Тема № 2
Мобильная телефонная система

#стримеры_стримят

Учебные вопросы

1. Аналоговая голосовая связь.
2. Цифровая голосовая связь.
3. Цифровая голосовая связь и обмен данными (Интернет, электронная почта и т. д.).

Аналоговая голосовая связь

Мобильные телефоны используются в широкой области передачи голоса и данных. На данный момент существует уже три разных поколения **мобильных (сотовых) телефонов.** Эти поколения называют **1G**, **2G** и **3G**.

(Мобильные телефоны не следует путать с беспроводными телефонами, состоящими из базовой станции и одной или нескольких переносных трубок. Они предназначены для использования внутри жилья или в непосредственной близости от него. Их никогда не объединяют в сети, поэтому в дальнейшем мы их рассматривать не будем.)

Первая мобильная система была предложена американской компанией AT&T, которая, с согласия комиссии FCC, установила мобильную связь на всей территории Соединенных Штатов. В результате целая страна обрела единую (аналоговую) систему связи, и мобильный телефон, купленный, например, в Калифорнии, успешно работал Нью-Йорке.

Данная сеть обладала рядом недостатков, так, в США не различаются номера мобильных и стационарных телефонов. Поэтому нет никакой возможности узнать, набирая номер, например, (212) 234-5678, попадете вы на городской телефон (дешевый или вообще бесплатный звонок) или на сотовый (дорогой звонок).

Фактор, оказавший большое влияние на популярность мобильных систем, — это широкое распространение телефонов с предоплатой разговоров (до 75 % в некоторых регионах). Если мобильный телефон используется лишь эпизодически, то это обходится практически бесплатно, поскольку почти всегда можно найти тариф, на котором отсутствует абонентская плата или плата за входящие звонки.

Мобильные телефоны первого поколения: аналоговая передача речи

В 1946 году в Сент-Луи была установлена первая система автомобильных телефонов. Она имела один большой передатчик, расположенный на крыше высокого здания, и единственный канал приема и передачи данных.

Чтобы начать разговор, нужно было нажать на кнопку, которая включала передатчик и отключала приемник. Такие системы, известные как **тангентные**, существовали в некоторых городах в конце 50-х годов. CB-радио, системы, используемые в такси и полицейских машинах, часто используют эту же технологию.

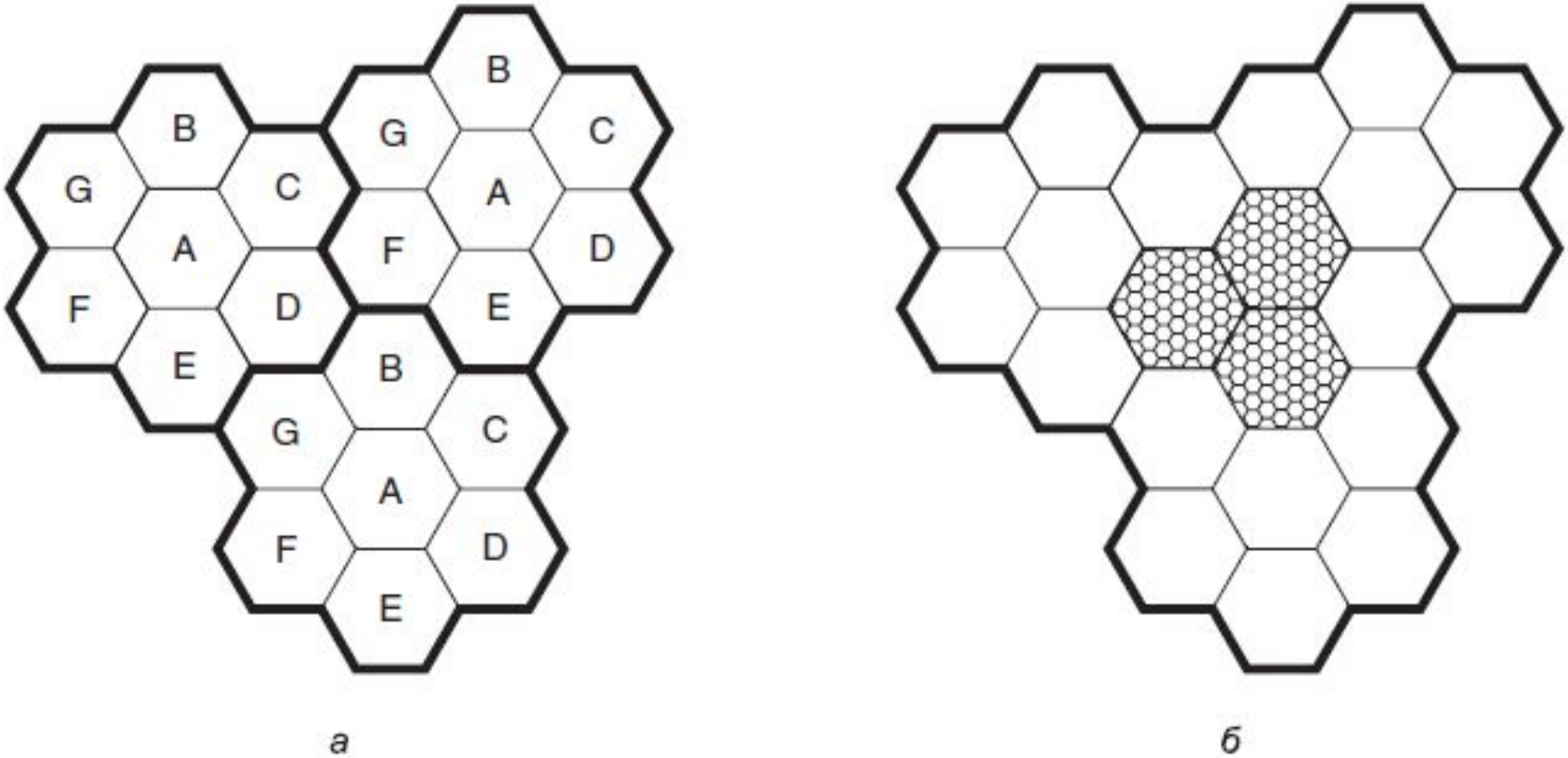
В 1960-х годах появилась **усовершенствованная система мобильной телефонной связи** (**IMTS**, **Improved Mobile Telephone System**). Она уже имела два частотных канала: один для отправки, другой — для приема данных. Благодаря разделению входящих и исходящих каналов пользователи мобильных телефонов не могли слышать чужие разговоры

Все изменилось с появлением системы **усовершенствованной мобильной телефонной связи** (**AMPS**, **Advanced Mobile Phone System**), установленной в США в 1982 году.

Справочно. данная система перестала использоваться в 2008 году.

Все изменилось с появлением системы **усовершенствованной мобильной телефонной связи** (**AMPS**, **Advanced Mobile Phone System**), установленной в США в 1982 году.

Справочно. данная система перестала использоваться в 2008 году.



В соседних сотах используются различные частоты (*а*); чтобы увеличить количество пользователей, можно использовать соты меньшего размера (*б*)

На рис. «А» все соты одного размера и объединены в группы. Каждая буква соответствует определенному набору частот. Между ячейками с одинаковыми наборами частот располагается область примерно в две ячейки шириной, в котором данные частоты не используются это обеспечивает хорошее разделение сигналов одинаковых частот.

Если в каком-нибудь регионе количество пользователей вырастает настолько, что система переполняется, то мощность передатчиков уменьшается, а переполненные соты разбиваются на соты меньшего размера (**микросоты**), как показано на рис. «*Б*».

Телефонные компании иногда создают временные микросоты, используя переносные вышки со спутниковой связью во время больших спортивных соревнований, концертов и в других местах, где большое количество пользователей сотовой связи оказывается сконцентрировано в течение нескольких часов.

В центре каждой ячейки располагается базовая станция (БС), с которой связываются все телефоны, находящиеся в ее зоне действия. Базовая станция состоит из компьютера и приемника/передатчика, соединенного с антенной.

В небольших системах все базовые станции соединены с одним устройством, называемым **MTSO** (**Mobile Telephone Switching Office — коммутатор мобильных телефонов**) или **MSC** (**Mobile Switching Center — мобильный коммутационный центр**).

В каждый момент времени мобильный телефон логически находится в зоне действия одной ячейки и управляется базовой станцией этой ячейки. Когда телефон физически покидает ячейку, его базовая станция замечает ослабление сигнала и опрашивает все окружающие станции, насколько хорошо они слышат сигнал этого телефона.

Затем базовая станция передает управление данным телефоном ячейке, получающей от него наиболее сильный сигнал, таким образом определяя ячейку, в которую переместился мобильный телефон. После этого телефон информируется о переходе в ведение новой БС.

Подобный процесс называется **передачей** (**handoff**) и занимает около 300 мс. Назначение канала осуществляет коммутатор мобильных теле-фонов, являющийся центральным нервом системы. Базовые станции представляют собой всего лишь радиоретрансляторы.

Типы каналов, используемые в сетях 1G:

- управляющие каналы (от базовой станции к мобильному телефону) для управления системой.

- пейджинговые каналы (от базовой станции к мобильному телефону) для передачи сообщений мобильным пользователям.

- каналы доступа (двунаправленные) для установления соединения и назначения каналов;

- каналы данных (двунаправленные) для передачи голоса, факса или данных.

Когда базовая станция «слышит» этот сигнал, она передает сообщение коммутатору мобильного центра, который фиксирует появление нового пользователя, а также ин-формирует «домашний» коммутатор абонента о его новом местоположении. Обычно мобильный телефон регистрируется примерно каждые 15 минут.

Чтобы позвонить с мобильного телефона, его владелец включает телефон, вводит номер и нажимает клавишу SEND. При этом телефон посылает набранный телефонный номер вместе со своими идентификаторами по каналу доступа. Если при этом происходит коллизия, то телефон повторяет попытку позже.

Коммутатор ищет для него свободный канал. Если такой канал находится, то номер этого канала посылается обратно по управляющему каналу. Затем мобильный телефон автоматически переключается на выбранный голосовой канал и ждет, пока тот, кому звонят, ответит.

Входящие звонки обрабатываются иначе. Находящиеся в режиме ожидания телефоны постоянно прослушивают пейджинговый канал, ожидая адресованных им сообщений. Когда поступает звонок на мобильный телефон, то пакет посылается на «домашний» коммутатор вызываемого, которому должно быть известно текущее местонахождение абонента.

Этот пакет пересылается на базовую станцию в его текущей ячейке, которая посылает по пейджинговому каналу сообщение типа: «Элемент 14, вы здесь?» При этом телефон, которому звонят, по управляющему каналу отвечает: «Да». Тогда базовая станция ему сообщает: «Элемент 14, вам звонок по каналу 3». После этого сотовый телефон переключается на канал 3.

Второе поколение мобильных телефонов: цифровая передача голоса (G2)

Первое поколение сотовых телефонных систем было аналоговым. Второе поколение является цифровым.

Было разработано несколько различных систем, три из которых были широко распространены.

D-AMPS (**Digital Advanced Mobile Phone System** — **цифровая усовершенство-ванная система мобильного телефона**) является цифровой версией AMPS.

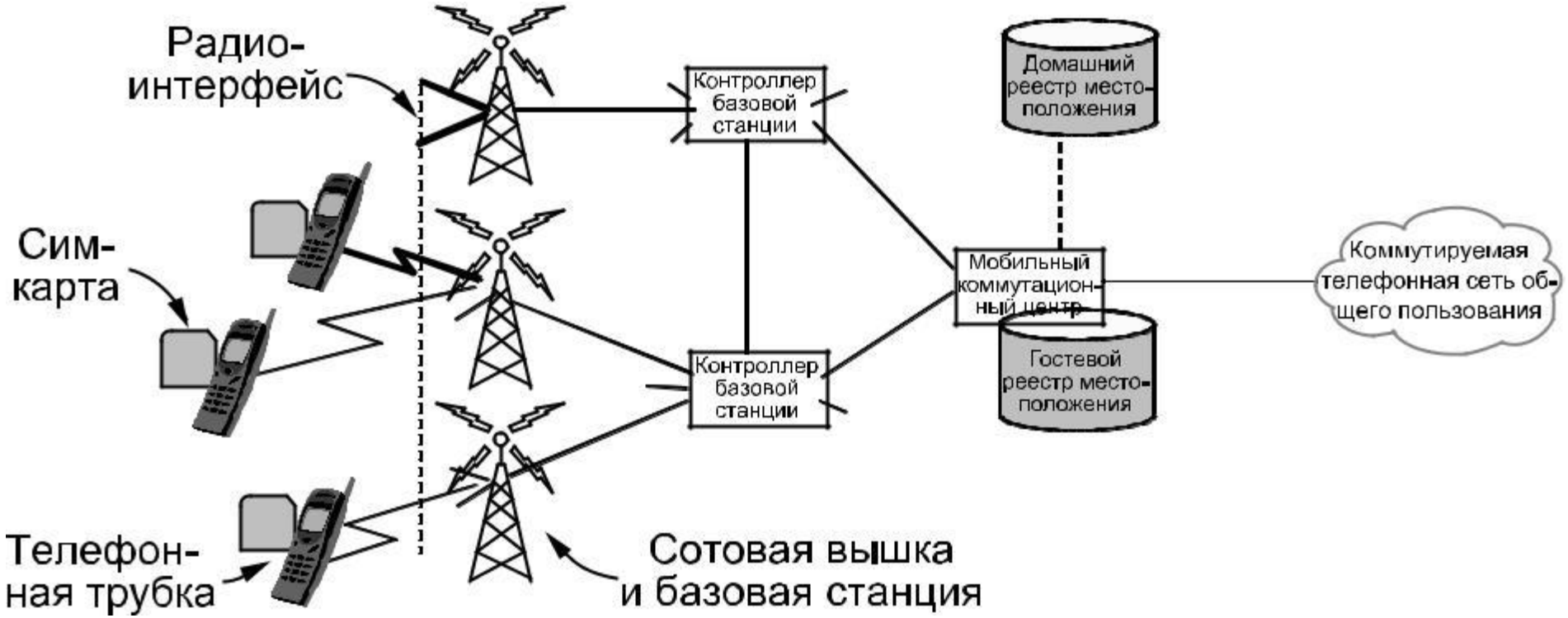
Она представлена в Международном стандарте IS-54 и следующем за ним IS-136

GSM (**Global System for Mobile communications — глобальная система для мобильной связи**,) стала доминирующей системой, используется фактически всюду в мире

GSM появилась в 1980-х годах как попытка создать единственный европейский стандарт второго поколения. Задача была возложена на телекоммуникационную компанию, название которой на французском языке **Groupe Specialé Mobile**. Первые системы GSM были развернуты начиная с 1991 года и имели быстрый успех.

GSM и другие системы мобильной связи, которые мы изучим, сохраняют от систем первого поколения конструкцию, основанную на сотах, повторном использовании частоты в сотах и мобильности передач при перемещении пользователей.

Рассмотрим лишь основные свойства GSM.



Архитектура мобильной сети GSM

Мобильный телефон теперь разделен на телефонную трубку и сменный чип с информацией об учетной записи и абоненте, названной **Сим-картой** (**SIM card**, что является сокращением для **Subscriber Identity Module — модуль идентичности абонента**).

Мобильные телефоны связываются с сотовыми базовыми станциям по **радиоинтерфейсу**. Каждая базовая станция соты соединена с **BSC** (**Base Station Controller — Контроллер базовой станции**), который управляет радиоресурсами сот и обрабатывает передачу.

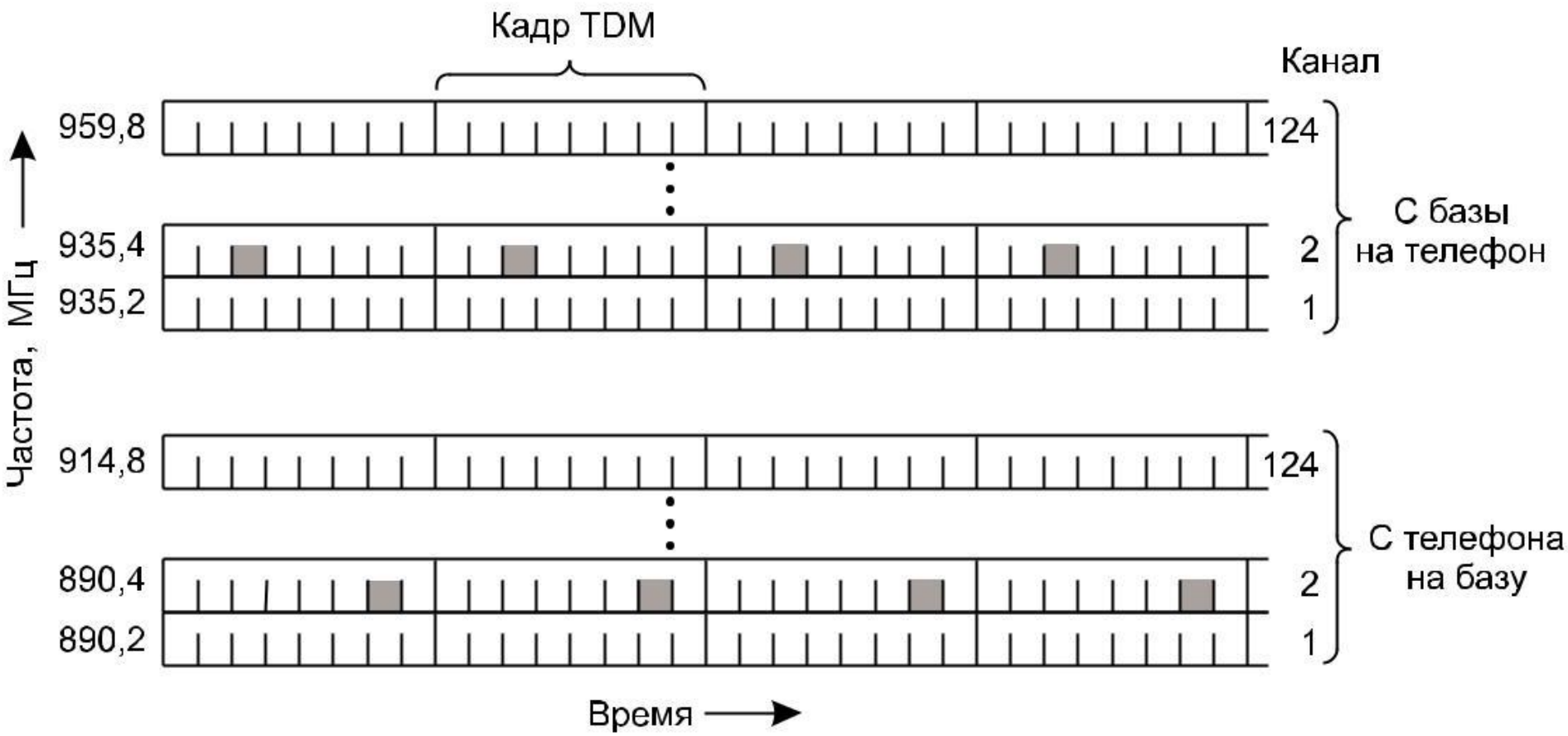
Контроллер базовой станции, в свою очередь, соединен с мобильным коммутационным центром (как в AMPS), который направляет звонки и соединяется с **PSTN** (**Public Switched Telephone Network — коммутируемая телефонная сеть общего пользования**).

Чтобы направлять звонки, мобильный коммутационный центр должен знать, где мобильные телефоны в настоящее время находятся. Он поддерживает базу данных находящихся вблизи него мобильных телефонов, связанных с сотами, которыми управляет центр. Эту базу данных называют **VLR** (**Visitor Location Register — гостевой реестр местоположения**).

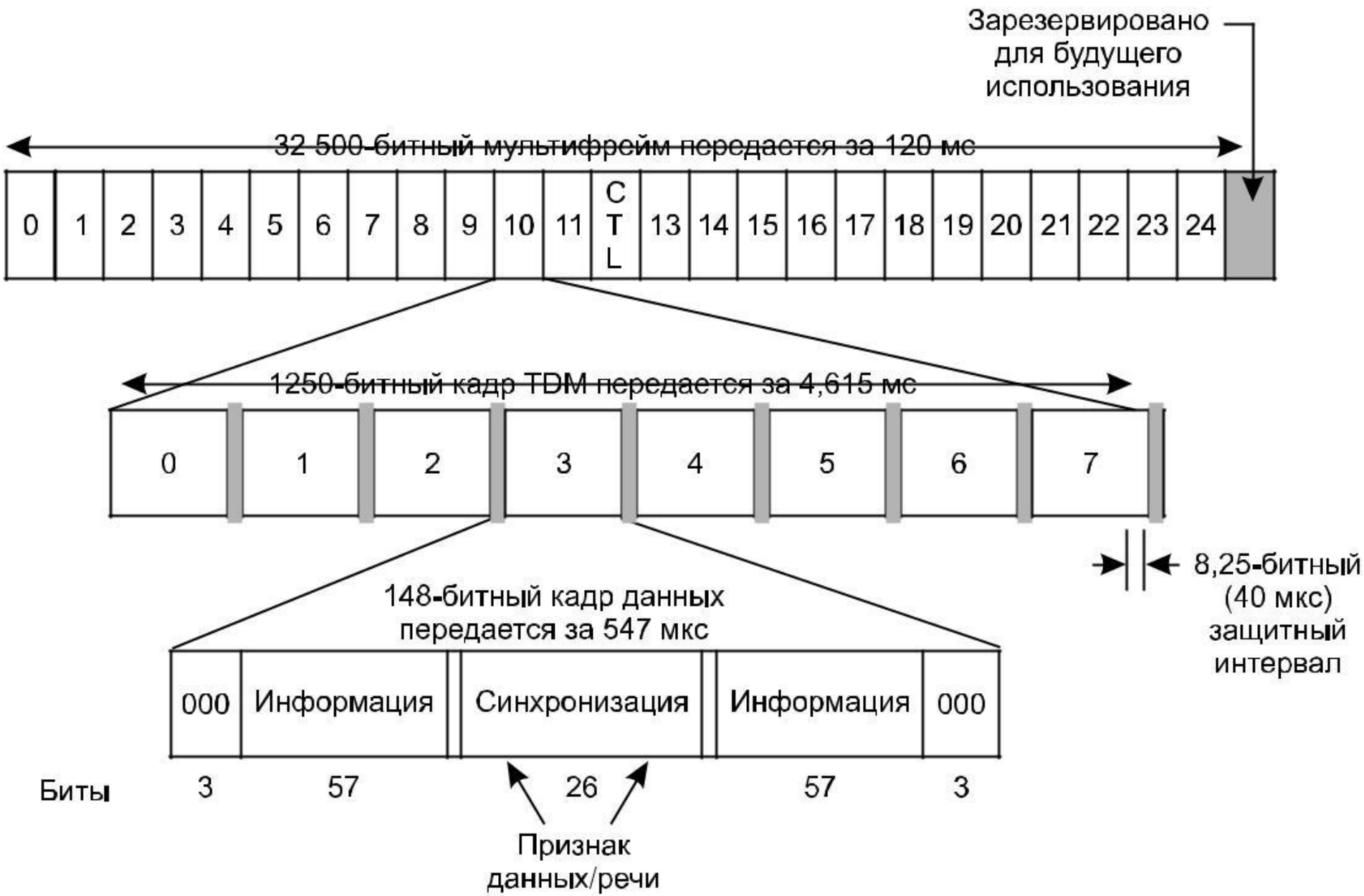
Есть также база данных в мобильной сети, которая дает последнее известное местоположение каждого мобильного телефона. Она называется **HLR** (**Home Location Register** — **домашний реестр местоположения**). Эта база данных используется, чтобы направить входящие вызовы к правильным место-положениям.

Обе базы данных должны постоянно обновляться, поскольку мобильные телефоны перемещаются из соты в соту!

Опишем радиоинтерфейс подробнее. GSM работает в одном диапазоне частот во всем мире, включая 900, 1800 и 1900 МГц. GSM, как и AMPS, — сотовая система с дуплексом путем разделения частот (каждый мобильный телефон передает на одной частоте и получает на другой, более высокой частоте)



Канал поддерживает 8 отдельных соединений при помощи временного уплотнения



Часть иерархической структуры кадров GSM

Некоторые интервалы нужны для управляющих каналов. **Широковещательный управляющий канал** представляет собой непрерывный поток, исходящий от базовой станции, в котором содержится ее идентификационная информация и статус канала. Все мобильные устройства производят мониторинг мощности сигнала, по которому они определяют моменты перехода в ведение новой соты.

Выделенный управляющий канал используется для поиска мобильного телефона, обновления информации о нем, регистрации и установки соединения. В частности, каждая БС содержит базу данных телефонов, находящихся в текущий момент под ее управлением. Информация, необходимая для обновления этой базы, передается по выделенному управляющему каналу.

Наконец, есть еще **общий управляющий канал**, разделяемый на три логических подканала. Первый из них — **пейджинговый канал**, с помощью которого базовая станция сообщает о входящих звонках. Каждый мобильный телефон постоянно прослушивает его в ожидании звонка, на который он должен ответить.

Второй — **канал случайного доступа**, позволяющий пользователям запросить интервал в выделенном управляющем канале.

Если два запроса сталкиваются (коллизия), они искажаются и им приходится впоследствии осуществлять повторные попытки. Используя выделенный управляющий канал, мобильный телефон может инициировать исходящий звонок. Присвоенный интервал объявляется при помощи третьего подканала — **канала предоставления доступа**.

Мобильные телефоны третьего поколения: цифровая речь и данные

Еще в 1992 году международный союз телекоммуникаций, ITU, сделал попытку конкретизировать и реализовать эти мечты и выпустил проект под названием **IMT-2000**, где IMT означало «**Международная мобильная связь**» (**International Mobile Telecommunications**).

Вот основные сервисы, для предоставления которых задумывалась сеть IMT-2000.

1. Высококачественная передача речи.
2. Обмен сообщениями (e-mail, SMS, чат и т. д.).
3. Мультимедиа (проигрывание музыки, видео, фильмов, телевидения и т. д.).
4. Доступ в Интернет (включая просмотр страниц с аудио- и видеоинформацией).

Номер 2000 обозначал три вещи:

1. Год, когда это, как предполагалось, будет работать.
2. Частота, на которой это, как предполагалось, будет работать (в МГц).
3. Пропускная способность, которую сервис должен иметь (в Кбит/с).

Было выдвинуто несколько технических предложений, впоследствии некоторые отсеялись и остались две основные технологии. Первая из них называется **WCDMA — широкополосный CDMA** (**Wideband CDMA**), была предложена фирмой Ericsson и продвинута Европейским союзом, который назвал ее **UMTS** (**Universal Mobile Telecommunications System — универсальная система мобильной связи**).

Вторым претендентом стала система **CDMA2000**, предложенная Qualcomm.

Мы ограничим наше обсуждение использованием CDMA в сотовых связях. В CDMA не происходит ни временного, ни частотного разделения каналов, но осуществляется соединение, при котором каждый пользователь работает на том же диапазоне частот в то же самое время.

CDMA (**Code Division Multiple Access**, **множественный доступ с кодовым разделением**).

CDMA каждый битовый интервал разбивается на *m* коротких периодов, называемых **элементарными сигналами**, или **чипами** (**chip**).

Каждая станция имеет собственную уникальную элементарную последовательность. Обозначим символом S вектор длины m для станции S, а символом $\bar{S}$— дополнение S.

Все элементарные последовательности попарно **ортогональны**. Мы имеем в виду, что нормированное скалярное произведение двух различных элементарных последовательностей *S* и *T* равно 0.

Справочно. Генерировать такие последовательности можно с помощью метода, известного как ***коды Уолша***

Используя математическую запись, можно выразить вышесказанное таким образом:

$$S \bullet T \equiv \frac{1}{m} \sum_{i=1}^{m} S_i T_i = 0.$$

Обратите внимание: если $S \bullet T = 0$, то и $S \bullet \bar{T}$ также равно 0. Нормированное скалярное произведение любой элементарной последовательности на саму себя равно 1

$$S \bullet S = \frac{1}{m}\sum_{i=1}^{m} S_i S_i = \frac{1}{m}\sum_{i=1}^{m} S_i^2 = \frac{1}{m}\sum_{i=1}^{m} (\pm 1)^2 = 1.$$

Учитывается, что значения элементарной последовательности могут принимать значения –1 или +1

В течение каждого битового интервала станция может либо передавать 1, посылая свою элементарную последовательность, либо передавать 0, посылая дополнение к последовательности, либо может молчать и ничего не передавать. Предположим, что все станции синхронизировались во времени, то есть все последовательности начали передаваться в один и тот же момент.

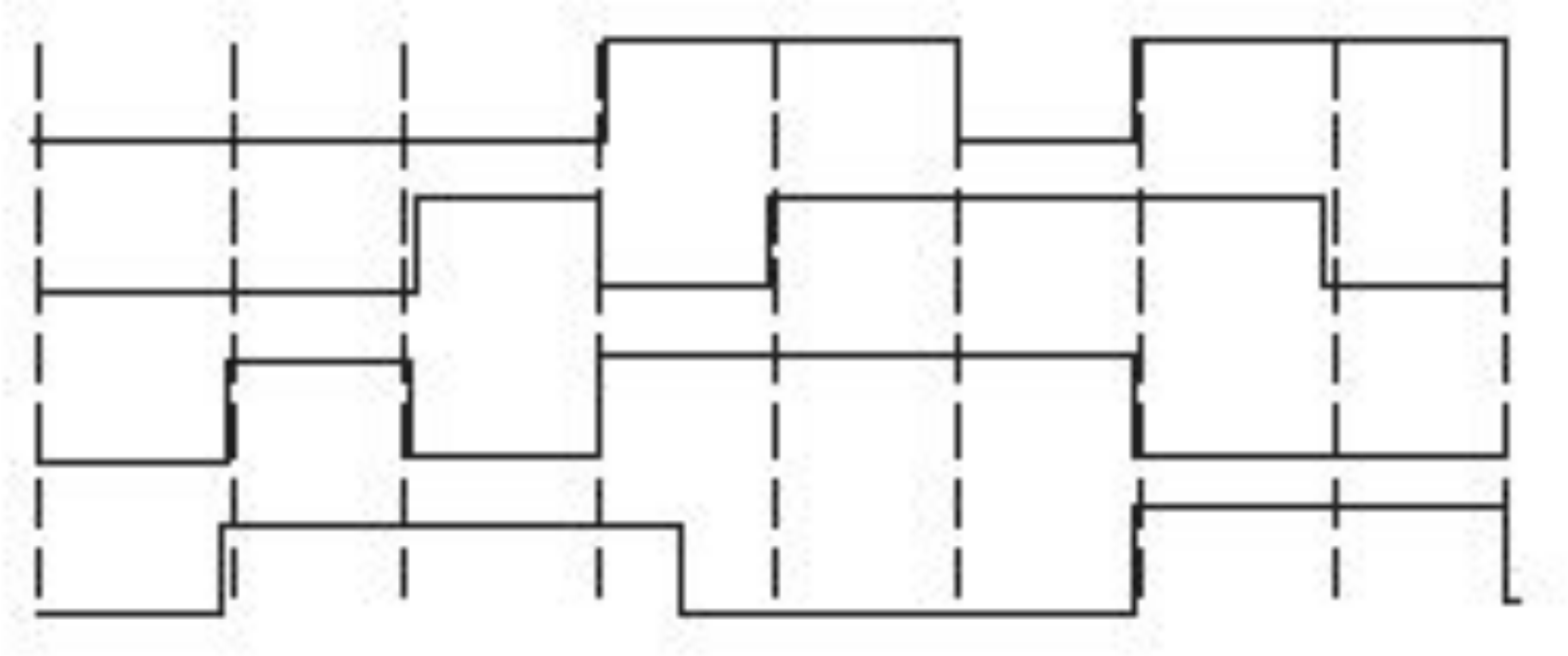
$$A = (-1\ -1\ -1\ +1\ +1\ -1\ +1\ +1)$$

$$B = (-1\ -1\ +1\ -1\ +1\ +1\ +1\ -1)$$

$$C = (-1\ +1\ -1\ +1\ +1\ +1\ -1\ -1)$$

$$D = (-1\ +1\ -1\ -1\ -1\ -1\ +1\ -1)$$

Двоичные элементарные последовательности для четырех станций



Биполярные элементарные двоичные последовательности

$$
\begin{aligned}
S_1 &= C &&= (-1\ +1\ -1\ +1\ +1\ +1\ -1\ -1)\\
S_2 &= B+C &&= (-2\ \ 0\ \ 0\ \ 0\ +2\ +2\ \ 0\ -2)\\
S_3 &= A+\overline{B} &&= (\ 0\ \ 0\ -2\ +2\ \ 0\ -2\ \ 0\ +2)\\
S_4 &= A+\overline{B}+C &&= (-1\ +1\ -3\ +3\ +1\ -1\ -1\ +1)\\
S_5 &= A+B+C+D &&= (-4\ \ 0\ -2\ \ 0\ +2\ \ 0\ +2\ -2)\\
S_6 &= A+B+\overline{C}+D &&= (-2\ -2\ \ 0\ -2\ \ 0\ -2\ +4\ \ 0)
\end{aligned}
$$

Шесть примеров передачи

$$S_1 \bullet C = [1+1-1+1+1+1-1-1]/8 = 1$$
$$S_2 \bullet C = [2+0+0+0+2+2+0+2]/8 = 1$$
$$S_3 \bullet C = [0+0+2+2+0-2+0-2]/8 = 0$$
$$S_4 \bullet C = [1+1+3+3+1-1+1-1]/8 = 1$$
$$S_5 \bullet C = [4+0+2+0+2+0-2+2]/8 = 1$$
$$S_6 \bullet C = [2-2+0-2+0-2-4+0]/8 = -1$$

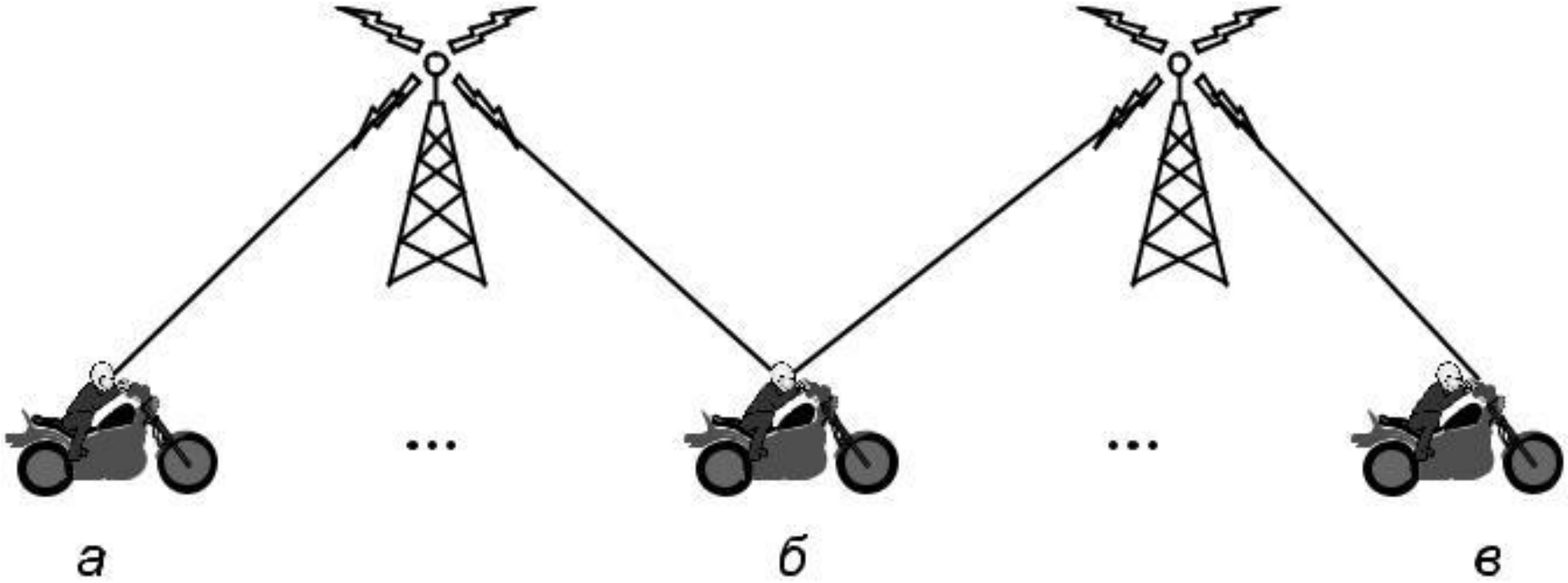
Восстановление сигнала станции С

При CDMA каждая сота использует одни и те же частоты. В отличие от GSM и AMPS. Это устраняет сложные задачи планирования частоты и улучшает пропускную способность. Это также облегчает для базовой станции использование разнонаправленных антенн, или **секторные антенны**, вместо всенаправленной антенны.

CDMA может улучшить пропускную способность, используя в своих интересах маленькие периоды, когда некоторые передатчики молчат. В вежливых голосовых вызовах одна сторона молчит в то время, когда другая говорит.

В-третьих, CDMA облегчает **мягкую передачу** (**soft handoff**), при которой мобильный телефон обнаруживается новой базовой станцией раньше, чем отключится предыдущая. Таким образом, нет никакой потери непрерывности.

Альтернатива — **жесткая передача** (**hard handoff**), при которой предыдущая базовая станция обрывает вызов до того, как его возьмет новая. Если новая станция неспособна принять вызов (например, потому что нет доступной частоты), вызов обрывается.



Мягкая передача:

«*а*» — перед;

«*б*» — во время

«*в*» — после

В настоящее время ведутся работы над системами четвертого поколения под названием **LTE** (**Long Term Evolution**). Некоторые из предложенных особенностей 4G: высокая пропускная способность; вездесущность; плавная интеграция с другими проводными и беспроводными IP-сетями, включая точки доступа 802.11; высокое качество сервиса для мультимедиа