

Сети GSM. Взгляд изнутри.

Немного истории

На заре развития мобильной связи (а было это не так давно - в начале восьмидесятых) Европа покрывалась аналоговыми сетями самых разных стандартов - Скандинавия развивала свои системы, Великобритания свои... Сейчас уже сложно сказать, кто был инициатором последовавшей очень скоро революции - "верхи" в виде производителей оборудования, вынужденные разрабатывать для каждой сети собственные устройства, или "низы" в качестве пользователей, недовольные ограниченной зоной действия своего телефона. Так или иначе, в 1982 году Европейской Комиссией по Телекоммуникациям (CEPT) была создана специальная группа для разработки принципиально новой, общеевропейской системы мобильной связи. Основными требованиями, предъявляемыми к новому стандарту, были: эффективное использование частотного спектра, возможность автоматического роуминга, повышенное качество речи и защиты от несанкционированного доступа по сравнению с предшествующими технологиями, а также, очевидно, совместимость с другими существующими системами связи (в том числе проводными) и тому подобное.

Плодом упорного труда многих людей из разных стран (честно говоря, мне даже страшно представить себе объем проделанной ими работы!) стала представленная в 1990 году спецификация общеевропейской сети мобильной связи, названная **Global System for Mobile Communications** или просто GSM. А дальше все замелькало, как в калейдоскопе - первый оператор GSM принял абонентов в 1991 году, к началу 1994 года сети, основанные на рассматриваемом стандарте, имели уже 1.3 миллиона подписчиков, а к концу 1995 их число увеличилось до 10 миллионов! Воистину, "GSM шагает по планете" - в настоящее время телефоны этого стандарта имеют около 200 миллионов человек, а GSM-сети можно найти по всему миру.

Давайте же попробуем разобраться, как организованы и на каких принципах функционируют сети GSM. Сразу скажу, что задача предстоит не из легких, однако, поверьте - в результате мы получим истинное наслаждение от красоты технических решений, используемых в этой системе связи.

За рамками рассмотрения останутся два очень важных вопроса: системы шифрования и защиты передаваемой речи (это настолько специфичная и обширная тема, что, возможно, в будущем ей будет посвящен отдельный материал). С частотно-временным разделением каналов можно ознакомиться ниже.

Основные части системы GSM, их назначение и взаимодействие друг с другом.

Начнем с самого сложного и, пожалуй, скучного - рассмотрения блок-схемы сети. При описании будем придерживаться принятых во всем мире англоязычных сокращений, конечно, давая при этом их русскую трактовку.

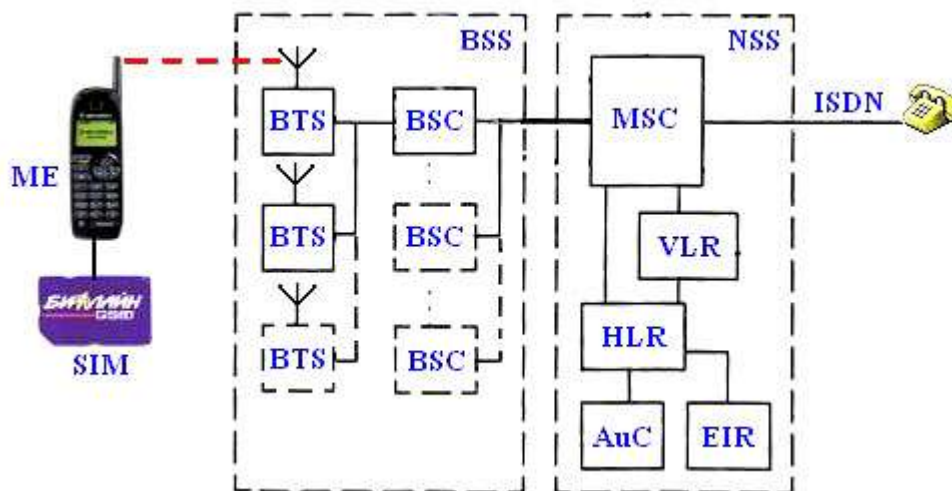


Рис.1 Упрощенная архитектура сети GSM.

На рис. 1 представлена структурная схема сети GSM. Самая простая ее часть - переносной телефон, состоит из двух частей: собственно "трубки" - **ME** (Mobile Equipment - мобильное устройство) и смарт-карты **SIM** (Subscriber Identity Module - модуль идентификации абонента), получаемой при заключении контракта с оператором. Как любой автомобиль снабжен уникальным номером кузова, так и сотовый телефон имеет собственный номер - **IMEI** (International Mobile Equipment Identity - международный идентификатор мобильного устройства), который может передаваться сети по ее запросу (более подробно про **IMEI** можно узнать <http://www.ixbt.com/mobile/howtoch-gsm1.html>). **SIM**, в свою очередь, содержит так называемый **IMSI** (International Mobile Subscriber Identity - международный идентификационный номер подписчика). Думаю, разница между **IMEI** и **IMSI** ясна - **IMEI** соответствует конкретному телефону, а **IMSI** - определенному абоненту.

"Центральной нервной системой" сети является **NSS** (Network and Switching Subsystem - подсистема сети и коммутации), а компонент, выполняющей функции "мозга" называется **MSC** (Mobile services Switching Center - центр коммутации). **MSC** или коммутатор в сети может быть и не один. **MSC** занимается маршрутизацией вызовов, формированием данных для биллинговой системы, управляет многими процедурами - проще сказать, что НЕ входит в обязанности коммутатора, чем перечислять все его функции.

Следующими по важности компонентами сети, также входящими в **NSS**, являются **HLR** (Home Location Register - реестр собственных абонентов) и **VLR** (Visitor Location Register - реестр перемещений). **HLR** представляет собой базу данных обо всех абонентах, заключивших с рассматриваемой сетью контракт. В ней хранится информация о номерах пользователей (под номерами подразумеваются, во-первых, упоминавшийся выше **IMSI**, а во-вторых, так называемый **MSISDN**-Mobile Subscriber ISDN, т.е. телефонный номер в его обычном понимании), перечень доступных услуг и многое другое - далее по тексту часто будут описываться параметры, находящиеся в **HLR**.

В отличие от **HLR**, который в системе один, **VLR**’ов может быть несколько - каждый из них контролирует свою часть сети. В **VLR** содержатся данные об абонентах, которые находятся на его (и только его!) территории (причем обслуживаются не только свои подписчики, но и зарегистрированные в сети визитеры или роумеры). Как только пользователь покидает зону действия какого-то **VLR**, информация о нем копируется в новый **VLR**, а из старого удаляется. Фактически, между тем, что есть об абоненте в **VLR** и в **HLR**, очень много общего - посмотрите таблицы, где приведен перечень долгосрочных (табл.1) и временных (табл.2 и 3) данных об абонентах, хранящихся в этих реестрах. Еще раз, обратите внимание на принципиальное отличие **HLR** от **VLR**: в первом расположена информация обо всех подписчиках сети, независимо от их местоположения, а во втором - данные только о тех, кто находится на подведомственной этому **VLR** территории. В **HLR** для каждого абонента постоянно присутствует ссылка на тот **VLR**, который с ним (абонентом) сейчас работает (при этом сам **VLR** может принадлежать чужой сети, расположенной, например, на другом конце Земли).

1.	Международный идентификационный номер подписчика (IMSI)
2.	Телефонный номер абонента в обычном смысле (MSISDN)
3.	Категория подвижной станции
4.	Ключ идентификации абонента (Ki)
5.	Виды обеспечения дополнительными услугами
6.	Индекс закрытой группы пользователей
7.	Код блокировки закрытой группы пользователей
8.	Состав основных вызовов, которые могут быть переданы
9.	Оповещение вызываемого абонента
10.	Идентификация номера вызываемого абонента
11.	График работы
12.	Оповещение вызываемого абонента
13.	Контроль сигнализации при соединении абонентов
14.	Характеристики закрытой группы пользователей
15.	Льготы закрытой группы пользователей
16.	Запрещенные исходящие вызовы в закрытой группе пользователей
17.	Максимальное количество абонентов
18.	Используемые пароли
19.	Класс приоритетного доступа

Таблица 1. Полный состав долгосрочных данных, хранимых в **HLR** и **VLR**.

1.	Параметры идентификации и шифрования
2.	Временный номер мобильного абонента (TMSI)
3.	Адрес реестра перемещения, в котором находится абонент (VLR)
4.	Зоны перемещения подвижной станции
5.	Номер соты при эстафетной передаче
6.	Регистрационный статус
7.	Таймер отсутствия ответа
8.	Состав используемых в данный момент паролей

9.	Активность связи
----	------------------

Таблица 2. Полный состав временных данных, хранимых в HLR.

1.	Временный номер мобильного абонента (TMSI)
2.	Идентификаторы области расположения абонента (LAI)
3.	Указания по использованию основных служб
4.	Номер соты при эстафетной передаче
5.	Параметры идентификации и шифрования

Таблица 3. Полный состав временных данных, хранимых в VLR.

NSS содержит еще два компонента - **AuC** (Authentication Center - центр авторизации) и **EIR** (Equipment Identity Register - реестр идентификации оборудования). Первый блок используется для процедур установления подлинности абонента, а второй, как следует из названия, отвечает за допуск к эксплуатации в сети только разрешенных сотовых телефонов. Подробно работа этих систем будет рассмотрена в следующем разделе, посвященном регистрации абонента в сети.

Исполнительной, если так можно выразиться, частью сотовой сети, является **BSS** (Base Station Subsystem - подсистема базовых станций). **BSS** состоит из **BSC** (Base Station Controller - контроллер базовых станций), к которому подключено несколько - **BTS** (Base Transceiver Station – антенный блок). Базовые станции можно наблюдать повсюду - в городах, полях - фактически это просто приемно-передающие устройства, содержащие от одного до шестнадцати излучателей. Каждый **BSC** контролирует целую группу **BTS** и отвечает за управление и распределение каналов передачи данных, уровень мощности базовых станций и тому подобное. Обычно **BSC** в сети не один, а целое множество (базовых станций же вообще сотни).

Управляется и координируется работа сети с помощью **OSS** (Operating and Support Subsystem - подсистема управления и поддержки). **OSS** состоит из всякого рода служб и систем, контролирующих работу и трафик - дабы не перегружать читателя информацией, работа **OSS** ниже рассматриваться не будет.

Регистрация в сети.

При каждом включении телефона после выбора сети начинается процедура регистрации. Рассмотрим наиболее общий случай - регистрацию не в домашней, а в чужой, так называемой гостевой, сети (будем предполагать, что услуга роуминга абоненту разрешена).

Пусть сеть найдена. По запросу сети телефон передает **IMSI** абонента. **IMSI** начинается с кода страны "приписки" его владельца, далее следуют цифры, определяющие домашнюю сеть, а уже потом - уникальный номер конкретного подписчика. Например, начало **IMSI** 25099... соответствует российскому оператору Билайн. (250-Россия, 99 - Билайн). По номеру **IMSI** **VLR** гостевой сети определяет домашнюю сеть и связывается с ее **HLR**. Последний передает всю необходимую информацию об абоненте в **VLR**, который сделал запрос, а у себя размещает ссылку на этот **VLR**, чтобы в случае необходимости знать, "где искать" абонента.

Очень интересен процесс определения подлинности абонента. При регистрации **AuC** домашней сети генерирует 128-битовое случайное число - **RAND**, пересылаемое телефону. Внутри **SIM** с помощью ключа **Ki** (ключ идентификации - так же как и **IMSI**, он содержится в **SIM**) и алгоритма идентификации **A3** вычисляется 32-битовый ответ - **SRES** (Signed REsult) по формуле $SRES = Ki * RAND$. Точно такие же вычисления прodelываются одновременно и в **AuC** (по выбранному из **HLR Ki** пользователя). Если **SRES**, вычисленный в телефоне, совпадет со **SRES**, рассчитанным **AuC**, то процесс авторизации считается успешным и абоненту присваивается **TMSI** (Temporary Mobile Subscriber Identity-временный номер мобильного абонента). **TMSI** служит исключительно для повышения безопасности взаимодействия подписчика с сетью и может периодически меняться (в том числе при смене **VLR**).

Теоретически, при регистрации должен передаваться и номер **IMEI**, при получении **IMEI** сетью, он направляется в **EIR**, где сравнивается с так называемыми "списками" номеров. Белый список содержит номера санкционированных к использованию телефонов, черный список состоит из **IMEI**, украденных или по какой-либо иной причине не допущенных к эксплуатации телефонов, и, наконец, серый список - "трубки" с проблемами, работа которых разрешается системой, но за которыми ведется постоянное наблюдение.

После процедуры идентификации и взаимодействия гостевого **VLR** с домашним **HLR** запускается счетчик времени, задающий момент перерегистрации в случае отсутствия каких-либо сеансов связи. Обычно период обязательной регистрации составляет несколько часов. Перерегистрация необходима для того, чтобы сеть получила подтверждение, что телефон по-прежнему находится в зоне ее действия. Дело в том, что в режиме ожидания "трубка" только отслеживает сигналы, передаваемые сетью, но сама ничего не излучает - процесс передачи начинается только в случае установления соединения, а также при значительных перемещениях относительно сети (ниже это будет рассмотрено подробно) - в таких случаях таймер, отсчитывающий время до следующей перерегистрации, запускается заново. Поэтому при "выпадении" телефона из сети (например, был отсоединен аккумулятор, или владелец аппарата зашел в метро, не выключив телефон) система об этом не узнает.

Все пользователи случайным образом разбиваются на 10 равноправных классов доступа (с номерами от 0 до 9). Кроме того, существует несколько специальных классов с номерами с 11 по 15 (разного рода аварийные и экстренные службы, служебный персонал сети). Информация о классе доступа хранится в **SIM**. Особый, 10 класс доступа, позволяет совершать экстренные звонки (по номеру 112), если пользователь не принадлежит к какому-либо разрешенному классу, или вообще не имеет **IMSI (SIM)**. В случае чрезвычайных ситуаций или перегрузки сети некоторым классам может быть на время закрыт доступ в сеть.

Территориальное деление сети и handover.

Как уже было сказано, сеть состоит из множества **BTS** - базовых станций (одна **BTS** - одна "сота", ячейка). Для упрощения функционирования системы и снижения служебного трафика, **BTS** объединяют в группы - домены, получившие название **LA** (Location Area - области расположения). Каждой **LA** соответствует свой код **LAI** (Location Area Identity). Один **VLR** может контролировать несколько **LA**. И именно **LAI** помещается в **VLR** для

задания местоположения мобильного абонента. В случае необходимости именно в соответствующей **LA** (а не в отдельной соте, заметьте) будет произведен поиск абонента. При перемещении абонента из одной соты в другую в пределах одной **LA** перерегистрация и изменение записей в **VLR/HLR** не производится, но стоит ему (абоненту) попасть на территорию другой **LA**, как начнется взаимодействие телефона с сетью. Каждому пользователю, наверное, не раз приходилось слышать периодические помехи (например, в музыкальной системе своего автомобиля от находящегося в режиме ожидания телефона) зачастую это является следствием проводимой перерегистрации при пересечении границ **LA**. При смене **LA** код старой области стирается из **VLR** и заменяется новым **LAI**, если же следующий **LA** контролируется другим **VLR**, то произойдет смена **VLR** и обновление записи в **HLR**.

Вообще говоря, разбиение сети на **LA** довольно непростая инженерная задача, решаемая при построении каждой сети индивидуально. Слишком мелкие **LA** приведут к частым перерегистрациям телефонов и, как следствие, к возрастанию трафика разного рода сервисных сигналов и более быстрой разрядке батарей мобильных телефонов. Если же сделать **LA** большими, то, в случае необходимости соединения с абонентом, сигнал вызова придется подавать всем сотам, входящим в **LA**, что также ведет к неоправданному росту передачи служебной информации и перегрузке внутренних каналов сети.

Теперь рассмотрим очень красивый алгоритм так называемого **handover`**ра (такое название получила смена используемого канала в процессе соединения). Во время разговора по мобильному телефону вследствие ряда причин (удаление "трубки" от базовой станции, многолучевая интерференция, перемещение абонента в зону так называемой тени и т.п.) мощность (и качество) сигнала может ухудшиться. В этом случае произойдет переключение на канал (может быть, другой **BTS**) с лучшим качеством сигнала без прерывания текущего соединения (ни сам абонент, ни его собеседник, как правило, не замечают произошедшего **handover`**а). **Handover`**ы принято разделять на четыре типа:

- смена каналов в пределах одной базовой станции
- смена канала одной базовой станции на канал другой станции, но находящейся под патронажем того же **BSC**.
- переключение каналов между базовыми станциями, контролируруемыми разными **BSC**, но одним **MSC**
- переключение каналов между базовыми станциями, за которые отвечают не только разные **BSC**, но и **MSC**.

В общем случае, проведение **handover`**а - задача **MSC**. Но в двух первых случаях, называемых внутренними **handover`**ами, чтобы снизить нагрузку на коммутатор и служебные линии связи, процесс смены каналов управляется **BSC**, а **MSC** лишь информируется о происшедшем.

Во время разговора мобильный телефон постоянно контролирует уровень сигнала от соседних **BTS** (список каналов (до 16), за которыми необходимо вести наблюдение, задается базовой станцией). На основании этих измерений выбираются шесть лучших кандидатов, данные о которых постоянно (не реже раза в секунду) передаются **BSC** и **MSC** для организации возможного переключения. Существуют две основные схемы **handover`**а:

- "Режим наименьших переключений" (Minimum acceptable performance). В этом случае, при ухудшении качества связи мобильный телефон повышает мощность

своего передатчика до тех пор, пока это возможно. Если же, несмотря на повышение уровня сигнала, связь не улучшается (или мощность достигла максимума), то происходит **handover**.

- "Энергосберегающий режим" (Power budget). При этом мощность передатчика мобильного телефона остается неизменной, а в случае ухудшения качества меняется канал связи (**handover**).

Интересно, что инициировать смену каналов может не только мобильный телефон, но и **MSC**, например, для лучшего распределения трафика.

Маршрутизация вызовов.

Рассмотрим теперь, каким образом происходит маршрутизация входящих вызовов мобильного телефона. Как и раньше, будем рассматривать наиболее общий случай, когда абонент находится в зоне действия гостевой сети, регистрация прошла успешно, а телефон находится в режиме ожидания.

При поступлении запроса (рис.2) на соединение от проводной телефонной (или другой сотовой) системы на **MSC** домашней сети (вызов "находит" нужный коммутатор по набранному номеру мобильного абонента **MSISDN**, который содержит код страны и сети).

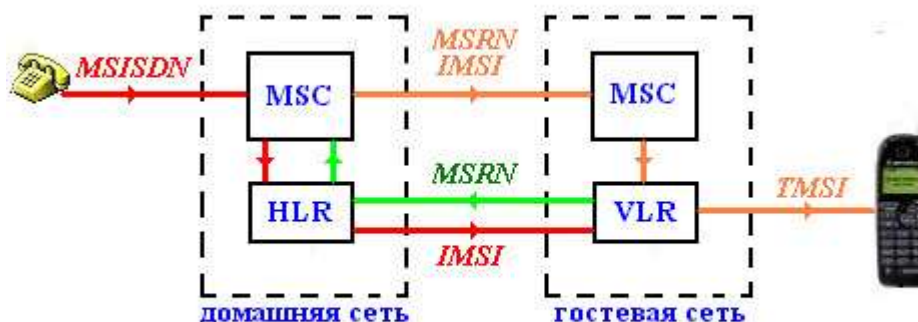


Рис.2 Взаимодействие основных блоков сети при поступлении входящего вызова.

MSC пересылает в **HLR** номер (**MSISDN**) абонента. **HLR**, в свою очередь, обращается с запросом к **VLR** гостевой сети, в которой находится абонент. **VLR** выделяет один из имеющихся в ее распоряжении **MSRN** (Mobile Station Roaming Number - номер "блуждающей" мобильной станции). Идеология назначения **MSRN** очень напоминает динамическое присвоение адресов IP (NAT) при коммутируемом доступе в Интернет через модем. **HLR** домашней сети получает от **VLR** присвоенный абоненту **MSRN** и, сопроводив его **IMSI** пользователя, передает коммутатору домашней сети.

Заключительной стадией установления соединения является направление вызова, сопровождаемого **IMSI** и **MSRN**, коммутатору гостевой сети, который формирует специальный сигнал, передаваемый по **PAGCH** (PAGer CHannel - канал вызова) по всей **LA**, где находится абонент.

Передача данных и голоса (<http://www.ixbt.com/mobile/gsm-inside.html>)

Передача данных осуществляется по радиоканалам. Сеть GSM работает в диапазонах частот 900 или 1800 МГц. Более конкретно, например, в случае рассмотрения диапазона 900МГц подвижной абонентский аппарат передает на одной из частот, лежащих в диапазоне 890-915 МГц, а принимает на частоте, лежащей в диапазоне 935-960 МГц. Для других частот принцип тот же, изменяются только численные характеристики.

Распределение частот в стандарте GSM-900

Восходящий (25MHz)	Разделяющий (20MHz)	Нисходящий (25MHz)
890MHz	915MHz	935MHz
		960MHz

Распределение частот в стандарте GSM-1800

Восходящий (75MHz)	Разделяющий (20MHz)	Нисходящий (75MHz)
1710MHz	1785MHz	1805MHz
		1880MHz

По аналогии со спутниковыми каналами направление передачи от абонентского аппарата к базовой станции называется восходящим (Rise), а направление от базовой станции к абонентскому аппарату - нисходящим (Fall). В дуплексном канале, состоящем из восходящего и нисходящего направлений передачи, для каждого из названных направлений применяются частоты, различающиеся точно на 45МГц. В каждом из указанных выше частотных диапазонов создаются по 124 радиоканала (124 для приема и 124 для передачи данных, разнесенных на 45МГц) шириной по 200кГц каждый. Этим каналам присваиваются номера (N) от 0 до 123. Тогда частоты восходящего (FR) и нисходящего (FF) направлений каждого из каналов можно вычислить по формулам: $FR(N) = 890 + 0.2N$ (МГц), $FF(N) = FR(N) + 45$ (МГц).

Структура восходящего и нисходящего радиоканала

1 (200kHz)	2 (200kHz)	3 (200kHz)	...	122 (200kHz)	123 (200kHz)	124 (200kHz)
----------------------	----------------------	----------------------	-----	------------------------	------------------------	------------------------

В распоряжение каждой базовой станции может быть предоставлено от одной до 16 частот, причем число частот и мощность передачи определяются в зависимости от местных условий и нагрузки.

В каждом из частотных каналов, которому присвоен номер (N) и который занимает полосу 200кГц, организуются восемь каналов с временным разделением (временные каналы с номерами от 0 до 7), или восемь канальных интервалов.

Система с разделением частот (FDMA) позволяет получить 8 каналов по 25кГц, которые, в свою очередь, разделяются по принципу системы с разделением времени (TDMA) еще на 8 каналов.

Структура FDMA-фрейма

0 (25kHz)	1 (25kHz)	2 (25kHz)	3 (25kHz)	4 (25kHz)	5 (25kHz)	6 (25kHz)	7 (25kHz)
---------------------	---------------------	---------------------	---------------------	---------------------	---------------------	---------------------	---------------------

Когда абонент получает канал, ему выделяется не только частотный канал, но и один из конкретных канальных интервалов, и он должен вести передачу в строго отведенном временном интервале, не выходя за его пределы - иначе будут создаваться помехи в других каналах. В соответствии с вышеизложенным работа передатчика происходит в виде

отдельных импульсов, которые происходят в строго отведенном канальном интервале: продолжительность канального интервала составляет 577мкс, а всего цикла - 4616мкс. Выделение абоненту только одного из восьми канальных интервалов позволяет разделить во времени процесс передачи и приема путем сдвига канальных интервалов, выделяемых передатчикам подвижного аппарата и базовой станции.

Рассмотрим формат нормального стандартного импульса. Из него видно, что не все разряды несут полезную информацию: здесь в середине импульса располагается обучающая последовательность из 26 двоичных разрядов для защиты сигнала от помех многолучевого распространения. Это - одна из восьми специальных легко распознаваемых последовательностей, по которой принятые разряды правильно располагаются во времени. Такая последовательность ограждается одноразрядными указателями (PB - Point Bit), а с обеих сторон этой настроечной последовательности располагается полезная кодированная информация в виде двух блоков по 57 двоичных разрядов, ограждаемых, в свою очередь, граничными разрядами (BB - Border Bit) - по 3бит с каждой стороны. Таким образом, импульс переносит 148бит данных, которые занимают 546.12мкс временной интервал. К этому времени добавляется еще промежуток, равный 30.44мкс защитного времени (ST - Shield Time), в течение которого передатчик "молчит". По продолжительности этот промежуток соответствует времени передачи 8.25 разряда, но передачи в это время не происходит.

Структура нормального импульса

BB (3bit)	Данные (57bit)	PB (1bit)	Защита (26bit)	PB (1bit)	Данные (57bit)	BB (3bit)	ST (8.25bit)
---------------------	--------------------------	---------------------	--------------------------	---------------------	--------------------------	---------------------	------------------------

Последовательность импульсов образует физический канал передачи, который характеризуется номером частоты и номером временного канального интервала. На основе этой последовательности импульсов организуется целая серия логических каналов, которые различаются своими функциями. Кроме каналов, передающих полезную информацию, существует еще ряд каналов, передающих сигналы управления. Реализация таких каналов и их работа требуют четкого управления, которое реализуется программными средствами.

В качестве заключения

Ниже приведены скоростные характеристики систем сотовой связи для передачи голоса и данных

1. G (GPRS - General Packet Radio Services): самый медленный и давно устаревший вариант подключения пакетной передачи данных. Первый стандарт мобильного интернета, выполненный путем надстройки над GSM (после CSD-соединения до 9,6 кбит/с). Максимальная скорость GPRS-канала - 171,2 кбит/с. При этом реальная, как правило, на порядок ниже и Интернет здесь не всегда работоспособен в принципе.

2. E (EDGE или EGPRS - Enhanced Data rates for GSM Evolution): более быстрая надстройка над 2G и 2,5G. Технология цифровой передачи данных. Скорость EDGE выше GPRS примерно в 3 раза: до 474,6 кбит/с. Однако она также относится ко второму поколению беспроводной связи и уже устарела. Реальная скорость EDGE обычно держится в районе 150-200 кбит/с и напрямую зависит от местонахождения абонента - то есть загруженности базовой станции в конкретном районе.

3. 3G (Third Generation - третье поколение). Здесь по сети возможна не только передача данных, но и «голоса». Качество передачи речи в сетях 3G (если оба собеседника находятся в радиусе их действия) может быть на порядок выше, чем в 2G (GSM). Скорость интернета в 3G также значительно более высокая, а его качество, как правило, уже вполне достаточное для комфортной работы на мобильных устройствах и даже стационарных компьютерах через USB-модемы. При этом на скорость передачи данных может влиять ваше текущее положение, в т.ч. находитесь ли вы на одном месте или движетесь в транспорте:

- Находитесь без движения: обычно до 2 Мбит/с
- Движетесь со скоростью до 3 км/ч: до 384 кбит/с
- Движетесь со скоростью до 120 км/ч: до 144 кбит/с.

. **3,5G, 3G+, H, H+** (HSPDA - High-Speed Downlink Packet Access): следующая надстройка высокоскоростной пакетной передачи данных - уже над 3G. В данном случае скорость передачи данных вплотную приближается к 4G и в режиме H она составляет до 42 Мбит/с. В реальной жизни мобильный интернет в таком режиме *в среднем* работает у мобильных операторов на скоростях 3-12 Мбит/с (иногда выше). Для не разбирающихся: это весьма быстро и вполне достаточно, чтобы при стабильном соединении смотреть онлайн-видео в не слишком высоком качестве (разрешении) или качать тяжелые файлы.

4G, LTE (Long-Term Evolution - долговременное развитие, четвертое поколение мобильного интернета). Данная технология используется только для передачи данных (не для «голоса»). Максимальная download-скорость здесь - до 326 Мбит/с, upload - 172,8 Мбит/с. Реальные значения опять же на порядок ниже заявленных, но все равно они составляют десятки мегабит в секунду (на практике часто сопоставимо с режимом H; в условиях загруженности Москвы обычно 10-50 Мбит/с). При этом более быстрый PING и сама технология делают 4G наиболее предпочтительным стандартом для мобильного интернета в модемах. *Смартфоны и планшеты в сетях 4G (LTE) держат заряд батареи дольше, нежели в 3G.*

VoLTE (Voice over LTE - голос по LTE, как дополнительное развитие технологии): технология передачи голосовых вызовов по сетям LTE на базе IP Multimedia Subsystem (IMS). Скорость соединения - до 5 раз быстрее по сравнению с 2G/3G, а качество самого разговора и передачи речи - еще выше и чище.

5G (пятое поколение сотовой связи на базе IMT-2020). Стандарт будущего, пока находится на стадии разработки и тестирования. Скорость передачи данных в коммерческом варианте сетей обещается выше LTE до 30 раз: максимально передача данных сможет осуществляться до 10 Гбит/с.

СПИСОК ОСНОВНЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Европейский институт стандартизации телекоммуникаций (ETSI - the European Telecommunications Standards Institute), www.etsi.org
2. Основной документ - ETSI: Radio Equipment and Systems Methods of Measurement for Mobile Radio Equipment (ETR027), www.etsi.org/search
3. Список документации ETSI - GSM UMTS 3GPP Numbering Cross References, www.etsi.org/eds/gsmumts.pdf
4. <http://www.ixbt.com/mobile/gsm-nets.html>