Министерство образования науки Российской Федерации
Федеральное агентство по образованию
ГОУ ВПО
РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
(РГГМУ)

Допущен к защите
зав. каф. д.ф.-м. н., профессор
А.Д. Кузнецов

Кафедра
экспериментальной физики
атмосферы

ДИПЛОМНЫЙ ПРОЕКТ

Возможности использования сетей базовых ГНСС-станций для задач дистанционного зондирования атмосферы

Выполнил Н.Е. Войнов,
И-539
Руководитель к.ф .-м.н., доцент
В.В. Чукин

Санкт-Петербург 2009

Содержание

		Стр.
	Сокращения	3
	Введение	4
1	Глобальная спутниковая навигационная система	6
2	Сегмент потребителей	25
2.1	Корректирующая информация	26
3	NTRIP	39
4	Возможность использования сетей базовых ГНСС-станций для задач дистанционного зондирования	50
	Заключение	58
	Список использованных источников	60

Сокращения

АМ – апостериорный мониторинг;

КНС – космические навигационные системы;

МНК – метод наименьших квадратов;

НКА – навигационный космический аппарат;

ОМ – оперативный мониторинг;

ПМ – пункты мониторинга;

СМ – станция мониторинга;

ЦГМ – центр глобального мониторинга;

ЧВП – частотно-временные параметры.

Введение

Искусственные спутники Земли оказывают неоценимую помощь в сборе метеорологической информации и в увеличении ее объема. Однако

основное преимущество применения спутников в метеорологии состоит в том, что они открывают возможность получения качественно новых сведений о состоянии атмосферы, которые не могли быть получены другими средствами. В настоящее время большое внимание уделяется возможностям дистанционного зондирования атмосферы по измеренным характеристикам радиоизлучения космических навигационных аппаратов.

Целью данной работы является оценка технической возможности дистанционного зондирования атмосферы с помощью сети наземных приемных ГНСС станций.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

1) изучить технические параметры глобальной спутниковой системы;
2) рассмотреть принципы построения приемной аппаратуры и системы дифференциальной коррекции информации;
3) проанализировать основные параметры сетевой технологии NTRIP;
4) произвести установку, настройку и тестирование программного комплекса сбора навигационной информации в режиме реального времени.

В первой главе рассматриваются основы построения глобальной навигационной спутниковой системы и возможности ее использования для задач дистанционного зондирования атмосферы.

Во второй главе рассматривается аппаратура потребителей и система дифференциальной коррекции информации.

Третья глава содержит информацию о сетевой NTRIP технологии.

В четвертой главе приводятся результаты измерения пропускной способности каналов связи и даются рекомендации по выбору параметров сети наземных ГНСС станций, предназначенных для сбора метеорологической информации.

1 Глобальная спутниковая навигационная система

Космический сегмент

Полная (проектная) группировка НКА системы ГЛОНАСС состоит из 24-х спутников, равномерно распределенных в трех орбитальных плоскостях. Орбитальные плоскости разнесены относительно друг друга на 120° по абсолютной долготе восходящего узла и имеют условные номера 1, 2 и 3, возрастающие по направлению вращения Земли.

В каждой орбитальной плоскости расположено по 8 спутников со сдвигом по аргументу широты 45°. Орбитальные плоскости сдвинуты друг относительно друга на 15°, т.е. спутники в соседних орбитальных плоскостях смещены на 15° по аргументу широты. Нумерация позиций спутников производится по порядку их последовательности на орбите в определенный момент времени и против их движения. Спутникам 1-й орбитальной плоскости присвоены номера с 1 по 8; 2-й орбитальной плоскости с 9 по 16; 3-й с 17 по 24.

По состоянию на 00:00 Московского времени 1 января 1983 г. аргументы широты спутников описывались выражением

$$145°26'37'' + 15°(27 - 3j + 25k), \qquad (1.1)$$

где j – 1, ..., 24; k= целая часть числа (j-1)78.

Орбиты спутников (рисунок 1) являются близкими к круговым, с высотой от 18840 до 19440 км (номинальное значение 19100 км). Наклонение орбиты – 64.8° с точностью ± 0,3°. Точность выведения спутника в заданную точку орбиты составляет 0.5 с по периоду обращения, ±1 ° по аргументу широты и

±0,01 по эксцентриситету.

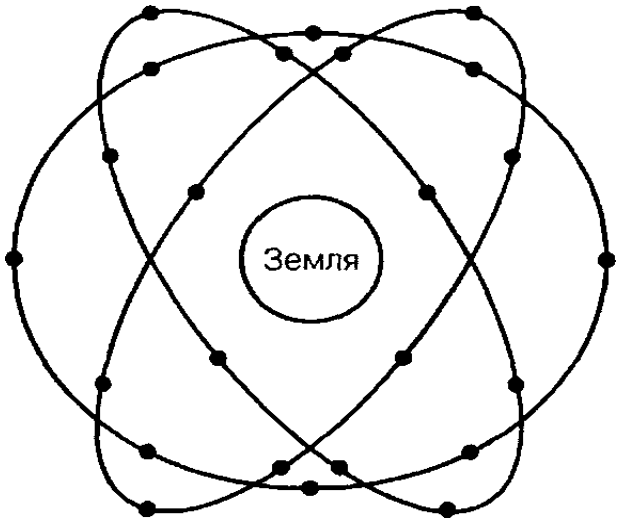

Рисунок 1.1 – Орбитальная структура СНС ГЛОНАСС

Орбитальная структура сети спутников построена таким образом, что в каждой точке земной поверхности и околоземного пространства одновременно наблюдаются не менее четырех спутников. Их взаимное расположение обеспечивает необходимые точностные характеристики системы. Нужно заметить, что заданная точность координатно-временных измерений может быть достигнута при наличии в системе 21 спутника, по семь в каждой орбитальной плоскости, а остальные используются в качестве "горячего" резерва. Непрерывность навигационного поля системы ГЛОНАСС обеспечивается на высотах до 2000 км. Система сохраняет полную функциональность при одновременном выходе из строя до 6 НКА (по два в каждой плоскости).

Интервал повторяемости трасс движения НКА и, соответственно, зон радиовидимости наземными потребителями составляет 17 витков или 7 сут 23 час 27 мин 28 с. Отсюда видно, что СНС ГЛОНАСС не является

резонансной (или синхронной), т.е. спутники в своем орбитальном движении не имеют резонанса (синхронизма) с вращением Земли. Начало каждого витка смещается относительно поверхности Земли приблизительно на 21° по долготе и орбита каждого НКА имеет многовитковый след. Благодаря этому возмущающее влияние нецентральности гравитационного поля Земли на орбиты НКА значительно снижается и является одинаковым для всех НКА. Как следствие, орбитальная группировка СНС ГЛОНАСС более стабильна по сравнению с GPS, имеющей синхронные 12-часовые орбиты. Орбитальная группировка ГЛОНАСС не требует дополнительных корректировок в течение всего срока активного существования НКА, хотя срок функционирования НКА на сегодняшний день несколько меньше, чем в GPS.

Так как бортовой запас топлива ограничен, изменение действующей конфигурации орбитальной группировки за счет перевода НКА на другую орбиту допускается только в крайнем случае, для оптимизации навигационных определений или обеспечения электромагнитной совместимости.

Выведение НКА на орбиту осуществляется по групповой схеме, по три спутника одновременно. Схема выведения НКА состоит из трех этапов:

- выведение головной части на промежуточную круговую орбиту, высотой около 200 км;
- переход на эллиптическую орбиту с перигеем около 200 км, апогеем 19100 км и наклонением 64,3°;
- переход на круговую орбиту высотой 19100 км.

Постановка НКА в заданную системную точку может занять от недели до месяца и зависит от соотношения между точкой выведения спутника на орбиту и конечной системной точкой.

Таким образом, по состоянию на 31.12.2003 г., орбитальная группировка ГЛОНАСС включала в себя лишь семь действующих НКА, с последующим увеличением до десяти за счет введения НКА, запущенных 10.12.2003 г.

Служебные системы и специальное оборудование НКА помещены в цилиндрический термоконтейнер диаметром 1,35 м. Для уменьшения возмущений орбиты, возникающих от истечения микроструй газа, герметичность навигационного спутника повышена на порядок по сравнению с другими спутниками.

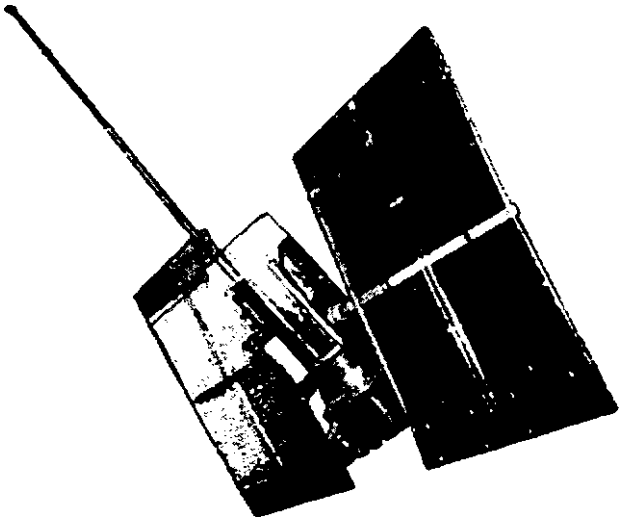

Рисунок 1.2 – Внешний вид спутника системы ГЛОНАСС

На поверхности контейнера, обращенной к Земле, смонтированы антенно-фидерная система и панель уголковых отражателей. На противоположной стороне находятся топливные баки двигателей ориентации. Спутник снабжен солнечными батареями, ширина которых в раскрытом виде составляет 7,23м. Во время нахождения спутника в тени питание бортового оборудования осуществляется от аккумуляторов. Общая масса аппарата составляет 1487 кг, из которых на долю целевого оборудования приходится 237 кг.

Время активного существования спутника увеличено с 3,5 лет до 5 лет и ведутся работы по увеличению этого срока до 12 - 15 лет. В противном случае расходы на поддержание орбитальной группировки наряду с необходимостью ее доукомплектования могут оказаться чрезмерно большими.

Формирование высокостабильных синхрочастот и бортовой шкалы времени происходит при помощи бортового хронизатора. В состав хронизатора входят три комплекта цезиевого атомного стандарта частоты и устройство формирования синхрочастот и шкал времени. Масса бортового хронизатора - 207 кг. Бортовой хронизатор может работать в штатном или дежурном режиме. В дежурном режиме в качестве задающего генератора используется кварцевый генератор, и синтезатор частот обеспечивает формирование сетки частот, необходимой на этапе ожидания команд, выведения в заданную точку орбиты или при аварийной ситуации. Оборудование переводится в штатный режим по команде наземного центра управления. При этом происходит синхронное (по фронту импульсов) переключение на атомный стандарт частоты. Если уход бортовой шкалы времени превышает норму, по команде с наземной станции происходит коррекция и фазирование бортовой шкалы.

Кроме бортового хронизатора в состав бортового оборудования входят: бортовой навигационный передатчик, блоки формирования навигационных сигналов, бортовая ЭВМ, системы ориентации и коррекции орбиты, телеметрии, приема сигналов наземного комплекса управления, терморегулирования и электропитания.

Бортовой навигационный передатчик состоит из аппаратуры формирования навигационных сигналов и антенно-фидерного оборудования. Для повышения надежности предусмотрено дублирование силовых блоков передатчика и формирователей навигационного сигнала. Для контроля за излучением используются амплитудные датчики ВЧ-излучения антенны, сигнал с которых поступает на бортовую телеметрическую систему.

Переключение на резервные блоки может происходить автоматически или по команде с Земли.

Антенно-фидерная система конструктивно представляет собой фазированную решетку, состоящую из двух групп спиральных излучателей: четырех центральных и один периферийный кольцевой из восьми излучателей на кольце диаметром 85 см. Излучатели разделены на четыре сегмента, состоящих из одного центрального и двух ближайших периферийных излучателей. Такая конструкция антенны обеспечивает одновременную работу на частотах L1 и L2, достаточное подавление внеполосных излучений и необходимую диаграмму направленности.

При проектировании системы первоначально предполагалось разместить на каждом НКА по два передатчика. Один из них должен был излучать навигационный сигнал в направлении центра Земли, для наземных пользователей и низкоорбитальных КА. Второй должен был излучать сигнал в противоположном направлении, "в зенит", для КА на высоких геостационарных орбитах. В результате оптимизации системы остался лишь один передающий комплект, излучающий в направлении земной поверхности.

Эффективная излучаемая мощность составляет: по каналу L1 -30 Вт; по каналу L2 - 21 Вт при суммарной потребляемой мощности 530 Вт.

Система ориентации и стабилизации спутников построена по активной трехосной схеме с управляющими маховиками и реактивной системой разгрузки. Система ориентации обеспечивает реализацию программы начальной ориентации НКА после выведения на орбиту, успокоение спутника, ориентацию продольной оси спутника на центр Земли, а солнечных батарей на Солнце, управление вектором тяги двигателей системы коррекции.

Система координат

Передаваемые каждым НКА эфемериды описывают положение фазового центра передающей антенны спутника, так как при определении псевдодальности измеряется время распространения сигнала от фазового центра передающей антенны, до фазового центра приемной. Положение фазового центра передающей антенны легко приводится к положению центра масс спутника, поскольку при орбитальном движении небесного тела орбитой является траектория движения его центра масс.

Координаты фазового центра передающей антенны описываются в связанной с Землей геоцентрической системе координат ПЗ-90. Данная система координат определяется следующим образом:

• начало координат расположено в центре масс Земли;

• ось Z направлена на Условный полюс Земли;

• ось X направлена в точку пересечения плоскости экватора и нулевого меридиана, определенного Международным бюро времени;

• ось Y дополняет геоцентрическую прямоугольную систему координат до правой.

Земля рассматривается как эллипсоид, геометрические параметры которого приведены в таблице 1.1. Геодезическая широта точки P определяется как угол между нормалью к поверхности эллипсоида и плоскостью экватора. Геодезическая долгота точки P определяется как угол между плоскостью нулевого меридиана и плоскостью меридиана, проходящего через точку P. Геодезическая высота определяется как расстояние по нормали от поверхности эллипсоида до точки P.

Таблица 1.1 – Параметры земного эллипсоида и фундаментальные геодезические константы

Параметр	Значение
Угловая скорость вращения Земли, рад/с	$7{,}292115 \times 10^{-5}$
Геоцентрическая константа гравитационного поля Земли с учетом атмосферы, $м^3/с^2$	$398\ 600{,}44 \times 10^{9}$
Геоцентрическая константа гравитационного поля атмосферы Земли, fM_a ($м^3/с^2$)	$0{,}35 \times 10^{9}$
Скорость света (м/с)	299 792 548
Большая полуось земного эллипсоида, м	6 378 136
Коэффициент сжатия эллипсоида	1/298,257839303
Гравитационное ускорение на экваторе Земли, мгал	978 032,8
Поправка к гравитационному ускорению на уровне моря, обусловленная влиянием атмосферы Земли, мгал	-0,9
Вторая зональная гармоника геопотенциала, J_2°	$1\ 082\ 625{,}7 \times 10{\sim}^{9}$
Четвертая зональная гармоника геопотенциала, J °	$-2370{,}9 \times 10^{-9}$
Нормальный потенциал на поверхности общеземного эллипсоида, Uo $м^2/с^2$	62 636 861,074

Сегмент управления

Сегмент управления системы ГЛОНАСС состоит из следующих функциональных компонентов:

- центра управления системой;
- центрального синхронизатора;
- контрольных станций;
- системы контроля фаз;
- кванто-оптических станций;
- аппаратуры контроля поля.

Все компоненты функционально связаны между собой. Наземный сегмент осуществляет:

- траекторные измерения для уточнения и прогнозирования орбит спутников;

• временные измерения для определения расхождения бортовых шкал времени относительно системной шкалы и синхронизацию бортовых шкал;

• формирование и выгрузку на спутники массива служебной информации, включая эфемериды, альманах и временные поправки;

• контроль за работой бортовых систем НКА на основе телеметрической информации;

• контроль за содержанием навигационных сообщений НКА;

• слежение за характеристиками навигационного поля. Наземные станции слежения находятся в точках, координаты которых определены с максимальной доступной точностью и предназначены для проведения траекторных и временных измерений и сбора телеметрической информации. С их помощью также происходит выгрузка служебной информации в бортовое запоминающее устройство НКА.

Сеть станций слежения СНС ГЛОНАСС выгодно отличается от аналогичной сети GPS тем, что расположена только на территории своей страны. Отчасти этому способствует большая протяженность российской территории с востока на запад (рис. 1.3).

Измерения траекторных параметров осуществляются запросным способом.

По запросу со станции слежения спутник формирует ответ. По задержке ответа и доплеровскому сдвигу частоты определяются дальность до спутника с погрешностью не более 2-3 м и его радиальная скорость. Одновременно с измерением траекторных параметров происходит сбор телеметрической информации и выгрузка служебных данных.

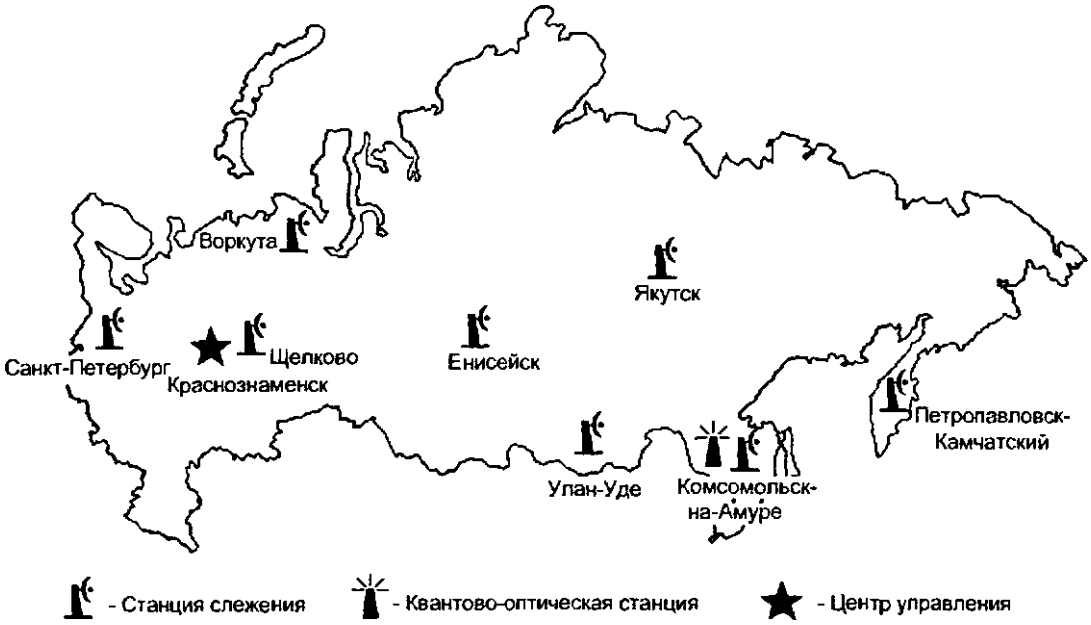

Рисунок 1.3 – Расположение наземных станций слежения СНС ГЛОНАСС

В настоящее время на территории России, кроме Центра управления, действует семь станций слежения. На данный момент существующая сеть станций считается достаточной, так как даже при выходе из строя одной из станций, она равноценно заменяется другой, благодаря избыточности системы. Кроме того, на станциях предусмотрено тройное резервирование аппаратуры.

Входящие в состав наземного комплекса кванто-оптические станции предназначены для периодического высокоточного измерения дальности до НКА при помощи лазерного дальномера. В настоящее время используется несколько типов кванто-оптических станций, в том числе расположенных за пределами России. Так, например, кванто-оптическая станция "Майданак" (Узбекистан) позволяет измерять дальность до объектов на высотах до 40000 км. Дальномерная ошибка станции не превышает 1,5...1,8 см, а угломерная от 0,5" до 2". Для эффективной работы кванто-оптических станций требуется наличие хорошей оптической видимости в ночное время, поэтому

они, как правило, применяются не при систематическом наблюдении за НКА, а для юстировки радиодальномерных каналов.

Кроме измерения траекторных и временных параметров НКА, наземные станции слежения обеспечивают контроль за качеством навигационного сервиса СНС. Поскольку координаты эталонных приемников точно определены, для каждого видимого НКА можно рассчитать прогнозируемые значения псевдодальностей и псевдоскоростей в заданные моменты времени.

В режиме контроля НКА происходит сбор навигационных сообщений от всех видимых спутников (при завершенной системе их может быть от 8 до 11) и измерение псевдодальностей и псевдоскоростей. Затем, в автономном режиме, происходит обработка и проверка полученной информации.

При обнаружении неисправности спутника сигнал об этом автоматически передается в Центр управления, где принимается решение об ограничении функциональности или выведении спутника из системы и о мерах по устранению неисправности.

В режиме контроля навигационного поля происходит решение навигационной задачи по оптимальному созвездию над станцией слежения. Результат определения координат сравнивается с эталонным. При наличии сверхнормативных расхождений сообщение об ошибке и пакет принятой информации передаются в Центр управления для дальнейшего анализа и принятия решения. С неисправным спутником может быть проведен сеанс запроса телеметрии для поиска неисправности. После анализа ситуации на борт спутника может быть передана команда включения в навигационное сообщение признака неисправности этого НКА или пересчет и перезагрузка обновленного массива навигационных данных. Также для этого НКА могут быть проведены внеплановые сеансы контрольных измерений с использованием других станций слежения.

Навигационные задачи и методы их решения

Навигационной задачей в СНС принято называть нахождение пространственно-временных координат потребителя и составляющих вектора его скорости, в совокупности называемых *вектором потребителя.* В результате решения навигационной задачи в общем случае должны быть найдены пространственные координаты потребителя *(x*, y, z), поправка *t* к шкале времени потребителя относительно шкалы времени СНС и составляющие вектора скорости как производные от координат потребителя во времени.

Потребитель имеет возможность измерять задержку сигнала и доплеровский сдвиг частоты *(радионавигационные параметры),* а также выделять из сигнала данные альманаха и эфемерид *(навигационное сообщение).* Геометрические параметры, которые соответствуют радионавигационным, принято называть *навигационными* параметрами. Так, задержке сигнала т соответствует дальность R = сτ, где с - скорость света; доплеровскому смещению частоты f_d соответствует радиальная скорость сближения V_r = *fjk*, где X - длина волны излучаемого НКА сигнала. Функциональную связь между навигационными параметрами и вектором потребителя называют *навигационной функцией.* Конкретный вид функции определяется многими факторами: системой координат, характером движения потребителя и т.п.

В открытом пространстве геометрическое место точек с одинаковым значением Я образует *поверхность положения* в виде сферы с радиусом Я и центром, совпадающим с фазовым центром передающей антенны НКА. При пересечении двух поверхностей положения образуется *линия положения* - совокупность точек, имеющих два заданных значения навигационного параметра R. Пересечение двух сфер дает линию положения в виде окружности (рис.1.4). Местоположение конкретной точки определяется по пересечению двух линий положения или, соответственно, трех поверхностей положения. В ряде случаев две линии положения могут пересекаться в двух точках (см. рис. 1.4), что порождает *неоднозначность местоположения.*

Устранить неоднозначность можно лишь введением еще одной линии положения или дополнительной информации о местоположении.

Дальномерный метод

В большинстве применений СНС можно считать, что потребитель находится на поверхности Земли.

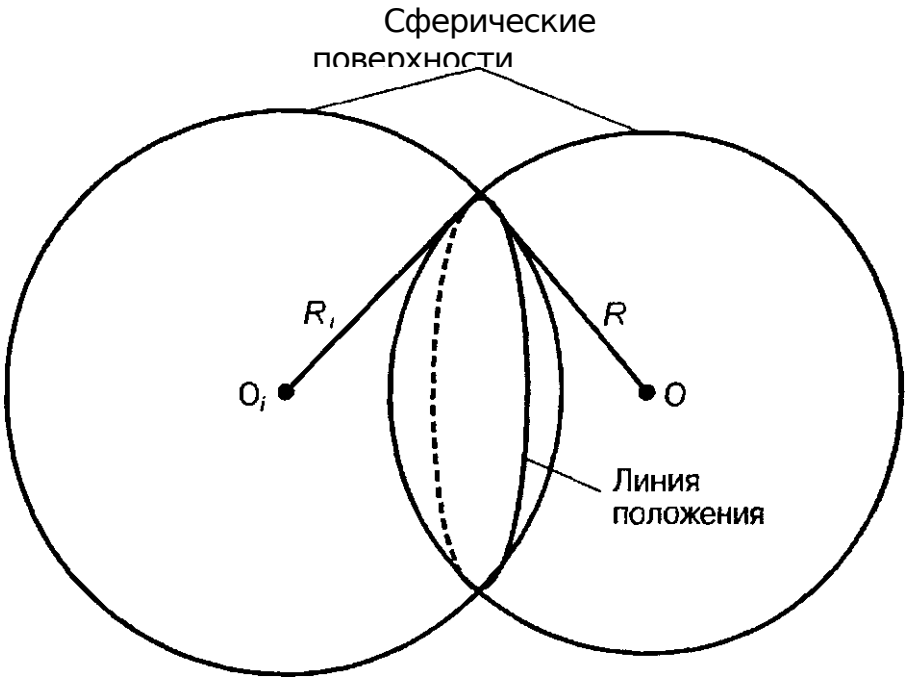

Рисунок 1.4 – Поверхности и линии положения

Условно примем форму Земли за идеальную сферическую. Тогда на рис. 2.9 сферу с радиусом R можно считать земной поверхностью с центром масс в точке O, а сферу с радиусом R_i, поверхностью положения, образованной вокруг НКА с центром масс в точке *O*,

Уравнение сферы имеет вид:

$$R_i = \sqrt{[(x_i - x)^2 + (y_i - y)^2 + (z_i - z)^2]}, \qquad (1.2)$$

где R, - дальность между *i-м* НКА и потребителем; x_i, y_i, z_i - известные на момент измерения координаты НКА; *x, y, z* — координаты потребителя.

Пространственные координаты потребителя находят в точке пересечения трех поверхностей положения, описываемых уравнением (1.2). Для наземного потребителя линия положения в случае с одним НКА представляет собой окружность на поверхности Земли (см. рис. 1.4). В случае с двумя НКА наземный потребитель может находиться в одной из двух точек, образованных при пересечении двух окружностей. Возникает неоднозначность, которая может быть устранена знанием ориентировочных координат потребителя. Если ориентировочные координаты неизвестны, неоднозначность устраняется измерением дальности до третьего НКА. Таким образом, для определения координат потребителя на поверхности Земли, при условии абсолютной неизвестности предварительных координат, необходимо измерение как минимум трех дальностей до НКА.

В общем случае, когда высота потребителя над поверхностью Земли неизвестна, земная поверхность не может быть принята за одну из поверхностей положения. Тогда в случае со знанием предварительных координат требуется измерение дальностей минимум до трех спутников; в случае с абсолютной неизвестностью предварительных координат необходимо измерение дальностей до четырех спутников.

Если учесть, что некоторые спутники в разные моменты времени могут находиться близко к линии радиогоризонта, что чрезвычайно невыгодно с точки зрения приема радиосигнала и точности измерений, либо быть неисправны, то становится очевидной необходимость нахождения в зоне видимости потребителя как минимум 5-6 НКА, что и обусловливает существующую орбитальную структуру СНС. Меньшее количество видимых НКА снижает доступность, целостность и непрерывность навигационного поля СНС.

В дальномерном методе навигационная задача представляет собой систему уравнений (1.2), где количество уравнений определяется приведенными выше условиями. В уравнении (1.2) неявно подразумевается, что все величины взяты в один момент времени, но координаты спутника определены в системной шкале времени, а задержки сигнала и координаты потребителя вычисляются в шкале времени потребителя. При расхождении шкал времени на величину Дг возникает погрешность измерения дальности ДR = *c&t*, приводящая к возрастанию погрешности местоопределения. Приблизить синхронизацию шкал к идеальной можно при помощи использования потребителем эталона времени и частоты, периодически сверяемого с системной шкалой. На практике этот метод нереализуем для большей части потребителей из-за сложности и дороговизны оборудования и применяется лишь на некоторых контрольных и дифференциальных наземных станциях.

Псевдодальномерный метод

Расхождение шкал Δt на время проведения измерений можно считать постоянной величиной. Поэтому при измерении дальности до i-того НКА получают псевдодальность R_i', отличающуюся от истинной дальности R_i, на постоянную величину ΔR. Уравнение (1.2) для псевдодальности приобретает вид:

$$R_i = \sqrt{[(x_i - x)^2 + (y_i - y)^2 + (z_i - z)^2]} + \Delta R. \qquad (1.3)$$

Как и в дальномерном методе, поверхностью положения является сфера с центром в центре масс НКА, но радиус этой сферы изменен на неизвестную величину ΔR. Для определения координат потребителя необходимо решить задачу с четырьмя неизвестными *(x, y, z,* ΔR). Следовательно, для решения системы уравнений в псевдодальномерном методе необходимо измерить

псевдодальности минимум до четырех спутников. При этом по-прежнему возникает пространственная неоднозначность, которую стараются исключать при помощи априорного знания или предвычисления координат, в противном случае потребовалось бы измерение псевдодальностей до пяти НКА, что не всегда осуществимо на практике.

Жёсткие требования, предъявляемые псевдодальномерным методом к количеству наблюдаемых спутников, реализуются только в среднеорбитальных СНС. Низкоорбитальные СНС обеспечивают периодическую видимость от 1 до 2 НКА, поэтому определение координат потребителя в этих системах происходит не в реальном времени, а после проведения последовательных измерений нескольких линий положения по сигналам одного НКА.

Очевидно, что при нахождении постоянной погрешности $\Delta R = c\Delta t$ потребитель одновременно находит и величину расхождения Δt, что позволяет ему синхронизировать свою шкалу времени с системной. Благодаря этой возможности значительно упрощается аппаратура потребителя, что и обусловило преимущественное применение псевдодальномерного метода.

Разностно-дальномерный метод

Разностно-дальномерный метод основывается на измерении разности дальностей от потребителя до одного или нескольких НКА, и по сути своей аналогичен псевдодальномерному методу, поскольку в результатах измерения так же присутствует неизвестная постоянная величина ΔR.

Разностно-дальномерный метод использует три разности $\Delta R'_{ij}=R'_i - R'_j$ вычисленные для четырех спутников, так как в этом выражении величина ΔR, входящая в состав $\Delta R'_i$ и R'_j, постоянная и уничтожается при вычитании. Следовательно, вычисление разностей псевдодальностей равносильно вычислению разностей истинных дальностей. В данном случае навигационным параметром является $\Delta R'_{ij}$, а поверхность положения

представляет собой двуполостной гиперболоид вращения, фокусами которого являются центры масс i-го и j-го НКА. Расстояние между фокусами называют базой.

Недостатком метода является невозможность определения смещения шкалы времени потребителя.

Прочие методы решения навигационной задачи

Кроме описанных методов решения навигационной задачи, существуют следующие методы:

- Радиально-скоростной (доплеровский).
- Псевдорадиально-скоростной.
- Разностно-радиально-скоростной.
- Комбинированный.

Радиально-скоростной метод основан на измерении трех радиальных скоростей перемещения НКА относительно потребителя. Физическую основу метода составляет зависимость радиальной скорости точки относительно НКА от координат и относительно скорости НКА. На практике для измерения радиальных скоростей используется доплеровское смещение, что порождает ряд недостатков. Во-первых, потребитель должен обладать высокостабильным эталоном частоты во избежание дополнительных погрешностей при измерении доплеровского сдвига; во-вторых, в среднеорбитальных СНС использование метода осложняется ввиду медленного изменения радиальной скорости. По этой причине в СНС GPS и ГЛОНАСС радиально-скоростной метод применяется только для определения составляющих скорости потребителя.

Псевдорадиально-скоростной метод позволяет определять вектор скорости потребителя при наличии неизвестного постоянного смещения частоты сигнала. Для определения вектора скорости потребителя требуется решить систему из четырех уравнений. В свою очередь, для решения системы уравнений необходимо знание дальностей Я, и координат *(x, y, z)*

потребителя. Эта информация может быть получена из псевдодальномерных измерений.

Разностно-радиально-скоростной метод заключается в определении трех разностей $\Delta R_{ij} = R_i - R_j$, где точкой обозначены производные от дальности по времени. Разности могут вычисляться относительно одного или различных НКА. Если предполагать, что смещение частоты определяется исключительно нестабильностью эталона потребителя и одинаково для всех НКА, то при вычислении разностей можно использовать и псевдорадиальные скорости, поскольку при вычитании смещение компенсируется. Достоинством метода при определении составляющих скорости потребителя является его независимость от нестабильности эталонов частоты, а недостатком - невозможность определения этой нестабильности.

Комбинированные методы кроме СНС используют дополнительные измерители координат, имеющиеся у потребителя. Например, при наличии у потребителя измерителя высоты с удовлетворительными параметрами, можно исключить одно измерение дальностей до НКА. Можно также комбинировать способы измерения, например, вместо четырех измерений псевдодальностей до четырех НКА применить измерение двух псевдодальностей до двух НКА, но в разные моменты времени.

Подводя итог первой главы, можно сказать, что искусственные спутники Земли оказывают неоценимую помощь в упрощении сбора метеорологической информации и в увеличении ее объема. Основным преимуществом применения спутников в метеорологии состоит в том, что они открывают возможность получения качественно новых сведений о состоянии атмосферы, которые не могли быть получены другими средствами. Как в свое время с помощью спутников впервые были выявлены многие крупномасштабные структурные особенности облачных полей – спиральные полосы облаков в циклонах, линейные системы облаков внутритропической зоны конвергенции и другие, так и использование новой метеорологической информации, получаемой с помощью навигационных

ИСЗ позволит глубже проникнуть в самое существо атмосферных процессов и значительно улучшить качество прогноза погоды.

2 Сегмент потребителей

В состав сегмента потребителей принято включать сообщество потребителей навигационной услуги, приемники навигационного сигнала, излучаемого спутниками, и подключаемое периферийное оборудование - антенны, устройства отображения информации, блоки автоматики и вспомогательное программное обеспечение. Потребитель может быть стационарным или подвижным, наземным (сухопутным или морским), воздушным или космическим. Присутствие человека в качестве оператора или прямого потребителя навигационной услуги не является обязательным. Но, в любом случае, конечными потребителями навигационной услуги являются люди.

Поскольку по ряду причин более широкое распространение в мире получила система GPS, практически все приемники системы ГЛОНАСС принимают также сигналы GPS, но отнюдь не все приемники системы GPS принимают сигналы системы ГЛОНАСС.

После приема и обработки навигационных сигналов аппаратура потребителя измеряет и вычисляет навигационные параметры: псевдодальность и псевдоскорость; вычисляет геоцентрические координаты, переводит их в геодезические координаты, вектор скорости и высоту над опорным эллипсоидом; находит поправку к местной шкале времени относительно системного времени.

2.1 Корректирующая информация

WAAS - глобальная система дифференциальных поправок. Система EGNOS в России. Система WAAS (Wide Area Augmentation System) служит для повышении точности позиционирования навигационных GPS систем.

Принцип действия системы несколько отличается от обычного DGPS режима в котором используются корректирующие поправки с наземных базовых станций, передаваемые по каналам GPRS, УКВ и т.п. В случае с WAAS, сигнал с поправками ретранслируется с геостационарных спутников, и обрабатывается навигатором с помощью одного из GPS-каналов. Это возможно благодаря тому, то сигнал WAAS передается на той же частоте, что и сигнал C/A L1 системы GPS, и имеет схожую структуру кодирования. В мире существует несколько аналогичных WAAS систем (представленных на рисунке 2.1): в Европе – EGNOS, в Японии - MSAS. Общепринятое название таких систем - SBAS (Space Based Augmentation System), что можно дословно перевести, как «космические вспомогательные системы». В литературе можно также встретить название WADGPS (Wide Area Differential GPS) – глобальный дифференциальный GPS.

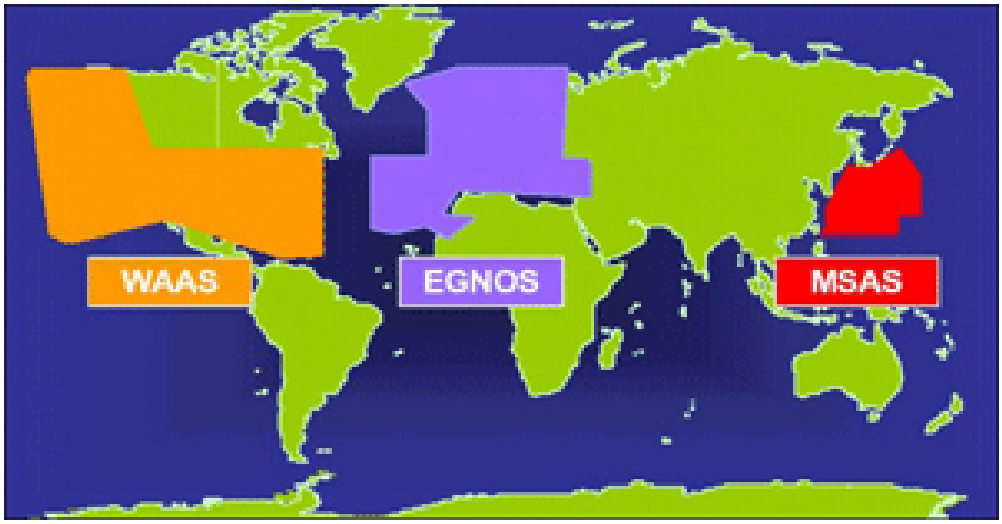

Рисунок 2.1 – Области покрытия земной поверхности системами дифференциальной коррекции

Система WAAS содержит более 20 базовых станции (WRS), расположенных на всей территории Соединенных Штатов. Каждая их станций оборудована GPS аппаратурой и специальным программным обеспечением, предназначенным для приема GPS сигналов, анализа

полученных измерений, вычисления ошибок ионосферы, отклонений траекторий и часов спутников. Эти данные передаются на центральную станцию управления (Master Station - WMS), где повторно обрабатывается и анализируются с учетом измерений, полученных со всех базовых станций сети. Затем корректирующая информация передается на геостационарные спутники и уже оттуда ретранслируются пользователям. Схема представлена на рисунке 2.2.

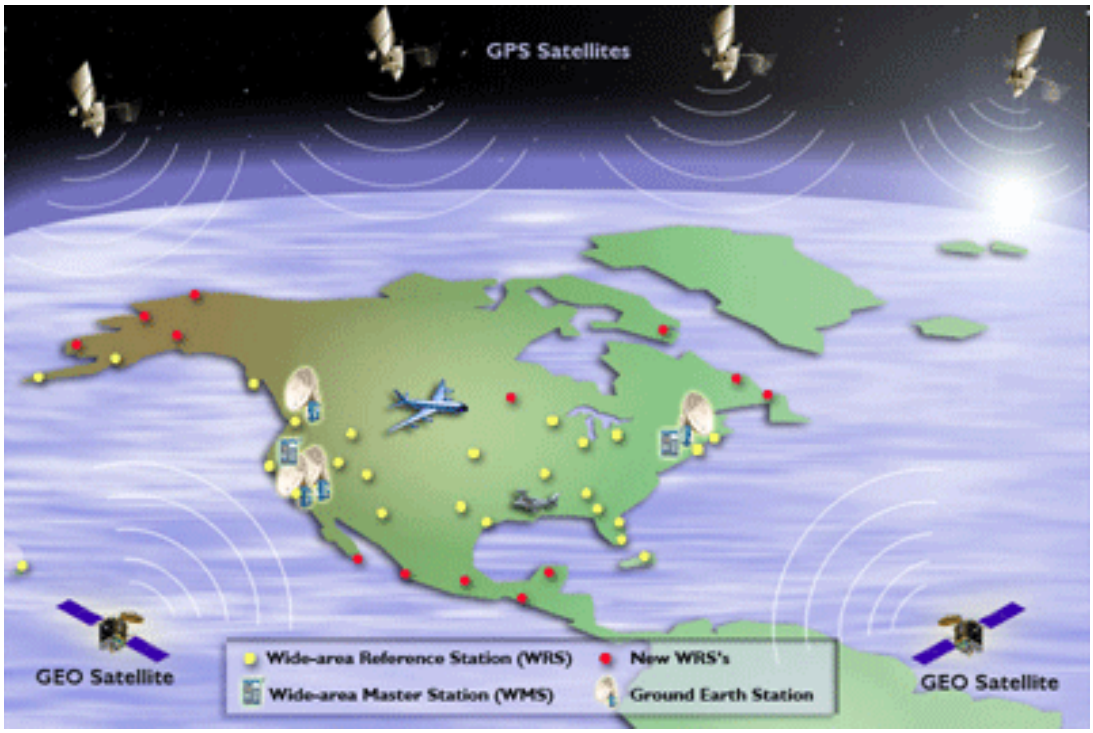

Рисунок 2.2 – Глобальная навигационная система и подсистема дифференциальной коррекции информации

Если ошибки траектории и ухода часов спутников не зависят от текущего местоположения пользователя и учитываются в вычислениях позиции одинаково, то атмосферные задержки во многом определяются спецификой местности. Более того, с учетом модернизации космических аппаратов и

наземных сегментов GPS, за последние несколько лет уровень «системных» ошибок значительно снизился. Поэтому основной вклад в общую ошибку позиционирования вносят именно атмосферные ошибки, связанные с задержкой распространения сигнала при прохождении ионосферного и тропосферного слоев.

Разработчики системы WAAS предложили специальную координатную сетку поправок, для описания модели ионосферных задержек (см. рис 3.3.). Поверхность Земли поделена на 9 зон, каждая из которых содержит 201 точку (последняя - 200). Для каждой точки, с учетом данных базовых станций, моделируется и вычисляется значение ионосферной задержки.

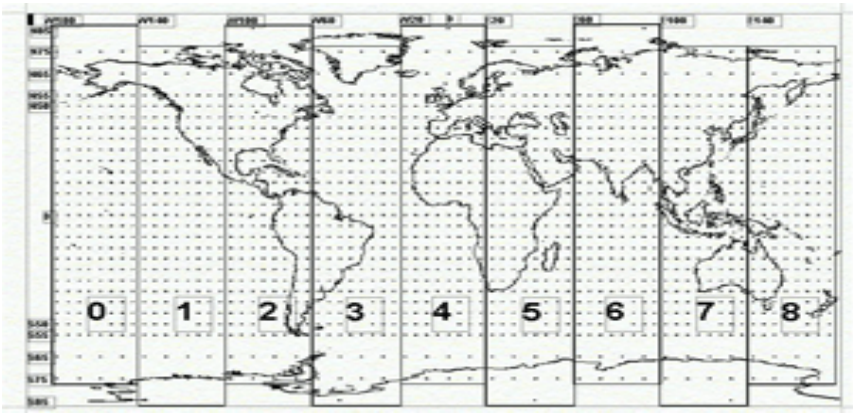

Рисунок 2.3 – Координатная сетка поправок

Любой из геостационарных спутников SBAS (системы WAAS, EGNOS и т.д) покрывает ограниченную территории, соответственно он может передавать информацию только для 3-4 зон. Эти ограничения связано с территориальной принадлежностью систем и расположением сети базовых станций WAAS, определяющих точность моделирования поправок. Считается, что каждая станция эффективно «покрывает» окружающую территорию радиусом 400-500 км. Время передачи данных с базовых станций на геостационарные спутники WAAS составляет несколько секунд. В рабочем режиме, обновление данных связанных с ошибками часов и эфемерид осуществляется с периодом 2 минуты. Данные ионосферные

задержек обновляются несколько реже, потому что изменяются во времени значительно медленнее. Для вычисления значение ионосферной ошибки в текущем местоположении GPS приемник использует данные 4-х соседних «узловых» точек. Если текущее местоположение находится в непосредственной близости от «узловой» точки, то дополнительные вычисление могут не понадобится.

Вторая немаловажная роль систем SBAS заключается в контроле целостности и работоспособности GPS спутников. Если по каким-то причинам, GPS спутник стал передавать неправильную информацию, либо ошибки навигационных измерений превышают допустимые значения, то ему должен быть присвоен статус «больной», чтобы исключить из алгоритмов вычисления позиции. Все GPS приемники используют информации о «здоровье» спутников из специальных полей альманаха и эфемерид, данные которых корректируются с управляющих наземных GPS станций раз в несколько часов. Соответственно, наземный сегмент системы GPS не может оперативно отреагировать на проблемы в работы спутников, и донести эту информацию до пользователей. Вспомогательная система WAAS может передать эти данные в течении нескольких минут.

Навигационные приемники идентифицирую геостационарные спутники WAAS по номерам, значение которых больше 32. Номера с 1 по 32 строго закреплены за спутниками GPS и привязаны к псевдошумовому коду (PRN)

Ниже приведена таблица соответствий между названием спутника, его номером и идентификационным номером, который используется в приемниках «Garmin». Координаты каждого спутника определены только значением долготы, так как широта экватора соответствует 0 градусов.

Планируется, что через несколько лет общее количество геостационарных спутников всех SBAS систем может достигнуть 19-и.

Работоспособность EGNOS в России

Европейский аналог WAAS называется EGNOS. Система EGNOS включает 3 геостационарных спутника, принадлежащих двум компаниям Artemis и Inmarsat, каждая из которых имеет свою независимую сеть наземных станций.

На текущий момент система EGNOS функционирует в тестовом режиме, и это определяет нестабильность ее работы, несоответствие передаваемых данных заявленной спецификации и проблемы в использовании сигналов навигационной аппаратурой.

Все спутники EGNOS «видны» в Западной части России. Возвышение спутников в Москве 25-30 градусов. Фактически, спутники находятся не намного выше уровня горизонта. Поэтому в лесу и городах с плотной застройкой, сигнал со спутников EGNOS будет недоступен для приема навигационной аппаратуре. Чем восточнее находится пользователей, тем меньше становится угол, и соответственно, тем сложнее «увидеть» сигнал. Но, все же основная проблема заключается не в видимости спутников, а в отсутствии на территории России сети наземных станций для вычисления поправок. Более того, в России нет ни одной базовой станции. Поэтому в составе корректирующих сообщений EGNOS нет данных для «узловых» точек, относящихся к территории России. Исключение составляют западные приграничные территории, которые «захватываются» действием базовых станций, расположенных в Норвегии и Польше.

Точность позиционирования

В качестве экспериментального оборудования использовались две

двухчастотные OEM платы геодезического класса, производства «Trimble». Антенна была установлена на 17-и этажном здании, вдали от небоскребов и других высотных зданий, которые бы могли ограничить видимость геостационарных спутников. Приемники были подключенные к одной стационарной GPS антенне. Для проведения сравнительного анализа, на одном из них был отключен режим WAAS. Запись данных осуществлялась в течение 1,5 часов.

EGNOS (*European Geostationary Navigation Overlay Service*) — Европейская геостационарная служба навигационного покрытия. EGNOS предназначена для улучшение работы системы GPS на территории Европы и является аналогом американской системыWAAS. Зона действия EGNOS охватывает всю Европу, север Африки и небольшую Европейскую часть России. Также как и WAAS, система состоит из сети наземных станций, главной станции, которая аккумулирует информацию от GPS спутников, и геостационарных спутников EGNOS, через который эта информация транслируется на GPS-приемники, поддерживающие приём дифференцированных поправок.

Состав и работоспособность EGNOS

Система EGNOS включает в себя три геостационарных спутника, принадлежащих двум компаниям Artemis и Inmarsat, каждая из которых имеет свою независимую сеть наземных станций.

На текущий момент система EGNOS функционирует в тестовом режиме, и это определяет частичную нестабильность её работы, несоответствие передаваемых данных заявленной спецификации и проблемы в использовании сигналов навигационной аппаратурой. (Карта сети Egnos представлена на рисунке 2.4) Тем не менее, большинство времени система действительно выполняет свои функции для Европы.

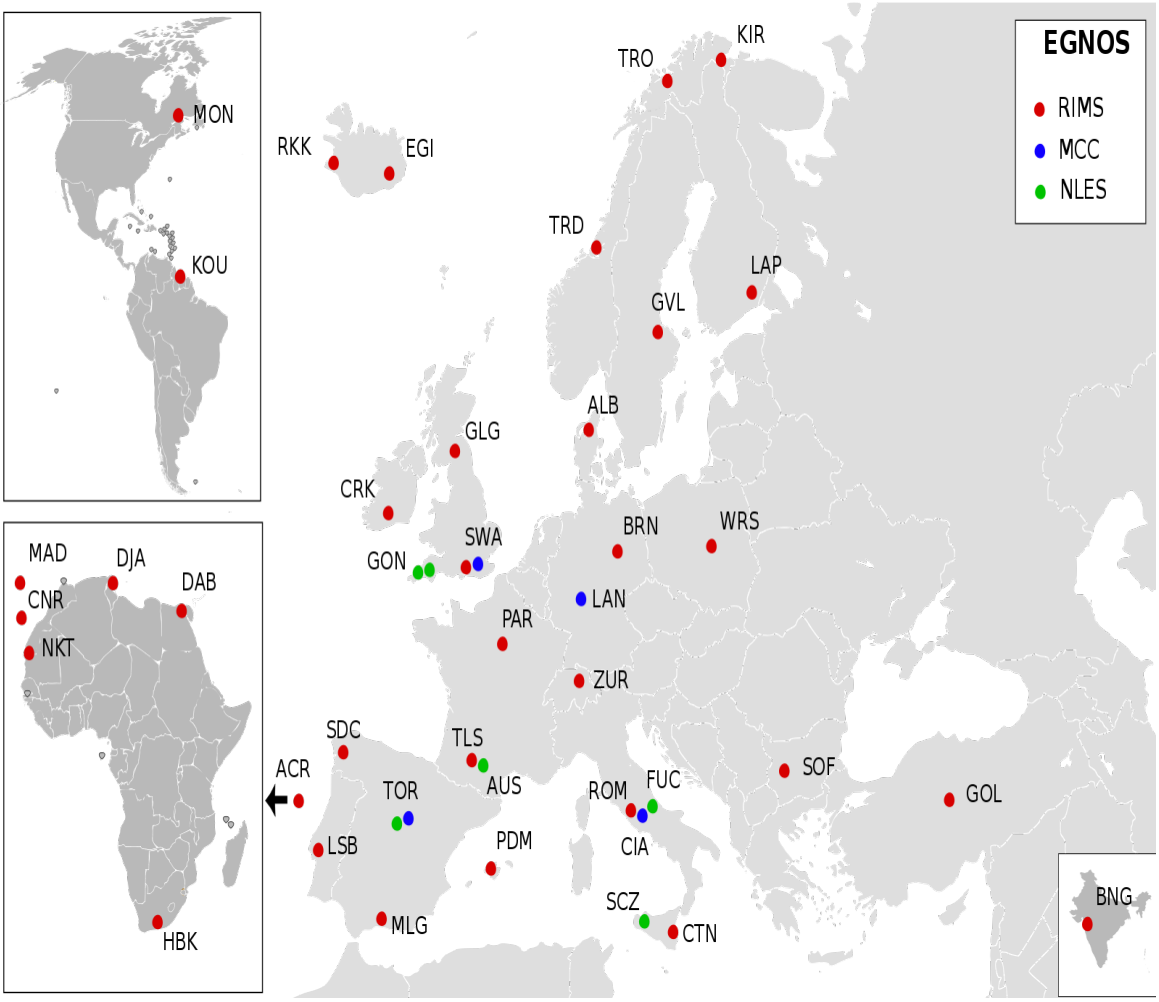

Рисунок 2.4 – Карта сети EGNOS

EGNOS и Россия

Система EGNOS пока не имеет наземных станций в России, что означает резкое снижение ее практической пользы. Еще одной проблемой является низкий угол возвышения спутников EGNOS над горизонтом. Фактически бытовыми приемниками невозможно захватить сигнал и использовать поправки на расстоянии далее 1000 км от западной границы России с Белоруссией (условно). Тем не менее, в таких областях, как Ленинградская, Псковская, Новгородская, Смоленская, Мурманская, Республика Карелия, практическая польза от использования EGNOS вполне возможна. Единственным приятным исключением является Калининградская область, где прием и использование EGNOS выполняется естественным образом.

EGNOS и Украина

На всей территории Украины (за исключением самых восточных областей) и Молдавии, прием сигналов спутников EGNOS возможен даже простыми бытовыми приемниками. Так как система EGNOS пока не имеет там наземных станций, практическая польза варьируется от большой (Карпаты) до никакой (Донецкая, Луганская области).

СДКМ

Система мониторинга целостности решает задачу оценки качества функционирования космических навигационных систем (КНС) ГЛОНАСС (РФ) и GPS (США).

Термин "мониторинг целостности" означает наблюдение за характеристиками системы и информирование потребителя о случаях аномального функционирования.

Система осуществляет два типа мониторинга:

- оперативный
- апостериорный

Оперативный мониторинг

Назначением оперативного мониторинга (ОМ) является скорейшее предупреждение потребителя о возникновении нарушений в функционировании КНС.

Задачами ОМ является:

•Оценивание в реальном времени погрешностей измерения псевдодальностей по навигационным космическим аппаратам (НКА) ГЛОНАСС и GPS.

• Информирование потребителей о величинах этих погрешностей.

Погрешности измерений по сигналам КНС содержат следующие

составляющие:

• погрешности вследствие влияния ионосферы;

• погрешности вследствие влияния тропосферы

• погрешности эфемерид НКА;

• погрешности частотно-временных параметров (ЧВП)НКА.

Задача ОМ:

оценка совокупного влияния погрешностей, вносимых наземным и космическим сегментами систем ГЛОНАСС и GPS., т.е. учёт влияния лишь погрешностей эфемерид и ЧВП.

Функции ОМ:

• Оценивание в реальном времени ошибок измерения псевдодальностей по НКА ГЛОНАСС и GPS

• Информирование потребителей о величинах этих ошибок.

Оценки ошибок измерения псевдодальностей формируются в дискретном виде (индекс "In"), обозначая предельное значение ошибки измерения. В таблице 2.1 описывается соответствие индекса величине оценки предельной ошибки измерения псевдодальности (e) в метрах.

Таблица 2.1 Соответствие индекса величине оценки предельной ошибки измерения псевдодальности (e).

ln	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
e[м]	2.4	3.4	4.85	6.85	9.65	12	15	20	30	50	100	200	500	1000	3000	>3000

Значения e, соответствующие индексу в диапазоне от 0 до 4 включительно, совпадают со значениями URA, передаваемыми в навигационном сообщении GPS. Это сделано для того, чтобы потребитель, приняв сообщение целостности и навигационное сообщение GPS, мог одинаково трактовать оценки погрешностей измерения псевдодальностей.

Значения е, соответствующие индексу в диапазоне от 5 до 15 включительно, выбраны из соображений удобства последующего анализа.

Апостериорный мониторинг

Назначением апостериорого мониторинга (АМ) является оценка различных характеристик, влияющих на качество навигационных определений при помощи КНС.

Задачами АМ является фиксирование ситуаций, когда НКА функционирует аномально, а также оценка следующих параметров:

- вертикальной задержки навигационных сигналов вследствие влияния ионосферы в диапазоне L1;
- вертикальной задержки навигационных сигналов вследствие влияния тропосферы;
- погрешностей бортовых эфемерид НКА ГЛОНАСС и GPS;
- погрешностей бортовых ЧВП НКА ГЛОНАСС и GPS
- различия шкал системного времени ГЛОНАСС и GPS.
- количества наблюдаемых НКА ГЛОНАСС и GPS;
- точности определения горизонтальных и вертикальных составляющих координат;
- точности определения горизонтальных и вертикальных составляющих скорости;

Аномальным считается такое функционирование НКА, когда суммарное влияние погрешностей эфемерид и ЧВП превышает допустимый предел.

Состав СДКМ

Система мониторинга целостности навигационных полей КНС состоит из следующих компонентов:

- Пункты мониторинга (ПМ).

- Центр глобального мониторинга (ЦГМ).
- Линии связи между ПМ и ЦГМ.

Распространение результатов оперативного мониторинга производится посредством технологий интернет.

Пункты мониторинга

Задачей пунктов мониторинга является сбор навигационной информации с НКА, измерения псевдодальностей НКА и выдача в опреративном режиме в ЦГМ.

Основным компонентом пункта мониторинга является станция сбора измерений (ССИ), в состав которой входит навигационный приемник ГЛОНАСС/GPS, обладающий способностью производить измерения по НКА ГЛОНАСС и GPS в диапазонах L1 и L2 по фазе кода и фазе несущей.

Центр глобального мониторинга

Центр глобального мониторинга (ЦГМ) расположен в г. Москва. Он включает:

- сектор сбора информации
- сектор анализа навигационной и измерительной информации
- сектор аппаратно-программного обеспечения

На ЦГМ ложится самая большая нагрузка в рамках системы мониторинга, поскольку его задачами является:

- сбор информации от пунктов мониторинга
- реализация функции ОМ
- реализация функции АМ
- поддержание баз данных с результатами мониторинга
- обслуживание потребителей

Линии связи между ПМ и ЦГМ

Линии связи между ПМ и ЦГМ основаны на существующих каналах Интернет и организованы по принципу VPN (Virtual Private Network)

Вывод

В заключении второй главы можно сделать вывод, что с помощью сети наземных ГНСС станций можно определить состояние атмосферы в режиме реального времени над большими территориями.

3 Сетевая технология распространения корректирующей информации (NTRIP-технология)

Обмен данными RTCM через компьютерные сети с помощью Интернет-протокола (Networked Transport of RTCM via Internet Protocol, NTRIP) является протоколом уровня приложения, который поддерживает обмен данными глобальной навигационной спутниковой системы (ГНСС) через Интернет. NTRIP является универсальным протоколом, основанным на протоколе передачи гипертекста (Hypertext Transfer Protocol, HTTP/1.1). Объекты HTTP используются для обмена ГНСС данными.

NTRIP рассчитан на передачу данных дифференциальной коррекции или других ГНСС данных стационарным или подвижным пользователям через Интернет и позволяет одновременно принимать данные от сервера с помощью PC, Laptop, PDA или ГНСС-приемника. NTRIP поддерживает доступ через беспроводной Интернет с помощью сетей мобильной связи GSM (GPRS, EDGE) или UMTS.

NTRIP содержит три программных компонента: NTRIP-клиенты, NTRIP-серверы и NTRIP-маршрутизатор. NTRIP-маршрутизатор на самом деле является программой HTTP-сервером, в то время как NTRIP-клиент и NTRIP-сервер являются HTTP-клиентами. NTRIP является открытым некоммерческим протоколом. Основные характеристики обмена данными NTRIP следующие:

- Протокол основан на популярном стандарте обмена HTTP. Сравнительно просто применение протокола в случае ограниченных технических ресурсов клиентов и серверов.
- Применение протокола не ограничено одним фиксированным назначением или содержимым и имеется возможность распространять любые ГНСС данные.

- Потенциально возможна поддержка массового использования. Протокол может распространять сотни потоков данных одновременно тысячам пользователей с применением модифицированного программного обеспечения для распространения данных по радиоканалу.
- Рассматривая вопросы безопасности, можно сказать, что провайдеры данных и пользователи не обязательно должны подключаться прямым соединением, поскольку NTRIP данные обычно не блокируются сетевыми экранами или Proxy-серверами, защищающими локальные сети.
- Возможен обмен данными через любые беспроводные IP сети, поскольку используется протокол TCP/IP.

В дипломной работе рассматривается NTRIP версии 1.0.

Со времени отмены режима снижения точности GPS сигналов, называвшегося селективным доступом, отдельные GPS приемники обычно имеют ошибки определения местоположения 10-15 метров и эти ошибки носят случайный характер. Хотя такая точность вполне достаточна для широкого круга приложений, однако существуют другие приложения, где требуется метровая или даже сантиметровая точность. Для таких высокоточных приложений с успехом может быть применена дифференциальная глобальная навигационная система (ДГНСС). ДГНСС улучшает точность определения местоположения, скорости и времени за счет предоставления данных измерений или корректирующей информации от одной или нескольких референцных станций для подвижных пользователей. Координаты каждой референцной станции известны с высокой точностью, так что данные измерений станцией служат для калибровки данных расположенных рядом приемников, поскольку основными источниками ошибок являются эфемериды спутников, часы, тропосферные и ионосферные ошибки. Точность ДГНСС уменьшается с увеличением расстояния между приемникам пользователя и референцной станцией, поэтому для некоторых приложений требуется информация сразу с нескольких референцных станций.

ДГНСС может использовать дифференциальные поправки для любой ГНСС (GPS, ГЛОНАСС, Galileo) для достижения метровой точности, при этом также возможно использование кинематической информации в режиме реального времени (Real Time Kinematic, RTK) для достижения дециметровой или сантиметровой точности. ДГНСС данные необходимо обновлять каждые несколько секунд для учета изменяющихся атмосферных условий.

RTCM-104 стандарты ДГНСС используются во всем мире. Многие популярные ГНСС-приемники принимают сообщения дифференциальной коррекции RTCM-104 и многие RTK приемники специального назначения используют RTK сообщения. Стандарты RTCM SC-104 определяют сообщения, которые содержат информацию о референцной станции и системные данные. Эти сообщения обычно передаются по радиоканалу и принимаются подвижными пользователями, которые используют информацию из сообщений для достижения высокоточных вычислений. Данные могут передаваться с помощью различных коммуникационных каналов, например, через радиоканал (НЧ, СЧ, ВЧ, УВЧ) или через сети сотовой связи, используя при этом различные коммуникационные протоколы.

Появление и внедрение беспроводного Интернет открывает потенциальные возможности распространения этих сообщений через Интернет. Данный документ определяет стандарт для протокола, основанного на HTTP для распространения ДГНСС данных (или других ГНСС данных) стационарным или подвижным приемникам через Интернет. Протокол предполагает одновременное подключение персональных компьютеров, ноутбуков, PDA или приемников к маршрутизатору, через сети GSM (GPRS, EDGE) или UMTS. Протокол разработан в результате

исследования технических возможностей передачи дифференциальных GPS поправок в режиме реального времени [1]. Поскольку непосредственно сами приложения распространяют сообщения RTCM SC-104, то система в целом представляет собой транспортный протокол, который будет здесь упоминаться как NTRIP протокол.

Основной поток данных передается по протоколу TCP/IP. Несколько проведенных опытов, основанных на простом преобразовании последовательных потока данных в TCP на стороне сервера и обратном преобразовании TCP в последовательный поток данных на стороне клиента показали возможность применения протокола TCP/IP для передачи потоков данных подвижным IP клиентам [2].

Концепция системы

Протокол HTTP разработан, как протокол уровня приложения для распространенных коллективных мультимедийных информационных систем, но он также может быть использован для последовательной передачи информации. HTTP первоначально использовался для обмена большим количеством информации, где каждый объект имеет ясно определенное начало и конец. Хотя протокол широко используется для потоковых приложений по IP-протоколу, включая и RTCM приложения, но он не разрабатывался для таких целей. Основная единица обмена информацией по протоколу HTTP, состоящая из определенной последовательности байт, определена в протоколе и передается через TCP/IP соединение. Клиент и сервер должны поддерживать HTTP запросы и должен отвечать сообщениями в виде HTTP ответов.

Протокол NTRIP, который использует HTTP, реализуется с помощью трех программ: NTRIP-клиент, NTRIP-сервер и NTRIP-маршрутизатор, где

NTRIP-маршрутизатор является на самом деле HTTP-сервером. NTRIP-клиент и NTRIP-сервер выступают в качестве программ HTTP-клиентов.

Формат сообщений и коды статусов при обмене информацией между NTRIP-клиентом и NTRIP-маршрутизатором основаны на протоколе HTTP 1.1 [3], где NTRIP использует только временные соединения. Обмен информацией между NTRIP-сервером и NTRIP-маршрутизатором отличается от протокола HTTP новым форматом сообщений, который называется "SOURCE" и новым кодом статуса, называемым "ERROR - Bad Password".

Потеря TCP соединения между компонентами системы (NTRIP-клиент, NTRIP-сервер и NTRIP-маршрутизатор) будет автоматически определена TCP-сокетами. Этот эффект может быть использован для генерации программных событий, таких как автоматическое восстановление соединения. Такая система NTRIP (см. рисунок 3.1) состоит из следующих элементов:

• NTRIP-источники, которые создают потоки данных,

• NTRIP-серверы, которые передают потоки данных от источника к NTRIP-маршрутизатору,

• NTRIP-маршрутизатор, главный компонент системы,

• NTRIP-клиенты, которые получают потоки данных от требуемого NTRIP-источника на NTRIP-маршрутизаторе.

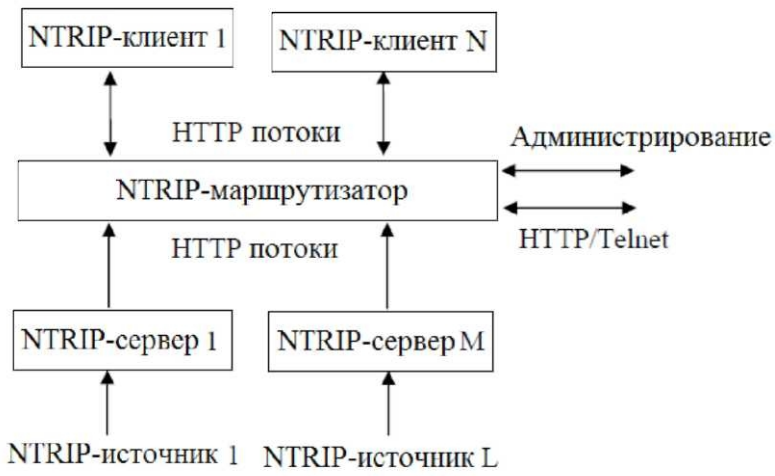

Рисунок 3.1 - Система обмена данными NTRIP

NTRIP-серверы для каждого NTRIP-источника предоставляют идентификатор, называемый "точка монтирования". Несколько NTRIP-клиентов могут одновременно получить доступ к данным требуемого NTRIP-источника путем указания точки монтирования на NTRIP-маршрутизаторе. Если предусмотрено в программе NTRIP-маршрутизатора, авторизоавнный администратор может удаленно управлять NTRIP-маршрутизатором через защищенную паролем сессию telnet или получать информацию о статусе через защищенную паролем HTTP сессию с помощью браузера.

Администратор, запускающий NTRIP-маршрутизатор, отвечает за разрешение новым NTRIP-серверам соединяться с новыми NTRIP-источникам. Администратор объединяет все доступные NTRIP-источники и определяет всем источникам идентификаторы (точки монтирования).

NTRIP-клиенты должны иметь возможность выбрать NTRIP-источник по его точке монтирования на NTRIP-маршрутизаторе. Таким образом, таблица источников храниться на NTRIP-маршрутизаторе. Каждая запись таблицы источников содержит параметры, описывающие атрибуты потока

данных, сеть потоков данных или NTRIP-маршрутизатор. Атрибуты потока (идентификатор, координаты, формат, навигационная система, точка монтирования и др.) определяются на стороне NTRIP-сервера для каждого NTRIP-источника.

Если NTRIP-клиент запрашивает неверное значение точки монтирования или вообще ее не указывает (не существует или не доступна для данного клиента), то NTRIP-маршрутизатор в ответ отправит таблицу источников в виде объекта HTTP вместо потока ГНСС данных. Затем NTRIP-клиент по полученной таблице доступных источников сможет соединиться с потоком ГНСС данных на NTRIP-маршрутизаторе.

Система NTRIP зависит от непосредственного общения между администраторами NTRIP-маршрутизаторов и NTRIP-серверами (например, через электронную почту). Они должны указать параметры, характеризующие NTRIP-источник/точка монтирования в таблице источников.

Комитет RTCM SC-104 предупреждает, что в соответствии с данным документом, использование HTTP для протокола NTRIP отличается от стандарта HTTP. Описанный протокол использует предположение, что поддерживаются IP потоки, подобно методам, используемым в интернет радио и видеоконференциях. Предполагаемые потребители RTCM информации являются подвижными пользователями беспроводных сетей, которые не используют proxy-серверы. Хотя описанный протокол работает со многими proxy-серверами, но все же следует по возможности избегать их использования.

Элементы системы

Референцная станция в базовой конфигурации состоит из ГНСС приемника, расположенного в пункте с хорошо известными координатами. Поскольку эти стационарные ГНСС приемники имеют информацию о местоположении спутников в пространстве в каждый момент времени, а также о своем собственном местоположении, то приемник может вычислить теоретическое расстояние и время распространения сигнала между приемником и каждым спутником. Когда эти теоретические значения сравниваются с данными наблюдений, то различия представляют собой ошибки в принимаемых сигналах. Корректирующая информация RTCM получается из этих различий. Главной задачей элементов системы NTRIP является предоставление этой корректирующей информации в режиме реального времени подвижным пользователям, хотя NTRIP может быть также использован и для передачи других ГНСС данных (таких как RTK) с помощью элементов системы: NTRIP-север, NTRIP-маршрутизатор и NTRIP-клиент.

NTRIP-источник

NTRIP-источники предоставляют непрерывный поток ГНСС данных (например, корректирующая информация RTCM-104). Один источник предоставляет ГНСС данные, относящиеся к определенному местоположению. Параметры, описывающие источник указываются в таблице источников и определяют используемый формат (например, RTCM 2.0, RTCM 2.1, "сырые" данные), используемые навигационные системы (например, GPS, GPS+ГЛОНАСС), координаты местоположения и другую информацию. Внимание: Для каждого NTRIP-источника необходима уникальная точка монтирования на NTRIP-маршрутизаторе.

NTRIP-сервер

NTRIP-сервер используется для передачи ГНСС данных с NTRIP-источника к NTRIP-маршрутизатору. Перед передачей ГНСС данных на NTRIP-маршрутизатор с использованием TCP/IP соединения, NTRIP-сервер отправляет закрепленное за ним название точки монтирования.

Пароли серверов и точки монтирования должны быть заданы администратором NTRIP-маршрутизатора и сообщены администраторам соответствующих NTRIP-серверов. NTRIP-сервер в простейшем случае, это компьютерная программа на персональном компьютере, которая отправляет корректирующую информацию с NTRIP-источника (например, принимаемую через последовательный порт компьютера от ГНСС приемника) на NTRIP-маршрутизатор.

NTRIP протокол может быть использован для передачи данных RTCM виртуальных референцных станций (ВРС). Корректирующая информация RTCM получается для виртуальной точки, соответствующей примерному местоположению пользователя, на основании данных с некоторого количества референцных станций. Данные для этой виртуальной референцной станций как бы представляют собой один NTRIP-источник, который передается NTRIP-сервером.

NTRIP-маршрутизатор

NTRIP-маршрутизатор обычно представляет собой HTTP-сервер, поддерживающий некоторые HTTP запросы/ответы и приспособленный для низкоскоростных потоков данных (каждый поток от 50 до 500 байт/с). NTRIP-маршрутизатор принимает сообщения запросов на один порт и от NTRIP-сервера и от NTRIP-клиента. В зависимости от получаемых сообщений NTRIP-маршрутизатор определяет принимать или передавать данные.

NTRIP-сервер может быть частью программы NTRIP-маршрутизатора. В этом случае, должна быть предусмотрена возможность приема сообщений NTRIP-клиента в комбинированном NTRIP-маршрутизаторе/NTRIP-сервере. Встроенная функция удаленного администрирования по HTTP является дополнительной.

NTRIP-клиент

NTRIP-клиенту будет разрешен доступ и начнется прием данных от NTRIP-маршрутизатора, если NTRIP-клиент отправляет правильное сообщение запроса (TCP соединение к указанному IP-адресу и порту NTRIP-маршрутизатора). Формат сообщений и коды статуса при обмене данными между NTRIP-клиентом и NTRIP-маршрутизатором полностью совместимы с протоколом HTTP 1.1, при этом протокол NTRIP использует только временные соединения.

Вывод

В заключение третьей главы можно сделать вывод, что ранее разработанная сетевая технология NTRIP, предназначенная для передачи корректирующей информации может быть использована для целей оперативного сбора метеоинформации в режиме реального времени.

4 Оценка технических возможностей сетей базовых станций для дистанционного зондирования атмосферы.

Настройка Ntrip-сервера

NtripServer переводит поток данных в режиме реального времени с NtripSource к NtripCaster. Он действует как HTTP клиент.

NtripServer

NtripServer (Windows 98/NT/2000/XP) предназначен для сервера одного NtripSource. NtripServer собирает серийный GNSS поток данных (COM-порт) с GNSS приемника на станцию и направляет его через Интернет TCP соединение к NtripCaster. Окно программы показано на рис. 4.1.

Рисунок 4.1 – NTRIP сервер.

Оператор NtripServer должен установить все соответствующие параметры до начала передачи данных. В программе есть настройки com порта ГНСС приемника и настройки для вывода данных в направлении NtripCaster (см. рис. 4.2). Обратите внимание, что рекомендуется использовать высокую скорость передачи (например, 19200) при поддержке аппаратного и программного обеспечения. Пароль сервера и точка монтирования представлены администратором в NtripCaster.

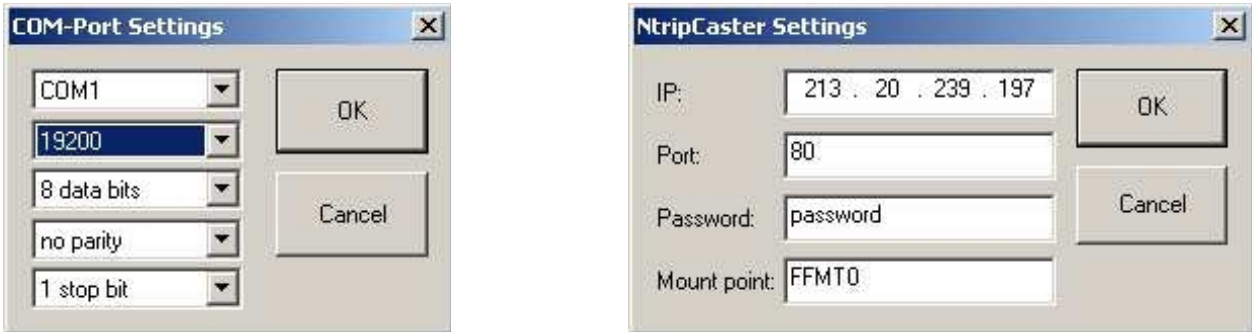

Рисунок 4.2 – Настройки com порта и данных для NtripCaster

Программа автоматически распознает неисправности (например, NtripCaster не работает), и может быть настроен, как показано на рис. 4.3, на автоматическое восстановление потерянного NtripCaster.

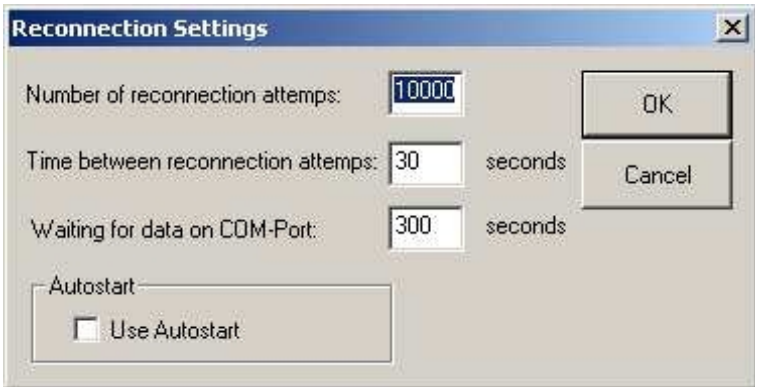

Рисунок 4.3– окно настроек восстановления соединения

NtripClient

NtripClients доступа потоки данных от желаемого NtripSources на NtripCaster. Они действуют как HTTP клиентских программ.

GNSS Интернет-радио (Windows Desktop)

В "GNSS Интернет радио" это NtripClient для Microsoft Windows 98/2000/NT/XP. Программа обрабатывает HTTP сообщение получать потоки из NtripCaster. После выбора NtripCaster, загрузки sourcetable, создания параметров сессии и нажатия кнопки Пуск, программное обеспечение подключается к NtripCaster и записывает полученные GNSS поток данных, например в последовательный порт или IP порт до тех пор, пока сессия не прекратились. Поток принятых данных и общая сумма полученных байт отображается пока сессия продолжается.

Обработка инструкций, а также Сообщения об ошибках отображается в нижней части вверху окна. В верхнем окне показано на рис. 4.4. Программа хранит файл (GNSS.ini) с параметрами последней сессии (IP / порт, имя пользователя, пароль, COM-порт и т.д.).

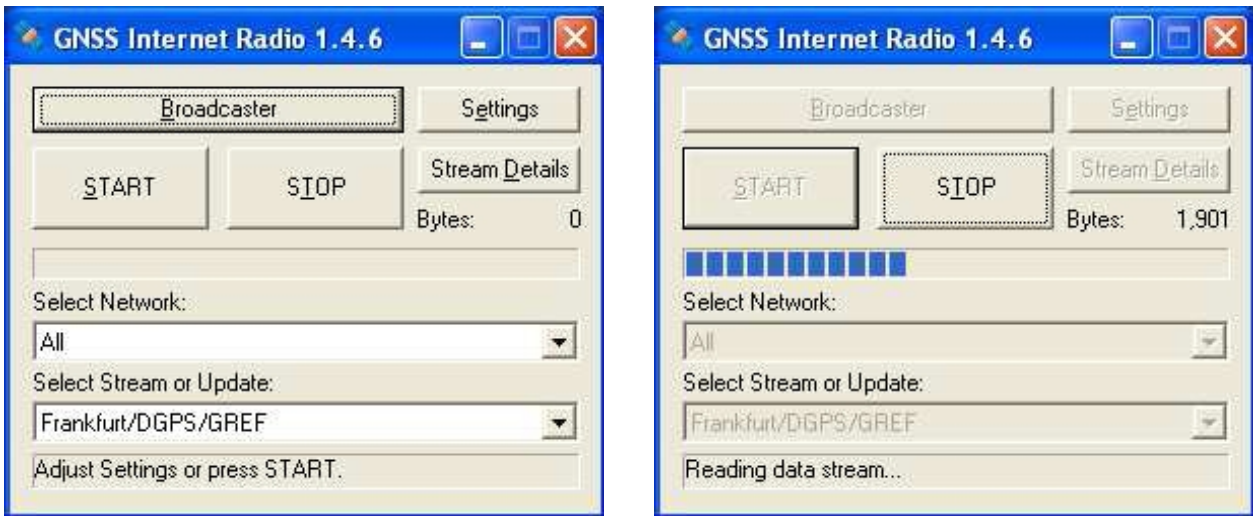

Рис. 4.4 – GNSSInternetRadio

Основные настройки: IP и порт, детали, ID пользователя и пароль (см. рис. 4.5).

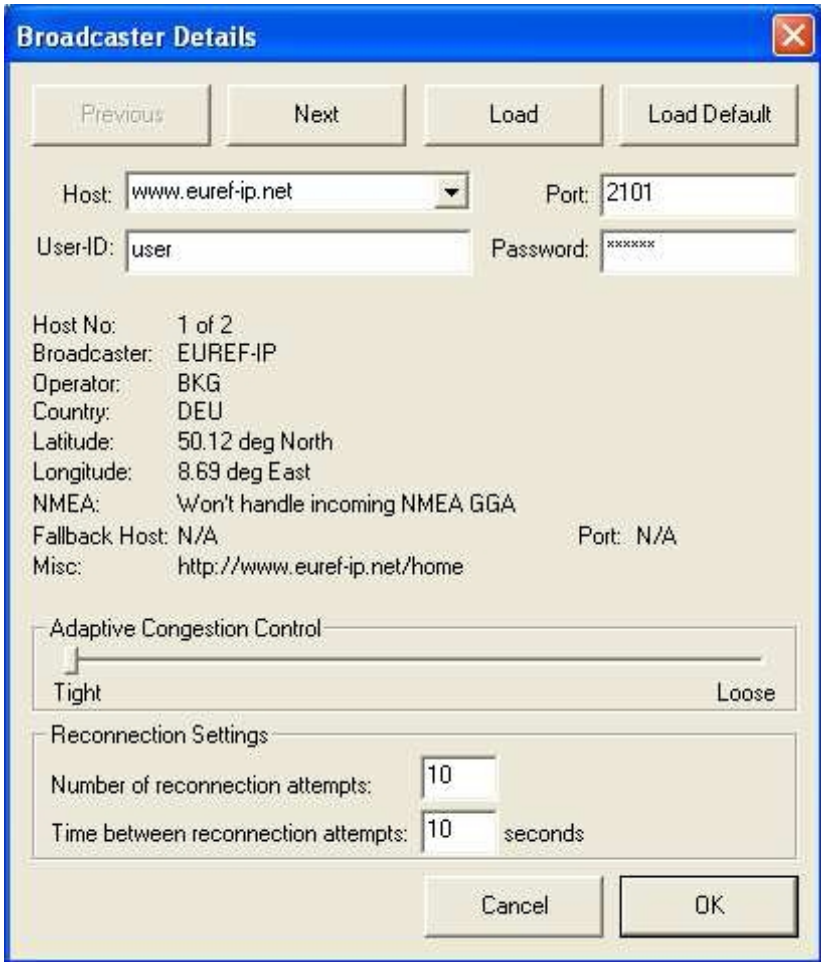

Рисунок 4.5 – окно настроек передатчика

На рисунке 4.6 окно настроек вывода данных, com порт, tcp/ip output и файл.

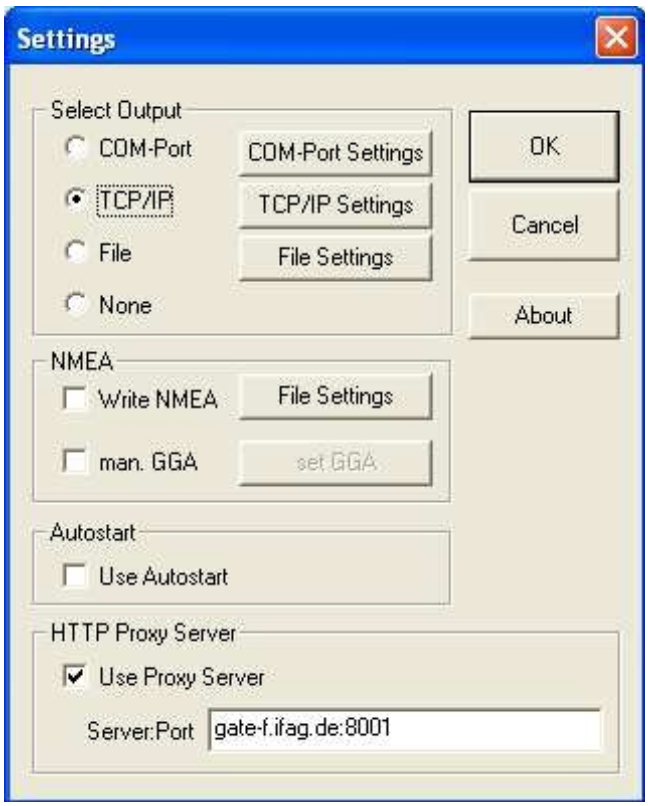

Рис. 4.6 – настройки вывода данных

NtripCaster

В NtripCaster (Linux) получает потоки данных от Ntrip-сервера сгенерированные NtripSources. В NtripCaster администратор отвечает за монтирование NtripSources, пароли, права доступа NtripClient, биллинг, статистику и т.д. NtripCaster основан на Icecast и программном обеспечении, разработанном в рамках GNU General Public Лицензии. Цель состоит в том, чтобы дублировать до нескольких сотен разных источников до тысячи и более одновременно подключенным клиентам.

Сеть соединения между источником, Icecast и клиентами основываются на HTTP / TCP / IP. В Icecast Сервер был первоначально разработан для потока

MP3-кодированных данных со скоростями от 32 кбит / с до 128кбит / с.

NtripCaster является переделанным Icecast который поддерживает распространение GNSS данных (GPS, ГЛОНАСС, EGNOS, WAAS и т.д.) со скоростью 0,5 до 5 Кбит / с , передающим RTCM поправки, ДГНСС, RTCM поправки, RTK, RTCA корректировки, EGNOS и WAAS, RAW Receiver data SP3 ultra-rapid orbits, RINEX observations.

NtripCaster не изменяет данные. Разработаны две версии программы, стандартная и профессиональная. Стандартная версия была протестирована с ограниченным числом источников и одновременно подключены клиентов. Профессиональная версия предназначена для массового использования и обрабатывает несколько сотен источников и несколько тысяч клиентов, одновременно подключенных клиентов.

Таблица 4.1 – Полосы пропускания каналов связи

Число ГНСС станций	Полоса пропускания, Мбит/с
1	0,0055
10	0,055
20	0,11
50	0,275
100	0,55
500	2,75
1000	5,5
3500	19,25

Таблица 4.2 – Пропускная способность различных типов сетей

Тип сети	Средняя скорость передачи данных, Мбит/с	Максимальное число ГНСС станций
3G	2	363
WiFi	32	5818
WiMax	10	1818
Витая пара	60	10909

Результаты исследований [6] показали, что на основе измерений задержек навигационных радиосигналов в тропосфере с помощью наземных ГНСС-станций оказывается возможным определение интегрального содержания водяного пара в вертикальном столбе атмосферы с точностью до 1.5 кг/м^2, для чего необходимо осуществлять регистрацию сигналов навигационных спутников, находящихся под углами места выше 20 градусов над горизонтом. Для построения системы дистанционного зондирования атмосферы, работающей в режиме реального времени может быть с успехом применена сетевая технология NTRIP, первоначально разработанная для передачи корректирующей информации пользователям ГНСС. В состав каждой ГНСС-станции должны входить: антенна, приемное устройство, NTRIP-сервер и метеостанция, необходимая

для измерения приземных значений температуры воздуха, атмосферного давления, и парциального давления водяного пара в точке размещения ГНСС-станции. Оперативность данного метода, полная автоматизация и отсутствие расходных материалов при осуществлении дистанционного зондирования открывают возможности к широкому внедрению данной

технологии в практику оперативного мониторинга содержания водяного пара в атмосфере. К достоинствам данного метода можно также отнести "всепогодность" (независимость от наличия облаков), которая выгодно отличает его от методов, основанных на регистрации собственного электромагнитного излучения атмосферы. Научная новизна результатов исследования заключается в разработке методической основы технологии и требований к построению системы дистанционного мониторинга атмосферы на основе имеющихся и создающихся сетей базовых станций дифференциальной подсистемы ГНСС. Так, например, для получения информации об интегральном содержании водяного пара над территорией России с точностью 2.5 кг/м^2 необходима сеть из 3500 базовых ГНСС-станций. Результаты реализации предлагаемой технологии могут использоваться как для осуществления оперативного мониторинга содержания водяного пара для целей анализа и прогноза погоды, так и для повышения точности определения координат пользователей дифференциальной подсистемы ГНСС за счет более точного определения тропосферных задержек навигационных радиосигналов.

Вывод

Для реализации системы сбора данных дистанционного зондирования в режиме реального времени имеется все необходимое программное обеспечение (NTRIP-сервер, маршрутизатор и клиент). Оценена пропускная способность различных каналов связи и выявлено, что для сбора метеорологической информации со всей территории России необходим канал пропускной способностью более 20 Мбит/с. Результаты проведенных нами экспериментов показали, что один современный маршрутизатор выдерживает нагрузку в 970 соединений и для обслуживания территории всей России необходимо не менее четырех маршрутизаторов.

Заключение

В ходе работы над дипломным проектом были получены следующие результаты:

1) использование радиосигналов излучаемых спутниками ГНСС может быть использовано для решения задач дистанционного зондирования атмосферы;

2) с помощью сети наземных ГНСС станций можно определить состояние атмосферы в режиме реального времени над большими территориями;

3) сетевая технология NTRIP, предназначенная для передачи корректирующей информации может быть использована для целей оперативного сбора метеоинформации в режиме реального времени

4) для получения информации об интегральном содержании водяного пара над территорией России с точностью 2.5 кг/$м^2$ необходима сеть из 3500 базовых ГНСС-станций;

5) показано, что для реализации системы сбора данных дистанционного зондирования в режиме реального времени имеется все необходимое программное обеспечение (NTRIP-сервер, маршрутизатор и клиент);

6) оценена пропускная способность различных каналов связи и выявлено, что для сбора метеорологической информации со всей территории России необходим канал пропускной способностью более 20 Мбит/с;

7) Результаты проведенных нами экспериментов показали, что один современный маршрутизатор выдерживает нагрузку в 970 соединений

и для обслуживания территории всей России необходимо не менее четырех маршрутизаторов.

Результаты реализации предлагаемой технологии могут использоваться как для осуществления оперативного мониторинга содержания водяного пара для целей анализа и прогноза погоды, так и для повышения точности определения координат пользователей дифференциальной подсистемы ГНСС за счет более точного определения тропосферных задержек навигационных радиосигналов.

Дальнейшие исследования могут быть направлены на создание новых программных средств маршрутизации потоков данных, что позволит создать единую сеть сбора результатов дистанционного зондирования атмосферы в режиме реального времени.

Список использованных источников

1 Яценков, В.С. Основы спутниковой навигации. Системы GPSNAVSTAR и глонасс [Текст] / В.С. Яценков.– М.:Горячая линия – телеком, 2005.–271 с.

2 WAAS – глобальная система дифференциальных поправок. Система EGNOS в России // GPS portal [Электронный ресурс].–М., 2009.–Режим доступа: http://www.gpsportal.ru/articles_info/?nid=683e61d16e8514f92b95c72ddc11be0d

3 Networked Transport of RTCM via Internet Protocol [Elektronic resource] / Federal Agency for Cartography and Geodesy.– Frankfurt am Main | Germany, 2009.–Point of access: http://igs.bkg.bund.de/root_ftp/NTRIP/documentation/NtripDocumentation.pdf

4 Система дифференциальной коррекции и мониторинга [Электронный ресурс] / НИИ РКП, 2009.–Режим доступа: http://www.sdcm.ru/smglo/staticpages?version=rus&site=extern&title=about

5 Example Implementation [Elektronic resource] / Federal Agency for Cartography and Geodesy.– Frankfurt am Main | Germany, 2009.–Point of access: http://igs.bkg.bund.de/index_ntrip.htm

6 Чукин В.В. Технология дистанционного зондирования атмосферы с помощью сети наземных приемных станций сигналов глобальных навигационных спутниковых систем [Текст] / Чукин В.В. // Современные наукоемкие технологии. – 2008. – № 11. – С.54.