МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение

высшего образования

«**Вятский государственный университет**»

**(ФГБОУ ВО «ВятГУ»)**

Факультет автоматики и вычислительной техники

Кафедра электронных вычислительных машин

ИНТЕРФЕЙС PCI-EXPRESS

Доклад по дисциплине

«Интерфейсы периферийных устройств»

Выполнил студент группы ИВТ-41\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_/ Волкова Е. В. /

Проверил старший преподаватель кафедры ЭВМ\_\_\_\_\_/ Гагарский К.Н. /

Киров 2017

1. Общая информация

PCI-Express (PCIe, или PCI-E) — компьютерный интерфейс (хотя на физическом уровне это соединение типа «точка-точка»), использующая программную модель шины PCI и высокопроизводительный физический протокол, основанный на последовательной передаче данных. Здесь шинное соединение устройств с параллельным интерфейсом заменено на двухточечные последовательные соединения с использованием коммутаторов.

В этой архитектуре сохраняются многие программные черты шины PCI, что обеспечивает плавность перехода от PCI к PCI Express. В архитектуре появились новые возможности: управление качеством обслуживания (QoS), потреблением и бюджетом связей. Протокол PCI Express отличается малыми накладными расходами и малыми задержками выполнения транзакций.

PCI Express позиционируется как универсальная архитектура ввода/вывода для компьютеров разных классов, телекоммуникационных устройств и встроенных систем. Высокая пропускная способность достигается при цене, соизмеримой с PCI и ниже.

Сфера применения — от соединений между микросхемами на плате до межплатных разъемных и кабельных соединений. Высокая пропускная способность на контакт соединения позволяет минимизировать число соединительных контактов. Малое число сигнальных линий позволяет применять малогабаритные конструктивы. Универсальность дает возможность использования единой программной модели для всех форм-факторов. Для PCI-Express предусмотрена автономная система энергосбережения: питание от разъёма должно отключаться при отсутствии активности в промежутке определённого времени.

Спецификация PCI Express Base specification Revision 1.0a опубликована в апреле 2003 года.

1. Топология

Соединение PCI Express (PCI Express Link) — это пара встречных симплексных каналов, соединяющих два компонента (рисунок 1). По этим каналам передаются пакеты, несущие команды и данные транзакций, сообщения и управляющие посылки. Канал может быть образован одной или несколькими линиями передачи сигналов (Lane), причем одна линия связи представляет собой дифференциальную пару. Таким образом, в общем случае устройство подключается к интерфейсу посредством четырех каналов.

Применение нескольких линий позволяет масштабировать пропускную способность канала. Кроме того, поддерживается создание виртуальных каналов, которые могут быть отображены на один физический канал.

Одна из концептуальных особенностей интерфейса PCI Express, позволяющая существенно повысить производительность системы, - использование топологии «звезда». При этом каждое устройство монопольно использует канал, связывающий его с коммутатором соединением типа точка-точка, не деля ни с кем пропускную способность этого канала.

Пример топологии средств ввода/вывода, иллюстрирующий архитектуру PCI Express, приведен на рисунке 2. Центральным элементом архитектуры является корневой комплекс, соединяющий иерархию ввода/вывода с центром — процессором (одним или несколькими) и памятью. Корневой комплекс может иметь один и более портов PCI Express, каждый из них определяет свой домен иерархии. Каждый домен состоит из одной конечной точки или субиерархии — нескольких конечных точек, связанных коммутаторами.

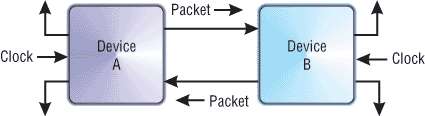
Достоинства такой топологии: удешевление конструкции, снижение габаритов, более простая разводка печатных дорожек, возможность работы на гораздо более высоких частотах, поддержка "горячей" замены периферийных устройств. Отсутствует необходимость в синхронизации сигнальных линий всей шины.

Рисунок 1

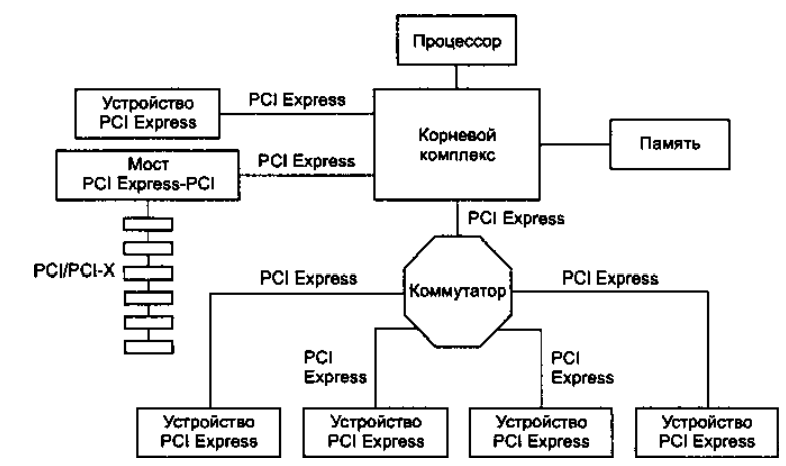


Рисунок 2

1. Архитектурная модель

Архитектура PCI-Express состоит из нескольких уровней (Рисунок 3):

Рисунок 3

1. Программный уровень.

Он отвечает за программную совместимость. Для передачи или приема данных через шину приложения обращаются к операционной системе. Она обслуживает инфраструктуру всех PCIe-устройств, обрабатывает события — подключение устройств, присвоение им уникального адреса, нахождение подходящего драйвера для работы с конкретным устройством и так далее. Процесс инициализации и работы с устройствами шины остался неизменным по сравнению с PCI, что позволяет существующим операционным системам поддерживать PCI Express без всяких изменений. Устройства нумеруются таким образом, чтобы операционная система смогла обнаружить их и выделить необходимые ресурсы, в то время как работа с шиной построена на модели PCI загрузка-сохранение с разделяемой памятью.

1. Уровень транзакций.

Уровень транзакций (Transaction Layer) создаёт пакеты и передаёт информацию от программного уровня на канальный уровень в виде отдельных транзакций. Каждый пакет имеет уникальный идентификатор, который позволяет направить ответный пакет его отправителю. Используются различные форматы адресации, зависящие от типов транзакций: транзакции памяти, ввода-вывода, конфигурационные и сообщений(прерываний).

1. Канальный уровень

Канальный уровень (data link layer), промежуточный в стеке, отвечает за управление связью, обнаружение ошибок и организацию повторных передач вплоть до успеха или признания отказа соединения. К пакетам, полученным от уровня транзакций, канальный уровень добавляет свои заголовки (номера пакетов и контрольные коды). Канальный уровень и сам является генератором и получателем пакетов DLLP (Data Link Layer Packet — пакет канального уровня), используемых для управления соединением.

4) Физический уровень

Физический уровень изолирует канальный от всех подробностей передачи сигналов. Он состоит из двух блоков:

- Логический блок при передаче выполняет распределение данных по линиям, скремблирование, кодирование по схеме 8B/10B, кадрирование и преобразование в последовательный код. При приеме выполняются обратные действия. Дополнительные символы, обеспечиваемые кодированием 8B/10B, используются для служебной сигнализации. Логический блок отвечает также и за согласование соединения, инициализацию и т. п.

- Электрический блок отвечает за электрическое согласование, синхронизацию, обнаружение приемника. Уровневая модель, принятая в PCI Express, позволяет, не затрагивая остальных уровней, заменить физический уровень или его блоки, когда появятся более эффективные схемы кодирования и сигнализации. Интерфейс между физическим и канальным уровнем зависит от реализации этих компонентов и выбирается их разработчиком. Интерфейс физического уровня четко специфицирован, что обеспечивает возможность соединения устройств разного происхождения.

1. Организация пакетов в шине PCI Express

Формат пакета отражен на рисунке 4.



Рисунок 4

Пакет содержит следующие разделы:

* Кадр(Frame) — начальный и конечный фрейм пакета - его добавляет физический уровень для определения начала и окончания передачи пакета данных;
* Порядковый номер (Packet #) — номер пакета, добавляется на сетевом уровне чтобы пакеты можно было отличить друг от друга;
* Заголовок (Header) — заголовок пакета, описывает тип пакета, получателя, приоритет и другие свойства, это информация транспортного уровня;
* Данные (Data) — собственно данные пакеты;
* CRC — контрольная сумма пакета.

Рассмотрим подробнее заголовок пакета, его структура отражена на рисунке 6.

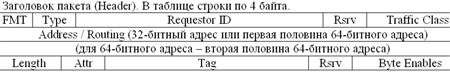


Рисунок 6

Загловок содержит следующие поля:

* Fmt — указание типа заголовка (12 или 16 байт) и признак наличия в пакете данных;
* Type — тип пакета (один из четырех основных типов - Memory, I/O, Config, Message и бит, определяющий запрос это или ответ на запрос);
* RequestorID — получатель пакета (шина, устройство, функция устройства);
* Reserved — зарезервированное поле;
* Traffic Class — используется для маршрутизации;
* Address/Routing — адрес в памяти, куда предназначается пакет (32- или 64-разрядный) или иная информация о маршрутизации пакета;
* Length — объем передаваемых в пакете данных;
* Attr — вспомогательные атрибуты пакета (Snoop, Ordering);

1. Физический уровень и конструктивы PCI-Express

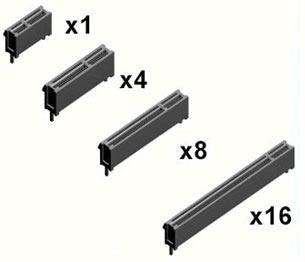
Физический уровень интерфейса допускает как электрическую, так и оптическую реализацию. Базовое соединение электрического интерфейса (x1) состоит из двух дифференциальных низковольтных сигнальных пар — передающей (сигналы PETp0, PETn0) и принимающей (PETp0, PETn0). В интерфейсе применена развязка передатчиков и приемников по постоянному току, что обеспечивает совместимость компонентов независимо от технологии их изготовления и снимает некоторые проблемы передачи сигналов. Для передачи используется самосинхронизирующееся кодирование, что позволяет достигать высоких скоростей передачи.

В качестве рабочих напряжений выбраны уровни от 0,2 до 0,4 В для логического нуля и от 0,4 до 0,8 В для логической единицы.

Базовая скорость — 2,5 Гбит/с «сырых» данных (после кодирования 8В/10В) в каждую сторону. Для масштабирования пропускной способности возможно агрегирование сигнальных линий (сигнальных пар в электрическом интерфейсе) по одинаковому числу в обоих направлениях. Спецификация рассматривает варианты соединений из 1, 2, 4, 8, 12, 16 и 32 линий (обозначаются как xl, х2, х4, х8, х12, х16 и х32); передаваемые данные между ними распределяются побайтно. Таким образом достижима скорость до 32 х 2,5 = 80 Гбит/с, что примерно соответствует пиковой скорости 8 Гбайт/с. В каждой из линий самосинхронизация выполняется независимо. Во время аппаратной инициализации в каждом соединении согласуются число линий и скорость передачи; согласование выполняется на низком уровне без какого-либо программного участия. Согласованные параметры соединения действуют на все время последующей работы.

Обеспечение «горячего» подключения на физическом уровне PCI Express не требует каких-либо дополнительных аппаратных затрат, поскольку двухточечное соединение не затрагивает остальных участников. Безопасная коммутация сигналов не требуется, возможности подключаемого устройства никак не влияют на режимы работы остальных устройств.

Разъём PCI-Express делится ключом на две части. Первая часть (та, что ближе к задней стенке корпуса) одинакова для всех разъёмов и предназначена для питания карты. Сюда подводятся напряжения 3,3 В и 12 В. Спецификацией предусматривается подводка мощности 60 Вт. По другую сторону от ключа расположены контакты секций линий передачи данных. Соответственно количеству линий передачи меняется длина разъёма.

Рисунок 7 – Примеры корпусов соединений

1. Распиновка PCI-Express

Назначение контактов слотов PCI Express приведено в таблице 1.

Набор сигналов интерфейса PCI Express:

* PETp0, PETn0… PETp15, PETn15 — выходы передатчиков сигнальных пар 0…15;
* PERp0, PERn0… PERp15, PERn15 — входы приемников;
* REFCLK+ и REFCLK — сигналы опорной частоты 100 МГц;
* PERST# — сигнал сброса карты;
* WAKE# — сигнал «пробуждения» (от карты);
* PRSNT1#, PRSNT2# — сигналы обнаружения подключения-отключения карты для системы горячего подключения. На карте эти цепи соединяются между собой, причем для PRSNT2# выбирается контакт с самым большим номером. Это позволяет точнее отслеживать моменты подключения-отключения (в случае наклона карты). Для определения числа линий подключенной карты данные линии не используются — разрядность линий определяется автоматически при установлении соединения (в процедуре тренировки).
* Дополнительно на слоте имеются необязательные сигналы шины SMBus (SMB\_CLK и SMB\_DATA) и интерфейса JTAG (TCLK, TDI, TDO, TMS, TRST#).

Питание на карты подается по следующим шинам:

* +3,3V — основное питание +3 В при токе до 9 А;
* +12V — основное питание +12 В при токе до 0,5/2,1/4,4А для слотов x1/x4, x8/x16 соответственно;
* +3,3Vaux — дополнительное питание, ток до 375 мА в системах, способных к пробуждению по сигналу от карты и до 20 мА в непробуждаемых системах.

Малое число сигнальных контактов интерфейса дает большую свободу в выборе конструктивных реализаций PCI-Express:

* соединение компонентов в пределах платы;
* слоты и карты расширения в конструктивах PC/AT и ATX;
* внутренние и внешние карты расширения мобильных ПК;
* малогабаритные модули ввода/вывода для серверов и коммуникационной аппаратуры;
* модули для промышленных компьютеров;
* разъемное подключение «дочерних» карт (mezannine interface);
* кабельные соединения блоков.

Таблица 1 – Выводы PCI Express x1 – PCI Express x16

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| № вывода | Назначение (Ряд В) | Назначение (Ряд А) |
| 1 | +12V | PRSNT1# |
| 2 | +12V | +12V |
| 3 | Резерв | +12V |
| 4 | GND | GND |
| 5 | SMB\_CLK | TCK |
| 6 | SMB\_DATA | TDI |
| 7 | GND | TDO |
| 8 | +3.3 V | TMS |
| 9 | TRST# | +3.3 V |
| 10 | +3.3 Vaux | +3.3 V |
| 11 | WAKE# | PERST# |
| КЛЮЧ | | |
| 12 | Резерв | GND |
| 13 | GND | REFCLK+ |
| 14 | PETp0 | REFCLK- |
| 15 | PETn0 | GND |
| 16 | GND | PERp0 |
| 17 | PRSNT2# | PERn0 |
| 18 | GND | GND |
| Конец x1-коннектора | | |
| 19 | PETp1 | Резерв |
| 20 | PETn1 | GND |
| 21 | GND | PERp1 |
| 22 | GND | PERn1 |
| 23 | PETp2 | GND |
| 24 | PETn2 | GND |
| 25 | GND | PERp2 |
| 26 | GND | PERn2 |
| 27 | PETp2 | GND |
| 28 | PETn2 | GND |
| 29 | GND | PERp3 |
| 30 | Резерв | PERn3 |
| 31 | PRSNT2# | GND |
| 32 | GND | Резерв |
| Конец x4-коннектора | | |
| 33 | PETp4 | Резерв |
| 34 | PETn4 | GND |
| 35 | GND | PERp4 |
| 36 | GND | PERn4 |
| 37 | PETp5 | GND |
| 38 | PETn5 | GND |
| 39 | GND | PERp5 |
| 40 | GND | PERn5 |
| 41 | PETp6 | GND |
| 42 | PETn6 | GND |
| 43 | GND | PERp6 |
| 44 | GND | PERn6 |
| 45 | PETp7 | GND |
| 46 | PETn7 | GND |
| 47 | GND | PERp7 |
| 48 | PRSNT2# | PERn7 |
| 49 | GND | GND |
| Конец x8-коннектора | | |
| 50 | PETp8 | Резерв |
| 51 | PETn8 | GND |
| 52 | GND | PERp8 |
| 53 | GND | PERn8 |
| 54 | PETp9 | GND |
| ..... | ..... | ..... |
| 79 | PETn15 | GND |
| 80 | GND | PERp15 |
| 81 | PRSNT2# | PERn15 |
| 82 | GND | GND |
| Конец x16-коннектора | | |

1. Разъемы и спецификации

На сегодняшний день существуют следующие разъемы, использующие шину PCI Express:

* PCI-Express.

Применение: трехмерные графические контроллеры (видеокарты).

* [MiniCard](https://ru.wikipedia.org/w/index.php?title=MiniCard&action=edit&redlink=1) ([Mini PCIe](https://ru.wikipedia.org/w/index.php?title=Mini_PCIe&action=edit&redlink=1)) — замена форм-фактора [Mini PCI](https://ru.wikipedia.org/wiki/Mini_PCI). На разъём Mini Card выведены шины: x1 PCIe, USB 2.0 и SMBus.

Применение: SSD-накопители, портативные устройства, такие как WiFi-карты, WiMax-карты, GSM-модемы, GPS-приёмники и т.д.

* [ExpressCard](https://ru.wikipedia.org/wiki/ExpressCard) — подобен форм-фактору [PCMCIA](https://ru.wikipedia.org/wiki/PCMCIA). На разъём ExpressCard выведены шины x1 PCIe и USB 2.0, карты ExpressCard поддерживают горячее подключение.

Применение: SSD-накопители, адаптеры карт памяти, тв-тюнеры, контроллеры SATA и USB.

* [AdvancedTCA](https://ru.wikipedia.org/wiki/AdvancedTCA) — форм-фактор для телекоммуникационного оборудования.
* [Mobile PCI Express Module](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9C%D0%BE%D0%B1%D0%B8%D0%BB%D1%8C%D0%BD%D1%8B%D0%B9_%D0%BC%D0%BE%D0%B4%D1%83%D0%BB%D1%8C_%D0%BD%D0%B0_%D1%88%D0%B8%D0%BD%D0%B5_PCI_Express) (MXM) — промышленный форм-фактор, созданный для ноутбуков фирмой [NVIDIA](https://ru.wikipedia.org/wiki/NVIDIA). Его используют для подключения графических ускорителей.
* Кабельные спецификации PCI Express позволяют доводить длину одного соединения до десятков метров, что делает возможным создание ЭВМ, периферийные устройства которой находятся на значительном удалении.
* [StackPC](https://ru.wikipedia.org/w/index.php?title=StackPC&action=edit&redlink=1) — спецификация для построения наращиваемых компьютерных систем. Данная спецификация описывает разъёмы расширения [StackPC](https://ru.wikipedia.org/w/index.php?title=StackPC&action=edit&redlink=1), [FPE](https://ru.wikipedia.org/w/index.php?title=FPE&action=edit&redlink=1) и их взаимное расположение.

В настоящее время существуют следующие спецификации:

* PCI-Express 1.0
* PCI-Express 2.0
* PCI-Express 3.0
* PCI-Express 4.0

Разработка стандарта 5.0 планируется к 2019 году.

Основным отличием версий PCI-Express друг от друга является повышение скорости передачи информации. В таблице 2 представлено сравнение пропускной способности различных спецификаций.

Таблица 2 - Пропускная способность (Гбит/с)

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **Версия PCI Express** | **Пропускная способность на x линий** | | | | |
| **×1** | **×2** | **×4** | **×8** | **×16** |
| 1.0 | 2 | 4 | 8 | 16 | 32 |
| 2.0 | 4 | 8 | 16 | 32 | 64 |
| 3.0 | ~7,877 | ~15,754 | ~31,508 | ~63,015 | ~126,031 |
| 4.0 | ~15,754 | ~31,508 | ~63,015 | ~126,031 | ~252,062 |
| 5.0 | ~32 | ~64 | ~128 | ~256 | ~512 |

8. Заключение

Основные преимущества PCI Express над PCI:

1. PCI Express — последовательная шина. Основные преимущества этого — снижение стоимости, миниатюризация, лучшее масштабирование, более выгодные электрические и частотные параметры (нет необходимости синхронизировать все сигнальные линии);
2. Спецификация разделена на стек протоколов, каждый уровень которого может быть усовершенствован, упрощен или заменен, не сказываясь на остальных;
3. Возможности горячей замены карт;
4. В спецификации заложены возможности создания виртуальных каналов, гарантирования пропускной полосы и времени отклика, сбора статистики QoS (Quality of Service);
5. Возможность контроля целостности передаваемых данных (CRC);
6. Возможность управления питанием.

Достоинства шины PCI Express:

1. Высокая производительность. При наличии всего одной линии пропускная способность PCI Express в два раза выше, чем у PCI. При этом пропускная способность увеличивается пропорционально количеству линий в шине, максимальное количество которых может достигать 32. Дополнительным преимуществом является то, что информация по шине может передаваться одновременно в обоих направлениях.
2. Упрощение ввода-вывода. PCI Express использует преимущества таких шин, как AGP и PCI-X и обладает при этом менее сложной архитектурой, а также сравнительной простотой реализации.
3. Многоуровневая архитектура. PCI Express предлагает архитектуру, которая может подстраиваться к новым технологиям и не требует значительного обновления ПО.
4. Простота использования. PCI-E значительно упрощает обновление и расширение системы пользователем. Дополнительные форматы плат Express, такие, как ExpressCard, значительно увеличивают возможности добавления высокоскоростных периферийных устройств в серверы и ноутбуки.
5. Наличие архитектурных особенностей для применения в различных секторах рынка.

Учитывая преимущества и характеристики, можно сказать, что PCI-Express – достаточно перспективный и универсальный интерфейс, который может использоваться в широком спектре существующих платформ, включая серверы, портативные устройства, настольные системы и рабочие станции.