Федеральное государственное бюджетное образовательное

учреждение высшего образования

«Национальный исследовательский университет «МЭИ»

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Институт: | *ИРЭ* | Кафедра: | *Радиотехнических систем* |
| Специальность: | | *11.05.01 Радиоэлектронные системы и комплексы* | |

**ОТЧЕТ по практике**

|  |  |
| --- | --- |
| **Наименование практики:** | Производственная практика: научно-исследовательская работа |

**СТУДЕНТ**



|  |  |
| --- | --- |
|  | / Тасканов В.Е. / |
| *(подпись )* | (*Фамилия и инициалы*) |

|  |  |
| --- | --- |
| Группа | ЭР-15-16 |
|  | *(номер учебной группы)* |

**ПРОМЕЖУТОЧНАЯ АТТЕСТАЦИЯ ПО ПРАКТИКЕ**

|  |
| --- |
|  |
| *(отлично, хорошо, удовлетворительно, неудовлетворительно, зачтено, не зачтено)* |

|  |  |
| --- | --- |
|  | / Шатилов А.Ю. / |
| *(подпись )* | (*Фамилия и инициалы члена комиссии*) |

|  |  |
| --- | --- |
|  | / Корогодин И.В. / |
| *(подпись )* | (*Фамилия и инициалы члена комиссии*) |

**Москва**

**2021**

СПИСОК ИСПОЛНИТЕЛЕЙ

студент Тасканов В.Е.

Содержание

[1 КРАТКИЙ ОБЗОР 4-Х ГНСС СИСТЕМ 6](#_Toc88741836)

[1.1 ОПИСАНИЕ ГНСС ГЛОНАСС 8](#_Toc88741837)

[1.2 ОПИСАНИЕ ГНСС GPS 9](#_Toc88741838)

[1.3 ОПИСАНИЕ ГНСС GALILEO 11](#_Toc88741839)

[1.4 ОПИСАНИЕ ГНСС BEIODU 13](#_Toc88741840)

[2 ОПРЕДЕЛЕНИЯ ДАЛЬНОСТИ ОТ ПОТРЕБИТЕЛЯ ДО СПУТНИКА ИЛИ КООРДИНАТ ПОТРЕБИТЕЛЯ 15](#_Toc88741841)

[2.1 ПСЕВДОДАЛЬНОМЕРНЫЙ МЕТОД 15](#_Toc88741842)

[2.2 ИСТОЧНИКИ ОШИБОК, ВЛИЯЮЩИХ НА ТОЧНОСТЬ НАВИГАЦИОННО-ВРЕМЕННЫХ ОПРЕДЕЛЕНИЙ 17](#_Toc88741843)

[2.3 ОЦЕНКА КООРДИНАТ ПОТРЕБИТЕЛЯ С УЧЕТОМ ОШИБОК SISRE 19](#_Toc88741844)

[3 ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ НАХОЖДЕНИЯ ОЦЕНКИ КООРДИНАТЫ ПОТРЕБИТЕЛЯ С УЧЕТОМ ОШИБОК SISRE 20](#_Toc88741845)

[4 РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ НАХОЖДЕНИЯ ОЦЕНКИ КООРДИНАТЫ ПОТРЕБИТЕЛЯ С УЧЕТОМ ОШИБОК SISRE 21](#_Toc88741846)

[5 АЛГОРИТМЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ КООРДИНАТ 22](#_Toc88741847)

[5.1 АЛГОРИТМ ДЛЯ GPS 22](#_Toc88741848)

[5.2 АЛГОРИТМ РАСЧЕТА КООРДИНАТ ГЛОНАСС 24](#_Toc88741849)

[5.3 АЛГОРИТМ РАСЧЕТА КООРДИНАТ GALILEO 27](#_Toc88741850)

[6 РЕАЛИЗАЦИЯ НОВЫХ АЛГОРИТМОВ 30](#_Toc88741851)

[7 ПОСТРОЕНИЯ ГРАФИКОВ СО СЛУЧАЙНО ЗАДАННЫМИ КООРДИНАТАМИ И ВРЕМЕНЕМ 31](#_Toc88741852)

[СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ 37](#_Toc88741853)

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время спутниковые радионавигационные системы (СРНС) являются самыми точными по определению пространственно-временных характеристик потребителя, благодаря чему они широко используется как в гражданских, так и военных целях. На данный момент имеется четыре крупных СРНС: ГЛОНАСС, GPS, Galileo, Beidou, все они различаются своим расположением на орбите, количеством выведенных спутников и другими значимыми элементами.

Многие задаются вопросами какая из этих систем все-таки точнее, но дальше экспериментальных значениях, с помощью обычных приложений сравнения обычно не происходят, для этого мы разработает ПО и алгоритм к нему, для произведения оценки предсказания точности в определенное время и в определенное место, а потом сравним полученные результаты

**Цель работы** – произвести разработку алгоритма предсказания точности навигационного приемника по широте, долготе и высоте для четырёх СРНС и произвести статистическое сравнение по точности в плане и по высоте, даваемой систем ГЛОНАСС, GPS, Galileo, Beidou.

Для достижения данной цели были выполнены следующие **задачи**:

1. Обзор 4-х ГНСС систем

2. Разработка алгоритма предсказания точности навигационного приемника по широте, долготе и высоте при работе по системам ГЛОНАСС или GPS

3. Разработка алгоритма предсказания точности навигационного приемника по широте, долготе и высоте при работе по системе Galileo

4. Разработка алгоритма предсказания точности навигационного приемника по широте, долготе и высоте при работе по системе Beidou

5. Проведение статистического эксперимента по сравнению точности в плане и по высоте, даваемой системами ГЛОНАСС, GPS, Galileo, Beidou.

1. КРАТКИЙ ОБЗОР 4-Х ГНСС СИСТЕМ

Для решения навигационных уравнений методом МНК, и соответственно, определения координат, требуется как минимум 4 видимых спутника.

Алгоритм итогового определения и решений уравнений во всех системах схож, но системы отличаются техническими характеристиками и орбитальными группировками, которые влияют на зону покрытия, а так же на точность определения координат, которая вытекает через определения геометрического фактора.

Так же следует учесть, что во всех 4-ех системах разная геоцентрическая система координат, но они примерно одинаковые и дают различия с точностью 2-3 см.

Все навигационные сигналы СРНС лежат в диапазоне частот 1100-1610 МГц.

Во всех сигналах СРНС с точки зрения потребителя используются только два вида модуляции – BPSK и BOC.

Расположение спутников на орбитальной группировке

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Глонасс | GPS | Galileo |
| Рисунок 1.1 – Расположение спутников Глонасс | Рисунок 1.2 – Расположение спутников GPS | Рисунок 1.3 – Расположение спутников Galileo |
|  | Beidou |  |
|  | Рисунок 1.4 – Расположение спутников Beidou |  |

Как видим, на рисунках 1.1-1.4, орбитальные группировки категорически отличаются у всех ГНСС. Более подробное описание орбит ниже.

ГЛАВА 1.

## ОПИСАНИЕ ГНСС ГЛОНАСС

Глобальная навигационная спутниковая система (ГЛОНАСС) – российская спутниковая радионавигационная система, которая передает как гражданские, так и военные сигналы, которые доступны в любой точке земного шара, в любое время, так как сигналы передаются непрерывно.

Орбита устроена таким образом, что наибольший коэффициент геометрического фактора у земного полюса, собственного, наименьший на экваторе, это происходит засчет того, что орбита имеет наклоление 64.8 гр., и где у остальных систем геометрический фактор, засчет количества видимых спутников, увеличивается, в системе Глонасс, наоборот уменьшается, таким образом точность там выше.

Спутниковая группировка разбита на три плоскости, в каждой из которых по 8 равномерно распределённых спутников.

Созвездие спутников теоретических должно состоять из 24 спутников, но на данный момент находится 25 спутников, 23 из которых используются.

Высота орбиты составляет 19 100 км.

Характерное отличие от других СРНС является частотное разделение сигналов, засчёт чего улучшается помехоустойчивость.

Геоцентрическая система координат ПЗ-90.11

Одно из главных отличий от других глобальных навигационных спутниковых систем – это шкала времени

Навигационно-временные определения в системе ГЛОНАСС осуществляются с использованием следующих шкал времени (ШВ):

- шкала всемирного времени (UT1);

- шкала универсального координированного времени государственного первичного эталона Российской федерации UTC(SU);

- шкала времени системы (ШВС) ГЛОНАСС;

- шкала московского декретного времени (МДВ);

- бортовая шкала времени (БШВ);

- шкалы времени навигационных сигналов (ШВ{обозначение сигнала});

- шкала времени аппаратуры потребителя (ШВП);

- Международная шкала атомного времени (TAI)

начало отсчёта 1996 г 01.01.1996 00ч 00 мин

Формат времени: N4:NT:t

N4 – номер четырехлетнего периода;

NT – текущая дата, календарный номер суток, внутри четырёхлетнего интервала (1-1461)

t – количество секунд от начала текущих суток

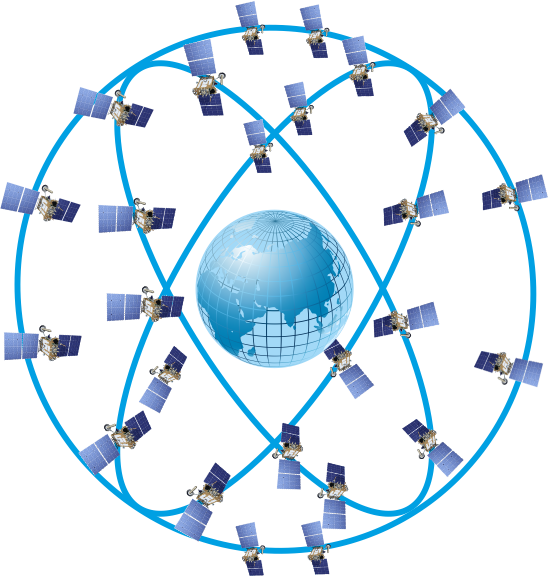


Рисунок 1.1.1 – Расположение спутников Глонасс

* 1. ОПИСАНИЕ ГНСС GPS

GPS( Global Positioning System) - американская спутниковая радионавигационная система, которая передает как гражданские, так и военные сигналы, которые доступны в любой точке земного шара, в любое время, так как сигналы передаются непрерывно.

Высота орбиты составляет 20 180 км, орбиты являются синхронными, так как период обращения равен 11 ч. 58 мин..

Спутниковая группировка разбита на шесть плоскостей,на которых расположено 32 основных КА, дополительно на некоторых орбитах может находиться резервный КА

Геоцентрическая система координат WGS 84.

Системное время связано со шкалой времени UTC и оно разрывное.

Наклоление орбибатльных плоскостей 55 гр.

начало отсчёта – 00 ч 00 мин 06.01.1980

Формат времени: WN: TOW

WN – номер недели, который начинается с 6 января 1980 г., по модулю 1024

TOW – количество секунд от начала текущей недели

Система имеет кодовое разделение сигналов, то есть каждый спутник излучает сигналы на тех же частотах, что и остальные

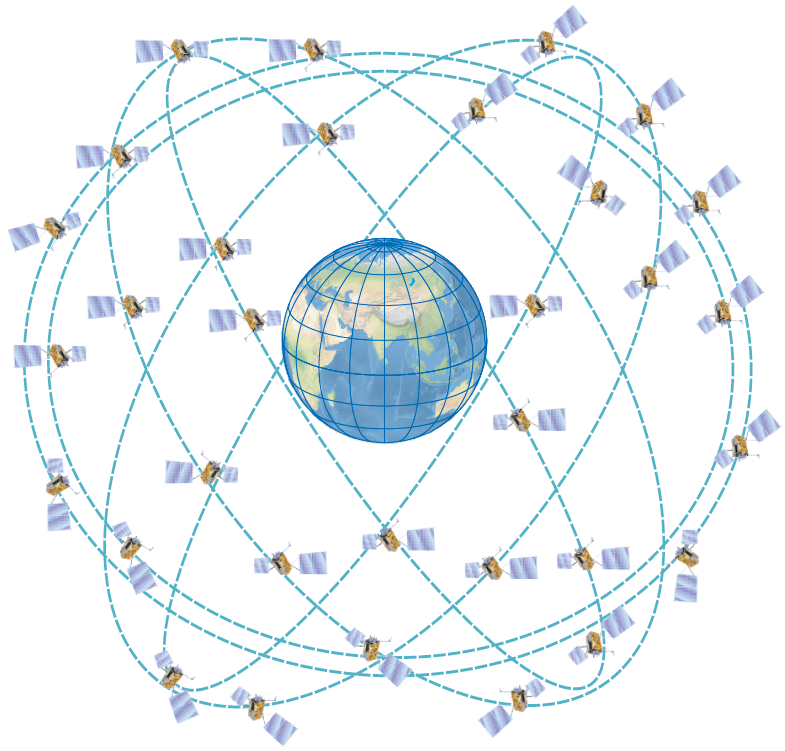


Рисунок 1.2.1 – Расположение спутников GPS

1.3 ОПИСАНИЕ ГНСС GALILEO

Galileo - созданная Европейским Союзом спутниковая радионавигационная система, которая передает гражданские сигналы, которые доступны в любой точке земного шара, в любое время, так как сигналы передаются непрерывно, также может являться взаимодоплнением с системой GPS третьего поколения.

Высота орбиты составляет 23 222 км

Наклонение орбитальных плоскостей 56 гр., период 14 ч 4 мин 45 с.

Спутниковая группировка разбита на три плоскости, на которых расположено 27 основных КА, дополнительно на некоторых орбитах может находиться резервный КА, на данный момент всего 3 резервных КА.

Геоцентрическая система координат GTRF.

Шкала времени системы Галилео (Galileo System Time – GST) – непрерывная атомная шкала времени с постоянным смещением на целое количество секунд относительно международного атомного времени TAI. Со шкалой времени UTC шкала GST имеет переменное расхождение на целое количество секунд.

Информация о величине расхождения шкалы времени GST относительно шкал TAI и UTC включена в навигационное сообщение для передачи потребителям.

Начало отсчета 22 августа 1999 года - время, когда неделя GPS достигла значения 1 024.

Формат времени: WN: TOW

WN – номер недели, который начинается с 22 августа 1999 г., по модулю 4096

TOW – количество секунд от начала текущей недели

Система имеет кодовое разделение сигналов, то есть каждый спутник излучает сигналы на тех же частотах, что и остальные

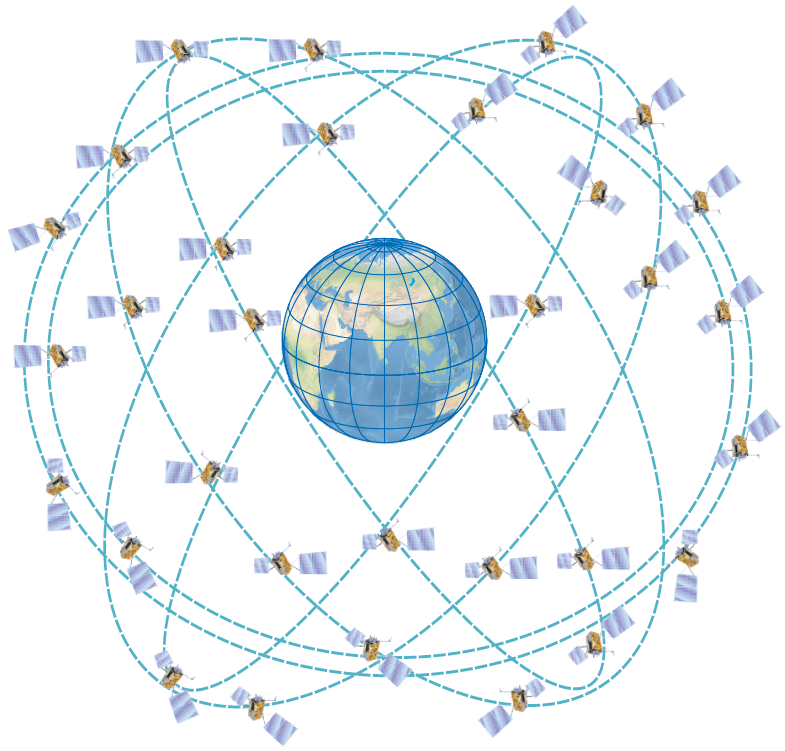


Рисунок 1.3.1 – Расположение спутников Galileo

## 1.4 ОПИСАНИЕ ГНСС BEIODU

Beidou- китайская спутниковая радионавигационная система, которая передает как гражданские, так и военные сигналы, которые доступны в любой точке земного шара, в любое время, так как сигналы передаются непрерывно,

Орбитальная группировка разбита на 3 части:

1. На геостационарной орбите 3 КА, высота орбиты составляет 35 786 км
2. На средних круговых орбитах 24 КА, разбита на 3 плоскости, высота орбиты составляет 21 528 км, наклонение 55 гр..
3. На наклонной геосинхронной орбите 3 КА, высота орбиты 35 786 км. наклонение 55 гр..

Геоцентрическая система координат BDCS

Параметры движения КА БЭЙДОУ передаются в китайской геодезической системе координат 2000 года.

В качестве шкалы времени системы определено китайское универсальное глобальное время, которое поддерживается атомными стандартами частоты, установленными в центре управления в Пекине. Время системы БЭЙДОУ (BDT) связано с координированным всемирным временем (UTC) и синхронизировано с ним с точностью 100 нс. Началом отсчёта BDT является 0 ч 0 мин 1 января 2006 года (UTC). По заявлению создателей системы, предусмотрена совместимость BDT со временем GPS/Galileo. Расхождение между шкалами времени GPST/GST измеряется и передаётся.

Формат времени: WN : SOW

WN – номер недели, который начинается с 1 января 2006 г., по модулю 8192

SOW – количество секунд от начала текущей недели

Система имеет кодовое разделение сигналов, то есть каждый спутник излучает сигналы на тех же частотах, что и остальные

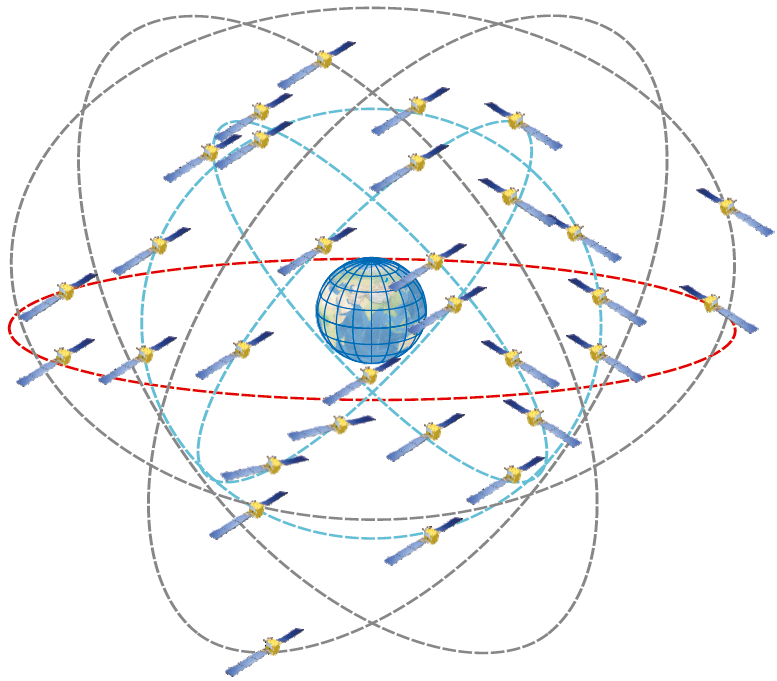


Рисунок 1.4.1 – Расположение спутников Beidou

1. ОПРЕДЕЛЕНИЯ ДАЛЬНОСТИ ОТ ПОТРЕБИТЕЛЯ ДО СПУТНИКА ИЛИ КООРДИНАТ ПОТРЕБИТЕЛЯ

Определения координат потребителя складывается в решение задачи из как минимум 4-х псевдодальномерных уравнений, при решении которых получаются нужные оценки координат.

Местоположение определятся координатами точки пересечения трех поверхностей положения или двух линий положений. В ряде случаев (из-за нелинейности поверхностей положения) две линии положения могут пересекаться в двух или более точках. При этом однозначно найти местоположение можно только, используя дополнительную поверхность положения или иную информацию о местоположении объекта.[1]

|  |  |
| --- | --- |
|  |  |
| Рис 1. Для двух НС.[2] | Рис 2. Для трех НС.[3] |

Рассмотрим ситуацию для двух НС, при соответствующих значений R1 и R2 две окружности пересекаются в точках - С и Д. Значит местоположение определяется неоднозначно. Если ввести дополнительную информацию, например, «местоположение объекта» – выше линии, соединяющей точки А и Б, то местоположение определяется однозначно – точка С.

Для трех НС, определения местоположения объекта вводится путем дополнительной НС.[1]

1.1. Дальномерный метод

Наиболее простой метод навигационных определений – дальномерный метод, основан на измерениях дальности Дi между i-м НС и потребителем.

В этом методе навигационным параметром является дальность Дi , а поверхность положения – сфера с радиусом Дi и центром, расположенным в центре масс i-го НС. Уравнение сферы имеет вид:

|  |  |
| --- | --- |
|  | (1.1) |

где , , - известные на момент измерения координат i-го НС (с учетом его перемещения за время распространения сигнала);

,, - координаты потребителя.

Местоположение потребителя определяются как координаты точки пересечения трех поверхностей положения, другими словами трех сфер. Поэтому для реализации дальномерного метода необходимо измерить дальности до трех НС.

Таким образом, для дальномерного метода навигационная функция представляет собой систему из трех уравнений вида (1.1). Ввиду нелинейности такой системы уравнений возникает проблема неоднозначности определения координат потребителя, устраняемая с помощью извесной потребителю дополнительной информации (ориентировочные координаты потребителя, его радиальная скорость и т.д.).

В классической механике при использовании расчета по формуле (1.1) подразумевается, что все величины берутся в один и тот же момент времени tк. В СРНС ситуация несколько иная, т.к. дальность Дi определяется по результатам измерения задержки  (с- скорость света) радиосигнала при его распространении от i-го НС до потребителя. Положим, что потребитель и НС работают в единой шкале времени t, и с борта НС излучается сигнал, огибающая которого приведена на верхнем графике Рис.3.

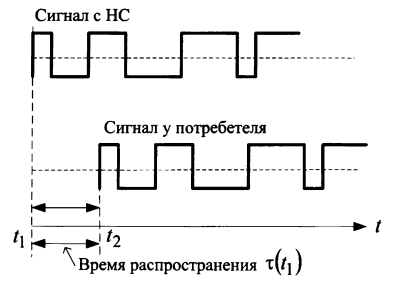


Рис.3.Временная диаграмма излучения и приема навигационного сигнала

Такой вид огибающей соответствует дальномерному коду сигналов, используемых в СРНС, поэтому в дальнейшем вместо огибающий сигнала будем говорить о дальномерном коде. В момент времени t1 имеем некоторую фазу излучаемого дальномерного кода (верхний график на рис.3). В этот момент времени НС и потребитель имеют координаты  исоответственно. В момент времени t2 сигнал с фазой дальномерного кода, соответствующей моменту времени t1 , достигает приемника потребителя (нижний график на рис.3).

В этот момент времени НС и потребитель имеют координаты и . Задержка сигнала в приемнике измеряется в момент времени t2 и определяется временным интервалом между моментами времени t1 и t2 , т.е. . За время, равное длительности интервала сигнала «проходит» расстояние:

|  |  |
| --- | --- |
|  | (1.2) |

Таким образом, в СРНС дальность  является геометрической дальностью между точкой, в которой находился НС в момент излучения сигнала (), и точкой, в которой находится потребитель в момент времени t.

Подставляя в (1.2) выражение для связи между t1 , t2 и , приведенное выше, и заменяя в полученном выражении t2 на текущее время t, запишем:

|  |  |
| --- | --- |
|  | (1.3) |

Где  - евклидова нома вектора.[1]

## ПСЕВДОДАЛЬНОМЕРНЫЙ МЕТОД

Псевдодальномерный метод или метод определения координат объ­екта по измерениям квазидальности рассмотрен в работе.

Под псевдодальностью от i-го НС до потребителя понимают изме­ренную дальность *Dизм i* до этого НС, отличающуюся от истинной дально­сти *Di* на неизвестную, но постоянную за время определения навигацион­ных параметров величину *D'*. Таким образом, псевдо дальность до i-го НС



|  |  |
| --- | --- |
|  | (1.1) |

В псевдодальномерных методах, основанных на измерениях псевдо дальностей, в качестве навигационного параметра выступает *Dизм i.* Поверхностью положения ПО по-прежнему является сфера с центром в точке центра масс НС, но радиус этой сферы изменен на неизвестную величину *D'.* Измерение псевдодальностей до трех НС приводит к системе трех уравнений с четырьмя неизвестными (х, у, z, *D’).* В решении этой системы уравнений возникает неопределенный параметр, и для устранения возник­шей неопределенности необходимо провести дополнительное измерение, т. е. измерить псевдодальность до четвертого спутника. Полученная таким образом система четырех уравнений имеет точное решение, и следова­тельно, местоположение потребителя при измерениях псевдодальностей определяется как точка пересечения четырех поверхностей положения.

Необходимость нахождения в зоне видимости четырех НС предъяв­ляет достаточно жесткие требования к структуре сети НС, которые выпол­няются только в среднеорбитальных СРНС.

Важно отметить, что если геоцентрическая высота объекта априорно известна, то число минимально необходимых для решения навигационной задачи НС сокращается на один (с четырех до трех). Используя изложен­ные в [2] приемы, нетрудно получить алгоритмы решения навигационных задач в конечном виде для подвижного объекта с известной высотой. Од­нако следует подчеркнуть, что для априорного вычисления геоцентриче­ской высоты требуется знать, в частности, земной радиус-вектор, который является функцией широты места. В этом случае навигационную задачу можно решить с высокой точностью лишь путем последовательных при­ближений.

Псевдодальномерный метод не накладывает жестких ограничений на значение погрешности *D' = ct'* (погрешности временной шкалы) и позволя­ет одновременно с определением местоположения вычислять отклонение шкалы времени потребителя, однако для его реализации необходимо при­нимать сигналы от 4 НС. Но данный метод обладает более высокой точно­стью, по сравнению с дальномерным. [1]

* 1. ИСТОЧНИКИ ОШИБОК, ВЛИЯЮЩИХ НА ТОЧНОСТЬ НАВИГАЦИОННО-ВРЕМЕННЫХ ОПРЕДЕЛЕНИЙ

Навигационно-временные определения принимают формирования оценок координат, составляющих скорости потребителя и текущего времени в результате обработки радиосигналов, принимаемых от навигационных систем.

Точность определяется двумя типами погрешностей:

* Погрешности, возникающие на этапе первичной обработки
* Погрешности, возникающие на этапе вторичной обработки.

На этапе первичной обработки формируются оценки псевдодальностей и псевдоскоростей, соотвественно, погрешности, возникающие на этом этапе – погрешности определения псведодальностей и псевдоскоростей.

На этапе вторичной обработки оценки псевдодальностей и псведоскоростей пересчитываются в оценки псведодальностей и псевдоскоростей пересчитываются в оценки координат потребителя, поэтому погрешности этого этапа определяются факторами, влияющими на эффективности такого пересчета.

Приведем таблицу отдельных составляющих общей погрешности, которую называют бюджетом погрешностей. В таблице 1 предполагается, что все составляющие погрешности являются некоррелированными между собой случайными величинами с гауссовским законом распределения, имеющими нулевое значение математического ожидания и дисперсию . Поэтому дисперсия общей ошибки определяется как сумма дисперсий отдельных составляющих. Приводимые в таблице значения отдельных составляющих соответствуют остаточным значения погрешностей, то есть предполагается, что в приемнике приняты меры по снижению погрешностей определения псевдодальности и псведоскорости, погрешность, вносимая приемником, дается для автономно работающего с одночастного стационарного (неподвижного) приемника с двухэтапной обработкой сигналов, при приеме сигнала от НС, находящегося в зените. Таким образом, учитывая данные замечания, величина итоговой погрешности имеет больше смысл как потенциальная, то есть предельно достижимая в реальной аппаратуре.

Бюджет погрешностей определения псведодальности

|  |  |
| --- | --- |
| Источник погрешности |  |
| Часы спутника | 2 |
| Ионосфера | 4 |
| Тропосфера | 0.5 |
| Многолучевость | 2.5 |
| Приемник | 1.5 |
| Прочие | 2 |
| Суммарная погрешность | 5.7 |

Бюджет погрешностей определения псведоскорости

|  |  |
| --- | --- |
| Источник погрешности |  |
| Бортовой ОГ | 0.04 |
| Релятивистский эффект | 0.001 |
| Многолучевость | 0.01 |
| Приемник | 0.08 |
| Прочие | 0.01 |
| Суммарная погрешность | 0.09 |

## Погрешность местоопределения

Погрешность местоопределения измеряют эталонным приемником на 24-часовом интервале измерения для любой точки рабочей зоны системы. Погрешность определения местоположения и времени приведены только для КСТ и SIS. В них не учитываются такие источники погрешностей, как ионосфера, тропосфера, помехи, шум приемника и многолучевое распространение.

Среднеквадратическую погрешность местоопределения вычисляют на основе координат места потребителя и рабочего созвездия спутников с учетом исключения из состава созвездия двух наихудших с точки зрения ухудшения геометрии созвездия спутников, и среднеквадратической погрешности измерения дальности пользователя для сигнала в пространстве величиной 6 м.

Погрешность определения параметров дальности определяется при условии индикации исправности спутника и передачи им сигнала КСТ и не учитывает отказы спутников, происходящие вне нормальных условий эксплуатации.

Пределы точности определения параметров дальности могут быть превышены в ходе отказов спутников или отклонений от нормы при закладке данных в спутник.

Превышение предела погрешности измерения дальности представляет собой отказ основного обслуживания.

Предельное значение погрешности измерения дальности является максимальным для любого спутника, измеряемого в течение любого 10- секундного интервала времени для любой точки, находящейся в зоне действия.

Предельное значение погрешностей ускорения изменения дальности является максимальным для любого спутника, измеряемого в течение любого 3-секундного интервала для любой точки, находящейся в зоне обслуживания.

Точность, определяемая среднеквадратичным значением погрешности измерения дальности, представляет собой среднее значение всех среднеквадратичных погрешностей измерения дальности всех спутников на 24-часовом интервале времени для любой точки, находящейся в зоне действия.

Погрешность передачи времени по шкале UTC (SU) в системе ГЛОНАСС определяют по известным соотношениям СКП в точке с известными координатами эталонного приемника при выполнении условий и ограничений в таблице 1 для работоспособных спутников и при наличии точных координат точки определения, и наличии шкалы Государственного эталона UTC (SU). Погрешность передачи времени UTC (SU) в системе ГЛОНАСС определяют на интервале 24 ч для любой точки поверхности Земли.

Погрешность передачи времени UTC (SU) в системе ГЛОНАСС измеряют эталонным приемником при 24-часовом интервале измерения для любой точки, находящейся в зоне действия. Погрешность определения времени предназначена только для КСТ и SIS, и в ней не учитываются такие источники погрешностей, как ионосфера, тропосфера, помехи, шум приемника и многолучевое распространение.

**Погрешность «псеводкоскорости»**

В СРНС псевдоскорость определяется по доплеровскому смещению частоты принятого сигнала. Доплеровское смещение частоты принимаемого узкополосного сигнала относительно частоты излученного сигнала обусловлено взаимным перемещением источника излучения и приемника сигнала. Если частота излучаемого сигнала f0, то частота принимаемого сигнала fп определяется известным соотношением

|  |  |
| --- | --- |
|  | (2.1) |

где Vp – скорость относительного движения вдоль линии «НС – потребитель», положительное значение которой соответствует увеличению расстояния между объектами.

Для доплеровского смещения частоты из выражения (2.1) получаем

|  |  |
| --- | --- |
|  | (2.2) |

где Д – расстояние между источником излучения и приемником.

Проведя некоторы расчеты [5, стр.44] псведоскоость может быть записана в виде:

|  |  |
| --- | --- |
|  | (2.3) |

## ОЦЕНКА КООРДИНАТ ПОТРЕБИТЕЛЯ С УЧЕТОМ ОШИБОК SISRE

SISRE - эквивалентная погрешность псевдодальности за счёт космического сегмента (signal-in-space range error). Эта величина характеризует погрешность измерения дальности до космического аппарата, обусловленную влиянием так называемых «системных» факторов, не зависящих от внешней среды и характеристик оборудования потребителей.

Для системы ГЛОНАСС эту величину можно наблюдать графически (рис.1.1) на официальном сайте [3].

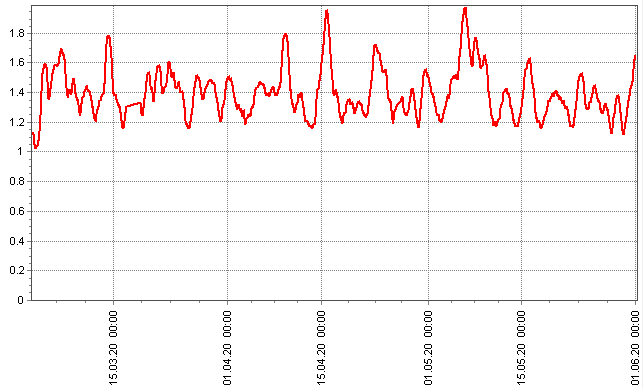


Рисунок 2.1 - Суточные СКП SISRE ГЛОНАСС, м

 Оценка функциональных характеристик ГЛОНАСС и GPS проводится в ИАЦ КВНО в режиме регулярной службы на основе измерений глобальной сети станций с помощью собственных программных средств.

Так же данные SISRE можно получить на сервере информационно-аналитического центра координатно-временного и навигационного обеспечения [4].

# ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ НАХОЖДЕНИЯ ОЦЕНКИ КООРДИНАТЫ ПОТРЕБИТЕЛЯ С УЧЕТОМ ОШИБОК SISRE

**Постановка задачи**: Оценить координаты потребителя {x,y,z} с учетом ошибок SISRE

Введем вектор состояния  , вектор вторичных наблюдений

 и вектор погрешностей

Линеаризуем вторичные наблюдения  относительно некоторой априорной оценки , тогда:

|  |  |
| --- | --- |
|  | (1.2) |

Выполним преобразования [1, 204 стр.] тогда получим выражение:

|  |  |
| --- | --- |
|  | (1.3) |

Где  введенная матрица дисперсий погрешностей вторичных наблюдений.

На данный этапе приближенно будем считать 

Тогда преобразовав матрицу дисперсий и рассмотрим для случая при k=1, она примет вид:



Необходимо найти матрицу дисперсий вектора состояния , которая по определению равна , подставим формулу (1.3), получим:



Учитывая, что , тогда матрица дисперсий вектора состояния  равна:



Получаем, что на диагонали  будут лежать дисперсии компонент

вектора состояний 

# РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ НАХОЖДЕНИЯ ОЦЕНКИ КООРДИНАТЫ ПОТРЕБИТЕЛЯ С УЧЕТОМ ОШИБОК SISRE

Из пункта 3.1 следует, что решением данной задачи является ковариационная матрица , на диагонали которой будут лежать дисперсии компонент вектора состояний .

И матрица принимает вид: 

Для решение данной задачи необходимо найти матрицы H и Dn:

* Матрица **H** принимает вид:

|  |  |
| --- | --- |
|  | (1.4) |

где:

|  |  |
| --- | --- |
|  | (1.5) |

* Матрица принимает вид:

|  |  |
| --- | --- |
|  | (1.6) |

где n зависит от количества видимых спутников

После полученных значений матрица  примет вид:

|  |  |
| --- | --- |
|  | (1.7) |

где:



Развернутое вычисление матрицы  в приложении 2.

На диагонали лежат дисперсии компонент вектора состояний .

1. АЛГОРИТМЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ КООРДИНАТ
2. АЛГОРИТМ ДЛЯ GPS

Алгоритм для расчета значений, представленных в ИКД GPS:

1. Определим время, отсчитываемое от опорной эпохи эфемерид:



1. Определим среднее движение:



1. Определим скорректированное среднее движение:



1. Определим среднюю аномалию:



1. Решим уравнение Кеплера минимум 3-мя итерациями и определим :



1. Определим истинную аномалию:



1. Определим скорректированный радиус орбиты спутника:





1. Определим аргумент широты:





1. Определим координаты НС в орбитальной плоскости:



1. Определим скорректированную долготу восходящего узла  определяется из соотношения:





1. Определим скорректированное наклонение орбиты спутника



1. Определим координаты НС в геоцентрической системе координат:

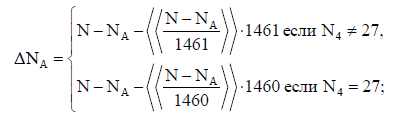


1. АЛГОРИТМ РАСЧЕТА КООРДИНАТ ГЛОНАСС

Алгоритм для расчета значений, представленных в ИКД ГЛОНАСС:

1. Определяется интервал прогноза в секундах:



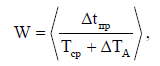
Где: 

N – календарный номер суток внутри четырехлетнего периода, начиная с високосного года, на которых находится заданный момент времени ti в секундах по шкале МДВ;

NA – календарный номер суток по шкале МДВ внутри четырехлетнего интервала, передаваемый НКА в составе неоперативной информации;

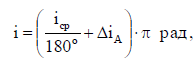
 – вычисление целого, ближайшего к x.

1. Рассчитывается количество целых витков W на интервале прогноза:

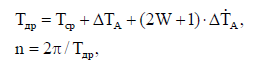


где  выделение целой части x;

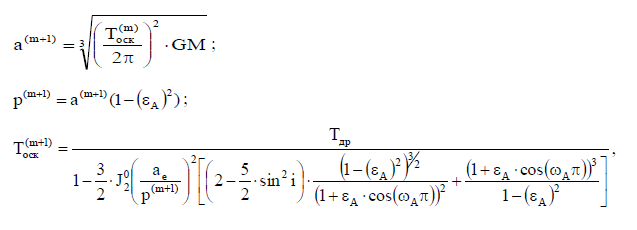
1. Определяется текущее наклонение:



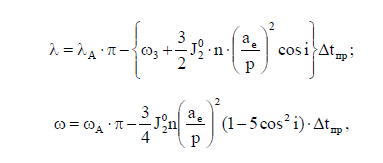
1. Определяются средний драконический период на витке W+1 и среднее движение:



1. Методом последовательных приближений m = 0, 1, 2… рассчитывается большая полуось орбиты a:



1. Определяются текущие значения долготы восходящего узла орбиты и аргумента перигея с учетом их векового движения под влиянием сжатия Земли:



1. Рассчитывается значение средней долготы на момент прохождения текущего восходящего узла:



Где 

1. Определяется текущее значение средней долготы НКА:



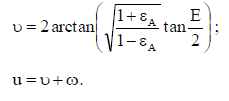
1. Определяется эксцентрическая аномалия путем решения уравнения Кеплера



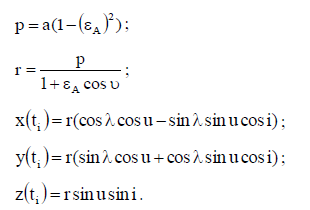
Как правило, используется схема последовательных приближений m = 0, 1, 2, и т.д.:



1. Вычисляются истинная аномалия и аргумент широты НКА u:



1. Рассчитываются координаты центра масс НКА в геоцентрической прямоугольной пространственной системе координат:



1. АЛГОРИТМ РАСЧЕТА КООРДИНАТ GALILEO

Алгоритм для расчета значений, представленных в ИКД GALILEO, за основу расчета берется алгоритм GPS с поправками:

Следует учесть, что в альманахе Galileo, дано значение разницы А между квадратным корнем из большой полуоси и квадратным корнем из номинальной большой полуоси, поэтому:

Большая полуось определяется, как:



Где:  - номинальное значение полуоси орбиты

А также следует учесть, что значение номера недели задан по модулю 4, Определим время, отсчитываемое от опорной эпохи эфемерид:



1. Определим среднее движение:



1. Определим скорректированное среднее движение:



1. Определим среднюю аномалию:



1. Решим уравнение Кеплера минимум 3-мя итерациями и определим :



1. Определим истинную аномалию:



1. Определим скорректированный радиус орбиты спутника:





1. Определим аргумент широты:





1. Определим координаты НС в орбитальной плоскости:



1. Определим скорректированную долготу восходящего узла  определяется из соотношения:





1. Определим скорректированное наклонение орбиты спутника



1. Определим координаты НС в геоцентрической системе координат:



ГЛАВА 2. РАЗРАБОТКА ПО

Для разработки программы выбрали среду – CodeBlocks.

CodeBlocks - свободная интегрированная среда разработки (IDE) с отрытым исходным кодом, которая поддерживает использование различных компиляторов. В качестве компилятора используется MinGW.

MinGW (сокращение "Minimalist GNU для Windows") - набор инструментов [разработки программного обеспечения](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A0%D0%B0%D0%B7%D1%80%D0%B0%D0%B1%D0%BE%D1%82%D0%BA%D0%B0_%D0%BF%D1%80%D0%BE%D0%B3%D1%80%D0%B0%D0%BC%D0%BC%D0%BD%D0%BE%D0%B3%D0%BE_%D0%BE%D0%B1%D0%B5%D1%81%D0%BF%D0%B5%D1%87%D0%B5%D0%BD%D0%B8%D1%8F) для создания приложений под [Windows](https://ru.wikipedia.org/wiki/Windows" \o "Windows). Набор MinGW включает инструменты для программирования с открытым исходным кодом, которые не зависят от каких-либо платных сторонних библиотек.  Он используется многими средами разработки (Visual Studio использует собственный компилятор). MinGW включает набор GNU Compiler Collection (GCC), включая компиляторы C, C ++, ADA и Fortran. Code::Blocks имеет открытую архитектуру, что позволяет ему масштабироваться за счёт подключаемых модулей (можно писать программы как под windows, linux, так и под различные микропроцессоры типа avr и stm32). Отладчик кода в Code::Blocks поддерживает точки останова в исходном коде или в данных, которые обрабатывает программа.

Создание графики происходит с помощью графического интерфейса – wxWidgets.

wxWidgets - это библиотека графических инструментов (по-английски Widget toolkit). Она необходима для того, чтобы в среде CodeBlocks можно было создавать программы с графическим интерфейсом.

Необходимые файлы для сборки проекта

1. РЕАЛИЗАЦИЯ НОВЫХ АЛГОРИТМОВ

Добавление новой формы, для добавления новых функций в программу (код в приложении 1):

* добавление сетки значений, для определения ско с шагом по высоте, широте и долготе;
* добавление случайно заданных значений координат и времени.

Интерфейс ПО

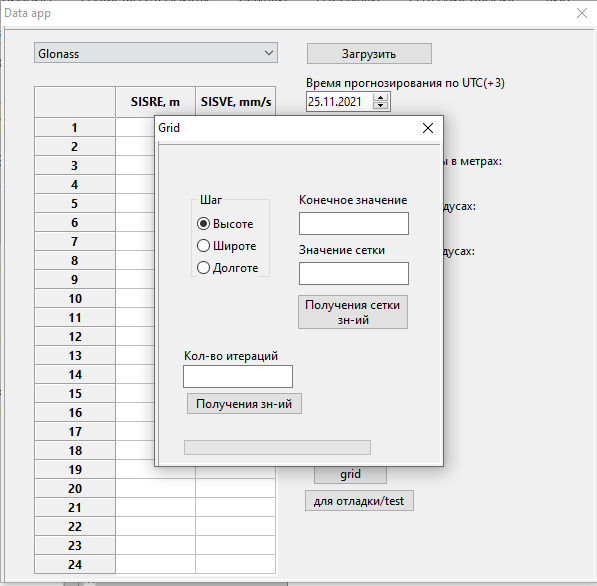


Рисунок 2.1 – Интерфейс новых функций

1. ПОСТРОЕНИЯ ГРАФИКОВ СО СЛУЧАЙНО ЗАДАННЫМИ КООРДИНАТАМИ И ВРЕМЕНЕМ

Добавим в алгоритм программы случайно заданные значения координат и времени, для этого воспользуемся функция «rand», в случае если при решение навигационной задачи матрица получится сингулярной, приравняем эти значения к -1, фактически это будет соответствовать значению СКО бесконечности

Графики для Глонасс

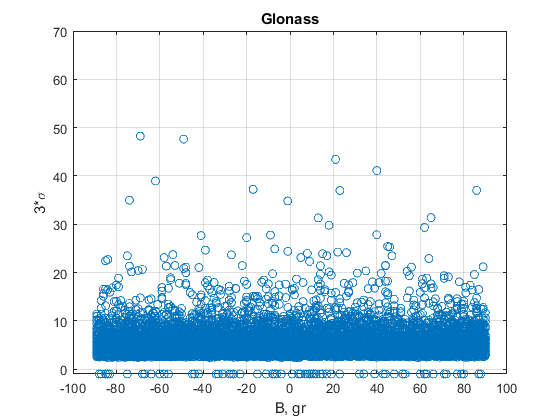


Рисунок 5.1.1 – График 3х ско от широты

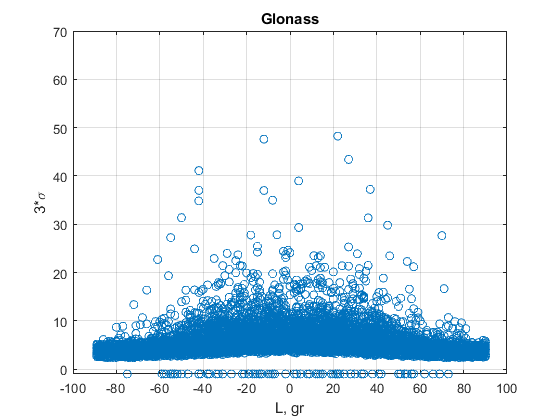


Рисунок 5.1.2 – График 3х ско от долготы

Для GPS

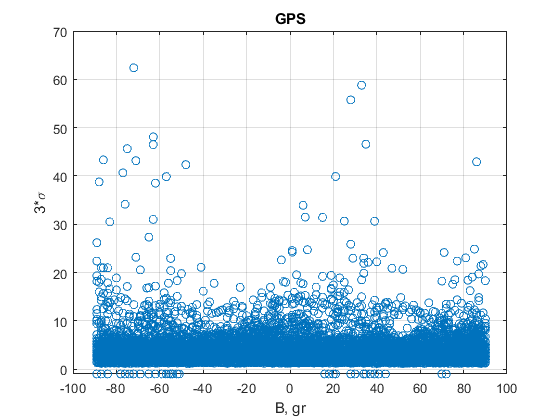


Рисунок 5.2.1 – График 3х ско от широты

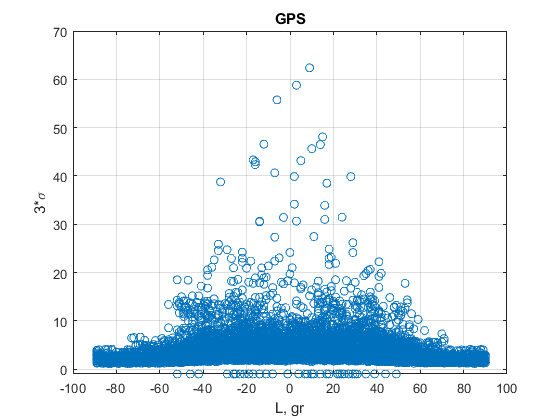


Рисунок 5.2.2 – График 3х ско от долготы

Для Галилео

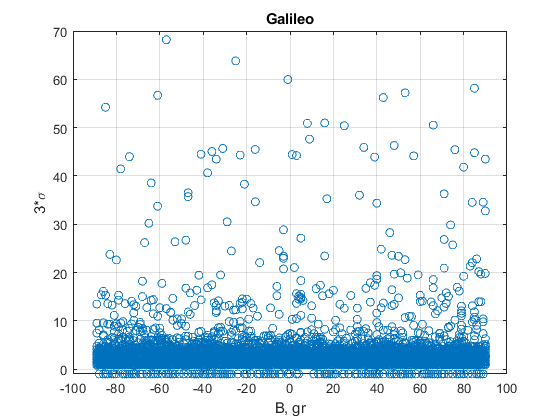


Рисунок 5.3.1 – График 3х ско от широты

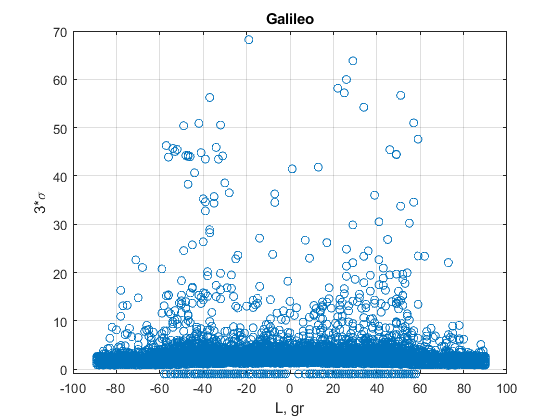


Рисунок 5.3.2 – График 3х ско от долготы

На полученных графиках можем наблюдать распределение трех ско от широты и долготы

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Все поставленные задачи выполнены, добавленные новые функции в ПО такие как, получения СКО с шагом по высоте, долготе и широте, а также со случайно заданными значениями координат и времени.

Добавлены в алгоритм новые проверки во избежание ошибок при решении навигационной задачи – проверка на сингулярность матрицы.

Получил графики распределения СКО от широты и долготы.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

[1]. Сервер «инфомационно-аналитечкского центра коррдинатно-временного и навигационного обеспечения «ftp://glonass-iac.ru» »

[2]. Отчет НИР за 9 семестр

По старым отчетам

[1]. ГЛОНАСС принципы построения и функционирования. Под редакцией А.И.Перова, В.Н.Харисова. Изд.4-е, 2010, 800 с.

[2].  ГОСТ 32454-2013 Глобальная навигационная спутниковая система. Параметры радионавигационного поля. Технические требования и методы испытаний [Электронный ресурс]: <http://docs.cntd.ru/document/1200110468>

[3]. Understanding GPS: principles and applications (Elliott D. Kaplan, Christopher Hegarty). p.723

[4]. «Инфомационно-аналитечкского центра коррдинатно-временного и навигационного обеспечения «www.glonass-iac.ru» »

[5]. Методы определения навигационных параметров подвижных средств с использованием спутниковой радонавигационной системы ГЛОНАСС: монография / В. Н. Тяпкин, Е. Н. Гарин. – Красноярск: Сиб. федер. ун-т, 2012. – 260 с.

ПРИЛОЖЕНИЕ

|  |
| --- |
|  |

Приложение 2

|  |
| --- |
| Расчет матрицы :    = |