



Медленно, но уверенно: от PCI к PCI Express

Сахнюк А.А., "ХОЛИТ Дэйта Системс", г.Киев

РCI Express - это новый стандарт локальной шины для PC. И уже на рынке средств автоматизации появились более производительные устройства нового поколения, выполненные по технологии ввода/вывода PCI Express. Так что же это такое PCI Express? В чем состоят достоинства этой шины, каковы ее физические и программные уровни? Давайте попробуем разобраться, но сначала немного вспомним, с чего все начиналось.

Хронология развития архитектуры PC

Когда PCI-шина была "введена в эксплуатацию" в начале 1990-х, она достаточно быстро стала вытеснять различные локальные шины, присутствующие в то время на платформе PC AT, а именно VESA, EISA, ISA и Micro Channel. Сегодня в компьютере офисного типа этих шин уже нет. PCI есть, AGP для видео есть, а ISA нет и больше не будет. Да и PCI, и AGP, возможно, трансформируются в PCI Express или что-то подобное.

Правда, необходимо заметить, что в индустриальном секторе компьютерных решений шина ISA присутствует. Это можно объяснить несколькими причинами. Во-первых, для ISA создано и находится в эксплуатации достаточно большое количество УСО: АЦП, ЦАП, ЦВВ и т.п. Во-вторых, быстродействия этих устройств для очень многих практических задач вполне достаточно. В-третьих, ISA поддерживается рядом PC-совместимых платформ для встраиваемых приложений, например PC/104. Все это так просто не перечеркнуть. И объяснения можно продолжить, а вывод может получиться интересным и неординарным - более древняя ISA переживет стандартную PCI. А почему бы и нет? Но, вернемся к нашей теме.

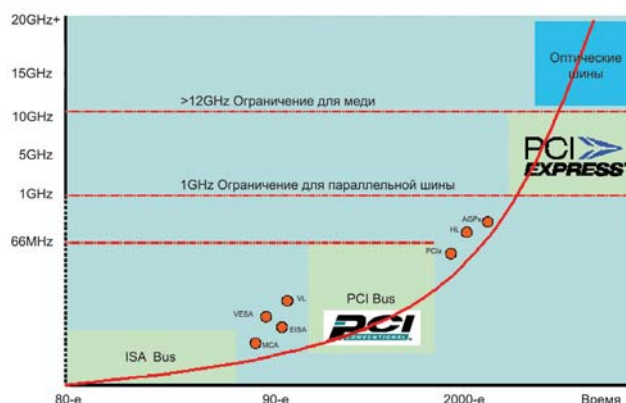
Вначале PCI реализовывалась как соединительный канал от чипа к чипу и как замена для медленной шины ISA. 33 МГц-овая шина PCI хорошо соответствовала требованиям пропус-

кной способности средств В/В доступных в то время периферийных устройств. Сегодня, однако, дела обстоят совсем иначе. Рабочие частоты процессора и памяти увеличились значительно, а тактовая частота шины PCI возросла лишь с 33 МГц до 66 МГц.

При скорости процессора в 3 ГГц появились технологии ввода/вывода типа Gigabit Ethernet или IEEE 1394В, которые могут занять почти всю доступную полосу пропускания шины PCI в качестве единственного устройства на шине.

Хронология шины PCI

PCI-шина имела множество преимуществ перед предыдущими реализациями локальных шин. Наиболее важным была независимость процессора и истинный алгоритм Plug&Play. Буферизация с помощью мостов типа процессор-шина по существу изолирует сигналы на шине центрального процессора от локальной шины PCI. Эта особенность дает два основных преимущества в работе системы. Первое - способность выполнять параллельные циклы на PCI-шине и шине центрального процессора. Второе - позволяет повысить частоты внутренних шин в центральном процессоре независимо от скорости PCI-шины и ее загрузки. При поддержке технологии управления шиной "bus mastering", PCI устройства могут получить доступ к шине через арбитражный процесс и управлять обменом по



шине непосредственно, не дожидаясь реакции центрального процессора на запрос обслуживания, что приводит к сокращению полного времени ожидания при обслуживании операций В/В. Функция Plug&Play, которая позволяет устройствам быть автоматически обнаруженными и сконфигурированными, устраняет необходимость установки перемычек для базового адреса и прерываний, которые беспокоили многих пользователей ISA-плат.

Вызов шине PCI

Хотя PCI-шина имела большой успех в свое время, ныне она сталкивается с рядом проблем, связанных с ограничением полосы пропускания и количества контактов на разъеме, недостатками в выполнении изохронной передачи данных в реальном масштабе времени, и отсутствием особенностей, требуемых для устройств В/В следующего поколения, таких как качество обслуживания, управление питанием и виртуализация устройств В/В.

С момента внедрения PCI было несколько усовершенствований спе-

Шина PCI Полоса (МГц)	Частота тактового сигнала (МГц)	Полоса (МБ/с)	Область применения
32	33	132	настольная/мобильная/индустриальная
32	66	264	Сервер
64	33	264	Сервер
64	66	512	Сервер

цификации с целью достижения более полного удовлетворения растущих потребностей устройств В/В.

Пригодная для использования полоса пропускания PCI-шины и ее клонов может оказаться значительно меньше, чем теоретическая полоса пропускания из-за ограничений протокола и шинной топологии. На PCI шине доступная полоса пропускания разделена между всеми устройствами шины, что приводит к сужению полосы пропускания, доступной каждому отдельному устройству, при увеличении количества устройств на шине.

Так как тактовые частоты шины PCI не соответствуют требованиям некоторых приложений, были предложены модификации шины PCI типа PCI-X и AGP (Расширенный Графический Порт), которые призваны расширить полосы пропускания путем увеличения частот тактовых сигналов. При этом возникает побочный эффект - соразмерное сокращение длины проводников и числа соединителей, которыми шинные приемопередатчики могут управлять, что ведет к

делению шины на сегменты. Каждый из этих сегментов должен управляться хостом через специальный кремниевый мост. Например, для 64-битной шины PCI-X нужны 150-контактные разъемы. И "чайнику" ясно, что это является дорогостоящим решением и создает дополнительные сложности при разводке проводников от чипа моста до разъемов шины. Эта дополнительная стоимость оправдана только там, где полоса пропускания является критической, например, в серверах.

Приложения типа систем сбора данных, функциональных генераторов сигналов специальной формы и приложений мультимедиа, включая потоковое аудио и видео, требуют гарантированной полосы пропускания и детерминированного времени ожидания, без чего у пользователя возникнут сбои. Оригинальная спецификация PCI не рассматривает эти проблемы, потому что подобные приложения не были распространены во время разработки спецификации. Сегодняшние приложения передачи данных, например, высококачественное неупакованное видео и аудио, определяют потребность в системе

ввода/вывода, поддерживающей изохронную передачу. Дополнительный эффект такого метода передачи состоит в том, что локальные устройства PCI Express требуют намного меньше памяти для буферизации, чем типичное PCI-устройство, когда нужно преодолевать ограничения полосы пропускания.

Наконец, требования к устройствам В/В следующего поколения типа качества обслуживания и управления питанием позволят улучшить целостность данных и обеспечат выборочное выключение системных устройств. Это важный параметр, поскольку мощность потребления современных PC продолжает расти. Виртуальные каналы позволяют перенаправлять данные по виртуальным



маршрутам, если другие каналы окажутся заблокированными незавершенными транзакциями. Некоторые из этих особенностей требуют программного управления вне области традиционной спецификации устройств PCI и не будут доступны, пока операционная система не поддержит их специальными драйверами устройств.

Хотя PCI демонстрирует признаки старения в некоторых областях, переход на PCI Express будет долгим, и PCI-шина останется сильным соперником в борьбе за платы расширения В/В еще надолго. Современные PC, выпущенные в 2005г. и позже, будут иметь комбинацию PCI и слотов PCI Express, с постепенным преобладанием PCI Express по мере внедрения новой технологии.

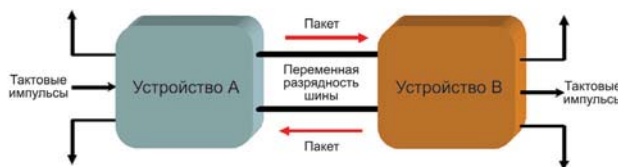
Архитектура PCI Express

Архитектура PCI Express определена уровнями. Совместимость с моделью адресации PCI (архитектура загрузки с плоской

моделью памяти) поддерживается, чтобы гарантировать, что все существующие приложения и драйверы будут работать без изменений. Конфигурация PCI Express использует стандартные механизмы, определенные в спецификации Plug&Play PCI. Программные уровни генерируют запросы на чтение и запись, которые передаются уровнем транзакций на устройства ввода/вывода, используя пакетный протокол на основе расщепленных транзакций. На уровне связи к этим пакетам добавляются порядковые номера и коды контроля и коррекции ошибок, чтобы получить надежный механизм передачи данных. Базовый физический уровень состоит из двойного симплексного канала, работающего как пара на передачу и пара на прием. Передающую и приемную пару вместе называют маршрутом. Начальная скорость 2.5 Гб/с обеспечивает номинальную полосу пропускания около 250 МБ/с в каждом направлении маршрута. Если принять во внимание "накладные расходы" протокола, то получим полосу около 200 МБ/с, пригодную для передачи данных. Это в два-четыре раза выше, чем у классических PCI устройств. И в отличие от PCI, где полоса пропускания разделена среди устройств на шине, полоса пропускания PCI Express обеспечивается для каждого устройства.

Физический уровень

Элементарный канал связи PCI Express состоит из двух низковольтных соединенных по переменному току дифференциальных пар сигналов (передающая и принимающая пары). При передаче физического сигнала используется схема коррекции предискажений для уменьшения межсимвольной интерференции и улучшения целостности данных. Тактовые сигналы данных встраиваются, используя кодирование по схеме 8b/10b, для достижения высоких скоростей передачи данных. Начальная частота передачи сигналов составляет 2.5 Гб/с в одном направлении и, как ожидается, будет увеличиваться по мере усовершенствования кремниевой технологии до 10 Гб/с (практический максимум для сигналов в меди).



Физический уровень передает пакеты между уровнями связи двух устройств PCI Express.

Полоса пропускания канала PCI Express может линейно масштабироваться путем добавления пар сигналов и формирования множественных маршрутов. Физический уровень обеспечивает суммарную ширину маршрута x1, x2, x4, x8, x12, x16 и x32 и расщепляет данные байта. Каждый байт передается с кодированием 8b/10b поперек маршрута. Эта разборка данных и повторная сборка прозрачны для других уровней. Во время инициализации канал связи устанавливается в результате переговоров путем определения размеров маршрута и частоты обмена между двумя устройствами в каждом направлении. Никакое встроенное программное обеспечение или программное обеспечение операционной системы при этом не используется. Архитектура PCI Express предусматривает поддержку будущих расширений через обновление скорости и совершенствование методов кодирования. Такие изменения будут воздействовать только на физический уровень.

Возможность использования маршрута различной ширины в PCI Express требует, чтобы пользователь был внимательным при выборе платы расширения по отношению к параметрам системной платы. Кроме графических плат, которые имеют тенденцию быть x16, многие ранние версии плат расширения используют одинарную ширину шины. Первые модели компьютеров с PCI Express имеют как x16 соединитель так и некоторую комбинацию x1, x4 и x8 слотов, в зависимости от области использования компьютера. PCI Express допускает некоторую функциональную совместимость между шинами различной ширины. Использование платы расширения большей ширины в соединителе с меньшей шириной рассматривается как подключение вниз. Например, Вы можете вставить 64-битную плату в 32-разрядный слот PCI. Однако в PCI Express подключение вниз с уменьшением ширины физически невозможно из-за дизайна платы расширения и соединителей. Другой случай - использование платы расширения меньшей ширины в соединителе с большей шириной - является подключением вверх. Подключение возможно, но с оговоркой, что изготовитель системной платы обязан поддерживать плату расширения только одинарной скорости передачи

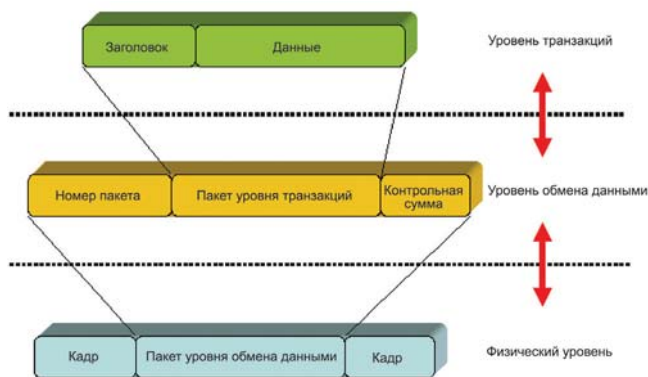
данных. В такой конфигурации потенциально не используются затраты на плату расширения с более быстрым интерфейсом. Вопрос о том сможет ли специфическая системная плата поддерживать плату расширения на ее полной скорости передачи данных в конфигурации с подключением вверх должен быть подтвержден изготовителем системной платы. Например, некоторые системные платы могут обработать x4 плату расширения на ее полной скорости передачи данных при установке в слот x8 или x16, в то время как другие системные платы от того же самого изготовителя могут выполнять обмен только в режиме x1.

Уровень связи

Основная роль уровня связи - это гарантировать надежную доставку пакета по линии связи PCI Express. Уровень связи отвечает за целостность данных и добавляет порядковый номер и коды контроля и коррекции к пакету уровня транзакций. Большинство пакетов создаются на уровне транзакций. Протокол управления потоком данных, ориентированный на получение разрешения на передачу, гарантирует, что пакеты будут переданы только при свободном буфере, что устраняет любые повторения пакетов и связанное с этим сужение полосы пропускания шины. Уровень связи автоматически повторяет передачу испорченных пакетов.

Уровень транзакций

Уровень транзакций получает запросы на чтение и запись от программного уровня и создает пакеты запроса для передачи их на уровень связи. Все запросы осуществляются как расщепленные транзакции, поскольку операции разбиения и некоторые из пакетов запроса требуют пакета ответа. Уровень транзакций также получает пакеты ответа от уровня связи и сопоставляет им первоначальные программные запросы. Каждый пакет имеет уникальный идентификатор, который позволяет перенаправ-



лять его соответствующему создателю. Формат пакета предполагает 32-разрядную адресацию памяти и расширенную адресацию памяти на 64 бита. Пакеты также имеют атрибуты типа "без просмотра", "облегченный запрос" и "приоритет", которые могут использоваться для оптимальной передачи данных через подсистему V/B.

Уровень транзакций обеспечивает четыре адресных пространства - три адресных пространства для PCI (память, ввод/вывод и конфигурация) и пространство для сообщений. В PCI 2.2 применен альтернативный метод передачи запросов прерываний к операционной системе, называемый "Прерывание, передаваемое сообщением" (MSI). Это транзакция специального формата записи в память используется вместо дополнительного аппаратного сигнала как опция расширения в системе PCI 2.2. Спецификация PCI Express задействует концепцию MSI как основной метод для обработки прерываний и использует пространство сообщения для приема как сигналов типа прерываний, запросов управления питанием, сбросов, так и основных сообщений. Другие "специальные циклы" спецификации PCI 2.2 типа подтверждения прерывания также осуществляются через пространство сообщения. Сообщения PCI Express можно рассматривать как "виртуальные связи", что позволяет избавиться от большого количества дополнительных сигналов, используемых в настоящее время при реализации платформы.

Программный уровень

Программная совместимость имеет главное значение для PCI Express. Есть два аспекта программной совместимости, касающихся инициализации (или перечисления) и времени исполнения. PCI имеет устойчивую модель инициализации, где ОС может обнаружить все имеющиеся

дополнительные аппаратные устройства, и затем распределить системные ресурсы типа памяти, пространства адресов ввода/вывода и прерываний, создавать оптимальную системную среду. Процедура конфигурации и программ в мире устройств В/В - ключевые моменты, которые остаются неизменными в пределах архитектуры PCI Express.

Фактически, все ОС способны загружаться без модификации на PCI Express машине. Программная модель времени исполнения и используемая в PCI загружаемая модель общедоступной памяти поддерживаются в пределах архитектуры PCI Express. Это позволяет всему существующему программному обеспечению остаться неизменным. А новое программное обеспечение может также использовать некоторые расширенные особенности PCI Express, например, типа улучшенной коммутации, которые не рассматриваются в этой статье.

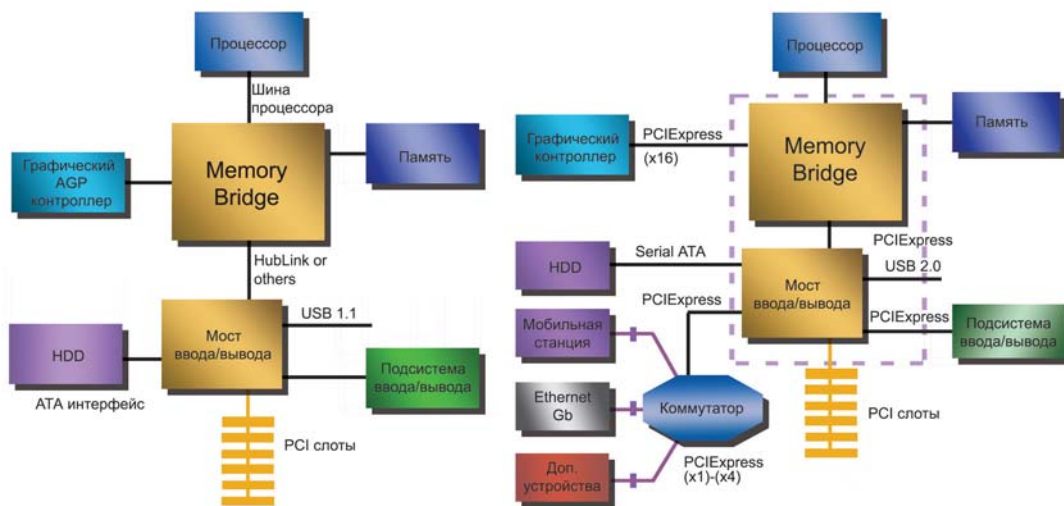


Архитектура PC сегодня развивается по нескольким расходящимся направлениям в зависимости от типа соединения. Например, графические платы подключаются через расширенный графический порт (AGP), а мост памяти связан с мостом В/В через несколько интерфейсов, таких как Hublink.

Архитектура PC с шиной PCI Express

PCI Express унифицирует систему В/В путем использования архитектуры общей шины. Кроме того, PCI Express также заменяет некоторые из внутренних шин подключаемых к подсистемам.

PCI Express будет доступен в нескольких различных форматах расширения В/В, в зависимости от применения - портативный компьютер, настольный, или сервер. Серверы,

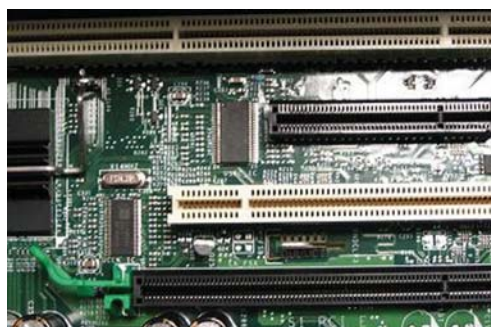


требующие наибольшую полосу пропускания обслуживания запросов В/В, будут иметь слоты PCI Express с более широкими маршрутами.



Напротив, портативный компьютер может использовать внутреннюю архитектуру PCI Express, но предоставлять только единственный слот с маршрутом одинарной ширины для периферийных устройств средней скорости.

Замена для PCI плат настольных машин и рабочих станций будет иметь механическую конструкцию очень похожую на сегодняшние платы PCI. Соединитель на системной плате имеет улучшенные возможности удержания, гарантируя, что плата не будет смещена при вибрации. Торцевой соединитель платы расширения может иметь различные размеры в зависимости от ширины маршрута PCI Express, от x1 до x16. Последний используется для замены AGP слота



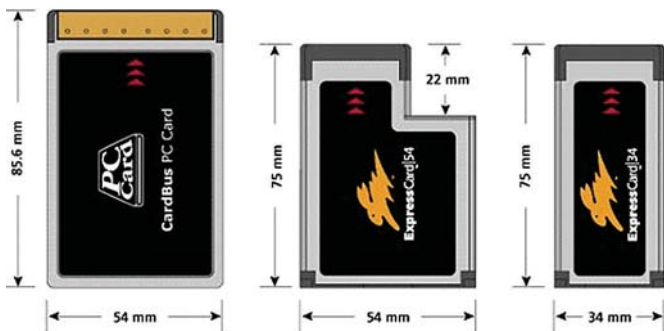
графического контроллера на системных платах.

ExpressCard

Стандарт ExpressCard позволяет очень просто добавлять аппаратные средства или носители к системам. Первичный рынок для ExpressCard модулей - портативные компьютеры и маленькие PC, нуждающиеся только в ограниченном расширении. Модуль ExpressCard может быть включен или удален почти в любой момент без каких-либо инструментальных средств (в отличие от традиционных плат расширения в настольных компьютерах). Технология ExpressCard обеспечивает пользователей настольных и мобильных компьютеров совместимым, простым, надежным способом подключения устройств их системам.

Технология ExpressCard заменяет обычные параллельные шины для устройств В/В двумя масштабируемыми, высокоскоростными последовательными интерфейсами - PCI Express и USB 2.0. Разработчики ExpressCard могут создавать модули, используя PCI Express для самых высокопроизводительных приложений, или USB, как имеющие широкое разнообразие доступных кремниевых кристаллов. Конечный пользователь может даже не догадываться о выборе типа шины производителем.

Есть два стандартных формата ExpressCard модулей - ExpressCard/34 (34 мм шириной) и ExpressCard/54 (54 мм шириной). Оба модуля имеют толщину 5 мм, как и Тип II формата PC Card. Стандартная длина модуля - 75 мм, что на 10.6 мм



короче чем у стандартной PC Card. ExpressCard/34 и ExpressCard/54 модули используют тот же самый интерфейсный соединитель.

Каждый слот интерфейса ExpressCard должен содержать один маршрут PCI Express (x1), используемый на скорости передачи данных 2.5 Гб/с в каждом направлении, как определено спецификацией 1.0a ядра PCI Express. ExpressCard интерфейс должен также поддерживать низкие, полные и высокие скорости передачи данных, как определено в спецификации USB 2.0. Поддержка обоих интерфейсов - условие для того, чтобы быть ExpressCard-совместимой платформой. ExpressCard модуль может использовать один или оба эти интерфейса в зависимости от прикладных требований.

Server I/O Modules (SIOM)

В спецификации модулей PCI Express для серверов (SIOM) определены два типоразмера для установки в закрытые корпуса. Они изначально поддерживают "горячую замену" (без отключения электропитания). Два формата, идентичные по высоте и глубине, отличаются только шириной или расстоянием между слотами. Модуль одинарной ширины может быть установлен в любом SIOM слоте. Двойной модуль занимает два смежных слота.

Одинарный модуль поддерживает подключение x8 PCI Express. Двойной модуль может поддерживать связь x16. Двойные слоты PCI Express SIOM являются дополнительными в серверах. Минимальный интерфейс управления является стандартом для всех модулей и состоит из ЭСППЗУ, которое обеспечивает передачу данных управления от адаптера к ведущей системе. Дополнительный интерфейс внутренней памяти поддерживает до четырех одинарных портов SAS/SATA и интерфейс для управления светодиодами индикации активности дисков.

Б л о к и серверного шасси SIOM должны удовлетворять требованиям для охлаждения и гарантировать минимальный поток воздуха к каждому слоту в соответствии со спецификацией. SIOM обязан обеспечивать определенное сопротивление потоку воздуха, чтобы не создавать дополнительной тепловой нагрузки для серверного шасси.

Заключение

Для систем измерения и автоматизации, построенных на основе PC, PCI много лет была шиной выбора для сменных плат расширения. Она продолжит играть важную роль и в будущем. Но по мере развития PC стало сказываться то, что шина PCI (с ее параллельной архитектурой) не может масштабироваться совместно с остальной частью платформы. PCI Express же отвечает этим требованиям и обеспечивает выигрыш по пяти основным позициям:

- высокая эффективность относительно прежде всего к полосе пропускания, которая даже при одинарной связи более чем удваивает показатели PCI и может масштабироваться линейно при добавлении маршрутов. Дополнительная выгода состоит в том, что полоса пропускания одновременно доступна в обоих направлениях на каждом маршруте. Кроме того, начальная скорость передачи сигналов 2.5 Gb/s, как ожидается, будет увеличена;
- упрощение системы В/В за счет уменьшения связей от чипа-к-чипу и внутренними шинами, доступными пользователю. Эта уменьшает сложность дизайна и снижает стоимость исполнения;
- стандарт многоуровневой шины PCI Express предлагает архитектуру, которая может приспосабливаться к новым технологиям при сохранении инвестиций в программное обеспечение. Два ключевых свойства, которые выигрывают от многоуровневой архитектуры - физический уровень, с увеличенными скоростями передачи сигналов, и программная совместимость;
- платам В/В следующего поколения

PCI Express предоставляет новые возможности сбора данных и мультимедиа через изохронную передачу данных. Такой подход обеспечивает качество обслуживания (QOS), что гарантирует своевременную доставку данных через детерминированные каналы. Использование PCI Express очень упростится, когда пользователи модернизируют свои системы. PCI Express позволит выполнять горячую замену и установку устройств. Но поскольку горячая замена предполагает поддержку со стороны ОС, на первых порах могут возникнуть проблемы запуска устройства со стороны ПО. Кроме того, разнообразие форматов для устройств PCI Express, особенно SIOM и ExpressCard, значительно расширяет возможность добавления высокоэффективных периферийных устройств в серверах и портативных компьютерах.

Все эти особенности будут гарантировать, что PC станет еще более привлекательной платформой для создания систем измерения и автоматизации.

Статья подготовлена по материалам, предоставленным компанией National Instruments (США)



NI PCIe-GPIB

Плата интерфейса GPIB, IEEE 488.2 (Канал общего пользования) для шины PCI Express (National Instruments, США)

Глоссарий

8в/10в кодирование - схема кодирования сигналов с внедренными тактовыми сигналами, которая преследует две цели. Во-первых, создать достаточное количество перепадов сигнала в потоке данных для восстановления тактовых сигналов, во-вторых, поддерживать равновесие постоянной составляющей в системах, связанных по переменному току.

AGP - расширенный графический порт - более высокоскоростная версия шины PCI со специальным

разъемом. Разработана для удовлетворения потребности полосы пропускания специализированных графических плат в настольных PC.

CRC - циклический контроль избыточности - метод обнаружения и исправления разрядных ошибок в пакете информации путем добавления расчетного набора значений к пакету. Значения получаются из оригинального пакета данных.

Differential signaling - дифференциальная передача, использующая два провода, несущие противофазные сигналы. Основное достоинство - снижение восприимчивости к наведенным помехам.

ExpressCard - небольшая карта В/В, поддерживающая интерфейсы PCI Express и USB 2.0.

ISA - Industry Standard Architecture - шинный стандарт для PC, введенный еще в 1984, который расширил шинную архитектуру XT до 16 битов. Был разработан для подключения периферийных плат к системной плате. Часто упоминается также как шина AT.

PICMG - группа производителей промышленных компьютеров с шиной PCI - группа компаний, члены которой поддерживают текущие спецификации для CompactPCI и PCI/ISA.

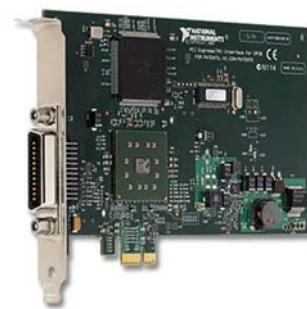
PCI (Peripheral Component Interconnect) - высокоскоростная параллельная шина, первоначально разработанная для подключения периферийных устройства В/В к плате центрального процессора.

PCI Express - эволюционная версия PCI, которая поддерживает программную модель использования PCI и заменяет физическую шину высокоскоростной (2.5 Gb/s) последовательной шиной, обслуживающей множественные маршруты.

SIOM (Server I/O Module) - модуль ввода - вывода, разработанный для сервера и приложений рабочей станции, который использует PCI Express для связи.

USB 2.0 - внешняя дифференциальная двухточечная последовательная шина, которая обеспечивает скорости передачи данных до 480 Мб/сек. USB 2.0 - это расширение USB 1.1, который использует те же самые кабели и разъемы.

Изохронная передача-режим, использующийся для создания изохронных каналов, по которым информация передается с максимальной задержкой, не превышающей гарантированную. Изохронные пакеты проходят по каналу связи "вне очереди".



NI PCIe-GPIB

Первая в отрасли PCI Express плата сбора и обработки видео-изображений (National Instruments, США), предназначенная для использования в высокопроизводительных приложениях технического зрения. Плата позволяет производить захват изображений с самыми высокими скоростями, разрешением и глубиной, которые доступны только для камер класса Camera Link. Она может быть использована в требовательных к ресурсам задачах, таких как синхронизированный сбор данных и изображений, анализ дефектов или сложные задачи слежения.



КОНТАКТЫ:

т. (044) 241-87-39, 241-67-54
e-mail: info@holit.com.ua