



# ОСНОВЫ GPS

Введение

---



ОСНОВЫ GPS

Название	Основы GPS
Тип документа	Книга
ID документа	GPS-X-02007
Автор	Jean-Marie Zogg
Дата	26/03/2002
За дополнительной информацией обратитесь на <a href="http://www.u-blox.com">www.u-blox.com</a>	

Мы резервируем все права на этот документ и информацию в нем. Воспроизведение, использование или передача третьим сторонам без авторского надзора строго запрещены.

Все торговые марки, упомянутые в данном документе - собственность их владельцев.  
Copyright © 2002, u-blox\_ag

В этой книге описаны детали U\_BLOX. Компания не несет ответственности за ущерб, причиненный по вине данной книги. Также компания не дает никаких гарантий на спецификации, содержащиеся в данной книге.

# Основы GPS

- Введение в систему
- Обзор приложения



**u-blox ag**  
Zuercherstrasse 68  
CH-8800 Thalwil  
Switzerland

Phone: +41 7227444  
Fax: +41 7227447

Internet: [www.u-blox.com](http://www.u-blox.com)

## Предисловие автора



Jean-Marie Zogg

### 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?

Два года назад 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

(\*): Это было в 1990, сейчас точность достигла 10 м!

# Содержание

<b>1 Введение.....</b>	<b>9</b>
<b>2 GPS сделать просто.....</b>	<b>11</b>
2.1 Принцип измерения транзитного времени сигнала .....	11
2.1.1 Генерация транзитного времени GPS сигнала .....	12
2.1.2 Определение позиции на карте.....	13
2.1.3 Возникновение и коррекция ошибки по времени .....	14
2.1.4 Определение позиции в 3-D пространстве.....	15
<b>3 GPS, технология.....</b>	<b>16</b>
3.1 Описание системы.....	16
3.2 Пространственный сегмент.....	17
3.2.1 Движение спутника.....	17
3.2.2 GPS спутники .....	19
3.2.3 Генерация сигнала спутника .....	20
3.3 Сегмент управления .....	23
3.4 Сегмент пользователя.....	23
<b>4 Сообщение GPS навигации .....</b>	<b>25</b>
4.1 Введение.....	25
4.2 Структура сообщения навигации.....	26
4.2.1 Информация в подфреймах .....	26
4.2.2 TLM и HOW.....	27
4.2.3 Разбиение на 25 страниц .....	27
4.2.4 Сравнение данных альманаха и эфимериса.....	28
<b>5 Вычисление позиции .....</b>	<b>29</b>
5.1 Введение.....	29
5.2 Вычисление позиции .....	29
5.2.1 Принцип измерения времени транзита сигнала(оценка псевдодиапазона)...	29
5.2.2 Линеаризация уравнения.....	32
5.2.3 Решение уравнения.....	33
5.2.4 Заключение.....	34
5.2.5 Анализ ошибки сигнала спутника.....	35
<b>6 Координатные системы.....</b>	<b>38</b>
6.1 Введение.....	38
6.2 Геоиды.....	38
6.3 Эллипсоид и начальные данные.....	39
6.3.1 Сфероид .....	39
6.3.2 Измененные локальные эллипсоиды и данные.....	40
6.3.3 Системы национальных указателей.....	41
6.3.4 Всемирный указатель на эллипсоид WGS-84.....	41
6.3.5 Трансформация от местного к общему указателю на эллипсоид .....	42
6.3.6 Конвертирование координатных систем .....	44
6.4 Плоский план координатной проекции .....	45
6.4.1 Система проекции для Германии и Австрии.....	45

6.4.2 Швейцарская проекционная система (соответствующая двойная проекция) .....	46
6.4.3 Всемирная координатная конверсия .....	47
<b>7 Дифференциал-GPS (DGPS) .....</b>	<b>48</b>
7.1 Введение.....	48
7.2 DGPS, основанный на измерении транзитного времени сигнала.....	48
7.2.1 Подробный метод работы DGPS.....	49
7.3 DGPS, основанный на измерении несущей фазы .....	50
<b>8 Форматы данных и интерфейсы оборудования .....</b>	<b>52</b>
8.1 Введение.....	52
8.2 Интерфейсы данных.....	52
8.2.1 Интерфейс данных NMEA 0183.....	52
8.2.2 Данные коррекции DGPS (RTCM SC-104) .....	63
8.3 Интерфейсы оборудования .....	66
8.3.1 Антенна .....	66
8.3.2 Питание .....	67
8.3.3 Временной импульс: 1PPS и системы времени.....	67
8.3.4 Конвертирование уровня TTL в RS-232.....	68
<b>9 Приемники GPS .....</b>	<b>71</b>
9.1 Основы GPS приемников.....	71
9.2 Модули GPS приемника .....	73
9.2.1 Основной вид GPS модуля .....	73
<b>10 Приложения GPS .....</b>	<b>74</b>
10.1 Введение .....	74
10.2 Описание различных приложений .....	75
10.2.1 Наука и исследования .....	75
10.2.2 Бизнес и промышленность.....	76
10.2.3 Сельское хозяйство и лесная индустрия.....	77
10.2.4 Технология связей.....	78
10.2.5 Туризм/ спорт.....	78
10.2.6 Военное ведомство .....	78
10.2.7 Измерение времени.....	78
<b>Дополнения.....</b>	<b>79</b>
A.1 DGPS услуги.....	79
A.1.1 Введение .....	79
A.1.2 Swipos-NAV (RDS или GSM) .....	79
A.1.3 AMDS.....	79
A.1.4 SAPOS.....	80
A.1.5 ALF.....	80
A.1.6 dGPS .....	80
A.1.7 Радио-маяки.....	81
A.1.8 Omnistar и Landstar .....	81
A.1.9 EGNOS .....	81
A.1.10 WAAS .....	81
A.2 Специальные интерфейсы данных .....	82
A.2.1 Введение .....	82
A.2.2 SiRF двоичный протокол.....	82

A.2.3 Motorola: двоичный формат .....	85
A.2.4 Протокол TRIMBLE.....	86
A.2.5 NMEA или специальные форматы данных?.....	86
<b>Ресурсы в Интернете .....</b>	<b>88</b>
Основные статьи и ссылки .....	88
Дифференциал GPS .....	88
GPS_институты .....	89
GPS_антенны.....	89
GPS новостные группы и специальные журналы .....	89
<b>Список таблиц .....</b>	<b>90</b>
<b>Список иллюстраций.....</b>	<b>91</b>
<b>Литература.....</b>	<b>93</b>

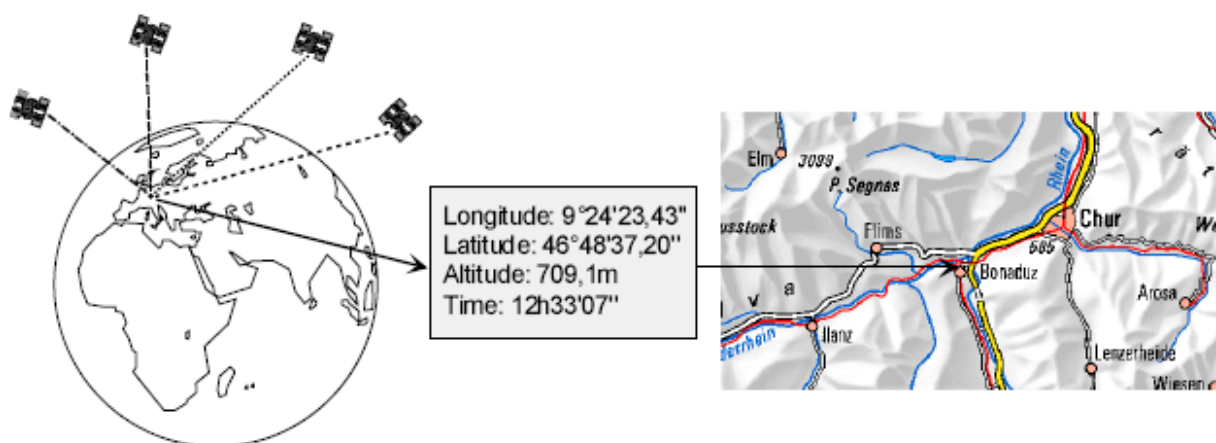


# 1 ВВЕДЕНИЕ

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 28 спутников Земли.



**Рис.1 Основная функция GPS**

GPS приемники используются для позиционирования, навигации, наблюдения и определения времени как частными лицами (любителями горных лыж, воздушных шаров и т.д.), так и компаниями (для наблюдения, определения времени, контроля передвижения и т.д.).

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 борту.

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.

Цель этой книги в том, чтобы обеспечить исчерпывающий обзор функций GPS и приложений. Книга написана таким образом, что читатель может перейти от простых фактов к более сложной теории. Важные аспекты – Дифференциальное GPS, интерфейсы оборудования и формат данных рассмотрены в отдельных главах. В дополнение, эта книга помогает понять технологию GPS приложений, модулей и ICs. Из моего личного опыта я знаю, насколько трудно понимание различных координатных систем при использовании GPS оборудования. Поэтому отдельная глава посвящена картографии. Эта книга нацелена на людей, интересующихся данной технологией, а также на специалистов, работающих с GPS приложениями.

## 2 GPS – это просто

Если Вам нравится. . .

- понимать, как определяется расстояние до молнии
  - понимать, как работают основные GPS функции
  - 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!

### 2.1 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. 2): 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.

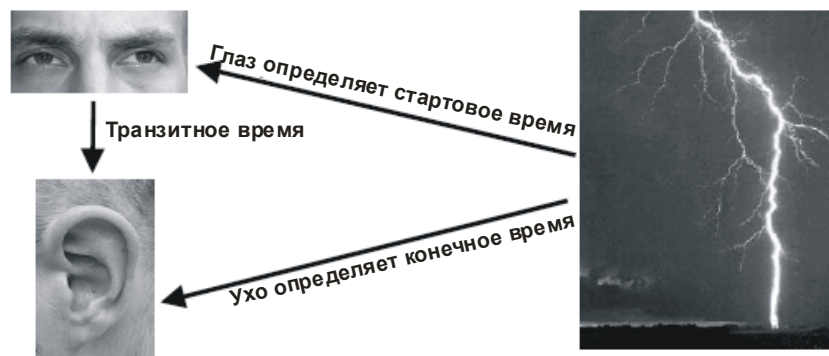


Рис.2 Определение расстояния по вспышке молнии

**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.

### 2.1.1 Генерация транзитного времени сигнала GPS

28 спутников, наклоненных к экватору на  $55^\circ$  каждые 11 часов и 58 минут проходят свою орбиту на высоте 20 180 км на 6 различных плоскостях (Рис. 3). 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 сделать 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 нс 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 4).

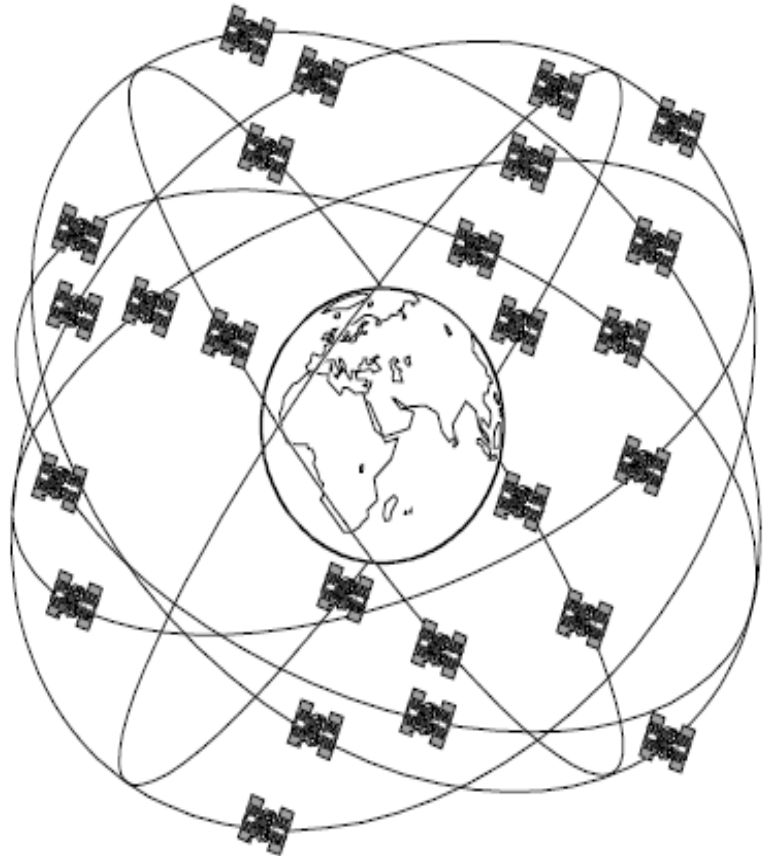


Рис.3. Орбиты GPS спутников на 6 различных плоскостях

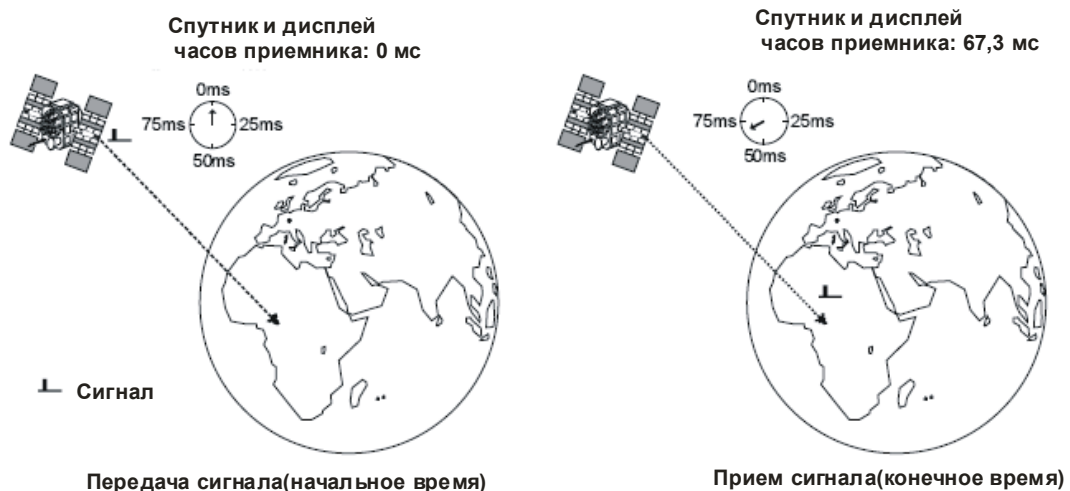


Рис.4 Определение транзитного времени

Расстояние **S** до спутника можно определить, используя транзитное время  **$\tau$** :

Расстояние = время в пути \* скорость света

$$S = \tau \cdot c$$

Измерения транзитного времени сигнала и расстояния до спутника все еще не достаточно для вычисления собственной позиции в 3-D пространстве. Для достижения этого необходимы четыре независимых измерения транзитного времени. Поэтому нужна связь с четырьмя другими спутниками – для вычисления точной позиции.

### 2.1.2 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  $S_1$  и  $S_2$  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. 5).

Двух спутников достаточно, чтобы определить позицию на плоскости X/Y.

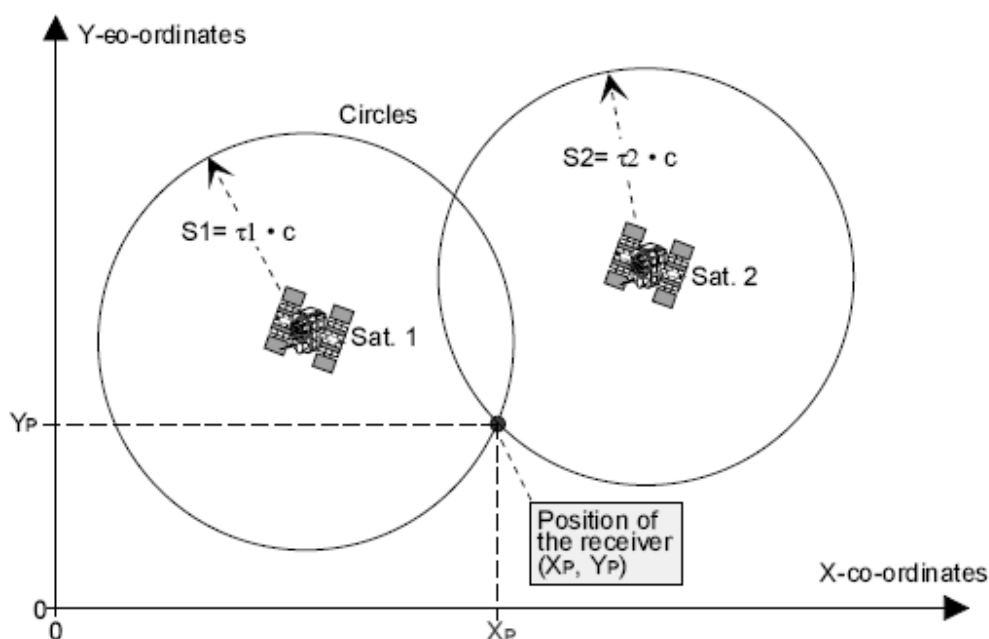
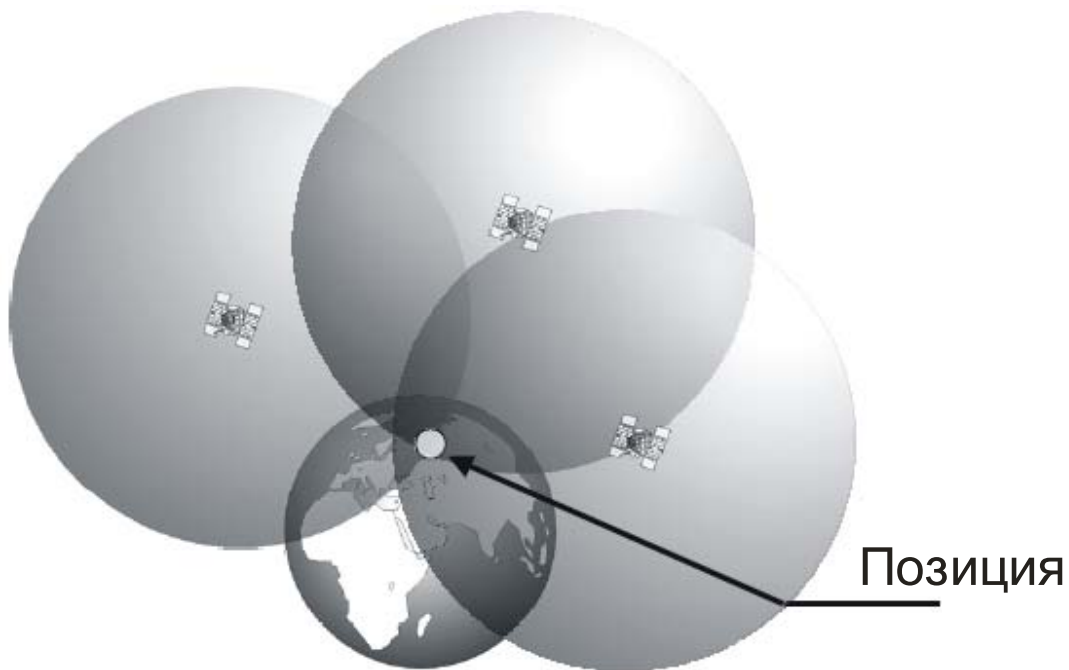


Рис.5 Позиция приемника в точке пересечения двух кругов

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. 6).



**Рис. 6 Позиция определяется как точка пересечения трех сфер**

Все утверждения соответствуют действительности, если земные часы и атомные часы на борту спутников синхронизированы, то есть правильно определено транзитное время сигналов.

### **2.1.3 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( $\Delta t$ )

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

### 2.1.4 Определение позиции в 3-D пространстве

Для определения этих четырех неизвестных переменных нужны четыре независимых уравнения. Четыре транзитных времени предоставляются четырьмя спутниками (СП. 1...СП. 4). 28 Спутников GPS расположены вокруг земного шара таким образом, чтобы по крайней мере 4 из них всегда были "видимы" из любой точки на Земле (Рис. 7). Несмотря на ошибки времени приемника, позиция на плоскости может быть вычислена в пределах приблизительно 5 - 10 м.

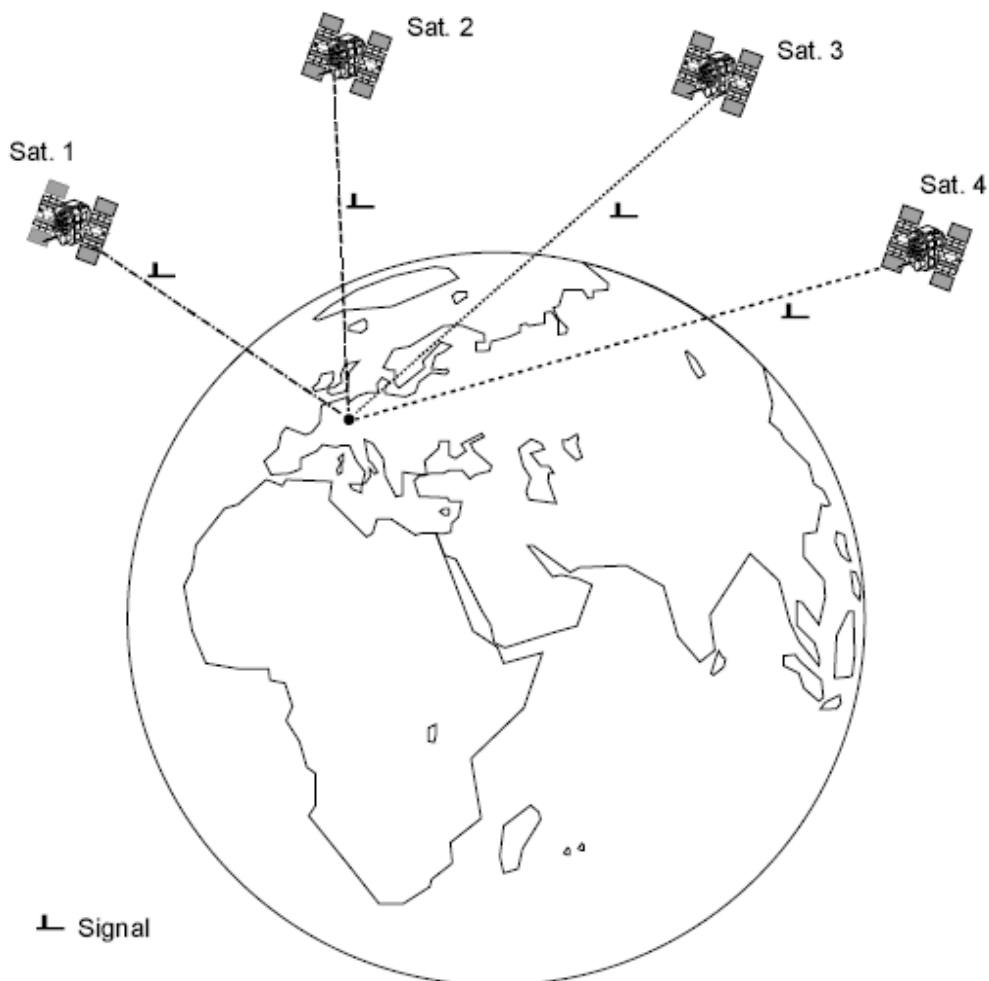


Рис.7 4 спутника необходимы для определения позиции в 3-D пространстве

## 3 GPS технология

---

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

тогда **эта глава** для Вас!

---

### 3.1 Описание системы

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

- 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)



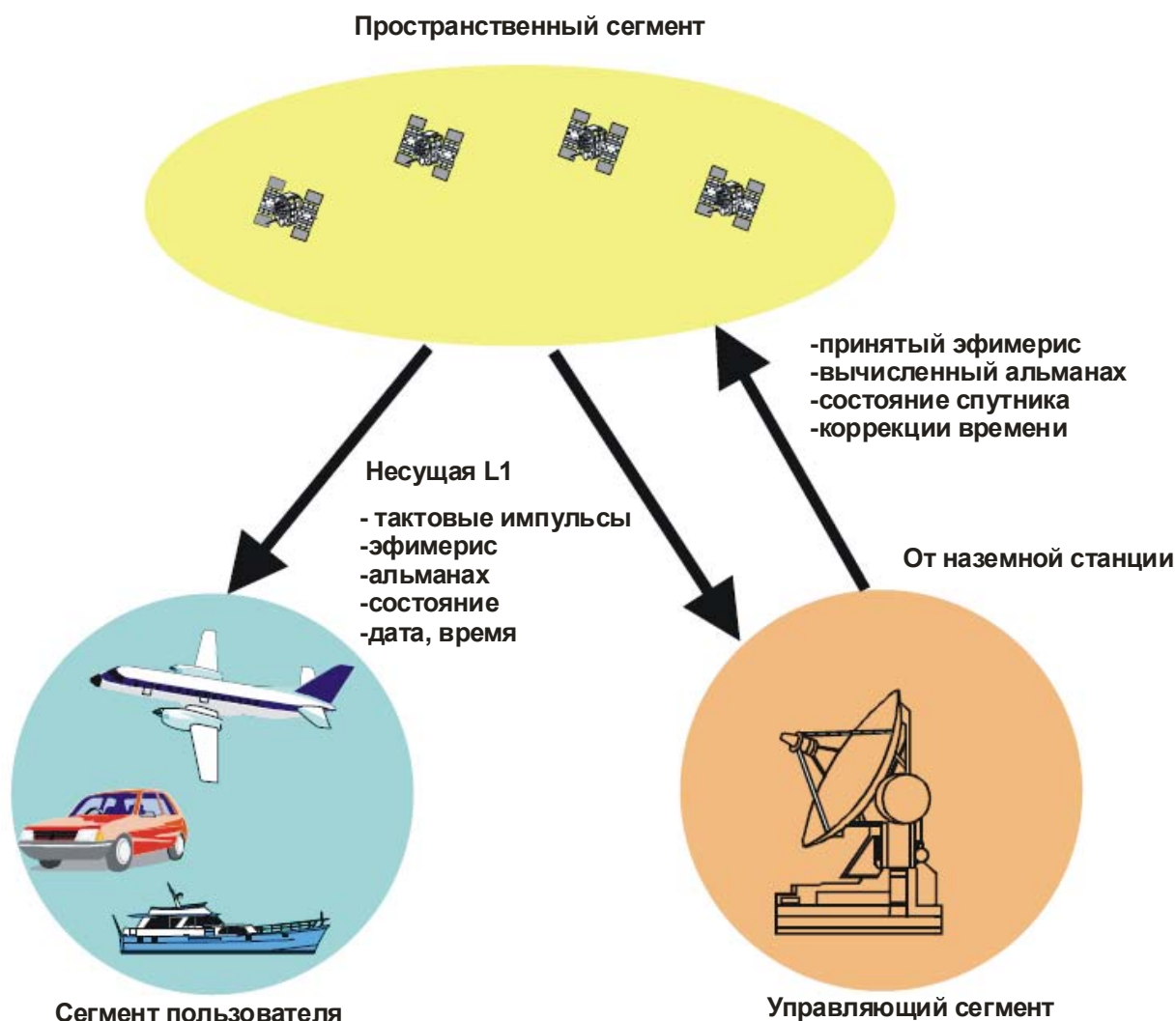


Рис. 8 Три GPS сегмента

## 3.2 Пространственный сегмент

### 3.2.1 Перемещение спутника

Пространственный сегмент к настоящему времени состоит из 28 действующих спутников (Рис. 3) 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  $55^\circ$  к экватору. Каждый спутник совершает круг по орбите за 12 часов. Из-за вращения Земли, спутник будет в своем начальном положении (Рис. 9) после приблизительно 24 часов (23 часа 56 минут, чтобы быть точным).

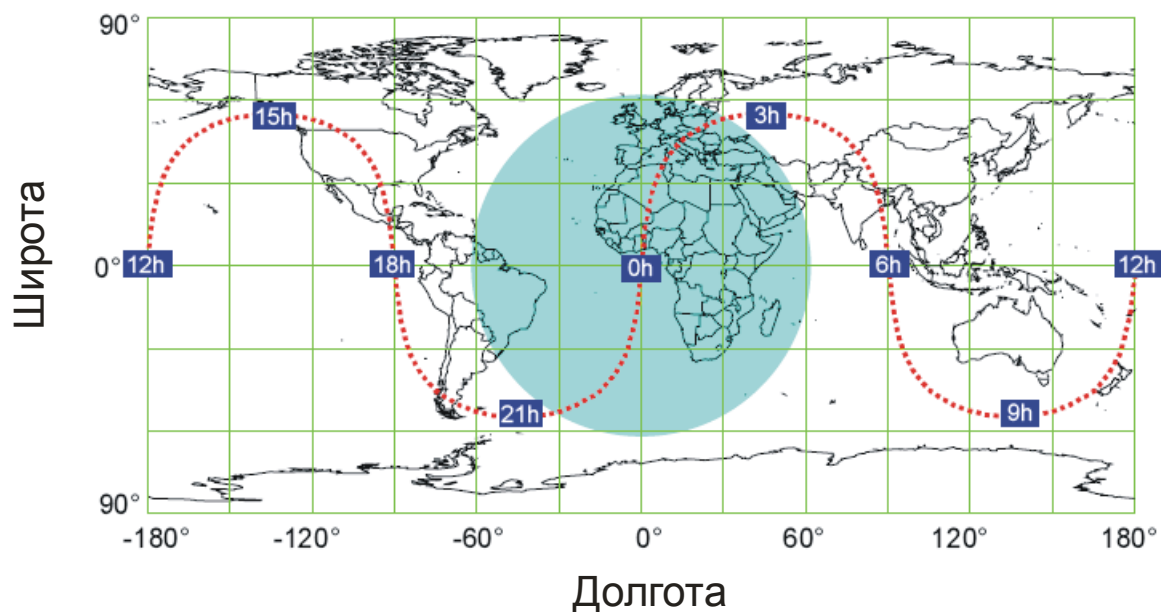


Рис. 9 Позиции 28 спутников на 12 часов UTC на 14 апреля 2001 г.

Спутниковые сигналы могут быть приняты в пределах эффективного диапазона спутника. Рис. 9 показывает эффективный диапазон (затененная область) спутника, расположенного прямо над нулевым меридианом.

Распределение 28 спутников в любой момент времени может быть видно на Рис. 10. Оно является следствием удачного распределения орбит на большой высоте для обеспечения связи с, по крайней мере, 4 спутниками в любое время в мире.

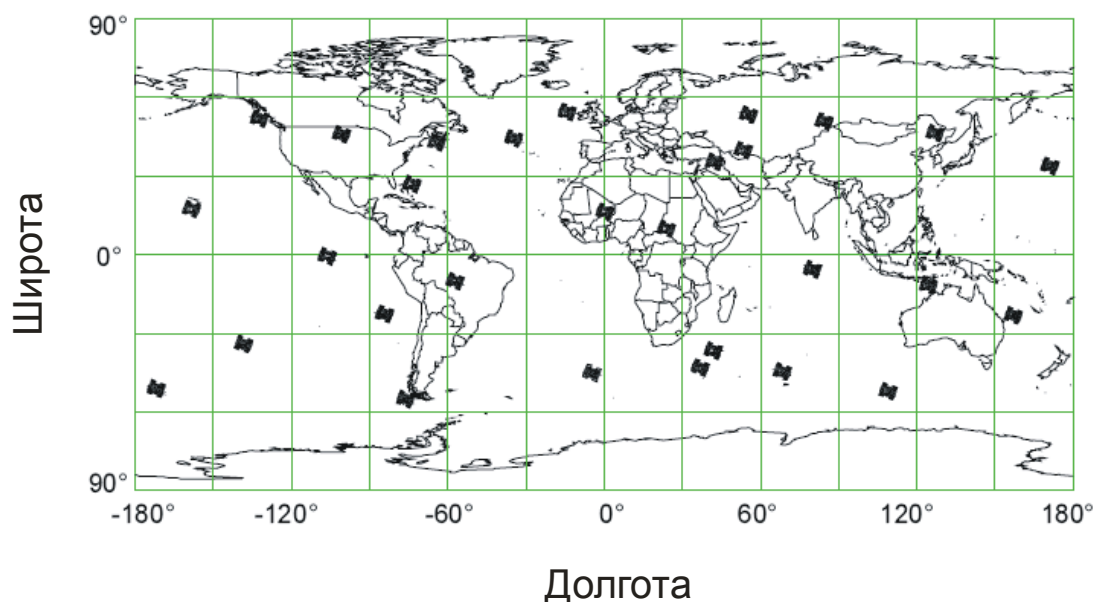


Рис. 10 Позиции 28 спутников на 12 часов UTC на 14 апреля 2001 г.

## 3.2.2 Спутники GPS

### 3.2.2.1 Конструкция спутника

Все 28 спутниковых сигналов 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].

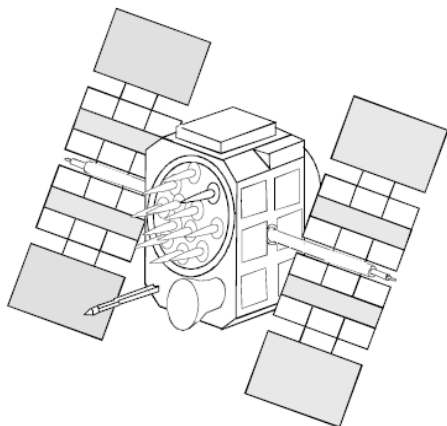


Рис. 11 GPS спутник

### 3.2.2.2 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 W)

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

Полученная мощность -160dBW очень небольшая. Максимальная плотность – на 14.9 дБ ниже шумового фона приемника [ii].

### 3.2.2.3 Сигналы спутника

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

- 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. 12).

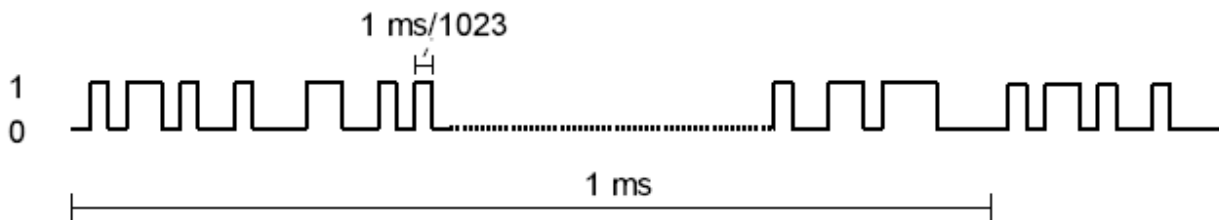


Рис.12 Псевдослучайный шум

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

### 3.2.3 Генерация сигнала спутника

#### 3.2.3.1 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.13 и 14):

- Частота данных 50 Гц
- Импульс кода C/A, который модулирует данные, используя эксклюзивный процесс (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). С каждым изменением в модулированных данных есть поворот на 180° в несущей фазе L1.

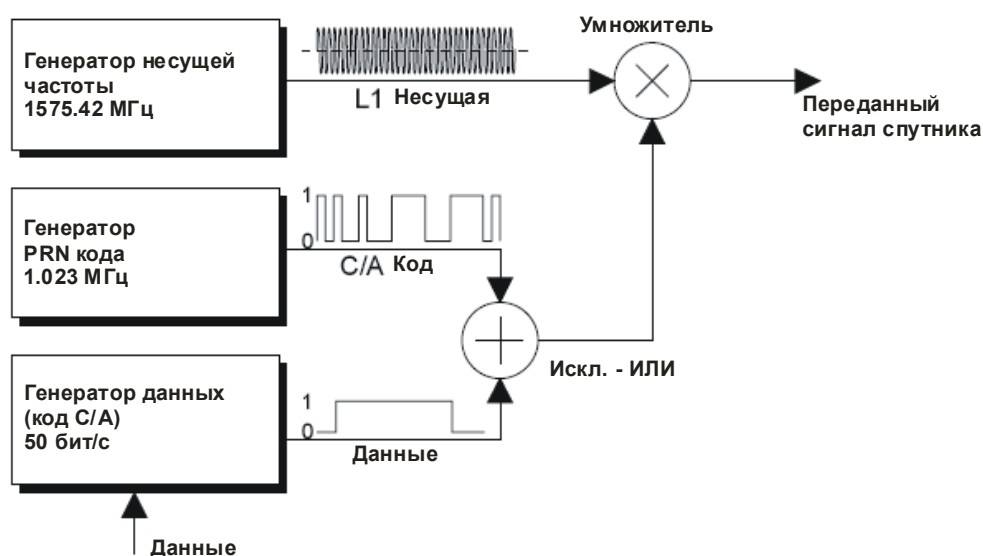


Рис. 13 Упрощенная блочная диаграмма

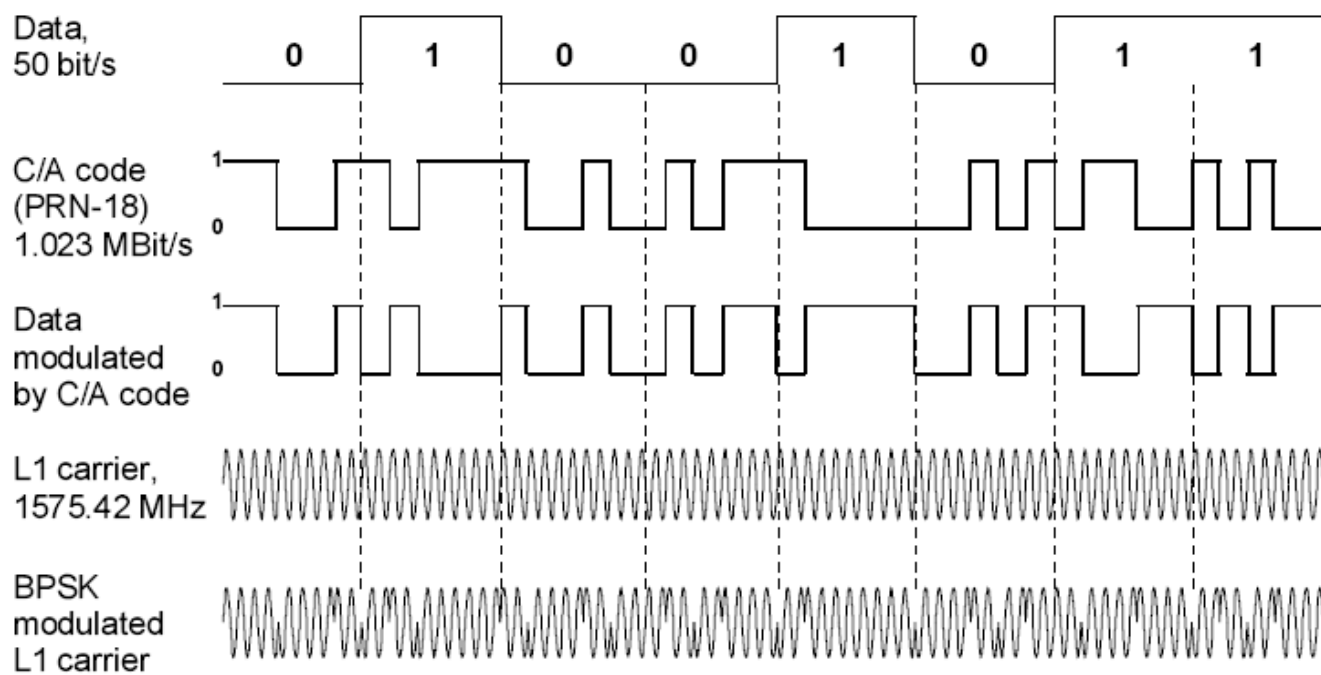
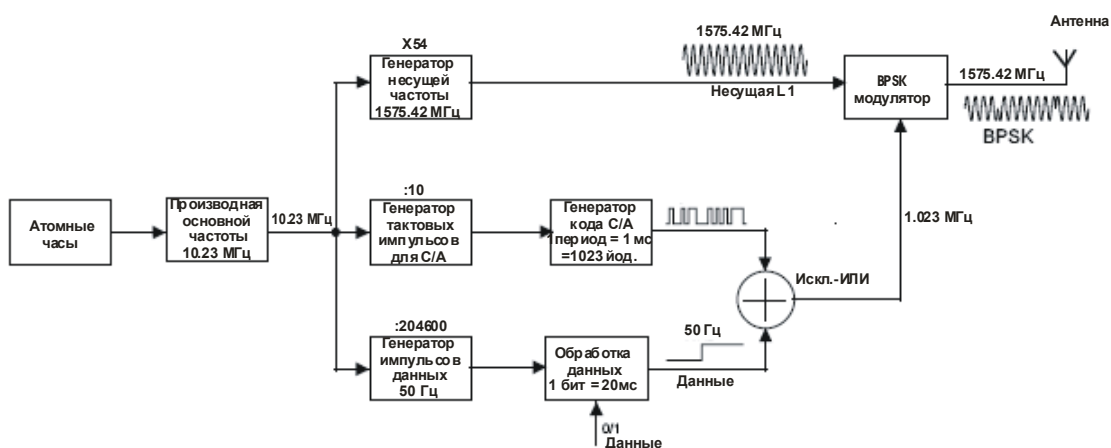


Рис. 14 Структура данных спутника GPS

### 3.2.3.2 Подробная блочная система

Атомные часы на борту спутника имеют устойчивость более  $2 \cdot 10^{-13}$ [iv]. 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.15). То есть все 28 спутников передают на частоте 1575.42 МГц, при этом используется процесс, известный под названием CDMA Multiplex (Code Division Multiple Access). Данные передаются на основе DSSS модуляции[v]. Генератор C/A кода имеет частоту 1023 МГц и период 1,023, который соответствует мс. Используемый C/A код (PRN код), который похож на золотой код и имеет хорошие корреляционные свойства, генерируется сдвиговым регистром обратной связи.



**Рис.15** Подробная блочная система GPS спутника

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.

### 3.3 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:

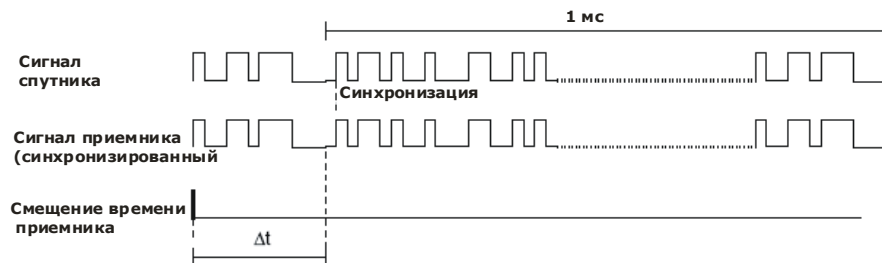
- Наблюдение за перемещением спутников и обработка орбитальных данных (эфимерис)
- Контроль часов спутника и их работы
- Синхронизация времени спутника
- Ретрансляция точных орбитальных данных, полученных от спутников на связи
- Ретрансляция приблизительных орбитальных данных, полученных от всех спутников (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.

### 3.4 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.

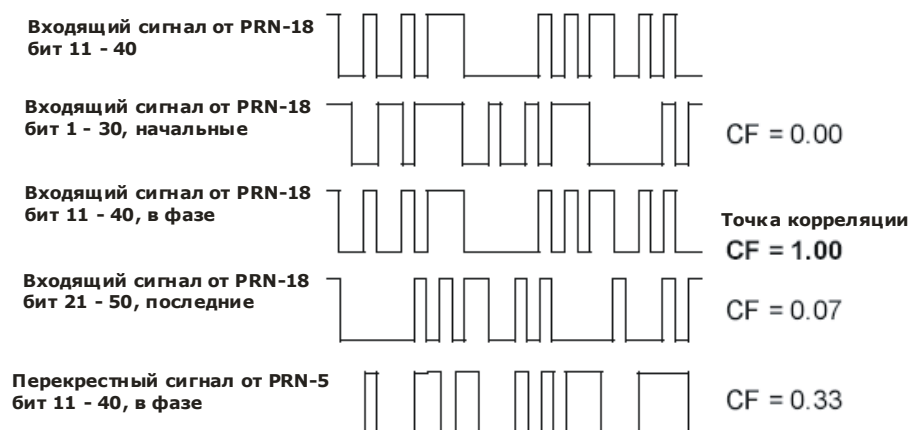
Четыре различных сигнала сгенерированы на приемнике и имеют ту же структуру, что и полученные с 4 спутников. При синхронизации этих сигналов образуется смещение по времени  $\Delta t$  (Рис. 16). Измеренные смещения времени  $\Delta t$  на всех 4 спутниковых сигналах используются для определения транзитного времени сигнала.



**Рис.16 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  $\phi$ , долготу  $\lambda$ , высоту  $h$  и время  $t$  из диапазона и известной позиции четырех спутников. Выражаясь математическими терминами, это означает, что четыре неизвестных переменных  $\phi$ ,  $\lambda$ ,  $h$  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 28 спутников 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. 17). Точка корреляции используется для измерения фактического транзитного времени сигнала и для идентификации спутника.



**Рис.17 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



## 4 Навигационное сообщение GPS

Если Вам нравится. . .

- знать, какая информация передается на Землю от спутников
- понимать, почему необходимо некоторое время для выхода системы GPS в онлайн-режим
- знать, какие данные, где доступны
- знать, какие существуют фреймы и подфреймы
- понимать, почему одинаковые данные передаются с разной степенью точности

тогда **эта глава** для Вас!

### 4.1 Введение

Навигационное 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).

## 4.2 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. 18.

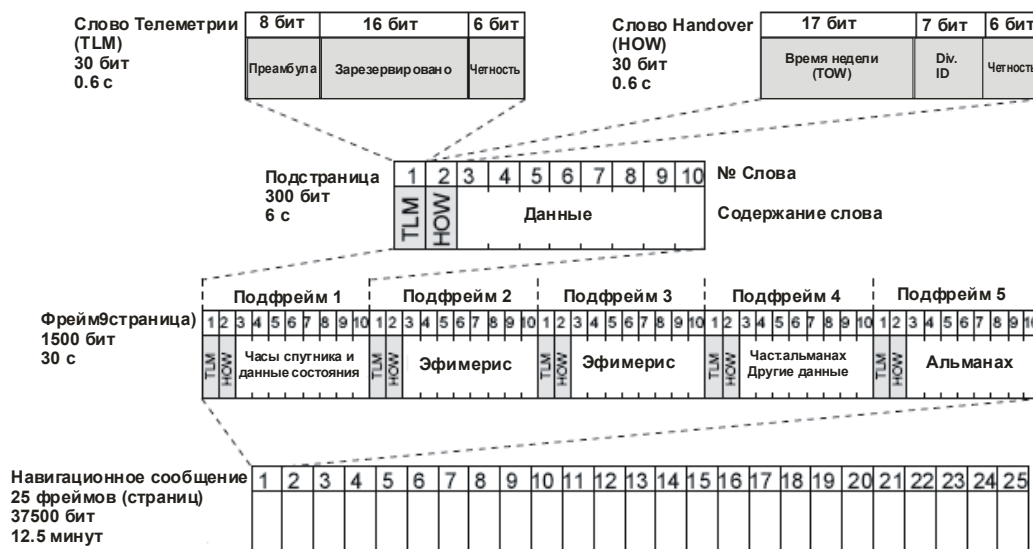


Рис. 18 Структура полного навигационного сообщения

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.

### 4.2.2 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.

### 4.2.3 Разбиение 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.

#### 4.2.4 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 <b>a</b>	32	16
Эксцентриситет орбитального эллипса <b>e</b>	32	16

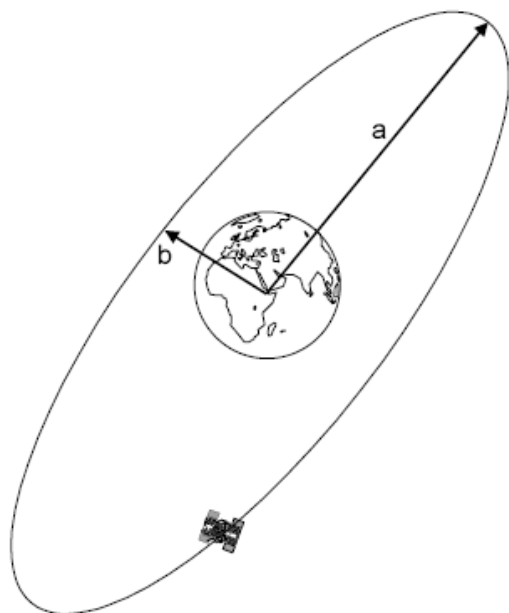
**Таблица 2 Сравнение данных альманаха и эфимериса**

Для объяснения терминов, использованных в Таблице 2 см. Рис. 18.

Основная полуось орбитального эллипса: **a**

Эксцентриситет орбитального эллипса: **e**

$$e = \sqrt{\frac{a^2 - b^2}{a^2}}$$



**Рис.19 Термины эфимериса**

## 5 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!

### 5.1 Введение

Первоначально предназначенная для чисто военных целей, система GPS используется сегодня для гражданских приложений, как например, наблюдение, навигация (воздух, море и земля), позиционирование, измерение скорости, определение времени, контроль неподвижных и движущихся объектов и т.п. Системный оператор гарантирует стандартному гражданскому потребителю следующую точность (Таблица 3) для 95% времени (2drms [VII]):

Горизонтальная точность	Вертикальная точность	Точность по времени
$\leq 13$ м	$\leq 22$ м	$\sim 40$ нс

**Таблица 3 Точность для гражданского населения**

При наличии дополнительных трудностей, напр. несколько связанных приемников (DGPS), возрастает время измерения, но с помощью специальных методов измерения (измерения фазы) позиционная точность может возрасти до сантиметра.

### 5.2 Вычисление позиции

#### 5.2.1 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).

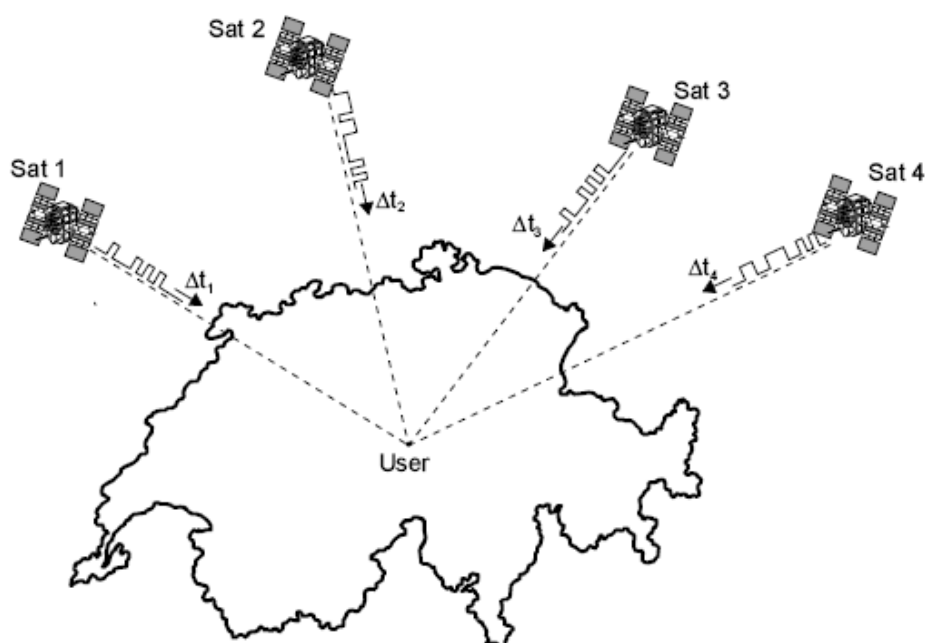


Рис.20 Сигналы от 4 спутников должны быть получены

Вычисления произведены в Декартовой трехмерной системе координат с геоцентрическим началом (Рис. 21). Диапазон пользователя от четырех спутников  $R_1$ ,  $R_2$ ,  $R_3$  и  $R_4$  может быть определен с помощью транзитных времен сигналов  $\Delta t_1$ ,  $\Delta t_2$ ,  $\Delta t_3$  и  $\Delta t_4$  между ними и пользователем. Так как позиции  $X_{SAT}$ ,  $Y_{SAT}$  и  $Z_{SAT}$  спутников известны, нетрудно вычислить позицию пользователя.

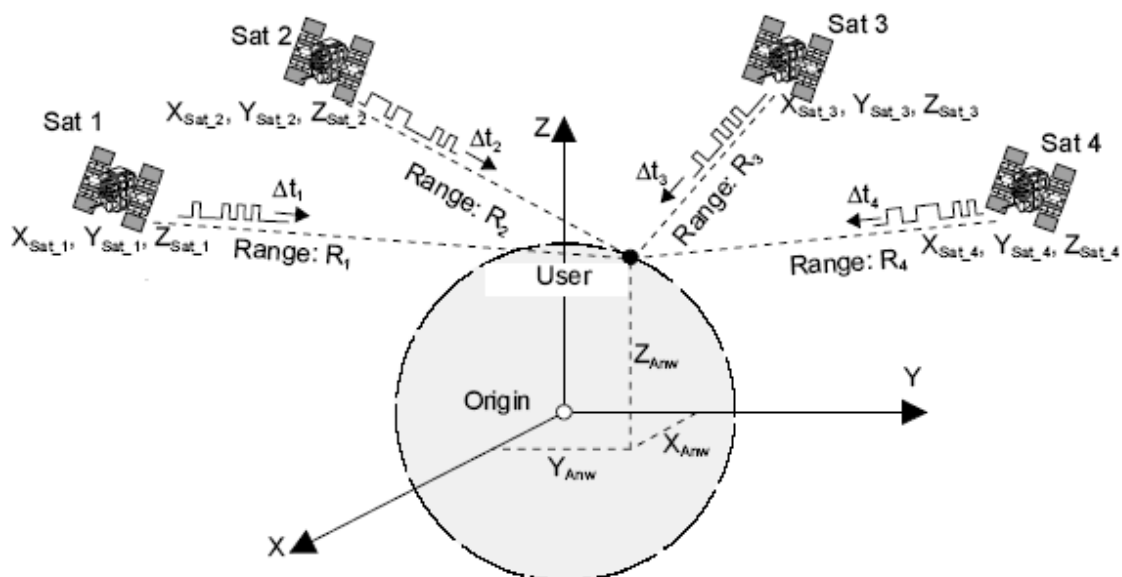


Рис.21 Трехмерная координатная система

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  $\Delta t_0$ . Знак  $\Delta t_0$  положителен, если часы пользователя быстрее. Результирующая ошибка времени  $\Delta t_0$  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].

$$\Delta t_{measured} = \Delta t + \Delta t_0 \quad (1a)$$

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

$$PSR = R + \Delta t_0 \cdot c \quad (3a)$$

R: действительный диапазон от спутника до пользователя  
 C: скорость света  
 $\Delta t_1$ : транзитное время сигнала от спутника до пользователя  
 $\Delta t_0$ : 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...4)

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

### 5.2.2 Линеаризация уравнения

Четыре уравнения 6а представляют собой нелинейный набор уравнений. Для его решения нужно сделать линейной корневую функцию согласно модели Тейлора, использующей только первую часть (Рис. 22).

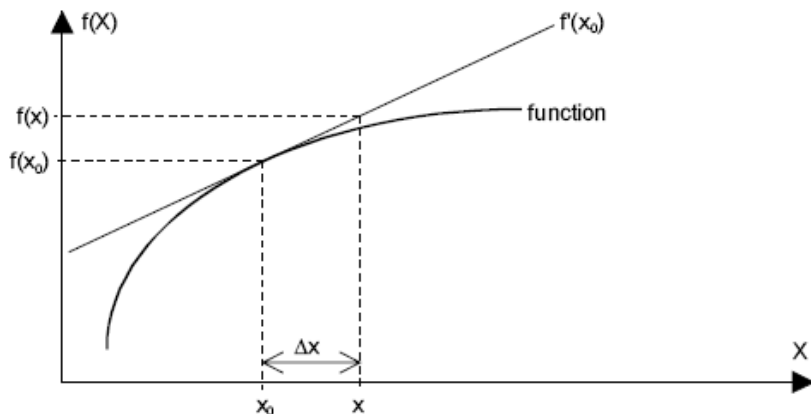


Рис.22 Конверсия последовательности Тейлора

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 (6а) произвольно предполагаемую величину  $x_0$  нужно подставить вместо  $x$ .

Для системы GPS это означает, что вместо непосредственного расчета  $X_{Anw}$ ,  $Y_{Anw}$  и  $Z_{Anw}$  используется предполагаемая позиция  $X_{Ges}$ ,  $Y_{Ges}$  и  $Z_{Ges}$  (Рис. 23).

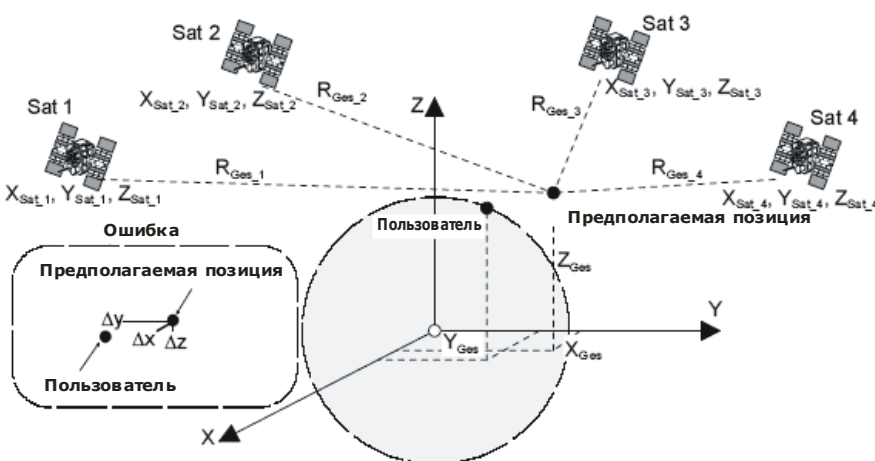


Рис.23 Оценка позиции



Предполагаемая позиция включает в себя ошибку из-за неизвестных переменных  $\Delta x$ ,  $\Delta y$  и  $\Delta z$ .

$$\begin{aligned} X_{Anw} &= X_{Ges} + \Delta x \\ Y_{Anw} &= Y_{Ges} + \Delta y \\ Z_{Anw} &= Z_{Ges} + \Delta z \end{aligned} \quad (8a)$$

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

$$R_{Ges\_i} = \sqrt{(X_{Sat\_i} - X_{Ges})^2 + (Y_{Sat\_i} - Y_{Ges})^2 + (Z_{Sat\_i} - Z_{Ges})^2} \quad (9a)$$

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

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

После частичного дифференцирования это даст следующее:

$$PSR_i = R_{Ges\_i} + \frac{X_{Ges} - X_{Sat\_i}}{R_{Ges\_i}} \cdot \Delta x + \frac{Y_{Ges} - Y_{Sat\_i}}{R_{Ges\_i}} \cdot \Delta y + \frac{Z_{Ges} - Z_{Sat\_i}}{R_{Ges\_i}} \cdot \Delta z + c \cdot \Delta t_0 \quad (11a)$$

### 5.2.3 Решение уравнения

После транспонирования четырех уравнений (11 a) (для  $i = 1 \dots 4$ ) для четырех переменных ( $\Delta x$ ,  $\Delta y$ ,  $\Delta z$  и  $\Delta t_0$ ) можно применить правила линейной алгебры:

$$\begin{bmatrix} PSR_1 - R_{Ges\_1} \\ PSR_2 - R_{Ges\_2} \\ PSR_3 - R_{Ges\_3} \\ PSR_4 - R_{Ges\_4} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{X_{Ges} - X_{Sat\_1}}{R_{Ges\_1}} & \frac{Y_{Ges} - Y_{Sat\_1}}{R_{Ges\_1}} & \frac{Z_{Ges} - Z_{Sat\_1}}{R_{Ges\_1}} & c \\ \frac{X_{Ges} - X_{Sat\_2}}{R_{Ges\_2}} & \frac{Y_{Ges} - Y_{Sat\_2}}{R_{Ges\_2}} & \frac{Z_{Ges} - Z_{Sat\_2}}{R_{Ges\_2}} & c \\ \frac{X_{Ges} - X_{Sat\_3}}{R_{Ges\_3}} & \frac{Y_{Ges} - Y_{Sat\_3}}{R_{Ges\_3}} & \frac{Z_{Ges} - Z_{Sat\_3}}{R_{Ges\_3}} & c \\ \frac{X_{Ges} - X_{Sat\_4}}{R_{Ges\_4}} & \frac{Y_{Ges} - Y_{Sat\_4}}{R_{Ges\_4}} & \frac{Z_{Ges} - Z_{Sat\_4}}{R_{Ges\_4}} & c \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \Delta x \\ \Delta y \\ \Delta z \\ \Delta t_0 \end{bmatrix} \quad (12a)$$

$$\begin{bmatrix} \Delta x \\ \Delta y \\ \Delta z \\ \Delta t_0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{X_{Ges} - X_{Sat\_1}}{R_{Ges\_1}} & \frac{Y_{Ges} - Y_{Sat\_1}}{R_{Ges\_1}} & \frac{Z_{Ges} - Z_{Sat\_1}}{R_{Ges\_1}} & c \\ \frac{X_{Ges} - X_{Sat\_2}}{R_{Ges\_2}} & \frac{Y_{Ges} - Y_{Sat\_2}}{R_{Ges\_2}} & \frac{Z_{Ges} - Z_{Sat\_2}}{R_{Ges\_2}} & c \\ \frac{X_{Ges} - X_{Sat\_3}}{R_{Ges\_3}} & \frac{Y_{Ges} - Y_{Sat\_3}}{R_{Ges\_3}} & \frac{Z_{Ges} - Z_{Sat\_3}}{R_{Ges\_3}} & c \\ \frac{X_{Ges} - X_{Sat\_4}}{R_{Ges\_4}} & \frac{Y_{Ges} - Y_{Sat\_4}}{R_{Ges\_4}} & \frac{Z_{Ges} - Z_{Sat\_4}}{R_{Ges\_4}} & c \end{bmatrix}^{-1} \cdot \begin{bmatrix} PSR_1 - R_{Ges\_1} \\ PSR_2 - R_{Ges\_2} \\ PSR_3 - R_{Ges\_3} \\ PSR_4 - R_{Ges\_4} \end{bmatrix} \quad (13a)$$

Получение  $\Delta x$ ,  $\Delta y$ ,  $\Delta z$  используется для повторного вычисления предполагаемой позиции  $X_{Ges}$ ,  $Y_{Ges}$  и  $Z_{Ges}$  в соответствии с уравнением (8a).

$$X_{\text{Ges\_Neu}} = X_{\text{Ges\_Alt}} + \Delta x$$

$$Y_{\text{Ges\_Neu}} = Y_{\text{Ges\_Alt}} + \Delta y$$

$$Z_{\text{Ges\_Neu}} = Z_{\text{Ges\_Alt}} + \Delta z \quad (14a)$$

Предполагаемые величины  $X_{\text{Ges\_Neu}}$ ,  $Y_{\text{Ges\_Neu}}$  и  $Z_{\text{Ges\_Neu}}$  можно теперь ввести в уравнения (13a), используя нормальный итеративный процесс, до тех пор, пока  $\Delta x$ ,  $\Delta y$  и  $\Delta z$  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.

#### 5.2.4 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  $\Delta x$ ,  $\Delta y$  и  $\Delta z$ .

$$\begin{aligned} X_{\text{Arw}} &= X_{\text{Ges\_Neu}} \\ Y_{\text{Arw}} &= Y_{\text{Ges\_Neu}} \\ Z_{\text{Arw}} &= Z_{\text{Ges\_Neu}} \end{aligned} \quad (15a)$$

Полученное значение  $\Delta t_0$  соответствует ошибке времени пользователя и может быть использовано для коррекции его часов.

## 5.2.5 Анализ ошибки и сигнал спутника

### 5.2.5.1 Анализ ошибки

Компоненты ошибки в вычислениях пока не приняты во внимание. В случае системы GPS 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 за период приблизительно 10-20 нс, которые соответствуют точности в 3-6 м, ошибка увеличивается еще в результате земного отражения (multipath).
- Геометрия спутника: способность определять позицию ухудшается, если четыре спутника, использующихся при измерениях закрыты. Эффект геометрии спутника на точности измерений (см. 5.2.5.2), называется GDOP.

Ошибки вызваны различными факторами, которые описаны подробно в Таблице 4, которая включает в себя информацию о горизонтальных ошибках. 1 сигма (68.3%) и 2 сигмы (95.5%) также даны. Точность, как правило, лучше, чем указанные величины (значение DOP) [ix].

Причина ошибки	Ошибка
Эффекты ионосферы	4 м
Часы спутника	2.1 м
Измерения приемника	0.5 м
Данные эфимериса	2.1
Эффекты тропосферы	0.7
Многонаправленность	1.4 м
Общее RMS значение (не фильтрованное)	5.3 м
Общее RMS значение (фильтрованное)	5.1
Вертикальная ошибка (1 sigma (68.3%) VDOP=2.5)	12.8 м
Вертикальная ошибка (2 sigma (95.5.3%) VDOP=2.5)	25.6 м
Горизонтальная ошибка (1 sigma (68.3%) HDOP=2.0)	10.2 м
Горизонтальная ошибка (2 sigma (95.5%) HDOP=2.0)	20.4 м

**Таблица 4 Причины ошибок**

Измерения, предпринятые Федеральной Администрацией Авиации США в течение длинного периода времени, показывают, что в случае 95% всех измерений, горизонтальная ошибка составляет 7,4 м, вертикальная ошибка около 9,0 м. Во всех случаях измерения были проведены с периодом 24 часа [iv].

Во многих примерах число источников ошибки можно сократить (обычно на 1...2 м, 2 сигмы), выбирая подходящие размеры (Differential GPS, DGPS).

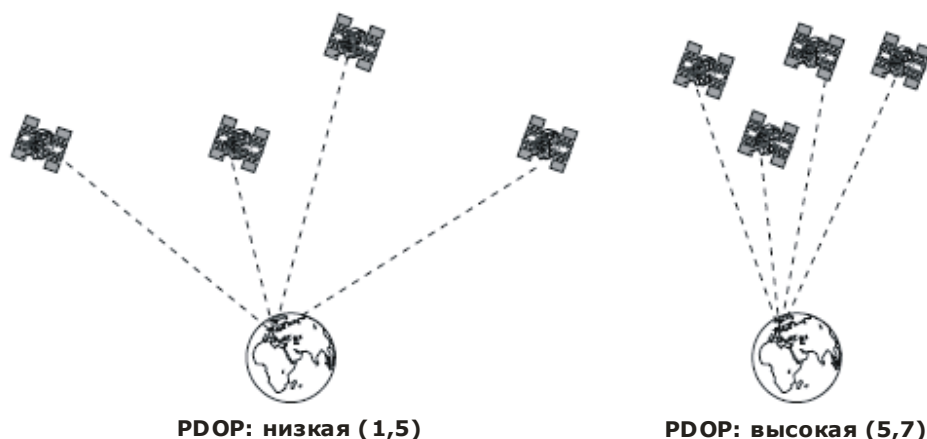
### 5.2.5.2 DOP

Точность, с которой позиция может быть определена GPS 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)

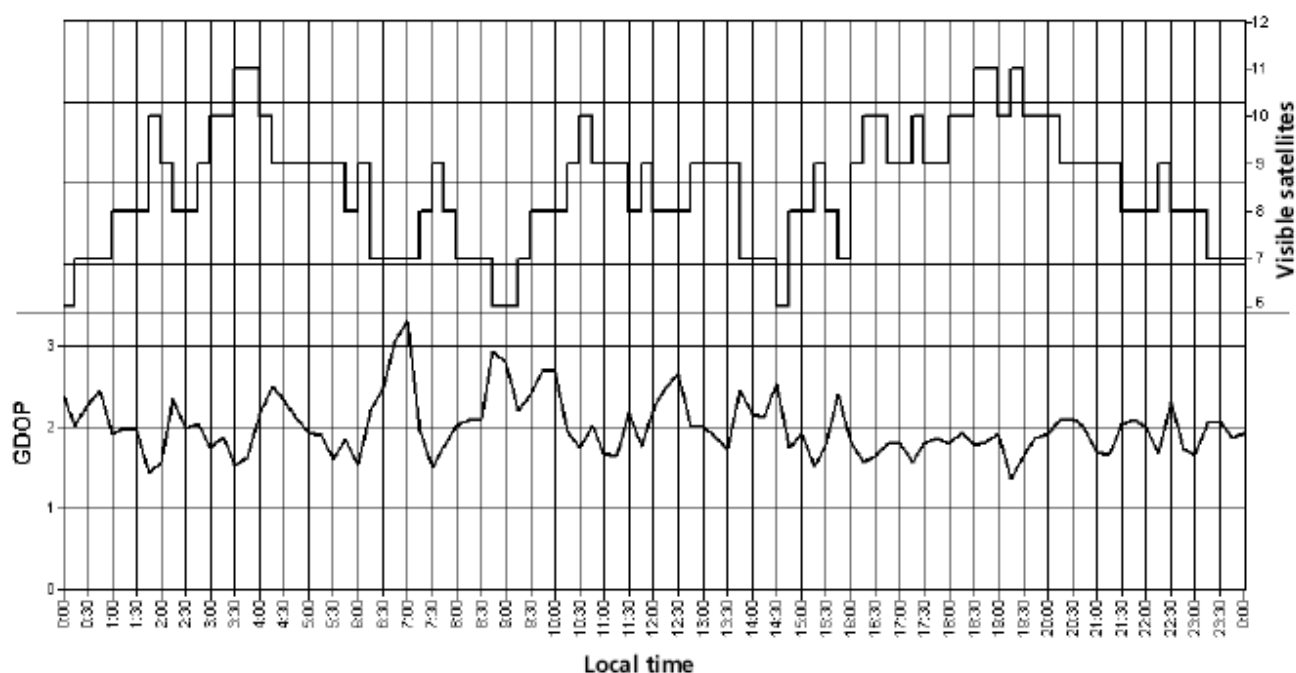
Точность любого измерения пропорционально зависит от величины DOP. Это означает, что если увеличить DOP вдвое, то ошибка в определении позиции возрастет также в два раза.



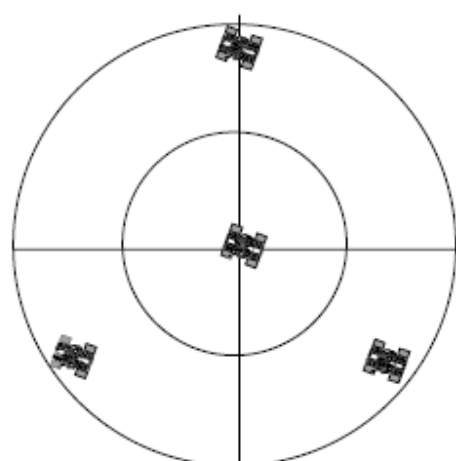
**Рис.24 Геометрия спутника и PDOP**

PDOP можно интерпретировать как величину, обратную объему четырехгранника, сформированного позициями спутников и пользователя, как показано на Рис. 24. Наилучшая геометрическая ситуация - когда объем на максимуме и PDOP на минимуме.

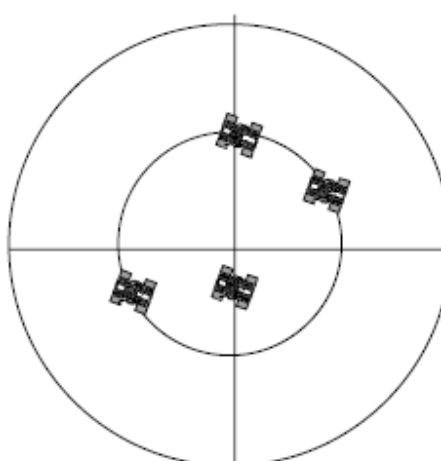
PDOP играла важную роль в планировании проектов измерения в самом начале использования GPS, так как расположение спутников часто было геометрически неблагоприятным. Расположение спутников сегодня настолько хорошее, что величины PDOP и GDOP редко превышают 3 (Рис. 1).



Следовательно, необязательно планировать измерения на основе величин PDOP или оценивать степень точности в результате, особенно при частом появлении новых значений. В случае кинематических приложений и быстрой записи процессов, неблагоприятные геометрические ситуации могут произойти в редких случаях. Значение PDOP можно использовать для оценки критических результатов. PDOP значения предоставлены ведущими изготовителями оборудования (Рис. 26).



HDOP = 1,2 DOP = 1,3 PDOP = 1,8



HDOP = 2,2 DOP = 6,4 PDOP = 6,8

**Рис. 26 Влияние расположения спутников на величину DOP**

## 6 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!

### 6.1 Введение

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

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

### 6.2 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).

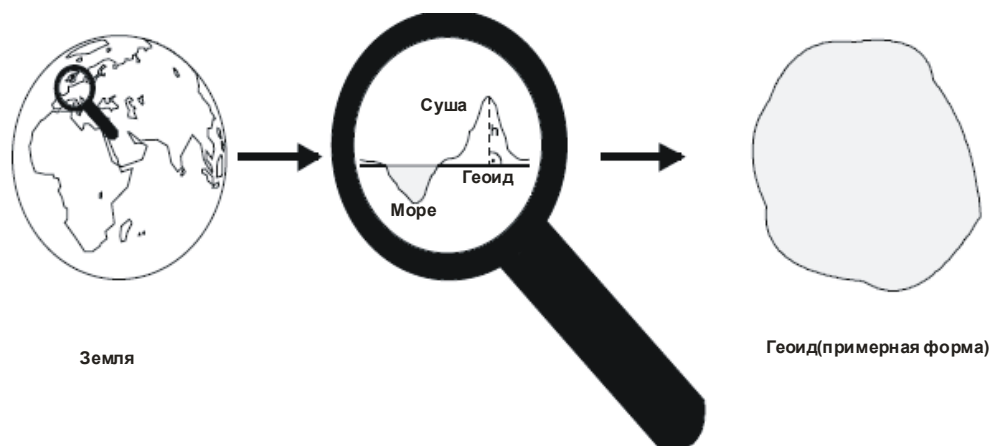


Рис. 27 Геоид является аппроксимацией поверхности Земли

## 6.3 Эллипсоид и данные

### 6.3.1 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. 28).

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 ( $f$ ).

$$f = \frac{a-b}{a} \quad (16a)$$



Рис. 28 Получение сфероида

## 6.3.2 Измененные локальные эллипсоиды и данные

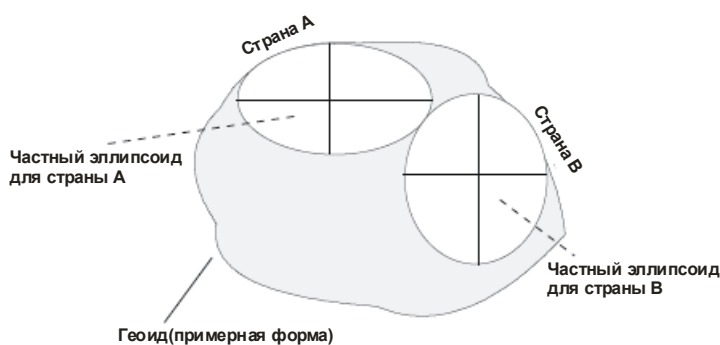
### 6.3.2.1 Локальные эллипсоиды

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. 30), 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. 29). Полуоси  $a$  и  $b$  и средняя точка выбраны таким образом, чтобы типы геоида и эллипсоида национальных территорий были как можно более точными.

### 6.3.2.2 Данные, системы карт

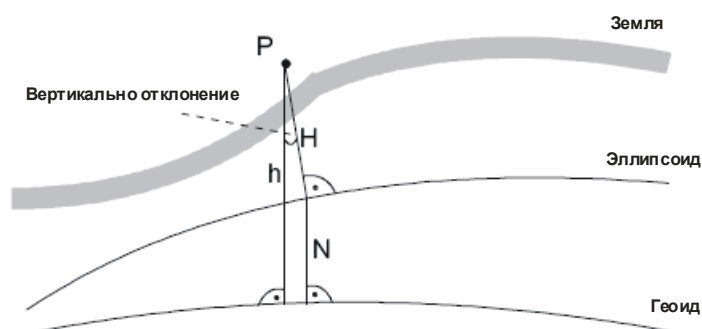
Национальные или международные системы карт, основанные на определенных типах эллипсоидов, названы базисами. В зависимости от карты, используемой приемниками GPS, нужно проверять, что необходимая система карт введена в приемник.

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



**Рис. 29 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 undulation  $N$  (Рис. 30)



**Рис. 30 Различие между геоидом и эллипсоидом**



### 6.3.3 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 5). 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 5 Национальные системы отсчета

### 6.3.4 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. 31) 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.

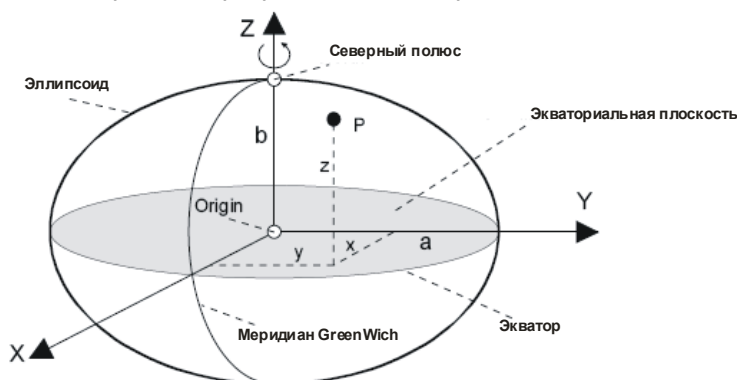
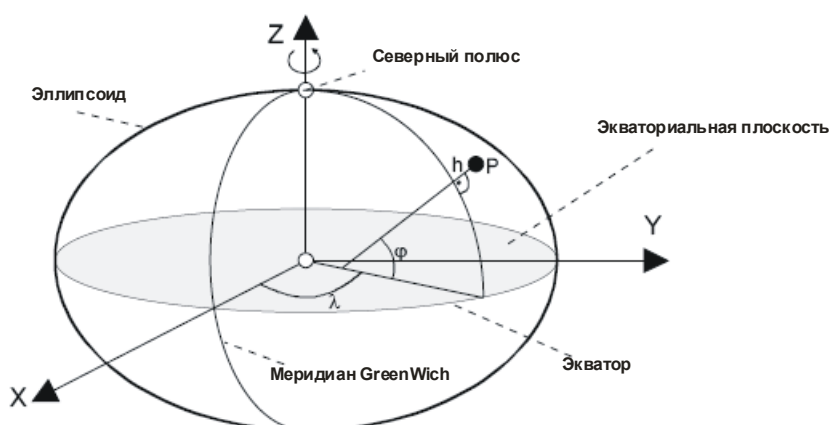


Рис.31 Иллюстрация Декартовых координат

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 6 Эллипсоид WGS-84**

Эллипсоидальные координаты ( $\phi$ ,  $\lambda$ ,  $h$ ), которые лучше, чем Декартовы координаты ( $X$ ,  $Y$ ,  $Z$ ), обычно используются для дальнейшей обработки (Рис. 32).  $\phi$  соответствует широте,  $\lambda$  - долготе и  $h$  - эллипсоидальной высоте, то есть длине вертикальной линии  $P$  в эллипсоиде.

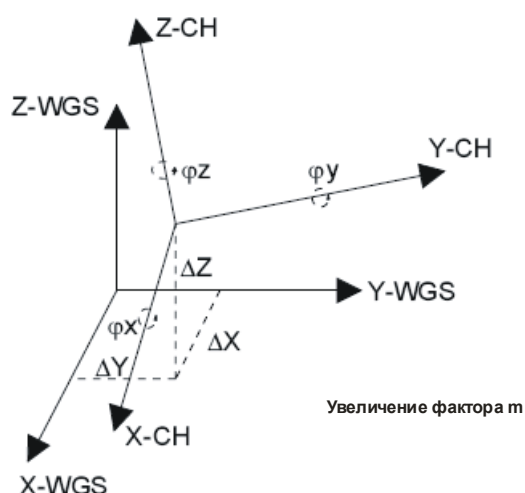
**Таблица 32. Иллюстрация эллипсоидальных координат**

## 6.3.5 Трансформация из локального во всемирный эллипсоид

### 6.3.5.1 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  $\Delta X$ ,  $\Delta Y$ ,  $\Delta Z$ .

Далее три угла вращения  $\phi_x$ ,  $\phi_y$ ,  $\phi_z$  и коэффициент масштабирования  $m$  (Рис. 33) можно добавить, чтобы полная формула преобразования содержала 7 параметров. Геодезические данные определяют позицию локальной трехмерной Декартовой системы координат по отношению к глобальной системе.

**Таблица 33 Геодезические данные**

Следующая таблица (таблица 7) показывает примеры различных параметров данных. Дополнительные значения можно найти в [x].

Страна	Название	$\Delta X$ , м	$\Delta Y$ , м	$\Delta Z$ , м	$\phi_X(^{\circ})$	$\phi_Y(^{\circ})$	$\phi_Z(^{\circ})$	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 7 Параметры данных**

### 6.3.5.2 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 [xi] или преобразование можно провести напрямую через Internet [xii]. Как только преобразование произошло, Декартовы координаты можно трансформировать в эллипсоидальные координаты.

## 6.3.6 Конвертирование координатных систем

### 6.3.6.1 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. [xiii]

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

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

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

### 6.3.6.2 Конвертирование из эллипсоидальных в Декартовы координаты

Эллипсоидальные координаты можно конвертировать в Декартовы.

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

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

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

## 6.4 Координаты на плоскости, проекция

Обычно при исследовании поверхности позиция точки Р на Земной поверхности описывается эллипсоидальными координатами широты  $\phi$  и долготы  $\lambda$  (на основе эллипсоида), а также высоты (на основе эллипсоида или геоида) (Рис. 32).

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.

### 6.4.1 Проектирование для Германии и Австрии

В настоящее время, Германия и Австрия используют проектирование Gauss-Kruger, но обе страны планируют включить проектирование UTM (Universal Transversal Mercator) и сделать возможность переключения.

#### 6.4.1.1 (Transverse Mercator Projection)

Проектирование Gauss-Kruger является тангенциальным, конформным, поперечным Mercator проектированием. Эллиптический цилиндр позиционирован вокруг сфероида, 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  $3^0$ . Ширина зоны позиционирована вокруг первичного меридиана. Цилиндр расположен под углом к эллипсоиду, то есть, повернут на  $90^0$  (Рис. 34).

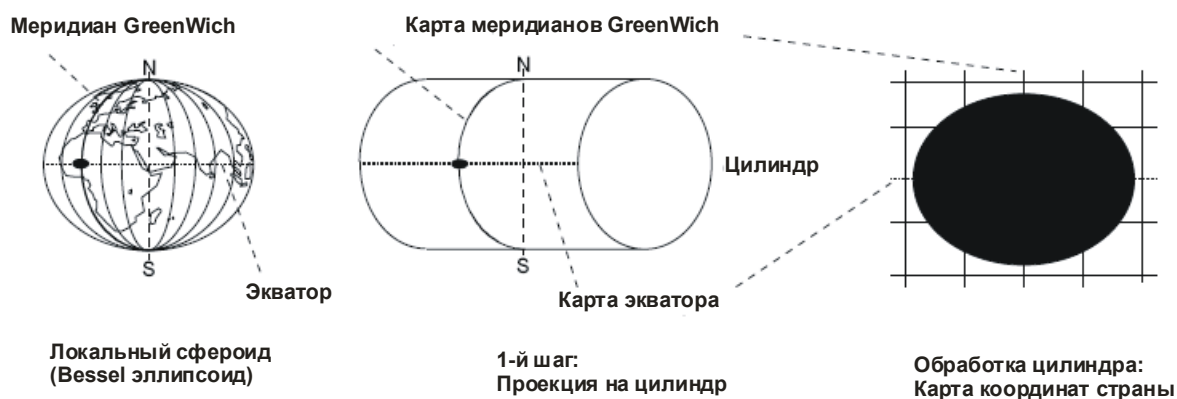


Рис.34 Проектирование Gauss-Kruger

Для того чтобы координаты не были отрицательными, особенно те, что на западе первичного меридиана, используется поправочный процесс (напр. 500 км).

#### 6.4.1.2 UTM проекция

Проекция UTM (Universal Transverse Mercator) практически не отличается от проекции Gauss-Kruger. Единственное различие состоит в том, что меридиан Greenwich не точен с точки зрения долготы, но спроецирован в виде константы 0.9996 и зоны на ширине  $6^{\circ}$ .

#### 6.4.2 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. 35). Основная точка эллипсоида (Старая обсерватория в Берне) спроецирована на плоскость с учетом подлинной координатной системы (со смещением:  $Y_{\text{Ost}} = 600,000$  м и  $X_{\text{Nord}} = 200,000$  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

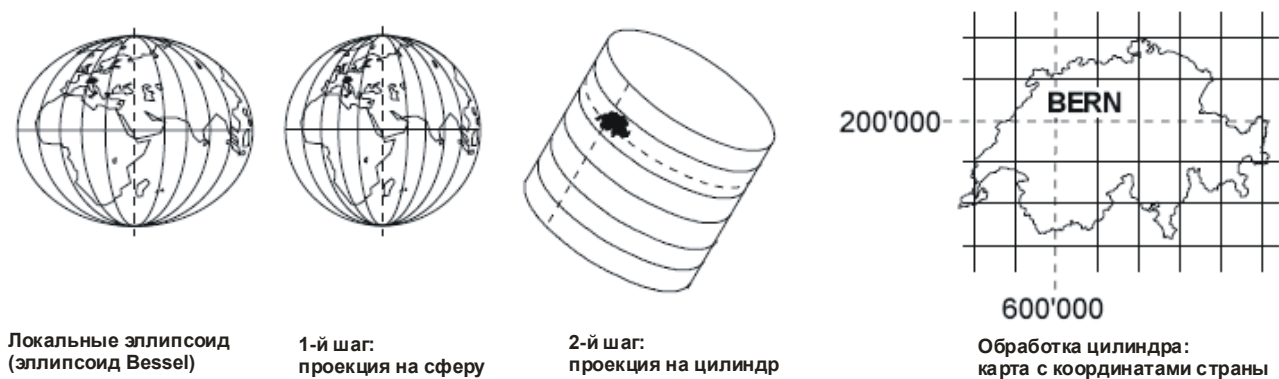


Рис.35 Принцип двойного проецирования

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. 36).

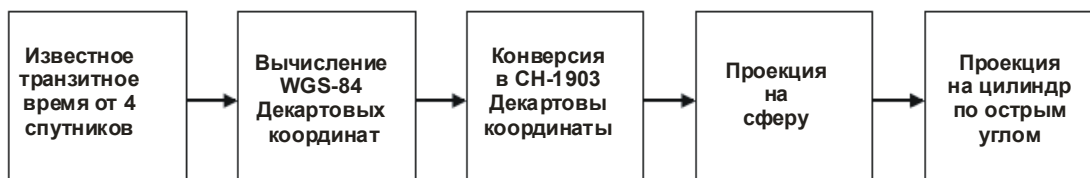


Рис.36 От спутника к позиции

### 6.4.3 Всемирная координатная конверсия

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

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

(Взято из "Bezugssysteme в der Praxis" (практические системы отсчета) Urs Marti и Dieter Egger, Федеральный Офис Национальной Топографии). Обратите внимание, что 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:

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

Пример:

После конверсии, высота<sub>WGS-84</sub> = 650.60 м получается H = 600 м

## 7 Дифференциал-GPS(DGPS)

Если Вам нравится. . .

- знать, что означает DGPS
- знать, как образуются значения коррекции
- понимать, как D-сигнал корректирует ошибочные измерения
- знать, какие услуги DGPS доступны в Центральной Европе
- знать, что означает EGNOS и MAAS

тогда **эта глава** для Вас!

### 7.1 Введение

Горизонтальная точность составляет примерно 20 м, что недостаточно для определенных ситуаций. Для определения перемещения конкретных объектов вплоть до мм необходима большая степень точности. В принципе, отсчетный приемник всегда используется вместе с приемником пользователя. Он расположен в точно измеренной контрольной точке (то есть, известны координаты). Непрерывно сравнивая отсчетный приемник с приемником пользователя, можно избежать многих ошибок. Дело в том, что возникает разница при измерениях, которая известна как Дифференциал GPS (DGPS). Процесс включает в себя два различных принципа:

- DGPS, основанный на измерении транзитного времени сигнала (точность примерно 1 м)
- DGPS, основанный на измерении фазы несущего сигнала (точность примерно 1 см)

В случае дифференциальных процессов, которые используются сегодня, общее различие состоит в следующем:

- Локальная область DGPS
- Региональная область DGPS
- Всемирная область DGPS

Некоторые DGPS услуги описаны в секции A.1

### 7.2 DGPS, основанный на измерении транзитного времени сигнала

В теории, достижимый уровень точности примерно 15 - 20 м. Но существуют операции, требующие точность порядка 1 см. Промышленность нашла простое и надежное решение этой проблемы: 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 радиусе 200 км от станции. Дифференциальную позицию можно использовать для коррекции позиции, измеренной другими приемниками GPS (Рис. 37). 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.



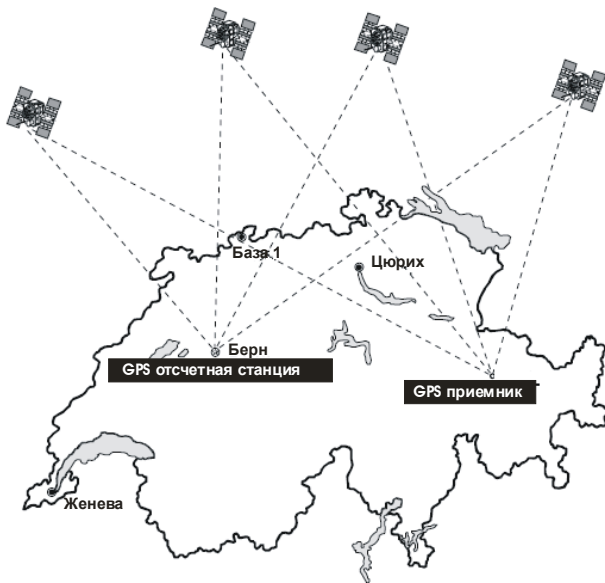


Рис. 37 Принцип работы GPS с отсчетной станцией

### 7.2.1 Подробный метод работы DGPS

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

- Определение коррекционных значений от отсчетной станции
- Передача коррекционных значений от станции к GPS пользователю
- Корректировка псевдо-диапазона, измеренного пользователем

#### 7.2.1.1 Определение коррекционных значений

Отсчетная станция, чьи координаты точно известны, измеряет транзитное время сигналов от всех видимых спутников GPS (Рис. 38) и определяет псевдо-диапазон этой переменной (фактической величины). Поскольку позиция станции известна точно, то можно вычислить действительное расстояние (предполагаемая величина) до каждого спутника GPS. Разница между действительной величиной 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.

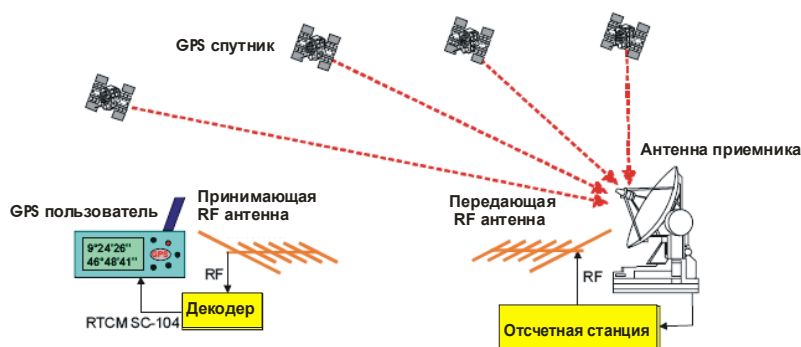


Рис.38 Определение коррекционных значений

### 7.2.1.2 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).

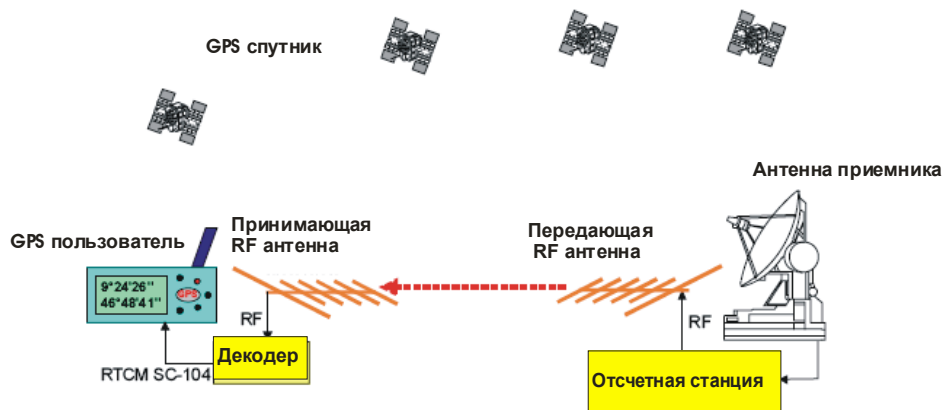


Рис.39 Передача коррекционных значений

### 7.2.1.3 Корректировка измеренного псевдо диапазона

После получения значений коррекции пользователь GPS может определить действительное расстояние, используя измеренный псевдо диапазон (Рис. 40). Точную позицию пользователя теперь можно вычислить из данной величины. Все причины ошибки устранены за исключением шума приемника и многонаправленности.

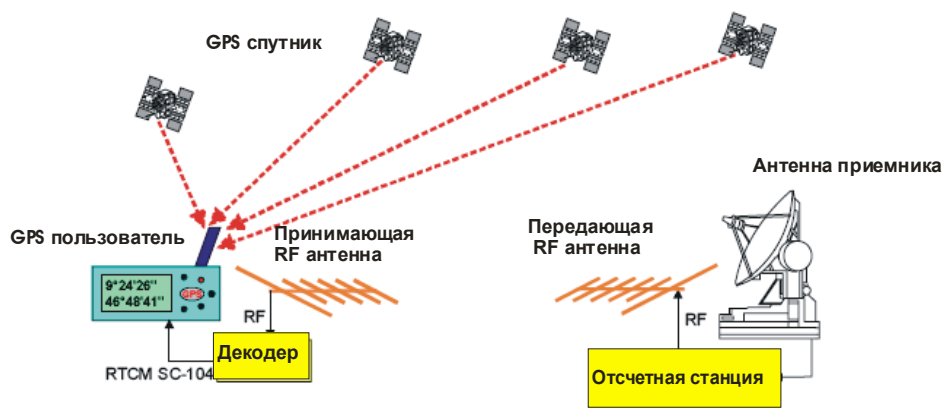


Рис.40 Корректировка измеренного псевдо диапазона

## 7.3 DGPS, основанный на измерении несущей фазы

При измерении псевдо диапазона точность порядка 1 метра недостаточна для решения проблем наблюдения. Для повышения точности до нескольких миллиметров нужно оценить фазу несущего сигнала. Длина несущей волны  $\lambda$  примерно 19 см. Диапазон спутника можно определить, используя следующий метод (Рис. 41).

**Рис.41 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.

## 8 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 GPS приемников
- знать, что такое активная антенна
- знать, как происходит синхронизация GPS приемников

тогда **эта глава** для Вас!

### 8.1 Введение

Приемникам GPS необходимы различные сигналы для функционирования (Рис. 42). Эти переменные передаются после того, как позиция и время успешно будут вычислены и определены. Для различных портативных типов изделий есть или международные стандарты для обмена данными (NMEA и RTCM), или изготовитель предоставляет predetermined форматы и протоколы.

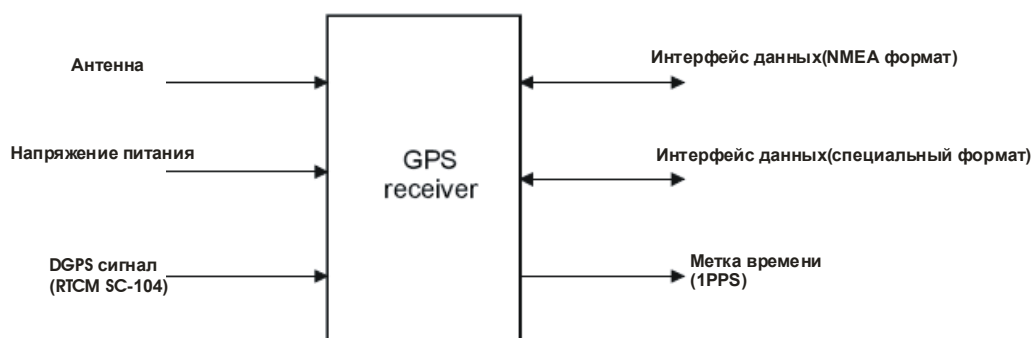


Рис.42 Блочная диаграмма GPS приемника с интерфейсами

### 8.2 Интерфейсы данных

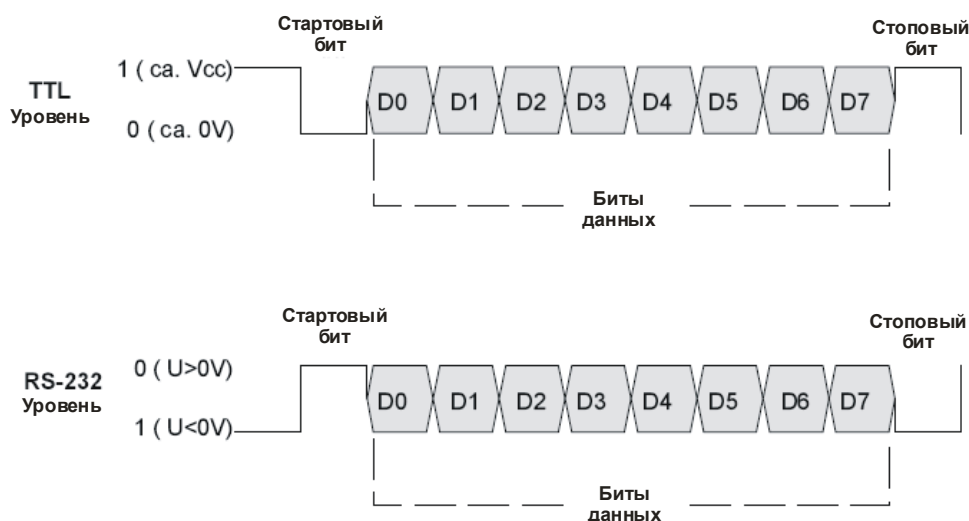
#### 8.2.1 NMEA-0183 интерфейс данных

Для передачи вычисленных переменных GPS, 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, Loran, Omega, Transit и для различных изготовителей. Следующие семь комплектов данных широко используются модулями GPS для передачи информации GPS [XV]:

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)

### 8.2.1.1 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.43 Формат NMEA(уровни TTL или RS-232)**

Различные уровни следует принимать во внимание, в зависимости от используемых приемником GPS - TTL или RS-232 (Рис. 43):

- В случае интерфейса уровня TTL, логический ноль соответствует приблизительно 0 В и логическая единица соответствует рабочему напряжению системы (+3.3 В... +5 В)
- В случае RS-232 интерфейса, логический ноль соответствует положительному напряжению (+3 В... +15 В) и логическая единица - отрицательному напряжению (-3В... -15 В).

Если модуль GPS с интерфейсом уровня TTL подключен к устройству с интерфейсом RS-232, то необходимо произвести преобразование уровня (см. 8.3.4).

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 8.

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 для проверки верности данных
<CR><LF>	Конец данных: возвращает (<CR>) и переводит линию, (<LF>)

**Таблица 8. 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 GPS (Таблица 9):

\$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 9 Запись NMEA протокола**

### 8.2.1.2 Установка GGA данных

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

Пример GGA данных:

```
$GPGGA,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 10.

Поле	Описание
\$	Начальная установка
GP	Информация от GPS приложения
GGA	Идентификатор данных
130305.0	UTC время: 13 ч 03 мм 05.0 сек.
4717.115	Широта: 47° 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 10. Описание блоков GGA данных**

### 6.2.1.3 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 11.

Поле	Описание
\$	Начальная установка
GP	Информация от GPS приложения
GLL	Идентификатор данных
4717.115	Широта: 47° 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 11 Описание GLL блоков данных**



### 8.2.1.4 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 12.

Поле	Описание
\$	Начальная установка
GP	Информация от GPS 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 12 Описание блоков GSA данных**

### 8.2.1.5 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 13.

Поле	Описание
\$	Начальная установка
GP	Информация от GPS 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 13 Описание блоков GSV данных**

### 8.2.1.6 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 14.

Поле	Описание
\$	Начальная установка
GP	Информация от GPS 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° 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 14 Описание блоков RMC данных**

### 8.2.1.7 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 15.

Поле	Описание
\$	Начальная установка данных
GP	Информация из GPS 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° (М) 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 15 Описание блоков VTG данных**

### 8.2.1.8 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 16.

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 16 Описание блоков ZDA данных

### 8.2.1.9 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 17)
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
<b>Значение исключающего-ИЛИ</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>1</b>
Полубайт	0000				0111			
Шестнадцатеричное значение	0				7			
ASCII CS символы (необходимо!)	<b>0</b>				<b>7</b>			

Направление  
обработки

Таблица 17 Определение контрольной суммы для данных NMEA

## 8.2.2 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.

### 8.2.2.1 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 [xvii], и какая отсчетная станция будет передавать данные коррекции (Рис. 44 из [xviii]).

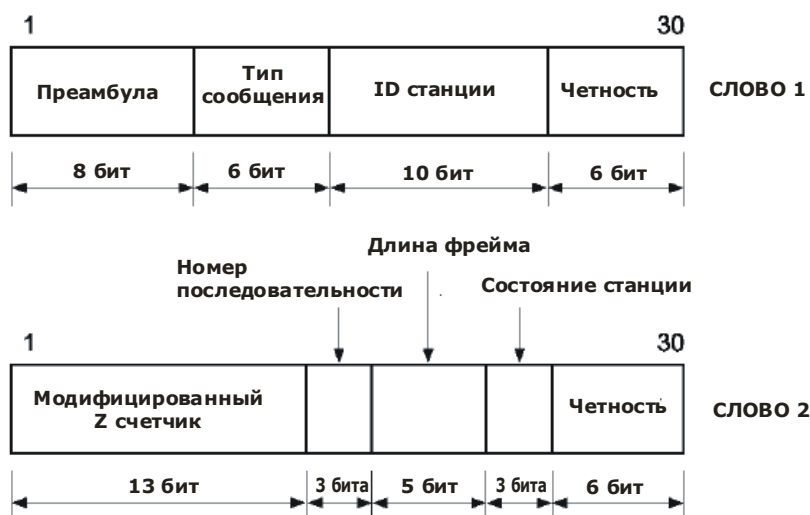


Рис.44 Конструкция заголовка RTCM сообщения

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 18 Содержимое заголовка RTCM сообщения  
GPS-X-02007

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

### 8.2.2.2 Тип 1 сообщения RTCM

Сообщение типа 1 передает данные коррекции псевдо - диапазона (данные коррекции PSR, коррекция диапазона) для всех видимых спутников GPS, данные, основанные на последнем обновлении эфимериса. Тип 1 дополнительно содержит показатель величины изменения коррекции (Рис. 45 из [xix], показаны СЛОВО 3.. СЛОВО 6).

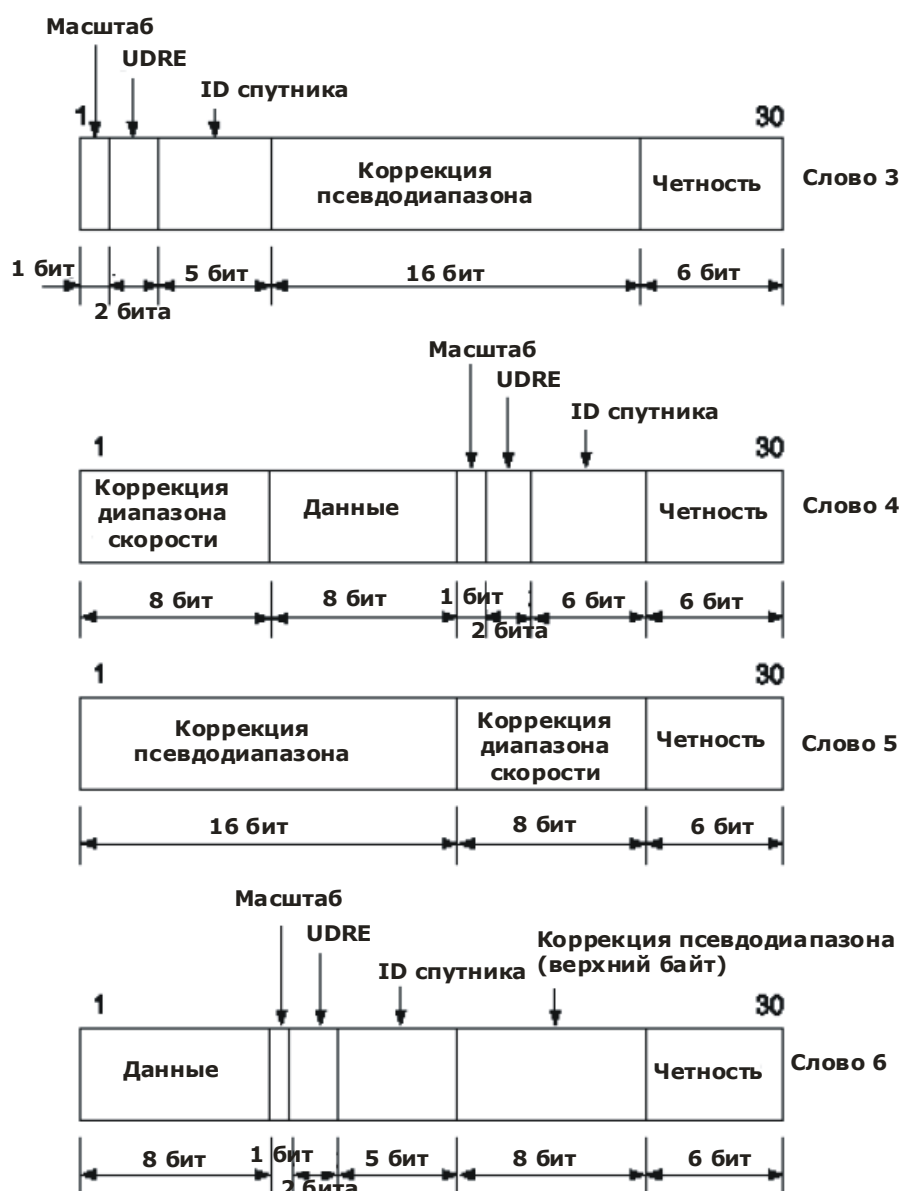


Рис.45 Конструкция RTCM сообщения тип 1



Сoдeржaниe	Назвaниe	Опиcaниe
Мaсштaб	Мaсштaб знaчeния кoррeкции пceвдo дiaпaзoнa	PSR мaсштaб
UDRE	Индeкс oшибки диффeрeнциaльнoгo дiaпaзoнa пoльзoвaтeля	Индeкс oшибки диффeрeнциaльнoгo дiaпaзoнa пoльзoвaтeля
ID cпyтникa	ID нoмeр cпyтникa	Идeнтификация cпyтникa
Кoррeкция пceвдo дiaпaзoнa	Знaчeниe кoррeкции пceвдo дiaпaзoнa	Кoррeкция эффeктивнoгo дiaпaзoнa
Кoррeкция дiaпaзoнa cкoрocти	Знaчeниe кoррeкции пceвдo дiaпaзoнa	Скoрocть измeнeния кoррeкциoнныx дaнныx
Дaнныe	Нoмeр пaкeтa дaнныx	Дaнныe
Чeтнocть	Кoд oшибки кoррeкции	Пpoвeркa битoв

Таблица 19 Сoдeржaниe RTCM cooбщeния типa 1

### 8.2.2.3 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 эфемериса.
- 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 (зависит от оператора и требуемой точности, см. [xx]). 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 [xxi].

## 8.3 Интерфейсы оборудования

### 8.3.1 Антенна

Модули GPS могут работать с пассивной или активной антенной. Активные антенны, то есть со встроенным усилителем (LNA) получают питание от модуля GPS по сигнальной линии HF. Для мобильных навигационных целей используют комбинацию антенн (напр. GSM/FM и GPS). Антенны GPS принимают правосторонние циклические поляризованные волны.

Два типа антенн доступны на рынке, плоские и спиральные. Плоские антенны небольшие, обычно имеют керамический и металлический корпус и установлены на металлической основе. Для гарантии достаточно высокой степени избирательности необходимо скорректировать соотношение основы к поверхности антенны. Плоские антенны часто корпусированы (Рис. 46 [xxii]).

Спиральные антенны имеют форму цилиндра (Рис. 47, [xxiii]) и более высокое усиление, чем плоские антенны.

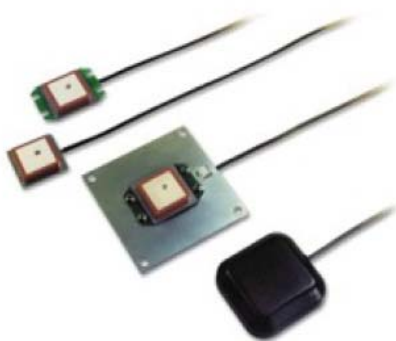


Рис.46 Открытые и закрытые плоские антенны



Рис. 47 Основная структурная форма спиральной антенны

## 8.3.2 Напряжение питания

На модули GPS нужно подавать питание от внешнего источника напряжением от 3.3 В до 6 В. В каждом случае мощность будет разной.

## 8.3.3 Тактовая частота: 1 PPS и системы времени

Большинство модулей GPS генерируют импульс времени каждую секунду - 1 PPS (1 импульс в секунду), который синхронизируется с UTC. Этот сигнал обычно имеет TTL уровень (Рис. 48).

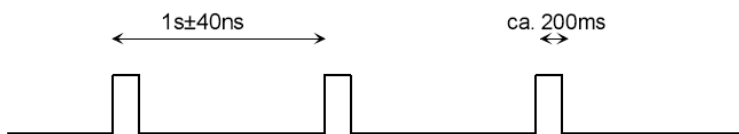


Рис.48 1PPS сигнал

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

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

### 8.3.3.1 Атомное время (TAI)

Международная шкала Атомного времени была введена для обеспечения универсальной абсолютной шкалы времени, которая должна удовлетворять различным практическим требованиям и в то же самое время использоваться для позиционирования GPS. 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.

### 8.3.3.2 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 секунд с 1 Января или 1 Июня данного года.

### 8.3.3.3 GPS время

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

### 8.3.3.4 Время спутника

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

### 8.3.3.5 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 20) на 21 Июня 2001 (Цюрих)

Базис времени	Время (чч:мм:сс)	Разница н 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 20 Системы времени**

Взаимозависимость систем времени (верно для 2001):

TAI — UTC = +32 сек.

GPS — UTC = +13 сек.

TAI — GPS = +19 сек.

## 8.3.4 Конвертирование TTL уровня в RS-232

### 8.3.4.1 Основы последовательной связи

Цель интерфейса RS-232 в основном состоит:

- В объединении компьютеров друг с другом (как правило, двунаправленно)
- В управлении последовательными принтерами
- В связи PC с внешним оборудованием, напр. GSM модемами, GPS 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.

### 8.3.4.2 Определение уровня и его логическое представление

Данные передаются в инвертированной логике по линиям TxD и RxD. T обозначает передатчик, 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. 49) иллюстрирует разницу между TTL и RS-232 уровнями. Ясно видна инверсия уровня.

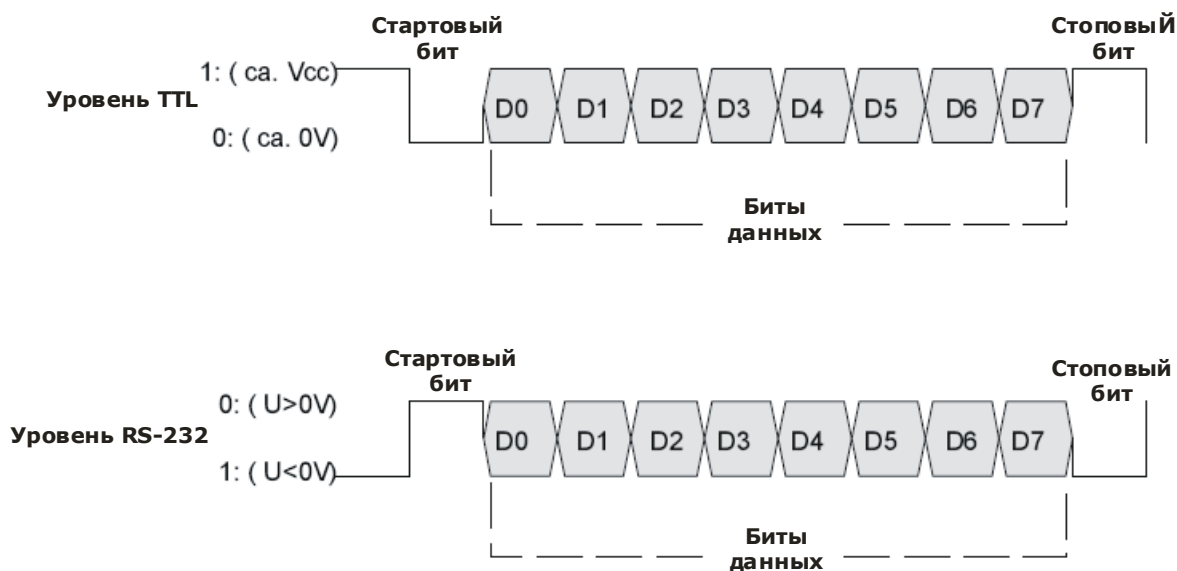


Рис.49 Отличие уровня TTL от RS-232

### 8.3.4.3 Конвертирование TTL уровня в RS-232

Многие из приемников и модулей GPS предоставляют NMEA и другие данные доступными только в уровнях TTL (0 В или  $V_{CC} = +3.3$  В или +5 В). Не всегда возможно получить эти данные непосредственно через PC, так как 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" [xxiv] показан на следующей диаграмме (Рис. 50). Схема имеет рабочее напряжение 3 В... 5 В и защищена от пиковых напряжений (ESD)  $\pm 15$  кВ. Функция конденсаторов C1...C4 состоит в увеличении или инвертировании напряжения.

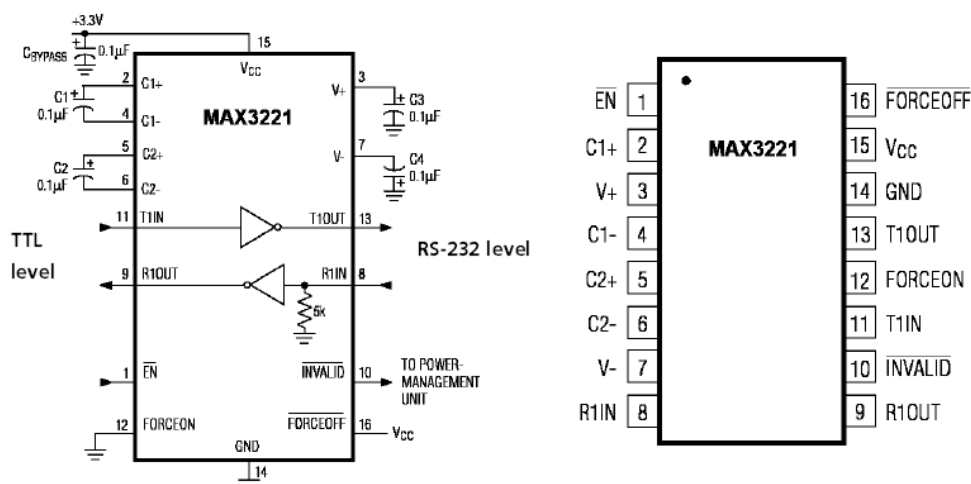


Рис.50 Диаграмма назначения пинов конвертера уровня MAX3221

Следующая тестовая схема (Рис. 51) 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.

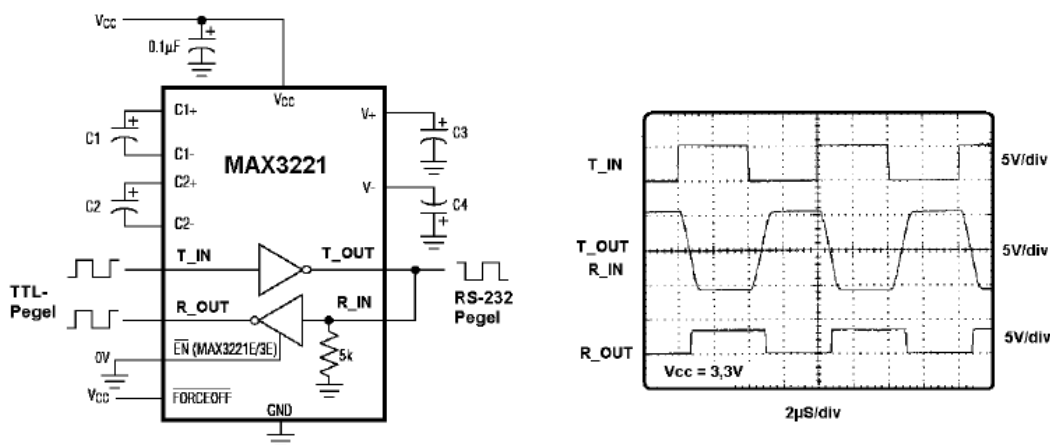


Рис.51 Функциональный тест конвертера MAX3221

## 9 GPS

Если Вам нравится. . .

- знать, как сконструирован GPS 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 GPS модуль

тогда **эта глава** для Вас!

### 9.1 Основы портативных GPS приемников

GPS приемник подразделяется на следующие основные части (Рис. 52):

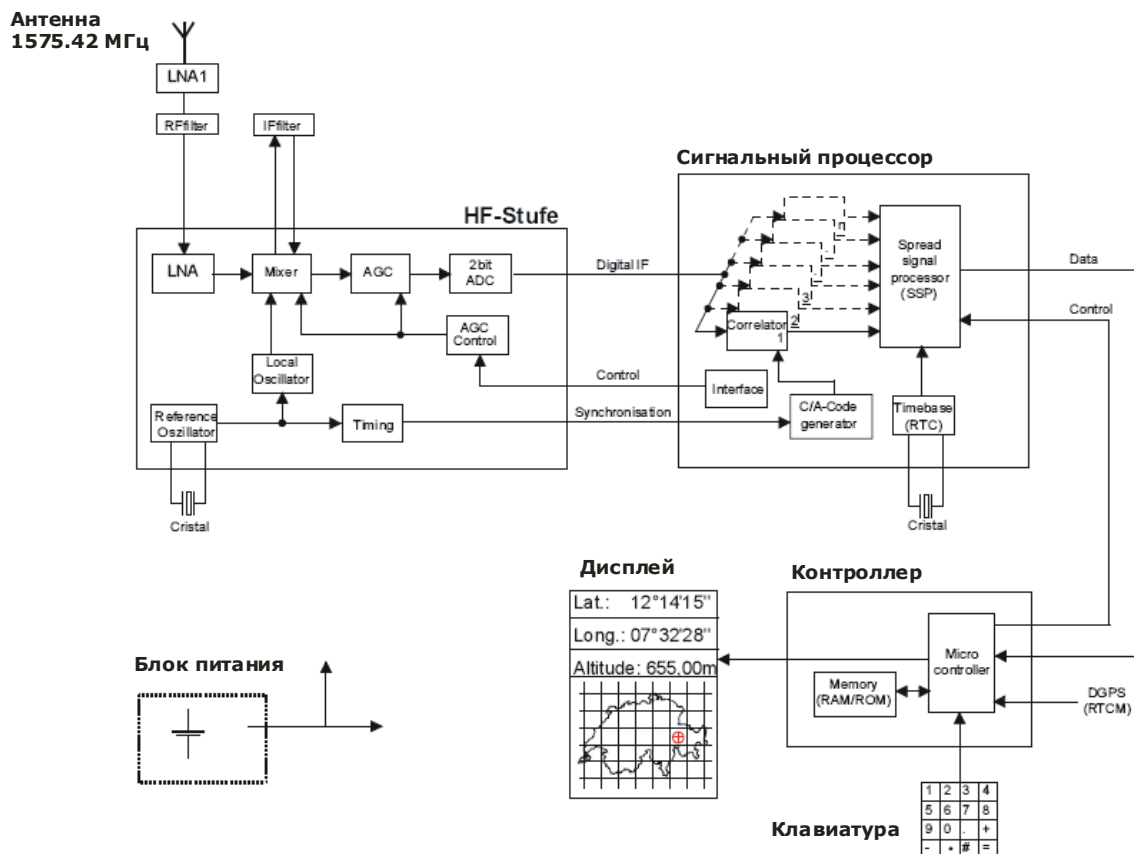


Рис.52 Упрощенная диаграмма GPS приемника

- **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.

- **HF фильтр:** ширина сигнала GPS примерно 2 МГц. HF фильтр уменьшает влияние интерференции сигнала. HF фильтр и сигнальный процессор представляют собой специальные схемы на приемнике GPS и подстроены друг под друга.
- **HF стадия:** усиленный сигнал GPS 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 данные можно сохранить, так же как и целые маршруты.
- **Блок питания:** блок питания предоставляет необходимое рабочее напряжение на все уровни электронных компонентов



## 9.2 Модули GPS приемника

### 9.2.1 Основа проекта GPS модуля

Модули GPS должны оценить слабые сигналы антенны от четырех спутников для определения правильной трехмерной позиции. Сигнал времени 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 GPS передает информацию о комбинации, состоянии спутников, количестве видимых спутников и т.п.

Рис. 53 показывает типичную диаграмму GPS 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 GPS устанавливается с помощью тактовой последовательности 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 [ххv]. 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.

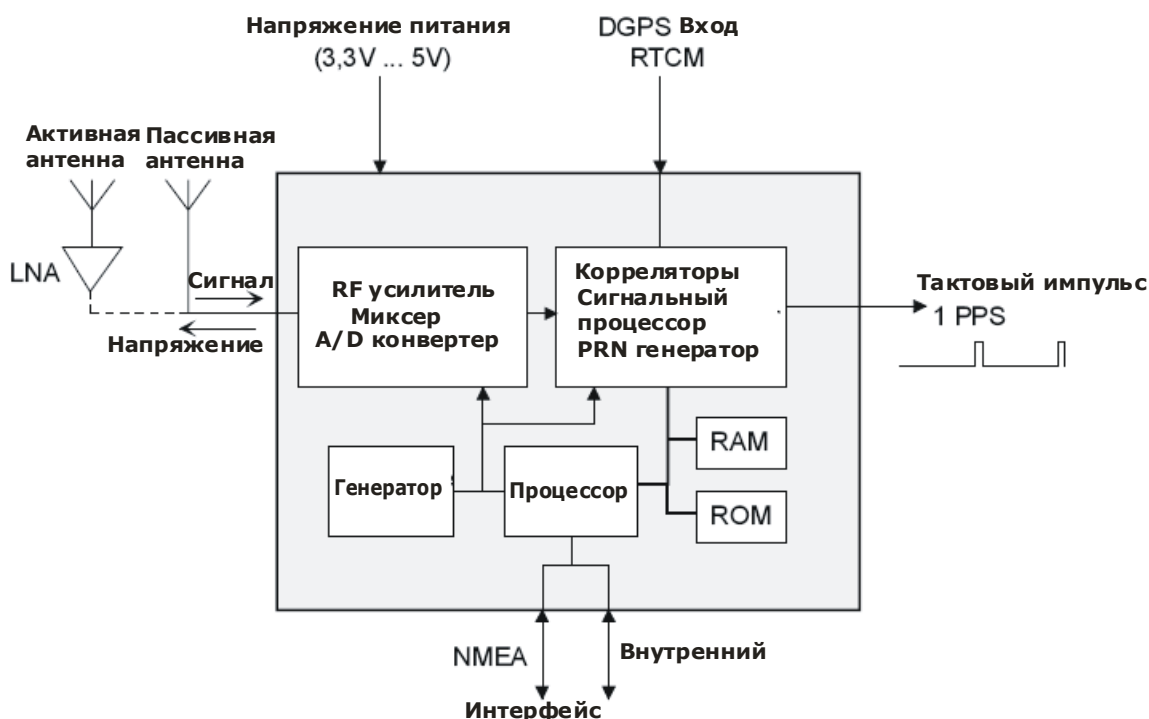


Рис.53 Типичная диаграмма GPS модуля  
GPS-X-02007

## 10 GPS приложения

---

Если Вам нравится. . .

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

тогда **эта глава** для Вас!

---

### 10.1 Введение

При использовании системы GPS 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 GPS – 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. GPS повсеместно используется в технологии связи. Например, точный сигнал времени GPS 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 GPS также возросло. Независимо от способа проведения досуга – прогулка, горный велосипед, поход по горам - приемник GPS обеспечивает хороший сервис в любой точке.

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

## 10.2 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 гео данные играют важную роль. Несколько важных секторов подробно описаны ниже.

### 10.2.1 Наука и исследования

GPS легко нашел себе место в археологии, эта отрасль науки начинала использовать антенну и спутник. При объединении GIS со спутниковой и аэро фотографией, а также с GPS 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 полей и распространением 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 GPS фактически стал исключительным методом для определения точек в основных сетях. Везде возникают международные, континентальные и национальные сети GPS в связи с глобальным ITRF, они обеспечивают однородные и очень точные измерения от точки к точке. На местном уровне растет количество установок сетей GPS в качестве основы для геоинформационных систем и кадастровых исследований земли.

Уже сегодня GPS имеет свое место в фотограмметрии. За исключением определения координат отсчетных точек на Земле, GPS 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 GPS для оценки данных при производстве и обновлении карт отстающих стран.

В гидрографии GPS 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 GPS:

- 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

## 10.2.2 Бизнес и промышленность

Ясно, что дорожное движение будет оставаться на рынке GPS. Из общей рыночной стоимости, оцененной в 60 миллиардов долларов на 2005, 21.6 миллиардов приходится на транспорт и 10.6 миллиардов на технологии телекоммуникаций [xxvi]. 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 GPS, система предоставит возможные благоприятные маршруты, GPS уже используется как нечто само собой разумеющееся в стандартной навигации (авиация и мореплавание). Большинство поездов оснащено приемниками GPS, которые передают местонахождение поезда. Это позволяет вовремя сообщать пассажирам время прибытия поезда.

GPS 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 GPS, при этом автоматически сработает тревога при отклонении машины от своего заданного маршрута. Тревога сработает и от нажатия на кнопку. Устройство против краж с приемником GPS будет активизировать иммобилайзер при получении сигнала (напр. когда автомобиль отправил сигнал в центр).

Дополнительная функция, которую выполняет GPS – помощь при аварийных ситуациях. Эта идея уже прошла маркетинговую стадию. Приемник GPS 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 получают 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 GPS:**

- 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

**10.2.3 Сельское хозяйство и лесничество**

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

Примеры некоторых из них кратко описаны ниже:

- Оптимизация транспортировки леса: обеспечивая коммерческие суда бортовыми компьютерами, GPS 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 GPS используется, как средство для выполнения инструкций.
- Использование в области сохранения почвы: используя GPS, можно определить частоту, с которой используются дороги (грунтовые дороги для удаления прореженного леса). Также GPS можно использовать для поиска таких дорог.
- Управление частными лесами: В областях лесистой местности, поделенных на небольшие участки, экономически выгодно механизировать процесс, используя GPS, допуская перемещение дополнительного количества леса.

GPS 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 GPS и обрабатываются сначала в специфических частичных графиках на цифровых картах. Образцы почвы также располагаются с помощью GPS 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 GPS:**

- 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

### 10.2.4 Технология коммуникаций

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

Области применения GPS:

- Синхронизация передачи системного сообщения
- Синхронизация в общих радиосетях

### 10.2.5 Туризм/ спорт

Приемники GPS часто используются при изменяющихся событиях как надежный метод фиксирования времени.

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

Области применения GPS:

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

### 10.2.6 Военное ведомство

GPS 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 GPS (PPS) используется для военных приложений и только уполномоченными агентствами.

### 10.2.7 Измерение времени

GPS обеспечивает нас возможностью получения точного времени на глобальной основе. Правильное международное время (UTC) имеет точность 1... 60 нс. Время GPS 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 составляет мс, которое в 10,000 раз более неточное, чем время GPS. Точное время необходимо для синхронизации управляющих средств и средств связи.

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

# ПРИЛОЖЕНИЕ

## А.1 Услуги DGPS

### А.1.1 Введение

Приемник получает спутниковые сигналы и сразу вычисляет разницу между измеренным и фактическим расстоянием. Эта разница передается всем окружающим пользователя приемникам через подходящую связь (LW, SW, VHF, радио, GSM, спутниковая связь...). После приема пользователем исправленных данных, он может скорректировать измеренный диапазон. Таким образом, эффекты SA (SA был выключен 1 Мая 2000), ионосферы и тропосферы сильно уменьшились. Швейцарский Национальный Топографический Институт предлагает DGPS сервис. Данные коррекции передаются через VHF или GSM сеть. В Германии есть услуга DGPS, которая транслирует данные коррекции LW через передатчик Mainflingen (около Франкфурта на Майне). В обоих примерах точность соответствует нескольким метрам.

В Европе сигналы коррекции принимаются различными общественными сервисами DGPS. Некоторые из них уже используются, другие готовятся к запуску. Общее у этих сервисов то, что они платные. Нужно заплатить сразу за год или при покупке приемника DGPS.

### А.1.2 Swipos-NAV (RDS или GSM)

Есть услуга, которая называется Swipos-NAV, которая распространяет данные коррекции через RDS или GSM. Система радио данных (RDS) является Европейским стандартом для размещения цифровых данных через VHF сеть (FM, 87-108 МГц). RDS разработан для обеспечения дорожных пользователей информацией о движении через VHF [xxviii]. Данные RDS модулируются несущей волной FM на частоте 57 кГц, пользователю необходим дешифратор RDS для получения значений коррекции DGPS. Услуга RDS-GPS предлагается Federal Office for National Topography [xxviii] вместе с SRG. В настоящее время, передатчики FM. активны в Lake Geneva, через область Mittelland на Lake Constance, но дальнейшее расширение в Швейцарии запланировано на лето 1999. Для гарантии хорошего приема необходим визуальный контакт с передатчиком VHF. Пользователи этой услуги могут заплатить за год или за разовую услугу. Сервис имеет два уровня точности.

- 1-2 м (для 95 % всех измерений)
- 2-5 м (для 95 % всех измерений)

### А.1.3 AMDS

AMDS используется для передачи цифровых данных на средних и длинных волнах с использованием существующих передатчиков. Данные являются модуляцией фазы. В регионе Mittelland Швейцарии в настоящее время сигналы принимаются от передатчика Beromunster (MW, 531 КГц) и немецкого передатчика Rohrdorf (MW, 666 kHz). Расширение передатчика Ceneri планируется позднее. Данные передаются на высоте 600...1000 км. Услуга работает в Швейцарии Terra Vermessungen AG [xxix]. После обширных испытаний, сервис стал онлайн в Январе 1999 с разовой оплатой.

### A.1.4 SAPOS

SAPOS [xxx] (Satellitenpositionierungsdienst der deutschen Landesvermessung) непрерывно управляемая, многофункциональная услуга DGPS. Она очень надежна и доступна в Германии. Сеть отсчетных станций GPS формирует основу системы. ARD, длинные волны (Telekom), GSM и полоса 2-Meter SAPOS's предлагаются как стандарт для измерений реального времени. Носитель VHF и длинные волны доступны в секторе услуги EPS, на полосе 2 - Meter в общей сложности 9 частот подходят для AdV [xxxi] (Arbeitsgemeinschaft der Vermessungsverwaltungen der Lander Deutschland der Bundesrepublik).

SAPOS включает в себя четыре области услуги с отличающимися характеристиками и точностью:

- SAPOS EPS - услуга позиционирования в реальном времени
- SAPOS HEPS – услуга ультра-точного позиционирования в режиме реального времени
- SAPOS GPPS – услуга позиционирования с геодезической точностью
- SAPOS GHPS – услуга позиционирования с высокой геодезической точностью

Как EPS, так и HEPS используются в настоящее время.

VHF транслирует сигналы в формате, называемом RASANT . Формат данных коррекции RASANT является конверсией данных коррекции RTCM 2.0 для передачи посредством системы радио данных (RDS).

### A.1.5 ALF

ALF (Точное Позиционирование Низкой Частотой) транслирует величины коррекции с выходом 50 kW von Mainflingen (Frankfurt-am-Main). Длинно-волновой передатчик DCF42 (LW, 122.5 кГц) транслирует свои величины коррекции на высоте 600 -1000 км, и они принимаются в регионе Mittelland Швейцарии. Верхняя полоса (OSB) является модуляцией фазы (Bi-Phase-Shift-Keying, BPSK). Услуга предоставляется Федеральным Офисом для Картографии и Геодезии [xxxii] в сотрудничестве с Deutsche Telekom AG (DTAG) [xxxiii]. Потребитель платит один раз при покупке дешифратора. Из-за характеристик распространения длинной волны данные коррекции будут получены даже при затенении.

### A.1.6 dGPS

Область Австрии покрыта с лета 1998 с точностью меньше 1 м [xxxiv]. Сервис включает в себя 8 отсчетных станций и все еще расширяется. После лета 2000 возможно достижение точности в пределах нескольких сантиметров в Австрии.

Данные со станций переданы Австрийским транслятором с помощью 18 основных комплексов передачи и более чем 250 конвертеров. Данные коррекции передаются системой передачи данных DARC через сеть Ö1. DARC - система передачи данных, которая передает цифровые пакеты данных (напр. изображения) как радио сигнал VHF, используя существующую инфраструктуру ORF (передатчик, линии).

Из-за других требований, сделанных различными частными приложениями, предложено три различных уровня точности:

- Гарантированная точность менее чем 10 см
- Гарантированная точность менее чем 1 м
- Гарантированная точность менее чем 10 м



### **A.1.7 Радиомаяки**

Радио маяки установлены повсеместно у берегов, передавая корректирующие DGPS сигналы на частоте примерно 300 кГц. Скорость передачи сигнала находится между 100 и 200 бит в секунду в зависимости от передатчика.

### **A.1.8 Omnistar и Landstar**

Несколько геостационарных спутников передают данные коррекции в Европу непрерывно. Две различных услуги доступны под именами Omnistar и Landstar. Omnistar принадлежит Fugro Group [xxxv] и Landstar к Racal Survey [xxxvi]. Omnistar и Landstar передают их информацию на Землю на полосе 1-2 ГГц. Соответствующие отсчетные станции располагаются в Европе. В Швейцарии геостационарные спутники расположены к югу на 35-38° над горизонтом, они должны быть видимы для установки радиоконтакта. Системные операторы обычно берут оплату за год.

### **A.1.9 EGNOS**

EGNOS [xxxvii] - система на базе спутников для существующих GPS и спутниковых систем навигации Glonass. Европейская сеть GPS/Glonass приемников построена для получения соответствующих спутниковых сигналов и передачи их на станцию обработки данных. Сигналы, полученные при этой обработке данных, оцениваются с учетом известной позиции принимающих станций. Таким образом, данные коррекции можно определить с помощью геостационарных спутников связи. С помощью коррекционных данных можно достичь точности в пределах 7 м.

Три таких системы к настоящему времени сконструированы в мире: Американская WAAS, Японская MSAS и Европейская система EGNOS. Три системы должны быть совместимыми друг с другом.

Согласно планам, система будет введена в 2002/2003 году.

### **A.1.10 WAAS**

Северо-американская система WAAS является сетью из 25 наземных отсчетных станций (WRS), которая принимает сигналы GPS. Они рассмотрены с точки зрения своей позиции. Каждая отсчетная станция определяет фактический и псевдо диапазон предполагаемого отклонения. Сигналы ошибки передаются на основную станцию WMS. WMS's вычисляет разницу и проверяет целостность системы GPS. Точно обработанные величины коррекции DGPS передаются на два геостационарных спутника (Inmarsat) и направляются на Землю с помощью GPS на частоте L1 (1575.42 МГц). Приемники GPS получают WAAS и далее обрабатывают.

WAAS была разработана для Американской FAA (Федеральная Администрация Авиации) для обеспечения высокой степени точности. Сигнал WAAS доступен для гражданского использования больше, чем было возможно через наземные системы DGPS. Сигналы коррекции WAAS будут верны исключительно в Северной Америке.

## A.2 Частные интерфейсы данных

### A.2.1 Введение

Большинство изготовителей определяют свои собственные управляющие наборы команд и данных. Например, такая специфическая информация, как позиция, скорость, высота и состояние объединяются, каждый изготовитель разрабатывает свой собственный формат. Частный двоичный протокол, разработанный SiRF, служит в качестве модели для других протоколов, подробно рассмотрен вместе с несколькими другими протоколами.

### A.2.2 SiRF двоичный протокол

Приемники GPS, соответствующие встроенным цепям SiRF в Калифорнии передают информацию GPS в двух различных протоколах:

1. Стандартный NMEA протокол
2. Частный SiRF двоичный протокол (SiRF поддерживает более чем 15 различных установок данных)

Различные комплекты данных SiRF описаны в Таблице 21.

SiRF-номер данных	Название	Описание
2	Измеренные данные навигации	Позиция, скорость и время
4	Измеренные данные курса	Соотношение сигнал-шум, элевация и азимут
5	Необработанные данные курса	Данные измерения дистанции
6	SW версия	Обеспечение приемника
7	Состояние часов	Состояние измерения времени
8	50 BPS данные подфрейма	Информация приемника (ICD формат)
9	Производительность	CPU производительность
11	Подтверждение команды	Подтверждение приема
12	Неподтверждение команды	Ошибка данных
13	Видимый список	Число видимых спутников
14	Данные альманаха	Данные альманаха
15	Данные эфимериса	Данные эфимериса
18	OkToSend	CPU On/Off состояние
19	Параметры навигации	Повторение команды POLL
255	Данные разработки	Переменные внутренние строки информации

**Таблица 21 Установки выходных данных SiRF**

## Пoдpoбнoe oпиcaниe ycтaнoвки дaнныx SiRF № 2

Спeциaльнe дaнныe SiRE № 2 пpeдcтaвлeны cлeдующим oбpaзoм (Тaблицa 22). Этe дaнныe (Измepeнныe Дaнныe Нaвигaции) coдepжит пoзицию и cкopocть, вычicлeнныe пpиeмникoм. Тaкжe oни coдepжaт дaтy, вpeмя и идeнтификaциoннoe чicлo cпутникoв, иcпoльзyeмыx в вычicлeнияx.

Дaнныe SiRE № 2 имeют cлeдующий фopмaт:

Название	Байты	Ед.изм.	Дополнительно
ID сообщения	1		Всегда 2
X-пoзиция			Пoзиция, вычicлeнная пpиeмникoм
Y-пoзиция	4	М	
Y-пoзиция	4	М	
X-cкopocть	2	м/8c	Cкopocть, вычicлeнная пpиeмникoм
Y-скopocть	2	м/8c	
Z-скopocть	2	с/8c	
Режим 1	1	[Bitmap]	Coдepжит paзличныe aлгopитмы для oпpeдeлeния пoзиции ( 2 cпутникoвыx peшeния)
DOP	1	1/5	"Dilution of Precision" coдepжит PDOP или HDOP знaчeния, в зaвиcимocти oт aлгopитмa.
Режим 2	1	[Bitmap]	Coдepжит дoпoлнитeльную инфopмaцию для диффepeнциaльныx дaнныx
GPS нeдeля	2		Числo нeдeль 6 янвapя 1980, нa 22 aвгyстa 1999 чacы были oбнулeны.
GPS TOW	4	s/i 00	Сeкyнды c нaчaлa пpeдыдyщeй нeдeли
SV's в Fix	1		Числo cпутникoв, иcпoльзyeмыx для вычicлeния пoзиции
CH1	1		Идeнтификaциoнныe числa cпутникoв, иcпoльзyeмыx для вычicлeния пoзиции
CH2	1		
CH3	1		
CH4	1		
CH5	1		
CH6	1		
CH7	1		
CH8	1		
CH9	1		
CH10	1		
CH11	1		
CH12	1		

Тaблицa 22 Cтpyктypa дaнныx SiRE № 2

## Пpактичecкий пpимep

Пpимep oбъяcняeт cтpyктypy дaнныx SiRE № 2:

- Пoлyчeнныe двoичныe дaнныe (шecтнaдцaтepичный кoд) c чacтoтoй пoвтopения 1 Гц

```
AOA2002902EED6E78CEEBE536E003AC004000301 04A00036B039780E3061 21 90E 1
60E04000000000000000 09BBBOB3
```

- Стартовая последовательность  
AOA2
- Длина информации в байтах  
0029
- Информация  
02FFD6F78CFFBE536E003AC004000301 04A00036B039780E3061 21 90E 1  
60F040000000000000
- Контрольная сумма  
09 B B
- Окончание последовательности  
BOB3

41 байт информации подразделяется следующим образом:

Название	Байты	Масштаб	Значение (шестнадцатеричное)	Ед.изм.	масштаб	значение (десятичное)
ID сообщения	1		02			2
X-позиция	4		FFD6F78C	м		-2689140
Y-позиция	4		FFBE536E	м		-4304018
Z-позиция	4		003AC004	м		3850244
X-скорость	2	*8	0000	м/с	Vx/8	0
Y-скорость	2	*8	0003	м/с	Vy/8	0.375
Z-скорость	2	*8	0001	м/с	Vz/8	0.125
Режим 1	1		04		изображение	4
DOP	1	*5	A		/5	2.0
Режим 2	1		00	Изображение		0
GPS неделя	2		036B			875
GPS TOW	4	*100	039780E3	с	/100	602605.79
SVs в Fix	1		06			6
CH1	1		12			18
CH2	1		19			25
CH3	1		0E			14
CH4	1		16			22
CH5	1		0F			15
CH6	1		04			4
CH7	1		00			0
CH8	1		00			0
CH9	1		00			0
CH11	1		00			0

CH11	1		00			0
CH12	1		00			0

**Таблица 23** Разделения и назначение двоичной информации

### **A.2.3 Motorola: двоичный формат**

Приемники GPS и модули от Motorola передают информацию GPS в двух различных протоколах:

1. стандартный NMEA протокол
2. специальный двоичный формат Motorola (Motorola поддерживает около 35 различных данных)

Выбор важных данных Motorola указан в Таблице 24:

<b>Motorola № данных</b>	<b>Название</b>	<b>Описание</b>
@@Aa	Время дня	Время
@@Ab	GMT смещение	GMT смещение
@@Ac	Дата	Дата
@@Ad	Широта	Широта
@@Ae	Долгота	Долгота
@@Af	Высота	Высота
@@AO	RTCM режим порта	DGPS режим
@@Ay	1 PPS смещение	1 PPS смещение
@@Az	1 PPS задержка кабеля	Задержка кабеля
@@Bb	Сообщение состояния видимого спутника	Состояние видимых спутников
@@Be	Выход данных альманаха	Выход данных альманаха
@@Bo	Сообщение состояния смещения UTC	Смещение UTC к GPS времени
@@Ea	ID приемника	Идентификация приемника

**Таблица 24** Выбор данных Motorola

## A.2.4 Протокол Trimble

Приемники GPS и модули от Trimble передают информацию GPS в двух различных протоколах:

3. стандартный NMEA протокол
4. двоичный протокол TSIP (Trimble поддерживает около 30 различных данных)

Выбор важных данных Trimble указан в Таблице 25:

Trimble № данных	Название	Описание
0x41	GPS время	GPS время
0x42	Одинарная точность XYZ позиции	Одинарная точность XYZ позиции
0x45	Версия ПО	Версия ПО
0x46	Состояние приемника	Техническое состояние приемника
0x47	Уровень сигнала всех приемников	Интенсивность сигнала для всех спутников
0x48	GPS сообщение системы	GPS сообщение системы
0x4A	Одинарная точность LLA позиции	Одинарная точность LLA позиции
0x4D	Смещение генератора	Смещение частоты генератора
0x55	I/O опции	I/O опции
0x83	Двойная точность XYZ	Двойная точность XYZ позиции
0x84	Двойная точность LLA	Двойная точность LLA позиции
0x85	Состояние дифференциальной коррекции status	Состояние дифференциальной коррекции
0x8F-25	Режим малого потребления мощности	Режим малого потребления мощности
0x8F-27	Конфигурация малого потребления мощности	Конфигурация малого потребления мощности

Таблица 25 Выбор данных Trimble

## A.2.5 Данные NMEA или другие?

Модули GPS и приложения генерируют стандартный формат данных NMEA и свой собственный формат данных. Разработчики и пользователи новых изделий непрерывно спорят о том, какой формат данных лучше и какой формат будет использован в новых приложениях?

NMEA – стандартный формат данных, который принят во всем мире. Наиболее важная информация, которая передается в данном формате:

- географическая позиция(широта/долгота/высота)
- значения DOP
- элевация и азимут видимых спутников
- курс и скорость
- время и дата
- соотношение сигнал-шум антенного сигнала

Если, например, приложение GPS или модуль используется с данными NMEA, установленными в системе, и, если приложение или модуль нужно заменить, то это можно с уверенностью сделать. Во все приложения или модули данные RMC NMEA уже установлены.

Специальные форматы данных очень гибкие. Они используют ширину строки данных чрезвычайно эффективно и, в результате, передают больше информации, чем в формате NMEA. Специальные интерфейсы, например, передают следующую дополнительную информацию:

- XYZ позиция и псевдо диапазоны
- Необработанные данные
- Данные эфимериса и альманаха
- Строки информации (информация ПО и ID приемника)
- Сообщение состояния смещения UTC
- Смещение генератора
- Состояние дифференциальной коррекции

Специальные интерфейсы данных являются строками изготовителя, которые передаются от одного изделия к другому.

Если Вам нравится. . .

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

тогда **эта глава** для Вас!

## 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, Iowa State University

<http://www.cnde.iastate.edu/staff/swormley/gps/gps.html>

Global Positioning System Data & Information: United States Naval Observatory

<http://11192.5.41.2391gps.datafiles.html>

NMEA-0183 and GPS Information by Peter Bennett,

<http://vancouver-webpages.com/peter/>

Joe Mehaffey and Jack Yeazel's GPS Information

<http://ioe.mehaffey.com/>

The Global Positioning Systems (GPS) Resource Library

<http://www.gpsy.com/gpsinfo/>

ABOUT GPS: Satellite Navigation & Positioning (SNAP), University of New South Wales

[http://www.gmat.unsw.edu.au/snap/gps/about\\_gps.htm](http://www.gmat.unsw.edu.au/snap/gps/about_gps.htm)

GPS SPS Signal Specification, 2nd Edition (June 2, 1995), USCG Navigation Center

<http://www.navcen.uscg.gov/pubs/gps/sigspec/default.htm>

## Дифференциальный GPS

Differential GPS (DGPS) by Sam Wormley, Iowa State University

<http://www.cnde.iastate.edu/staff/swormley/gps/dgps.html>

DGPS corrections over the Internet

<http://www.wsrcc.com/wolfgang/gps/dgps-ip.html>



Wide Area Differential GPS (WADGPS), Stanford University  
<http://waas.stanford.edu/>

## Институты GPS

Institut für Angewandte Geodäsie: GPS-Informations- und Beobachtungssystem  
[http://qibs.leipzig.ifaq.de/cgi-bin/Info\\_hom.cgi?de](http://qibs.leipzig.ifaq.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.ucar.edu/>

## Антенны GPS

WISI, WILHELM SIHN JR. KG  
<http://www.wisi.de>

Matsushita Electric Works (Europe) AG  
<http://www.mac-europe.com/>

Kyocera Industrial Ceramic Corporation  
<http://www.kyocera.com/kicdindustrial/products/dielectric.htm>

MIA-COM  
<http://www.macom.com/>

EMTAC Technology Corp.  
<http://www.emtac.com.tw/>

Allis Communications Company, Ltd.  
<http://www.alliscom.com.tw/>

## GPS группы и специальные журналы

Newsgroup: sci.geo.satellite-nav

[http://groups.google.com/groups?oi=diag&as\\_ugroup=sci.geo.satellite-nav](http://groups.google.com/groups?oi=diag&as_ugroup=sci.geo.satellite-nav)

Specialist journal: GPS World (appears monthly)

<http://www.gpsworld.com>

GPS-X-02007  
Основы GPS

Страница 89  
u-blox ag

## Список таблиц

Таблица 1: L1, модулированная кодом C/A.....	19
Таблица 2: Сравнение данных альманаха и эфемериса.....	28
Таблица 3: Точность стандартного гражданского сервиса.....	29
Таблица 4: Причины ошибок.....	35
Таблица 5: Национальные отсчетные системы.....	41
Таблица 6: WGS-84 эллипсоид .....	42
Таблица 7: Параметры данных.....	43
Таблица 8: Описание блоков NMEA DATA SET .....	54
Таблица 9: Запись NMEA протокола.....	54
Таблица 10: Описание блоков GGA данных .....	55
Таблица 11: Описание блоков GGL данных .....	56
Таблица 12: Описание блоков GSA данных .....	57
Таблица 13: Описание блоков GSV данных .....	58
Таблица 14: Описание блоков RMC данных .....	59
Таблица 15: Описание блоков VTG данных .....	60
Таблица 16: Описание блоков ZDA данных .....	61
Таблица 17: Определение контрольной суммы в случае NMEA данных.....	62
Таблица 18: Содержание заголовка RTCM сообщения.....	63
Таблица 19: Содержание RTCM сообщения 1.....	65
Таблица 20: Системы времени.....	68
Таблица 21: SiRF выходные данные .....	82
Таблица 22: Структура SiRF данных 2.....	83
Таблица 23: Подразделение и значение двоичной информации .....	84
Таблица 24: Выбор данных Motorola .....	85
Таблица 25: Выбор данных Trimble.....	86

## Список рисунков

Рисунок 1:Базовая функция GPS.....	9
Рисунок 2:Определение расстояния до молнии .....	11
Рисунок 3:Орбита GPS спутников Земли на 6 различных плоскостях.....	12
Рисунок 4:Определение транзитного времени.....	12
Рисунок 5:Позиция приемника на пересечении 2 кругов .....	13
Рисунок 6:Позиция, определяемая как точка пересечения 3 сфер.....	14
Рисунок 7:4 спутника необходимы для определения позиции в 3-D пространстве.....	15
Рисунок 8:Три GPS сегмента.....	17
Рисунок 9:Позиция 28 GPS спутников 12.00 ч UTC на 14 апреля 2001.....	18
Рисунок 10:Позиция 28 GPS спутников 12.00 ч UTC на 14 апреля 2001.....	18
Рисунок 11:GPS спутник.....	19
Рисунок 12:Псевдослучайный шум.....	20
Рисунок 13:Упрощенная блочная диаграмма спутника.....	21
Рисунок 14:Структура данных GPS спутника .....	21
Рисунок 15:Подробная блочная система GPS спутника .....	22
Рисунок 16:Измерение транзитного времени сигнала.....	23
Рисунок 17:Демонстрация процесса коррекции на 30 битах .....	24
Рисунок 18:Структура сообщения навигации.....	26
Рисунок 19:Термины эфимериса.....	28
Рисунок 20:Полученные сигналы 4 спутников.....	30
Рисунок 21:Трехмерная координатная система.....	30
Рисунок 22:Конверсия последовательности Тейлора.....	32
Рисунок 23:Оценка позиции .....	32
Рисунок 24:Геометрия спутника и PDOP.....	36
Рисунок 25:Значения GDOP и число спутников в виде функции времени.....	37
Рисунок 26:Влияние комбинации спутников на DOP значение.....	37
Рисунок 27:Геоид – аппроксимация земной поверхности.....	39
Рисунок 28:Получение сфероида.....	39
Рисунок 29:Локальный эллипсоид .....	40
Рисунок 30:Разница между геоидом и эллипсоидом.....	40
Рисунок 31:Иллюстрация Декартовых координат.....	41
Рисунок 32:Иллюстрация эллипсоидальных координат.....	42
Рисунок 33:Геодезические данные.....	43
Рисунок 34:Gauss-Kruger проекция .....	45
Рисунок 35:Принцип двойного проецирования.....	46
Рисунок 36:От спутника к позиции.....	46
Рисунок 37:Принцип работы GPS с GPS отсчетной станцией .....	49
Рисунок 38:Определение коррекционных значений.....	49
Рисунок 39:Передача коррекционных данных.....	50
Рисунок 40:Коррекция измеренного псевдо диапазона.....	50
Рисунок 41:Принцип измерения фазы .....	51

Рисунок 42:Блочная диаграмма GPS приемника с интерфейсами.....	52
Рисунок 43:NMEA формат(TTL и RS-232 уровень) .....	53
Рисунок 44:Конструкция заголовка сообщения RTCM.....	63
Рисунок 45:Конструкция сообщения 1 RTCM.....	64
Рисунок 46:Открытые и корпусированные плоские антенны.....	66

Рисунок 47:Основная форма спиральной антенны.....	66
Рисунок 48:1PPS сигнал .....	67
Рисунок 49:Разница между TTL и RS-232 уровнями.....	69
Рисунок 50:Блочная диаграмма расположения пинов MAX3221 конвертера .....	70
Рисунок 51:Функциональный тест MAX3221 конвертера .....	70
Рисунок 52:Упрощенная блочная диаграмма GPS приемника.....	71
Рисунок 53:Типичная блочная диаграмма GPS модуля .....	73

## Источники

- [i] Global Positioning System, Standard Positioning System Service, Signal Specification, 2 Edition, 1995, page 18,  
<http://www.navcen.uscg.gov/pubs/qps/siqspec/qpspspl.pdf>
- [ii] Parkinson B., Spilkeri.: Global Positioning System, Volume 1, AIAA-Inc. page 89
- [iii] NAVCEN: GPS SPS Signal Specifications, 2 Edition, 1995,  
<http://www.navcen.uscg.gov/pubs/qps/siqspec/qpspspl.pdf>
- [iv] Parkinson B., Spilkeri.: Global Positioning System, Volume 1, AIAA-Inc.
- [v] Lemme H.: Schnelles Spread-Spectrum-Modem auf einem Chip, Elektronik 1996, H. iSp. 38to p. 45
- [vi] GPS Standard Positioning Service Signal Specification, 2nd Edition, June 2, 1995
- [vi] [http://www.cnde.edu/staff/swormley/gps/gps\\_accuracy.html](http://www.cnde.edu/staff/swormley/gps/gps_accuracy.html)
- [vi] Manfred Bauer: Vermessung und Ortung mit Satelliten, Wichman-Verlag, Heidelberg, 1997, ISBN 3-87907-309-0
- [vi] [http://www.cnde.edu/staff/swormley/gps/gps\\_accuracy.html](http://www.cnde.edu/staff/swormley/gps/gps_accuracy.html)
- [vi] <http://www.geocities.com/mapref/mapref.html>
- [vi] B. Hofmann-Wellenhof: GPS in der Praxis, Springer-Verlag, Wien 1994, ISBN 3-21 1-82609-2
- [vi] Bundesamt fur Landestopographie: <http://www.swisstopo.ch>
- [vi] Elliott D. Kaplan: Understanding GPS, Artech House, Boston 1996,
- [vii] [http://www.cnde.edu/staff/swormley/gps/gps\\_accuracy.html](http://www.cnde.edu/staff/swormley/gps/gps_accuracy.html)
- [viii] Manfred Bauer: Vermessung und Ortung mit Satelliten, Wichman-Verlag, Heidelberg, 1997, ISBN 3-87907-309-0
- [ix] [http://www.cnde.edu/staff/swormley/gps/gps\\_accuracy.html](http://www.cnde.edu/staff/swormley/gps/gps_accuracy.html)
- [x] <http://www.geocities.com/mapref/mapref.html>
- [xi] B. Hofmann-Wellenhof: GPS in der Praxis, Springer-Verlag, Wien 1994, ISBN 3-21 1-82609-2
- [xii] Bundesamt fur Landestopographie: <http://www.swisstopo.ch>
- [xiii] Elliott D. Kaplan: Understanding GPS, Artech House, Boston 1996, ISBN 0-89006-793-7
- [xiv] <http://www.tandt.be/wis>
- [xv] NMEA 0183, Standard For Interfacing Marine Electronics Devices, Version 2.30
- [xvi] [http://www.navcen.uscg.gov/pubs/dgps/rctm\\_1\\_04/Default.htm](http://www.navcen.uscg.gov/pubs/dgps/rctm_1_04/Default.htm)
- [xvii] Global Positioning System: Theory and Applications, Volume II, Bradford W. Parkinson, Seite 31
- [xviii] User Manual: Sony GXB1000 16-channel GPS receiver module
- [xix] User Manual: Sony GXB1000 16-channel GPS receiver module
- [xx] swipos, Positionierungsdienste auf der Basis von DGPS, Seite 6, Bundesamt fur Landestopographie
- [xxi] [http://www.potsdam.ifag.de/potsdam/dgps/dgps\\_2.html](http://www.potsdam.ifag.de/potsdam/dgps/dgps_2.html)
- [xxii] <http://www.emtac.com.tw/>
- [xxiii] <http://www.asahi-net.or.jp/~ipkVQ3H-NKMR/satellite/helical.ipci>
- [xxiv] <http://www.maxim-ic.com>
- [xxv] Satellitenortung und Navigation, Werner Mansfield, Seite 1 57, Vieweg Verlag
- [xxvi] <http://www.alliedworld.com>

[xxvii] <http://www.rds.org.uk>

[xxviii] <http://www.swisstopo.ch>  
[xxix] [http://www.allnav.ch/t\\_welcorn.htm](http://www.allnav.ch/t_welcorn.htm)  
[xxx] <http://www.sapos.de>  
[xxxi] <http://www.adv-online.de/produkte/sapos.htm>  
[xxxii] [http://qibs.leipzig.ifag.de/cgi-bin/Info\\_hom.cgi?de](http://qibs.leipzig.ifag.de/cgi-bin/Info_hom.cgi?de)  
[xxxiii] <http://www.potsdam.ifag.de/alf/>  
[xxxiv] <http://www.dgps.at>  
[xxxv] <http://www.omnistar.com/>  
[xxxvi] <http://www.racal-survey.com>  
[xxxvii] <http://www.esa.int/navigation>