

9. СЕТИ GSM

В 1982 г. Конференция европейских администраций почт и телекоммуникаций (CEPT - Conference of European Post and Telecommunications) сформировала группу GSM (Group Special Mobile) для изучения и разработки европейской мобильной наземной системы. Предложенная система должна была удовлетворять некоторым критериям:

- хорошее субъективное качество речи;
- низкая стоимость оконечных устройств и обслуживания;
- поддержка международной подвижной связи;
- способность обслуживать малогабаритные терминалы;
- обеспечение диапазона новых услуг и средств;
- эффективное использование радиоспектра;
- совместимость с ISDN.

В 1989 ответственность за разработку стандарта GSM была передана Европейскому институту стандартов в области телекоммуникаций (ETSI, European Telecommunications Standards Institute). Первые спецификации GSM были изданы в 1990 году. Коммерческая эксплуатация систем была начата в середине 1991.

Стандарт GSM не только европейский стандарт. Сегодня работают более 200 сетей GSM в 110 странах во всем мире. Северная Америка, имеет разновидность GSM, называемую PCS-1900. Сокращение GSM теперь означает Глобальную систему мобильной связи (**Global System for Mobile Communications**).

Разработчики GSM верили, что усовершенствованные алгоритмы сжатия информации и применение цифровых сигнальных процессоров дадут возможность непрерывно совершенствовать систему в направлении повышения качества и снижения стоимости. Более чем 8000 страниц рекомендаций стандарта GSM позволили построить гибкую и конкурентоспособную систему и обеспечить достаточную стандартизацию, гарантирующую надлежащее межсетевое взаимодействие между компонентами системы.

Услуги, обеспечиваемые системой GSM

На начальном этапе разработки системы GSM стремились обеспечить ее совместимость с цифровой системой интегрального обслуживания ISDN в части услуг и передачи сигналов управления. Однако ограничения радиопередачи по пропускной способности и стоимости **не позволяли достигнуть стандартной для ISDN скорости передачи информации В-канала 64 кбит/с.**

В соответствии с определением ITU-T, телекоммуникационные услуги могут быть разделены на основные и дополнительные. Основная услуга, поддерживаемая GSM, - телефонная связь. Речь закодирована в цифровой форме и передается через сеть GSM как цифровой поток. Существуют также экстренные службы, где, набирая три цифры, можно получить связь с ближайшим пунктом этой службы.

GSM предоставляет следующие дополнительные услуги:

- 1) телефонная связь (совмещается со службой сигнализации: охрана квартир, сигналы бедствия и пр.);
- 2) передача коротких сообщений SMS;
- 3) доступ к службам «Видеотекст», «Телетекст»; служба «Телефакс» (группа 3).

Пользователи GSM могут обмениваться данными со скоростью свыше 9600 бит/с:

- с пользователями обычной телефонной сети (POTS – Plain Ordinary Telephone Service);
- с цифровой сетью интегрального обслуживания (ISDN);
- с сетью передачи данных общего пользования с пакетной коммутацией (PSPDN - Packet Switched Public Data Network);
- с сетью передачи данных общего пользования с коммутацией каналов (CSPDN – Circuit Switched Public Data Network).

Стандарт GSM предусматривает передачу данных в следующих режимах:

- асинхронно в дуплексном режиме со скоростями 300, 600, 1200, 2400, 4800 и 9600 бит/с через телефонные сети общего пользования;
- синхронно в дуплексном режиме со скоростями 1200, 2400, 4800 и 9600 бит/с через телефонные сети общего пользования, коммутируемые сети передачи данных общего пользования (CSPDN) и ISDN;
- доступ с помощью адаптера пакетной асинхронной передачи со стандартными скоростями 300-9600 бит/с через сети пакетной коммутации данных общего пользования (PSPDN);
- синхронный дуплексный доступ к сети пакетной передачи данных со стандартными скоростями 2400-9600 бит/с.

При передаче данных со скоростью 9,6 кбит/с всегда используется канал связи с полной скоростью передачи. В случае передачи на скоростях ниже 9,6 кбит/с могут использоваться полускоростные каналы связи.

При этом используются разнообразные методы доступа и протоколы, такие как X.25 или X.32. Так как GSM - цифровая сеть, между пользователем и сетью GSM не требуется модем, хотя аудиомодем требуется в сети GSM для взаимодействия с обычной телефонной сетью.

Уникальная особенность GSM, которая отсутствует в старых аналоговых системах, - служба передачи коротких сообщений (SMS - Short Message Service). Сообщения транспортируются способом с промежуточным накоплением (store-and-forward fashion). SMS может также использоваться в широкополосном режиме для того, чтобы послать такие сообщения как модификация трафика или модификация новостей. Сообщения могут также быть сохранены в SIM-карте абонента (SIM - Subscriber Identification Module) для более позднего использования.

В GSM стандартизован широкий спектр особых услуг (включение в закрытую группу пользователей, передача вызова, оповещение о тарифных расходах и т.д.). Они включают несколько вариантов переадресации вызова и запрет на вызов при входящей и исходящей связи, например при роуминге (изменении местоположения) в другой стране. Осуществляются такие услуги как идентификация вызывающего абонента, режим «ждущий вызов», многосторонняя конференц-связь.

В перечисленных возможностях особое место занимает информация о закрытой группе. Закрытая группа пользователей (CUG – Closed User Group) это группа абонентов, устанавливающая соединение и обменивающаяся информацией преимущественно в собственных пределах. При этом абонентам при связи внутри группы предоставляются льготы. Обычно компании сотовой связи предоставляют абонентам при такой связи пониженный тариф или бесплатную связь.

Следующая услуга - сопровождающий вызов - обеспечивает переадресацию входящего вызова на номер абонента стационарной сети.

В режиме «ждущий вызов» при занятости абонента входящий вызов ставится в режим ожидания освобождения предыдущего соединения. Абонент, к которому адресован вызов, получает предупреждающий сигнал. Абонент имеет возможность:

- завершить предыдущий вызов;
- кратковременным нажатием рычага трубки перейти на новое соединение;
- после разговора по новому соединению вернуться к старому и повторить это многократно.

Все перечисленные соединения относятся к группе дополнительных видов обслуживания, которые реализуются в сетях ISDN и современных сетях PSTN.

Архитектура сети GSM

Сеть GSM состоит из нескольких функциональных объектов, функции и интерфейсы которых показаны на **рис. 1.1**.

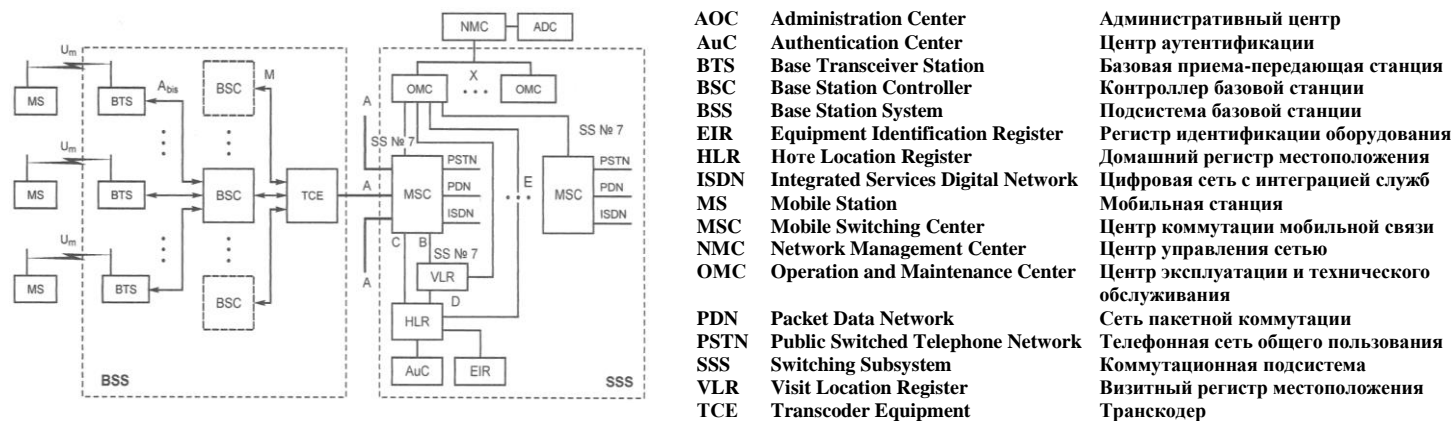


Рис. 9.1. Архитектура сети GSM

Сеть GSM включает три основных части. Мобильные станции (MS), которые перемещаются с абонентом. Подсистема базовых станций (BSS), которая управляет радиолинией связи с мобильной станцией. Подсистема коммутации (SSS), главная часть которой - центр коммутации мобильной связи (MSC), выполняет коммутацию между мобильными станциями и между мобильными или стационарными сетевыми пользователями. MSC также управляет работой, связанной с передвижением абонента. На **рис. 9.1** не показан центр обслуживания, который наблюдает за надежным функционированием и изменениями в сети. Мобильная станция и подсистема базовых станций связываются **по интерфейсу U_m** , также известному как «воздушный интерфейс» или радиолиния связи. Подсистема базовых станций взаимодействует с центром коммутации мобильной связи по A-интерфейсу.

Мобильная станция

Мобильная станция (MS) состоит из подвижной аппаратуры (терминал) и карты SIM с интегральной схемой, включающей микропроцессор, которая называется модулем абонентской идентификации. SIM-карта обеспечивает при перемещении доступ пользователя к оплаченным услугам независимо от используемого терминала. Вставляя SIM-карту в другой терминал GSM, пользователь может принимать вызовы, делать вызовы с этого терминала и получать другие услуги.

Подвижная аппаратура однозначно определяется с помощью международного опознавательного кода (идентификационного номера) мобильного оборудования (IMEI - International Mobile Equipment Identity). SIM-карта содержит международный опознавательный код мобильного абонента (IMSI - International Mobile Subscriber Identity), используемый для идентификации абонента, секретный код для удостоверения подлинности и другую информацию. IMEI и IMSI независимы в целях обеспечения наиболее вероятного опознавания личности и оборудования при передвижении абонента. SIM-карта может быть защищена против неправомерного использования паролем или личным номером.

Используется три типа оконечного оборудования подвижной станции:

MT0 (Mobile Terminal 0) - многофункциональная подвижная станция, в состав которой входит терминал данных с возможностью передачи и приема данных и речи; MT1 (Mobile Terminal 1) - подвижная станция с возможностью связи через терминал с ISDN; MT2 (Mobile Terminal 2) - подвижная станция с возможностью подключения терминала для связи по протоколам МККТТ серий V или X.

Терминальное оборудование может состоять из оборудования одного или нескольких типов, такого как телефонная трубка с номеронабирателем, аппаратура передачи данных (DTE), телекс и т.д.

Различают следующие типы терминалов: TE1 (Terminal Equipment 1) - терминальное оборудование, обеспечивающее связь с ISDN; TE2 (Terminal Equipment 2) - терминальное оборудование, обеспечивающее связь с любым оборудованием по протоколам МККТТ серий V или X (связь с ISDN не обеспечивает). Терминал TE2 может быть подключен как нагрузка к MT1 (подвижной станции с возможностью связи с ISDN) через адаптер TA.

Подсистема базовых станций

Подсистема базовых станций содержит два вида оборудования: базовую приемопередающую станцию (BTS - Base Transceiver Station) и контроллер базовой станции (BSC - Base Station Controller). Они взаимодействуют через стандартизированный интерфейс A_{bis} (см. **рис. 9.1**).

На BTS размещается приемопередатчик, который для одной определенной соты реализует протоколы взаимодействия радиолинии с передвижной станцией. В большом городе обычно размещено большое количество BTS. Поэтому основные требования к BTS - прочность, надежность, портативность и минимальная стоимость.

Контроллер базовой станции управляет радиоресурсами одной или более BTS. Он управляет выбором и установлением соединения по радиоканалу, скачком частоты и хэндовером. BSC подключается между BTS и центром коммутации мобильной связи (MSC).

Коммутационная подсистема сети. Центр коммутации мобильной связи (MSC)

Центральный компонент подсистемы сети - центр коммутации мобильной связи (MSC). Он работает как обычный узел коммутации общедоступной телефонной сети (PSTN) или цифровой сети интегрального обслуживания (ISDN). Дополнительно он **обеспечивает все функциональные возможности мобильного абонента, такие как регистрация, аутентификация, обновление местоположения, передача соединения (хэндовер) и маршрутизация вызова при передвижении объекта.** Эти функции обеспечиваются совместно несколькими функциональными объектами, которые вместе формируют коммутационную подсистему сети. MSC обеспечивает подключение к фиксированным сетям, таким как телефонная сеть PSTN или ISDN. При передаче сигналов между функциональными объектами в коммутационной подсистеме сети используется общий канал сигнализации OKC-7 (SS7), такой же, как используется для обмена в ISDN и в сетях общего пользования.

Центр коммутации подвижной связи обслуживает группу сот и обеспечивает все виды соединений, в которых нуждается в процессе работы подвижная станция. MSC аналогичен коммутационной станции ISDN и реализует интерфейс между фиксированными сетями (PSTN, PDN, ISDN и т.д.) и сетью подвижной связи. Он обеспечивает маршрутизацию вызовов и функции управления вызовами. Кроме выполнения функций обычной коммутационной станции ISDN, на MSC возлагаются функции коммутации радиоканалов. К ним относятся «эстафетная передача», в процессе которой достигается непрерывность связи при перемещении подвижной станции из соты в соту, и переключение рабочих каналов в соте при появлении помех или неисправностях.

Каждый MSC обеспечивает обслуживание подвижных абонентов, расположенных в пределах определенной географической зоны (например, Москва и область). MSC управляет процедурами установления вызова и маршрутизации. Для телефонной сети общего пользования MSC обеспечивает функции сигнализации по OKC-7, передачи вызова и поддерживает другие виды интерфейсов в соответствии с требованиями конкретного проекта.

MSC формирует данные, необходимые для выписки счетов за предоставленные сетью услуги связи, накапливает данные по состоявшимся разговорам и передает их в центр расчетов (биллинг-центр). MSC составляет также статистические данные, необходимые для контроля работы и оптимизации сети; он поддерживает процедуры безопасности, применяемые для управления доступом к радиоканалам.

MSC не только участвует в управлении вызовами, но также управляет процедурами регистрации местоположения и передачи управления, кроме передачи управления в подсистеме базовых станций (BSS). Регистрация местоположения подвижных станций необходима для обеспечения доставки вызова перемещающимся абонентам от абонентов телефонной сети общего пользования или других подвижных абонентов. Процедура передачи вызова позволяет сохранять соединения и обеспечивать ведение разговора, когда подвижная станция перемещается из одной зоны обслуживания в другую. Передача вызовов в сотах, управляемых одним контроллером базовых станций, осуществляется этим BSC. Когда передача вызовов осуществляется между двумя сетями, управляемыми разными BSC, то первичное управление осуществляется в MSC. В стандарте GSM также предусмотрены процедуры передачи вызова между сетями (контроллерами), относящимися к разным MSC. Центр коммутации осуществляет постоянное слежение за подвижными станциями, используя домашние регистры местоположения (HLR - Home Location Register) и визитные регистры местоположения (VLR - Visit Location Register).

Домашний регистр местоположения (HLR)

В HLR хранится та часть информации о местоположении какой-либо подвижной станции, которая позволяет центру коммутации доставить вызов определенной мобильной станции. Практически **HLR представляет собой справочную базу данных о постоянно зарегистрированных в сети абонентах.** В ней **содержатся опознавательные номера и адреса, а также параметры подлинности абонентов, состав услуг связи, специальная информация о маршрутизации.** Ведется регистрация данных о роуминге (блуждании) абонента, включая данные о временном идентификационном номере подвижного абонента (TMSI - Temporary Mobile Subscriber Identity) и соответствующем визитном регистре местоположения (VLR). Регистр HLR **содержит международный идентификационный номер подвижного абонента IMSI.** Он используется для опознавания подвижной станции в центре аутентификации AUC (Authentication Center).

Домашний регистр местоположения вместе с MSC обеспечивает маршрутизацию вызова и изменения местоположения (роуминг) мобильной станции. Он содержит всю административную информацию каждого абонента, зарегистрированного в соответствующей сети GSM, наряду с информацией о текущем местоположении мобильных станций. Местоположение мобильных станций находится обычно в форме адреса данной мобильной станции в VLR. Логически для каждого абонента существует один HLR в сети GSM, хотя он может быть реализован как распределенная база данных. К данным, содержащимся в HLR, имеют дистанционный доступ все MSC и VLR сети и, если в сети имеются несколько распределенных HLR, в базе данных содержится только одна запись об абоненте, поэтому каждый HLR представляет собой определенную часть общей базы данных сети об абонентах. Доступ к ней осуществляется по номеру IMSI или по номеру подвижной станции в сети ISDN (MSISDN - Mobile Station ISDN Number). К базе данных могут получить доступ MSC или VLR, относящиеся к другим сетям, в рамках обеспечения межсетевого роуминга абонентов.

Визитный регистр местоположения (VLR)

Второе основное устройство, обеспечивающее контроль над передвижением подвижной станции из зоны в зону, - визитный регистр местоположения VLR. С его помощью достигается функционирование подвижной станции за пределами зоны, контролируемой HLR. Когда в процессе перемещения подвижная станция переходит из зоны действия одного контроллера базовой станции BSC, объединяющего группу базовых станций, в зону действия другого BSC, она

регистрируется новым BSC, и в VLR заносится информация о номере области связи, которая обеспечит доставку вызовов подвижной станции. Для сохранности данных, находящихся в HLR и VLR, в случае сбоев предусмотрена защита устройств памяти этих регистров.

VLR содержит также же данные, как и HLR, однако эти данные содержатся в VLR только до тех пор, пока абонент находится в зоне, контролируемой VLR.

В сети подвижной связи GSM соты группируются в географические зоны (LA – Location Area), которым присваивается свой идентификационный номер (LAC - Location Area Code). Каждый VLR содержит данные об абонентах в нескольких LA. Когда подвижный абонент перемещается из одной LA в другую, данные о его местоположении автоматически обновляются в VLR. Если старая и новая LA находятся под управлением различных VLR, то данные на старом VLR стираются после их копирования в новый VLR. Текущий адрес VLR абонента, содержащийся в HLR, также обновляется.

VLR обеспечивает также присвоение номера для услуг роуминга мобильной станции (MSRN – Mobile Station Roaming Number). Когда подвижная станция принимает входящий вызов, VLR выбирает MSRN и передает его на MSC, который осуществляет маршрутизацию этого вызова к базовым станциям, находящимся рядом с подвижным абонентом.

Во время движения подвижная станция может покинуть зону, обслуживаемую одним MSC/VLR, и переместиться в зону, которую обслуживает другой MSC/VLR. В этом случае MSC/VLR участвует в передаче управления от одного MSC/VLR к другому. Он также присваивает новый временный номер TMSI подвижному абоненту и передает его в HLR. Новый VLR инициирует процедуру установления подлинности абонента и его оборудования. Кроме случая, когда подвижный абонент меняет зону местоположения, временный номер может периодически изменяться по решению оператора с целью защиты от злонамеренного опознавания номеров участников разговора. В этом случае процедура изменения идет также с использованием VLR. Для доступа к VLR могут использоваться идентификационные номера IMSI, TMSI и MSRN.

Таким образом, VLR - это локальная база данных в данной зоне о подвижном абоненте. Применение VLR позволяет сократить число запросов HLR, что снижает сетевой трафик и уменьшает время обслуживания.

В табл. 9.1, 9.2, 9.3 приведены примеры состава долговременных и временных данных, хранящихся в HLR и VLR.

Таблица 9.1. Долговременные данные в HLR и VLR

1	Международный идентификационный номер подвижного абонента IMSI
2	Номер подвижной станции в сети ISDN (MSISDN)
3	Категория подвижной станции
4	Ключ засекречивания
5	Используемые пароли
6	Класс приоритетного доступа
7	Список разрешенных дополнительных видов обслуживания
8	Оповещение вызываемого абонента о номере вызывающего абонента
9	Разрешение/запрещение идентификации номера вызываемого абонента
10	График работы мобильной станции
11	Индекс закрытой группы пользователей
12	Код блокировки закрытой группы пользователей
13	Состав вызовов, которые могут быть переданы
14	Свойства закрытой группы пользователей
15	Льготы закрытой группы пользователей
16	Запрещенные исходящие вызовы в закрытой группе пользователей
17	Максимальное количество абонентов закрытой группы

Таблица 9.2. Состав временных данных, находящихся в HLR

1	Временный идентификационный номер подвижного абонента в VLR - TMSI
2	Параметры аутентификации и шифрования
3	Адрес регистра местоположения VLR
4	Код зоны местоположения
5	Номер соты при хэндовере
6	Регистрационные данные
7	Таймер ожидания ответа
8	Состав текущих паролей
9	Активность (есть/нет) соединения

Таблица 9.3. Состав временных данных, находящихся в VLR

1	Временный идентификационный номер подвижного абонента TMSI
2	Идентификаторы зоны расположения
3	Код зоны местоположения
4	Номер соты при хэндовере
5	Параметры аутентификации и шифрования

Регистры защиты и аутентификации

Для защиты и аутентификации используются регистр идентификации оборудования (EIR - Equipment Identity Register) и центр аутентификации (AuC - Authentication Center). EIR - база данных, которая содержит список всей доступной для обслуживания подвижной аппаратуры на сети, где каждая мобильная станция идентифицирована ее международным опознавательным кодом IMEI. Этот код может быть маркирован как запрещенный к обслуживанию, если мобильная станция украдена или принадлежит к типу оборудования, который не обслуживается. Центр аутентификации AuC - защищенная база данных, которая накапливает копии ключей шифрования, хранящихся в SIM-карте каждого абонента, и используется для аутентификации абонента и его оборудования, а также шифрования для передачи по радиоканалу.

Каждый подвижный абонент на время пользования системой связи получает стандартный модуль идентификации абонента SIM, который содержит: идентификационный номер IMSI, свой индивидуальный ключ аутентификации (Ki), алгоритм аутентификации (A3). С помощью записанной в SIM информации, в результате взаимного обмена данными между подвижной станцией и сетью осуществляется полный цикл аутентификации, и разрешается доступ абонента к сети.

EIR содержит централизованную базу данных для подтверждения подлинности IMEI, относящуюся исключительно к оборудованию подвижной станции. Она состоит из списков номеров IMEI, организованных следующим образом:

- *белый список* - содержит IMEI, о которых есть сведения о том, что они закреплены за санкционированными подвижными станциями. Терминалу позволяют соединиться с сетью. *Черный список* - содержит IMEI подвижных станций, которые украдены или имеют некорректный тип мобильной станции для сети GSM, или которым отказано в обслуживании по другой причине. Терминалу не позволено соединиться с сетью;

- *серый список* - содержит IMEI подвижных станций, у которых существуют проблемы, выявленные по данным программного обеспечения, которые не являются основанием для внесения в черный список. Терминал находится под наблюдением сети ввиду возможных проблем.

К базе данных EIR получают дистанционный доступ MSC данной сети, а также MSC других подвижных сетей. Как и в случае с HLR, сеть может иметь более одного EIR, при этом каждый EIR управляет своей группой оборудования, имеющей свой идентификационный номер IMEI. В этом случае в состав MSC входит транслятор, который при получении IMEI выбирает EIR, содержащий данные о части оборудования, имеющей этот номер.

Оборудование эксплуатации и технического обслуживания

OMC (Operation and Maintenance Center) - центр эксплуатации и технического обслуживания, является центральным элементом сети GSM, который обеспечивает контроль и управление другими компонентами сети, а также контроль качества ее работы. **OMC соединяется с компонентами сети GSM по каналам пакетной передачи, используя протокол X.25.** Он обеспечивает функции обработки аварийных сигналов, предназначенных для оповещения обслуживающего персонала, и регистрирует сведения об аварийных ситуациях в других компонентах сети. В зависимости от характера неисправности OMC позволяет обеспечить ее устранение автоматически или при активном вмешательстве персонала. OMC может обеспечить проверку состояния оборудования сети и прохождения вызова подвижной станции. Он позволяет осуществлять управление нагрузкой в сети. Функция эффективного управления включает сбор статистических данных о нагрузке от компонентов сети GSM, запись их в дисковые файлы и вывод на дисплей для визуального анализа. OMC обеспечивает управление изменениями программного обеспечения и базами данных о конфигурации элементов сети. Загрузка программного обеспечения может производиться из OMC в другие элементы сети или из них в OMC.

NMC (Network Management Center) - центр управления сетью, позволяет обеспечивать рациональное иерархическое управление сетью GSM. Обеспечивает эксплуатацию и техническое обслуживание на уровне всей сети, поддерживаемой центрами OMC, которые отвечают за управление региональными сетями. NMC обеспечивает управление трафиком во всей сети и диспетчерское управление сетью при сложных аварийных ситуациях, например, выход из строя или перегрузка узлов. Контролирует состояние устройств автоматического управления, задействованных в оборудовании сети, и отражает на дисплее состояние сети для операторов NMC. Это позволяет операторам контролировать региональные проблемы, и при необходимости оказывать помощь OMC, обслуживающему конкретный регион. Таким образом, персонал NMC знает состояние всей сети, и может дать указание персоналу OMC изменить стратегию решения региональной проблемы.

NMC следит за состоянием маршрутов сигнализации и соединений между узлами с тем, чтобы не допускать условий для возникновения перегрузки в сети. Контролируются также маршруты соединений между сетью GSM и PSTN во избежание распространения условий перегрузки между сетями. При этом персонал NMC координирует вопросы управления сетью с персоналом других центров управления сетью. NMC обеспечивает также возможность управления трафиком, адресованным сетевому оборудованию подсистемы базовых станций (BSS). Операторы NMC в экстремальных ситуациях могут задействовать такие процедуры управления, как *приоритетный доступ*, когда только абоненты с высоким приоритетом (экстренные службы) могут получить доступ к системе.

NMC может брать на себя ответственность в каком-либо регионе, когда местный OMC не может обслуживать нагрузку, при этом OMC действует в качестве транзитного пункта между NMC и оборудованием сети. NMC предоставляет операторам возможности, аналогичные возможностям OMC.

NMC является также важным инструментом планирования сети, так как контролирует сеть и ее работу на сетевом уровне, а, следовательно, обеспечивает планировщиков сети данными, определяющими нагрузочные параметры сети.

ADC (Administration Center) - административный центр - сетевая служба, ответственная за организацию связи, административное управление сетью и соблюдение установленных правил доступа.

TCE (Transcoder Equipment) - транскoder, обеспечивает преобразование выходных сигналов передачи речи и данных MSC (64 кбит/с, ИКМ) к виду, соответствующему рекомендациям GSM по радиоинтерфейсу. В соответствии с этими требованиями скорость передачи речи, представленной в цифровой форме, составляет 13 кбит/с. Этот канал передачи цифровых речевых сигналов называется «полноскоростным». Стандартом предусматривается использование полускоростного речевого канала (скорость передачи - 6,5 кбит/с).

Снижение скорости передачи обеспечивается применением специального речепреобразующего устройства, использующего кодирование с линейным предсказанием (LPC - Linear Predictive Coding), долговременное предсказание (LTP - Long Term Predicting), возбуждение регулярной импульсной последовательностью (RPE - Regular Pulse Excitation).

Передача цифровых сообщений от транскodера по направлению к контроллеру базовых станций (BSC) осуществляется с добавлением к потоку со скоростью передачи 13 кбит/с дополнительных битов (stuffing). Таким образом, скорость передачи данных становится 16 кбит/с. Затем осуществляется уплотнение с кратностью 4 в стандартный канал 64 кбит/с. Так формируется определенная Рекомендациями GSM 30-канальная ИКМ-линия, обеспечивающая передачу 120 речевых каналов. Шестнадцатый канал (64 кбит/с) (slot) выделяется отдельно для передачи информации сигнализации и часто содержит сигналы ОКС-7 или процедуры доступа к звену передачи данных для канала D - LAPD (Link Access Procedure for the D-channel).

В других каналах (64 кбит/с) могут передаваться также пакеты данных, согласующиеся с протоколом X.25.

Основные принципы организации сети GSM

Внутренние интерфейсы GSM

Внутренние интерфейсы сети GSM показаны на **рис. 9.1** и перечислены в **табл. 9.4**.

Таблица 9.4. Типы внутренних интерфейсов сети GSM

Тип	Связь между устройствами
A	MSC-BSS
A _{bis}	BSC-BTS
B	MSC-VLR
C	MSC-HLR
D	HLR-VLR
E	MSC-MSC
O	BSC-OMC
M	BSC-TCE
U _m	MS-BTS
X	OMC-OMC

А-интерфейс. Интерфейс между MSC и BSS (подсистема базовых станций - BSC+ BTS) обеспечивает передачу сообщений для управления BSS, передачи вызова (хэндовера), а также для управления при изменении местоположения. А-интерфейс объединяет каналы связи и линии сигнализации. Последние используют ОКС-7. Полная спецификация А-интерфейса соответствует требованиям Рекомендаций ETSI/GSM.

В-интерфейс. Интерфейс между MSC и VLR. Используется, когда MSC необходимо определить местоположение подвижной станции, и он обращается к VLR. Если подвижная станция инициирует процедуру изменения местоположения, то MSC информирует свой

VLR, который заносит всю изменяющуюся информацию в свои регистры. Эта процедура происходит всегда, когда MS переходит из одной области в другую. В случае если абонент запрашивает специальные дополнительные услуги или изменяет некоторые свои данные, MSC также информирует VLR, который регистрирует изменения и при необходимости сообщает о них HLR.

С-интерфейс. Интерфейс между MSC и HLR используется для обеспечения взаимодействия MSC и HLR. MSC может послать сообщение HLR в конце сеанса связи для того, чтобы абонент мог оплатить разговор. Когда сеть фиксированной телефонной связи не способна выполнить процедуру установления соединения подвижного абонента, MSC может запросить HLR с целью определения местоположения абонента для того, чтобы послать вызов MS.

Д-интерфейс. Интерфейс между HLR и VLR используется для расширения обмена данными о положении подвижной станции, управления процессом связи. Основные услуги, предоставляемые подвижному абоненту, заключаются в обеспечении возможности передавать или принимать сообщения независимо от местоположения. Для этого HLR должен пополнять свои данные. VLR сообщает HLR о положении MS, управляя ею и изменяя информацию в процессе обновления местоположения, посылает все необходимые данные для обеспечения обслуживания подвижной станции.

Е-интерфейс. Интерфейс между MSC обеспечивает взаимодействие между разными MSC при осуществлении процедуры хэндовера - «передачи» абонента из зоны в зону при его движении в процессе сеанса связи без ее прерыва.

A_{bis}-интерфейс. Интерфейс между BSC и BTS служит для связи BSC с BTS и определен Рекомендациями ETSI/GSM для процессов установления соединений и управления оборудованием. Передача осуществляется цифровыми потоками со скоростью 2,048 Мбит/с. Возможно использование физического интерфейса 64 кбит/с.

О-интерфейс. Интерфейс между BSC и OMC предназначен для связи BSC с OMC, используется в сетях с пакетной коммутацией X.25 (на рис. 9.1 не показан).

М-интерфейс. Внутренний интерфейс контроллера базовой станции обеспечивает связь между различным оборудованием BSC и оборудованием транскодирования (TCE); использует стандарт ИКМ-передачи 2,048 Мбит/с и позволяет организовать из четырех каналов со скоростью 16 кбит/с один канал на скорости 64 кбит/с.

U_m-радиоинтерфейс. Интерфейс между MS и BTS определен в Рекомендациях ETSI/GSM.

Х-интерфейс. Интерфейс между OMC разных сетей и сетью коммутации, так называемый управляющий интерфейс между OMC и элементами сети. Определен Рекомендациями ETSI/GSM и является аналогом интерфейса Q.3, который определен в модели ISO/OSI. Он предназначен для связи OMC различных центров эксплуатации GSM.

Соединения сети с OMC могут обеспечиваться системой сигнализации OKC-7 или сетевым протоколом X.25.

Интерфейсы с внешними сетями

Соединение с PSTN. Соединение с телефонной сетью общего пользования осуществляется MSC по линии связи 2 Мбит/с в соответствии с системой сигнализации OKC-7. Электрические характеристики интерфейса 2 Мбит/с соответствуют Рекомендациям G.732.

Соединение с ISDN. Для соединения с сетями ISDN предусматриваются четыре линии связи 2 Мбит/с, поддерживаемые системой сигнализации OKC-7.

Соединения с международными сетями GSM. В настоящее время обеспечивается подключение российской сети GSM к общеевропейским сетям GSM. Эти соединения осуществляются на основе протоколов систем сигнализации OKC-7 четвертого уровня (SCCP - Signaling Connection Control Part) и межсетевых коммутационных центров мобильной связи (GMSC - Gateway MSC). Центр представляет собой узловую станцию, осуществляющую объединение сети GSM с одной или более наземными сетями. В ее функции входит преобразование форматов сигналов, конвертирование сетевых протоколов, а также взаимодействие с ТфОП.

Географические зоны сети GSM

Сеть GSM составлена из географических областей. Как показано на рис. 9.2, эти области включают соты, зоны местоположения, зоны обслуживания MSC/VLR и мобильную наземную сеть общего пользования (PLMN – Public Land Mobile Network).



Рис. 9.2. Географические зоны системы GSM

Сота - область радиохвата одного приемопередатчика одной BTS. Сеть GSM определяет каждую соту с помощью опознавательного кода глобального идентификатора соты (CGI - Cell Global Identity) - номера, который назначается каждой соте.

Зона местоположения (LA - Location Area) - группа сот. Это - область, в которой вероятнее всего может в данный момент перемещаться абонент. Каждая зона местоположения обслуживается одним или более контроллерами базовых станций и только единственным центром коммутации мобильной связи - MSC (рис. 9.2). Каждой зоне местоположения назначен идентификатор зоны нахождения абонента (LAI - Location Area Identity).

Зона обслуживания MSC/VLR представляет собой часть сети GSM, которая обслуживается одним MSC и зарегистрирована в VLR данного MSC.

Мобильная наземная сеть общего пользования PLMN - это совокупность зон обслуживания MSC/VLR, принадлежащих одному оператору.

Повторное использование частот

Повторное использование частот - способ организации связи, при котором одни и те же частоты многократно используются в разных зонах обслуживания. Применение частотно-территориального планирования с повторным использованием частот позволяет увеличить пропускную способность при ограниченном количестве частотных каналов.

Расстояние повторного использования частот (frequency reuse distance) - расстояние D между центрами двух удаленных сот, начиная с которого допускается повторное использование частот. В общем случае оно определяется по формуле $D = \sqrt{3N} R$, где N - число ячеек в кластере; R - радиус ячейки (радиус окружности, описанной вокруг гексагональной ячейки).

Кластер (cluster) - группа из близко расположенных сот, в пределах которых недопустимо повторное использование из-за опасности превышения уровня взаимных помех. Размер кластера N определяется по формуле

$$N = i^2 + ij + j^2,$$

где i, j - целые числа.

Из этой формулы видно, что кластер может содержать только определенное число сот:

при $i = 0, j = 1, N = 1$;

$i = 1, j = 1, N = 3$;

$i = 0, j = 2, N = 4$;

$i = 1, j = 2, N = 7$;

$i = 0, j = 3, N = 9$;

$i = 2, j = 2, N = 12$; и т.д.

Приведенное соотношение для D показывает, что чем меньше радиус ячейки R , тем выше коэффициент повторяемости частот ($1/N$), а, следовательно, и эффективность использования выделенного диапазона частот. Отношение $k = D/R = \sqrt{3N}$ называется коэффициентом снижения внутриканальных помех и характеризует степень взаимного влияния удаленных сот, в которых используются одни и те же частотные каналы. Для приведенных выше значений N значения k равны: $k(1) = 1,7$; $k(3) = 3$; $k(4) = 3,5$; $k(7) = 4,6$; $k(9) = 5,2$; $k(12) = 6$.

Пример распределений частот при повторном использовании показан на **рис. 9.3** (7-элементный кластер).

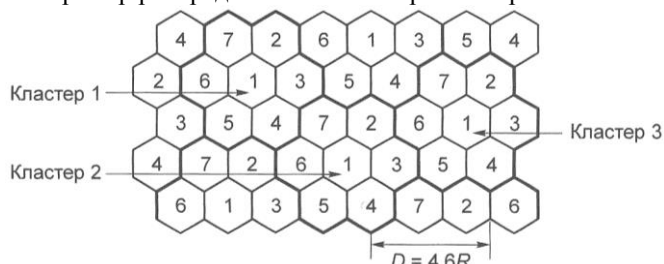


Рис. 9.3. Семиэлементный кластер

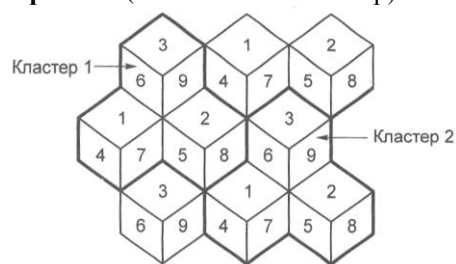


Рис. 9.4. Кластеры трехсекторных сот

Секторизованная сота

Сота, в которой обслуживание абонентов осуществляется базовой станцией с секторной антенной, называется секторизованной сотой (sectorized cell). При этом зона покрытия антенны разделяется на секторы. Секторизация позволяет повысить пропускную способность системы сотовой связи без уменьшения размеров зоны покрытия или снижения мощности, излучаемой базовой станцией. Ширина диаграммы направленности секторной антенны соответствует угловому размеру сектора. В системах сотовой связи обычно используют антенны с шириной диаграммы направленности 120° (трехсекторная антенна). Обычно применяются кластеры размерностью 3/9, 4/12, 7/21, где первая цифра показывает число сот в кластере, а вторая - число секторов. На **рис. 9.4** показан пример применения 3-секторной антенны для кластера 3/9. В этом примере распределяются 9 групп частот.

В настоящее время применяются шестисекторные антенны с шириной диаграммы направленности 60° . Возможна разработанная корпорацией Motorola сотовая сеть с шириной диаграммы направленности 60° и 12 группами несущих частот. Этот кластер содержит 4 элемента и 6-секторную антенну (размерность кластера 4/24).

Задачи, выполняемые каналами в системе GSM

Очевидно, что использование радиоканалов в сети GSM отличается от использования в стационарной сети. Принцип использования каналов в системе GSM показан на **рис. 9.5**.

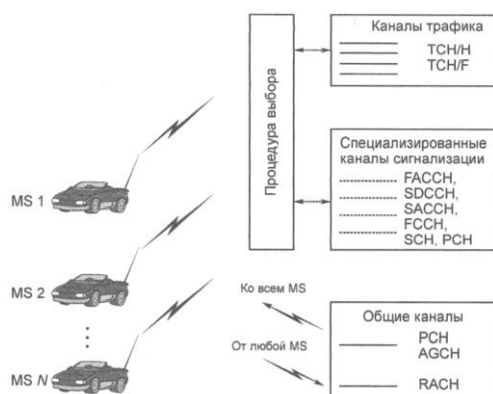


Рис. 9.5. Принцип использования каналов: трафика и сигнальных

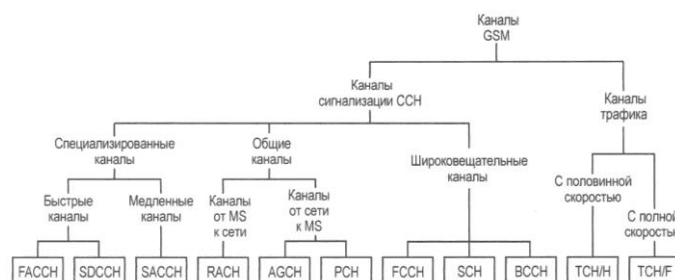


Рис. 9.6. Состав каналов радиointерфейса GSM

AGCH	Access Grant Channel
FACCH	Fast Associated Control Channel
FCCH	Frequency Correction Channel
PCH	Paging Channel
AACH	Random Access Channel
SACCH	Slow Associated Control Channel
SCH	Synchronizing Channel
SDCCH	Stand-alone Dedicated Control Channel
TCH/F	Traffic Channel/Full
TCH/N	Traffic Channel/Half

Канал предоставления доступа
Быстродействующий совместный канал управления
Канал подстройки частоты
Широковещательный канал коротких сообщений (канал вызова)
Канал с произвольным доступом
Низкоскоростной совместный канал управления
Канал синхронизации
Автономный выделенный канал управления
Канал трафика, работающий на полной скорости
Канал трафика, работающий на половинной скорости



Рис. 9.7. Обмен сигналами для входящего и исходящего соединений

Для входящей связи передача сигнала «заявка» к MS осуществляется по широковещательному каналу коротких сообщений (канал вызова) (PCH - Paging Channel), общему для всей соты. Этот канал передает сигнал «вызов» всем станциям зоны местоположения (LA). Получив такой сигнал, мобильная станция определяет свой номер и отвечает на широковещательный сигнал также как при исходящем вызове - сигналом запроса по каналу с произвольным доступом (RACH - Random Access Channel). Далее сигналы установления соединения проходят, как и при исходящей связи.

Порядок обмена сигналами для входящего и исходящего соединений показан на **рис. 9.7**. На рисунке показаны некоторые особенности передачи сигналов. Ниже даны соответствующие пояснения.

При входящей связи BTS пункта назначения (работа других элементов сети на данном рисунке не показана) выполняет следующие действия:

1. Передает широковещательный сигнал всем станциям в зоне обслуживания данного MSC. Сигнал передается по отдельному каналу управления - широковещательному каналу коротких сообщений (PCH - Paging Channel).

2. После этого MS по каналу управления - канал с произвольным доступом (RACH - Random Access Channel) - посылает запрос на срочное назначение индивидуального канала управления на время обмена сигналами. Наиболее распространенным методом случайного (произвольного) доступа является ALOHA, принцип которого описан выше. BTS выбирает канал для обмена управляющими сигналами.

3. BTS запрашивает данные аутентификации, которая осуществляется с помощью данных, полученных ранее при реализации процедуры аутентификации и защиты пользователя. В ответ на запрос MS передает накопленный в SIM-карте зашифрованный отклик (SRES - Signed Response), что позволяет BTS установить подлинность MS.

4. Далее BTS передает запрос ключа шифрования.

5. После получения ответного ключа шифрования (если ключ правильный) проводится процедура установления соединения, которая уже рассмотрена при описании **рис. 9.5**.

Каналы сигнализации радиointерфейса

Каналы сигнализации радиointерфейса используются для установления вызова, широковещательной рассылки коротких сообщений, технического обслуживания вызова, синхронизации и т.д. (**рис. 9.6**).

Существуют 3 группы каналов сигнализации:

Широковещательные каналы (BCN - Broadcast Channel) доставляют информацию от станции к абоненту (downstream) и предназначены, главным образом, для коррекции частоты и синхронизации. Это - единственный тип канала, допускающий связь «точка-много точек», при которой короткие сообщения могут быть переданы одновременно нескольким мобильным телефонам.

BCN включают следующие каналы:

В стационарной сети абонентские линии (абонентские каналы трафика) закреплены за телефонным аппаратом. Когда известен номер абонента, то при исходящей или входящей связи не требуется выбор абонентской линии.

В сети GSM определены два типа каналов передачи: работающий на полной скорости (TCH/F - Traffic Channel/Full) - 22,8 кбит/с и работающий на половинной скорости (TCH/H - Traffic Channel /half) - 11,4 кбит/с,

В мобильной связи каналы трафика доступны любому абоненту. Поэтому в процессе установления соединения может быть выбран любой канал, к которому может быть подключена станция. Поскольку в свободном состоянии абонентская линия не имеет связи с каналами трафика, она нуждается в канале управления, например, для передачи сигнала «вызов» (setup), номера вызывающего абонента и т.п. Поэтому для передачи запроса сети на установление соединения применяется канал, направленный от MS к сети. Это канал произвольного доступа (RACH - Random Control Channel). Поскольку запрос на установление соединения передается только в начале соединения, и в дальнейшем выделяется канал для обмена управляющей информацией, то этот канал является общим для всех станций зоны местоположения.

Для общего канала всегда нужна процедура доступа для избежания или разрешения конфликтов. В данном случае чаще всего применяется процедура случайного много станционного доступа с временным разделением типа ALOHA (TDMA - Time Division Multiple Access). Принцип такого доступа основан на том, что все станции используют один канал связи, контролируя его работу, а передача осуществляется в случайные моменты времени, что уменьшает вероятность конфликтов.

В ответ на сигнал запроса на установление соединения выбирается автономный выделенный канал управления (SDCCH - Stand-alone Dedicated Control Channel), по которому в дальнейшем передается служебная информация от MS в течение установления вызова прежде, чем будет найден канал трафика (TCH).

- **широковещательный канал управления (BCCH - Broadcast Control Channel)**: передает общую информацию, касающуюся сот, например, код зоны местоположения (LAC - Location Area Code), код сетевого оператора, код доступа, параметры, список соседних ячеек, и Т.Д. MS получают сигналы через BCCH от многих BTS в пределах той же самой сети или различных сетей;

- **канал подстройки частоты (FCCH - Frequency Correction Channel)**: канал связи от сети к MS, предназначенный для коррекции частот MS и передачи частоты к MS. Он также используется для вхождения в синхронизм, обеспечивая соблюдение заданной дистанции между временными интервалами и позицией первого временного интервала кадра TDMA;

- **канал синхронизации (SCH - Synchronizing Channel)**: исходящий канал от MS к сети; обеспечивает синхронизацию кадра TDMA и идентификацию базовой станции. SCH обеспечивает MS всей информацией, необходимой для синхронизации с BTS.

Общие каналы управления (CCCH - Common Control Channels) - группа каналов связи от абонента к станции и каналы связи от сети к MS. Эти каналы используются для передачи информации между сетью и MS. Общие каналы управления включают следующие каналы:

- **широковещательный канал коротких сообщений (канал вызова) (PCH Paging Channel)**: исходящий канал только от сети к MS; BTS информирует MS о входящих вызовах через PCH;

- **канал предоставления доступа (AGCH)**: исходящий канал только от сети к MS; BTS распределяет TCH или SDCCH к MS, таким образом разрешая MS доступ к сети;

- **канал с произвольным доступом (RACH)**: канал связи только от MS к сети; позволяет MS запрашивать SDCCH. Это делается в ответ на широковещательный запрос или на вызов по принципу случайного доступа.

Специализированные (выделенные) каналы управления (DCCCH - Dedicated Control Channel) предназначены, например, для обслуживания: роуминга, изменения местоположения, передачи соединения (хэндовер), шифрования, и т.д.

DCCCH включают следующие каналы:

- **автономный выделенный канал управления (SDCCH - Stand-alone Dedicated Control Channel)** соединяет MS и BTS для передачи сигналов в течение установления вызова прежде, чем будет найден канал трафика (TCH). Он необходим, например, для реализации хэндовера; применяется также для несрочных процедур, например, для измерения радиосигналов, управления мощностью (только исходящий канал от сети к MS);

- **низкоскоростной совмещенный канал управления (SACCH - Slow Associated Control Channel)** передает непрерывные сообщения об измерениях (например, напряженность поля); параллельно с ним могут работать TCH или SDCCH. Он необходим, например, для решений хэндовера; применяется подобно TCH или SDCCH для несрочных процедур, в частности, для измерения радиосигналов, управления мощностью (только исходящий канал от сети к MS);

- **быстродействующий совмещенный канал управления (FACCH - Fast Associated Control Channel)**. Его работа похожа на SDCCH, но он может использоваться временно как TCH в режиме перераспределения каналов (borrowing mode) совместно с SDCCH, если скорость передачи данных SDCCH недостаточна. Дополнительная пропускная способность используется, например, для процедур, связанных с установлением подлинности (аутентификацией), установлением соединения, хэндовером и т.д.

Почти все сигнальные каналы используют формат нормального пакета, кроме RACH, FCCH и SCH.

Примеры работы сети GSM

Обслуживание вызова от абонента стационарной сети к абоненту мобильной сети GSM

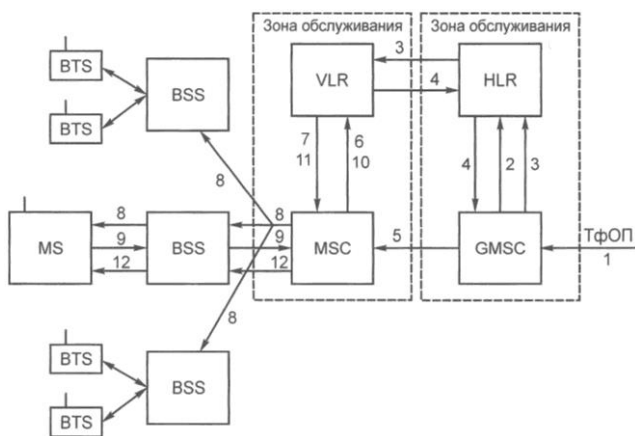


Рис. 9.8. Обслуживание вызова от абонента стационарной сети к абоненту мобильной сети GSM

Приведенный пример описывает обслуживание вызова от абонента стационарной сети к абоненту мобильной сети GSM (рис. 9.8). В рассматриваемом примере порядок действий следующий:

1. Входящий вызов поступает от ТфОП на вход шлюза MSC (GMSC Gateway MSC).

2. На основе международного опознавательного кода (IMSI) вызываемого мобильного абонента определяется домашний регистр местоположения (HLR).

3. Затем запрашивается соответствующий визитный регистр местоположения (VLR) для того, чтобы определить номер для услуг роуминга мобильной станции (рис. 9.12) - MSRN (Mobile Station Roaming Number).

4. Этот номер передается обратно в HLR GMSC.

5. Затем соединение переключается к соответствующему MSC.

6. MSC вырабатывает запрос VLR.

7. Теперь VLR делает запрос зоны местоположения LA и состояния (доступности) мобильного абонента. Если MS отмечена как доступная, то выполняется п. 8.

8. Передается широковещательный вызов по всей зоне нахождения, записанной в VLR.

9. Мобильный абонентский телефон отвечает на широковещательный запрос из текущей радиосоты.

10. После этого выполняются все необходимые процедуры безопасности (аутентификация и обмен шифровальными ключами). Если они выполнены успешно, то выполняется п. 11.

11. VLR указывает MSC, что вызов закончен, и передает MSC временный опознавательный код мобильной станции TMSI.

12. MSC передает TMSI к MS и информирует о начале работы.

На рис. 9.9 отдельно отображен процесс изменения номеров в процессе установления входящего вызова.

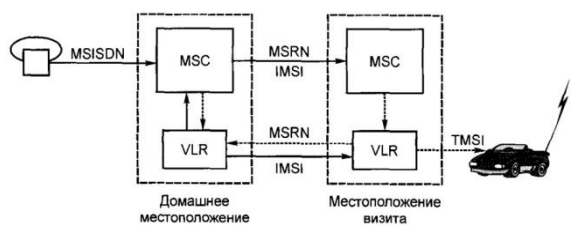


Рис. 9.9. Принцип изменения номера при установлении входящего вызова

Регистрация в сети

При каждом включении мобильного телефона после выбора сети начинается процедура регистрации (рис. 9.10). Рассмотрим наиболее общий случай регистрации не в домашней, а в чужой, так называемой гостевой, сети. Будем предполагать, что услуга роуминга абоненту разрешена.

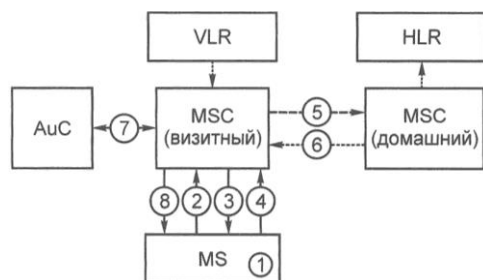


Рис. 9.10. Процесс регистрации

4. MS передает IMSI абонента. IMSI начинается с кода страны «приписки» его владельца, далее следуют цифры, определяющие домашнюю сеть, а уже потом - уникальный номер конкретного подписчика. Начало IMSI соответствует коду страны и оператору (например, 250 - Россия, 99 - Билайн).

5. По IMSI VLR гостевой сети определяет домашнюю сеть и запрашивает ее HLR.

6. Домашний регистр мобильного центра коммутации (MSC/HLR) 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.

7. MSC совместно с VLR проводит проверку полномочий.

8. В положительном случае MSC включает MS в обслуживание.

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 знает».

При первом подключении абонента к сети выполняется операция закрепления международного опознавательного кода мобильной станции IMSI. Обратная закреплению процедура - открепление - позволяет сети «знать», что мобильная станция недостижима, и устраняет необходимость напрасно распределять каналы и передавать широковещательные сообщения. Процедура закрепления похожа на обновление местоположения и сообщает, что мобильная станция доступна снова.

Все пользователи случайным образом разбиваются на 10 равноправных классов доступа (с номерами от 0 до 9). Абоненту присваивается класс доступа. 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-карте. Особый 10-й класс доступа позволяет совершать экстренные вызовы (по номеру 112), если пользователь не принадлежит к какому-либо разрешенному классу или вообще не имеет IMSI. В случае чрезвычайных ситуаций или перегрузки сети некоторым классам может быть на время закрыт доступ в сеть.

Обновление местоположения

При подвижной связи в случае включенной мобильной станции осуществляется постоянное слежение за местоположением даже в случае отсутствия соединения. В частности это необходимо для установления входящей связи. Включенная мобильная станция информируется о входящем вызове широковещательным сообщением, передаваемым по широковещательному каналу коротких сообщений (PCN - Paging Channel).

Один из вариантов определения местоположения - периодически сообщать о расположении объектов в каждой соте. При этом, если объект редко меняет свое местоположение (соту), это было бы излишним расходом пропускной способности радиосети. Другой крайний случай - уведомлять систему при изменении местоположения мобильной станции широковещательным сообщением. Это очень расточительно из-за большого количества мобильных станций, обновляющих свое местоположение. Компромиссное решение, используемое в GSM, относится к оповещению о местоположении при смене группы сот в области местоположения, приводящей к ухудшению связи. Обновляющие сообщения требуются при перемещении между областями местоположения, и подвижные станции просматриваются в сотах их текущей области местоположения.

MSISDN- международный ISDN номер мобильной станции
MSRN - временный роуминговый номер мобильной станции
IMSI - международный опознавательный код мобильного абонента
TMSI - временный опознавательный код мобильного абонента
HLR - домашний регистр местоположения
VLR - визитный регистр местоположения

Процедуры обновления местоположения и соответствующая последующая маршрутизация используют центр коммутации мобильной связи и регистры HLR и VLR в тех случаях, когда мобильная станция:

- переключается на другие BTS и BSC в области местоположения;
- перемещается в новую область местоположения;
- переходит к другому оператору сети связи общего пользования для наземных объектов (PLMN).

Это перемещение должно регистрироваться сетью с целью указания ее текущего местоположения. В нормальном случае сообщение об обновлении местоположения передается новому центру коммутации мобильной связи (визитному регистру местоположения VLR), который записывает информацию об области местоположения и затем передает эту информацию домашнему регистру местоположения абонента. Информация, принимаемая HLR (обычно через ОКС-7), - это адрес нового VLR, хотя это может быть и номер направления. Если абонент имеет право на обслуживание в новой области местоположения, HLR передает набор абонентской информации, необходимой для управления вызовом, новому центру коммутации мобильной связи (MSC/VLR) и сообщение старому визитному регистру центра коммутации (MSC/VLR) об отмене старой регистрации.

Аутентификация и защита

Так как к радиосреде имеют доступ много устройств и абонентов, требуется аутентифицировать пользователей. Эта процедура (рис. 9.11) устанавливает подлинность и принадлежность к сети абонента и оборудования, определяет права и полномочия абонента и право доступа к сетевым ресурсам. Аутентификация проводится с помощью двух функциональных объектов: SIM-карты в мобильной станции и центром аутентификации AuC.

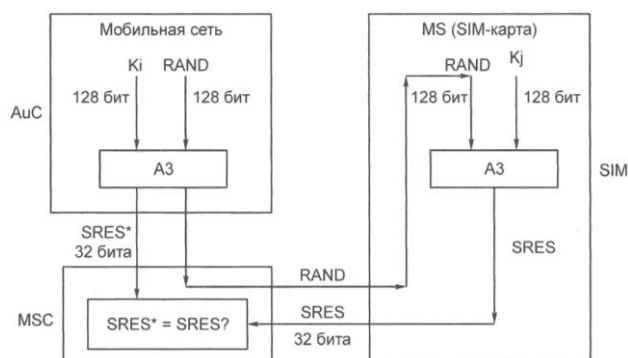


Рис.9.11. Обеспечение аутентификация абонента и защита информации

K_i - индивидуальный ключ шифрования;
 SRES (Signed Response) - зашифрованный отклик;
 SRES* - SRES, вычисленный в телефонной трубке

алгоритм использует для того, чтобы создать последовательность из 114 битов, применяя операцию «исключающее ИЛИ» к 114 битам пакета (два блока по 57 битов).

Другой уровень защиты выполняется непосредственно в MS, обеспечивая защиту оборудования от несанкционированного использования. Как упомянуто ранее, каждый терминал GSM идентифицирован уникальным международным опознавательным кодом подвижной аппаратуры IMEI. Список IMEI в сети сохраняется в регистре идентификации оборудования EIR (Equipment Identity Register), и в ответ на запрос кода IMEI к EIR терминалу возвращается одно из следующих состояний в соответствии с тем, в каком списке находится номер абонента:

белый список - терминалу позволяют соединиться с сетью;

серый список - терминал находится под наблюдением сети ввиду возможных проблем;

черный список - терминал заявлен как украденный или некорректный тип для сети GSM. Терминалу не позволяют соединиться с сетью.

Передача соединения (хэндовер)

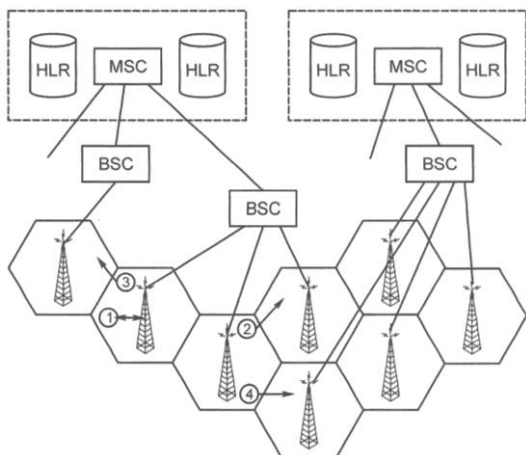


Рис. 9.12. Варианты хэндовера

В сотовой сети радиоресурсы и фиксированные линии связи в процессе вызова не остаются занятыми постоянно. Хэндовер (передача соединения), или хэндофф (handoff), как его называют в Северной Америке, - это переключение каналов и линий по мере перемещения подвижного объекта по различным каналам или ячейкам сотовой сети. Обнаружение и измерение уровня радиосигналов для хэндовера составляют одну из основных функций уровня управления радиоресурсами RRM (Radio Resources Management).

Хэндовер принято разделять на четыре типа, указанных соответствующими цифрами на рис. 9.12:

1. Смена каналов в пределах одной базовой станции.
2. Смена канала одной базовой станции на канал другой станции, находящейся под управлением того же BSC.
3. Переключение каналов между базовыми станциями, контролируемые разными BSC, но одним MSC.
4. Переключение каналов между базовыми станциями, за которые отвечают не только разные BSC, но и разные MSC.

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

Первые два типа передачи соединения охватывают только один контроллер базовой станции. Чтобы сохранять способность обмена сигналами, достаточно взаимодействия BSC без использования управления из центра коммутации мобильной связи (MSC). После завершения передачи соединения (хэндовера) необходимо уведомить об этом событии MSC.

Последние два типа передачи соединения называются внешними передачами соединения и обрабатываются MSC, участвующими в соединении.

Хэндовер может быть инициализирован мобильной станцией или MSC.

Как указывалось, MS по широкополосному каналу управления (BCCH) проводит сканирование не менее 16 соседних сот, формируется список шести лучших кандидатов на возможную передачу соединения, основанную на полученной напряженности поля сигналов. Эта информация передается к BSC и MSC не менее одного раза в секунду для использования алгоритмом передачи соединения.

Алгоритм определения момента времени, когда должно быть принято решение о передаче соединения (хэндовер), не определен в рекомендациях GSM. Есть два основных используемых алгоритма, тесно связанных с управлением мощностью. Это объясняется тем, что базовая станция обычно «не знает», является ли плохое качество сигнала следствием замирания из-за многолучевости или следствием перемещения мобильной станции к другой ячейке, что особенно часто имеет место при небольших городских ячейках.

Алгоритм «минимально допустимая характеристика» отдает приоритет управлению мощностью, а не передаче соединения (хэндоверу): когда сигнал ухудшается до некоторого заданного уровня, уровень мощности мобильной станции увеличивается посредством управления. Если дальнейшее увеличение мощности не улучшает сигнал, то начинается передача соединения (хэндовер). Это - наиболее простой и наиболее общий метод, но он создает эффект «расплывчатой границы» соты, когда мобильная станция передает сигналы, используя пиковую мощность при проходе не которого расстояния вне границы ячейки исходной соты в другую соту.

Алгоритм «бюджета мощности» предоставляет приоритет хэндоверу, при этом целью является поддержание или улучшение качества сигнала при том же самом или более низком уровне мощности. При этом методе отсутствует проблема «расплывчатой границы» соты, что уменьшает межканальные помехи, но это весьма усложняет алгоритм.

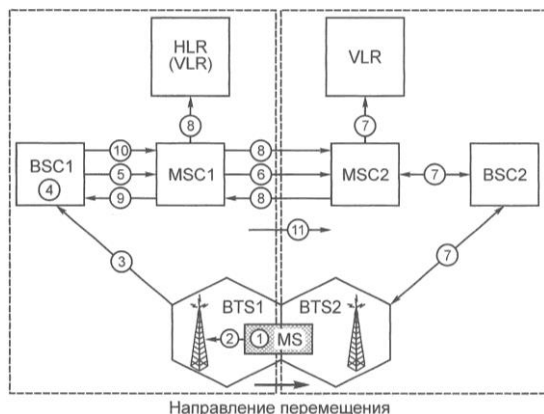


Рис. 9.13. Обмен сигналами при хэндовере

5. Если BSC1 решает запросить хэндовер, то он передает MSC1 номер используемой соты, список целевых сот с лучшими показателями, чем у используемой соты. При этом станция BTS2 включена в список целевых сот. На BSC1 включается таймер для того, чтобы ограничить время ожидания начала хэндовера (поступления сигнала от MSC1 о начале процесса хэндовера).

6. MSC1 передает запрос на хэндовер к MSC2. При этом из регистра MSC1 (это может быть VLR или HLR) передаются данные для маршрутизации и аутентификации. На MSC1 включается таймер для того, чтобы ограничить время ожидания начала хэндовера в зоне обслуживания MSC2 (время ответа от BSC2).

7. Запрос на передачу соединения обрабатывается на MSC2 как новый исходящий вызов, и выбирается канал для нового вызова. Новые данные записываются в VLR MSC2, который обеспечивает присвоение номера «блуждающей» подвижной станции (MSRN - Mobile Station Roaming Number). Процедуры установления подлинности во время обработки вызова управляет VLR MSC2.

8. Передается подтверждение запроса хэндовера от MSC2 (начало хэндовера) к MSC1. На MSC1 отключается таймер, ограничивающий время ожидания начала хэндовера (см. п. 6), так как получена команда о начале хэндовера. Если MSC1 был центром визита, то данные на VLR MSC1 стираются. Если он был домашним центром, то текущий адрес VLR абонента, содержащийся в HLR, обновляется.

9. MSC1 передает BSC1 сообщение о том, что соединение закончено.

10. BSC1 освобождает канал, информирует MSC1 о том, что разъединение закончено.

11. MSC1 освобождает оборудование и передает MSC2 сигнал окончания процедуры.

Роуминг

Роуминг - одна из самых важных функций сотовой связи. Необходимость в роуминге возникает каждый раз, когда абонент изменяет свое местоположение и перемещается в сеть, принадлежащую *другому оператору*. Роуминг бывает локальный (переезд внутри города или в пригород), национальный (в другой город или область) и международный (переезд в другую страну).

При перемещении абонента в другую сеть ее центр коммутации (MSC/VLR) запрашивает информацию в первоначальной сети (MSC/HLR) и при наличии подтверждения полномочий абонента регистрирует его. Данные о местоположении абонента постоянно обновляются в центре коммутации первоначальной сети (MSC/HLR), и все поступающие туда вызовы автоматически переадресовываются в ту сеть, где в данный момент находится абонент.

По способу регистрации различают следующие виды роуминга:

- автоматический, т.е. с возможностью провести процесс хэндовера;
- полуавтоматический, когда предварительно следует оповестить оператора о намерении посетить соответствующий регион;
- ручной, при котором абоненту вручается радиотелефон, включенный в сеть визита.

Для обеспечения роуминга необходимо выполнение следующих условий: - наличие в требуемых регионах сотовых систем стандарта, совместимого со стандартом компании, у которой был приобретен радиотелефон;

- наличие соответствующих организационных и экономических соглашений о роуминговом обслуживании абонентов;
- наличие между системами каналов связи, обеспечивающих передачу звуковой, сигнальной и другой информации для роуминговых абонентов.

При организации роуминга недостаточно: провести только технические мероприятия по соединению различных сетей сотовой связи. Очень важно еще решить проблему взаиморасчетов между операторами этих сетей.

Кроме того, для организации передачи сигнальных сообщений при автоматическом роуминге требуется создать соответствующие сигнальные каналы и программное обеспечение. Это требует определенных затрат. Поэтому между областями обслуживания различных операторов существует большая потребность в обмене информацией по обслуживанию роуминговой связи.

Протоколы сети GSM

Общая структура

Основное описание протоколов сети GSM дано в документах ETSI. Эти документы представляют собой некоторые группы, систематизированные по версиям.

Рассмотренные выше функции регистрации (registration), аутентификации (authentication), маршрутизации вызова (call routing), обновления координат местоположения, механизм передачи соединения (handover) выполняются подсистемой сети, главным образом используя протоколы сигнализации системы мобильной связи, основанные на протоколах системы ОКС-7. Структура этих протоколов показана на **рис. 9.14**.

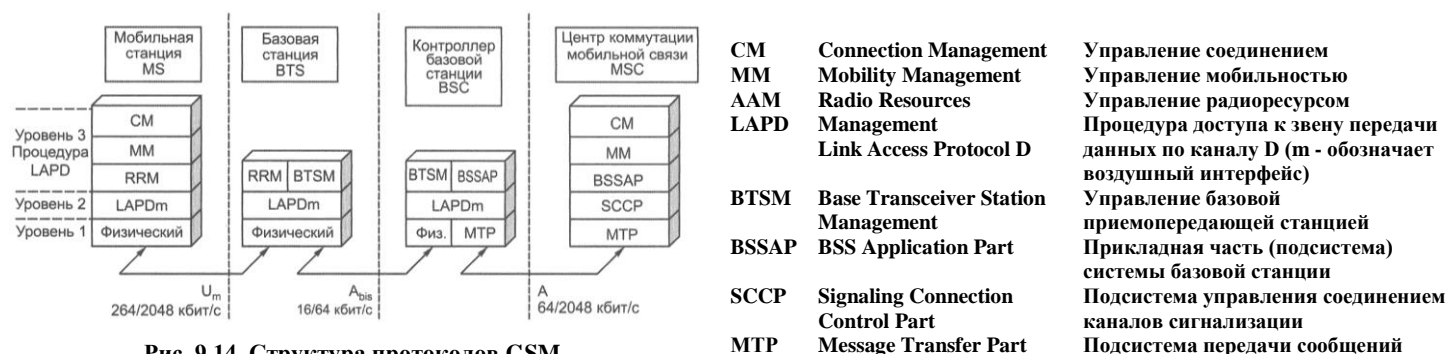


Рис. 9.14. Структура протоколов GSM

Протоколы в GSM разделены на три уровня в зависимости от интерфейса. Участок «мобильная станция - базовая станция» использует следующие уровни. Уровень 1 - физический уровень, который использует структуры канала, рассмотренные выше, по «воздушному интерфейсу». Уровень 2 - уровень звена передачи данных по интерфейсу U_m , уровень звена передачи данных - это модифицированная версия процедуры LAPD, применяемой в ISDN, называемая LAPDm. Уровень 3 - протокол, использующий также модифицированную версию LAPD, самостоятельно разделен на три следующих подслоя.

Управление радиоресурсами (RRM - Radio Resources Management) - управляет первоначальной установкой оконечных устройств, включением радио- и фиксированных каналов, их обслуживанием, а также обеспечивает процедуру хэндовера.

Управление передвижением (MM - Mobility Management) - управляет обновлением местоположения и процедурами регистрации, а также защитой и аутентификацией.

Управление соединением (CM - Connection Management) - осуществляет общий процесс управления установлением соединения и сигнализацией и управляет дополнительными услугами, а также службой передачи коротких сообщений.

При взаимодействии базовой приемопередающей станции (BTS) с контроллером базовой станции (BSC) используется интерфейс A_{bis} , который обеспечивает управление базовой приемопередающей станцией (BTSM - Base Transceiver Station Management).

Передача сигналов между различными объектами в фиксированной части сети (интерфейс A) использует следующие протоколы: на уровне 1 - MTP (Message Transfer Part - подсистема передачи сообщений); на уровне 2 - SCCP (Signaling Connection Control Part - подсистема управления соединением канала сигнализации), принадлежащий системе сигнализации ОКС-7. На уровне 3 применяют перечисленные выше протоколы GSM MM и CM.

Подсистема третьего уровня BSSAP (BSS Application Part - прикладная часть системы базовой станции) предназначена для связи контроллера базовой станции (BSS) с центром коммутации мобильной связи (MSC). Спецификация MAP весьма сложна и изложена на более чем 500 страницах, это - один из самых длинных документов в рекомендациях GSM.

Подсистемы сигнальных протоколов

Основные сведения о подсистеме управления соединением

Для передачи сигнальных сообщений между центром коммутации мобильной связи и системой базовой станции используются подсистемы MTP и SCCP, применяемые в системе ОКС-7. Рассмотрим кратко содержание подсистемы SCCP.

Подсистема управления соединением канала сигнализации SCCP (Signaling Connection Control Part) управляет логическими соединениями в сети ОКС для передачи блоков данных сигнализации. Она выполняет функции третьего уровня (сетевой уровень) модели взаимодействия протоколов ОКС. SCCP управляет передачей данных по сети ОКС при установлении соединения и при техническом обслуживании. Это управление непосредственно не связано с конкретным каналом речи или передачи данных.

Подсистема SCCP предоставляет два класса услуг: ориентированных на соединение и не ориентированных на соединение.

В первом случае перед началом обмена данными устанавливается соединение. В этом случае доставка сообщений может быть гарантирована в порядке их передачи. Для ориентированных на соединения услуг различаются постоянные и кратковременные (полупостоянные) соединения для сигнализации. При этом для полупостоянных соединений предусмотрены три фазы: фаза установления соединения, фаза обмена данными и фаза освобождения соединения. При реализации услуг, не ориентированных на соединение, SCCP обеспечивает передачу данных в двух режимах: с контролем последовательности доставки сообщений и без контроля. В последнем случае не гарантируется прием данных в порядке их передачи, так как они маршрутизируются в сети сигнализации по-разному и могут быть повторно запрошены при воздействии помех.

Ниже приведем только часть заголовков, связанных с подвижной системой.

Примеры типов сообщений для системы, ориентированной на соединение, следующие:

- запрос на соединение между двумя узлами (CR);
- подтверждение соединения (CC) в ответ на сообщение CR;
- запрос на разъединение (RLSD);
- подтверждение разъединения (RLSC) со стороны любого из узлов;
- подтверждение разъединения (процесс освобождения завершен);
- данные для прозрачной передачи данных между двумя узлами (DT);
- разрешенная подсистема (SSA).

Сигнальные протоколы третьего уровня

Управление радиоресурсами

Уровень управления радиоресурсами (RRM - Radio Resource Management) наблюдает за установлением соединения по радио- и фиксированной сети между подвижной станцией и центром коммутации подвижной связи (MSC). Главные функциональные компоненты этого уровня - подвижная станция, подсистема базовых станций, центр коммутации подвижной связи. Уровень RRM предназначен для управления радиосеансом. Сеанс - это время, которое мобильная станция находится в режиме соединения, управляя конфигурацией радиоканалов, включая распределение специализированных каналов.

Радиосеанс всегда инициализируется подвижной станцией с помощью процедуры доступа либо для исходящего вызова, либо в ответ на ширококвотельный вызов при входящем вызове. Рассмотренные выше процедуры исходящего вызова, ширококвотельного вызова, такие как назначение выделенного канала для сигнализации мобильной станции, определение структуры ширококвотельного подканала, осуществляются на уровне RRM. Кроме того, этот уровень содержит процедуры управления мощностью, прерывистой передачи и приема.

Управление мобильностью

Уровень управления мобильностью MM относится к верхнему уровню управления радиоресурсами и выполняет функции, обусловленные передвижением абонента (изменение местоположения), а также функции защиты и аутентификации. Управление при изменении местоположения включает процедуры, которые дают возможность системе «знать» текущее местоположение включенных подвижных станций для того, чтобы управлять маршрутизацией входящих вызовов.

Управление соединением

Уровень управления соединением CM отвечает за управление вызовом, управление дополнительными видами услуг и управление службой передачи коротких сообщений. Каждое из них можно рассматривать, как отдельный подслон в пределах уровня управления соединением. Процедура управления вызовом почти совпадает с процедурами цифровой сети ISDN, приведенными в Рекомендации Q931, хотя маршрутизация к (от) подвижного объекта очевидно является в GSM уникальной. Другие функции подслоя управления вызовом включают: установление соединения, выбор типа обслуживания (включая чередование услуг в течение вызова) и отбой.

Форматы сообщений и состав сигналов 3-его уровня

Как уже указывалось выше, система протоколов взаимодействия на участке MS-BTS (CM, MM, RRM) является подмножеством протоколов третьего уровня. Основные положения этого протокола рассмотрены при описании протоколов сети ISDN. Ниже приведены некоторые форматы и команды, касающиеся протоколов участка MS-BTS. Содержание каждого сигнала следует из его названия.

Обмен сигнальной информацией уровня RRM производится в виде сообщений.

Частотный план в стандарте GSM

На рис. 9.15 показан принцип образования каналов в системе GSM.

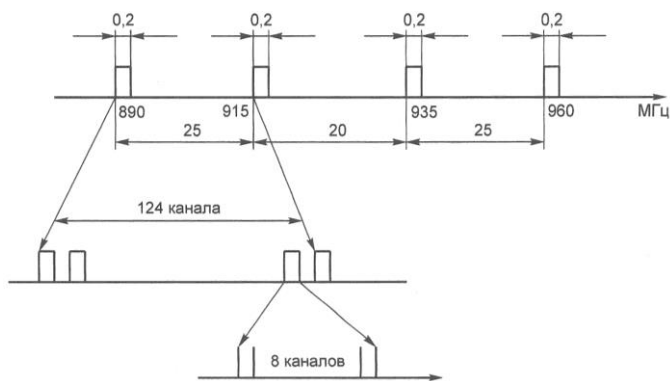


Рис. 9.15. Образование каналов в GSM

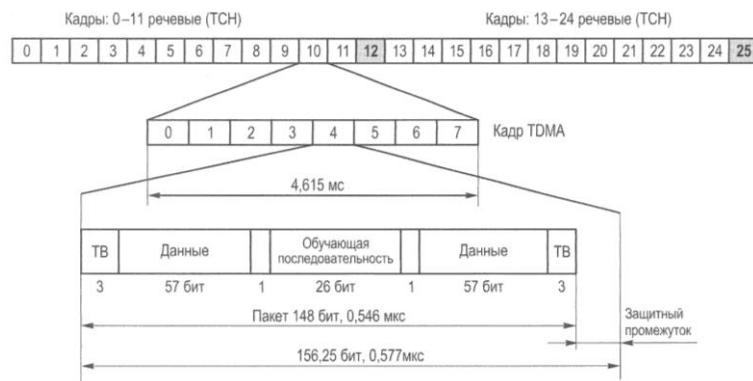


Рис. 9.16. Структура кадров трафика в GSM

Для радиодоступа в GSM-900 выделены две полосы частот:

- 890-915 МГц - для канала связи от абонента к станции (направление от MS к BS);
- 935-960 МГц - для исходящего канала от станции к абоненту (направление от BS к MS).

Полосы по 25 МГц разделены на 124 пары каналов, которые работают в дуплексном режиме с интервалом несущей частоты 200 кГц, используя многостанционный доступ с частотным разделением каналов (FDMA - Frequency Division Multiple Access). Каждый радиоканал с шириной полосы 200 кГц разделен на временные слоты, которые создают 8 логических каналов. При этом используется многостанционный доступ с временным разделением (TDMA - Time Division Multiple Access). Напомним, что многостанционный доступ заключается в том, что группа пользователей имеет возможность использовать одну несущую частоту в разные моменты времени.

Канал, переносящий информацию (канал трафика или логический канал), определяется номером несущей частоты и номером одного из 8 временных положений. Информация переносится в виде коротких пакетов (burst), объединенных в кадры.

Многостанционный доступ с временным разделением, использующий 8 слотов и 248 физических полудуплексных каналов, составляет группу из 1984 полудуплексных каналов. При размере кластера число полудуплексных каналов в одной соте равно примерно 283 (1984/7). Как было показано ранее, разбиения, содержащего семь наборов частот, достаточно, чтобы охватить произвольно большую область, используя повторное использование частот с учетом допустимого расстояния между сотами.

Структура кадров в стандарте GSM. Структура кадров трафика

Каналы трафика (TCH) используются для доставки данных и речи. Структура образования кадров трафика показана на рис. 9.16.

Мультикадр трафика содержит 26 кадров TDMA, каждый из которых состоит из 8 пакетов (burst) трафика. Длительность мультикадра - 120 мс. Поэтому длительность кадров - $120 \text{ мс} / 26 = 4,615 \text{ мс}$, а длительность временного положения (слота) трафика равна $120 / (26 \times 8) = 0,577 \text{ мкс}$. Из 26 кадров 24 используются для трафика, один (12-й кадр) используется как низкоскоростной выделенный канал управления (SACCH - Slow Associated Control Channel) и один (25-й) в настоящее время не используется.

Пакет содержит:

- два поля данных по 57 бит, т.е. в одном пакете содержится 114 бит;
- поле обучающей последовательности. Эта последовательность используется для оценки характеристик радиоканала. Она представляет собой набор заранее заданных знаков, по искажению которых определяют качество радиоканала;
- «хвостовые биты» ТВ (tail bits), располагающиеся по краям одного блока и указывающие его границы. Они защищают информацию при сдвиге слота;
- однобитовые поля, представляющие собой флажки, которые определяют тип информации.

Пакет может использоваться как для передачи трафика, так и для передачи кадров управления. Кадры сигнализации рассмотрены далее.

ТСИ прямого и обратного направления разделены во времени на 3 периода передачи пакета. Поэтому мобильная станция не может одновременно получать и принимать информацию по одному и тому же каналу, что упрощает схемную часть.

Данные передаются в пакетах, которые помещены в слоты. Общее число битов в мультикадре трафика равно $156,25 \times 8 \times 26 = 32500$ битов. Эти биты передаются за время 120 мсек. Поэтому скорость передачи информации - $270,833 \text{ кбит/с}$ ($32500 / 0,12 = 270833 \text{ бит/с}$). Время передачи одного бита - 3,69 мкс. Чтобы нейтрализовать влияние ошибок в настройке времени, пакет данных должен быть немного короче, чем временной интервал. Он составляет для одного пакета 148 из 156,25 битов, передаваемых в пределах слота.

В дополнение к каналам ТИС с *полной скоростью* могут применяться каналы ТИС с *полускоростью*. Последние фактически могут удвоить емкость системы, так как в них предусматривается кодирование речи со скоростью 11,4 кбит/с вместо 22,8 кбит/с. Полускоростные ТИС также используются для передачи сигналов управления. В рекомендациях они названы автономными выделенными каналами управления (SDCCH - Stand-alone Dedicated Control Channel).

Использование полускоростного кодирования увеличивает число слотов до шестнадцати. При этом в четных кадрах мультикадра содержится информация слотов 0 ... 7, а в нечетных - 8 ... 15.

Структура кадров управления

Кадры управления уже рассматривались выше. Структура этих кадров и мультикадров показана на рис. 9.17. Мультикадр состоит из 51 кадра TDMA, каждый из которых содержит 8 слотов.

Содержание слотов управления и защитный интервал зависят от их назначения и представлены на рис. 9.18.

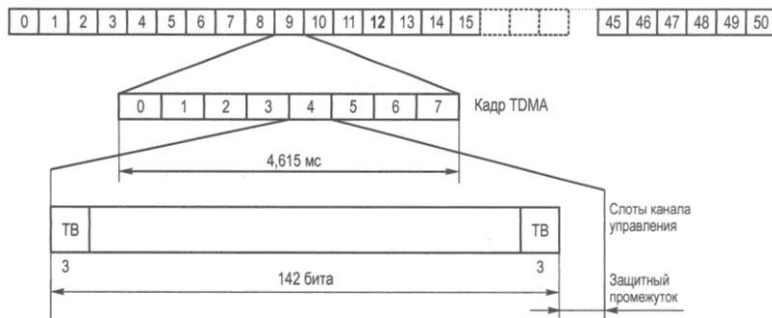


Рис. 9.17. Структура кадров управления

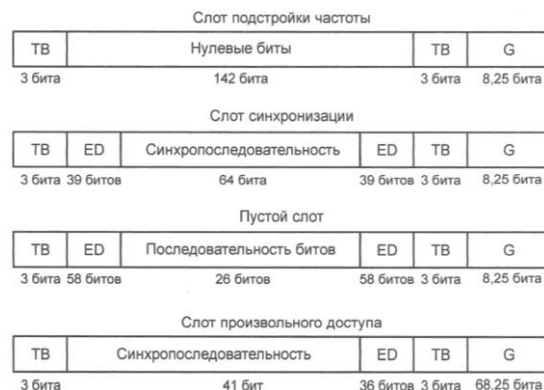


Рис. 9.18. Структура слотов управления

Слот подстройки частоты (FB - Frequency correction Burst) предназначен для синхронизации частот мобильной станции. Для передачи этих слотов выделяется канал *подстройки частоты (FCCH- Frequency Correction Channel)*.

Слот синхронизации (SCH - Synchronization Burst) предназначен для синхронизации по времени базовой и мобильной станций. Слот содержит синхропоследовательность (64 бита), зашифрованную информацию о номере кадра TDMA и коде идентификации базовой станции (два блока по 39 битов каждый). Для передачи этих слотов выделяется отдельный *канал синхронизации (SCH – Synchronizing Channel)*.

Пустой слот (DB - Dummy Burst) - это вспомогательный пакет, содержит два поля по 58 битов, не несущих информации. Такой пакет передается с целью оповещения о том, что станция находится в работоспособном состоянии.

Слот доступа (AB - Access Burst) предназначен для разрешения доступа MS к BSS, передается по *каналу произвольного доступа (RACH - Random Access Channel)*. Этот слот используется в качестве первого запроса, когда станции еще не вошли в синхронный режим и неизвестно время прохождения сигнала. Он содержит концевую комбинацию ТВ (в данном случае она содержит 8 бит), последовательность синхронизации для базовой станции - 41 бит, что позволяет базовой станции начать процесс синхронизации и обеспечить правильный прием последующих 36 битов. Большой защитный интервал (68,25 бита длительностью 252 мкс) обеспечивает максимальное время для защиты кадров от эффекта межсимвольного искажения.

Слоты имеют одинаковую длину 156,25 бита и длительность 235 мкс. Все слоты кроме слота доступа имеют три концевых бита и защитный интервал - 8,25 бита.

На **рис. 9.19** показано объединение кадров управления и трафика в единый поток. Суперкадр состоит либо из 26 мультикадров канала управления, либо из 51 мультикадра канала трафика. Всего суперкадр содержит 1326 кадров и имеет длительность 6,12 с.

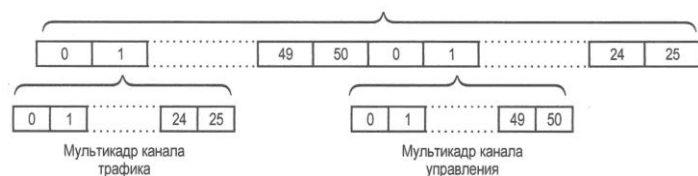


Рис. 9.19. Объединение мультикадров в поток

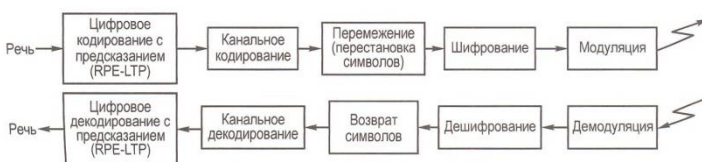


Рис. 9.20. Преобразование и получение речи в GSM

Организация физических каналов

Для передачи быстродействующего совмещенного канала управления (FACCH - Fast Associated Control Channel) и низкоскоростного совмещенного канала управления (SACCH - Slow Associated Control Channel) используются каналы трафика. Как уже говорилось и показано на **рис. 9.19**, пакет трафика может использоваться как для передачи трафика, так и для передачи кадров управления, для чего используются однобитовые флажки, которые указывают тип информации.

Как указывалось, из 26 кадров 24 используются для трафика, один (12-й кадр) используется как низкоскоростной канал управления SACCH. Один (25-й) в настоящее время не используется, но при полускоростном режиме он может использоваться для организации второго канала SACCH. Для передачи в 12-м кадре могут использоваться 8 слотов.

Поскольку один канал SACCH при полноразмерном режиме занимает один слот с информационным полем 114 бит (см. **рис. 9.17**), а время передачи 0,12 с, то скорость передачи по этому каналу $114/0,12 = 950$ бит/с.

Слоты канала FACCH передаются со скоростью слота трафика. Остальные каналы управления передаются в мультикадре управления (см. **рис. 9.16**), содержащем 51 кадр.

Широковещательный канал управления BCCH или общий канал управления CCCH могут использоваться всеми абонентами, находящимися в данной соте.

При передаче в направлении от сети к MS весь мультикадр разбивается на 5 групп, по 10 кадров в каждой. Каждая группа начинается кадром канала подстройки частоты FCCH, за которым следует кадр канала синхронизации SCH. Остальные 8 кадров разделяются на два блока по 4 кадра. Первая группа первого блока предназначена для передачи BCCH. Второй блок этой группы и остальные 8 блоков (всего 9 блоков), принадлежащие другим группам, предназначены для передачи кадров CCCH, а именно, входящих в него широковещательного канала коротких сообщений PCN (канал вызова) и канала предоставления доступа AGCH. Эти блоки называются блоками передачи каналов вызова. Таким образом, в рассматриваемом случае используются 4 кадра для передачи BCCH, 5 кадров - для передачи FCCH, 5 кадров - для SCH и 36 кадров (9 блоков вызова) - для AGCH, либо PCN.

Линия от MS к сети используется только для передачи кадров канала с произвольным доступом RACH.

Преобразование речи

Рис. 9.20 отражает последовательность действий при преобразовании речи в радиосигнал и обратном преобразовании.

Речевое кодирование

На основании субъективных показателей качества речи и сложности реализации (которая связана со стоимостью, задержкой обработки и потребляемой мощностью) в GSM выбрано кодирование с линейным предсказанием с возбуждением регулярной импульсной последовательностью (RPE- LPC, Regular Pulse Excitation - Linear Predictive Coding). В основу этого метода положен принцип предсказания, когда информация от предыдущих временных отсчетов используется, чтобы предсказать текущий временной отсчет. Коэффициенты линейной комбинации предыдущих временных отсчетов, плюс закодированная форма остаточных, разность между предсказанным и фактическим временным отсчетом представляют собой сигнал. Для восстановления сигнала на приеме используются коэффициенты предсказания, линейная комбинация предыдущих временных отсчетов, закодированные значения разности между предсказанным и фактическим временным отсчетом.

Временные отсчеты речевого аналогового сигнала осуществляются с интервалом 20 мс. Каждый отсчет закодирован 260 битами, что определяет полную скорость передачи информации 13 кбит/с, Это - так называемое кодирование речи на полной скорости (full rate).

В настоящее время в системе GSM используются усовершенствованные кодеры. Она отличается наличием двух устройств: медленного анализатора (синтезатора) и быстрого, улучшающих систему предсказания.

Канальное кодирование и модуляция

Из-за влияния естественных или искусственных электромагнитных помех закодированная речь или данные, передаваемые по радиointерфейсу, должны быть защищены от ошибок. Стандарт GSM использует сверточное кодирование (convolution encoding) и чередование блоков (block interleaving). Конкретные алгоритмы отличаются для речи и для различных скоростей передачи данных. Метод, используемый для речевых блоков, описан ниже.

Рассмотрим речевой кодер-декодер, который формирует блок длиной 260 битов для каждых 20 временных отсчетов речи каждые 20 мс (рис. 9.21).

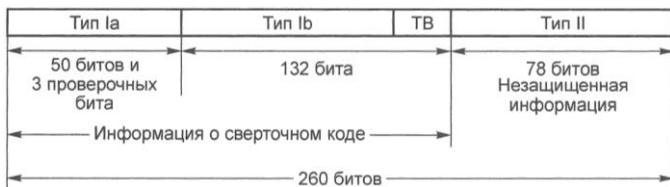


Рис. 9.21. Один отсчет речевого сигнала

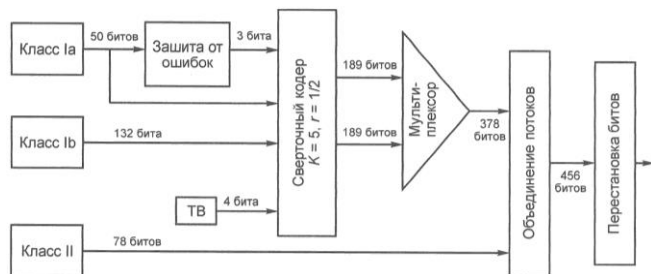


Рис. 9.22. Принцип кодирования пакета трафика

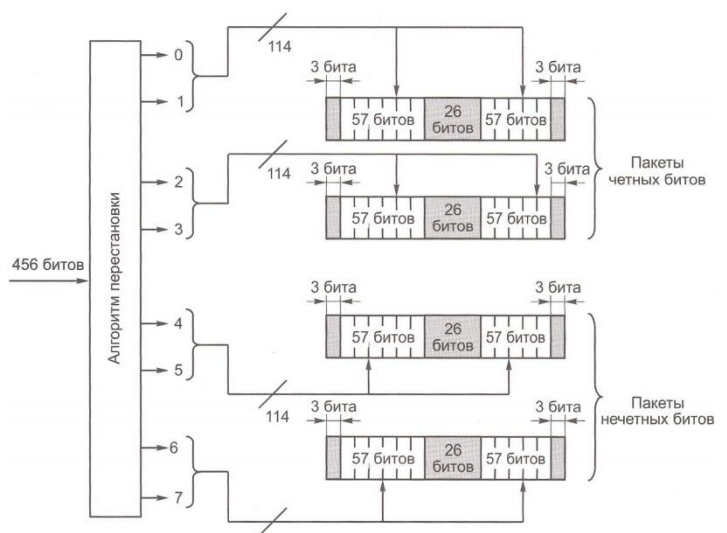


Рис. 9.23. Принцип перестановки информации

Субъективные испытания показали, что некоторые биты этого блока были более важны для качества речевого восприятия, чем другие. Поэтому биты разделены на три класса:

- Класс Ia - 50 битов наиболее чувствительные к ошибкам;
- Класс Ib - 132 бита умеренно чувствительные к ошибкам;
- Класс II - 78 битов наименее чувствительные к ошибкам.

К классу Ia добавлен циклический избыточный код (3 бита) для обнаружения ошибок. Если ошибка обнаружена, кадр оценивается как «значительно поврежденный» и удаляется. Он может быть заменен несколько укороченной версией предыдущего правильно полученного кадра. Эти 53 бита вместе с 132 битами класса Ib и концевой последовательностью TB длиной 4 бита составляют в сумме 189 битов.

Напомним, что сверточное кодирование (convolution coding) - это метод передачи с исправлением ошибок, при котором каждое поле входной последовательности длиной K преобразуется в канальный поток данных длиной n . Величина K - называется длиной кодового ограничения (constraint length). Она указывает длину регистра сдвига, запоминающего поле входного потока. Каждый бит выходной последовательности получается путем комбинирования бита исходной последовательности и бита, получаемого как результат суммирования по модулю 2 нескольких последовательно передаваемых символов входной последовательности. Отношение длины исходной информационной последовательности к длине закодированной последовательности называется скоростью кодирования (code rate) и обозначается r .

В стандарте GSM используется сверточный кодер с кодовым ограничением $K = 5$. Каждый входной бит закодирован двумя битами выходного потока ($r = 1/2$), базируясь на комбинации предыдущих 5 входных битов. Таким образом, сверточный кодер передает на выход 378 битов, к которым добавляются 78 остающихся битов класса II, не защищенные помехоустойчивым кодированием. Таким образом, 20-миллисекундные временные отсчеты речи закодированы в виде 456 битов (рис. 9.22) и требуют скорости передачи информации 22,8 кбит/с.

Цифровой сигнал модулируется на аналоговую несущую частоту, используя гауссовскую манипуляцию с минимальным частотным сдвигом (GMSK - Gaussian Minimum Shift Keying). Этот вид модуляции является одним из вариантов минимальной частотной манипуляции (MSK). Напомним, что этот вид частотной модуляции отображает двоичные импульсные сигналы двумя сигнальными частотами, сдвинутыми по фазе на 180° на каждом тактовом интервале. GMSK отличается тем, что импульсы входной последовательности сглаживаются с помощью фильтра нижних частот и приводятся к форме гауссовской кривой. Такая форма обеспечивает более низкий уровень внеполосного излучения и уменьшает влияние на соседние каналы. Однако этот способ модуляции по сравнению с другими имеет меньшую спектральную эффективность. Например, он позволяет передавать около 0,7 бит/с на Гц (теоретическая спектральная эффективность для квадратурной фазовой манипуляции равна 2 бит/с на Гц) и увеличивает энергетические затраты.

Способ GMSK был выбран как компромисс между спектральной эффективностью, сложностью передатчика и уменьшением побочного излучения. Сложность передатчика связана с потребляемой мощностью, которая должна быть минимальна для подвижной станции. Побочное излучение в заданной ширине полосы должно строго управляться, чтобы ограничить помехи от соседнего канала и обеспечить сосуществование GSM и старых аналоговых систем (по крайней мере, в настоящее время).

Для оценки правильности передачи 50 битов, чувствительных к ошибкам (класс Ia), используется избыточность в виде трех битов, которые получаются уже ранее рассмотренными методами с использованием полинома $G(X) = X^3 + X + 1$. При обнаружении ошибок нарушенный блок заменяется образом предыдущего блока для исключения помех в разговоре (шорохи и трески).

Для декодирования сверточного кода применяется алгоритм Витерби. Он состоит в том, что получаемая часть входной последовательности (например? 2 бита) анализируется для того, чтобы получить все возможные исходные последовательности, из которых она может быть получена. Из таких последовательностей выбирается наиболее «правдоподобная» (согласно вероятности перехода). Обоснование этого метода требует достаточно сложного математического аппарата.

Перестановка/деперестановка. Шифрование/дешифрование

Перестановка (перемежение) информации - это изменение позиций блоков информации относительно друг друга, которое позволяет разнести стоящие рядом символы, принадлежащие одному и тому же сообщению. При этом групповые ошибки преобразуются в одиночные и эффективно исправляются, например сверточным декодером. Имеются несколько алгоритмов перестановки (перемежения). Например, алгоритм перестановки блоков информации в соответствии с таблицей (табличное перемежение), алгоритм диагонального перемежения и т.д. Ниже рассмотрен один наиболее простой алгоритм, который используется чаще всего в сочетании с другими.

Принцип перестановки в данном случае заключается в том, что временные отсчеты в стандарте GSM длиной 456 битов (для полной скорости передачи речи) разбиваются на 8 групп по 57 битов. Каждая такая группа передается в различных пакетах трафика и в различных кадрах. Биты в каждом пакете пронумерованы и разделены на четные и нечетные. В соответствии с этим они включаются в различные пакеты трафика. Принцип перестановки информации показан на **рис. 9.23**. Структура кадров рассмотрена ранее (см. **рис. 9.16**).

Основной недостаток принципа перестановки - это вносимая задержка на накопление пакетов информации, их перестановку и передачу.

В стандарте GSM защита информации представлена средствами шифрования передаваемых данных. Метод шифрования не зависит от типа передаваемых данных (речь, пользовательские данные или сообщения сигнализации). Шифрование применяется только к нормальным пакетам (normal burst).

Шифрование осуществляется преобразованием с помощью операции «исключающее ИЛИ». Эта операция проводится между псевдослучайной многоразрядной последовательностью и 114 полезными битами нормального пакета (все информационные биты кроме двух контрольных флагов). Псевдослучайная последовательность формируется на основе номера пакета и сеансового ключа (session key). Ключ устанавливается в начале сеанса путем обмена сигналами между приемником и передатчиком и используется только в течение одного сеанса связи. После окончания сеанса ключ автоматически стирается. Расшифровка использует тот же самый ключ шифрования.

Методы улучшения качества передачи сигналов

Подавление искажений из-за многолучевого распространения

В диапазоне работы радиосредств системы GSM радиоволны отражаются от всего - зданий, холмов, автомобилей, самолетов, и т.д. Таким образом, приемной антенны может достигнуть множество отраженных сигналов с различными фазами и вызвать *замирение (fade)*. Замирение - явление, при котором в течение определенного интервала времени происходит то постепенное усиление, то ослабление сигнала. Подавление искажений из-за многолучевого распространения (multipath propagation) используется для того, чтобы извлечь желательный сигнал из нежелательных отражений. Оно работает, определяя как известный переданный сигнал искажен замирением из-за многолучевого распространения, и настраивает обратный фильтр, чтобы извлечь остальную часть переданного сигнала. Этот известный сигнал - 26 битов обучающей последовательности, передаваемой в середине каждого временного интервала пакета. Практическая реализация подавления искажений в спецификациях стандарта GSM не определена.

Скачок частоты

Мобильная станция позволяет использовать любую из заданных частот. Это означает, что значение частоты может изменяться между передатчиком и приемником и управляться в пределах одного кадра TDMA. Станции, работающие в стандарте GSM, используют эту свойственную для стандарта подвижность частоты, чтобы осуществить медленный скачок частоты, когда время смены частоты существенно больше временного интервала, соответствующего одному информационному символу. При этом мобильная станция и BTS передают информацию в течение короткого интервала времени на различных несущих частотах. Процесс управления скачком частоты является широкополосным и выполняется по широкополосному каналу управления BCCH. Так как замирение из-за многолучевости зависит от

несущей частоты, медленные скачки частоты помогают облегчить проблему помех. Отметим также, что межканальные помехи в действительности случайны и взаимно не связаны.

Прерывистая передача

Уменьшение межканальных помех - цель любой сотовой системы, так как обеспечивает лучшее обслуживание для данной скорости передачи или увеличивает скорость передачи, а, следовательно, полную емкость системы.

Прерывистая передача (DTX - Discontinuous Transmission mode) - метод, преимущество которого основано на том, что фактически человек при нормальном сеансе связи говорит меньше 40 % времени. Поэтому возможно выключать передатчик в течение периодов молчания. Дополнительное преимущество состоит в том, что DTX экономит энергию мобильной станции.

Самый важный компонент DTX, конечно, устройство обнаружения голосовой активности (VAD - Voice Activity Detector). Оно должно отличить речь от шумов - задача, которая не так тривиальна, как это кажется. Если речевой сигнал неправильно интерпретируется как шум, передатчик выключается и возникает очень раздражающий эффект, называемый *клиппированием на приемном конце*. Если, с другой стороны, шум ошибочно интерпретируется слишком часто как речевой сигнал, эффективность DTX резко уменьшается. Другой фактор, который следует учитывать, состоит в том, что, когда передатчик выключен, то на приемном конце устанавливается полная тишина из-за цифрового характера GSM. Чтобы дать знать пользователю на приемном конце, что соединение существует, требуется подключение *шума комфорта* на приемном конце, который бы соответствовал характеристикам фоновых шумов, поступающих с передающего конца.

Прерывистый прием

Другой метод сохранения энергии в подвижной станции - прерывистый прием. Широковещательный канал коротких сообщений (РСН), используемый для того, чтобы сигнализировать о вызове базовой станции к мобильной станции, разделяется на подканалы. Каждой подвижной станции выделяется свой собственный подканал. Работа подканалов осуществляется в различные интервалы времени. В режиме ожидания вызова во время между последовательными интервалами работы мобильная станция может переходить в режим, когда энергия почти не потребляется.

Управление мощностью

В соответствии с пиковой мощностью передатчика существует пять классов подвижных станций с номиналами мощности 20, 8, 5, 2, и 0,8 Вт. Чтобы снизить межканальные помехи и сохранить энергию электропитающего прибора, приемопередатчики мобильных станций и базовые станции работают на самой низкой мощности, которую выбирают, исходя из необходимости поддержания приемлемого качества сигнала. Мощность передатчика может подбираться путем ступенчатого увеличения или уменьшения ее значения на 2 дБ относительно пикового.

Подвижная станция измеряет мощность и качество сигнала (основанное на коэффициенте битовых ошибок - BER) и передает информацию на контроллер базовой станции (BSC), который, в конечном счете, решает, изменить ли и когда изменить уровень мощности. Управление мощностью должно осуществляться с учетом влияния на соседние станции и зоны, поскольку оно может стать причиной неустойчивой работы сети. В зоне этой станции имеются соседние подвижные станции, которые увеличивают свою мощность в ответ на увеличение межканальных помех, вызванных другими подвижными станциями, что может привести к отказу сети. Практически это явление маловероятно, оно находится в стадии изучения.