

# Цифровое телерадиовещание в сетях беспроводного доступа

Лекции – 20 ак.часов

Лектор – Владимир Евгеньевич Коротин

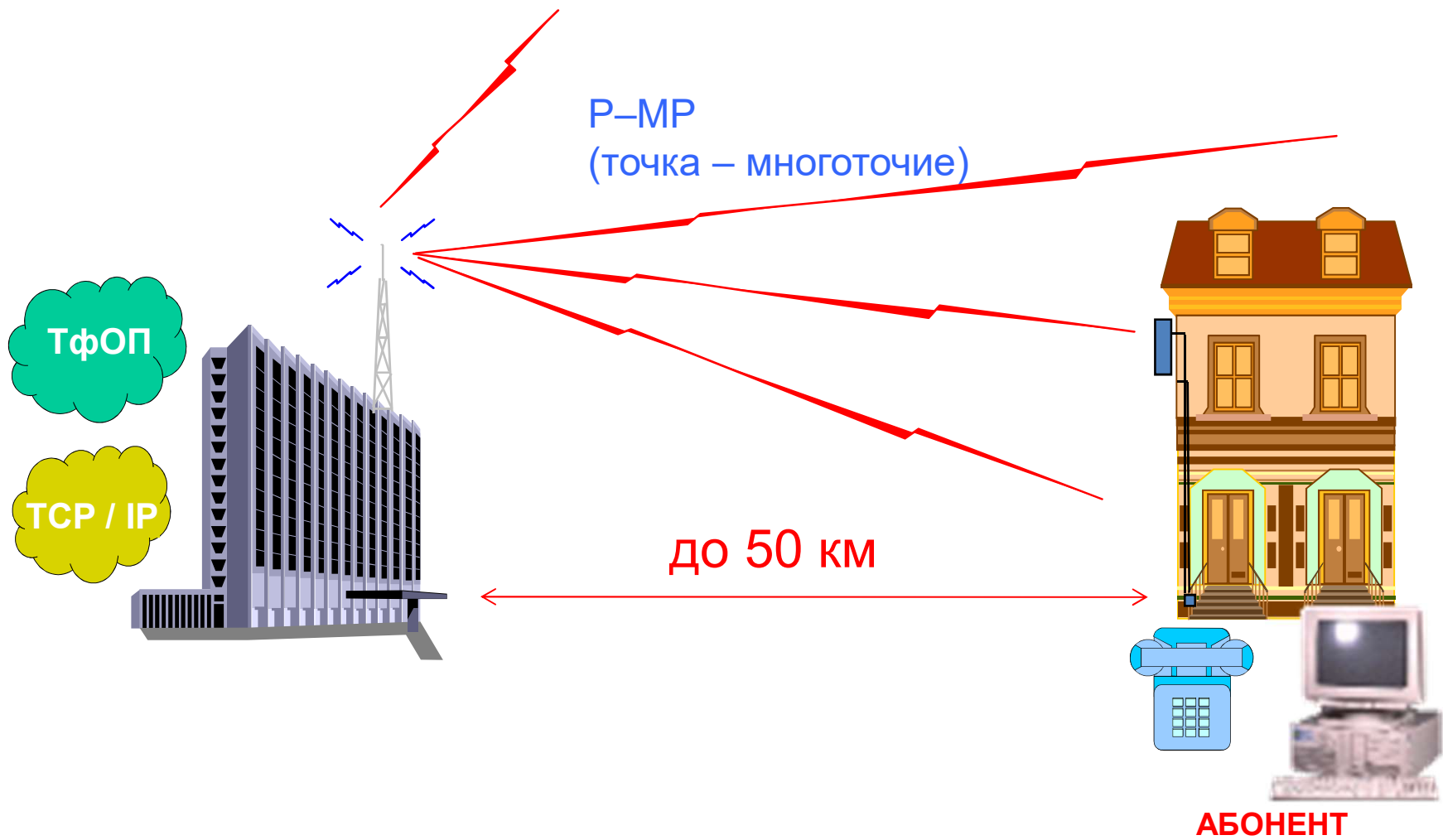
[vekorotin@sut.ru](mailto:vekorotin@sut.ru)

+7 921 9313345

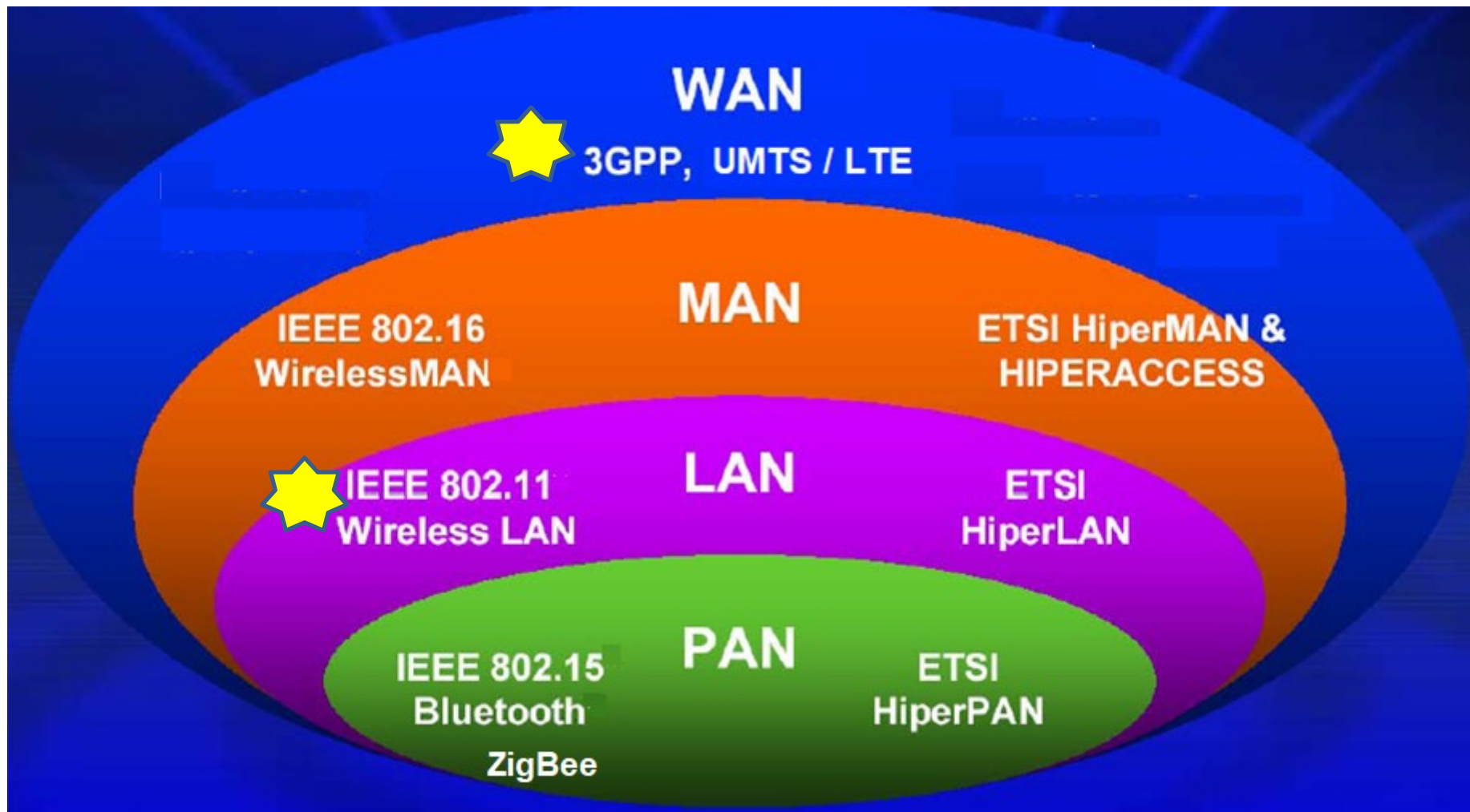
$$\text{БД} = \text{РД} + \text{IR} + \text{VLC} + \dots$$



# Абонентский радио доступ



## Радио доступ к компьютерам



- PAN – Personal Area Network – сети персонального доступа (до 10 метров)  
LAN – Local Area Network – сети локального доступа (до 300 ... 500 м)  
MAN – Metropolitan Area Network – сети городского масштаба (до 20 ... 50 км)  
WAN – Wide (World) Area Network – глобальные сети

## Тенденции трафика абонентов радиодоступа (сотовой связи)

Стандарт	Число абонентов, млн.
Всего	7480
GSM/UMTS/LTE	7010
UMTS (WCDMA)	2300
CDMA2000	470
LTE	1920

Статистика  
абонентов  
радиодоступа  
(сотовой связи) на  
**декабрь 2016г.**

## Global Mobile Data Traffic Drivers

Mobile  
Momentum  
Metrics



	2016	2021
More Mobile Users	4.9 Billion	5.5 Billion
More Mobile Connections	8 Billion	12 Billion
Faster Mobile Speeds	6.8 Mbps	20.4 Mbps
More Mobile Video	60% of Traffic	78% of Traffic

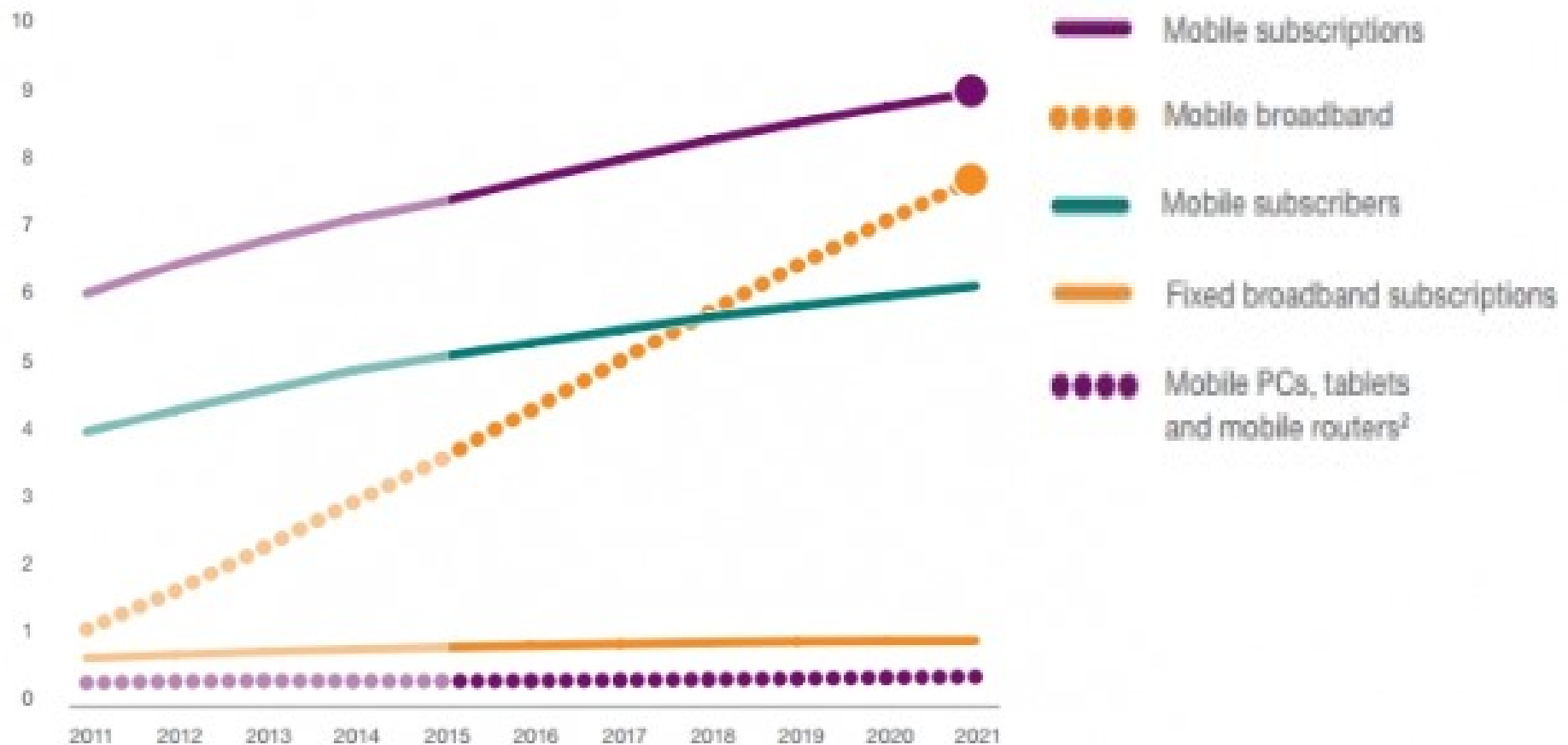
Source: Cisco VNI Global Mobile Data Traffic Forecast, 2016–2021

## Прогноз 2021 г. – показатели мобильного трафика данных ([Cisco](#))

- доля мобильного трафика данных составит **20%** всего IP-трафика (в 2016 г. этот показатель составлял лишь 8%);
- на душу населения будет приходиться 1,5 мобильных устройства, около 12 млрд устройств, подключенных к мобильным сетям, включая модули межмашинной связи (показатели 2016 г. — 8 млрд устройств и 1,1 устр. на душу населения);
- скорость мобильных подключений увеличится втрое и к 2021 г. достигнет **20,4** Мбит/с (показатель 2016 г. — 6,8 Мбит/с);
- M2M-соединения будут представлять 29% (3,3 млрд) всех мобильных подключений (показатель 2016 г. — 5% (780 млн)). С распространением [IoT](#)-приложений в потребительском и бизнес-сегментах [M2M](#) станет самым быстрорастущим типом мобильного соединения;
- на долю 4G к 2021 г. будет приходиться 58% всех мобильных соединений (в 2016 г. — 26%) и 79% всего мобильного трафика передачи данных;
- общее число смартфонов достигнет 6,2 млрд и превысит половину всех устройств и подключений (показатель 2016 г. — 3,6 млрд).

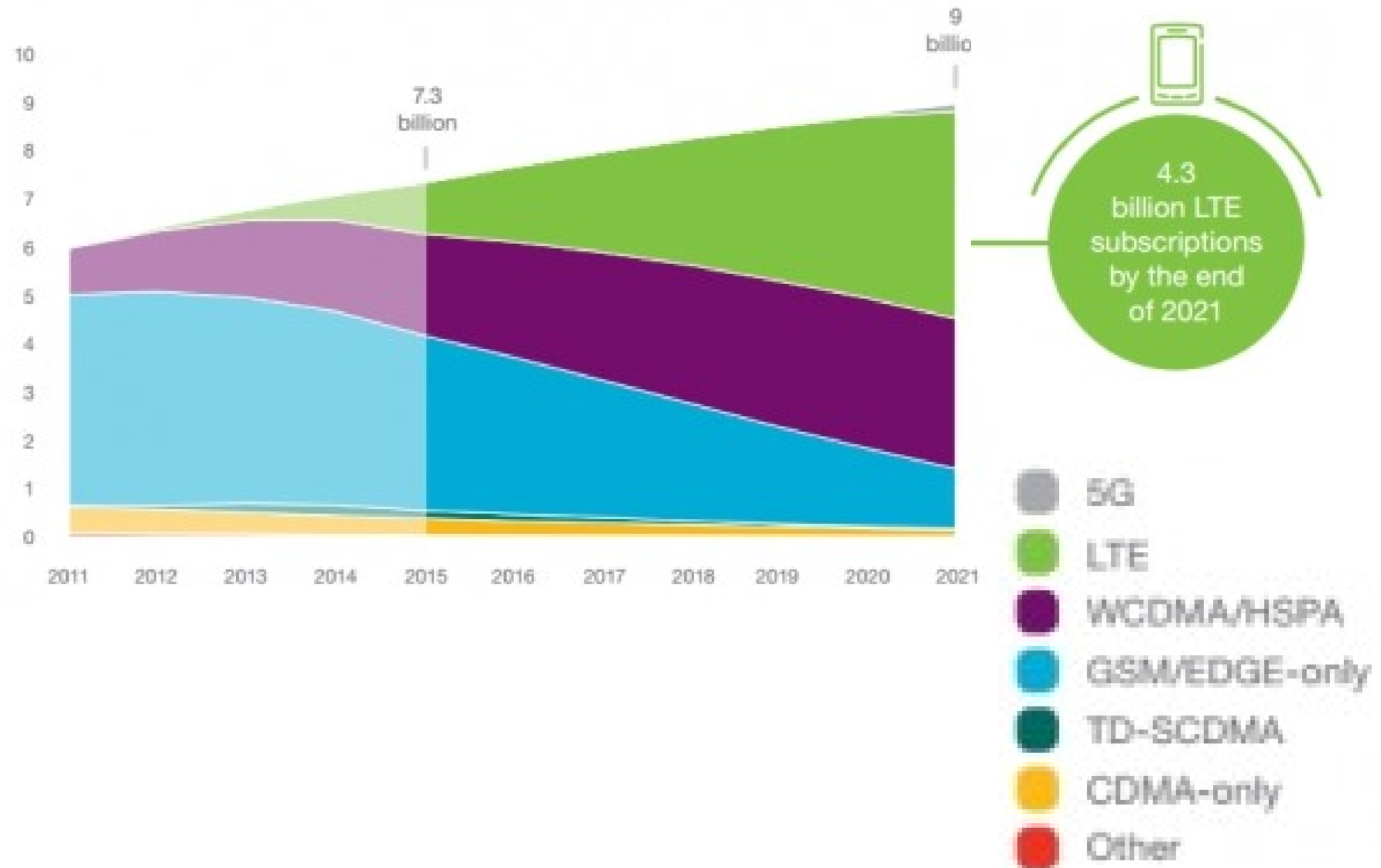
# Прогнозное количество подключений и абонентов в период до 2021 года (Ericsson)

Subscriptions/lines, subscribers (billion)



# Распределение абонентов по технологиям

Mobile subscriptions by technology (billion)





## Библиографический список

### Основная литература

1. Никитина, А. В. Сети радиодоступа четвертого поколения. Стандарт LTE: технологии и процедуры: учебное пособие / А. В. Никитина, А. Е. Рыжков - СПб. : СПбГУТ, 2012. – 87 с.
2. Рыжков, А. Е. Гетерогенные сети радиодоступа [Электронный ресурс]: учебное пособие / А. Е. Рыжков, В. А. Лаврухин; рец. А. Л. Гельгор, А. Е. Кучерявый. - СПб. : СПбГУТ, 2017. – 92 с.
3. Бабков, В. Ю. Сотовые системы мобильной радиосвязи [Электронный ресурс]: учебное пособие/ В. Ю. Бабков, И. А. Цикин. - СПб.: БХВ-Петербург, 2013. - 432 с.

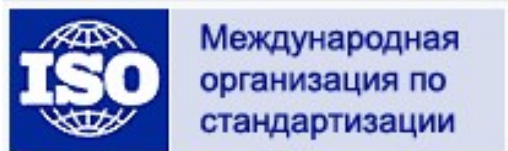
### Дополнительная литература

1. Сети стандарта LTE. Развитие технологий радиодоступа [Электронный ресурс]: монография / А. Е. Рыжков [и др.]; - СПб.: СПбГУТ, 2015. - 254 с. – имеется печатный аналог.
2. Бабков, В. Ю. Сотовые системы мобильной радиосвязи: учебное пособие для вузов / В. Ю. Бабков, А. И. Цикин ; рец.: М. А. Сиверс, Ю. С. Шинаков: СПбГПУ, 2011. - 426 с.
3. Многоканальные системы радиодоступа : методические указания по выполнению лабораторных работ / В. Е. Коротин [и др.] ; - СПб. : СПбГУТ, 2007. - 70 с.
4. UMTS. Стандарт сотовой связи третьего поколения / А.Н.Волков, А.Е.Рыжков, М.А.Сиверс. – СПб.: Издательство “Линк”, 2008. – 224с.

### Ресурсы информационно- телекоммуникац ионной сети «Интернет»

Наименование ресурса	Адрес
Электронная библиотека СПбГУТ	<a href="http://lib.spbgut.ru/">http://lib.spbgut.ru/</a>
Поисковая система Google	<a href="https://www.google.com">https://www.google.com</a>
Поисковая система Академия Google	<a href="https://scholar.google.com">https://scholar.google.com</a>
ЭБС «Айбукс»	<a href="http://ibooks.ru">http://ibooks.ru</a>
ЭБС «Лань»	<a href="http://e.lanbook.com">http://e.lanbook.com</a>
ЭБС «IPR-books»	<a href="http://www.iprbookshop.ru">http://www.iprbookshop.ru</a>
«Единое окно доступа к информационным ресурсам»	<a href="http://window.edu.ru/">http://window.edu.ru/</a>

# Форматы аудио и видео, передаваемых по сетям радиодоступа



Модель OSI		
Тип данных	Уровень (layer)	Функции
Данные	7. Прикладной (application)	Доступ к сетевым услугам
Поток	6. Уровень представления (presentation)	Представление и преобразование информации
Сеансы	5. Сеансовый (session)	Управление сеансом связи
Сегменты	4. Транспортный (transport)	Прямая связь между конечными пунктами и надежность
Пакеты / Дейтаграммы	3. Сетевой (network)	Маршрутизация и логическая адресация (адресация конечных точек)
Кадры, блоки	2. Канальный (data link)	Передача информации между соседними узлами. Физическая адресация.
Биты	1. Физический (physical)	Работа со средой передачи. Модуляция, кодирование информации

## Форматы аудио и видео, передаваемых по сетям радиодоступа

Для передачи в Интернете файлы фрагментируют и передают в виде **дейтаграмм**. Дейтаграмма состоит из заголовков и поля данных. Размер поля данных составляет 46 – 1500 байт.

Дейтаграмма имеет 2 заголовка:

- уровня L3 (заголовок Интернет-протокола),
- уровня L4 (заголовок TCP или UDP протоколов)

Заголовок IP

Заголовок TCP/UDP

Поле данных

### Структура дейтаграммы

Уровень L3 обеспечивает маршрутизацию (обмен дейтаграммами) между конечными терминалами: пользователем и сервером услуг. Оба терминала на уровне L3 имеют глобальные адреса Интернета. Уровень L4 определяет позиции файла в терминале (порты), а также определяет протокол передачи. Возможны 2 варианта доставки файлов:

- UDP (User Datagram Protocol) – передача без подтверждения,
- TCP (Transmission Control Protocol) – передача с подтверждением.

Передачу видео в реальном времени ведут по протоколу UDP/IP. Чтение и запись файлов (в том числе мультимедийных), либо запись видео в промежуточном буфере идет по протоколу TCP/IP. В сетях радиодоступа не обрабатывают сообщения на уровнях, начиная с уровня L3. Фактически на уровне L3 производят сжатие заголовков дейтаграмм, а также формируют управляющие команды (сигнализацию). Обработка сообщений в сетях радиодоступа идет на уровнях L1 и L2.

Передачу телевидения с использованием радиодоступа к абонентским терминалам осуществляют путем передачи Интернет-дейтаграмм.

## Сценарии (сервисы) реализации IPTV

1. *Телевизионное IP-мультивещание*. Оператор передает несколько ТВ программ, из которых абонент осуществляет свой выбор.
2. *WEB-TV*. Передача идет на низких скоростях. Файл сбрасывают в буфер абонентской станции, а далее следует просмотр файла на требуемой скорости передачи. Так, например, передают видеоролики сайта YouTube. Сюда же относится On-line телевидение: передача низкоскоростных видеороликов со специальных сайтов.
3. *Видео по требованию (VoD – Video on Demand)*. Оператор предоставляет абоненту меню фильмов, роликов, а абонент осуществляет выбор и заказ фильма с немедленным просмотром.
4. *Near Video on Demand (nVoD)*. Абонент заранее заказывает фильм (программу) к просмотру (заказал сегодня – смотрим завтра). Заказанный фильм предварительно сбрасывают на локальный видеосервер, откуда и идет передача.
5. *Домашний кинотеатр (виртуальный кинозал)*. На локальном видеосервере оператора записано несколько кинофильмов, которые можно смотреть по определенному расписанию.
6. *Телевидение со сдвигом по времени*. Оператор записывает контент нескольких каналов; спустя определенное время их можно просматривать.
7. *Персональный видеорекодер (PVR – Personal Video Recorder)*. Абонент заранее планирует просмотр определенных передач из ТВ программы (например, спорт). Оператор организует запись этих программ, а абонент просматривает их в удобное для себя время.
8. *Видеоконференц-связь*.
9. *Передача ТВ программ посредством IP-протокола*.

## Основные стандарты, используемые в IPTV

MPEG 2 (считается устаревшим) со скоростью передачи видео 3,5 – 6 Мбит/с с передачей звукового сопровождения по стандарту MUSICAM (Masked Pattern for Adapted Universal Coding and Multiplexing), обозначаемому также как MPEG Layer II;

MPEG 4 (part 2) со скоростью передачи видео от 64 кбит/с до 2 Мбит/с при разрешении от 176x144 до 352x288 соответственно),

H.263 или [MPEG-4 Part 10/AVC](#). Рекомендации не устанавливает ограничений на скорость передачи видеoinформации. Ограничение вносит окончное оборудования и сети передачи данных. Максимальная возможная скорость, установленная стандартом для видеоконференций от 64 кбит/с до 4 Мбит/с для разрешения от 176x144 до 352x576 соответственно. С повышением разрешающей способности до 576x720 скорость передачи возрастает до 8 Мбит/с.

Звуковое сопровождение, а также аудио файлы передают, используя уровни I, II или III стандарта MPEG 2 со скоростями 32, 48, 56, 64, 96, 112, 192, 256, 384 и 448 кбит/с. Также можно использовать систему DRM – Digital Radio Mondiale.

Для передачи видео с пониженной скоростью применяют стандарт MPEG-4 Part 2 (MPEG-4 Visual) или стандарт H.263, предназначенный в первую очередь для видеоконференций (скорость ниже 128 кбит/с).

При переходе к телевидению высокой четкости HD:ТВЧ (разрешение 1280x920 и 1920 x1080) и далее к 4K:УВЧ (разрешение 3840x2160) требуемые скорости передачи по каналу связи возрастают до 25 Мбит/с.

## Формулируемые задачи курса

1. Определение пользовательской нагрузки в сетях радиодоступа при передаче телевидения.
2. Расчет необходимого канального ресурса сети радиодоступа для реализации требуемой нагрузки.

Сложность поставленных задач обусловлена двумя факторами:

- ✓ ограничением полосы радиоканалов
- ✓ случайными характеристиками радиоканала  
(отношением сигнал/помеха на входе приемника)

*Допустимые скорости передачи данных зависят напрямую от этого отношения: чем ниже отношение сигнал/помеха, тем меньше скорость передачи в радиоканале.*

## Ограничение полосы радиоканалов

Требования к диапазонам частот для использования в сетях радиодоступа, как к системам массового обслуживания:

- стремлением к возможности организации широкополосных каналов для увеличения информационной емкости
- ограничением дальности связи для возможности повторного использования частот

низкая-----	<i>Емкость несущей</i>	--- высокая
высокая-----	<i>Загруженность спектра</i>	---- низкая
большие -----	<i>Размеры сот</i>	----- малые
низкая-----	<i>Стоимость технологии</i>	---- высокая

300 МГц 66 ГГц

## Системы, сосуществующие с сетями радиодоступа

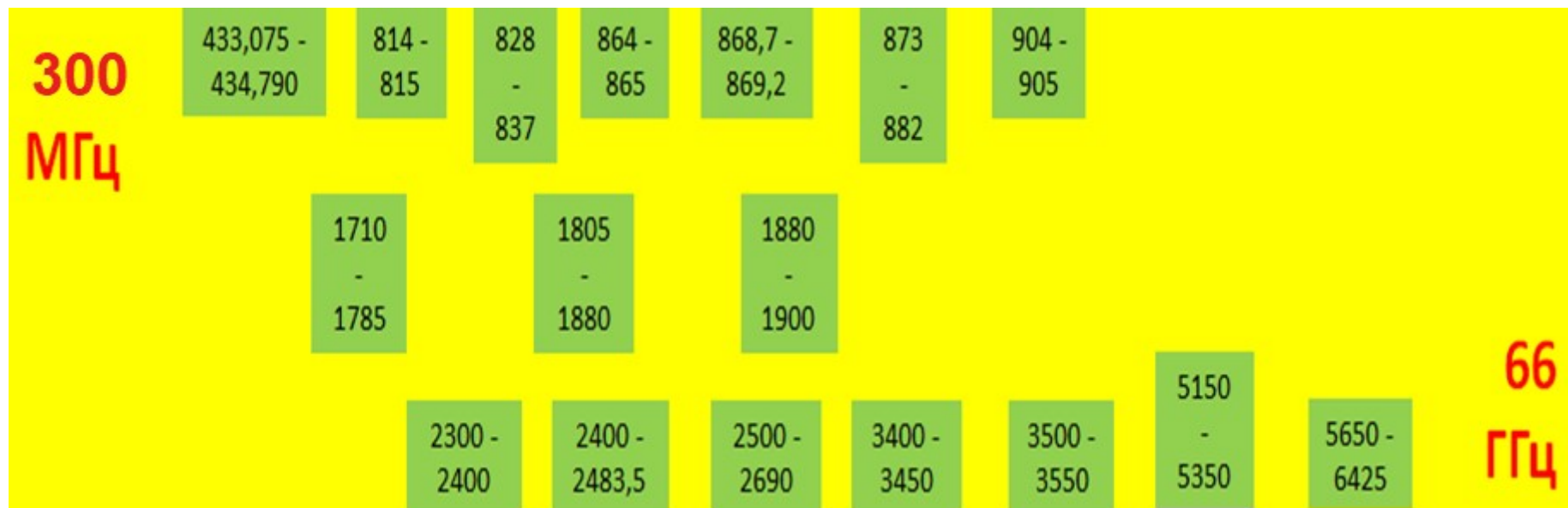
300 МГц	1 ГГц	2 ГГц	4 ГГц	10 ГГц	66 ГГц
<ul style="list-style-type: none"><li>• Р-3 СС</li><li>• РД СотС</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• CCCB</li><li>• WLL</li><li>• СТ, DECT</li><li>• РД СотС</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• W-DSL</li><li>• Bluetooth</li><li>• Wi-Fi</li><li>• WiMAX</li><li>• MMDS</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• РРЛ</li><li>• WiMAX</li><li>• РД СотС</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• РРЛ</li><li>• LMDS</li><li>• WiMAX</li><li>• CCCB</li></ul>	

Р-3 СС – радиально-зоновые системы связи или транкинговые системы, осуществляющие автоматическое распределение каналов связи между абонентами на время сеанса связи и допускающие режим прямой связи между абонентскими станциями, CCCB – системы спутниковой связи и вещания, W-DSL – радио удлинитель, РД СотС – радиодоступ сотовых систем связи, СТ – бесшнуровой телефон, предшественник DECT, РРЛ – радиорелейные линии связи, MMDS – беспроводный аналог кабельного телевидения, LMDS – микроволновая система распределения телевидения (отчасти используется в качестве магистралей сотовой связи).

→  
эффекты  
значительного  
затухания  
радиоволн в  
земной  
атмосфере из-за  
рассеяния на  
взвешенных  
молекулах воды



# Безлицензионные диапазоны



## Пропускная способность – формула Клода Шеннона

$$C = B \log_2 \left( 1 + \frac{S}{N} \right)$$

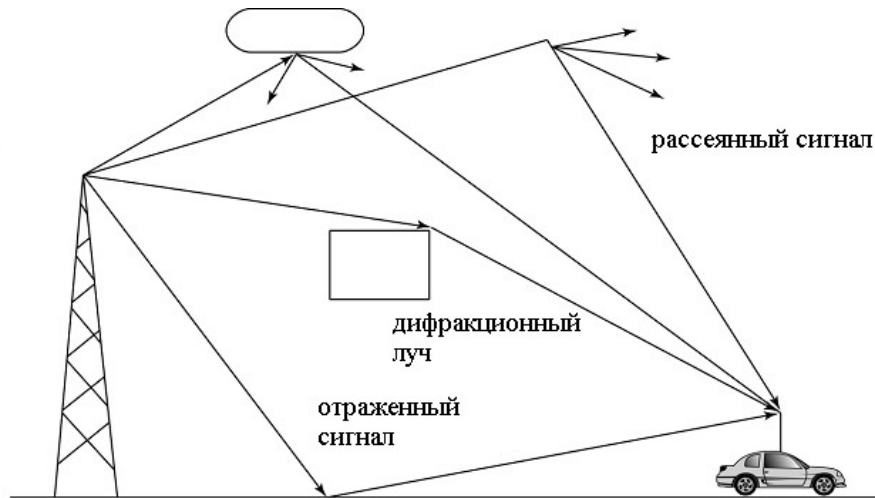
$C$  — пропускная способность канала, бит/с;

$B$  — полоса пропускания канала, Гц;

$S/N$  — отношение мощности сигнала к шуму (SNR).

Все системы радиодоступа 3G и 4G *адаптивны*, т.е. меняют скорость передачи данных в радиоканале в зависимости от качества канала связи. Различие между системами 3G и 4G состоит в том, что в сетях 3G время управления скоростью передачи не специфицировано, а в сетях 3G+ и 4G управление форматом передачи осуществляют в реальном времени (задержка составляет 10 мс).

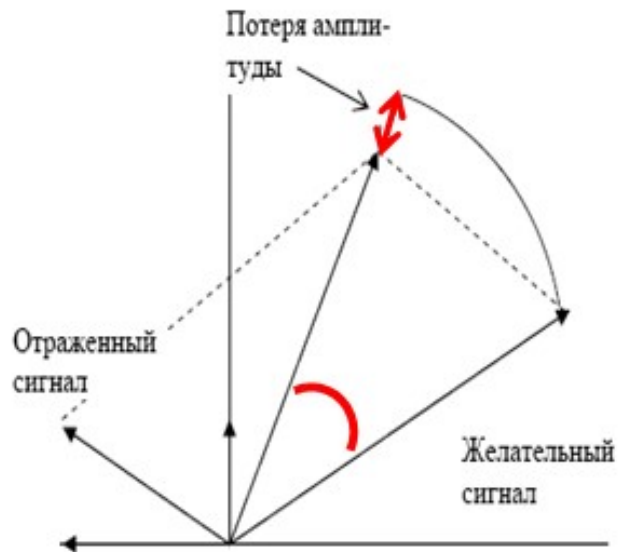
# Случайные характеристики радио канала



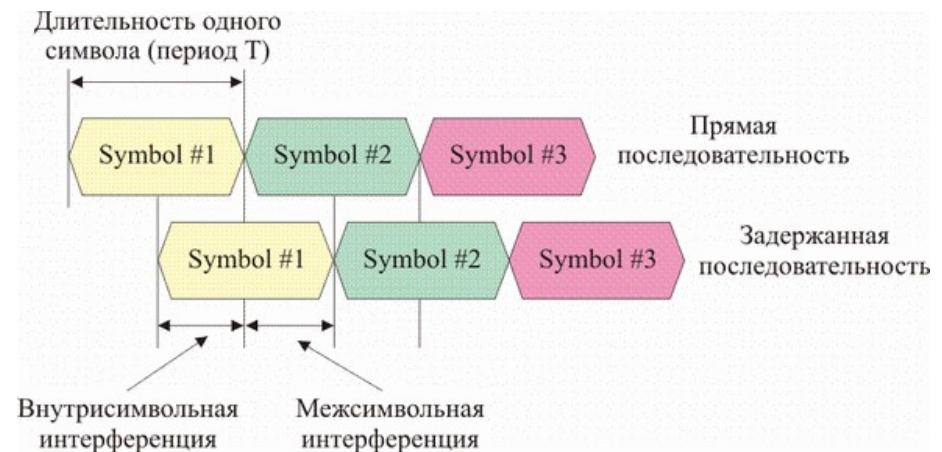
**МНОГОЛУЧЕВОСТЬ:**

отражение,  
рассеяние,  
преломление

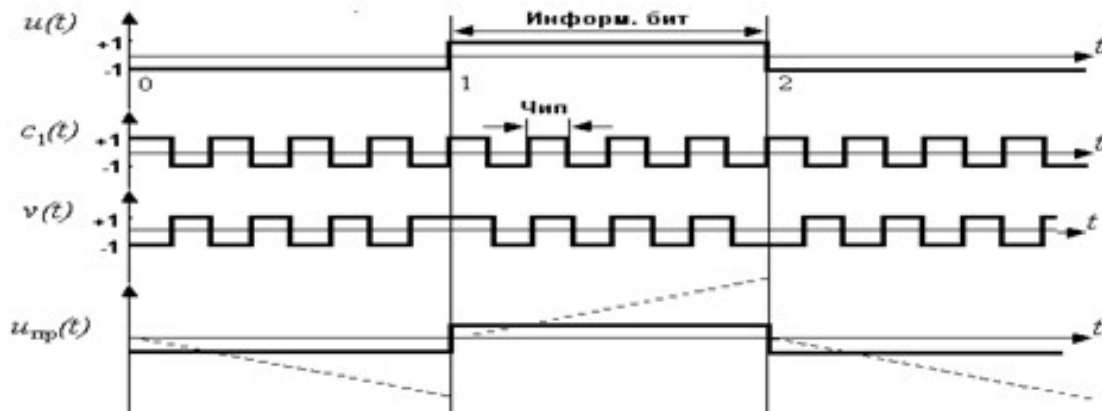
**замирание (fading)**



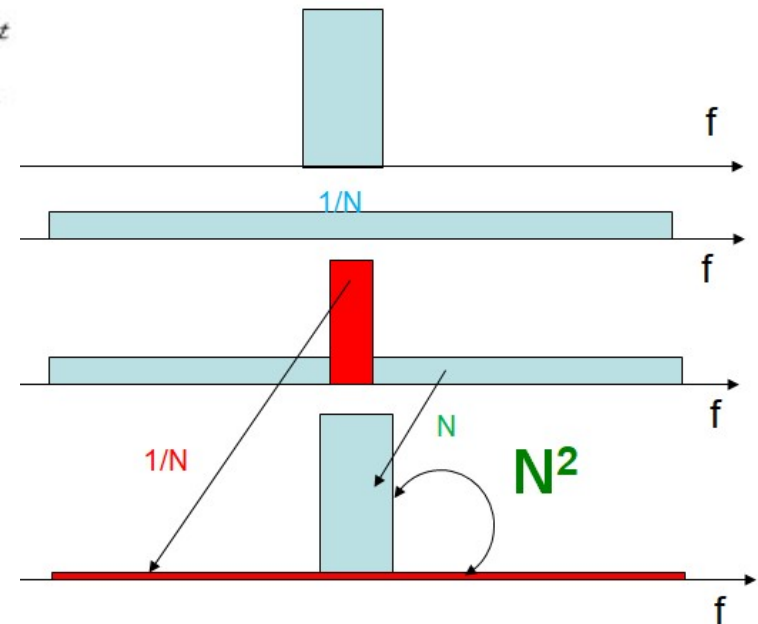
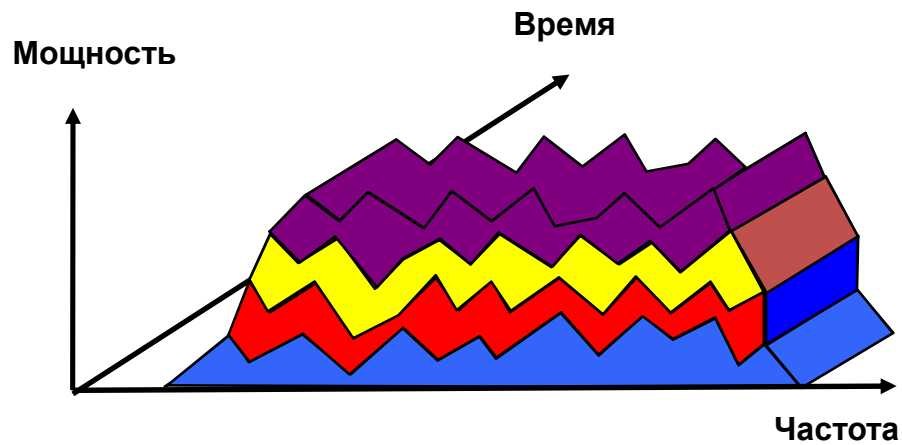
**временное рассеяние  
(межсимвольная интерференция)**



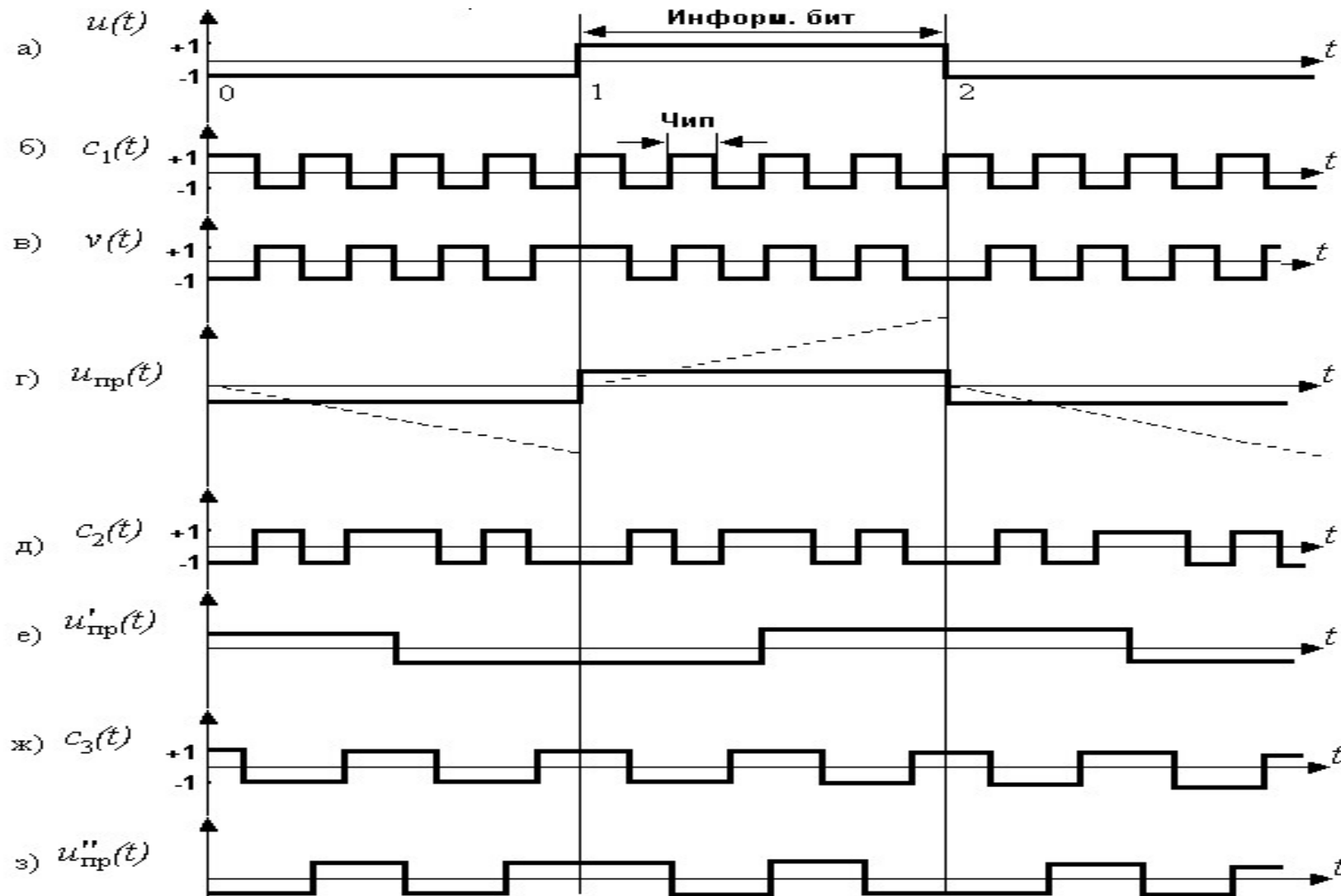
# Технология прямого расширения спектра



DSSS – Direct Sequence Spread Spectrum



## Множественный доступ на основе кода (CDMA)



Отношение  $B_{\text{чип}}/B_{\text{симв}}$  называют коэффициентом расширения спектра SF. SF=2, 4, 8, 16

# Ортогональные коды RW (Радемахера – Уэлша)

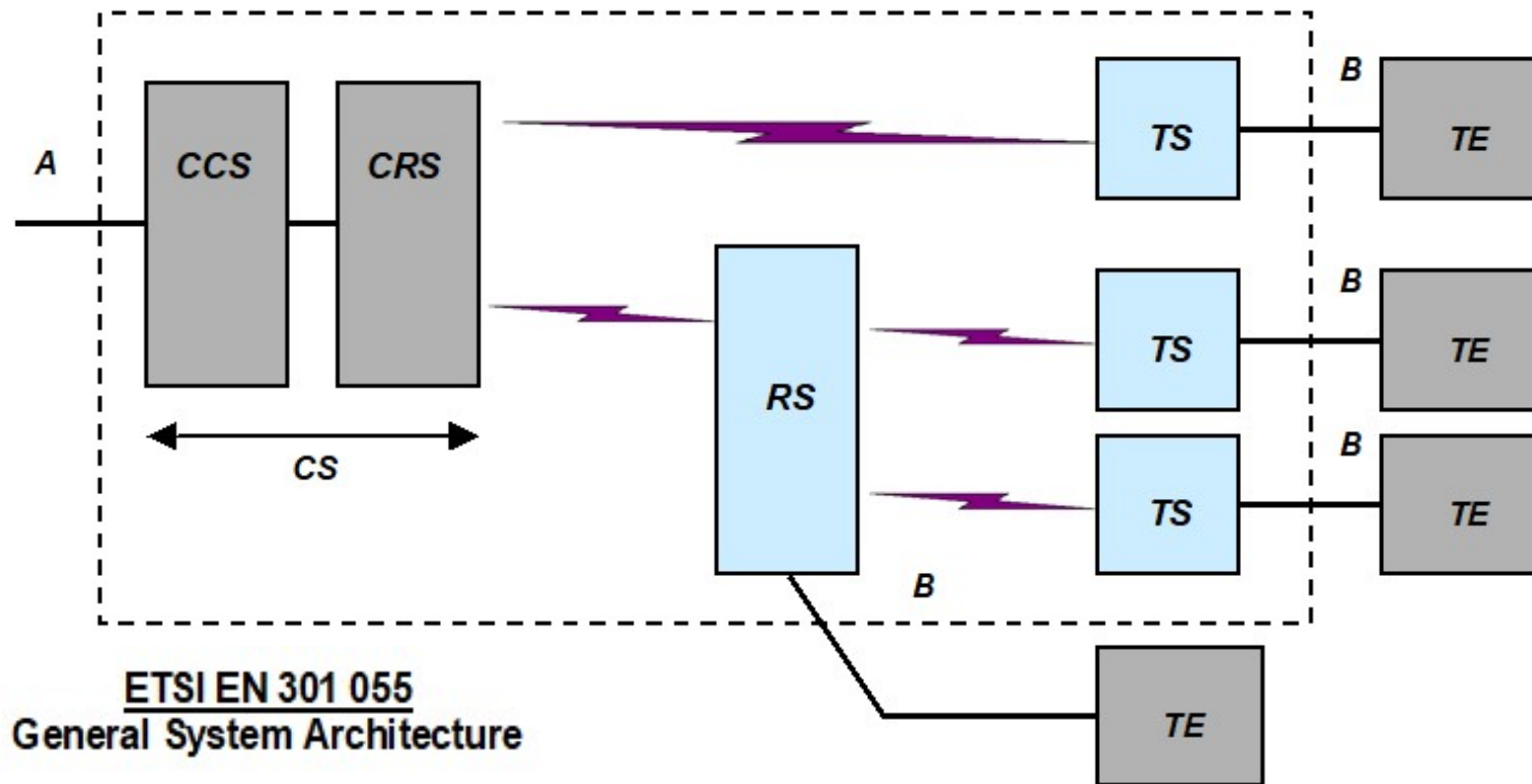
## Матрица Адамара

$$\begin{pmatrix} 1 & 1 \\ 1 & -1 \end{pmatrix} \rightarrow \begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & -1 & 1 & -1 \\ 1 & 1 & -1 & -1 \\ 1 & -1 & -1 & 1 \end{pmatrix} \quad A_{i+1} = \begin{pmatrix} A_i & A_i \\ A_i & -A_i \end{pmatrix}$$

$$\sum_{i=1}^n c_j(i) \times c_k(i) = \begin{cases} n, & \text{если } j = k \\ 0, & \text{если } j \neq k \end{cases}$$

# Эталонная модель радио доступа

Европейский институт телекоммуникационных стандартов



**A** – точка подключения к опорной сети,

**B** – точка подключения пользовательского интерфейса,

**CS** – станционное оборудование радиодоступа,

**CCS** – контроллер радио базовых станций (центральных терминалов),

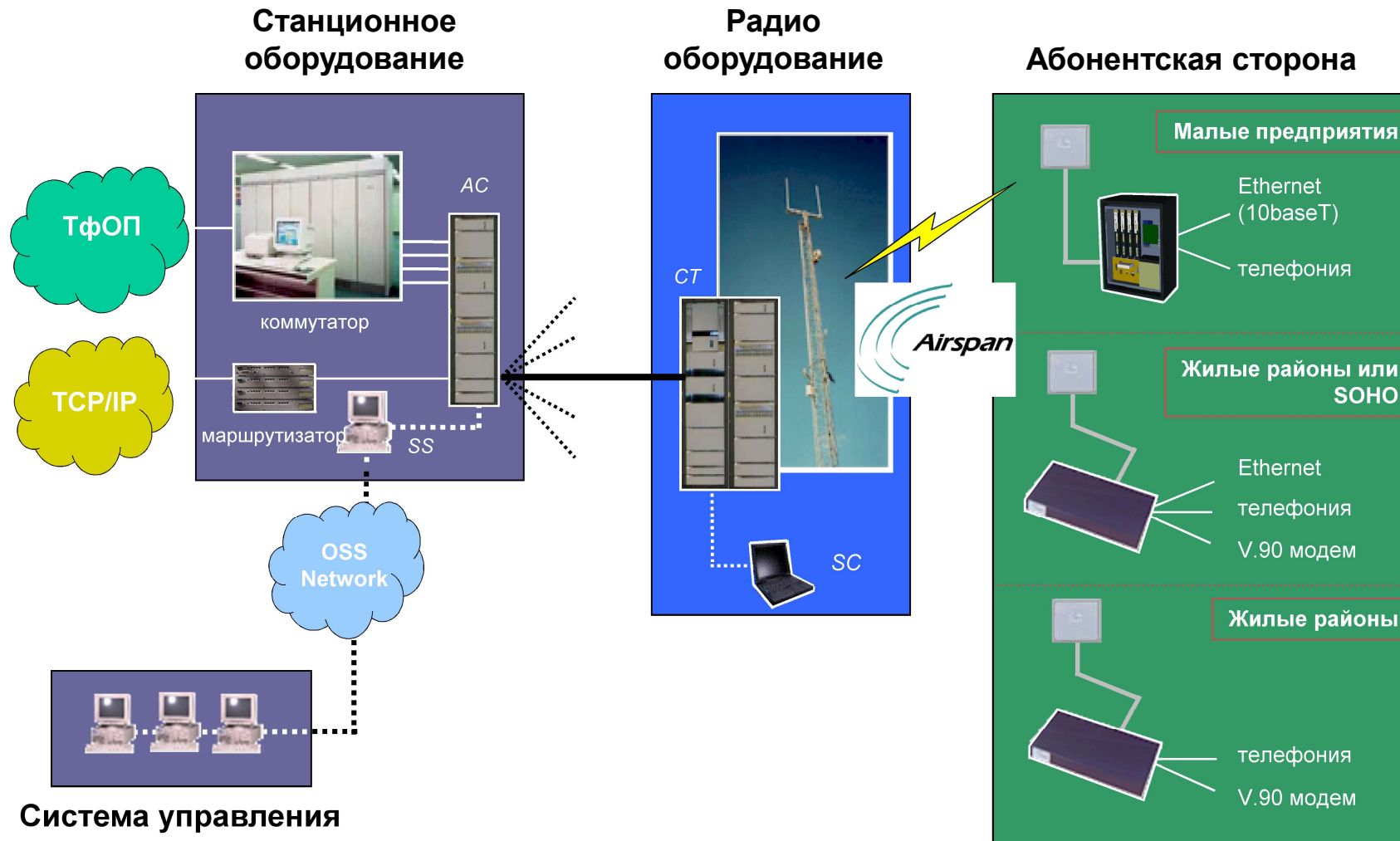
**CRS** – радио базовые станции (центральные терминалы),

**RS** – радио ретрансляторы (может быть оборудован пользовательским интерфейсом),

**TS** – радио терминал (абонентский терминал),

**TE** – абонентское оборудование.

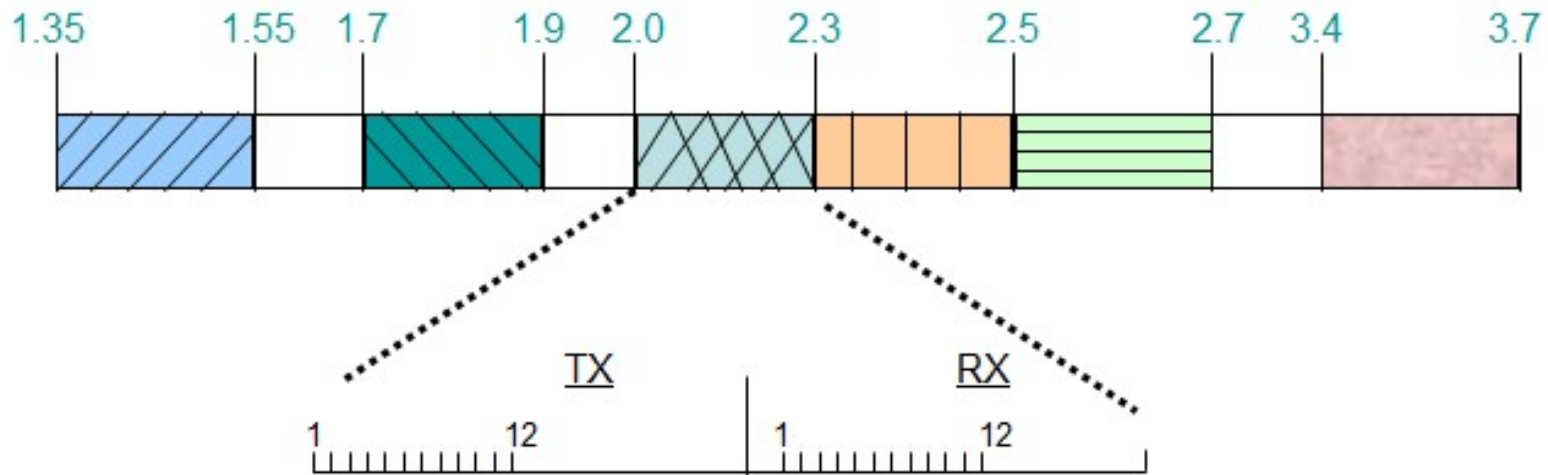
# Фиксированный радиодоступ AS-4000 (Airspan Corp.): CDMA – DSSS



г. Москва / Московская область	г. Самара / Самарская область
г. Санкт-Петербург / Ленинградская область	г. Хабаровск
г. Новосибирск	г. Магнитогорск
г. Калуга	г. Нижний Новгород



# Диапазоны частот и каналный план



## UL - uplink

3411.75  
3415.25  
3418.75  
3422.25  
3425.75  
3429.25  
3432.75  
3436.25  
3439.75  
3443.25  
3446.75  
3450.25

$F_0 = 3502 \text{ МГц}$

## DL - downlink

3511.75  
3515.25  
3518.75  
3522.25  
3525.75  
3529.25  
3532.75  
3536.25  
3539.75  
3543.25  
3546.75  
3550.25

F1 F2 F3 F4 F5 F6 F7 F8 F9 F10 F11 F12

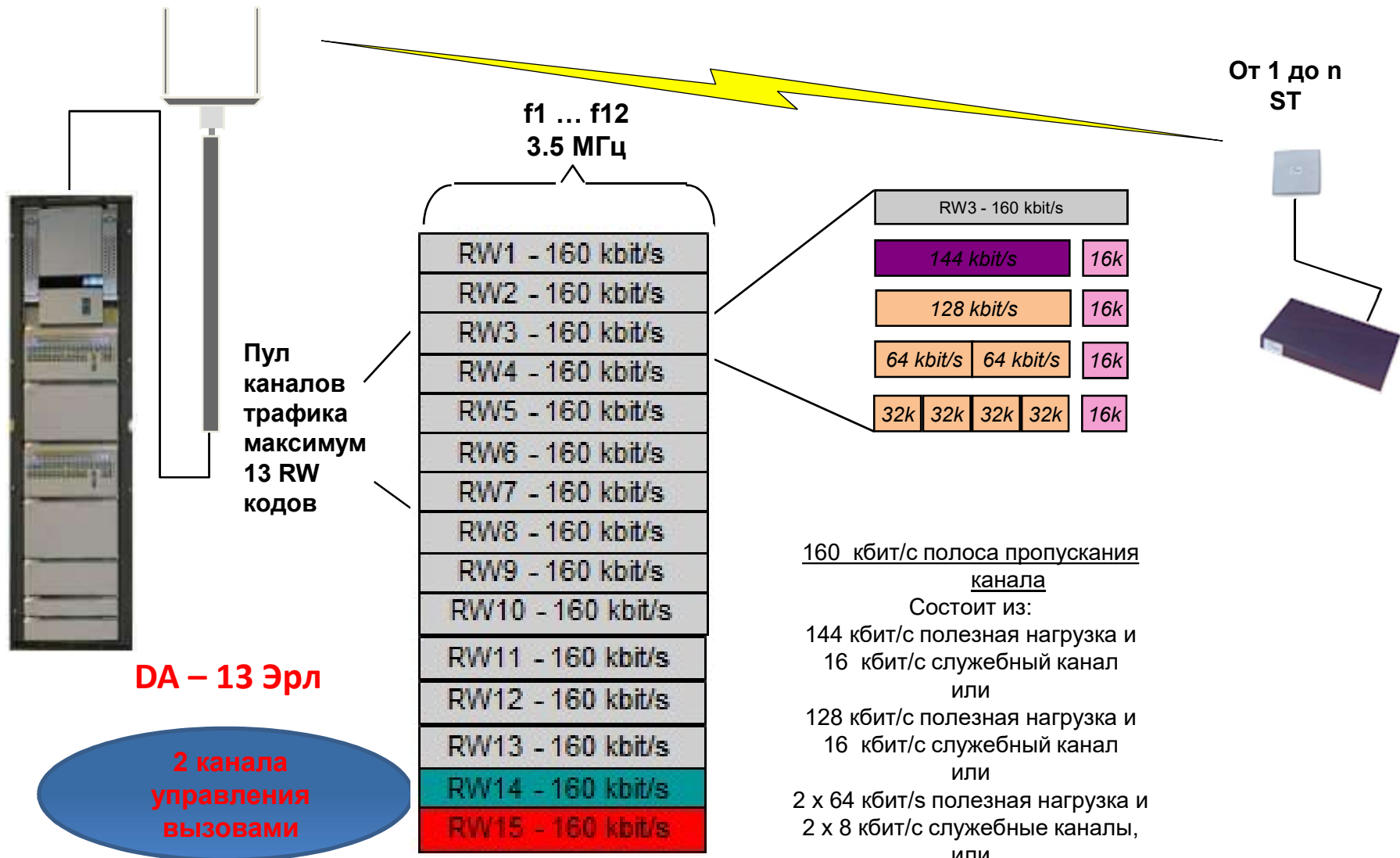
Восходящая связь (от абонентского терминала к центральному терминалу)

F1' F2' F3' F4' F5' F6' F7' F8' F9' F10' F11' F12'

Нисходящая связь (от центрального терминала к абонентскому терминалу)

Дуплексное разнесение 100 МГц (передача-прием)

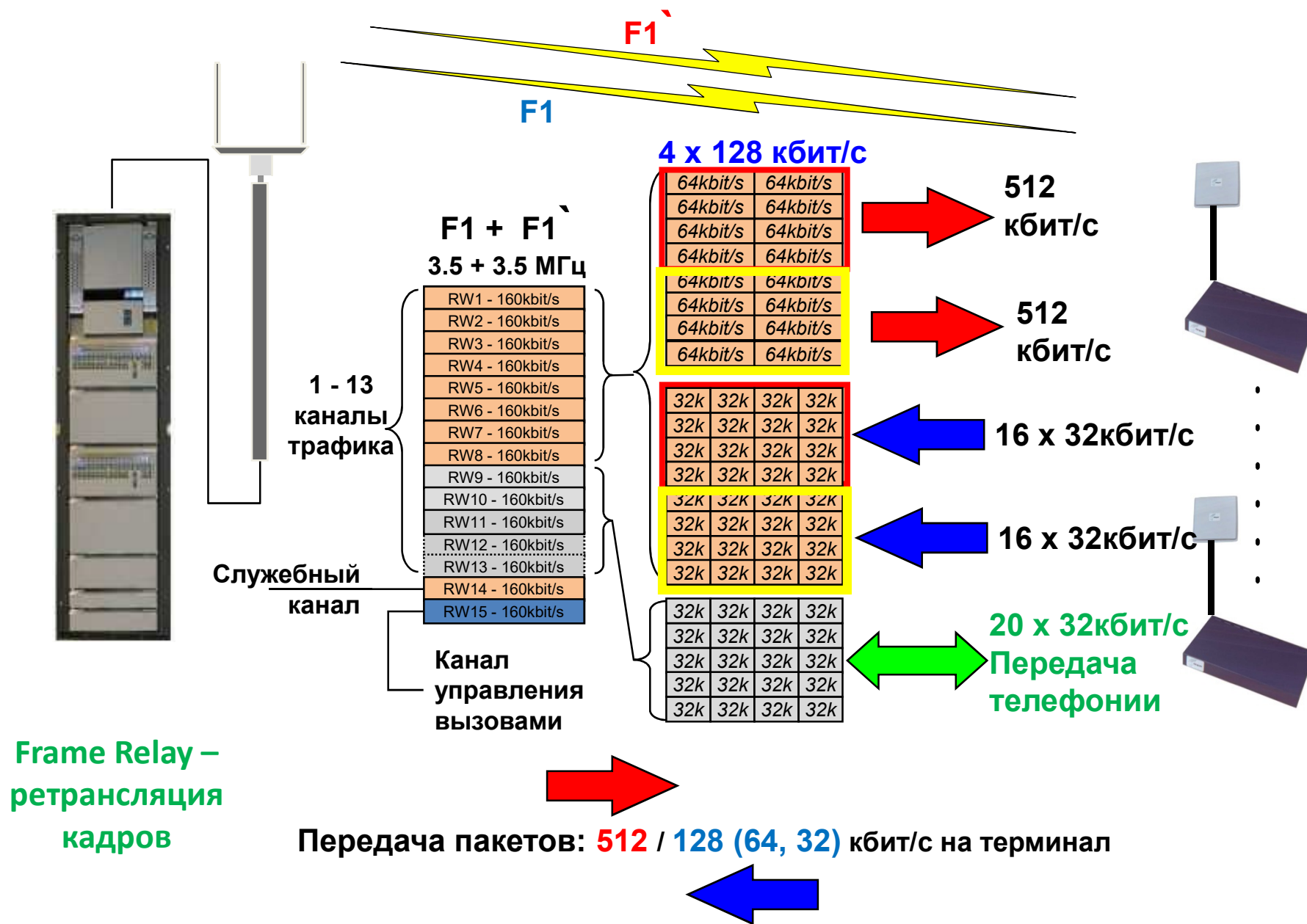
# Пропускная способность кодового канала



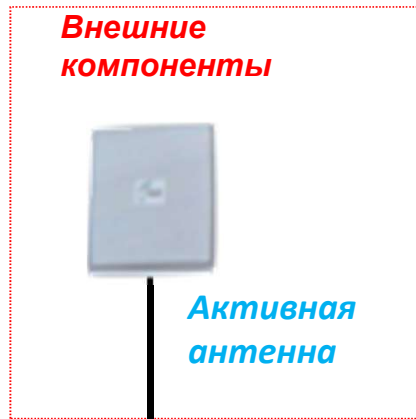
160 кбит/с полоса пропускания канала  
Состоит из:  
144 кбит/с полезная нагрузка и 16 кбит/с служебный канал  
или  
128 кбит/с полезная нагрузка и 16 кбит/с служебный канал  
или  
2 x 64 кбит/с полезная нагрузка и 2 x 8 кбит/с служебные каналы,  
или  
4 x 32 кбит/с полезная нагрузка и 4 x 4 кбит/с служебные каналы  
или  
10 кбит/с в режиме ожидания

Fixed assignment – FA : 15 Эрл

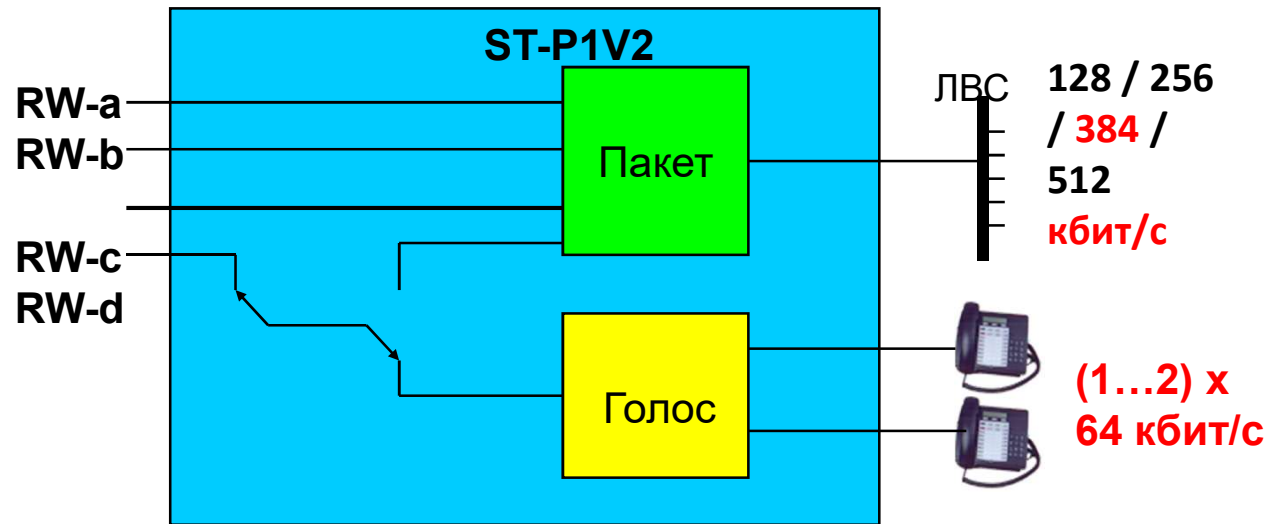
# Передача аудио и видео потоков



# Передача аудио и видео потоков



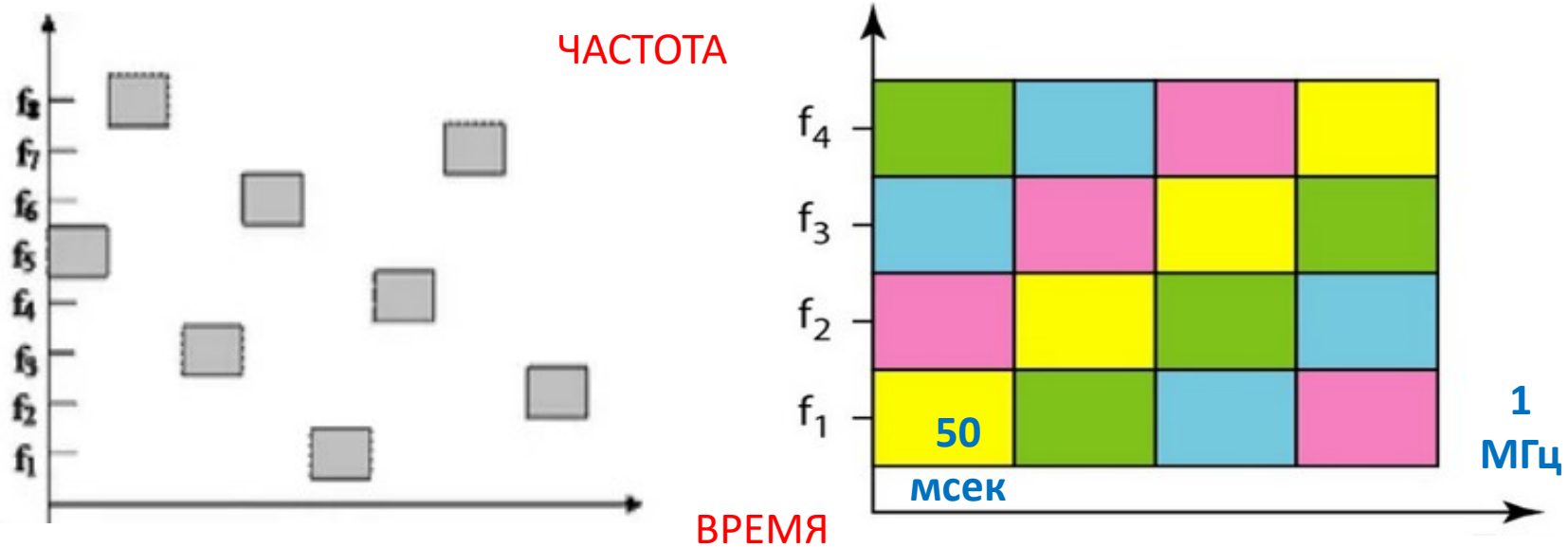
Кабель снижения





# Технология расширения спектра скачками по частоте (ППРЧ)

FHSS – Frequency Hopping Spread Spectrum



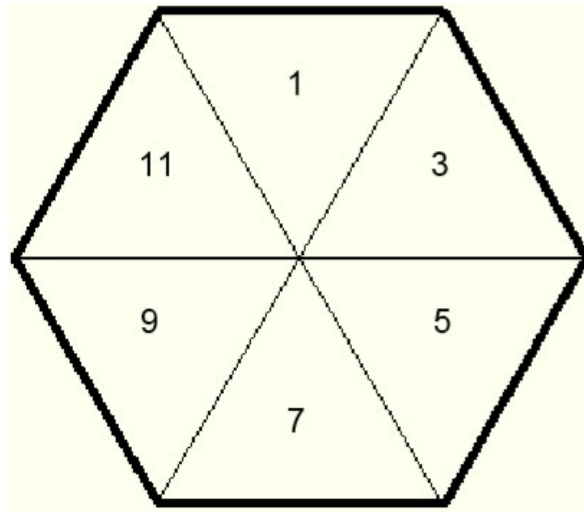
Польз.  
каналы

№ ПОСЛ -ТИ	Частотные каналы						
1	0	1	2	3	4	5	6
2	0	2	4	6	1	3	5
3	0	3	6	2	5	1	4
4	0	4	1	5	2	6	3
5	0	5	3	1	6	4	2
6	0	6	5	4	3	2	1

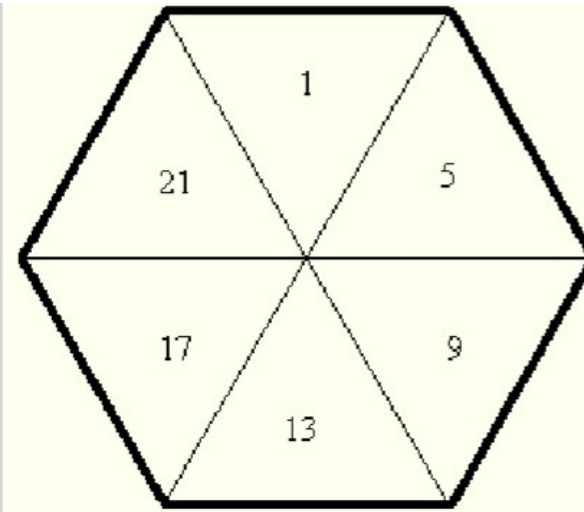
32 + 32

# Кодовое разделение доступа (CDMA)

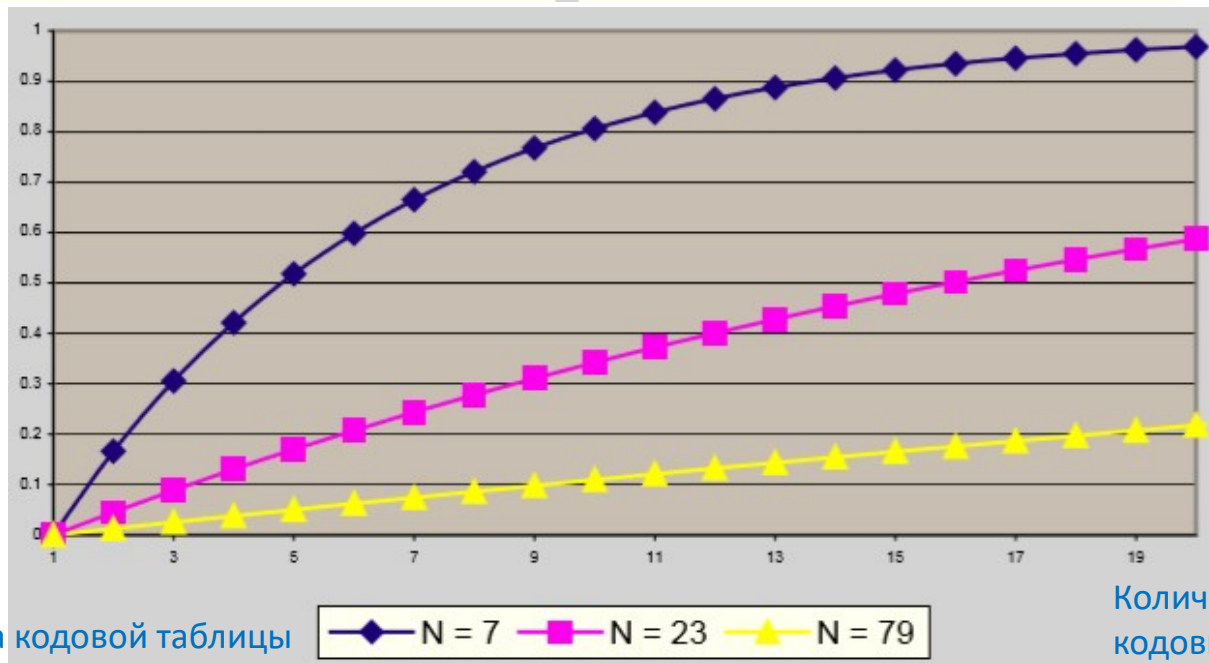
FDD – 2 МГц



TDD – 4 МГц (60 дБ затухания)



Вероятность блокировки

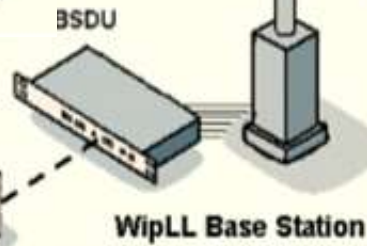
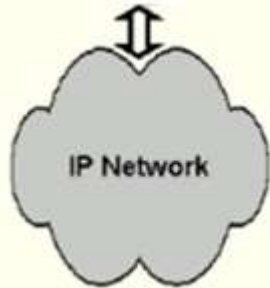


Длина кодовой таблицы

—◆— N = 7 —■— N = 23 —▲— N = 79

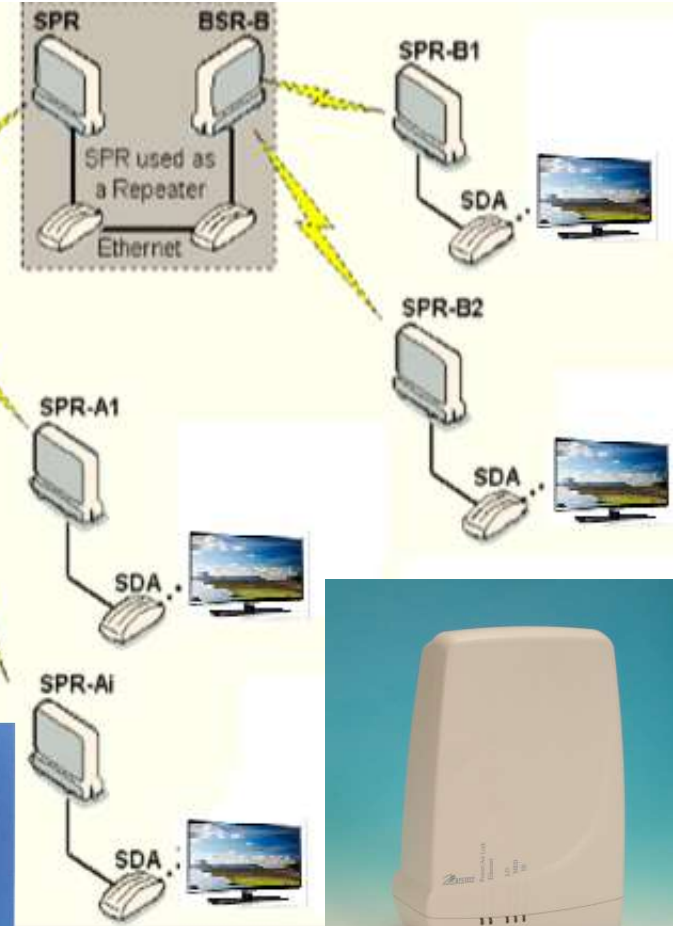
Количество кодовых каналов  
20%

# Фиксированный радиодоступ WipLL (Marconi Corp.): CDMA – FHSS

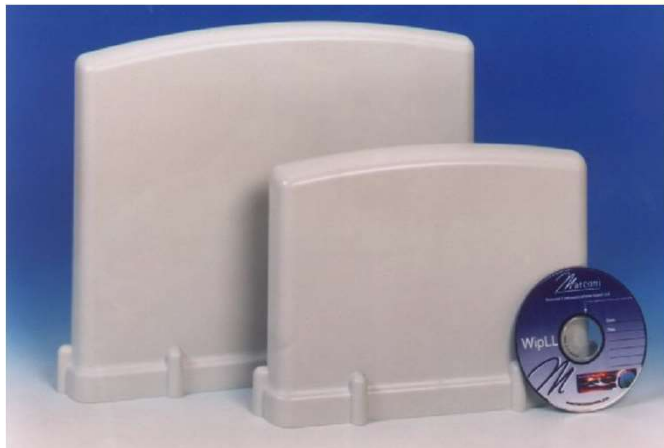


IP Router / Switch

WipLL Base Station



Система беспроводного абонентского шлейфа на основе IP

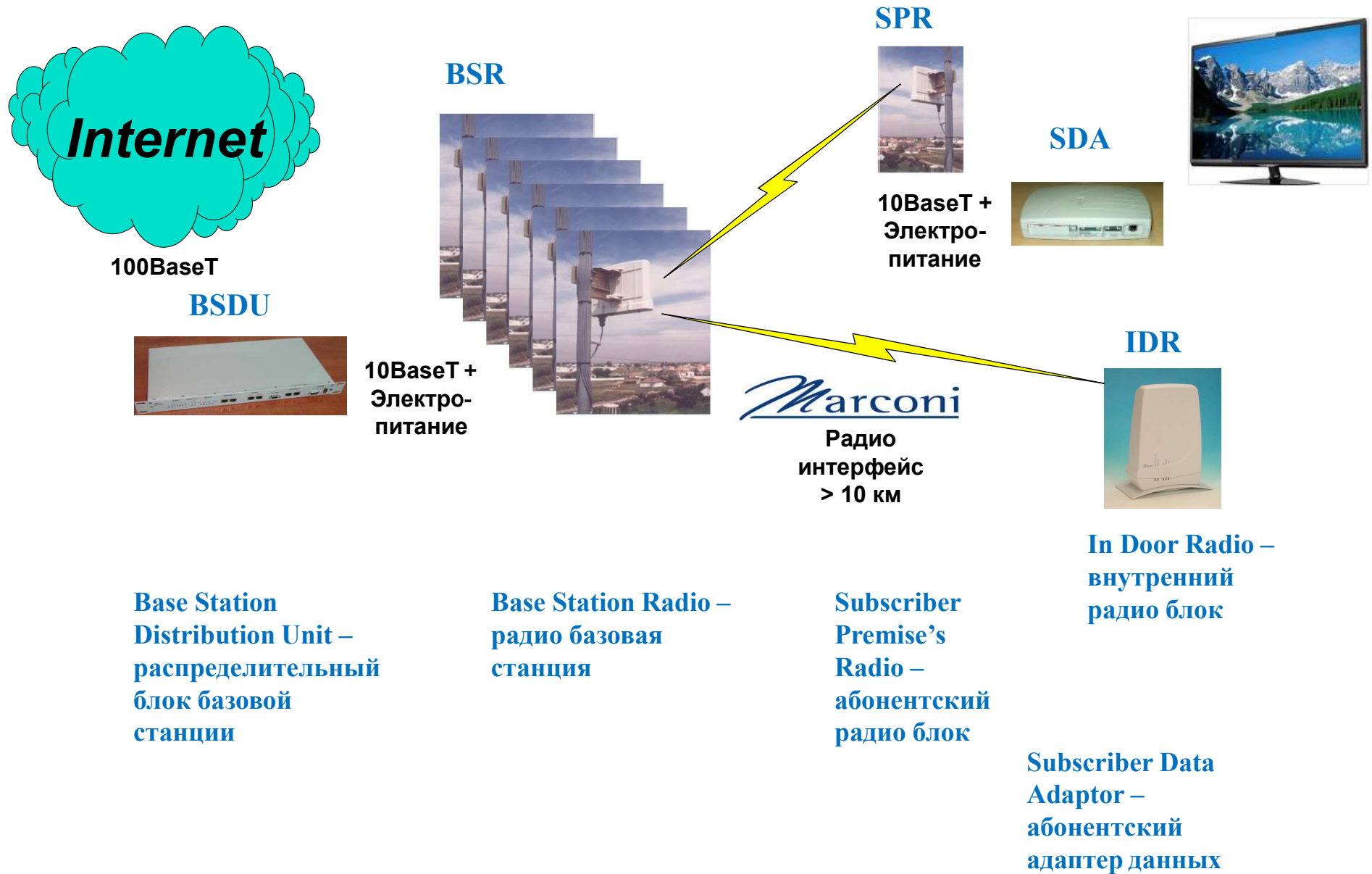


Wireless IP-Based Local Loop System



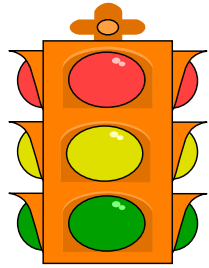


# Архитектура согласно эталонной модели радио доступа



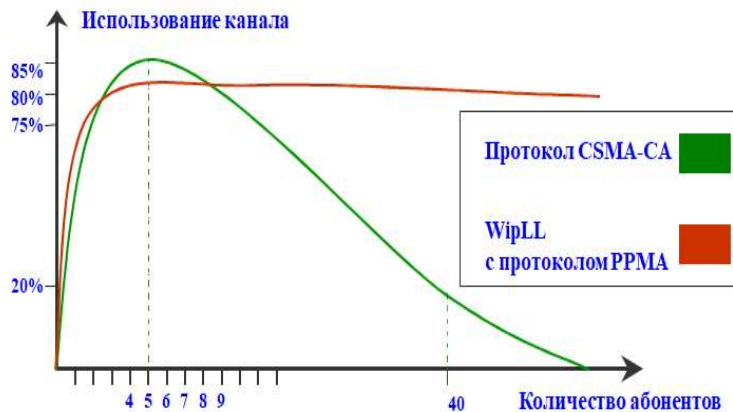
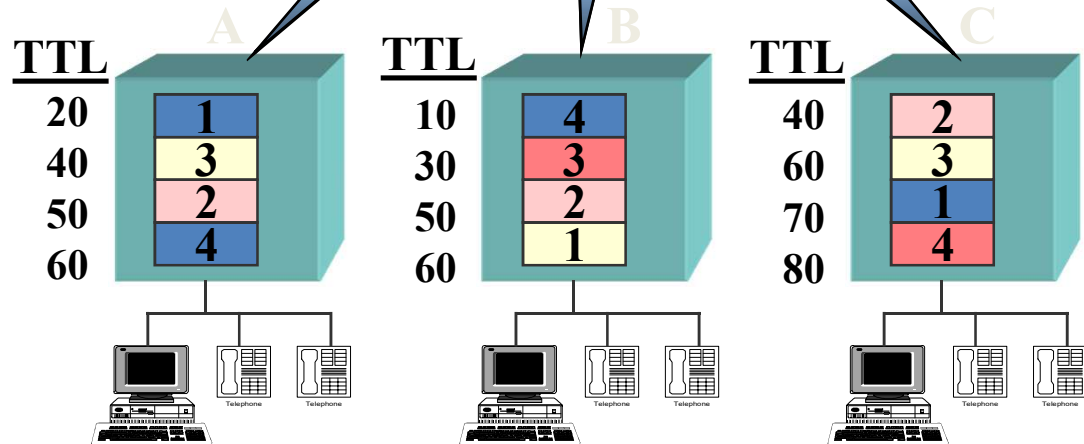
# PPMA – множественный доступ с опросом по преимуществу

WEB  
 Browsing  
 Электронная  
 почта  
 Пересылка  
 файлов  
 IP  
 телефония  
 Видео-  
 конференция



**Preemptive Polling Multiple Access** – распределение ресурсов доступа и передачи между пользователями по преимуществу прав (в соответствии с **TTL**)

B4	10
A1	20
B3	30
C2	40
A2	50
B1	60
C1	70
C4	80



# Планирование нагрузки

## SpeedNet



- Токио, Иокогама
- BSR – на опорах линий электропередачи
- 20 000 SPR

