

# ТЕХНОЛОГИЯ ЛОКАЛЬНЫХ СЕТЕЙ ETHERNET

---

# История Ethernet

- 22 мая 1972 г. Роберт Метклаф (Robert Metcalfe) пишет записку о разработке протокола локальных сетей, на основе идей ALOHA, которую он изучил как часть своей диссертации.
- Под его руководством в Херох PARC в 1973-1974 г.г. была разработана первая версия сетевого протокола Ethernet
- В 1975 году Херох подал заявку на патент, авторами которого были указаны Метклаф, Давид Богс, Чак Такер и Батлер Лампсон.
- В 1976 году опубликована работа Robert Metcalfe; David Boggs. "Ethernet: Distributed Packet Switching for Local Computer Networks"

# История Ethernet

- В 1979 г. Метклаф ушел из Xerox и стал одним из основателей 3Com.
- В сентябре 1980 был опубликован стандарт «DIX» (DEC, Intel Xerox), описывавший 10 Мегабит/сек Ethernet с 48-битным MAC-адресом
- В ноябре 1982 была опубликована вторая версия этого стандарта, известная как Ethernet II.

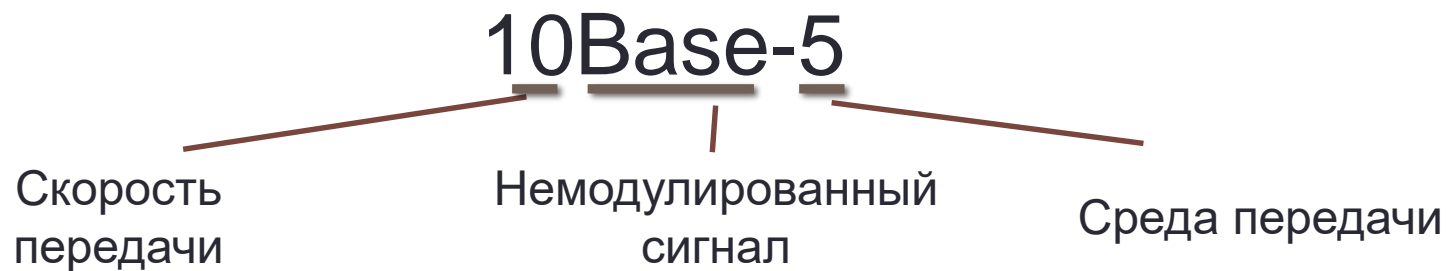
# Стандартизация Ethernet

- В феврале 1980 г. IEEE создал рабочую группу 802 для стандартизации локальных сетей. Группа рассматривала технологии
  - Протокол на основе CSMA/CD, поданный группой DIX
  - Протокол Token Ring, созданный IBM
  - Протокол Token Bus, поддерживаемый General Motors
- В 1981 году представитель Siemens в IEEE 802 организовал группу стандартизации локальных сетей ECMA TC24, которая в 1982 году приняла в качестве стандарта протокол локальных сетей, основанный на предложении CSMA/CD для IEEE 802.
- IEEE опубликовала стандарт IEEE 802.3 на основе CSMA/CD как проект в 1983 и как стандарт в 1985
- В 1984 был принят международный стандарт ISO/IEEE 802/3

# Семейство стандартов IEEE 802

- 802.1 – Основные понятия и определения, взаимодействие сетевых технологий, безопасность
  - Протоколы работы коммутаторов
  - Виртуальные сети (VLAN)
  - Мультикастовая передача
- 802.2 - LLC
- 802.3 – подуровень доступа к среде с использованием CSMA/CD (Ethernet)
- 802.4 – подуровень доступа к среде с топологией шина с передачей маркера (ArcNet)
- 802.5 – подуровень доступа к среде с топологией кольцо с передачей маркера (TokenRing)
  
- 802.11 – беспроводные сети (WiFi)
- 802.15 – Персональные сети (Personal Area Networks)
  - 802.15.1 - Bluetooth
  - 802.15.4 – ZigBee
- 802.16 - WiMAX

# Физические среды передачи данных Ethernet



- 10Base-5 – коаксиальный кабель диаметром 0.5 дюйма
- 10Base-2 – коаксиальный кабель диаметром 0.25 дюйма
- 10Base-T – неэкранированная витая пара
- 10Base-F - оптоволокно
  - FOIRL
  - 10Base-FL
  - 10Base-FB

# 10Base-5

- Коаксиальный кабель диаметром 0.5 дюйма и волновым сопротивлением 50 Ом
- Максимальная длина сегмента 500 метров
- Разрешается использовать до 4 повторителей, достигая максимальной длины 2500 м.
- Подключение компьютеров осуществляется с помощью трансиверов, трансивер накаливался на кабель и соединялся с компьютером с помощью интерфейсного кабеля AUI (Attachment Unit Interface).
- Устанавливать трансиверы можно было только на интервалах в 2.5 метра
- Максимальное число трансиверов в сегменте 100



# 10Base-2

- Коаксиальный кабель диаметром 0.25 дюйма волновым сопротивлением 50 Ом RG-58U
- Максимальная длина сегмента 185 м.
- Подключение осуществляется T-коннектором в разрез кабеля
- Максимальное число станций 30
- Минимальное расстояние между станциями 1 м.



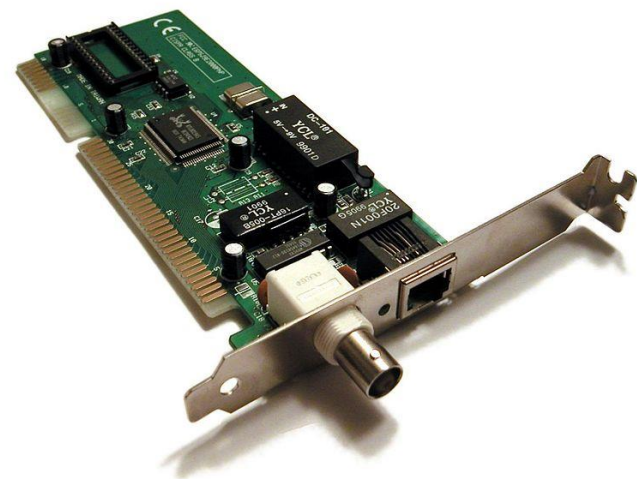
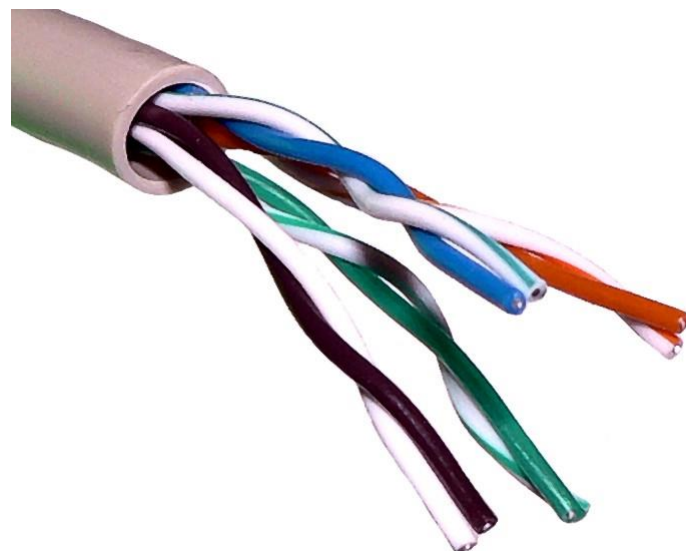


# 10Base-T

- Используется неэкранированная витая пара Unshielded Twisted Pair (UTP)
- Соединения осуществляются по топологии «точка-точка»
- Используются многопортовые концентраторы (хабы)
- Для передачи компьютер→хаб и хаб→компьютер используются разные пары
- Концентратор обнаруживает коллизию в случае одновременного поступления данных на несколько входов
- Максимальное число станций 1024
- Максимальная длина кабеля 100м для категории 3

# Кабеля UTP

- Стандарты на кабель UTP определены в EIA/TIA 568 Commercial Building Wiring Standart
- Кабель состоит из нескольких (4 в нашем случае) пар скрученных проводов
- Дифференциальная передача
  - При передаче на провода передаётся одинаковый по силе но разный по знаку сигнал
  - При приёме вычисляется разность между сигналами
- Помеха, как правило, оказывает одинаковое воздействие на оба провода и сокращается при приёме
  - Кроме случая близко расположенного источника
- Для уменьшения взаимного влияния проводов друг на друга пары скручиваются



# Кабеля UTP

Неэкранированная витая пара:

- Категория 1 – 0.4 Mhz: телефонные линии
- Категория 2 – телефонные линии
- Категория 3 – 16 Mhz: скорость передачи не более 10 Мбит/с, использовался 10Base-T и 100Base-T4 (все 4 пары)
- Категория 4 – 20 Mhz: использовался TokenRing 16Мбит/с
- Категория 5 – 100 Mhz: используется 100Base-TX и 1000Base-T
- Категория 5е – 100 Mhz: улучшены стандарты тестирования по сравнению с категорией 5, 2.5GBase-T
- Категория 6 – 200 Mhz: 1000Base-T, 5GBase-T
- Категория 6а – 250 Mhz: 10GBase-T

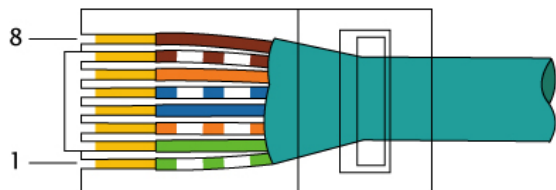
# Кабеля FTP

Экранированная витая пара:

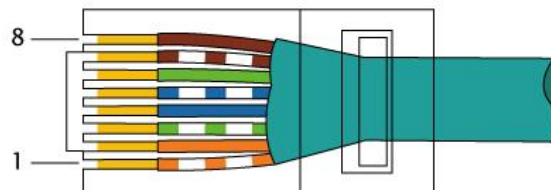
- Категория 7 – 600 Mhz: 10GBase-T; телефон, видеонаблюдение и 1000Base-TX в одном кабеле
- Категория 7a – 1000 Mhz: 10GBase-T; телефон, видеонаблюдение и 1000Base-TX в одном кабеле
- Категория 8 – 1200 Mhz: в разработке

# Разъемы для кабеля UTP

- Используются разъемы 8p8c (8 positions 8 contact), часто некорректно называемые RJ45
- Стандартом TIA/EIA-568-B определены две схемы обжима: 568A и 568B
  - Рекомендуется использовать A
  - Практической разницы никакой нет
  - Главное обжать оба конца кабеля одинаково



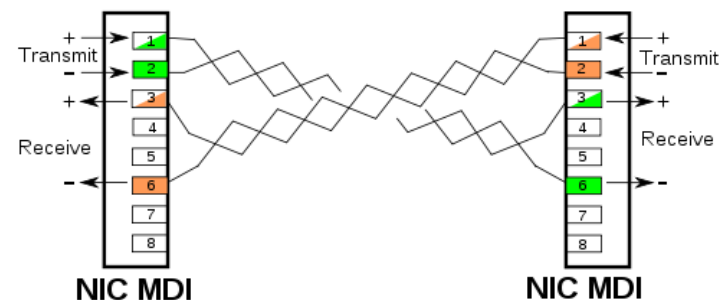
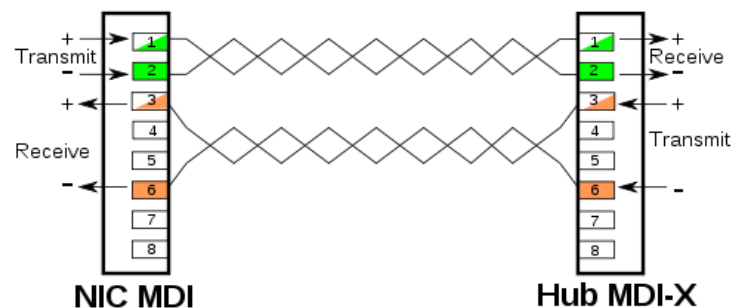
568A



568B

# Прямой и перекрёстный кабель

- Кабель у которого оба конца обжаты по одному стандарту называется прямым (или патч-кордом) и используется для соединения конечного оборудования с коммутационным.
- Для соединения двух компьютеров без хаба необходимо было использовать перекрёстный (crossover) кабель, один из концов которого обжат по схеме А, а другой – В.
- Современные сетевые карты поддерживают технологию Auto-MDIX, автоматически определяющую тип кабеля и переключаящую порты соответствующим образом.



# 10Base-F

- Топология совпадает с топологией 10Base-T
- FOIRL / Fiber Optic Inter Repeater Link
  - Первый стандарт 802.3 на оптоволокне
  - Максимальный сегмент 1 км
  - Не более 4 повторителей при общей длине не более 2500 м
- 10Base-FL – обновленная версия FOIRL
  - Максимальный сегмент 2 км
  - Совместим с FOIRL
- 10Base-FB – предназначен для соединения магистральных повторителей
  - Максимальный сегмент 2 км
  - Не более 5 повторителей при общей длине не более 2740 м
  - Передача ведётся в синхронном режиме
  - Поддерживается диагностика отказа портов

# Объединение различных сред передачи данных

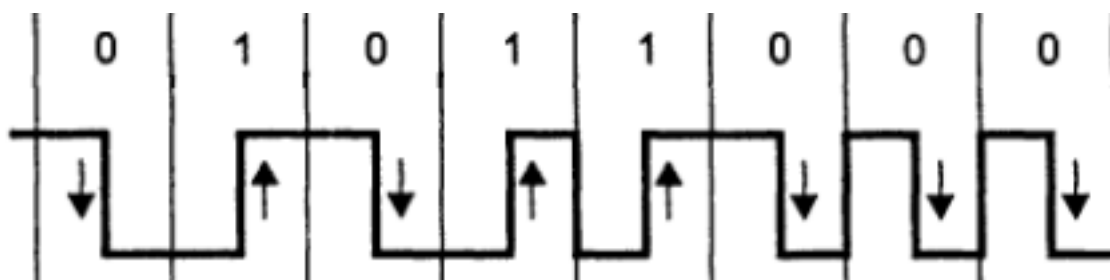
Допускается соединение сегментов различного типа при выполнении следующих условий:

- Количество станций в сети не превышает 1024 (с учетом ограничений для коаксиальных сегментов).
- Удвоенная задержка распространения сигнала (PDV) между двумя самыми удаленными друг от друга станциями сети не превышает 575 битовых интервалов.
- Сокращение межкадрового расстояния (Interpacket Gap Shrinkage) при прохождении последовательности кадров через все повторители не более, чем на 49 битовых интервалов. (при отправке кадров станция обеспечивает начальное межкадровое расстояние в 96 битовых интервалов).



# Передача данных в Ethernet

- Используется манчестерское кодирование



- Используется дейтаграмный полудуплексный режим передачи данных
- Для доступа к среде используется алгоритм CSMA/CD с двоичным экспоненциальным откатом

# MAC адрес Ethernet

- В Ethernet используются 48 битные (6 байт) MAC-адреса

Поле	I/G	U/L	OUI	OUA
Размер в битах	1	1	22	24

- I/G – индивидуальный или широковещательный адрес
    - 0 – индивидуальный
    - 1 – широковещательный
      - Все остальные биты 1 – широковещательный (Broadcast) пакет
      - Иначе - multicast
  - U/L (Universal/Local)
    - 0 – адрес выдан производителем, гарантирована глобальная уникальность
    - 1 – адрес изменён администратором сети
  - OUI – идентификатор производителя устройства
  - OUA – уникальный номер устройства
- Адрес записывается в виде 6 двухзначных шестнадцатеричных чисел разделённых двоеточием или тире  
01:23:45:67:89:ab или 01-23-45-67-89-ab

# Типы кадров Ethernet

- Кадр Ethernet DIX или Ethernet II  
Появился в результате работы консорциума DEC, Intel и Xerox в 1980 г.
- Кадр 802.3/LLC, 802.3/802.2 или Novell 802.2  
Принят в качестве первого стандарта комитетом 802.
- Кадр Raw 802.3 или Novell 802.2  
Разработан Novell для ускорения работы своего стека.
- Кадр Ethernet SNAP (SubNetwork Access Protocol)  
Результат деятельности комитета 802 по приведению вышеизложенного к одному стандарту

# Типы кадров Ethernet

Кадр 802.3/LLC

6	6	2	1	1	1(2)	46-1497 (1496)	4
DA	SA	L	DSAP	SSAP	Управляющее поле	Данные	FCS
Заголовок LLC							

Кадр Raw 802.3/Novell 802.3

6	6	2	46-1500				4
DA	SA	L	Данные				FCS

Кадр Ethernet DIX (II)

6	6	2	46-1500				4
DA	SA	T	Данные				FCS

Кадр Ethernet SNAP

6	6	2	1	1	1	3	2	46-1492	4
DA	SA	L	DSAP	SSAP	Управляющее поле	OUI	T	Данные	FCS
			AA	AA	03	000000			
Заголовок LLC						Заголовок SNAP			

# Кадр Ethernet SNAP

Поле	Преамбула	Адрес получателя	Адрес отправителя	Длина	DSAP	SSAP	CTRL	Код	Тип	Данные	Заполнитель	Контрольная сумма
Размер	8	6	6	2	1	1	1	3	2	46-1492		4
Протокол	MAC 802.3				LLC802.2			SNAP 802.2		Сетевой уровень		MAC 802.3

Поля протокола MAC 802.3:

- Преамбула: 7 байт 0xAA и 1 байт 0xAB
- Адрес получателя: MAC-адрес получателя кадра
- Адрес отправителя: MAC-адрес отправителя кадра
- Длина: в 802.3 размер оставшейся части пакета, в DIX тип протокола
  - Если значение лежит в диапазоне 0...1500 – длина, формат 802.3
  - Если значение >1500 – тип протокола для DIX
- Контрольная сумма: контрольная сумма кадра по протоколу CRC

# Кадр Ethernet SNAP

Поле	Преамбула	Адрес получателя	Адрес отправителя	Длина	DSAP	SSAP	CTRL	Код	Тип	Данные	Заполнитель	Контрольная сумма
Размер	8	6	6	2	1	1	1	3	2	46-1492		4
Протокол	MAC 802.3				LLC 802.2			SNAP 802.2	Сетевой уровень			MAC 802.3

Поля протокола LLC 802.2:

- DSAP (Destination Service Access Point)
- SSAP (Source Service Access Point)
  - Используются для указания протокола более высокого уровня.
  - При использовании SNAP устанавливаются в значение 170
- CTRL (Control)
  - Содержит порядковые номера и номера подтверждений

802.2 определяет 3 типа транспортных услуг:

- LLC1 – без установления соединения и без подтверждения доставки
- LLC2 – с установкой соединения и восстановлением ошибок
- LLC3 – без установки соединения но с подтверждением получения

# Кадр Ethernet SNAP

Поле	Преамбула	Адрес получателя	Адрес отправителя	Длина	DSAP	SSAP	CTRL	Код	Тип	Данные	Заполнитель	Контрольная сумма
Размер	8	6	6	2	1	1	1	3	2	46-1492		4
Протокол	MAC 802.3				LLC 802.2			SNAP 802.2	Сетевой уровень		MAC 802.3	

## Поля протокола SNAP 802.2:

- Код – код организации, выдавшей значение используемое в поле тип
- Тип – тип протокола верхнего уровня, совпадает с значением поля тип в кадре DIX (смотри <http://www.iana.org/assignments/ethernet-numbers>)
  - IP v.4 – 0x0800
  - IP v.6 – 0x86DD
  - ARP – 0x0806
  - RARP – 0x8035
  - IPX/SPX – 0x8138
  - AppleTalk – 0x809B

# Fast Ethernet

- 100 Мбит/сек версия Ethernet была введена в 1995 году стандартом 802.3u
- Работает через витую пару или оптоволокно
- Совместим со стандартом 10Base-T
- Уровни MAC и LLC полностью соответствуют 10 Мбит/сек версии
  
- Существовал также стандарт 802.12 100VG-AnyLAN в котором использовался метод доступа Demand Priority и поддерживались кадры Ethernet и Token Ring



# Подуровни модели Ethernet

- Канальный уровень / Data Link Layer
  - LLC
  - MAC
- Физический уровень / PHY Layer
  - PCS (Physical Coding Sublayer)
    - Автоопределение режима работы
    - кодирование, такое как 8b/10b
  - PMA (Physical Medium Attachment Sublayer)
    - Байтовая синхронизация
    - Скремблирование
  - PMD (Physical Medium Dependent Sublayer)
    - Трансивер

# Среды передачи данных Fast Ethernet

- 100Base-T4
  - Четыре пары кабеля UTP категории 3
- 100Base-T2
  - Две пары кабеля UTP категории 3
- 100Base-TX
  - Две пары кабеля UTP категории 5 или экранированной витой пары STP типа 1
- 100Base-FX
  - Многомодовый оптоволоконный кабель с двумя волокнами.
- 100Base-SX
  - Более дешевая версия 100Base-FX
- 100Base-BX
  - Одно одномодовое волокно
- 100Base-LX10
  - Два одномодовых волокна

# 100Base-T4 и 100Base-T2

- Ранние версия стандарта Fast Ethernet
- 100Base-T4
  - Использует все 4 пары кабеля категории 3:
    - Одна пара используется для передачи,
    - Одна для приёма
    - Две оставшиеся меняют направление передачи
    - Может работать только в полудуплексном режиме
  - Используется кодирование 8В6Т и трехуровневую амплитудно-импульсную модуляцию РАМ-3
- 100Base-T2
  - Использует 2 пары кабеля категории 3, передача по которым ведётся одновременно в обе стороны.
  - Использует скремблирование с помощью сдвигового регистра и модуляцию РАМ-5
- Максимальное расстояние 100 метров
- Не имели широкого распространения

# 100Base-TX

- Используются две пары кабеля UTP категории 5
- Максимальное расстояние 100 метров
- Используется кодирование 4В/5В поверх потенциального кода с инверсией при 1 (NRZI)
- Неиспользованные коды используются как символы простоя и ограничители кадра
- Может работать в полнодуплексном режиме
- Поддерживает автоопределение режима работы (скорость передачи и полудуплексный или полнодуплексный).
  - Осуществляется передачей импульсов Fast Link Pulse (FPL) содержащих список поддерживаемых режимов

# Fast Ethernet с использованием ОПТОВОЛОКНА

- 100Base-FX
  - Многомодовый оптоволоконный кабель с двумя волокнами.
  - 400 метров в полудуплексном режиме
  - 2 км в полнодуплексном режиме
- 100Base-SX
  - Более дешёвая версия 100Base-FX за счёт использования другой длины волны и светодиодов вместо лазеров
  - Максимальная длина 550 метров
  - Совместим с 10Base-FL
- 100Base-BX
  - Одно одномодовое волокно, используются две длины волны
  - Расстояние 10, 20 или 40 км
- 100Base-LX10
  - Два одномодовых волокна
  - Расстояние 10 км

# Ограничения сетей Fast Ethernet на повторителях

- Повторители класса I
  - Поддерживают кодирование 4В/5В и 8В/6Т
  - Могут иметь порты разных типов физического уровня
  - Вносит задержку 70 битовых интервалов
  - Может быть только один в сегменте
- Повторители класса II
  - Поддерживают только один тип кодирования и могут иметь порты только типов, поддерживающих такое кодирование
  - Вносят меньшую задержку (46 битовых интервалов для FX/ТХ, 33.5 для Т4)
  - В одном сегменте можно использовать два повторителя

# Технология Gigabit Ethernet

- 1000 Мбит/сек версия Ethernet была введена в 1998 году стандартом 802.3z
- Стандарт 802.3ab определил реализацию 1000Мбит/сек ethernet через витую пару 5-ой категории
- Был сохранён формат кадров Ethernet
- Был сохранён режим доступа CSMA/CD при работе в полудуплексном режиме
- Поддерживаются все основные виды кабелей

# Проблемы при создании Gigabit Ethernet

- Обеспечение приемлемого диаметра сети
  - При сохранении параметров составила бы всего 25 метров
- Использованный за основу физический уровень технологии Fibre Channel допускал максимальную скорость передачи 800 Мбит/сек
- Использование витой пары на скорости в 1000Мбит/сек



# Средства обеспечения диаметра сети в 200 метров

- Необходимо было обеспечить соотношение минимального размера кадра и приемлемого времени двойного оборота.
- Минимальный размер кадра увеличен с 64 до 512 байт
  - Для этого после контрольной суммы передаётся «поле расширения», заполненное нулями, что позволило формально не менять минимальный размер кадра
- Станции получили возможность передавать несколько кадров подряд без передачи среды другим станциям (режим пульсаций)
  - Максимальный размер 8192 байт
  - Разрешается не передавать поле расширения между кадрами.

# Спецификации физической среды Gigabit Ethernet

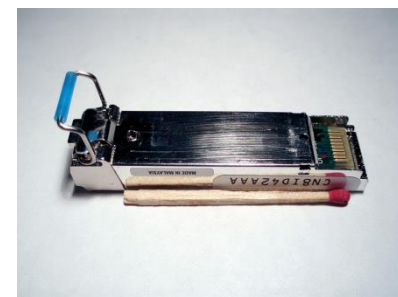
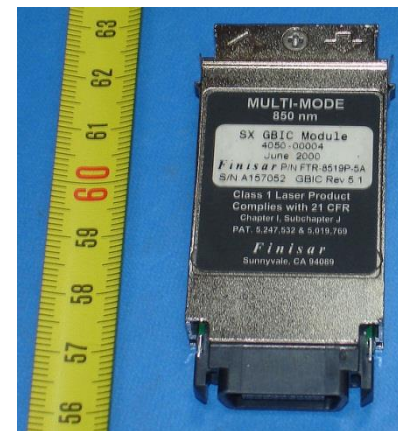
- 1000Base-X – общий термин для обозначения стандартов со сменными приёмопередатчиками GBIC или SFP
  - 1000Base-SX – многомодовое оптоволокно, 220 или 550 метров
  - 1000Base-LX – многомодовое оптоволокно, 550 метров
  - 1000Base-LX – одномодовое волокно, 5 км
  - 1000Base-LX10 – одномодовое волокно, 10 км
  - 1000Base-ZX – нестандартный, одномодовое волокно, до 70 км
  - 1000Base-BX10 – одно одномодовое волокно, 10 км
  - 1000Base-CX – твинаксиальный кабель, 25 метров
- 1000Base-TX – кабель 6 категории, создан TIA
- 1000Base-T – кабель 5 категории

# 1000Base-T

- Для кодирования сигнала применён код PAM-5
  - 5 уровней потенциала: -2, -1, 0, 1, 2
  - Используется скремблирование с использованием сдвигового регистра, преобразующее 8 бит в 4 3-битных символа
  - Отображение 3-битных символов в уровни меняется во время передачи
  - За один такт передаётся 2,322 бит
  - Применена тактовая частота 125 Mhz на которой код PAM-5 имеет спектр уже, чем 100 Mhz
- Для передачи используются все 4 пары для одновременной передачи в обе стороны
  - Для этого приёмник вычитает из результирующего сигнала известный ему свой сигнал
- За каждый такт передаётся не  $2,322 * 4 = 9,288$  бит, а 8
  - Используются 256 из  $5^4 = 625$  комбинаций кода PAM
  - В итоге получаем требуемую скорость 1000Мбит/сек

# Конверторы интерфейсов

- GBIC – GigaBit Interface Converter
  - Стандарт на трансиверы для сетей Gigabit Ethernet и Fibre Channel использовавшийся в 90-ых годах
- Small Form-Factor Pluggable (SFP) / Mini-GBIC
  - Поддерживают технологии
    - Ethernet: 100 Mbps, 1 Gbps, 1,25 Gbps
    - SDH: STM-1 (155 Mbps), STM-4 (622 Mbps), STM-16 (2,488 Gbps)
    - Fibre Channel: 1, 2, 4, 8 Gbps
  - В основном используются для работы с разными видами оптоволоконна
- SFP+
  - Стандарт 2006 года, поддерживающий скорость 10 Gbps
- QSFP
  - 4 канала по 10..28 Gbps
- CFP2
  - до 800 Gbps
- Поддерживают горячую замену
- Увеличивают гибкость оборудования



# 10Gigabit Ethernet

- Стандарт на 10 Gigabit Ethernet опубликован в 2002 году
- Предусматривает только связи точка-точка, соединяемые с помощью коммутаторов
  - Нет хабов
  - Нет полудуплексного режима
  - Нет коллизий и алгоритма CSMA/CD
- Используются конверторы интерфейсов XENPAK, XFP и SFP+

# 10Gigabit Ethernet через оптоволокно

- 10GBase-SR (“Short Range”)
  - Расстояние 33, 82 или 400 метров в зависимости от типа волокна
  - Самый дешевый, самый компактный, самое низкое потребление
- 10GBase-LR (“Long Reach”)
  - Одномодовое волокно
  - До 10 км по стандарту, до 25 на практике
- 10GBase-LRM (“Long Reach Multimode”)
  - Многомодовое волокно, расстояние до 300 метров
- 10GBASE-ER (“extended reach”)
  - Одномодовое волокно
  - До 30 км через обычные линии, до 40 км через специальные
- 10GBASE-ZR
  - Нестандартный вариант, до 80 км
- 10GBASE-LX4
  - Одномодовое и многомодовое волокно
  - Расстояние до 300 метров по многомодовому и 10 км по одномодовому волокну
  - Устарел

# 10Gbit Ethernet через медный кабель

- 10GBase-CX4
  - Первый 10G стандарт, использовавший медный кабель CX4
  - Расстояние 15 метров
- SFP+ Direct Attach (10GSFP+Cu, 10GBase-CR, 10GBase-CX1)
  - Использует твинаксиальный кабель для прямого соединения через гнездо SFP+
  - Расстояние 7 метров
- 802.3ap
  - Используется для соединения модульных серверов через шасси
  - 10GBase-KX4 использует 4 линии, кодирование CX-4
  - 10GBase-KR использует 2 линии, кодирование LR/ER/SR
- 10GBase-T
  - Принят в 2006 году
  - Витая пара категории 6A
  - Расстояние 100 метров

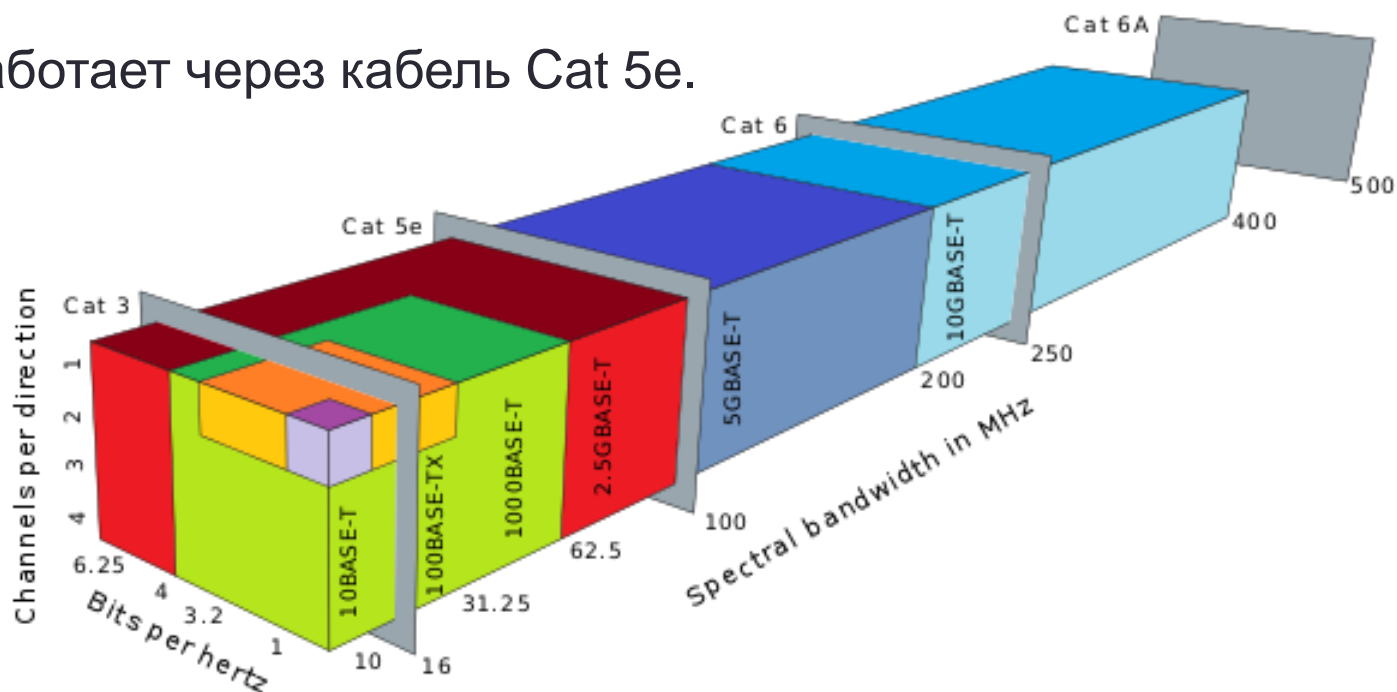
# 40/100Gbit Ethernet

- Для следующего стандарта было решено выбрать две скорости – 40 и 100 Гбит/с
- Разработка стандарта началась в 2007, ратифицирован в июне 2010.
- Сохранены формат и минимальный размер кадра
- Поддерживается работа через одномодовое и многомодовое волокно, шасси и медный кабель.



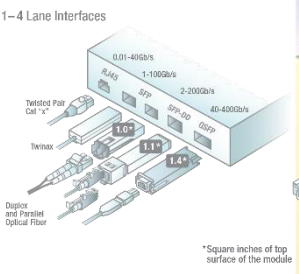
# 2.5 и 5 Gbit через витую пару

- 23 сентября 2016 принят стандарт IEEE 802.3bz.
- Использует технологии 10GBASE-T с уменьшением скорости в 2 и 4 раза, соответственно сокращая полосу пропускания.
- 5 Gbit работает через кабель Cat 6 и 5e, если повезёт.
- 2.5 Gbit работает через кабель Cat 5e.

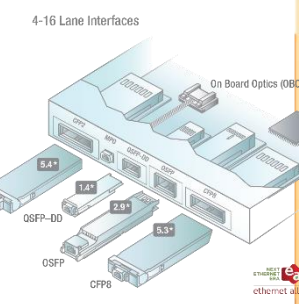


# FORM FACTORS

This diagram shows the most common form factors used in Ethernet ports. Hundreds of millions of RJ45 ports are sold a year while tens of millions of SFP and millions of QSFP ports ship a year.



This diagram shows new form factors initially designed for 100GbE and 400GbE Ethernet ports. All have 4 or 8 lanes and the OBO has up to 16 lanes. The power consumption of the modules is proportional to the surface area of the module.

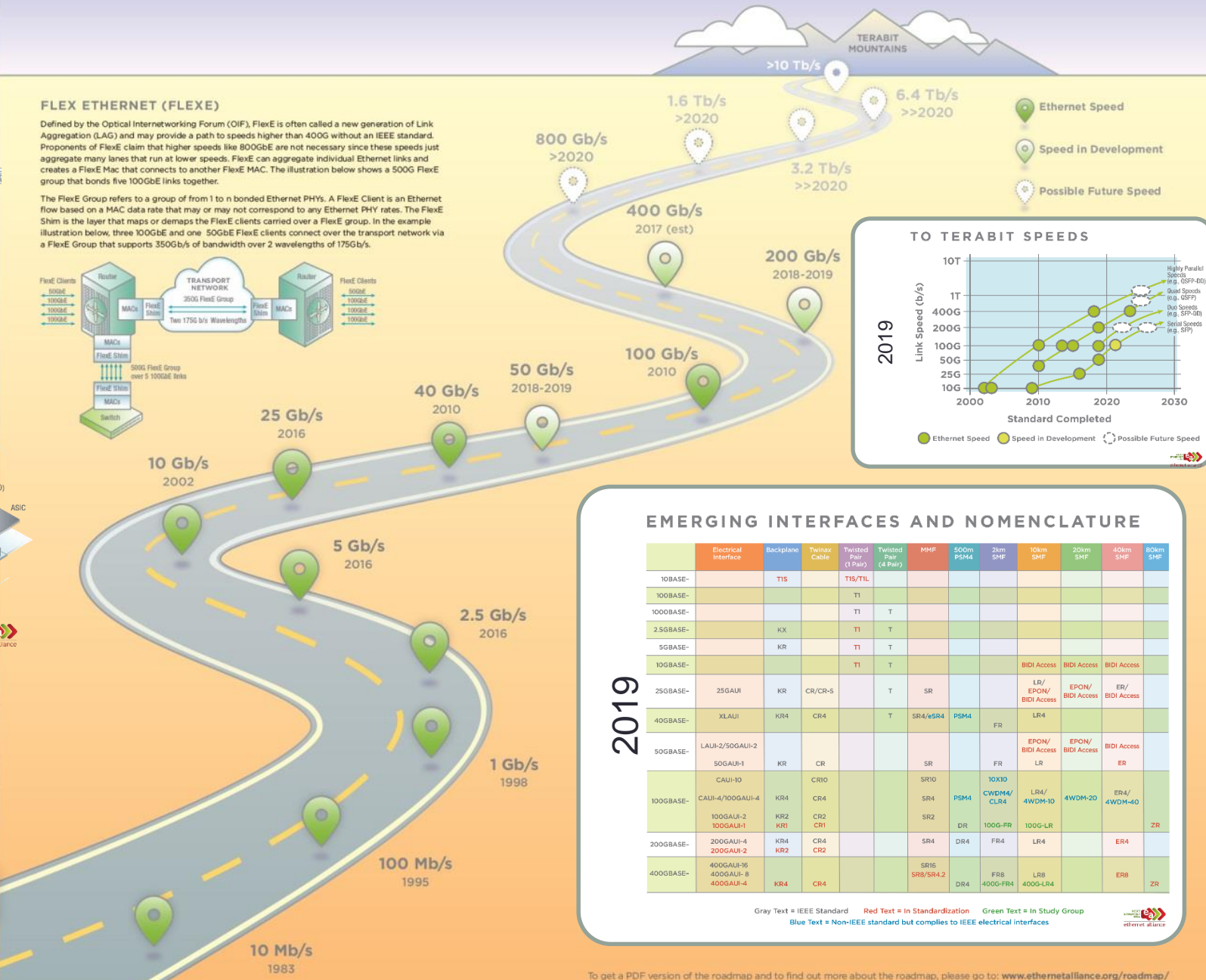
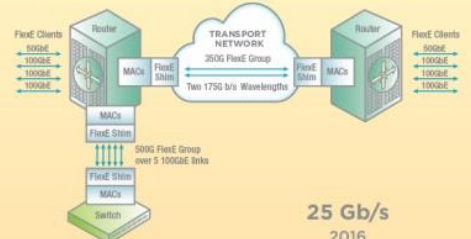


# 2016 ETHERNET ROADMAP

## FLEX ETHERNET (FLEXE)

Defined by the Optical Internetworking Forum (OIF), FlexE is often called a new generation of Link Aggregation (LAG) and may provide a path to speeds higher than 400G without an IEEE standard. Proponents of FlexE claim that higher speeds like 800GbE are not necessary since these speeds just aggregate many lanes that run at lower speeds. FlexE can aggregate individual Ethernet links and creates a FlexE Mac that connects to another FlexE MAC. The illustration below shows a 500G FlexE group that bonds five 100GbE links together.

The FlexE Group refers to a group of from 1 to n bonded Ethernet PHYs. A FlexE Client is an Ethernet flow based on a MAC data rate that may or may not correspond to any Ethernet PHY rates. The FlexE Shim is the layer that maps or demaps the FlexE clients carried over a FlexE group. In the example illustration below, three 100GbE and one 50GbE FlexE clients connect over the transport network via a FlexE Group that supports 350Gb/s of bandwidth over 2 wavelengths of 175Gb/s.



### EMERGING INTERFACES AND NOMENCLATURE

	Electrical Interface	Backplane	Twisted Cable	Twisted Pair (1 Pair)	Twisted Pair (4 Pair)	MMF	50Om PSM4	21m SMP	10m SMP	20km SMF	40km SMP	60km SMP
10BASE-		TIS		TIS/TIL								
100BASE-				TI								
1000BASE-				TI	T							
25GBASE-		KX		TI	T							
50GBASE-		KR		TI	T							
100GBASE-				TI	T					BIDI Access	BIDI Access	BIDI Access
25GBASE-	25GAUI	KR	CR/CR-S		T	SR				LR/EPON/ BIDI Access	EPON/ BIDI Access	ER/ BIDI Access
40GBASE-	XLAI	KR4	CR4		T	SR4/6SR4	PSM4	FR		LR4		
50GBASE-	LAUI-2/50GAUI-2	KR	CR			SR		FR		EPON/ BIDI Access	EPON/ BIDI Access	BIDI Access
100GBASE-	CAUI-10	KR4	CR4			SR10	PSM4	FR		LR4		ER
100GBASE-	CAUI-4/100GAUI-4	KR4	CR4			SR4	PSM4	FR		LR4/ 4WDM-10	4WDM-20	ER4/ 4WDM-40
100GBASE-	100GALU-2	KR2	CR2			SR2		DR		100G-FR		ZR
200GBASE-	200GAUI-4	KR4	CR4			SR4		DR4		FR4		ER4
400GBASE-	400GALU-8	KR8	CR8			SR8		DR8		FR8		ER8
400GBASE-	400GALU-4	KR4	CR4			SR4/SR4.2		DR4		FR4/ 400G-FR4		ZR

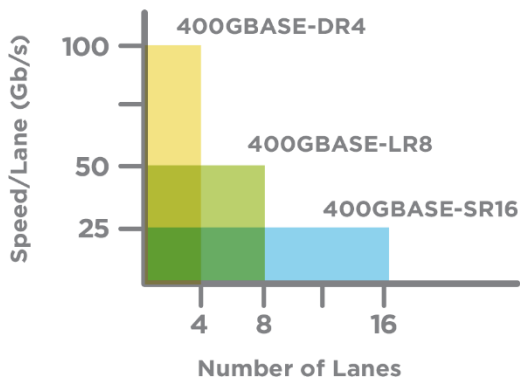
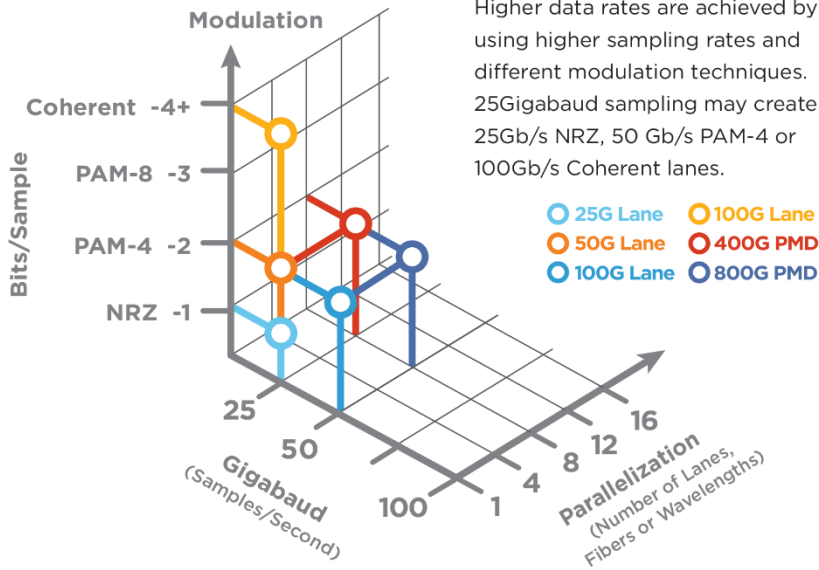
Gray Text = IEEE Standard    Red Text = In Standardization    Green Text = In Study Group  
Blue Text = Non-IEEE standard but complies to IEEE electrical interfaces

# EMERGING INTERFACES AND NOMENCLATURE

	Electrical Interface	Backplane	Twinax Cable	Twisted Pair (1 Pair)	Twisted Pair (4 Pair)	MMF	500m PSM4	2km SMF	10km SMF	20km SMF	40km SMF	80km SMF
10BASE-		T1S		T1S/T1L								
100BASE-				T1								
1000BASE-				T1	T							
2.5GBASE-		KX		T1	T							
5GBASE-		KR		T1	T							
10GBASE-				T1	T				BIDI Access	BIDI Access	BIDI Access	
25GBASE-	25GAUI	KR	CR/CR-S		T	SR			LR/ EPON/ BIDI Access	EPON/ BIDI Access	ER/ BIDI Access	
40GBASE-	XLAUI	KR4	CR4		T	SR4/eSR4	PSM4	FR	LR4			
50GBASE-	LAUI-2/50GAUI-2 50GAUI-1	KR	CR			SR		FR	EPON/ BIDI Access LR	EPON/ BIDI Access	BIDI Access ER	
100GBASE-	CAUI-10 CAUI-4/100GAUI-4 100GAUI-2 100GAUI-1	KR4 KR2 KR1	CR10 CR4 CR2 CR1			SR10 SR4 SR2	PSM4 DR	10X10 CWDM4/ CLR4 100G-FR	LR4/ 4WDM-10 100G-LR	4WDM-20	ER4/ 4WDM-40	ZR
200GBASE-	200GAUI-4 200GAUI-2	KR4 KR2	CR4 CR2			SR4	DR4	FR4	LR4		ER4	
400GBASE-	400GAUI-16 400GAUI- 8 400GAUI-4	KR4	CR4			SR16 SR8/SR4.2	DR4	FR8 400G-FR4	LR8 400G-LR4		ER8	ZR

Gray Text = IEEE Standard    Red Text = In Standardization    Green Text = In Study Group  
Blue Text = Non-IEEE standard but complies to IEEE electrical interfaces

# FATTER PIPES

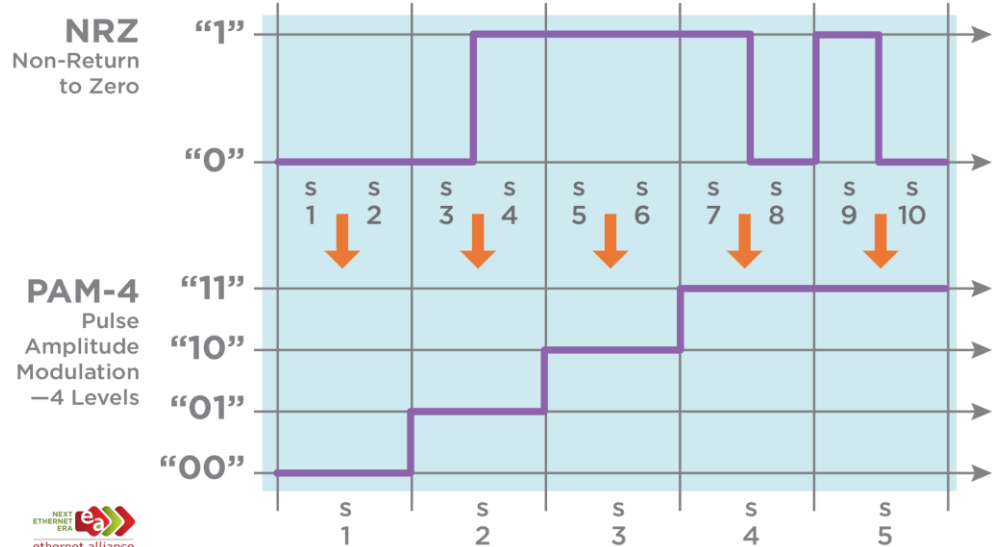


After the data rate/lane is chosen, the number of lanes in a link determines the speed. This chart shows how 4, 8 or 16 lanes can be used to generate 400GbE links.



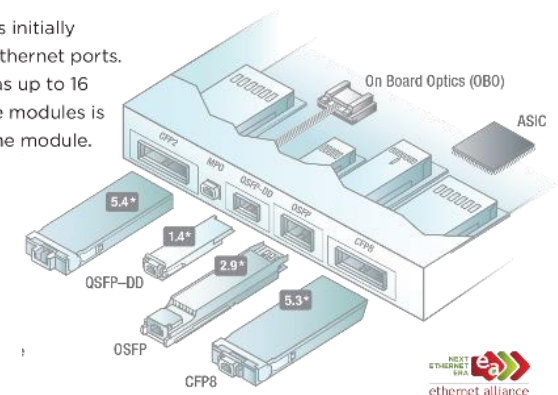
# SIGNALING METHODS

Most high speed Ethernet signaling has been Non Return to Zero (NRZ), but Pulse Amplitude Modulation 4 Level (PAM-4) signaling delivers twice as many bits per sample.



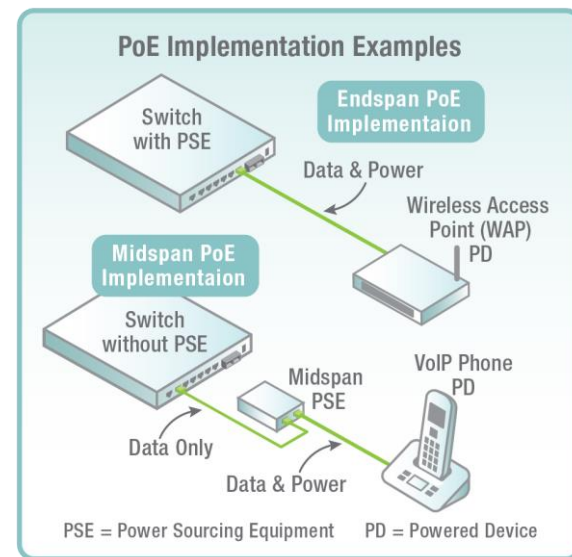
4-16 Lane Interfaces

This diagram shows new form factors initially designed for 100GbE and 400GbE Ethernet ports. All have 4 or 8 lanes and the OBO has up to 16 lanes. The power consumption of the modules is proportional to the surface area of the module.



# Питание через Ethernet (PoE)

- PoE (Power over Ethernet) – технология передачи питания устройству вместе с данными через витую пару.
- Стандарты IEEE 802.3af, 802.3at (PoE+)
  - Alternative A: по одним парам с данными
  - Alternative B: по разным парам
  - Обмен данными о необходимости питания
- Passive POE
  - Просто подаём питание согласно варианту В или другими способами



PoE Types and Classes	2-Pair PoE+ – Type 2					4-Pair PoE in Standardization			
	2-Pair PoE – Type 1				4	5	6	7	8
Class	0	1	2	3	4	5	6	7	8
PSE Power (W)	15.4	4	7	15.4	30	45	60	75	90
PD Power (W)	13	3.84	6.49	13	25.5	40	51	62	71.3

Потребляемая мощность

Мощность источника