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).

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 радиоудлиннителями 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, многосторонная 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.

Как отмечалось, в развитии систем сотовой связи (даже более отчетливо, чем в других СПР) можно выделить три поколения, два из которых (аналоговые и цифровые сети) уже состоялись, а реализация третьего (интегральные сети) происходит в настоящее время (в перспективе ожидается появление четвертого и пятого поколений), причем отдельные черты третьего поколения присутствуют в последних усовершенствованиях цифровых средств радиосвязи второго поколения. Первое поколение аналоговых средств ССПС пока еще пытается конкурировать с цифровыми средствами за счет дешевизны и широкого распространения, но все менее и менее успешно.

Обычно выделяют девять основных стандартов аналоговых сетей сотовой связи (табл. 1). Анализ таблицы показывает, что аналоговые сотовые стандарты сходны по виду модуляции в разговорном канале, виду манипуляции в канале сигнализации, размерам «сот». Различия проявляются в использовании частотных диапазонов, ширине и разносе частотных полос на передачу и прием, ширине одного частотного канала и, следовательно, максимальном количестве каналов, а также в алгоритмах функционирования ССПС.

Практическая эксплуатация выявила наиболее совершенные стандарты: AMPS (США), NMT-450 (900) (Скандинавские страны), TACS/ETACS (Англия). Стандарт NMT-450 был принят в России в качестве федерального.

Для данных стандартов характерно:

- использование диапазонов частот, практически свободных от индустриальных помех и обеспечивающих большое число частотных каналов;

- наличие цифровых каналов управления соединением;

- относительно малое время переключения каналов на границе сот;

- наличие помехоустойчивого кодирования передаваемой по каналу управления информации и, как следствие, относительно низкое требуемое отношение сигнал/шум на входе приемника.

Не случайно стандарт AMPS (США) до недавнего времени был самым распространенным в мире.

Однако аналоговые ССПС уже не удовлетворяют современному уровню развития информационных технологий из-за многочисленных недостатков, главные из которых:

- несовместимость параметров частотных каналов;

- недостаточное качество связи;

- сложность засекречивания передаваемых сообщений и взаимодействия с цифровыми сетями с интеграцией служб (ISDN) и пакетной передачи данных (***PDN*** – *Packet Data Network*).

Исследования принципов построения цифровых ССПС, начатые в 1980-х гг. в Европе, Северной Америке и Японии, завершились разработкой трех стандартов систем связи с макросотовой топологией и радиусом сот около 35 км. Это:

- общеевропейский стандарт GSM-900

- американский стандарт IS-136

- японский стандарт JDC. Указанные стандарты на цифровые ССПС отличаются отдельными характеристиками, но в основе имеют единые принципы использования цифровой обработки сигналов и отвечают требованиям современных информационных технологий (табл. 2).

Стандарт GSM принят в России в качестве федерального стандарта на цифровые ССПС. Общеевропейский стандарт GSM – первый в мире стандарт на цифровые ССПС, который предусматривает их создание в диапазоне 900 МГц. Дальнейшим его развитием является стандарт ССПС DCS1800 (диапазон 1800 МГц) с микросотовой структурой, принятый для реализации сети персональной связи (***PCN*** – *Personal Communication Network*) в Европе (в США аналогичный стандарт реализован в диапазоне 1900 МГц).

Хотя указанные региональные стандарты на цифровые ССПС и отличаются характеристиками, они построены на единых принципах и концепциях, использованных в стандарте GSM; поэтому на примере данного стандарта можно разобраться с особенностями всех цифровых ССПС.

Первые системы наземной мобильной связи с автоматической коммутацией и маршрутиза­цией соединений были разработаны и внедрены в 60-х годах XX столетия.

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 System).

Как показано на рис. 2.1, 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).

Далее, BSS подключала мобильные абоненты к стационарной телефонной сети.

Данная простейшая сеть мобильной связи, предполагающая по сути одну соту (ячейку) для взаимодействия MSо BSS, имела следующие существенные недостатки:

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

- ограниченное число подключаемых мобильных станций MSиз-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 (рис. 2.2). 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 MSот одной соты в другую. Для решения этой проблемы в со­товой сети мобильной связи предусмотрен центр коммутации мобильных станций MSC(MobileServicesSwitchingCenter), 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 рис. 2.2, 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, чтo при использовании сети стационарная телефонная сеть освобождается от обслуживания вызовов, поступающих от одного мобильного абонента к другому. Такие соединения уста­навливаются через центр коммутации MSC.

В современной сотовой мобильной сети обычно функционирует несколько коммутаци­онных центров MSC, в каждый из которых включается несколько BSS. Рассмотрим особенности деления обслуживаемой мобильной связью территории на со­ты. 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.

При реализации первого способа вся обслуживаемая территория разделяется на одина­ковые по форме соты (ячейки) и с помощью методов статистической радиотехники опреде­ляются их допустимые размеры и расстояния до других сот, в пределах которых выполня­ются условия допустимого взаимного влияния.

Для получения оптимального (то есть без перекрытия или пропусков участков) разделе­ния территории на соты могут быть использованы только три геометрические фигуры — треугольник, квадрат и правильный шестиугольник. Наиболее подходящей фигурой являет­ся шестиугольник, так как, если антенну с круговой диаграммой направленности BTSуста­навливать в его центре, то будет обеспечен доступ почти к всем участкам соты. В действительности соты никогда не бывают строгой геометрической формы.

Реально границы сот имеют вид неправильных кривых, зависящих от условий распро­странения и затухания радиоволн, то есть от рельефа местности, характера и плотности рас­тительности, застройки зданиями и многих других факторов.

Более того, границы сот вообще не являются четко определенными, так как на рубеже передачи обслуживания мобильной станции от одной соты в соседнюю эти границы могут в некоторых пределах смещаться с изменением условий распространения радиоволн и в зависимости от направления движения мобильной станции. Точно так же и положение базо­вой приемо-передающей станции BTS лишь приближенно совпадает с центром соты, кото­рый к тому же не так просто определить однозначно, если сота имеет неправильную форму. Если же на BTSиспользуются направленные антенны, то BTS в реальных случаях могут фактически оказаться на границах сот.

При использовании первого способа деления территории на соты интервал между сота­ми, в которых используются одинаковые рабочие каналы, обычно получается больше тре­буемого интервала — для поддержания взаимных помех на допустимом уровне.

Более приемлем второй способ разделения территории на соты. В этом случае измеряют или рассчитывают параметры сотовой системы для определенного минимального числа ба­зовых приемо-передающих станций BTS, обеспечивающих удовлетворительное обслужива­ние абонентов по всей территории, определяют оптимальное место расположения BTS с учетом рельефа местности и других факторов, влияющих на условия распространения ра­диоволн, рассматривают возможность использования направленных антенн, пассивных ретрансляторов и смежных BTS в момент пиковой нагрузки и пр.

В соответствии с международными соглашениями на выделение рабочих частот в системах сотовой мобильной связи стандарта GSM900/1800/1900 выделены частотные диапазоны, представленные в табл. 2.1.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 GSMполосы 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.

Однако 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 BTSи приемником MS(1 /г2), как при распространении в свободном пространстве (однолучевая модель), а обратно пропорционально четвертой сте­пени этого расстояния (то есть ~1 /г4), а в общем случае — 1/гп.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. И наконец, сложность 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.

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 GSM900 шириной в 25 МГц размещается [(25/0,2) - 1] = 124 дуплексных речевых каналов; в) число физических дуплексных ре­чевых радиоканалов.