ТЕХНОЛОГИИ ПОСТРОЕНИЯ СИСТЕМ ПОЗИЦИОНИРОВАНИЯ МОБИЛЬНЫХ ТЕЛЕФОНОВ В СЕТЯХ СОТОВОЙ СВЯЗИ

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ 3
1. ФИЗИЧЕСКИЕ ПРИНЦИПЫ ПОСТРОЕНИЯ СОТОВЫХ СИСТЕМ МОБИЛЬНОЙ СВЯЗИ 4
2. СТАНДАРТ GSM НА ЧАСТОТНО-ВРЕМЕННОЙ ПЛОСКОСТИ 7
3. СТРУКТУРНАЯ СХЕМА И СОСТАВ ОБОРУДОВАНИЯ СОТОВЫХ СЕТЕЙ СВЯЗИ 8
4. ПРИНЦИПЫ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ЭЛЕМЕНТОВ СИСТЕМЫ СОТОВОЙ СВЯЗИ 13
5. ОСНОВНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ПОСТРОЕНИЯ СИСТЕМ ПОЗИЦИОНИРОВАНИЯ МОБИЛЬНЫХ ТЕЛЕФОНОВ 14
5.1. МЕТОД CELL OF ORIGIN 15
5.2. МЕТОД НАПРАВЛЕНИЯ ПРИХОДА СИГНАЛОВ 15
5.3. ДАЛЬНОМЕРНЫЙ МЕТОД 16
5.4. РАЗНОСТНО-ДАЛЬНОМЕРНЫЙ МЕТОД 17
5.5. МЕТОД ФИКСАЦИИ ВРЕМЕНИ ПРИБЫТИЯ СИГНАЛОВ 18
5.6. МЕТОД ФИКСАЦИИ ПО РАЗНОСТИ МОМЕНТОВ ВРЕМЕНИ ПРИХОДА СИГНАЛОВ 19
5.7. ЛОКАЛИЗАЦИЯ С ПОМОЩЬЮ ДОПОЛНЕННОЙ СИСТЕМЫ A-GPS 19
5.8. МЕТОД ПОЗИЦИОНИРОВАНИЯ ПО "РАДИООТПЕЧАТКАМ" 21
5.9. ИНТЕГРИРОВАННЫЕ СИСТЕМЫ 22
6. ТЕХНОЛОГИЯ LBS ДЛЯ ПОЗИЦИОНИРОВАНИЯ МОБИЛЬНЫХ ТЕЛЕФОНОВ В СОТОВЫХ СЕТЯХ 22
6.1. ПАРАМЕТРЫ ТОЧНОСТИ СИСТЕМЫ LBS 23
7. СРАВНИТЕЛЬНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ СИСТЕМ ПОЗИЦИОНИРОВАНИЯ МОБИЛЬНЫХ ТЕЛЕФОНОВ 26
8. ПРАКТИЧЕСКАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ АЛГОРИТМА ОПРЕДЕЛЕНИЯ МЕСТОПОЛОЖЕНИЯ МОБИЛЬНОГО ТЕЛЕФОНА НА БАЗЕ РАЗНОСТНО-ДАЛЬНОМЕРНОГО МЕТОДА 26
ЗАКЛЮЧЕНИЕ 33
ЛИТЕРАТУРА 34

ВВЕДЕНИЕ

Задача позиционирования мобильных телефонов нацелена на осуществление автоматического определения их местоположения в зоне обслуживания сотовых сетей. При этом под термином «определение места положения» следует понимать не только нахождение географических координат - широты и долготы, но и обеспечение возможности однозначной идентификации положения телефона на местности.

Одной из задач позиционирования является обеспечение отслеживания местоположения мобильных устройств в случае экстренных ситуаций, например нахождение места абонента, позвонившего в одну из служб экстренной помощи с сотового телефона. Это, естественно, должно способствовать упрощению и ускорению прибытия спасательных служб. А абоненты, благодаря внедрению этой технологии, получат возможность, обращаясь за помощью в аварийных ситуациях, быть уверенными, что помощь придет.

На принципиально новом уровне вопрос позиционирования мобильных телефонов был поставлен Федеральной комиссией по электросвязи США (FCC). Разработанный ею набор требований, известный как документ 94-102, принятый 12 июня 1996года, предусматривающий определение местоположения любого беспроводного абонента, позвонившего по телефону службы спасения "911", могло быть выполнено с точностью не менее чем в 67% случаев определено с погрешностью не более 410 футов (около 125м). Столь жесткие требования обусловлены тем, что в настоящее время звонки с сотовых телефонов в США составляют уже приблизительно 25% от всех обращений в службу "911", а общее число аварийных вызовов с мобильных телефонов доходит до 100 тысяч звонков в сутки. При этом многие из звонящих не знают своего точного места и их отыскание занимает большое количество времени, доходящее до часов. А в некоторых случаях точное знание местонахождения звонящих является буквально вопросом жизни и смерти. Принятый план создания систем автоматического определения местоположения людей, позвонивших в службу "911", распространяется на операторов почти всех классов систем, из которых может поступить такой звонок - с мобильных телефонов любых сотовых сетей, из специализированных систем подвижной радиосвязи и т.п. Тремя годами позже - 15 сентября 1999 года - FCC утвердила пересмотренные правила обеспечения потребителям "расширенных" услуг "911", использующих беспроводные телефоны. Теперь специализированные мобильные телефоны, имеющие функцию определения положения, должны обеспечивать более высокую точность, чем обычные: среднюю квадратическую погрешность (СКП) 50 метров (для 67% вызовов) и максимальную - не более 150 метров (для 95% вызовов).

1. ФИЗИЧЕСКИЕ ПРИНЦИПЫ ПОСТРОЕНИЯ СОТОВЫХ СИСТЕМ МОБИЛЬНОЙ СВЯЗИ

Изначально для связи с подвижными объектами (абонентами) создавались отдельные ведомственные радиотелефонные станции (РТС), например железнодорожные, речные, авиационные. Увеличение числа абонентов, а следовательно и радиостанций (РС), отсутствие координационных принципов при разработке и их эксплуатации привели к неэффективному использованию радиочастотного спектра, к их плохой электромагнитной совместимости, к невозможности дальнейшего увеличения числа абонентов. Устранение недостатков ведомственных РТС было достигнуто за счет развития радиотелефонных сетей общего пользования (РТСОП). РТСОП — это радиоавтоматическая телефонная станция, которая обеспечивает связью абонентов между собой, а также с абонентами телефонной сети общего пользования. Соединение между абонентами выполняется в дуплексном (двустороннем) режиме с автоматическим поиском канала связи [1-3,4].

Зоновая сеть радиосвязи — это радиотелефонная сеть общего пользования с большой зоной обслуживания (действия). Под зоной обслуживания будем понимать часть поверхности Земли, на которой обеспечивается радиосвязь с заданным качеством. Большая зона обслуживания — это зона обслуживания, в которой дальность радиосвязи L ограничивается прямой видимостью между антеннами (L=40-60км). Отметим, что на практике зона обслуживания может уменьшаться за счет снижения мощности передатчика, применения направленных антенн, «затенения» препятствий и т.д.

Принцип построения зоновой сети радиосвязи с абонентами основан на использовании центральной радиостанции (ЦРС), антенна которой располагается в наиболее высокой точке зоны обслуживания в центре большого количества абонентов (рис.1). Топографическая структура этой сети является радиальной. Радиостанция предназначена для работы во время движения или во время остановок в неопределенных пунктах зоны обслуживания $R<50$ километров. Организация взаимодействия с другими телефонными сетями осуществляется через ЦРС, которая связана кабелем Е1 с АТС [5].

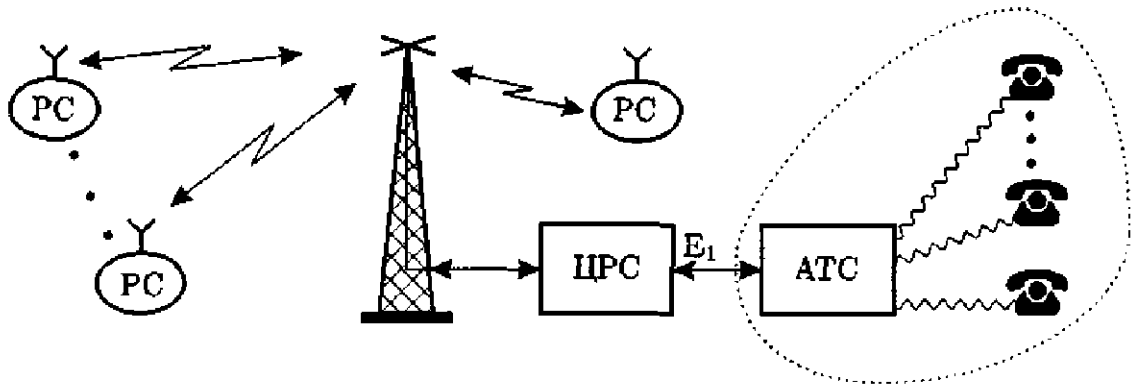

Рис. 1. Зоновая сеть подвижной радиосвязи

Недостатки зоновой радиосвязи: большая мощность передатчиков, ЦРС до 60 Вт, РС до 15 Вт; «затенение» РС препятствиями; неэффективное использование частотного диапазона, потому что рабочая частота занимается одной РС во всей зоне обслуживания [6].

Повысить эффективность использования выделенного для подвижной радиосвязи спектра частот возможно путем разбивки зоны обслуживания на небольшие участки — соты, с целью реализовать принцип повторного использования радиочастот, как это показано на рис.2. [7]

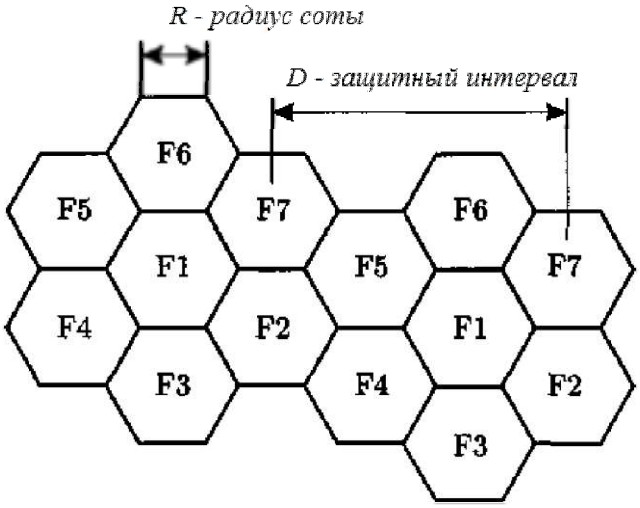

Рис. 2. Принцип повторного использования частот для семи сот

Геометрически оптимальное разделение всей зоны обслуживания (без перекрытий и пропусков) может быть выполнено тремя геометрическими фигурами: равносторонний треугольник, квадрат, правильный шестиугольник, — соты. Отсюда и название — сотовая связь.

Различают макросоты *(R*=1,5-35км), микросоты *(R*=100-600м) и пікостільники *(R*=10-60м). Каждая сота обслуживается отдельной многоканальной базовой радиостанцией (БРС) небольшой мощности, которая находится в центре сота. БРС устанавливает радиосвязь с РТС абонента, который находится в ее зоне [8].

При перемещении РТС в другую соту автоматически обеспечивается переключение РТС на частоту БРС новой соты. Этот принцип обслуживания абонентов получил название процедуры эстафетной передачи (handover). БРС соединяется с центром коммутации подвижной связи ЦКПС, где в памяти центрального компьютера сохраняются как статические, так и динамические, данные о подвижных объектах — РТС абонентов всей сети (рис.3).

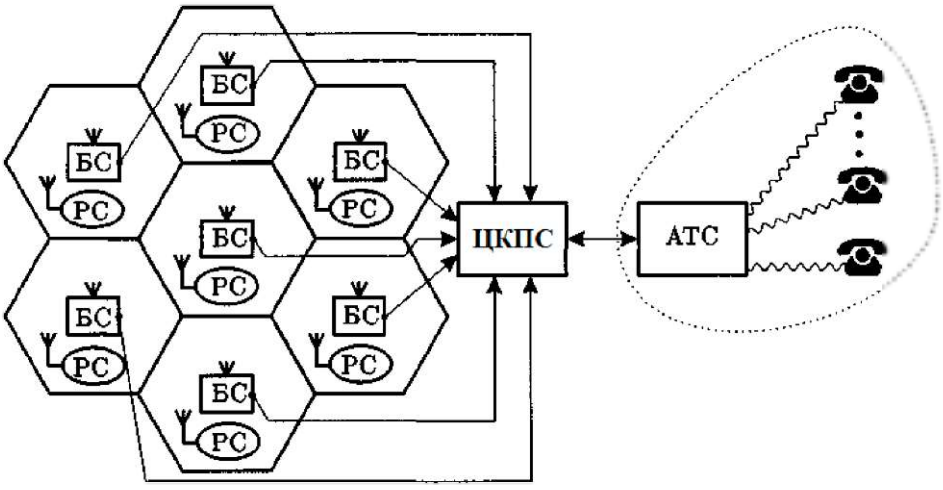

Рис.3. Сотовая сеть подвижной радиосвязи

Мощность передатчика БРС — незначительная в сравнении с мощностью передатчика ЦРС (рис.1), потому влияние его сигнала на другие РС, которые находятся на удалении защитного интервала *D* (рис.2), несущественно. Более того, в данное время разрабатываются новые, более эффективные, модели повторного использования частот [9].

Модель с круговой диаграммой направленности антенн допускает передачу сигнала одинаковой мощности во всех направлениях, что для РТС эквивалентно приему помех из всех направлений. Использование секторных направленных антенн позволяет снизить уровень помех. Ясно, что в самом простом случае для того, чтобы обеспечить связью неограниченную плоскую территорию, в сотовой связи достаточно, например, семь рабочих частот *F1, F2, F3, F4, F5, F6, F7* (рис.2). В результате этого многоразово используется частотный ресурс и многоразово увеличивается количество абонентов сети. Наивысшую эффективность использования полосы частот, то есть наибольшее число абонентов сети в выделенной полосе частот, обеспечивает разработанная фирмой Motorola (США) модель повторного использования частот (рис.4). Из анализа этой модели видно, что каждая частота, в пределах модели, которая состоит из четырех БРС, используется точно дважды. Благодаря этому каждая из четырех БРС в пределах действия шести 60-градусных антенн может работать на 12 группах частот.

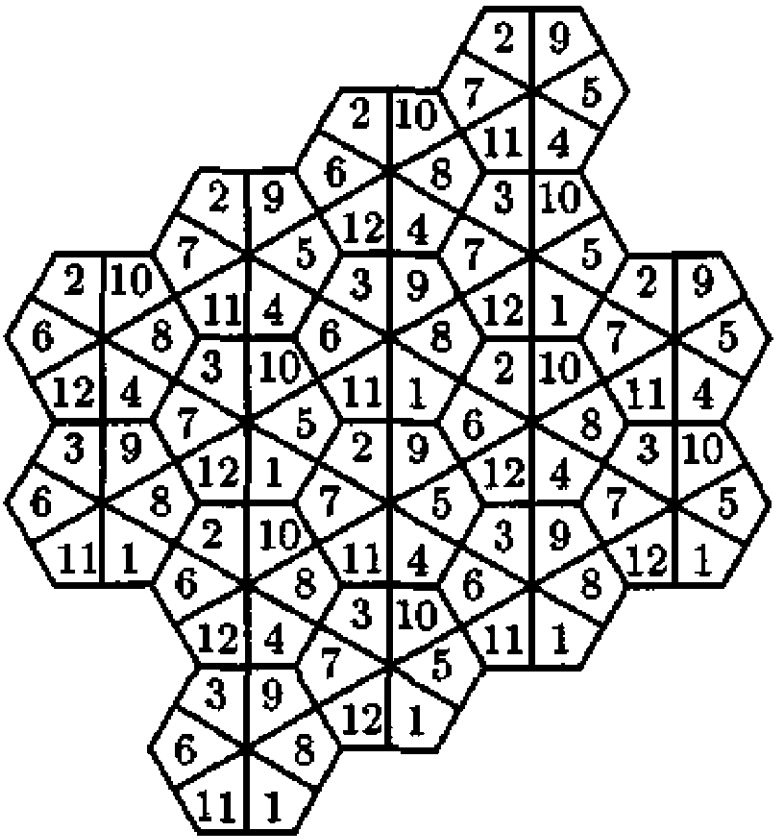

Рис.4. Модель повторного использования частот в каждых двух соседних сотах

Следует отметить, что проблемы частотно территориального планирования и оптимального разделения каналов в системах подвижной связи являются достаточно сложными, однако решаемыми.

2. СТАНДАРТ GSM НА ЧАСТОТНО-ВРЕМЕННОЙ ПЛОСКОСТИ

Стандарт GSM на цифровую общеевропейскую сотовую систему наземной подвижной связи (рис.5) предусматривает работу передатчиков РС и БС в двух диапазонах частот, соответственно 890-915 Мгц и 935-960 Мгц [10].

Рис.5. Принцип организации связи стандарту GSM на частотно-временной плоскости.

Дуплексный разнос частот приема и передачи (для организации дуплексного канала) составляет 45 Мгц. Ширина полосы одного канала составляет 200 кГц, потому максимальное число каналов связи 25000/200 — 1 = 124. Максимальное количество каналов, которые организуются в БРС — 16-20. Вид модуляции — 0,3СМ8К — гауссова манипуляция с минимальным частотным сдвигом, индекс манипуляции равняется 0,3 [11].

В стандарте GSM достигается высокая степень безопасности передачи сообщений; осуществляется шифровка сообщений алгоритмом RSA-шифрования с открытым ключом.

Обработка языка осуществляется в рамках принятой системы прерывистой передачи языка DTX-Discontinuous Transmission (рис.6), который обеспечивает включение передатчика только тогда, когда пользователь начинает разговор и отключает его в паузах и в конце разговора. Система DTX управляет детектором активности речи ДАР (VAD - Voice Activity Detector), что обеспечивает выявление и выделение интервалов речи с шумом и шума без речи даже в тех случаях, когда уровень шума равен уровню речи [12,13]. В качестве речепреобразующего устройства избранный языковой кодер (вокодер) с регулярным импульсным сдвигом, долгосрочным предсказанием и линейной кодировкой, с предсказанием — RPE/LTP-LPC-кодек. Общая скорость превращения языкового сигнала — 13 кбит/с.

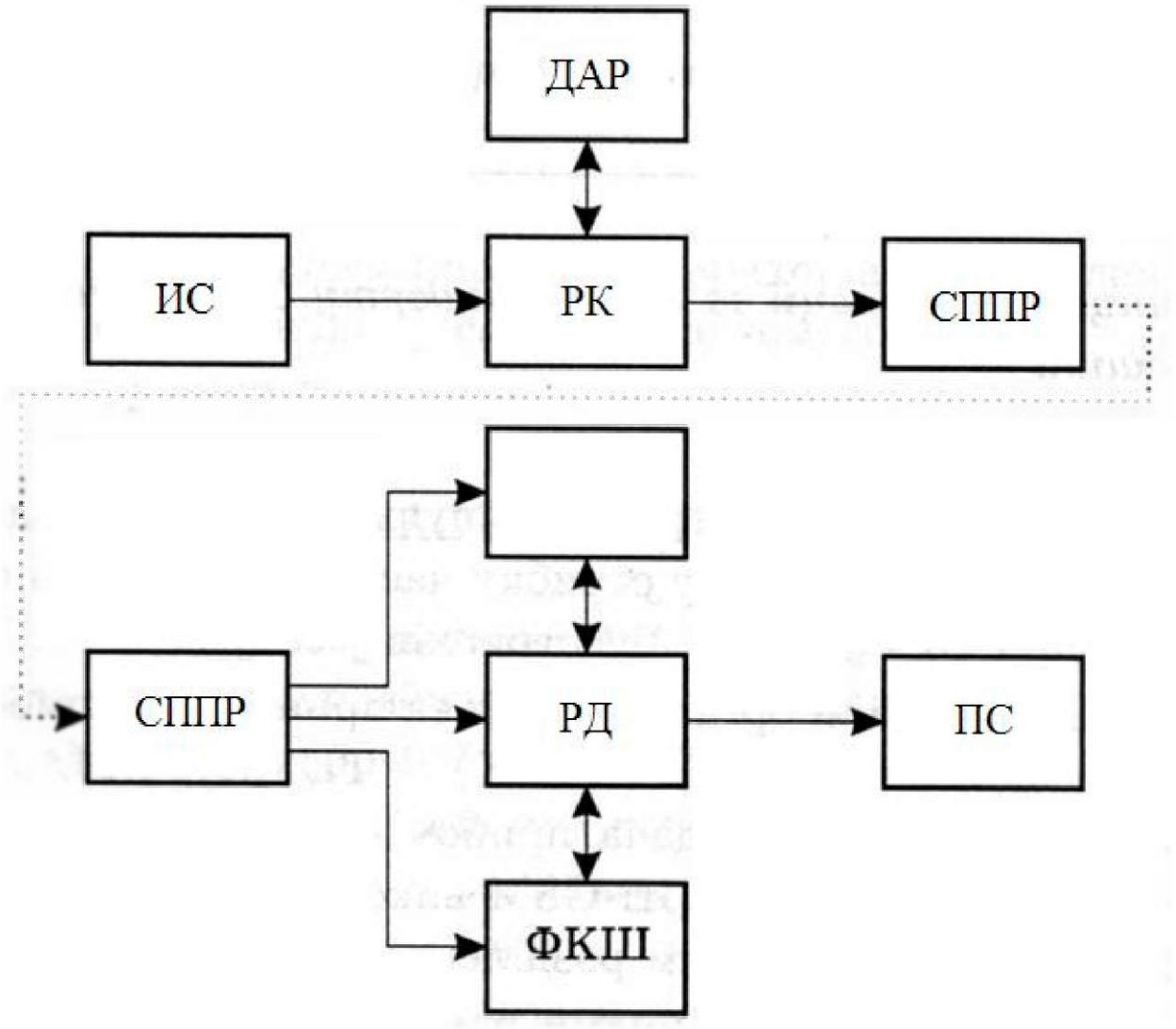

Рис.6. Структурная схема обработки языка в стандарте GSM: ДАР — детектор активности речи; ИС — источник сообщений; РК — речевой кодер; СППР — система прерывистой передачи речи; ЕРК — екстраполятор речевого кадра; РД — речевой декодер; ФКШ — формирователь комфортного шума; ПС — получатель сообщений.

3. СТРУКТУРНАЯ СХЕМА И СОСТАВ ОБОРУДОВАНИЯ СОТОВЫХ СЕТЕЙ СВЯЗИ

Функциональное построение и интерфейсы, принятые в стандарте GSM, иллюстрируются структурной схемой (рис.7), где РС — подвижные радиотелефонные станции; БС — базовые станции; КБС — контролер базовых станций; ТК — транскодер; ПБС — подсистема базовых станций; ЦУО — центр управления и обслуживания; ЦКПС — центр коммутации подвижной связи; РМР — регистр места расположения; РПМ — регистр перемещения; ЦА — центр аутентификации; РИО — регистр идентификации оборудования; ПК — подсистема коммутации; ТСОП — телефонные сети общего пользования; МПП — сети пакетной передачи данных; ЦМИО — цифровые сети интегрального обслуживания; A, B, C, D, E, M, A-bis, Um — сетевые и радиоинтерфейсы.

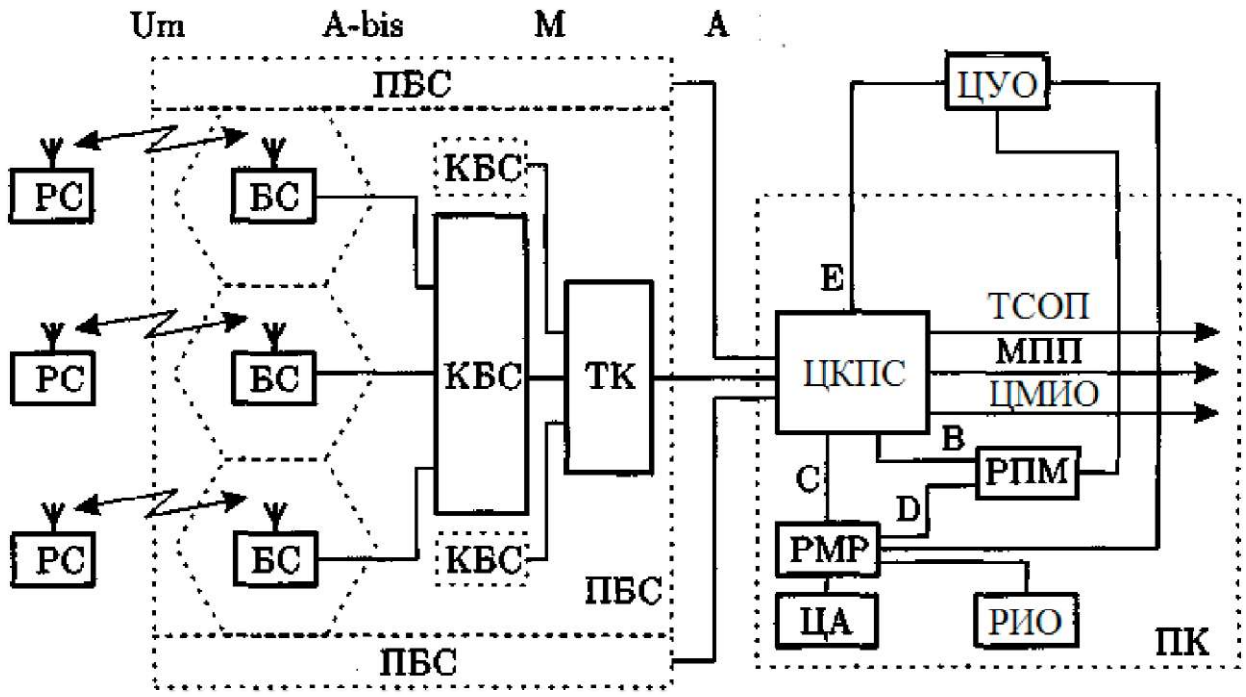

Рис.7. Структурная схема сетей связи GSM

Функциональное сопряжение элементов системы осуществляется рядом интерфейсов. Все сетевые функциональные компоненты в стандарте GSM взаимодействуют в соответствии с системой сигнализации МККТТ № 7.

Центр коммутации подвижной связи (ЦКПС) обслуживает группу сотов и обеспечивает все виды соединений, в которых нуждается в процессе работы подвижная станция (РС). ЦКРЗ аналогичный ISDN коммутационной станции и являет собой интерфейс между фиксированными сетями (PSTN, PDN, ISDN и так далее) и сетью подвижной связи. Он обеспечивает маршрутизацию вызовов и функции управления вызовами. Кроме выполнения функций обычной ISDN коммутационной станции, на ЦКРЗ 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 или с появлением помех и неисправностей.

Центр коммутации осуществляет постоянное наблюдение за подвижными станциями, используя регистры места расположения (РМР) и перемещения (РПМ).

В РМР сохраняется та часть информации о месте расположения какой-либо подвижной станции, что позволяет при коммутации доставить вызов станции. Регистр РМР содержит международный идентификационный номер подвижного абонента (IMSI). Он используется для определения подвижной радиотелефонной станции в центре аутентификации (ЦА) (рис.8 и 9).

Второе основное устройство, которое обеспечивает контроль за перемещением подвижной станции из зоны в зону — регистр перемещения РПМ. С его помощью достигается функционирование подвижной станции за пределами зоны, контролируемой РМР. Когда в процессе перемещения подвижная станция переходит из зоны действия одного контролера базовой станции (КБС), которая совмещает группу базовых станций, в зону действия другого КБС, она регистрируется новым КБС и в РПМ заносится информация о номере области связи, которая обеспечит

доставку вызовов подвижной станции. Для сохранения данных, которые находятся в РМР и РПМ, в случае сбоев предусмотрена защита устройств памяти этих регистров.

Состав долгострочных данных, которые сохраняются в РМР и РПМ

РМР

РПМ

1	IMSI — международный идентификационный номер подвижного абонента
2	Номер подвижной станции в международной сети ISDN
3	Категория подвижной радиотелефонной станции
4	Ключ аутентификации
5	Виды обеспечения вспомогательными службами
6	Индекс закрытой группы пользователей
7	Код блокировки закрытой группы пользователей
8	Состав основных вызовов, которые могут быть переданы
9	Оповещение абонента, который вызывается
10	Идентификация номера абонента, который вызывается
11	График работы
12	Оповещение абонента, который вызывается
13	Контроль сигнализации при соединении абонентов
14	Свойства (средства) закрытой группы пользователей
15	Льготы закрытой группы пользователей
16	Запрещены исходные вызовы в закрытой группе пользователей
17	Максимальное количество абонентов
18	Используемые пароли
19	Класс приоритетного доступа

РМР

20	Запрещены входные вызовы в закрытой группе абонентов

Рис.8. Состав долгосрочных данных, которые сохраняются в РМР и РПМ.

Для исключения несанкционированного использования ресурсов системы связи вводятся механизмы аутентификации — засвидетельствования действительности абонента. Центр аутентификации (ЦА) состоит из нескольких блоков и формирует ключи и алгоритмы аутентификации. С его помощью проверяются полномочия абонента и осуществляется его доступ к сети связи. ЦА принимает решение о параметрах процесса аутентификации и определяет ключи

шифровки абонентских станций на основе базы данных, сосредоточенной в РИУ, — регистре идентификации оборудования.

Состав долгострочных данных, которые сохраняются в РМР и РПМ

РМР

1	Параметры аутентификации и шифровки
2	Временный номер станции, которая двигается, который назначается РПМ
3	Адреса регистров перемещения
4	Зоны перемещения подвижной станции
5	Номер соты при эстафетной передаче
6	Регистрационный статус
7	Таймер отсутствия ответа (отключение соединения)
8	Состав использованных в данный момент паролей
9	Активность связи

РПМ

1	TMSI — временный международный идентификационный номер пользователя
2	Идентификаторы зоны расположения
3	Указания относительно использования основных служб
4	Номер соты при эстафетной передаче
5	Параметры аутентификации и шифровки

Рис.9. Состав временных данных, которые сохраняются в РМР и РПМ

Каждый подвижной абонент на время пользования системой связи получает стандартный модуль действительности абонента (SIM), который содержит: международный идентификационный номер (IMSI), свой индивидуальный ключ аутентификации (K_i), алгоритм аутентификации (А3).

С помощью заложенной в SIM информации, в результате взаимного обмена данными между подвижной станцией и сетью, осуществляется полный цикл аутентификации и позволяется доступ абонента к сети.

Процедура проверки сетью действительности мобильного телефона абонента реализуется таким способом. Сеть передает случайный номер (RAND) на подвижную станцию. На ней за помощью K_i и алгоритму аутентификации А3 определяется значение отзыва (SRES), то есть SRES =Ki•[RAND].

Мобильный телефон посылает вычисленное значение SRES в сеть, которая сверяет значение принятого SRES со значением SRES, вычисленным сетью. Если оба значения совпадают, Мобильный телефон приступает к передаче сообщений. В противоположном случае связь перерывается, и терминал мобильного телефон показывает, что его определение в сети не состоялось. Для обеспечения

секретности, вычисления SRES происходят в SIM-карте. Несекретная информация (например K_i) не поддается обработке в модуле SIM.

Оборудование базовой станции состоит из контролера базовой станции (КБС) и приемопередающих базовых станций (БС).

Контролер базовой станции может руководить несколькими приемно-передаточными блоками. ПБС руководит разделением радиоканалов, контролирует соединение, регулирует их очередность, обеспенивает режим работы со стрибковою частотой, модуляцию и демодуляцию сигналов, кодировки и декодирования сообщений, кодировки языка, адаптацию скорости передачи, для языка, данных и вызова, определяет очередность передачи сообщений персонального вызова.

ПБС вместе с ЦКПС, РМР, РПМ выполняет некоторые функции, например освобождение канала, главным образом под контролем ЦКПС, но ЦКПС может пригласить базовую станцию, обеспечить освобождение канала, если вызов не проходит через радиопомехи. ПБС и ЦКРЗ совместно осуществляют приоритетную передачу информации для некоторых категорий подвижных станций. Центр управления и обслуживания обеспечивает разделение функций и организацию взаимодействия между ПБС и ЦКПС. Его функции совпадают с функциями ЦУО в обычных сетях связи. Отличие заключается в том, что в сетях стандарта GSM центр ЦУО обеспечивает управление работой радиоподсистемы.

Подвижная станция состоит из оборудования, которое служит для организации доступа абонентов сетей GSM к существующим фиксированным сетям электросвязи. В рамках стандарта GSM приняты пять классов подвижных станций от модели 1-го класса с исходной мощностью 20 Вт, которая установлена на транспортном средстве, к портативной модели 5-го класса максимальной мощностью 0,8 Вт (табл.1).

Таблица 1

Пять классов подвижных станций

Класс мощности	Максимальный уровень мощности передатчика	Допустимые отклонения
1	20 Вт	1,5 Дб
2	8 Вт	1,5 Дб
3	5Вт	1,5 Дб
4	2Вт	1,5 Дб
5	0,8 Вт	1,5 Дб

При передаче сообщений предусматривается адаптивная регуляция мощности передатчика, который обеспечивает необходимое качество связи.

Подвижной абонент и станция независимы одно от другого. Как уже отмечалось, каждый абонент имеет свой международный идентификационный номер (SIM), записанный на карточку. Такой подход позволяет устанавливать радиотелефоны, например, в такси и автомобилях, которые берутся на прокат.

Каждой подвижной станции также присваивается свой международный идентификационный номер (ИМЕИ). Этот номер используется для предотвращения доступа к сетям GSM похищенной станции или станции без полномочий.

4. ПРИНЦИПЫ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ЭЛЕМЕНТОВ СИСТЕМЫ СОТОВОЙ СВЯЗИ

Рассмотрим взаимодействие элементов системы сотовой связи мобильного оператора. Она состоит из трех компонентов: радиопередатчиков (мобильных телефонов), систем базовых станций и коммуникационного центра MTSO (Mobile Telephone Switching Office), который управляет работой всей системы.

Мобильный телефон — это миниатюрная приемопередающая радиостанция. Каждому мобильному телефону присваивается свой электронный серийный номер (ESN), который кодируется в его микрочипе при его изготовлении и сообщается изготовителями аппаратуры специалистам, осуществляющим его обслуживание. Кроме того, некоторые изготовители указывают этот номер в руководстве для пользователя. При подключении аппарата к сотовой системе связи в микрочип телефона заносится мобильный идентификационный номер – Mobil Identification Number (MIN).

Вся территория, обслуживаемая оператором мобильной связи, разделена на отдельные прилегающие друг к другу зоны связи (соты).

Обмен информацией между мобильным телефоном и сетью оператора мобильной связи в каждой такой зоне управляется базовой станцией, способной принимать и передавать сигналы на большом количестве радиочастот. Кроме того, эта станция подключена к обычной проводной телефонной сети и оснащена аппаратурой преобразования высокочастотного сигнала сотового телефона в низкочастотный сигнал проводного телефона и наоборот, чем обеспечивается сопряжение обеих систем.

Периодически базовая станция излучает служебный сигнал. Приняв его, мобильный телефон автоматически добавляет к нему свои MIN и ESN-номера и передает получившуюся кодовую комбинацию на базовую станцию. В результате этого осуществляется идентификация конкретного сотового телефона, номера счета его владельца и привязка аппарата к определенной зоне, в которой он находится в данный момент.

Когда абонент звонит по своему телефону, базовая станция выделяет ему одну из свободных частот той зоны, в которой он находится, вносит соответствующие изменения в его счет и передает его вызов по назначению.

Коммуникационный центр MTSO — это мозг сети. Его главный компьютер управляет сотнями тысяч соединений в зоне, обслуживаемой данным центром. Центр MTSO назначает частоты для радиосвязи базовым станциям и подвижным радиотелефонам, а также распределяет вызовы в пределах своей зоны между сотовой сетью и обычными телефонными станциями общего пользования. Базы данных сотовой сети содержат информацию так и об интерфейсах с другими такими же сетями, что необходимо для идентификации абонентов и проверки их права на доступ в сеть, о местонахождении всех ее клиентов.

Текущее положение мобильного телефона выявляется через коммуникационный центр MTSO мобильного оператора, который постоянно регистрирует, где он находится в данный момент времени даже в том случае, когда он не ведет никаких разговоров (по идентифицирующим служебным сигналам, автоматически передаваемым на базовую станцию).

Точность определения места положения мобильного телефона в этом случае зависит от целого ряда факторов: топографии местности, наличия помех и переотражений его сигнала от зданий, положения базовых станций, количества работающих в настоящий момент телефонов в данной «соте». Большое значение имеет и размер «соты», в которой находится абонент, поэтому точность определения его положения в городе гораздо выше, чем в сельской местности (размер «соты» в городе составляет около 1 кв. км против 50-70 кв.км на открытой местности).

Анализ данных о сеансах связи абонента с различными базовыми станциями (через какую и на какую базовую станцию передавался вызов, дата вызова и т.п.) позволяет восстановить все перемещения абонента в прошлом. Такие данные автоматически регистрируются в центре MTSO, где могут храниться от 60 дней до нескольких лет.

Таким образом, задача позиционирования мобильных телефонов предполагает автоматическое определение их местоположения в пределах сотовых сетей. При этом под термином "местоположение" следует понимать не нахождение географических координат - широты и долготы (что в принципе также возможно), а однозначную идентификацию положения владельца мобильного телефона на местности (электронной карте мобильного оператора).

5. ОСНОВНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ПОСТРОЕНИЯ СИСТЕМ ПОЗИЦИОНИРОВАНИЯ МОБИЛЬНЫХ ТЕЛЕФОНОВ

Существуют несколько видов систем мобильного позиционирования (СМП). Согласно принятой классификации, СМП делятся на два основных типа [14]:

1. системы, для функционирования которых необходима доработка или замена мобильных телефонов.
2. системы, работающие с мобильными телефонами (системы позиционирования внутри сотовой сети).

В первом случае потребуется либо новая SIM-карта, либо новый аппарат (а возможно, и то и другое). Во втором случае никаких изменений аппаратной части мобильного телефона не требуется, а необходимо только изменение его программного обеспечения, таким образом, все затраты на развертывание системы несет оператор сети.

В общем случае для определения положения радиопередающего устройства могут быть использованы три основных параметра радиосигналов: их амплитуда в месте приема, направление прихода и время задержки при распространении.

Амплитуда принимаемых сигналов (Signal Strength) способна характеризовать расстояние между передатчиком и приемником. Однако на практике уровень сигналов мобильного телефона в месте приема зависит от столь большого числа причин, что в большинстве случаев не может обеспечить требуемую точность определения места и используется в качестве вспомогательного параметра.

Направление прихода сигналов (Angle of Arrival - AOA) может автоматически определяться, например, по различию фаз сигналов на элементах антенной решетки, установленной на базовой станции сотовой сети. Пересечение пеленгов из двух (или большего числа) мест обеспечивает однозначное определение положения

мобильного телефона. К числу достоинств данного метода относится независимость работы станций, каждая из которых дает информацию об азимуте мобильного телефона. При этом необходимые калибровки приемников для компенсации разброса их параметров, влияния изменений температуры и т. п. локальны для каждой станции и не налагают дополнительных требований на всю сеть. Однако для достижения требуемой точности необходимо определение пеленгов с весьма малой погрешностью. Так, например, точность определения углов в 1 градус выполняется только для расстояний до 7 км.

Время задержки сигналов при распространении (Time of Arrival – TOA) может быть также использована при решении задачи позиционирования. При точно известном моменте времени передачи радиосигналов, измеряя время их прихода в приемник базовой станции, можно вычислить расстояние от мобильного телефона до базовой станции при условии жесткой временной синхронизации (желательно до долей микросекунды) всех элементов системы.

В настоящее время системы позиционирования мобильных телефонов претерпевают значительные совершенствование и развитие. В связи с этим их можно разделить на следующие типы [15]:

5.1 Метод Cell of Origin.
5.2. Угломерный метод (метод направления прихода сигнала).
5.3. Дальномерный метод.
5.4. Разностно-дальномерный метод.
5.5. Метод фиксации времени прибытия сигналов.
5.6. Метод фиксации по разности моментов времени прихода сигналов.
5.7. Локализация с помощью дополненной системы A-GPS.
5.8. Метод позиционирования по "радиоотпечаткам".
5.9. Интегрированные системы.

5.1. Метод Cell of Origin

В самом простом случае, решение задачи определения места положения мобильного телефона с точностью до соты, может быть решено применением метода **Cell of Origin**. Его точность позволяет всего лишь определить, к какой базовой станции ближе всего находится мобильный телефон. То есть, в ответ на запрос мобильного оператора, будет установлен предполагаемый район нахождения от 1, 2 или 3 базовых станций.

Так как зоны приема базовых станций сети на местности известны, то существует возможность определить, какие из них могут принять сигналы телефона. На основе полученных данных определяется территория, в пределах которой находится пользователь мобильного телефона: в лучшем случае до 150 метров (пикосота), в худшем - до 30 километров.

5.2. МЕТОД НАПРАВЛЕНИЯ ПРИХОДА СИГНАЛОВ

При реализации угломерного метода (метод направления прихода сигналов - Angle of Arrival - AOA) измеряемыми параметрами являются углы направления прихода излучения радиотелефона α_1 и α_2 (в ^{0}) относительно линии (базы), соединяющей две сотовые станции сети (рис.10).

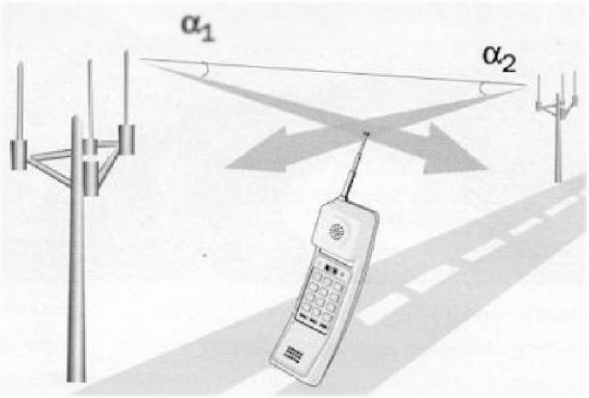

Рис.10. Реализация угломерного метода

Для определения направления прихода сигналов сотовых телефонов используются фазированные антенные решетки, устанавливаемые на базовых станциях сети и подключаемые к существующему оборудованию системы связи [16]. Нахождение местоположения абонента осуществляется при приеме сигналов его мобильного телефона хотя бы двумя приемниками. В случае если сигнал получен только одним приемником, для определения местоположения может использоваться дополнительная информация на основе оценки амплитуды сигнала.

К числу достоинств данного метода относится независимость работы станций, каждая из которых дает информацию об азимуте мобильного телефона. При этом все необходимые калибровки приемников для компенсации разброса их параметров, влияния изменений температуры и т.п. локальны для каждой станции и не налагают дополнительных требований на всю сеть. Однако для достижения требуемой точности необходимо определение пеленгов с весьма малой погрешностью.

Погрешность определения положения абонента относительно его истинного местонахождения σ_n (км) при известной величине расстояния D_σ (км) между соседними базовыми станциями, принявшими его сигнал, и измеренных углах α_1 и α_2 с ошибкой σ_α (в ^{0}) составляет:

$$\sigma_n = \frac{1{,}7 \bullet 10^{-2} \bullet \sigma_\alpha \bullet D_\sigma \sqrt{\sin^2 \alpha_1 + \sin^2 \alpha_2}}{\sin^2(\alpha_1 + \alpha_2)} \qquad (1)$$

Минимальная погрешность достигается при соотношении $(\alpha_1+\alpha_2)=90^0$ и может быть рассчитана по формуле

$$\sigma_n = 1{,}7 \bullet 10^{-2} \bullet \sigma_\alpha \bullet D_\sigma \qquad (2)$$

5.3. ДАЛЬНОМЕРНЫЙ МЕТОД

При реализации дальномерного метода (рис.11) измеряемыми параметрами являются временные задержки D_{t1} и D_{t2} (с) распространения сигнала радиотелефона абонента не менее чем до двух сотовых станций сети относительно их временных шкал, которые должны быть синхронизированы между собой, а рассчитываемыми параметрами - дальности от сотовых станций до места расположения абонента $D_1=3\bullet10^5\Delta\tau_1$ (км) и $D_2=3\bullet10^5\bullet\Delta\tau_2$ (км).

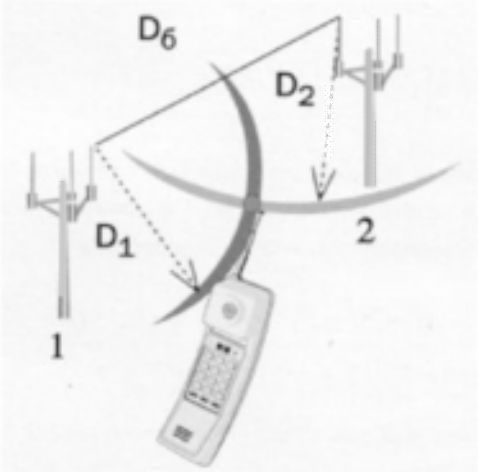

Рис.11. Реализация дальномерного метода.

Для расстояния между базовыми станциями D_σ, известной ошибке измерения временных интервалов σ_t (одинаковой для каждой базовой станции) и рассчитанных дальностях D_1 и D_2 погрешность положения абонента относительно его истинного местонахождения σ_n может быть рассчитана как

$$\sigma_n = \frac{4,2 \bullet 10^5 \bullet \sigma_t}{\sin\left[ar\cos\left(\frac{D_1^2 + D_2^2 - D_\sigma^2}{2D_1D_2}\right)\right]} \qquad (3)$$

5.4. РАЗНОСТНО-ДАЛЬНОМЕРНЫЙ МЕТОД

При реализации разностно-дальномерного метода (рис.13) измеряемыми параметрами являются временные задержки $\Delta\tau_1$ (с), $\Delta\tau_2$ (с) и $\Delta\tau_3$ (с) распространения сигнала радиотелефона абонента не менее чем до трех базовых станций сети относительно их синхронизированных временных шкал, а *рассчитываемыми параметрами* - дальности от сотовых станций до места расположения абонента $D_1=3\bullet10^5\Delta\tau_1$ (км), и $D_2=3\bullet10^5\bullet\Delta\tau_2$ (км) и $D_3=3\bullet10^5\bullet\Delta\tau_2$ (км) и базовые углы β_1 и β_2.

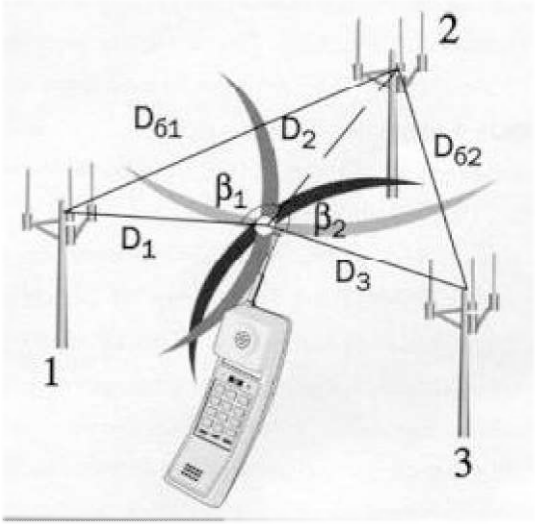

Рис.13. Реализация разностно-дальномерного метода.

При расстояниях между базовыми станциями $D_{\sigma1}$ (км), $D_{\sigma2}$ (км), известной ошибке измерения временных интервалов σ_τ (с) (равной для каждой сотовой

станции), рассчитанных дальностях D_1 и D_2 базовые углы определяются по формулам

$$\beta_1 = ar\cos\left(\frac{D_1^2 + D_2^2 - D_{\sigma 1}^2}{2D_1D_2^{\prime}}\right) \tag{4}$$

$$\beta_2 = ar\cos\left(\frac{D_1^2 + D_2^2 - D_{\sigma 2}^2}{2D_1D_2^{\prime}}\right) \tag{5}$$

Погрешность положения мобильного телефона абонента относительно его истинного местонахождения σ_n (км) в данном методе меньше, чем в дальномерном, и определяется как

$$\sigma_n = \frac{1{,}5 \bullet 10^5 \sigma_\tau \sqrt{\sin^2(0{,}5\beta_1) + \sin^2(0{,}5\beta_2)}}{\sin[0{,}5(\beta_1 + \beta_2)] + \sin(0{,}5\beta_1)\sin(0{,}5\beta_2)} \tag{6}$$

В современных системах позиционирования мобильных телефонов дальномерный и разностно-дальномерный методы определения представлены следующими вариациями.

5.5. МЕТОД ФИКСАЦИИ ВРЕМЕНИ ПРИБЫТИЯ СИГНАЛОВ

Данный метод основан на измерении интервалов времени, за которые сигнал мобильного телефона доходит до нескольких базовых станций, оснащенных блоками определения местоположения Location Measurement Units (LMU). Модули LMU размещаются в пределах сотовой сети в таких известных фиксированных пунктах, где они могут контролировать соседние базовые станции. Ориентировочно один LMU необходим на каждые четыре станции сети. Модули могут размещаться обособленно или на базовых станциях.

Рис.14. Метод Uplink TOA.

Получив сообщение от телефона, центр расчетов положения Mobile Measurement Units (MLC) запрашивает информацию из ближайших к телефону измерительных модулей LMU и, сравнивая относительные времена приема сигналов в известных фиксированных пунктах, вычисляет положение телефона. Весь процесс занимает не более нескольких секунд и зависит от времени ожидания пакета данных.

Для обеспечения требуемой точности возможна синхронизация внутренних часов сети с помощью спутниковой системы GPS. Такой метод получил название UL-TOA (Uplink Time of Arrival). Все данные через сеть оператора связи поступают в вычислительный центр, где устанавливается местонахождение мобильного телефона абонента. Наглядно метод UL-TOA представлен на рис.14.

5.6. МЕТОД ФИКСАЦИИ ПО РАЗНОСТИ МОМЕНТОВ ВРЕМЕНИ ПРИХОДА СИГНАЛОВ

Метод фиксации разности времен прихода сигналов (OTDOA - Observed Time Difference of Arrival) в значительной степени подобен методу TOA. Метод основан на точном определении времени приема сигналов мобильного телефона в трех (или более) базовых станциях сети. Телефонный аппарат измеряет время прохождения сигнала до него от ближайшей базовой станции, оснащенной блоком LMU, и сравнивает его с соответствующими временами не менее чем еще для двух таких станций.

На основе вычисления разницы значений времен поступления сигналов в парах мест вычисляются гиперболические линии положения передатчика. Источник сигнала будет находиться в точке пересечения двух гипербол. Точность, достигаемая при использовании данной технологии, зависит от ограничений ширины полосы частот сигнала, точности синхронизации элементов системы и среды распространения сигнала (флуктуаций скорости распространения радиоволн в атмосфере в зависимости от изменений температуры, влажности, давления и др.).

Расстояния между базовыми станциями известны, что позволяет рассчитать расстояния от каждой из них до сотового телефона и определить его местоположение. Все вычисления выполняет центр локализации мобильных телефонов MLC Преимущество этой системы состоит в том, что она позволяет обойтись меньшим числом LMU (всего примерно лишь для четверти базовых станций). Кроме того, системе не нужно давать команду базовым станциям слушать мобильные телефоны, не находящиеся непосредственно в их зонах действия. Для этого используется опция самого мобильного телефона, который и так всегда принимает сигналы базовых станций сотовой связи, чтобы не потерять связь при перемещении из одной соты в другую.

Кроме того, в данном случае не нужна и дорогая спутниковая система для синхронизации часов в сети LMU. Поскольку известны расстояния между LMU в сети и времена прохождения сигнала от мобильного телефона до различных LMU и обратно, уравнение для определения местоположения решается однозначно.

5.7. ЛОКАЛИЗАЦИЯ С ПОМОЩЬЮ ДОПОЛНЕННОЙ СИСТЕМЫ A-GPS

Система A-GPS (Assistant Global Positioning System) основывается на применении радионавигационного метода. Она объединяет классическую информацию GPS с географическим программиым обеспечением и мобильной информацией сети [17].

Необходимым условием реализации системы является оснащение мобильных телефонов GPS-приемниками, чтобы они могли принимать сигналы от ряда спутников и по этим сигналам вычислять свое местоположение. Процесс функционирования системы протекает следующим образом. Встроенный приемник GPS находит последовательно несколько навигационных спутником (как правило 3 спутника). Каждого спутник регистрирует временные задержки прихода сигнала от мобильного телефона. Сеть мобильного опрератора указывает мобильному телефону, какие именно спутники следует искать. Для уменьшения потребления энергии от батареи мобильного телефона данные спутниковых измерений

передаются в сеть мобильного опрератора и на нее возлагается выполнение необходимых расчетов. Процесс определения местоположения может занимать от 40 с до нескольких минут, а также требует прямой видимости по крайней мере трех спутников.

Применение системы позволяет определить местоположение мобильного телефона относительно нескольких спутников на геостационарных орбитах и рассчитать его точные географические координаты (вплоть до 3м).

При реализации радионавигационного метода в телефонный аппарат абонента должен быть встроен специальный навигационный модуль. На него возложены функции расчета дальности от абонента до трех спутников D_i (i=1,2,3) и геоцентрических (декартовых) координат xs_i, ys_i, zs_i (i=1,2,3) на основе дальномерных и информационных сигналов, передаваемых со спутников. Далее из решения системы 3-х уравнений вида:

$$D_i^2 = (xs_i + xa)^2 + (ys_i + xa)^2 + (zsi + za)^2, \quad (7)$$

Определяются геодезические координаты абонента xa, ya, za. Данный радионавигационный метод получил название локализации с помощью дополненной системы GPS (A-GPS - Assistant GPS).

Процесс, когда обычный приемник GPS вычисляет местоположение, начинается с попытки найти первый навигационный спутник, идентификации, определения его положения. Затем находится следующий и так далее. С каждого спутника загружаются информация, измеренные временные задержки и лишь затем вычисляется местоположение данного приемника. Процесс местоопределения может занимать от 40 с до нескольких минут, а также требует прямой видимости по крайней мере трех спутников.

Метод A-GPS (рис.15) объединяет классическую информацию GPS с географическим программным обеспечением и мобильной информацией сети.

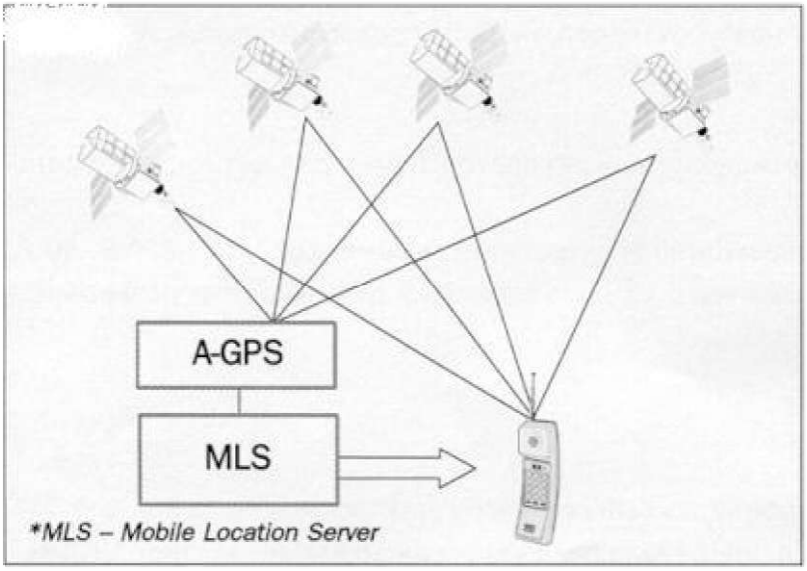

Рис.15. Реализация радионавигационного метода.

Сеть указывает мобильному телефону, какие именно спутники следует искать. При этом количество шагов, необходимое для вычисления его местоположения, уменьшается примерно с 10 до 3. Для уменьшения потребления энергии от батареи мобильного телефона данные спутниковых измерений передаются в сеть и на нее

возлагается выполнение необходимых расчетов. Пользователям придется приобретать новые мобильные телефоны со встроенными GPS-приемниками и антенной.

5.8. МЕТОД ПОЗИЦИОНИРОВАНИЯ ПО "РАДИООТПЕЧАТКАМ"

Уникальным методом позиционирования мобильных телефонов, не имеющим аналогов в классической радиопеленгации, является метод сопоставления образов (сигнатур) мест расположения мобильного телефона LRM (Location Pattern Matching) и использующий технологию анализа параметров радиосигнала и характеристик его многолучевого распространения. Измеряя фазовые, временные и амплитудные параметры фрагментов радиосигнала мобильного телефона, отраженного от препятствий (зданий, возвышенностей и т.п.), базовая станция оценивает структуру подобного "радиоотпечатка" (fingerprint) сигнала и вычисляет его "сигнатуру" (signature). Полученная информация сравнивается системой со своей базой образцов таких "сигнатур", соответствующих разным вариантам расположения мобильного абонента на местности (рис.16).

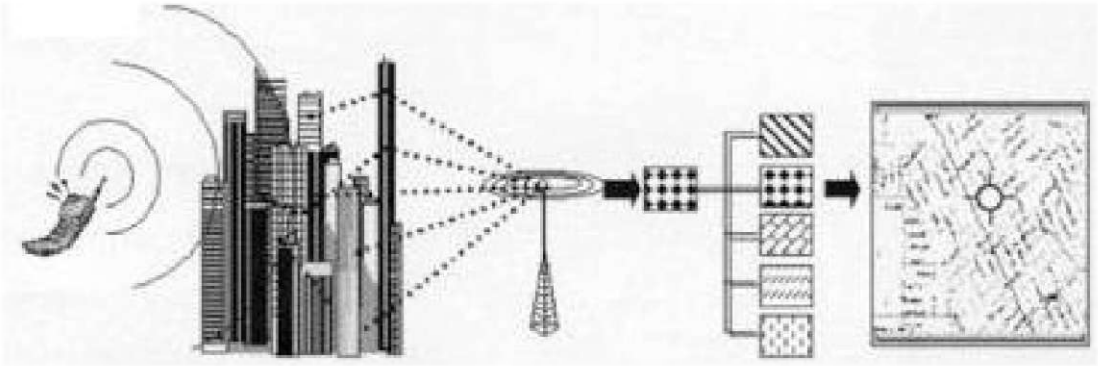

Рис.16. Метод "радиоотпечатков".

В отличие от других технологий позиционирования мобильных телефонов, в данной системе вполне достаточно, чтобы только одна базовая станция обработала сигнал вызова. Система обеспечивает определение как начального положения, так и перемещений мобильного телефона, и работает как в условиях плотной городской застройки, где случаи прямой видимости базовой станции весьма редки, так и в сельской местности, где сигнал к базовой станции обычно идет напрямую.

Процесс определения положения включает следующие основные этапы:

1. Мобильный телефон излучает радиосигналы.
2. Сигналы, отражаясь от строений и других препятствий претерпевают определенные искажения и достигают базовой станции по многочисленным маршрутам.
3. В базовой станции, система анализирует уникальные характеристики сигнала, включая следы его "многомаршрутного" распространения и компилирует его "сигнатуру".
4. Данная "сигнатура" сравнивается с базой данных предварительно идентифицированных мест расположения телефонов и соответствующих им образцов "сигнатур", и находится соответствие.

Для идентификации места положения система не требует прямой видимости многочисленных базовых станций, что делает ее работу высокоэффективной в условиях плотной городской застройки, где сейчас постоянно находятся более 70% всех радиотелефонов. Система также совместима с существующей сетевой инфраструктурой Она легко интегрируется в инфраструктуру сети мобильного оператора и не требует никаких модификаций базовых станций или мобильных телефонов. Точность определения местоположения соетавляет 50 метров.

5.9. ИНТЕГРИРОВАННЫЕ СИСТЕМЫ

В настоящее время разработаны интегрированные системы позиционирования. Данный способ олицетворяет собой подход к решению проблемы местоопределения, основанный на "дополнительпом оборудовании на стороне клиента", которое встраивается непосредственно в пользовательский терминал, для чего используется специальный чип, реализующий "GPS в телефоне". Компания SnapTrack Inc. создала систему, объединяющую GPS с инфраструктурой сети беспроводной связи и дающую точность от 5 до 75 м (в среднем 10 - 20 м).

В итоге, если традиционные приемники GPS постоянно ведут обработку данных, то в системе SnapTrack он работает только непосредственно при определении положения. А конкретио, когда абонент запрашивает услугу определения местоположения, его терминал, оборудованный системой SnapTrack, принимает пакет данных GPS, обрабатывает его и передает полученную информацию на сервер системы. Сервер вычисляет долготу и широту и осуществляет целый ряд процедур для достижения более высокой точности определений путем использования дифференциального режима работы и учета большого числа поправок, снижающих влияние многолучевости и других искажений сигналов.

В настоящее время известны более двух десятков систем, использующих "интеллектуальные" антенны, угол прихода сигналов, разность времени их прихода, амплитуду сигналов, систему GPS и комбинации этих методов. Достигаемые точности определения координат сотового телефона варьируют в пределах от единиц до сотен метров.

6. ТЕХНОЛОГИЯ LBS ДЛЯ НОЗИЦИОНИРОВАНИЯ МОБИЛЬНЫХ ТЕЛЕФОНОВ В СОТОВЫХ СЕТЯХ

В системах LBS (Location-Based Services) для местоопределения активного терминала используются преимущественно ресурсы беспроводных сетей. Для реализации подобных услуг обычно не требуется дополнительное оборудование, поскольку LBS — это программное решение, которое поддерживается как современными, так и старыми моделями сотовых телефонов. Информация о местонахожденни мобильного телефона абонента может быть получена, как от спутниковых систем навигации, так и от инфраструктуры, содержащей специально предназначенные для этих целей элементы (0рис.17). Но в обоих случаях для реализации системы LBS необходимо наличие сервера системы определения местоположения (СОМ) [18].

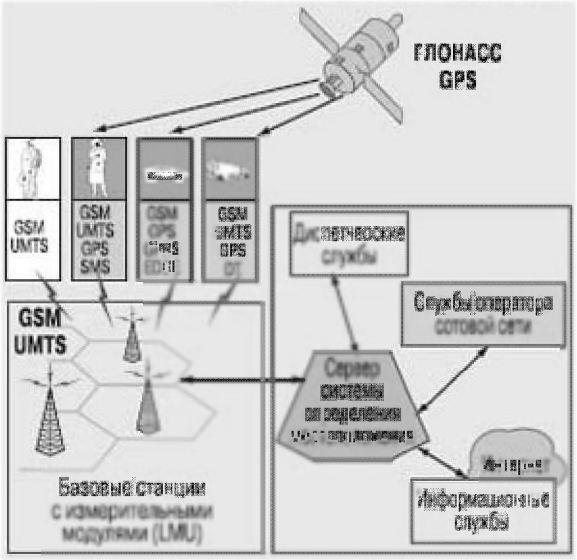

Рис.17. Структура сотовой сети связи с функциями определения местоположения

Партнерство 3GPP (разработчик спецификаций и технических требований сетей GSM и UMTS) предложило логическую модель системы определения местоположения для GSM-сетей, которая практически без изменений может быть рекомендована и для сетей UMTS (рис.18).

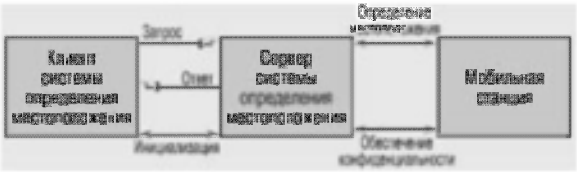

Рис.18. Логическая модель системы определения местоположения

Процесс функционирования системы LBS происходит в следующей последовательности:

1. Клиент СОМ запрашивает информацию о местоположении одной или нескольких мобильных станций у сервера системы определения местоположения. (Клиент СОМ - чисто логическое понятие. Он может располагаться как внутри наземной сети сотовой связи, являясь, например, мобильным абонентом, так и вне ее.)
2. Сервер СОМ включает функцию определения местоположения, обрабатывает полученную информацию и передает ее абоненту. Определение места положения мобильного телефона выполняется с заданной погрешностью, а ответ на запрос передается в строго определенном, стандартном формате.

6.1. ПАРАМЕТРЫ ТОЧНОСТИ СИСТЕМЫ LBS

Горизонтальная точность - абсолютное значение отклонения местоположения в горизонтальной плоскости, предоставляемого сервером абоненту, от истинного местоположения абонента в момент формирования запроса от клиента СОМ. Для LBS требуемая горизонтальная точность может быть выражена в значениях погрешности измерения местоположения, допустимой для той или иной услуги этого типа. Обеспечивается различными технологиями и зависит от целого ряда факторов, многие из которых по своей природе динамичны (условия

распространения радиоволн, включая ослабления и многолучевость сигнала, топология сети в терминах чувствительности базовых станций) [19].

Согласно документу ETS1 TS 22.071 v.7.4.0 для услуг и операторов сотовой связи справедливо следующее:

- необходимая горизонтальная точность определяется базовой технологией сети, а значит, выбором оператора (для разных участков сети требования к горизонтальной точности могут быть различными);
- система должна обеспечивать требуемую (или максимально близкую) точность места положения при условии отсутствия конфликтов с другими параметрами качества.

Вертикальная точность - абсолютное значение отклонения местоположения в вертикальной плоскости, предоставляемого сервером абоненту, от истинного местоположения абонента в момент формирования запроса от клиента СОМ. Требования ETS1 к вертикальной точности:

- система должна определять местоположение мобильного телефона по высоте, выраженное в значениях абсолютной или относительной высоты/глубины относительно поверхности земли в данном месте поверхности;
- система должна обеспечивать требуемую (или максимально близкую) точность места положения при условии отсутствия конфликтов с другими параметрами качества.

Время ответа - определяется с момента запроса клиента СОМ к серверу СОМ до ответа сервера в сторону клиента. Требования разных услуг местоположения (или же разных клиентов СОМ) в отношении времени получения ответа могут различаться в зависимости от срочности формирования запроса на позиционирование. Возможно, серверу СОМ придется искать компромисс между требованиями к точности позиционирования и времени ответа.

Схема соединения и взаимодействия отдельных элементов СОМ и сотовой сети, описана в документе 3GPP TS 03.71 v.8.9.0 (рис.19).

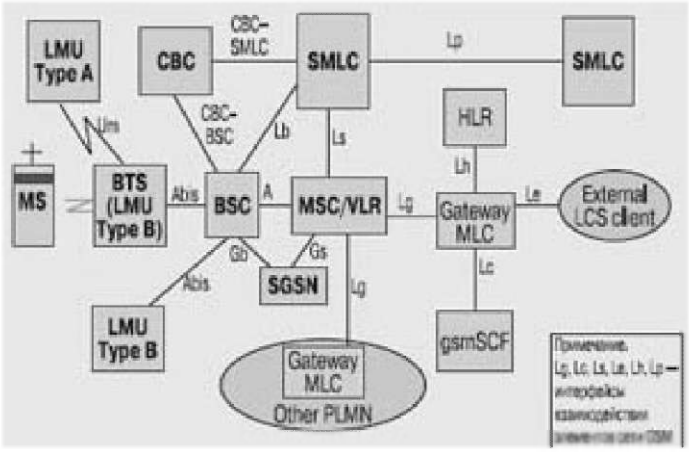

Рис.19. Структура сети мобильного оператора с поддержкой функции определения местоположения

В рамках сети GSM система определения местоположения логически реализуется в виде соответствующего центра - MLC (Mobile Location Center), а точнее, в виде двух его компонентов: сервисного центра - SMLC (Serving MLC) и шлюзового центра -

GMLC (Gateway MLC). После авторизации абонентов GMLC направляет запросы на определение местоположения абонента в центр коммутации мобильной связи. Функции остальных подсистем сервера определения местоположения выполняет SMLC: обрабатывает сообщения о местоположении, в используемой системе координат (например, декартовой) производит окончательный расчет координат и определяет точность результата. За необходимыми данными SMLC обращается к стационарным измерительным модулям - LMU, которые могут быть двух типов: A (подключается по радиоканалу); B (подключается по Abis-интерфейсу, может совмещаться с контроллером базовых станций). Из SMLC информация поступает в GMLC, который является защищенным граничным пунктом для внешних модулей, запрашивающих данные о конкретном абоненте. Шлюзовой центр GMLC не только обеспечивает связь с внешним миром, но и предоставляет данные о местоположении, определяя идентификационный номер (ID) абонентского терминала. Для сопоставления этого номера с пользующимся услугой абонентом GMLC взаимодействует с домашним регистром HLR, хранящим данные о пользователях. Центр сотового широковещания - CBC (Cell Broadcast Center) - может быть использован для распространения вспомогательных данных, обязательных при некоторых методах определения местоположения. Все процедуры взаимодействия описанных выше модулей COM стандартизованы 3GPP, так же как и протоколы их взаимодействия между собой.

7. СРАВНИТЕЛЬНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ СИСТЕМ ПОЗИЦИОНИРОВАНИЯ МОБИЛЬНЫХ ТЕЛЕФОНОВ

Достигаемые точности определения координат мобильного телефона варьируют в пределах от единиц до сотен метров. В таблице 2 приведены сравнительные характеристики систем позиционирования, применяемых в сетях мобильной связи.

Таблица 2

Система позиционирования	Фирма - производитель	Точность, м	Быстродействие, с	Особенности
Mobile Positioning System	Ericsson	100	5	-
Cellocate System	Cell-Loc Inc.	150 /AMPS/ 15-90 /CDMA/	1	-
CURSOR	Cambridge Positioning Systems	50	5	Дополнительный чип с ПО в мобильном телефоне
TeleSentinel	KSI Inc. & True Position	125	< 10	-
Sigma – 5000	SigmaOne Communication Corp.	90–150	< 2	Дополнительные фазированные решетки на базовых станциях
Geometrix	Allen Telecom	<150	<1	Дополнительные фазированные решетки на базовых станциях
RadioCamera	U.S. Wireless Corp.	50	2	-
SnapTrack	SnapTrack Inc.	3-20		Дополнительный чип с ПО в мобильном телефоне
Finder	CellPoint	75	5	Нет данных

Приведенные характеристики существующих систем позиционирования мобильных телефонов позволяют наглядно сделать вывод о реальных возможностях определения места положения мобильного телефона абонента.

8. ПРАКТИЧЕСКАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ АЛГОРИТМА ОПРЕДЕЛЕНИЯ МЕСТОПОЛОЖЕНИЯ МОБИЛЬНОГО ТЕЛЕФОНА НА БАЗЕ РАЗНОСТНО-ДАЛЬНОМЕРНОГО МЕТОДА

Сравнительный анализ рассмотренных систем определения места положения мобильного телефона показал, что наиболее приемлемыми точностными характеристиками обладает разностно-дальномерный метод. Именно этот метод и представляет наибольший интерес с точки зрения его реализации с использованием существующих программных средств.

В качестве базового примера рассмотрим модель зоны, которую обслуживает мобильный оператор. Она представлена равносторонний треугольник, представленный на рис.20.

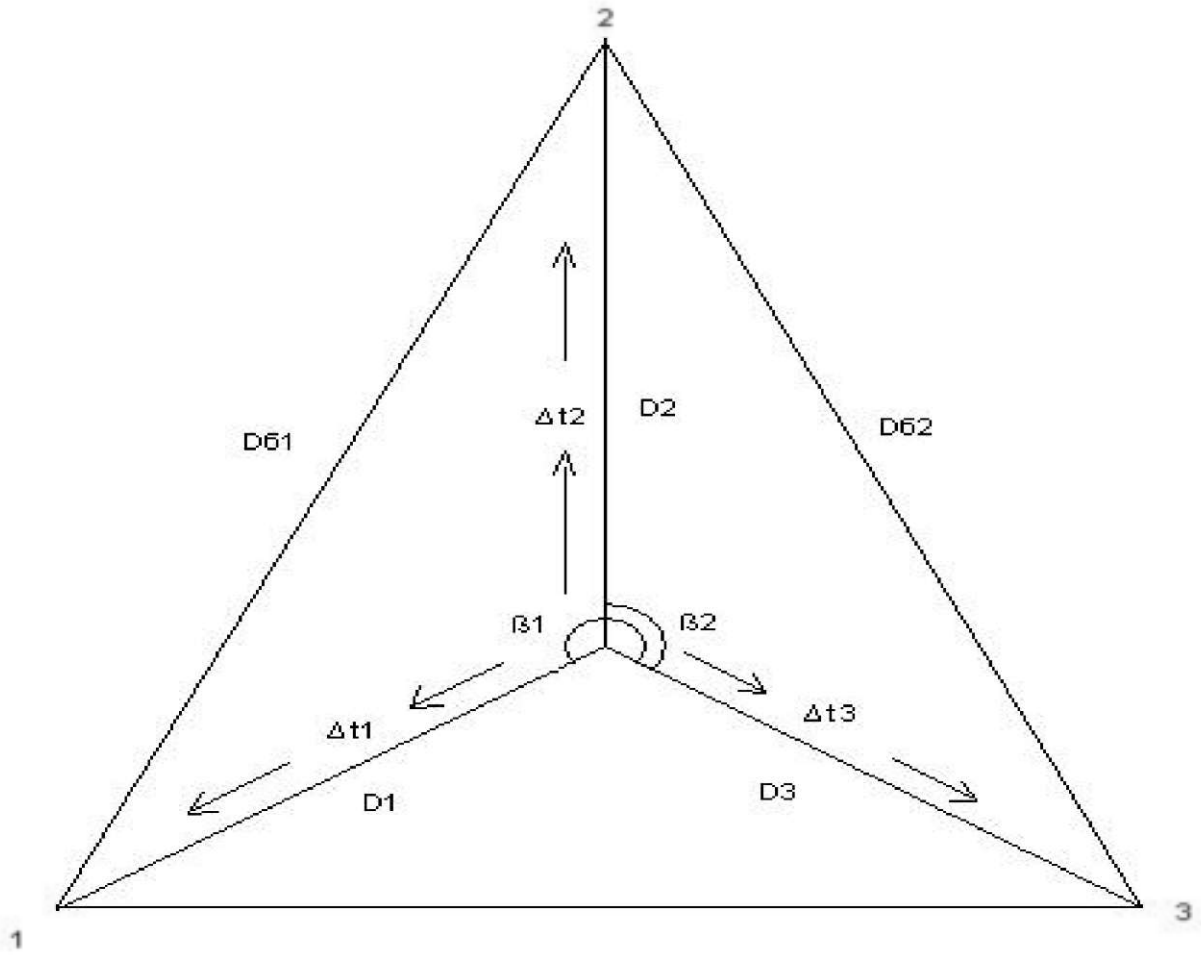

Рис.20. Модель соты мобильного оператора

Для реализации алгоритма расчета места положения мобильного телефона необходимо выполнить необходимые расчеты по формулам:

$$\boldsymbol{D1}=3*10^{5}\Delta\tau_{1};$$
$$\boldsymbol{D2}=3*10^{5}\Delta\tau_{2}; \qquad (8)$$
$$\boldsymbol{D3}=3*10^{5}\Delta\tau_{3},$$

где D_1 — D_3 расстояния от мобильного телефона до базовых радиостанций соответственно; $\Delta\tau_1$ - $\Delta\tau_3$ время задержки прихода сигналов от мобильного телефона до базовых радиостанций.

$$\beta_1=arccos\left(\frac{D_1^2+D_3^2-D_{б1}^2}{2D_1D_2}\right), \quad \beta_2=arccos\left(\frac{D_1^2+D_2^2-D_{б2}^2}{2D_1D_2}\right). \qquad (9)$$

где β_1 и β_2 – углы, определяющие направление прихода радиосигнала от мобильно телефона до базовых станций.

Автоматизация расчетов рассмотренной задачи была выполнена на языке программирования PHP с целью демонстрации результатов расчета в режиме on line в сети Интернет по адресу http://f-russia.xost.ru/aver.php.

```
<html>
<body>
<?
If ($_POST[action]=='add')
   {
   $c=3000000;
$r1=$c*$_POST[t1];
   $r2=$c*$_POST[t2];
   $r3=$c*$_POST[t3];
 $fn_c=fopen("a3",'w+');
                fwrite($fn_c,$_POST[x1]);
fwrite($fn_c," ");
fwrite($fn_c,$_POST[y1]);
fwrite($fn_c," ");
fwrite($fn_c,$_POST[x2]);
fwrite($fn_c," ");
fwrite($fn_c,$_POST[y2]);
fwrite($fn_c," ");
fwrite($fn_c,$_POST[x3]);
fwrite($fn_c," ");
fwrite($fn_c,$_POST[y3]);
fwrite($fn_c," ");
fwrite($fn_c,$r1);
fwrite($fn_c," ");
fwrite($fn_c,$r2);
fwrite($fn_c," ");
fwrite($fn_c,$r3);
fwrite($fn_c," ");
?><tr><td><img src=1.php></tr></td>
<P><td></tr></P>
<?
   function solve ($a,$b,$c,$p,$q,$r)
      {
      $part1=1/(2*($a-$p)*(($a-$p)*($a-$p)+($b-$q)*($b-$q)));
      $part2=$a*$a*$a*$a-2*$a*$a*$p+2*$a*$p*($c*$c+$p*$p-$r*$r)-
$p*$p*($c*$c+$p*$p+($b-$q)*($b-$q)-$r*$r)+$a*$a*(-$c*$c+$r*$r+($b-$q)*($b-$q));
      $e=-($a-$p)*($a-$p)*(($a*$a-$c*$c-2*$a*$p+$p*$p+($b-$q)*($b-$q))*($a*$a-$c*$c-
2*$a*$p+$p*$p+($b-$q)*($b-$q))-2*($c*$c+($a-$p)*($a-$p)+($b-$q)*($b-$q))*$r*$r+$r*$r*$r*$r);
      $d[0]=$part1*($part2+$b*sqrt($e)-$q*sqrt($e));
      $d[2]=$part1*($part2-$b*sqrt($e)+$q*sqrt($e));
      $part1=$b*$b-$b*$b*$q+$a*$a*($b+$q)-2*$a*$p*($b+$q)+$q*($c*$c+$p*$p+$q*$q-
$r*$r)+$b*(-$c*$c+$p*$p-$q*$q+$r*$r);
      $part2=-($a-$p)*($a-$p)*($a*$a-2*$a*$p+($b-$q)*($b-$q)-($c-
$p+$r)*($c+$p+$r))*(($a-$p)*($a-$p)+($b+$c-$q-$r)*($b-$c-$q+$r));
      $part3=2*(($a-$p)*($a-$p)+($b-$q)*($b-$q));
      $d[1]=($part1-sqrt($part2))/$part3;
      $d[3]=($part1+sqrt($part2))/$part3;
      return $d;
      }
   $r1=$c*$_POST[t1];
   $r2=$c*$_POST[t2];
   $r3=$c*$_POST[t3];
   $coor1=solve($_POST[x1],$_POST[y1],$r1,$_POST[x2],$_POST[y2],$r2);
```

```
$coor3=solve($_POST[x3],$_POST[y3],$r3,$_POST[x2],$_POST[y2],$r2);
$coor1[0]=round($coor1[0]);
$coor1[1]=round($coor1[1]);
$coor1[2]=round($coor1[2]);
$coor1[3]=round($coor1[3]);
$coor3[0]=round($coor3[0]);
$coor3[1]=round($coor3[1]);
$coor3[2]=round($coor3[2]);
$coor3[3]=round($coor3[3]);

?><DIV align=center><SPAN style="COLOR: #000000">Координаты пересечения окружностей</SPAN></DIV>


<tr><td></td></tr><td>1 и 2 окружностей</td><?
echo ' x1='.$coor1[0].' y1='.$coor1[1].' x2='.$coor1[2].' y2='.$coor1[3].'<br>';
?><tr><td>2 и 3 окружностей</td></tr><?
echo ' x1='.$coor3[0].' y1='.$coor3[1].' x2='.$coor3[2].' y2='.$coor3[3].'<br>';
IF(($coor1[0]==$coor3[0] and $coor1[1]==$coor3[1]) or ($coor1[0]==$coor3[2] and $coor1[1]==$coor3[3]))
{
$_POST[x4]=$coor1[0];
$_POST[y4]=$coor1[1];
}
ElseIF(($coor1[2]==$coor3[0] and $coor1[3]==$coor3[1]) or ($coor1[2]==$coor3[2] and $coor1[3]==$coor3[3]))
{
$_POST[x4]=$coor1[2];
$_POST[y4]=$coor1[3];
}
?><tr><td>местоположение абонента</td></tr><?
echo $_POST[x4].' ; '.$_POST[y4];
}
Else
{
?>
<table><tr><td><form method=post action='aver.php'>
<table><tr>
<td>Введите задержку времени прихода радио сигнала до 1й базовой станции, дельта t1</td>
<td><input type=text name=t1></td>
</tr><tr>
<td>Введите задержку времени прихода радио сигнала до 1й базовой станции, дельта t2</td>
<td><input type=text name=t2></td>
</tr><tr>
<td>Введите задержку времени прихода радио сигнала до 1й базовой станции, дельта t3</td>
<td><input type=text name=t3></td>
</tr><tr>
<td>Введите координату x базовой станции 1</td>
<td><input type=text name=x1></td>
</tr><tr>
<td>Введите координату y базовой станции 1</td>
```

```
<td><input type=text name=y1></td>
</tr><tr>
<td>Введите координату x базовой станции 2</td>
<td><input type=text name=x2></td>
</tr><tr>
<td>Введите координату y базовой станции 2</td>
<td><input type=text name=y2></td>
</tr><tr>
<td>Введите координату x базовой станции 3</td>
<td><input type=text name=x3></td>
</tr><tr>
<td>Введите координату y базовой станции 3</td>
<td><input type=text name=y3></td>
</tr><tr>
<td colspan=2><input type=hidden name=action value=add><input type=submit value='ок'></td>
</tr></table>
</form></td></tr></table>
  <?
  }
/*
DS1=sqrt((x2-x1)*(x2-x1)+(y2-y1)*(y2-y1))*0.001;
DS2=sqrt((x2-x3)*(x2-x3)+(y2-y3)*(y2-y3))*0.001;
cout<<"Rasstoyanie ot 2 vishki do 1 "<<DS1<<"km,ot 2 do 3 "<<DS2<<"km";
cout<<"\n\nVvedite zaderzhku t1 v milisekundah\n";
cin>>t1;
t1=t1*0.0000001;
cout<<"Vvedite zaderzhku t2 v milesekundah\n";
cin>>t2;
t2=t2*0.0000001;
cout<<"Vvedite zaderzhku t3 v milesekundah\n";
cin>>t3;
t3=t3*0.0000001;
D1=3*1000000*t1;
D2=3*1000000*t2;
D3=3*1000000*t3;
cout<<"Rasstoyanie do abonenta sostavlyaet "<<D1<<"ot 1 vishki "<<D2<<" ot 2 vishki "<<D3<<" ot 3 vishki\n";
s=((D1*D1+D2*D2+DS1*DS1)/(2*D1*D2));
s2=((D1*D1+D2*D2+DS2*DS2)/(2*D2*D3));
cout<<s<<"\n"<<s2;
getch();
b1=acos((D1*D1+D2*D2+DS1*DS1)/(2*D1*D2))*3.14/180;
b2=acos((D1*D1+D2*D2+DS2*DS2)/(2*D2*D3))*3.14/180;
cout<<"Ugol b1="<<b1<<"\nUgol b2="<<b2;
getch();
}
*/
?>
</body>
</html>
```

При запуске программы открывается окно представленное на рисунке 21.

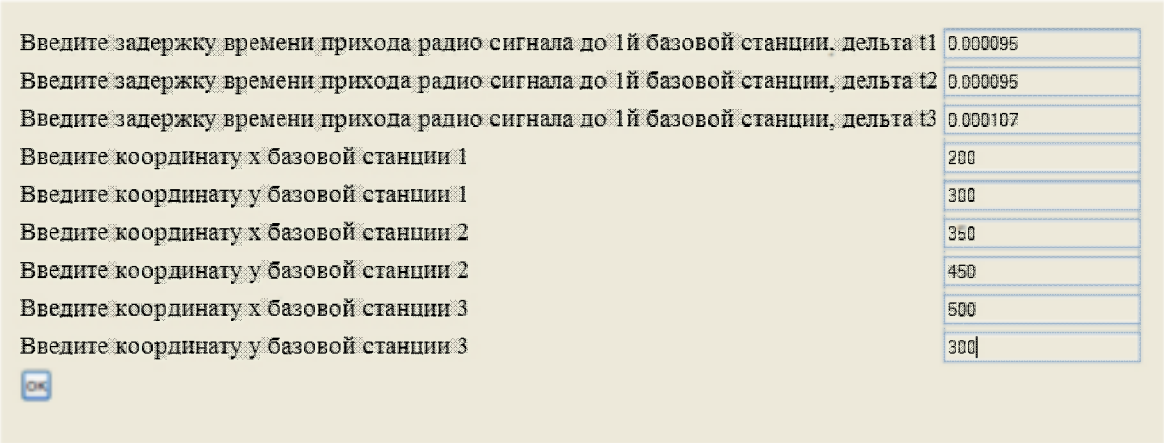

Рис.21. Диалоговое окно ввода данных программы.

После заполнения данными диалогового окна открывается карта местности (рис. 22), где место положения мобильного телефона показывается пересечением трех окружностей, центрами которых являются базовые станции сотовой сети мобильного оператора.

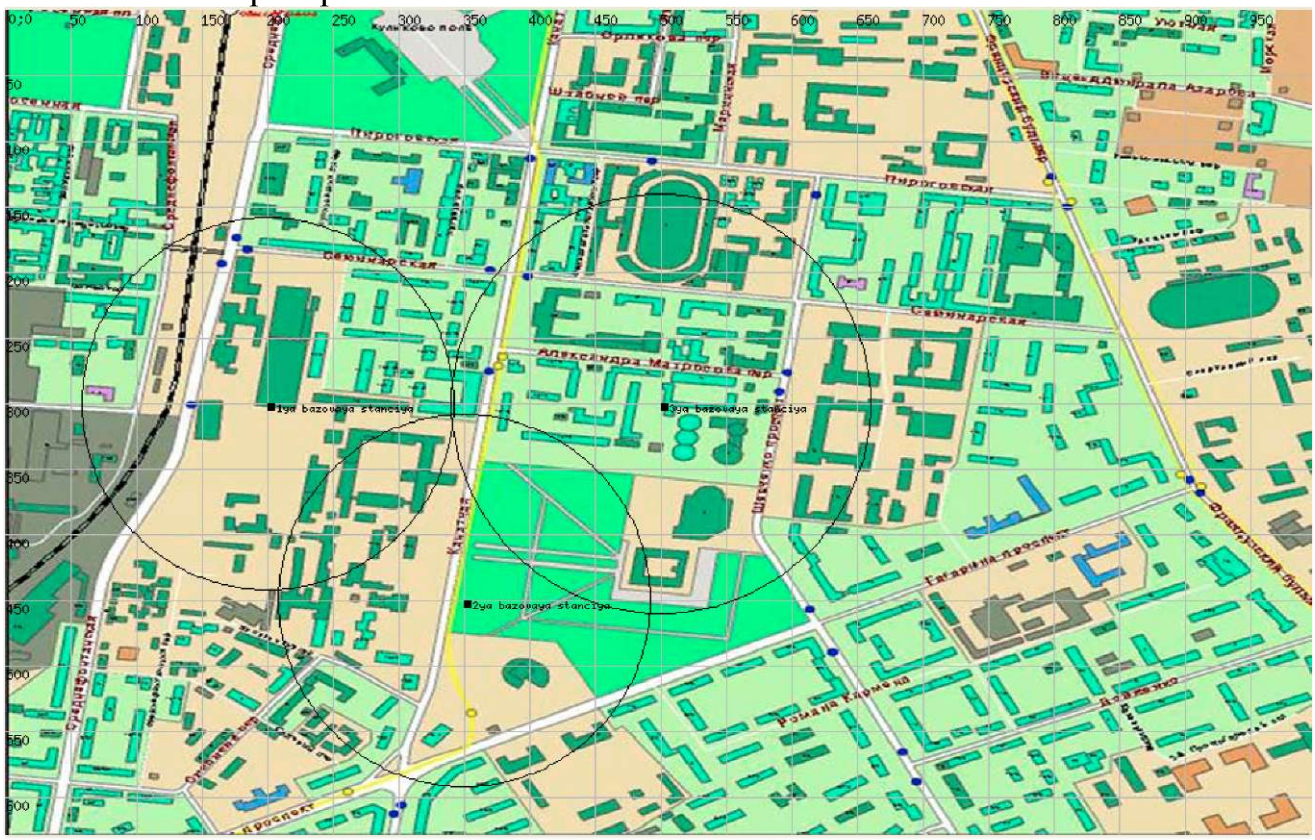

Рис.22. Карта местности с указанием места положения мобильного телефона на территории города.

В нижней части окна будет расположена информация о фактических координатах места положения мобильного телефона.

Для рассмотренного примера: координаты пересечения окружностей составляют: 1и 2 окружность x1=210; y1=440; x2=310; y2=340;

2 и 3 окружность x1=490; y1=460; x2=340; y2=310.

Координаты места положения: x1=310; y1=340.

Пример нахождения места положения мобильного телефона на пересеченной местности.

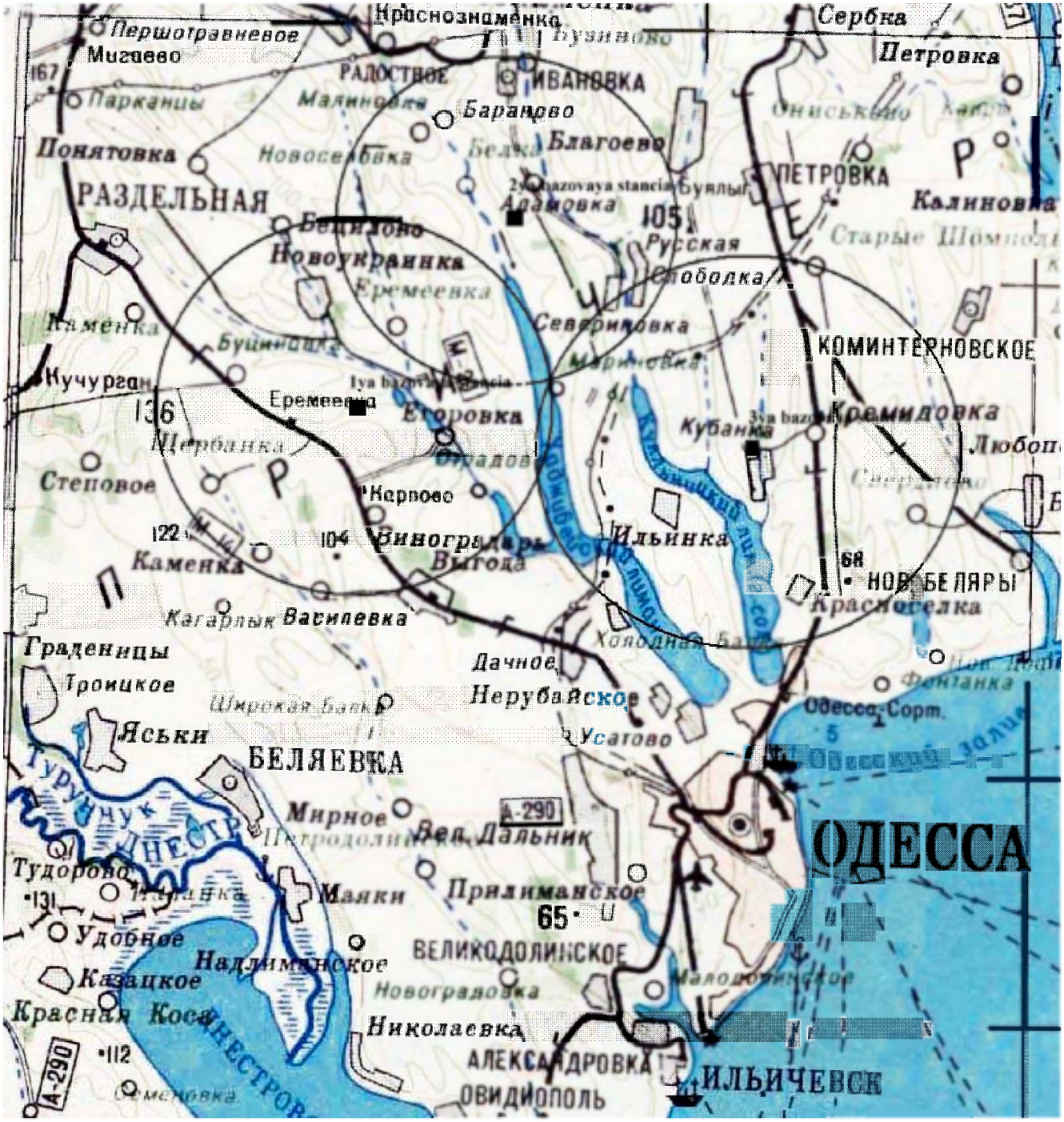

Рис.22. Карта местности с указанием места положения мобильного телефона на пересеченной местности.

Для рассмотренного примера: координаты пересечения окружностей составляют: 1и 2 окружность x1=320; y1=340; x2=410; y2=540;

2 и 3 окружность x1=290; y1=460; x2=300; y2=350.

Координаты места положения: x1=345; y1=290.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Данный обзор различных технологий позиционирования мобильных телефонов охватил далеко не все стороны этого развивающегося процесса.

Эксперты отмечают возможность двойного назначения подобных технологий, ведь теоретически можно отследить любого владельца мобильного телефона. Тем более, что способы определения положения, основанные на использовании только оборудования сети, могут выдавать данные непрерывно и без всякого уведомления абонента или его разрешения.

Повсеместное введение системы мобильного позиционирование (СМП) вызывает тревогу у людей, заботящихся о конфиденциальности личной жизни, ведь положение мобильного телефона можно определить не только в момент разговора, но и в режиме ожидание вызова. В такой ситуации наиболее корректным решением является сообщение координат мобильной станции, только после предварительного согласия ее владельца.

С другой стороны, использование систем мобильного позиционирования может серьезно облегчить работу экстренных служб. Так как многие из звонящих не знают своего точного места, и их отыскание занимает большое количество времени, доходящее до часов. А в некоторых случаях точное знание местонахождения звонящих является буквально вопросом жизни и смерти.

Так же системы мобильного позиционирование применяются для систем навигации, охраны, сигнализации, противоугонных автомобильных системах (функция тревоги, управления различными блокировками, сообщения координат).

Сотовые операторы предоставляют услугу - возможность определения местонахождения абонента в любой точке покрытия сети GSM. Для подключения услуги необходимо оформить договор от имени абонента, разрешающего определять свое местоположение.

Литература

1. Андрианов В.И., Соколов А.В. Средства мобильной связи. – СПб.: BHV, 1998. – 256 с.
2. Невдяев Л.М. Мобильная связь 3-го поколения / Под ред. Ю.М. Горностаева. – М.: МЦНТИ «Мобильные коммуникации», 2000. – 208 с.
3. Громаков Ю.А. Стандарты и системы подвижной радиосвязи. – М.: ТЭК, 1996. – 239 с.
4. Ламекин В.Ф. Сотовая связь. – Ростов н /Д: Феникс, 1997. – 176 с.
5. Системы подвижной радиосвязи / Пышкин И.М., Дежурный И.И., Толызин В.Н., Чвелев Г.Д.; Под ред. И.М. Пышкина. – М.: Радио и связь, 1986. – 328 с.
6. Пышкин И.М., Пантикян Р.Т., Шорин О.А. Сухопутная подвижная радиосвязь.-М.: Радио и связь, 1990. -Т.2.
7. Шорин О.А. Метод частотно-территориального планированиясистем подвижной радиосвязи // Электросвязь. – 1993. - №10. – с. 14-16.
8. Сукачев Э.А. Сотовые сети радиосвязи с подвижными объектами: Учеб. Пособие. – 2-е изд., испр. и доп. – Одесса: УГАС, 2000. – 119 с.
9. Шорин О.А. Оптимальная процедура распределения каналов в системах подвижной радиосвязи // Электросвязь. – 1993. - №10. – с.14-16.
10. Громаков Ю.А. Стандарт на общеевропейскую сотовую систему подвижной связи GSM // Электросвязь. – 1993. №10. – с. 7-9.
11. Громаков Ю.А. Организация физических и логических каналов в стандарте GSM // Электросвязь. 1993. - №10. – с. 9-12.
12. Коротаев Г. А. Анализ и синтез речевого сигнала методом линейного предсказания // Зарубежная радиоэлектроника. – 1980. - №10. – с. 49-65.
13. Маркел Дж., Грей А.Х. Линейное предсказание речи: Пер. с англ. / Под ред . Прохорова и В.С. Звездина. – М.: Связь, 1980. – 552 с.
14. И. Сколотнев. Позиционирование мобильных телефонов. Газета Северо-Западный Телеком (Санкт-Петербург), 3(11), 2000 г
15. Shon Hargrave, Mobile Communications International / RE, 7-2000.
16. Обзор современных систем позиционирования мобильных телефонов. С. Рыжиков, А. Рыжиков, *Специальная техника № 6, 2001.*
17. Глобальная навигационная система NAVSTAR / И.Н. Мищенко, А.И. Волынкин, П.С. Волосов, М.И. Григорьев // Зарубежная радиоэлектроника. – 1980. - №8. – с. 52-83.
18. Стандартизация LBS для обеспечения качества обслуживания. М.Васильев, В.Н. Максименко, Информкурьер-Связь, № 9 2007.
19. Бабков В.Ю., Полынцев П.В., Устюжанин В.И. Качество услуг мобильной связи. Оценка, контроль и управление. Под ред. проф. А.А. Гоголя.- М.: Горячая линия - Телеком, 2005.