

Основы спутниковой навигации

Compendium



Теория и принципы
Системы и обзор приложений



Название	Основы спутниковой навигации		
Подзаголовок			
Тип документа	Краткое руководство		
Id документа	GPS-X-02007-C		
Модификация	Дата	Имя	Статус / Комментарии
Начальная версия	11. Октября 2001	Jean-Marie Zogg	
A	1. Декабря 2006	Jean-Marie Zogg	Обновление разделов: <ul style="list-style-type: none">• SBAS (WAAS, EGNOS)• обновление GPS• GALILEO• Высокочувствительный GPS• AGPS ошибки и DOP• UTM-проекция• DGPS-сервисы• Интерфейсы данных• GPS приемники
B	27. Февраля 2007	TG	Обновление глав: <ul style="list-style-type: none">• Введение в спутниковую навигацию• Спутниковая навигация это просто
C	26. Апреля 2007	TG	Обновление разделов: <ul style="list-style-type: none">• Сегмент космоса• Сегмент пользователя• GPS сообщение• Вычисление позиции (уравнения)• DGPS сервисы для коррекции в реальном времени• Широкая область DGPS• Интерфейсы оборудования• GNSS приемные модули

Мы резервируем все права на данный документ и информацию, содержащуюся в нем. Воспроизведение, использование и передача третьим лицам без разрешения запрещены!

За дальнейшими документами обратитесь, пожалуйста, на сайт www.u-blox.com

Рабочие характеристики, приведенные в данном документе, примерные и не дают гарантию работы изделия. u-blox не поддерживает приложения, связанные с оружием. Продукция u-blox' разработана для мирного использования и коммерческой авиации, а также для аналогичных приложений. В устройствах или системах, в которых сбой данной продукции может привести к повреждениям, использование идет на свой страх и риск. u-blox резервирует право изменить данное изделие, включая схему и обеспечение, для улучшения его работоспособности без предварительного уведомления.

u-blox не дает никаких гарантий на характеристики, приведенные в данном документе. u-blox не принимает претензии по вопросам убытков, полученных из-за применения данного изделия согласно документу.

u-blox схемы, обеспечение и проекты защищены законом об интеллектуальном праве в Швейцарии. u-blox, логотип u-blox, тип TIM- GPS модуля, Antaris, SuperSense, "your position is our focus", NavLox, u-center, AssistNow, AlmanacPlus, FixNow и EKf являются зарегистрированными торговыми марками u-blox AG. Этот продукт может целиком или частично подвергнуться интеллектуальной защите. Пожалуйста, обратитесь в u-blox за дополнительной информацией. Copyright © 2007, u-blox AG.



Контакты

За дальнейшей информацией обратитесь к следующим источникам.

Центральный офис

u-blox AG

Zuercherstrasse 68
CH-8800 Thalwil
Switzerland

Phone: +41 44 722 74 44

Fax: +41 44 722 74 47

E-mail: info@u-blox.com

www.u-blox.com

Офисы продаж

North, Central and South America

u-blox America, Inc.

1902 Campus Commons Drive
Suite 310
Reston, VA 20191 USA

Phone: +1 (703) 483 3180

Fax: +1 (703) 483 3179

E-mail: info_us@u-blox.com

Regional Office West Coast:

8600 Lemon Ave #1
La Mesa, CA 91941
USA

Phone: +1 (619) 741 3011

Fax: +1 (619) 741 4334

E-mail: info_us@u-blox.com

Technical Support:

Phone: +1 (703) 483 3185

E-mail: support_us@u-blox.com

Europe, Middle East, Africa

u-blox AG

Zuercherstrasse 68
CH-8800 Thalwil
Switzerland

Phone: +41 44 722 74 77

Fax: +41 44 722 74 47

E-mail: info@u-blox.com

Technical Support:

Phone: +41 44 722 74 74

E-mail: support@u-blox.com

Asia, Australia, Pacific

u-blox Singapore Pte. Ltd.

435 Orchard Road
#19-02, Wisma Atria,
Singapore 238877

Phone: +65 6734 3811

Fax: +65 6736 1533

E-mail: info_ap@u-blox.com

Support: support_ap@u-blox.com

Regional Office China:

Room 716-718

No. 65 Fuxing Road

Beijing, 100036, China

Phone: +86 10 68 133 545

Fax: +86 10 68 217 890

E-mail: info_cn@u-blox.com

Support: support_cn@u-blox.com

Regional Office Korea:

1258 Ho, Shinhan MetroKhan

#1115, BisanDong

DongAn-Ku

Anyang-si KyungKi-do,

Korea

Phone: +82 31 383 2584

Fax: +82 31 386 2584

E-mail: info_kr@u-blox.com

Support: support_kr@u-blox.com

Regional Office Taiwan:

Room 305

3F, #181, ZouTze Street

Neihu Dis. Taipei,

Taiwan

Phone: +886 2 2657 1090

Fax: +886 2 2657 1097

E-mail: info_cn@u-blox.com

Support: support_tw@u-blox.com

Предисловие

Где Я на Земле?

Ответ на этот казался бы простой вопрос иногда может означать жизнь или смерть. Посмотрите на авиатора, пытающегося найти место для безопасной посадки, на капитана на аварийном судне, которому нужна помощь, на путешественника в горах, потерявшегося из-за плохой погоды. Ваше местонахождение на Земле жизненно важно и может иметь различные варианты приложений.

Несмотря на редкость вышеприведенных драматических обстоятельств, существуют ситуации, имеющие большое значение в нашей повседневной жизни. Как найти необходимый адрес? Потенциальные приложения и использование информации о местонахождении безграничны. Наша позиция на голубой планете всегда будет очень важна и сегодня это то, что мы можем получить с потрясающим удобством.



Среди ошеломляющих технологических разработок в течение последних лет огромное значение имеют разработки в области спутниковой навигации или Глобальных спутниковых навигационных систем (GNSS). В течение нескольких лет спутниковая навигация преодолела путь от научной фантастики до научного факта с быстро развивающейся технологией по всему миру, посвященной надежному и легкодоступному способу определения позиции.

Глобальные лидеры быстро меняют промышленность, u-blox AG добавляет шведский акцент в точность и качество. Мужчины и женщины компании являются энтузиастами своего дела и их девиз "your position is our focus". Частью своего обязательства перед Вами u-blox AG считает предоставление данного руководства для того, что помочь в изучении увлекательного мира спутниковой навигации.

Цель этой книги обеспечить обзор систем, в которых работает спутниковая навигация, и приложений с ее использованием. Будут рассмотрены все последние достижения в данной области. Данный документ предназначен для пользователей, заинтересованных этой технологией, а также для специалистов в области разработки приложений. Документ построен таким образом, что есть постепенный переход от простых понятий к сложным концепциям. Основная теория спутниковой навигации будет дополнена дополнительными важными деталями. Данное руководство служит помощником для понимания технологии приемников спутниковой навигации, модулей и ICs. Важнейшие новые разработки будут приведены в различных разделах. Понимание различных координатных систем, используемых в оборудовании GNSS, является трудной задачей. Поэтому отдельная глава посвящена картографии.

Мы надеемся, что данный документ поможет Вам и Вас увлечет эта технология. Все, что с ней связано, отвечает на вопрос "где Я на Земле?".



Как все начиналось

В 1990 году я ехал на поезде в Швейцарский кантон. Со мной было несколько журналов. В одном из них я наткнулся на специальную статью о спутниках, которая описывала новую систему позиционирования и навигации. Используя несколько US спутников, эта система, известная под названием Системы Глобального Позиционирования или GPS, могла определить координаты где угодно с точностью до 100 м(*).

Как спортсмен и любитель гор, я часто оказывался в ситуациях, когда необходимо было знать свое местоположение, что становится возможным при использовании GPS приемника. После чтения статьи я был сражен точностью GPS.

Тогда я начал подробное изучение системы глобального позиционирования. Я заразил своим энтузиазмом студентов из моего университета использованием GPS и в результате получил перечень различных курсовых работ, дающих информацию о предмете. Чувствуя себя настоящим GPS экспертом, я разослал статьи в различные журналы и газеты. Из-за моего энтузиазма интерес к системе вырос.

Почему стоит прочитать эту книгу?

В основном, GPS приемник определяет только 4 переменные: долготу, широту, высоту и время. Дополнительная информация (напр. скорость, направление и т.д.) может быть получена из этих четырех компонентов. Оценка пути развития, при котором функции GPS системы являются необходимыми, предлагает развивать новые привлекательные приложения. Если хорошо известна техническая сторона GPS системы, то возможно развитие и использование нового оборудования для навигации и позиционирования. Эта книга также описывает ограничения системы, так что очень многого от нее ждать все-таки не стоит.

Перед тем как вы начнете, я должен предупредить вас о наличии неизвестных GPS ошибок, поэтому вы рискуете!

Как была написана эта книга?

В 2000 году я решил сократить время своих лекций в университете и обратить свое внимание на другую область. Моей целью было работать профессионально с GPS и u-blox. Компания поручила мне разработать брошюру, которую они будут давать своим клиентам. Данный конспект является результатом более ранних статей и новых глав.

Искреннее пожелание

Я желаю каждому из вас успеха в работе с GPS и верю, что вы сможете легко управлять навигацией посредством этих интересных технических возможностей. Приятного чтения!

Jean-Marie Zogg_
October 2001
Июль 2006

(*): Это было в 1990, сейчас точность достигла от 5 до 10 м!

Содержание

Контакты.....	3
Предисловие.....	4
Предисловие автора.....	5
Содержание.....	6
Введение.....	10
1 Спутниковая навигация это просто.....	12
1.1 Принцип измерения времени передачи сигнала.....	12
1.1.1 Основные принципы спутниковой навигации.....	13
1.1.2 Время прохождения сигнала.....	15
1.1.3 Определение позиции.....	16
1.1.4 Возникновение и коррекция ошибки по времени.....	17
2 GNSS технология: GPS пример.....	18
2.1 Описание всей системы.....	18
2.2 Сегмент космоса.....	19
2.2.1 Распределение и перемещение спутника.....	19
2.2.2 GPS спутники.....	22
2.2.3 Генерация сигнала со спутника.....	24
2.3 Управляющий сегмент.....	27
2.4 Сегмент пользователя.....	27
2.5 GPS сообщения.....	31
2.5.1 Введение.....	31
2.5.2 Структура навигационного сообщения.....	31
2.5.3 Информация в подфреймах.....	32
2.5.4 TLM и HOW.....	32
2.5.5 Деление на 25 страниц.....	32
2.5.6 Сравнение данных эфимериса и альманаха.....	32
2.6 Обновление GPS.....	34
2.6.1 Новая процедура модуляции, BOC.....	34
2.6.2 Модернизация GPS.....	36
3 GLONASS и GALILEO.....	37
3.1 Введение.....	37

3.2	Российская система: GLONASS.....	38
3.2.1	Состав GLONASS.....	38
3.3	GALILEO.....	39
3.3.1	Обзор.....	39
3.3.2	Основные сервисы GALILEO.....	40
3.3.3	Точность.....	42
3.3.4	GALILEO технология.....	43
3.3.5	Наиболее важные свойства трех GNSS систем.....	47
4	Вычисление позиции.....	48
4.1	Введение.....	48
4.2	Вычисление позиции.....	48
4.2.1	Принцип измерения времени прохождения сигнала (оценка псевдодиапазона).....	48
4.2.2	Линеаризация уравнения.....	50
4.2.3	Решение уравнения.....	52
4.2.4	Итог.....	52
4.2.5	Анализ ошибок и DOP.....	53
5	Координатные системы.....	57
5.1	Введение.....	57
5.2	Геоиды.....	57
5.3	Эллипсоид и данные.....	58
5.3.1	Эллипсоид.....	58
5.3.2	Модифицированные локальные эллипсоиды и данные.....	59
5.3.3	Национальные отсчетные системы.....	60
5.3.4	Единый отсчетный эллипсоид WGS- 84.....	60
5.3.5	Трансформация от локального к единому отсчетному эллипсоиду.....	61
5.3.6	Конвертирование координатных систем.....	62
5.4	Координаты регионов на плоскости, проекция.....	63
5.4.1	Gauss-Krüger проекция (Transversal Mercator Projection).....	64
5.4.2	UTM проекция.....	64
5.4.3	Шведская система проекций (Conformal Double Projection).....	66
5.4.4	Единое преобразование координат.....	67
6	Усовершенствование GPS: DGPS, SBAS, A-GPS и HSGPS.....	68
6.1	Введение.....	68
6.2	Источники ошибки GPS.....	68
6.3	Способы уменьшения ошибки измерения.....	70
6.3.1	DGPS, основанный на измерении времени задержки прохождения сигнала.....	71
6.3.2	DGPS, основанный на измерении несущей фазы.....	73

6.3.3	DGPS пост-обработка (время прохождения сигнала и измерение фазы).....	73
6.3.4	Передача данных коррекции.....	74
6.3.5	DGPS классификация в соответствии с переданным диапазоном.....	75
6.3.6	Стандарты для передачи сигналов коррекции.....	75
6.3.7	Обзор различных сервисов коррекции.....	76
6.4	DGPS сервисы для коррекции в реальном режиме времени.....	77
6.4.1	GBAS сервисы.....	77
6.4.2	Европейские GBAS сервисы.....	77
6.5	Широкая область DGPS (WADGPS).....	78
6.5.1	Спутник на основе расширенных систем, SBAS (WAAS, EGNOS).....	78
6.5.2	Спутниковые сервисы DGPS с использованием RTCM SC- 104.....	81
6.6	Предельная точность с DGPS и SBAS.....	82
6.7	Вспомогательный-GPS (A- GPS).....	82
6.7.1	Принцип A- GPS.....	82
6.7.2	A-GPS с онлайн дополнительными данными (Real-time A- GPS).....	84
6.7.3	A-GPS с оффлайн дополнительными данными (допустимые орбиты).....	84
6.7.4	Отсчетная сеть.....	84
6.8	Высокочувствительный GPS (HSGPS).....	85
6.8.1	Усовершенствованная стабильность генератора.....	85
6.8.2	Антенны.....	85
6.8.3	Уровни шума.....	85
6.8.4	Корреляторы и время корреляции.....	86
6.9	GNSS-усилитель или реизлучающая антенна.....	87
6.10	Псевдоспутники для внутренних приложений.....	87

7 Форматы данных и интерфейсы оборудования.....88

7.1	Введение.....	88
7.2	Интерфейсы данных.....	89
7.2.1	Интерфейс NMEA-0183.....	89
7.2.2	DGPS данные коррекции (RTCM SC- 104).....	99
7.2.3	Закрытые интерфейсы данных.....	102
7.3	Интерфейсы оборудования.....	105
7.3.1	Антенны.....	105
7.3.2	Напряжение питания.....	109
7.3.3	Тактовый импульс: 1PPS и системы времени.....	110
7.3.4	Конвертирование TTL уровня в RS- 232.....	112

8 GNSS приемники.....115

8.1	Основы GNSS приемников.....	115
-----	-----------------------------	-----

8.2 GNSS приемные модули.....	116
8.2.1 Базовый проект GNSS модуля.....	116
8.2.2 Пример: <i>u-blox 5</i>	117
9 GNSS приложения.....	119
9.1 Введение.....	119
9.2 Описание различных приложений.....	120
9.2.1 LBS.....	120
9.2.2 Бизнес и промышленность.....	120
9.2.3 Технология связи.....	121
9.2.4 Сельское хозяйство и лесничество.....	122
9.2.5 Наука и исследования.....	122
9.2.6 Туризм / Спорт.....	124
9.2.7 Военное ведомство.....	124
9.2.8 Измерение времени.....	124
A Ресурсы всемирной паутины.....	125
A.1 Итоговые отчеты и ссылки.....	125
A.2 Дифференциальный GPS.....	125
A.3 GPS институты.....	125
A.4 GNSS антенны.....	126
A.5 GNSS группы и GNSS технический журнал.....	126
B Указатель.....	127
B.1 Список рисунков.....	127
B.2 Список таблиц.....	129
B.3 Источники.....	131

ВВЕДЕНИЕ

Используя Систему Глобального позиционирования (GPS процесс используется для определения координат в любой точке мира), следующие два значения определяют точку на Земле(рис.1):

1. Первое – точное расположение(координаты долготы, широты и высоты) обеспечивается в диапазоне от 20 м до приблизительно 1 мм.
2. Прецизионное время (UTC), его точность лежит в диапазоне от 60 нс до примерно 5 нс.

Скорость и направление движения можно получить из этих координат. Значения координат и времени определяются посредством спутников Земли.

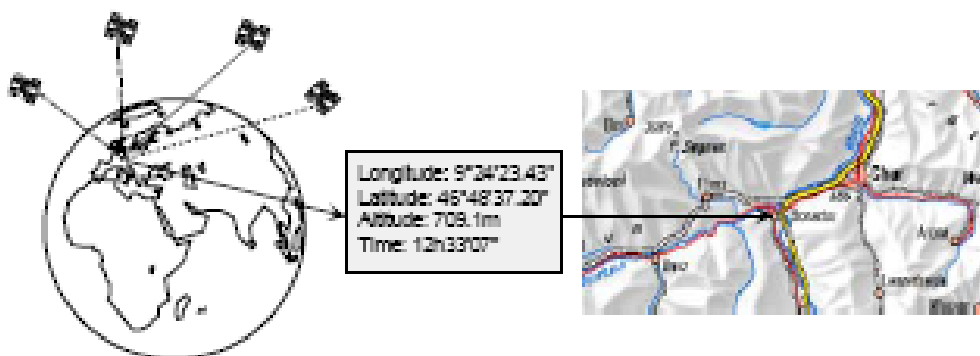


Рис.1 Основная функция спутниковой навигации

В 2007 году Система глобального позиционирования (GPS), разработанная United States Department of Defense (DoD) была единственной полноценной рабочей системой GNSS. Быстро развивающаяся промышленность спутниковой навигации сосредоточена в основном на GPS системе, вот почему термины GPS и спутниковая навигация иногда подменяют друг друга. Данный документ рассмотрит и другие системы GNSS.

GPS(полное название: Система навигации и глобального позиционирования, NAVSTARGPS) была разработана U.S. Department of Defense (DoD) и может использоваться как гражданскими, так и военными. Гражданский сигнал SPS (стандартное позиционирование) может использоваться всеми, тогда как военный сигнал PPS(прецизионное позиционирование) может использоваться только специальными агентами. Первый спутник был помещен на орбиту 22 февраля 1978 г., а в настоящее время имеется 28 рабочих спутников на высоте 20 180 км на 6 различных орбитах. Их орбиты отклоняются на 55° к экватору, при этом последние 4 спутника обеспечивают радиосвязь с любой точкой планеты. Орбита каждого спутника Земли составляет примерно 12 часов, и он имеет 4 атомных синхронизатора на плате

Во время разработки системы GPS основной акцент был сделан на следующих трех аспектах:

1. Она должна обеспечить потребителей возможностью определять позицию, скорость и время в движении или в покое.
2. Она должна обеспечивать непрерывное 3-х мерное позиционирование с высокой степенью точности, независимо от погоды.
3. Она должна иметь возможность использования гражданским населением.

Через пять или 6 лет появится три независимых доступных GNSS системы. США продолжит обеспечивать GPS Россию и Европейский Союз, которые также добавят свои системы GLONASS и GALILEO. Все эти системы будут модернизированы с целью повышения надежности и доступности для новых приложений².

Краткое руководство рассмотрит основные принципы спутниковой навигации и их применение в приложениях и технологиях. На GPS будет основной акцент в связи с промышленным стандартом, а также будут рассмотрены такие разработки как Differential-GPS (DGPS), Assisted-GPS (AGPS) и интерфейсы устройства в различных разделах. Все это сделано с целью обеспечить читателя фундаментальной информацией о столь увлекательной области.



Рис. 2 Запуск GPS спутника

² Среди них авиация, взлеты и посадки с помощью спутниковой навигации становятся возможными.

1 Спутниковая навигация – это просто

Если Вам нравится. . .

- понимать, как определяется расстояние до молнии
 - понимать, как работают основные функции спутниковой навигации
 - знать, как много атомных синхронизаторов стоит на плате GPS спутника
 - знать, как определить позицию на карте
 - понимать, почему необходимо 4 спутника для обеспечения позиционирования
- тогда эта глава для Вас!

1.1 Принцип измерения транзитного времени сигнала

Какое-то время в течение грозовой ночи Вы, несомненно, пытались понять, как далеко Вы находитесь - по вспышке молнии. Расстояние можно установить довольно легко (Рис. 3): расстояние = момент вспышки молнии (стартовое время) до появления грома (конечное время), умноженный на скорость звука (приблизительно 330 м/с.). Разница между стартовым и конечным временем и есть транзитное время.

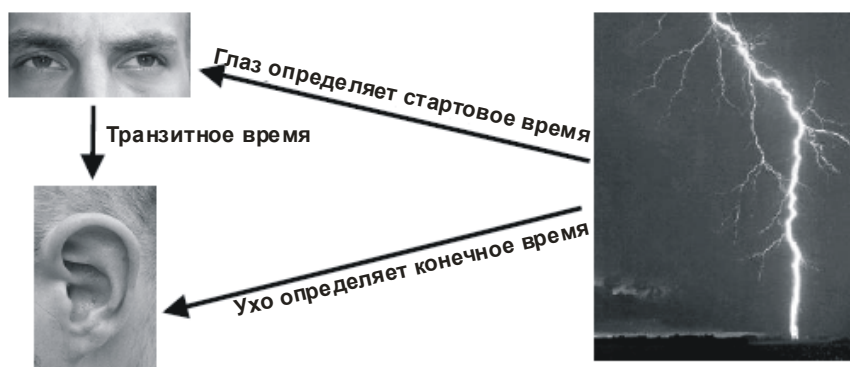


Рис.3 Определение расстояния по вспышке молнии

Расстояние = транзитное время * скорость звука

Система GPS функционирует согласно такому же принципу. Для того чтобы вычислить точную позицию, нужно всего лишь измерить транзитное время сигнала между точкой наблюдения и четырьмя другими спутниками, чьи позиции известны.

1.1.1 Основные принципы спутниковой навигации

Все спутниковые навигационные системы используют общие принципы определения координат:

- Спутники с известной позицией передают регулярный сигнал.
- основан на измерении времени распространения радиоволн (электромагнитные сигналы распространяются со скоростью света $c = 300'000$ км/с), позиция приемника вычисляется.

Здесь мы видим принципы, наиболее часто применяемые в простых моделях. Представим, что мы в машине и хотим определить свое местонахождение на длинной и прямой улице. В конце улицы есть радиопередатчик, посылающий тактовый импульс каждую секунду. В автомобиле есть часы, которые синхронизированы с часами радиопередатчика. Измеряя время от передатчика до машины, мы можем определить нашу позицию на улице (Рис. 4).

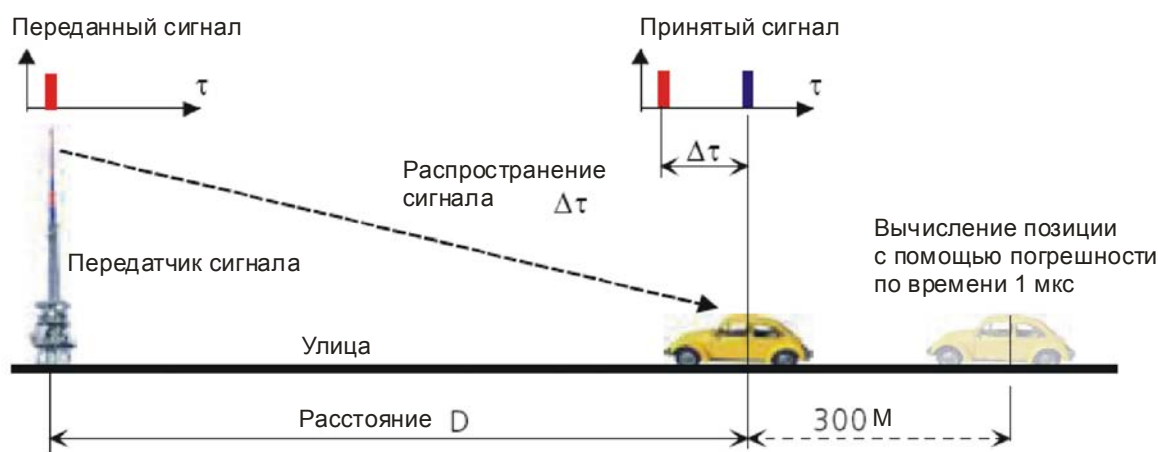


Рис.4 В простейшем случае Расстояние определяется временем распространения

Расстояние D вычисляется путем умножения времени распространения $\Delta\tau$ на скорость света c .

$$D = \Delta\tau \cdot c$$

Поскольку синхронизация часов в машине с передатчиком неидеальна, существует разница между вычисленным расстоянием и фактическим. В навигации это некорректное значение звучит как псевдодиапазон. В нашем примере ошибка по времени составляет 1 микросекунду (1 мкс) и определяет псевдодиапазон в 300 м.

Мы могли бы решить данную проблему, оснатив наш автомобиль точными атомными часами, но это значительно повлияет на наш бюджет. Другим решением будет использование второго синхронизированного передатчика, расстояние до которого известно. Измеряя оба времени распространения, можно точно определить расстояние, несмотря на неточные бортовые часы.

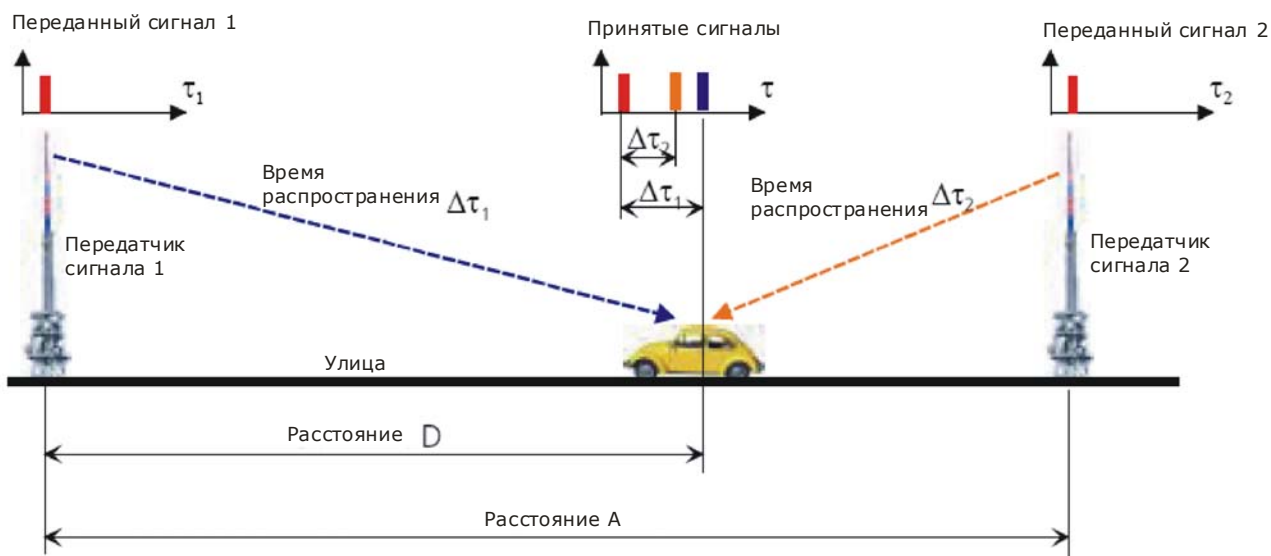


Рис.5 С двумя передатчиками можно вычислить точную позицию несмотря на ошибки по времени

$$D = \frac{(\Delta\tau_1 - \Delta\tau_2) \cdot c + A}{2}$$

Как видно, чтобы точно вычислить позицию и время вдоль линии (принимая, что линия продолжается только в одном направлении), нам необходимо два передатчика сигналов времени. Из этого мы можем сделать следующий вывод: при несинхронизированных бортовых часах, используемых при расчете позиции, необходимо число передатчиков сигналов времени, превышающее число неизвестных измерений на единицу.

Пример:

- На плоскости (два измерения) нам необходимо три передатчика сигналов времени.
- в трехмерном пространстве нам необходимо четыре передатчика сигналов времени.

Системы спутниковой навигации и используют спутники как передатчики сигналов времени. Связь с последними 4 спутниками(Рис.6) необходима для определения трехмерных координат(Долгота, Широта, Высота) в течение всего времени. Мы рассмотрим это более детально в следующих разделах.

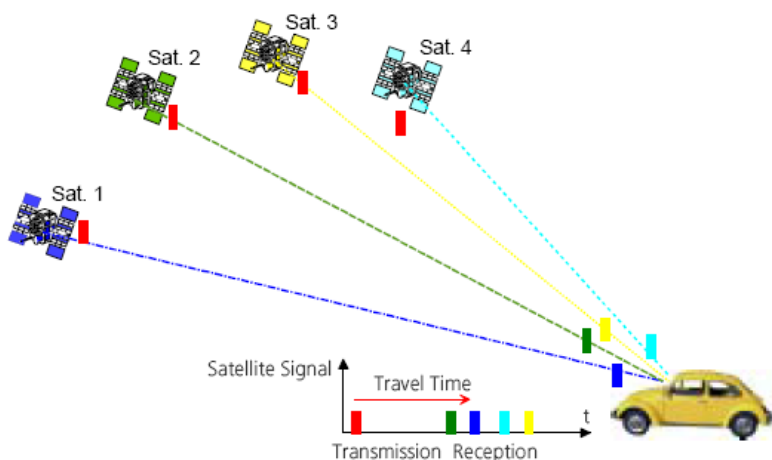


Рис.6 4 спутника необходимы для определения Долготы, Широты, Высоты и Времени

1.1.2 Время прохождения сигнала

Системы спутниковой навигации используют высоко расположенные спутники, которые размещаются таким образом, чтобы из любой точки на земле можно было провести линию, по крайней мере, к четырем спутникам.

Каждый этих спутников имеет до четырех атомных часов на борту. Атомные часы являются в настоящее время наиболее точным инструментом, теряя максимум одну секунду каждые 30,000 из 1,000,000 лет. Для того чтобы делать их еще более точными, делают коррекцию или синхронизацию из различных управляющих точек на Земле. Каждый спутник передает свою точную позицию и точное время на Землю с частотой 1575.42 МГц. Эти сигналы передаются со скоростью света (300,000 км/с) и, следовательно, потребуется приблизительно 67,3 мс для достижения земной поверхности прямо под спутником. Сигналу необходимо 3,33 на каждый дополнительный километр. Если Вы хотите установить вашу позицию на земле (или в море или где-то еще), все, что Вам нужно - точные часы. При сравнении времени получения спутникового сигнала со временем отправки возможно определить транзитное время этого сигнала (Рис 7).

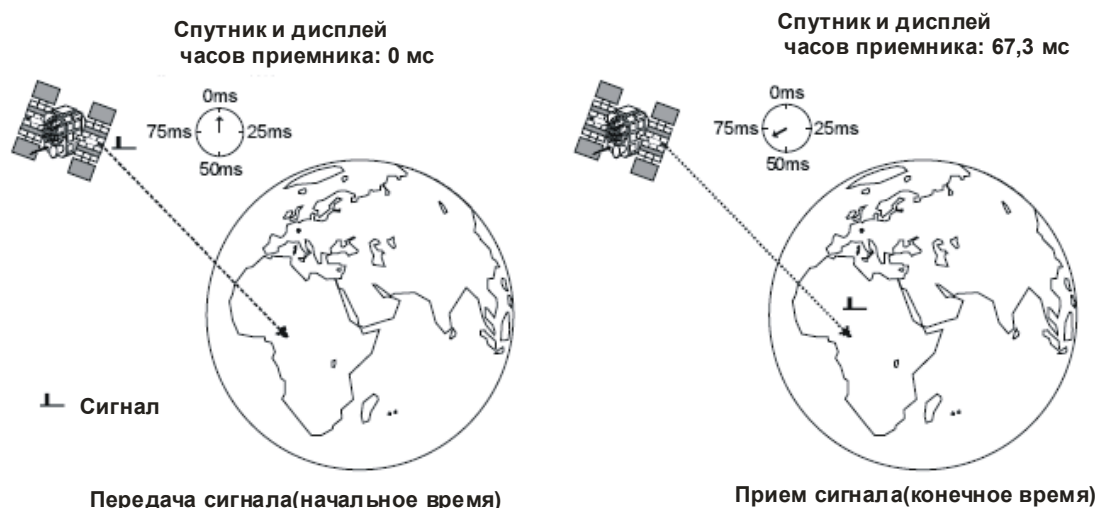


Рис.7 Определение транзитного времени сигнала

Как в примере с машиной, Расстояние D до спутника можно определить, используя транзитное время :
 Расстояние = время в пути * скорость света

$$D = \Delta t \cdot c$$

1.1.3 Определение позиции на карте

Представьте себе, что Вы идете через обширное плато и хотите знать, где Вы. Два спутника, расположенные выше Вас передают свои времена на борту и позиции. Используя сигнальное транзитное время обоих спутников, Вы можете нарисовать два круга с радиусами D_1 и D_2 вокруг спутников. Каждый радиус соотносится с расстоянием, вычисленным спутником. Все возможные расстояния до спутника расположены на окружности круга. Если позиция выше спутников исключена, позиция приемника - в точке пересечения кругов под спутниками (Рис. 8). Двух спутников достаточно, чтобы определить позицию на плоскости X/Y.

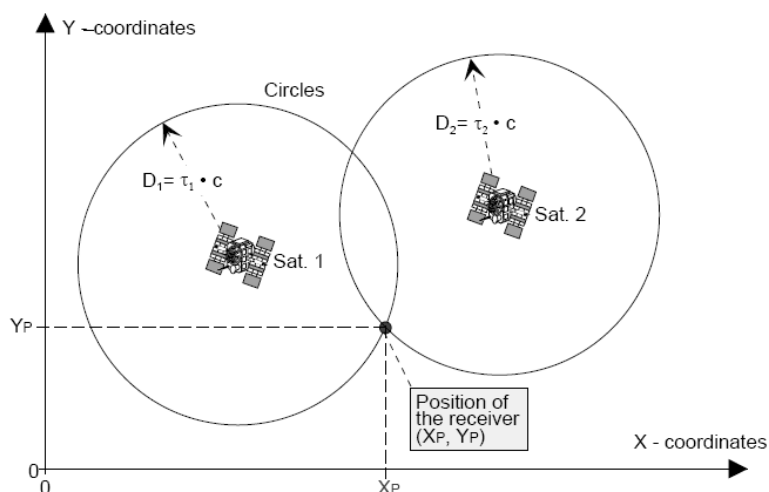


Рис.8 Позиция приемника в точке пересечения двух кругов

В действительности, позиция должна быть определена в трехмерном пространстве, а не на плоскости. Различие между плоскостью и трехмерным пространством состоит в дополнительном измерении (высота Z), дополнительный третий спутник должен быть доступен для определения действительной позиции. Если расстояния до трех спутников известны, то все возможные позиции расположены на поверхности трех сфер, чьи радиусы соответствуют рассчитанным расстояниям. Искомая позиция - место пересечения всех трех сфер (Рис. 9).

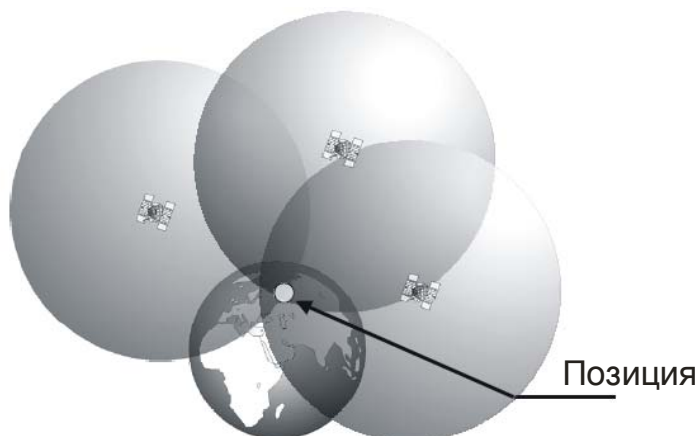


Рис. 9 Позиция определяется как точка пересечения трех сфер

1.1.4 Появление и коррекция ошибки времени

Мы принимали до сих пор, что измерение транзитного времени сигнала было точным. Тем не менее, это не так. Приемнику для точного измерения времени необходима синхронизация. Если транзитное время имеет ошибку 1 нс – позиционная ошибка составит 300 м. Часы на борту всех трех спутников синхронизированы, при этом погрешность измерений транзитного времени складывается. Математика является единственной вещью, которая может нам помочь. Вспомним, что, если имеется N неизвестных переменных, то нам нужно N независимых уравнений.

Если измерение времени сопровождается постоянной неизвестной ошибкой, у нас будет четыре неизвестных переменных в 3-пространстве D :

- Долгота(X)
- Широта(Y)
- Высота(Z)
- Ошибка времени(Δt)

Из этого следует, что в 3-х мерном пространстве 4 спутника необходимы для определения точной позиции.

Спутниковые навигационные системы сконструированы таким образом, чтобы из любой точки на Земле было видно как минимум 4 спутника (Рис.10). Таким образом, несмотря на погрешность часов приемника и ошибок по времени, позиция вычисляется с точностью примерно 5 – 10 м.

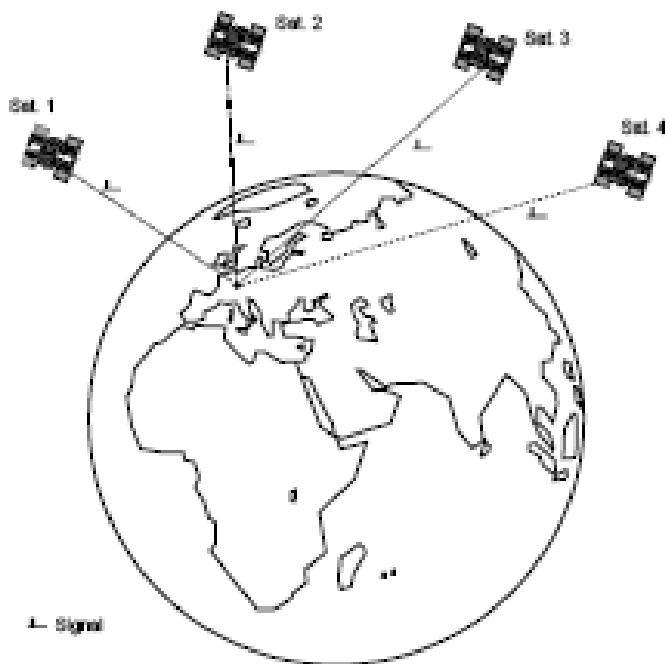


Рис.10 4 спутника необходимы для определения позиции в 3-D пространстве

2 GNSS Технология: Пример GPS

Если Вам нравится. . .

- понимать, почему необходимо 3 различных GPS сегмента
- знать, что у каждого сегмента есть функция
- знать, как сделан GPS спутник
- знать, какого рода информация передается на Землю
- понимать, как генерируется сигнал спутника
- понимать, как определяется транзитное время сигнала
- понимать, какое значение имеет корреляция
- понимать, почему необходим минимальный период времени GPS для работы онлайн
- знать, что такое фреймы и подфреймы

тогда **эта глава** для Вас!

2.1 Описание системы

В следующих разделах мы рассмотрим различные сегменты GNSS технологии на примере GPS системы.

Система глобального позиционирования (GPS) включает в себя 3 сегмента(Рис.11):

- пространственный сегмент (все рабочие спутники)
- управляющий сегмент (все наземные станции системы: основная управляющая и дополнительные для контроля)
- сегмент пользователя (все гражданские и военные GPS пользователи)

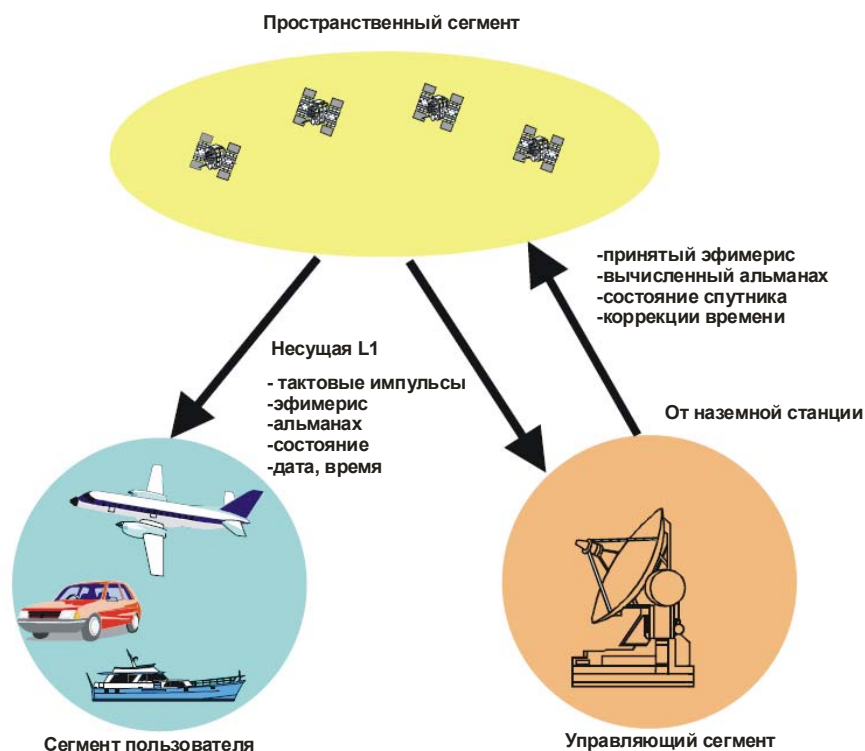


Рис. 11 Три GNSS сегмента

Как видно из рисунка 11 есть однонаправленная связь между пространственным сегментом и сегментом пользователя. Управляющие станции на земле имеют двунаправленную связь со спутниками.

2.2 Пространственный сегмент

2.2.1 Перемещение спутника

Пространственный сегмент к настоящему времени состоит из 32 действующих спутников (Рис. 12) с орбитами в 6 различных плоскостях (от четырех до пяти спутников в плоскости). Они находятся на высоте 20,180 км над Земной поверхностью и наклонены на 55° к экватору. Каждый спутник совершает круг по орбите за 12 часов. Из-за вращения Земли, спутник будет в своем начальном положении (Рис. 13) после приблизительно 24 часов (23 часа 56 минут, чтобы быть точным).

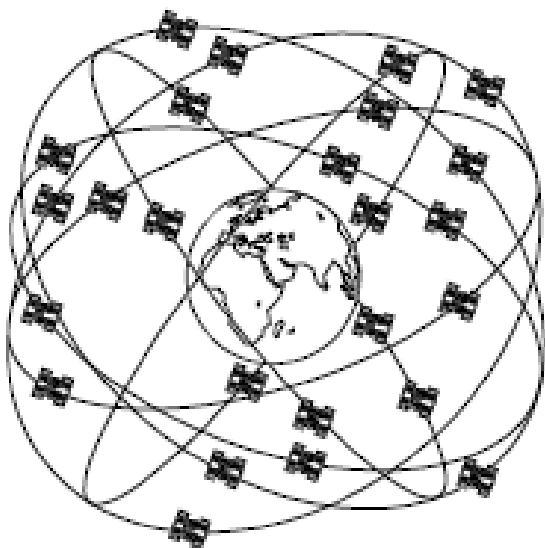


Рис. 12: Орбиты GPS спутников в 6 различных плоскостях

Спутниковые сигналы могут быть приняты в пределах эффективного диапазона спутника. Рис. 13 показывает эффективный диапазон (затененная область) спутника, расположенного прямо над нулевым меридианом.

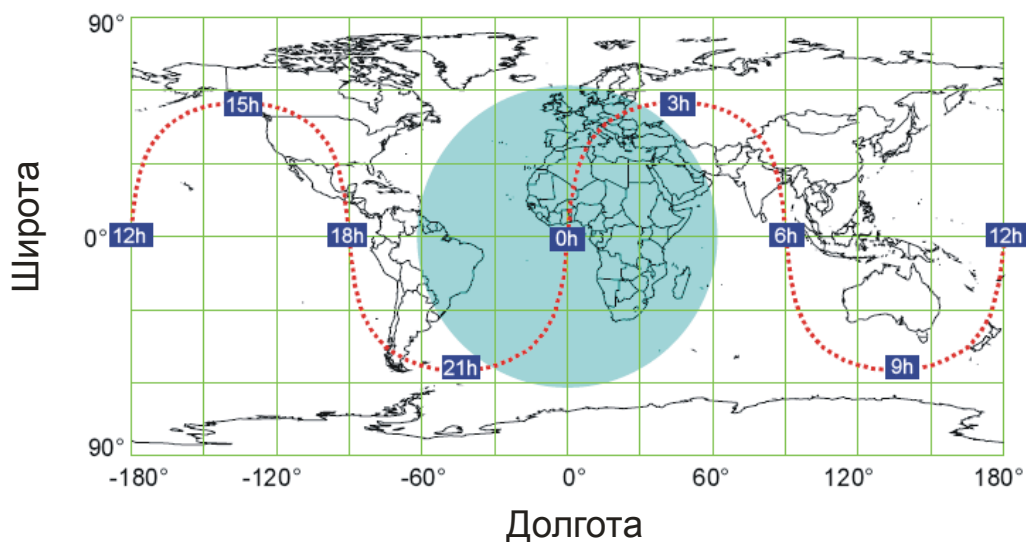


Рис. 13: 24 часовое расположение GPS спутника с его эффективным диапазоном

Распределение спутников в любой момент времени может быть видно на Рис. 14. Оно является следствием удачного распределения орбит на большой высоте для обеспечения связи с, по крайней мере, 4 спутниками в любое время в мире.

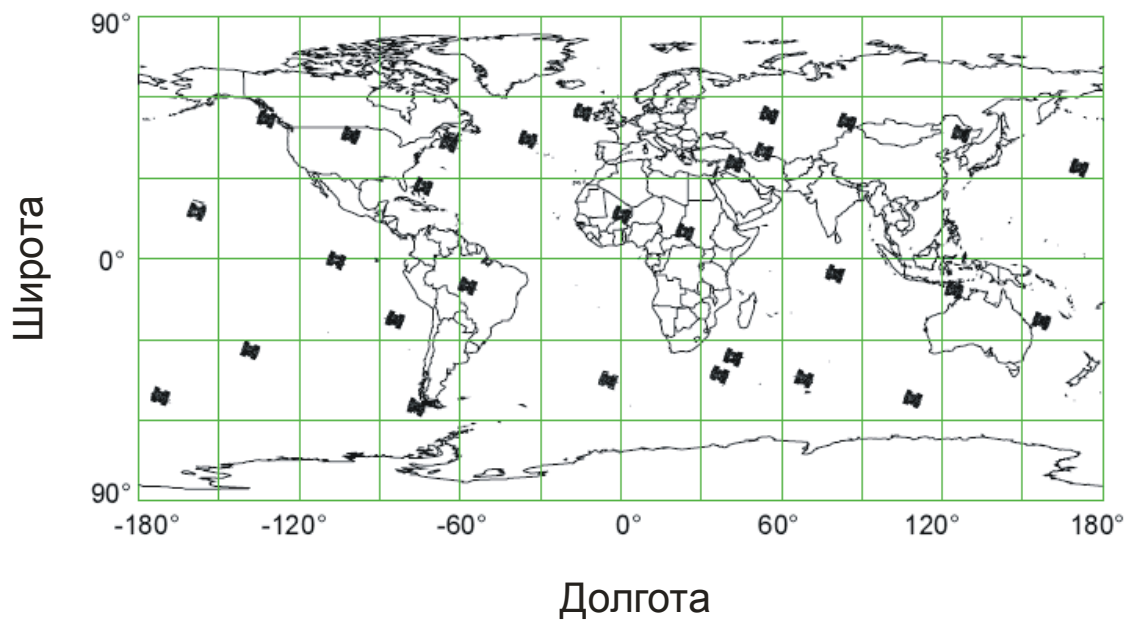


Рис. 10 Позиции спутников на 12 часов UTC на 14 апреля 2001 г.

2.2.2 Спутники GPS

2.2.2.1 Конструкция спутника

Все спутниковые сигналы времени и данные синхронизируются атомными часами на борту на одной частоте (1575.42 МГц). Минимальная длина сигнала, полученного на Земле, примерно от -158dBW до -160dBW [В соответствии со спецификацией, максимальная длина примерно -153dBW].

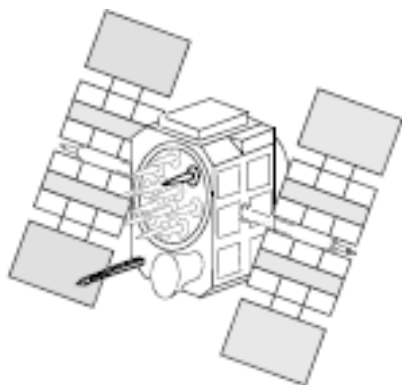


Рис. 15 GPS спутник

2.2.2.2 Анализ связи

Анализ связи (Таблица 1) между спутником и пользователем нужен для установки необходимого уровня мощности передачи. В соответствии со спецификацией, минимальная мощность не должна быть ниже -160dBW (-130dBm). Для гарантии поддержки этого уровня мощность передачи спутника L1, модулированная кодом C/A, должна быть 21.9 Вт.

Мощность передатчика спутника		13.4dBW (43.4dBm=21.9W)
Усиление антенны спутника(вследствие концентрации сигнала около 14.3°)	+13.4dB	
Мощность излучения EIRP (Эффективная интегрированная мощность излучения)		26.8dBW (56.8dBm)
Потери вследствие ошибки поляризации	-3.4dB	
Ослабление сигнала в пространстве	-184.4dB	
Ослабление сигнала в атмосфере	-2.0dB	
Усиление от приемной антенны	+3.0dB	
Вход мощности приемника		-160dBW (130dBm=100.0*10 ⁻¹⁸ W)

Таблица 1 Анализ связи несущей L1, модулированной кодом C/A.

Полученная мощность -160dBW очень небольшая. Максимальная спектральная плотность мощности дана -190 Дбм/Гц (Рис 16).

Спектральная плотность мощности термического шума составляет 174 Дбм/Гц (температура 290 К). Таким образом, максимальная мощность полученного сигнала примерно на 16 Дб ниже уровня термического шума.

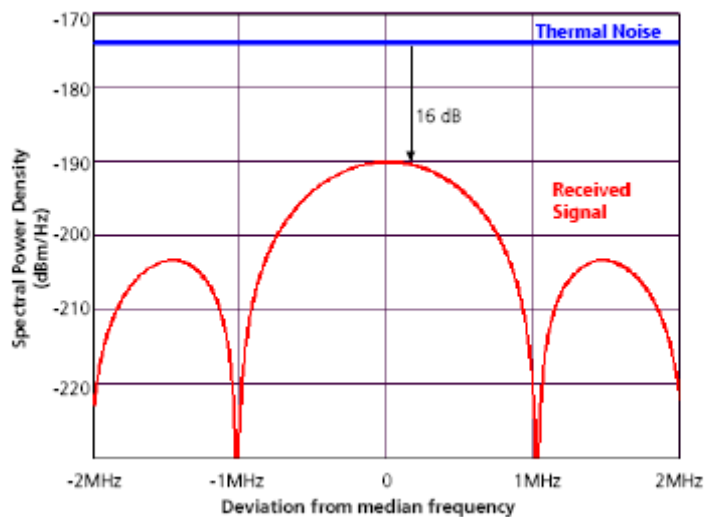


Рис. 16 Спектральная плотность мощности полученного сигнала и термический шум

2.2.2.3 Сигналы спутника

Следующая информация (навигационное сообщение) передается спутником со скоростью 50 бит в секунду[ⁱⁱ].

- Спутниковые сигналы синхронизации и времени
- Точные данные(эфимерис)
- Коррекционная информация для определения точного времени
- Приближенные данные спутников (альманах)
- Данные на ионосфере
- Информация о состоянии спутника

Время, которое требуется для передачи данной информации, составляет 12.5 минут. Используя сообщение навигации, приемник способен определить время передачи каждого сигнала и точную позицию спутника на момент передачи.

Каждый из 28 спутников передает уникальную сигнатуру. Эта сигнатура состоит из произвольной последовательности (Псевдо Произвольный Шум Кода, PRN) 1023 нулей и единиц (Рис. 17).

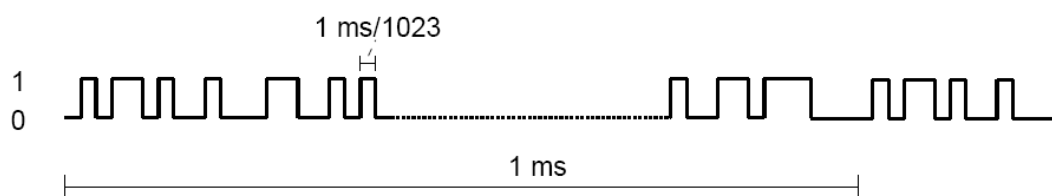


Рис.17 Псевдослучайный шум

Последняя миллисекунда - это уникальный идентификатор, непрерывно повторяющийся и преследующий две цели в отношении приемника:

- Идентификация: уникальная сигнатура означает, что приемник знает, от какого спутника получен сигнал.
- Измерение транзитного времени сигнала

2.2.3 Генерация сигнала спутника

2.2.3.1 Блочная диаграмма

На борту спутников находятся четыре штуки очень точных атомных часов. Следующие тактовые импульсы и частоты, необходимые для повседневной работы, являются производными от резонансной частоты атомных часов (рис.18 и 19):

- Частота данных 50 Гц
- Импульс кода C/A, который модулирует данные, используя эксклюзивный процесс³ (в диапазоне выше частоты 1 МГц)
- Частота гражданского носителя L1 (1575.42 МГц)

Данные, промодулированные кодом C/A, модулируются в свою очередь несущей L1, используя Bi-Phase-Shift-Keying (BPSK)⁴. С каждым изменением в модулированных данных есть поворот на 180° в несущей фазе L1.

³ Логическая операция с двумя операндами, в результате которой получается логическое значение true тогда и только тогда, когда один из операндов имеет значение true.

⁴ Метод модулирования несущей волны, при котором транслируемые данные повернуты по фазе на 90°.

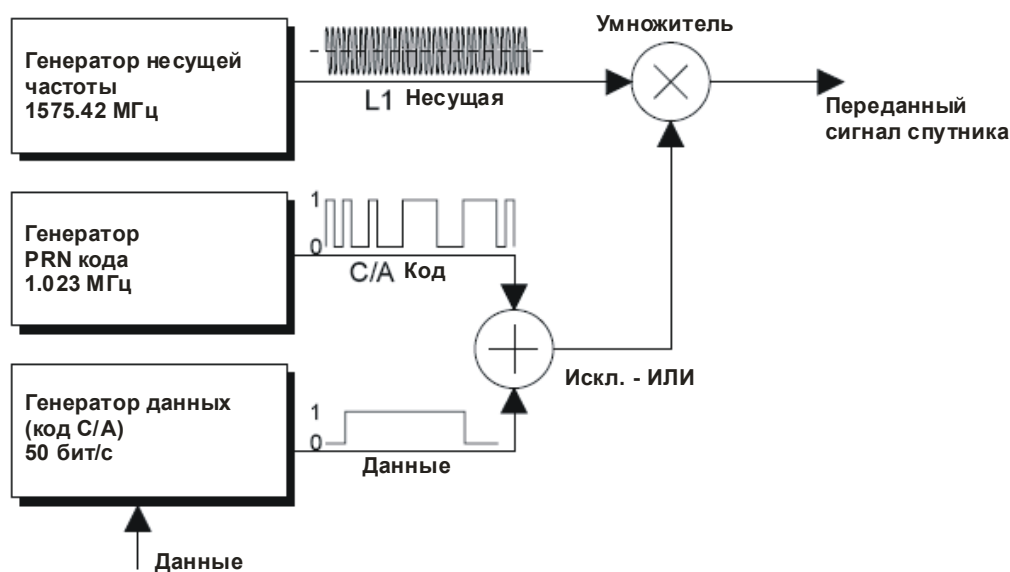


Рис. 18 Упрощенная блочная диаграмма

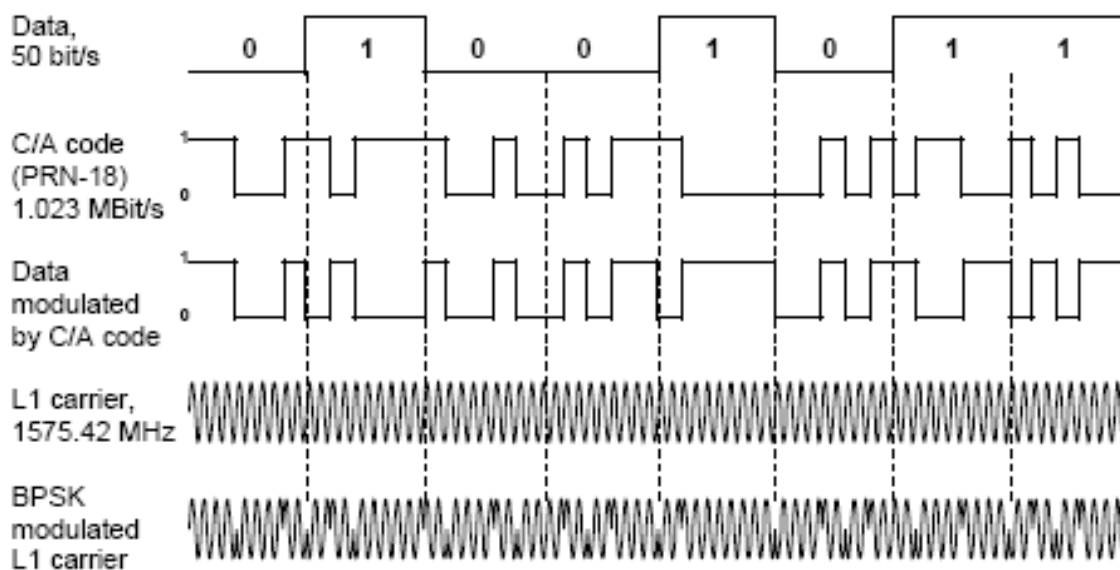


Рис. 19 Структура данных спутника GPS

2.2.3.2 Подробная блочная система

Сигналы спутниковой навигации генерируются с использованием процесса, известного как DSSS (Direct Sequence Spread Spectrum) модуляция [iii]. Это процедура, при которой номинальная полоса частот (не путать с полосой частот чипа приемника) умышленно шире, совмещаясь с более высокой частотой сигнала. Этот принцип модуляции был открыт в 1940 году в США, актрисой Hedy Lamarr и пианистом George Anthell [iv]. Данный процесс позволяет работать закрытому радиоканалу в трудных средах.

Атомные часы на борту спутника имеют устойчивость более $2 \cdot 10^{-13}$ [iii]. Основная частота 10.23 МГц происходит от резонансной частоты одного из атомных часов. В свою очередь, несущая частота, частота данных, время генерации псевдослучайного шума (PRN) и кода C/A происходят от основной частоты (Рис.20). То есть все 28 спутников передают на частоте 1575.42 МГц, при этом используется процесс, известный под названием CDMA Multiplex⁵ (Code Division Multiple Access). Данные передаются на основе DSSS модуляции [iv]. Генератор C/A кода имеет частоту 1023 МГц и период $1,023^7$, который соответствует мс. Используемый C/A код (PRN код), который похож на золотой код⁸ и имеет хорошие корреляционные свойства, генерируется сдвиговым регистром обратной связи⁶.

Процесс модуляции, описанный выше, называется DSSS модуляцией, при этом код C/A играет важную роль в этом процессе. Так как все спутники передают на одной частоте (1 575.42 МГц), код C/A содержит идентификацию и информацию, сгенерированные каждым спутником. Код C/A является произвольной последовательностью 1023 битов, называемой псевдослучайным шумом (PRN). Эта сигнатура, которая продолжается миллисекунду и уникальна для каждого спутника, постоянно повторяется. Следовательно, спутник всегда идентифицирован соответствующим кодом C/A.

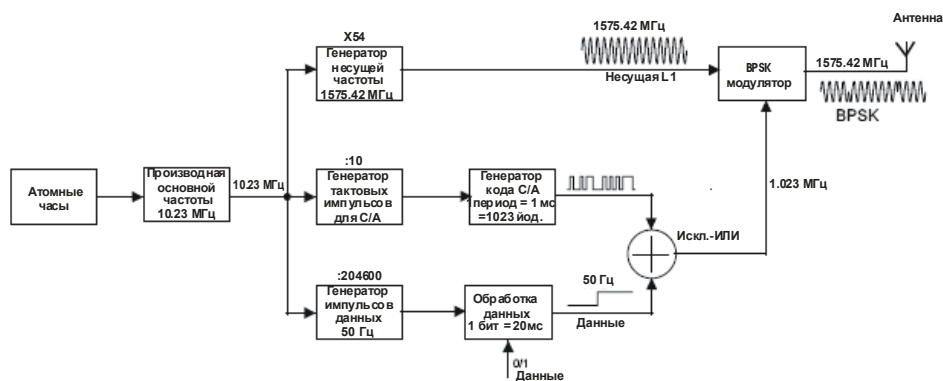


Рис.20 Подробная блочная система GPS спутника

⁵ Форма мультиплексирования, которая делит радиоканалы, используя псевдослучайную последовательность для каждого пользователя. CDMA это форма "spread-spectrum" сигнала, при которой модулированный кодовый сигнал имеет большую ширину по частоте, чем передаваемые данные.

⁶ Сдвиговый регистр, в котором входной бит является линейной функцией предыдущего состояния.

⁷ Время передачи для отдельных битов в последовательности с псевдодиапазоном.

⁸ Золотой код является установкой бинарных последовательностей. Взять две последовательности одной длины n, такие, что имеют только три общих значения. Набор n операций exclusive-ors двух последовательностей в различных фазах (то есть относительно всех позиций), вместе с самими последовательностями и есть Золотой код. Операция exclusive or двух Золотых кодов даст другой Золотой код в некоторой фазе.

2.3 Управляющий сегмент

Управляющий сегмент (OCS), состоит из основной управляющей станции, расположенной в штате Колорадо, пяти контрольных станций, оснащенных атомными часами, расположенных вокруг земного шара около экватора, и трех управляющих наземных станций, которые передают информацию спутникам.

Наиболее важные задачи управляющего сегмента:

- Наблюдение за перемещением спутников и обработка орбитальных данных (эфимерис)
- Контроль часов спутника и их работы
- Синхронизация времени спутника
- Ретрансляция точных орбитальных данных, полученных от спутников на связи
- Ретрансляция приблизительных орбитальных данных, полученных от всех спутников (альманах)
- Ретрансляция дальнейшей информации, включая состояние спутника, ошибки времени и т.д.

Управляющий сегмент также наблюдает за искусственным искажением сигналов (SA), для того, чтобы ограничить позиционную точность системы при использовании гражданскими. Точность системы преднамеренно ограничена до мая 2000 по политическим и тактическим соображениям департаментом США (DoD) для спутниковых операторов. Ограничение можно отключить в течение мая 2000, но можно и запустить снова, если необходимо.

2.4 Сегмент пользователя

Сигналам, переданным спутниками, требуется приблизительно 67 мс для достижения пользователя. Хотя сигналы движутся со скоростью света, их транзитное время зависит от расстояния между спутниками и потребителем.

Четыре различных сигнала сгенерированы на приемнике и имеют ту же структуру, что и полученные с 4 спутников. При синхронизации этих сигналов образуется смещение по времени Δt (Рис. 21). Измеренные смещения времени Δt на всех 4 спутниковых сигналах используются для определения транзитного времени сигнала.

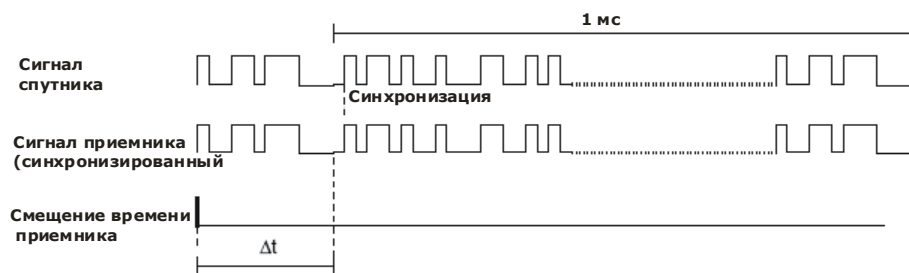


Рис.21 Измерение транзитного времени сигнала

Для определения позиции пользователя требуется радиосвязь с четырьмя другими спутниками. Расстояние до спутников определяет транзитное время сигналов. Приемник затем вычисляет позицию пользователя: широту ϕ , долготу λ , высоту h и время t из диапазона и известной позиции четырех спутников. Выражаясь математическими терминами, это означает, что четыре неизвестных переменных ϕ , λ , h и t определены с помощью расстояния и позиции этих четырех спутников, хотя требуется довольно сложный уровень итерации, который будет иметь важное значение далее.

Как сказано ранее, все спутники передают на одной частоте, но с различным кодом C/A. Этот процесс называется Code Division Multiple Access (CDMA). Восстановление сигнала и идентификация спутников происходит посредством корреляции. Так как приемник может узнать все C/A коды, которые используются, то систематический сдвиг и сравнение каждого кода со всеми поступающими сигналами со спутника приведет к полному совпадению типов (то есть показатель корреляции CF = 1), и точка корреляции будет достигнута. (Рис. 22). Точка корреляции используется для измерения фактического транзитного времени сигнала и для идентификации спутника.

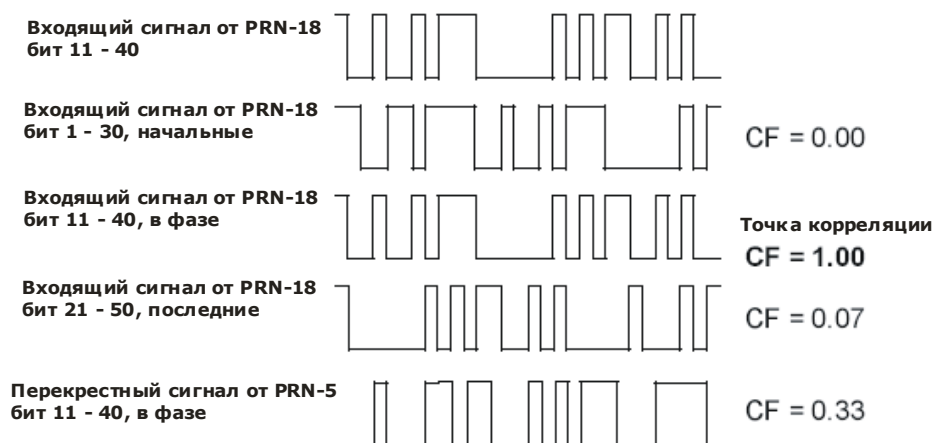


Рис.22 Демонстрация процесса корреляции на протяжении 30 битов

Степень корреляции выражается здесь как CF (показатель корреляции). Диапазон величины CF лежит от минус единицы до плюс единицы и является положительным только при совпадении типов сигналов (битовая частота и фаза).

$$CF = \frac{1}{N} \cdot \sum_{i=1}^N [(mB) - (uB)]$$

mB: число всех совпавших битов
uB : число всех несовпавших битов
N : общее число битов

В результате Эффекта Допплера (все спутники и приемники движутся относительно друг друга) возможно смещение переданных сигналов на ± 6000 Гц относительно точки приема. Определение транзитного времени сигнала и восстановление данных требует не только корреляции со всеми возможными кодами и фазами смещения, но также и идентификацию правильной фазы несущей частоты. Посредством систематического смещения и сравнения со всеми кодами (Рис. 22) и несущей частоты с входящими сигналами спутника находим нужную точку(в которой фактор корреляции равен 1) (Рис. 23). Искомая позиция в несущей частоте известна как бинарная.

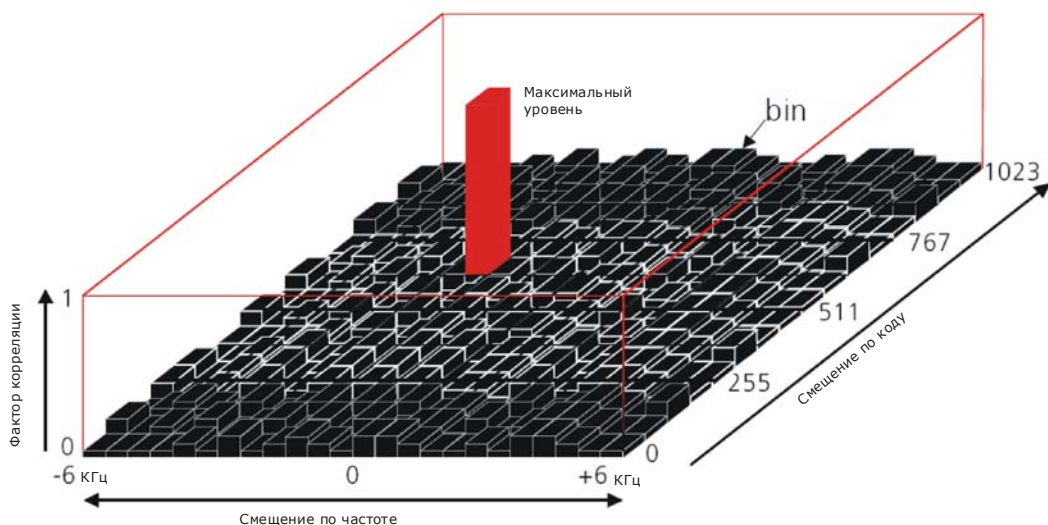


Рис. 23: Исследование максимальной корреляции кода и интервала несущей частоты

Спектральная плотность мощности полученного GPS сигнала лежит примерно на 16 Дб ниже термального шума (см. Рис. 16). Демодуляция и концентрация полученного GPS сигнала дает системное усиление G_G :

$$G_G = \frac{\text{Modulation rate of C/A - Code}}{\text{Data rate of information signal}} = \frac{1023 \text{ bps}}{50 \text{ bps}} = 20,500 = 43 \text{ dB}$$

После концентрации, плотность мощности используемого сигнала становится больше термального шума (Рис. 24).

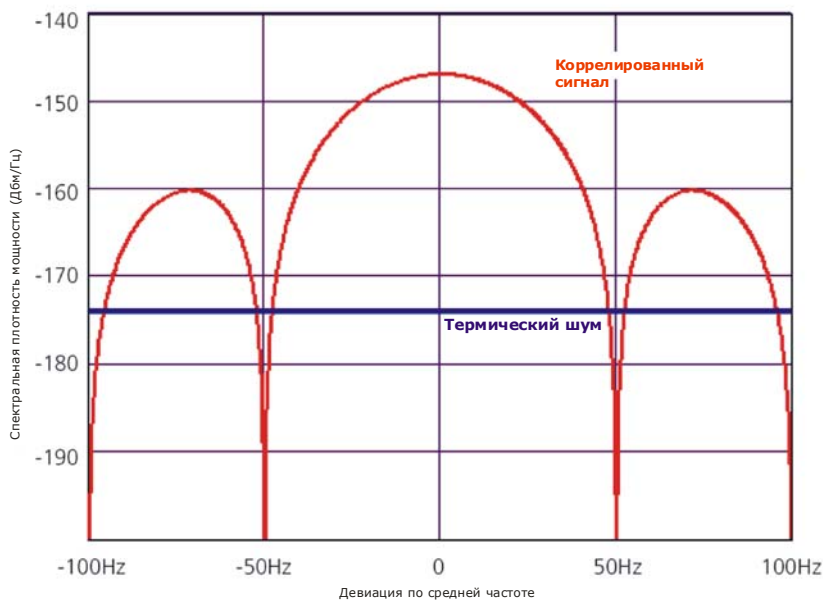


Рис.24 Спектральная плотность мощности коррелированного сигнала и термический сигналный шум

Чувствительность GPS приемника можно улучшить за счет увеличения времени корреляции (Dwell Time).



Более длинный коррелятор означает определенную точку в уровне кодовой частоты, более короткий необходим GPS для интенсивного сигнала антенне. При увеличении значения времени корреляции k , полученное улучшение G_R , то есть разница между сигналом и термическим шумом составляет:

$$G_R = \log_{10}(k)$$

Удвоение Dwell Time увеличивает разницу между сигналом и термическим шумом (чувствительность приемника) на 3 Дб. На практике не проблема увеличить время корреляции до 20 мс. Если значение переданных данных известно, тогда это время можно увеличить даже на еще большее значение.

2.5 Сообщение GPS

2.5.1 Введение

Сообщение [vi] представляет собой непрерывный поток данных, переданный со скоростью 50 бит в секунду. Каждый спутник передает следующую информацию на Землю:

- Системное время и скорректированные значения часов
- Собственные высокоточные орбитальные данные (эфимерис)
- Приближенные орбитальные данные для всех спутников (альманах)
- Состояние системы и т.д.

Навигационное сообщение необходимо для вычисления текущей позиции спутников и для определения транзитного времени сигнала.

Поток данных модулируется несущей волной HF каждого отдельного спутника. Данные переданы на логически сгруппированные блоки, называемые фреймами или страницами. Каждый фрейм 1 500 бит длиной, и его передача занимает 30 секунд. Фреймы разделены на 5 подфреймов. Каждый подфрейм 300 бит длиной, и его передача занимает 6 секунд. Для передачи всего альманаха требуется 25 различных фреймов (или страниц). Время передачи для альманаха - 12.5 минут. Приемник GPS должен получить весь альманах для работы (напр. для своей первичной инициализации).

2.5.2 Структура навигационного сообщения

Фрейм длиной 1 500 бит занимает 30 секунд для передачи. 1 500 бит разделены на пять подфреймов длиной 300 бит (время передачи 6 секунд). Каждый подфрейм, в свою очередь, разделен на 10 слов, каждое из которых длиной 30 бит. Каждый подфрейм начинается со слова телеметрии и слова handover (HOW). Полное сообщение навигации состоит из 25 фреймов (страниц). Структура навигационного сообщения проиллюстрирована на Рис. 25.

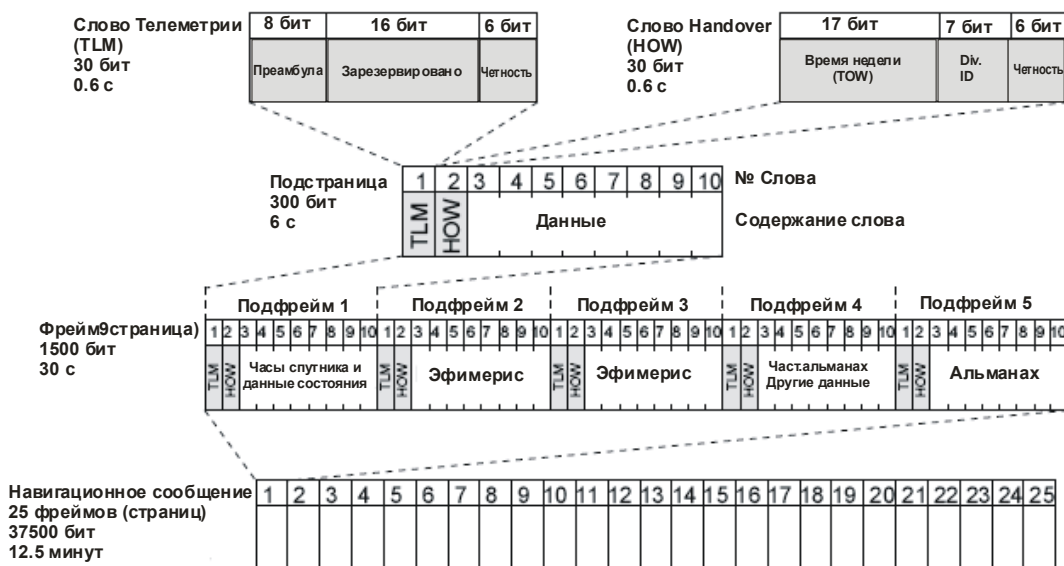


Рис. 25 Структура полного навигационного сообщения

2.5.3 Информация в подфреймах

Фрейм разделен на пять подфреймов, каждый из которых передает различную информацию.

- Подфрейм 1 содержит значения времени передающего спутника, включая параметры для коррекции задержки транзитного времени сигнала и часов на борту спутника, а также информацию о состоянии спутника и оценку позиционной точности спутника. Также подфрейм передает так называемый 10 - битовый недельный номер (диапазон значения от 0 до 1023 может быть представлен 10 битами). Время GPS начинается в воскресенье, 6 января 1980 в 00:00:00 часов. Каждые 1024 недели число недель обнуляется.
- Подфреймы 2 и 3 содержат данные эфимериса передающего спутника. Эти данные обеспечивают очень точную информацию о спутниковой орбите.
- Подфрейм 4 содержит данные альманаха о спутниках с номерами от 25 до 32 (обратите внимание - каждый подфрейм может передать данные только одного спутника), различие между GPS и UTC временем и информация относительно любых ошибок измерения вызваны ионосферой.
- Подфрейм 5 содержит данные альманаха о спутниках с номерами от 1 до 24 (обратите внимание - каждый подфрейм может передать данные только одного спутника). Все 25 страниц передаются вместе с информацией о состоянии спутников с номерами от 1 до 24.

2.5.4 TLM и HOW

Первое слово каждого фрейма, слово телеметрии (TLM), содержит последовательность из 8 бит преамбулы (10001011), которая используется для синхронизации, следующие 16 бит зарезервированы для зарегистрированных пользователей. Как и во всех словах, конечные 6 бит слова телеметрии - биты четности.

Слово Handover (HOW), следует сразу за словом телеметрии в каждом подфрейме. Слово Handover имеет 17 бит (диапазон значений от 0 до 131071 может быть представлен 17 битами) и содержит в пределах своей структуры стартовое время для следующего подфрейма, которое передается как время недели (TOW). Счетчик TOW начинается со значения 0 в начале недели GPS (период перехода с субботы 23:59:59 на воскресенье 00:00:00 часов) и увеличивается на 1 каждые 6 секунд. Так как в неделе 604,800 секунд, счетчик работает от 0 до 100,799, затем обнуляется. Маркер вклинивается в поток данных каждые 6 секунд и передает HOW для синхронизации с кодом P. Биты 20 .. 22 используются в слове Handover для идентификации только что переданного подфрейма.

2.5.5 Разбиение на 25 страниц

Полное сообщение навигации требует 25 страниц и занимает 12.5 минут. Страница или фрейм разделены на пять подфреймов. В случае подфреймов 1 .. 3, информационное содержимое одинаково для всех 25 страниц. Это означает, что приемник имеет все значения часов и данные эфимериса от передающего спутника каждые 30 секунд.

Единственное различие в случае подфреймов 4 и 5 – в организации переданной информации.

- В случае подфрейма 4, страницы 2, 3, 4, 5, 7, 8, 9 и 10 ретранслируют данные альманаха со спутников с номерами от 25 до 32. В этом случае, данные альманаха одного спутника передаются на одну страницу. Страница 18 передает значения коррекции из-за ионосферической сцинтилляции, а также разницу между UTC и GPS временем. Страница 25 содержит информацию о конфигурации всех 32 спутников (то есть блочное присоединение) и о состоянии спутников с номерами 25 ... 32.
- В случае подфрейма 5, страницы 1...24 ретранслируют данные альманаха со спутников с номерами от 1 до 24. В этом случае, данные альманаха для одного спутника передаются на одну страницу. Страница 25 передает информацию о состоянии спутников с номерами 1...24 и действительное время альманаха.

2.5.6 Сравнение данных альманаха и эфимериса

Используя данные эфимериса и альманаха, спутники движутся по орбитам и, следовательно, координаты определенного спутника можно найти в любой момент времени. Различие между переданными величинами состоит главным образом в точности чисел. В следующей таблице (Таблица 2), сравниваются два варианта чисел.

Информация	Эфимерис, число бит	Альманах, число бит
Квадратный корень основной полуоси орбитального эллипса a	32	16
Эксцентриситет орбитального эллипса e	32	16

Таблица 2 Сравнение данных альманаха и эфимериса

Для объяснения терминов, использованных в Таблице 2 см. Рис. 26.

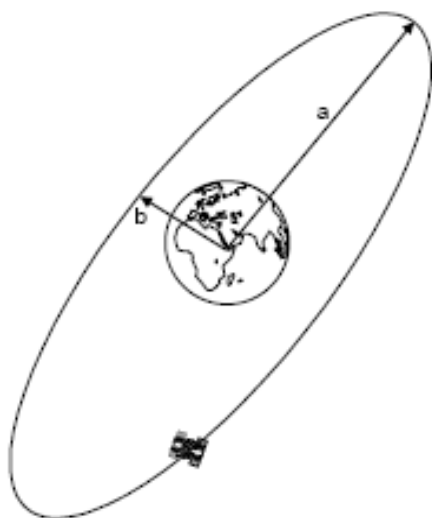


Рис.26 Термины эфимериса

Основная полуось орбитального эллипса: **a**

Основная полуось орбитального эллипса: **b**

Эксцентриситет орбитального эллипса: **e**
$$e = \sqrt{\frac{a^2 - b^2}{a^2}}$$

2.6 Обновление GPS

2.6.1 Процедура новой модуляции, BOC

Для того чтобы все спутники передавали одну частоту, GPS сигналы модулируются специальным кодом. Этот код состоит из Pseudo Random Noise Code (PRN) 1023 нулей или единиц и известен как C/A-код. Код с периодом в 1 мс имеет скорость передачи 1.023 Мбит/с. Код повторяется непрерывно и из-за своей уникальной структуры позволяет приемнику идентифицировать от каждого спутника его сигнал.

Модуляция сигнала данных достигается с помощью операции exclusive-or (EXOR) (Рис.27). Результат носит название Binary Phase Shift Keying (BPSK(1)). Сигнал номинальной или базовой частоты генерируется одними из атомных часов, и все спутниковые сигналы являются производными от него. Номинальная или базовая частота затем модулируется кодом C/A Code со скоростью $1 \cdot 1.023$ Мбит/с.

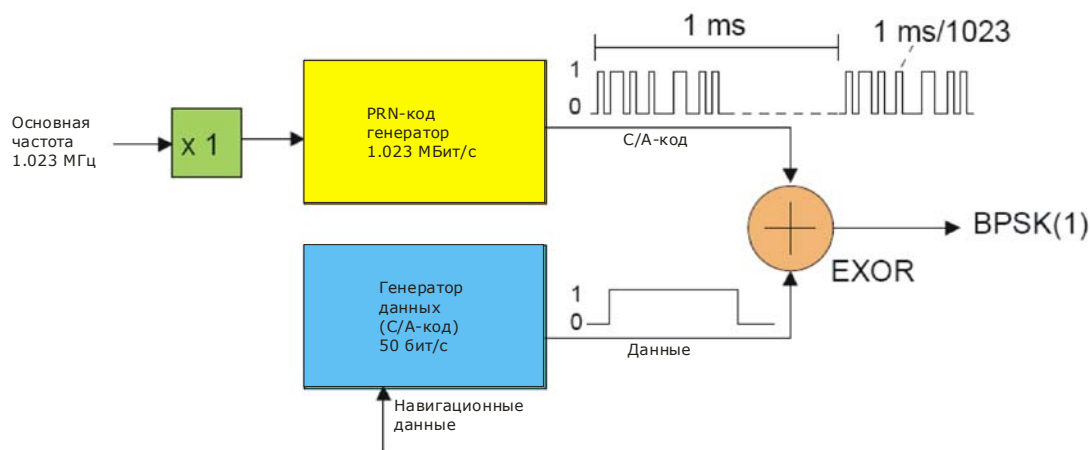


Рис. 27: С BPSK сигнал навигационных данных является первой модуляцией кодом

В будущем системы GPS и Европейская GALILEO будут использовать процесс новой модуляции под названием Binary Offset Code Modulation (BOC). С BOC BPSK сигнал подвергается дальнейшей модуляции [vii]. Частота модуляции всегда кратна базовой частоте 1.023 МГц. Свойства этой модуляции передаются специфическим способом. Например, BOC(10,5) означает, что частота модуляции равна 10 базовым частотам ($10 \cdot 1.023$ МГц) и скорость C/A кода в пять раз больше базовой ($5 \cdot 1,023$ Мбит/с) (Рис 28).

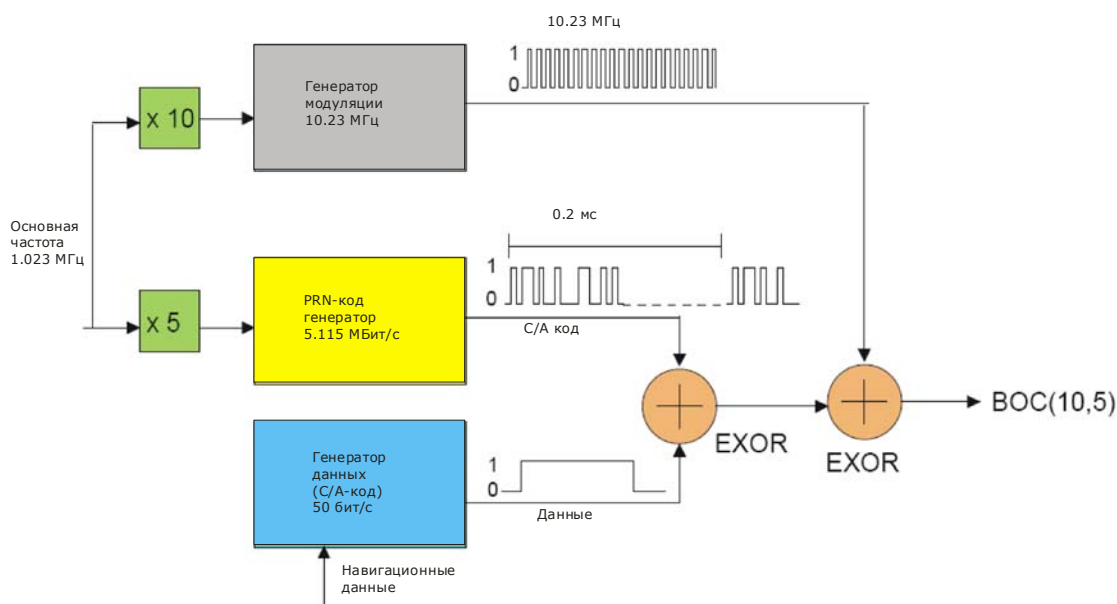


Рис. 28: Модуляция в будущем: BOC(10,5)

Благодаря BOC сигнал будет лучше распространяться над полосой пропускания и влияние отраженного сигнала на приемник навигационного сигнала будет меньше по сравнению с BPSK. При одновременном использовании BPSK(1) и BOC(1,1) их влияние друг на друга практически отсутствует, так как максимумы плотностей мощности разделены (Рис. 29).

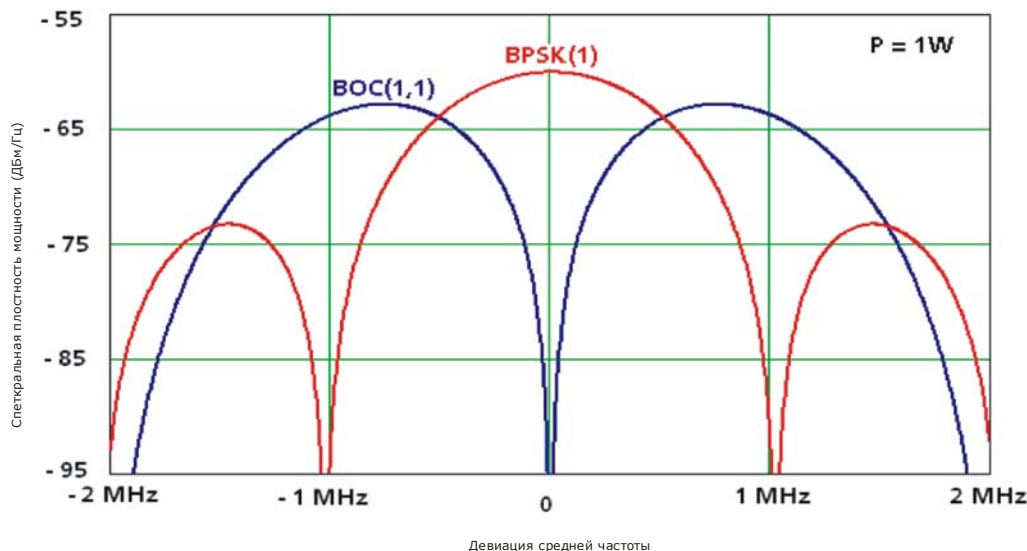


Рис. 29: С BPSK(1) и BOC(1,1) максимумы сигнала разделены (интенсивность сигнала составляет 1 W)

2.6.2 GPS модернизация

С момента активации GPS системы в 1978 все спутники передает следующие три сигнала на Землю:

- На L1-частоте (1575.42 МГц): один гражданский сигнал (SPS-сервис с C/A-сигналом, BPSK(1)) и один военный сигнал (PPS-сервис с P(Y)-сигналом, BPSK(10))
- На L2-частоте (1227.60 МГц): второй военный сигнал.

U.S.DoD планируют улучшить структуру GPS сигнала (Рис. 30). Для гражданских приложений введение второй и третьей частот очень важно; тогда больше частот можно использовать для установления позиции, при этом влияние ионосферы на транзитное время сигнала может быть уменьшено или даже сведено к нулю. Эта компенсация возможна, поскольку скорость передачи в ионосфере с зависит от частоты. В добавление к двум новым сигналам модернизация GPS обеспечит увеличение интенсивности сигнала для гражданских пользователей, предоставив возможности, как для военных приложений.

25 сентября 2005 года первый из восьми новых спутников типа IIR-M (Блок 2, Replenishment and Military) был доставлен на орбиту. 16 декабря 2005 года спутник был готов к передаче. Запуск остальных семи спутников начнется еще до 2006. Эти новые спутники дополнительно передают следующее:

- Новый гражданский сигнал 1227.60 МГц, так называемая L2C частота.
- Вспомогательные военные сигналы 1575.42 МГц и 1227.60 МГц: M сигналы, использующие BOC(10,5) модуляцию.

Новое поколение спутников запланировано к концу этой декады. Новая серия будет иметь обозначение IIF (Блок 2, Follow-ON) и III (Блок 3). Ниже приведены наиболее важные характеристики этих спутников:

- Новый гражданский сигнал 1176.45 МГц (L5 частота). Этот сигнал более устойчив, и его можно использовать в авиации при критических посадках.
- Увеличение интенсивности сигналов M (= M+) посредством использования концентрирующих лучевых антенн.
- Улучшение структуры C/A сигнала для гражданской частоты L1. (определенной как L1C).

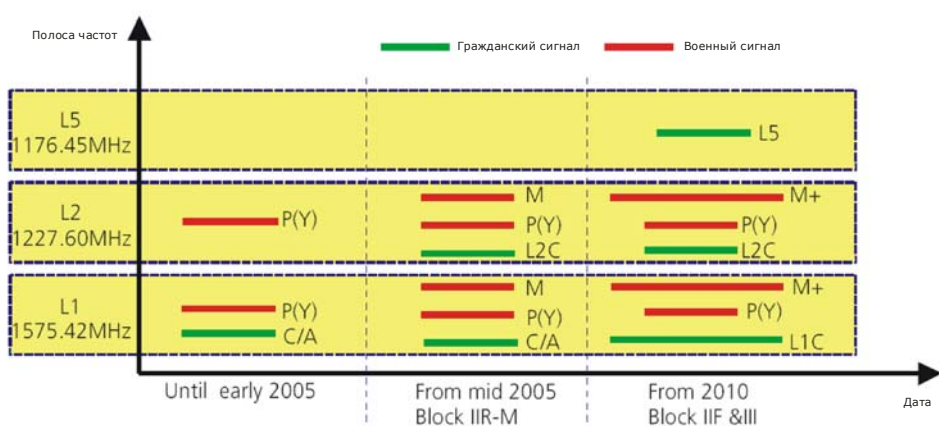


Рис. 30: С модернизацией увеличено количество доступных GPS частот

Наземные станции GPS также будут обновлены. Данная разработка должна быть полностью закончена и введена в действие к середине следующей декады. Новые сигналы станут доступны пользователям.

3 GLONASS и GALILEO

Если Вы хотите . . .

- знать, как работает Российская навигационная система GLONASS
- понимать, почему была разработана GLONASS
- знать, какая система будет активирована в Европе
- понимать, почему GALILEO предоставит различные сервисы
- знать, что SAR означает для моряков
- знать, как работает процесс новой модуляции BOC

тогда эта глава для Вас!

3.1 Введение

28 декабря 2005 года первый спутник GALILEO был выведен на орбиту. Спутник, называемый GIOVE-A начал новую эпоху. Первое время в Европе также активно внедрялась спутниковая навигация. GPS должен иметь конкуренцию: вероятно, в течение последующих пяти или шести лет будет доступно три независимых GNSS системы. USA продолжит поддерживать GPS, Россия и Европейский союз будут использовать свои системы GLONASS и GALILEO. С тремя функционирующими GNSS системами у нас будет возможность более точного позиционирования, и также появятся различия.

GPS также будет модернизироваться в обозримом будущем и станет более доступным(см. 2.6).

Данная глава рассматривает еще не полностью работающую систему GLONASS и будущую систему Европы GALILEO.

3.2 Российская система: GLONASS

GLONASS - это аббревиатура GNSS системы, в настоящее время используемой Российским военным министерством. Название GLONASS означает **G**lobal **N**avigation **S**atellite **S**ystem. Программа впервые стартовала в Советском Союзе, а сейчас при Содружестве Независимых Государств (СНГ). Первые три тестовых спутника были запущены на орбиту 12 октября 1982 года. Наиболее важные характеристики этой системы:

- 24 запланированных спутника (21 стандартны + 3 резервных). Такого числа никогда не было. Относительно короткое время жизни отдельных спутников от 3 до 4 лет воспрепятствовало завершению системы.
- 3 орбитальных уровня с углом 64.8° от экватора (это самый высокий угол из всех GNSS систем, он позволяет иметь хороший прием в полярных областях).
- орбитальная высота 19,100 км
- орбитальный период 11 ч 15.8 мин
- Каждый GLONASS спутник передает два кода (C/A и P-код) на двух частотах. Каждый спутник передает одинаковые коды (PRN), но на различных частотах в пределах 1602 МГц и 1246 МГц. Эти связанные частоты должны быть изменены впоследствии.

3.2.1 Состав GLONASS

В составе системы GLONASS необходимы 24 рабочих спутника. Вследствие политической нестабильности в Советском Союзе и других задержек и проблем 18 августа 2006 года только 14 рабочих спутника присутствуют на орбите [viii]. СНГ планирует доработать систему в конце 2008 года. Три спутника на замену были успешно запущены 25 декабря 2005 года. Два из трех спутников относятся к М серии, которая имеет время жизни 7-8 лет. Эти новые спутники передают два гражданских сигнала. После 2007 года будет запущен первый спутник К серии. Время его жизни продлено до 10-12 лет, и он передает три гражданских сигнала.



Рис. 31: GLONASS-M спутник (Источник ESA)



Рис. 32: Запуск носителя Протон

3.3 GALILEO

3.3.1 Обзор

GALILEO является Европейской GNSS системой. Европейский союз (EU) совместно с European Space Agency (ESA) разработали данную систему. EU и ESA вместе образуют зонтичную организацию: совместное предприятие GALILEO (GJU, с центральным офисом в Брюсселе). GJU наблюдает и координирует все этапы разработки, тестирования и реализации. GJU гарантирует свою ответственность за администрирование данной программы. Правительства Германии, Италии, Франции, UK, Испании и Бельгии в сумме несут примерно 85% издержек.

GALILEO будет состоять из созвездия спутников на трех циклических орбитах на высоте 23,616 км над Землей. Эти спутники поддерживаются сетью наземных станций.

Ключевые аргументы по введению GALILEO:

- **Достижение независимости от США.** Есть всего две системы спутниковой навигации: Американская GPS и Российская GLONASS. Обе были задуманы с военными целями. На данный момент Российская система не имеет доступных гражданских приложений, поэтому Европейская GALILEO будет единственной альтернативой монополии GPS и Американской промышленности. GPS контролируется Американским правительством, которое может в случае кризиса ограничить или деактивировать систему. Это подчинение Американцам не устраивает Европейцев. Тем не менее, военные США заявили, что готовы разрушить систему GALILEO в случае угрозы безопасности США
- **Увеличение точности позиционирования.** GALILEO планируется более точной, чем GPS. Это расширит возможности, обеспечит точность в пределах от 4 до 15 м. Сервис безопасности будет иметь точность от 4 до 6 м. Чувствительность приема отраженного сигнала также будет снижена. Данное преимущество будет достигнуто благодаря BOC модуляции. GPS также добавит BOC после модернизации.
- **Получение только гражданской навигационной системы.** GALILEO будет разработана в соответствии с гражданскими целями; однако, также она сможет обеспечить функции безопасности. В противовес военно-направленному GPS, GALILEO гарантирует функциональность частных сервисов.
- **Предоставление большего количества возможностей.** GALILEO будет иметь пять различных назначений. Для сравнения, GPS на данный момент имеет только два. В случае модернизации число GPS возможностей для гражданского населения возрастет.
- **Предоставление функции поиска и спасения.** Функции поиска и спасения уже предлагались другими организациями. Новое в GALILEO - подтверждение тревоги.
- **Увеличение безопасности посредством интеграции сообщений.** GALILEO будет более надежной, так как имеет интеграцию сообщения. Это позволит сразу оповестить пользователя об ошибках в работе. Выше этого – гарантия доступности. Для открытого сервиса не было ни гарантии доступности, ни интеграции сообщений. Данные возможности доступны только через EGNOS⁹.
- **Занятость.** Эксперты подсчитали, что к 2020 Европейская спутниковая система GALILEO будет предоставлять 130,000-180,000 рабочих мест. С начальными инвестициями в размере шести миллиардов евро (вначале смета была на три), GALILEO окупит себя и принесет прибыль в семьдесят четыре миллиарда евро [ix].
- **GNSS Know-How.** Большинство производителей спутниковых навигационных систем размещено в США. Спутники и аксессуары к ним, навигационные приемники, измерительные приборы и т.д. в основном разрабатываются и продаются вне Европы. С GALILEO Европа должна приобрести опыт и обеспечивать внутреннюю промышленность квалифицированными кадрами.
- **Улучшение охвата спутниковыми сигналами.** GALILEO обеспечит лучший прием в городах с высокой широтой. Это возможно, потому что спутники GALILEO имеют орбиты под углом 56° от экватора на высоте 23,616 км.

⁹ European Geostationary Navigation Overlay Service

В дополнение, современные GNSS приемники могут различать GPS и GALILEO сигналы. Это увеличивает число видимых спутников, от которых можно получить сигналы, тем самым расширяя зону покрытия и повышая точность.

3.3.2 Планируемые сервисы GALILEO

Для критических приложений GALILEO обеспечит информацию о работоспособности системы для гарантии точности позиционирования. Под работоспособностью подразумевается надежность предоставляемых данных. Пользователи будут быстро (за 6 секунд) получать предупреждение о том, что точность системы опустилась ниже данного минимума. Операторы GALILEO считают, что эти предупреждения достаточны даже для критических приложений (например, авиационные посадки). Каждый сервис обеспечивает различные требования по функциям, точности, доступности, работоспособности и другим параметрам.

3.3.2.1 Открытый сервис, OS

Открытый сервис (OS) предлагается для массовых приложений. Он предоставляет бесплатные сигналы для определения позиции и времени. Приложения с низкими требованиями по точности будут использовать недорогие одночастотные приемники. Так как передаваемые частоты от GALILEO и GPS (L1) одинаковы для такого приложения, навигационные приемники будут комбинировать сигналы. Из-за увеличения числа спутниковых сигналов будет повышен уровень приема даже в плохих условиях (например, в городе). OS не предоставляет информацию о работоспособности системы, и операторы GALILEO не дают гарантию доступности и не несут ответственность.

3.3.2.2 Коммерческий сервис, CS

Коммерческий сервис предусмотрен для рыночных приложений с более высокими требованиями, чем OS. CS предназначен обеспечить ряд полезных услуг своим пользователям в обмен на определенную плату. Типичными примерами таких приложений служат сервисы с высокой скоростью передачи данных, с гарантией доступности, с точным временем обслуживания, а также с локальной коррекцией сигналов для позиционирования с максимальной точностью.

3.3.2.3 Сервис по обеспечению безопасности, SoL

Данный сервис предназначен для транспортных приложений, для которых ухудшение навигации без предупреждения чревато угрозой для жизни. Первое отличие от OS – наличие высокого уровня информации о целостности системы, предусмотренного для таких приложений как морская навигация, авиация и железные дороги. Данный сервис доступен только при наличии сертифицированного приемника с двойной частотой. Для достижения необходимой защиты сигналов SoL будет использоваться авиационные каналы связи (L1 и E5).

3.3.2.4 Общий регулируемый сервис, PRS

GALILEO является гражданской системой, которая также будет обеспечивать стабильность и защитные сервисы для правительственных (в том числе военных) целей. Общий регулируемый сервис (PRS) доступен таким клиентам как полиция, пожарные департаменты и пограничные патрули. Доступ к сервису ограничен и контролируется гражданским агенством. PRS должен быть всегда доступен вне зависимости от условий, особенно во время кризисных ситуаций, при которых другие сервисы могут быть разрушены. PRS будет независимым от других сервисов и будет иметь высокий уровень стабильности сигнала. PRS также будет защищен от электронного подавления.

3.3.2.5 Поиск и спасение, SAR

SAR сервис будет использоваться для поиска и спасения людей. Аварийные передатчики и спутники будут показывать местоположение отдельных людей, транспортных средств, на земле и на воде в аварийных ситуациях. В конце 1970 года США, Канада, СССР и Франция разработали спутниковую систему для размещения аварийных маяков. Систему назвали SARSAT (**S**earch **A**nd **R**escue **S**atellite-**A**ided **T**racking). Российское название системы "COSPAS". COSPAS-SARSAT система использует шесть LEO (Low Earth Orbit) и пять GEO (geostationary) спутников. GALILEO-SAR сервис планирует расширить и улучшить существующую COSPAS-SARSAT систему[x] следующими способами:

- Немедленный прием сигнала тревоги из любой точки на Земле (сейчас есть задержки примерно на час).

- Точное определение позиции аварийных маяков(до метров, а не с текущей точностью в 5 км).
- Улучшение эффективности пространственного сегмента посредством увеличения количества доступных спутников для преодоления помех (30 GALILEO спутников в средних орбитах будут добавлены к существующим LEO и GEO спутникам COSPAS-SARSAT системы).

GALILEO введет новую SAR функцию; повторение аварийного сигнала (от оператора SAR по аварийному радио). Это должно упростить спасение и уменьшить число ложных тревог. GALILEO SAR сервис будет работать совместно с системой COSPAS-SARSAT, с характеристиками и функциями под управлением IMO(International Maritime Organization) и ICAO (International Civil Aviation Organization).

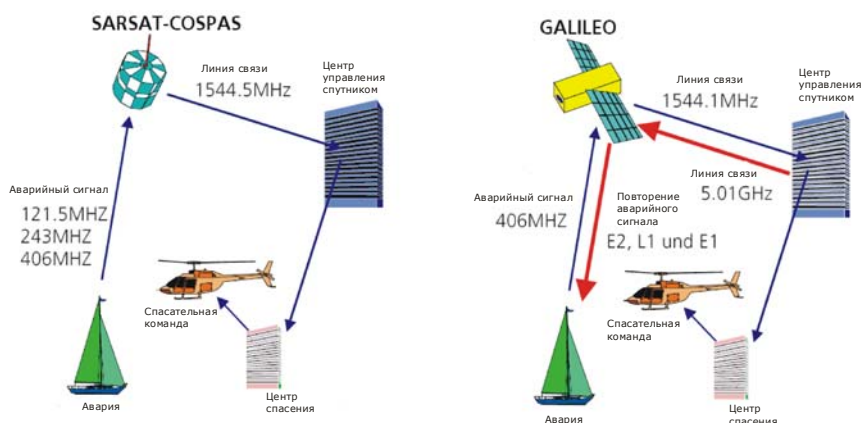


Рис. 33: В отличие от SARAT-COSPAS, GALILEO's SAR сервис обеспечивает повторение аварийного сигнала

3.3.3 Точность

В зависимости от сервиса GALILEO обеспечит разные уровни точности [xi]. При использовании приемника с двумя частотами точность будет выше за счет компенсации ошибок транзитного времени сигнала из-за условий ионосферы. При использовании локальных измерений (то есть DGPS) точность может возрасти до сантиметров. Таблица 3 показывает ожидаемую точность в 95% измерений.

Сервис	Тип приемника	Точность горизонтального позиционирования	Точность вертикального позиционирования
OS	Одна частота	15 м	35 м
	Двойная частота	4 м	8 м
CS	Двойная частота	<1 м	<1 м
PRS	Одна частота	6.5 м	12 м
SoL	Двойная частота	4-6 м	4-6 м

Таблица 3: Планируемые уровни точности GALILEO

3.3.4 GALILEO технология

Пространственный сегмент GALILEO будет состоять из 30 спутников (3 из которых будут активными резервными спутниками). Они будут размещены на циркулярной орбите на высоте 23,616 км, обеспечивая широкую зону охвата. Спутники (каждый весит 680 кг и имеет размеры 2.7 м x 1.2 м x 1.1 м) будут равномерно распределены на трех орбитах, имеющих угол в 56° к экватору (Рис. 34) и период 14 часов 5 минут.

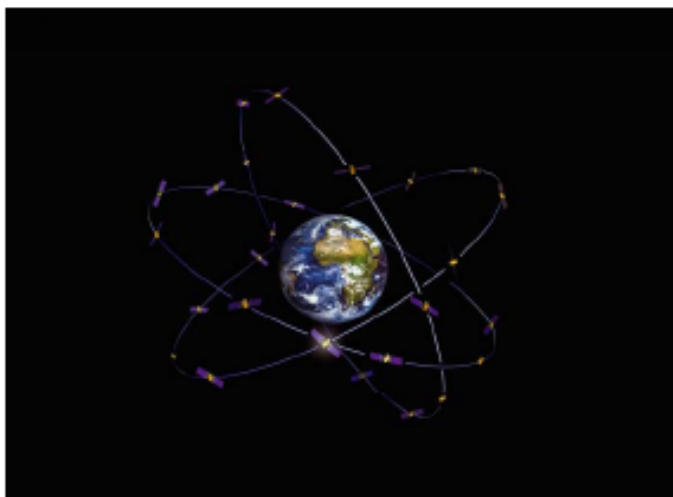


Рис. 34: Созвездие спутников GALILEO (картинка: ESA-J.Huart)

Спутники GALILEO имеют время жизни 15 лет. Необходимая мощность 1500 Вт будет генерироваться большими солнечными батареями. Для поддержки текущих навигационных данных спутники будут иметь радиокontakt с наземным сегментом системы с интервалом в 100 минут.



Рис. 35: GALILEO спутник (картинка: ESA-J.Huart)

Наземный сегмент системы будет состоять из серии управляющих центров, образующих глобальную сеть станций для различных задач. Сюда входит мониторинг целостности сигнала и координирование сервисов поиска и спасения.

Для навигации и управления спутниками планируются управляющие центры. Ядро наземного сегмента будет состоять из двух управляющих центров GALILEO в Германии и Италии [xii].

Основным управляющим центром будет German Aerospace (DLR) Center at Oberpfaffenhofen. Отсюда контроль за нормальной работой 30 спутников планируется на 20 лет. Вторым центром со своими специфическими обязанностями по контролю за работой спутников будет центр в Fusino в Италии. Он также является резервным в случае возникновения каких-либо проблем на основном. Управление позиционированием 30 спутников будет поделено между European Satellite Control Center (ESA/ESOC) в Darmstadt, Германия, и French National Space Studies Center (CNES) в Toulouse, Франция. Цепь из 30 мониторинговых станций (IMS), размещенных во всех странах будет управлять целостностью спутниковых сигналов. Два управляющих центра будут оценивать информацию IMS и подавать сигнал тревоги в случае сильного отклонения данных позиции.

Планируется три ракеты Ariane 5, каждая из которых несет восемь спутников (Рис. 36), и три ракеты Союз, каждая из которых несет два спутника GALILEO, ракеты транспортируют спутники на середину земной орбиты (MEO).



Рис. 36: Ariane 5 ракета доставляет 8 GALILEO спутников в космос (GALILEO-industries.net)

3.3.4.1 Сигнальные частоты

В зависимости от сервиса будут различные частоты, формы модуляции и скорости передачи данных (См. Таблицу 4 и Рис. 37). Принципиальными формами модуляции будут BPSK и BOC. Исключение составляют E5a и E5b, в которых используется измененная версия модуляции BOC под названием AltBOC.

Частота (МГц)	Название сигнала	Максимальная частота (МГц)	Сервисы	Модуляция	Скорость (Бит/с)
E5: 1191.795	E5a	1176.45	OS, CS	AltBOC(15, 10)	50
	E5b	1207.14	OS, CS, SoL	AltBOC(15, 10)	250
E6 : 1278.75	E6b	1278.75	CS	BPSK(5)	1000
	E6a	1268.52 & 1288.98	PRS	BOC(10, 5)	100
L1: 1575.42	L1B	1574.397 & 1576.443	OS, CS, SoL	BOC(1, 1)	250
	E2 & E1	1560.075 & 1590.765	PRS	BOC (15, 2.5)	100

Таблица 4: План частот GALILEO и представление сервисов

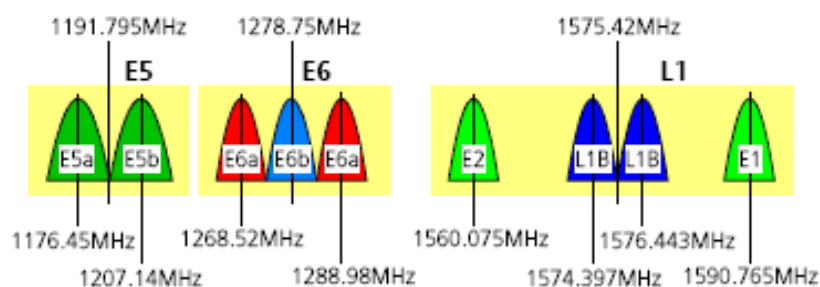


Рис. 37: Частоты для GALILEO

Дополнительно E5a, E5b, E6 и L1 передают пилотный канал. Пилотный канал не имеет навигационных данных и его фаза смещена на 90° по отношению к другим сигналам. Это уменьшает время обнаружения спутника.

Выше полосы L1, GALILEO и GPS необходимо поделить частоты. В этой полосе GPS имеет 3 сигнала: C/A-сигнал, P(Y)-сигнал и новый M-сигнал. GALILEO будет использовать только два сигнала: L1B-сигнал и E2/E1 пару. Общее использование данной частотной полосы создало в свое время интенсивный конфликт. Это было до тех пор, пока в июне 2004 года США и ЕС не пришли к соглашению по формам связи и модуляции на данных частотах.

На Рис. 38 изображена плотность мощности сигнала на частоте L1, предполагаем, что мощность всех сигналов одинакова (стандартное значение 1 Вт).

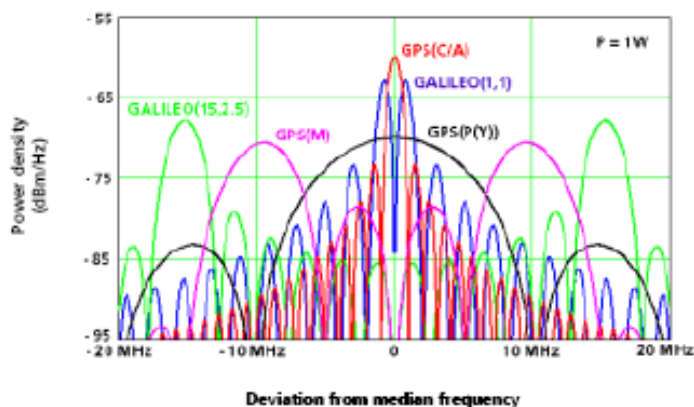


Рис. 38: L1 полоса будет интенсивно использоваться GALILEO и GPS (Плотность мощности стандартна - 1 Вт на сигнал)

3.3.4.2 Запланированные даты

26 июня 2004 года после трудных переговоров США и ЕС пришли к соглашению в Дублине. Целью соглашения было сотрудничество и совместимость GALILEO и американской GPS. Спорные вопросы, как, например, назначение частот и форма модуляции, также были отрегулированы. Все это сделало совместное существование GALILEO и GPS возможным. 10 декабря 2004 года в рекомендации Еврокомиссии Европейский совет подтвердил технические характеристики системы (с акцентом на предоставляемые сервисы[xiii]). Совет адресовал переход от фазы реализации к рабочей фазе и подтвердил участие ЕС в финансировании обеих фаз. В соответствии с этим GALILEO должна стать функционирующей в 2008 году. Коммерческие операции начнутся не раньше 2012 года.

Обслуживание корпорации будет в Тулузе и Лондоне [xiv].

Конструкция системы предполагает четыре фазы:

- **Определение проекта:** целью фазы определения является установка основных параметров и характеристик системы. Фаза была закончена в 2003 году.
- **Разработка и тесты на орбите:** 28 декабря 2005 года первый экспериментальный спутник GIOVE-A был запущен с Российского космодрома Байконур в Казахстане (Рис. 39). GIOVE - это акроним из **GALILEO In-Orbit Validation Element**. 12 января 2006 года GIOVE-A передал первые сигналы. Сигналы были зарегистрированы и проанализированы наблюдательной станцией по изучению атмосферы и радиоволн в Чилболтоне в Британии, а также наземной станцией ESA в Бельгии [xv]. Второй экспериментальный спутник будет запущен на орбиту в конце 2007 года. С GIOVE-A и B EU обеспечит полосы частот для работы GALILEO и определит орбиты для тестовой фазы спутников. Эти спутники будут тестировать важную технологию, атомные часы в жестких условиях космоса. GIOVE-A имеет двое рубидиевых атомных часов (с надежностью примерно 10 нс в день) и GIOVE-B имеет двое пассивных водородно-квантовых часов (с надежностью менее чем 1 нс в день) на борту. После успешного завершения экспериментальной фазы со спутниками GIOVE-A и GIOVE-B будут запущены четыре спутника на орбиту для тестирования (спутники были заказаны 21 декабря 2004 года). С этим "минимальным созвездием" ученые могут увидеть, возможно ли определение точной позиции и местоположения на земле. Вся тестовая фаза должна быть завершена в 2008 году, общая стоимость фазы определения и тестовой оценивается примерно в € 1.1 миллиард (\$US 1.4 миллиарда).



Рис. 39: GIOVE-A и его запуск 28 декабря 2005 года (Картинка ESA)

- **Реализация и запуск всей системы:** в случае успеха двух первых фаз система будет доработана для окончательного функционирования. Оставшиеся спутники (четыре в настоящее время уже работают) будут закончены и запущены на орбиту, также будут достроены необходимые наземные станции. Данная фаза планируется к 2011 году и ее стоимость составит около € 2.1 миллиарда (\$US 2.75 миллиардов). 1/3 часть финансируется государством и 2/3 частными инвесторами.
- **Использование:** как только все спутники окажутся на орбите, система заработает. В конце фазы будет 27 рабочих и 3 резервных спутника на орбите. Будут созданы наземные станции, а также сервисные станции местные и региональные. Годовые издержки оцениваются в € 220 миллионов (\$US 288 миллионов), из которых государственная доля составит рекордную сумму в € 500 миллионов (\$US 655 миллионов) во время запуска системы. В последующие годы основные издержки лягут на плечи частных инвесторов.

12 января 2006 года республика Корея стала участником системы GALILEO. Это шестая страна вне EU после Марокко, Китая, Израиля, Украины и Индии, которая участвует в системе GALILEO. Ведутся переговоры с Аргентиной, Австралией, Бразилией, Канадой, Чили, Малайзией и Мексикой. Другие африканские и азиатские страны также выразили свою заинтересованность в проекте. [xvi].

3.3.5 Наиболее важные свойства трех систем GNSS

В таблице 5 указаны наиболее важные свойства трех существующих (или планирующихся) GNSS систем.

	GPS	Glonass	GALILEO
Начало разработки	1973	1972	2001
Запуск первого спутника	Февраль 22, 1978	Октябрь 12, 1982	Декабрь 28, 2005
Число спутников	минимум: 24 / максимум: 32	Планируется: 24 + 3 пассивных резервных	Планируется: 27 + 3 активных резервных
Орбиты	6	3	3
Угол наклона	55°	64.8°	56°
Высота	20,180 км	19,100 км	23,616 км
Орбитальный период	11 ч 58 мин	11 ч 15.8 мин	14 ч 5 мин
Геодезические данные	Всемирная геодезическая система 1984 (WGS 84)	Параметры Земли 1990 (PZ-90)	Galileo Terrestrial Reference Frame (GTRF)
Система времени ¹⁰	GPS-время	Glonass-время	GST (GALILEO системное время)
Характеристики сигнала	CDMA ¹¹	FDMA ¹²	CDMA
Частоты	2 частоты, третья планируется	24	2 частоты, третья планируется
Шифрование	Военный сигнал	Военный сигнал	CS и PRS сервисы
Сервисы	2 (гражданский + военный) / 4	2 (гражданский + военный)	5
Ответственные	US Department of Defense	Russian Defense Ministry	Civilian Governments of the EU
Достоверность сигнала	В настоящее время не планируется	нет	планируется

Таблица 5: Сравнение свойств систем GPS, GLONASS и GALILEO

¹⁰ Отклонение от указанного UTC

¹¹ Идентификация кода: код отличается у каждого спутника

¹² Идентификация частоты: частота отличается для каждого спутника

4 Вычисление позиции

Если Вам нравится. . .

- понимать, как определяются координаты и время
- знать, что такое псевдодиапазон
- понимать, почему GPS приемник должен произвести оценку позиции перед стартом
- понимать, как решается нелинейное уравнение с четырьмя неизвестными
- знать, какой порядок точности гарантируется оператору GPS системы

тогда **эта глава** для Вас!

4.1 Введение

GNSS системы комбинируют сложный спутник и радиотехнологию для обеспечения навигации приемников с радиосигналами, и демонстрируют множество данных во время передачи, а также идентифицируют передающий спутник. Вычисление позиции с помощью данных сигналов требует математических действий, которые будут описаны в этой главе.

4.2 Вычисление позиции

4.2.1 Принцип измерения транзитного времени сигнала(оценка псевдодиапазона)

Для того чтобы приемник GPS определил свою позицию, он должен получать сигналы времени от четырех других спутников (СП 1... СП 4) для вычисления транзитного времени сигнала $\Delta t_1 \dots \Delta t_4$ (Рис. 20).

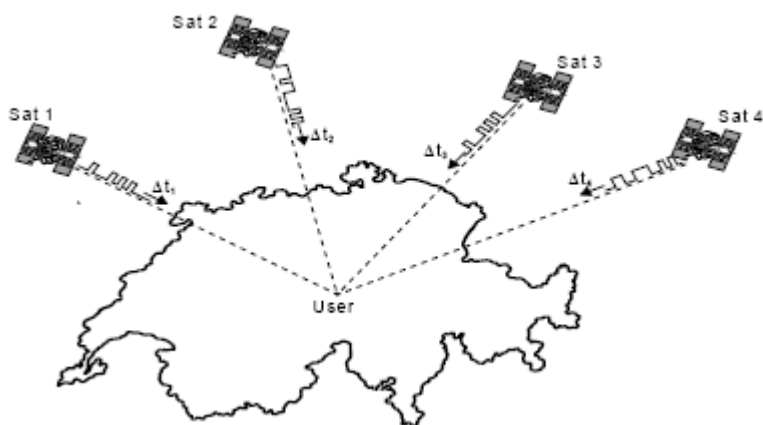


Рис.40 Сигналы от 4 спутников должны быть получены

Вычисления произведены в Декартовой трехмерной системе координат с геоцентрическим началом (Рис. 41).

Диапазон пользователя от четырех спутников R_1 , R_2 , R_3 и R_4 может быть определен с помощью транзитных времен сигналов Δt_1 , Δt_2 , Δt_3 и Δt_4 между ними и пользователем. Так как позиции X_{SAT} , Y_{SAT} и Z_{SAT} спутников известны, нетрудно вычислить позицию пользователя.

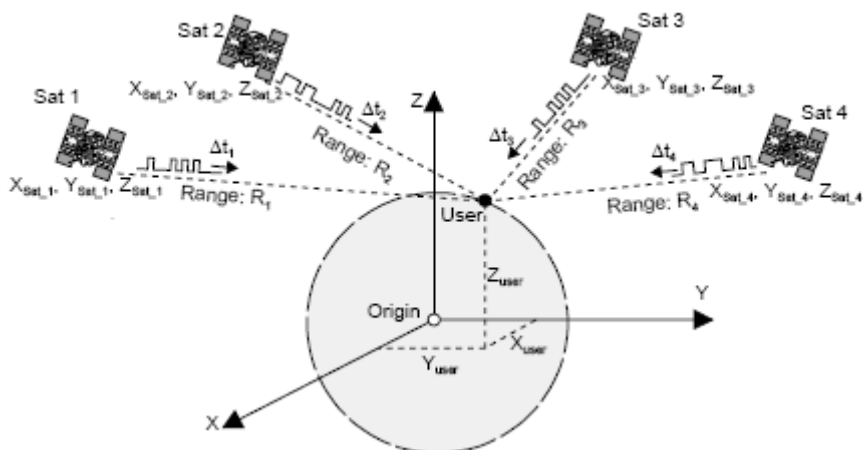


Рис.41 Трехмерная координатная система

Из-за атомных часов на борту спутников, время передачи сигнала со спутника известно с большой точностью. Все спутниковые часы скорректированы или синхронизированы одни с другими и с универсальным временем. Для контраста, часы пользователя не синхронизированы с UTC и, следовательно, идут медленнее или быстрее на Δt_0 . Знак Δt_0 положителен, если часы пользователя быстрее. Результирующая ошибка времени Δt_0 является причиной погрешности измерения транзитного времени сигнала и расстояния R . В результате получается неправильное расстояние, известное под названием псевдо-расстояния или псевдо-диапазона PSR [viii].

$$\Delta t_{measured} = \Delta t + \Delta t_0 \tag{1a}$$

$$PSR = \Delta t_{measured} \cdot c = (\Delta t + \Delta t_0) \cdot c \tag{2a}$$

$$PSR = R + \Delta t_0 \cdot c \tag{3a}$$

- R: действительный диапазон от спутника до пользователя
- C: скорость света
- Δt_1 : транзитное время сигнала от спутника до пользователя
- Δt_0 : разница между часами спутника и пользователя
- PSR: псевдо-диапазон

Расстояние R от спутника до пользователя в Декартовой системе координат может быть вычислено следующим образом:

$$R = \sqrt{(X_{Sat} - X_{User})^2 + (Y_{Sat} - Y_{User})^2 + (Z_{Sat} - Z_{User})^2} \quad (4a)$$

Подставляем (4a) в (3a)

$$PSR = \sqrt{(X_{Sat} - X_{User})^2 + (Y_{Sat} - Y_{User})^2 + (Z_{Sat} - Z_{User})^2} + c \cdot \Delta t_0 \quad (5a)$$

Для того чтобы определить четыре неизвестных переменных ($\Delta t_0, X_{Anw}, Y_{Anw}, Z_{Anw}$), необходимо четыре независимых уравнения

Следующее верно для 4 спутников ($i = 1 \dots 4$)

$$PSR_i = \sqrt{(X_{Sat_i} - X_{User})^2 + (Y_{Sat_i} - Y_{User})^2 + (Z_{Sat_i} - Z_{User})^2} + c \cdot \Delta t_0 \quad (6a)$$

4.2.2 Линеаризация уравнения

Четыре уравнения 6a представляют собой нелинейный набор уравнений. Для его решения нужно сделать линейной корневую функцию согласно модели Тейлора, использующей только первую часть (Рис. 42).

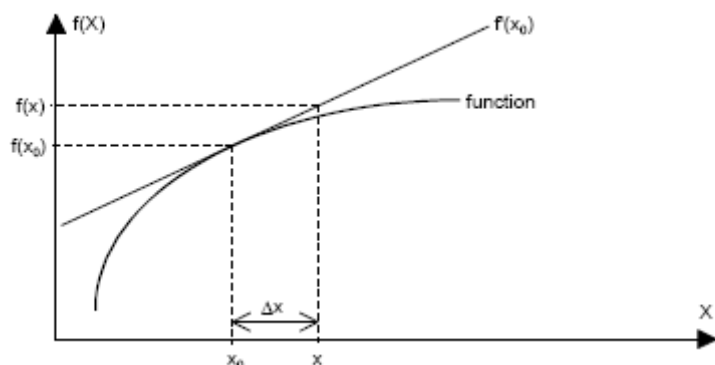


Рис.42 Конверсия последовательности Тейлора

Основная (с $\Delta x = x - x_0$)

$$f(x) = f(x_0) + \frac{f'(x_0)}{1!} \cdot \Delta x + \frac{f''(x_0)}{2!} \cdot \Delta x^2 + \frac{f'''(x_0)}{3!} \cdot \Delta x^3 + \dots$$

Упрощенная (только 1 часть)

$$f(x) = f(x_0) + f'(x_0) \cdot \Delta x \quad (7a)$$

Для линеаризации четырех уравнений (6a) произвольно предполагаемую величину x_0 нужно подставить вместо x .

Для системы GPS это означает, что вместо непосредственного расчета X_{User} , Y_{User} и Z_{User} используется предполагаемая позиция X_{Total} , Y_{Total} и Z_{Total} (Рис. 43).

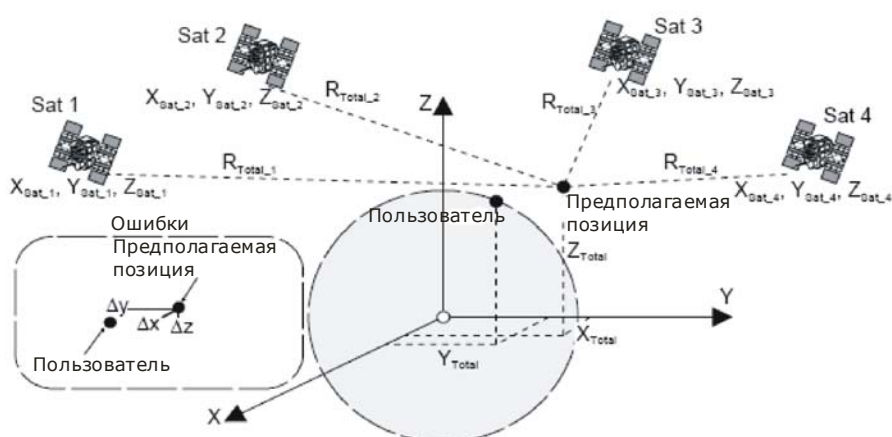


Рис.43 Оценка позиции

Предполагаемая позиция включает в себя ошибку из-за неизвестных переменных Δx , Δy и Δz .

$$\begin{aligned}
 X_{User} &= X_{Total} + \Delta x \\
 Y_{User} &= Y_{Total} + \Delta y \\
 Z_{User} &= Z_{Total} + \Delta z
 \end{aligned}
 \tag{8a}$$

Расстояние от 4 спутников до предполагаемой позиции можно вычислить с помощью следующего уравнения:

$$R_{Total_i} = \sqrt{(X_{Sat_i} - X_{Total})^2 + (Y_{Sat_i} - Y_{Total})^2 + (Z_{Sat_i} - Z_{Total})^2}
 \tag{9a}$$

Уравнение (9a) скомбинируем с (6a) и (7a) и получим:

$$PSR_i = R_{Total_i} + \frac{\partial(R_{Total_i})}{\partial x} \cdot \Delta x + \frac{\partial(R_{Total_i})}{\partial y} \cdot \Delta y + \frac{\partial(R_{Total_i})}{\partial z} \cdot \Delta z + c \cdot \Delta t_0
 \tag{10a}$$

После частичного дифференцирования это даст следующее:

$$PSR_i = R_{Total_i} + \frac{X_{Total} - X_{Sat_i}}{R_{Total_i}} \cdot \Delta x + \frac{Y_{Total} - Y_{Sat_i}}{R_{Total_i}} \cdot \Delta y + \frac{Z_{Total} - Z_{Sat_i}}{R_{Total_i}} \cdot \Delta z + c \cdot \Delta t_0
 \tag{11a}$$

4.2.3 Решение уравнения

После транспонирования четырех уравнений (11 а) (для $i = 1... 4$) для четырех переменных (Δx , Δy , Δz и Δt_0) можно применить правила линейной алгебры:

$$\begin{bmatrix} PSR_1 - R_{Total_1} \\ PSR_2 - R_{Total_2} \\ PSR_3 - R_{Total_3} \\ PSR_4 - R_{Total_4} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{X_{Total} - X_{Sat_1}}{R_{Total_1}} & \frac{Y_{Total} - Y_{Sat_1}}{R_{Total_1}} & \frac{Z_{Total} - Z_{Sat_1}}{R_{Total_1}} & c \\ \frac{X_{Total} - X_{Sat_2}}{R_{Total_2}} & \frac{Y_{Total} - Y_{Sat_2}}{R_{Total_2}} & \frac{Z_{Total} - Z_{Sat_2}}{R_{Total_2}} & c \\ \frac{X_{Total} - X_{Sat_3}}{R_{Total_3}} & \frac{Y_{Total} - Y_{Sat_3}}{R_{Total_3}} & \frac{Z_{Total} - Z_{Sat_3}}{R_{Total_3}} & c \\ \frac{X_{Total} - X_{Sat_4}}{R_{Total_4}} & \frac{Y_{Total} - Y_{Sat_4}}{R_{Total_4}} & \frac{Z_{Total} - Z_{Sat_4}}{R_{Total_4}} & c \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \Delta x \\ \Delta y \\ \Delta z \\ \Delta t_0 \end{bmatrix} \quad (12a)$$

$$\begin{bmatrix} \Delta x \\ \Delta y \\ \Delta z \\ \Delta t_0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{X_{Total} - X_{Sat_1}}{R_{Total_1}} & \frac{Y_{Total} - Y_{Sat_1}}{R_{Total_1}} & \frac{Z_{Total} - Z_{Sat_1}}{R_{Total_1}} & c \\ \frac{X_{Total} - X_{Sat_2}}{R_{Total_2}} & \frac{Y_{Total} - Y_{Sat_2}}{R_{Total_2}} & \frac{Z_{Total} - Z_{Sat_2}}{R_{Total_2}} & c \\ \frac{X_{Total} - X_{Sat_3}}{R_{Total_3}} & \frac{Y_{Total} - Y_{Sat_3}}{R_{Total_3}} & \frac{Z_{Total} - Z_{Sat_3}}{R_{Total_3}} & c \\ \frac{X_{Total} - X_{Sat_4}}{R_{Total_4}} & \frac{Y_{Total} - Y_{Sat_4}}{R_{Total_4}} & \frac{Z_{Total} - Z_{Sat_4}}{R_{Total_4}} & c \end{bmatrix}^{-1} \cdot \begin{bmatrix} PSR_1 - R_{Total_1} \\ PSR_2 - R_{Total_2} \\ PSR_3 - R_{Total_3} \\ PSR_4 - R_{Total_4} \end{bmatrix} \quad (13a)$$

Получение Δx , Δy , Δz используется для повторного вычисления предполагаемой позиции X_{Total} , Y_{Total} и Z_{Total} в соответствии с уравнением (8а).

$$\begin{aligned} X_{Total_New} &= X_{Total_Old} + \Delta x \\ Y_{Total_New} &= Y_{Total_Old} + \Delta y \\ Z_{Total_New} &= Z_{Total_Old} + \Delta z \end{aligned} \quad (14a)$$

Предполагаемые величины X_{Total_New} , Y_{Total_New} и Z_{Total_New} можно теперь ввести в уравнения (13а), используя нормальный итеративный процесс, до тех пор, пока Δx , Δy и Δz станут меньше желаемой ошибки (напр.. 0.1 м). В зависимости от начальной позиции, необходимо от трех до пяти итераций, чтобы ошибка стала менее 1 см.

4.2.4 Итог

Для определения позиции пользователя (или его программного обеспечения) будет использовано последнее измеренное значение или предполагаемая новая позиция, для которой с помощью итераций достигается желаемая величина ошибки Δx , Δy и Δz .

$$\begin{aligned} X_{User} &= X_{Total_New} \\ Y_{User} &= Y_{Total_New} \\ Z_{User} &= Z_{Total_New} \end{aligned} \quad (15a)$$

Полученное значение Δt_0 соответствует ошибке времени пользователя и может быть использовано для коррекции его часов.



4.2.5 Анализ ошибки и DOP

4.2.5.1 Анализ ошибки

Компоненты ошибки в вычислениях пока не приняты во внимание. В случае системы GNSS на общую ошибку влияют несколько причин:

- Спутниковые часы: хотя каждый спутник имеет четверо атомных часов на борту, ошибка времени в 10 нс приводит к погрешности порядка 3 м.
- Спутниковые орбиты: позиция спутника обычно известна в пределах от 1 до 5 м.
- Скорость света: сигналы от спутника до пользователя движутся со скоростью света. Но скорость падает при движении через ионосферу и тропосферу и не может считаться константой.
- Измерение транзитного времени сигнала: потребитель может только определить момент времени, когда получен сигнал от спутника с ограниченной точностью.
- Отражение сигналов: уровень ошибки возрастает из-за приема отраженных сигналов.
- Геометрия спутника: способность определять позицию ухудшается, если четыре спутника, используемых при измерениях закрыты. Эффект геометрии спутника на точности измерений называется DOP(см. Таблицу 6).

Ошибки вызваны различными факторами, которые описаны подробно в Таблице 1, которая включает в себя информацию о горизонтальных ошибках в зависимости от источника.

Применяя корректирующие измерения (**Differential GPS, DGPS**), можно ошибки уменьшить или устранить.

Причина ошибки	Ошибка без DGPS	Ошибка с DGPS
Данные эфимериса	2.1 м	0.1 м
Часы спутника	2.1 м	0.1 м
Эффекты ионосферы	4.0 м	0.2 м
Эффекты тропосферы	0.7 м	0.2 м
Отражение сигнала	1.4 м	1.4 м
Влияние приемника	0.5 м	0.5 м
Общее RMS значение	5.3 м	1.5 м
Общее RMS значение (фильтрованное)	5.0 м	1.3 м

Таблица 6 Причины ошибок

4.2.5.2 Эффект геометрии спутника: DOP

Точность, с которой позиция может быть определена GNSS в режиме навигации, зависит, с одной стороны, от точности псевдо-диапазона измерений, и, с другой стороны, от геометрической конфигурации используемых спутников. Она выражается скалярным количеством, которое в литературе навигации называется DOP.

Есть несколько обозначений DOP в современном использовании:

- GDOP: Геометрическая DOP (позиция в 3-D пространстве, девиация времени в решении)
- PDOP: Позиционная DOP (позиция в 3-D пространстве)
- HDOP: Горизонтальная DOP (позиция на плоскости)
- VDOP: Вертикальная DOP (только высота)

Точность любого измерения пропорционально зависит от величины DOP. Это означает, что если увеличить DOP вдвое, то ошибка в определении позиции возрастет также в два раза.

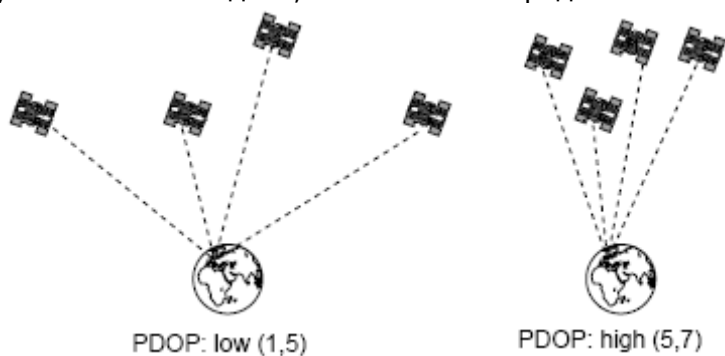


Рис.44 Геометрия спутника и PDOP

Значение DOP является обратно величиной по отношению к объему четырехгранника, образованного позициями спутника и пользователя (Рис.44 и Рис. 45). Наилучшее геометрическое расположение при максимальном объеме, и, следовательно, минимальном PDOP.

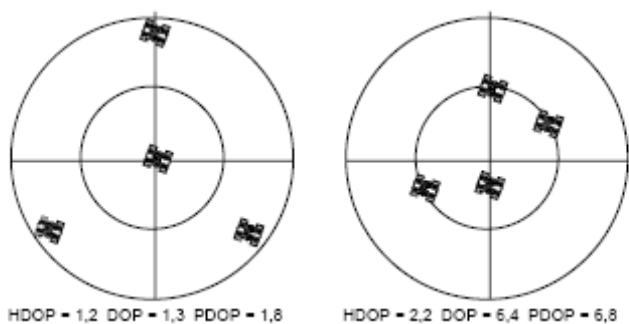


Рис. 45: Влияние расположения спутника на значение DOP

На открытых поверхностях зона покрытия спутника настолько хороша, что значения PDOP и GDOP редко превышают три 3 (Рис. 46 и Рис. 47).

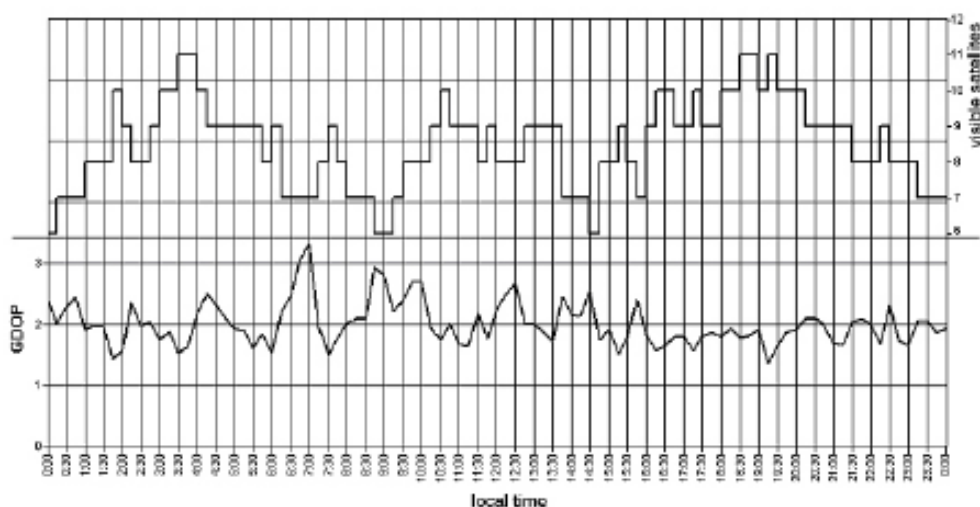


Рис. 46: GDOP значение и количество видимых спутников в соответствующее время

В гористых областях и в лесах значения DOP играют важную роль при измерениях при возникновении ситуаций с неблагоприятным геометрическим расположением.

Таким образом, необходимо планировать измерения в соответствии со значениями DOP (например, HDOP) или оценивать конечную точность в соответствии с этим, особенно при появлении различных DOP значений в пределах нескольких минут.

Во всех программах планирования и вычисления показаны значения DOP. Рис. 47 показывает пример курса HDOP, когда нет затенения (максимальное значение HDOP примерно 1.9). Рис. 48 показывает пример курса HDOP при наличии затенения (максимальное значение HDOP выше в 20 раз!). Область между 180° и 270° закрыта небоскребами и область между 270° и 180° закрыта горами.

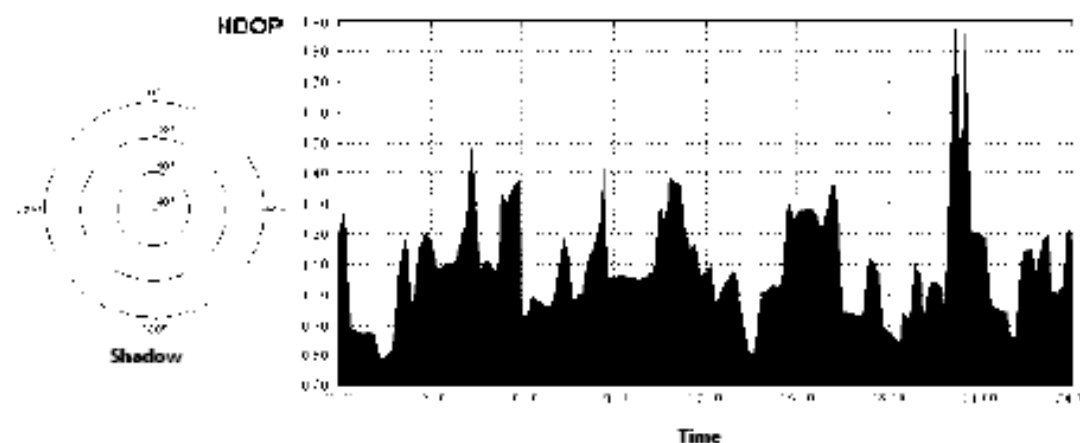


Рис.47: Значение HDOP за период 24 ч без затенения (макс.значение 1.9)

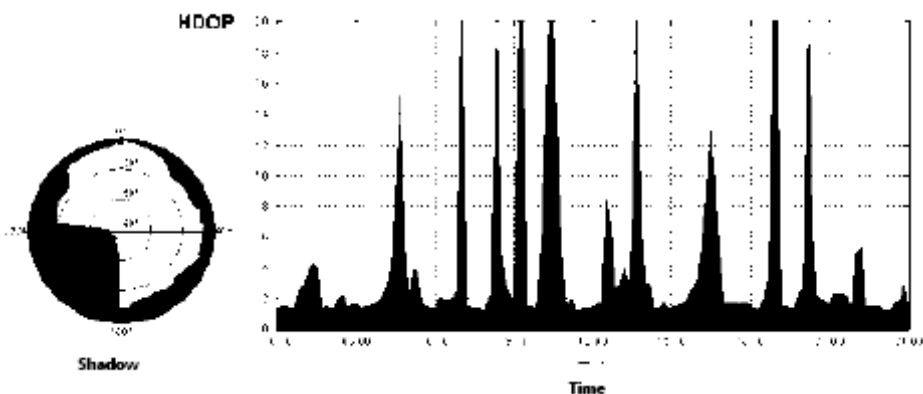


Рис. 48: HDOP значение за период в 24 часа, с затенением (макс. значение превышено в 20 раз)

В случае обширного затенения есть несколько мгновений с возможным благоприятным значением DOP (менее 2). Моменты времени со значениями DOP больше 6 аннулированы.

4.2.5.3 Общая ошибка

Точность измерения пропорционально зависит от значения DOP. Это означает, что при удвоении DOP ошибка также возрастает в два раза.

Обычно:

$$\text{Error } (1\sigma) = 1 * \text{Total RMS Value} * \text{DOP Value}$$

$$\text{Error } (2\sigma) = 2 * \text{Total RMS Value} * \text{DOP Value}$$

В таблице 7 получены значения сигма 1 ($1\sigma = 68\%$) и сигма 2 ($2\sigma = 95\%$). Данные значения верны для среднего размещения спутников при HDOP = 1.3. Реализация удобных методов коррекции (таких, как взаимосвязанные спутники (**Differential GPS, DGPS** (см. главу 6))) может уменьшить или устранить число источников ошибки (обычно на 1... 2 м, 1 сигма значение).

Тип ошибки	Ошибка без DGPS	Ошибка с DGPS
Общее значение RMS (фильтрованное, то есть усредненное)	5.0m	1.5m
Горизонтальная ошибка (1 Sigma (68%) HDOP=1.3)	6.5m	2.0m
Горизонтальная ошибка (2 Sigma (95%) HDOP=1.3)	13.0m	4.0m

Таблица 7: Общая ошибка при HDOP = 1.3

Обычно точность выше, чем указано в таблице. US-Federal Aviation Administration показала, что в 95% случаях всех измерений горизонтальная ошибка была меньше на 7.4 м и вертикальная ошибка была меньше на 9.0 м. Временной период составил 24 часа.

U.S.DoD гарантирует, что система обеспечит стандартным гражданским приложениям точность по горизонтали 13 м, по вертикали 22 м и по времени ~40 нс. При применении специальных мер, например, DGPS, увеличение времени измерения и технических методов (измерение фазы) точность позиции может возрасти до сантиметра.

5 Координатные системы

Если Вам нравится. . .

- знать, что такое геоид
- понимать, почему Земля изображается как эллипсоид
- понимать, почему свыше 200 различных карт используется в мире
- знать, что означает WGS-84
- понимать, как конвертировать одни данные в другие
- знать Декартовы и эллипсоидальные координаты
- понимать, как делают карты стран
- знать, как координаты страны вычисляются из WGS-84 координат

тогда **эта глава** для Вас!

5.1 Введение

Важной проблемой при использовании систем GNSS является множество координатных систем в мире. В результате, позиция, измеренная и вычисленная системой GNSS, не всегда совпадает с предполагаемой.

Для того чтобы понимать, как функционирует система GNSS, необходимо обратиться к основам науки, которая имеет дело с наблюдением и распределением Земной поверхности, геодезии. Без этого основного знания, трудно понять, почему нужно выбирать из 100 различных систем и приблизительно 10 различных сеток. Если сделать неправильный выбор, ошибка позиции может составлять несколько сотен метров.

5.2 Геоиды

Мы знаем, что Земля круглая со времен Колумба. Но круг ли это на самом деле? Описание формы синей планеты всегда было неточной наукой. Несколько других методов пытаются в течение столетий точно описать форму настоящей Земли. Геоид представляет собой аппроксимацию этой формы.

В идеальной ситуации гладкая морская поверхность формирует часть поверхности уровня, которая в геометрическом смысле означает "поверхность" Земли. По аналогии со словом Грек для Земли, эта поверхность названа геоидом (Рис. 27).

Геоид можно определить как математическую фигуру с ограниченной степенью точности и не без нескольких произвольных предположений. Дело в том, что распределение массы Земли нечетное и, в результате, поверхности уровня океанов и моря не лежат на поверхности геометрически определяемой формы; поэтому необходимы аппроксимации.

В отличие от фактической формы Земли, геоид - теоретическое тело, чью поверхность пересекают линии поля гравитации везде под прямым углом.

Геоид часто используется в качестве поверхности для измерения высоты. Контрольная точка находится в Швейцарии - "Repere Pierre du Niton (RPN, 373.600 м) в Женевском бассейне. От этой высоты отсчитываются точки последующих измерений для указания размеров порта Marseilles (высота над уровнем моря 0.00 м).

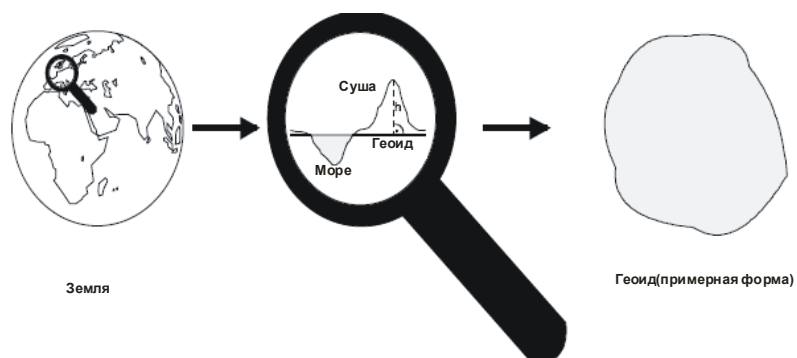


Рис. 49 Геоид является аппроксимацией поверхности Земли

5.3 Эллипсоид и данные

5.3.1 Сфероид

Геоид, тем не менее, очень трудная форма для вычислений. Для ежедневных наблюдений нужна более простая форма. Такая форма известна как сфероид. Если поверхность эллипса вращать вокруг своей симметричной северной-южной оси, то в результате получится сфероид. (Рис. 50).

Сфероид определяется двумя параметрами:

- Большая полуось a (на экваториальной плоскости)
- Малая полуось b (ось северного и южного полюсов)

Значение, на которое форма отклоняется от идеальной сферы, называется выравнением (f).

$$f = \frac{a-b}{a} \tag{16a}$$

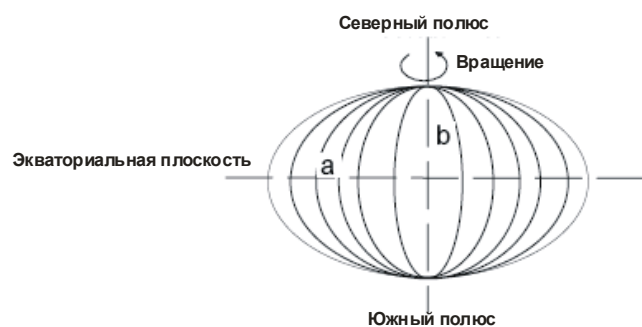


Рис. 50 Получение сфероида

5.3.2 Измененные локальные эллипсоиды и данные

5.3.2.1 Локальные эллипсоиды

При работе со сфероидом, будьте внимательны, так как естественный перпендикуляр не пересекается вертикально в точке с эллипсоидом, но пересекается с геоидом. Нормальный эллипсоидальный и естественный перпендикуляры различны "вертикальным отклонением" (Рис. 52), то есть существуют точки на Земной поверхности, спроектированные неправильно. Для того чтобы это отклонение было минимальным, каждая страна создала свой собственный не геоцентрический сфероид в качестве поверхности для наблюдения (Рис. 51). Полуоси a и b и средняя точка выбраны таким образом, чтобы типы геоида и эллипсоида национальных территорий были как можно более точными.

5.3.2.2 Данные, системы карт

Национальные или международные системы карт, основанные на определенных типах эллипсоидов, названы базами. В зависимости от карты, используемой приемниками GPS, нужно проверять, что необходимая система карт введена в приемник.

Некоторые примеры этих систем - свыше 120 - CH-1903 для Швейцарии, WGS-84 - глобальный стандарт, и NAD83 для Северной Америки.

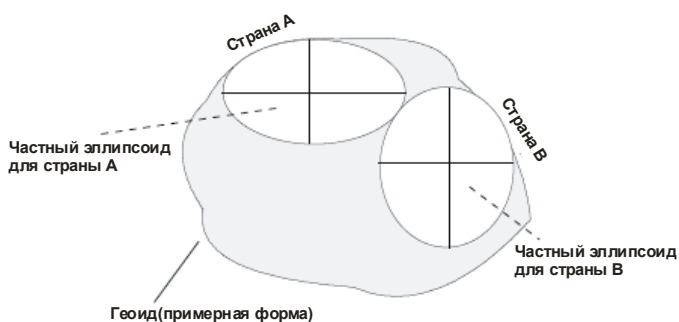


Рис. 51 Локальные эллипсоиды

Сфероид хорошо подходит для описания позиционных координат точки в градусах долготы и широты. Информация о высоте основывается или на геоиде или на локальном эллипсоиде. Различие между измеренной ортометрической высотой H , то есть основанной на геоиде, и высотой местного эллипсоида h называется geoid ondulation N (Рис. 30)

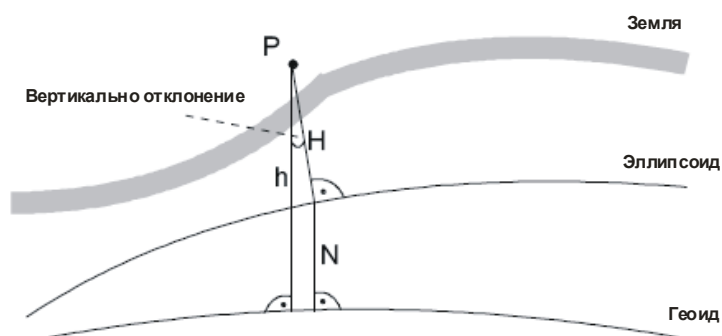


Рис. 52 Различие между геоидом и эллипсоидом

5.3.3 Национальные системы

Другие системы отсчета используются в Европе, и каждая система, используемая для технических приложений в виде наблюдения, имеет собственное имя. Не геоцентрические эллипсоиды, которые формируют базис, собраны в следующей таблице (Таблица 8). От страны к стране эти эллипсоиды немного отличаются.

Страна	Название	Эллипсоид	Размещение	Большая полуось а (м)	Отклонение (1:...)
Германия	Поттсдам	Bessel 1841	Rauenberg	6377397.155	299.1528128
Франция	NTF	Clarke 1880	Pantheon, Paris	6378249.145	293.465
Италия	SI 1940	Hayford 1928	Monte Mario, Rome	6378388.0	297.0
Нидерланды	RD/NAP	Bessel 1841	Amersfoort	6377397.155	299.1528128
Австрия	MGI	Bessel 1841	Hermannskogel	6377397.155	299.1528128
Швейцария	CH1903	Bessel 1841	Old Observatory Bern	6377397.155	299.1528128
Интернациональная	Hayford	Hayford	Country independent	6378388.000	297.000

Таблица 8 Национальные системы отсчета

5.3.4 Всемирный эллипсоид WGS-84

Отображенные детали и вычисления, сделанные приемником GPS, включают WGS-84 систему отсчета. WGS-84 координатная система геоцентрически позиционирована относительно центра Земли. Такая система называется ECEF. WGS-84 координатная система - трехмерная, правоориентированная, Декартова система координат со своим центром масс (= геоцентрик) эллипсоида, который аппроксимирует общую массу Земли.

Положительная X-ось эллипсоида (Рис. 53) лежит на экваториальной плоскости (воображаемая поверхность, которая охвачена экватором) и проходит через центр масс через точку, в которой экватор пересекает меридиан Greenwich (0 меридиан). Y-ось также лежит на экваториальной плоскости и смещена на 90^0 на восток от X-оси. Z-ось лежит перпендикулярно X и Y осям и проходит через географический северный полюс.

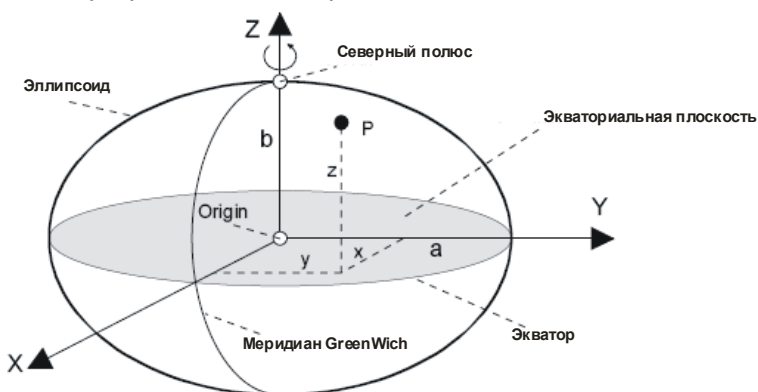


Рис.53 Иллюстрация Декартовых координат

Параметры WGS-84 эллипсоида		
Большая полуось a (м)	Малая полуось b (м)	Отклонение (1:.....)
6,378 ,137.00	6,356,752.31	298,257223563

Таблица 9 Эллипсоид WGS-84

Эллипсоидальные координаты (φ , λ , h), которые лучше, чем Декартовы координаты (X , Y , Z), обычно используются для дальнейшей обработки (Рис. 54). φ соответствует широте, λ - долготе и h - эллипсоидальной высоте, то есть длине вертикальной линии P в эллипсоиде.

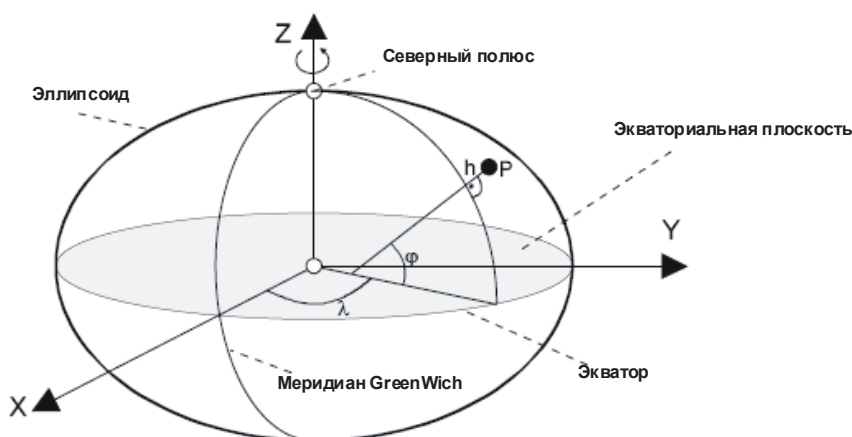


Таблица 54. Иллюстрация эллипсоидальных координат

5.3.5 Трансформация из локального во всемирный эллипсоид

5.3.5.1 Геодезические данные

Как правило, локальные системы отсчета лучше геоцентрических эллипсоидов. Соотношение между локальной (напр. CH-1903) и глобальной геоцентрической системой (напр.. WGS-84) называется геодезическими данными. В случае если оси локального и глобального эллипсоида параллельны, или могут считаться таковыми для приложений в пределах локальной области, то все, что необходимо для datum перехода – три параметра смещения, называемые константами перемещения ΔX , ΔY , ΔZ .

Далее три угла вращения φ_x , φ_y , φ_z и коэффициент масштабирования m (Рис. 55) можно добавить, чтобы полная формула преобразования содержала 7 параметров. Геодезические данные определяют позицию локальной трехмерной Декартовой системы координат по отношению к глобальной системе.

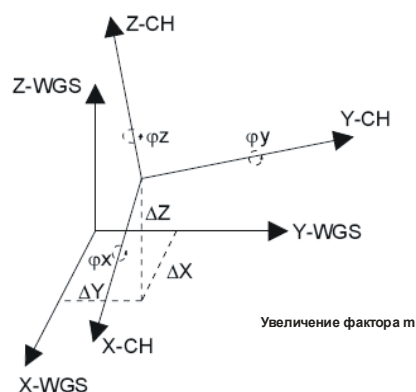


Рис.55 Геодезические данные

Следующая таблица (таблица 10) показывает примеры различных параметров данных. Дополнительные значения можно найти в [xviii].

Страна	Название	ΔX , м	ΔY , м	ΔZ , м	ϕ_X ($''$)	ϕ_Y ($''$)	ϕ_Z ($''$)	м
Germany	Potsdam	586	87	409	-0.52	-0.15	2.82	9
France	NTF	-168	-60	320	0	0	0	1
Italy	SI 1940	-225	-65	9	-	--	--	--
Netherlands	RD/NAP	565.04	49.91	465.84	0.4094	-0.3597	1.8685	4.0772
Austria	MGI	-577.326	-577.326	-463.919	5.1366	1.4742	5.2970	-2.4232
Switzerland	CH1903	660.077	13.551	369.344	0.8065	0.5789	0.9542	5.66

Таблица 10 Параметры данных

5.3.5.2 Конверсия данных

Преобразование данных означает преобразование трехмерной Декартовой системы координат (напр. WGS-84) в другую (напр. CH-1 903) посредством трехмерного перемещения, вращения и расширения. Геодезические данные должны быть известны для данного преобразования. Исчерпывающие конверсионные формулы можно найти в специальной литературе [xix] или преобразование можно провести напрямую через Internet [xx]. Как только преобразование произошло, Декартовы координаты можно трансформировать в эллипсоидальные координаты.

5.3.6 Конвертирование координатных систем

5.3.6.1 Конвертирование Декартовых в эллипсоидальные координаты

Декартовы и эллипсоидальные координаты могут быть преобразованы от одних к другим. Преобразование зависит от квадранта. В качестве примера рассмотрим преобразование для центральной Европы. Это означает, что величины x , y и z являются положительными. [xxi]

$$\varphi = \tan^{-1} \left[\frac{z + \left[\left(\frac{a^2 - b^2}{b^2} \right) \cdot b \cdot \left[\sin \left[\tan^{-1} \left[\frac{z \cdot a}{(\sqrt{x^2 + y^2}) \cdot b} \right] \right] \right]^3}{(\sqrt{x^2 + y^2}) - \left(\frac{a^2 - b^2}{a^2} \right) \cdot a \cdot \left[\cos \left[\tan^{-1} \left[\frac{z \cdot a}{(\sqrt{x^2 + y^2}) \cdot b} \right] \right] \right]^3} \right] \quad (17a)$$

$$\lambda = \tan^{-1} \left(\frac{y}{x} \right) \quad (18a)$$

$$h = \frac{\sqrt{x^2 + y^2}}{\cos(\varphi)} - \frac{a}{\sqrt{1 - \left(\frac{a^2 - b^2}{a^2} \right) \cdot [\sin(\varphi)]^2}} \quad (19a)$$

5.3.6.2 Конвертирование из эллипсоидальных в Декартовы координаты

Эллипсоидальные координаты можно конвертировать в Декартовы.

$$x = \left[\frac{a}{\sqrt{1 - \left(\frac{a^2 - b^2}{a^2} \right) \cdot [\sin(\varphi)]^2}} + h \right] \cdot \cos(\varphi) \cdot \cos(\lambda) \quad (20a)$$

$$y = \left[\frac{a}{\sqrt{1 - \left(\frac{a^2 - b^2}{a^2} \right) \cdot [\sin(\varphi)]^2}} + h \right] \cdot \cos(\varphi) \cdot \sin(\lambda) \quad (21a)$$

$$z = \left[\frac{a}{\sqrt{1 - \left(\frac{a^2 - b^2}{a^2} \right) \cdot [\sin(\varphi)]^2}} \cdot \left[1 - \left(\frac{a^2 - b^2}{a^2} \right) \right] + h \right] \cdot \sin(\varphi) \quad (22a)$$

5.4 Координаты на плоскости, проекция

Обычно при исследовании поверхности позиция точки P на Земной поверхности описывается эллипсоидальными координатами широты φ и долготы λ (на основе эллипсоида), а также высоты (на основе эллипсоида или геоида).

Геодезические вычисления (напр. расстояние между двумя построениями) в эллипсоиде численно очень неудобны, поэтому для технических методов используются эллипсоидальные проекции на плоскость. Это приводит к координатам правоориентированным X и Y. Большинство карт имеют сетку, которая приспособливает точку к любой местности. Планарные координаты являются проекциями эллипсоидальных координат на математическую плоскость. Проектирование эллипсоида на плоскость невозможно без искажений, но приемлемо, если искажения минимальны.

Стандартные типы проектирования включают цилиндрический или Mercator, Gauss-Kruger, UTM и конический Lambert. Если позиционные данные используются вместе с картами, то нужно обратить внимание на исходную систему и тип проектирования при создании карт.

5.4.1 (Transverse Mercator Projection)

Проектирование Gauss-Kruger является тангенциальным, конформным, поперечным Mercator проектированием. Эллиптический цилиндр позиционирован вокруг сфероид, корпус цилиндра приходит в контакт с эллипсоидом вдоль меридиана Greenwich и около полюсов. Для того чтобы держать продольные и поверхностные искажения на минимуме, у эллипсоида Bessel взяты три зоны на широте 3° . Ширина зоны позиционирована вокруг первичного меридиана. Цилиндр расположен под углом к эллипсоиду, то есть, повернут на 90° (Рис. 56). Чтобы свести искажения поверхности к минимуму используются 3° широкие зоны вращения эллипсоида. Ширина зоны фиксирована вокруг центрального меридиана. Различные центральные меридианы используются в зависимости от региона (е. г. 6° , 9° , 12° , 15° ,).

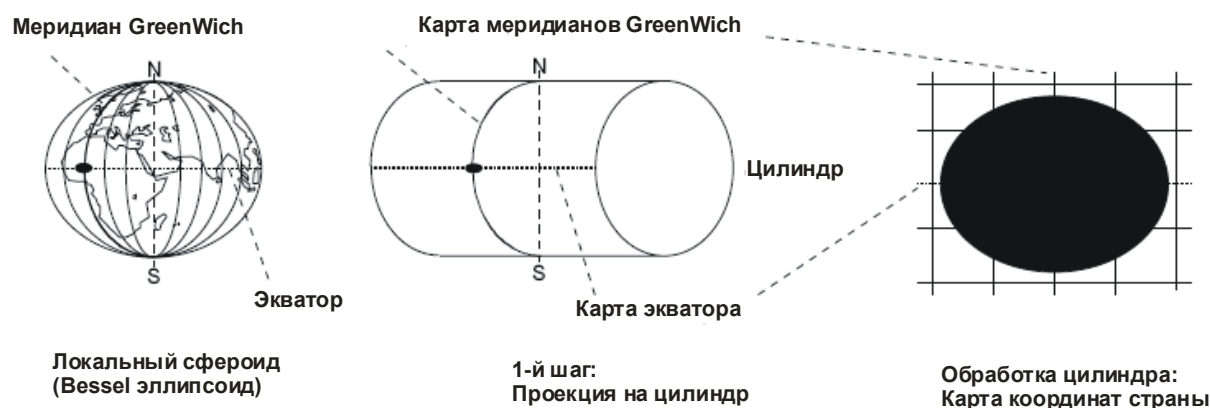


Рис.54 Проектирование Gauss-Kruger

Значения в северном/южном направлении считаются от экватора. Во избежание отрицательных значений в западном/восточном направлении для центрального меридиана принято значение $+500000$ м (Смещение). Число градусов центрального меридиана делится на три и размещается перед этим значением.

Пример позиции:

Координаты эллипсоида : N:46.86154° E 9.51280°

Gauss-Kruger (Центральный меридиан: 9°): N-S: 5191454 W-E: 3539097

Позиция – это расстояние в 5191454 м от экватора и 399097 м от центрального меридиана (9°).

5.4.2 UTM проекция

В отличие от Gauss-Krüger проекция UTM (Universal Transversal Mercator) проецируется почти на всю поверхность Земли на $60 \times 20 = 1200$ плоскостей. Фактическая проекция вращения эллипсоида на трансверсальный цилиндр выполняется в соответствии с процессами в проекции Gauss-Krüger.

UTM система часто основана на WGS84 эллипсоиде. Однако она только определяет проекцию и координатную систему, а не эллипсоид и геодезические данные.

UTM система делит весь мир на 6° широких продольных зон (Рис. 57). Те, что имеют номера от 1 до 60, начинаются с 180° W и заканчиваются 180° E. Если, например, зона 1 располагается от 180° W до 174° W, центральный меридиан этой зоны находится в 177° W, зона 2 располагается от 174° W до 168° , центральный меридиан зоны 2 находится в 171° W и т.д..

Центральными меридианами для каждой зоны проекции являются $3^{\circ}, 9^{\circ}, 15^{\circ}, 21^{\circ}, 27^{\circ}, 33^{\circ}, 39^{\circ}, 45^{\circ}, 51^{\circ}, 57^{\circ}, 63^{\circ}, 69^{\circ}, 75^{\circ}, 81^{\circ}, 87^{\circ}, 93^{\circ}, 99^{\circ}, 105^{\circ}, 111^{\circ}, 117^{\circ}, 123^{\circ}, 129^{\circ}, 135^{\circ}, 141^{\circ}, 147^{\circ}, 153^{\circ}, 159^{\circ}, 165^{\circ}, 171^{\circ}, 177^{\circ}$ восточной (E) и западной (W) (долготы) (Рис. 58).

Направления север-юг (на полюсы) подразделяются дополнительно на зоны, за исключением 8° широты и идентифицируются названиями с С. Допускается зона только между 80° южной долготы до 84° северной долготы. Линия от 80° южной долготы до 72° северной долготы обозначается как Сектор С, линия от 72° южной долготы до 64° южной долготы как Сектор D и т.д. Исключение составляет область, известная как широта X между 72° северной долготы и 84° северной долготы. Это 12° широта.

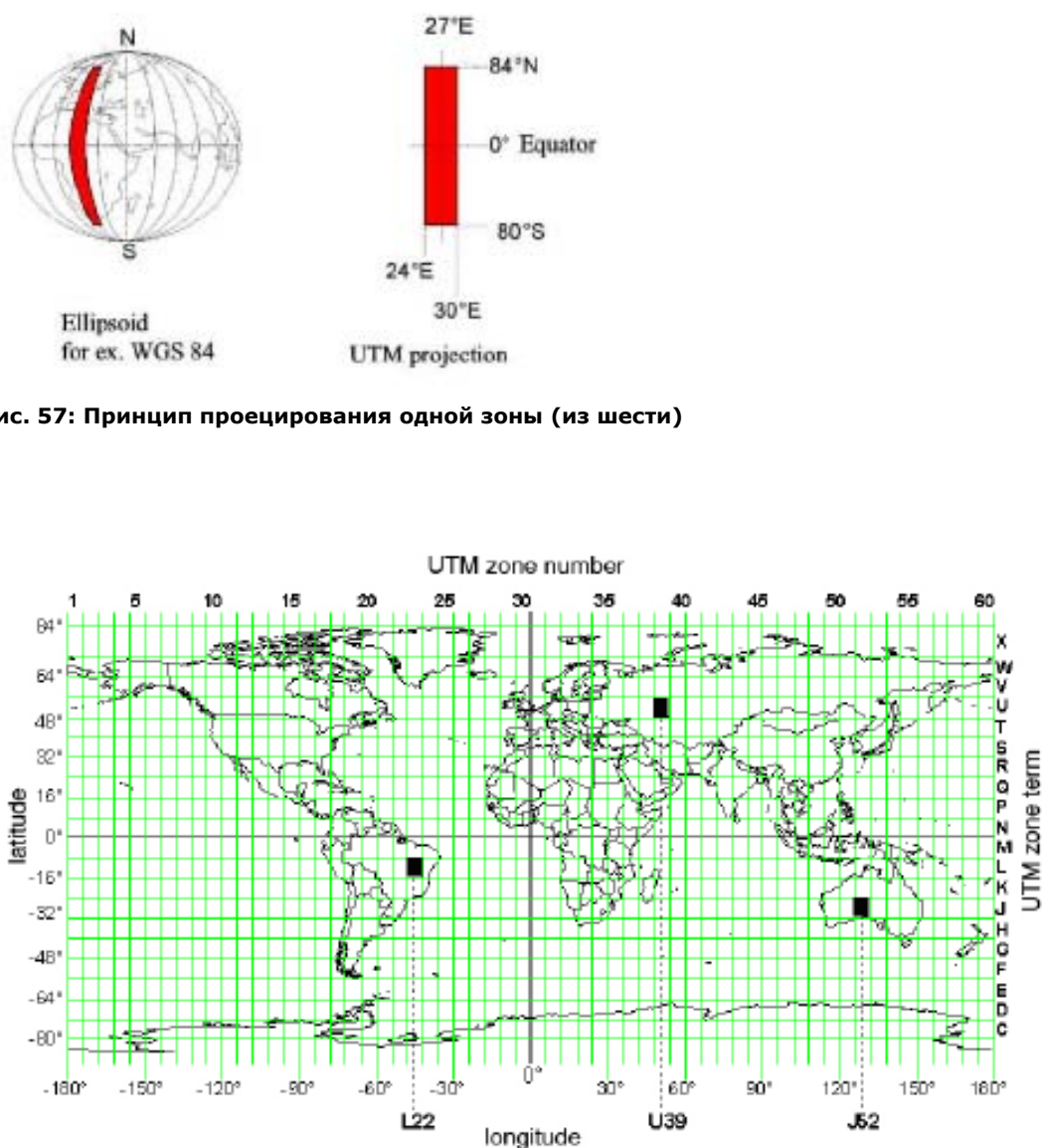


Рис. 57: Принцип проецирования одной зоны (из шести)

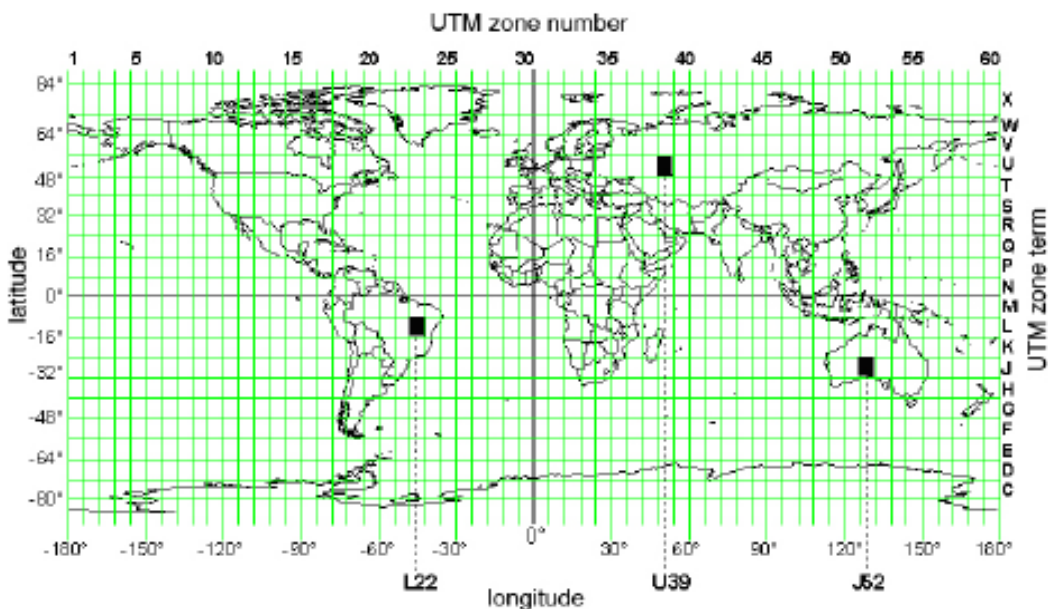


Рис. 58: Обозначение зон, использующих UTM, с примерами

Как в случае с Gauss-Krüger проекцией, северное/южное значение измеряется в километрах до точки от экватора. Во избежание отрицательных величин в южном полушарии экватору присвоено значение 10,000,000 м.

Западные/восточные значения определяются как расстояния до точки от центрального меридиана, которому (также как Gauss-Krüger проекции) присвоено значение 500,000 м.

Пример UTM координат в сравнении с WGS 84:

WGS 84: N 46,86074° E 9,51173°

UTM: 32 T 5189816 (N-S) 0539006 (W-E)

5.4.3 Шведская проекционная система (конформная двойная проекция)

Конформное проектирование эллипсоида Bessel на плоскость имеет два этапа. Эллипсоид первоначально проецируется на сферу, а затем сфера проецируется на плоскость посредством цилиндра, установленного под острым углом. Этот процесс известен как двойное проецирование (Рис. 59). Основная точка эллипсоида (Старая обсерватория в Берне) спроецирована на плоскость с учетом подлинной координатной системы (со смещением: $Y_{Ost} = 600,000$ м и $X_{Nord} = 200,000$ м).

Две различных установки координат выделены на карте Швейцарии (масштаб 1:25000):

- Координаты поверхности (X и Y в километрах), спроецированные на плоскость с соответствующей сеткой
- Географические координаты (долгота и широта в градусах и секундах), основанные на эллипсоиде Bessel



Рис.59 Принцип двойного проецирования

Транзитное время сигналов с 4 спутников должно быть известно для получения координат позиции. Только после основного вычисления и преобразования координаты позиции в Швеции будут соответствовать действительности (Рис. 60).

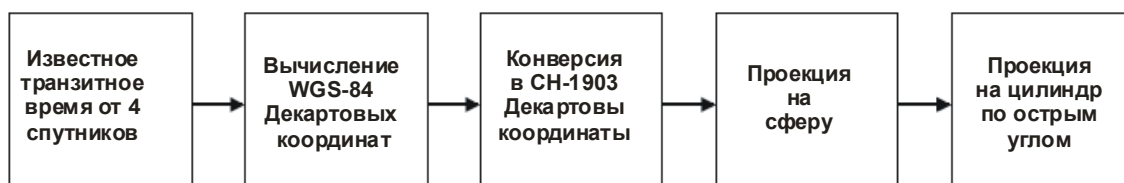


Рис.60 От спутника к позиции

5.4.4 Всемирная координатная конверсия

Есть несколько возможностей в Интернете для преобразования одной координатной системы в другую [xxii].

5.4.4.1 Конвертирование WGS-84 координат в CH-1903 координаты в качестве примера.

(Взято из "Bezugssysteme in der Praxis" (практические системы отсчета) Urs Marti и Dieter Egger, Федеральный Офис Национальной Топографии).

Внимание! точность порядка 1 метра!

1. Конвертирование долготы и широты

Долгота и широта в WGS-84 должны быть преобразованы в шестидесятеричные секунды[']

Пример:

1. После конвертирования широта $46^{\circ} 2' 38.87''$ (WGS-84) станет $165758.87''$. Это обозначается как B: $B = 165758.87''$.
2. После конвертирования долгота $8^{\circ} 43' 49.79''$ (WGS-84) станет $31429.79''$. Это обозначается L: $L = 31429.79''$.

2. Расчет вспомогательных величин

$$\Phi = \frac{B - 169028.66''}{10000} \quad \Lambda = \frac{L - 26782.5''}{10000}$$

Пример:

$$\Phi = -0.326979$$

$$\Lambda = 0.464729$$

3. Вычисление абсциссы (W...E): y

$$y[m] = 600072.37 + (211455.93 * \Lambda) - (10938.51 * \Lambda * \Phi) - (0.36 * \Lambda * \Phi^2) - (44.54 * \Lambda^3)$$

Пример:

$$y = 700\,000.0 \text{ м}$$

4. Вычисление ординаты (S...N): x

$$x[m] = 200147.07 + (308807.95 * \Phi) + (3745.25 * \Lambda^2) + (76.63 * \Phi^2) - (194.56 * \Lambda^2 * \Phi) + (119.79 * \Phi^3)$$

Пример:

$$x = 100\,000.0 \text{ м}$$

5. Вычисление высоты H:

$$H[m] = (\text{Height}_{\text{WGS-84}} - 49.55) + (2.73 * \Lambda) + (6.94 * \Phi)$$

Пример:

После конверсии, высота_{WGS-84} = 650.60 м получается H = 600 м

6 Дополнения GPS: DGPS, SBAS, A-GPS and HSGPS

Если Вы хотите . . .

- Знать, как некоторые виды ошибок влияют на точность определения позиции
- Знать, что означает DGPS
- Знать, как определяются и передаются корректирующие значения
- Понимать, как D-сигнал корректирует неверные измерения позиции
- Знать, какие DGPS сервисы доступны в Центральной Европе
- Знать, что означает EGNOS и WAAS
- Знать, как работает A-GPS

Тогда **эта глава** для Вас!

6.1 Введение

Предшественницей всех GNSS систем была система GPS. Фактически она использовалась так часто, что под термином спутниковой навигации понимается именно GPS. Разработанная GPS имеет некоторые ограничения, которые потребовали улучшения технологии. Данная глава изучает технологические достижения GPS, которые стали стандартами и для GNSS.

Изначально разработанная для военных целей, сейчас GPS система в основном используется для гражданских приложений, таких как наблюдение, навигация, позиционирование, измерение скорости, определения времени, мониторинга и т.д. GPS не была предназначена для приложений с высокими требованиями к точности, мерам безопасности или к работе в закрытых помещениях. По этой причине позднее потребовались изменения.

- Увеличение точности позиционирования, появился Differential-GPS (D-GPS).
- Улучшение точности позиционирования и надежности(стабильность очень важна для приложений безопасности), для этого были созданы SBAS (Satellite Based Augmentation System) такие как EGNOS и WAAS.
- Улучшение чувствительности в закрытых помещениях или уменьшение времени захвата, была предложен версия Assisted-GPS (A-GPS).
- Улучшение качества приема GPS приемников непрерывно совершенствовалось, также повышалась чувствительность приемников с помощью высокочувствительного GPS (HSGPS).

6.2 Источники ошибки GPS

Точность позиционирования составляет примерно 13 м для 95% всех измерений (с HDOP точность составит 1.3 м) и как обсуждалось в предыдущей главе, данная точность недостаточна для приложений. Для повышения точности до метра и лучше необходимы экстремальные усилия. Различные источники добавляют ошибку в измерения GPS. Эти случаи и источники приведены в Таблице 11. Данные значения являются примерными и могут варьироваться от приемника к приемнику.

Источник ошибки	Ошибка
Данные эфимериса	2.1 м
Часы спутника	2.1 м
Эффект ионосферы	4.0 м
Эффект тропосферы	0.7 м
Отраженный сигнал	1.4 м
Влияние приемника	0.5 м
Общее значение RMS	5.3 м
Общее значение RMS (фильтрованное)	5.0 м

Таблица 11: Источник ошибки и общая ошибка

Случаи появления ошибок рассмотрены ниже:

- **Данные эфимериса:** позиция спутника во время передачи сигнала известно с точностью до 1 ... 5 м.
- **Часы спутника:** каждый спутник имеет 4 атомных часов, эталон времени имеет дефекты. Ошибка времени в 10 нс приводит к стабильности генератора примерно 10^{-13} в день. Ошибка времени в 10 нс сразу приводит к ошибке расстояния в 3 м.
- **Эффект ионосферы:** ионосфера является атмосферным слоем, расположенным между 60 и 1000 км над поверхностью Земли. Молекулы газа в ионосфере положительно ионизированы. Ионизация в основном вызвана солнечным излучением (только во время дня!). Сигналы от спутника проходят через вакуум со скоростью света. В ионосфере скорость этих сигналов замедляется и, следовательно, более не является константой. Уровень ионизации варьируется в зависимости от времени и места, усиливается во время дня и на экваторе. Если влияние ионизации известно, то данный эффект можно компенсировать геофизическими коррекционными моделями. Кроме того, если скорость сигнала зависит от частоты, дополнительно можно сделать коррекцию с помощью двойных частот GPS приемников.
- **Эффект тропосферы:** тропосфера является атмосферным слоем, расположенным между 0... 15 км над поверхностью Земли. Возникновение ошибок здесь обуславливается изменением плотности молекул газа и влажности воздуха. Плотность уменьшается с увеличением высоты. Увеличение плотности или влажности замедляет скорость сигналов спутника. Для коррекции данного эффекта используется простая модель на основе стандартной атмосферы (P) и температуры(T):
 - $H = \text{Height [m]}$
 - $T = 288.15 \text{ K} - 6.5 \cdot 10^{-3} \cdot h \text{ [K]}$
 - $P = 1013.25 \text{ mbar} (T/288.15 \text{ K})^{5.256} \text{ [mbar]}$
- **Отражение:** GPS сигналы отражаются от зданий, деревьев гор и т.д., и отклоняются перед получением приемником. Сигнал искажается из-за интерференции. Эффект отражения сигналов можно частично компенсировать выбором места расположения (без отражателей), хорошей антенны и времен измерения (Рис. 41)).



Рис. 61: Влияние времени измерения на отражения

- **Влияние приемника:** дальнейшие ошибки возникают из-за шума измерений приемника GPS и задержек по времени в приемнике. Современные технологии могут уменьшить данный эффект.
- **Влияние расположения спутника, включая затенения (DOP):** этот эффект будет подробно обсуждаться в главе 4.2.5.2.

6.3 Возможности уменьшения ошибки измерения

Уменьшение влияния ошибок измерения приведет к повышению точности позиционирования. Различные варианты используются для этого и часто комбинируются. Наиболее часто встречаются:

- **Измерение двойной частоты:** L1/L2 сигналы используются для компенсации эффекта ионосферы. Такие приемники измеряют сигналы GPS на частоте L1 и L2. Если радиосигнал передается через ионосферу, то он замедляется пропорционально его частоте. Сравнивая полученные времена обоих сигналов, можно определить задержку и, следовательно, эффект ионизации.
- **Геофизические корректирующие модели.** Такие модели используются для первичной компенсации эффектов ионосферы и тропосферы. Корректирующие факторы используются только в специальных и ограниченных областях.
- **Differential GPS (DGPS):** при рассмотрении одной или нескольких базовых станций приходится корректировать разные ошибки. Оценка коррекционных данных от этих станций возможна как после обработки, так и в режиме реального времени (RT). Решения Real Time (RT DGPS) требуют данные связи между базовой станцией и мобильным приемником. DGPS применяет ряд других процессов:
 - RT DGPS, основан на стандарте RTCM SC104
 - DGPS на основе измерения задержки транзитного времени сигнала (Коррекции псевдодиапазона, достижимая точность 1 м)
 - DGPS на основе измерения фазы несущего сигнала (достижимая точность 1 см)
 - Пост-обработка (последовательная коррекция и обработка данных).
- **Выбор места и времени измерения** для улучшения видимости или линии прямого контакта со спутниками (См. объяснения на DOP 4.2.5).

6.3.1 DGPS, основанный на измерении транзитного времени сигнала

В теории, достижимый уровень точности примерно 15 - 20 м. Для действий, требующих точность порядка 1 см, точность должна быть выше. Промышленность нашла простое и надежное решение этой проблеме: Дифференциал GPS (DGPS). Принцип DGPS очень прост. Отсчетная станция GPS установлена в точке с известными координатами. Отсчетная станция GPS определяет позицию человека посредством четырех спутников. Так как точная позиция станции известна, можно вычислить любое отклонение от измеренной фактической позиции. Это отклонение (дифференциальная позиция) также действительно для любых приемников GPS в пределах радиуса 200 км от станции. Дифференциальную позицию можно использовать для коррекции позиции, измеренной другими приемниками GPS (Рис. 62). Любое отклонение от позиции может передаваться непосредственно по радио или его коррекция возможна после получения измерений. На основе этого принципа точность может возрасти до нескольких миллиметров

Важно, чтобы коррекция была основана на значениях псевдодиапазона, а не отклонением позиции от отсчетной станции GPS. Отклонения основаны на псевдодиапазонах определенных спутников и могут сильно отличаться в зависимости от позиции, которую использует спутник. Коррекция на основе просто отклонения от позиции отсчетной базовой станции в расчет не берется и даст ложные результаты.

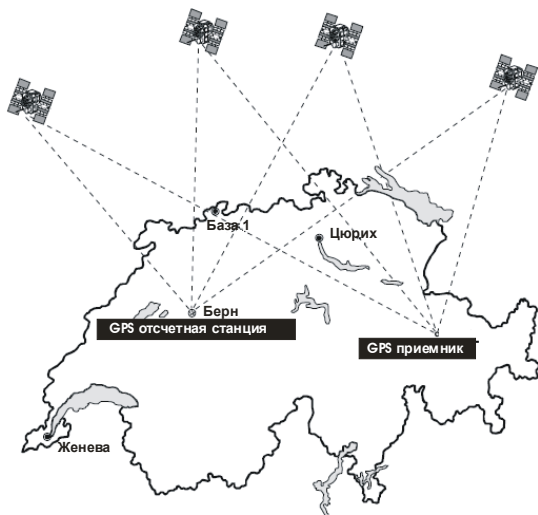


Рис. 62 Принцип работы GPS со станцией отсчета

6.3.1.1 Подробный метод работы

Эффекты ионосферы непосредственно влияют на неточность данных В технологии DGPS большинство подобных ошибок можно компенсировать. Компенсация происходит в трех фазах:

1. Определение коррекционных значений от станции отсчета
2. Передача коррекционных значений от станции к GPS пользователю
3. Корректировка псевдо-диапазона, измеренного пользователем

6.3.1.2 Определение коррекционных значений

Отсчетная станция, чьи координаты точно известны, измеряет L1 транзитное время сигнала от всех видимых спутников GPS (Рис. 63) и определяет псевдо-диапазон этой переменной (фактической величины). Поскольку позиция станции известна точно, то можно вычислить действительное расстояние (целевая величина) до каждого спутника GPS

Разница между действительной величиной истины и псевдо-диапазоном получается путем вычитания и представляет собой величину коррекции (разница между фактической и предполагаемой величинами). Величина коррекции различна для всех спутников GPS и будет действительна для пользователя GPS в радиусе нескольких сот километров.

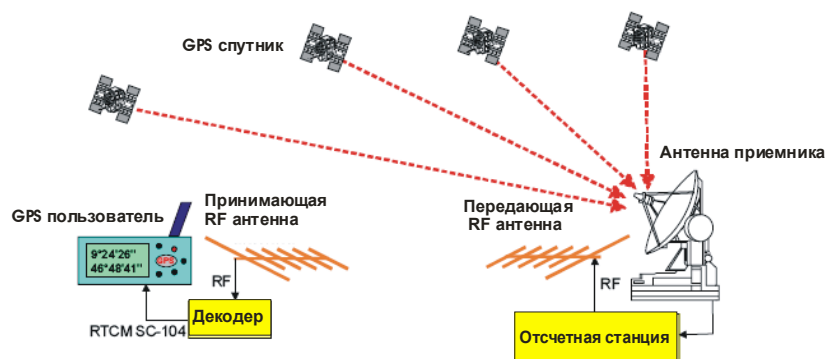


Рис.63 Определение коррекционных значений

6.3.1.3 Передача коррекционных значений

Так как величины коррекции можно использовать в пределах обширной территории для коррекции измеренного псевдо-диапазона, то их можно без задержки передать с помощью любого пригодного устройства (передатчик, телефон, радио, и т.п.) другим пользователям GPS (Рис. 39).

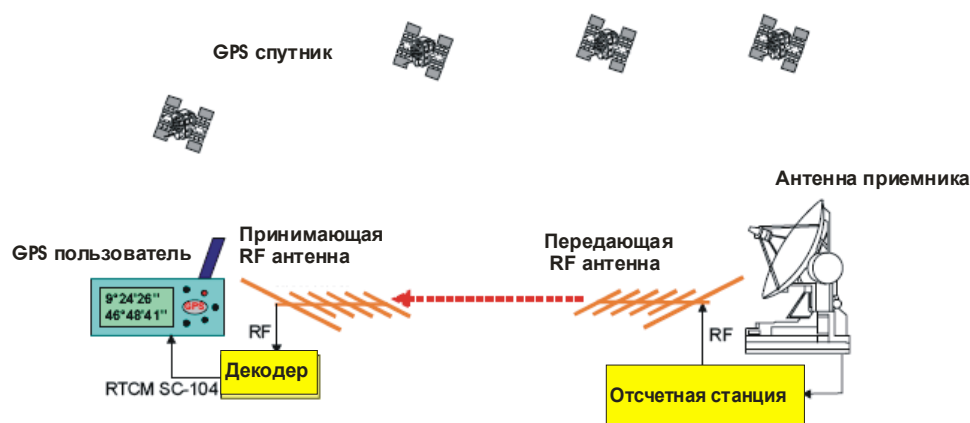


Рис.64 Передача коррекционных значений

6.3.1.4 Корректировка измеренного псевдо-диапазона

После получения значений коррекции пользователь GPS может определить действительное расстояние, используя измеренный псевдо-диапазон (Рис. 65). Точную позицию пользователя теперь можно вычислить из данной величины. Все причины ошибки устранены за исключением шума приемника и отраженных сигналов.

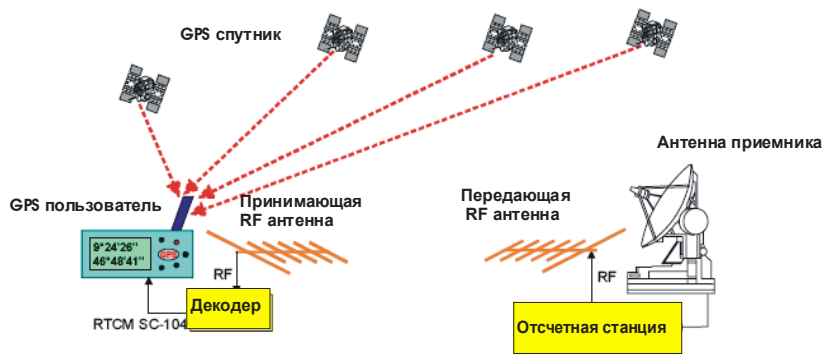


Рис.65 Корректировка измеренного псевдо-диапазона

6.3.2 DGPS, основанный на измерении несущей фазы

При измерении псевдо-диапазон точность порядка 1 метра недостаточна для решения проблем наблюдения. Для повышения точности до нескольких миллиметров нужно оценить фазу несущего сигнала. Длина несущей волны λ примерно 19 см. Диапазон спутника можно определить, используя следующий метод (Рис. 66).

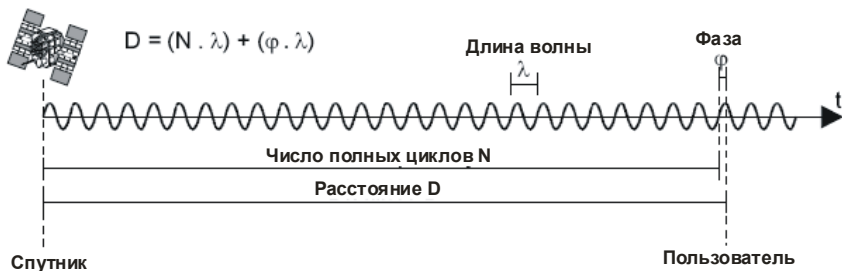


Рис.66 Принцип измерения фазы

Измерение фазы является неопределенным процессом, поскольку N неизвестно. Наблюдая за несколькими спутниками в различные моменты времени и непрерывно сравнивая приемник пользователя с отсчетным (во время или после измерения), можно определить позицию с точностью до нескольких миллиметров после решения многочисленных комплектов уравнений.

6.3.3 DGPS пост-обработка (Транзитное время сигнала и измерение фазы)

DGPS пост-обработка выполняет поиск корректирующих факторов, используя соответствующее программное обеспечение, после проведения измерений. Отсчетные данные берутся или от частных отсчетных станций или от общедоступных серверных систем. Недостаток состоит в том, что проблема с данными (плохой прием со спутника, поврежденные файлы и т.д.) иногда не обнаруживается после того, как корректирующие значения вычислены и переданы, требуя повторения всего процесса.

6.3.4 Передача коррекционных данных

DGPS сервисы получают данные от отсчетных станций и передают их по радио мобильным приемникам. Есть ряд доступных каналов для трансляции коррекционных данных. Каждая из трансляционных систем обладает специальными радиотехническими характеристиками и диапазонами частот, которые имеют свои преимущества и недостатки для DGPS (Таблица 12).

Трансляционная система	Диапазон частоты	Преимущества	Недостатки	Передача коррекционных данных
На длинных и средних волнах (LW, MW)	100 - 600 КГц	Широкий диапазон передачи (1000 км)	Низкая скорость	RTCM SC104
Морской радиомаяк	283 - 315 КГц	Широкий диапазон передачи (1000 км)	Низкая скорость	RTCM SC104
Авиационный маяк	255 - 415 КГц	Широкий диапазон передачи (1000 км)	Низкая скорость	RTCM SC104
Коротковолновая система (KW)	3 - 30 МГц	Широкий диапазон передачи	Низкая скорость, качество зависит от времени и частоты	RTCM SC104
VHF и UKW	30 - 300 МГц	Высокая скорость, использование существующей инфраструктуры	Диапазон передачи ограничен квазиоптическими условиями	RTCM SC104
Мобильная связь/телефонные сети(GSM, GPRS)	450, 900, 1800 МГц	Использование существующих сетей	Ограниченный диапазон передачи, проблемы с синхронизацией	RTCM SC104
GEO спутниковая система	1.2 - 1.5 ГГц	Широкая область покрытия	Высокая стоимость	RTCM SC104 (for MSAT, Omnistar, Landstar, Starfire) RTCA DO-229C (для SBAS с истем такие как WAAS, EGNOS, MSAS)

Таблица 12: Процесс передачи различных сигналов (для измерения кода и фазы)

Большинство стран имеют собственные системы для передачи коррекционных данных. Подробное описание этих систем не входит в данное руководство. Некоторые отдельные системы будут рассмотрены ниже.

6.3.5 Классификация DGPS в соответствии с диапазоном трансляции

Различные доступные DGPS сервисы разбиты на категории в соответствии с диапазоном трансляции коррекционных сигналов:

- Локальные DGPS: Local Area Augmentation System (LAAS). Иногда называют Ground Based Augmentation Systems (GBAS). их
- Региональные DGPS
- Широкая область DGPS (WADGPS) или Satellite Based Augmentation Systems (SBAS): применяют спутники для передачи DGPS коррекционных данных. В этих случаях используется вся сеть отсчетных станций.

6.3.6 Стандарты передачи для коррекционных сигналов

DGPS трансляторы передают транзитное время сигнала и коррекции несущей фазы. Для большинства GBAS и некоторых спутников на основе систем WADGPS (LandStar-DGPS, MSAT, Omnistar или Starfire) коррекционные данные DGPS передаются в соответствии со стандартом RTCM SC-104. Как правило, приемник должен быть оборудован специальным декодером для получения и обработки данных. Спутник на основе систем Augmentation Systems таких как WAAS, EGNOS и MSAS использует стандарт RTCA DO-229. Поскольку частоты RTCA и форматы данных совместимы со всеми GPS, современные GNSS приемники могут вычислить RTCA данные без дополнительного оборудования, в отличие от RTCM (Рис. 67).

В Таблице 13 приведены стандарты, используемые для DGPS коррекционных сигналов, а также ссылки, касающиеся GNSS.

Стандарт	Ссылка на GNSS
RTCM SC 104: Radio Technical Commission for Maritime Services, Special Committee 104	RTCM рекомендовал стандарты для Differential Navstar GPS Service, версии 2.0 и 2.1 Рекомендованы стандарты для GNSS Service, версии 2.2 и 2.3
RTCA: Radio Technical Commission for Aeronautics	DO- 229C, Minimum Operational Performance Standards for Global Positioning System/Wide Area Augmentation System Airborne Equipment.

Таблица 13: Стандарты для коррекционных сигналов DGPS

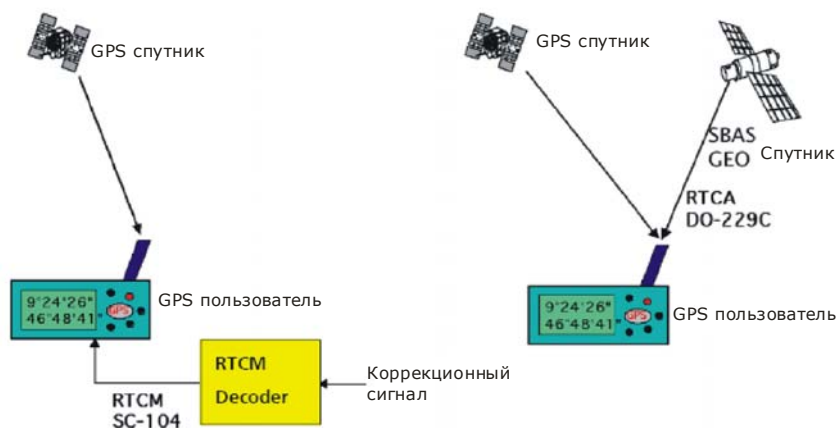
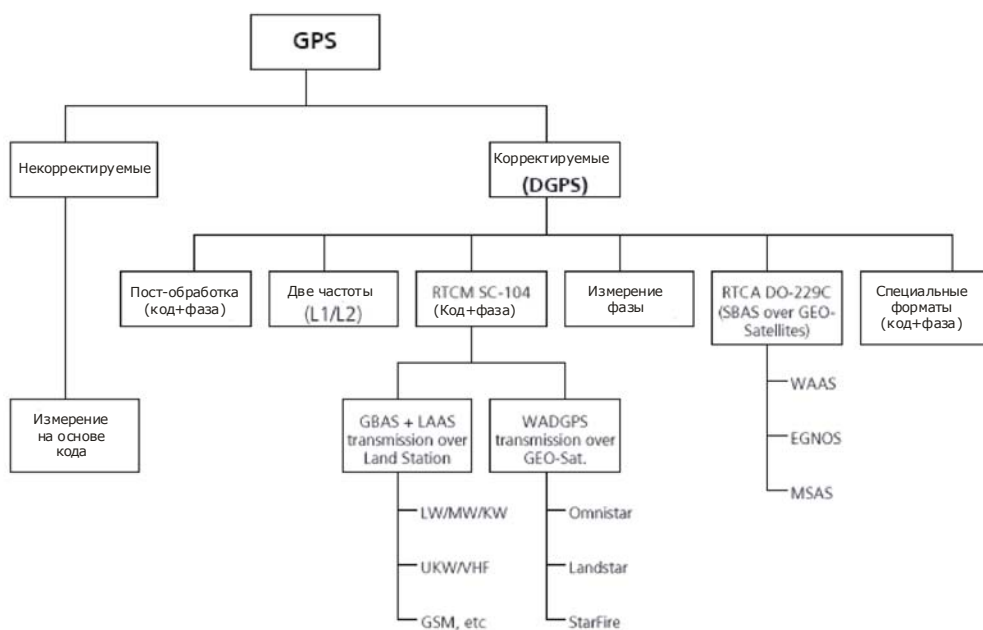


Рис. 67: Сравнение DGPS систем на основе RTCM и RTCA стандартов

6.3.7 Обзор различных коррекционных сервисов



6.4 DGPS сервисы для коррекции в режиме реального времени

Все коррекционные данные передаются в приемную область приемника пользователя через соответствующий транслятор (LW, KW, UKW, радио, GSM, интернет, спутниковая связь, и т.д.). В Северной Америке и Европе коррекционные сигналы можно получить от множества доступных DGPS сервисов. В зависимости от сервиса может потребоваться годовая оплата или разовая при покупке DGPS приемника. В следующем разделе будут описаны некоторые европейские сервисы GBAS. Впоследствии спутники на основе DGPS сервисов будут обсуждаться подробнее.

6.4.1 GBAS сервисы

Среди большого количества наземных DGPS сервисов известны такие сервисы как Ground Based Augmentation Services (GBAS), опишем их здесь более подробно. Во многих странах используются подобные системы. Следующий список описывает некоторые GBAS сервисы, доступные в Европе.

6.4.2 Европейские GBAS сервисы

- **SAPOS:** (German Surveying and Mapping Administration Satellite Positioning Service) является DGP S постоянно работающим сервисом. Данный сервис доступен по всей Германии. Основной системы является сеть отсчетных станций GPS. Для коррекции значений в режиме реального времени данные передаются с использованием УКВ радио, длинных волн, GSM и собственных двухметровых (VHF) частот. УКВ радио передатчики транслируют сигнал коррекционных данных в RASANT (Radio Aided Satellite Navigation Technique) формате. Это конверсия RTCM 2.0 для передачи данных в Radio Data System (RDS) формате с использованием УКВ звуковой трансляции. SAPOS включает в себя четыре сервиса с различными характеристиками и точностью:
 - SAPOS EPS: сервис позиционирования в режиме реального времени
 - SAPOS HEPS: сервис высокоточного позиционирования в режим реального времени
 - SAPOS GPPS: сервис геодезического точного позиционирования
 - SAPOS GHPS: сервис геодезического высокоточного позиционирования
- **ALF:** (Accurate Positioning by Low Frequency) трансляторы коррекционных значений с выходом в 50 кВт из Mainflingen, Германия (около Франкфурта). Длинноволновой транслятор DCF42 (LW, 123.7 КГц) передает коррекционные значения на расстояние 600–1000 км. Эта верхняя боковая полоса (USB) является фазомодулированной (Bi-Phase-Shift-Keying BPSK). Германский федеральный центр картографии и геодезии совместно с German Telecom service (DTAG) обеспечивают данный сервис. При покупке необходимого декодера пользователь платит один раз. Из-за того, что коррекционные данные распространяются на длинных волнах, они могут быть получены при наличии затенения.
- **AMDS:** (Amplitude Modulated Data System) предназначено для цифровой передачи на средних и длинных частотах, используя существующие радиотрансляторы. Данные являются фазомодулированными и передаются на расстояние 600 – 1000 км.
- **Swipos-NAV:** (Swiss Positioning Service) представляет коррекционные данные с использованием FM-RDS или GSM. Radio Data System RDS является Европейским стандартом цифровых данных с использованием сети УКВ трансляторов (FM, 87-108 МГц). RDS был разработан для обеспечения информацией в диапазоне выше УКВ. RDS данные модулируются частотой 57 КГц на FM несущей. Пользователю необходим RDS декодер для расширения коррекционных значений DGPS. Для гарантии хорошего приема необходим прямой контакт с УКВ транслятором. Пользователи данного сервиса могут платить раз в год или один раз при покупке.
- **Радиомаяки:** радиомаяки являются сооружениями навигации и устанавливаются, как правило, вдоль берегов. Коррекционные сигналы DGPS обычно передают на частоте примерно 300 КГц. Скорость сигнала варьируется в зависимости от транслятора и составляет 100 и 200 бит в секунду.

6.5 Глобальная область DGPS (WADGPS)

6.5.1 Satellite Based Augmentation Systems, SBAS (WAAS, EGNOS)

6.5.1.1 Введение

Satellite Based Augmentation Systems (SBAS) используется для усиления функций GPS, GLONASS и GALILEO (как только она станет рабочей). Коррекционные и достоверные данные для GPS или GLONASS транслируются с геостационарных спутников над частотой GNSS.

6.5.1.2 Наиболее важные функции SBAS

SBAS значительно лучше GPS, поскольку точность позиционирования и надежность выше. SBAS, в отличие от GPS, осуществляет дополнительную передачу сигналов от различных геостационарных спутников.

- **Увеличение точность позиционирования с использованием коррекционных данных:** SBAS обеспечивает различные коррекционные данные, которые повышают точность позиционирования GNSS. Ионосферная ошибка, возникающая из-за задержки сигнала, скорректирована. Ионосферная ошибка варьируется в зависимости от времени дня и местности. Для проверки глобальной правильности данных необходимо обработать сеть наземных станций для вычисления ионосферной ошибки. В дополнение к ионосферным значениям SBAS проверяют коррекционную информацию относительно расположения спутника (эфимерис) и измерение времени.
- **Повышение надежности и безопасности:** SBAS проверяет каждый спутник GNSS и уведомляет пользователя о возникновении ошибки или поломки в течение 6 с. Информация да/нет передается, только если качество полученных сигналов ниже определенных пределов.
- **Увеличение доступности посредством трансляции навигационной информации:** SBAS геостационарные спутники передают сигналы, похожие на сигналы GNSS, хотя они пропускают данные точного времени. GNSS может определить позицию по этим сигналам, используя процедуру под названием "pseudorange".

6.5.1.3 Обзор существующих и планируемых систем

Хотя все Satellite Based Augmentation Systems (SBAS) включают в себя большие регионы (например, Европу), они должны быть совместимы друг с другом, и провайдеры SBAS должны сотрудничать и договариваться об общих принципах работы. Совместимость гарантируется применением стандарта RTCA DO-229C. В настоящее время SBAS системы определены для областей, приведенных ниже, которые работают или находятся в разработке и являются совместимыми (Рис. 68):

- **Северная Америка (WAAS, Wide Area Augmentation System):** US Federal Aviation Administration (FAA) ведет разработку Wide Area Augmentation System (WAAS), которая покрывает большую часть континентального США, а также Аляску и Канаду. WAAS работает со спутниками POR и AOR-W. Эти спутники должны стать активными в 2007/2008 годах. Непрерывная работа данного сервиса будет достигнута с помощью двух новых спутников, расположенных на 133°W и 107°W. Планируется расширить сервис на Канаду с помощью Канадской системы "CWAAS".
- **Европа (EGNOS, European Geostationary Overlay Service):** Европейская группа трех, включая ESA, Европейский союз и EUROCONTROL, разрабатывают EGNOS, European Geostationary Navigation Overlay Service. EGNOS предназначен для региона European Civil Aviation Conference (ECAC). В июне 2006 года EGNOS не был полностью одобрен для работы с приложениями высокой безопасности (например, с авиацией). Окончательный выпуск системы запланирован на 2007/2008 годы. Текущее состояние спутников EGNOS можно изучить в [xxiii].
- **Япония (MSAS, Multifunctional Satellite Based Augmentation System):** Японский офис Civil Aviation разрабатывает систему MTSAT на основе Augmentation System (MSAS), которая будет покрывать все пространство Японии.

- **Индия(GAGAN, GPS and GEO Augmented Navigation):** Indian Space Research Organization (ISRO) пытается разработать систему, совместимую с другими SBAS системами. Начало данной системе положат 4 GSAT-спутника, запуск которых планируется в 2007 году. Планируется создать независимую GNSS систему для Индии под названием Indian Regional Navigational Stellite System (IRNSS).
- **Китай(Beidou):** Beidou система включает в себя три геостационарных спутника (140°E, 110.5°E and 80°E), принадлежащих Китайскому правительству, система задумывалась как региональное расширение Китайской навигационной системы COMPASS. Окончательное введение системы в эксплуатацию неизвестно.

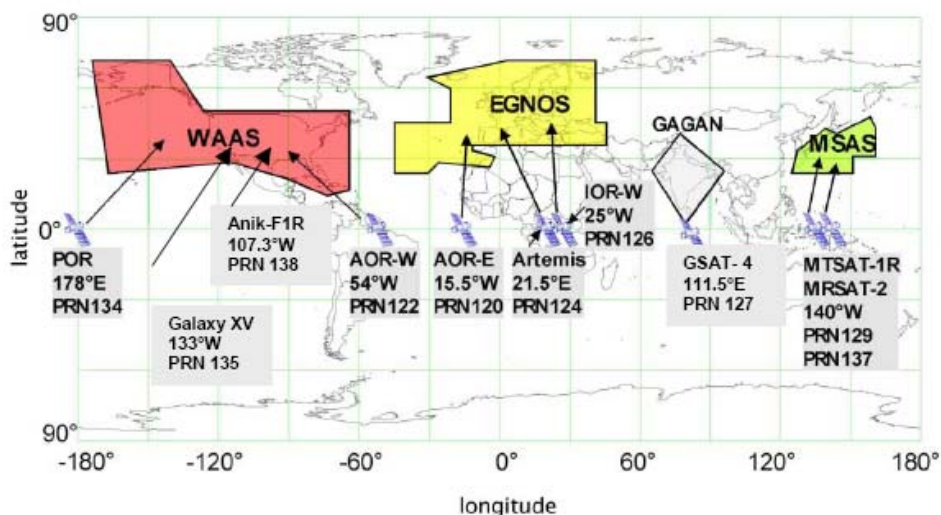


Рис. 68: Позиция и средства WAAS, EGNOS, GAGAN и MSAS

Геостационарные спутники (Таблица 14) транслируют сигналы с высоты примерно 36,000 км над экватором в направлении области использования. Pseudo Random Number (PRN) определен для каждого спутника. Частота трансляции сигналов такая же как GPS (L1, 1575.42 МГц).

Сервис	Описание спутника	Позиция	PRN
WAAS	Inmarsat 3F3 POR (регион Тихого океана)	178° E	134
WAAS	Inmarsat 3F4 AOR-W (западный регион Атлантического океана)	54° W	122
WAAS	Intelsat Galaxy XV	133° W	135
WAAS	TeleSat Anik F1R	107.3° W	138
EGNOS	Inmarsat 3F2 AOR-E (восточный регион Атлантического океана)	15.5° W	120
EGNOS	Artemis	21.5° E	124
EGNOS	Inmarsat 3F5 IOR-W (западный регион Индийского океана)	25° E	126
GAGAN	GSAT-4	111.5° E	127
MSAS	MTSAT-1R	140° E	129
MSAS	MTSAT-2	145° E	137

Таблица 14:ГЕО спутники, используемые WAAS, EGNOS и MSAS

6.5.1.4 Описание системы

Наземный комплексный сегмент состоит из нескольких основных отсчетных станций, наземных управляющих центров и 2-3 наземных спутниковых станций (Рис. 69). Каждая система использует собственное обозначение станций. Таблица 15 сравнивает обозначения.

Основное название	EGNOS обозначение	WAAS обозначение	MSAS обозначение
Отсчетная базовая станция	RIMS: Reference and Integrity Monitoring Station	WRS: Wide Area Base station	GMS: Ground Monitor Station
Управляющий центр	MCC: Mission Control Center	WMS: WAAS Master Station	MCS: Master Control Station
Спутниковая наземная станция	NLES: Navigation Land Earth Station	GES: Ground Earth Station	NES/GES: Navigation Earth Station/Ground Earth Station

Таблица 15: Обозначение SBAS станций

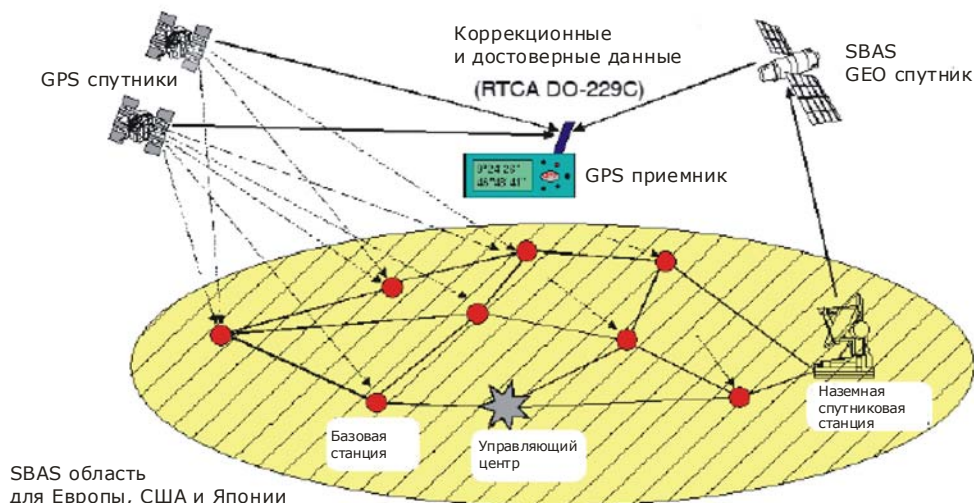


Рис. 69: Принцип все систем Satellite Based Augmentation Systems SBAS

- **Отсчетная станция:** в области SBAS есть несколько базовых отсчетных станций, объединенных в общую сеть. Базовые станции получают GNSS. Они внимательно изучаются по отношению к позиции. Каждая базовая станция определяет разницу между фактической и вычисленной позиции относительно спутников (псевдодиапазон). Данные затем передаются управляющему центру.
- **Управляющий центр:** управляющие центры выносят оценку коррекционным данным от базовых отсчетных станций, определяют точность всех GNSS сигналов, полученных от каждой отсчетной станции, рассчитывают погрешности, возможность возникновения турбулентности в ионосфере и проверяют достоверность системы GNSS. Изменения данных интегрируются в сигнал и передаются через спутниковые наземные станции.
- **Спутниковые наземные станции:** эти станции транслируют сигналы различным геостационарным спутникам.

- **GEO спутники:** SBAS GEO (геостационарные) спутники получают сигналы от наземных спутниковых станций и транслируют их пользователям GNSS. В отличие от GNSS спутников, GEO спутники не имеют на борту генераторов сигнала, но оснащены транспондерами, которые транслируют сигналы, обработанные на земле и переданные им. Сигналы передаются на Землю на частоте (1575.42 МГц). SBAS сигналы могут получать и обрабатывать соответствующим образом оснащенные GNSS приемники.

6.5.2 Спутниковые сервисы DGPS с использованием RTCM SC-104

Несколько геостационарных спутников непрерывно транслируют коррекционные данные. Ниже приведены некоторые из этих сервисов. Данные сервисы используют RTCM SC-104 стандарт и требуют специального декодера.

- **MSAT:** разработан National Research Council в Канаде, этот сервис транслирует Canada-Wide DGPS (CDGPS) сигналы, используя два геостационарных спутника.
- **Omnistar (Fugro Group) и LandStar-DGPS,** (Thales Company), независимо транслируют коррекционные данные через 6 GEO спутников (Рис. 70). Сервисы платные и пользователи должны иметь доступ к специальному приемнику/декодеру для его использования. Omnistar и Landstar транслируют информацию на частоте L-band (1-2 ГГц) на землю. Базовые станции распространены по всему миру. Геостационарные спутники расположены на центральной широте низко над горизонтом ($10^\circ \dots 30^\circ$). Нахождение в пределах прямой видимости необходимо для радиоконтакта.

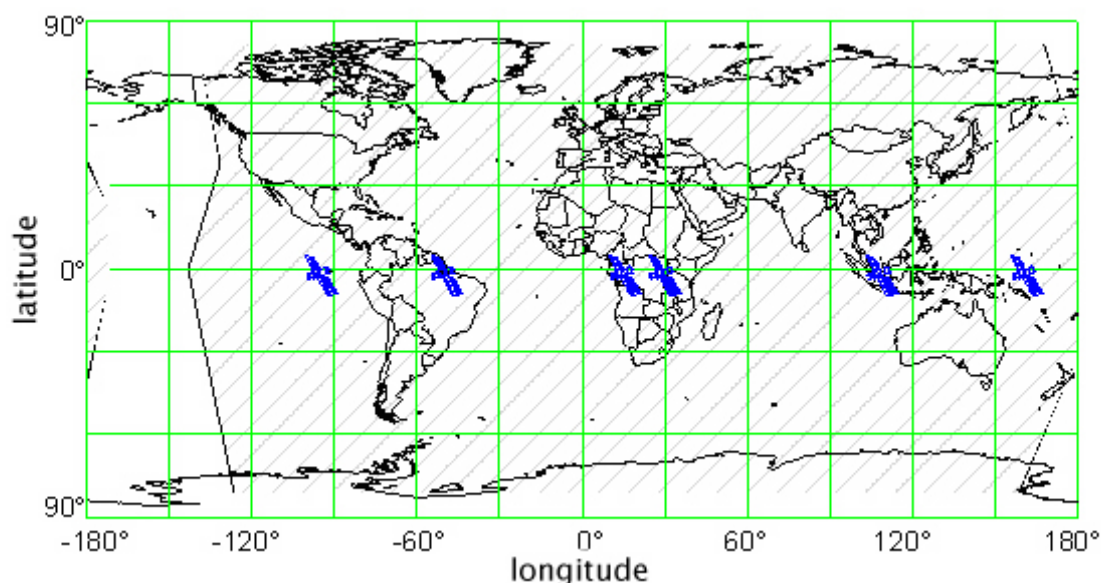


Рис. 70: Зона распределения LandStar-DGPS и Omnistar

- **Starfire** Property of NavCom Technology, Inc., транслирует коррекционные данные через 3 Inmarsat GEO спутника. Сервис платный и пользователь должен иметь доступ к специальному приемнику/декодеру для его использования. Starfire транслирует информацию на частоте L-band (1-2 ГГц) на землю. Соответствующие базовые станции распространены по всему миру. Сервис доступен в диапазоне от $\pm 76^\circ$ широты.

6.6 Возможная точность с DGPS и SBAS

Таблица 16 демонстрирует возможную точность позиционирования с и без DGPS/SBAS.

Источник ошибки и тип	Ошибка без DGPS/SBAS	Ошибка с DGPS/SBAS
Данные эфимериса	2.1 м	0.1 м
Спутниковые часы	2.1 м	0.1 м
Эффект ионосферы	4.0 м	0.2 м
Эффект тропосферы	0.7 м	0.2 м
Отраженные сигналы	1.4 м	1.4 м
Влияние приемника	0.5 м	0.5 м
Общее значение RMS	5.3 м	1.5 м
Общее значение RMS (фильтрованное)	5.0 м	1.3 м
Горизонтальная ошибка (1-Sigma (68%) HDOP=1.3)	6.5 м	1.7 м
Горизонтальная ошибка (2-Sigma (95%) HDOP=1.3)	13.0 м	3.4 м

Таблица 16: Точность позиционирования без и с DGPS/SBAS

6.7 Assisted-GPS (A-GPS)

6.7.1 Принцип A-GPS

Допустим, что устройства для Location Based Services (LBS, см. 9.2.1) работают не всегда. Особенно в случаях, когда локализация получена с GNSS, поскольку работа от батарей прекращается во время долгих стационарных периодов для минимизации потребляемой мощности. Поскольку GNSS устройство работает не всегда, есть вероятность, что информация относительно позиции спутника может оказаться недоступной. При неактивности 2 и более часов для запуска должны быть загружены орбитальные данные спутников. GNSS приемнику обычно необходимы последние 8-36 секунд для получения орбитальных данных и вычисления позиции. В трудных условиях приема (в городе, где высокие здания закрывают прямой обзор неба) вычисление первой позиции может потребовать нескольких минут.

В отсутствие орбитальных данных GNSS приемники должны провести поиск доступных спутников, загрузить данные и вычислить позицию. Поиск GPS спутников (к примеру) по Коду-Частоте-Уровню занимает много времени. Время корреляции обычно составляет 1 мс (1 C/A период) на позицию по коду-частоте-уровню. Если частотный диапазон будет разбит на 50 шагов (то есть частотный интервал составляет $(2 \times 6000 / 50 \text{ Гц} = 240 \text{ Гц})$, тогда потребуется пройти $1023 \times 50 = 51,150$ позиций, что займет 51 секунду. См. раздел 6.8.

Данную проблему можно исправить получением спутниковых орбитальных данных и дополнительной доступной GNSS информации, используя другие каналы связи, например, через GSM, GPRS, CDMA или UMTS. Данное решение называется Aiding (вспомогательное) и реализуется с помощью Assisted-GPS. Assisted-GPS (или A-GPS) является функцией или сервисом, который использует вспомогательные данные для получения позиции. GNSS приемник получает вспомогательные данные по мобильной связи или непосредственно по Интернету. Вспомогательные данные включают в себя следующую информацию:

- Расположение спутника (Альманах)
- Точные орбитальные данные (Эфимерис, орбиты)
- Информация о времени
- Частота Доплера и Смещение частоты (Ошибка) GNSS приемника

С доступной вспомогательной информацией GNSS приемник может быстро вычислить позицию даже при плохих условиях. В зависимости от сложности и содержимого вспомогательной информации может сильно меняться время запуска. Время запуска также зависит от интенсивности GNSS-сигнала. Обычно это соответствует действительности, но все-таки чем более полная вспомогательная информация, тем быстрее проходит запуск. Мобильная станция передачи со встроенным GNSS устройством также требует наличия в пределах видимости четырех спутников. Для использования A-GPS GNSS приемникам необходим интерфейс для получения дополнительных данных.

Можно сэкономить время, устранив прием орбитальных данных. В дополнение к этому, можно сократить область поиска, если известны Частота Доплера и смещение частоты GNSS приемника (Рис. 71). Это приводит к ускорению захвата сигнала и экономит время.

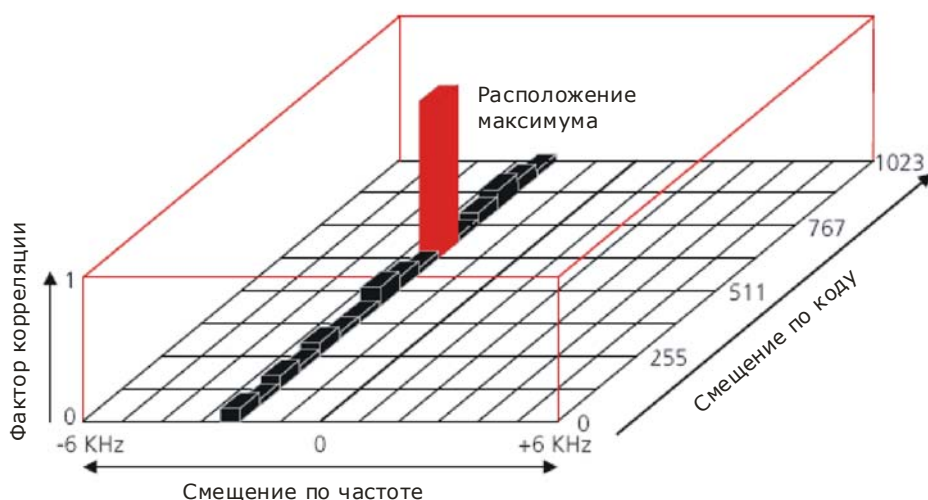


Рис. 71: Ускорение процедуры поиска с A-GPS посредством уменьшения области поиска

Применяются два различных метода использования вспомогательной информации:

- С **Принципом Онлайн** вспомогательные данные напрямую загружаются с сервера в режиме реального времени. Данная информация верна ограниченное время (AssistNow[®] Online by u-blox AG)
- С **Принципом Оффлайн** вспомогательные данные (в основном predetermined альманахом и эфемерисом) загружаются с сервера и хранятся в GNSS устройстве для приложения. Данные являются верными несколько дней. При необходимости сохраненные данные используются при запуске (AssistNow[®] Offline by u-blox AG).

Вспомогательная информация собрана в сети GNSS отсчетных станций (GNSS Reference Network), расположенной по всему миру.

Ниже на блочной диаграмме проиллюстрирована обычная A-GPS система (Рис. 72), состоящая из глобальной системы GNSS приемников, центрального сервера, который предоставляет вспомогательные данные и A-GPS приемников (GNSS конечные устройства). GNSS приемники глобальной сети получают соответствующую спутниковую информацию и передают ее серверу. Сервер вычисляет вспомогательные данные и передает их (по мобильной связи или интернету) по требованию GNSS конечных устройств для быстрого вычисления первой позиции.

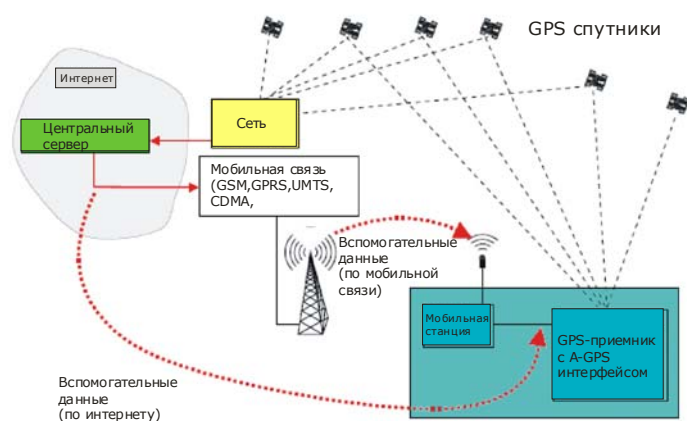


Рис. 72: Система Assisted-GPS

6.7.2 A-GPS с онлайн вспомогательными данными (Real-time A-GPS)

С принципом онлайн или режимом реального времени вспомогательные данные напрямую загружаются с сервера по необходимости и являются верными короткое время. Недостатком данного принципа является относительно медленная связь (GPRS, например, требует 30 с) или недоступность выхода в интернет.

6.7.3 A-GPS с оффлайн вспомогательными данными (Predicted Orbits)

A-GPS с оффлайн вспомогательными данными представляет собой систему, обеспечивающую GNSS приемник predetermined orbital data (Predicted Orbits). Приемник сохраняет эту информацию, и связь с сервером прерывается. В следующий раз GNSS приемник запускает сохраненную информацию, чтобы использовать ее для определения текущей орбитальной информации для навигации. Следовательно, нет необходимости ждать, пока вся эта информация будет загружена со спутников, и приемник может немедленно начать навигацию. В зависимости от провайдера, вспомогательные данные могут быть верными до 10 дней, однако со временем точность позиционирования падает.

6.7.4 Сеть

Предопределение орбит, данные о которых передаются A-GPS в режиме реального времени, требует по всему миру сети мониторинговых станций, которые непрерывно и точно отслеживают перемещения спутников. Мощные сервер использует эти данные для определения орбит на ближайшие несколько дней. Примером такой сети служит International GNSS-Service (IGS, или International GPS-Service [xxiv]), который по всему миру образует сеть (Рис. 73).

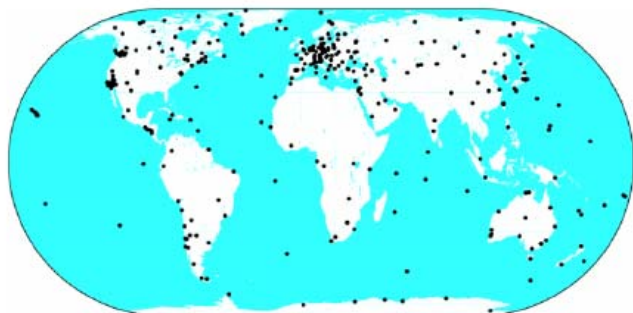


Figure 73: IGS reference stations (as of October 2006) with approx. 340 active stations

6.8 Высокочувствительный GPS (HSGPS)

Пока востребованы приложения срочного вызова или Location Based Services, требующие хорошего приема в зданиях и городских каньонах, качество приема GNSS-приемников постоянно улучшается. Основные усилия направлены на:

- Повышение чувствительности сигнала
- Быстрый поиск при активации приемника (время первой фиксации, TTFF)
- Снижение чувствительности к интерференции (интерференции отраженных сигналов или электромагнитной интерференции)

Разные производители используют разные стратегии для улучшения изделий. Большинство из них обсуждается в этой главе, включая:

- Повышение стабильности генератора
- Антенны
- Анализ помех
- Увеличение корреляторов и времени корреляции

6.8.1 Повышение стабильности генератора

Разработка и использование генераторов повышенной стабильности позволяет уменьшить или компенсировать зависимость кварца от температуры, чтобы, в свою очередь, уменьшить время поиска сигнала в необходимых частотных областях. Сюда входят кристаллические генераторы с температурной компенсацией (TCXO).

В дополнение, исследования показали, что обычные кварцевые генераторы производят микровариации на частоте 10^{-9} Гц. Причиной этих вариаций является неточная структура кварцевого кристалла. Из-за этих частотных изменений время поиска может возрасти, так как поиск Frequency-Code-Level во время процесса корреляции нарушен. Разработка кварцевых генераторов с пониженной тенденцией к микровариациям приведет к уменьшению помех.

6.8.2 Антенны

Антенны делают для снижения чувствительности к помехам и для выборочного приема GNSS частот. Недостатком является увеличение размеров. Это противоречит общему направлению миниатюризации мобильных станций.

6.8.3 Анализ помех

Помеха (NF) является величиной, которая показывает, что соотношение сигнал/шум входящего сигнала уменьшается за счет добавления шума самого приемника.

Минимизация помех и максимум усиления на первой стадии (LNA) немного повышает чувствительность приемника. В случае с каждым приемником первая стадия усиления определяет характеристики помехи для всего приемника. Это показано в уравнении ниже, а также на упрощенной блочной диаграмме (Рис. 74) с LNA и комбинированными последующими этапами (SS):

$$NF_{Total} = NF_{LNA} + \frac{NF_{SS}}{G_{LNA}}$$

NF: Помеха (Дб)

G: Усиление

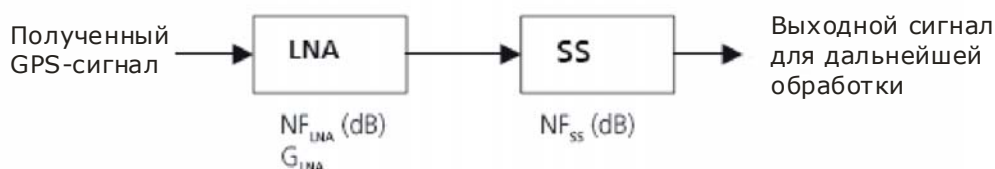


Рис. 74: Блочная диаграмма входных состояний

С обычными помехами на первой и последующих стадиях усиления в 20 Дб и 1.6 Дб соответственно возможны только предельные улучшения с новыми технологиями, developments [xxvi]. Дальнейшее продвижение в этой области практически невозможно.

6.8.4 Корреляторы и время корреляции

Спектральная плотность мощности полученных GNSS сигналов примерно на 16 Дб ниже плотности термического шума (см. Рис. 16). Демодуляция и концентрирование полученных GNSS сигналов дает усиление системы G_G в 43 Дб (см. Рис. 24).

Увеличение времени корреляции (Интеграция времени или интервал времени) повышает чувствительность GNSS модуля. Более длинный коррелятор находится на специальном частотном уровне, ниже требуемой интенсивности GNSS сигнала для антенны. При возрастании времени корреляции на величину k увеличение G_R отдельно от термического шума составит:

$$G_R = \log_{10}(k)$$

Удвоение времени корреляции дает в результате разделение сигнал – шум в 3 Дб. На практике увеличение времени корреляции до 20 мс не составляет проблемы. При известном значении переданных битов данных это время может дополнительно возрасти. В противном случае, возможно через некогерентную интеграцию увеличить время корреляции до 1 секунды, что, однако, приведет к потере в несколько Дб.

Для повышения чувствительности поиска увеличено количество дополнительных корреляторов.

Современные GNSS приемники обычно имеют чувствительность примерно 160 Дбм. Данный GPS оператор (US Department of Defense) гарантирует интенсивность сигнала – 130 Дбм, GNSS приемники, следовательно, могут работать в зданиях с ослаблением сигнала до 30 Дб.

6.9 GNSS-усилитель или излучающая антенна

GNSS-усилитель (также известный как излучающая антенна или трансивер) принимает GNSS сигналы от видимых спутников через внешнюю антенну, усиливая их и передавая далее (например, в здание). Он не требует прямого соединения с GNSS устройством. Приемная антенна устанавливается снаружи в благоприятном для получения сигналов месте. GNSS-усилитель состоит из (Рис. 75):

- Внешней антенны (Приемной антенны)
- Внутренней антенны (Передающей антенны)
- Электрического адаптера
- Усилителя
- Кабеля



Рис. 75: GNSS усилитель (внешняя антенна, электрический адаптер и силовой провод, усилитель и внутренняя антенна)

6.10 Псевдоспутники для внутренних приложений

Псевдоспутники являются передатчиками на земле, которые функционируют аналогично GNSS спутникам. Псевдоспутники часто используются в авиации при посадках. Данная процедура обычно не используется для внутренних приложений, так как некоторые необходимые компоненты очень дороги.

7 Форматы данных и интерфейсы оборудования

Если Вам нравится. . .

- знать, что означает NMEA и RTCM
- знать, какие есть варианты данных
- знать, какие данные доступны в случае всех GNSS приемников
- знать, что такое активная антенна
- знать, как происходит синхронизация GNSS приемников

тогда **эта глава** для Вас!

7.1 Введение

Приемникам GNSS необходимы различные сигналы для функционирования (Рис. 76). Эти переменные являются передачей после того, как позиция и время успешно будут вычислены и будут определены. Для различных портативных типов изделий есть или международные стандарты для обмена данными (NMEA и RTCM), или изготовитель предоставляет predeterminedенные форматы и протоколы.

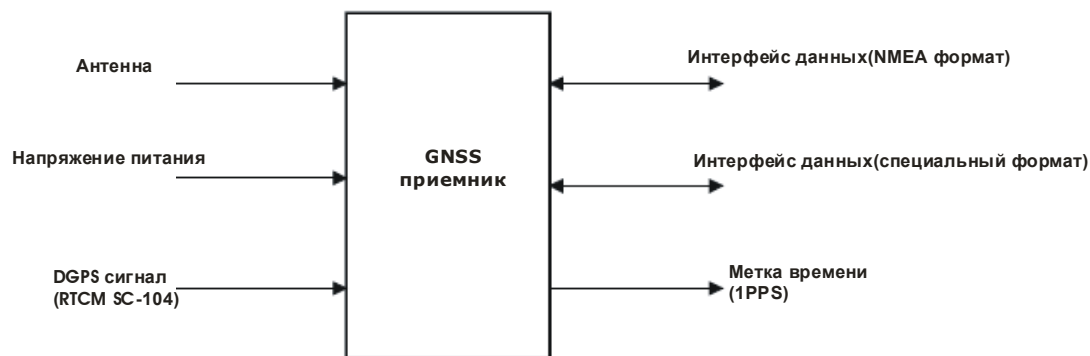


Рис.76 Блочная диаграмма GNSS приемника с интерфейсами

7.2 Интерфейсы данных

7.2.1 NMEA-0183 интерфейс данных

Для передачи вычисленных переменных GNSS, таких как позиция, скорость, курс и т.п. на периферийное устройство (напр. компьютер, экран, трансивер), модули GPS имеют последовательный интерфейс (уровни TTL или RS-232). Наиболее важная часть информации приемника передается через этот интерфейс в специальном формате данных. Этот формат сертифицирован Национальной Морской Ассоциацией Электроники (NMEA), так что обмен данными происходит без проблем. В настоящее время данные передаются в соответствии со спецификацией NMEA-0183. NMEA определяет комплекты данных для различных приложений напр. GNSS (Спутниковая Система Глобальной Навигации), GPS, Logon, Omega, Transit и для различных изготовителей. Следующие семь комплектов данных широко используются модулями GNSS для передачи информации GNSS[XXVII]:

1. GGA(GPS Fix данные, данные для GPS системы)
2. GLL(географическая позиция – широта/долгота)
3. GSA
4. GSV
5. RMC(рекомендуемый минимум GNSS данных)
6. VTG(курс над планетой и скорость планеты, горизонтальный курс и горизонтальная скорость)
7. ZDA(время и данные)

7.2.1.1 Структура NMEA протокола

В случае NMEA скорость передачи данных 4800 Бод с использованием 8- битовых символов ASCII. Передача начинается со стартового бита (логический ноль), далее следуют восемь бит данных и стоповый бит (логическая единица). Биты четности не используются.

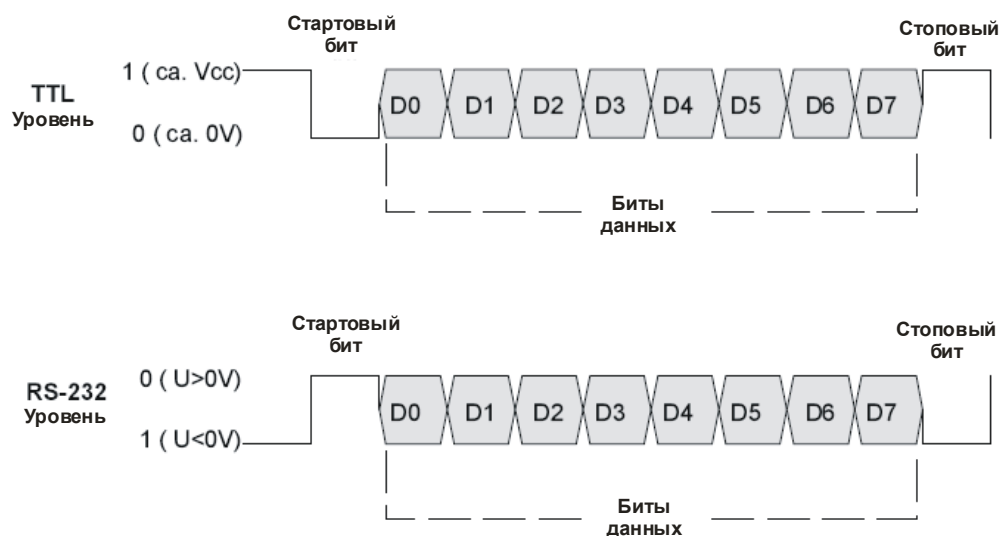


Рис.77 Формат NMEA(уровни TTL или RS-232)

Различные уровни следует принимать во внимание, в зависимости от используемых уровней приемником GNSS - TTL или RS-232 (Рис. 77):

- В случае интерфейса уровня TTL, логический ноль соответствует приблизительно 0 В и логическая единица соответствует рабочему напряжению системы (+3.3В... +5В)
- В случае RS-232 интерфейса, логический ноль соответствует положительному напряжению (+3В... +1 5В) и логическая единица - отрицательному напряжению (-3В... -1 5В).

Если модуль GPS с интерфейсом уровня TTL подключен к устройству с интерфейсом RS-232, то необходимо произвести преобразование уровня (см. 7.3.4).

Некоторые модули GPS позволяют передавать на скорости вплоть до 38400 бит в секунду.

GPS данные имеют следующую структуру:

```
$GPDTS,inf_1 ,inf_2, inf_3,inf_4,inf_5,inf_6,inf_n*CS<CR><LF>
```

Функции отдельных символов или значения символов приведены в таблице 17.

Поле	Описание
\$	Начальная установка
GP	Информация из GPS приложения
DTS	Идентификатор данных (т.е. RMC)
Inf_1 bis Inf_n	Информация с номером 1... n (т.е. 175.4 для данных курса)
,	Разделитель строк информации
*	Звездочка используется как разделитель контрольной суммы
CS	Контрольная сумма (контрольное слово) для проверки верности данных
<CR><LF>	Конец данных: возвращает (<CR>) и переводит линию, (<LF>)

Таблица 17. Описание отдельных блоков NMEA DATA SET

Максимальное количество используемых символов не должно превышать 79. При этом стартовый знак \$ и конечные знаки <CR><LF> не считаются.

Следующий протокол NMEA был записан, используя приемник GNSS (Таблица 18):

\$GPRMC,1 30303.0,A,471 7.1 1 5,N,00833.91 2,E,000.03,043.4,200601 ,01 .3,W*7D<CR><LF>
\$GPZDA,1 30304.2,20,06,2001 *56<CR><LF>
\$GPGGA,1 30304.0,471 7.11 5,N,00833.91 2,E,1 ,08,0.94,00499,M,047,M,, *59<CR><LF>
\$GPG[,471 7.11 5,N,00833.91 2,E,1 30304.0,A*33<CR><LF>
\$G PVTG,205.5,T,206.8,M,000.04,N,000.08,K*4C<CR><LF>
\$GPGSA,A,3,1 3,20,1 1,29,01 ,25,07,04,,,,, 1 .63,0.94,1 .33*04<CR><LF>
\$GPGSV,2,1 ,8,1 3,1 5,208,36,20,80,358,39,11 ,52,1 39,43,29,1 3,044,36*42<CR><LF>
\$GPGSV,2,2,8,01 ,52,1 87,43,25,25,074,39,07,37,286,40,04,09,306,33*44<CR><LF>
\$GPRMC,1 30304.0,A,471 7.1 1 5,N,00833.91 2,E,000.04,205.5,200601 ,01 .3,W*7C<CR><LF>
\$GPZDA,1 30305.2,20,06,2001 *57<CR><LF>
\$GPGGA,1 30305.0,471 7.11 5,N,00833.91 2,E,1 ,08,0.94,00499,M,047,M,, *58<CR><LF>
\$GPG[,471 7.11 5,N,00833.91 2,E,1 30305.0,A*32<CR><LF>
\$GPVTG,01 4.2,1,01 5.4,M,000.03,N,000.05,K*4F<CR><LF>
\$GPGSA,A,3,1 3,20,1 1,29,01 ,25,07,04,,,,, 1 .63,0.94,1 .33*04<CR><LF>
\$GPGSV,2,1 ,8,1 3,1 5,208,36,20,80,358,39,11 ,52,1 39,43,29,1 3,044,36*42<CR><LF>
\$GPGSV,2,2,8,01 ,52,1 87,43,25,25,074,39,07,37,286,40,04,09,306,33*44<CR><LF>

Таблица 18 Запись NMEA протокола

7.2.1.2 Установка GGA данных

Данные GGA содержат информацию о времени, долготе и широте, состоянии системы, количестве используемых спутников и высоте.

Пример GGA данных:

```
$GPRGGA,1 30305.0,4717.11 5,N,00833.91 2,E,1 ,08,0.94,00499,M,047,M,,*58<CR><LF>
```

Функции отдельных символов или значения символов приведены в таблице 19.

Поле	Описание
\$	Начальная установка
GP	Информация от GNSS приложения
GGA	Идентификатор данных
130305.0	UTC время: 13 ч 03 мм 05.0 сек.
4717.115	Широта: 47 ⁰ 17.115 мин.
N	Северная широта (N=север, S= юг)
00833.912	Latitude: 8° 33.91 2 мин.
E	Восточная долгота (E= восток, W=запад)
1	GPS детали (0= нет GPS, 1 = GPS, 2=DGPS)
08	Число спутников, используемых в вычислениях
0.94	Горизонтальное отклонение точности (HDOP)
00499	Данные о высоте антенны (высота геоида)
M	Блок высоты (M= метр)
047	Дифференциал высоты между эллипсоидом и геоидом
M	Блок дифференциальной высоты (M= метр)
''	Возраст DGPS данных (в этом случае DGPS не используется)
0000	Идентификация DGPS отсчетной станции
*	Разделитель контрольной суммы
58	Контрольная сумма для верификации всех данных
<CR><LF>	Конец установки

Таблица 19. Описание блоков GGA данных

7.2.1.3 Установка GLL данных

Данные GLL (географическая позиция - широта/долгота) содержат информацию о широте и долготе, времени и состоянии.

Пример данных GLL:

```
$GPGLL,471 7.11 5,N,00833.91 2,E,1 30305.0,A*32<CR><LF>
```

Функции отдельных символов или значения символов приведены в таблице 20.

Поле	Описание
\$	Начальная установка
GP	Информация от GNSS приложения
GLL	Идентификатор данных
4717.115	Широта: 470 ⁰ 17.115 мин
N	Северная широта (N=север, S= юг)
00833.912	Долгота: 8° 33.91 2 мин
E	Восточная долгота (E=восток, W=запад)
130305.0	UTC время: 13 ч 03 мин 05.0 секс
A	Качество данных: A означает верно (V= неверно)
*	Разделитель контрольной суммы
32	Контрольная сумма для верификации всех данных
<CR><LF>	Конец установки

Таблица 20 Описание GLL блоков данных

7.2.1.4 Установка GSA данных

Данные GSA (GNSS DOP и активные спутники) содержат информацию о режиме измерения (2D или 3D), количестве спутников, используемых для определения позиции и порядок точности измерений (DOP).

Пример установки GSA данных:

```
$GPGSA,A,3,1 3,20,11,29,01,25,07,04,,,,, 1.63,0.94,1 .33*04<CR><LF>
```

Функции отдельных символов или значения символов приведены в таблице 21.

Поле	Описание
\$	Начальная установка
GP	Информация от GNSS приложения
GSA	Идентификатор данных
A	Режим вычисления (A= автоматический выбор между 2D/3D режимом, M= ручной выбор между 2D/3D режимом)
3	Режим вычисления (1= нет, 2=2D, 3=3D)
13	ID число спутников, используемых для вычисления позиции
20	ID число спутников, используемых для вычисления позиции
11	ID число спутников, используемых для вычисления позиции
29	ID число спутников, используемых для вычисления позиции
01	ID число спутников, используемых для вычисления позиции
25	ID число спутников, используемых для вычисления позиции
07	ID число спутников, используемых для вычисления позиции
04	ID число спутников, используемых для вычисления позиции
////	Пустое поле для дополнительных ID номеров (в настоящее время не используется)
1 .63	PDOP
0.94	HDOP
1 .33	VDOP
*	Разделитель для контрольной суммы
04	Контрольная сумма для верификации всех данных
<CR><LF>	Конец установки данных

Таблица 21 Описание блоков GSA данных

7.2.1.5 Установка GSV данных

Данные GSV содержат информацию о количестве видимых спутников, их идентификаторах, их расположении и азимуте и соотношении сигнал-шум.

Пример установки GSA данных:

```
$GPGSV,2,2,8,01,52,187,43,25,25,074,39,07,37,286,40,04,09,306,33*44<CR><LF>
```

Функции отдельных символов или значения символов приведены в таблице 22.

Поле	Описание
\$	Начальная установка
GP	Информация от GNSS приложения
GSV	Идентификатор данных
2	Общее число переданных GSV данных (от 1 до. 9)
2	Текущее число GSV данных (от 1 до. 9)
09	Общее число видимых спутников
01	Идентификационный номер первого спутника
52	Высота (0°... 90°)
187	Азимут (0°... 360°)
43	Соотношение сигнал-шум Дб-Гц (1... 99, 0, когда нет движения)
25	Идентификационный номер второго спутника
25	Высота (0°... 90°)
074	Азимут (0°... 360°)
39	Соотношение сигнал-шум Дб-Гц (1... 99, 0, когда нет движения)
07	Идентификационный номер третьего спутника
37	Высота (0°... 90°)
286	Азимут (0°... 360°)
40	Соотношение сигнал-шум в Дб-Гц (1... 99, 0, когда нет движения)
04	Идентификационный номер четвертого спутника
09	Высота (0°... 90°)
306	Азимут (0°... 360°)
33	Соотношение сигнал-шум в Дб-Гц (1... 99, 0, когда нет движения)
*	Разделитель для контрольной суммы
44	Контрольная сумма для верификации всех данных
<CR><LF>	Конец установки данных

Таблица 22 Описание блоков GSV данных

7.2.1.6 Установка RMC данных

Данные RMC (минимум GNSS) содержат информацию о времени, широте, долготе и высоте, статусе системы, скорости, курсе и дате. Эти данные передаются всеми приемниками GPS.

Пример данных RMC:

```
$GPRMC,1 30304.0,A,471 7.11 5,N,00833.91 2,E,000.04,205.5,200601 ,01 .3,W*7C<CR><LF>
```

Функции отдельных символов или значения символов приведены в таблице 23.

Поле	Описание
\$	Начальная установка
GP	Информация от GNSS приложения
RMC	Идентификатор данных
130304.0	Время приема (время UTC): 13 ч 03 мин 04.0 сек
A	Качество данных: A означает верные (V= неверные)
4717.115	Широта: 470 ⁰ 17.115мин
N	Северная широта (N=север, S= юг)
00833.912	Долгота: 8° 33.912 мин
E	Восточная долгота (E=восток, W=запад)
000.04	Скорость: 0.04 узлов
205.5	Курс: 205.5°
200601	Дата: 20 июня 2001
01.3	Отклонение: 1.3°
W	Западное направление отклонение (E =восток)
*	Разделитель контрольной суммы
7C	Контрольная сумма для верификации всех данных
<CR><LF>	Конец установки

Таблица 23 Описание блоков RMC данных



7.2.1.7 Установка VTG данных

VTG данные содержат информацию о курсе и скорости

Пример VTG данных:

```
$GPVTG,01 4.2,T,01 5.4,M,000.03,N,000.05,K*4F<CR><LF>
```

Функции отдельных символов или значения символов приведены в таблице 24.

Поле	Описание
\$	Начальная установка данных
GP	Информация из GNSS приложения
VTG	Идентификатор данных
014.2	Курс 14.2° (Т) с расположением на горизонтальной плоскости
T	Угловые данные курса относительно карты
015.4	Курс 15.4° (M) с расположением на горизонтальной плоскости
M	Угловые данные курса относительно магнитного севера
000.03	Горизонтальная скорость (N)
N	Скорость в узлах
000.05	Горизонтальная скорость (км/ч)
K	Скорость в км/ч
*	Разделитель контрольной суммы
4F	Контрольная сумма для верификации всех данных
<CR><LF>	Конец установки данных

Таблица 24 Описание блоков VTG данных



7.2.1.8 Установка ZDA данных

ZDA данные(время и дата) содержат UTC время, дату и местное время.

Пример ZDA данных:

```
$GPZDA,1 30305.2,20,06,2001 *57<CR><LF>
```

Функции отдельных символов или значения символов приведены в таблице 25.

Поле	Описание
\$	Начальная установка данных
GP	Информация от GPS приложения
ZDA	Идентификатор данных
130305.2	UTC время: 13 ч 03 мин 05.2 сек
20	День(00...31)
06	Месяц (1 ... 12)
2001	Год
	Зарезервировано для данных о местном времени (ч), здесь не определено
	Зарезервировано для даты местного времени (мин), здесь не определено
*	Разделитель контрольной суммы
57	Контрольная сумма для верификации всех данных
<CR><LF>	Конец установки данных

Таблица 25 Описание блоков ZDA данных

7.2.1.9 Вычисление контрольной суммы

Контрольная сумма определяется операцией исключающее-ИЛИ, включающей все 8 бит данных (за исключением стартовых и стоповых битов) из всех переданных символов, включая разделители. Операция исключающее-ИЛИ начинается после начала установки данных (знак \$) и заканчивается перед разделителем контрольной суммы (звездочка: *).

8- битовый результат подразделен на 2 части по 4 бита (полубайты), и каждая часть преобразована в соответствующую шестнадцатеричную величину (0... 9, A... F). Контрольная сумма состоит из двух шестнадцатеричных величин, преобразованных в символы ASCII.

Принцип вычисления контрольной суммы можно объяснить с помощью краткого примера: получены данные NMEA и нужно проверить контрольную сумму (CS) .

```
$GPRTE,1 ,1 ,c,*07
```

(07 - контрольная сумма)

Процедура:

1. Только символы между \$ и * включаются в анализ: GPRTE,1,1,c,0
2. Эти 13 ASCII символов конвертируются в 8 битные данные(см.Таблицу 26)
3. К каждому биту из 13 символов ASCII применяется операция исключающее-ИЛИ (обратите внимание: если число единиц нечетное, то результат операции исключающее-ИЛИ равен единице)
4. Результат подразделяется на два полубайта
5. Определяется шестнадцатеричное значение каждого полубайта
6. Оба шестнадцатеричных значения передаются в виде ASCII символов, формируя контрольную сумму

Символ	ASCII (8 битное значение)							
G	0	1	0	0	0	1	1	1
P	0	1	0	1	0	0	0	0
R	0	1	0	1	0	0	1	0
T	0	1	0	1	0	1	0	0
E	0	1	0	0	0	1	0	1
,	0	0	1	0	1	1	0	0
1	0	0	1	1	0	0	0	1
,	0	0	1	0	1	1	0	0
1	0	0	1	1	0	0	0	1
,	0	0	1	0	1	1	0	0
C	0	1	1	0	0	0	1	1
,	0	0	1	0	1	1	0	0
0	0	0	1	1	0	0	0	0
Значение исключительного-ИЛИ	0	0	0	0	0	1	1	1
Полубайт	0000				0111			
Шестнадцатеричное значение	0				7			
ASCII CS символы (необходимо!)	0				7			

Направление
обработки



Таблица 26 Определение контрольной суммы для данных NMEA

7.2.2 Данные коррекции DGPS (RTCM SC-104)

Стандарт RTCM SC-104 используется для передачи значений коррекции. RTCM SC-104 установлен "Radio Technical Commission for Maritime Services Special Committee 104" и в настоящее время признается всеми как промышленный стандарт [xvi]. Есть две версии RTCM, рекомендованных стандартов для Differential NAVSTAR GPS сервиса.

- Версия 2.0 (выпущена в январе 1990)
- Версия 2.1 (выпущена в январе 1994)

Версия 2.1 - переработанная версия 2.0 и отличается тем, то, что она обеспечивает дополнительную информацию в режиме реального времени (Real Time Kinematic, RTK).

Обе версии подразделены на 63 типа сообщения, номера 1, 2, 3 и 9 использовались первоначально для коррекции на основе размеров кода.

7.2.2.1 Заголовок RTCM сообщения

Каждый тип сообщения подразделен на слова из 30 бит, и каждое начинается с однородного заголовка, включающего в себя два слова (СЛОВО 1 и СЛОВО 2). Из информации в заголовке можно определить, какой тип сообщения последует за [xxx], и, какая отсчетная станция будет передавать данные коррекции (Рис. 78 из [xxx]).

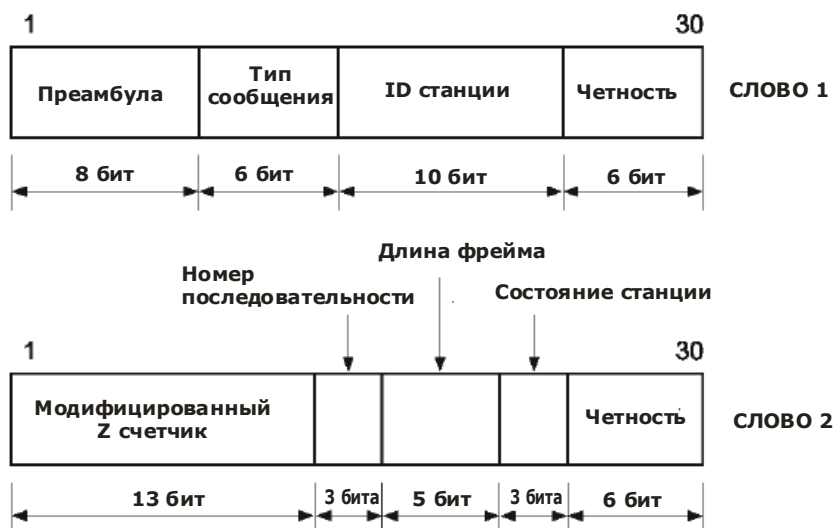


Рис.78 Конструкция заголовка RTCM сообщения

Содержание	Название	Описание
Преамбула	Преамбула	Преамбула
Тип сообщения	Тип сообщения	Идентификатор типа сообщения
ID станции	ID номер отсчетной станции	Идентификация отсчетной станции
Четность	Код коррекции ошибки	Четность
Модифицированный Z-счетчик	Модифицированный Z-счетчик	Модифицированный Z-счетчик, увелич. Счетчик времени
Номер последовательности	Номер последовательности фрейма	Номер последовательности
Длина фрейма	Длина фрейма	Длина фрейма
Состояние станции	Состояние отсчетной станции	Техническое состояние отсчетной станции

Таблица 27 Содержимое заголовка RTCM сообщения

Специфическое содержание данных в сообщении (СЛОВО 3... СЛОВО n) следует за заголовком.

7.2.2.2 Тип 1 сообщения RTCM

Сообщение типа 1 передает данные коррекции псевдо - диапазона (данные коррекции PSR, коррекция диапазона) для всех видимых спутников GNSS, данные, основанные на последнем обновлении эфемериса. Тип 1 дополнительно содержит показатель величины изменения коррекции (Рис. 79 из [xxx1], показаны СЛОВО 3.. СЛОВО 6).

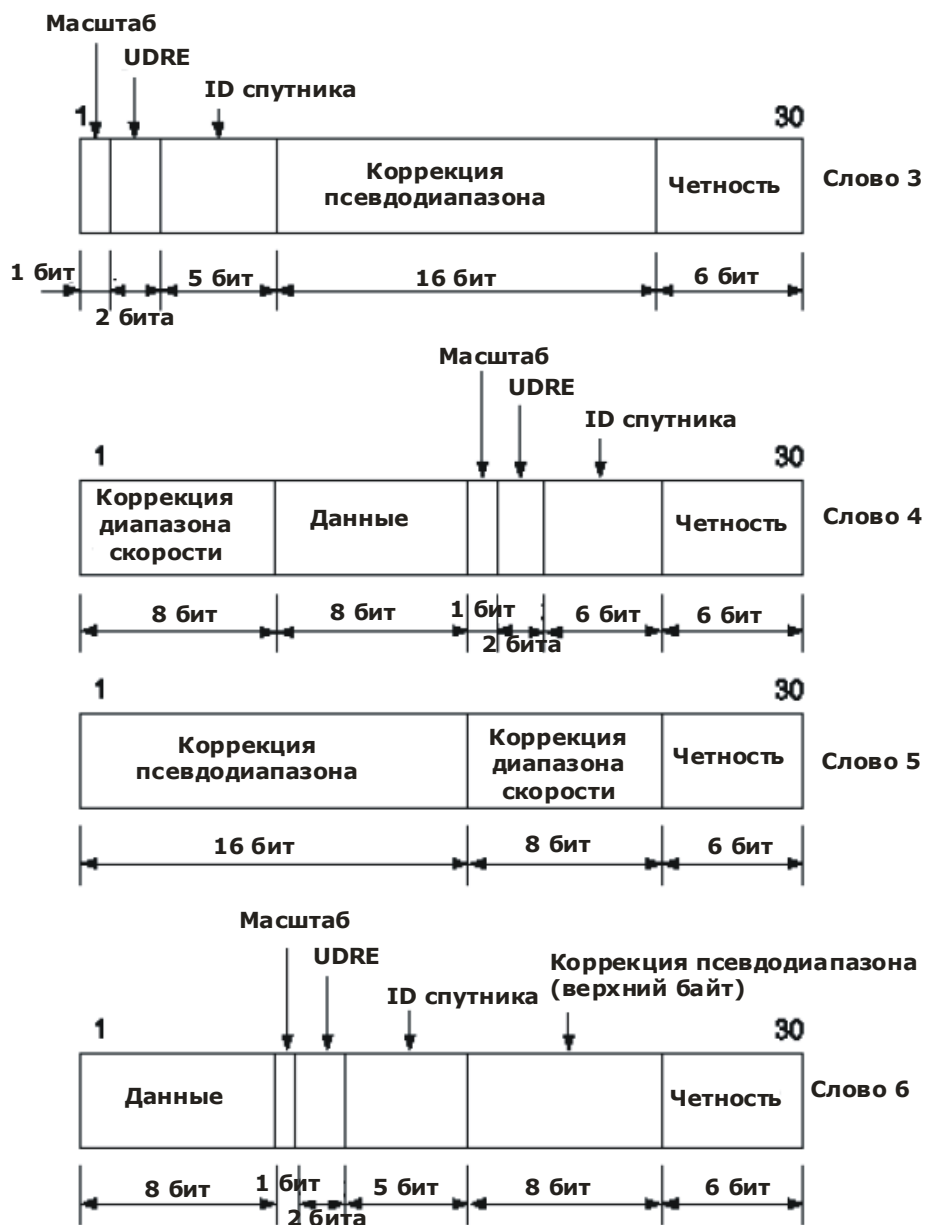


Рис.79 Конструкция RTCM сообщения тип 1

Содержание	Название	Описание
Масштаб	Масштаб значения коррекции псевдодиапазона	PSR масштаб
UDRE	Индекс ошибки дифференциального диапазона пользователя	Индекс ошибки дифференциального диапазона пользователя
ID спутника	ID номер спутника	Идентификация спутника
Коррекция псевдодиапазона	Значение коррекции псевдодиапазона	Коррекция эффективного диапазона
Коррекция диапазона скорости	Значение коррекции псевдодиапазона	Скорость изменения коррекционных данных
Данные	Номер пакета данных	Данные
Четность	Код ошибки коррекции	Проверка битов

Таблица 28 содержание RTCM сообщения типа 1

7.2.2.3 Сообщение RTCM тип 2...9

Типы сообщений 2..9 отличаются содержанием данных:

- Тип Сообщения 2 передает дельту коррекционных данных PSR, основанную на предыдущих орбитальных данных. Эта информация необходима пользователю GPS, если нет возможности скорректировать спутниковую орбитальную информацию. В типе сообщения 2 передается разница между величинами коррекции предыдущими и последними эфимериса.
- Тип Сообщения 3 передает трехмерные координаты отсчетной станции.
- Тип Сообщения 9 передает ту же информацию, что и тип сообщения 1, но только для ограниченного количества спутников (макс. 3). Данные передаются только для тех спутников, чьи значения коррекции меняются очень быстро.

Для того заметного улучшения точности при использовании DGPS данные коррекции не должны быть старше 10...60 секунд (зависят от оператора и требуемой точности, см. [xxxii]). Точность уменьшается с увеличением расстояния от отсчетной станции до станции пользователя. Опытные измерения с использованием передатчика LW в Mainflingen, Германии, (см разделы 1.3) привели к показателю ошибки в 0.5 - 1.5 м в радиусе 250 км и 1 - 3 м в радиусе 600 км [xxxiii].

7.2.3 Специальные интерфейсы данных

Большинство производителей часто предлагают специальные интерфейсы для своих GNSS приемников. По сравнению со стандартом NMEA данные интерфейсы имеют следующие преимущества:

- Передача расширенной области данных; то есть информации, которая не поддерживается протоколом NMEA.
- Высокая плотность данных: большинство специальных интерфейсов используют двоичный формат данных, с которым числовая и булева информация передаются более плотно. Много уведомлений, например, о данных эфимериса спутника. С более высокой плотностью данных можно увеличить интервал передачи с постоянной скоростью.
- Широкие возможности конфигурации GNSS приемника.
- Оптимальная связь с производителем в плане получения средств для наблюдения и оценки приема и поведения приемника.
- Возможность загрузки текущих версий обеспечения GNSS производителя. Данная функция поддерживается приемниками с флэш-памятью.

- С точки зрения производителя GNSS улучшено распределение данных с целью предотвращения избыточности и передачи информации, которая не является необходимой для приложения.
- Высокая надежность, обеспечиваемая проверкой контрольных сумм.
- Минимальная загрузка компьютера при чтении и приеме информации. Преобразование числовых данных в ASCII формат во внутреннем двоичном формате не нужно.

Как правило, используют три различных вида специальных интерфейсов:

- Дополнительные установки NMEA данных: информация кодируется в обычном формате NMEA (на основе текста, данные разделяются с командами и т.д.). Однако, сразу после начального символа (знак доллара) производитель указывает адрес последующих данных. Множество GNSS производителей применяют дополнительные уведомления для передачи часто используемой информации. NMEA формат, однако, не подходит для передачи больших массивов данных из-за недостаточной плотности данных и постоянного преобразования двоичных данных в текстовый формат.
- Двоичный формат (например, u-blox UBX).
- Текстовый формат.

7.2.3.1 Пример: UBX протокол для u-blox 5 GNSS приемников

За исключением NMEA и RTCM, ANTARIS[®] и u-blox 5 GNSS приемники поддерживают двоичный протокол UBX. Как и NMEA, формат выглядит следующим образом:

Символ	SYNC CHAR 1, 2	CLASS	ID	LENGTH	PAYLOAD	Контрольная сумма
Комментарий	Символ синхронизаци и	Класс сообщения	Идентификация сообщения	Длина блока данных	Содержимое структурированных данных	Контрольная сумма
Длина (байты)	2	1	1	2	LENGTH	2

Область охвата контрольной суммы

Рис. 80: Структура установок UBX данных

Каждая установка данных начинается с двух постоянных символов синхронизации (шестнадцатеричные значения: всегда B5, 62). Эти символы используются для определения старта новой установки данных. Следующие два поля, CLASS и ID, идентифицируют тип установки данных. Двухэтапная идентификация позволяет легко осуществить структурирование различных данных в соответствии с классами. Просмотр осуществляется после новой установки данных. Просто понимаемые символьные концепции, как, например, "NAV-POSLLH" (CLASS 01, ID 02), используются для документации. За ними следуют длина информации и содержание фактических данных. u-blox оговаривает типы данных для содержимого данных. В конце каждой установки данных следуют два байта контрольной суммы. Установка считается завершенной при корректных символах синхронизации и совпадении контрольной суммы.

Класс сообщения	Описание	Содержимое
NAV (01)	Навигационная информация	Позиция, скорость, время, DGPS и SBAS информация
RXM (02)	Управление приемником: усиленные GNSS данные приема	GNSS необработанные данные, т.е. псевдо диапазоны, эфимерис, ежегодник, состояние спутника
CFG (06)	Конфигурационные уведомления (конфигурация и запрос)	Последовательные интерфейсы, интервал передачи, параметры приема и навигации, методы сохранения энергии
ACK (05)	Подтверждение приема конфигурационных уведомлений	Прием или отказ
MON (0A)	Состояние GNSS приемника	Использование возможностей CPU, условие работы системы, использование ресурсов системы, мониторинг антенны
AID (0B)	Предоставление дополнительной информации для ускорения запуска.	Эфимерис, ежегодник, холодный старт, последняя позиция, время, состояние спутника
INF (04)	Текстовые уведомления	
TIM (0D)	Конфигурация тактовых импульсов и измерение времени входных сигналов	
UPD (09)	Загрузка нового обеспечения	
USR (4*)	Уведомления пользователя	

Таблица 29: Классы сообщения (шестнадцатеричные значения в скобках)

С помощью обеспечения пользователей возможно добавление установок данных в существующие протоколы или создание новых. Кроме того, ANTARIS® и u-blox-5 поддерживают несколько протоколов в одном интерфейсе, например, NMEA и UBX установки данных в обоих направлениях для использования достоинств каждого протокола.

7.3 Интерфейсы оборудования

7.3.1 Антенны

GNSS сигналы являются правосторонними циклически поляризованными (RHCP). Поэтому требуются антенны другого типа вместо хорошо известных штыревых антенн для приема линейно поляризованных сигналов. GNSS модули работают с активными и пассивными антеннами. В активной антенне содержится встроенный LNA (усилитель) предусилитель. GNSS приемник обеспечивает питание активной антенны по линии RF. Для задач мобильной навигации существуют комбинированные антенны (например, GSM/FM и GNSS).

Чем меньше антенна, тем меньше апертура для концентрации сигнала, следовательно, ниже общее усиление. Обойти эту проблему нельзя. Усиление сигнала после антенны не изменит соотношения сигнал/шум.

На рынке представлены два типа антенн – плоские и спиральные. Данный раздел описывает различия антенн, используемых в технологии GNSS.

7.3.1.1 Плоская антенна

Чаще всего в GNSS приложениях используются плоские антенны.

Плоские антенны сделаны из керамики и металла и расположены на металлической основе. Их часто устанавливают в домах.

Плоские антенны идеальны для приложений, в которых антенны должны устанавливаться на плоскую поверхность, например, крыша или приборная панель автомобиля. Плоские антенны демонстрируют очень высокое усиление, особенно, если они расположены на большой заземляющей плоскости (70 x 70 мм). Керамические плоские антенны очень популярны из-за низкой стоимости и большого количества доступных размеров.



Рис. 81: Плоские антенны

7.3.1.2 Спиральная антенна

Другой тип антенн, используемы в приложениях GNSS – спиральные антенны. Спиральные антенны имеют форму цилиндра и применяются там, где нужна многосторонняя ориентация антенны. Они надежны и хорошо работают в навигации.

Фактические размеры зависят от диэлектрика, который находится между активными частями антенны. Если это только воздух, то антенна сравнительно большая (60 мм длиной на 45 мм в диаметре). Использование материалов с высокой диэлектрической константой приводит к уменьшению размеров. Антенны размером 18 мм длиной и 10 мм в диаметре представлены в продаже. Чем меньше размеры антенны, тем больше на ее работу влияют допуски при производстве.

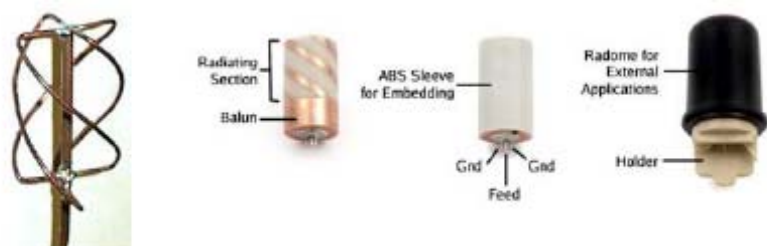


Рис. 82: Спиральные антенны

7.3.1.3 Чип-антенна

Чип антенны меньше плоских или спиральных антенн. Они представляют широкий диапазон размеров (11.0 x 1.6 x 1.6 мм). Так Как текущее направление сводится к миниатюризации, то такие антенны становятся все более популярными. Возможная заземляющая плоскость очень влияет на работу антенны. Чип антенны не рекомендуются для приложений с высокими требованиями по точности.

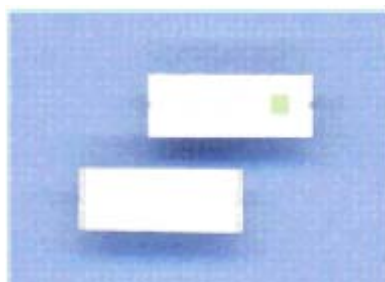


Рис. 83: Чип антенна

7.3.1.4 Рекурсивные антенны - Fractal Element Antennas (FEA)

Рекурсивная антенна – это антенна, которая использует один проект дл максимизации длины или периметра (внутри секций или внешней структуры), ее материал может получать или передавать электромагнитные сигналы в пределах всей поверхности. По этой причине рекурсивные антенны очень компактны. Рекурсивная антенна хуже спиральной или плоской на 3 Дб из-за линейной поляризации. Также они сильно зависят от размера заземляющей плоскости.

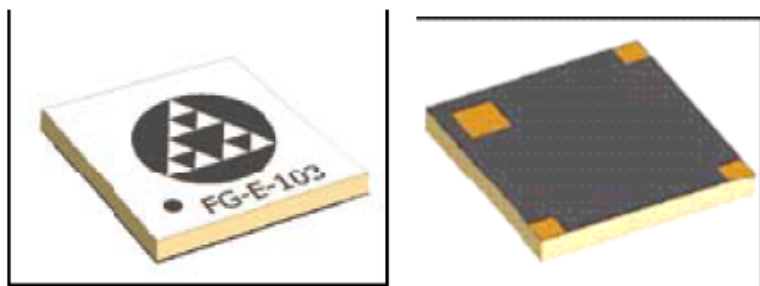


Рис. 84: Рекурсивная чип антенна: вид сверху и снизу

7.3.1.5 Дипольная антенна

Дипольная антенна может оказаться очень эффективным решение, особенно выполненная на плате. Она демонстрирует приемлемую работу внутри помещений. Не зависит от заземляющей плоскости.

Дипольная антенна является линейной, не циклически поляризованной. Это дает в результате потерю в 3 Дб в открытом пространстве для GPS, но имеет преимущество в виде заднего лепестка диаграммы направленности антенны, что хорошо для приема внутри помещений.

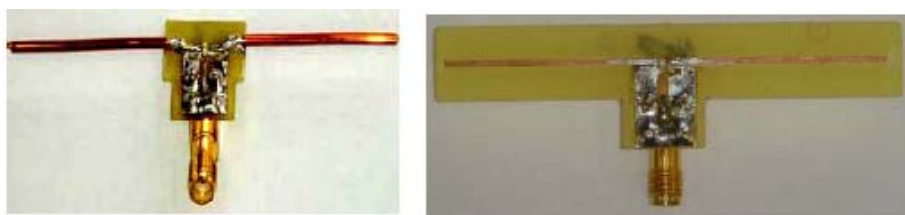


Рис.85: Дипольная антенна и дипольная антенны на плате

7.3.1.6 Рамочная антенна

Рамочные антенны обычно делают в виде наклейки, которую можно приклеить, например, к ветровому стеклу. Расположенная таким образом, рамочная антенна демонстрирует хорошую навигационную работу. Не зависит от заземляющей плоскости, импеданс и центральная частота не очень чувствительны к объектам поблизости.

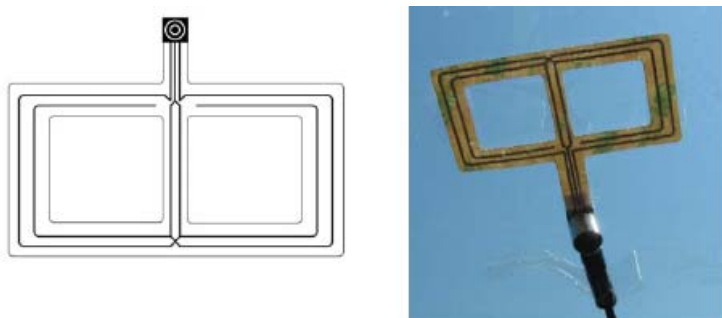


Рис. 86: Рамочная антенна, Лазерная антенна 775

7.3.1.7 Планарная антенна - Inverted F Antenna (PIFA)

PIFA антенна выглядит как перевернутая буква 'F', лежащая на двух коротких секциях, обеспечивая питание и землю, 'tail' (наверху) обеспечивает излучающую поверхность. PIFAs состоит из вложенных антенн, которые имеют многонаправленность, и возможность настройки на более чем одну полосу частот. Они являются линейно поляризованными с умеренной эффективностью. PIFA используются в сотовых телефонах (E-911), но не рекомендуются к использованию в приложениях с высокими требованиями по точности.

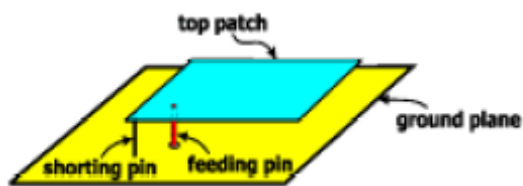


Рис. 87: Планарная антенна - inverted-f-antenna (PIFA)



Рис. 88: Керамическая планарная inverted-f-antenna (PIFA) и PIFA для сотового телефона

7.3.1.8 Высокоточные GNSS антенны

Для приложений с высокими требованиями по точности, таких как наблюдение или синхронизация, существуют очень точные антенные системы. Их объединяет большой размер, высокая потребляемая мощность и высокая стоимость. Высокоточные антенны редко используются в распространенных GNSS приложениях. Такие антенны оптимизированы на подавление отраженных сигналов (кольцевые антенны, MLA). Другой областью применения является определение центра фазы антенны. Для точных GNSS приложений с диапазоном позиции в мм очень важно знать, от каких спутников сигнал попадает в одну точку внутри антенны. Для такого вида приложений часто применяются антенны с мультивходами.

7.3.1.8.1 Технология антенн Choke Ring и Pinwheel™ (Novatel)

Кольцевые антенны являются высокопроизводительными GPS антеннами. Кольца с общим центром подавляют отраженные сигналы с земли, что повышает чувствительность.

Pinwheel технология предлагает отличное подавление отраженных сигналов с кольцами, выполненными на плате.



Рис. 89: Leica Choke антенна AT504 и Pinwheel™ антенна (Novatel)

7.3.2 Напряжение питания

GNSS модули имеют входное напряжение питания от внешнего источника в пределах от 3.3 В до 6 В. Потребляемый ток в каждом случае свой.

7.3.3 Тактовая частота: 1 PPS и системы времени

Большинство модулей GNSS генерируют импульс времени каждую секунду - 1 PPS (1 импульс в секунду), который синхронизируется с UTC. Этот сигнал обычно имеет TTL уровень (Рис. 90).

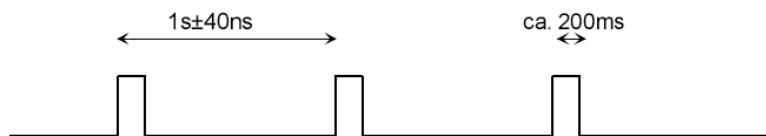


Рис.90 1PPS сигнал

Тактовый импульс можно использовать для синхронизации сетей связи (Прецизионная синхронизация).

Хотя время играет фундаментальную роль при использовании GNSS для определения позиции, есть различие между пятью важными системами времени GNSS:

7.3.3.1 Атомное время (TAI)

Международная шкала Атомного времени была введена для обеспечения универсальной абсолютной шкалы времени, которая должна удовлетворять различные практические требования и в то же самое время использоваться для позиционирования GNSS. С 1967 секунда была определена второй атомной константой в физике, в качестве эталона был выбран нерадиоактивный элемент Цезий Cs . Резонансная частота между энергетическими уровнями этого атома соответствует 9 192 631 770 Гц. Время, найденное таким образом, является единицей системы СИ. Начало атомного времени 01 .01.1958 в 00.00 часов.

7.3.3.2 Универсальное координатное время (UTC)

UTC введено для того, чтобы иметь практическую шкалу времени, которая соответствовала бы универсальному атомному времени и, в то же время, универсальному координатному времени. В отличие от TAI, здесь считаются секунды, то есть $UTC = TAI - n$, где n = число полных секунды с 1 Января или 1 Июня любого данного года.

7.3.3.3 GPS время

Время основной GNSS системы определяется числом недель и числом секунд в неделе. Начальная дата - это Воскресенье, 6-е Января 1980 в 0.00 часов (UTC). Каждая неделя GNSS начинается в ночь с Субботы на Воскресенье, непрерывная шкала времени выставляется основными часами на главной управляющей станции. Различие во времени, которое возникает между GNSS и UTC постоянно вычисляется и добавляется в сообщение навигации.

7.3.3.4 Время спутника

Из-за константы и нерегулярных частотных ошибок на атомных часах на борту спутника GNSS, собственное время спутника отличается от системного времени GNSS. Спутниковые часы контролируются управляющей станцией, и любое явное различие времени передается на Землю. Эти различия должны быть приняты во внимание при поведении локальных измерений GNSS.

7.3.3.5 Локальное время

Локальное время является временем в пределах определенной области. Соотношение между локальным временем и временем UTC определяется временной зоной и переходом на летнее время. Пример временных ограничений (Таблица 30) на 21 Июня 2001 (Цюрих)

Базис времени	Время (чч:мм:сс)	Разница п с UTC (сек)
Локальное время	08:31:26	7200 (=2 ч)
UTC	06:31:26	0
GPS	06:31:39	+13
TAI	06:31:58	+32

Таблица 30 Системы времени

Взаимозависимость систем времени (верно для 2006):

TAI — UTC = +33 сек.

GPS — UTC = +13 сек.

TAI — GPS = +19 сек.

7.3.4 Конвертирование TTL уровня в RS-232

7.3.4.1 Основы последовательной связи

Цель интерфейса RS-232 в основном состоит:

- В объединении компьютеров друг с другом (как правило, двунаправлено)
- В управлении последовательными принтерами
- В связи PC с внешним оборудованием, напр. GSM модемами, GNSS приемниками и т.д.

Последовательные порты в PC разработаны для асинхронной передачи. Люди, занимающиеся операциями передачи и приема должны придерживаться одного протокола передачи, то есть соблюдать режим передачи данных. Оба партнера должны работать с одинаковой конфигурацией интерфейса и с одной скоростью. Скорость определяется количеством бит в секунду. Типичные значения скорости - 110, 150, 300, 600, 1200, 2400, 4800, 9600, 19200 и 38400 бод, то есть бит в секунду. Эти параметры указаны в протоколе передачи. Кроме того, соглашение должно быть достигнуто обеими сторонами по вопросу выставления флагов готовности к приему-передаче.

В течение передачи 7 или 8 бит данных представляют собой слово данных для передачи в кодах ASCII. Длина слова данных указана в протоколе передачи.

Начало слова данных называется стартовым битом, и в конце каждого слова добавляются 1 или 2 стоповых бита.

Проверку выполняют, используя бит четности. В случае четности, бит четности выбран таким образом, чтобы общее число переданных единиц слова данных было четным (в случае нечетной четности - нечетное число). Проверка четности важна, поскольку интерференция связи может вызвать ошибки передачи. Даже если один бит слова данных изменен, ошибку легко обнаружить, используя бит четности.

7.3.4.2 Определение уровня и его логическое представление

Данные передаются в инвертированной логике по линиям TxD и RxD. T обозначает передатчик, и R обозначает приемник.

В соответствии со стандартами, уровни:

- Логический 0 = положительное напряжение, режим передачи: +5... +15 В, режим приема: +3...+15 В
- Логическая 1 = отрицательное напряжение, режим передачи: -5...-15 В, режим приема: -3... -15 В

Различие между минимально допустимым напряжением в течение передачи и приема означает, что помехи линии не влияют на работу интерфейса, если амплитуда шума ниже 2 В. Преобразование уровня TTL контроллера интерфейса (UART) в уровень RS-232 и наоборот выполнено преобразователем уровня (напр. MAX3221 или аналогичным). Следующий рисунок (Рис. 91) иллюстрирует разницу между TTL и RS-232 уровнями. Ясно видна инверсия уровня.

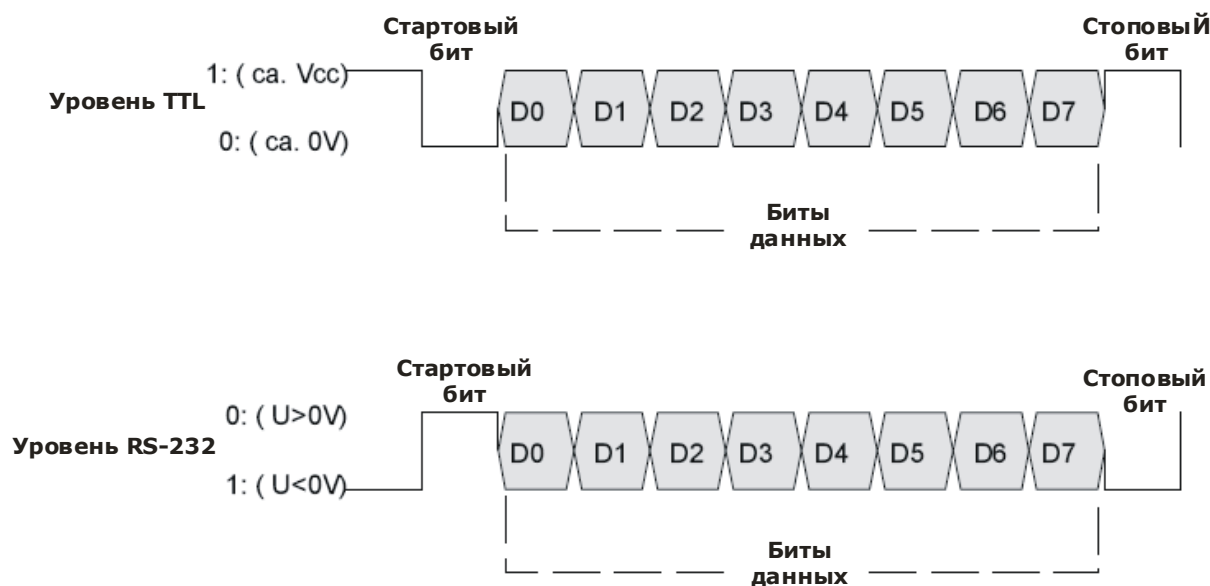


Рис.91 Отличие уровня TTL от RS-232

7.3.4.3 Конвертирование TTL уровня в RS-232

Многие их приемников и модулей GPS предоставляют NMEA и другие данными доступными только в уровнях TTL ($0V$ или $V_{CC} = +3.3V$ или $+5V$). Не всегда возможно получить эти данные непосредственно через PC, так там необходимы уровни RS 232.

Так как схеме необходим определенный уровень, промышленность разработала микросхемы для преобразования двух диапазонов уровней, инверсии сигнала и генерации отрицательного напряжения (посредством встроенных генераторов).

Полный двунаправленный преобразователь уровня, который использует "Maxim MAX3221" [xxxiv] показан на следующей диаграмме (Рис. 92). Схема имеет рабочее напряжение $3V \dots 5V$ и защищена от пиковых напряжений (ESD) $\pm 15kV$. Функция конденсаторов $C1 \dots C4$ состоит в увеличении или инвертировании напряжения.

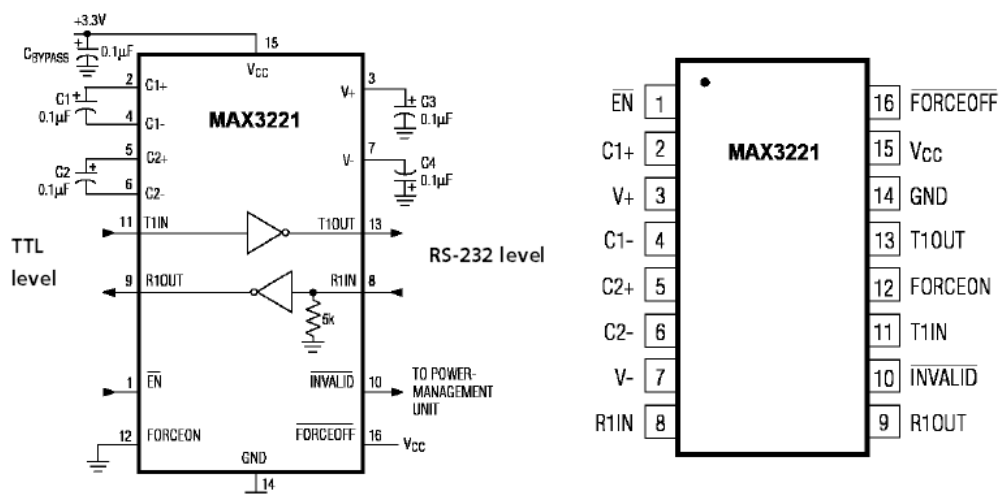


Рис.92 Диаграмма назначения пинов конвертера уровня MAX3221

Следующая тестовая схема (Рис. 93) ясно иллюстрирует способ функционирования модуля. В случае этой конфигурации, сигнал TTL (0 В... 3.3 В) находится на линии T_IN. Инверсия и напряжение возрастают до 5 В на линиях T_OUT и R_IN выходов RS-232.

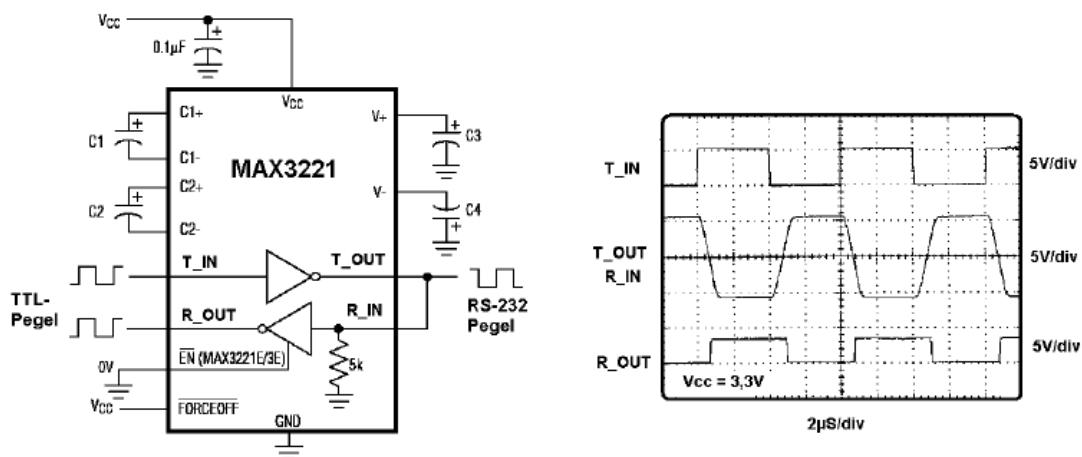


Рис.93 Функциональный тест конвертера MAX3221

8 GNSS приемники

Если Вам нравится. . .

- знать, как сконструирован GNSS приемник
- понимать, почему необходимо несколько стадий для реконструкции GPS сигналов
- знать, как функционирует HF состояние
- знать, как функционирует сигнал процессора
- понимать, как взаимодействуют две стадии
- знать, как функционирует GNSS модуль

тогда **эта глава** для Вас!

8.1 Основы портативных GNSS приемников

GNSS приемник подразделяется на следующие основные стадии (Рис. 61):

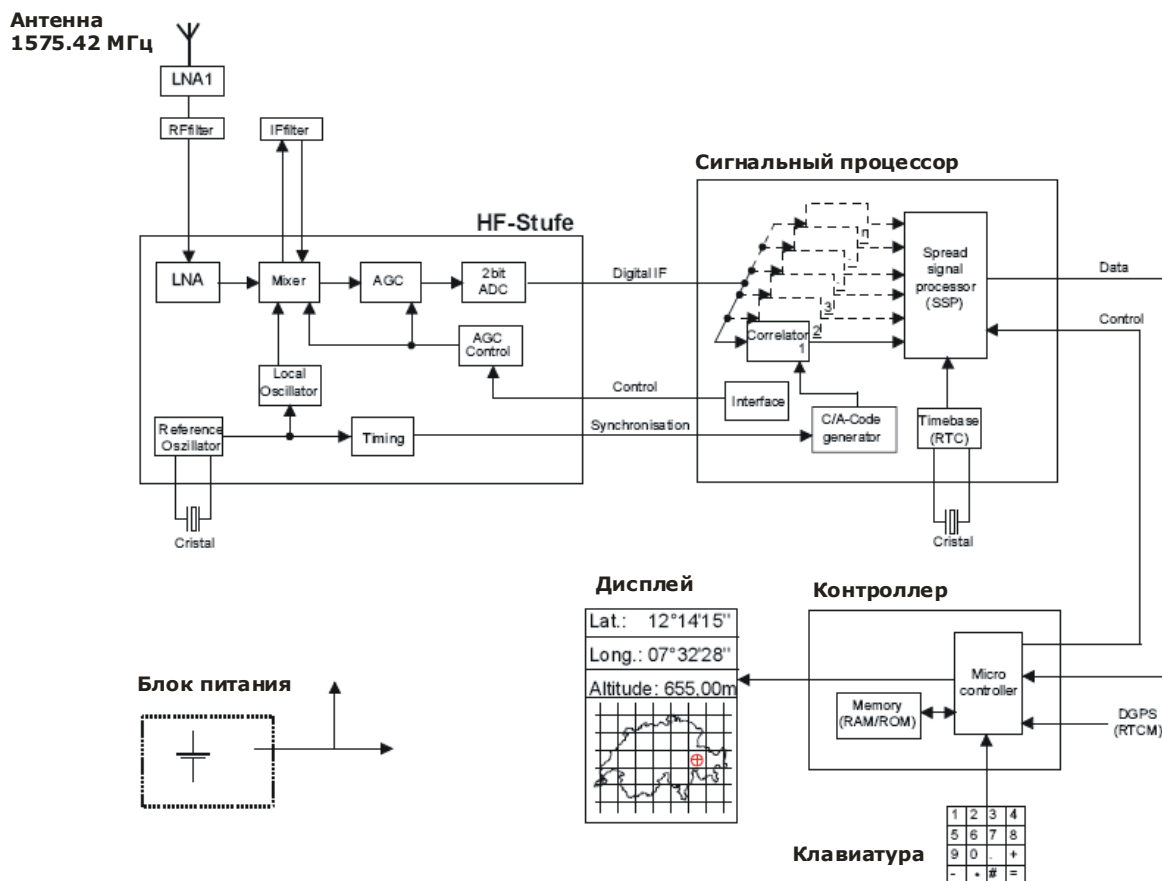


Рис.94 Упрощенная диаграмма GNSS приемника

- **Антенна:** антенна получает чрезвычайно слабые сигналы от спутника на частоте 1572.42 МГц. Сигнальный выход около 163 dBW. Некоторые антенны (пассивные) имеют усиление 3 Дб.
- **LNA 1:** Этот усилитель (LNA) усиливает сигнал примерно 15 ... 20 Дб.
- **RF фильтр:** ширина сигнала GNSS примерно 2 МГц. HF фильтр уменьшает влияние интерференции сигнала. HF фильтр и сигнальный процессор представляют собой специальные схемы на приемнике GNSS и подстроены друг под друга.
- **RF стадия:** усиленный сигнал GNSS смешивается с частотой локального генератора. Отфильтрованный IF сигнал поддерживается на постоянном амплитудном уровне и оцифровывается через (AGC)
- **IF фильтр:** промежуточная частота фильтруется, используя частоту 2 МГц. Частоты, возникающие на смешивающем этапе, уменьшаются до допустимого уровня.
- **Сигнальный процессор:** Вплоть до 16 различных спутниковых сигналов можно согласовывать и декодировать в единицу времени. Корреляция происходит с помощью постоянного сравнения с кодом C/A. HF стадия и сигнальный процессор одновременно подключаются для синхронизации с сигналом. Сигнальный процессор имеет собственную базу времени (RTC). Все установленные данные являются общими (транзитное время закрытых сигналов спутника определяется коррелятором) и называются исходными данными. Сигнальный процессор может получить смещение от диспетчера посредством управляющей строки для функционирования в различных операционных режимах.
- **Контроллер:** Используя исходные данные, контроллер вычисляет позицию, время, скорость и курс и т.п. Он регулирует сигнальный процессор и передает вычисленные величины на дисплей. Важная информация (как например, эфимерис, последняя позиция и т.п.), декодируется и сохраняется в RAM. Программа и вычисляющие алгоритмы записаны в ROM.
- **Клавиатура:** Используя клавиатуру, пользователь может выбирать желаемую координатную систему и какие параметры (напр. количество видимых спутников) нужно отображать.
- **Дисплей:** вычисленная позиция (долгота, широта и высота) должна быть доступна пользователю. Для этого можно использовать 7- сегментный дисплей или экран с использованием спроецированной карты. Вычисленные можно сохранить, так же как и целые маршруты.
- **Блок питания:** блок питания предоставляет необходимое рабочее напряжение на все уровни электронных компонентов

8.2 Модули GNSS приемника

8.2.1 Основа проекта GNSS модуля

Модули GNSS должны оценить слабые сигналы антенны от, как минимум, четырех спутников для определения правильной трехмерной позиции. Сигнал времени также дополнительно передается к долготе, широте и высоте. На этот раз сигнал синхронизируется с UTC. С помощью определенной позиции и точного времени можно определить дополнительные величины, например, скорость и ускорение. Модуль GNSS передает информацию о комбинации, состоянии спутников, количестве видимых спутников и т.п.

Рис. 95 показывает типичную диаграмму GNSS модуля.

Полученные сигналы (1 575.42 МГц) усиливаются и преобразовываются в более низкую промежуточную частоту. Генератор обеспечивает необходимую несущую волну для частотного преобразования вместе с тактовой частотой для процессора и коррелятора. Аналоговая промежуточная частота преобразуется в цифровой сигнал посредством 2- битового ADC.

Транзитное время сигналов от спутников до приемника GNSS устанавливается с помощью тактовой последовательностью PRN. Спутниковую последовательность PRN необходимо использовать для получения максимума корреляции. Данные можно восстановить, смешивая ее с правильной последовательностью PRN. В то же самое время полезный сигнал усилен выше уровня интерференции [xxxx]. До 16 спутниковых сигналов обрабатываются одновременно. Управление и генерация последовательностей PRN и восстановление данных выполняются сигнальным процессором. Вычисления и сохранение позиции вместе с промежуточными переменными выполняются процессором с памятью.

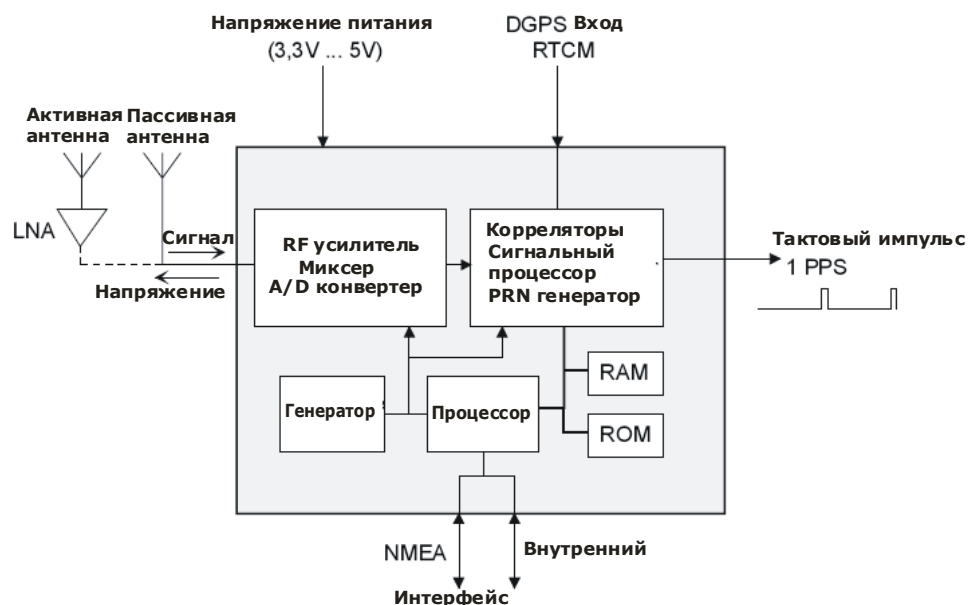


Рис. 95 Типичная диаграмма GNSS модуля

8.2.2 Пример: u-blox 5

u-blox 5 чипы разработаны специально для приложений с невысокой стоимостью, небольшими размерами и потребляемой мощностью, которые требуют очень быстрого поиска и точного отслеживания перемещения. Высоко интегрированная архитектура является функционально законченной, от входа антенны до выхода позиционных данных необходимо всего несколько внешних компонентов. Кроме того, новая аппаратура питания и характеристики обеспечения позволяют потреблять всего 50 мВт. Это гарантирует долгий срок службы аккумуляторов, что очень важно для портативных приложений. u-blox 5 чипы вычисляют позицию быстро и точно. Быстрый поиск свыше 1 миллиона эффективных корреляторов происходит благодаря параллельным процессам через частотное пространство. Поэтому поиск возможен менее чем за 1 секунду при чувствительности – 160 Дбм. Найденные спутники передаются отслеживающему процессору. Это позволяет GNSS процессору отслеживать до 16 спутников и проводить поиск новых.

Схема управления питанием (PMU) преобразовывает источник питания и характеристики конвертера DC/DC для оптимизации эффективности питания и расширяет диапазон напряжений. Все необходимое ядро и входные/выходные напряжения генерируются внутри LDOs (Low-Drop-Out).

Когда стали доступны сигналы GALILEO-L1, u-blox 5 приемники могли их принимать и обрабатывать с помощью простого обновления. Способность принимать и отслеживать сигналы спутников GALILEO привела к увеличению зоны покрытия, улучшению надежности и повышению точности. Модули улучшили механизм подавления помех, автоматически фильтруя сигналы от интерферирующих источников, таким образом повышая производительность GNSS.

u-blox 5 чип состоит из двух микросхем, расположенных на одной подложке, часто называемой 'SiP' или 'System in Package'. Это предоставляет независимый выбор оптимальной технологии для RF-IC и для baseband-IC. RF-IC расположен на 0.18 мкм RF-CMOS технологии, тогда как baseband-IC расположен на 0.13 мкм CMOS. В качестве альтернативы, две микросхемы могут размещаться на двух отдельных подложках. Такое решение обеспечивает интерфейс для связи с внешней памятью. Упрощенную блок-диаграмму можно увидеть на Рис. 96.

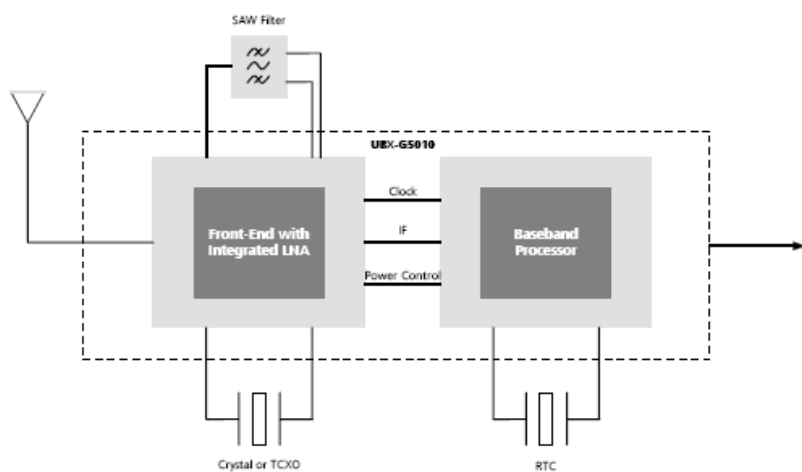


Рис. 96: Блок-диаграмма u-blox 5 чипа

9 GNSS приложения

Если Вам нравится. . .

- знать, какие переменные можно определить, используя GNSS
- знать, какие приложения возможны с GNSS
- знать, как время определяет точные значения

тогда **эта глава** для Вас!

9.1 Введение

При использовании системы GNSS можно определить следующие две величины на Земле:

- Позиция (координаты долготы, широты и высоты) с точностью порядка от 20 м до 1 мм
- Время (мировое время, UTC) с точностью порядка от 60 нс до 1 нс.

Различные дополнительные переменные можно получить из трехмерной позиции и точного времени, например:

- Скорость
- Ускорение
- Курс
- Локальное время
- Измерения диапазона

Традиционные области применения GNSS – это наблюдение, мореплавание и авиация. Тем не менее, рынок в настоящее время наслаждается повышением спроса на электронные автомобильные системы навигации. Причина этого огромного роста состоит в развитии автомобильной промышленности, которая надеется таким образом улучшить использование дорожной сети. Такие приложения, как Автоматическая Позиция Машины (AVL) и управление скоростью машины также востребованы. GNSS повсеместно используется в технологии связи. Например, точный сигнал времени GNSS используется для синхронизации сетей связи. С 2001 года Федеральная Комиссия Связи США (FCC) обеспечила при звонке американцев по 911 в аварийной ситуации быструю установку их расположения в пределах 125 м. Этот закон, названный E-911, означает, что мобильные телефоны тоже должны быть оснащены этой новой технологией.

В развлекательной промышленности использование GNSS также возросло. Независимо от способа проведения досуга – прогулка, горный велосипед, поход по горам - приемник GNSS обеспечивает хороший сервис в любой точке.

В общем, GNSS можно использовать везде, где есть прием сигнала со спутника.

9.2 Описание различных приложений

GPS помощь при навигации и позиционировании используется во многих секторах экономики, а также в науке, технологии, туризме, исследовании и наблюдении. Процесс (D)GPS может быть применен везде, где трехмерные геоданные играют важную роль. Несколько важных секторов подробно описаны ниже.

9.2.1 Сервисы на базе расположения (LBS)

Сервисы LBS являются сервисами, которые основаны на позиции пользователя (например, пользователи сети мобильной связи имеют сотовый телефон). Обычно мобильная станция (сотовый телефон) должна быть зарегистрирована, что позволяет провайдеру передавать/получать информацию. Примером такого сервиса служит нахождение ближайшего ресторана или определение места вызова в случае необходимости экстренной помощи звонящему (E-911 или E-112). Основным условием работы LBS является информация о точной позиции. Местонахождение определяется или посредством сигналов сотовой сети или сигналов со спутника.

Расположение пользователя дается или в абсолютных географических координатах (долгота и широта) или относительно данной точки отсчета (например, пользователь находится в радиусе 500 м от памятника...). Существует два вида предоставляемых сервисов, известных как "push services" или "pull services". Сервис доставки (push service) отправляет пользователю информацию на основе его или ее позиции без запроса (например, в окрестности ...). Второй сервис (pull service) требует наличие запроса от пользователя (например, экстренный вызов E-911 или E-112).

Известная позиция важна при аварийных ситуациях. Однако, общественная безопасность и сервисы скорой помощи показали, что в 60% экстренных вызовов с мобильных телефонов не смогли обеспечить точную позицию (по сравнению с 2% вызовов со стационарных телефонов. Каждый год в Европейском Союзе происходит 80 миллионов экстренных вызовов, из которых 50% - с мобильных телефонов.

Определение позиции пользователя возможно посредством мобильной станции или мобильной сети. При определении позиции мобильная станция получает информацию от сети мобильной связи или сигналов спутника.

Большое количество технологий уже работают и стандартизовано. Некоторые из них уже реализованы, остальные будут работать в ближайшем будущем. В Европе приложения в настоящее время чаще всего используют:

- Определение позиции посредством идентификации активных телефонов в сотовой сети (Cell-ID). Данная процедура носит название Cell of Origin (COO) или Cell Global Identity (CGI).
- Определение позиции по задержке времени GSM-сигналов TA (Timing Advance). TA является параметром сетей GSM, посредством которых можно определить расположение.
- Спутниковое позиционирование посредством спутниковой навигации: например, GNSS

9.2.2 Бизнес и промышленность

Ясно, что дорожное движение будет оставаться на рынке GNSS. Из общей рыночной стоимости, оцененной в 60 миллиардов долларов на 2005, 21.6 миллиардов приходятся на транспорт и 10.6 миллиардов на технологии телекоммуникаций [xxxvi]. Машина будет иметь компьютер с экраном, на котором будет отображаться соответствующая карта с вашей позицией. У вас появится возможность выбирать наилучший маршрут. При наличии пробок на дорогах, вы сможете найти альтернативные маршруты, компьютер вычислит время в пути и необходимое количество топлива.

Система навигации в машине подскажет водителю его расположение и даст рекомендации. Используя необходимые карты, записанные на CD-ROM, и оценив позицию с помощью GNSS, система предоставит возможные благоприятные маршруты, GNSS уже используется как нечто само собой разумеющееся в стандартной навигации (авиация и мореплавание). Большинство поездов оснащены приемниками GNSS, которые передают местонахождение поезда. Это позволяет вовремя сообщать пассажирам время прибытия поезда.

GNSS может использоваться как для определения местонахождения автомобилей, так и как устройство против краж. Секретные фургоны, лимузины и грузовики с ценным или опасным грузом будут устанавливать GNSS, при этом автоматически сработает тревога при отклонении машины от своего заданного маршрута. Тревога сработает и от нажатия на кнопку. Устройство против краж с приемником GNSS будет активизировать иммобилайзер при получении сигнала (напр. когда автомобиль сигнал в центр).

Дополнительная функция, которую выполняет GNSS – помощь при аварийных ситуациях. Эта идея уже прошла маркетинговую стадию. Приемник GNSS подключается к датчику и в аварийной ситуации сигнал передается в центр, который точно знает направление машины и ее текущее местоположение. В результате последствия аварии могут быть менее серьезными, и другие водители получат своевременное предупреждение.

Как и все безопасные приложения, в которых человеческая жизнь зависит от корректной работы технологии, орбитальные действия представляют собой область, где необходимо принимать меры предосторожности при системной ошибке. Дублирование оборудования новая технология сделала излишним. В идеальных условиях информация для систем, выполняющих одну задачу, исходит из независимых источников. Особенно успешные решения не только создают сообщение об ошибке, но также предупреждают пользователя, что данные недостаточно надежны. В то же самое время система переключается на другой датчик источника данных. Эти системы контролируют себя сами. Все это стало возможным благодаря миниатюризации электронных компонентов, их исполнению и ценам.

Области применения GNSS:

- Исследование геологических залежей
- Поиск мест свалки
- Горная разработка открытого типа
- Позиционирование платформ
- Расположение конвейера (геодезия в основном)
- Расширение мест хранения
- Автоматические перемещения контейнера
- Транспортные компании, в основном логистика (авиация и дорожные машины)
- Железные дороги
- Географические тахографы
- Управление флотом
- Системы навигации

9.2.3 Технология коммуникаций

Синхронизация компьютерных часов с универсальным временем в распределенной компьютерной среде жизненно необходимо. Высокая точность отсчетных часов используется для получения сигналов GNSS вместе с сетевым протоколом (NTP), основа для этой синхронизации определена REC 1305.

Области применения GNSS:

- Синхронизация передачи системного сообщения
- Синхронизация в общих радиосетях

9.2.4 Сельское хозяйство и лесничество

GNSS вносит свой вклад в земледелие в формировании административных областей и распределении мест с точки зрения потенциала. В системе земледелия подходящие для конкретных продуктов области записываются с помощью GNSS и обрабатываются сначала в специфических частичных графиках на цифровых картах. Образцы почвы также располагаются с помощью GNSS и добавляются к системе. Анализ этих данных помогает определить количество удобрений в конкретном месте. Прикладные карты преобразуются в форму, удобную для обработки бортовым компьютером, и затем передаются в этот компьютер посредством платы памяти. Таким образом, возможно оптимальное управление земледелием в течение долгого периода времени, которое обеспечивает высокий потенциал и возможность сохранения природы.

Области применения GNSS:

- Использование и планирование областей
- Контроль целины
- Планирование и управление плантациями
- Использование уборочной техники
- Посевная и улучшение всхожести
- Оптимизация вырубki леса
- Контроль за вредителями
- Карты пораженных областей

Для сектора лесоводства также возможно использование GNSS. USDA Forest Service GPS Steering Committee 1992 нашла свыше 130 возможных применений в этой области.

- Оптимизация транспортировки леса: обеспечивая коммерческие суда бортовыми компьютерами, GNSS и средствами передачи данных, возможно эффективное управление с центрального пункта.
- Использование в управлении: руководство по работе с лесом стало излишним при наличии системы навигации. Для лесничих и рабочих на месте GNSS используется, как средство для выполнения инструкций.
- Использование в области сохранения почвы: используя GNSS, можно определить частоту, с которой используются дороги (грунтовые дороги для вывоза прореженного леса). Также GNSS можно использовать для поиска таких дорог.
- Управление частными лесами: В областях лесистой местности, поделенных на небольшие участки, экономически выгодно механизировать процесс, используя GNSS, допуская перемещение дополнительного количества леса.

9.2.5 Наука и исследования

GNSS легко нашел себе место в археологии, эта отрасль науки начинала использовать антенну и спутник. При объединении GIS со спутниковой и аэрофотографией, а также с GNSS и 3D моделированием, стало возможным ответить на некоторые вопросы.

- Какие выводы относительно распределения культур могут быть сделаны на основе найденного?
- Есть ли связь между областями пахотных областей и распространение определенных культур?
- Какого рода выводы можно сделать по найденным атрибутам относительно вероятной протяженности культуры?
- Как выглядел пейзаж 2000 лет назад?

Геометры используют (D)GPS для обеспечения точности в пределах миллиметра. Для геометров, введение наблюдения на основе спутника сравнимо с переходом от счетов к компьютеру. Приложения бесконечны, от наблюдения за улицами, железнодорожными линиями и реками до измерения океанских глубин и проверки обвалов и т.п.



При наблюдении GNSS фактически стал исключительным методом для определения точек в основных сетях. Везде возникают международные, континентальные и национальные сети GNSS в связи с глобальным ITRF, они обеспечивают гомогенные и очень точные измерения от точки к точке. На местном уровне растет количество установок сетей GNSS в качестве основы для геоинформационных систем и кадастровых исследований земли.

Уже сегодня GNSS имеет свое место в фотограмметрии. За исключением определения координат отсчетных точек на Земле, GNSS используется для аэронавигации и координат камеры при аэротриангуляции. Свыше 90% или около того контрольных точек используют данный метод. Будущие дистанционные разведывательные спутники будут также иметь приемники GNSS для оценки данных при производстве и обновлении карт отстающих стран.

В гидрографии GNSS используется для определения точной высоты лодки для облегчения измерения вертикальных размеров. Ожидается, что действующие методы в этой области будут доступны в ближайшем будущем.

Области применения GNSS:

- Археология
- Сейсмология(геофизика)
- Гляциология(геофизика)
- Геология (картография)
- Наблюдение (минералогия, геология)
- Физика (измерения стандартного времени)
- Научные экспедиции
- Инженерные исследования
- Картография
- География
- Технология геоинформации
- Исследования леса и сельского хозяйства
- Экология
- Геодезия
- Аэрокосмические исследования

9.2.6 Туризм/ спорт

Приемники GNSS часто используются при изменяющихся событиях как надежный метод записи времени.

Люди, которые оказались в трудной ситуации в море или в горах, могут сообщить о своем местонахождении при помощи GNSS (SAR).

Области применения GNSS:

- Планирование маршрутов и выбор конкретного места (памятники природы, культурно исторические памятники)
- Ориентация (тренировка по маршрутам)
- Активность и путешествия
- Спортивная активность

9.2.7 Военное ведомство

GNSS используется везде, где машины, авиация и ракеты находятся в незнакомой местности. GPS также пригодно для маркировки минных полей и подземных депо, поэтому их нетрудно найти в нужный момент. Как правило, закодированный сигнал GNSS (PPS) используется для военных приложений и только уполномоченными агентствами.

9.2.8 Измерение времени

GNSS обеспечивает нам возможность получения точного времени на глобальной основе. Правильное международное время (UTC) имеет точность 1... 60 нс. Время GNSS много точнее, чем радиочасы, которые не в состоянии компенсировать транзитное время сигнала между передатчиком и приемником. Если, например, приемник находится за 300 км от передатчика радиочасов, транзитное время сигнала уже считается для 1 мс, которое в 10,000 раз более неточное, чем время GNSS. Точное время необходимо для синхронизации управляющих средств и средств связи.

Наиболее обычный метод получения точного времени - сравнение времени с помощью (GNSS) спутников. Институты сравнивают значения времени, которые спутник GNSS передает в одно время на различные места, и вычисляют различие времени между локальными часами и системным временем GNSS. В результате можно определить различие между часами двух институтов. Поскольку это дифференциальный процесс, состояние часов GNSS несущественно. Сравнения времени между PTB и институтами времени делаются таким образом по всему миру. Состояние атомных часов PTB, определенное с помощью GNSS, также передается в Международное Бюро Мер и Весов (BIPM) в Париже для расчета международного времени TAI и UTC

А Ресурсы в Интернете

Если Вам нравится. . .

- знать, где можно больше узнать о GNSS
- знать, где есть документация на GNSS
- стать экспертом GPS

тогда **эта глава** для Вас!

А.1 Основные статьи и ссылки

Global Positioning System Overview by Peter H. Dana, University of Colorado http://www.colorado.edu/geography/gcraft/notes/gps/gps_f.html
Global Positioning System (GPS) Resources by Sam Wormley, http://www.edu-observatory.org/gps/gps.html
NMEA-0183 and GPS Information by Peter Bennett, http://vancouver-webpages.com/peter/
Joe Mehaffey, Yeazel and Dale DePriest's GPS Information http://gpsinformation.net
The Global Positioning Systems (GPS) Resource Library http://www.gpsy.com/gpsinfo/
GPS SPS Signal Specification, 2nd Edition (June 2, 1995), USCG Navigation Center http://www.navcen.uscg.gov/pubs/gps/sigspec/default.htm

А.2 Дифференциальный GPS

Differential GPS (DGPS) by Sam Wormley, http://www.edu-observatory.org/gps/dgps.html
DGPS corrections over the Internet http://www.wsrcc.com/wolfgang/gps/dgps-ip.html
EGNOS Operations Manager http://www.essp.be/
Wide Area Differential GPS (WADGPS), Stanford University http://waas.stanford.edu/

А.3 GPS институты

Institute for applied Geodesy: GPS information and observing system http://gibs.leipzig.ifag.de/cgi-bin/Info_hom.cgi?de
--

GPS PRIMER :Aerospace Corporation http://www.aero.org/publications/GPSPRIMER/index.html
U.S. Coast Guard (USCG) Navigation Center http://www.navcen.uscg.gov/
U.S. Naval Observatory http://tycho.usno.navy.mil/gps.html
Royal Institute of Navigation, London http://www.rin.org.uk/
The Institute of Navigation http://www.ion.org/
University NAVSTAR Consortium (UNAVCO) http://www.unavco.org

A.4 GNSS антенны

REEL Reinheimer Electronic Ltd. http://www.reinheimer-elektronik.de/
WISI, WILHELM SIHN JR. KG http://www.wisi.de/
Matsushita Electric Works (Europe) AG http://www.mew-europe.com/gps/en/news.html
Kyocera Industrial Ceramic Corporation http://www.kyocera.com/kicc/industrial/products/dielectric.htm
M/A-COM http://www.macom.com/
EMTAC Technology Corp. http://www.emtac.com.tw/
Allis Communications Company, Ltd. http://www.alliscom.com.tw/

A.5 GNSS новости и технический журнал GNSS

Newsgroup: sci.geo.satellite-nav http://groups.google.com/groups?oi=djq&as_ugroup=sci.geo.satellite-nav
Technical journal : GPS World (appears monthly) http://www.gpsworld.com

В Указатель

В.1 Список рисунков

Рис. 1: Основная функция спутниковой навигации.....	10
Рис. 2: Запуск GPS спутника.....	11
Рис. 3: Определение расстояния до вспышки молнии.....	12
Рис. 4: В простейшем случае расстояние определяется измерением времени прохождения сигнала.....	13
Рис. 5: С двумя передатчиками возможно вычислить точную позицию несмотря на временные ошибки.....	14
Рис. 6: Необходимо четыре спутника для вычисления долготы, широты, высоты и времени.....	14
Рис. 7: Определение времени прохождения сигнала.....	15
Рис. 8: Позиция спутника на пересечении двух кругов.....	16
Рис. 9: Позиция определяется как точка пересечения трех сфер.....	16
Рис. 10: Необходимо четыре спутника для определения позиции в 3-D пространстве.....	17
Рис. 11: Три сегмента GNSS.....	19
Рис. 12: GPS спутники располагаются на 6 орбитальных плоскостях.....	20
Рис. 13: 24 часовое отслеживание GPS спутника с эффективным диапазоном.....	20
Рис. 14: Позиция GPS спутников в 12:00 часов UTC 14 апреля 2001.....	21
Рис. 15: GPS спутник.....	22
Рис. 16: Спектральная плотность мощности полученного сигнала и термического шума.....	23
Рис. 17: Псевдослучайный шум.....	24
Рис. 18: Упрощенная блочная диаграмма спутника.....	25
Рис. 19: Структура данных GPS спутника.....	25
Рис. 20: Подробная блочная диаграмма GPS спутника.....	26
Рис. 21: Измерение времени прохождения сигнала.....	27
Рис. 22: Демонстрация процесса коррекции на протяжении 30 бит.....	28
Рис. 23: Исследование максимальной корреляции кода и интервала частоты.....	29
Рис. 24: Спектральная плотность мощности коррелированного сигнала и термический сигнальный шум.....	29
Рис. 25: Структура полного навигационного сообщения.....	31
Рис. 26: Термины эфимериса.....	33
Рис. 27: С BPSK сигнал навигационных данных впервые передается кодом.....	34
Рис. 28: Модуляция будущего: BOC(10,5).....	35
Рис. 29: С BPSK(1) и BOC(1,1) максимумы сигнала разделены(нормальное усиление сигнала составляет 1 Вт).....	35
Рис. 30: С модернизацией доступность GPS частот увеличилась.....	36
Рис. 31: GLONASS-M спутник (источник ESA).....	38
Рис. 33: В отличие от SARSAT-COSPAS, GALILEO's сервис обеспечивает ответ на аварийный сигнал.....	41
Рис. 34: Расположение GALILEO спутников (картинка: ESA-J.Huart).....	43
Рис. 35: GALILEO спутник (картинка: ESA-J.Huart).....	43
Рис. 36: Ariane 5 Rocket доставляет 8 GALILEO спутников в космос (GALILEO-industries.net).....	44
Рис. 37: План частот для GALILEO.....	45
Рис. 38: Частота L1 будет интенсивно использоваться GALILEO и GPS (стандартная плотность мощности 1 Вт на сигнал).....	45
Рис. 39: GIOVE-A и его запуск 28 декабря 2005 года (картинка ESA).....	46

Рис. 40: Должны быть получены четыре спутниковых сигнала.....	48
Рис. 41: Трёхмерная координатная система.....	49
Рис. 42: Преобразование последовательности Тейлора.....	50
Рис. 43: Оценка позиции.....	51
Рис. 44: Геометрия спутника и PDOP.....	54
Рис. 45: Влияние расположения спутника на величину DOP.....	54
Рис. 46: GDOP значение и количество видимых спутников в соответствии со временем.....	55
Рис. 47: HDOP значение за период в 24 часа, без затенения (макс. значение 1.9).....	55
Рис. 48: HDOP значение за период в 24 часа с затенением (макс. значение больше 20).....	56
Рис. 49: Геоид является аппроксимацией поверхности Земли.....	58
Рис. 50: Формирование сфероида.....	58
Рис. 51: Локальный Эллипсоид.....	59
Рис. 52: Различие между геоидом и эллипсоидом.....	59
Рис. 53: Иллюстрация Декартовых координат.....	60
Рис. 54: Иллюстрация эллипсоидальных координат.....	61
Рис. 55: Геодезические данные.....	62
Рис. 56: Gauss-Krüger проекция.....	64
Рис. 57: Принцип проектирования одной зоны(из шести).....	65
Рис. 58: Обозначение зон, используя UTM, с примерами.....	65
Рис. 59: Принцип двойного проецирования.....	66
Рис. 60: От спутника к позиции.....	66
Рис. 61: Влияние времени измерения на отражения.....	70
Рис. 62: Принцип DGPS с GPS базовой станцией.....	71
Рис. 63: Определение факторов коррекции.....	72
Рис. 64: Передача корректирующих факторов.....	72
Рис. 65: Коррекция измеренных псевдо диапазонов.....	73
Рис. 66: Принцип измерения фазы.....	73
Рис. 67: Сравнение DGPS систем на основе RTCM и RTCA стандартов.....	76
Рис. 68: Нахождение о обеспечение WAAS, EGNOS, GAGAN и MSAS.....	79
Рис. 69: Принцип всех систем на спутниковой основе SBAS.....	80
Рис. 70: LandStar-DGPS и Omnistar зона.....	81
Рис. 71: Ускорение процедуры поиска с A-GPS путем уменьшения исследуемой области.....	83
Рис. 72: Assisted-GPS система.....	84
Рис. 73: IGS отсчетные станции(октябрь 2006) с примерно 340 активными станциями.....	85
Рис. 74: Блочная диаграмма входных состояний.....	86
Рис. 75: GNSS усилитель (внешняя антенна, электрический адаптер и силовой шнур, усилитель и внутренняя антенна).....	87
Рис. 76: Блочная диаграмма GNSS приемника с интерфейсами.....	88
Рис. 77: NMEA формат (TTL и RS-232 уровни).....	90
Рис. 78: Конструкция заголовка RTCM сообщения.....	100
Рис. 79: Конструкция RTCM сообщения тип 1.....	101
Рис. 80: Структура установок UBX данных.....	103
Рис. 81: Плоские антенны.....	105
Рис. 82: Спиральные антенны.....	106

Рис. 83: Чип антенна.....	106
Рис. 84: Рекурсивная чип антенна: вид сверху и снизу.....	107
Рис. 85: Дипольная антенна и дипольная антенна на плате.....	107
Рис. 86: Рамочная антенна, лазерная антенна 775.....	108
Рис. 87: Планарная inverted-f-антенна (PIFA).....	108
Рис. 88: Керамическая планарная inverted-f-антенна (PIFA) и PIFA для сотового телефона.....	108
Рис. 89: Leica Choke антенна AT504 и Pinwheel™ антенна (Novatel).....	109
Рис. 90: 1PPS сигнал.....	110
Рис. 91: Различие между уровнями TTL и RS-232.....	113
Рис. 92: Блочная диаграмма назначения пинов MAX32121 конвертера.....	113
Рис. 93: Функциональный тест MAX3221 конвертера.....	114
Рис. 94: Упрощенная блочная диаграмма GNSS приемника.....	115
Рис. 95: Типичная блочная диаграмма GNSS модуля.....	117
Рис. 96: Блочная диаграмма u-blox 5 chipset.....	118

В.2 Список таблиц

Таблица 1: Анализ связи несущей L1, модулированной кодом C/A.....	22
Таблица 2: Сравнение данных альманаха и эфемериса.....	33
Таблица 3: Планируемые точности позиционирования для GALILEO.....	42
Таблица 4: План частот GALILEO и сервисы.....	44
Таблица 5: Сравнение наиболее важных свойств GPS, GLONASS и GALILEO.....	47
Таблица 6: Возникновение ошибок (типичные случаи).....	53
Таблица 7: Общая ошибка в HDOP = 1.3.....	56
Таблица 8: Национальные отсчетные системы.....	60
Таблица 9: WGS-84 эллипсоид.....	61
Таблица 10: Параметры данных.....	62
Таблица 11: Источник ошибки и общая ошибка.....	69
Таблица 12: Процесс передачи дифференциального сигнала(для измерения кода и фазы).....	74
Таблица 13: Стандарты для DGPS коррекционных сигналов.....	75
Таблица 14: GEO спутники, используемые WAAS, EGNOS и MSAS.....	79
Таблица 15: Обозначение SBAS станций.....	80
Таблица 16: Точность позиционирования без и с DGPS/SBAS.....	82
Таблица 17: Описание отдельных NMEA DATA SET блоков.....	91
Таблица 18: Запись NMEA протокола.....	91
Таблица 19: Описание отдельных блоков установки GGA данных.....	92
Таблица 20: Описание отдельных блоков установки GGL данных.....	93
Таблица 21: Описание отдельных блоков установки GSA данных.....	94
Таблица 22: Описание отдельных блоков установки GSV данных.....	95
Таблица 23: Описание отдельных блоков установки RMC данных.....	96
Таблица 24: Описание отдельных блоков установки VTG данных.....	97
Таблица 25: Описание отдельных блоков установки ZDA данных.....	98
Таблица 26: Определение контрольной суммы в случае установки NMEA данных.....	99



Таблица 27: Содержимое заголовка RTCM сообщения.....	100
Таблица 28: Содержимое RTCM сообщения тип 1.....	102
Таблица 29: Классы сообщения (шестнадцатеричные значения в скобках).....	104
Таблица 30: Системы времени.....	111

В.3 Источники

- [i] Global Positioning System, Standard Positioning System Service, Signal Specification, 2nd Edition, 1995, page 18, <http://www.navcen.uscg.gov/pubs/gps/sigspec/gpssps1.pdf>
- [ii] NAVCEN: GPS SPS Signal Specifications, 2nd Edition, 1995, <http://www.navcen.uscg.gov/pubs/gps/sigspec/gpssps1.pdf>
- [iii] Lemme H.: Schnelles Spread-Spectrum-Modem auf einem Chip, Elektronik 1996, H. 15 p. 38 to p. 45
- [iv] http://www.maxim-ic.com/appnotes.cfm/appnote_number/1890
- [v] Parkinson B., Spilker J.: Global Positioning System, Volume 1, AIAA-Inc.
- [vi] GPS Standard Positioning Service Signal Specification, 2nd Edition, June 2, 1995
- [vii] Journal of the Institute of Navigation, 2002, Vol.48, No. 4, pp 227-246, Author: John W. Betz
- [viii] <http://www.glonass-center.ru/nagu.txt>
- [ix] http://www.dlr.de/dlr/News/pi_191004.htm
- [x] <http://www.cospas-sarsat.org/Status/spaceSegmentStatus.htm>
- [xi] http://europa.eu.int/comm/dgs/energy_transport/galileo/documents/brochure_en.htm
- [xii] http://www.esa.int/esaCP/SEM498A9HE_Austria_0.html
- [xiii] <http://europa.eu.int/scadplus/leg/de/lvb/l24004.htm>
- [xiv] <http://www.spiegel.de/wissenschaft/weltraum/0,1518,392467,00.html>
- [xv] http://www.esa.int/esaCP/SEM36M3CIE_Improving_0.html
- [xvi] http://www.esa.int/esaCP/SEM0198A9HE_Germany_0.html
- [xvii] Manfred Bauer: Vermessung und Ortung mit Satelliten, Wichman-Verlag, Heidelberg, 1997, ISBN 3-87907-309-0
- [xviii] <http://www.geocities.com/mapref/mapref.html>
- [xix] B. Hofmann-Wellenhof: GPS in der Praxis, Springer-Verlag, Wien 1994, ISBN 3-211-82609-2
- [xx] Bundesamt für Landestopographie: <http://www.swisstopo.ch>
- [xxi] Elliott D. Kaplan: Understanding GPS, Artech House, Boston 1996, ISBN 0-89006-793-7
- [xxii] <http://www.tandt.be/wis>
- [xxiii] http://www.egnos-pro.esa.int/IMAGEtech/imagetech_realtime.html
- [xxiv] <http://igsceb.jpl.nasa.gov/>
- [xxv] GPS-World, November 2003: Vittorini und Robinson: Optimizing Indoor GPS Performance, page 40
- [xxvi] www.maxim-ic.com/quick_view2.cfm Datenblatt MAX2640, MAX2641



[xxvii] NMEA 0183, Standard For Interfacing Marine Electronics Devices, Version 2.30

[xxviii] <http://www.navcen.uscg.gov/pubs/dgps/rctm104/Default.htm>

[xxix] Global Positioning System: Theory and Applications, Volume II, Bradford W. Parkinson, page 31

[xxx] User Manual: Sony GXB1000 16-channel GPS receiver module

[xxxi] User Manual: Sony GXB1000 16-channel GPS receiver module

[xxxii] swipos, Positionierungsdienste auf der Basis von DGPS, page 6, Bundesamt für Landestopographie

[xxxiii] http://www.potsdam.ifag.de/potsdam/dgps/dgps_2.html

[xxxiv] <http://www.maxim-ic.com>

[xxxv] Satellitenortung und Navigation, Werner Mansfield, page 157, Vieweg Verlag

[xxxvi] <http://www.alliedworld.com>