,4 Мбайт	133
		Интерфейсный модуль EIDE	80
Каркас на 4 слота	105	Каркас 30 TE	338
		Панель на 4 слота	258
Источник питания 24 В DC/DC	258	Источник питания 24 В DC/DC	666
Итого:	2947		4929

\* Цены указаны по состоянию на 09/98

(ICP-K233) и аналогичной платы фирмы Advantech с шиной ISA (PCA-6154, рис. 6). Как видно из сравнительной таблицы (табл. 1), при практически одинаковых характеристиках «вычислительных/ сетевых/ графических/ дисковых узлов» плата PCA-6154 стоит примерно в 5 раз меньше, а значит, не Compact PCI-плата в 50 раз эффективнее ISA, а наоборот, ISA-плата почти в 5 раз эффективнее Compact PCI.

Убедившись, что могильщика из Compact PCI для систем ISA с нормальным диапазоном рабочих температур не получается, перейдем теперь к расширенному диапазону -40... +85°C. Не приводя ни одной цифры, автор делает вывод, что Compact PCI-техника «в схожих конфигурациях... вычислительного/ сетевого/ графического и дискового ядра...дает выигрыш в относительной цене, как минимум, в несколько десятков раз... по сравнению с чисто ISA-решениями... типа MicroPC».

Меня немного обескуражили такие скоропалительные выводы, нехарактерные даже для обзоров офисных компьютеров, где, прежде чем делаются какие-либо заключения, приводится множество конкретных сравнительных характеристик, в том числе скорость выполнения различных типов приложений (таких как обработка текстов, работа с базами данных, пакеты 3-мерной графики и т. п.). При этом, если компьютер быстрее всех работает с текстовыми редакторами, это еще совсем не означает, что он будет быстрее всех работать с базами данных.

Впрочем, насчитав в одной из статей цикла более 20 мест, где были перепутаны слова «бит» и «байт», я перестал чему-либо удивляться. С таким подходом к аналитическим статьям несколько десятков раз с легкой руки автора могут элементарно превратиться и в несколько сотен.

Думаю, достаточно очевидно, что, сравнивая характеристики платформ для промышленной автоматизации, под

производительностью следует понимать скорость выполнения типовых задач автоматического управления. Автор же вместо серьезного анализа примитивно подменяет емкое понятие производительности системы на теоретическую пропускную способность используемой в этой системе шины расширения, вводя

тем самым читателей в заблуждение. Предлагаю сравнить характеристики конкретного вычислительного/ сетевого/ графического и дискового ядра на базе компонентов Compact PCI фирмы Inova и ISA фирмы Octagon Systems.

Из таблицы 2, где показан состав технических средств, видно, что стоимость систем Inova и Octagon составляет \$4929 и \$2947 соответственно.

С ценой мы определились, теперь поговорим немного о производительности, применительно, конечно, не к офисным приложениям, а к типичным задачам автоматического управления. Вычислительное ядро в конфигурациях Inova и Octagon практически идентично и, как уже было упомянуто, способно вычислять около 10000 эквивалентных ПИД-регуляторов в секунду. Разница в том, что периферия у компьютера MicroPC связана через медленную шину ISA, а не через PCI. Давайте посмотрим, действительно ли это так трагично.

Загрузим процессор на полную катушку, предположив, что нужно вычислять 10 ПИД-регуляторов с дискретностью в одну миллисекунду и что каждую миллисекунду нужно архивировать значение всех 10 управляемых параметров на локальной дисковой подсистеме, а кроме того, посылать их по сети на компьютер верхнего уровня. В результате на каждый цикл вычисления ПИД-регулятора у нас добавится одна операция записи в буфер контроллера НЖМД и одна операция записи в буфер сетевой карты (дополнительный служебный трафик не учитывается из-за его незначительности). В принципе, иницииро-

вав операцию записи на шине ISA, процессор MicroPC может продолжать свою работу, так как он содержит 8 байт кэш на кристалле, а с ОЗУ связан через внутреннюю локальную шину. Тем не менее, предположим, что процессор всегда ждет окончания операций ввода/вывода на шине, и посмотрим, исходя из этого, какой выигрыш в производительности получат пользователи компьютеров Inova по сравнению с пользователями MicroPC (без учета графической подсистемы). Снова предположив, что мы имеем идеальную шину Compact PCI без тактов ожидания и что обмен с сетью и НЖМД по ней осуществляется с максимально возможной скоростью (4 байта за 30 нс), а 8-разрядная шина MicroPC заторможена 2 тактами ожидания, получим следующее выражение:

$$\left(1 - \frac{t_{\text{буф}} + t_{\text{мPCI}} + t_{\text{запPCI}} + t_{\text{чжмгPCI}} + t_{\text{Етн.PCI}}}{t_{\text{буф}} + t_{\text{мISA}} + t_{\text{запISA}} + t_{\text{чжмгISA}} + t_{\text{Етн.ISA}}}\right) \times 100\% = \left(1 - \frac{100 + 0,27 + 0,24 + 0,015 + 0,015}{100 + 1 + 1 + 1}\right) \times 100\% = 3,3\%$$

Таким образом, компьютер Inova, превышая MicroPC по стоимости примерно в 1,7 раза, обеспечивает прирост производительности на типовой задаче автоматического регулирования менее 4%. То есть не Compact PCI-система в несколько десятков раз эффективнее MicroPC, а MicroPC более чем в 1,5 раза эффективнее Compact PCI даже в такой достаточно надуманной конфигурации. Трафик системной шины в приведенном примере не превышает 80 кбайт в секунду (40 кбайт обмен с АЦП/ЦАП и по 20 кбайт в сеть и на диск), что составляет менее 5% пропускной способности 8-разрядной шины ISA. Отсюда следует очень интересный вывод о том, что пропускная способность шины PCI в большинстве приложений автоматического управления оказывается невостребованной и не приводит к реальному повышению производительности.

Почему я считаю рассмотренную выше конфигурацию надуманной и не учитывал в своих рассуждениях систему отображения? Напомню, что речь идет о системах, работающих в широком диапазоне температур (-40°C... +85°C), а значит, эксплуатируемых в неотапливаемых и некондиционируемых помещениях или просто на улице. Соответственно возникают вопросы: зачем для таких систем нужна высокопроизводительная дисковая подсистема, когда НЖМД/ НГМД, работающих при температуре ниже нуля, попросту не существует. Зачем нужна высокопроизводительная видеоподсистема, когда контроллеры нижнего уровня, как правило,

не имеют индикаторов, а контроллеры среднего уровня имеют в основном информационно-диагностические индикаторы с ограниченными графическими возможностями. За операторской же станцией, где реально нужны хорошие графические возможности, человек вряд ли просидит на морозе при  $-40^{\circ}\text{C}$  больше часа. Очевидно, что для широкого класса задач возможности компьютеров Compact PCI представляются избыточными.

Рассмотрим, например, реальную задачу для «глубоко встроенного автономного бездискового контроллера». Требуемое быстродействие в районе 1000 ПИД-регуляторов в секунду, несколько локальных (не требующих гальванической развязки) аналоговых входов, пара аналоговых выходов, 10-20 дискретных входов/выходов. В случае, если контроллер верхнего уровня или операторская станция находятся на расстоянии более 200 м (применение Ethernet затруднено) и скорость обмена с ней не превышает 115 кбит/с, наиболее приемлемым интерфейсом является RS-485. Давайте посмотрим, как можно создать такой контроллер на технике Inova и Octagon.

Из табл. 3 (вспомогательные кабели и клеммные колодки в обоих случаях опущены) следует, что на базе MicroPC задача решается примерно в 5 раз дешевле. Все яснее видно, что из Compact PCI-техники фирмы Inova могильщика шины ISA для широкого диапазона температур также не получается, как бы автор ни старался даже путем искажения фактов сформировать отрицательное мнение о компьютерах MicroPC.

Разумеется, существуют нишевые приложения типа ввода и обработки изображений в реальном времени, требующие очень большого трафика по системной шине расширения. Для таких приложений шина ISA просто не подходит и даже нет никакого смысла проводить с ней какие-либо сравнения. Насколько мне известно, MicroPC никогда не предлагалась в качестве высокопроизводительной операторской станции или сервера базы данных. Это совсем другой рынок. Похоже, именно с позиционированием продукции Inova по целевым рынкам в цикле статей наблюдается некоторая путаница.

Мне, например, нигде не удалось найти данные о наличии на процессорных платах Inova «сторожевого» таймера, а ведь без него эта техника вообще не может позиционироваться в качестве промышленного контроллера.

Таблица 3. Ценовые характеристики встроенных контроллеров Octagon и Inova

Octagon (MicroPC)		Inova	
Состав контроллера	Стоимость	Состав контроллера	Стоимость
Плата CPU 6040, 386SX-25 МГц, 8 анал. вх., 2 анал. вых., 24 дискр. вх./вых.	867	Плата CPU ICPЕ-S86133-32	3019
		Плата ввода/вывода ICP-MULTI 16 анал. вх., 4 анал. вых., 24 дискр. вх./вых.	1332
		Монтажный каркас	338
		Объединительная панель (4 слота)	258
Источник питания 24 В DC/DC	258	Источник питания 24 В DC/DC	666
Интерфейс RS-485	122	Модуль Profibus DP (RS-485)	888
Итого:	1247		6501

\* Цены указаны по состоянию на 09/98

Трудно представить применение процессорных плат Inova и для «глубоко встроенных» применений, потому что, в отличие от аналогичных плат Advantech и Octagon, они не имеют возможности подвода питания, минуя системную шину, а значит, не могут в случае необходимости использоваться автономно.

Вообще меня не покидает ощущение, что, рассуждая об изделиях Inova, мы ведем речь о каких-то фантомах. На веб-сервере этой фирмы (по состоянию на 08/98) информация об изделиях датирована апрелем 1998 года и снабжена надписью «Preliminary» (предварительная). Никакого ответа на просьбу прислать каталог я также не получил. Возможно, фирма просто забывает вовремя обновлять свой сайт и высылать литературу потенциальным клиентам, однако в результате я так и не уяснил для себя, предлагаются ли какие-либо законченные изделия на рынок или они все еще находятся в стадии разработки.

В доступных мне материалах фирмы Inova я не нашел приводимых в цикле статей данных по ударопрочности и надежности процессорных плат, а объявленные параметры энергопотребления выглядят просто ошеломляюще. Трудно понять, как может процессорная плата с AMD K6-233 МГц потреблять «типовую» мощность 6,8 Вт, когда один только микропроцессор в зависимости от модели потребляет от 8 до 18 Вт (максимально до 30 Вт). Может быть, типовым считается режим остановки тактового генератора?

Рассмотрим теперь «выигрыш в компактности, удобстве эксплуатации и промышленной надежности», который якобы достигается при использовании Compact PCI. Легко показать, что MicroPC является более компактным решением, чем Compact PCI (3U). Работоспособная система может состоять из одной платы размером 114×124 мм без применения монтажных каркасов. Выпускаются малогабаритные, в том числе специальные низкопрофильные мон-

тажные каркасы, рассчитанные на 2... 8 плат.

Что подразумевал автор под удобством эксплуатации, я, к сожалению, не знаю. Встраиваемый компьютер/контроллер удобен в эксплуатации, если он не требует регламентных и ремонтных работ и вообще если про его существование можно забыть.

Термин «промышленная надежность» не совсем понятен. Так как автор сам не объяснил, чем промышленная надежность отличается от просто надежности, читателю приходится додумывать самому. По всей видимости, речь идет о вероятности отказа аппаратуры под воздействием неблагоприятных условий промышленной эксплуатации. Однако без уточнения, о каких неблагоприятных факторах или их сочетании идет речь (температура, влажность, вибрация, угольная пыль, соляной туман и т. п.), любые умозаключения на эту тему выглядят голословными. Возможно, у автора есть 11 чемовидов (или контейнеров) со сравнительными ресурсными, климатическими и механическими испытаниями всех типов Compact PCI-компьютеров и всех разновидностей промышленных компьютеров с шиной ISA и PCI, которые дают ему право делать настолько глобальные обобщения. Мне же все это представляется совершенно безосновательным.

Подытоживая сказанное, хотелось бы отметить, что «классических», или «чистых» магистрально-модульных систем, где бы все устройства, включая системное ОЗУ, «сидели» на шине ISA, практически не существует. Например, как легко заметить, плата Advantech (рис. 6) в качестве внутренней локальной шины использует PCI, а шина ISA используется только в качестве шины расширения, причем делается это не из-за патологической любви к ISA, а по той простой причине, что в настоящее время по-прежнему выпускается огромное количество плат ввода/вывода с шиной ISA. Если потребность в платах ввода/вывода с шиной ISA будет уменьшаться, то ес-

тественным образом появляются процессорные платы с шиной NLX или «числотой» PCI. А возможно, в будущем в качестве системной магистрали всех потеснят быстродействующие последовательные интерфейсы типа IEEE-1394. Пока же можно с уверенностью сказать, что, несмотря на то, что шина PCI в ее различных вариациях находит все большее применение в сфере промышленных компьютеров, шина ISA будет использоваться здесь еще долгое время.

**Промышленные и «полупромышленные»**

В немилость автора попал целый класс промышленных компьютеров как с шиной ISA, так и с шиной PCI+ISA. Называются такие компьютеры не иначе как «полупромышленные» на том основании, что размеры их плат совместимы с офисными компьютерами, а не со стандартами Евромеханики, из-за чего, по мнению автора, таким компьютерам присуще множество генетических недостатков.

Что касается названия «полупромышленные», то это, вероятно, очередной творческий вклад автора в терминологию по АСУ ТП. Правда, пока никто это начинание не поддержал, а сама ассоциация PICMG с завидным упорством продолжает называть свое детище (PCI+ISA) стандартом именно для промышленных компьютеров. Впрочем, причина появления нового термина, по-видимому, одна: убедить всех, что промышленные компьютеры с платами офисного формата, будь они с шиной ISA или PCI, все-раз воспринимать нельзя. Однако такая игра терминами может негативно отразиться на имидже известных компаний. Например вызывает удивление, когда в тексте встречается такая фраза, как «производители полупромышленных компьютеров» применительно к фирме Advantech. Общеизвестно, что Advantech является одним из лидирующих мировых производителей промышленных компьютеров и средств промышленной автоматизации.

Раз уж возникли сомнения, давайте коротко рассмотрим (рис. 7), как все-таки устроен этот загадочный промышленный компьютер с платами офисного стандарта (будем называть его IBM PC совместимым) и приведем его основные отличительные особенности.

По своей архитектуре промышленный компьютер может иметь целый ряд не-



**Рис. 7. Типовое шасси промышленного компьютера (Advantech IPC-610)**

маловажных дополнений, таких как:

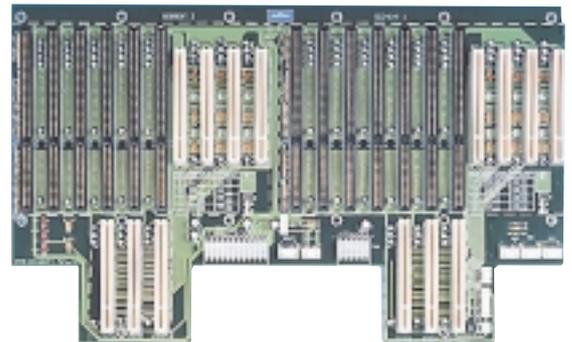
- «сторожевой таймер», автоматически перезапускающий систему в случае ее «зависания»;
- поддержка работы с твердотельными накопителями на базе флэш-памяти в приложениях, где обычные механические НЖМД не подходят по своим характеристикам;
- хранение параметров конфигурации (SETUP) в энергонезависимом ППЗУ вместо CMOS-памяти с батарейкой;
- защита портов ввода/вывода от разрядов статического электричества;
- удовлетворяющая особым требованиям система электропитания;
- средства обеспечения отказоустойчивости, такие например, как устройства контроля за системой охлаждения, дублирование важнейших узлов компьютера и т. п.

Остальные отличия касаются в основном конструктивных особенностей, например:

- вместо обычной материнской платы используется пассивная объединительная плата, куда наравне с другими вставляется процессорная плата. Это существенно уменьшает время на ремонт системы;
- как правило, промышленные компьютеры выполнены в прочном металлическом корпусе, предназначенном для монтажа в стойку;
- применяются специальные приспособления для крепления плат и дисковых накопителей, обеспечивающие

повышенную ударо- и вибропрочность;

- применяется специальная система воздушного охлаждения с пылеулавливающим фильтром, обеспечивающая внутри корпуса компьютера положительное давление очищенного воздуха;
- отсек с накопителями может снабжаться запираемой дверцей, защищающей их от загрязнений и несанкционированного доступа;



**Рис. 8. Двухсекционная объединительная панель (Advantech PCA-6120DP)**

- число гнезд расширения может достигать 20 в отличие от 5-7 в офисных компьютерах.

Применяя специальные секционированные объединительные панели, можно в одном корпусе разместить до 4 независимых вычислительных систем. На рис. 8 показан пример такой панели на две системы, каждая из которых может содержать до 4 плат расширения с шиной ISA и до 4 плат расширения с шиной PCI. Рис. 9 иллюстрирует разнообразие конструктивных испол-



**Рис. 9. Разнообразие конструктивных исполнений промышленных компьютеров (Advantech MBPC-641, IPC-622 и IPC-680E)**



Рис. 10. Типовая промышленная рабочая станция (Advantech AWS-825)

разные конструктивные исполнения промышленных компьютеров от простейших малогабаритных систем с несколькими гнездами расширения ISA/PCI и возможностью крепления к горизонтальным и вертикальным поверхностям до мощных стоечных отказоустойчивых шасси с системой контроля температуры в корпусе и с возможностью «горячей» замены блоков питания, вентиляторов и дисковых накопителей.

Особый класс промышленных компьютеров представляют собой так называемые промышленные рабочие станции, где в едином корпусе размещены собственно промышленный компьютер, дисплей и клавиатура (рис. 10). По передней панели такие компьютеры могут иметь степень защиты IP65, то есть быть полностью пыленепроницаемыми и выдерживать направленную под любым углом сильную струю воды.

Вернемся теперь к «генетическим» недостаткам, которые, по мнению автора, не дают таким компьютерам права носить достойное звание промышленного.

#### «Неэффективная и недостаточно надежная конструкция модулей»

Словосочетание «неэффективная конструкция модулей», безусловно, несет в себе негативный эмоциональный заряд, однако никакого рационального смысла за ним не обнаруживается. Лозунг «конструкция должна быть эффективной» сильно напоминает приснопамятный «экономика должна быть экономной». Что касается надежности, то это вещь вполне осязаемая и обозначает вероятность отказа модуля за определенный промежуток времени при заданных условиях эксплуатации. Как правило, надежность определяется расчетным путем, исходя из надежности используемых в модуле компонентов, поэтому делать выводы о надежности,

исходя из размера или формы платы, нельзя. Один компонент, а именно разъем системной шины, присутствует всегда, и уже давно показано («СТА» 1/96), что надежность краевых ламельных разъемов (ISA, PCI) ничем не уступает штыревым (Compact PCI).



Рис. 11. Промышленный компьютер с фронтальным доступом к платам ISA (Advantech MIC-2000)

#### «Крайне неудобная система организации ввода/вывода»

Чтобы понять, что здесь имеется в виду, читателю нужно мобилизовать все свои дедуктивные способности. Понятно, когда говорят, что костюм неудобен. Когда же при сравнении различных технологий указывают на «неудобство системы организации» согласитесь, что не лишне было бы дать дополнительные пояснения.

На самом деле ввод/вывод у Compact PCI и у промышленных компьютеров ISA, PCI организован практически одинаково. В обоих случаях разъемы располагаются на крепежных планках плат расширения, причем площадь, отводимая для этого у плат ISA, PCI (81×12 мм), практически совпадает с аналогичным параметром для плат Евромеханики 3U (81×15 по МЭК 603-2). Платы Евромеханики высотой 6U имеют увеличенную площадь под ввод/вывод. Аналогичные возможности, а также фронтальный доступ к соединителям обеспечивает, на-

пример, промышленный компьютер MIC-2000 с шиной ISA (рис. 11). От платы Compact PCI через специальные объединительные панели линии ввода/вывода могут быть подключены с тыльной стороны монтажного каркаса. При этом, правда, требуется либо обеспечить двухсторонний доступ к оборудованию, либо размещать каркасы на специальных поворотных рамах. Тем не менее, такой

подход находит применение, особенно в сфере телекоммуникаций, так как позволяет заменять платы в каркасе, не затрагивая внешние соединения. Для промышленных компьютеров с платами формата IBM PC аналогичные возможности обеспечиваются в конструктиве NLX.

#### «Ненадежная схема принудительной и естественной вентиляции»

Явно голословное утверждение, так как стандартами ISA, PCI или Compact PCI способы построения систем вентиляции не определяются. Забота об этом ложится на разработчиков конкретной аппаратуры, которые проводят расчеты, моделирование или натурные исследования тепловых режимов оборудования. Говоря о надежности схемы естественной вентиляции, необходимо отметить, что отказать такая схема может, только если исчезнет гравитация, пропалет атмосфера или произойдут глобальные изменения климата и температура воздуха станет выше температуры охлаждаемых компонентов (примерно 70-125°C). Представляется, что вероятность наступления таких событий одинакова и для Compact PCI, и для любой другой шины расширения.

Что касается принудительной вентиляции, то мне опять непонятно, почему вентилятор, обдувающий плату в формате IBM PC, работает менее надежно,



Рис. 12. MicroPC фирмы Octagon Systems

чем тот же вентилятор, обдувающий плату в формате Евромеханики.

Давайте все-таки без эмоций остановимся на системах вентиляции более подробно.

Для магистрально-модульных систем естественное охлаждение применяется в случае, если уровень тепловыделения компонентов не очень большой и тепло может быть отведено за счет пассивного теплообмена с окружающей средой. При этом компоновка системы с вертикальным расположением объединительной панели, как правило, улучшает тепловой режим аппаратуры при условии обеспечения свободного тока воздуха. Такая компоновка является типовой для компьютеров Compact PCI и применяется в ряде систем с шиной ISA, таких как MIC-2000 фирмы Advantech (рис. 11) и MicroPC фирмы Octagon Systems (рис. 12). В случае, когда естественной вентиляции недостаточно, применяется принудительная вентиляция, при которой ориентация объединительной панели теряет свою значимость. Существует и ряд более экзотических методов принудительного охлаждения, например с использованием в качестве теплоносителя различных жидкостей. Как правило, каркасы в стандарте Евромеханики предназначены для монтажа в 19" стойки, поэтому вопросы охлаждения обычно решаются на системном уровне путем установки в стойку специальных вентиляторных блоков, кондиционеров и т. п. Если качество окружающего воздуха неудовлетворительно (пыль, пары и т. п.), применяются специальные фильтры или метод двухконтурного охлаждения. В случае, если каркас необходимо снабдить автономной системой охлаждения, она обычно размещается в специальном «поддоне» высотой 1U.

Так как исторически стандарты Евромеханики обслуживали потребности крупных централизованных систем и наличие собственной системы охлаждения для каркасов Евромеханики — это скорее исключение, чем правило, то для IBM PC совместимых промышленных компьютеров система принудительного охлаждения со встроенным воздушным фильтром является обязательным атрибутом (кроме компьютеров типа MicroPC, ориентированных на малопотребляющие приложения).

Например, в отказоустойчивых компьютерах фирмы Advantech предусмотрены контроль и сигнализация состояния вентиляторов и температуры воздуха внутри корпуса. Применяются блоки сдвоенных вентиляторов с возможностью «горячей» замены. Поэтому в сред-

нем IBM PC совместимые промышленные компьютеры более приспособлены для автономной работы, в том числе в запыленной атмосфере.

В любом случае надежность системы вентиляции зависит не от размера и формы плат расширения, а от качества проектирования самой системы вентиляции, с учетом, естественно, применяемых способов компоновки плат, расположения блока питания, технических эксплуатационных требований к компьютеру и т. п.

#### «Низкая вибростойкость»

Как мы уже видели, промышленные компьютеры имеют специальные амортизирующие прижимы для плат, которые обеспечивают повышенную ударо- и вибростойкость. Если этого оказывается недостаточно, то применяют 4-точечное крепление плат. Такое крепление является типовым для конструктивов Евромеханики, а в области промышленных компьютеров с шиной ISA можно привести примеры MIC-2000 (Advantech, рис. 11) и MicroPC (Octagon Systems, рис. 12). Известно, что в плане опасности возникновения механических резонансов при высокочастотных вибрациях важна площадь и линейные размеры плат. С этой точки зрения, например, размеры и площадь плат MicroPC (114×124 мм, 1,4 дм<sup>2</sup>) кажутся предпочтительнее, чем размеры плат Евромеханики высотой 3U (100×160 мм, 1,6 дм<sup>2</sup>), и уж тем более предпочтительнее чем размеры плат высотой 6U (233×160 мм, 3,7 дм<sup>2</sup>). Это, кстати, подтверждается проведенными в России испытаниями MicroPC на удары до 70 g и вибрацию с ускорением до 15 g в полосе частот до 2500 Гц. Выводы же из всего этого следующие:

- 1) 4-точечная схема крепления плат не является исключительной принадлежностью стандартов Евромеханики и существовала задолго до появления этих стандартов;
- 2) вибростойкость зависит от конструкции конкретного промышленного компьютера и от применяемых способов крепления плат расширения.

Поэтому нельзя скопом причислять к разряду невибростойких все компьютеры, не вписывающиеся в стандарты Евромеханики.

#### «Неудобная компоновка для быстрого восстановления/ремонта системы»

Как мы уже видели, существуют промышленные компьютеры с шиной ISA (рис. 11, 12), использующие такую же компоновку, как у евромеханических

компьютеров, а соответственно и не уступающие последним по времени восстановления/ремонта. Тем не менее, для большинства промышленных компьютеров, использующих платы обычного формата, время, требующееся собственно для замены модулей, действительно больше, чем у конструктивов Евромеханики. Если для замены евромеханической платы нужно открутить всего два винта, то для промышленных персоналок традиционной компоновки нужно открутить от 5 до 9 винтов. Соответственно и по времени это может занять не пару минут, а 5-10 минут. В то же время вряд ли можно назвать жизненной ситуацией, когда обслуживающий персонал наперед знает, какой модуль выйдет из строя и стоит рядом наготове с отверткой в одной руке и запасным модулем — в другой. Этапу собственно замены модуля обычно предшествуют такие этапы, как диагностирование неисправности и получение запасного модуля у материально ответственного лица, которое, не дай Бог, вдруг ушло на обед. К этому надо также добавить время, затрачиваемое персоналом на перемещение из пункта А, где он дежурит, в пункт В, где находится неисправная система, затем в пункт С, где находится комплект запасных частей, и обратно. Конечно, возможны вариации, однако несомненно, что реальное время восстановления/ремонта, особенно для распределенных систем, зачастую в большей степени зависит от квалификации персонала и ряда административных мер, чем от конструктивных особенностей аппаратуры.

Где же все-таки экономия 5-10 минут на замену модуля может дать заметное улучшение времени восстановления? Вот основные характеристики таких систем:

- 1) модули расширения имеют средства самодиагностики;
- 2) узкая номенклатура применяемых модулей, упрощающая формирование ЗИП;
- 3) система является централизованной, а ремонтный персонал осуществляет дежурство (при необходимости круглосуточное) в непосредственной близости от системы (например в том же помещении);
- 4) комплект запасных частей находится в распоряжении ремонтного персонала также в непосредственной близости от обслуживаемой системы;
- 5) обслуживающий персонал является квалифицированным и ответственным.

Можно вполне определенно сказать, что эта совокупность признаков харак-

терна скорее для телекоммуникационных систем, чем для систем промышленной автоматизации.

Обсуждая вопросы восстановления/ремонта, нелишним будет упомянуть о возможности «горячей» замены модулей без выключения питания. В настоящее время ассоциация PCI SIG работает над добавлением таких возможностей к стандарту PCI. И остается только надеяться, что предлагаемые решения будут совместимы с аналогичной инициативой в рамках другой ассоциации PCIMG.

Разумеется, «горячая» замена не имеет никакого смысла, если вышла из строя процессорная плата, или если в результате отказа платы расширения произошел сбой программного обеспечения, или оказалась заблокирована системная магистраль. В этих случаях оставшиеся работоспособными платы расширения все равно не смогут продолжить свое функционирование, в связи с чем не имеет значения, происходит ремонт при включенном питании или выключенном. Другими словами, «горячая» замена применима там, где отказ платы расширения не приводит к отказу системы в целом, а лишь вызывает деградацию ее функциональных возможностей. Например, если в сервере компьютерной телефонии каждая периферийная плата автономно отвечает за определенное количество телефонных каналов, то отказ одной из таких плат вызовет нарушения в функционировании только вполне определенной группы каналов, не затронув остальных.

Необходимо отметить, что наличие возможности «горячей» замены модулей само по себе не приводит ни к увеличению их надежности, ни к существенному уменьшению времени ремонта/восстановления системы. Достигается лишь возможность замены модулей без отключения сохранившей работоспособность части системы. Такие системы, как правило, называются системами повышенной готовности (high availability).

Функция «горячей» замены применяется в основном в телекоммуникационных системах и гораздо в меньшей степени в сфере промышленной автоматизации. Причина в том, что системы автоматизации в промышленности становятся все более распределенными, а локальные промышленные контроллеры управляют технологическим объектом как единым целым и любой отказ платы ввода/вывода ведет к потере управляемости объекта. Например, в системе управления паровым котлом нет

никакого смысла во время ремонта поддерживать во включенном состоянии управление паровой заслонкой в то время, как отказали каналы считывания давления, и, наоборот, нет смысла считывать давление, если нет возможности управлять заслонкой. Другими словами, возможность «горячей» замены бесполезна, если отказ любой платы ведет к потере управления объектом и на время ремонта объект все равно нужно останавливать, переводить на ручное управление, или если в дело вступает система аварийных блокировок. По аналогичной причине и возможность «горячей» замены, и время восстановления контроллера не имеют абсолютной самоценности, а должны рассматриваться в системном контексте. Так, например, даже если техник немедленно диагностировал отказавший модуль и заменил его всего за 2 минуты (благо в кармане был запасной), иногда потеря управления объектом даже на такое короткое время может привести к аварийной ситуации. Поэтому в ответственных приложениях для увеличения надежности и минимизации влияния человеческого фактора применяют дублированные или даже троированные системы управления с немедленным переключением на резервный комплект в случае каких-либо неприятностей с основным. Время восстановления отказавшего комплекта при этом становится не столь критичным. Если же дублирование производится не на уровне систем, а на уровне плат ввода/вывода, объединенных общими цепями питания, то здесь возможность «горячей» замены просто необходима. Из рассмотренных ранее примеров видно, что стоимость, например, системы Compaq PCI с дублированием и «горячей» заменой плат расширения может оказаться выше, чем стоимость полностью дублированной (два независимых компьютера) системы на базе MicroPC. Отсюда видно, что выбор путей повышения надежности является многопараметрической задачей, для которой нет оптимального решения на все случаи жизни.

Широко распространен компромиссный, с экономической точки зрения, подход, когда дублируются наименее надежные узлы компьютера (например блок питания, дисковый накопитель и т. п.), для которых, как правило, обеспечивается возможность «горячей» замены.

Краткое резюме из сказанного состоит в том, что:

1) скорость восстановления/ремонта зависит не только от компоновки промышленного компьютера;

2) существуют промышленные компьютеры с шиной ISA, которые по оптимальности своей компоновки ничем не уступают стандартам Евромеханики;

3) возможность «горячей» замены плат расширения сама по себе не повышает надежности, однако часто используется как составная часть такого метода повышения надежности, как резервирование;

4) важность быстрого восстановления/ремонта системы зависит от конкретного приложения, а конструктивные особенности, позволяющие производить ускоренную замену плат, находят применение в основном в централизованных системах.

#### **«Слабые возможности для поддержки современного PCI ориентированного ввода/вывода»**

Здесь я так и не взял в толк, почему компьютер с полноценной шиной PCI (например PCI+ISA по PCIMG) имеет слабые возможности для поддержки ориентированного на эту шину ввода/вывода. По числу гнезд расширения (до 16 PCI-плат в одном шасси) эти компьютеры также ничем не уступают своим евромеханическим коллегам.

#### **Прогноз благоприятный, будет жить**

Из сказанного видно, что список приведенных автором недостатков не поддерживает серьезной критики, а реальная жизнь это только подтверждает. Так, например, уже около 10 лет существует евромеханический вариант шины ISA, известный как ISA96, или AT96, который, однако, не смог сколько-нибудь заметно потеснить промышленные компьютеры с платами ISA обычного формата. Поэтому нет никаких оснований считать, что евромеханические варианты PCI добьются чего-нибудь существенно большего. С точки зрения конструкции плат расширения существует причина, по которой промышленные компьютеры с платами офисного формата никогда не будут вытеснены ни Евромеханикой, ни каким-либо другим стандартом на конструктивы.

Причина эта очень проста. Рынок специализированных применений гораздо меньше рынка офисных компьютеров, для которых существует огромный задел выпускаемых большими тиражами (а значит дешевых) плат расширения различного назначения. Возможность непосредственного использования этого задела в промышленных приложениях всегда будет одним из самых привлекательных, а зачастую и решаю-

щим, потребительским свойством промышленных компьютеров. Это даже не зависит от того, какую форму, размеры и системную шину будут иметь модули расширения для офисных компьютеров в будущем.

### Compact PCI: Трудности роста Позиция на рынке

После прочтения обсуждаемого цикла статей у читателя может сложиться впечатление, что для промышленных компьютеров только шина Compact PCI имеет право на жизнь в 21 веке, так как она основана на «наиболее популярном в промышленном и военном мире конструктиве Евромеханика». Суровая действительность, однако, пока говорит о другом. Данные компании ESR о долях рынка, занимаемых различными шинами во встраиваемых PC, приводились нами ранее. Согласно исследованиям другой компании Venture Development Corp., объем продаж Compact PCI для встраиваемых систем составил в 1997 году всего \$18,2 млн., хотя некоторые горячие головы предсказывали от \$50 млн. до \$200 млн. В этом же 1997 году объем продаж обычной PCI для встраиваемых систем превысил \$320 млн. Если вернуться к компании ESR, то согласно ее оптимистическим оценкам, доля Compact PCI во встраиваемых персональных даже на родине стандарта в Северной Америке не будет в 1999 году превышать 6 % (по сравнению с 18 % для PCI и 9% для ISA+PCI по PICMG). Общая же доля встраиваемых PC, приходящаяся на Евромеханику, включая VME, не превысит в 1999 году 20%.

### Область применения

По мнению автора, «Compact PCI-дизайн ориентирован прежде всего на вымывание тех промышленных встраиваемых технологий, основой которых является старушка-шина ISA». Однако, если мы вспомним основные особенности Compact PCI, такие как широкая пропускная способность шины и евромеханический конструктив, то в памяти возникают совсем другие имена. Общеизвестно, что Compact PCI рассматривается большинством потенциальных пользователей как дешевая альтернати-

ва VME там, где не требуется многопроцессорности и большого числа плат расширения. Именно среди пользователей VME, прежде всего в телекоммуникационных приложениях, и развертывается основная борьба за передел рынка. Только во вторую очередь Compact PCI может найти применение в областях, где ранее использовались «евромеханические» версии шины ISA. Здесь, кстати, позиции у Industrial PCI кажутся более предпочтительными, чем у Compact PCI.

Что касается промышленных компьютеров с платами ISA «офисного» формата, то PCI-платы аналогичного формата (а уже никак не Compact PCI) кажутся более естественной кандидатурой на роль «вымывателей».

### Проблемы совместимости

В отличие от Industrial PCI, которая использует электрические спецификации PCI без каких-либо изменений, Compact PCI имеет ряд особенностей. И хотя обе шины используют практически одинаковые 5-рядные метрические телекоммуникационные разъемы, Compact PCI разрешает подключать до 7 плат расширения вместо 4 у Industrial PCI. В результате не все компоненты для шины PCI, успешно функционирующие в составе офисных компьютеров, нормально работают в составе Compact PCI-систем (см., например, [www.pixsci.com/Techlibrary/Documents/DevFailure.html](http://www.pixsci.com/Techlibrary/Documents/DevFailure.html)).

Существует еще одна проблема, связанная с адаптацией Compact PCI под различные нишевые рынки. В настоящее время идет работа над стандартизацией таких расширений Compact PCI, как VME64, телекоммуникационная шина H.110, двухсекционные панели, специальные платы мостов и т. п. Ряд компаний предлагает свои собственные подходы по использованию свободных контактов шины (в основном на разъемах J3-J5). Казалось бы, островком стабильности мог быть Compact PCI высокой 3U. Но и здесь 64-разрядное расширение PCI на разъеме J2 может быть переопределено различными путями (например в качестве линий ввода/вывода для мезонинных модулей Industry Pack или PMC). Уже сейчас существует более

20 различных вариантов объединительных панелей Compact PCI, а с внедрением «горячей» замены их число станет еще больше. Ряд производителей, таких как Motorola, Sun Microsystems и Force Computers, пытаются продвигать свои варианты объединительных панелей в качестве стандарта de-facto. Все это приводит к проблемам совместимости плат различных изготовителей, а также к дроблению и сегментации рынка Compact PCI, замедляя его развитие и препятствуя уменьшению стоимости технических средств.

### Итого

В заключение этой в значительной мере полемической части статьи я хочу отметить, что, без сомнений, Compact PCI имеет хорошие шансы, чтобы стать наиболее распространенной реализацией PCI для евромеханических конструктивов, однако никакого апокалипсиса и исчезновения с лица земли других архитектур промышленных компьютеров не предвидится. Думаю, определяющую роль в успехе того или иного подхода будут играть технико-экономические параметры аппаратно-программных средств для конкретной сферы применения. Пользователи и разработчики встраиваемых, в том числе промышленных, систем действуют, как правило, весьма рационально и прагматично. Если за те же деньги и не в ущерб другим характеристикам системы можно получить больше функциональных возможностей, увеличить быстрдействие, обеспечить «горячую» замену и т. п., то грех этим не воспользоваться. В то же время основная масса потребителей изделий промышленной электроники совсем не горит желанием переплачивать за те функции и характеристики, которые реально им не нужны, как бы их не убеждали в необходимости «вложения инвестиций в ...новейший промышленный стандарт». ●