

Уже упоминавшаяся технология *E-ODT (Enhanced Observed Time Difference)*, например, являясь *terminal-based*, применяется в терминалах *GSM/GPRS* для расчета временной разницы поступления пакетов данных от различных базовых станций (*BTS*).

Что же касается определения местоположения внутри зданий (*indoor*), то тут возможны как «сетевые» (*network-based*) варианты, так и решения, использующие инфракрасные или радиочастотные датчики приближения, для применения которых необязательно постоянно знать местонахождение пользователя.

Использование того или иного способа определения местоположения предполагает оценку положительных или отрицательных факторов, таких как требуемая точность, среда применения (внутри зданий или на открытой местности), приемлемое время отклика (чего не предполагают решения с датчиками приближения) или «способности внедрения», как в отношении мобильности или транспортабельности переносного устройства, так и в отношении архитектуры уже существующих сетей.

Что касается радиочастотных или спутниковых систем (таких как *Eutelsat*<sup>48</sup>, *GPS*, *ГЛОНАСС*, *EGNOS* и, в частности, будущей системы Галилео), входящих в 4-й класс табл. 2, то они будут рассмотрены в последующих разделах.

## **В1.5 СИСТЕМЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ МЕСТОПОЛОЖЕНИЯ ПОСРЕДСТВОМ НАЗЕМНОЙ ТРИАНГУЛЯЦИИ, ТРИЛАТЕРАЦИИ ИЛИ ГИПЕРБОЛИЧЕСКОГО ПОЗИЦИОНИРОВАНИЯ (МУЛЬТИЛАТЕРАЦИИ) С ПОМОЩЬЮ СПУТНИКА**

### **В1.5.1 Радиомаяки, наземное и спутниковое определение местоположения**

Что касается триангуляции или трилатерации (табл. 2, класс 4), то они могут выполняться различными способами. В данном случае через искусственные спутники либо наземные станции. Разница между результатами, получаемыми в этих двух случаях, существенна, особенно в отношении охвата и различий по способу доступа к сервису. По широте покрытия предпочтение, разумеется, отдается спутниковым системам. Однако в общем и целом это не распространяется на их точность и стоимость, если не брать во внимание иные системы и устройства, перечисленные в дальнейшем (разд. В1.5.2.3).

На рис. 63 схематически показан принцип триангуляции или трилатерации при помощи наземных станций: зная местоположение радиомаяков ( $C_i$ ) и время, необходимое для того, чтобы посылаемый ими сигнал достиг антенны

<sup>48</sup> Система, управляемая через *Eutelsat*, действует на спутниках *GEO* (геостационарных) в диапазоне *Ku*; она позволяет:

- определять местоположение мобильного терминала при помощи триангуляции или трилатерации по двум спутникам;
- осуществлять двусторонний обмен короткими сообщениями между хабом и мобильным терминалом;
- осуществлять передачу с мобильного терминала на хаб сигналов датчиков, измеряющих параметры дорожного движения;
- осуществлять передачу карт с хаба на мобильный терминал.

Определение местоположения мобильного терминала осуществляется с помощью сервера станции (хаба). Хаб системы имеет наземное соединение со станциями операторов автотранспортных предприятий, чем обеспечивается возможность вести мониторинг ТС и удаленно управлять ими. Сообщения, которыми обмениваются оператор и мобильное устройство, зашифрованы. Терминал системы включает в себя: антенну, трансивер, процессор, видеомонитор и клавиатуру.

на ТС, т. е. расстояние  $r_i$  между маяками и  $C_i$  антенной, можно сделать расчет местоположения мобильного устройства.

Определение местоположения ТС, в основном в трехмерной системе координат, осуществляется приемным устройством путем решения системы из четырех следующих уравнений:

$$D_i = \sqrt{(X - x_i)^2 + (Y - y_i)^2 + (Z - z_i)^2} + C dT,$$

где

- $i$  – 1, 2, 3, 4;
- $D_i$  – расстояние, измеренное между приемным устройством и спутником без учета погрешности (мнимое расстояние);
- $X, Y, Z$  – абсолютные пространственные координаты приемного устройства (широта, долгота, высота);
- $x_i, y_i, z_i$  – абсолютные пространственные координаты спутника (известные величины);
- $dT$  – отклонение (неизвестное) между временными базами приемного устройства и спутниковой системы<sup>49</sup>;
- $c$  –  $3 \cdot 10^8$  м/с.

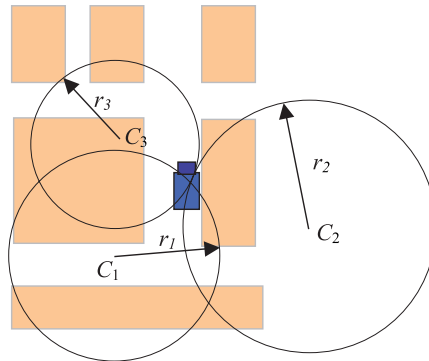


Рис. 63. Автоматическое определение местоположения ТС с помощью наземной триангуляции или трилатерации: упрощенная схема

В случае использования спутников необходимость выполнения расчетов по указанным выше четырем измерениям предполагает, что для непрерывного получения данных о местоположении в реальном времени необходимо наличие приемного устройства, имеющего как минимум четыре канала. Некоторые измерения не требуют, однако, особой точности, поэтому прибор для большей экономичности может иметь всего один канал (так называемые низкодинамические приемные устройства), который будет последовательно выполнять раздельно четыре вычисления по четырем спутникам для подготовки окончательного ответа. Единственный канал должен иметь возможность находить спутник, рассчитать местоположение, считать навигационные сообщения, чтобы затем перестроиться на следующий спутник. Сейчас, как правило, таких систем уже нет, поскольку обычно устройства располагают несколькими каналами.

<sup>49</sup> При условии, что система является спутниковой и имеет принцип действия, аналогичный GPS.

До появления систем спутникового позиционирования навигация опиралась только на наземные радиосистемы, в частности *Loran C*, *Omega*, системы ОВЧ и др., и на сигналы, передаваемые станциями (*радиомаяками*) с поверхности Земли.

Используя сигналы, передаваемые через фиксированные промежутки времени, мобильные приемные радиостанции (суда, летательные аппараты) могли определять свое географическое местоположение и осуществлять навигацию в условиях ограниченной видимости.

Речь идет о технологически устаревших системах, не приспособленных для широкого охвата морских или наземных территорий. Кроме того, точность получаемых данных менялась в зависимости от наличия электрических помех и атмосферных условий, что приводило к необходимости часто фильтровать сигнал. В противоположность им, такие системы, как *Loran*, были по большей части невосприимчивы к потере сигнала, связанной с наличием туннелей и окружающих построек. Принцип определения координат был тот же самый – триангуляция (трилатерация), т. е. основывался на определении расстояния от ТС до некоторых точек с известным местоположением. Прием сигналов осуществлялся при помощи антенн, довольно громоздких по сравнению с теми, что используются сегодня в спутниковых системах.

Картина развития упомянутых технологий представлена в табл. 10. Их использование по понятным причинам ограничивалось в прошлом, за редким исключением, сферой авиации (вблизи аэропортов) и мореплавания.

Таблица 10

Радионавигационные технологии «прошлого»

| Характеристики                              | <i>Decca</i>  | <i>Loran C</i>   | <i>VOR</i> <sup>2*</sup>  | <i>DME</i> <sup>3*</sup>   | <i>Omega</i>  | <i>ILS</i>   | <i>MLS</i>   |
|---|---|--|---|--|---|--|--|
| Наименование                                | <i>Decca</i>  | Дальняя навигация ( <i>Чайка в России</i> )  | ОВЧ Всенаправленный радиомаяк                                       | Дальномерное оборудование  | <i>Omega</i> и <i>Omega differential</i>                  | Система посадки по приборам                                      | Микроволновая система обеспечения посадки                        |
| Покрывтие                                   | Прибрежная зона (несколько сот километров от земли) | Европа, Сев. Америке, азиатское побережье (Тихий океан), арабские страны и Сев. Африка | Глобальное  | Местное (близкого радиуса действия)  | Глобальное  | Местное (близкого радиуса действия)                              | Местное (близкого радиуса действия)                              |
| Диапазон частот                             | ~80–130 кГц   | ~1800–1900, 1950 кГц   | ~108–118 МГц  | ~960–1215 МГц  | VLS, ОНЧ (3–30 кГц)                                       | ~108,1–111,9 МГц   | ~5 ГГц   |
| Точность                                    | От 100 до 500 м                                     | Средняя (180 м)  | Средняя   | Средняя  | Низкая или средняя  | Повышенная (десятки метров)                                      | Повышенная (десятки метров)                                      |
| Основное использование                      | Морская каботажная навигация                        | Воздушные линии, суда, подводные лодки, наземные средства                              | Воздушная навигация среднего радиуса действия                       | Воздушная навигация  | Воздушные линии, суда, подводные лодки, наземные средства | Посадка и взлет воздушного транспорта                            | Посадка и взлет воздушного транспорта                            |
| Период использования системы                | С 1940-х гг.  | с 1945 г.  | С 1940-х гг.  | С 1950-х гг.   | 1960–1990 гг.   | С 1940-х гг.   | С 1940-х гг.   |
| Возможные перспективы в настоящем и будущем | Замена на другие системы                            | Интеграция с GPS или прекращение использования   | Дальнейшее использование в воздушной навигации еще на несколько лет | Возможное использование еще на несколько лет; замена на GPS и GNSS-Галилео | Замена или интеграция с GPS, точность ≈ 60 м              | Использование в течение нескольких лет до появления GNSS-Галилео | Использование в течение нескольких лет до появления GNSS-Галилео |

Начало эпохи спутников было положено в 1960-е гг. с появлением системы Transit. Данная система, известная под аббревиатурой NNSS (*Navy Navigation Satellite System – морская навигационная спутниковая система*), была задумана в конце 1950-х и использовалась с середины следующего десятилетия до наших дней. С конца 1990-х гг. годов, после 34 лет службы, система была снята с вооружения в связи с появлением новых передовых систем: Transit стала основой для развития GPS.

Использование NNSS, после ее исключительного дебюта в американских ВМС, вскоре распространилось на торговые морские компании и на управление рыболовными флотилиями (конец 1960-х гг.). Затем, в 1980-х, оно распространилось и на частный флот. К несчастью, использовавшиеся спутники имели очень низкую орбиту и были малочисленны. Кроме того, поскольку система базировалась на низкочастотных измерениях Доплера, даже небольшие колебания оконечного приемного устройства могли привести к значительной погрешности в определении местоположения. Точность, таким образом, зависела как от широты, так и от скорости, а также от довольно продолжительных интервалов между измерениями (в среднем около 75 мин для Италии).

Апогей применения NNSS (по оценкам, насчитывавшего 100 тыс. пользователей) и его последующий закат приходится на начало 1990-х гг. и связан с появлением GPS, обеспечивавшей постоянство покрытия и позволявшей сократить затраты на используемую аппаратуру.

Однако нельзя отрицать, что господство системы Transit над другими технологиями прошлого, что можно сказать и про *Navstar GPS*, явившуюся ее преемницей, связано с наличием у нее большого прикладного потенциала в сфере управления парком наземного, морского и воздушного транспорта. К концепции GPS с технологической точки зрения пришли через проект *NRL (Naval Research Laboratory)*, известный также под названием *Timation (Time Navigation)*.

В то время, как в Соединенных Штатах развивали NNSS, в Советском Союзе шла реализация другой системы, призванной служить тем же целям: *Цикады*, которая оставалась оперативной до конца 1990-х гг. Тем не менее российской системой, параллельной GPS, является ГЛОНАСС, не нашедшая широкого применения, но послужившая увеличению потенциала американской GPS и ее интеграции в GNSS, которую мы рассмотрим далее.

То, что системы, основанные на радиомаяках (*Loran C, Omega, Decca*, системы ОБЧ и других радиочастот, передаваемых наземными маяками), с одной стороны, остаются по большей части невосприимчивы к потере сигнала в туннелях и в окружении строений, а с другой стороны, имеют предел зоны покрытия сигнала, который, несмотря на ретрансляторы, не в состоянии охватить обширные территории, что способствовало в последние годы широкому распространению более экономичных спутниковых приемников, в частности GPS, никак не умаляет возможностей осуществления навигации в рамках города или ограниченных территорий при помощи радиомаяков<sup>50</sup>. Понятно, что широкое распространение GPS-приемников делает, как правило, малозначимыми наземные радиосистемы определения местоположения. С ними зачастую соотносят необходимость использования более громоздких по сравнению со спутниковыми приемников, хотя с точки зрения точности они обычно дают более высокий результат.

<sup>50</sup> В рамках систем наземной триангуляции или трилатерации применяются радиоустройства малой мощности, или *Low Power Radio Services (LPRS)*.

В дальнейшем в разделе о современных и будущих системах будет предоставлен более подробный анализ, начиная с инерциальных и одометрических и заканчивая спутниковыми системами, где особое внимание мы уделим *GPS*, занимающей сейчас доминирующее положение на мировом рынке, а также системе Галилео, которая должна стать для Европы ключевой, начиная со второй половины второго десятилетия XXI в.

## **B1.5.2 Определение местоположения через спутники**

### **B1.5.2.1 *GPS: Global Positioning System* (система глобального позиционирования)**

Система *GPS* изначально была разработана министерством обороны Соединенных Штатов (*DoD*) в военных целях и затем передана, хотя и с ограничениями по точности, для использования гражданскими операторами. Окончательная конфигурация предусматривала запуск 21 основного и трех резервных спутников. Сегодня их количество колеблется от 24 до 32, в зависимости от рабочего состояния. Спутники вращаются на орбитах высотой от 20 183 км, что соответствует периоду обращения<sup>51</sup>, приблизительно равному 12 ч, на шести эшелонах орбит со склонением 55°.

Система позволяет получать информацию о местоположении (*PVT computation, Posizione – Положение, Velocità – Скорость и Tempo – Время*) для любого пользователя, находящегося на поверхности Земли (или в непосредственной близости), с использованием значений мнимого расстояния, полученных не менее чем от четырех спутников, находящихся в зоне видимости одновременно.

Расстояние от каждого спутника вычисляется путем высокоточного измерения времени передачи (прохождения) сигнала, поступающего от спутника на антенну приемника; поскольку часы системы приема не синхронизированы с часами спутника, который подал сигнал, полученное значение будет представлять собой мнимое расстояние, другими словами геометрическое расстояние вкпе с погрешностью, связанной с расхождением по времени. С учетом координат пользователя, это расхождение по времени представляет собой неизвестную составляющую в системе навигации, что приводит к необходимости иметь как минимум четыре спутника в зоне видимости. Для получения координат, которые могут быть преобразованы в широту и долготу, достаточно иметь обычные приемники *GPS*.

Данные *GPS (GPS data)* передаются по технологии *CDMA (Code Division Multiple Access – многостанционный доступ с кодовым разделением каналов, МДКР)*, благодаря которой каждому спутнику присваивается свой псевдокод с использованием двух несущих частот 1575,42 МГц ( $L_1$ ) и 1227,6 МГц ( $L_2$ ). Надо пояснить, что для сервисов стандартного позиционирования *SPS (Standard Positioning Service)* и точного позиционирования *PPS (Precise Positioning Service)* используются различные коды: *P*-код точности (для военного применения) и *C/A*-код (для гражданского применения). Сигнал точности (*P-code*) передается на обеих частотах, тогда как сигнал пониженной точности (*C/A-code*) передается только на частоте  $L_1$ . Для гражданского применения в распоряжении имеется только сигнал с пониженной точностью на частоте  $L_1$ , передаваемый в некодированном виде.

<sup>51</sup> Время обращения вокруг Земли.