

Ethernet

Историческая справка (кто, когда и зачем?)
Структура IEEE стандартов, сопоставление с OSI RM
Множественность Ethernet-кадров, назначение полей
Подуровень MAC: структура и типы MAC-адресов
Назначение 802.1Q Тэг в кадре Ethernet
Подуровень LLC (поля DSAP и SSAP): структура и типы SAP-адресов
Подуровень LLC (поле “управление”): три типа процедур управления каналом и используемые для этих процедур команды
Подуровень LLC: 802.2 SNAP PDU
Метод доступа CSMA/CD

СОДЕРЖАНИЕ

1. **Историческая справка**
2. **Структура стандартов**
3. **LLC / MAC подуровни**
4. **Форматы кадров**
5. **Метод доступа CSMA / CD**

ИСТОРИЧЕСКАЯ СПРАВКА (LAN)

- Цель разработчиков первых локальных сетей (LAN – Local Area Network) в 70-е годы - нахождение простых и дешевых технологий объединения компьютеров в локальную сеть.
- Ethernet получила свое название от несуществующей субстанции (эфира), которой, как считали ученые в позапрошлом веке, был заполнен вакуум и который якобы служил средой для распространения света
- Предшественница Ethernet - разработанная во второй половине 60-х годов система радиосвязи для разбросанных по Гавайскому архипелагу станций. Различные варианты случайного доступа к общей (разделяемой) радиосреде получили общее название Aloha

ИСТОРИЧЕСКАЯ СПРАВКА (Меткалф/Ethernet)

- Днем рождения [Ethernet](#) [1] можно считать 22 мая 1973 года, когда Роберт Меткалф (Robert Metcalfe) и Дэвид Боггс (David Boggs) опубликовали докладную записку, в которой описывалась экспериментальная сеть, построенная ими в исследовательском центре фирмы Xerox в Пало-Альто.
- При рождении сеть получила имя Ethernet, она базировалась на толстом коаксиальном кабеле и обеспечивала скорость передачи данных 2,94 Мбит/с
- В декабре 1973 г Меткалф опубликовал докторскую работу "Packet communications" ("Пакетная связь")
- В июле 1976 г. Меткалф и Боггс выпустили совместный труд "Ethernet: Distributed Packet Switching for Local Computer Networks" ("Ethernet: распределенная пакетная коммутация для локальных компьютерных сетей")
- Тем самым была заложена теоретическая база для дальнейшего развития Ethernet-технологии

ИСТОРИЧЕСКАЯ СПРАВКА (DIX)

- Для воплощения своих идей в жизнь Роберт Меткалф создал в 1979 г собственную компанию 3Com, одновременно начав работать консультантом в Digital Equipment Corporation (DEC).
- В DEC Меткалф получает задание на разработку сети, спецификации на которую не затрагивали бы патентов Xerox
- Создается совместный проект Digital, Intel и Xerox (DIX). Задача консорциума DIX - перевод Ethernet из лабораторно-экспериментального состояния в технологию со скоростью передачи данных 10 Мбит/с
- Ethernet превращается из разработки Xerox в открытую, доступную всем технологию, что оказалось решающим в ее становлении как мирового сетевого стандарта

ИСТОРИЧЕСКАЯ СПРАВКА (IEEE 802)

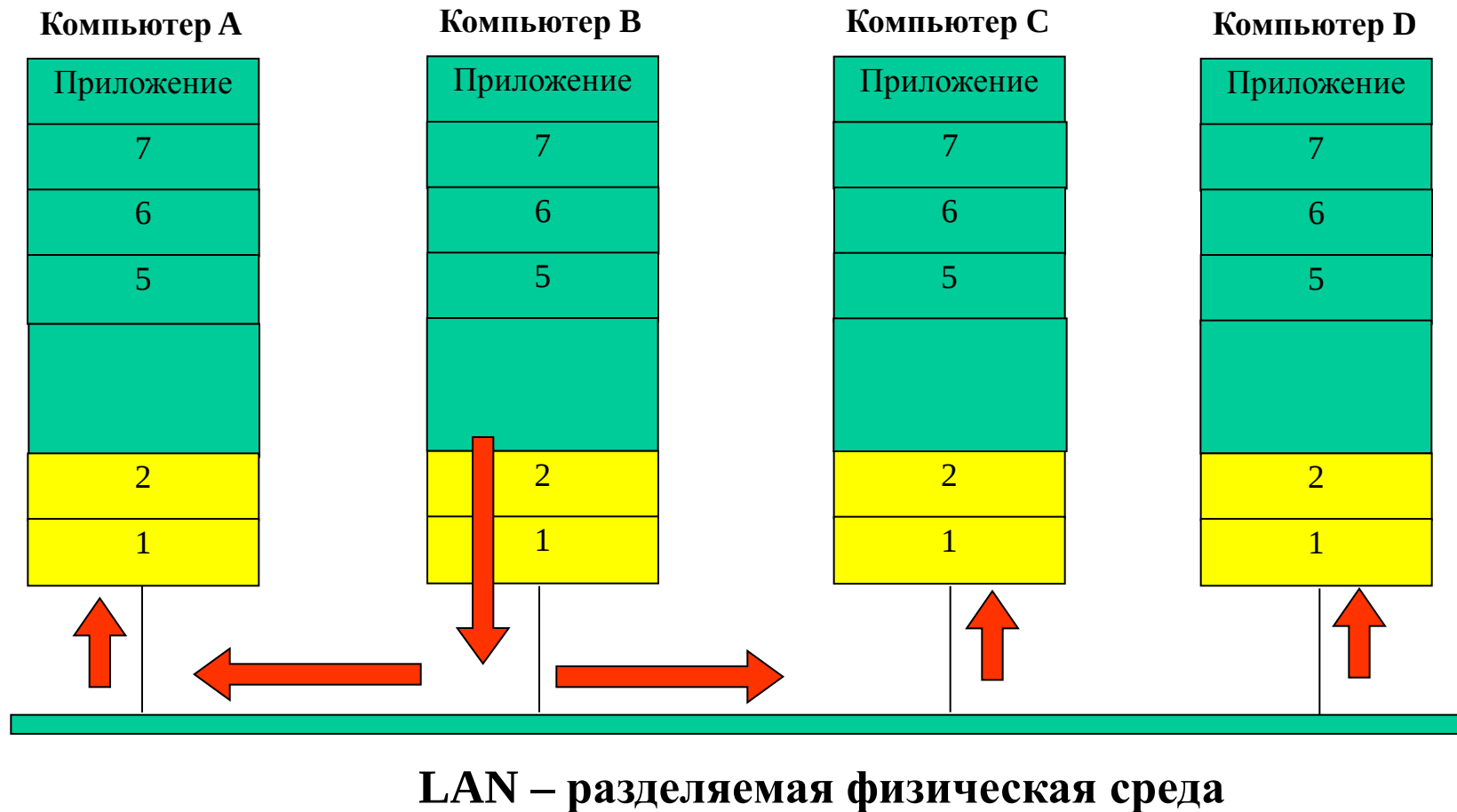
- В феврале 1980 г. результаты деятельности DIX были представлены в IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers - Институт инженеров по электротехнике и электронике, национальная организация США), где вскоре была сформирована группа 802 для работы над проектом
- В настоящее время термин Ethernet чаще всего используют для описания всех локальных сетей, работающих в соответствии с принципами CSMA/CD (Carrier Sense Multiple Access/Collision Detection) - множественный доступ с контролем несущей и обнаружением коллизий

ИСТОРИЧЕСКАЯ СПРАВКА (CSMA/CD)

**CSMA/CD (Carrier Sense Multiple Access/Collision Detection) -
множественный доступ с контролем несущей и
обнаружением коллизий**

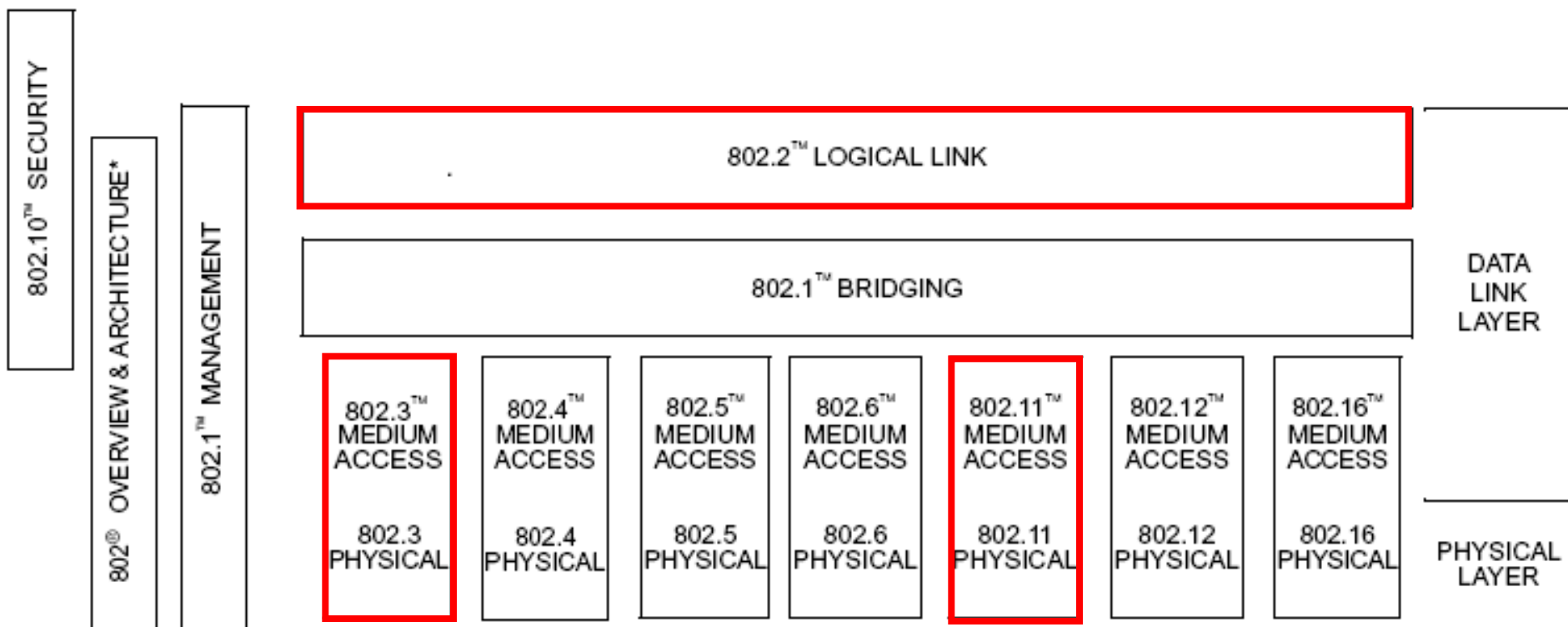
- Метод множественного доступа подразумевает, что множество рабочих станций подключаются к одной физической среде (кабелю) и каждая из них имеет возможность передавать
- Контроль несущей означает прослушивание физической среды перед началом передачи. Если нет сигнала (несущей), то станция может передавать кадр. Если есть - среда считается занятой и передача откладывается
- Коллизией считается факт смешения в физической среде сигналов от двух (и более) передающих станций. Обнаруживается коллизия путем сравнения передаваемых сигналов с получаемыми
- Все участники передачи, обнаружившие коллизию, генерируют сигнал подтверждения коллизии

Передача в LAN



Структура стандартов

Структура стандартов



* Formerly IEEE Std 802.1A.

1. Стандарты охватывают два уровня модели OSI RM: Канальный и физический
2. Логический канал (802.2) и мост (802.1) - общие для всех технологий доступа к физической среде, например 802.3 – Ethernet, 802.11 – беспроводные ЛВС)

IEEE 802 LAN & MAN RM vs OSI RM

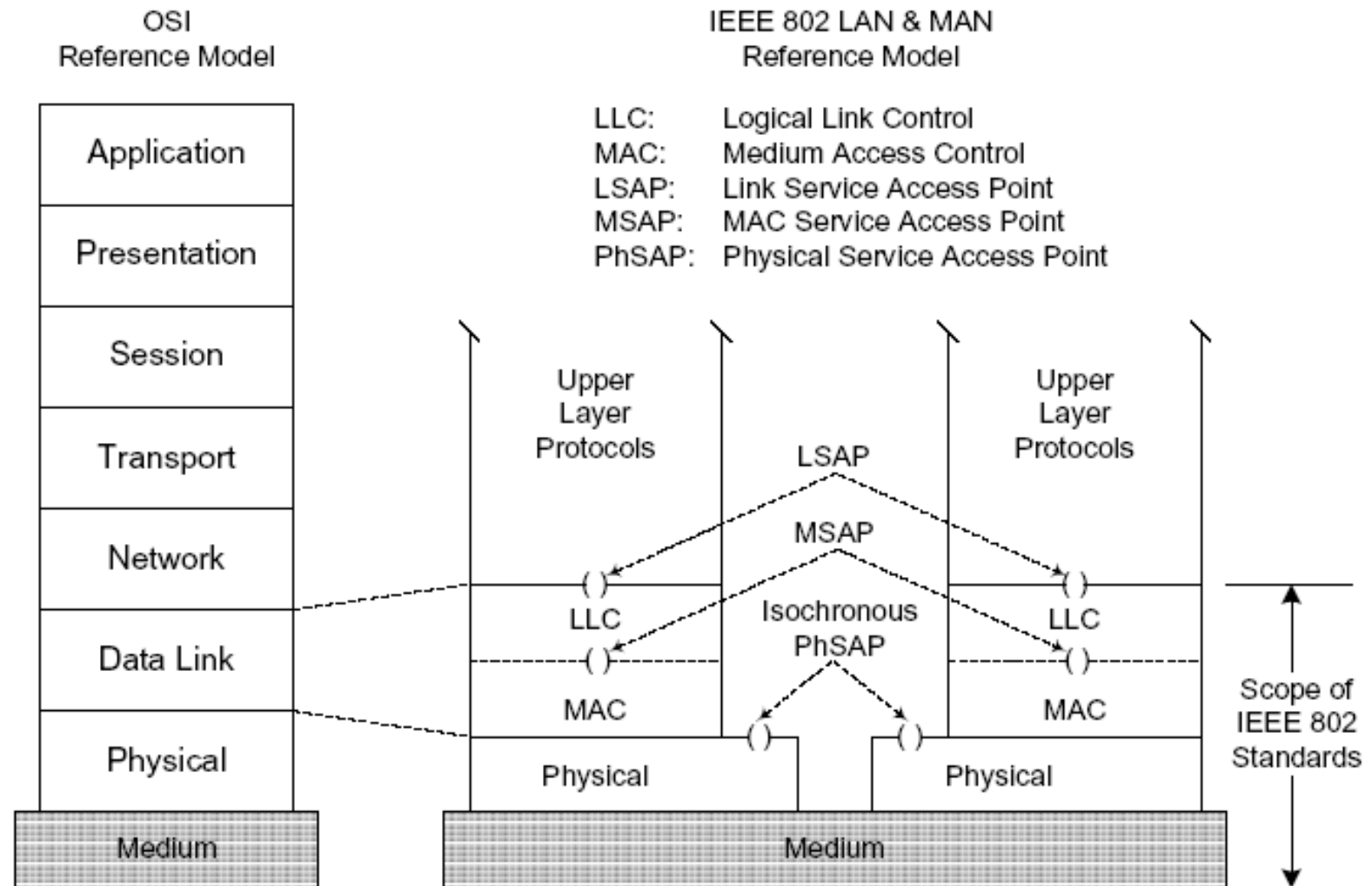


Figure 1—IEEE 802 RM for end stations (LAN&MAN/RM)

IEEE 802 и физическая среда

LLC: Logical Link Control
MAC: Medium Access Control
PHY: Physical Layer
PLS: Physical Layer Signaling
PMA: Physical Medium Attachment

1: Attachment Unit Cable
2: Attachment Unit Connectors
AUI: Attachment Unit Interface
MAU: Medium Attachment Unit
MDI: Medium Dependent Interface

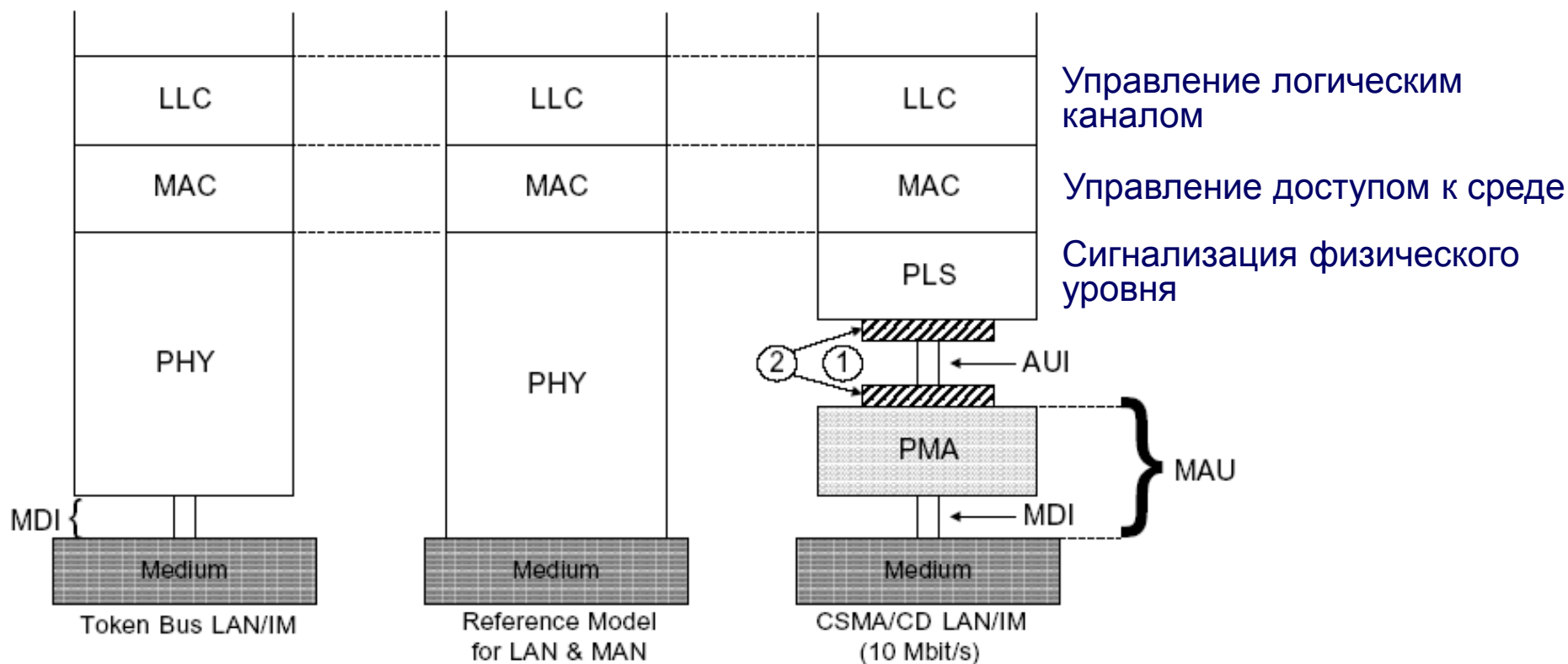


Figure 2—IEEE 802 RM and two examples of end-station implementation model

Стандарты 802.1 <https://1.ieee802.org/>

● **Стандарты 802.1 носят общий для всех технологий характер**, а именно:

- Общие определения локальных сетей и их свойств, связь уровней модели IEEE 802 с моделью OSI, взаимодействие между собой различных технологий
- Группа стандартов межсетевого взаимодействия (internetworking):
 - ✓ **802.1D** описывает логику работы **моста/коммутатора** (следующая страница)
 - ✓ **802.1H** определяет работу **транслирующего моста**, который может без маршрутизатора объединять сети Ethernet и FDDI, Ethernet и Token Ring;
 - ✓ **802.1Q** определяет способ построения виртуальных локальных сетей **VLAN**
- Разрабатываемая совокупность стандартов **TSN (Time-Sensitive Networking – синхронизируемые по времени сети)**, описывающая работу Ethernet сетей (802.3), требующих строгой синхронизации времени и детерминированной доставки данных:
 - ✓ 802.1AS: протокол синхронизации **точного времени**
 - ✓ 802.1CB: резервирование потоков путем **репликации кадров** и удаление их дубликатов
 - ✓ 802.1Qbv-2016: планирование **расписания доставки** пакетов
 - ✓ 802.1Qci-2017 : правила обработки и **фильтрации потоков данных**
 - ✓ 802.1Qcc : **резервирование потоков данных**
 - ✓ 802.1Qbu: **прерывание** передачи кадров
- Основные усилия TSN направлены на обеспечение работы приложений в режиме реального времени. Требования к параметрам связи:
 - ✓ джиттер не превышает 100 нс
 - ✓ Время цикла (доставки) в диапазоне 50 мкс — 2 мс

IEEE 802.1D и bridg (мост)

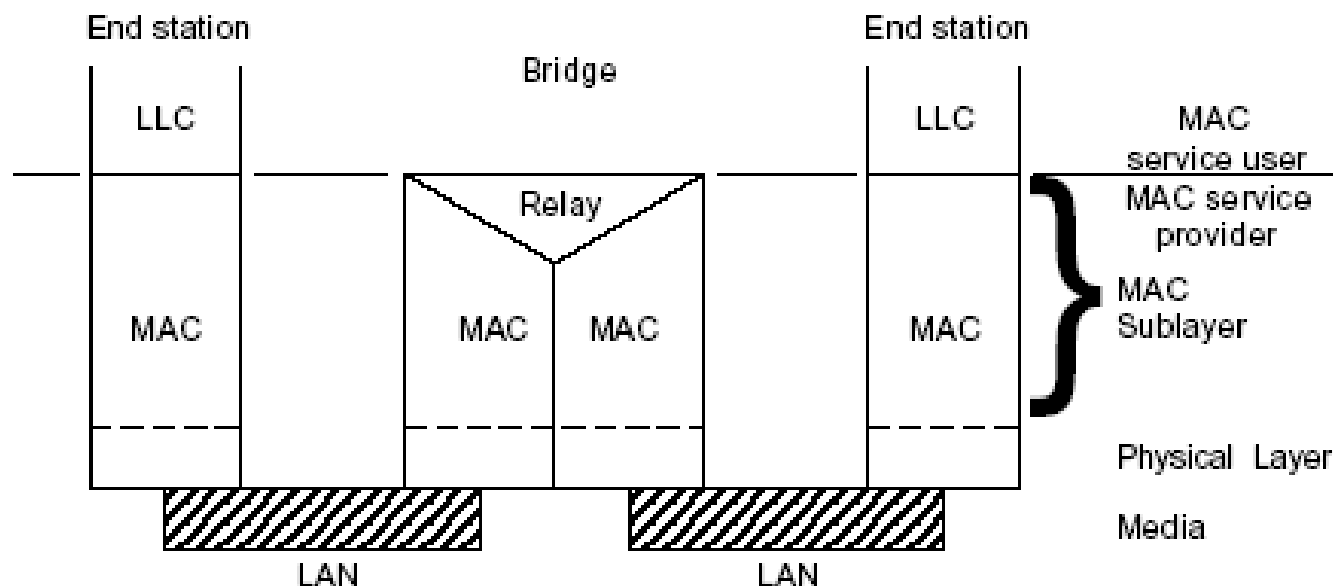


Figure 4—Internal organization of the MAC sublayer with bridging

- мост принимает кадры, анализирует поля заголовка MAC подуровня, в том числе MAC адрес получателя, и ретранслирует кадры в те порты, к которым подключены получатели

Стандарты 802.2 и 802.3-802.12

- Стандарт 802.2 описывает механизмы управления логическим каналом (Logical Link Control, LLC) и является общим для всех технологий
- Стандарты 802.3 - 802.12 - ... описывают технологии локальных сетей, которые появились и разрабатываются в результате улучшений фирменных технологий, легших в их основу
 - *802.3 - технология Ethernet, разработанная компаниями Digital, Intel и Xerox (или Ethernet DIX)*
 - 802.4 - Token Bus, появился как обобщение технологии ArcNet компании Datapoint Corporation
 - 802.5 - в основном соответствует технологии Token Ring компании IBM
 - 802.6 - Metropolitan Area Network, MAN - сети мегаполисов;
 - 802.7 - Broadband Technical Advisory Group - техническая консультационная группа по широкополосной передаче;
 - 802.8 - Fiber Optic Technical Advisory Group - техническая консультационная группа по волоконно-оптическим сетям;
 - 802.9 - Integrated Voice and data Networks - интегрированные сети передачи голоса и данных;
 - 802.10 - Network Security - сетевая безопасность;
 - *802.11 - Wireless Networks - беспроводные сети;*
 - 802.12 - Demand Priority Access LAN, 100VG-AnyLAN - локальные сети с методом доступа по требованию с приоритетами
 -

Предмет дальнейшего рассмотрения

- 802.2 / 802.2 SNAP - Logical Link Control, LLC - управление логическим каналом
- 802.3 – Ethernet (жаргон “проводной Ethernet”), метод доступа CSMA/CD
- 802.11 - Wireless Networks, беспроводные сети (жаргон “беспроводной Ethernet”), метод доступа CSMA/CA

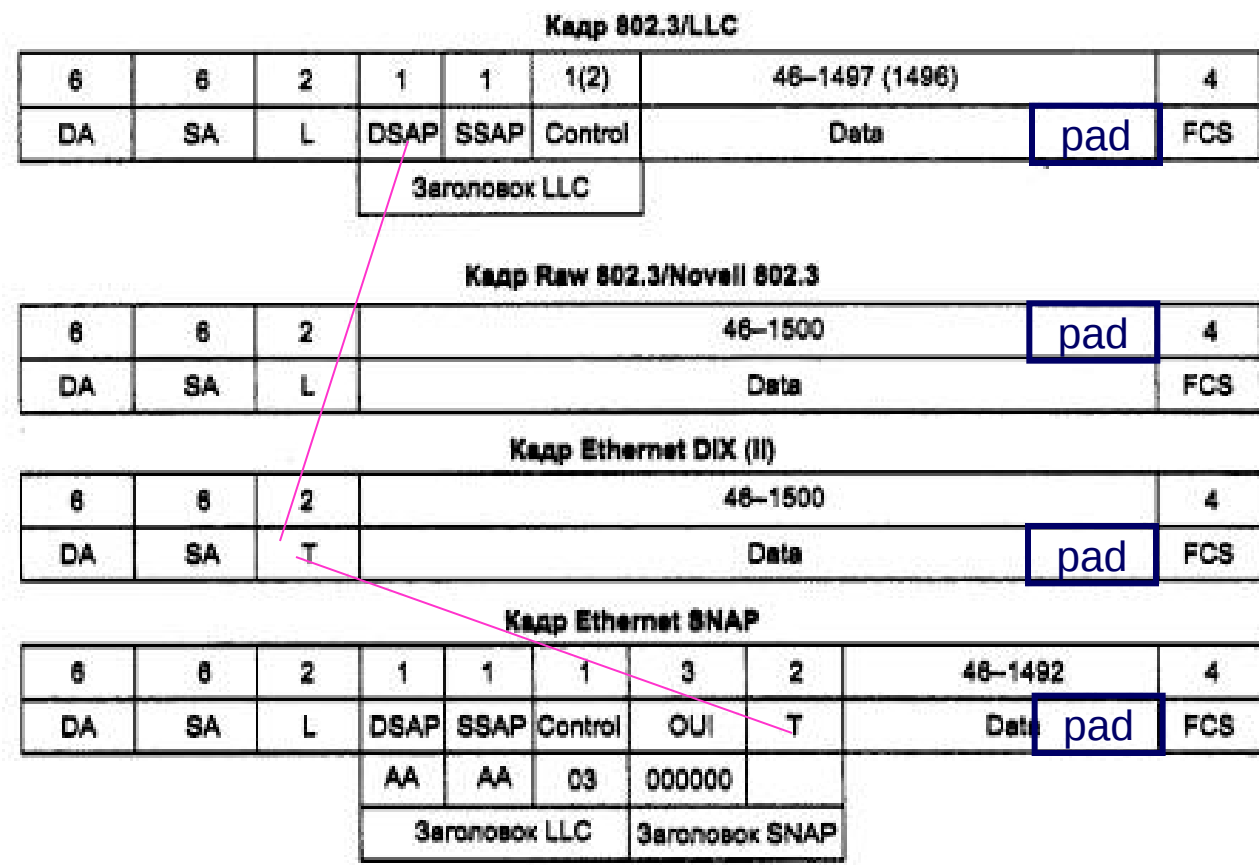
Форматы кадров

Форматы кадров Ethernet

Многообразие кадров порождено длительной историей развития Ethernet

DA (destination address) MAC-адрес станции назначения (индивидуальный, групповой, широковещательный)

SA (source address) MAC-адрес отправителя.



T or L (type or length):
для Ethernet II - тип кадра
для 802.3/LLC – длина в байтах

Хотя длина и тип разные по формулировке, по их значениям автоматически определяется тип Ethernet кадров

pad – наполнитель, для удлинения длины кадра до 64 байта

FCS (frame check sequence) – контрольная сумма

FCS (frame check sequence)

FCS (frame check sequence) – контрольная сумма кадра, вычисляется CRC (то есть все поля кроме preamble, SFD, FCS, и дополнения). Кодирование определено следующим образующим полиномом.

$$G(x) = x^{32} + x^{26} + x^{23} + x^{22} + x^{16} + x^{12} + x^{11} + x^{10} + x^8 + x^7 + x^5 + x^4 + x^2 + x + 1$$

T or L (type or length):

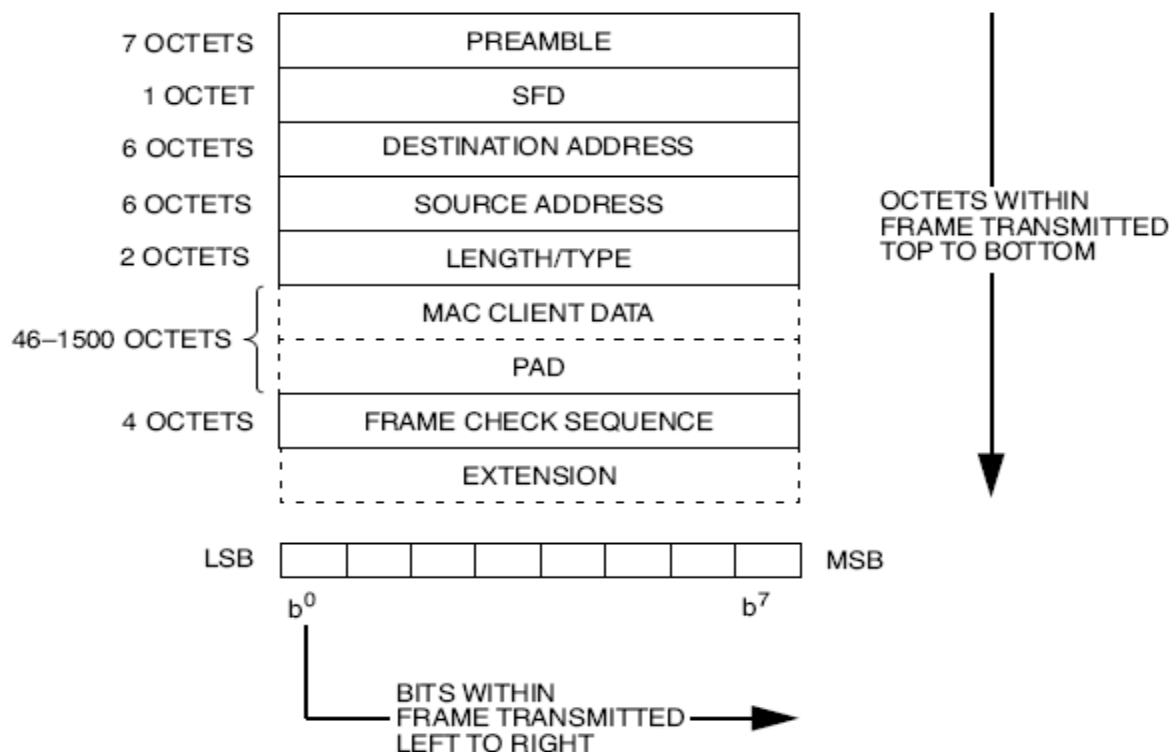


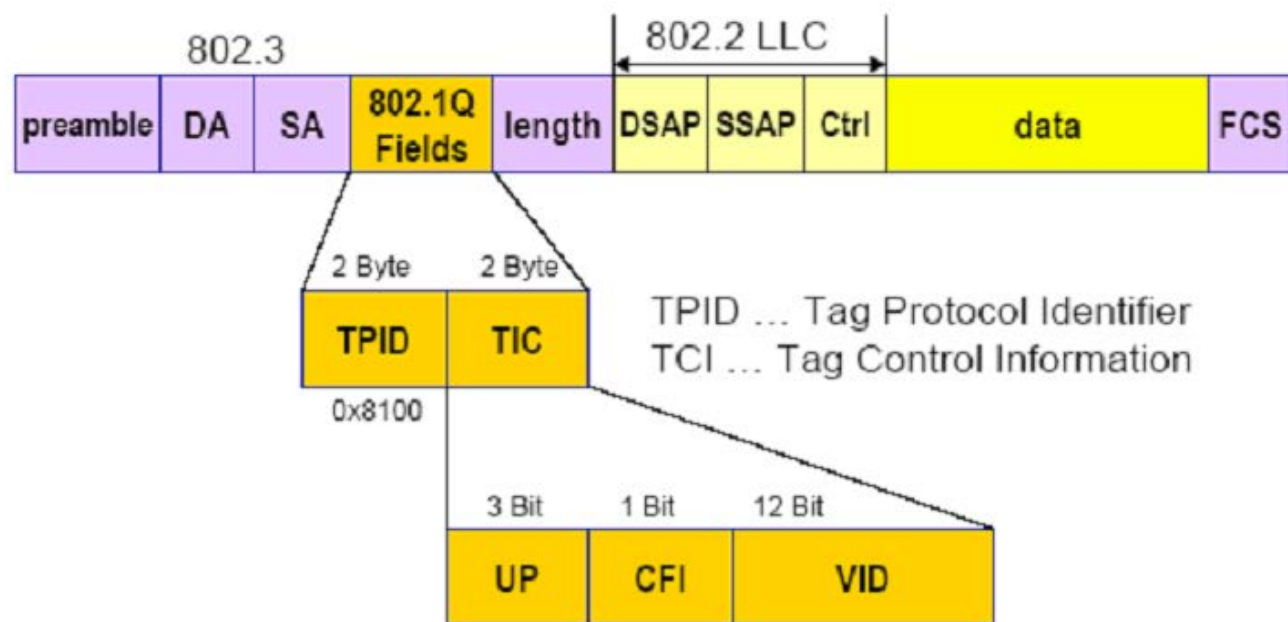
Figure 3–1 —MAC frame format

802.1Q Тэг в кадре 802.3/LLC

802.1Q обеспечивает:

- механизм построения виртуальных сетей (поле VID)
- задание приоритета кадра (поле UP)

На L2 уровне должна поддерживаться система приоритезации очередей



note: With tagging Ethernet's maximal frame length = 1522, minimal frame length = 68

UP ... User Priority

CFI ... Canonical Format Identifier

VID ... VLAN Identifier

TRID – идентификатор тега, содержит 0x8100 для 802.Q

TCI – управляющая информация тега

UP – приоритет пользователя

CFI – канонический формат идентификатора.

Раньше для отличия FDDI и TokenRing от Ethernet

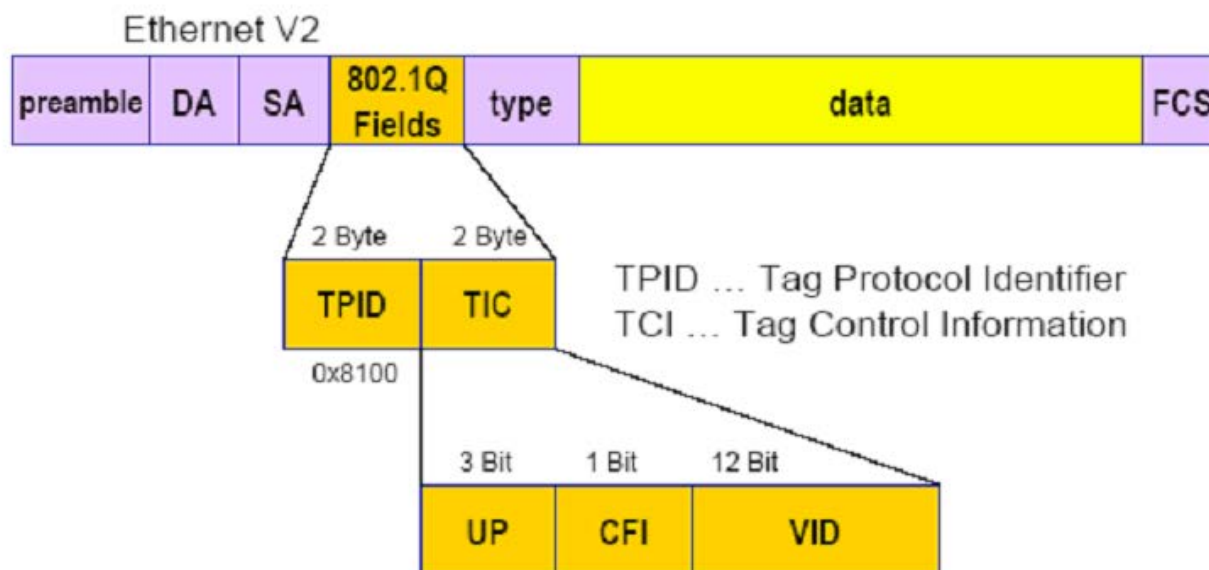
Сейчас DEI *Drop eligible indicator (DEI)* - указывает, может ли кадр быть отброшен в случае затора на интерфейсе

VID – VLAN идентификатор

VLAN – виртуальная LAN

802.1Q Тэг в кадре Ethernet II

- Принципы организации приоритетного трафика на уровне L2 рассмотрены в стандарте 802.1p, который является частью стандарта 802.1D (мостовые соединения)



note: With tagging Ethernet's maximal frame length = 1522, minimal frame length = 68

UP ... User Priority
CFI ... Canonical Format Identifier
VID ... VLAN Identifier

- Добавление 802.1Q тега может привести к превышению предельно допустимой длины кадра (1518 байт).
- Поэтому IEEE разрабатывает спецификацию 802.3as, где максимальная длина кадра равна 1522 байта

Форматы кадров Ethernet

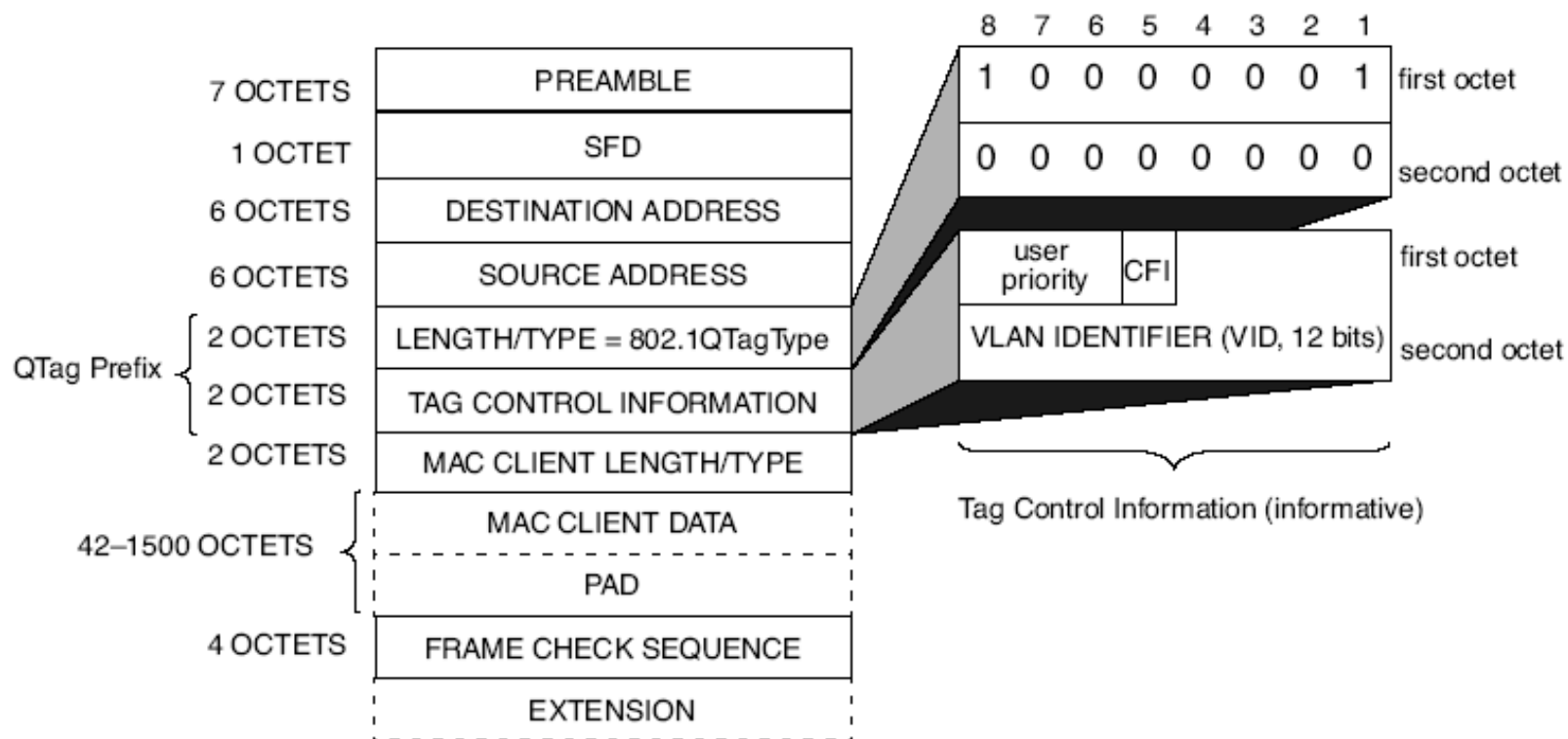
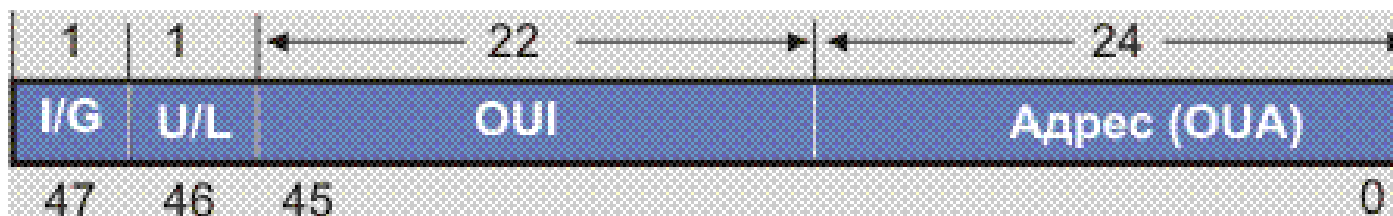


Figure 3-3— Tagged MAC frame format

Структура MAC-адреса

MAC-адрес (от [англ. Media Access Control](#)) — адрес доступа к [среде](#), уникальный идентификатор, присваиваемый каждому порту/интерфейсу [сетевого оборудования Ethernet](#)

MAC-адрес: формат



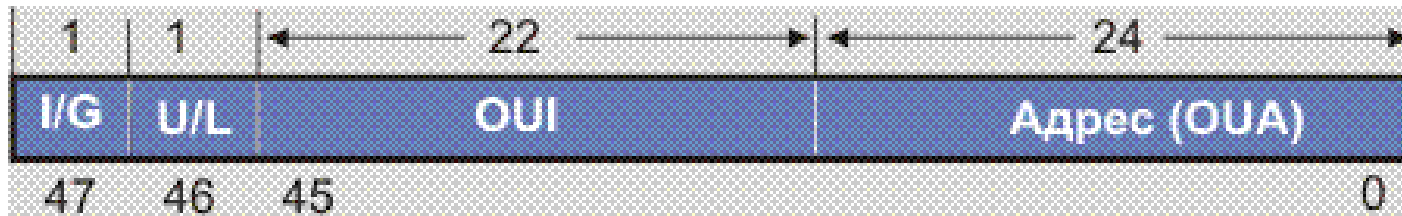
● Каждая станция

- Идентифицируется уникальным MAC-адресом, устанавливаемом в поле кадра MAC-адреса источника (source address, SA)
 - ✓ Так называемый "Burn-In" Адрес (BIA), администрируется IEEE

● MAC-адрес состоит из 6 байт (48 бит)

- **I/G** (Individual/Group) бит – индивидуальный/групповой адрес
- **U/L** (Universal/Local) бит – универсальный/локальный адрес
- **OUI** (Organizational Unique Identifier) 22 бита - уникальный идентификатор организации, присвоенный IEEE производителю оборудования
- **OUA** (Organizationally Unique Address) 24 бита - уникальный адрес организации, присвоенный производителем оборудования сетевой плате/порту/интерфейсу

MAC-адрес: формат



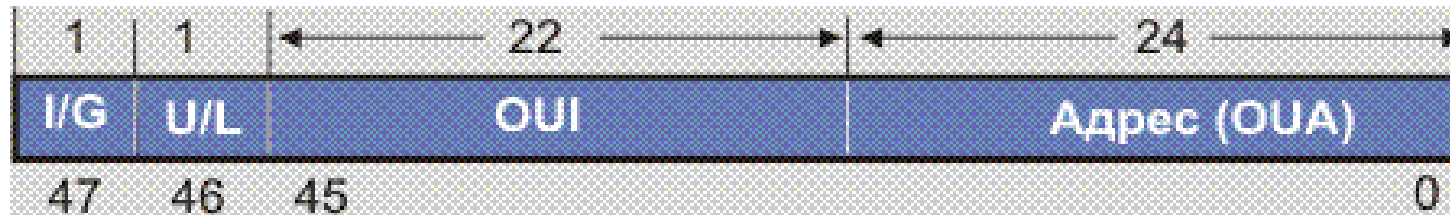
- **I/G Индивидуальный / групповой** (только в поле кадра «адрес получателя»)

- I/G=0 - индивидуальный адрес (unicast)
- I/G=1 - групповой адрес (multicast)

- **U/L Универсальный / локальный**

- U/L=1 – локально администрируемый (администратор сети может назначить устройству MAC-адрес)
- U/L=0 – глобально администрируемый (назначается IEEE производителю сетевого оборудования)

MAC-адрес: администрируемый IEEE (U/L)=0



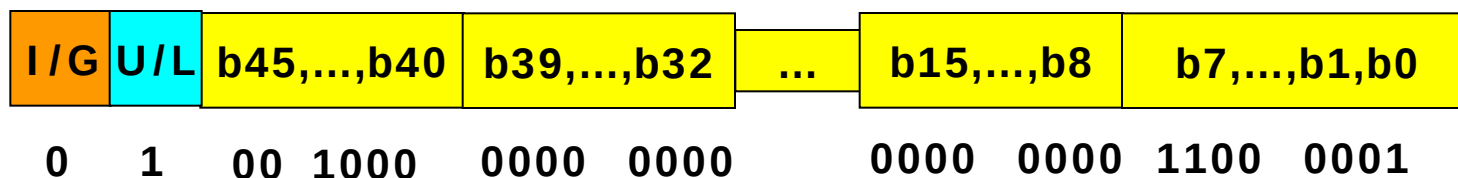
- **OUI (Organizational Unique Identifier)** - IEEE назначает каждому поставщику сетевого оборудования уникальный код поставщика (OUI)
 - Примеры известных MAC OUI производителей оборудования: CC:46:D6 - Cisco; 3C:5A:B4 - Google, Inc. 3C:D9:2B - Hewlett Packard; 00:9A:CD - HUAWEI TECHNOLOGIES CO.,LTD
- **OUA (Organizationally Unique Address)** - поставщик использует младшие три байта адреса для нумерации своих устройств / интерфейсов

Таким образом, **глобально администрируемый MAC-адрес** устройства **глобально уникален** и обычно «зашит» в аппаратуру.

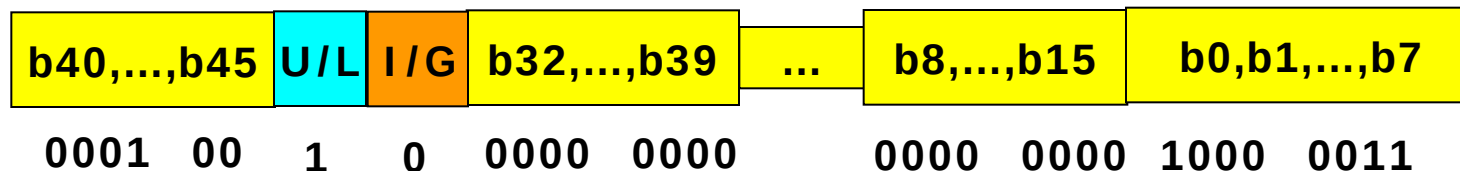
MAC-Адрес: формат хранения 802.3

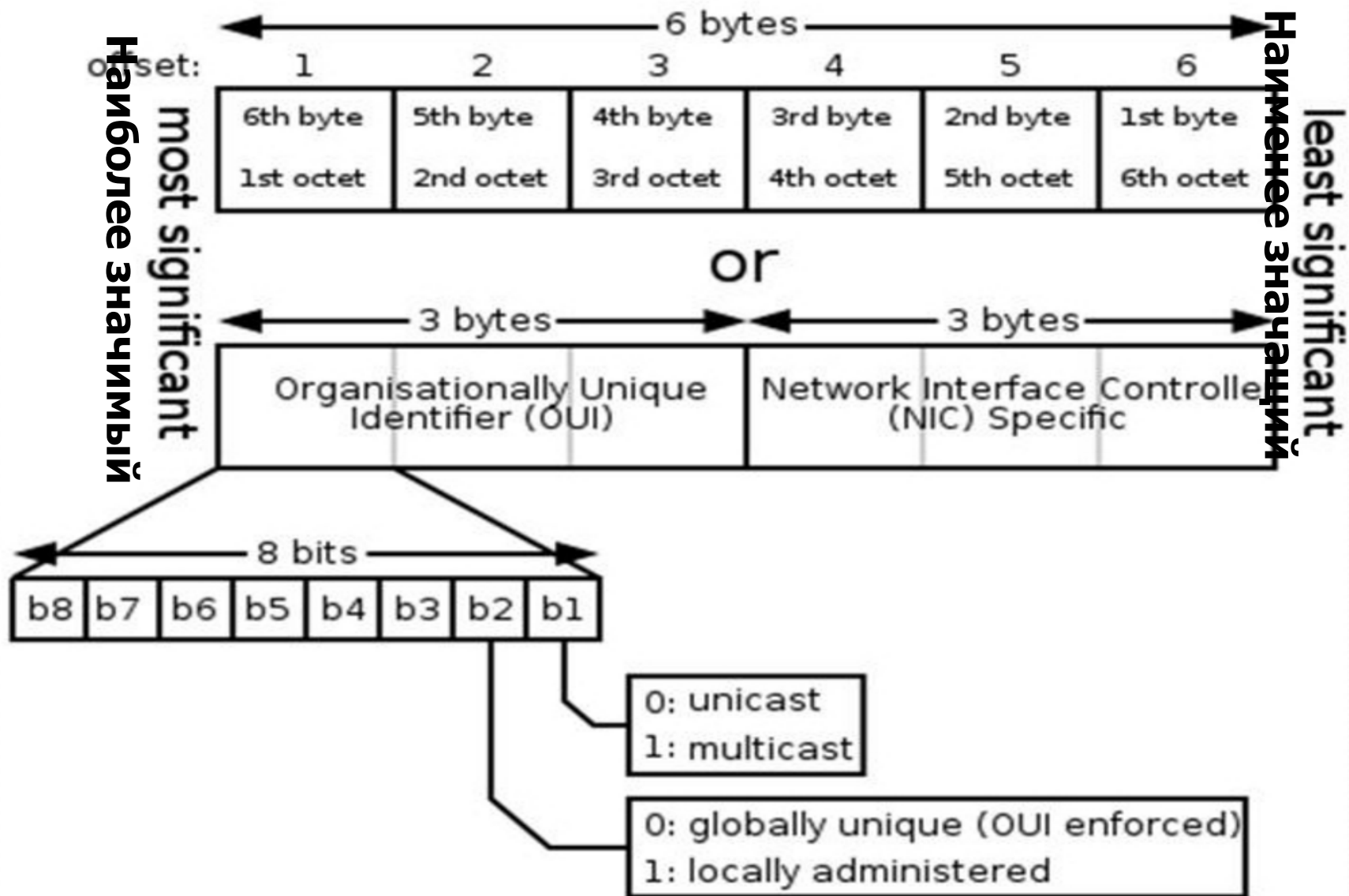
● Основное правило:

- I/G должен быть первым битом в передаваемом кадре для определения является ли Destination Address уникальным или групповым адресом
- Следовательно передаваемый адрес должен иметь следующий формат:



- Однако, 802.3 сначала посылает младший бит каждого байта
- Поэтому 802.3 должен хранить каждый октет в памяти в обратном порядке
 - ✓ В так называемом «Каноническом» формате





MAC-адрес: формат записи

Адреса в шестнадцатеричном виде записывают по-разному: через тире, двоеточие, или точки.

Например:

- **00-50-B6-5B-CA-6A** - самая распространенная и привычная для всех форма записи;
- **00:50:B6:5B:CA:6A** - форма записи используется чаще всего в Linux системах;
- **005.0b6.5bc.a6a** - такой формат записи MAC - адреса используется компанией Cisco.

MAC-адрес: типы, примеры, узнать

• Типы адресов:

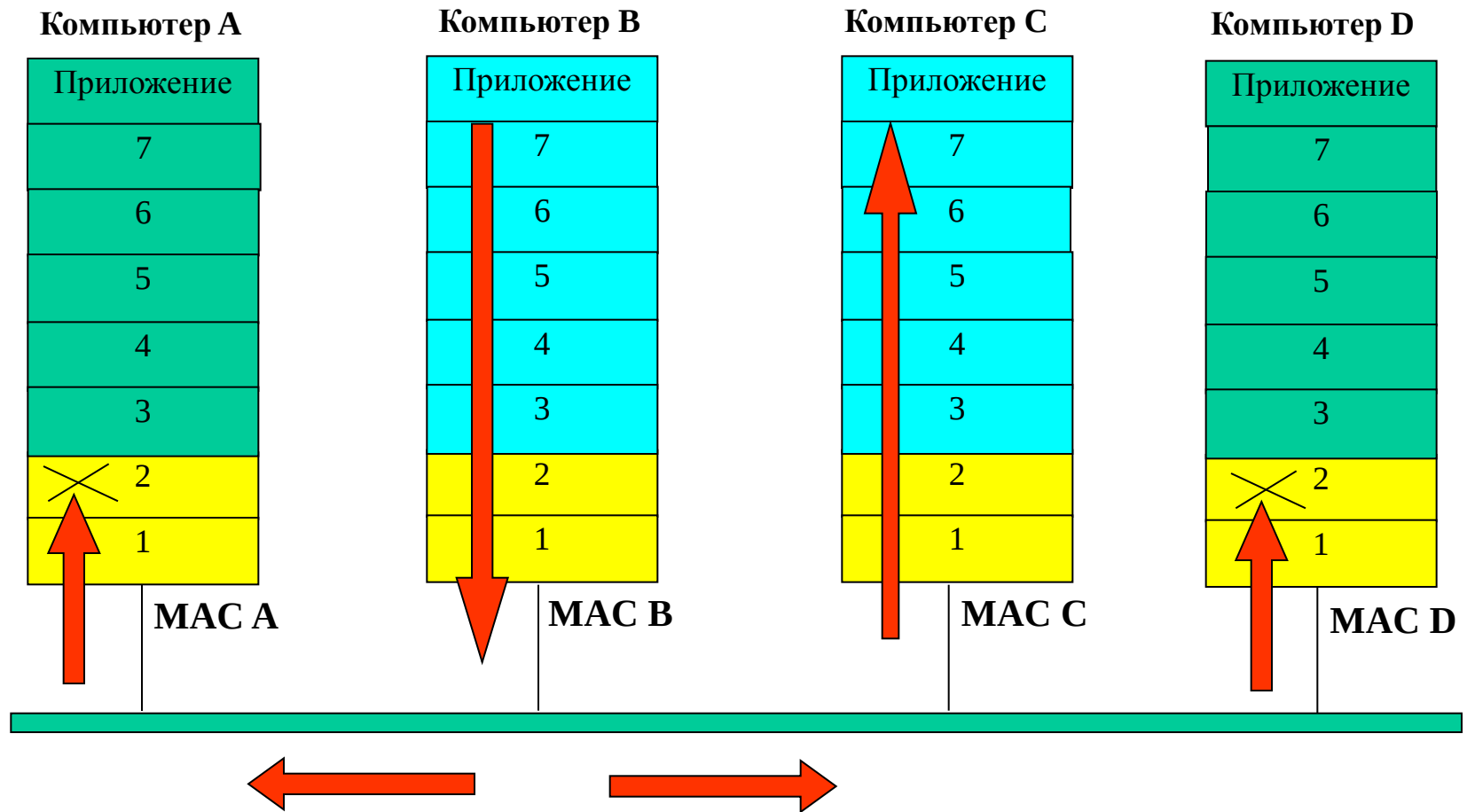
- unicast (I/G = "0") – индивидуальный
- multicast (I/G = "1") – групповой
- broadcast (все биты = "1") – широковещательный

• Примеры

- глобальный unicast MAC-адрес 00:1c:42:00:00:08 U/L=0 I/G=0
0000 0000 0001 1100 0100 0010 0000 0000 0000 0000 0000 1000
- локальный unicast MAC-адрес 42:00:00:00:00:00 U/L=1 I/G=0
0100 0010 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000
- глобальный multicast MAC-адрес 01:23:42:00:05:04 U/L=0 I/G=1
0000 0001 0010 0011 0100 0010 0000 0000 0000 0101 0000 0100
- широковещательный MAC-адрес FF:FF:FF:FF:FF:FF
1111 1111 1111 1111 1111 1111 1111 1111 1111 1111 1111 1111

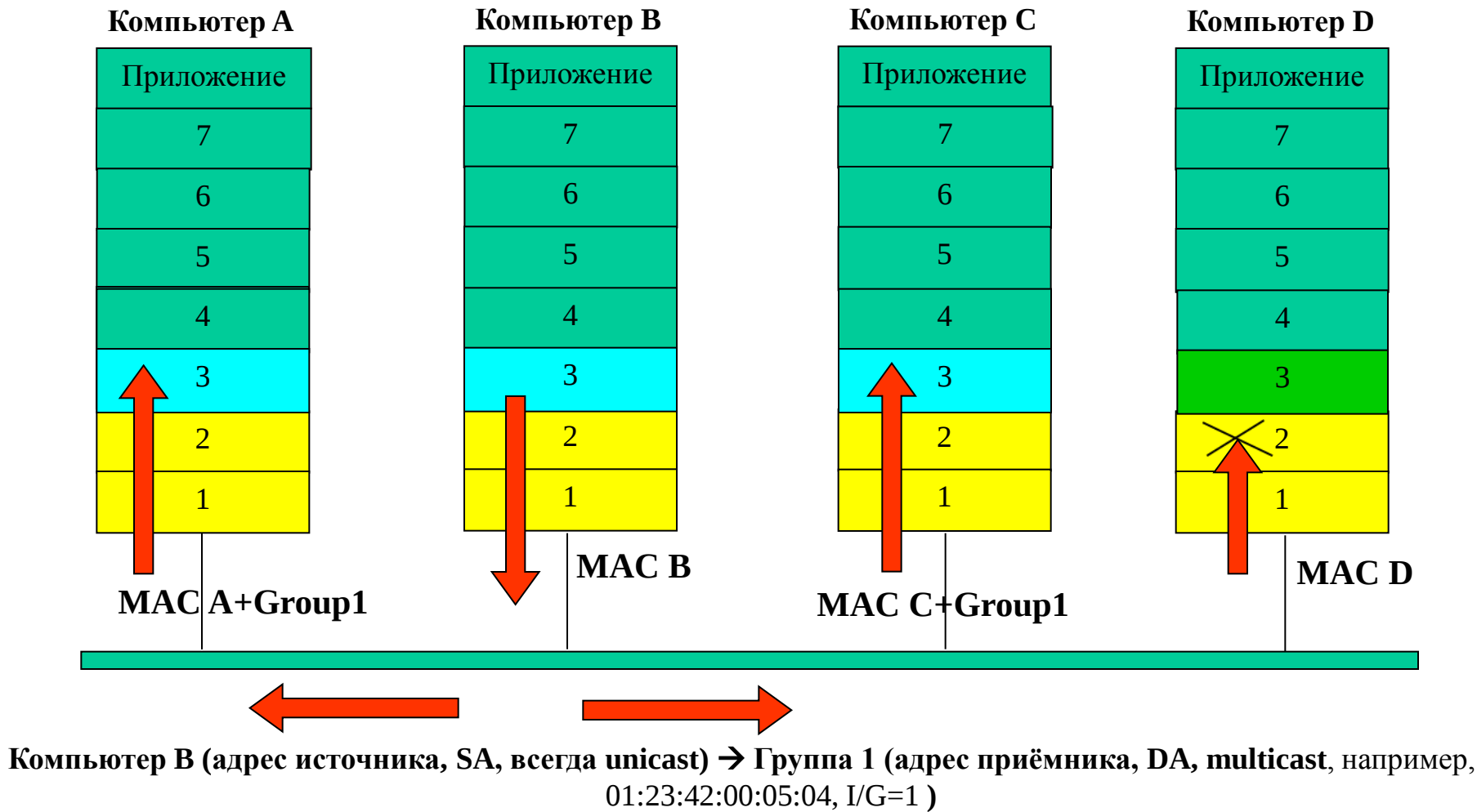
- Узнать MAC-адрес для Windows: [ipconfig](#) /all — getmac /v

MAC адрес приемника unicast (уникальный)



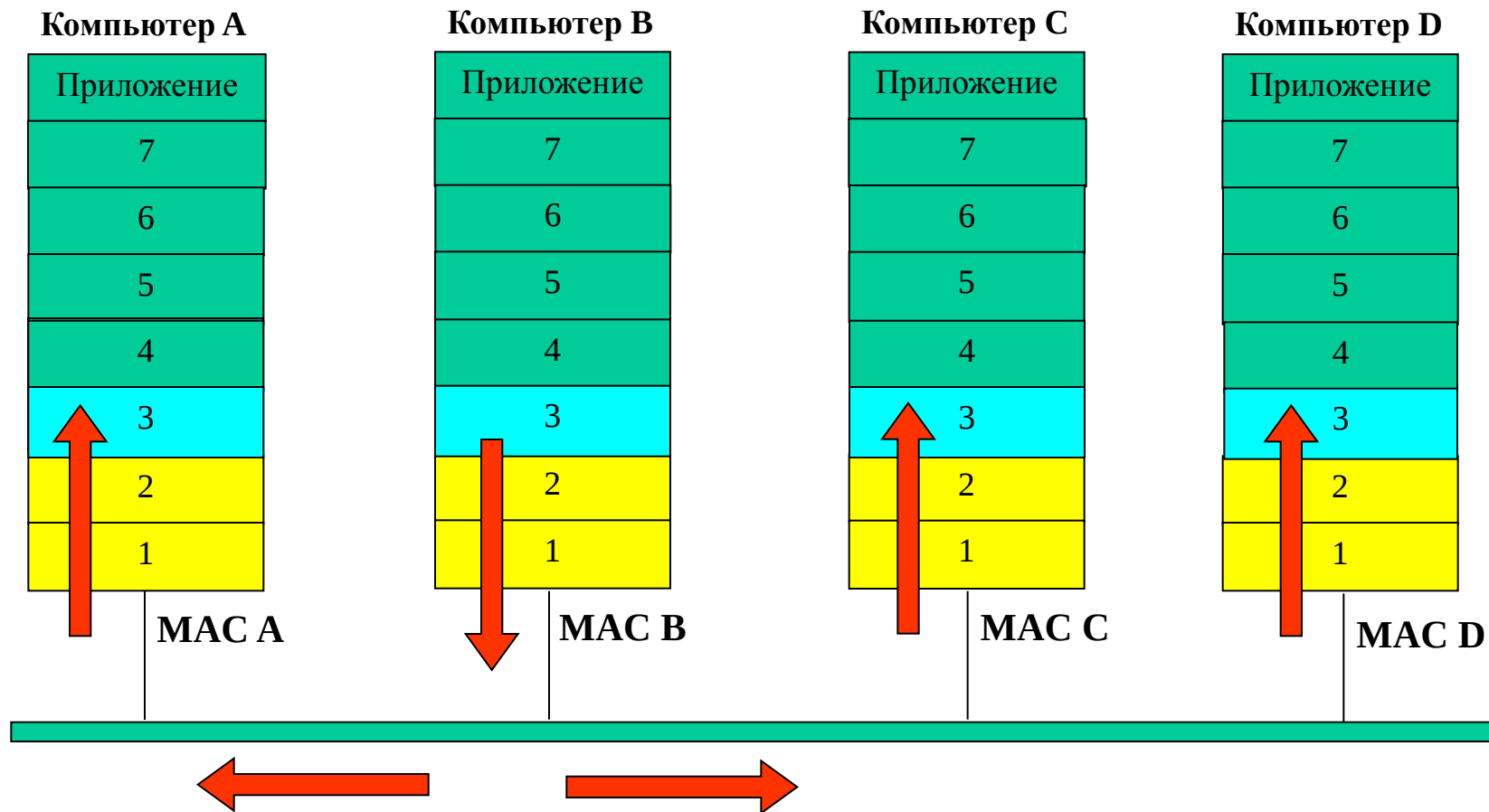
SA – Source Address, адрес источника
DA - Destination Address, адрес приемника

MAC адрес приемника multicast (групповой)



SA – Source Address, адрес источника
DA - Destination Address, адрес приемника

MAC адрес broadcast (широковещательный)



Компьютер В (адрес источника, SA, всегда unicast) → Всем, широковещание (адрес приёмника DA= FF:FF:FF:FF:FF:FF)

SA – Source Address, адрес источника

DA - Destination Address, адрес приемника

Значения поля Тип (Type Field) для кадров версии 2

Тип	Протокол	Тип	Протокол
0600	Xerox Networks Services (XNS)	8046-8047	AT&T
0800	ARPANET Internet Protocol (IP)	807D-8080	Vitalink
0801	X.75 Internet Protocol (IP)	8088-808A	Xyplex
0802	NBS Internet Protocol (IP)	809B	Ethertalk
0803	ECMA Internet Protocol (IP)	80C0-80C3	Digital Communications Associates (DCA)
0804	CHAOSnet	80D5	IBM SNA
0805	X.25 Level 3	80F2	Retix
0806	Address Resolution Protocol (ARP)	80F3-80F5	Kinetics
0BAD	Banyan VINES	80F7	Apollo Computer (HP)
6000-6009	Digital Equipment Corporation	80FF-8103	Wellfleet Communications
7000-7002	Ungermann-Bass	8137-8138	Novell
7030	Proteon	8008	AT&T
7034	Cabletron	809F	Spider Systems
8005	Hewlett-Packard probe protocol	80E0	Allen Bradley
8010	Excelan	80F3	AARP (AppleTalk ARP)
8013-8016	Silicon Graphics	9000	Loopback
8035	Reverse ARP	9001	Bridge Communications XNS Systems Management
8038-8042	Digital Equipment Corporation	9002	Bridge Communications TCP/IP Systems Management

IEEE 802.3 метод доступа CSMA/CD

IEEE 802.3 - метод доступа CSMA/CD

- MAC подуровень (802.3) канального уровня обеспечивает доступ к физической среде и корректное совместное ее использование станциями
- Технологии доступа 802.3 к разделяемой физической среде соответствуют несколько вариантов протоколов физического уровня (10/100/1000/10000Base 5/2/T/F), например:
 - 10Base 5 – 10 Мбит/с по толстому коаксиалу
 - 10Base 2 – 10 Мбит/с по тонкому коаксиалу
 - 10/100/1000Base T - 10/100/1000 Мбит/с по витой паре
 - 10000Base F – 10000Мбит/с по оптике
- Метод доступа, используемый в 802/3 к разделяемой физической среде называется CSMA/CD
 - CSMA/CD (carrier-sense-multiply-access with collision detection) -
 - ✓ множественный доступ
 - ✓ с прослушиванием (опознаванием) несущей
 - ✓ и обнаружением коллизий

Метод доступа CSMA/CD

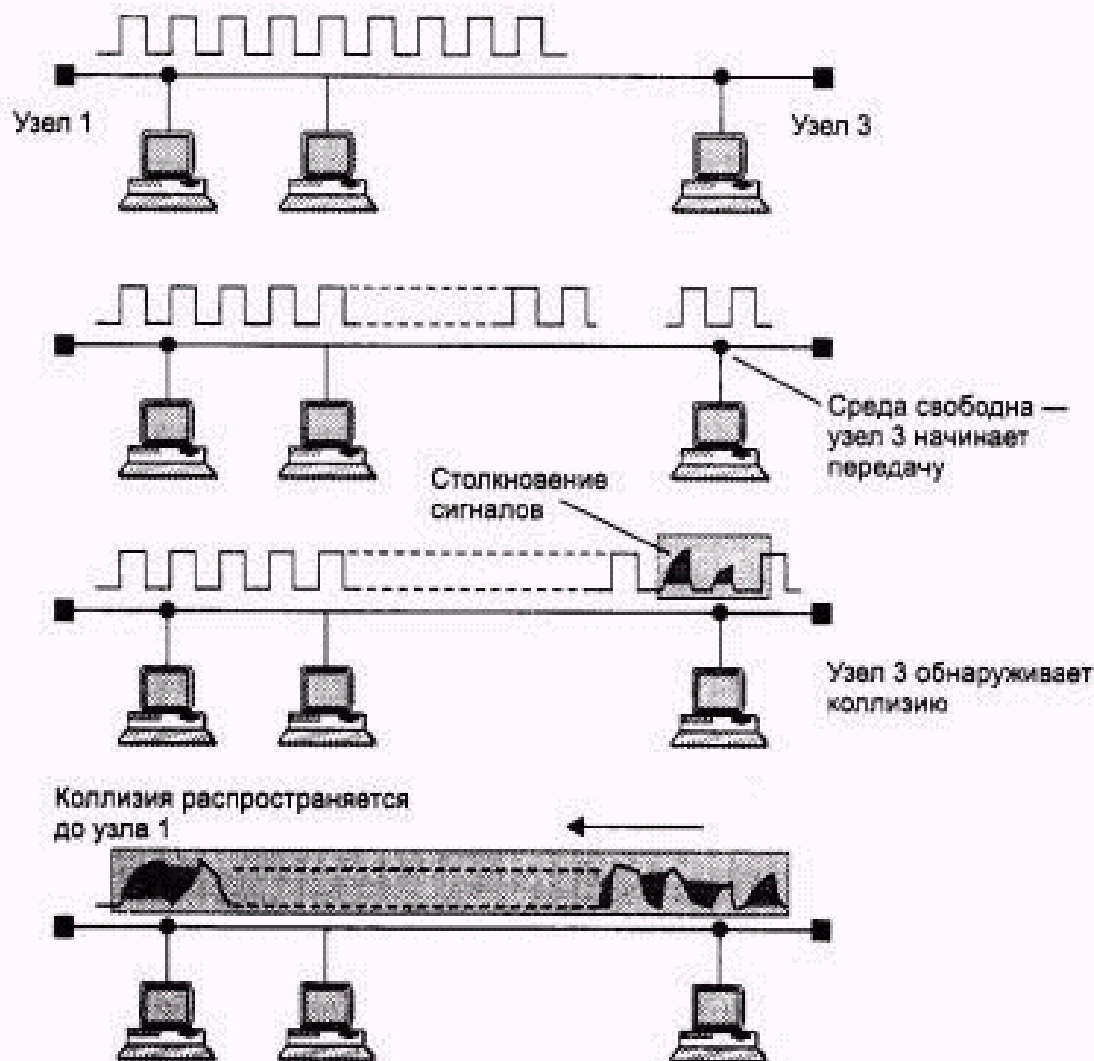
- CSMA/CD (carrier-sense-multiply-access with collision detection) – множественный доступ с прослушиванием (опознаванием) несущей и обнаружением коллизий
- Признак не занятости среды - отсутствие несущей частоты (Манчестер, 5-10 МГц)
- Технологическая пауза (Inter Packet Gap) для приведения сетевых адаптеров в исходное состояние, а также для предотвращения монопольного захвата среды одной станцией
- Случайная Пауза = $L \cdot (\text{интервал отсрочки} - 512 \text{ битовый интервал})$,



Коллизия это когда две или более станций одновременно пытаются передать кадр данных по общей среде (на рисунке "шина")

jam-последовательность служит для усиления ситуации коллизии (32 бита)

Метод доступа CSMA/CD



Как коллизия связана с длиной физической среды?

- битовый интервал (bt) соответствует времени между появлением двух последовательных бит данных на кабеле

- для 10 Мбит/с $bt = 0,1 \text{ мкс}$ (100 нс)

- $T_{\min}$ - время передачи кадра минимальной длины

- $T_{\min} = 72 \text{ байта} \times 8 \text{ бит} \times 0,1 \text{ мкс} = 57,6 \text{ мкс}$

- $T_{\min} = 57,6 \text{ мкс}$

Метод доступа CSMA/CD

● **Случайная пауза = $L \times$ (интервал отсрочки), где**

- интервал отсрочки равен 512 битовым интервалам (битовый интервал $bt = 0,1$ мкс или 100 нс для 10 Мбит/с);
- L - целое число, выбранное с равной вероятностью из диапазона $[0, 2N]$, где N - номер повторной попытки передачи данного кадра: 1, 2, ..., 10.
- После 10-й попытки интервал, из которого выбирается пауза, не увеличивается. Таким образом, случайная пауза может принимать значения от 0 до 52,4 мс.
- После 16 попыток передатчик должен прекратить попытки и отбросить этот кадр.
- Для уменьшения коллизий нужно либо уменьшить трафик, сократив, например, количество узлов в сегменте или заменив приложения, либо повысить скорость протокола, например перейти на Fast Ethernet

Метод доступа CSMA/CD

- Для надежного распознавания коллизий должно выполняться следующее соотношение:

$$T_{\min} \geq PDV, \text{ где}$$

- $T_{\min}$ - время передачи кадра минимальной длины
 - PDV (Path Delay Value - время двойного оборота) - время, за которое сигнал коллизии успевает распространиться до самого дальнего узла сети
- В худшем случае сигнал должен пройти дважды между наиболее удаленными друг от друга станциями сети поэтому время называется временем двойного оборота (Path Delay Value, PDV)
- PVD зависит от:
 - Длины в битах минимального кадра
 - Скорости передачи (скорости порта)
 - Скорости распространения сигнала в кабеле (для разных типов кабеля эта скорость несколько отличается)
 - Длины кабельной системы сети

Метод доступа CSMA/CD (диаметр сети)

● Итак, в 10-мегабитном Ethernet

- Время передачи кадра минимальной длины равно 576 битовых интервалов
- Следовательно Время двойного оборота должно быть меньше 57,5 мкс

● Расстояние зависит от времени распространения сигнала по кабелю

- например, для толстого коаксиала, за время 57,5 мкс сигнал распространится примерно на 13 300 метров
- учитывая, что за это время сигнал должен пройти по линии связи дважды, расстояние между двумя узлами не должно быть больше 6 650 метров

● В стандарте величина этого расстояния выбрана существенно меньше, с учетом других, более строгих ограничений:

- Предельно допустимое затухание сигнала
- Повторители сигналов сами вносят задержку в несколько десятков битовых интервалов

● В результате учета этих и других факторов IEEE тщательно подобрал соотношение

- между минимальной длиной кадра и максимально возможным расстоянием между станциями сети, которое обеспечивает надежное распознавание коллизий.

● Это расстояние называют также максимальным диаметром сети

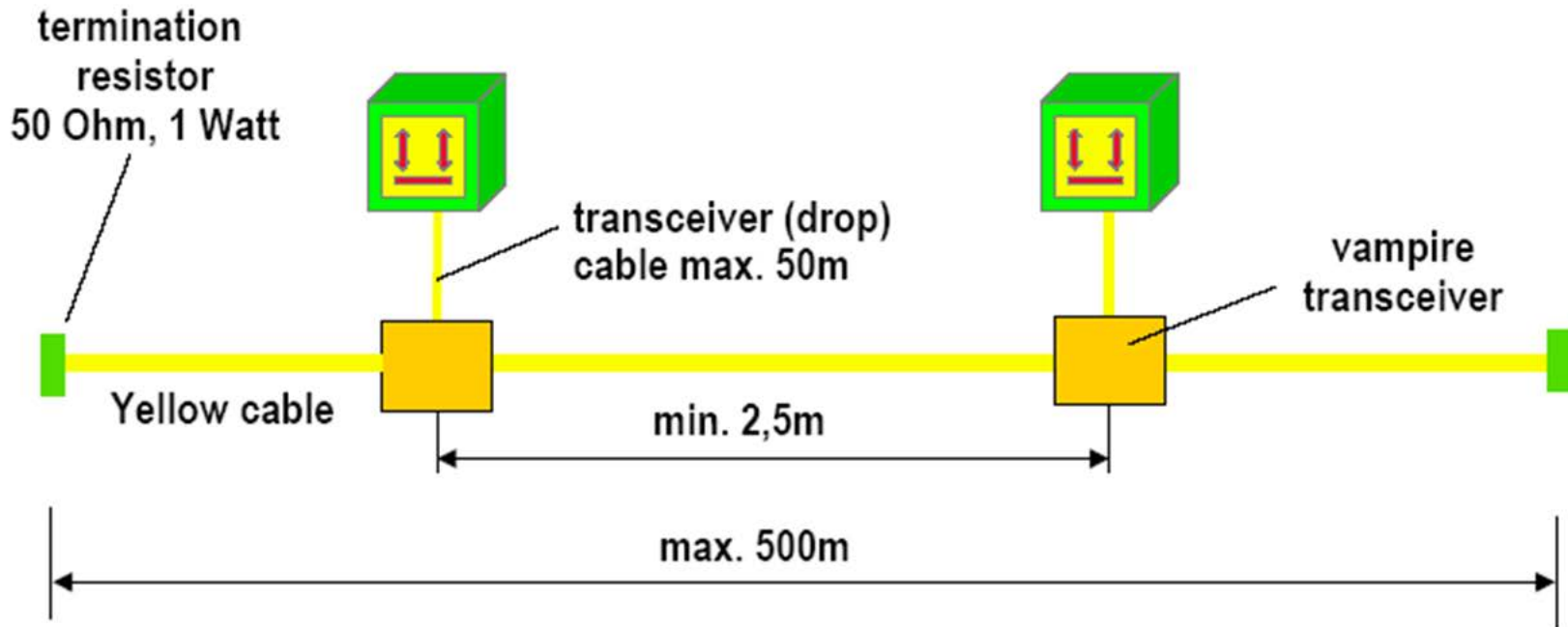
Окно коллизий / тайм слот

- При увеличении скорости 10 → 100 → 1000 мбит/с уменьшается диаметр сети

Technology	Bit-Time (sec)	Collision Window (sec)	Slot Time (bit-times)	Minimum Frame (bit-times / byte)	Distance (sec)
10Mbit/s	100ns	51,2μs	512	= 512 / 64	2000-3000
100Mbit/s	10ns	5,12μs	512	= 512 / 64	~200
1000Mbit/s	1ns	0,512μs	512	512 / 64	~10-20
1000Mbit/s	1ns	4,096μs	4096*	≠ 512 / 64	200

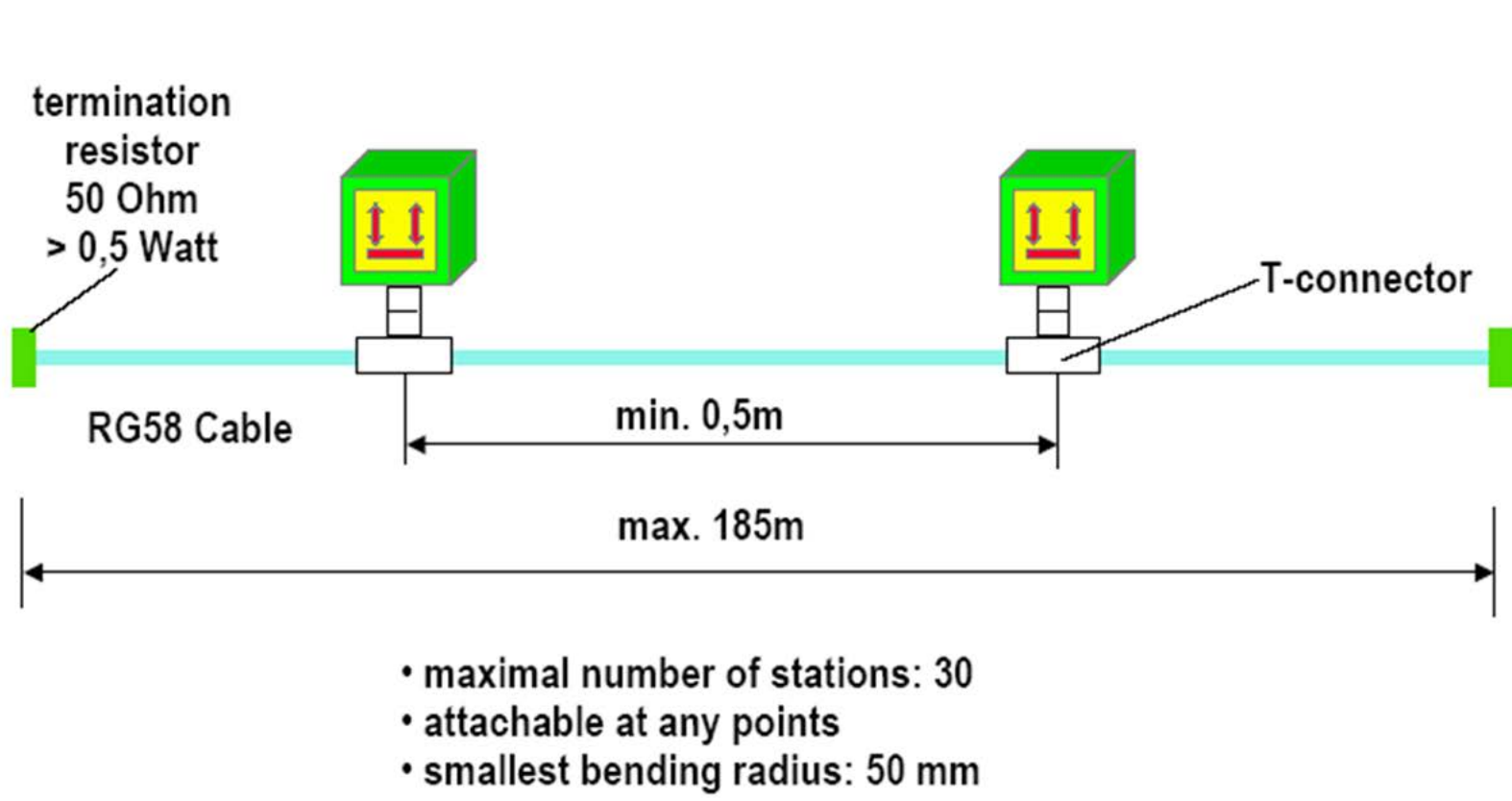
* by the usage of carrier extension and frame bursting

10Base5 - параметры

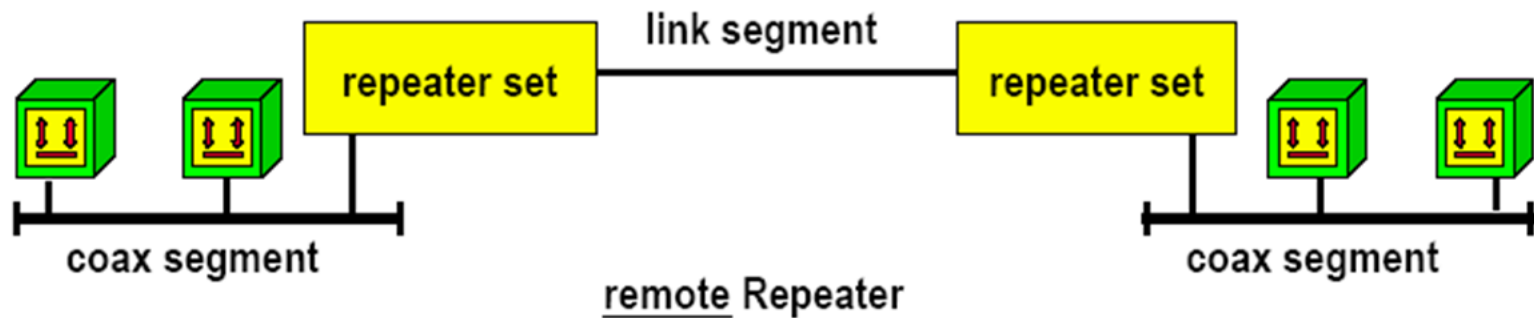
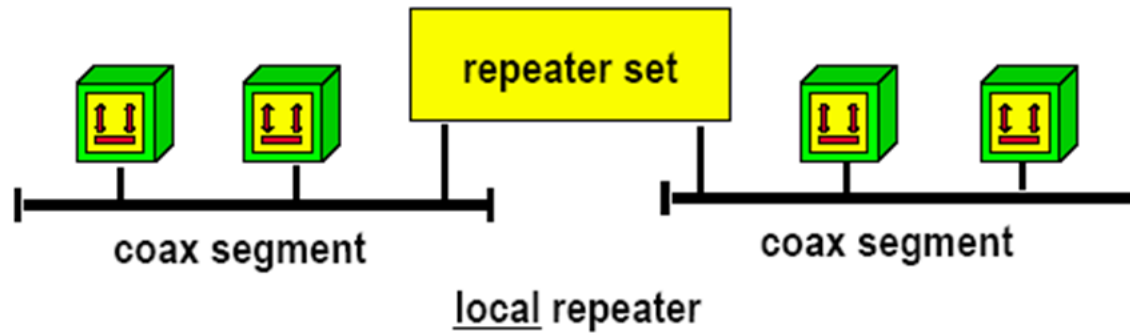


- maximal number of stations: 100
- attachable only at marked points
- cable splitting via coax couplers
- individual cable parts have a length of 23,4m or 70,2m or 117,5m (wave minimum on standing waves due to inhomogeneous media)
- smallest bending radius: 254mm

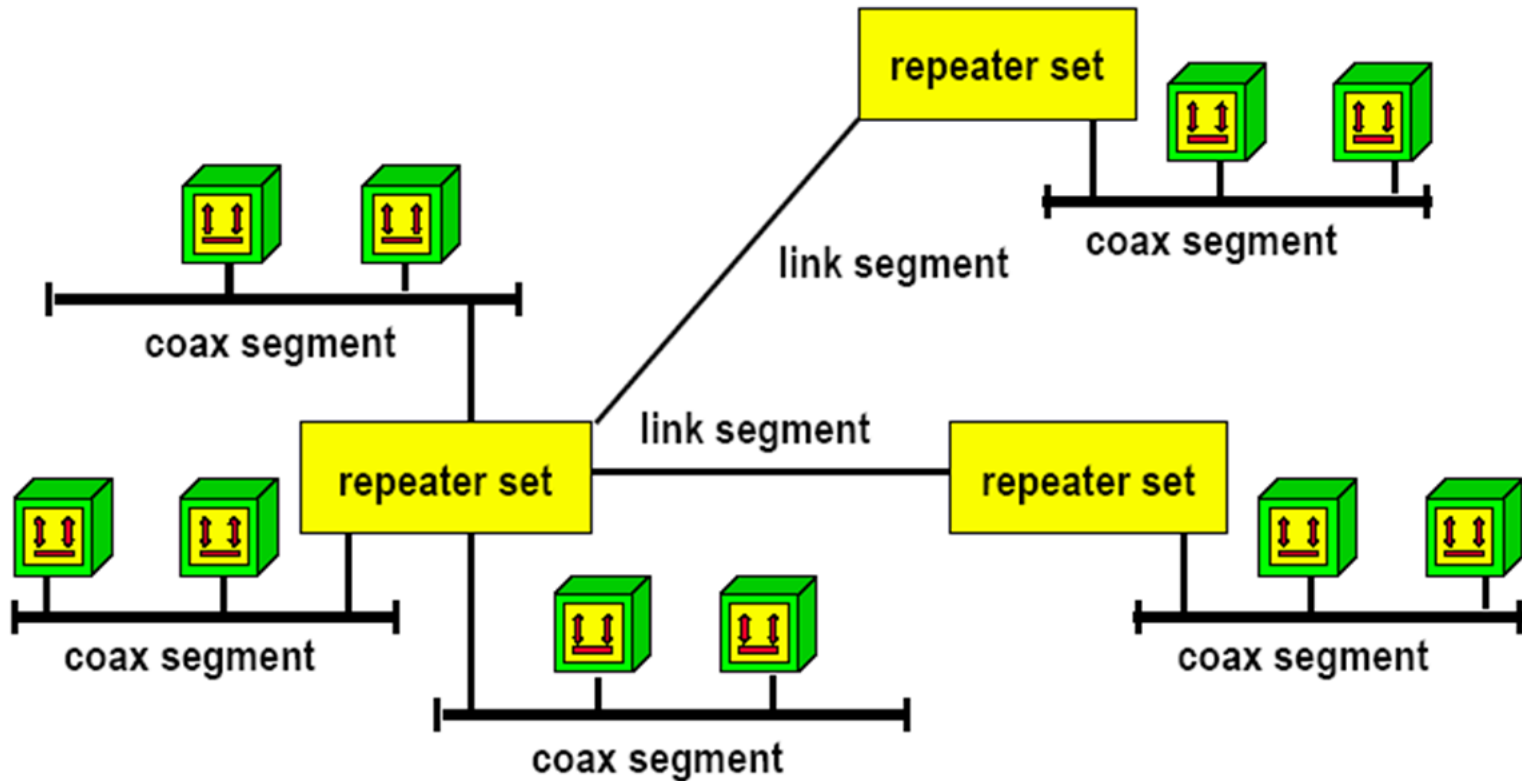
10Base2 параметры



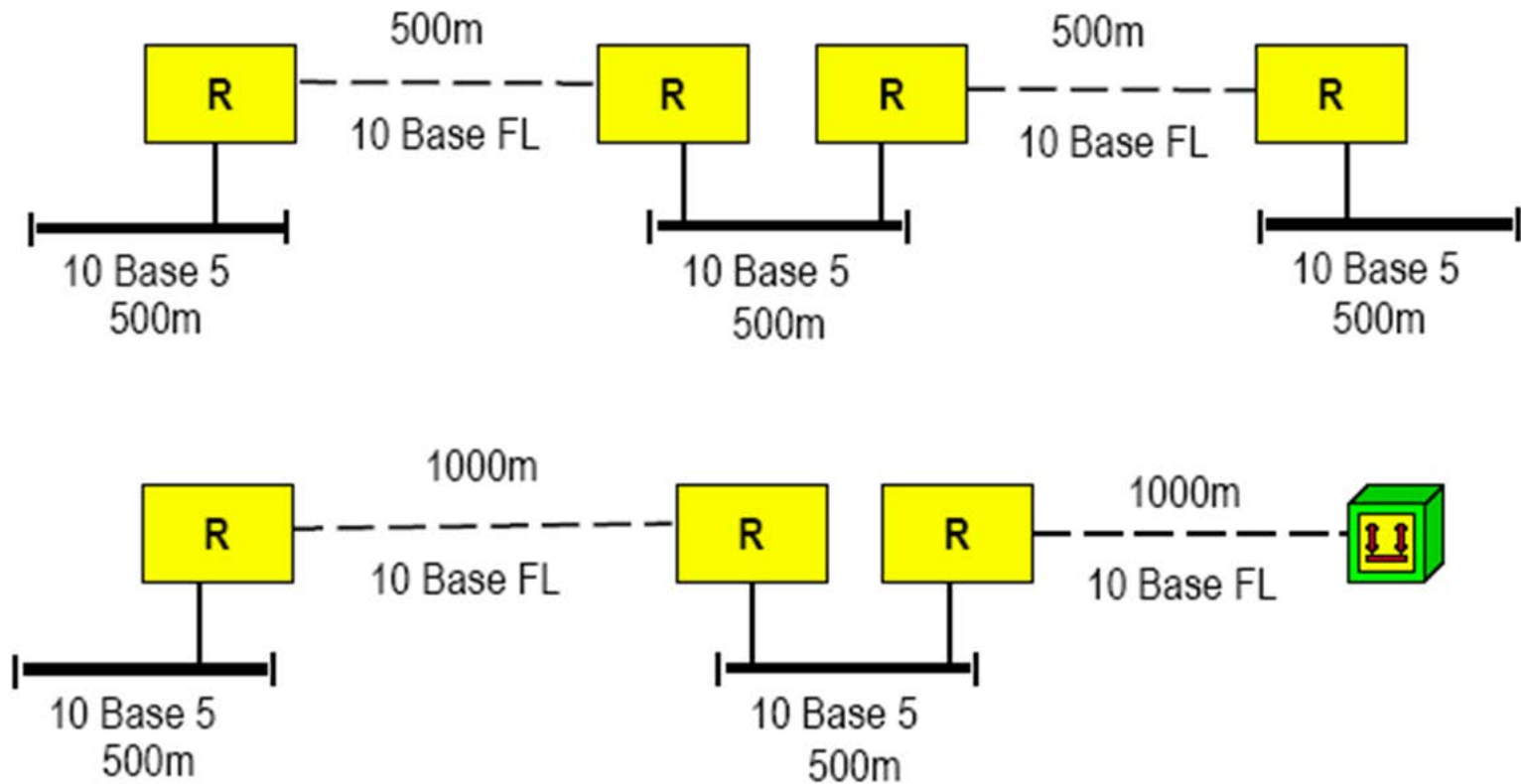
Локальный и удаленный репитор



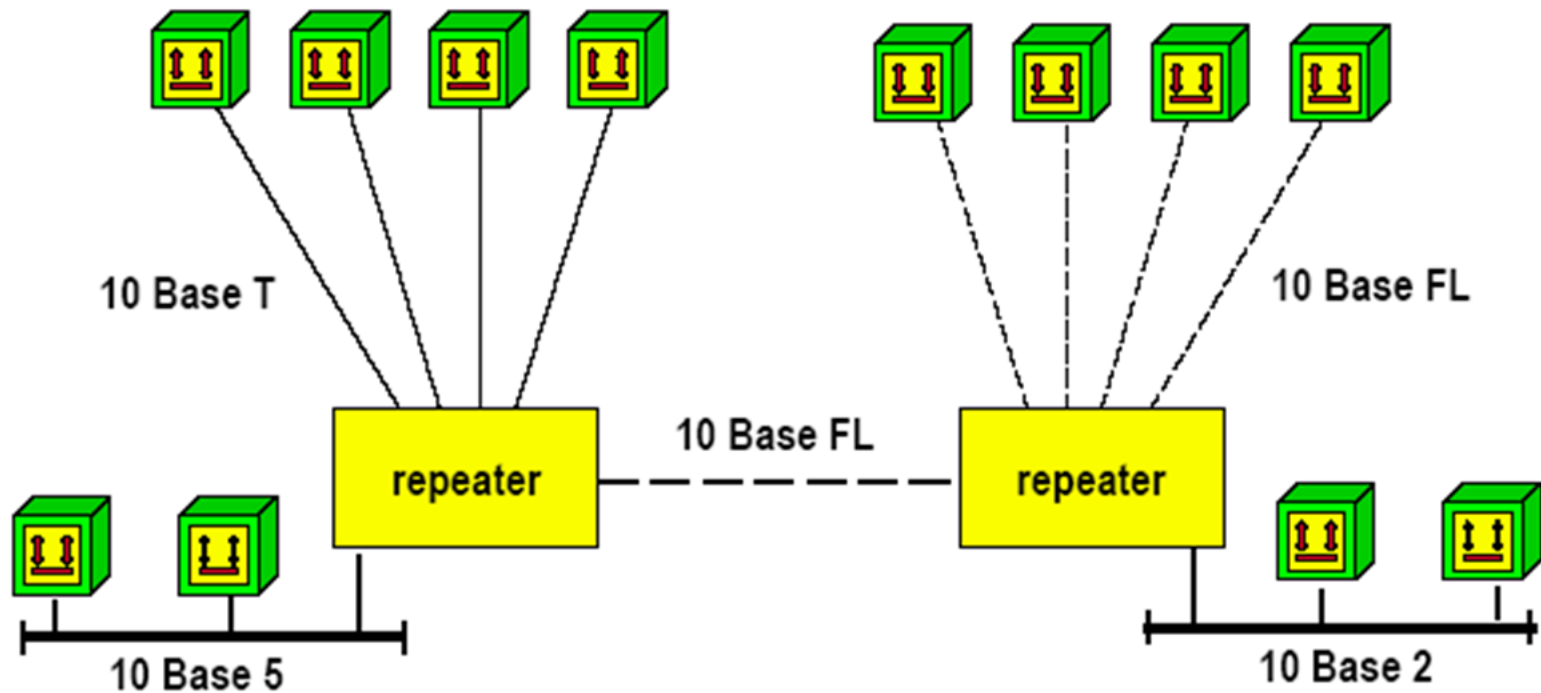
Многопортовый репитор - один домен коллизии



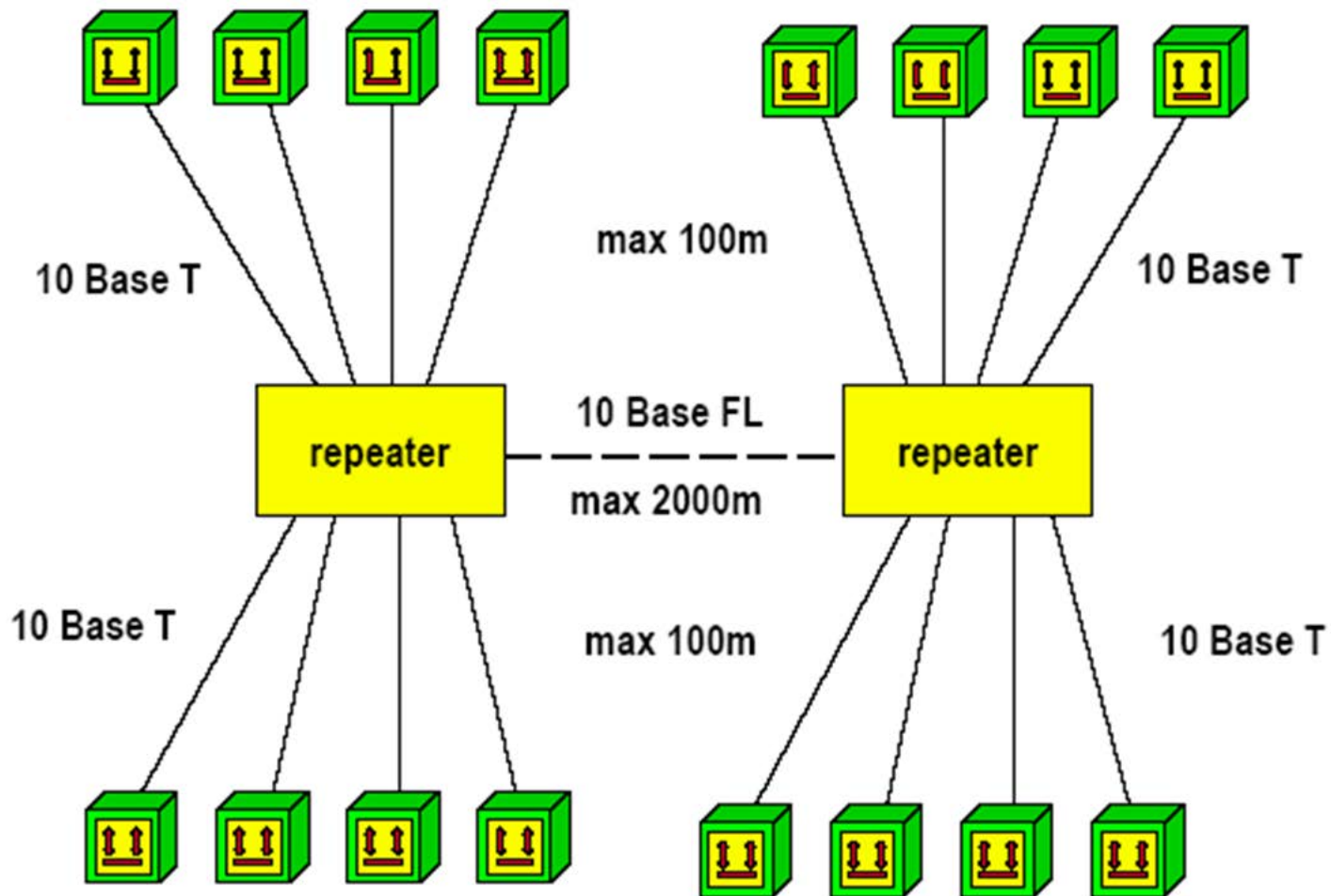
Правила соединения репиторов



Мультипорт / мультимедиа - репитор



Миграция Мультипорт репитор в “Hub”



● Решения проблемы уменьшения диаметра сети при увеличении скорости передачи предложено в

- 4.2 CSMA/CD Media Access Control (MAC) method: Precise specification (802.3-2002_Part1)
- 4.2 Управление доступом к среде CSMA/CD (MAC) метод: Точная спецификация
 - ✓ 4.2.3.2.7 Frame bursting (half duplex mode only)
 - ✓ 4.2.3.4 Carrier extension (half duplex mode only)

4.2.3.2.7 Frame bursting (half duplex mode only)

- На скоростях выше 100 Мбит/с реализация может дополнительно передать серию кадров, не оставляя управление среды передачи. Этот режим работы упоминается как *burst mode* (пакетный режим). Как только кадр был успешно передан, передающая станция может начать передачу другого кадра, не борясь за физическую среду, потому что все другие станции в сети будут продолжать подчиняться ее передаче, при условии, что это не позволяет физической среде принимать неактивное условие (assume an idle condition) между кадрами.
- Передающая Станция заполняет межкадровый (interframe) интервал битами расширения, которые отличаются от битов данных в станциях назначения, и которые поддерживают выделение несущей (синхронизацию) Станцией. Станции передачи позволяют инициировать передачу кадра, пока указанный предел, называемый burstLimit, не достигнут.
 - **Значение burstLimit определено в 4.4.2.4. Рисунок 4-1 показывает пример передачи с разрывом кадра.**
- Первый кадр пакета будет расширен, в случае необходимости, как описано в 4.2.3.4. Последующие кадры в пределах пакета не требуют расширения. В должным образом сконфигурированной сети, и в отсутствие ошибок, коллизии не могут произойти во время пакета никогда после того, как первый кадр пакета (включая любое расширение) был передан. Поэтому, MAC обработает любую коллизию, которая происходит после первого кадра пакета так, как будто коллизия произошла в первом кадре пакета (Очень странно????).

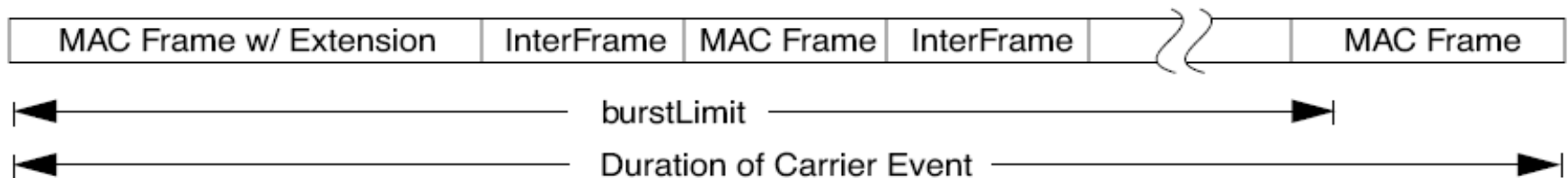


Figure 4–1 — Frame bursting

4.2.3.4 Carrier extension (half duplex mode only)

- На скоростях выше 100 Мбит/с slotTime, используемый на более медленных скоростях приводит к маленькому диаметру сети. Технология расширение Carrier Extension позволяет достигнуть требуемого времени slotTime для увеличения диаметра сети, не увеличивая минимальный размер кадра minFrameSize, поскольку это имело бы вредные эффекты
 - Вспомним, минимальный размер кадра (minFrameSize) определяет Тайм-слот (slotTime)**
- Не биты данных, называемые битами расширения (Extension), добавляются к кадрам, длина которых меньше чем требуется для slotTime так, чтобы получающаяся передача имела по продолжительности один slotTime с требуемым диаметром сети.
- Для битов расширения в технологии Carrier Extension используются символы, отличающиеся от символов данных, что имеет место в большинстве физических уровней, которые используют блочную схему кодирования/декодирования.
 - Символами Carrier Extension являются запрещенные символы кода 8В/10В, которые невозможно принять за коды данных**
- Максимальная продолжительность расширения равна slotTime – minFrameSize. (Рисунок 4-2)
- MAC продолжает контролировать коллизию и во время передачи битов расширения (битов Extension), и обработает любую коллизию, которая происходит после порога (slotTime) как последняя

CSMA/CD

IEEE Std 802.3-2002[®], Section One

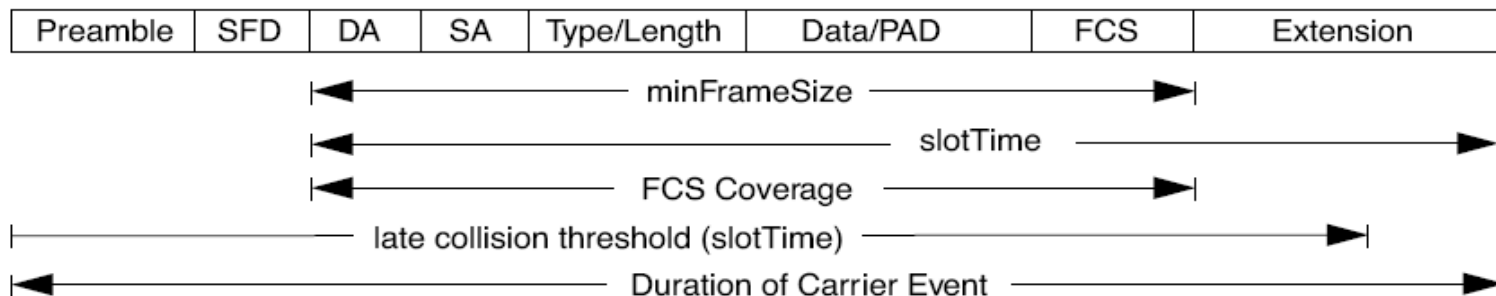
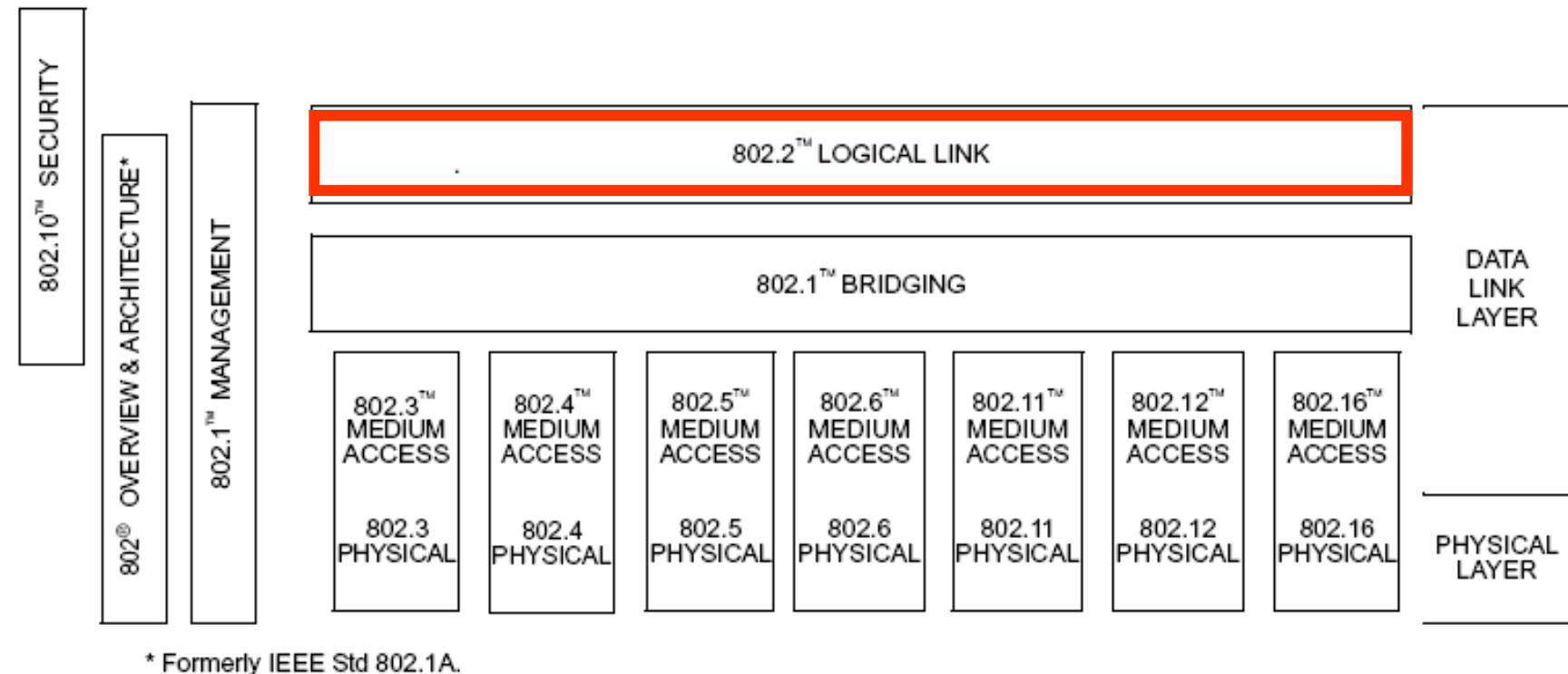


Figure 4–2—Frame with carrier extension

IEEE 802.2 (LLC)

IEEE 802.2 (LLC - Logical Link Control)



802.2 стандарт – часть семейства стандартов для локальных (LAN) и региональных (MAN) сетей, действующий в каналах передачи данных на физическом и канальном уровне, как определяет OSI RM (Числа на рисунке относятся) к номерам стандарта IEEE)

IEEE 802.2 (LLC - Logical Link Control)

Чтобы удовлетворять широкий диапазон потенциальных приложений, предусмотрено три типа операции управления передачей:

1. Первый тип операции обеспечивает обслуживание режима без установления соединения канала связи и без подтверждения. Этот режим полезен, когда более высокие уровни OSI RM обеспечивают исправление ошибок. Или используется в приложениях, где не требуется гарантирование доставки каждого кадра

2. Второй тип операции с установлением соединения и подтверждениями (типа HDLC (13239: 1997-1). Этот сервис включает поддержку последовательной (sequenced) нумерации кадров данных и всестороннего набора методов восстановления при ошибках передачи данных.

3. Третий тип операции без установления соединения с подтверждениями (acknowledged-connectionless-mode), которое разрешает станции и отправлять данные и запрашивать возвращаемые/принимаемые данные одновременно. Доставка гарантируется.

802.2: Протокольный блок данных (LLC PDU)

DSAP address	SSAP address	Control	Information
8 bits	8 bits	8 or 16 bits	M*8 bits

Figure 4—LLC PDU format

DSAP (Destination SAP) - сервисная точка доступа получателя

SSAP (Source SAP) - сервисная точка доступа отправителя/источника

Другими словами кто (SSAP) передает кому (DSAP)

Control – поле управления, для управления потоком данных.

DSAP и SSAP в IEEE 802 и OSI

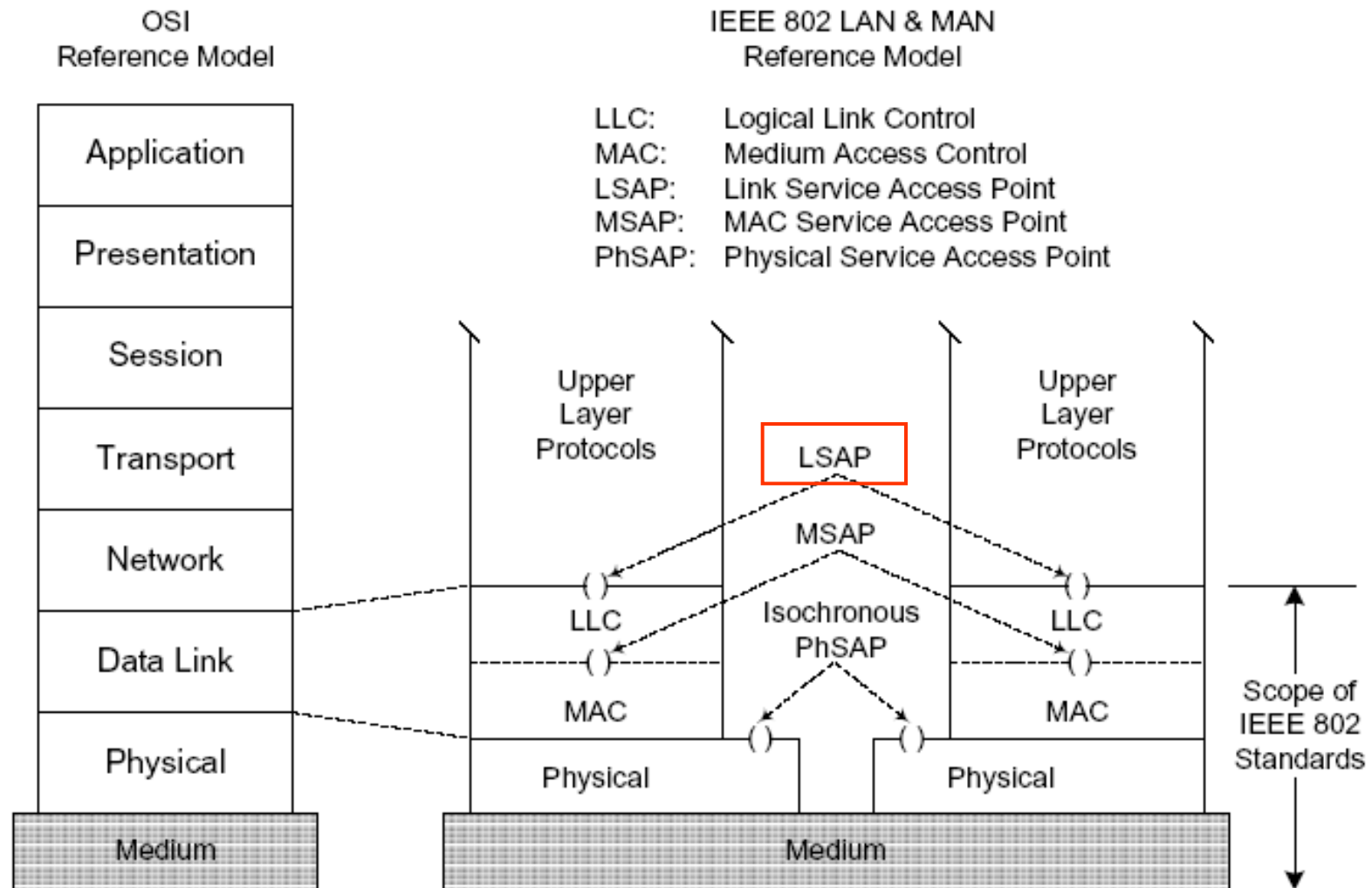
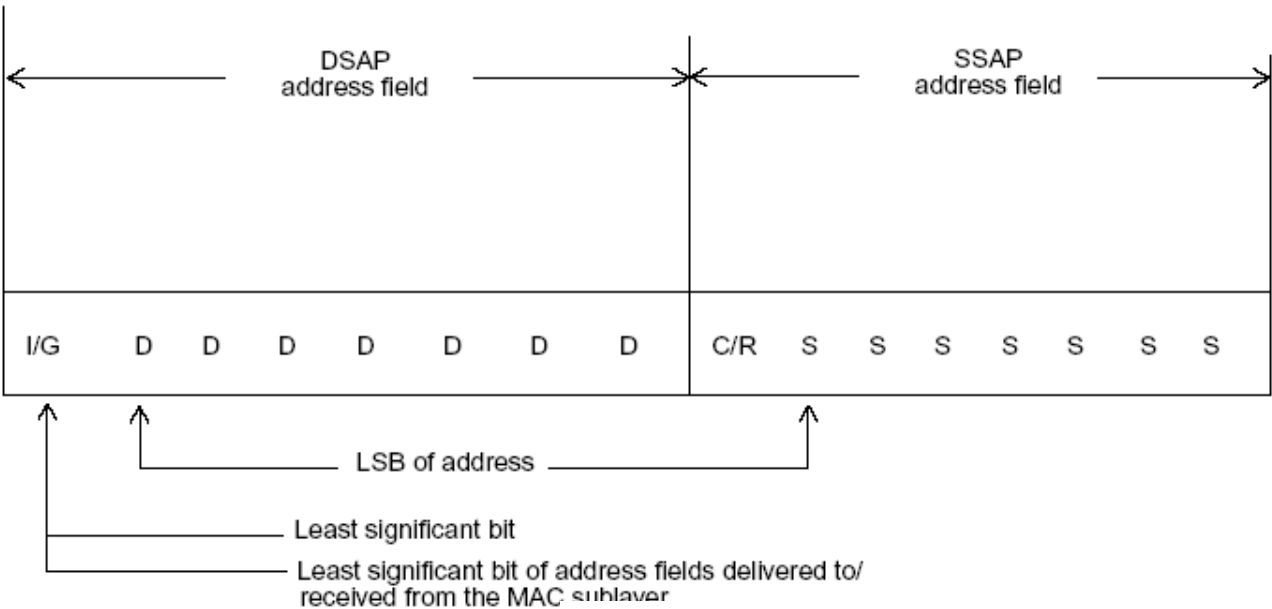


Figure 1—IEEE 802 RM for end stations (LAN&MAN/RM)

802.2: Структура поля SAP



I/G = 0 Individual DSAP
I/G = 1 Group DSAP
C/R = 0 Command
C/R = 1 Response

XODDDDDD DSAP address
XOSSSSSS SSAP address

X1DDDDDD Reserved for ISO definition
X1SSSSSS Reserved for ISO definition



Figure 6—Global DSAP address field for

Через сервисные точки доступа (*SAP) осуществляется доступ к сервису 802.2 для взаимодействия (обмена) объектов вышележащего уровня, например, сетевого

Каждый объект имеет уникальный номер (значение SAP)

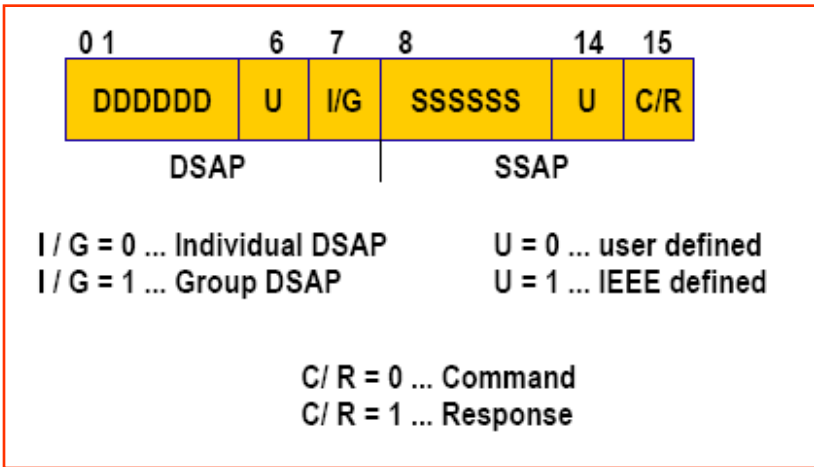


Figure 5—DSAP and SSAP address field formats

Специальные SAP адреса

- **Индивидуальный / групповой адрес (бит I/G = 0/1) используется в DSAP;**
- **Команда / ответ (бит C/R = 0/1) используется в SSAP**
- **Широковещательный DSAP адрес - все "1" в DSAP поле адреса**
 - определяет группу, состоящую из всех DSAPs, активно обслуживаемых MAC SAP
- **Все "0" в DSAP или SSAP поле адреса является "Нулевым" адресом (Null SAP)**
 - Нулевой SAP определяет управление логическим звеном, которое связано MAC SAP (MSAP), и не используется для идентификации SAP к сетевому уровню (LSAP) или любому SAP к связанной функции управления уровнем.
 - Адреса 01000000 (индивидуальный) и 11000000 (групповой) для функции управления подуровня LLC.
 - LLC адрес управления логическим звеном 01100101 определяется как RDE адрес SAP.
- **Другие адреса с рядом с младшим множеством битов к "1" зарезервированы для определения ISO**

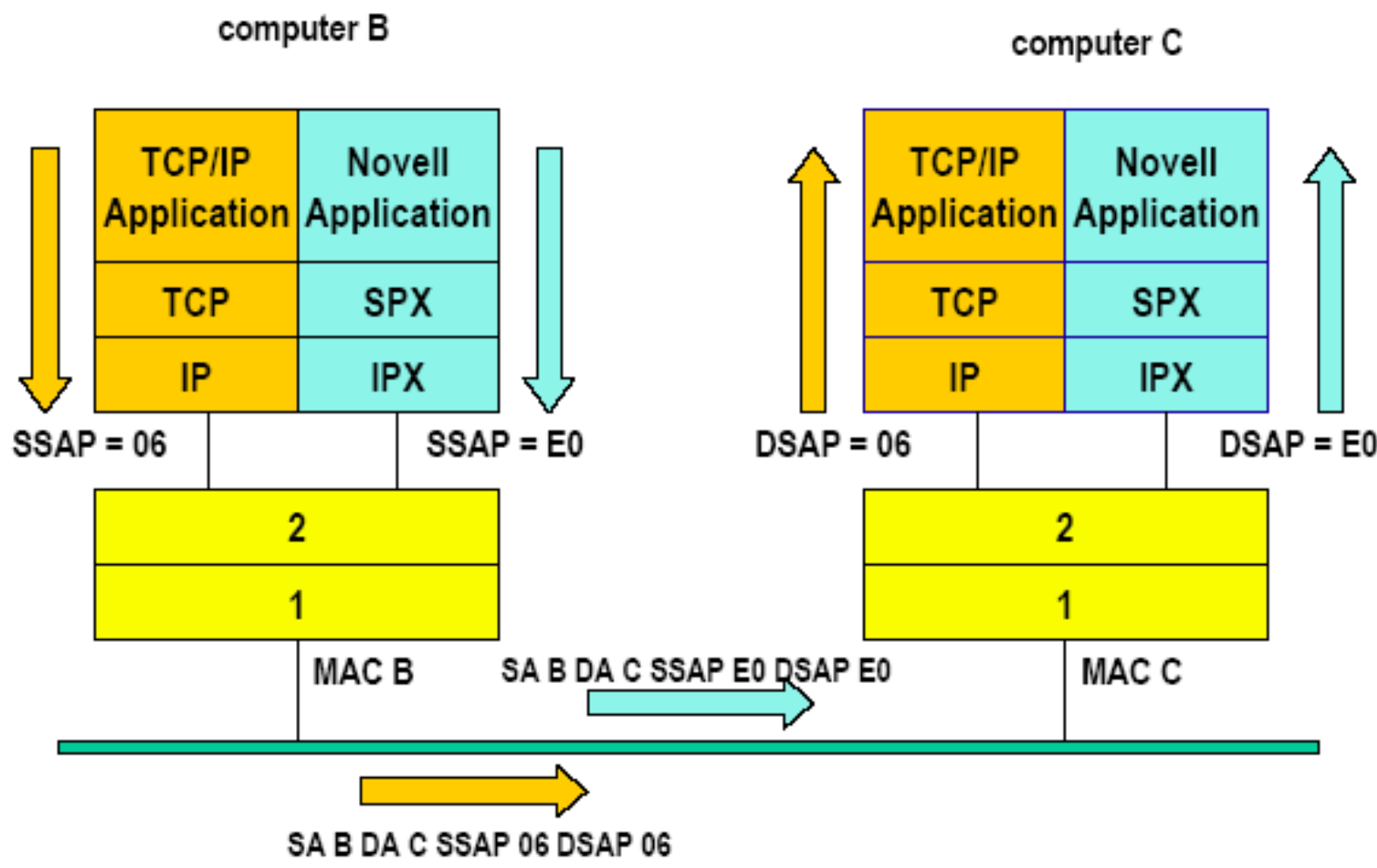
802.2 (типы поля SAP)

EO	Novell Netware
FO	NetBIOS
06	TCP/IP
42	Spanning Tree BPDU (802.1D)
FF	Global Sap
F4-F5	IBM Network Management
7F	ISO 802.2
00	Null SAP
FB, FC	Remote Program Load
04, 05, 08, 0C	SNA
AA	SNAP
80	XNS
FE	OSI (ISO network layer, U=1)
18	Texas Instruments
7E	X.25 Level 3
98	Протокол преобразования адресов (ARP)
BC	Banyan VINES
FA	Ungerman-Bass

● Содержимое поля SAP определяет, по сути, тип протокола-пользователя верхнего (сетевого уровня)

● Чаще всего значение полей DSAP и SSAP равны

802.2: Пример использования поля SAP



IEEE 802.2 (LLC)

Поле «Управление»

802.2/LLC Формат поля «Управление»

DSAP address	SSAP address	Control	Information
8 bits	8 bits	8 or 16 bits	M*8 bits

В поле управление (Control) кодируются команды и ответы взаимодействующих систем.
N(S) и N(R) номера передаваемых и ожидаемых кадров

Порядок передачи битов поля управления в канал																Формат кадра
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	
0	N(S)							P/F	N(R)							I-формат
1	0	S-коды		0	0	0	0	P/F	N(R)							S- формат
1	1	U-коды		P/F	U-коды											U-формат

802.2/LLC Поле «Управление»: типы операций

	Commands	Responses
Type 1:	UI	
	XID	XID
	TEST	TEST
Type 2:	I	I
	RR	RR
	RNR	RNR
	REJ	REJ
	SABME	UA
	DISC	DM
		FRMR
Type 3:	AC0	AC0
	AC1	AC1

Форматы кадров LLC и процедурные характеристики подробно описаны в разделе HDLC.

Команда SABME (*Set Asynchronous Balanced Mode Extended*) означает использование двух байт в управляющем поле (заголовке LLC) для нумерации кадров по модулю $2^7 = 128$ (максимальный размер окна 2^7-1).

Чтобы удовлетворять широкий диапазон потенциальных приложений, предусмотрено три типа операции управления передачей:

1. Первый тип операции (Type1) обеспечивает обслуживание режима без установления соединения канала связи и без подтверждения. Этот режим полезен, когда более высокие уровни OSI RM обеспечивают исправление ошибок. Или используется в приложениях, где не требуется гарантирование доставки каждого кадра (UI – нумерованный информационный кадр)

2. Второй тип операции (Type2) с установлением соединения и подтверждениями (типа HDLC (13239: 1997-1). Этот сервис включает поддержку последовательной (sequenced) нумерации кадров данных и всестороннего набора методов восстановления при ошибках передачи данных.

3. Третий тип операции (Type3) без установления соединения с подтверждениями (acknowledged-connectionless-mode), которое разрешает станции и отправлять данные и запрашивать возвращаемые/принимаемые данные одновременно. Доставка гарантируется.

802.2/LLC Поле «Управление»: типы кадров

Тип сети	Формат кадра	Команды	Ответы
Тип 1 (LLC1)	U-формат	UI - Ненумерованный информац. кадр	XID - идентификация станции
		XID - Идентификация станции	XID - идентификация станции
		TEST - Проверка	TEST- проверка
Тип 2 (LLC2 или LLC3)	I-формат	I - Информационный кадр	I - Информационный кадр
	S-формат	RR - Готов к приему	RR - Готов к приему
		RNR - Не готов к приему	RNR - Не готов к приему
		REJ - Неприем	REJ - Неприем
	U-формат	SABME - Установить расширенный ABM	UA - Ненум. подтверждение FRMR - Неприем
		DISC - Разъединить	UA - Ненум. подтверждение DM - Разъединение

В поле «Управление» определены кадры трех типов: информационный (I), супервизорные (S) и ненумерованные (U)

- ✓ *Информационный кадр* (I - кадр) используется для передачи пользовательских данных между двумя станциями
- ✓ *Супервизорные кадры* (S - кадры) выполняют управляющие функции: подтверждение (квитирование) кадров, запрос на повторную передачу кадров и запрос на временную задержку передачи кадров. Фактическое использование супервизорного кадра зависит от места возникновения ошибки при работе в «расширенном асинхронном сбалансированном режиме»
- ✓ *Ненумерованные кадры* (U - кадры) используется для инициализации или разъединения соединения, тестирования, сброса и идентификации станции и т.д.

802.2/LLC Поле «Управление»: Три типа кадров

Information transfer format commands		Information transfer format responses	
I	Information	I	Information
Supervisory format commands		Supervisory format responses	
RR	Receive ready	RR	Receive ready
RNR	Receive not ready	RNR	Receive not ready
REJ	Reject	REJ	Reject
Unnumbered format commands		Unnumbered format responses	
UI	Unnumbered information	UA	Unnumbered Acknowledgment
DISC	Disconnect		
SABME	Set asynchronous balanced mode extended	DM	Disconnected Mode
		FRMR	Frame reject
XID	Exchange identification	XID	Exchange identification
TEST	Test	TEST	Test
AC0	Acknowledged connectionless information, Seq. 0	AC0	Acknowledged connectionless acknowledgment, Seq. 0
AC1	Acknowledged connectionless information, Seq. 1	AC1	Acknowledged connectionless acknowledgment, Seq. 1

IEEE 802.2: LLC-Сервис для 802.3

Type1 сервис подуровня LLC (802.2) для MAC подуровня (802.3)

- Для Ethernet технологии (802.3) на LLC подуровне используется первый тип операции (Type1)
- Type1 обеспечивает режим без установления соединения канала связи и без подтверждения
- **Используются нумерованные информационные (UI) кадры HDLC**, с удивительно прозорливым прогнозом разработчиков Ethernet, опирающимся на:
 - не сдерживается скорость передачи в скоростных сетях, поскольку не тратится время на подтверждения (нет ARQ, как и во Frame Relay WAN протоколе)
 - более высокие уровни OSI RM обеспечивают исправление ошибок, следовательно безошибочная доставка в стеке протоколов присутствует
 - для приложений, где требуется гарантированная скорость и маленький джиттер, в Ethernet внедряются современные методы цифровой обработки (TSN + ...!!!)

LLC-сервис

• Для широкого диапазона применений в стандарте содержатся три типа процедур управления передачей:

- без установления логического соединения и без подтверждений (тип 1), который обеспечивается, по сути, нумерованными информационными кадрами
 - ✓ полезен тогда, когда более высокие уровни обеспечивают восстановления данных после ошибок и упорядочивания данных и нет нужды дублировать их в канальном уровне.
 - ✓ Кроме этого этот тип процедур может применяться там, где нет необходимости в гарантии доставки каждой блока данных канального уровня
- с установлением логического соединения и с подтверждениями (тип 2)
 - ✓ Обеспечивает поддержку упорядоченной доставки кадров и имеет большого количества процедур восстановления после ошибок на канальном уровне
- без установления соединения и с подтверждениями (тип 3)
 - ✓ обе станции ведут одновременную передачу данных и подтверждают этим правильность приема, иницилирующая станция гарантирует последовательный порядок передачи данных.

• Использование одного из трех приведенных сервисов LLC определяется конкретной технологией канального уровня и стеком протоколов

IEEE 802.2 (LLC): SNAP PDU

- **Subnetwork Access Protocol (SNAP)** — протокол доступа к подсети, используется для инкапсуляции дейтаграмм [IP](#) и запросов ARP в сетях IEEE 802. Дейтаграммы IP передаются в сетях IEEE 802 инкапсулированными в 802.2 LLC и канальный уровень SNAP, а также в физические уровни 802.3, 802.4 и 802.5. Заголовок SNAP следует после заголовка LLC и содержит код организации, показывающий, что следующие 16 битов содержат код EtherType (тип Ethernet).
- В присутствии SNAP поля DSAP и SSAP заголовка LLC содержат значения 170 (десятичное число), а поле «Управление» содержит значение 3 (unnumbered information — дополнительная информация).

802.2 SNAP PDU

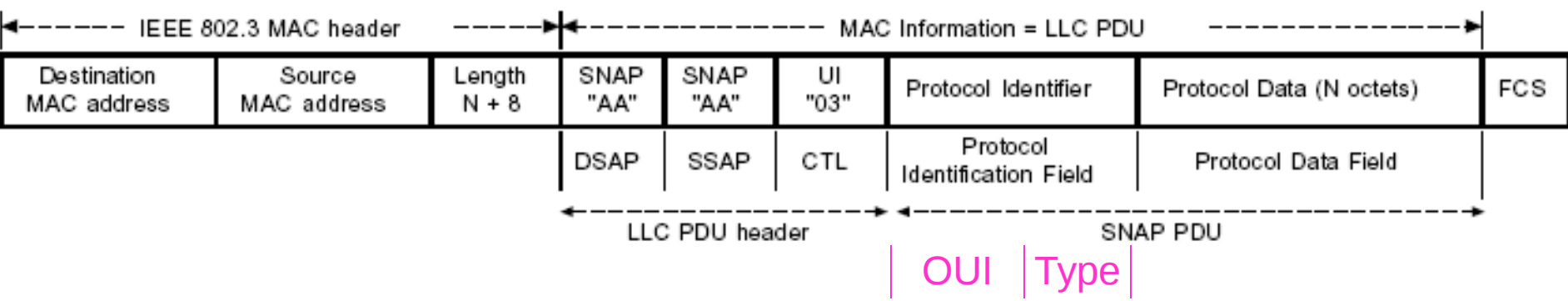


Figure 17—SNAP PDU in IEEE 802.3 MAC frame

Для устранения разнобоя в кодировках типов протоколов, сообщения которых вложены в поле данных кадров Ethernet, комитет 802.2 стандартизировал кадр Ethernet SNAP (SNAP - SubNetwork Access Protocol, протокол доступа к подсетям).

Представляет собой расширение кадра 802.3/LLC за счет введения дополнительного заголовка протокола SNAP, состоящего из двух полей: OUI и Type.

Поле Type состоит из 2-х байт и повторяет по формату и назначению поле Type кадра Ethernet II (то есть в нем используются те же значения кодов протоколов).

Поле OUI (Organizationally Unique Identifier) определяет идентификатор организации, которая контролирует коды протоколов в поле Type.

802.2 SNAP PDU

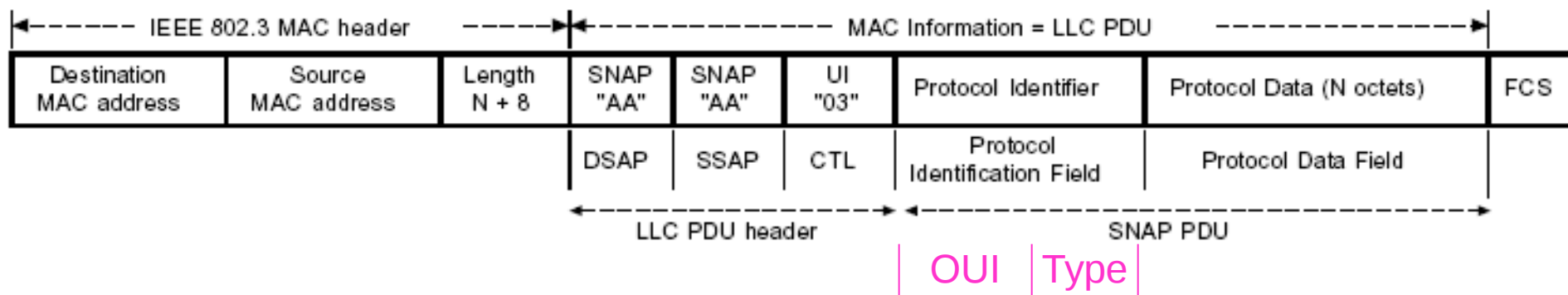


Figure 17—SNAP PDU in IEEE 802.3 MAC frame

С помощью заголовка SNAP достигнута совместимость с Ethernet II, создана универсальная схема кодирования протоколов

Коды протоколов для технологий 802 контролирует IEEE, которая имеет OUI, равный 000000

Если в будущем потребуются другие коды протоколов для какой-либо новой технологии, для этого достаточно указать другой идентификатор организации, назначающей эти коды, а старые значения кодов останутся в силе (в сочетании с другим идентификатором OUI)

Литература

1. <https://www.ieee802.org/3/>