

# Лекция 26 Интерфейс IEEE 1394

Универсальный последовательный интерфейс  
IEEE 1394 Архитектура, топология,  
характеристики. Уровни протокола, форматы  
пакетов, режимы обмена. Протокол  
самоконфигурирования.

# USB и FireWire

Наибольшую популярность имеют шины USB и FireWire.

Последовательные шины FireWire и USB, имея общие черты, являются, тем не менее, существенно различными технологиями.


Обе шины обеспечивают простое подключение большого числа ПУ (127 для USB и 63 для FireWire), допуская коммутации и включение/выключение устройств при работающей системе.

По структуре топология обеих шин достаточно близка, но FireWire допускает большую свободу и пространственную протяженность.

Обе шины имеют линии питания устройств, но допустимая мощность для FireWire значительно выше.

Обе шины поддерживают технологию PnP (автоматическое конфигурирование при включении/выключении) и снимают проблему дефицита адресов, каналов DMA и прерываний.

Различаются пропускная способность и управление шинами.



*Принципиальным преимуществом шины 1394 является **отсутствие необходимости в специальном контроллере шины** (компьютере). Любое передающее устройство может получить полосу изохронного трафика и начинать передачу по сигналу автономного или дистанционного управления.*

При наличии контроллера соответствующее ПО может управлять работой устройств, реализуя, например, цифровую студию нелинейного видеомонтажа или снабжая требуемыми мультимедийными данными всех заинтересованных потребителей информации.

**Основные достоинства этого интерфейса по сравнению с USB определяются тем, что Fire Wire ориентирован на интенсивный обмен между любыми подключенными к ней устройствами, а USB – на взаимосвязь ПУ и ПК.**

Изохронный трафик Fire Wire позволяет передавать "живое видео", высокая скорость обмена позволяет даже на скорости 100 Мбит/сек передавать одновременно два канала видео (30 кадров в секунду), широкоэмитательное качество и стереоаудио сигнал с качеством CD. Возможно использование шины для объединения нескольких ПК и ПУ в локальную сеть.

# Шина IEEE 1394

IEEE 1394 (FireWire, i.Link) – универсальная последовательная шина для объединения в сеть разнообразных цифровых устройств, включая записывающую AV-аппаратуру, ресиверы, плееры, рекордеры, музыкальные инструменты, устройства хранения данных, персональные компьютеры и т.д.

Может применяться как альтернатива USB, то есть как интерфейс подключения ПУ. Но возможности FireWire шире.

**Допускает использование различных физических топологий** (звезда, цепочка, дерево), с ограничениями по длине сегмента (4.5 м), количеству сегментов (16) и количеству устройств (63). Исходная логическая топология – **шина**, может наращиваться до сети за счет применение мостов.

Обеспечивает взаимодействие всех устройств через общее адресное пространство, ведущее устройство назначается динамически.

# Спецификации

Шина FireWire возникла как **развитие SCSI** в сторону последовательного интерфейса, позаимствованы идеи равнорангового взаимодействия, многоуровневый протокол, арбитраж, модель применения и др.

Применение FireWire началось с 1986 года в ПК и рабочих станциях Apple. В 1995 году шина была одобрена IEEE и получила порядковый номер 1394, который стал ее синонимом.

*Базовая спецификация обычно называется 1394-1995, она описывает три скоростных режима (S100, S200, S400), три уровня протоколов, стандартный 6-пиновый разъем и кабель с экранированной витой парой.*

Стандарт 1394a-2000 расширил возможности арбитража, управления портами, сократил задержки, добавил 4-пиновый разъем.

Стандарт 1394b-2002 вводит новые бета-режимы S800, S1600 и S3200, метод арбитража BOSS (Bus Owner/Supervisor/Selector), оптоволокно, новый 9-контактный разъем.

# Организация шины 1394

**Сеть 1394** – это несколько сегментов шины (до 1023), объединенных мостами; устройства в сети имеют доступ друг к другу.

**Шина** – это несколько устройств (до 63), соединенных кабельными сегментами; среда передачи едина для всех узлов, каждый должен получить доступ на передачу путем арбитража; нумерация узлов шины выполняется динамически в момент изменения ее конфигурации (подключения/отключения одного из узлов).

**Узел (Node)** имеет физический адрес на шине и собственное адресное пространство в рамках общего пространства сети, в котором доступны его регистры, ROM и RAM.

**Порт** (от 1 до 16) принадлежит узлу, все порты равноправны и разделяют общую среду передачи.

Узлы могут объединяться в **модули**.

# Основные понятия топологии сети

**сеть** — совокупность узлов, подключенных к одной шине или нескольким шинам, соединенным мостами.

**шина** — совокупность узлов, связанных друг с другом кабельными сегментами


**модуль** (module) — физическое устройство («коробка»), подключаемое к шине, и содержащее один или несколько узлов;

**узел** (node) — логический объект, имеющий уникальный физический адрес на шине.

**порт** (port) — внешний физический интерфейс узла, обеспечивающий соединение узлов в шину. Узел может иметь несколько портов, что обеспечивает связь множества узлов без использования каких-либо дополнительных устройств-концентраторов;

**блок** (unit) — часть узла, обеспечивающая его отдельную функциональность: память, ввод/вывод, обработку данных.

Если проводить параллели с USB, блок (IEEE 1394) можно соотнести с интерфейсом (USB), узел 1394 — с устройством USB, а модуль 1394 — с композитным устройством USB, содержащим несколько функций и хаб. Понятие шины в USB и IEEE 1394 совпадает, хотя организация и возможности этих шин значительно различаются. Аналога сети в USB нет



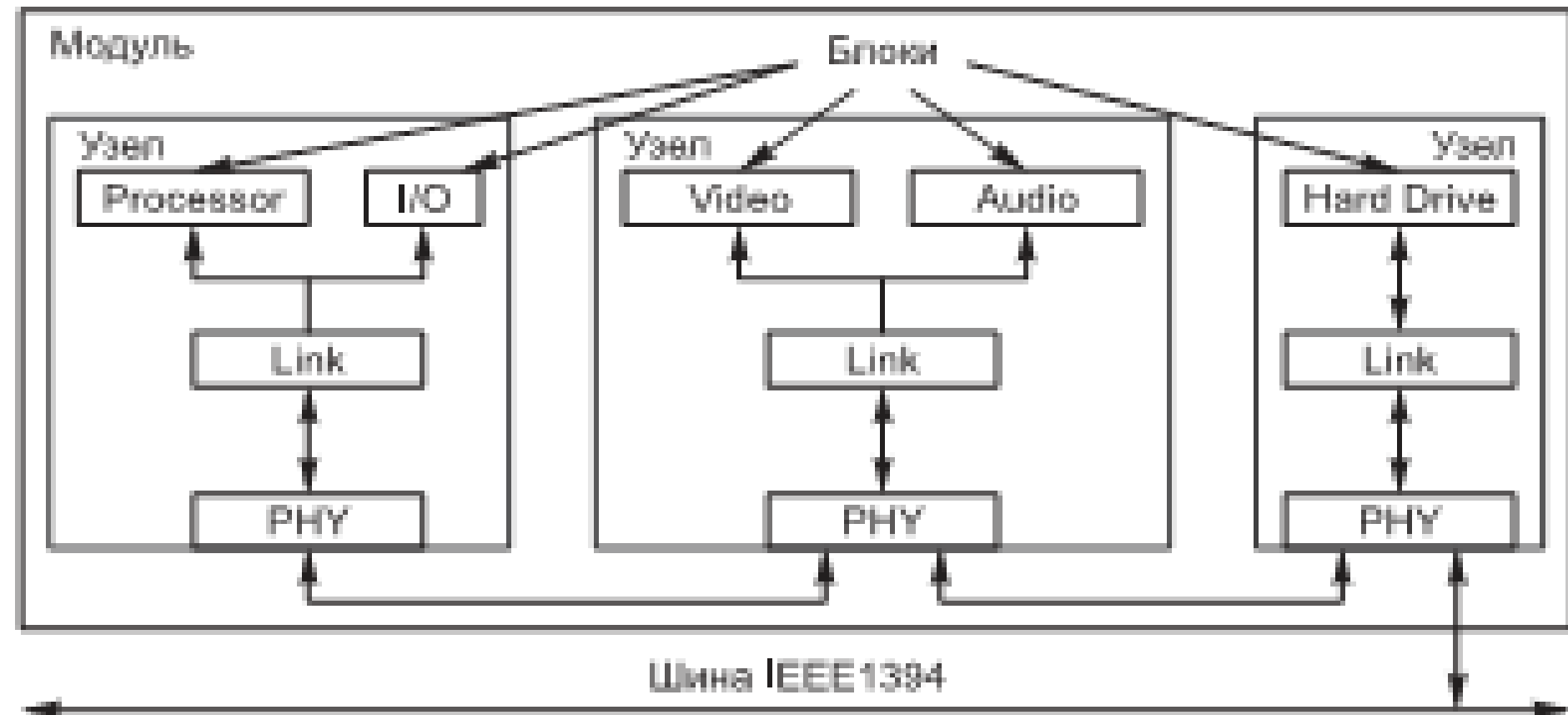
При любой физической топологии логическая топология для передачи данных остается шинной — пакеты распространяются от источника ко всем узлам шины.

Логическая топология для арбитража — древовидная иерархическая, «верховный арбитр» — корневой узел

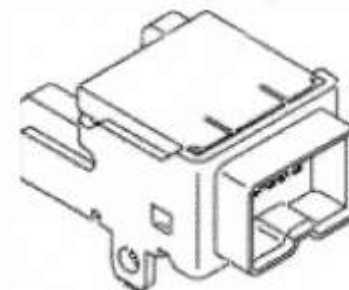
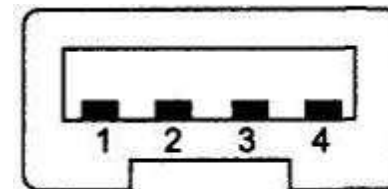
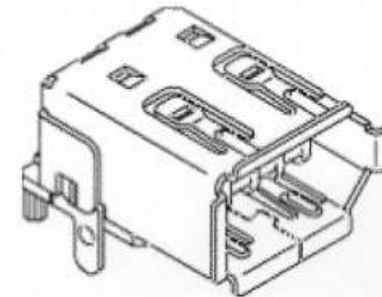
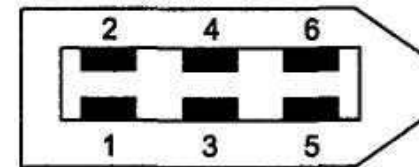
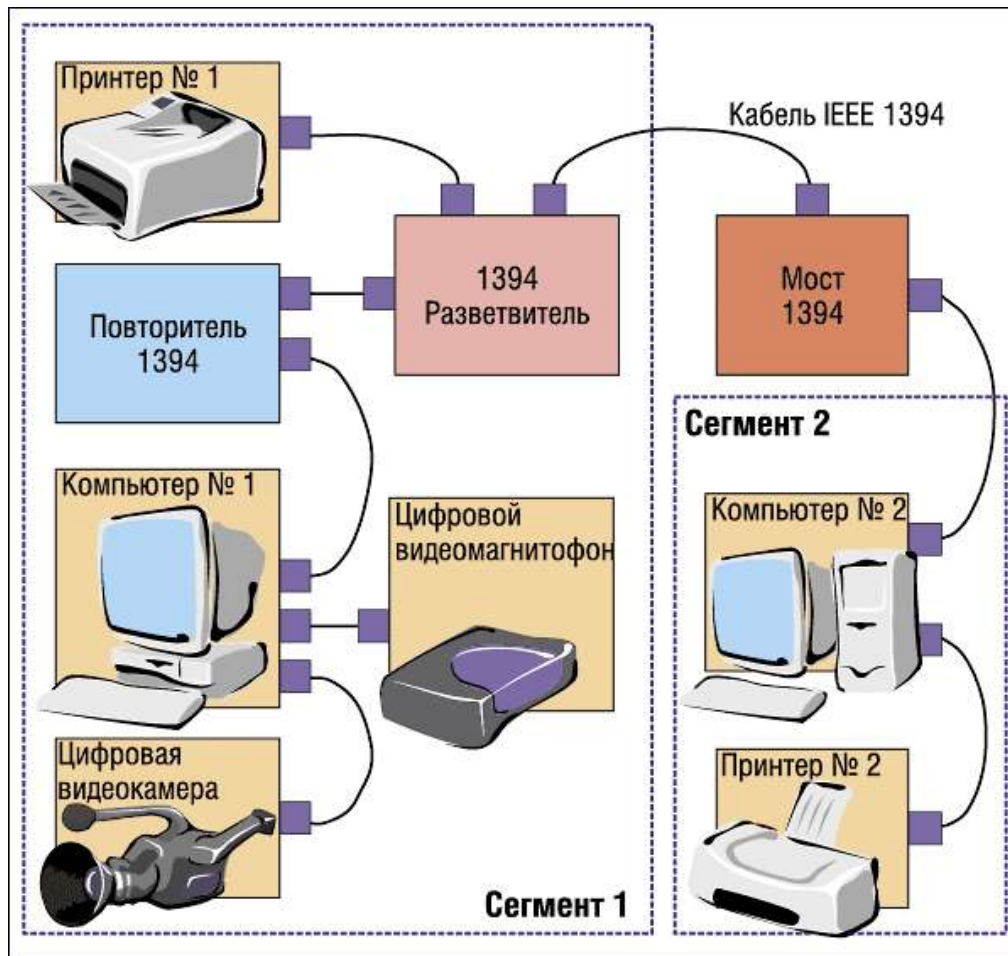


# Архитектура сети

Архитектура IEEE 1394 позволяет организовывать сети, состоящие из одной или нескольких (до 1023) шин, причем не только последовательных. К шинам IEEE 1394 подключаются физические устройства, которые должны иметь по крайней мере один порт. Физическое устройство может иметь сложную внутреннюю структуру



# Топология и физический уровень сети



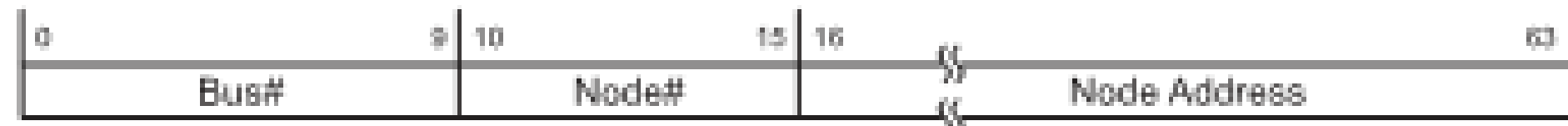
# Формат адреса IEEE 1394

Каждому узлу выделяется адресное пространство размером 256 Терабайт, которое является частью адресного пространства одной шины.

Шин в системе может быть множество; все связанные шины объединяются в общее адресное пространство размером 16 Экзабайт ( $2^{64}$  байт).

Объединение шин осуществляется мостами; объединяться могут любые шины, отвечающие архитектуре CSR (как последовательные, так и параллельные).

Формат адреса для IEEE 1394:

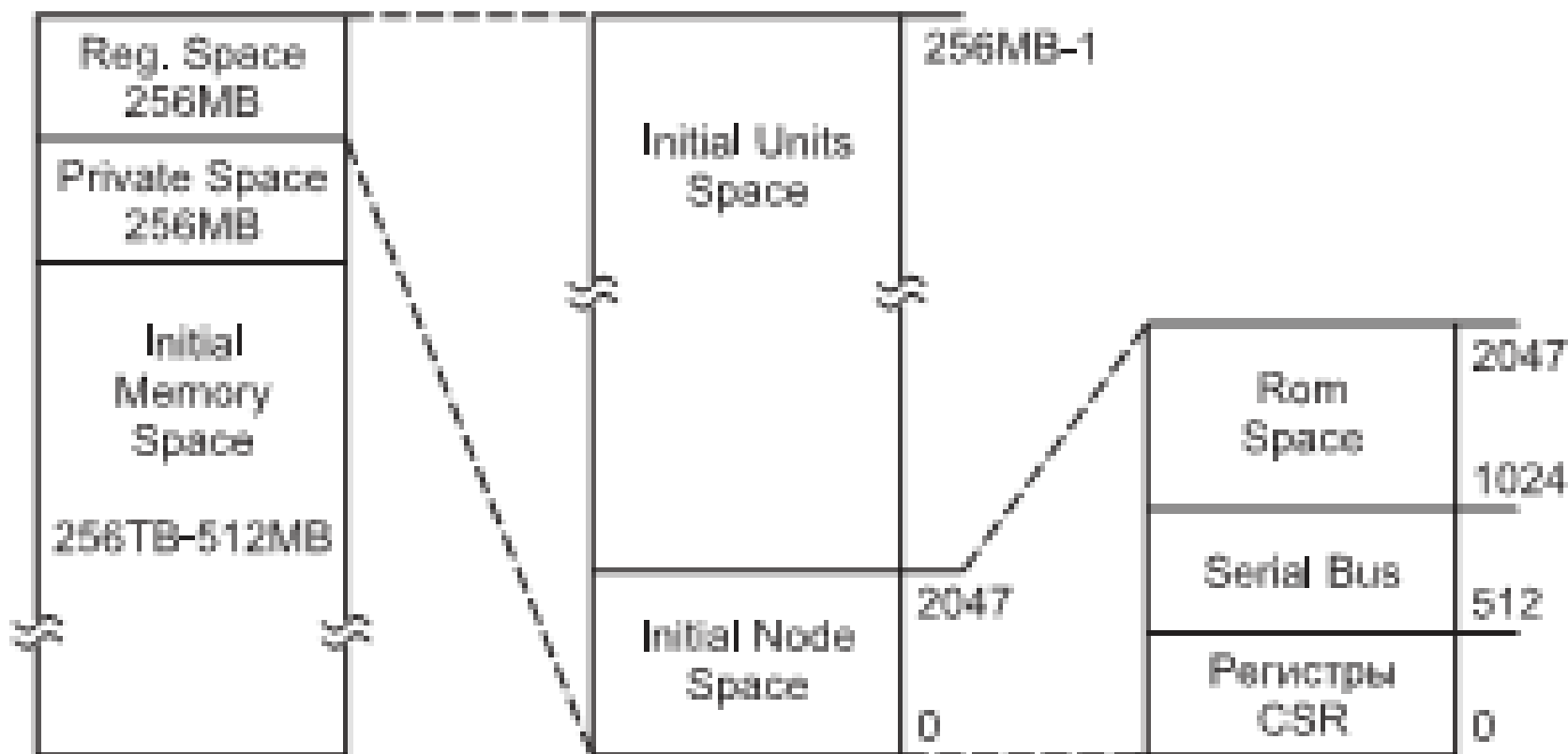


# Адресное пространство узла

Начальное пространство памяти (Initial Memory Space) используется для основного взаимодействия между устройствами, связанными шиной.

Приватное пространство (Private Space) используется для локальных нужд узла.

Пространство регистров (Register Space) - разрядность всех регистров — 32 бит.



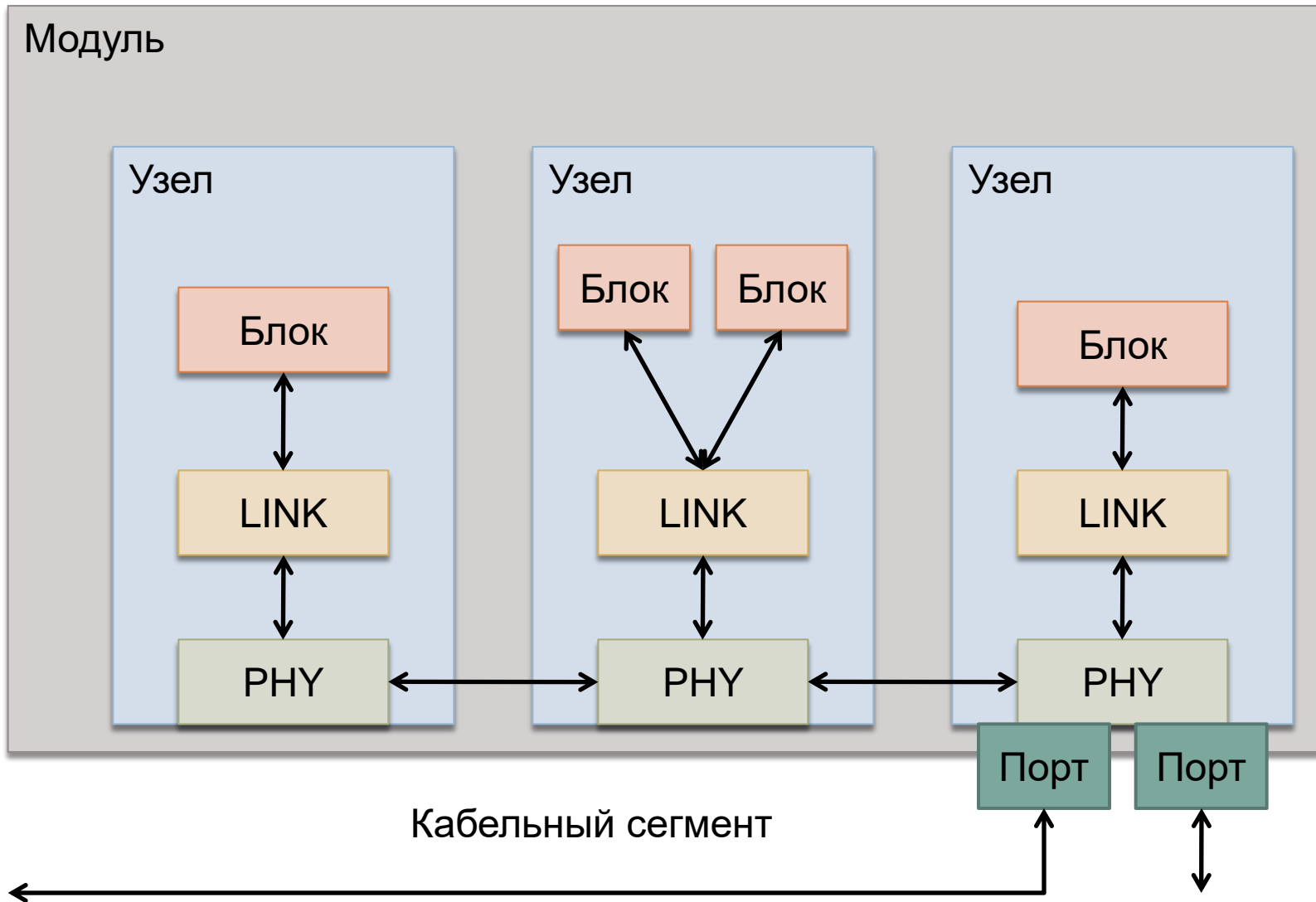
# Самоконфигурация шины

Конфигурация шины происходит при добавлении/удалении узла, обнаружении зависания или по программному запросу.

Состоит из трех этапов:

- сброс шины – интервал, за который сигнал сброса доводится до всех узлов, включая передающие. Сброс подается узлом, подключенным впервые, либо узлом, к порту которого выполнено подключение
- идентификация дерева – построение логической топологии; каждый порт получает статус «С» (дочерний, нисходящий) или «Р» (родительский, восходящий) во время обмена сигналами `parent_notify` и `child_notify`; один из узлов становится корнем – у него все узлы типа «С»
- самоидентификация – каждый узел по запросу корня присваивает себе номер по порядку и уведомляет об этом всю шину; в результате строится карта шины, которую корень рассылает узлам

# Структура узла 1394



# Архитектура узла

Узел имеет трехуровневую структуру:

- уровень РНУ (физический) отвечает за подключение к шине (механическое и электрическое), конфигурирование при инициализации, арбитраж, кодирование/декодирование сигналов состояния и потоков данных, трансляцию трафика между доступными портами, питание и пр.
- уровень LINK (канальный) выполняет формирование пакетов, проверяет форматы и контрольные суммы, выполняет адресацию по адресу узла или номеру изохронного канала
- уровень транзакций отвечает за доступ к регистрам и памяти других узлов сети со стороны ПО и драйверов, организует исправление ошибок (повторы).
- отдельный уровень управления шиной реализуется через доступ ко всем трем уровням.

# Трехуровневая структура FireWire





# Обмен данными, транзакции


Шина 1394 поддерживает два типа передач данных – асинхронные и изохронные.

Для направленных (адресованных) транзакций предусмотрен механизм контроля целостности, достоверности, квитирования и повторов.

Широковещательные асинхронные передачи работают без повторов и квитирования.

Изохронные транзакции – это приоритетные потоки пакетов данных, имеющие гарантированные каналы (до 64 одновременно) с запрошенной пропускной способностью. Квитирование и повторы также не предусмотрены.

Транзакции доходят до всех узлов шины, поэтому право на очередную транзакцию узел должен получить от корня дерева шины по механизму арбитража.



"Менеджер шины" обеспечивает общее управление ее конфигурацией, выполняя следующие действия: оптимизацию арбитражной синхронизации, управление потреблением электрической энергии устройствами, подключенными к шине, назначение ведущего устройства в цикле, присвоение идентификатора синхронного канала и уведомление об ошибках.

# Синхронная передача

В случае синхронной передачи отправитель просит предоставить синхронный канал, имеющий полосу частот, соответствующую его потребностям.

Идентификатор синхронного канала передается вместе с данными пакета.

Получатель проверяет идентификатор канала и принимает только те данные, которые имеют определенный идентификатор. Количество каналов и полоса частот для каждого зависят от приложения пользователя. Может быть организовано до 64 синхронных каналов.

Шина конфигурируется таким образом, чтобы передача кадра начиналась во время интервала синхронизации. В начале кадра располагается индикатор начала и далее последовательно во времени следуют синхронные каналы 1, 2... На рисунке изображен кадр с двумя синхронными каналами и одним асинхронным.



# Асинхронные транзакции

Предусматривают три типа операций:

- чтение – данные передаются от ответчика к запросчику
- запись – данные передаются от запросчика к ответчику
- блокированные операции (чтение-модификация-запись), не позволяющие вклиниваться другим узлам в процессе выполнения

Асинхронная транзакция состоит из двух субакций (шагов исполнения) – запроса и ответа, между которыми могут возникать другие транзакции.

(запрос (request) — передается тип, адрес транзакции и, возможно, данные);






ответ (response) — передается состояние выполнения (успех-неуспех) транзакции и, возможно, данные).

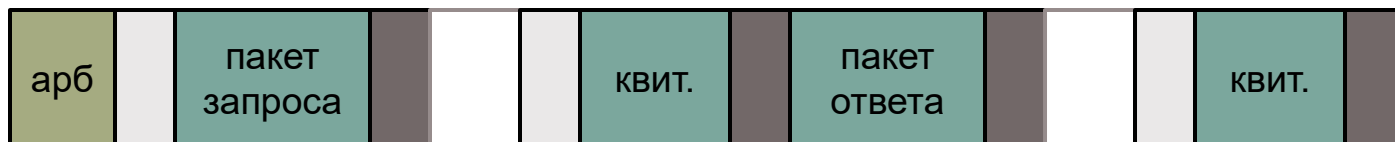
Субакция состоит в общем случае из:

- арбитража (по тому или иному механизму)
- префикса начала данных
- пакета данных
- префикса окончания данных
- зазора (gap) – интервала простоя шины
- префикса данных квитанции
- пакета квитанции
- префикса окончания данных

# Порядок выполнения асинхр. транзакции



-  — фаза арбитража
-  — префикс начала данных
-  — префикс окончания данных
-  — зазор квитирования (короче зазора между субакциями)
-  — пакет данных



Объединенная (concatenated ) транзакция

В общем случае для того, чтобы начать передачу пакета, узел должен получить на это право — выиграть арбитраж. Передача пакетов квитирования выполняется без арбитража — адресованный узел должен послать квитанцию через короткий интервал (`ack_gap`) после получения пакета.

# Пакеты

Пакет данных асинхронной транзакции включает:

- 64-битный адрес назначения, включающий номер шины (10 бит), номер узла (6 бит), адрес в пространстве узла (48 бит)
- номер источника (16 бит)
- тэг транзакции, код повтора, тип пакета
- длина блока данных в байтах
- код CRC для заголовка
- блок данных, максимальный размер которого:
  - 512 байт – для S100
  - 1024 байт – для S200
  - 2048 байт – для S400
  - 4096 байт – для S800 и выше
- код CRC для блока данных (32 бита)

# Изохронные передачи

Выполняются в специальном периоде цикла шины, имеют приоритет перед асинхронными передачами.

Пакеты идут широковещательно, вместо адреса и других атрибутов заголовка имеется только номер канала (6 бит).

Распределением изохронных каналов занимается диспетчер изохронных ресурсов, роль которого берет на себя один из узлов в процессе конфигурации шины.

Генерацией пакетов начала цикла занимается мастер циклов – тоже один из узлов шины. Начало цикла отмечается каждые 125 мкс (8 кГц).

Изохронный источник обязан в течение цикла послать по одному пакету на каждый из запрошенных каналов.

Размер данных в пакете зависит от скоростного режима.

# Арбитраж

У шины 1394 арбитраж распределенный централизованный: каждый узел посылает запрос арбитража вверх по дереву к центральному узлу – мастеру шины.

Наивысший приоритет имеет мастер изохронных циклов, т.к. он обычно совпадает с мастером шины.

Узел начинает передачу запроса данных, получив ответ от арбитра-мастера. До подачи запроса на доступ узел должен выдержать паузу шины – зазор.

Изохронные транзакции требуют минимального зазора – до 50 нс, а потому выполняются раньше других. Пакеты-квитанции также имеют минимальный зазор.

Асинхронные транзакции используют «справедливый» арбитраж – узел запрашивает арбитраж повторно только по истечении заданного интервала, во время которого все желающие могут передать свои данные



# Физический интерфейс

Стандарт 1394 предусматривает два режима сигнализации – DS и 8b10b (бета-режим); в последнем случае помимо медного электрического допустим и оптический интерфейс. Режим бета доступен начиная с версии 1394b.

Интерфейс DS представляет собой две дифференциальные сигнальные пары (A и B), соединенные в кабеле перекрестно, и пару проводов питания.

По одной паре передается двоичный сигнал, по второй – сигнал синхронизации (DS – data & strobe), что упрощает синхронизацию.

Скорость текущей передачи сигнализируется кратковременным смещением уровня напряжения в фазе префикса данных.

Арбитраж выполняется подачей сигнала в восходящий порт и ожиданием – чтением состояния. Возникающая смена состояния линии (читается не то, что записывается) возникает из-за ответа арбитра («столкновение» сигналов).

# Кабели и сигналы DS

Сигналы в режиме DS могут быть дифференциальными (по разнице пары линий) и линейными (уровень напряжения).

Состояния дифференциальных сигналов:

- “1”:  $TP+ > TP-$
- “0”:  $TP- > TP+$
- “Z”:  $TP+ = TP-$

Амплитуда дифференциальных сигналов – 118-265 мВ.

Сигналы арбитража подаются особым образом – сочетанием одного из 14 состояний обеих дифференциальных линий.

Сигналы данных кодируются двумя линиями:

- Линия В – данные в коде NRZ
- Линия А – данные XOR строб-сигнал

Для приема линии меняются местами.

Префикс данных – состояние линий [0 1], префикс окончания данных – состояние [1 0]; сигнал о скорости передается в префиксе данных смещением напряжения линии В.

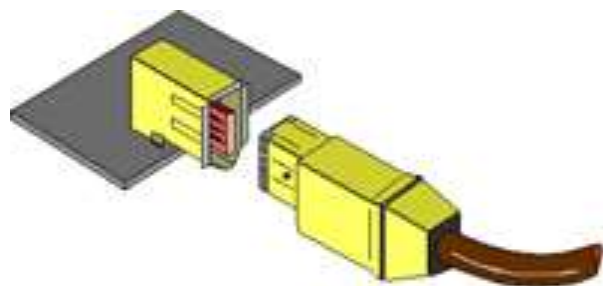
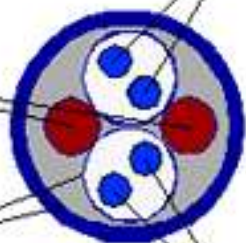
**Кабель 1394**

Питание

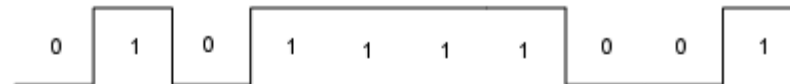
Экран

Сигнальная пара 1

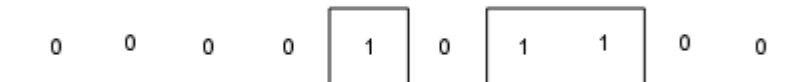
Сигнальная пара 2



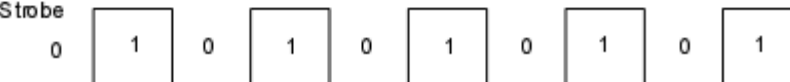
Data  
signal



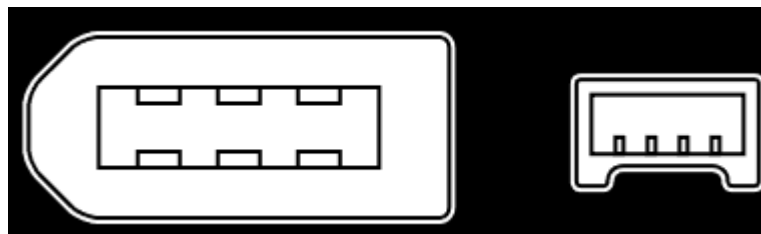
Strobe  
signal



Data XOR Strobe



# Разъемы



# Сигналы бета-режима

Порт может быть «двуязычным» – поддерживать гибридный кабель для подключения к устройству, не совместимому с 1394b. Узел может перекодировать данные из бета в DS и обратно для трансляции на двуязычные порты.

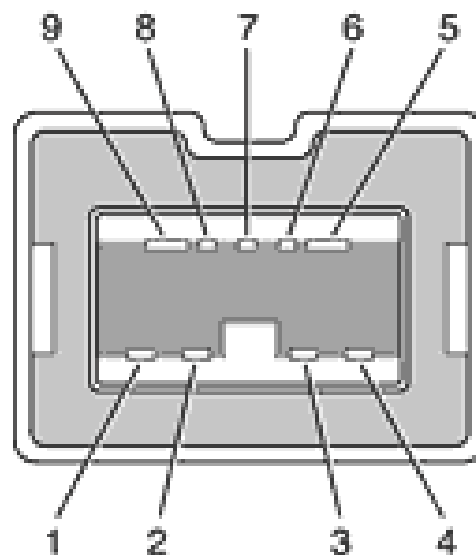
Обе пары линий работают на передачу данных (полный дуплекс), стробирование отсутствует, синхронизация выполняется другими средствами.

Все управляющие сигналы подаются 10-битными символами.

Кодирование 8b/10b позволяет обеспечить не более 5 последовательных 1 и 0, а также наличие спецсимволов, отличимых от байтов данных.

Если скорость потока данных ниже, чем скорость сегмента с поддержкой бета-режима, через который он проходит (например, изначально «вещает» устройство в режиме S400), то порт не может временно вернуться к скорости ниже 800, поэтому между символами-байтами вставляются заполнители, кратные разнице в частотах.

# Разъемы



# Программный доступ к контроллеру 1394

Специальный стандарт OHCI 1394 (**Open Host Controller Interface**)

описывает программную модель контроллера 1394. Контроллер ОНС является агентом шины 1394, способен порождать транзакции любого типа и отвечать на них.

Фактически это LINK-уровень и уровень транзакций, обслуживаемый процессором и контроллерами DMA.

ОНС может отображать часть памяти хоста на пространство узла 1394, отрабатывать операции чтения и записи в память, генерировать циклы изохронных транзакций и выполнять другие задачи.

ОНС реализуется программно и частично аппаратно.



# Протокол SBP-2

Является частью спецификации SCSI. Позволяет устройствам самостоятельно обращаться к памяти хоста через адресное пространство агента шины 1394 и работать с расположенными там командами и данными.

Реализовано подмножество команд SCSI, позволяющее устройствам обмениваться инкапсулированными в пакеты 1394 командами, данными и состояниями.

В рамках SBP-2 определены понятия инициатора, целевого устройства, заданий, запросов.

Инициатор посылает запрос на выполнение задания целевому устройству (в контексте имеющихся у него функций), а тот в свою очередь использует свои ресурсы и ресурсы инициатора для выполнения задания.