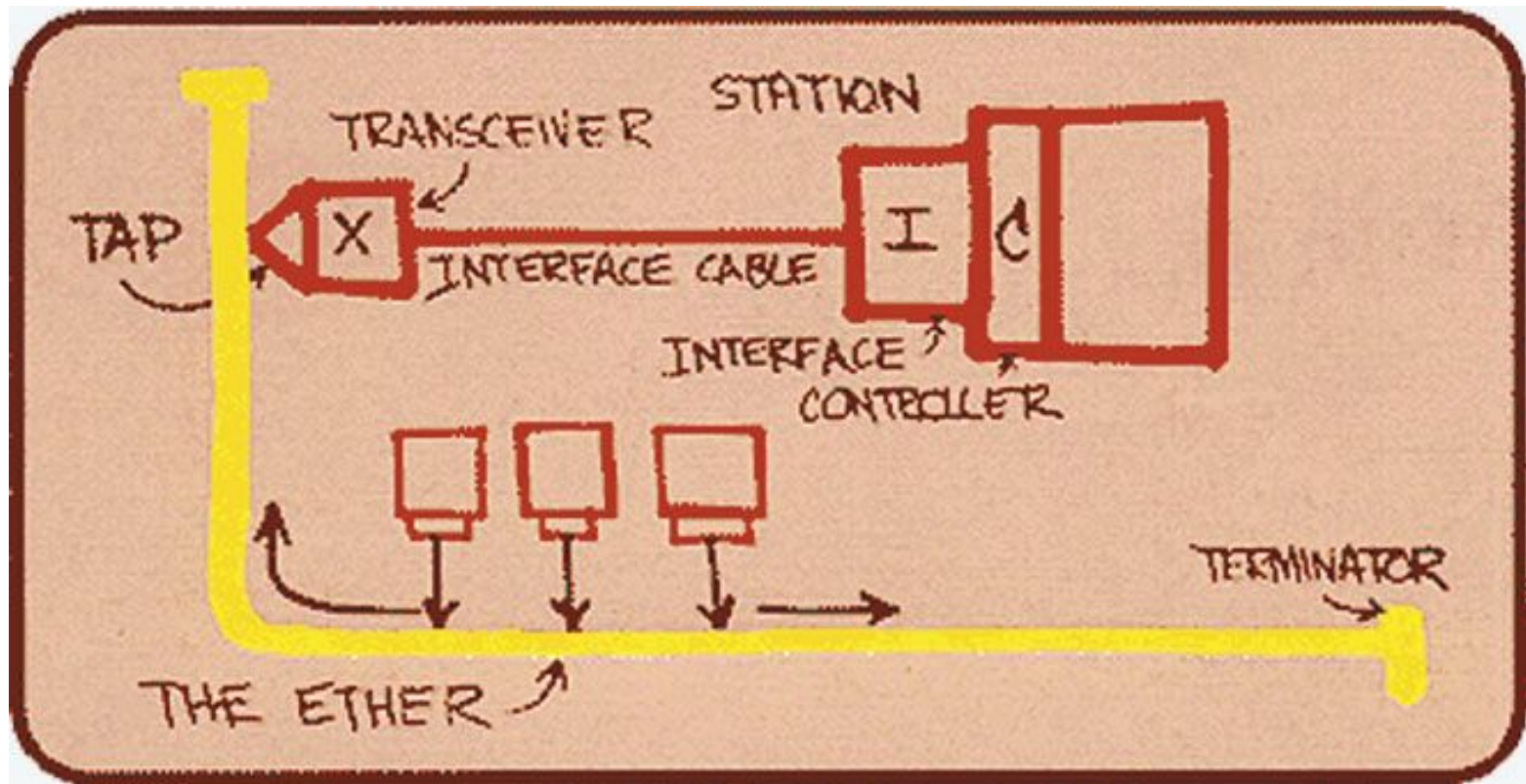


Технологии локальных сетей

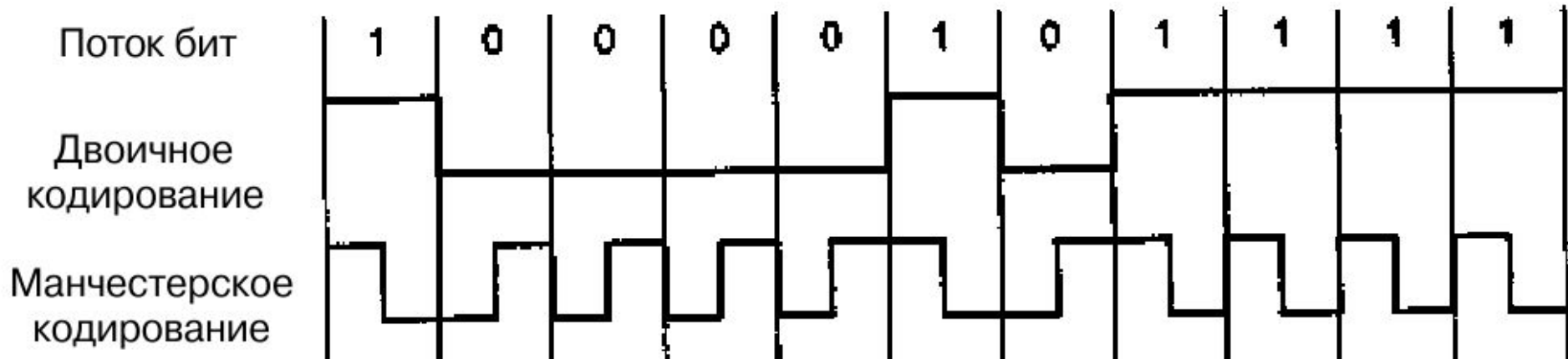
Ethernet



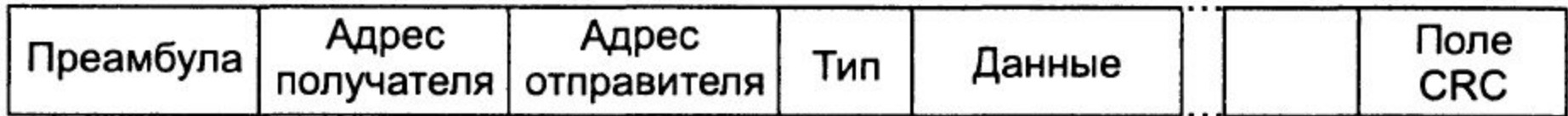
Зарождение Ethernet



Манчестерский код



Формат кадра Ethernet

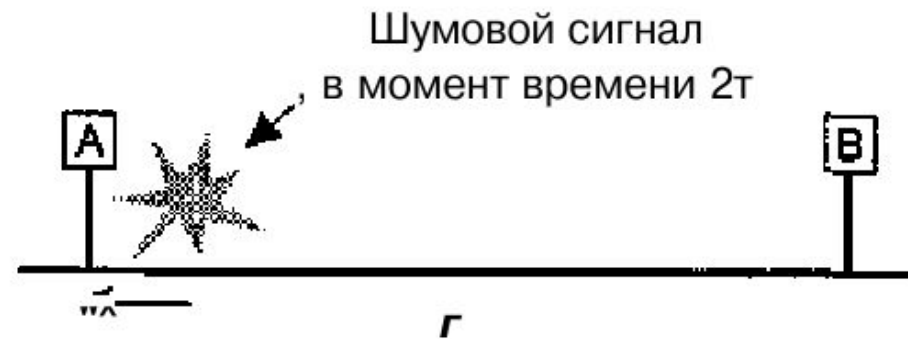
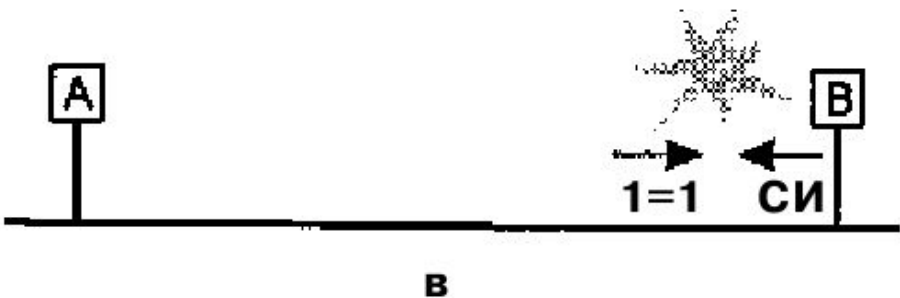
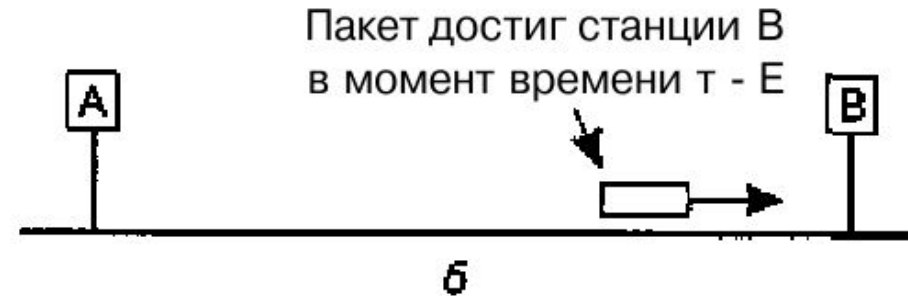
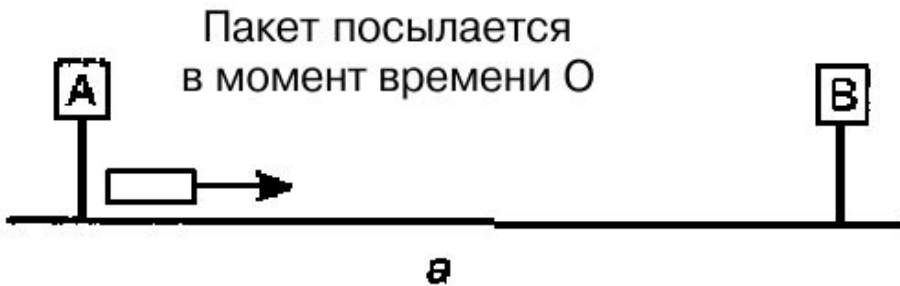


Минимальный размер кадра



- Если кадр короткий, а расстояние между компьютерами большое, то отправитель может не обнаружить коллизии
- Если отправитель закончит отсылать кадр до прихода сигнала о коллизии, то он подумает, что сигнал о коллизии относится не к нему

Минимальный размер кадра



- $2T$ – минимальное время передачи сигнала
- $T = L/c$, где c – скорость света

Связь характеристик канала



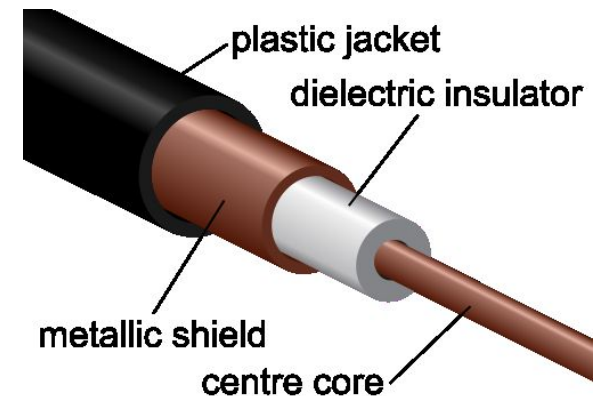
- Пусть
 - M - минимальный размер кадра
 - P – пропускная способность канала
 - M/P – время записи кадра в канал
- Связь между скоростью, длиной канала и минимальным размером кадра:
 - $M/P > 2T$, где $T=L/c$
- Примеры:
 - $P=10 \text{ Mb/s}$ $M=64 \text{ В}$ тогда $L < 7680 \text{ м}$
 - $P=10 \text{ Gb/s}$ $M=64 \text{ В}$ тогда $L < 7,68 \text{ м}$

Ethernet 10BASE2 (IEEE 802.3a)

Коаксиальный кабель



- Использует CSMA/CD
- Сейчас устарел
- скорость передачи данных 10 Мбит/с
- максимальная длина кабеля: 200 и 500м



Fast Ethernet (100 Мбит/с)

Витая пара



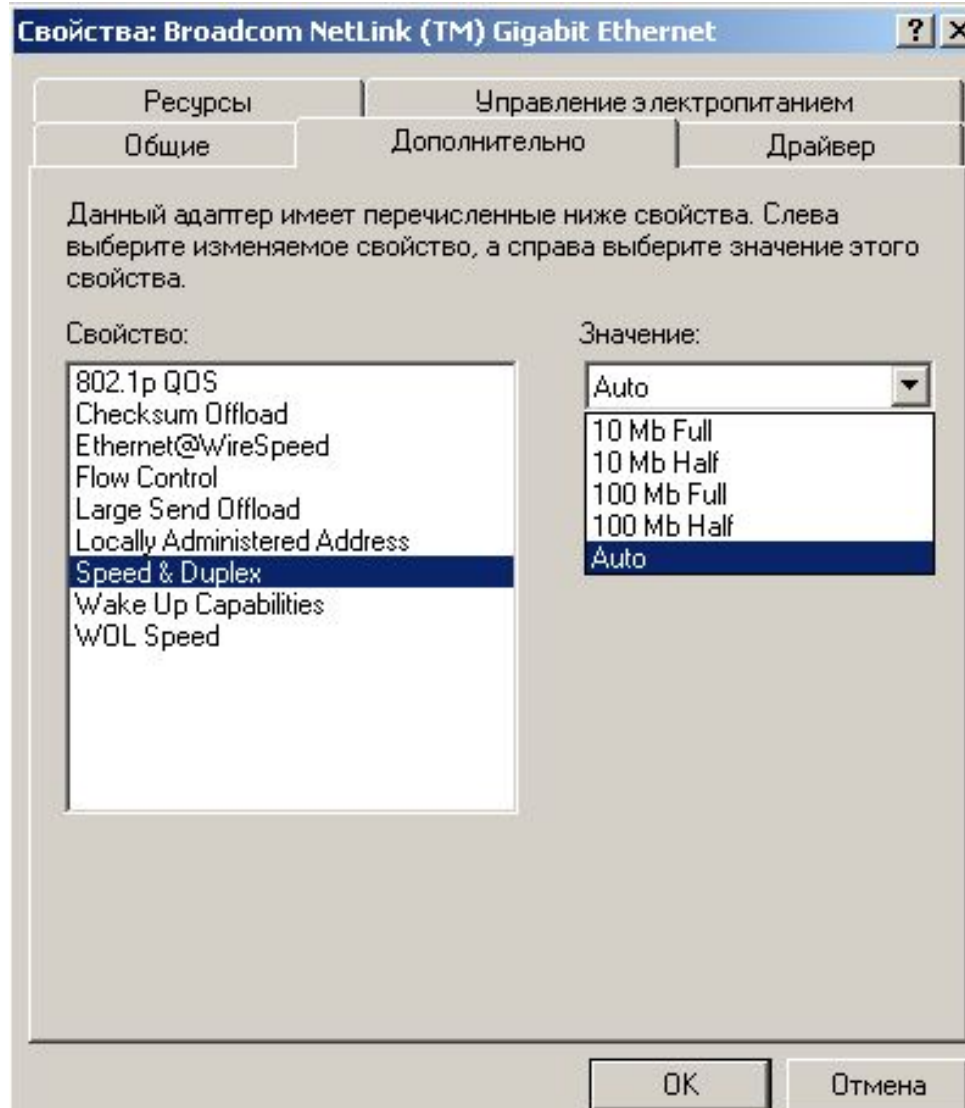
- Отказ от шинной топологии – узлы локальной сети образуют «звезду» с концентратором или коммутатором в центре
- Передача идет в дуплексном режиме
- В случае подключения через концентратор, применяется CSMA/CD
- Стандарты Fast Ethernet отличаются средой передачи и другими характеристиками:
 - 100BASE-T – витая пара
 - 100BASE-FX, 100BASE-LX - оптоволокно

Стандарты Fast Ethernet



- **100BASE-T4:** UTP категории 3 (max – 25 МГц); используются все 4 пары (3→1←); троичные сигналы; полудуплексный
- **100BASE-TX:** UTP категории 5 (max 125 МГц); используются 2 пары (1→1←); дуплексный
- **100BASE-FX:** многомодовое двужильное оптоволокно (1→1←); максимальная длина 2км (при правильной настройке)
- **100BASE-LX:** одномодовое двужильное оптоволокно (1→1←); максимальная длина 15км (при правильной настройке)

Настройки Ethernet



1 и 10Гбит Ethernet



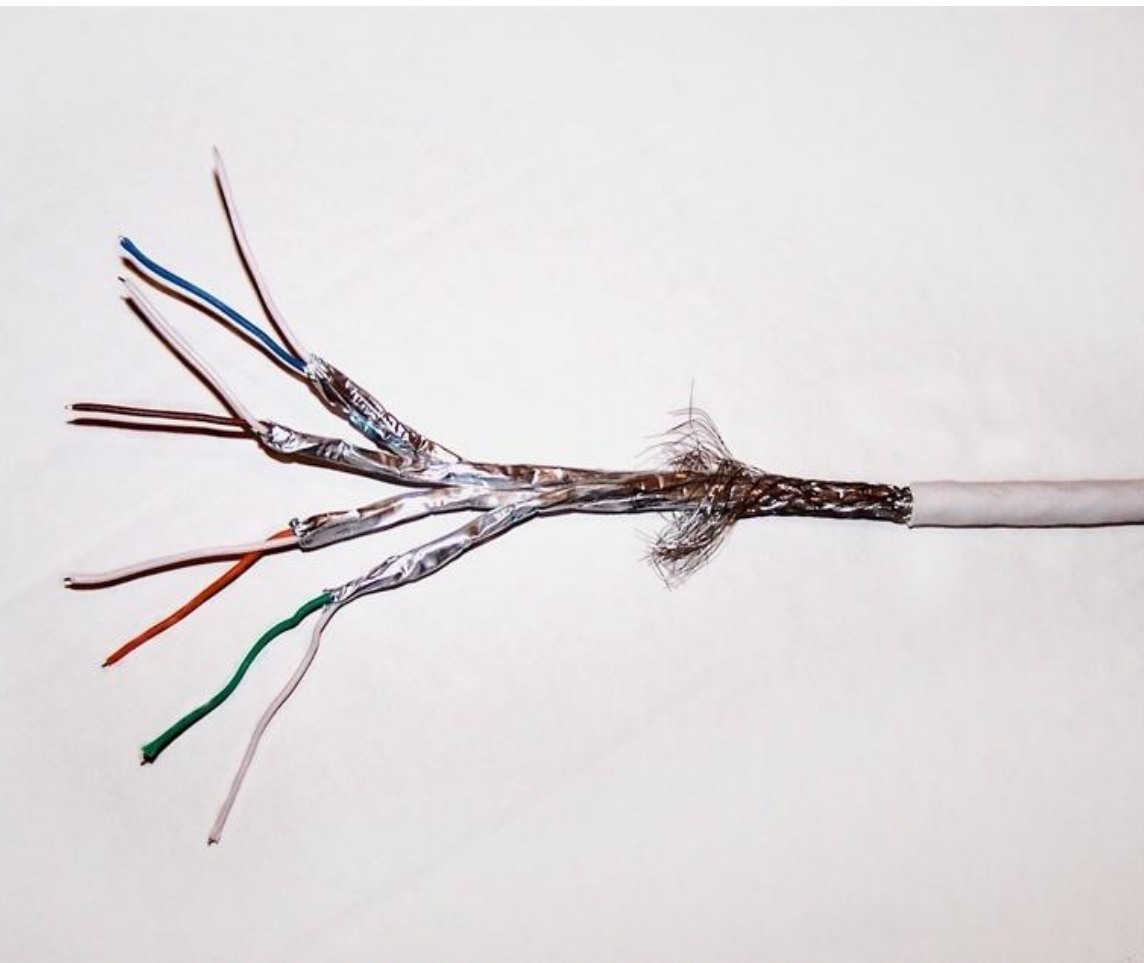
- 1000BASE-T: витая пара категории 5, 5е или выше; полудуплексный; в передаче участвуют все 4 пары (125МГц и 5 уровней напряжения, итого $125 \times 4 \text{ пары} \times 2 \text{ бита} = 1000$)
- 1000BASE-SX и LX: многомодовое и одномодовое оптоволокно; расстояние до 500м и 20км;
- 10GBASE-T: витая пара категории 6а (16 уровней напряжения $650 \text{ МГц} \times 4 \text{ пары} \times 4 \text{ бита}$)₁₂

Витая пара



- «Витая» - для уменьшения влияния внешних помех
- Кабель обычно состоит из четырёх пар
- Виды кабеля:
 - незащищенная витая пара (UTP — Unshielded twisted pair)
 - фольгированная витая пара (FTP — Foiled twisted pair)
 - защищенная витая пара (STP — Shielded twisted pair)
- Категории кабеля: CAT 1 – 7

Витая пара категорий 7 и 6

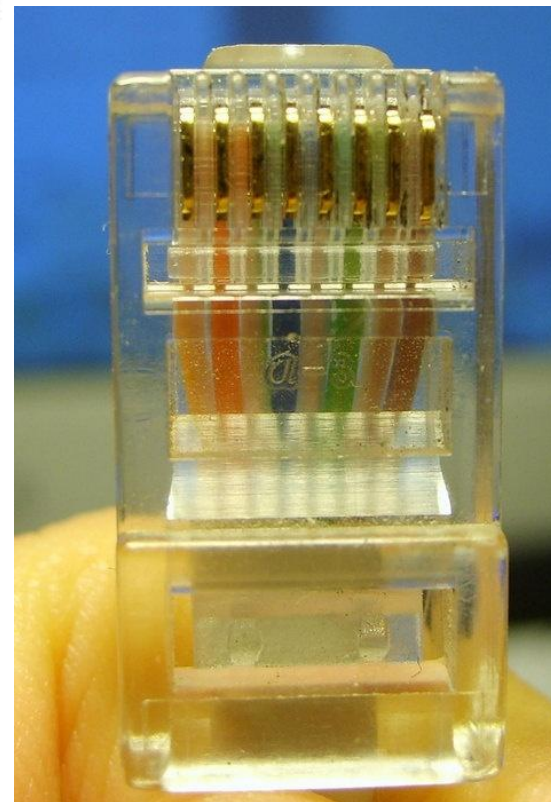
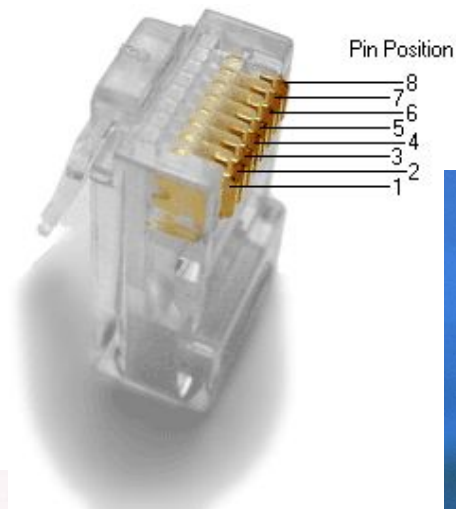


Power over Ethernet

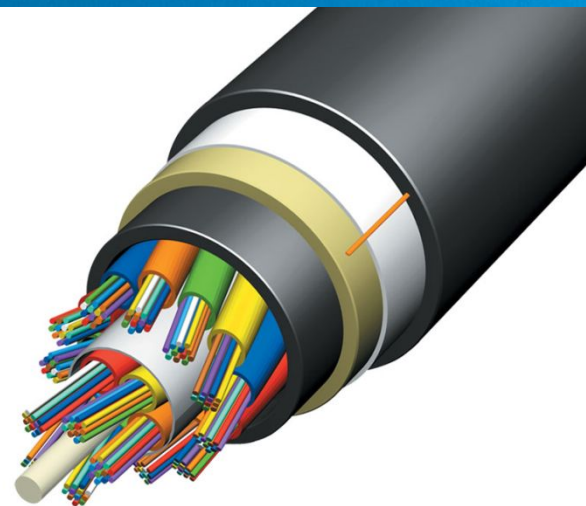
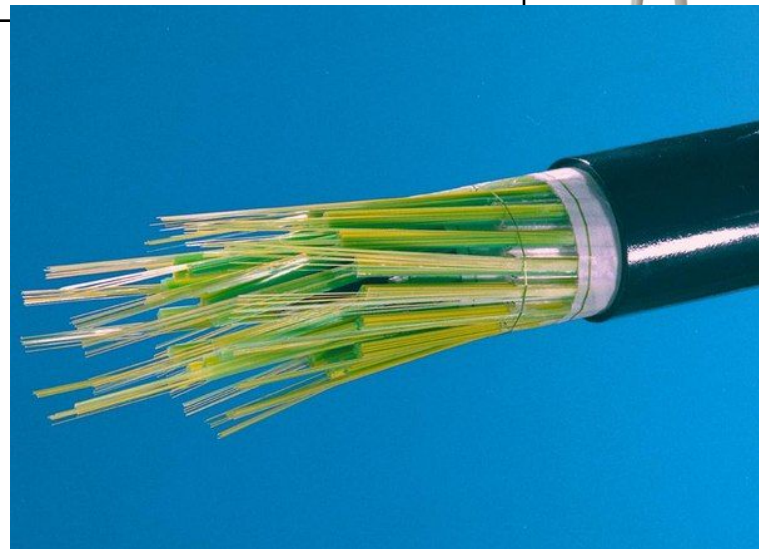
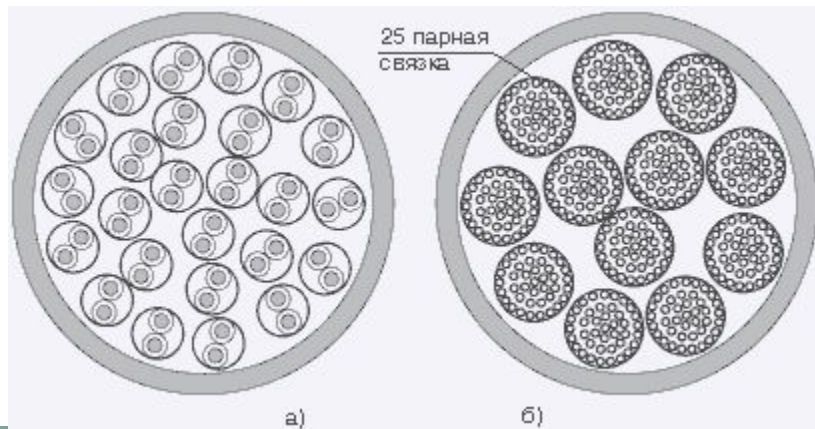


- Передача питания вместе с сигналом по витой паре
- Могут использоваться как свободные пары, так и фантомное питание по сигнальным проводам
- Напряжение настраивается автоматически
- Passive PoE – самодельное питание по свободным парам в 100BASE-TX без автоматической настройки напряжения

Коннекторы и устройство для обжима кабеля



Магистральный кабель (витая пара и оптоволокно)



Оптоволокно

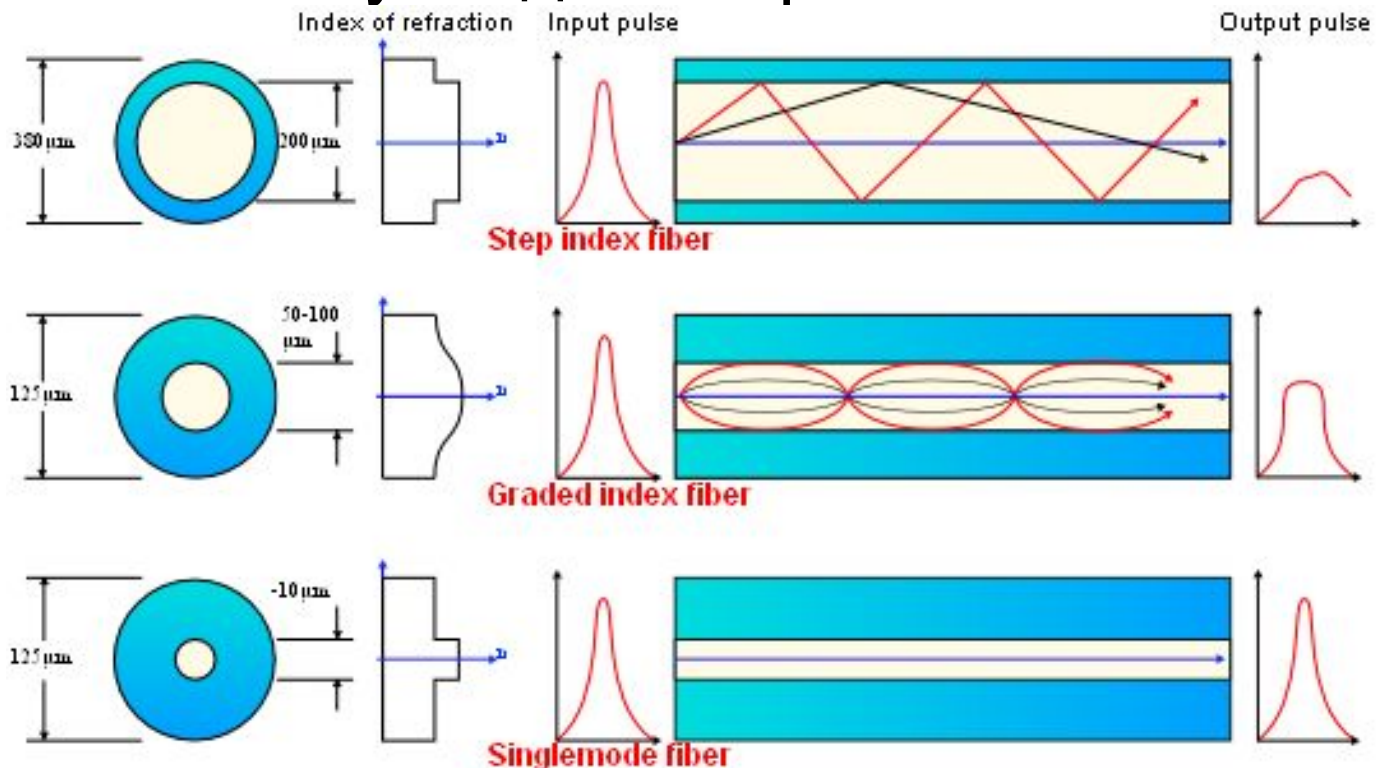


- Световые сигналы можно передавать через стеклянные или пластиковые нити
- Свет не выходит из волокна благодаря эффекту **полного внутреннего отражения**
- Преимущества:
 - Огромная пропускная способность
 - Невосприимчивость к электромагнитным помехам
 - Апгрейд осуществляется заменой приемников/передатчиков, а не всего кабеля

Типы оптоволокна



- Одномодовое – сигнал распространяется по одной прямой, вдоль волокна
- Многомодовое – сигнал распространяется зигзагами/синусоидами с различными шагами

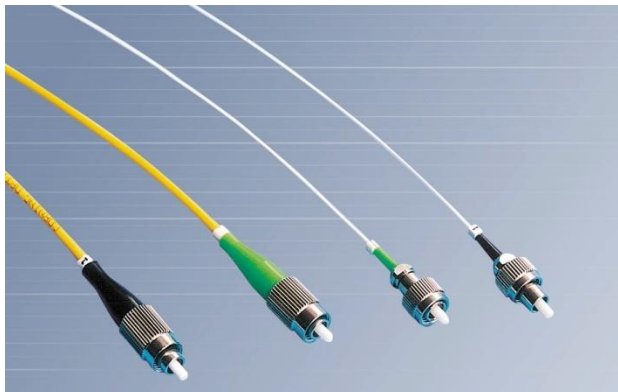


Типы оптоволоконна



- Одномодовое оптоволоконно дешевле и позволяет передавать сигнал на большие расстояния (100км) без повторителей
- Но оборудование (приемники и лазерные передатчики) гораздо дороже
- Для многомодового волокна используются дешевые светодиодные источники
- Меньшая максимальная длина многомодового кабеля (500м) обусловлена **модовой дисперсией**

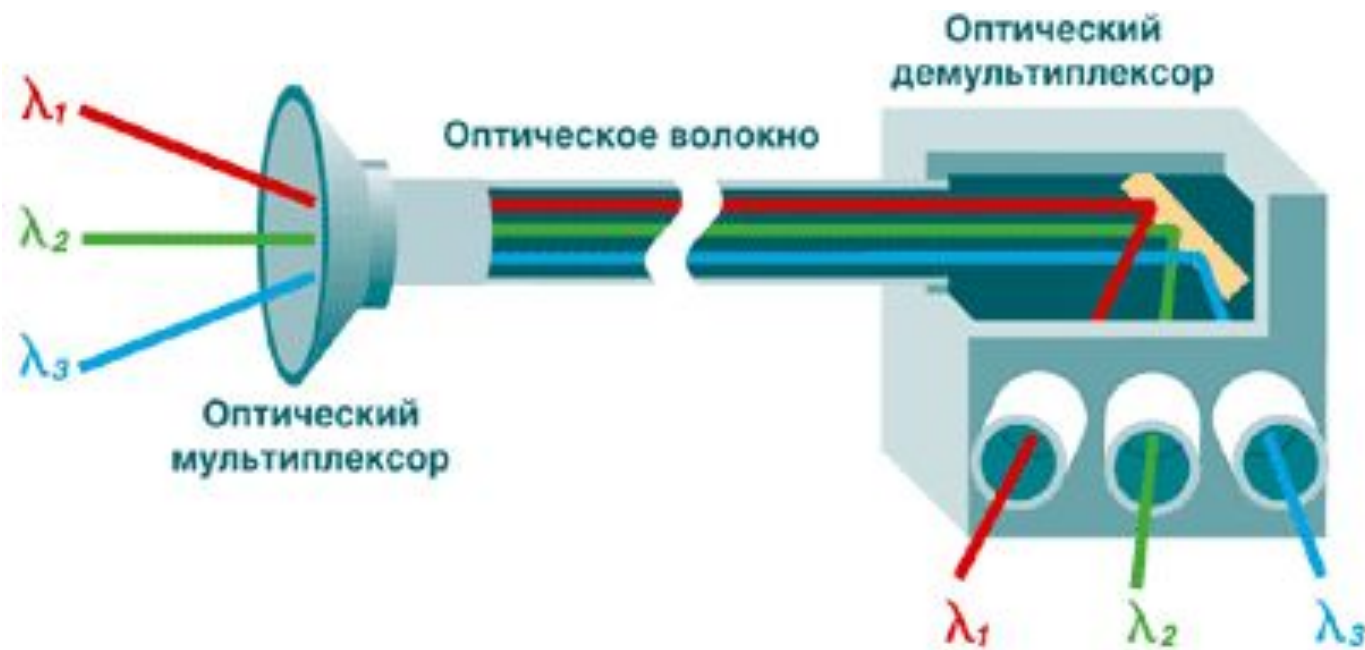
ОПТОВОЛОКНО



Спектральное уплотнение каналов (Wavelength-Division Multiplexing)



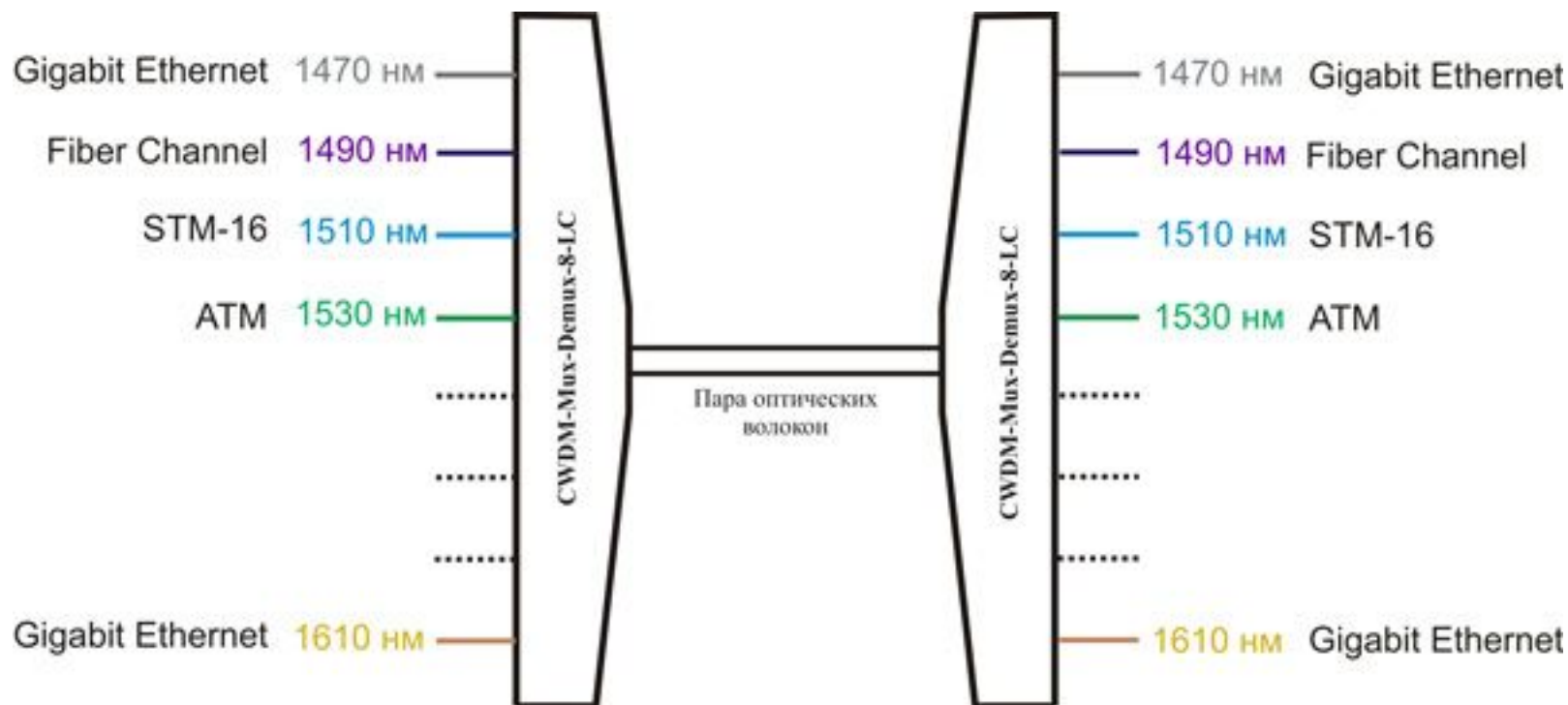
- технология, позволяющая одновременно передавать несколько информационных каналов по одному оптическому волокну на разных несущих частотах



Спектральное уплотнение каналов (Wavelength-Division Multiplexing)



- поддерживает различные битрейты и протоколы



Спектральное уплотнение каналов (Wavelength-Division Multiplexing)

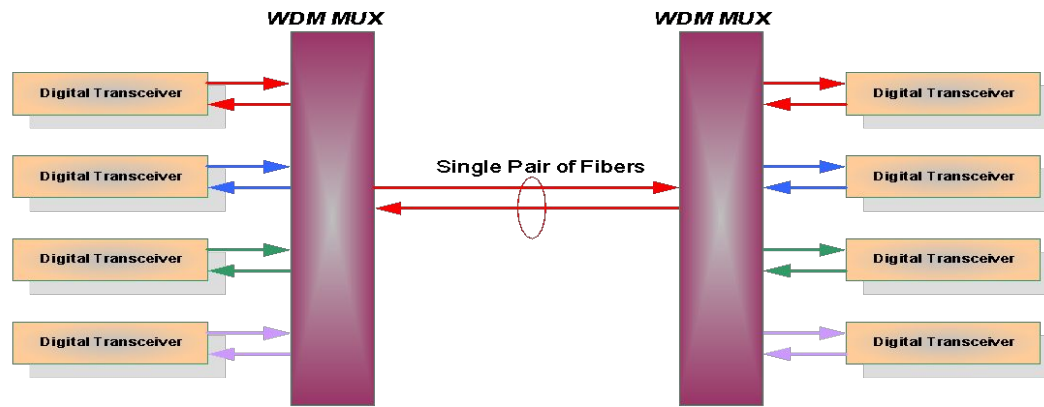


- позволяет существенно увеличить пропускную способность уже проложенных линий

Traditional Digital Fiber Optic Transport



Digital Fiber Optic Transport using WDM



Типы WDM



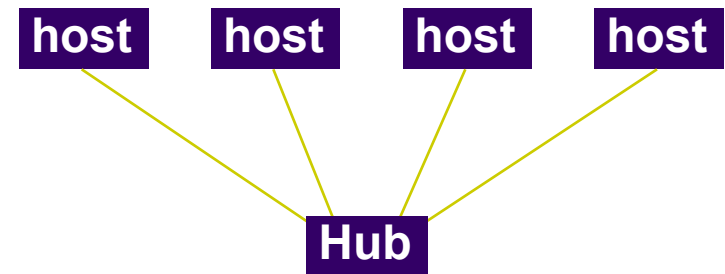
- Coarse WDM (CWDM) – грубые WDM
- Dense WDM (DWDM) – плотные WDM

Характеристики	CWDM	DWDM
Количество каналов	8 – 16	40 – 80
Промежуток между каналами	2500GHz (20nm)	100 GHz (0.8nm)
Пропускная способность	20 – 40 Gbps	100 – 1000 Gbps

Повторители, концентраторы, хабы (все уже устарели)



- Работают на **физическом** уровне!
- Повторители применяются для усиления сигнала
- Концентраторы (хабы) предназначены для объединения нескольких устройств Ethernet в общий сегмент сети
- Повторяют приходящий на один порт сигнал на все активные порты

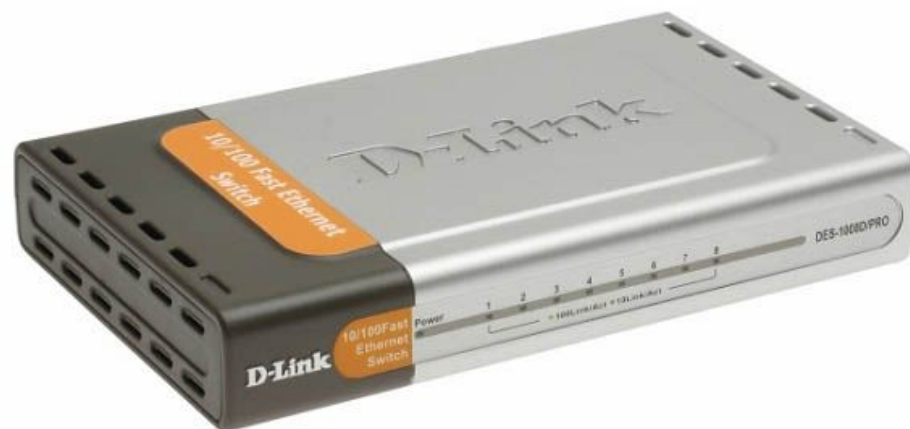


Коммутаторы (свитчи - switch)



- Работают на **канальном** уровне!
- В отличие от концентратора, коммутатор передает данные только непосредственно получателю
- Если сеть занята, кадр не теряется, а ожидает в буфере коммутатора. Таким образом, не возникает коллизий.
- Управление коммутатором может осуществляться посредством веб-интерфейса

Коммутаторы



Технологии локальных сетей



IEEE 802.11

WiFi. Общие принципы



- Передача идет по радиоканалу
- Скорость 54 Мбит/с (для IEEE 802.11g)
- Два режима работы:
 - с точкой доступа (режим инфраструктуры)
 - без точки доступа (ad-hoc)
- Протокол доступа к среде: CSMA/CA

Режим инфраструктуры



- Точка доступа выполняет роль моста между беспроводной и проводной сетями
- Каждые 0,1с с сигнальным пакетом она передаёт свой идентификатор сети (SSID)
- При попадании в зону действия двух точек доступа с идентичными SSID программа может выбирать между ними на основании данных об уровне сигнала

Стандарты WiFi



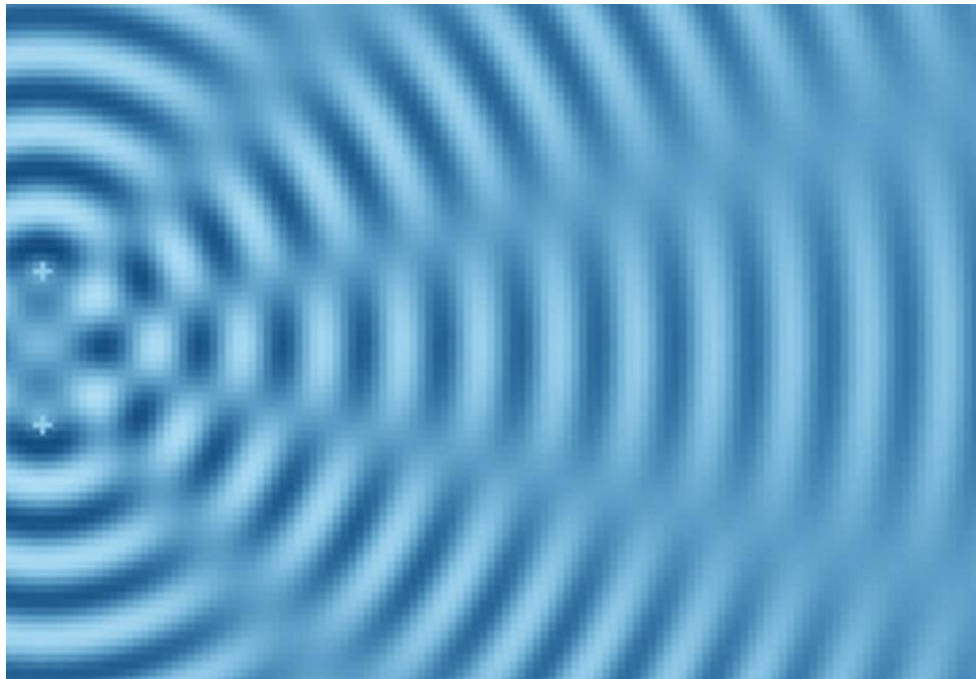
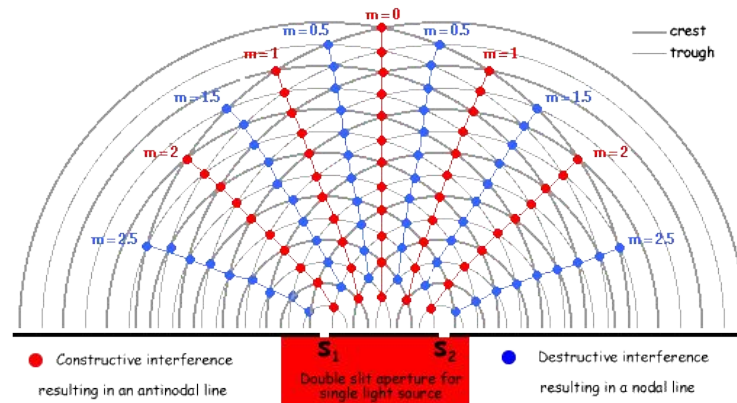
- IEEE 802.11 — Изначальный 1 Мбит/с и 2 Мбит/с стандарт (1997)
- IEEE 802.11a 54 Mbit/s DSSS
- IEEE 802.11b 11 Mbit/s OFDM
- IEEE 802.11g 54 Mbit/s
- IEEE 802.11n 600 Mbit/s

Шифрование данных



- Wired Equivalent Privacy (WEP) - первый стандарт (ключ: 5 или 13 ASCII-символов) – не является достаточно криптостойким
- Wi-Fi Protected Access (WPA) – включает протоколы 802.1x, TKIP, MIC и стандарт шифрования AES (Advanced Encryption Standard – в WPA2)
 - 802.1x - протокол аутентификации пользователей (нужен спец. RADIUS-сервер)
 - TKIP (Temporal Key Integrity Protocol) – динамические ключи шифрования (очень часто меняются)
 - MIC (Message Integrity Check) - проверка целостности сообщений (для предотвращения изменений)

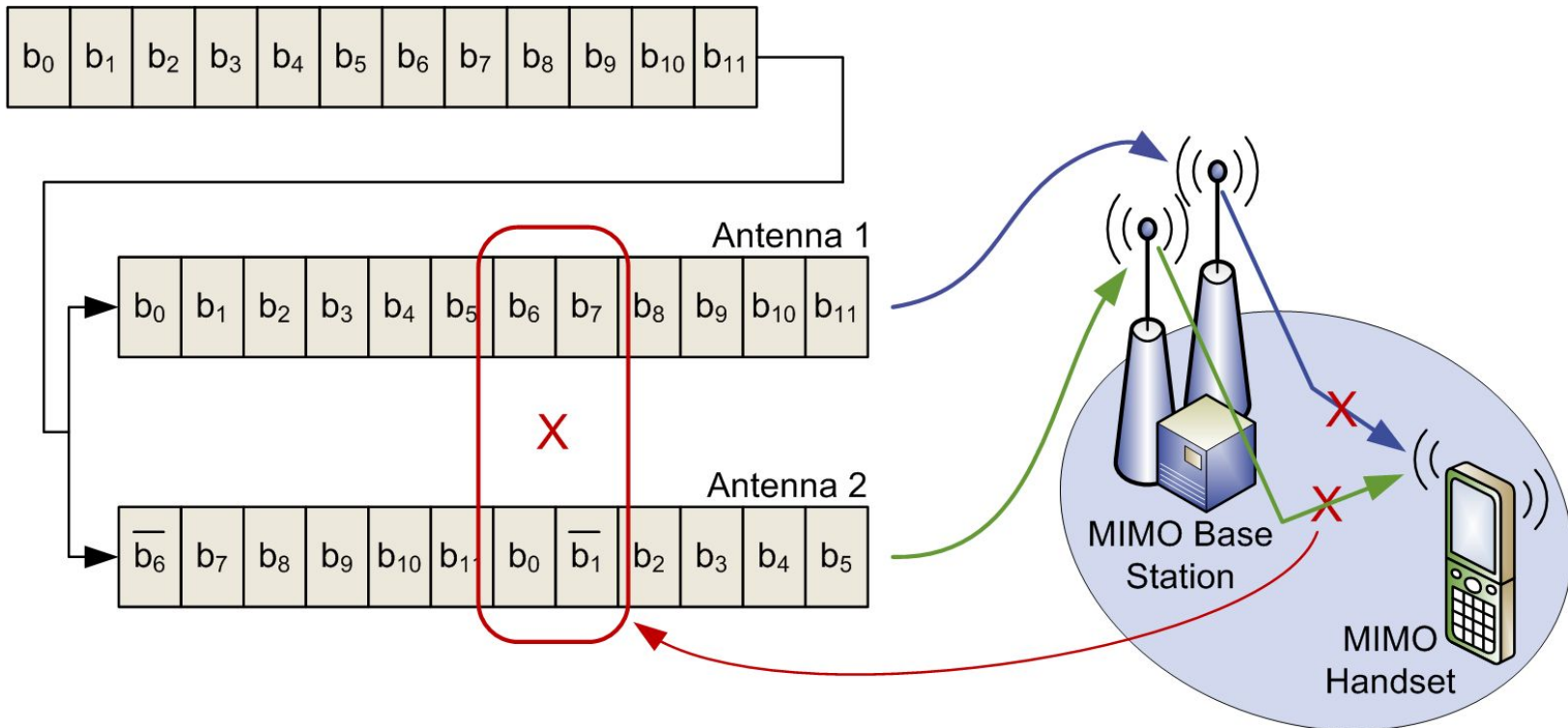
MIMO



MIMO – Multiple Input Multiple Output



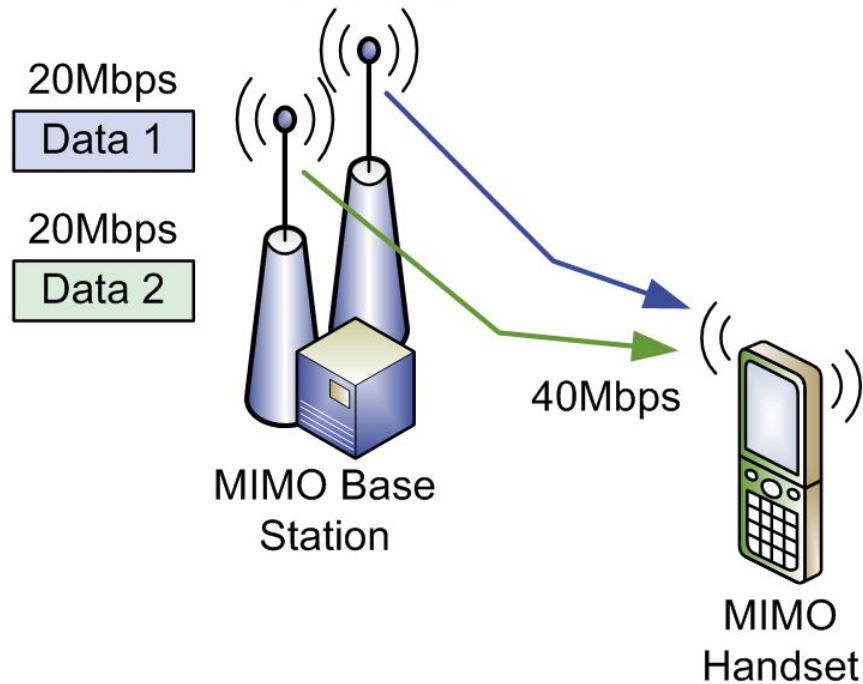
MIMO (Space time coding)



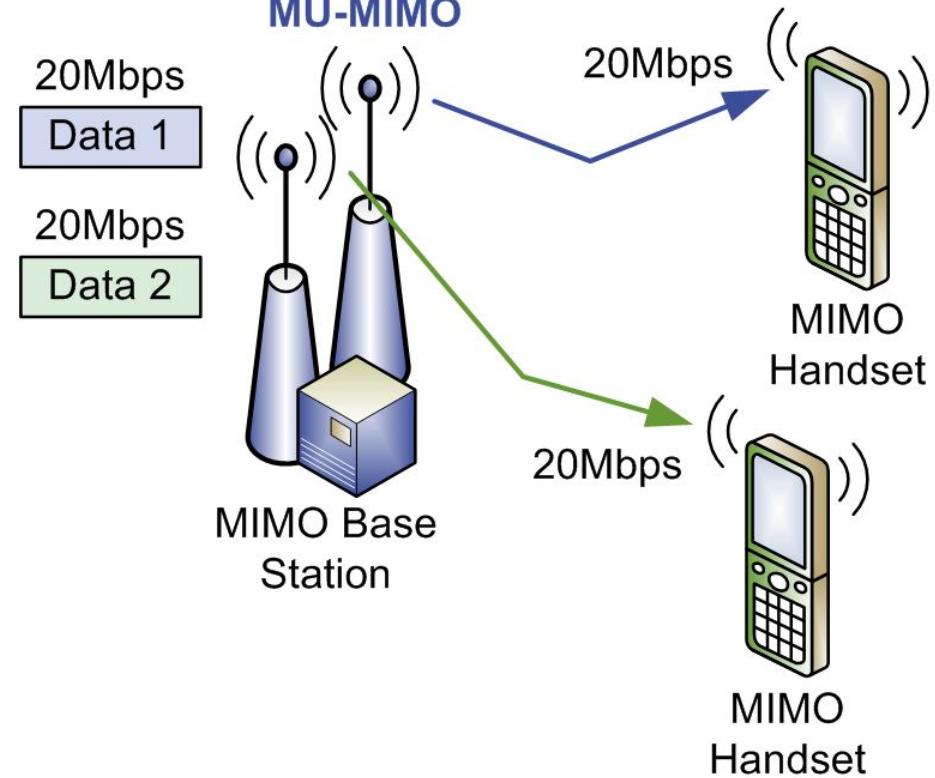
MIMO



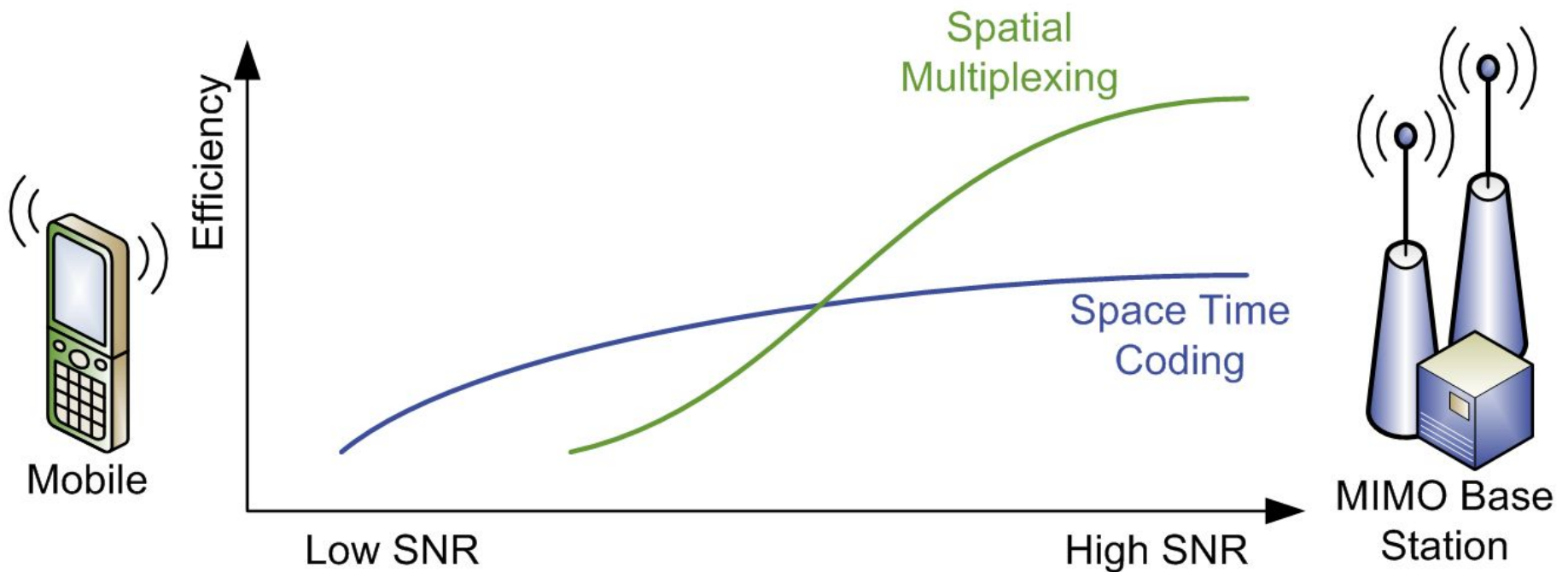
SU-MIMO



MU-MIMO



AMS – Adaptive MIMO Switch



WiMAX



- **W**orldwide **I**nteroperability for **M**icrowave **A**ccess – стандарт IEEE 802.16 беспроводной связи **дальнего** действия (10 км)
- Проблема CDMA/CA – более удаленные абоненты имеют меньше шансов передать пакет точке доступа
- Выход – использование TDMA
- Для групп пользователей возможно использование FDMA



WiMAX. Виды



- 802.16d - фиксированный WiMAX
 - стационарные модемы, PCMCIA-карты для ноутбуков
- 802.16e - мобильный WiMAX (4G)
 - есть роуминг
- Скорость – до 1 Гбит/с

Мобильные сетевые технологии

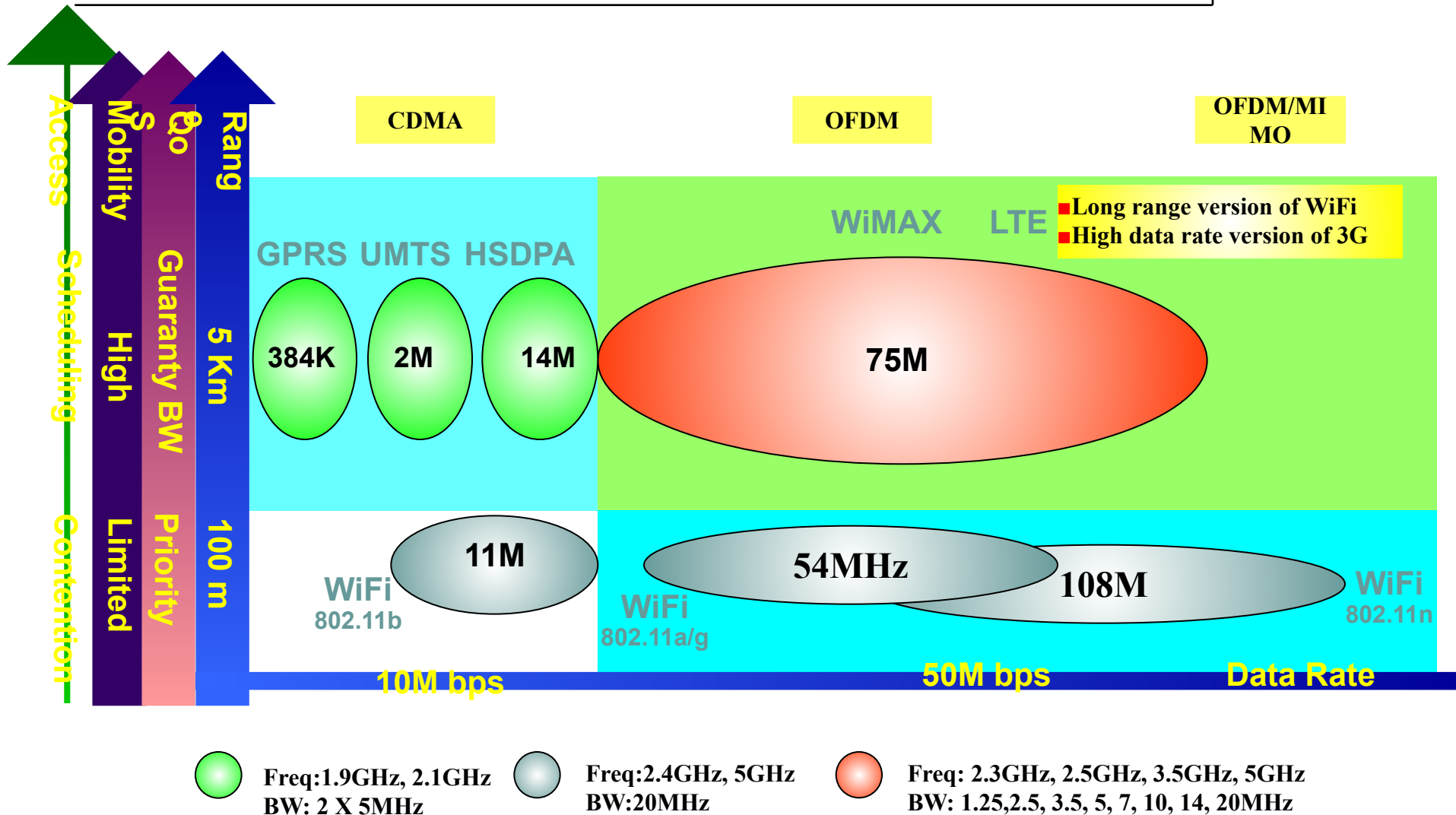


Многообразие стандартов



V • T • E		Cellular network standards
0G (radio telephones)		MTS • MTA • MTB • MTC • IMTS • MTD • AMTS • OLT • Autoradiopuhelin
1G	AMPS family	AMPS (TIA/EIA/IS-3, ANSI/TIA/EIA-553) • N-AMPS (TIA/EIA/IS-91) • TACS • ETACS
	Other	NMT • Hicap • Mobitex • DataTAC
2G	GSM/3GPP family	GSM • CSD
	3GPP2 family	cdmaOne (TIA/EIA/IS-95 and ANSI-J-STD 008)
	AMPS family	D-AMPS (IS-54 and IS-136)
	Other	CDPD • IDEN • PDC • PHS
2G transitional (2.5G, 2.75G)	GSM/3GPP family	HSCSD • GPRS • EDGE/EGPRS (UWC-136)
	3GPP2 family	CDMA2000 1X (TIA/EIA/IS-2000) • 1X Advanced
	Other	WiDEN
3G (IMT-2000)	3GPP family	UMTS (UTRAN) • WCDMA-FDD • WCDMA-TDD • UTRA-TDD LCR (TD-SCDMA)
	3GPP2 family	CDMA2000 1xEV-DO Release 0 (TIA/IS-856)
3G transitional (3.5G, 3.75G, 3.9G)	3GPP family	HSPA • HSPA+ • LTE (E-UTRA)
	3GPP2 family	CDMA2000 1xEV-DO Revision A (TIA/EIA/IS-856-A) • EV-DO Revision B (TIA/EIA/IS-856-B) • DO Advanced
	IEEE family	Mobile WiMAX (IEEE 802.16e) • Flash-OFDM • IEEE 802.20
4G (IMT-Advanced)	3GPP family	LTE Advanced (E-UTRA)
	IEEE family	WiMAX-Advanced (IEEE 802.16m)
5G		Research concept, not under formal development

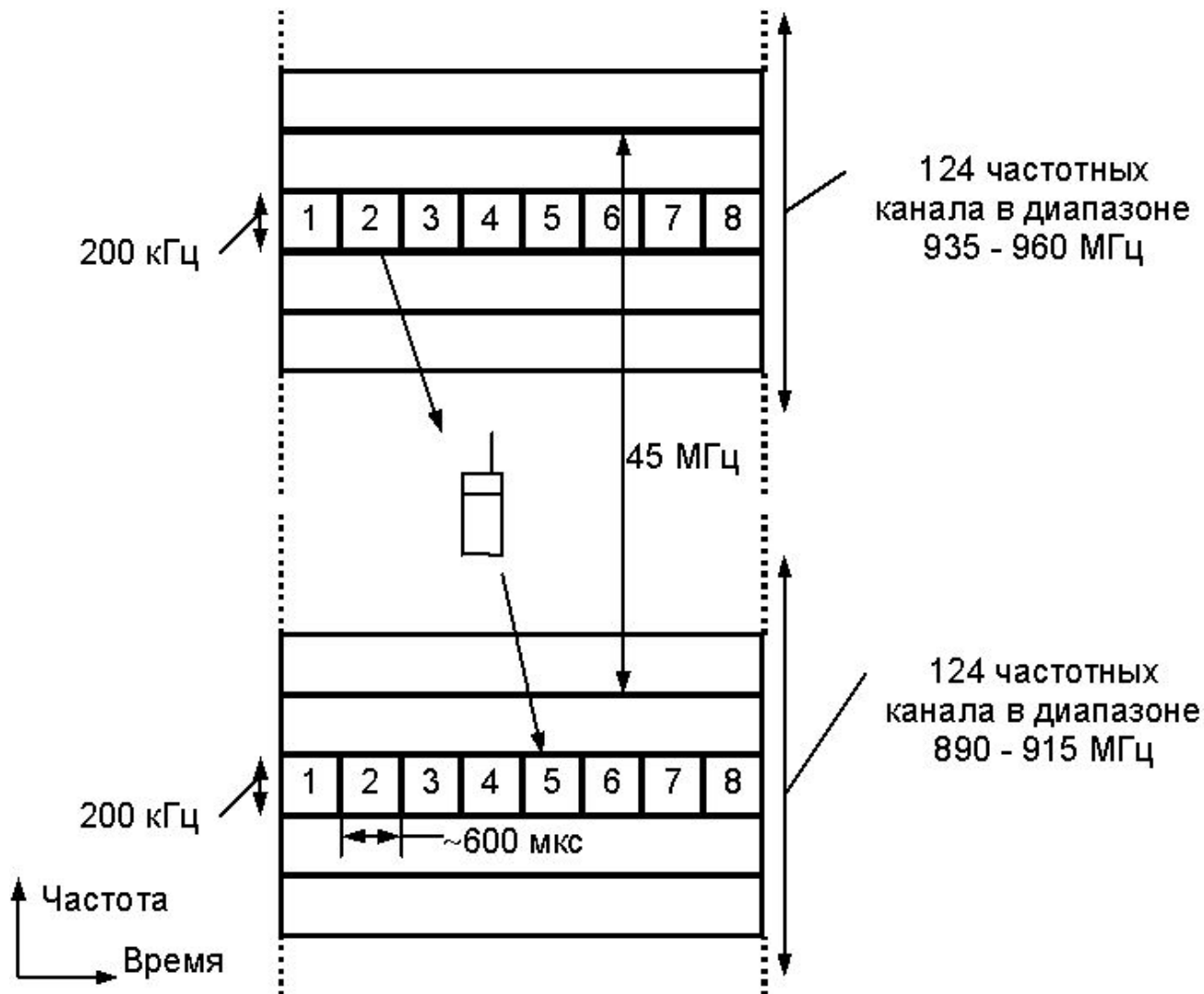
Беспроводные технологии



GSM - Global System for Mobile Communication



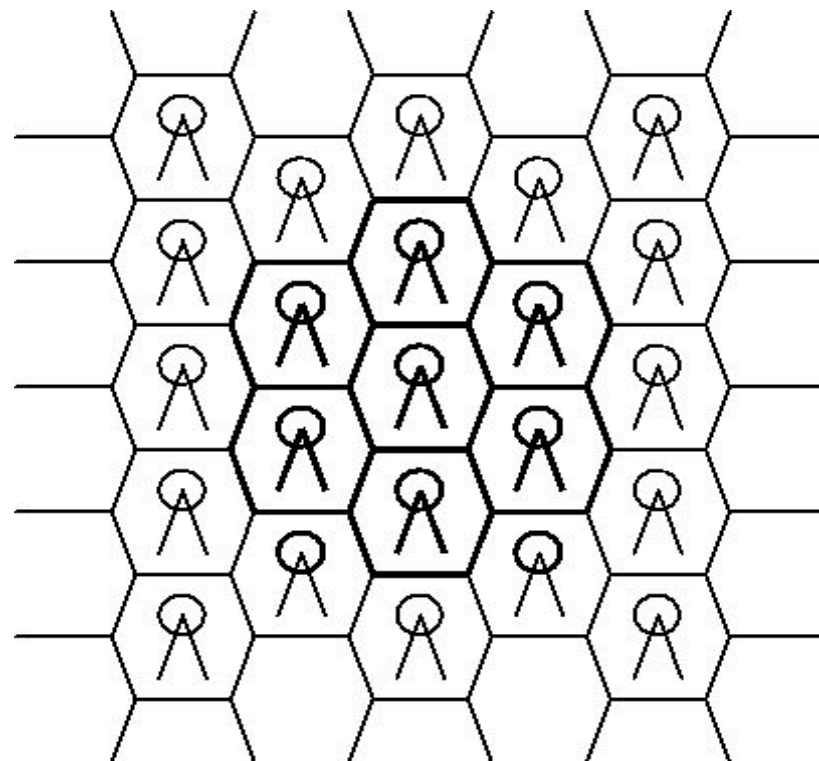
- Стандарты:
1982 CEPT,
1989 ETSI
(8000 стр.)
- Доступ к
среде:
TDMA и
FDMA



Соты



- ячейки с одним набором частот перемежаются ячейками с другими наборами частот
- идеи сотовой сети: уровень взаимных помех зависит не от собственно расстояния между ячейками, а от отношения расстояния между ячейками к их радиусу



Handover – передача полномочий



GPRS - General Packet Radio Service



- Пакетная радиосвязь общего пользования - надстройка над GSM, осуществляющая пакетную передачу данных
- Множественный доступ: каждому пользователю выделяется пара частот, временные слоты этих частот распределяются с использованием явного резервирования по Робертсу (Reservation-ALOHA)
- Применяется корректирующее ошибки сверточное кодирование (типы: CS1-CS4 ((9-21 кбит/с))

EDGE (Ёж)



- Enhanced Data rates for GSM Evolution
- Использование другого типа модуляции сигнала (8 Phase Shift Keying) позволило в 3 раза увеличить скорость передачи данных по сравнению с GPRS
- 8 типов кодирования MCS1-8 от 8,4 кбит/с до 59,2 кбит/с
- x 8 тайм-слотов = до 474 кбит/с

CDMA - соперник GSM



- Стандарты:
 - cdmaOne (IS-95), 90е годы, 10-100 кбит/с
 - Wideband CDMA – широкополосный (до 384 кбит/с)
 - CDMA2000 – до 2,4 Мбит/с в прямом канале и до 153 кбит/с в обратном;
использует ортогональные коды Волша-Хадамарда для разделения канала;
ошибки корректируются посредством турбо-кодирования

UMTS, HSPA



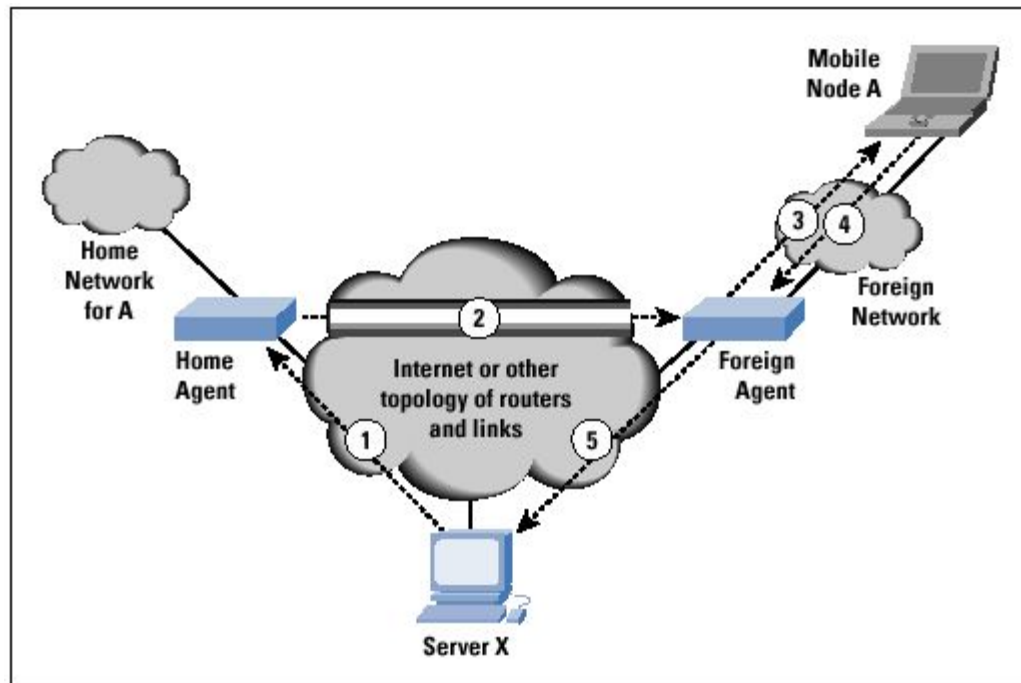
- UMTS - Universal Mobile Telecommunications System – технология использования WCDMA внутри GSM-сети
- HSPA - High Speed Packet Access – улучшения технологии WCDMA (5.8, 14 Мбит/с)
 - многокодовая передача;
 - улучшенные схемы кодирования
- HSPA+ (22, 84 Мбит/с) - использование MIMO и другой модуляции сигнала

LTE Advanced (Long Term Evolution)



- MIMO (3.3 Гбит/с для 8x8)
- в отличие от WCDMA может работать на полосе частот различной ширины (1.4-100 MHz)
- all-IP – инфраструктура, маленький пинг
- FDD (frequency division duplexing) и TDD (time division duplexing)
- Поддержка MBSFN (Multicast Broadcast Single Frequency Network) – для широковещательной рассылки (TV)
- Автоматическая автономная настройка оборудования

Мобильный IPv4



Задача



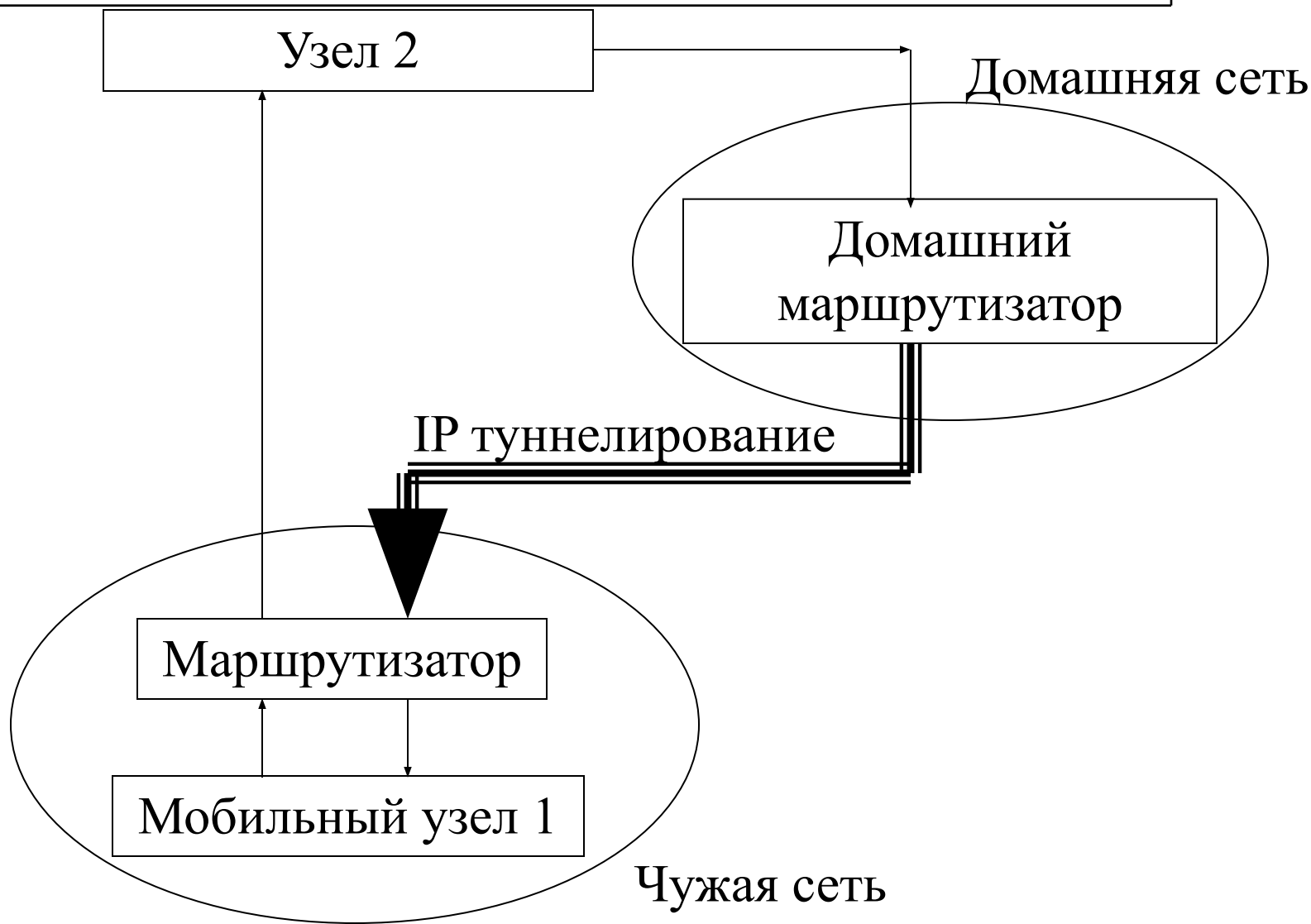
- Как поддерживать работу приложений, когда узел перемещается в другую сеть?
 - Все приложения предполагают, что IP-адрес узла не меняется во время соединения
 - В момент смены сети узел может получить другой IP-адрес
- Два очевидных подхода:
 - не менять адрес или
 - менять и использовать мудреную маршрутизацию

Требования к протоколу



- Мобильный узел должен не разрывать соединений при смене сети
- Протокол должен работать и в том случае, когда один из узлов – стационарный, не знающий о существовании Mobile IP
- Протокол должен быть безопасным, не допускать атак с перенаправлением трафика

Архитектура Mobile IP

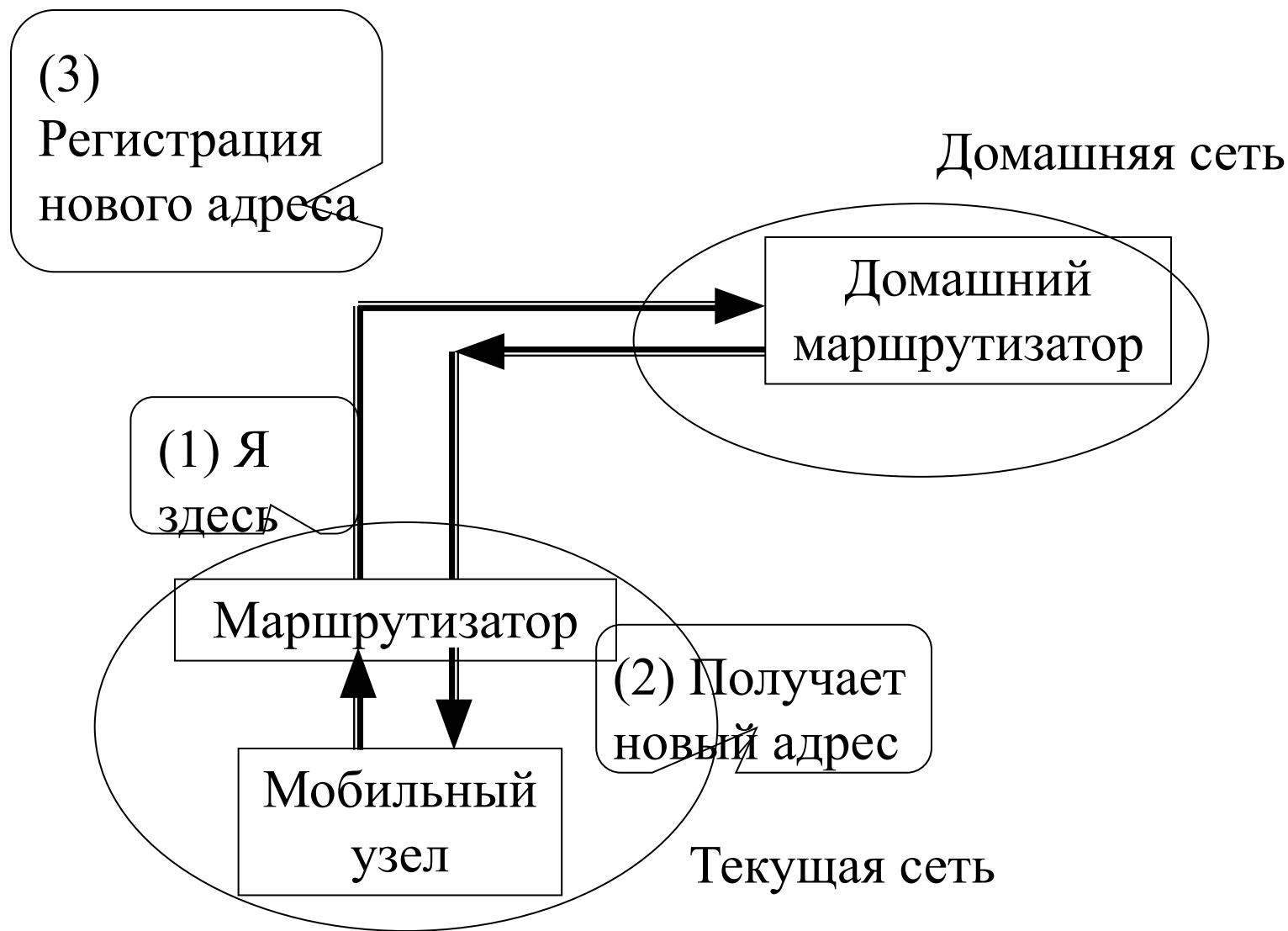


Архитектура Mobile IP



- Мобильный узел - может менять сеть привязки
 - Ему соответствуют 2 адреса: постоянный в домашней сети и переменный (care-of address CoA) – адрес, полученный в текущей сети
 - Mobile IPv4 решает задачу мобильности, сводя ее к задаче маршрутизации (перенаправления)
- Маршрутизатор в домашней сети туннелирует IP-пакеты мобильному узлу, когда тот не находится в домашней сети
- Маршрутизатор в текущей сети предоставляет услуги зарегистрированному мобильному узлу

Архитектура Mobile IP



Архитектура Mobile IP



- (1) Агенты мобильных сетей (маршрутизаторы) периодически рассылают Agent Advertisement messages
 - Мобильные узлы определяют по ним изменилось ли месторасположения
- (2) Когда узел определяет факт смены расположения, он получает новый IP-адрес (CoA) (это может быть адрес маршрутизатора)
- (3) Затем он регистрирует свой новый адрес на своем домашнем маршрутизаторе, обмениваясь сообщениями «Registration Request» и «Registration Reply», возможно, через гостевой маршрутизатор

Определение смены сети



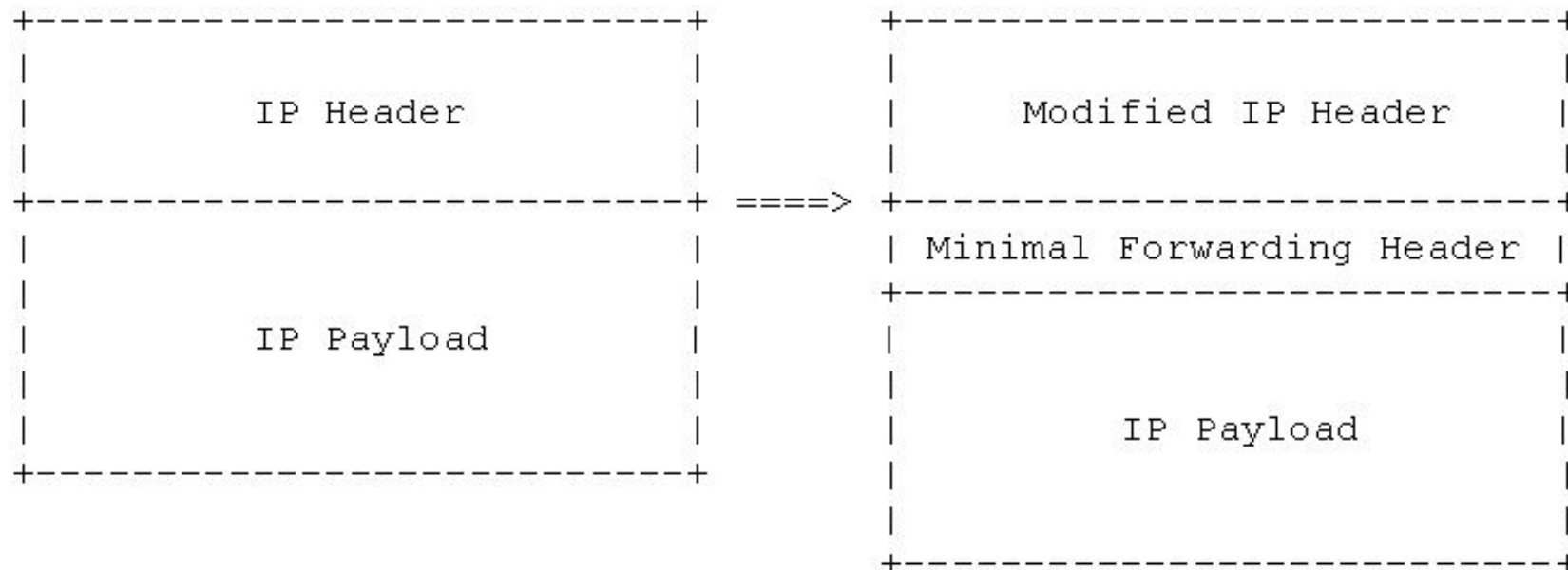
- Два механизма:
- Первый основан на поле «Время действия» пакета Agent Advertisement.
 - Мобильные узлы запоминают значения этого поля у полученных пакетов
 - Если в течении данного промежутка времени от указанного маршрутизатора больше не было получено других АА-сообщений, то узел переключается на другой маршрутизатор – месторасположение сменилось

Определение смены сети

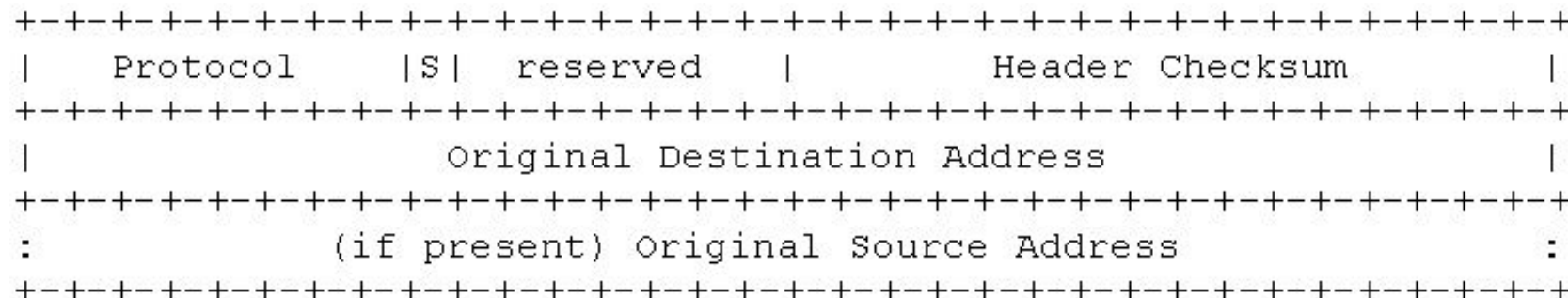


- Второй подход основан на анализе адреса сети
- Адрес сети: IP адрес + маска
- Если AA-пакеты другого маршрутизатора содержат тот же адрес сети, то смены месторасположения не произошло

Туннелирование IP-пакетов



Minimal Forwarding Header



Безопасность

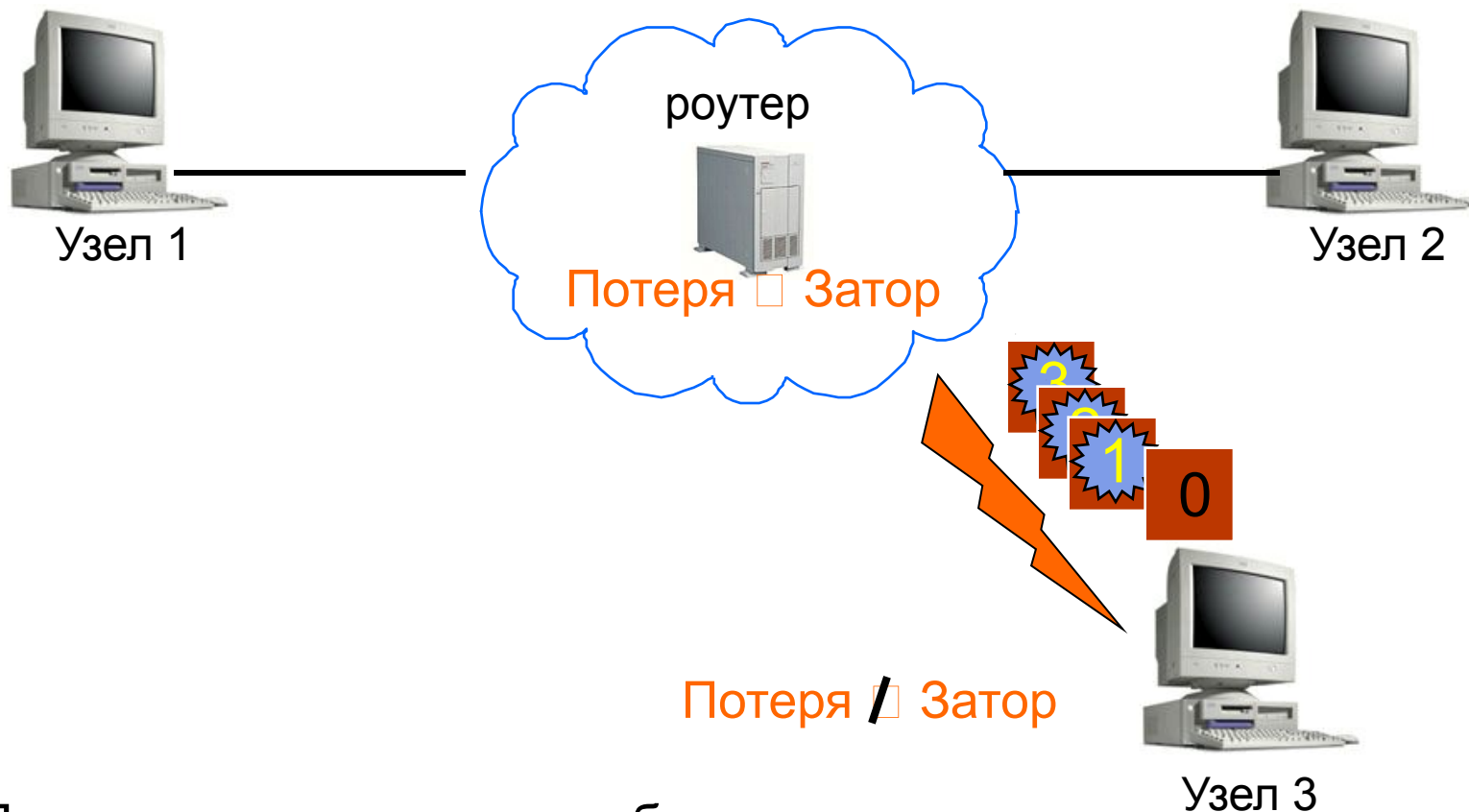


- Опасность: злоумышленник может отправить в домашнюю сеть ложное сообщение о смене адреса и все пакеты будут перенаправляться к нему
- Слабая защита:
 - при смене сети мобильный узел должен в регистрационном сообщении указывать пароль;

ТСР поверх ненадежных соединений



Искажения пакетов в беспроводных сетях



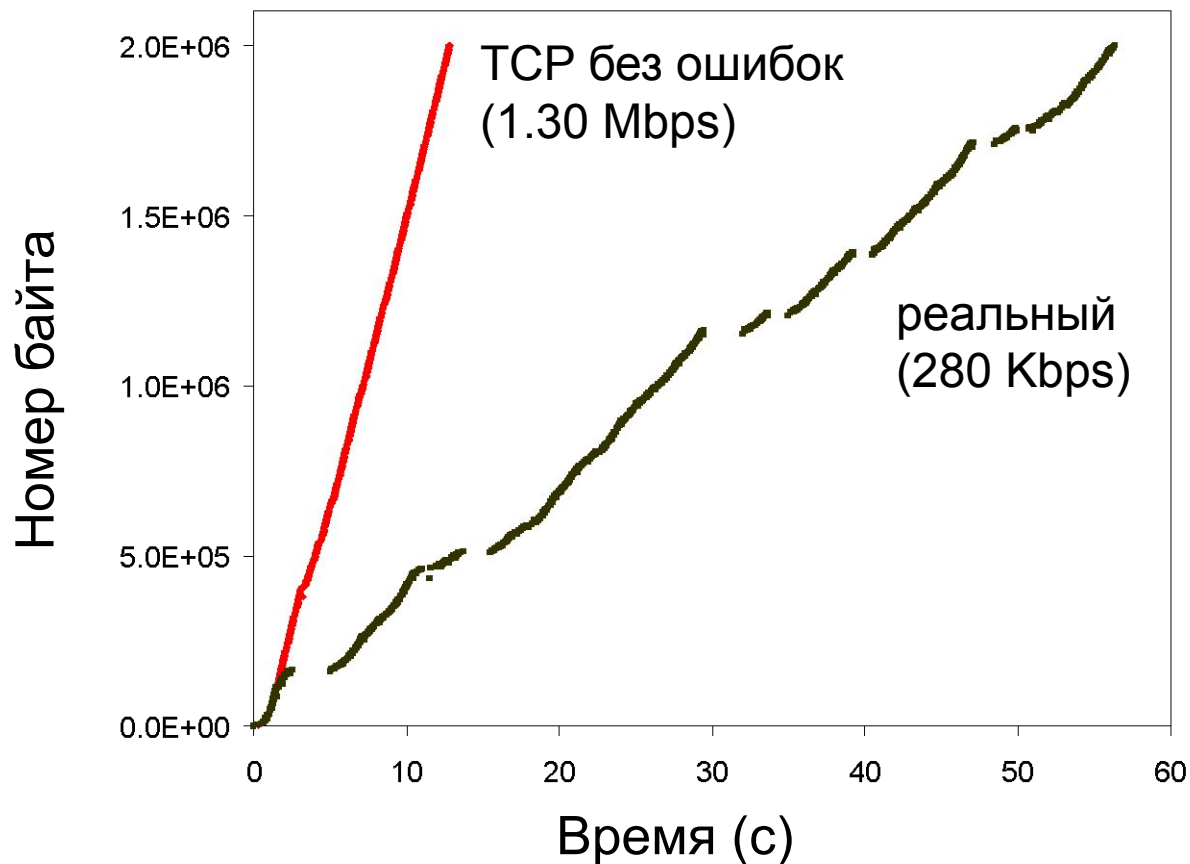
Потери пакетов приводят к большим задержкам и безосновательному уменьшению скорости передачи драйвером TCP

Проблемы



- Из-за помех, затухания сигнала, в беспроводных сетях часто теряются или искажаются пакеты
- TCP не отличает потерь пакетов в результате заторов от отброшенных пакетов в результате искажения
- TCP безосновательно уменьшает размер окна, предполагая, что канал узкий
- Это приводит к неэффективному использованию канала

Уменьшение эффективности



Передача 2МВ по ТСП поверх 2 Мbps беспроводного соединения

Возможные решения



- Изменение реализации ТСП
 - Выборочные АСК (не применять групповое квитирование, только выборочное)
 - Включить в квитанции флаг, означающий, что пакет был потерян из-за плохого качества беспроводного соединения
 - Проблема: это будет работать только в одну сторону



Возможные решения (канальный уровень)



- Использование локальных повторных пересылок
- Использование помехоустойчивого кодирования (проблема: оно не работает при больших потерях данных)

