

Национальный Исследовательский Университет

«МЭИ»

Институт Радиотехники и Электроники

Кафедра Радиотехнических Систем

Курсовой проект

по дисциплине

«Аппаратура потребителей спутниковых радионавигационных систем»

Студент: Мялова К.А.

Группа: ЭР-15-16

Вариант: 8

Преподаватель: Корогодин И.В.

Москва

2021

## ВВЕДЕНИЕ

Спутниковые радионавигационные системы время являются неотъемлемой частью нашей жизни. Они используются в различных сферах начиная от телефона до ракет. Наиболее распространенными являются системы ГЛОНАСС (Россия), GPS (США), Galileo (Евросоюз), Beidou (Китай).

**Цель проекта** - добавление в программное обеспечение приемника функции расчета положения спутника Beidou на заданное время по данным его эфемерид.

Требования к разрабатываемому программному модулю:

- требования назначения;
- отсутствие утечек памяти;
- малое время выполнения;
- низкий расход памяти;
- корректное выполнение при аномальных входных данных.

Для достижения цели выполняется ряд задач, соответствующих этапам проекта и контрольным мероприятиям:

- обработка данных от приемника, работа со сторонними сервисами для подготовки входных и проверочных данных для разрабатываемого модуля;
- моделирование модуля в Matlab/Python;
- реализация программного модуля на C/C++, включая юниттестирование в Check.

Конечная цель всего курсового проекта - получить библиотеку функций на «C++», позволяющую рассчитывать положение спутника Beidou по его эфемеридам.

## ЭТАП 1 ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СТОРОННИХ СРЕДСТВ

### 1.1 Описание задания

Дан номер спутника BEIDOU, вариант – С14, значения эфемерид для спутников указаны в бинарном и текстовом файлах. Значения получены от антенны Harxon HX-CSX601A, установленной на крыше корпуса Е МЭИ. Она через 50-метровый кабель, сплиттер, bias-tee и усилитель подключена к трем навигационным приемникам:

- Javad Lexon LGDD,
- SwiftNavigation Piksi Multi,
- Clonicus разработки ЛНС МЭИ.

Эти приемники осуществляют первичную обработку сигналов Beidou B1I, выдавая по интерфейсам соответствующие потоки данных – наблюдения псевдодальностей и эфемериды спутников. Данные от приемника Clonicus, записанные вечером 16 февраля 2021 года.

C14	38775	ME0-6	BDS-2	19.09.12	3089	Используется по ЦН
-----	-------	-------	-------	----------	------	--------------------

Рисунок 1 – Состояние 14-го спутника BEIDOU с «Информационно аналитического центра координатно-временного и навигационного обеспечения»

Компас М6	C14	18.09.2012 19:10	CZ-3B/E	2012-050B	38775	СОО, ~21 500 км	действующий
-----------	-----	------------------	---------	-----------	-------	-----------------	-------------

Рисунок 2 – Состояние 14-го спутника BEIDOU с сайта Википедия

По рисункам 1 и 2 видно номер спутника – 38775, название спутника – «Компас М6».

## 1.2 Определение орбиты и положения спутника на ней с помощью сервиса CelesTrak

Для выполнения данного пункта нужно перейти на сайт CelesTrak (<https://celestrak.com>), настроить параметры и выбрать нужный спутник, после чего будет определена орбита и его положение.

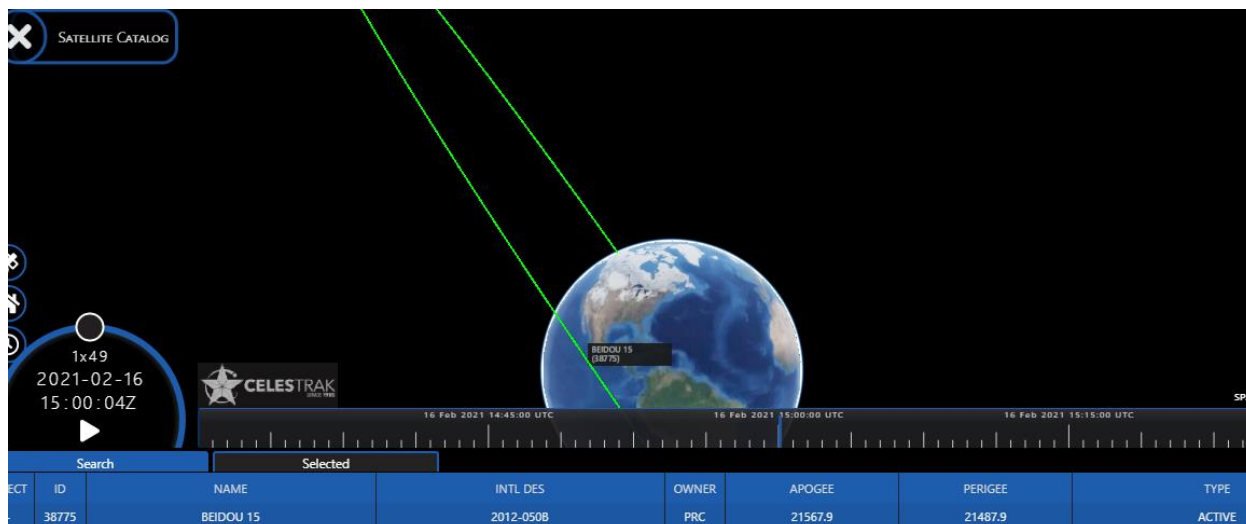


Рисунок 3 – Положение спутника на орбите

### 1.3 Расчёт графика угла места собственного спутника от времени по данным Trimble GNSS Planning Online

Введём параметры для моделирования GNSS Planning Online, координаты установим в соответствии с расположением антенны соответственно значению корпуса Е МЭИ, также начальное время будет соответствовать 18:00, временной пояс +3 (UTC +3) на всем этапе моделирования в сервисе GNSS Planning Online.

Система: активная	Спутники	
	Выбранный	Здоровый
GPS	<input checked="" type="checkbox"/>	32
ГЛОНАСС	<input checked="" type="checkbox"/>	23
Галилей	<input checked="" type="checkbox"/>	22
Бейду	<input checked="" type="checkbox"/>	49
QZSS	<input checked="" type="checkbox"/>	4

Мои Настройки	
Время альманаха:	2021-02-16
Часовой пояс:	UTC +03:00
Видимый период:	2021-02-16 18:00 - 2021-02-17 06:00
Широта:	N 55° 45' 23.5491"
Долгота:	E 37° 42' 13.4571"
Высота:	200 м
Отсечка высоты:	10 °

Настройки	
Широта:	N 55° 45' 23.5491"
Долгота:	E 37° 42' 13.4571"
Высота:	200 м
Отсечка высоты:	10 °
День:	16.02.2021
Время начала:	18:00 UTC +03:00
Период [часов]:	12
Часовой пояс:	(UTC+03:00) Москва, Санкт-Петербург

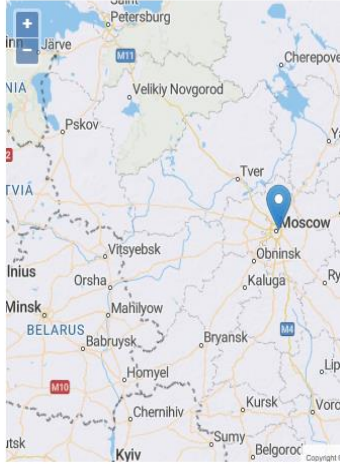


Рисунок 4 – Моделирование с помощью сервиса Trimble GNSS Planning

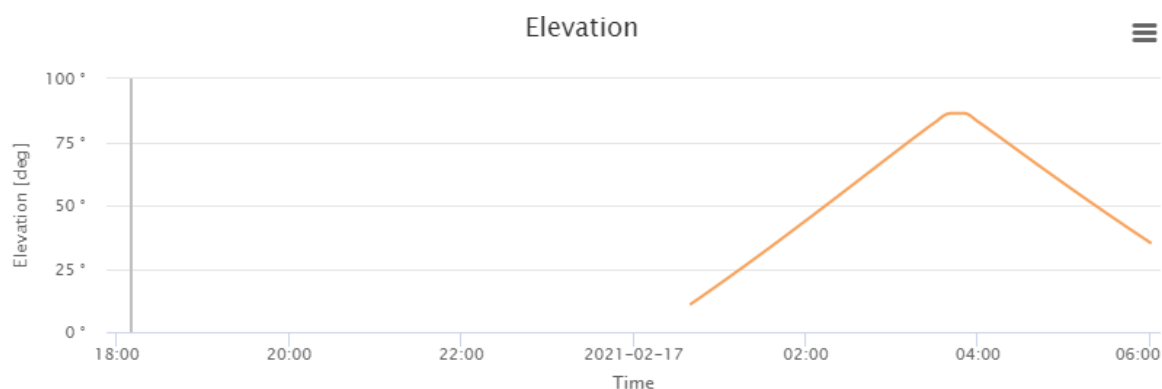


Рисунок 5 – График угла места собственного спутника от времени

Из графика видно, что спутник на указанном временном интервале с 18:00 до 06:00 был в области видимости с 00:40 до 06:00.

## 1.4 Расчет диаграммы угла места и азимута спутника (SkyView, он же SkyPlot) по данным Trimble GNSS Planning Online

Проведем моделирование Sky Plot во временном интервале 18:00-06:00 и зафиксируем положение спутника в критических точках.

2 графика положения спутника:

- 16 февраля 2021 в 00:40:

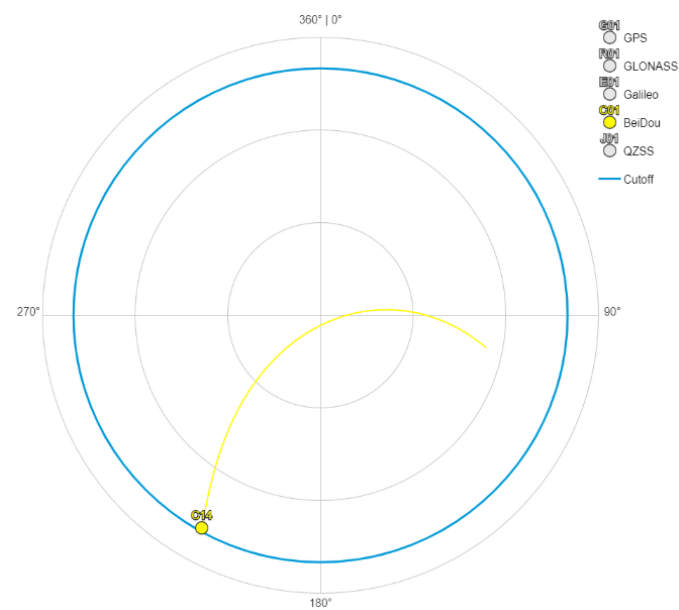


Рисунок 7 – Диаграмма угла азимута спутника

- 17 февраля в 06:00:

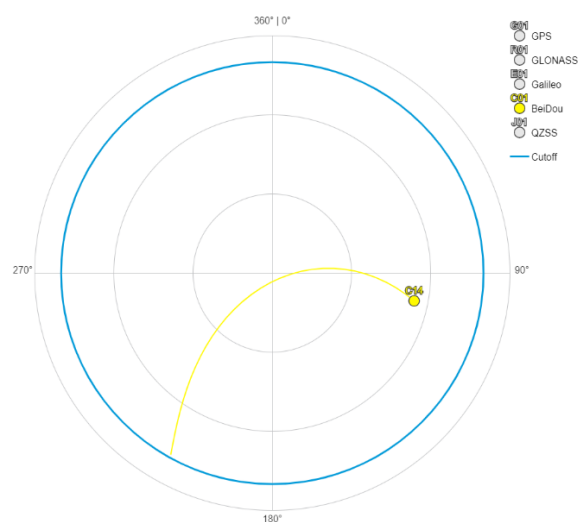


Рисунок 8 – Диаграмма угла азимута спутника

## 1.5 Формирование списка и описание параметров, входящих в состав эфемерид

Таблица 1 – Значения эфемерид спутника С14

Параметр	Обозначение параметра	Значение
SatNum	PRN	14
Toe (мс)	$t_{oe}$	219600000.000
Crs (рад)	-	-7.2312500000000000e+01
Dn (рад/мс)	$\Delta n$	4.05445468865117675e-12
M0 (рад)	$M_0$	2.55684508480358019e+00
Cuc (рад)	-	-3.59397381544113159e-06
e	e	1.28501909784972668e-03
Cus (рад)	-	5.57675957679748535e-06
$\text{sqrt}A \text{ (м}^{\frac{1}{2}}\text{)}$	$\sqrt{A}$	5.28261658287048340e+03
Cic (рад)	-	1.95577740669250488e-08
Omega0 (рад)	$\Omega_0$	-2.81773662124041036e-01
Cis (рад)	-	5.91389834880828857e-08
i0 (рад)	$i_0$	9.62975188353317302e-01
Crc (рад)	-	2.4753125000000000e+02
Omega (рад)	$\omega$	-6.40880762456192743e-01
OmegaDot (рад/мс)	$\dot{\Omega}$	-7.00850621812976967e-12
iDot (рад/сек)	$\dot{i}_{DOT}$	-1.62149611325022453e-13
Tgd (мс)	$T_{gd}$	6.9000000000000000e+04
Toc (мс)	$T_{oc}$	2.1960000000000000e+08
af2 (мс/мс <sup>2</sup> )	-	8.13151611188773069e-22
af1 (мс/мс)	-	8.97282248502051516e-11
af0 (мс)	-	1.49921745061874390e-01
URA	-	0
IODE	-	2570

IODC	-	9
codeL2	-	0
L2P	-	0
WN	-	789