

# Основы построения инфокоммуникационных систем и сетей

1

ЧАСТЬ III  
СЕТЬ СОТОВОЙ ПОДВИЖНОЙ СВЯЗИ GSM/UMTS.  
Тема №1  
ПОКОЛЕНИЯ СОТОВОЙ СВЯЗИ

# 1G Аналоговые системы

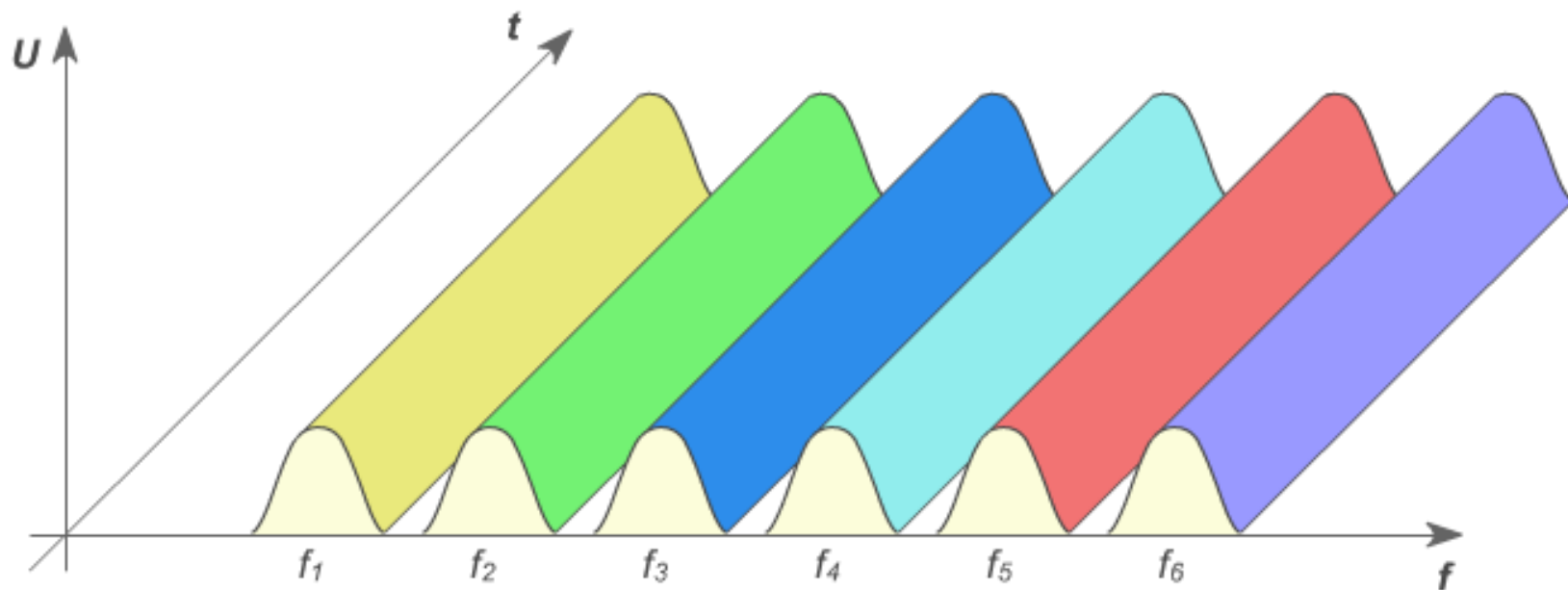
1G Аналоговые системы – передача речи

Используют множественный доступ с частотным разделением каналов FDMA

Примеры: NMT-450 [Nordic Mobile Telephone] – 1981 Ericsson

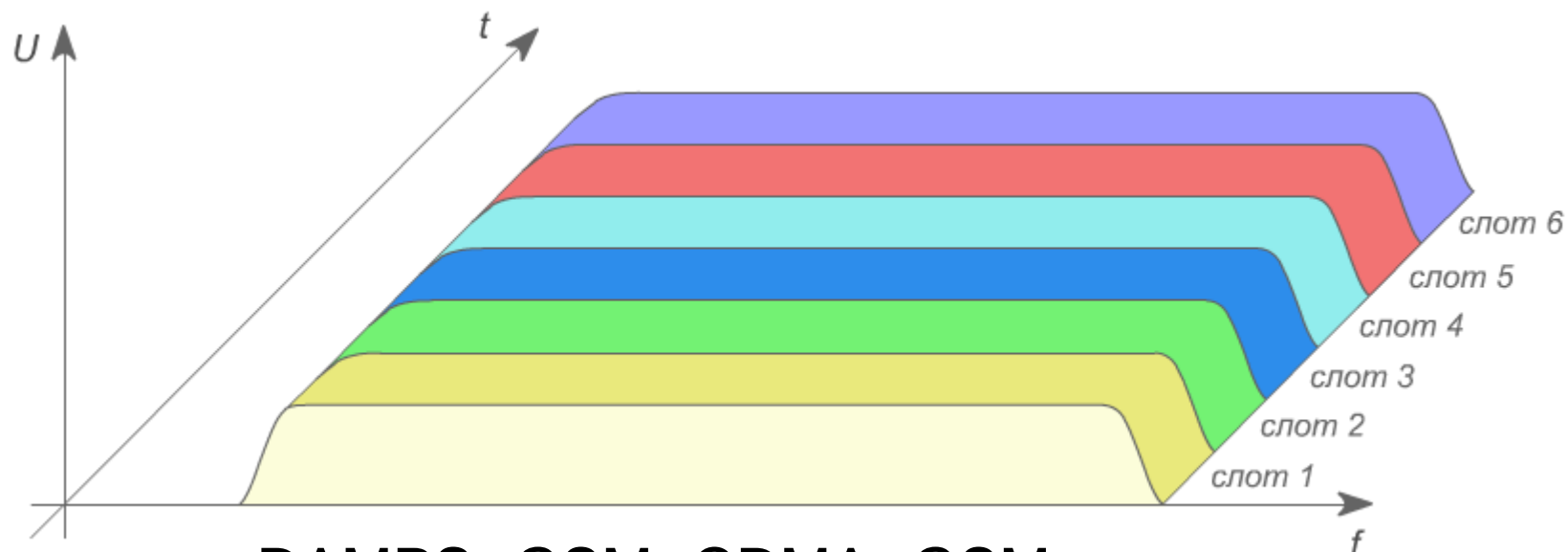
AMPS [Advanced Mobile Phone Service] – 1984 AT&T

Недостатки – низкая помехоустойчивость и защищенность, отсутствие совместимости терминального оборудования, высокая стоимость, громоздкость



# 2G Цифровые системы

2G Цифровые системы – передача речи и коротких сообщений. Для организации каналов используют множественный доступ с временным разделением каналов TDMA, для обеспечения дуплектности используется FDMA



Примеры: DAMPS, GSM, CDMA. GSM – организован в 1982 как Global Special Mobile, в 1990 Global System for Mobile communication

2,5G – передача речи и данных с максимальной скоростью 171,2 Кбит/с

# 3G Цифровые универсальные системы

В конце 1998 года, по инициативе ETSI, с целью проведения практических работ по стандартизации систем подвижной связи третьего поколения было создано партнерство 3GPP. Первый комплект спецификаций 3GPP был завершен в 1999 г. и получил название по году ратификации – rel99, позже использовался номер версии – rel 4, 5 и т.д.

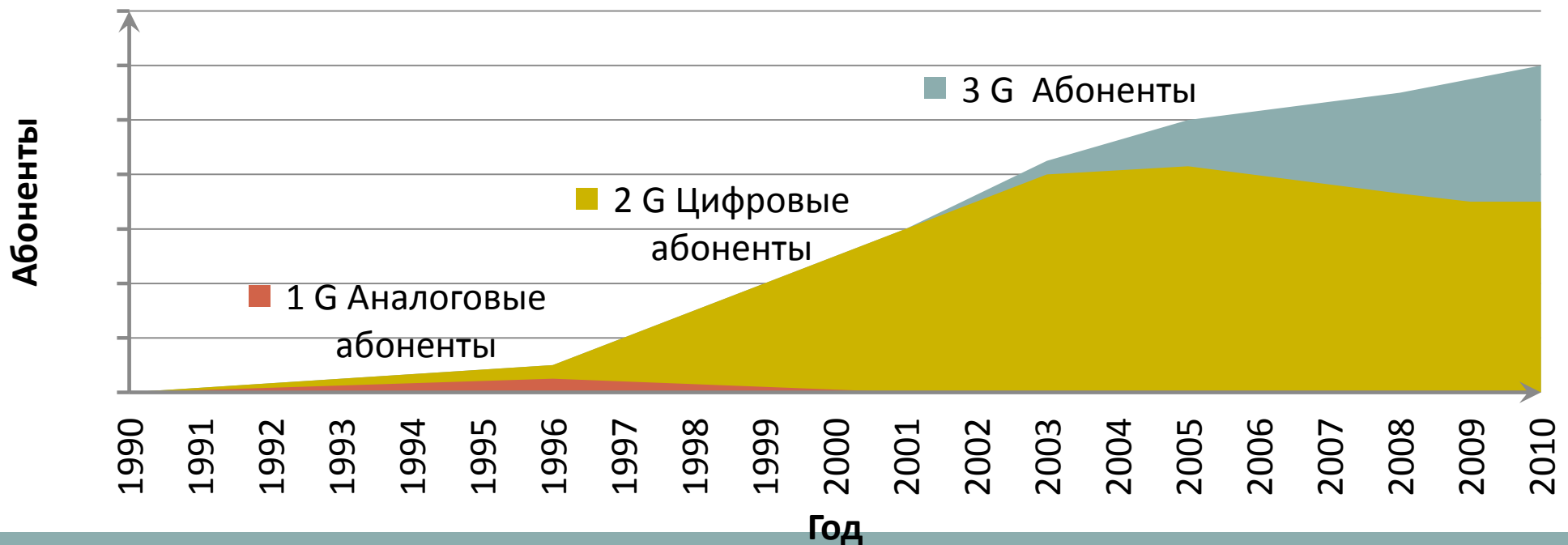
3G Цифровые универсальные системы – передача речи, коротких сообщений, потокового видео, организация мультимедийных сеансов связи. Организация единой сети радиодоступа – Universal Mobile Telecommunication System UMTS

На первом этапе сеть 3G (rel99) обеспечивала передачу данных на скорости 144 кбит/с при поездке на автомобиле, 384 кбит/с при наружном стационарном использовании или при скорости пешехода, и 2 Мбит/с в помещении. В rel5,6 был специфицирован высокоскоростной пакетный доступ HSDPA/HSUPA (High-Speed Downlink/Up Packet Access) позволяющий при движении доставлять/отправлять информацию со скоростью 2Мбит/с, а в rel7 модификация HSPA+ позволила достигать скоростей в несколько десятков Мбит/с.

# 4G Системы высокоскоростной передачи данных

4G (rel 8 3GPP) Системы высокоскоростной передачи данных LTE (Long Term Evolution) - эволюция в течение длительного времени на базе протокола IP.

На радиодоступе сети LTE осуществляется переход с технологии WCDMA (UMTS) к системам на основе мультиплексирования с использованием ортогональных несущих OFDM (Orthogonal Frequency-Division Multiplexing). По прогнозам LTE позволит достичь скоростей передачи данных - до 75 Мбит/с для восходящего и до 375 Мбит/с для нисходящего соединения.



# 5G Ультраплотные сети передачи данных

5G – ультраплотные сети UDN (Ultra-Dense Network) беспроводного доступа с гетерогенной структурой минисот (радиус 50м), обеспечивающих передачу данных со скоростями 10Гбит/с

Инфраструктура сети строится на основе облачных технологий с программно-определяемой сетью (SDN/SDR).

Предполагается что основным трафиком сетей 5G будет являться видеотрафик с высоким качеством разрешения (HD) и трафик машинных сетей (Massive M2M).

Для организации интеллектуальных транспортных сетей в 5G предлагается внедрение двигающихся узлов (Moving 5G Node) и движущихся транспортных сетей (Moving 5G Backhaul). Роль базовых станций будут выполнять мобильные устройства 5G объединенные в mesh-сети

# Основы построения инфокоммуникационных систем и сетей

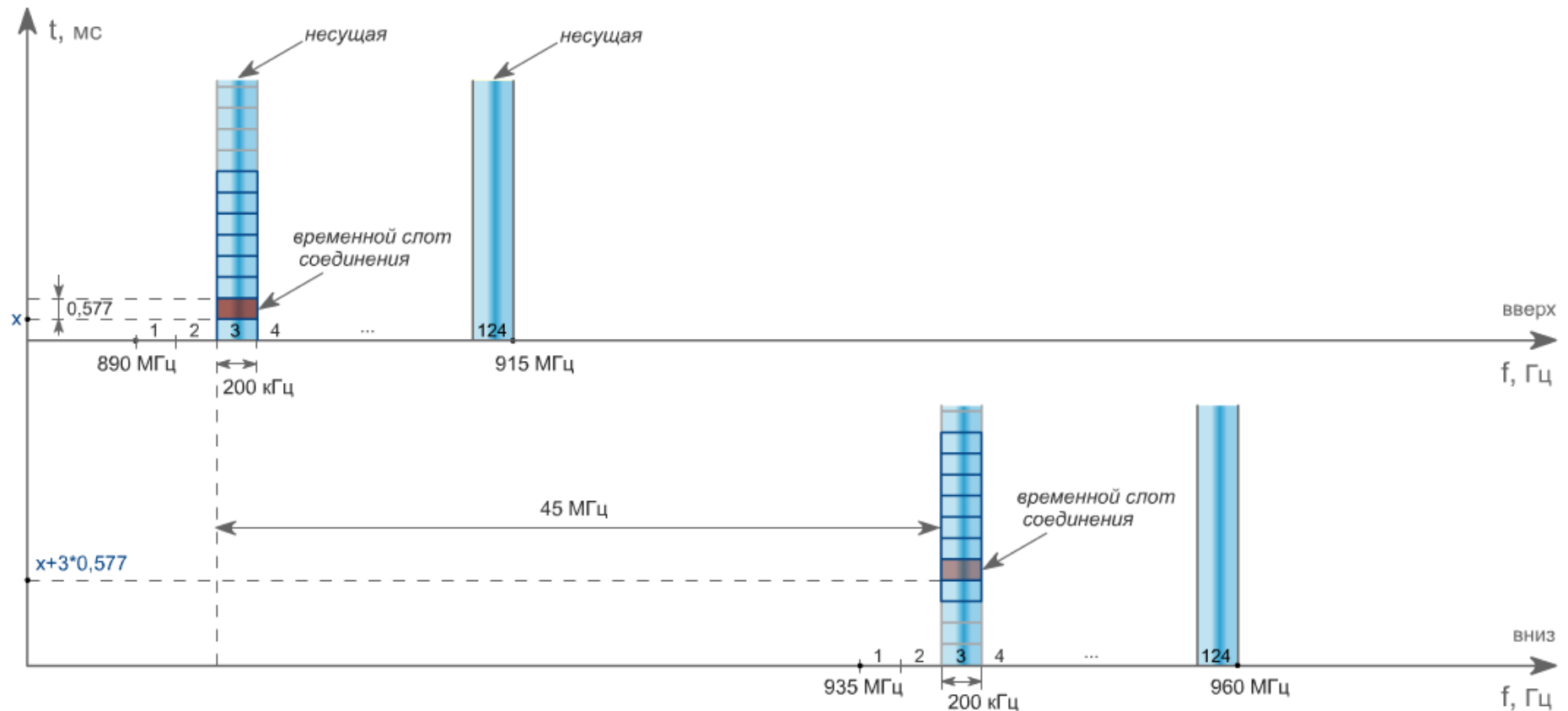
2

ЧАСТЬ III  
СЕТЬ СОТОВОЙ ПОДВИЖНОЙ СВЯЗИ GSM/UMTS.  
Тема №2  
ОРГАНИЗАЦИЯ КАНАЛОВ GSM

# Разделение по частоте и времени

Для каждого соединения выделяется отдельная несущая частота и конкретный временной интервал.

Все разговорные каналы дуплексные, номера слотов в дуплексном канале совпадают, а несущие частоты разделены полосой в 45 МГц (режим FDD).





# Виды временных интервалов

Для передачи информации по каналам связи используется 5 видов временных интервалов (слотов).

NB	Normal Burst	нормальный временной интервал (используется для передачи пользовательской информации и информации сигнализации)
FB	Frequency Correction Burst	временной интервал подстройки частоты
SB	Synchronization Burst	интервал временной синхронизации
DB	Dummy Burst	установочный интервал
AB	Access Burst	интервал доступа

# Обработка речевого сигнала в GSM

Скорость передачи пользовательской информации 64 кбит/с по одному радиоканалу обеспечить практически невозможно, следовательно надо отказаться от посылки в канал цифровых последовательностей фрагментов речи, как это делается в ИКМ.

Процесс формирования звуков человеческой речи можно представить как процесс генерации основных частот, которые затем с помощью различных фильтров (гортань, язык и др) преобразуются в уникальные звуки. Основная идея заключается в том, что бы по каналу передавать частоту и параметры фильтра, а на приемном конце воспроизводить исходные звуки на основе этих данных. Для это стандарт GSM использует гибридный вокодер, которому требуется 260 бит для кодирования интервала речи

Считается что за 20мс параметры речевого тракта практически не изменяются, это время определяет длину кадра.

Таким образом, скорость на один канал будет составлять  
 $260\text{бит}/20\text{мс}=13\text{ кбит/с}$

# Основы построения инфокоммуникационных систем и сетей

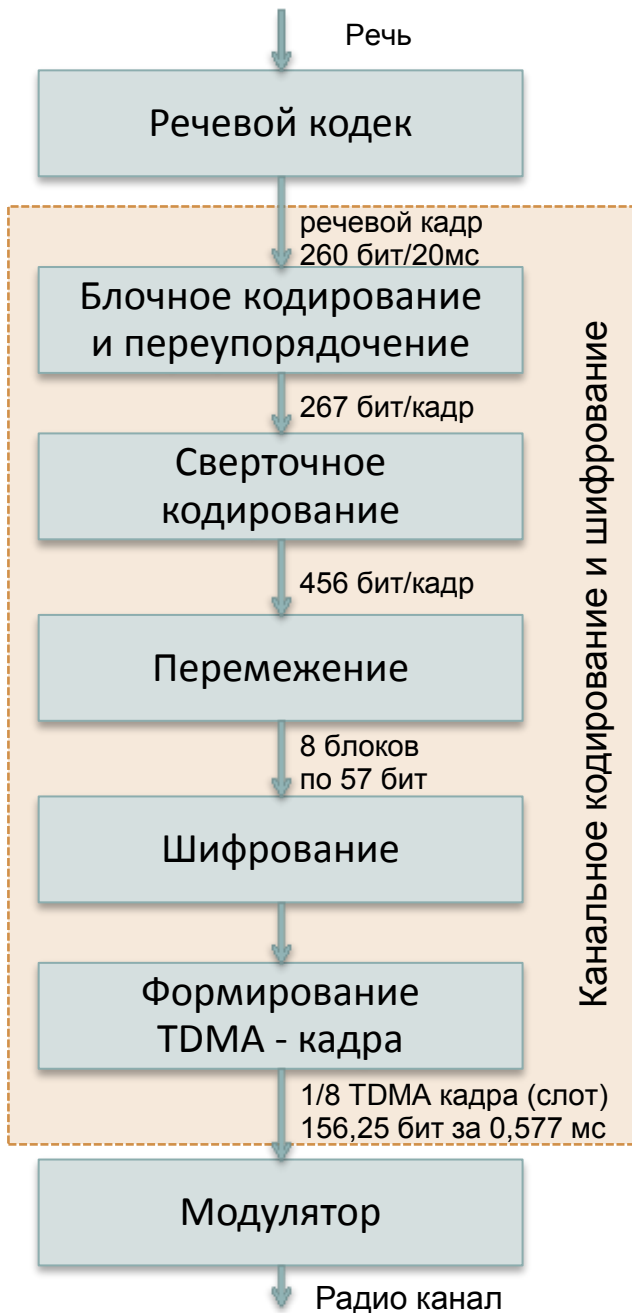
3

ЧАСТЬ III  
СЕТЬ СОТОВОЙ ПОДВИЖНОЙ СВЯЗИ GSM/UMTS.

Тема №3

КАНАЛЬНОЕ КОДИРОВАНИЕ И ШИФРОВАНИЕ

# Этапы канального кодирования и шифрования



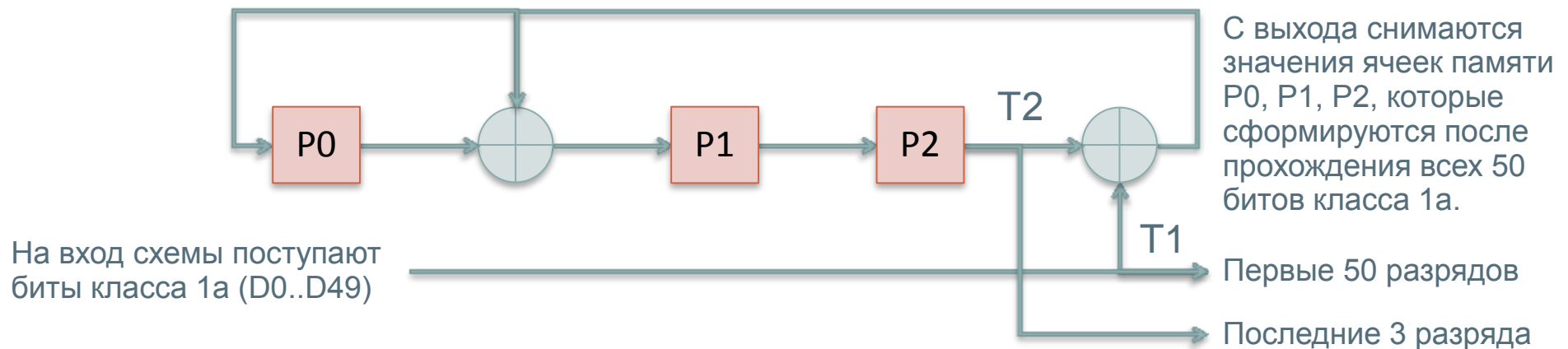
- 1 Блочное кодирование – выявление ошибок
- 2 Переупорядочение – защита от потерь блоков
- 3 Сверточное кодирование – обнаружение и исправление ошибок
- 4 Перемежение – минимизировать потери последовательно переданных битов
- 5 Шифрование – защита от несанкционированного доступа – EncryptedData

# Блочное кодирование

$$260=50(1a)+132(16)+78(2)$$

Блочному кодированию подвергаются самые критичные к искажению биты класса 1а

Добавляют три бита P0,1,2 проверки на четность, которые формируются следующим образом



$P0=T1^T2$ ,  $P1=P0^T1^T2$ ,  $P2=P1$ , где T2 содержимое ячейки до прихода бита класса 1а. В начальный момент времени  $P0=P1=P2=0$ .

^ - логическое сложение (сложением по модулю 2). В случае двух переменных результат истина, когда только один аргумент истина, в случае трех и более, когда нечетное количество аргументов истина.

# Переупорядочение

Все четные 1го класса в порядке возрастания за ними P0,1,2, все нечетные в порядке убывания, далее 0000 – формирование кода исправления случайных ошибок в канале, завершают биты 2кл – 182-259

D00 D02 ... D180 P0 P1 P2 D181 ... D03 D01 0 0 0 0 D182 ... D259

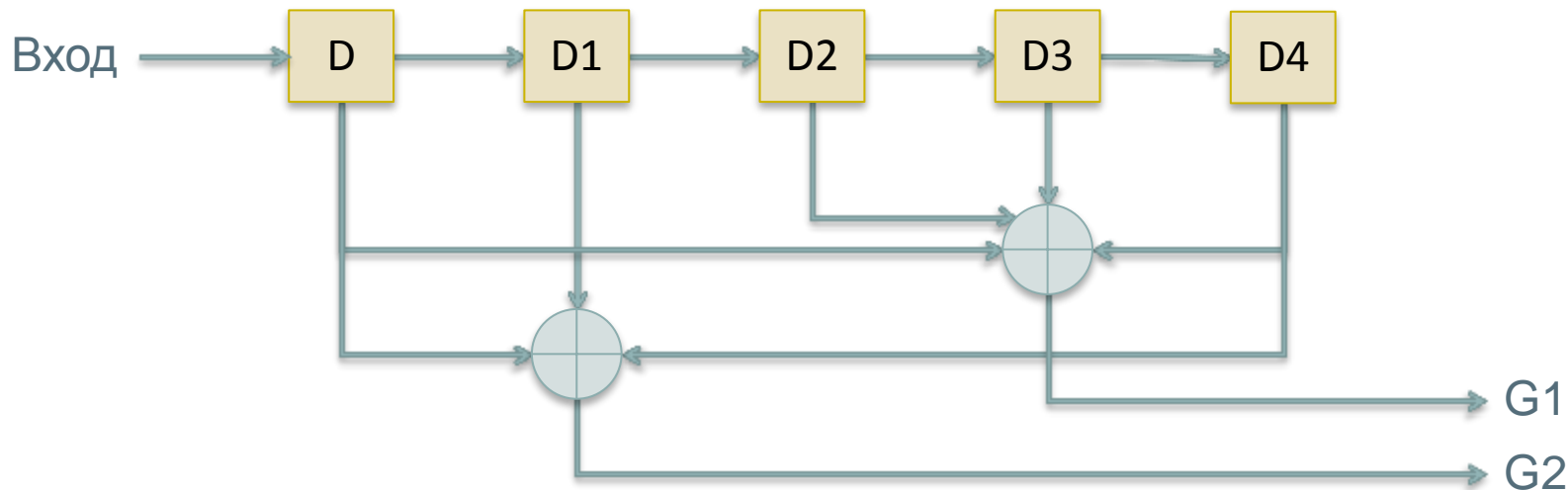
$$91(1\text{кл чет})+P0P1P2+91(1\text{кл нечет})+0000+78(2\text{кл}) = 267$$

В приемнике осуществляется обратная последовательность действий:

- удаляются четыре нулевых бита,
- восстанавливается последовательность битов класса 1,
- на основании первых 50 битов класса 1 формируются три бита проверки на четность и сравниваются с принятыми.

# Сверточное кодирование

Биты первого класса кодируются сверточным кодом (2,1,5) один бит D на входе кодера обрабатывается пятью битами входящего сигнала и на выходе получаем два бита G



$(182+3+4)*2=378$  – кодированных битов G

78 – битов D второго класса

Итого 456 бит

# Перемежение

В случае попадания сигнала в зону замирания возникают ошибки, которые распространяются на весь сигнал попавший в эту зону, что может составлять сотни бит информации.

Для борьбы с ошибками используется помехустойчивое кодирование, однако оно эффективно только для ошибок малой кратности (одиночный, двойные, тройные).

Для перехода от пакетов ошибок к одиночным ошибкам используется перемежение.

Блок перемежителя делит кадр на 8 блоков

G01 G09 G17 ... D244 D252

G02 G10 G18 ... D245 D253

G03 G11 G19 ... D246 D254

G04 G12 G20 ... D247 D255

---

G08 G16 G24 ... D251 D259



# Шифрование

Шифрование осуществляется с использованием секретного ключа  $K_s$ , который каждый раз вычисляется в процессе аутентификации пользователя в модуле SIM, на приемной стороне проводится подобная процедура в специальном оборудовании аутентификации.

Шифрованию подвергается блок информации 57бит полученный в результате перемежения. Зашифрованный блок получил название EncryptedData

# Основы построения инфокоммуникационных систем и сетей

4

ЧАСТЬ III  
СЕТЬ СОТОВОЙ ПОДВИЖНОЙ СВЯЗИ GSM/UMTS.

Тема №4  
ФОРМИРОВАНИЕ КАДРА

# Временной интервал

$$NB=TB(3) +ED(57) +S(1) +TS(26) +S(1) +ED(57) +TB(3) +GP(8,25)$$

Normal Burst – нормальный временной интервал для передачи пользовательской и сигнальной информации (0,577мс).

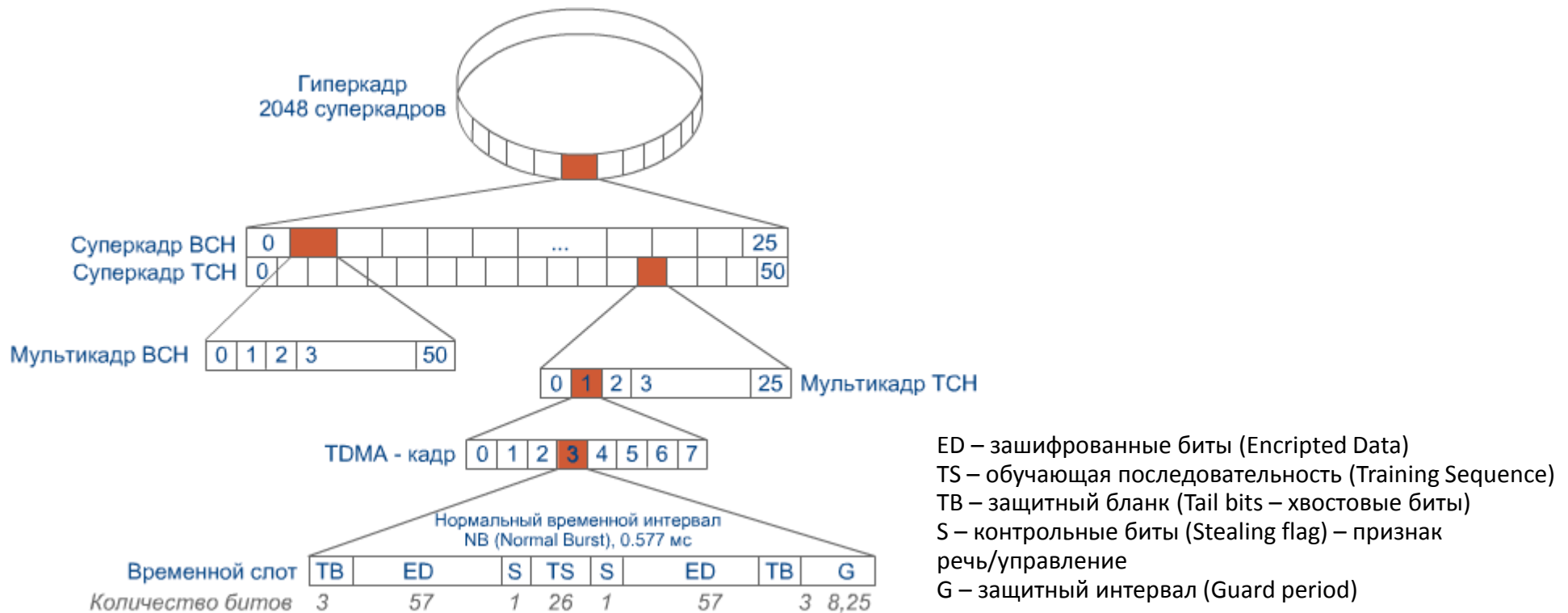
Tails Bit – обрамляющие биты

Guard Period - защитный интервал 30,46 мкс, который необходим для защиты от наложения временных интервалов, передаваемых с разного расстояния (от 0 до 35 км).

Training Sequence - обучающая последовательность, длиной 26 бит, которая используется для установки эквалайзера в приемнике в соответствии с характеристиками канала связи в данный момент времени.

Stealing flag - контрольные биты, которые служат признаком того, содержит ли передаваемая группа речевую информацию или информацию сигнализации.

# Временная структура



Кадр состоит из 8 интервалов

26 кадров переносящих каналы трафика (TCH) и ассоциированные с ними каналы управления образуют мультикадр.

51 мультикадр образует суперкадр длительностью 6,12 с.

2048 суперкадров - гиперкадр, который длится 3ч.28 мин.53с.760мс. По истечении этого времени системные часы возвращаются к своему исходному состоянию.

Если в соте используется по одной несущей в каждом направлении, то все каналы вещания и управления передаются в нулевом слоте.

# Основы построения инфокоммуникационных систем и сетей

5

ЧАСТЬ III  
СЕТЬ СОТОВОЙ ПОДВИЖНОЙ СВЯЗИ GSM/UMTS.  
Тема №5  
ЛОГИЧЕСКИЕ КАНАЛЫ

# Логические каналы

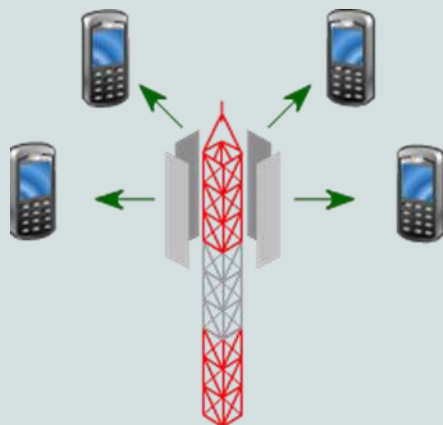
Каналы управления – сигнальная и служебная информация  
Control channel

Каналы трафика  
Traffic channel

Вещательные  
Broadcast

Общие  
Common

Выделенные  
Dedicated



**BCCH (Broadcast control channel)** – передает идентификатор соты (CI), зоны местонахождения (LAI), время, через которое должна осуществляться процедура обновления данных местонахождения, максимальную выходную мощность, используемую в данной соте, идентификаторы несущих частот в соседних сотах. Используется для передачи коротких сообщений.

**FCCH (Frequency Correction Channel)** – канал коррекции частоты, передает несущую частоту соты для подстройки частоты подвижной станции под опорную несущую.

**SCCH (Synchronization Channel)** - канал кадровой синхронизации подвижной станции передает информацию о кадре (его номере и структуре логических каналов) для синхронизации передаваемой от MS информации со структурой кадра.

Служебная сетевая информация необходимая абонентам для работы в сети.

# Логические каналы

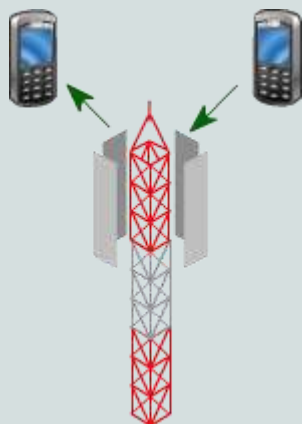
Каналы управления – сигнальная и служебная информация  
Control channel

Каналы трафика  
Traffic channel

Вещательные  
Broadcast

Общие  
Common

Выделенные  
Dedicated



**RACH (Random access channel)** - канал случайного доступа, для запроса подвижной станцией выделения ресурсов для установления соединения и запроса выделения канала SDCCH, обеспечивающего передачу сигнальной информации.

**AGCH (Access granted channel)** – канал разрешения доступа, информирует подвижную станцию, о том, что доступ разрешен и будет обслужен, назначает канал SDCCH.

**PCH (Paging channel)** – канал вызова, для вызова сетью конкретной подвижной станции при поступлении к ней вызова.

Запрос со стороны абонента на доступ к сети.  
Вызов абонента сетью.

# Логические каналы

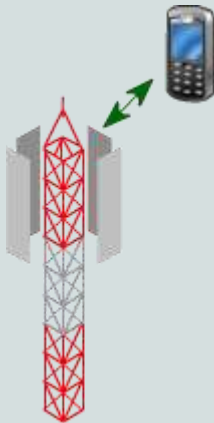
Каналы управления – сигнальная и служебная информация  
Control channel

Каналы трафика  
Traffic channel

Вещательные  
Broadcast

Общие  
Common

Выделенные  
Dedicated



**SDCCH (Stand-alone Dedicated control channel)** – выделенный закрепленный канал управления осуществляет перенос информации от BS к MS о назначенном для вызова канале TCH (номер несущей и временной интервал). используется для передачи короткого сообщения абоненту(SMS) в случае отсутствия разговора.

**SACCH (Slow associated control channel)** – низкоскоростной совмещенный канал управления является продолжением предыдущего канала, используется для передачи данных, связанных с конкретным каналом TCH (изменение уровня мощности, синхронизации (от BS к MS), MS посылает своей и соседним BS усредненные измерения об уровне и качестве сигнала (подготовиться к хэндоверу).  
Используется для передачи короткого сообщения абоненту(SMS) во время разговора.

**FACCH (Fast associated control channel)** – высокоскоростной совмещенный канал управления (передача сигнальной информации во время соединения, когда необходимо передать объем информации о параметрах сеанса связи больший, чем обеспечивает низкоскоростной канал.)

**CBCH (Cell Broadcast channel)** – используется для передачи коротких сообщений от MS к BS.

Назначаются сетью  
для обслуживания  
конкретного соединения



# Логические каналы

Каналы управления – сигнальная и служебная информация  
Control channel

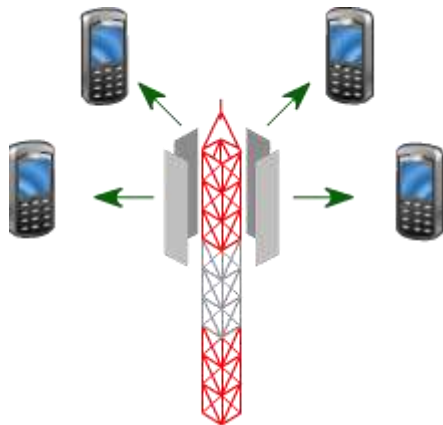
Каналы трафика  
Traffic channel

*Вещательные  
Broadcast*

**BCCH**  
(Broadcast control channel)

**FCCH**  
(Frequency Correction Channel)

**SCH**  
(Synchronization Channel)

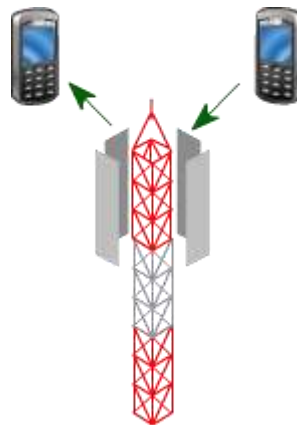


*Общие  
Common*

**RACH**  
(Random access channel)

**AGCH**  
(Access granted channel)

**PCH**  
(Paging channel)



*Выделенные  
Dedicated*

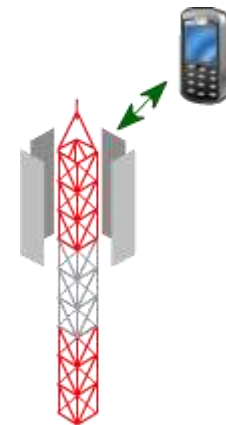
**DCCH**  
(Dedicated control channel)

**SDCCH**  
(Stand-alone Dedicated control channel)

**SACCH**  
(Slow associated control channel)

**FACCH**  
(Fast associated control channel)

**CBCH**  
(Cell Broadcast channel)



# Основы построения инфокоммуникационных систем и сетей



ЧАСТЬ III  
СЕТЬ СОТОВОЙ ПОДВИЖНОЙ СВЯЗИ GSM/UMTS.  
ВОПРОСЫ И ЛИТЕРАТУРА

# Список литературы

- **Сети связи. Учебник для ВУЗов**//Гольдштейн Б. С., Соколов Н. А., Яновский Г.Г.//СПб.: БХВ – Санкт-Петербург, 2011. – 400 с. ISBN 978-5-9775-0474-4
- **Протокол стека OKS7: Подсистема MAP. Учебное пособие**// Гольдштейн Б.С., Гойхман В.Ю., Сибирякова Н.Г.// ГОУВПО СПбГУТ. СПб, 2012 – 82с.
- **Современные технологии и стандарты подвижной связи**//Кузнецов М.А., Рыжаков А.Е.// Линк. СПб, 2008 – 126с. ISBN 5-98595-006-9

## Вопросы

1. От аналоговой к цифровой сотовой подвижной связи.
2. Рост скоростей передачи данных.
3. Организация каналов GSM. Типы временных интервалов.
4. Организация каналов GSM. Принципы обработки речевых сигналов в GSM.
5. Этапы канального кодирования и шифрования.
6. Блочное кодирование и переупорядочение.
7. Сверточное кодирование и перемежение
8. Типы логических каналов
9. Вещательные логические каналы управления
10. Общие логические каналы управления
11. Выделенные логические каналы управления