

НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

МОСКОВСКИЙ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ

КАФЕДРА РАДИОТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ

КУРСОВАЯ РАБОТА

по дисциплине

АППАРАТУРА ПОТРЕБИТЕЛЕЙ СПУТНИКОВЫХ РАДИОНАВИГАЦИОННЫХ
СИСТЕМ

ФИО студента: ХВАТОВ М.М.

Группа: ЭР-15-16

Вариант №: 26

Дата: _____

Подпись: _____

ФИО преподавателя: КОРОГОДИН И.В.

Оценка: _____

МОСКВА
2021

ВВЕДЕНИЕ

В данной работе мы знакомимся с рядом инструментов и техник, используемых при разработке навигационных приемников.

Цель проекта - получить библиотеку функций на Си++, позволяющую рассчитывать положение спутника Beidou по его эфемеридам. На первом этапе подготовим вспомогательные данные для разработки: эфемериды и оценки положения спутника от сторонних сервисов (чтобы было с чем сравниваться на след. этапах)

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 юнит-тестирование в Check.

Этапы курсовой работы отличаются осваиваемыми инструментами.

ЭТАП 1. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СТОРОННИХ СРЕДСТВ

1.1 Описание работы

Конечная цель всего курсового проекта - получить библиотеку функций на Си++, позволяющую рассчитывать положение спутника Beidou по его эфемеридам. На первом этапе подготовим вспомогательные данные для разработки: эфемериды и оценки положения спутника от сторонних сервисов (чтобы было с чем сравниваться на след. этапах).

На крыше корпуса Е МЭИ установлена трехдиапазонная антенна Narxон НХ-CSX601А. 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, доступны в рабочем репозитории (директория logs) в нескольких форматах.

В моём варианты работы используется спутник С26.

Приведем параметры эфемерид системы в таблице 1.

Таблица 1 – Параметры эфемерид системы

Параметр	Описание
t_{oe}	Опорная эпоха эфемерид
\sqrt{A}	Корень из большой полуоси орбиты
e	Эксцентриситет орбиты
ω	Аргумент перигея
Δn	Поправка в среднее движение
M_0	Средняя аномалия на опорную эпоху
Ω_0	Долгота восходящего угла орбиты на опорную эпоху
Ω	Скорость прямого восхождения
i_0	Угол наклона орбиты на опорную эпоху
$IDOT$	Скорость изменения наклона орбиты
Cuc	Амплитуда косинусной поправки к аргументу широты
Cus	Амплитуда синусной поправки к аргументу широты
Crc	Амплитуда косинусной поправки к радиусу орбиты
Crs	Амплитуда синусной поправки к радиусу орбиты
Cic	Амплитуда косинусной поправки к углу наклона
Cis	Амплитуда синусной поправки к углу наклона

1.2 Использование входных данных и определение номера спутника

Данные спутника берутся из текстового файла, полученного из дампа бинарного потока данных от приемника в формате NVS BINR. Воспользуемся данными для конкретного варианта и сведём их в таблицу 2.

Таблица 2 – Значения эфемерид спутника C26

Параметр	Значение
Satnum	26
toe (мс)	219600000.000
Crs (рад)	7.0218750000000000e+01
Dn (рад/мс)	4.31196528136168489e-12
M0 (рад)	5.78014959386014437e-01
Cuc (рад)	3.61073762178421021e-06
e	7.86192365922033787e-04
Cus (рад)	6.01261854171752930e-06
sqrtA (м ^{1/2})	5.28262158584594727e+03
Cic (рад)	4.28408384323120117e-08
Omega0 (рад)	1.79943690961005953e+00
Cis (рад)	-5.54136931896209717e-08
i0 (рад)	9.51213294811811605e-01
Crc (рад)	2.30484375000000000e+02
Omega (рад)	3.87711120604409931e-01
OmegaDot (рад/мс)	-7.17315593359416561e-12
iDot (рад/сек)	-1.67149819603767644e-13
Tgd (мс)	9.7500000000000000e+05
Toc (мс)	2.1960000000000000e+08
af2 (мс/мс ²)	1.48307593848345250e-22
af1 (мс/мс)	5.06794606280891458e-12
af0 (мс)	3.53220045566558838e-01
URA	0
IODE	257
IODC	1
codeL2	0
L2P	0
WN	789

Сравним эти данные с данными, приведёнными с сайта из альманаха спутников Бейдоу. На рисунке 2 покажем скриншот таблицы эфемерид с сайта [glonass-iac](http://glonass-iac.ru).

PRN	И	a	e	δ_1	δ_2	δ_3	δ_4	δ_5	δ_6	δ_7	δ_8	week
C26	000	0.00078773	192512	0.00874848	-6.88028659e-9	5282.5723	1.79960514	0.39429111	-3.09722181	0.0009479523	-3.63798e-12	789

Рисунок 2 – Таблицы эфемерид с сайта [glonass-iac](http://glonass-iac.ru)

Как видно, что данные предоставленные преподавателем действительно сходятся со спутником C26.

С помощью «Информационно-аналитического центра координатно-временного и навигационного обеспечения» определим номер НОРАД:

PRN	НОРАД	Тип КА	Тип системы	Дата запуска	Факт. суш. (дней)	Примечание
C01	44231	GEO-8	BDS-2	17.05.19	657	Используется по ЦН
C13	41434	IGSO-6	BDS-2	30.03.16	1800	Используется по ЦН
C14	38775	МEO-6	BDS-2	19.09.12	3088	Используется по ЦН
C16	43539	IGSO-7	BDS-2	10.07.18	968	Используется по ЦН
C19	43001	МEO-1	BDS-3	05.11.17	1215	Используется по ЦН
C20	43002	МEO-2	BDS-3	05.11.17	1215	Используется по ЦН
C21	43208	МEO-3	BDS-3	12.02.18	1116	Используется по ЦН
C22	43207	МEO-4	BDS-3	12.02.18	1116	Используется по ЦН
C23	43581	МEO-5	BDS-3	29.07.18	949	Используется по ЦН
C24	43582	МEO-6	BDS-3	29.07.18	949	Используется по ЦН
C25	43603	МEO-11	BDS-3	25.08.18	922	Используется по ЦН
C26	43602	МEO-12	BDS-3	25.08.18	922	Используется по ЦН

Рисунок 3 - Состав и состояние системы BEIDOU с «Информационно-аналитического центра координатно-временного и навигационного обеспечения»

Теперь посмотрим номер НОРАД в Википедии:

№	Спутник	PRN	Дата (UTC)	Ракета	NSSDC ID	SCN	Орбита	Статус	Система
33	Бэйдоу-3 M9	C23	29.07.2018 01:48	CZ-3B/YZ-1	2018-062A	43581	COO, ~21 500 км	действующий	Бэйдоу-3
34	Бэйдоу-3 M10	C24			2018-062B	43582	COO, ~21 500 км	действующий	
35	Бэйдоу-3 M11	C26	24.08.2018, 23:37	CZ-3B/YZ-1	2018-067A	43602	COO, ~21 500 км	действующий	
36	Бэйдоу-3 M12	C25			2018-067B	43603	COO, ~21 500 км	действующий	
37	Бэйдоу-3 M13	C32	19.09.2018, 14:07	CZ-3B/YZ-1	2018-072A	43622	COO, ~21 500 км	действующий	
38	Бэйдоу-3 M14	C33			2018-072B	43623	COO, ~21 500 км	действующий	
39	Бэйдоу-3 M15	C35	15.10.2018, 04:23	CZ-3B/YZ-1	2018-078A	43647	COO, ~21 500 км	действующий	
40	Бэйдоу-3 M16	C34			2018-078B	43648	COO, ~21 500 км	действующий	
41	Бэйдоу-3 G1Q	C59	01.11.2018, 15:57	CZ-3B/E	2018-085A	43683	ГСО, 144.5° в. д.	действующий	
42	Бэйдоу-3 M17	C36	18.11.2018, 17:49	CZ-3B/YZ-1	2018-093A	43706	COO, ~21 500 км	действующий	
43	Бэйдоу-3 M18	C37			2018-093B	43707	COO, ~21 500 км	действующий	
44	Бэйдоу-3 IGSO-1	C38	20.04.2019, 14:41	CZ-3B/G2	2019-023A	44204	Геосинхронная, накл. 55°;	действующий	

Рисунок 4 - Состав и состояние системы BEIDOU с сайта “Википедия”

Номера спутника совпадают и равны 43602, название спутника - «BEIDOU-3 M11». Спутнику с PRN C26 соответствует спутник №35 - это нужно учитывать при выполнении следующих пунктов задания.

1.3 Определение формы орбиты и положения спутника на ней на начало рассматриваемого интервала времени по данным сервиса CelesTrak

Зайдем на сайт CelesTrak (<https://celestrak.com>) для выполнения этого пункта. Значение времени выставим 15:00, 16 февраля 2021 по UTC(0). Введем наше название спутника, сравним НОРАД и, убедившись, что он совпадает, запустим моделирование, результаты которого видим на 5-м рисунке:

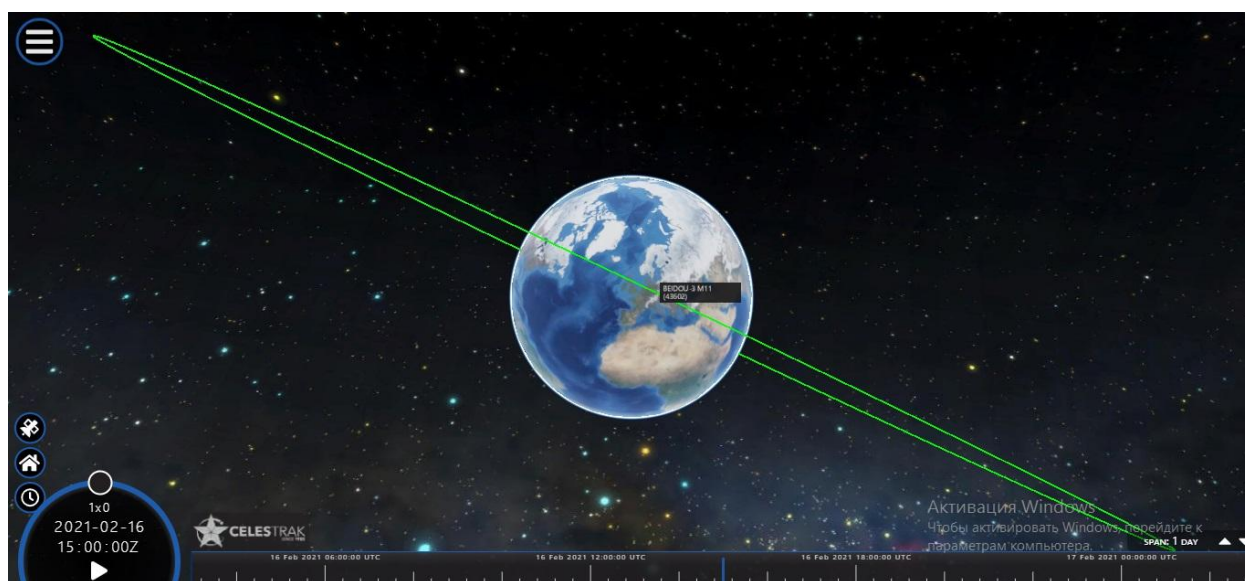


Рисунок 5 – Результат моделирования на CelesTrak. Общий вид+положение спутника.

Мы устанавливаем время 15:00, потому что нам по заданию требуется построить модель на момент времени 18:00 по Московскому времени. А в программе устанавливается время по часовому поясу UTC(0).

1.4 Расчет графика угла места собственного спутника от времени по данным Trimble GNSS Planning Online

Заходим на сайт <https://www.gnssplanning.com> и устанавливаем координаты в соответствии с расположением антенны, т.е. координаты корпуса Е МЭИ, потому что на крыше этого здания установлена антенна. Начальное время 18:00 при часовом поясе UTC(+3) – это Московское время.

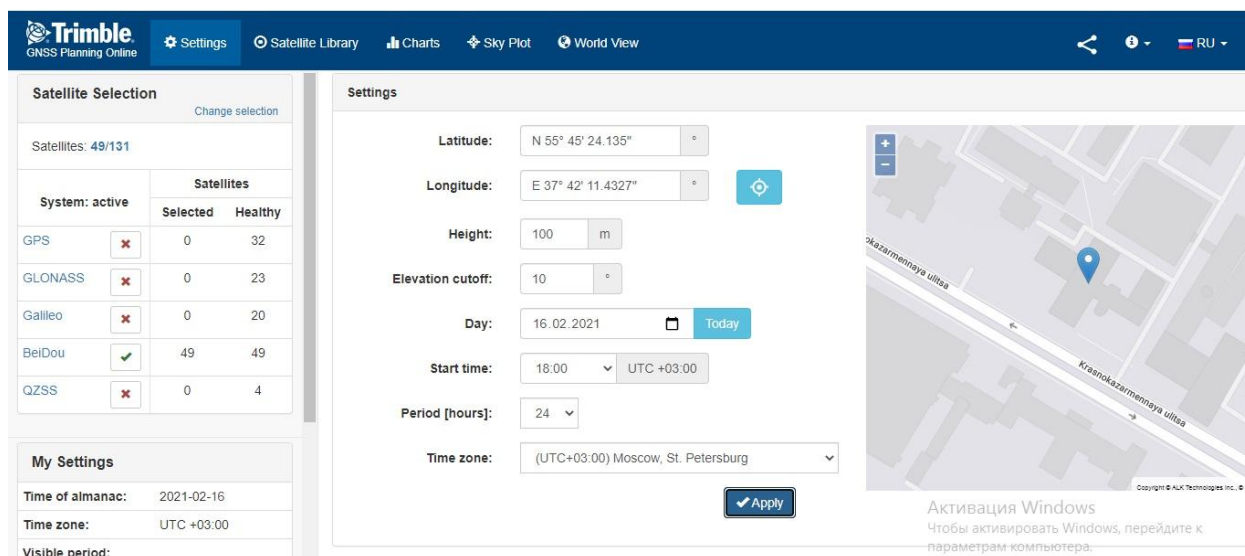


Рисунок 6 – Настройка Trimble GNSS Planning для дальнейшего моделирования.

Уберём все спутники кроме того, который дан в задании в моём варианте:

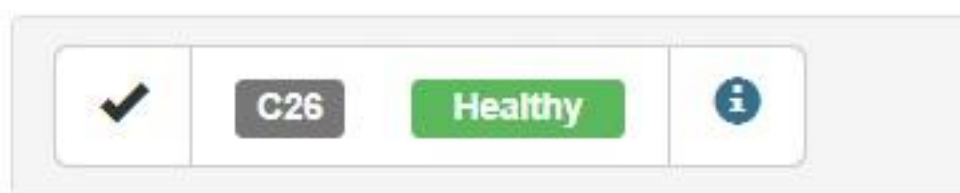


Рисунок 7 – единственный спутник, который нам нужен.

Теперь снимем график угла места для нашего спутника Beidou для времени 18:00 16 февраля 2021 года. Для этого откроем вкладку (Charts)

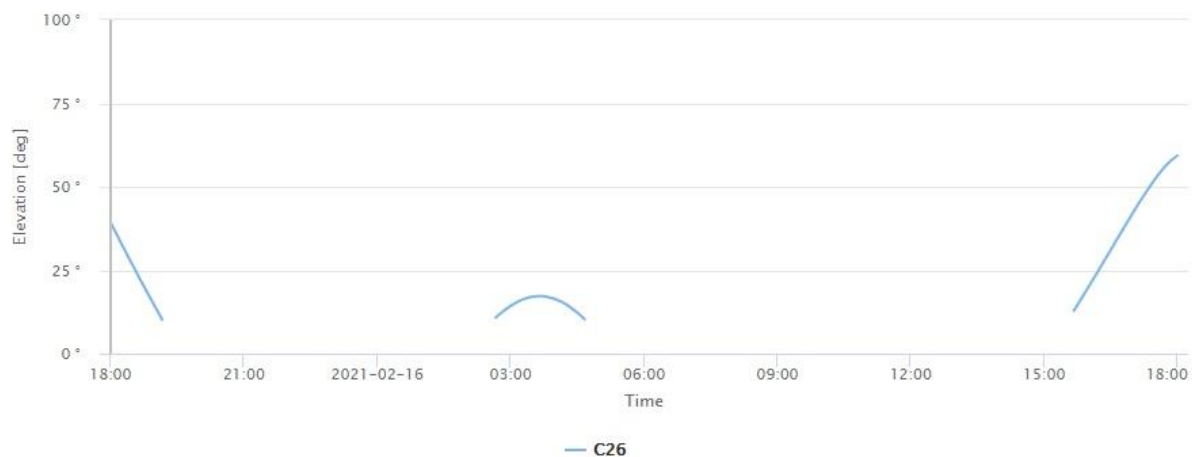


Рисунок 8 - График угла места собственного спутника от времени

В указанном интервале график видно 3 раза. Первый раз с 18:00 до 19:00. Второй раз с 02:30 до 04:40. Третий раз с 15:30 до 18:00.

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

Теперь, для того, чтобы получить карту небосвода, перейдём во вкладку SkyPlot, оставив все предыдущие настройки. Моделирование проводим в том же временном интервале. Поскольку спутник у нас появлялся 3 раза, то и моделирование тоже проводим 3 раза.

- 16 февраля в 18:00 по UTC +3

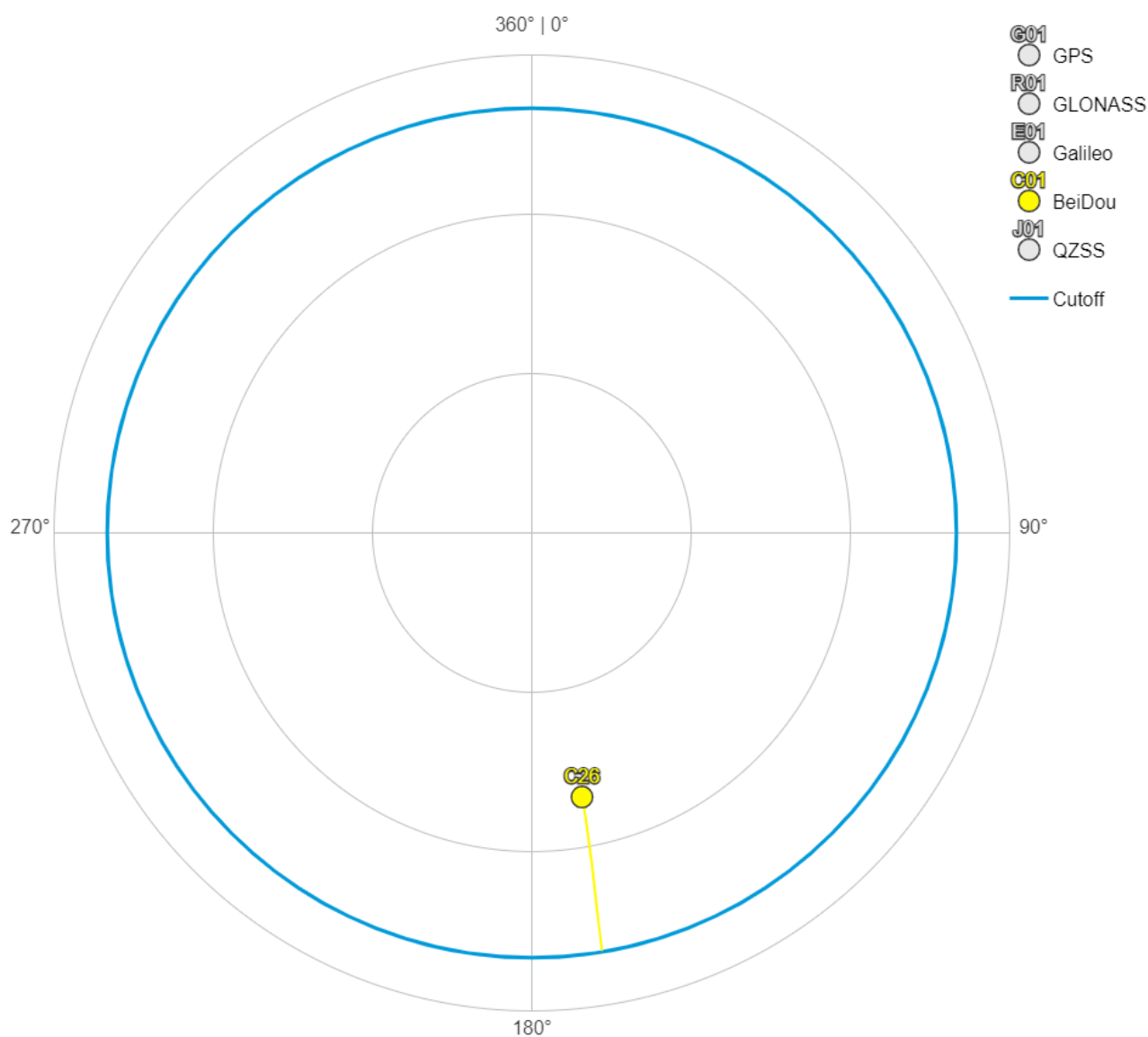


Рисунок 9 – SkyView спутника Beidou C26 16.02.21 18:00

- 17 февраля в 4:00 по UTC +3

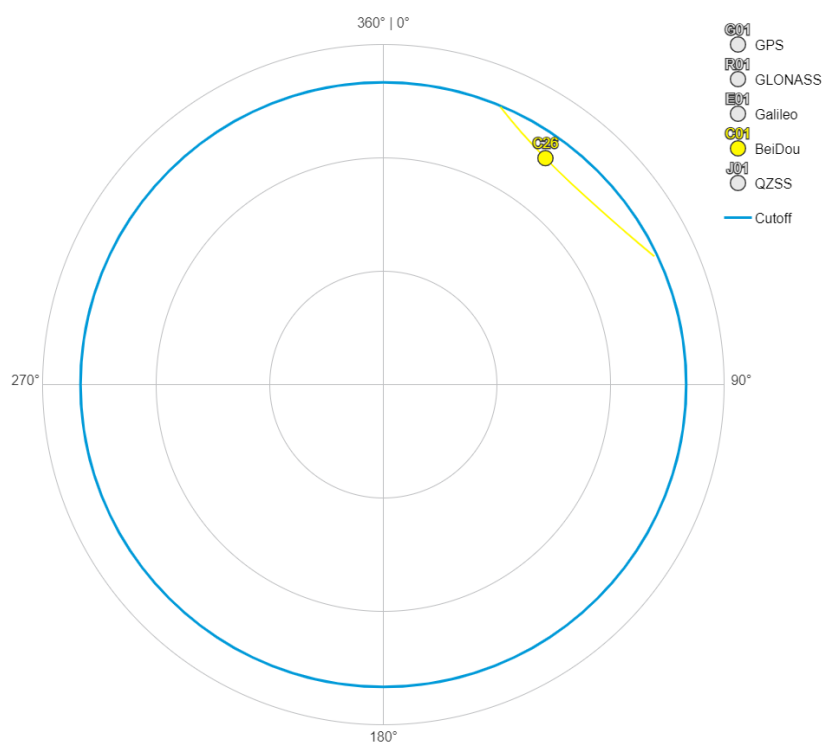


Рисунок 10 – SkyView спутника Beidou C26 17.02.21 4:00

- 17 февраля в 18:00 по UTC +3

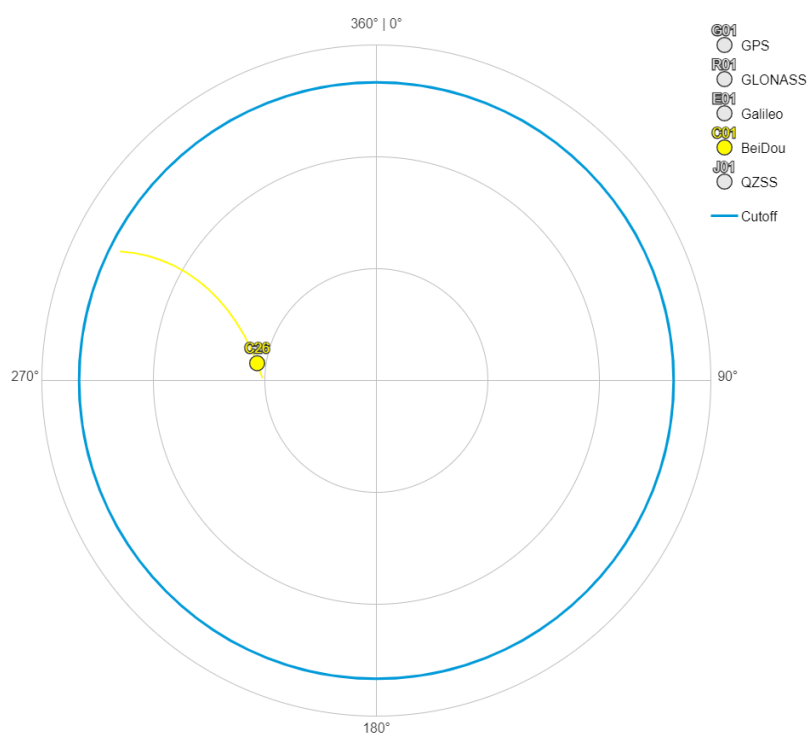


Рисунок 11 – SkyView спутника Beidou C26 17.02.21 18:00

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Электронный ресурс: www.glonass-iac.ru - информационно-аналитический центр координатно-временного и навигационного обеспечения.
2. Сайт: <https://www.celestrak.com> - определение формы орбиты и положения спутника на ней.
3. Интернет-сервис: <https://www.gnssplanningonline.com> – программа, моделирующая положение спутников и их характеристики над заданной точкой земной поверхности.