МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

Факультет прикладной математики и информатики

Кафедра информационных систем управления

ВЕРЕНИЧ ВЛАДИСЛАВ НИКОЛАЕВИЧ

ПОЖИВИЛКО ФЁДОР АНДРЕЕВИЧ

**Системы организации сотовой связи**

Реферат

студентов 4 курса 12 группы

Руководитель:

ст. преподаватель

Щербак Игорь Николаевич

Минск

2023

*​​*

*Принципы функционирования сотовых систем связи; состав и структура сотовой системы связи.*

Основной задачей любой системы связи, как известно, является передача различных видов информации (например: речевой, факсимильной, компьютерных данных) в любое место в реальном масштабе времени (или в требуемый абонентом момент времени).

Эта задача в системах телефонной связи (до появления систем мобильной связи) реша­лась путем использования в качестве каналов передачи — кабельных линий связи, а в каче­стве коммутационных систем — автоматических телефонных станций (АТС).

слайд 2

В данных стационарных телефонных сетях абонент жестко привязан через проводную абонентскую линию к АТС. Любое перемещение абонента в пространстве на значительные расстояния приводит к тому, что он остается без связи. Разработанные и внедренные або­нентские терминалы с радиоудлинителями обеспечивают связь лишь на расстояние до сотен метров от стационарного телефонного аппарата. Этот недостаток стационарной телефонной сети устраняется путем замены кабельной абонентской линии беспроводным радиоканалом в сетях мобильной связи.

Таким образом, главной отличительной особенностью сетей сотовой мобильной связи от стационарной телефонной сети является использование радиоканалов для мобильных абонентов, перемещающихся на значительные расстояния, при сохранении двухстороннего (дуплексного) режима работы по радиоканалу как от мобильного абонента к получателю информации (либо абоненту стационарной телефонной сети, либо другому мобильному абоненту), так и от получателя информации к мобильному абоненту.

Необходимо отметить, что система сотовой мобильной связи в общем случае является сложной и гибкой радиотехнической системой, допускающей большое разнообразие по ва­риантам конфигурации и набору выполняемых функций. Такая система обеспечивает пере­дачу речи и других видов информации (в частности, факсимильных сообщений и компью­терных данных), при этом может быть реализована дуплексная телефонная связь, многосторонняя телефонная связь (называемая конференцсвязью), голосовая почта и пр.

В данной мобильной системе при организации обычного двухстороннего телефонного разговора, начиная с вызова, предусмотрены возможные режимы автодозвона, ожидания вызова, переадресации вызова и т.п.

На этом этапе развития сотовых сетей автоматической телефонной связи функции под­ключения мобильных абонентов к средствам стационарной телефонной сети выполняла од­на базовая станция *BSS (Base Station Subsystem).*

Мобильные абоненты, перемещаясь в пространстве, окру­жающем BSS (с определенным максимальным радиусом действия), осуществляют связь с BSS по радиоканалам посредством имеющихся у них мобильных радиостанций *MS (Mobile Station*).

слайд 3

Далее, BSS подключала мобильные абоненты к стационарной телефонной сети. Данная простейшая сеть мобильной связи, предполагающая по сути одну соту (ячейку) для взаимодействия MS ↔ BSS, имела следующие существенные недостатки:

- зависимость качества связи от расстояния между MS и BSS (для сохранения высокого качества радиосвязи необходимо было применять радиостанции с регулируемой вы­ходной мощностью передатчика в широком диапазоне уровней в зависимости от рас­стояния между MS и BSS, что было в то время достаточно сложно реализовать);

- ограниченное число подключаемых мобильных станций MS из-за ограниченного чис­ла радиоканалов (ограниченное число выделенных рабочих частот/длин волн).

В процессе развития сотовых сетей мобильной связи эти недостатки были устранены путем замены одной мощной BSS несколькими *BTS {Base Transceiver Station),* имеющими меньшие мощности передатчиков и свои индивидуальные зоны обслуживания. При этом сотовые сети мобильной связи строятся в виде совокупности сот (cells — сот, яче­ек) схематично изображаемых в виде равновеликих правильных шестиугольников, что име­ет сходство с пчелиными сотами и поэтому сеть мобильной связи была названа сотовой или ячеечной (cellular). В центре каждой i-й соты находится BTS, обслуживающая все MS в пре­делах своей соты.

При реализации такой сети сразу же возникает техническая проблема — как переклю­чать движущегося абонента MS от одной соты в другую. Для решения этой проблемы в со­товой сети мобильной связи предусмотрен центр коммутации мобильных станций *MSC (Mobile Services Switching Center),* обеспечивающий переключение установленого разговор­ного тракта при перемещении мобильного абонента из одной соты в другую, а также под­ключение абонентов стационарной телефонной сети к конкретной BTS, в зоне действия ко­торой находится данный мобильный абонент.

При создании сети, изображенной на рисунке, возникла необходимость контроля за пе­ремещением (roaming — блужданием) мобильной станции MS, находящейся как в свобод­ном (с точки зрения связи) состоянии, так и в состоянии занятости. Следует отметить, что при использовании сети стационарная телефонная сеть освобождается от обслуживания вызовов, поступающих от одного мобильного абонента к другому. Такие соединения уста­навливаются через центр коммутации MSC.

слайд 4

В современной сотовой мобильной сети обычно функционирует несколько коммутаци­онных центров MSC, в каждый из которых включается несколько BSS.

слайд 5

Разделить обслуживаемую территорию на соты можно двумя основными способами:

- первый, основан на измерении статистических характеристик распространения радио­сигналов в данной системе связи;

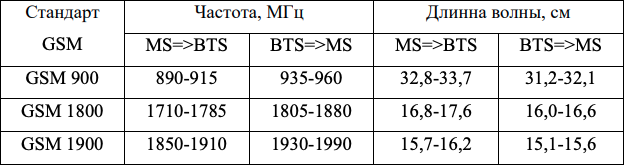
- второй, основан на измерении или расчете параметров распространения радиосигнала для конкретного района.

*2.2. Регламентация радиочастотного спектра, используемые диапазоны волн.*

В соответствии с международными соглашениями на выделение рабочих частот в системах сотовой мобильной связи стандарта GSM 900/1800/1900 выделены частотные диапазоны, представленные в табл. 2.1.

Таблица 1.Рабочие частоты и длины рабочих волн в системах сотовой мобильной связи стандарта GSM 900/1800/1900

слайд 6



Из табл. 2.1 следует:

- жесткая ограниченность выделенных полос частот, вмещающих небольшое число частотных каналов, что вызывает естественное стремление к наиболее рациональному использованию выделенного частотного диапазона, к оптимизации его использования и соответственно к повышению емкости системы мобильной связи;

- используемые в сотовой мобильной связи стандарта GSM полосы частот относятся к дециметровому диапазону радиоволн, которые распространяются в основном в преде­лах прямой видимости, дифракционные явления на этих частотах выражены слабо, а поглощение в гидрометеорах (дождь, снег, туман) и молекулярное поглощение прак­тически отсутствуют.

слайд 7

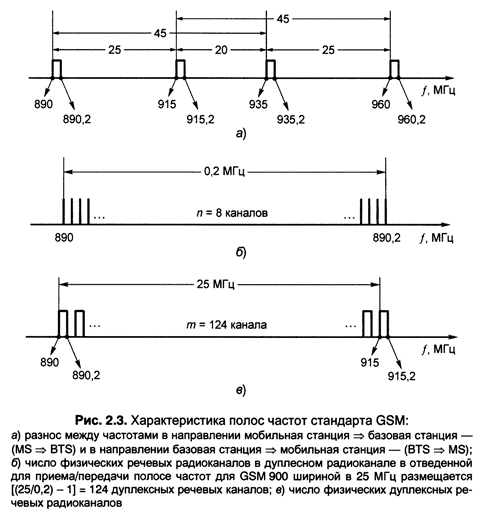


Рис. 2.3.Характеристика полос частот стандарта GSM

Характеристика полос частот стандарта GSM (рис.2.3):

а) разнос между частотами в направлении мобильная станция => базовая станция-(MS =» BTS) и в направлении базовая станция =» мобильная станция-(BTS=>MS);

б) число физических речевых радиоканалов в дуплесном радиоканале в отведенной  
для приема/передачи полосе частот для GSM 900 шириной в 25 МГц размещается [(25/0,2) — 1] = 124 дуплексных речевых каналов; в) число физических дуплексных ре­чевых радиоканалов

- разнос между частотами в направлении мобильная станция => базовая станция —

(MS => BTS) и в направлении базовая станция => мобильная станция — (BTS => MS)

составляет (рис. 2.3, *а)*: для GSM 900: 935 - 890 = 960 - 915 = 45 МГц;

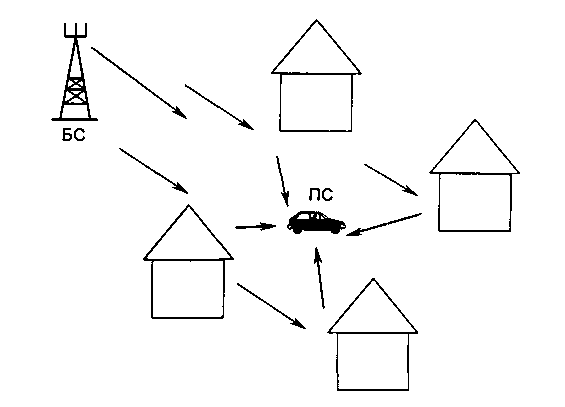
■ для GSM 1800: 1805 - 1710 = 1880 - 1785 = 95 МГц;

■ для GSM 1900: 1930 - 1850 = 1990 - 1910 = 80 МГц;

*2.3. Помехи в сотовых системах связи с подвижными объектами; затухания и замирания сигналов.*

*слайд 8*

Близость подстилающей поверхности и наличие препятствий (растительность, строения), при организации мобильной связи в условиях города, приводят к появлению от­раженных сигналов, интерферирующих между собой и с основным сигналом, распростра­няющимся по прямому пути. Это явление называют многолучевым распространением сиг­налов. Отражения от подстилающей поверхности при определенных условиях приводят к тому, что мощность принимаемого сигнала убывает пропорционально не второй степени расстояния между передатчиком BTS и приемником MS (~1/d2), как при распространении в свободном пространстве (однолучевая модель), а обратно пропорционально четвертой сте­пени этого расстояния (то есть ~1/d4), а в общем случае — ~1/dn.



*многолучевое распространение сигналов*

Cложность картины многолучевого распространения радиоволн существенно затрудняет расчет интенсивности радиосигналов в функции удаления от базовой приемо-передающей станции BTS, а такой расчет необходим для корректного проектирования систем сотовой мобильной связи.

Особенности условий функционирования, характерные для мобильной радиосвязи, приводят к появлению нескольких факторов, существенно усложняющих приём сигналов:

- затухание сигналов при распространении;

- замирание огибающей, вызванные многолучевостью распространения;

- искажение спектра и формы сигнала при селективных замираниях;

- межсимвольная интерференция.

Интерференция нескольких сигналов, прошедших различными путями, вызывает своеобразное явление замираний ре­зультирующего сигнала, так называемый — фединг (fading), при котором интенсивность принимаемого сигнала изменяется в значительных пределах при перемещении мобильной станции. Кроме того, возникают искажения, являющиеся следствием наложения нескольких соизмеримых по интенсивности сигналов, смещенных во времени один от другого, которые могут приводить к ошибкам в принимаемой информации.

*2.4. Частотные, физические и логические каналы. Инициализация и установление связи. Аутентификация и идентификация. Передача обслуживания. Роуминг. Функции мобильной связи.*

слайд 9

Кроме собственно информа­ции речи по каналу связи должна передаваться так называемая сигнальная информация, или информация *сигнализации* (англий­ский термин *signaling),* включающая информацию управления и ин­формацию контроля состояния апаратуры; для ее обозначения бу­дем употреблять также наименование *управляющая информация* или просто *управление.* Поэтому в настоящем разделе рассмотр­им, как организуется использование каналов связи, и начнем с оп­ределения часто употребляемых при этом понятий частотных, фи­зических и логических каналов.

*Частотный канал* - это полоса частот, отводимая для пере­дачи информации одного канала связи. Правда, как мы фактичес­ки уже отмечали ранее, при использовании метода TDMA в одном частотном канале передается информация нескольких каналов связи, т.е. в одном частотном канале размещается несколько фи­зических каналов, но это не противоречит приведенному опреде­лению частотного канала, а подробнее мы рассмотрим это ниже - при определении понятия физического канала. Поясним понятие частотного канала конкретными примерами.

В стандарте GSM 900 для передачи информации прямого ка­нала отводится полоса 935...960 МГц, а обратного - 890...915 МГц, т.е. дуплексный разнос по частоте составляет 45 МГц. Один частотный канал занимает полосу *hf* = 200 кГц, так что всего в по­лном диапазоне, с учетом защитных полос, размещается 124 час­тотных канала. Центральная частота канала (в МГц) связана с его номером *N* соотношениями:

обратный канал:

*f0 =* 890,200 + 0,200 *N,* 1 < *N <* 124;

прямой канал:

*fn =* 935,200 + 0,200 N, 1<N<124.

Заметим, что один частотный канал, строго говоря, занимает две полосы *∆f* (по 30 или 200 кГц - для стандартов D-AMPS и GSM соответственно) - одну под прямой, а другую под обратный канал связи. При использовании режима работы со скачками по частоте для передачи информации одной и той же группы физических каналов последовательно во времени используются различные частотные каналы.

Перейдем к понятию «физический канал».

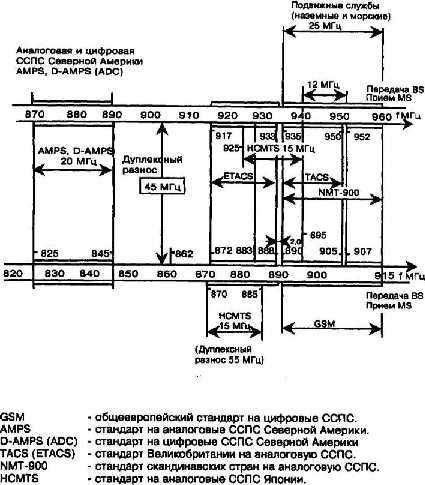
*Физический канал* в системе с множественным доступом на основе временного разделения (TDMA) - это временной слот с оп­ределенным номером (или пара слотов с номерами, отличающи­мися на 3 при полноскоростном кодировании в стандарте D-AMPS) в последовательности кадров эфирного интерфейса. Таким образом, в одном частотном канале в стандарте D-AMPS при полноскоростном кодировании передается информация трех физических каналов, при полускоростном коди­ровании - информация шести физических каналов, а в стандарте GSM всегда передается информация восьми физических каналов, но при полускоростном кодировании один физический канал со­держит два канала трафика, информация которых передается по очереди, через кадр. Иными словами, при этом реализуется вре­менное уплотнение каналов в 3 или 8 раз соответственно при пол­носкоростном кодировании и в 6 или 16 раз - при полускорост­ном. В этом и заключается одно из основных преимуществ цифро­вого поколения сотовой связи по сравнению с аналоговым.

*Логические каналы* различаются по виду (составу) информа­ции, передаваемой в физическом канале. В принципе в физичес­ком канале может быть реализован один из двух видов логических каналов - канал *трафика* и канал *управления;* каждый из них, в свою очередь, может в общем случае существовать в одном из не­скольких вариантов (типов).

С понятием канала управления мы по существу уже познакомились Логический канал трафика - это канал передачи речи или данных (компьютерных данных, факси­мильных сообщений), т.е. той информации, ради которой, собст­венно, и создается сотовая связь. Термин *трафик* происходит от английского *traffic* (информационный поток, поток транспорта) и в применении к связи определяется как совокупность сообщений, передаваемых по линии связи, или как совокупность требований абонентов, обслуживаемых сетью связи. Так как мы в основном разбираем передачу речи, канал трафика оказывается для нас тождественным каналу передачи речи.

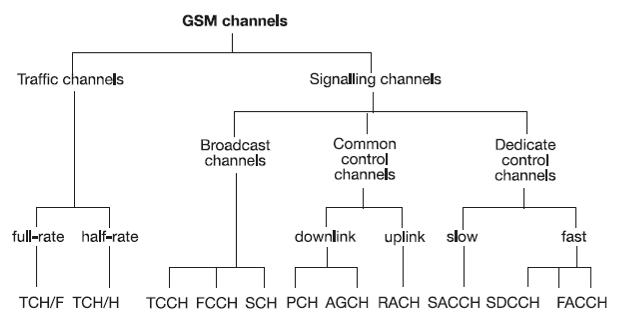
Структура логических каналов стандарта GSM в упрощенном виде приведена на рисунке.

слайд 10



Логические каналы стандарта GSM делятся на каналы тра­фика и каналы управления.

слайд 11



Каналы трафика TCH (Traffic Channels), в свою очередь, де­лятся на полноскоростные TCH/FS (с полноскоростным кодирова­нием; F - сокращение от Full - полный; S - Speech - речь) и полу­скоростные TCH/HS (Н - сокращение от Half - половина); в обоих случаях имеется в виду передача речи. Типы каналов трафика для передачи данных в табл.2.2 не включены (TCH/F9.6, TCH/F4.8, ТСН/Н4.8 и т.п.).

Каналы управления ССН (Control Channels) делятся на 4 ти­па; вещательные каналы управления ВССН (Broadcast Control Channels), общие каналы управления СССН (Common Control Channels), выделенные закрепленные каналы управления SDCCH (Standalone Dedicated Control Channels), совмещенные каналы уп­равления АССН (Associated Control Channels).

Вещательные каналы управления ВССН предназначены для передачи информации от базовой станции к подвижным в веща­тельном режиме, т.е. без адресования к какой-либо конкретной подвижной станции. В число вещательных каналов управления вхо­дят: канал коррекции частоты FCCH (Frequency Correction Channel) - для подстройки частоты подвижной станции под частоту базо­вой, канал синхронизации SCH (Synchronization Channel) - для кад­ровой синхронизации подвижных станций, а также канал общей информации, не имеющий отдельного наименования.

Общие каналы управления СССН включают: канал вызова РСН (Paging Channel), используемый для вызова подвижной стан­ции базовой; канал разрешения доступа AGCH (Access Grant Channel) - для назначения закрепленного канала управления, кото­рое также передается от базовой станции на подвижную; канал случайного доступа RACH (Random Access Channel) - для выхода с подвижной станции на базовую с запросом о назначении выделен­ного канала управления. При передаче информации по общим ка­налам управления прием информации не сопровождается под­тверждением.

Выделенные закрепленные каналы управления SDCCH (ис­пользуются в двух вариантах, не отраженных в табл. 2.2) - авто­номные каналы управления для передачи информации с базовой станции на подвижную и в обратном направлении.

слайд 12



Рис.2.4. Структура мультикадра канала управления эфирного интерфейса системы GSM:

R - канал RACH; F - канал FCCH; S - канал SCH; В - канал ВССН; С - канал AGCH/канал РСН; I - свободный кадр (Idle)

Совмещенные каналы управления АССН, также используе­мые для передачи информации в обоих направлениях (от базовой станции к подвижным и от подвижных к базовой) и имеющие не­сколько вариантов, не отраженных в табл.2.3, включают: медлен­ный совмещенный канал управления SACCH (Slow Associated Control Channel) - объединяется с каналом трафика (кадр 13 муль­тикадра канала трафика) или с каналом SDCCH; быстрый совме­щенный канал управления FACCH (Fast Associated Control Channel) - совмещается с каналом трафика, заменяя в соответствующем слоте информацию речи, причем эта замена помечается скрытым флажком (поле S на рис.2.4).

В отличие от дуплексных каналов - трафика и совмещенных каналов управления, размещаемых в канале трафика эфирного ин­терфейса, - симплексные каналы управления ВССН и СССН раз­мещаются в нулевом слоте кадров канала управления эфирного интерфейса на так называемых несущих ВССН, имеющихся в ячей­ке.

Сообщения канала RACH могут быть переданы в нулевом слоте любого кадра в пределах 51-кадрового мультикадра канала управления (рис.2.4). Сообщение RACH передается подвижной станцией раз в 235 мс, т.е. только в одном из кадров мультикадра, при этом используется структура слота, соответствующая пачке доступа.

Сообщения каналов ВССН и СССН, передаваемые от базо­вой станции к подвижным (прямой канал), размещаются в нулевых слотах 50 кадров мультикадра канала управления эфирного интерфейса; последний, 51-й, кадр мультикадра остается свободным. Первые 50 кадров делятся на 5 блоков по 10 кадров: в начале каждого блока передается сообщение канала FCCH (структура слота - пачка коррекции частоты), далее - сообщение канала SCH (струк­тура слота - пачка синхронизации), затем в первом блоке переда­ется четыре сообщения канала ВССН и четыре сообщения канала AGCH или канала РСН, а в остальных четырех блоках все восемь сообщений отводятся под канал AGCH или РСН. Сообщения логи­ческих каналов управления в большинстве случаев кодируются со значительной избыточностью с целью защиты от ошибок при пере­даче информации.

*Инициализация и установление связи*

Перейдем к рассмотрению организации основных режимов работы системы сотовой связи.

Центр коммутации и базовые станции работают круглосуточ­но и непрерывно, без выключений. При возникновении в них неис­правностей работоспособность поддерживается за счет предусмо­тренного конструкцией резервирования, с ремонтом (заменой) вы­шедших из строя элементов в ситуации, когда они находятся в по­ложении резервных. В работе подвижных станций перерывы и от­ключения практически неизбежны, в том числе - для смены источ­ников питания.

Рассмотрим сначала наиболее простой случай - работу под­вижной станции в пределах одной ячейки своей («домашней») сис­темы, без передачи обслуживания. В этом случае в работе подви­жной станции можно выделить четыре этапа, которым соответст­вуют четыре режима работы:

- включение и инициализация;

- режим ожидания;

- режим установления связи (вызова);

- режим ведения связи (телефонного разговора).

После включения подвижной станции, т.е. после замыкания цепи питания, производится инициализация - начальный запуск. В течение этого этапа происходит настройка подвижной станции на работу в составе системы по сигналам, регулярно передаваемым базовыми станциями по соответствующим каналам управле­ния, после чего подвижная станция переходит в режим ожидания. Конкретное содержание этапа инициализации зависит от исполь­зуемого стандарта сотовой связи.

В стандарте GSM подвижная станция сканирует все имею­щиеся частотные каналы, настраивается на канал с наиболее силь­ным сигналом и по наличию пачки коррекции частоты определяет, передается ли в этом частотном канале информация канала ВССН. Если нет, то станция перестраивается на следующий по уровню сигнала частотный канал, и так до тех пор, пока не будет найден канал ВССН. Затем подвижная станция находит пачку синхрониза­ции, синхронизируется с выбранным частотным каналом, расшиф­ровывает дополнительную информацию о базовой станции (в част­ности, 6-битовый код идентификации базовой станции) и принима­ет окончательное решение о продолжении поиска или о работе в данной ячейке.

Находясь в режиме ожидания, подвижная станция отслежи­вает:

- изменения информации системы - эти изменения могут быть связаны как с изменениями режима работы системы, так и с перемещениями самой подвижной станции, напри­мер с переходом ее в другую ячейку;

- команды системы - например, команду подтвердить свою работоспособность («регистрация» в конкретной ячейке);

- получение вызова со стороны системы;

- инициализацию вызова со стороны собственного абонента.  
Две последние ситуации - получение или инициализацию вызова - мы рассмотрим подробнее несколько ниже.

Кроме того, подвижная станция может периодически, напри­мер раз в 10...15 минут, подтверждать свою работоспособность, передавая соответствующие сигналы на базовую станцию (под­тверждение «регистрации» или уточнение местоположения). В цен­тре коммутации для каждой из включенных подвижных станций фи­ксируется ячейка, в которой она «зарегистрирована», что облегча­ет организацию процедуры вызова подвижного абонента. Если подвижная станция не подтверждает свою работоспособность в течение определенного промежутка времени, например пропуска­ет два или три подтверждения «регистрации» подряд, центр ком­мутации считает ее выключенной, и поступающий на ее номер вы­зов не передается.

В стандарте GSM подвижная станция измеряет и периодиче­ски передает на базовую станцию следующие параметры:

- уровень сигнала базовой станции рабочей («своей») ячейки и до 16 смежных ячеек, измеряемый по сигналу канала ВССН;

- код качества принимаемого сигнала в рабочей ячейке -функцию оценки частоты битовой ошибки (BER - Bit Error Rate) по принятому сигналу перед канальным декоди­рованием.

Рассмотрим процедуру установления связи.

Если со стороны системы поступает вызов номера подвиж­ного абонента, центр коммутации направляет этот вызов на базо­вую станцию той ячейки, в которой «зарегистрирована» подвижная станция, или на несколько базовых станций в окрестности этой ячейки - с учетом возможного перемещения абонента за время, прошедшее с момента последней «регистрации», а базовые стан­ции передают его по соответствующим каналам вызова. Подвиж­ная станция, находящаяся в режиме ожидания, получает вызов и отвечает на него через свою базовую станцию, передавая одно­временно данные, необходимые для проведения процедуры аутен­тификации. При положи­тельном результате аутентификации назначается канал трафика, и подвижной станции сообщается номер соответствующего частот­ного канала. Подвижная станция настраивается на выделенный ка­нал и совместно с базовой станцией выполняет необходимые шаги по подготовке сеанса связи. На этом этапе подвижная станция на­страивается на заданный номер слота в кадре, уточняет задержку во времени, подстраивает уровень излучаемой мощности и т.п.

Выбор временной задержки производится с целью временного со­гласования слотов в кадре (на прием в базовой станции) при орга­низации связи с подвижными станциями, находящимися на разных дальностях от базовой. При этом временная задержка передавае­мой подвижной станцией пачки регулируется по командам базовой станции. В стандарте GSM при выборе задержки используются пачки доступа. Задержка регули­руется в пределах от 0 до 63 бит с дискретом 1 бит (3,69 мкс). В дальнейшем базовая станция отслеживает изменение дальности до подвижной станции и корректирует величину задержки, выда­вая соответствующие команды на подвижную станцию. При малых геометрических размерах ячейки, т.е. при малых величинах задер­жки (в пределах защитного бланка или защитного интервала), ком­пенсация временной задержки может не производиться.

В стандарте GSM производятся также привязка подвижной станции к базовой по частоте с использованием пачки коррекции частоты и временная синхронизация подвижной станции с базовой с точностью до 1/4 бита, для чего в пачке синхронизации переда­ются номера четверти бита (QN - Quarter bit Number, в пределах gt 0 до 624), бита (BN - Bit Number, в пределах от 0 до 156), слота (TN - Timeslot Number, в пределах от 0 до 7) и кадра (FN - Frame Number, в пределах от 0 до 2715648); одновременно в пачке син­хронизации передаются 3-битовый код (код цвета - colour code) сети сотовой связи и 3-битовый код базовой станции, составляю­щие в совокупности уникальный 6-битовый идентификатор базо­вой станции (BSIC - Base Station Identifier Code).

Затем базовая станция выдает сообщение о подаче сигнала вызова (звонка), которое подтверждается подвижной станцией, и вызывающий абонент получает возможность услышать сигнал вы­зова. Когда вызываемый абонент отвечает на вызов («снимает трубку», т.е. нажимает соответствующую кнопку на панели управ­ления абонентского аппарата), подвижная станция выдает запрос на совершение соединения. С завершением соединения начинает­ся собственно сеанс связи - абоненты ведут разговор.

В процессе разговора подвижная станция производит обра­ботку передаваемых и принимаемых сигналов речи, а также пере­даваемых одновременно с речью сигналов управления. По оконча­нии разговора происходит обмен служебными сообщениями меж­ду подвижной и базовой станцией (запрос или команда на отклю­чение с подтверждением), после чего передатчик подвижной стан­ции выключается и станция переходит в режим ожидания.

Если вызов инициируется со стороны подвижной станции, т.е. абонент набирает номер вызываемого абонента, убеждается в правильности набора по отображению на дисплее и нажимает со­ответствующую кнопку («вызов») на панели управления, то подвиж­ная станция передает через свою базовую станцию сообщение с указанием вызываемого номера и данными для аутентификации подвижного абонента. После аутентификации базовая станция на­значает канал трафика, и последующие шаги по подготовке сеанса связи производятся таким же образом, как и при поступлении вы­зова со стороны системы.

Затем базовая станция сообщает на центр коммутации о го­товности подвижной станции, центр коммутации передает вызов в сеть, а абонент подвижной станции получает возможность следить за ходом его выполнения (слышит сигналы «вызов» или «занято»). Соединение

Если подвижный абонент разговаривает с другим подвиж­ным абонентом, то процедура установления связи и проведения сеанса связи происходит практически таким же образом. Если при этом оба подвижных абонента относятся к одной и той же сотовой системе, то связь между ними устанавливается через центр коммутации системы без выхода в стационарную телефонную сеть. Такова общая схема организации процесса связи в сотовой систе­ме. Многие детали в ней опущены.

слайд 13

Рассмотрим процедуры аутентификации и идентификации, которые выполняются при каждом установлении связи. О первой из них мы уже упоминали ранее.

Аутентификация - процедура подтверждения подлинности (действительности, законности, наличия прав на пользование услу­гами сотовой связи) абонента системы подвижной связи.

Идентификация - процедура отождествления подвижной станции (абонентского радиотелефонного аппарата), т.е. процеду­ра установления принадлежности к одной из групп, обладающих определенными свойствами или признаками.

Идея процедуры аутентификации в цифровой системе сото­вой связи заключается в шифровании некоторых паролей-иденти­фикаторов с использованием квазислучайных чисел, периодически передаваемых на подвижную станцию с центра коммутации, и ин­дивидуального для каждой подвижной станции алгоритма шифро­вания. Такое шифрование, с использованием одних и тех же исходных данных и алгоритмов, производится как на подвижной станции, так и в центре коммутации (или в центре аутентифика­ции), и аутентификация считается закончившейся успешно, если оба результата совпадают.

В стандарте GSM процедура аутентификации связана с ис­пользованием модуля идентификации абонента (Subscriber Identity Module - SIM), называемого также SIM-картой (SIM-card) или смарт-картой (smart-card). Модуль содержит персональный идентификационный но­мер абонента (Personal Identification Number - PIN), международ­ный идентификатор абонента подвижной связи (International Mobile Subscriber Identity - IMSI), индивидуальный ключ аутентификации абонента Ki, индивидуальный алгоритм аутентификации абонента A3, алгоритм вычисления ключа шифрования А8. Для аутентифи­кации используется зашифрованный отклик (signed response) S, являющийся результатом применения алгоритма A3 к ключу Ki и квазислучайному числу R, получаемому подвижной станцией от центра аутентификации через центр коммутации. Алгоритм А8 ис­пользуется для вычисления ключа шифрования сообщений. Уни­кальный идентификатор IMSI для текущей работы заменяется вре­менным идентификатором TMSI (Temporary Mobile Subscriber Identity - временный идентификатор абонента подвижной связи), присваиваемым аппарату при его первой регистрации в конкрет­ном регионе, определяемом идентификатором LAI (Location Area Identity - идентификтор области местоположения), и сбрасывае­мым при выходе аппарата за пределы этого региона. Идентифика­тор PIN - код, известный только абоненту, который должен слу­жить защитой от несанкционированного использования SIM-карты, например при ее утере. После трех неудачных попыток набора PIN-кода SIM-карта блокируется, и блокировка может быть снята либо набором дополнительного кода - персонального кода раз­блокировки (Personal unblocking key - PUK), либо по команде с центра коммутации.

Процедура идентификации заключается в сравнении иденти­фикатора абонентского аппарата с номерами, содержащимися в соответствующих «черных списках» регистра аппаратуры, с целью изъятия из обращения украденных и технически неисправных ап­паратов. Идентификатор аппарата делается таким, чтобы его изменение или подделка были трудными и экономически невыгод­ными. В принципе может быть целесообразен и оперативный об­мен информацией между регистрами аппаратуры - межоператор­ский и международный, в интересах объединения усилий операто­ров в борьбе с фродом в сотовой связи.

*Передача обслуживания*

слайд 14

Базовая станция, находя­щаяся примерно в центре ячейки, обслуживает все подвижные станции в пределах своей ячейки. При перемещении подвижной станции из одной ячейки в другую ее обслуживание соответствен­но передается от базовой станции первой ячейки к базовой станции второй. Этот процесс называется *передачей обслу­живания* (американский термин *handoff,* англоевропейский - *handover).* Подчеркнем, что процедура передачи обслуживания имеет место только в том случае, когда подвижная станция пере­секает границу ячеек во время сеанса связи, и связь (телефонный разговор) при этом не прерывается. Если же подвижная станция перемещается из одной ячейки в другую, находясь в режиме ожи­дания, она просто отслеживает эти перемещения по информации системы, передаваемой по каналам управления, и в нужный момент перестраивается на более сильный сигнал другой базовойстанции.

Технически процедура передачи обслуживания осуществля­ется следующим образом. Необходимость в передаче обслужива­ния возникает, когда качество канала связи, оцениваемое по уровню сигнала и/или частоте битовой ошибки, падает ниже допусти­мого предела. В стандарте GSM указанные параметры постоянно измеряются подвижной станцией, как для своей ячейки, так и для ряда смежных (до 16 ячеек), и результаты измерений передаются на базовую станцию. В стандарте D-AMPS подвижная станция из­меряет эти характеристики только для рабочей ячейки, но при ухудшении качества связи она сообщает об этом через базовую станцию на центр коммутации, и по команде последнего аналогич­ные измерения выполняются подвижными станциями в соседних ячейках. По результатам этих измерений центр коммутации выби­рает ячейку, в которую должно быть передано обслуживание. Об­ратим внимание, что организация передачи обслуживания основы­вается на измерениях, выполняемых на подвижных станциях - во временных слотах, свободных от передачи и приема информации; кроме того, могут использоваться и результаты измерений, выпол­няемых на базовых станциях. Это отражается в английском наиме­новании процедуры - Mobile-Assisted HandOff (Handover) - MAHO, т.е. передача обслуживания при использовании помощи самой подвижной станции. Тем самым подчеркивается отличие от проце­дуры передачи обслуживания в аналоговых сотовых системах, где аналогичные измерения выполнялись только на базовых станциях.

Обязательным условием передачи обслуживания из одной ячейки в другую является более высокое качество канала связи во второй ячейке по сравнению с первой.

Приняв рещение о передаче обслуживания и выбрав новую ячейку, центр коммутации сообщает об этом базовой станции но­вой ячейки, а подвижной станции через базовую станцию старой ячейки выдает необходимые команды с указанием нового частот­ного канала, номера рабочего слота и т.п. Подвижная станция перестраивается на новый канал и настраивается на совместную ра­боту с новой базовой станцией, выполняя примерно те же шаги, что и при подготовке сеанса связи, после чего связь продолжается через базовую станцию новой ячейки.

При этом перерыв в телефонном разговоре не превышает долей секунды и остается незаметным для абонента.

*Роуминг*

слайд 15

Роуминг - это функция, или процедура предоставления услуг сотовой связи абоненту одного оператора в системе другого опе­ратора. Термин *роуминг* происходит от английского roam - бро­дить, странствовать, а абонента, использующего услуги роуминга, называют ромером (английское roamer). Для реализации роуминга необходимо техническое обеспечение его осуществимости (в про­стейшем случае - использование в обеих системах одного и того же стандарта сотовой связи) и наличие роумингового соглашения между соответствующими компаниями-операторами. По мере раз­вития мобильной связи понятие роминга заметно расширяется; например, появляется возможность роуминга между системами со­товой и мобильной спутниковой связи.

Идеализированная и сильно упрощенная схема организации роуминга могла бы быть представлена в следующем виде. Абонент сотовой связи, оказавшийся на территории «чужой» системы, до­пускающей реализацию роуминга, инициирует вызов обычным об­разом, как если бы он находился на территории «своей» системы.

Центр коммутации, убедившись, что в его домашнем регист­ре этот абонент не значится, воспринимает его как ромера и зано­сит в гостевой регистр. Одновременно (или с некоторой задерж­кой) он запрашивает в домашнем регистре «родной» системы ро­мера относящиеся к нему сведения, необходимые для организа­ции обслуживания (оговоренные подпиской виды услуг, пароли, шифры), и сообщает, в какой системе ромер находится в настоя­щее время; последняя информация фиксируется в домашнем ре­гистре «родной» системы ромера. После этого ромер пользуется сотовой связью, как дома: исходящие от него вызовы обслужива­ются обычным образом, с той только разницей, что относящиеся к нему сведения фиксируются не в домашнем регистре, а в госте­вом; поступающие на его номер вызовы переадресуются «домаш­ней» системой на ту систему, где ромер гостит. По возвращении ромера домой в домашнем регистре «родной» системы стирается адрес той системы, где ромер находился, а в гостевом регистре той системы, в свою очередь, стираются сведения о ромере. Оп­лата услуг роминга производится абонентом через «домашнюю» систему, а «домашняя» компания-оператор возмещает расходы компании-оператора, оказавшей услуги роуминга, в соответствии с роуминговым соглашением.

слайд 16

Описанная схема соответствует автоматическому роумингу. Для завершения процесса она должна быть еще дополнена авто­матической системой ведения расчетов между компаниями-опера­торами, которая может оказаться весьма непростой - с учетом возникновения перекрестных обязательств между рядом компаний, а также возможности учета (погашения) взаимных обязательств пар компаний, входящих в группу, охватываемую системой автома­тического роуминга. Противоположностью автоматическому являет­ся ручной, или административный, роуминг, в некоторых стандартах предшествовавший появлению автоматического. В случае ручного роуминга абонент предупреждает, например, телефонным звонком, «домашнюю» компанию-оператора о предстоящем убытии, а по приезде в другой город - местную компанию-оператора о своем прибытии. Необходимые данные вносятся в домашний и гостевой регистры вручную операторами соответствующих центров комму­тации. Существовали и промежуточные варианты: с отдельной процедурой регистрации (автоматической) нового ромера; с авто­матической организацией вызова со стороны ромера, но с ручной машрутизацией при вызове ромера со стороны сети и др.

В заключение отметим, что при огромном росте межрегио­нальных и международных связей и делового общения организа­ция полноценного автоматического роуминга в сотовой связи явля­ется одной из актуальных проблем и в ее решении остаются мо­менты, требующие дополнительной работы.

*Функции сотовой связи*

Рассмотрение вопросов организации работы завершим краткими сведениями о наборе функций, предлагаемых сотовой связью своим клиентам. Помимо обычной двусторонней радиоте­лефонной связи (передача речи) с подвижными абонентами сото­вой сети и неподвижными абонентами стационарной телефонной сети, включая междугородную и международную телефонную связь, системы сотовой связи могут предложить абонентам еще целый ряд услуг, в том числе передачу факсимильных сообщений и компьютерных данных, переадресацию вызова и автодозвон, ав­томатическую регистрацию продолжительности телефонных разго­воров, голосовую почту и многое другое. Несколько более подроб­но характеристику этих услуг в их «пользовательском» представле­нии рассмотрим далее, а здесь ограничимся более «техничес­ким» представлением на примере стандарта GSM.

Функции сотовой связи состоят из основных и дополнитель­ных функций. Первые из них могут существовать сами по себе, они разделяются на два больших класса - *функции передачи {bearer services)* и *телефункции (teleservices). Дополнительные функции {supplementary services)* могут предоставляться только од­новременно с основными.

Функции передачи включают четыре категории:

1. Асинхронный обмен данными с коммутируемыми телефон­ными сетями общего пользования со скоростями 300...9600 бит/с.

2. Синхронный обмен данными с коммутируемыми телефонны­ми сетями общего пользования, коммутируемыми сетями передачи данных общего пользования и цифровыми сетями с интеграцией функций со скоростями 300...9600 бит/с.

3. Асинхронный пакетный обмен данными с сетью передачи данных общего пользования с пакетной коммутацией (доступ через ассемблер/дисассемблер) со скоростями 300...9600 бит/с,

4. Синхронный пакетный обмен данными с сетью передач; данных общего пользования с пакетной коммутацией со ско­ростями 2400...9600 бит/с.

слайд 17

Функции передачи могут быть *прозрачными (transparent)* и *непрозрачными.* В прозрачных функциях передачи защита от оши­бок обеспечивается только за счет текущей коррекции ошибок (коррекции ошибок на проходе - forward error correction). В непро­зрачных функциях передачи предусматривается дополнительная защита в виде автоматического перезапроса (Automatic Repeat Request - ARQ).

Телефункции включают следующие категории:

1. Передача информации речи и тональной сигнализации в по­лосе речи.

2. Передача коротких сообщений (буквенно-цифровые сообще­ния - до 180 символов - в сторону подвижного абонента).

3. Доступ к системе обработки сообщений (например, переда­ча сообщения от системы персонального радиовызова на подвижную станцию сотовой связи).

4. Передача факсимильных сообщений.  
Дополнительные функции включают категории:

1. Идентификация и отображение вызывающего или подклю­ченного номера и ограничение идентификации и отображения вызывающего или подключенного номера (вызывающей стороне предоставляется право ограничить возможность идентификации ее номера).

2. Переадресация вызова на другой номер (безусловная пере­адресация и переадресация в случаях, когда абонент занят или не отвечает) и передача вызова (переключение установ­ленной линии связи на другого абонента).

3. Ожидание вызова (при занятом терминале абонент получает извещение о поступившем вызове и может ответить на него, отказаться от приема вызова или проигнорировать его по­ступление) и сохранение вызова (абонент имеет возмож­ность прервать проводимый сеанс связи, ответив на другой вызов или сделав другой вызов, а затем вернуться к продол­жению прерванного разговора).

4. Конференц-связь - одновременный разговор трех или более абонентов.

5. Закрытая группа пользователей - эта функция позволяет группе пользователей общаться только между собой; при необходимости один или более членов группы могут иметь доступ по входу/выходу к абонентам, не входящим в группу.

6. Оперативная информация о стоимости оказываемых или оказанных услуг («совет об оплате»).

7. Запрет на определенные функции, например на входящие вызовы, на международные вызовы или на исходящие вызо­вы для ромеров.

8. Предоставление открытой линии связи сеть/пользователь для реализации функций, определяемых оператором

В соответствии с изложенным возможны различные вариан­ты конфигурации подвижной станции системы GSM, обеспечиваю­щие различные точки доступа. В общем случае подвиж­ная станция состоит из терминала системы подвижной связи (Mobile Termination - МТ) и терминальной аппаратуры (Terminal Equipment - ТЕ). Терминалы могут быть трех типов:

- MT0 - функционально законченная подвижная станция, включающая как сетевой терминал, так и терминальную ап­паратуру;

- МТ1 - поддерживает терминальную аппаратуру типа ТЕ1 с интерфейсом ISDN;

- МТ2 - поддерживает терминальную аппаратуру типа ТЕ2 с интерфейсами серий X и V МККТТ; терминальная аппаратура типа ТЕ2 может быть подключена также к терминалу МТ1 че­рез терминальный адаптер ТА.

Точки доступа S и R (обозначения ISDN) соответствуют функциям передачи, выходы терминала МТО и терминальной аппа­ратуры ~ телефункциям.

слайд 18

*Контрольные вопросы*

1.Состав и структура сотовой системы связи?

2.Что такое хэндовер?

3.Диапазоны и назначение частот в стандарте сотовой связи GSM?

5.Объясните понятие «роуминг»? Как осуществляется передача обслуживания в СМС?

6.Что такое аутентификация?

7.Типы логических каналов?

8.Дайте определение физическому каналу?

9. Что такое идентификация?

10.Основные функции системы мобильной связи GSM?