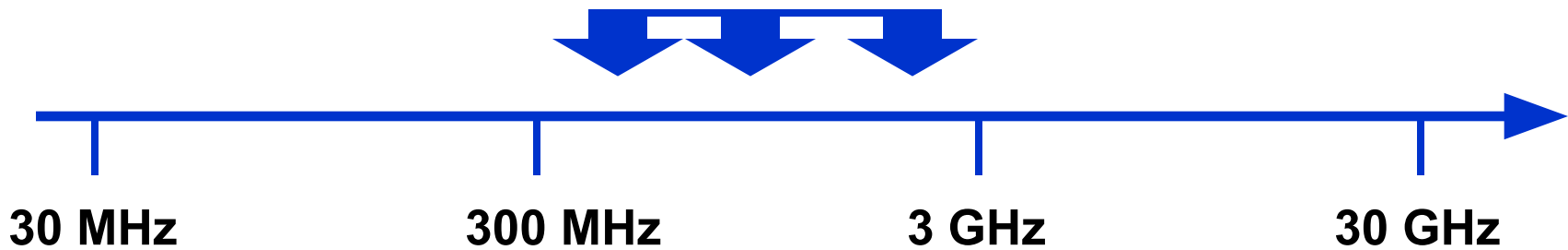


Некоторые беспроводные сети
связи, в основном сотовые

Распределение частотного диапазона (1)



Сотовые сети 3G
746-794 MHz, 1.7-1.85 GHz,
2.5-2.7 GHz

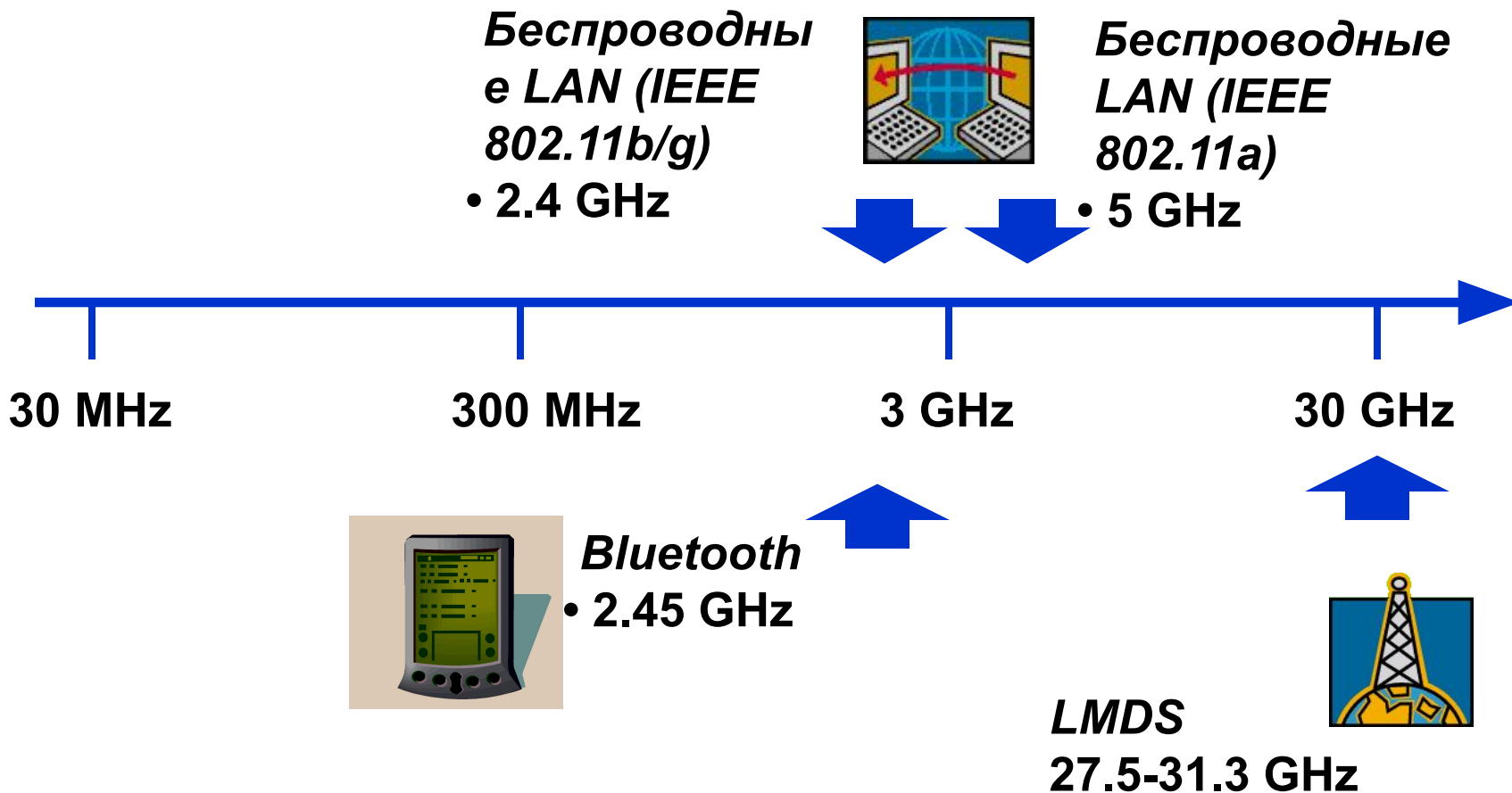


Сотовые GSM
• 800-900 MHz



Сотовые GSM
• 1.85-1.99 GHz

Распределение частотного диапазона (2)



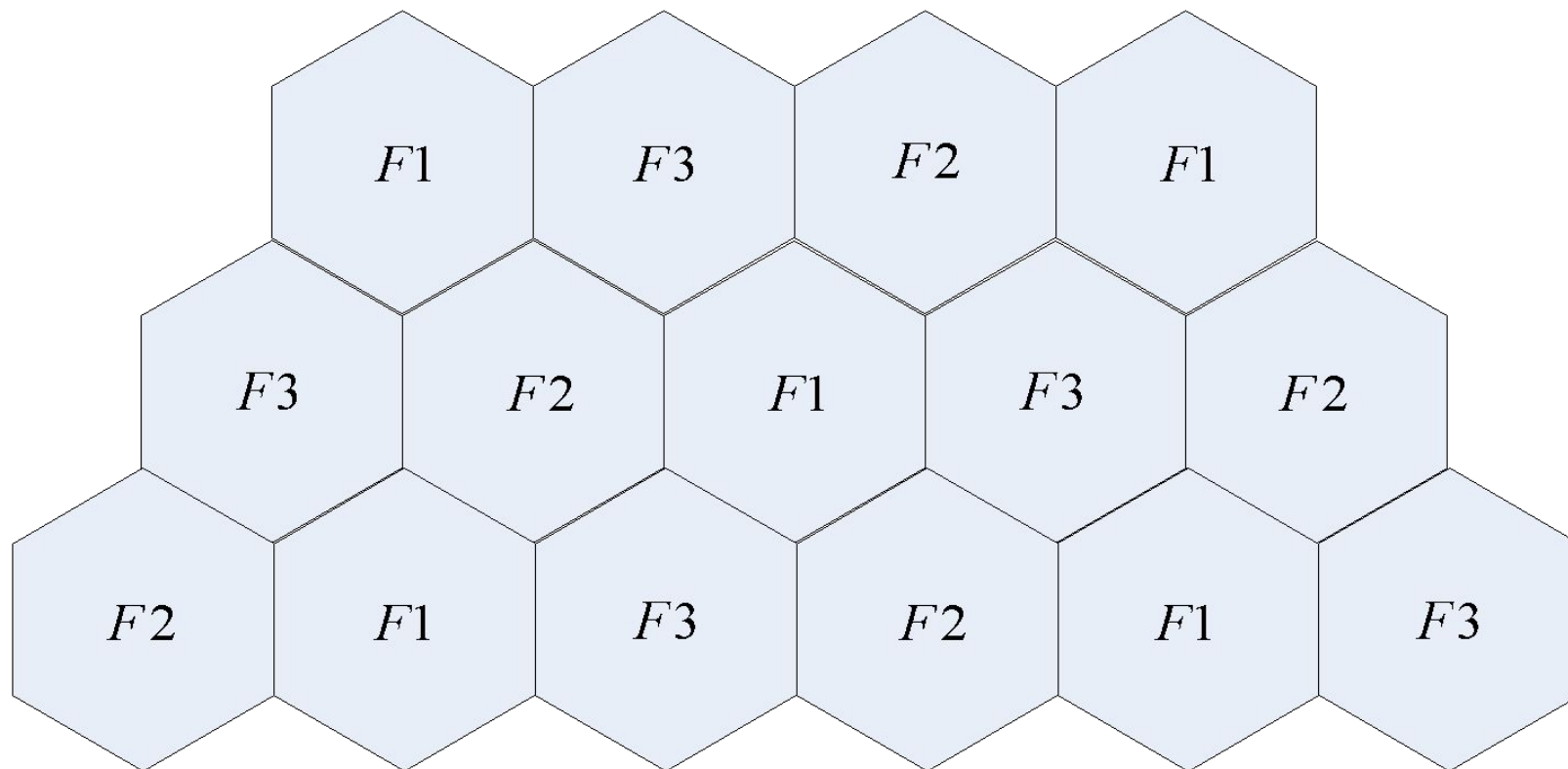
Сотовые сети связи

- **1G:** аналоговые сети. Идея: покрытие пространства «сотами» (зонами действия одной базовой станции) и организация кластеров сот. Поддерживали только телефонию. Стандарты: NMT, AMPS.
- **2G:** цифровые сети с коммутацией каналов. Используется метод доступа с временным разделением каналов. В основе также лежит сотовая структура. Поддерживают телефонию и передачу данных. Для организации более быстрого доступа может использоваться GPRS (2G+). Стандарты: GSM, D-AMPS, PDC.
- **3G:** цифровые сети с коммутацией каналов/пакетов. Используется широкополосный метод доступа с кодовым разделением каналов, поддерживают передачу мультисервисного трафика. Стандарты: CDMA, WCDMA, cdma2000, i-mode и т.д.
- **4G:** цифровые сети с коммутацией пакетов. Находятся в стадии разработки 😊

Стандарт GSM

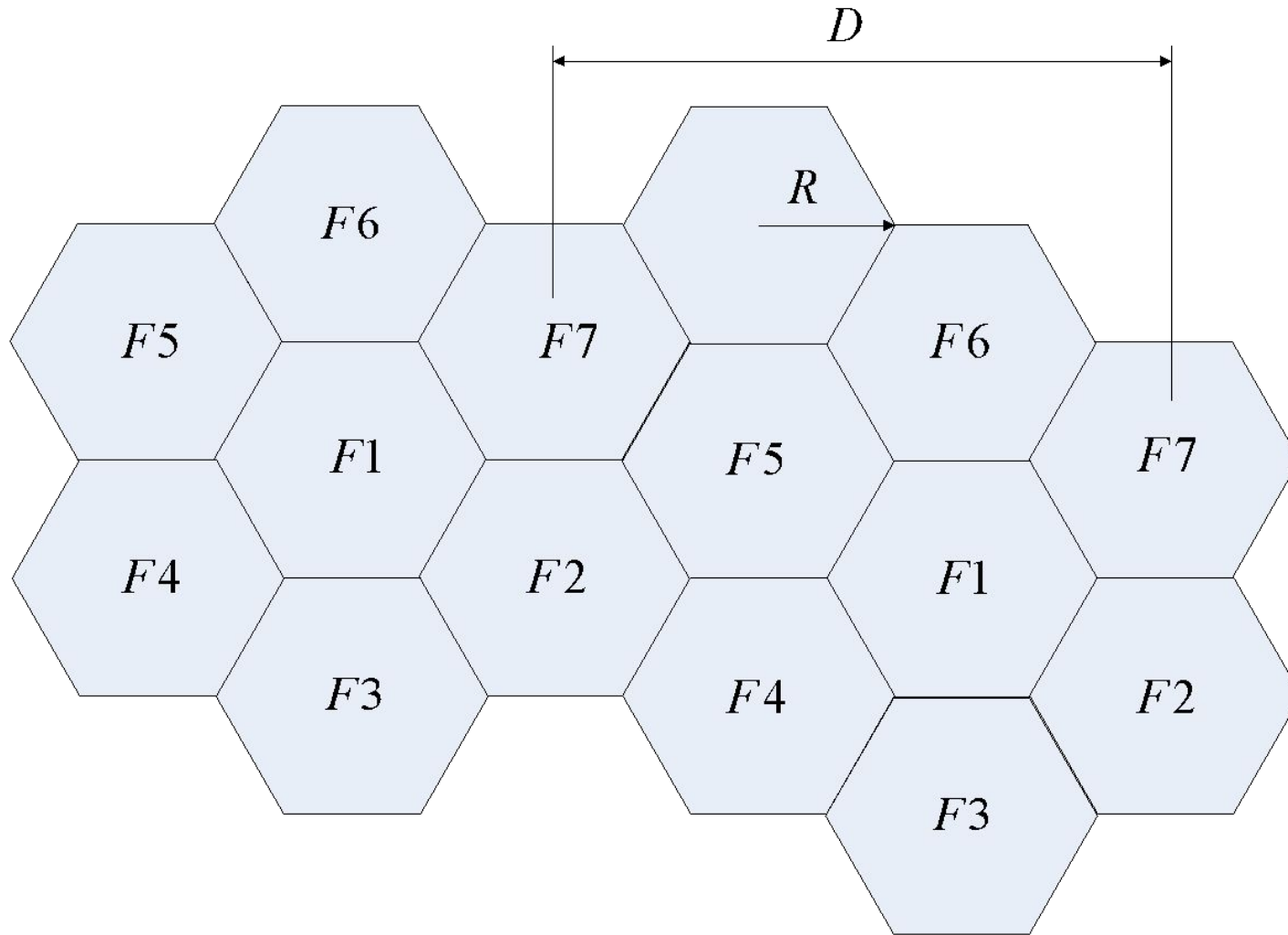
- В 1980 г. стандартизирован диапазон 900 МГц, позже – 1800 и 1900 МГц.
- Множественный доступ с временным разделением каналов (TDMA)
- Структура кадров: 8 временных позиций на 124 несущих.
- Защита от ошибок:
 - Блочное и сверточное кодирование с перемежением.
 - Переключение рабочих частот в процессе сеанса связи (217 скачков в с.)
- Скорость кодека: 13 кбит/с
- Максимальное количество базовых станций: 16
- Радиус соты: до 35 км

Примеры сотовой топологии (1)



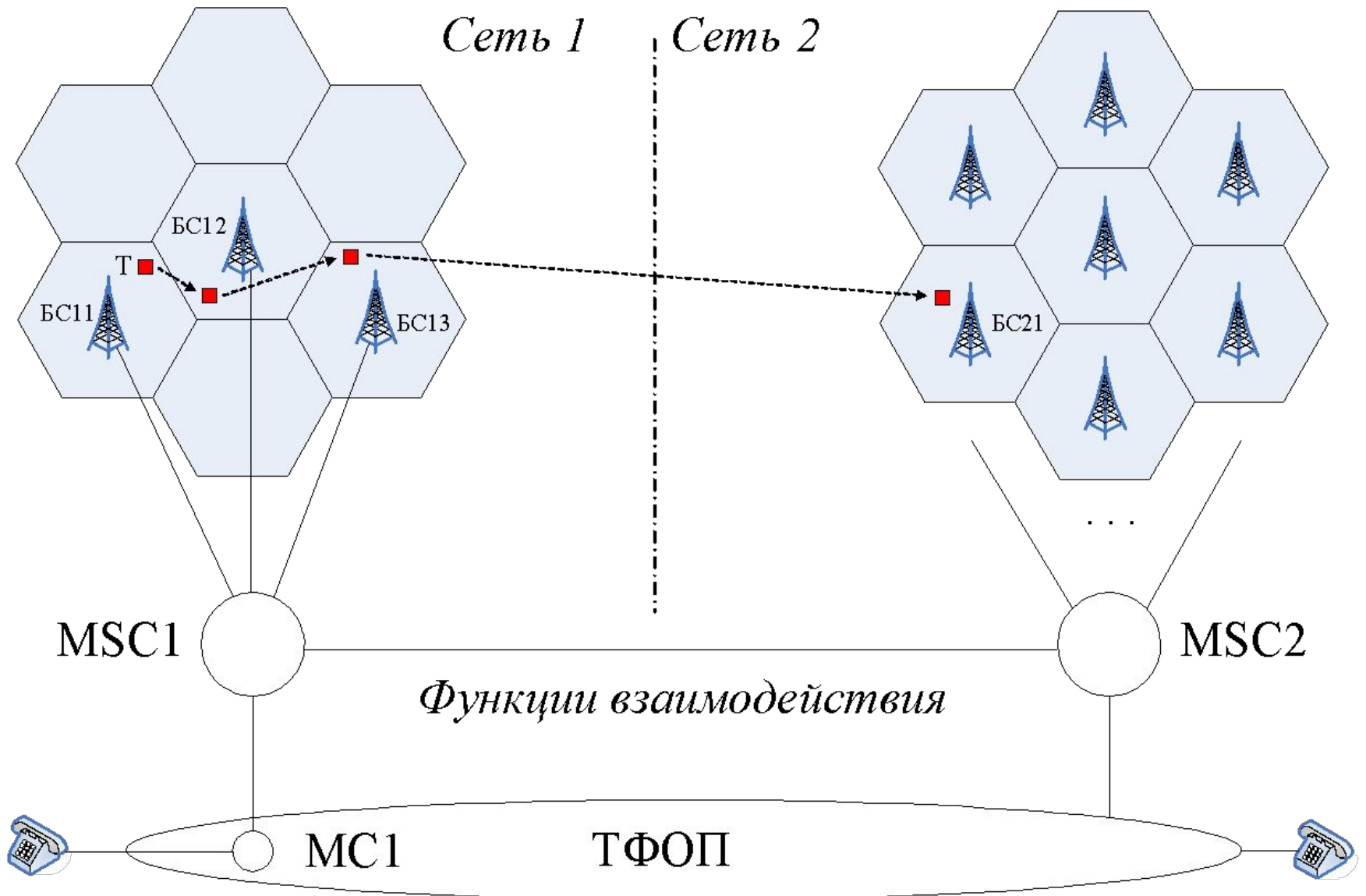
Используется три диапазона частот.

Примеры сотовой топологии (2)



Используется семь диапазонов частот.

Модель сети сотовой связи



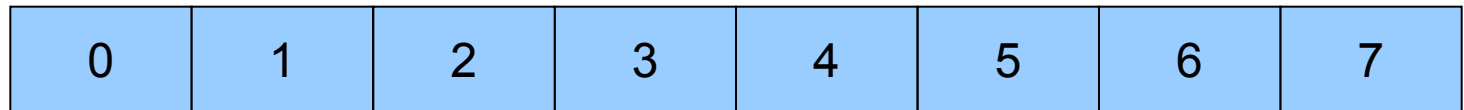
Разделение частот

- Для диапазона 900Мгц:
 - Частота ПС на передачу (нисходящий канал): 890-915 МГц
 - Частота ПС на прием (восходящий канал): : 935-960 МГц
 - Дуплексный разнос частот: 45 МГц
 - Базовая станция поддерживает до 16 частотных каналов.
- Для диапазона 1800 МГц:
 - Частота ПС на передачу (нисходящий канал): : 1710-1785 МГц
 - Частота ПС на прием (восходящий канал): : 1805-1880 МГц
 - Дуплексный разнос частот: 95 МГц
 - Базовая станция поддерживает до 16 частотных каналов.

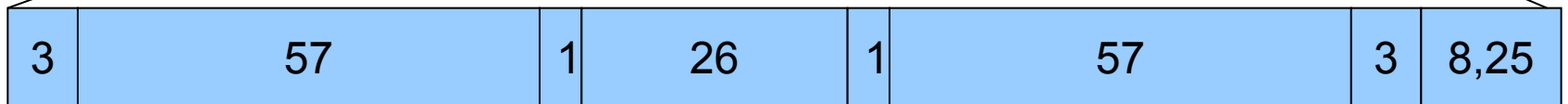
Используется частотный метод дуплексирования каналов (FDD)

Временное разделение (TDMA) в GSM

Кадр, 4.615 мс



Канальный интервал, 577 мкс (148 бит + пауза)



Полезная информация

Тренировочная последовательность и ограничители (Pointer Bit)
1+26+1

Полезная информация

Пауза
30,44 мкс

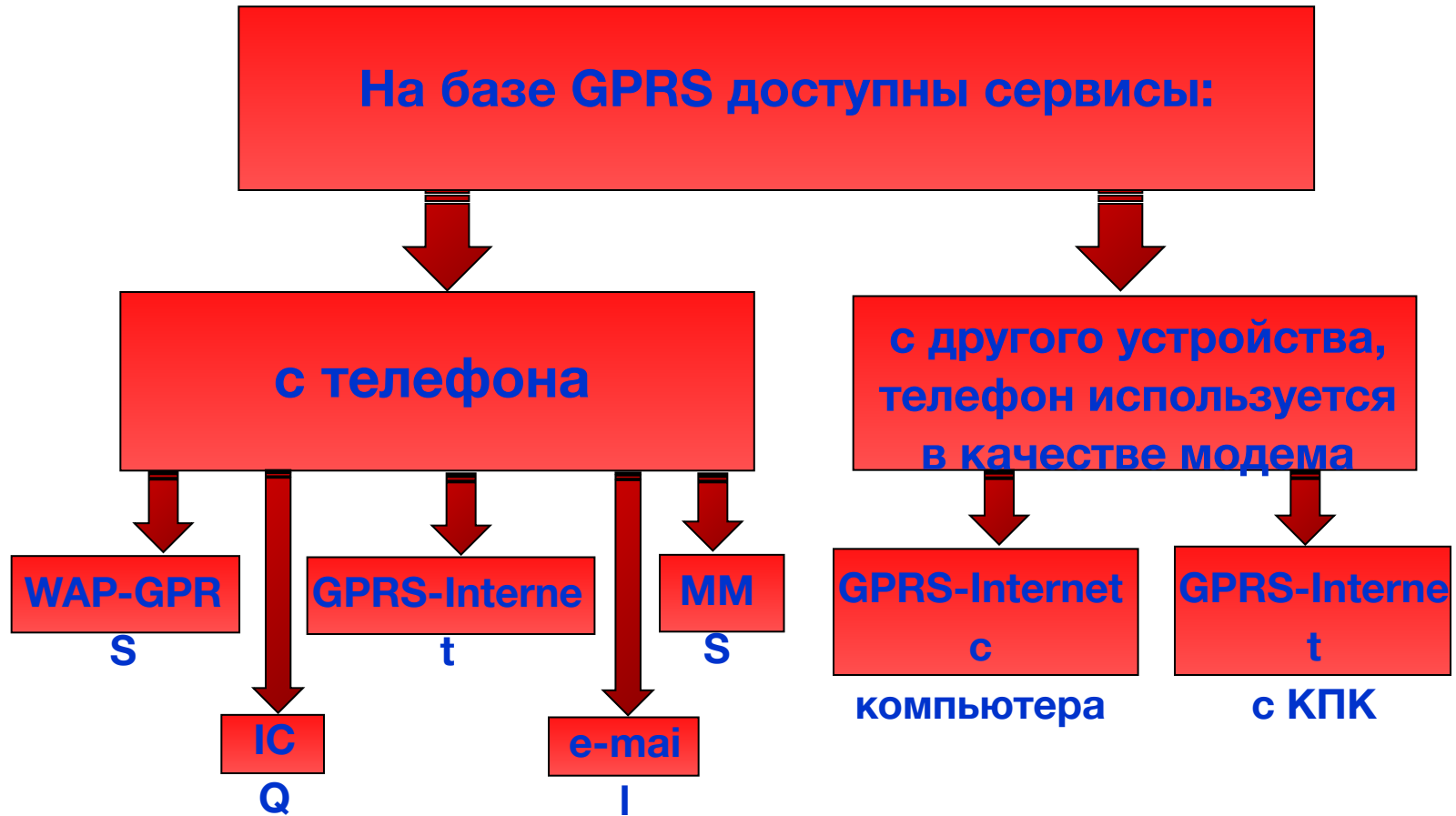
Ограничительные интервалы (Border Bit)

Расширения GSM

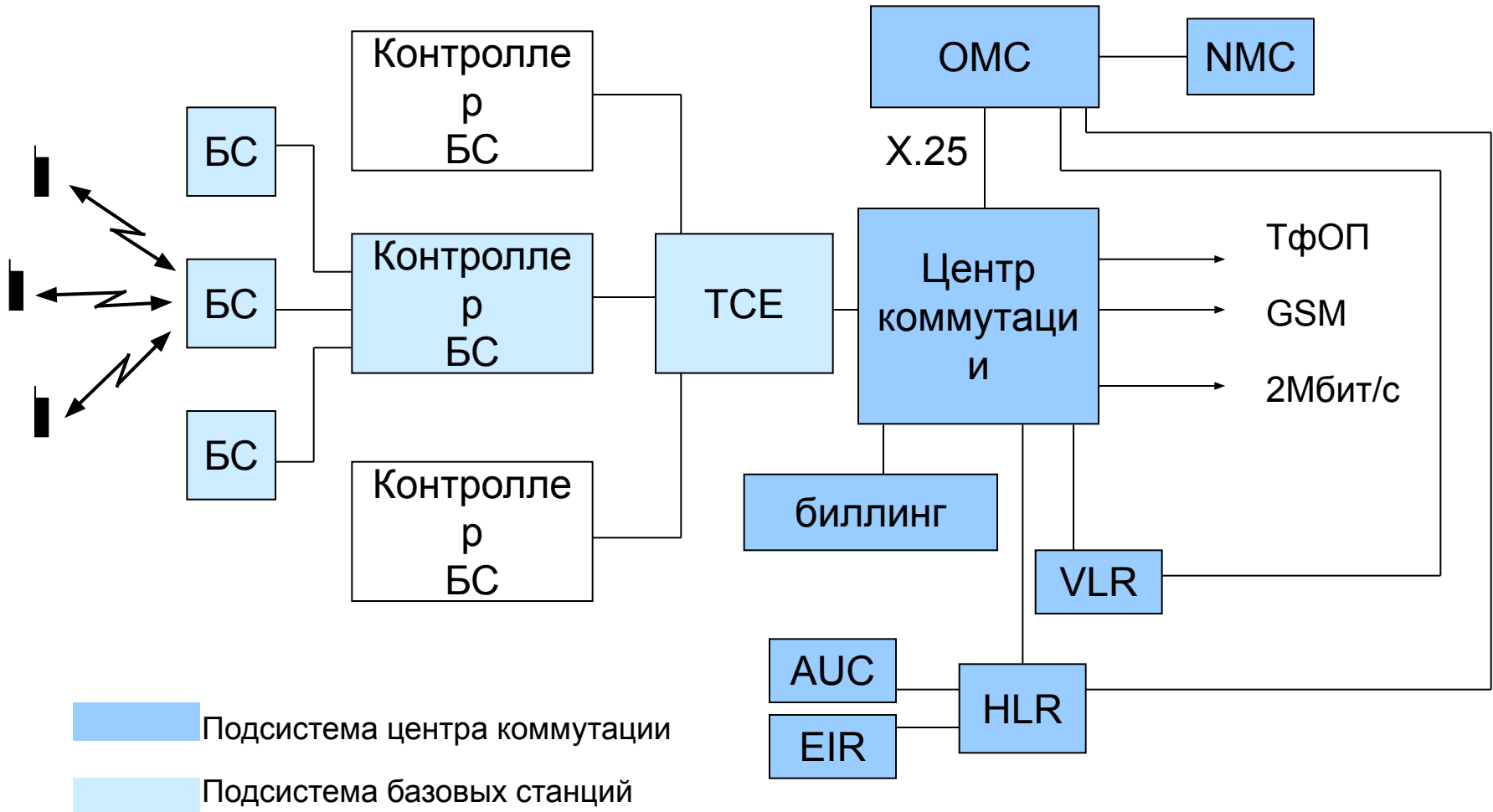
- **GPRS** (General Packet Radio Service): позволяет пользователю производить обмен данными с другими устройствами в сети GSM и с внешними сетями.
 - **Идея:** информация собирается в пакеты и передаётся через неиспользуемые в данный момент голосовые каналы. Скорость зависит от загрузки сети голосовым трафиком. Теоретический максимум скорости в GPRS составляет 171,2 Кбит/с
- **EDGE (Enhanced Data-Rates For GSM Evolution)** – это логическое продолжение GPRS, обеспечивающее большую пропускную способность канала и более высокую скорость передачи данных – до 236,8 Кбит/сек

- **EDGO** (Enhanced Data rates for Global Evolution): относится как к 2G, так и к 3G в зависимости от реализации и скорости:
 - ECSD - ускоренный доступ в Интернет по каналу CSD (Circuit Switched Data – канал GSM, один временной интервал поддерживает скорость канала 9.6 кбит/с)
 - EHSCSD - по каналу HSCSD (High-Speed Circuit-Switched Data – скорость канала до 14.4 кбит/с)
 - EGPRS - по каналу GPRS
- **Идея:** использует метод модуляции 8PSK, позволяющий увеличить скорость до 48 кбит/с на слот.

Схема использования услуг на базе GPRS



Структурная схема сети GSM



- **Центр коммутации** обслуживает группу сот и является интерфейсом между сотовой сетью и другими сетями (как сотовыми, так и ТфОП и проч.). Обеспечивает маршрутизацию и управление вызовами. Контролирует эстафетную передачу при передвижении абонента из соты в соту. Сигнализация ОКС№7, связь между регистрами посредством X.25, базовые станции соединены между собой транспортными сетями (SDH или ATM).
- **БС** – базовая станция. Подсистема БС регистрация местоположения и передача управления.
- **Контроллер БС** – передача вызовов в сотах для БС его зоны. Вызовы на другие БС идут через центр коммутации.
- **ТСЕ** – транскодер, обеспечивает преобразование речевого сигнала 64 кбит/с в 13 кбит/с (речевой шлюз).

- **ОМС** – центр эксплуатации и технического обслуживания, обеспечивает:
 - Контроль и управление сетью
 - Оценку качества работы сети
- **NMC** – центр управления сетью на сетевом уровне, обеспечивает:
 - Эксплуатацию и техническое обслуживание (через ОМС)
 - Управление трафиком
 - Сигнализацию (ОКС№7)
 - Диспетчер при аварийных ситуациях
- **HLR** – регистр положения. Хранит данные об абонентах (IMSI и абонентский номер). Использует распределенную структуру хранения информации. Функции:
 - Оpozнание IMSI и аб.N
 - Проверка параметров подлинности
 - Контроль за составом услуг связи
 - Роуминг
 - Таблица маршрутизации

- **VLR** – регистр перемещения. Обеспечивает контроль за перемещением абонента. Содержит информацию о контроллере БС, в зоне действия которой находится абонент. Содержит данные об абоненте из HLR на время пребывания абонента в данной зоне.
- **EIR** – регистр идентификации оборудования. Содержит списки идентификаторов аппаратов (IMEI, хранится в аппарате, отправляется в сеть вместе с SRES). Позволяет отслеживать несанкционированное использование аппаратов с сети
- **AUC** – центр аутентификации. Содержит IMSI, обеспечивает работу механизмов аутентификации абонента.
 - Формирует ключи и алгоритмы аутентификации
 - Проверяет полномочия абонента
 - Осуществляет доступ к сети связи

Аутентификация абонента

- Для каждого абонента формируются:
 - IMSI: идентификатор в данной сети
 - K_i : ключ аутентификации
 - A_i : алгоритм аутентификации

Эти данные записываются и хранятся на SIM!

- Процедура проверки:
 - Сеть передает случайный параметр RAND.
 - При получении RAND аппарат абонента производит процедуру вычисления: $SRES = K_i \square [RAND]$, где \square - оператор аутентификации алгоритма A_i .
 - БС также производит процедуру вычисления SRES согласно параметрам, хранящимся в AUC.
 - Аппарат абонента отсылает в сеть значение SRES.
 - Сеть сравнивает значение SRES полученное от абонента и вычисленное на станции. При совпадении значений абонент подключается к сети.

Сети 3G

- CDMA – множественный доступ с кодовым разделением каналов (Code-Division Multiple Access).
- Поддерживает широкий ряд технологий
- Три вида кодового разделения каналов: методом прямой последовательности (DS), частотных скачков (FH), временных скачков (TH). Основным стал DS.
- Обеспечивает высокую помехоустойчивость, качество связи и скрытность информации за счет особенностей алгоритмов.

Принцип кодового разделения каналов методом DS

- Логические каналы формируются за счет расширения спектра сигнала последовательностями Уолша:
 - каждая из последовательностей представляет собой строку матрицы Адамара
 - все строки матрицы и их инверсия ортогональны

$$A_{2n} = \begin{bmatrix} A_n & A_n \\ A_n & -A_n \end{bmatrix}$$

Пример формирования последовательностей Уолша

Матрица Адамара 1го порядка $A_1 = [1]$

Матрица Адамара 2го порядка $A_2 = \begin{bmatrix} 1 & 1 \\ 1 & -1 \end{bmatrix}$

Матрица Адамара 4го порядка $A_4 = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & -1 & 1 & -1 \\ 1 & 1 & -1 & -1 \\ 1 & -1 & -1 & 1 \end{bmatrix}$

Последовательности Уолша:

- Канал1: 1,1,1,1
- Канал2: 1,0,1,0
- Канал3: 1,1,0,0
- Канал4: 1,0,0,1

Алгоритм передачи в нисходящем канале (от абонента)

- Защитное сверточное кодирование (на вход подаются данные со скоростью до 9.6 кбит/с).
- Повторитель (повторение до 8 раз в зависимости от условий связи).
- Перемежение (защита от групповых ошибок)
- Маска длинного кода (или идентификатор мобильной станции: 42-разрядное число).
- Модуляция последовательностями Уолша (каждый бит перемножается на 64-разрядную последовательность).
- QPSK-модулятор (фазовая модуляция может быть 4х или 8ми позиционной).

Развитие стандартов 3G

- CDMA – семейство стандартов с 1995 г. Развитие получил IS-95 (cdmaOne):
 - скорость до 14,4 кбит/с,
 - 64 канала
 - радиус соты до 20 км
 - Поддержка базовой станцией до 45 фиксированных и до 25 подвижных абонентов.
- Подразумевает эволюционный путь развития
 - технологии cdma2000, EV-DO, WCDMA (основная идея та же самая).

WCDMA (UMTS)

- Поддержка разноса каналов: частотный FDD WCDMA и временной TDD WCDMA.
- для FDD WCDMA
 - Работа как в синхронном, так и асинхронном режиме
 - Поддержка скорости до 2 Мбит/с для малоподвижных абонентов и до 384 кбит/с для подвижных
 - Частотный диапазон 5 МГц

- для TDD WCDMA

- Совмещает временное разделение дуплексных каналов, временное мультиплексирование каналов и кодовое мультиплексирование каналов.
- Интегрируется с GSM (поддержка протоколов верхних уровней и сигнализации)
- Поддерживает скорости до 2 Мбит/с
- Радиус соты до 40 км
- Скорость движения абонента до 120 км/ч.

Перспективы сотовой связи (1)

Сети, подобные тем, которые используют стандарт GSM, относятся ко второму поколению систем мобильной связи – 2G. Разработанная ETSI идеология UMTS (Universal Mobile Telecommunications System) определяет набор стандартов для универсальной системы мобильной связи. Она относится к поколению 3G. Концепция UMTS создавалась для поддержки мультимедийных услуг. Для нее выделен частотный диапазон 2 ГГц. Сети 3G уже введены рядом европейских Операторов в коммерческую эксплуатацию.

Ряд специалистов считает, что более перспективно направление, связанное с поколениями 4G и 5G.

Соответствующие сети позволяют довести скорость обмена информацией до 100 Мбит/с. Предполагается, что сети 4G могут быть введены в коммерческую эксплуатацию уже в 2010 году. Существенно то, что поколения 4G и 5G ориентированы на сеть следующего поколения, что очень важно с точки зрения максимальной интеграции фиксированной и мобильной связи.