

Национальный исследовательский университет
«МЭИ»

КУРСОВОЙ ПРОЕКТ

«Разработка модуля расчёта координат спутника Beidou»

Группа: ЭР-15-16

Студент: Серов К.М.

Преподаватель: Корогодин И.В.

Москва

2021

ВВЕДЕНИЕ

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 юнит-тестирование в Check.

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

Исходные данные: PRN спутника Beidou - C21

Этап 1. Использование сторонних средств

Описание этапа

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-СХ601А. Она через 50-метровый кабель, сплиттер, bias-tee и усилитель подключена к трем навигационным приемникам:

- Javad Lexion 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

Определим какому спутнику соответствует выданный PRN спутника.

№	Спутник	PRN	Дата (UTC)	Ракета	NSSDC ID	SCN	Орбита	Статус	Система
29	Бэйдоу-3 М6	C21	12.02.2018 05:10	CZ-3В/YZ-1	2018-018В	43208	СОО, ~21 500 км	действующий	Бэйдоу-3

Рисунок 1 — Состав орбитальной группировки космической навигационной системы Beidou на 10 марта 2020 года [1]

Номер спутника C21 соответствует спутнику Beidou – 3 М6, номер по спутниковому каталогу НОРАД (или SCN) равен 43208.

Проверим эту информацию, для этого воспользуемся данными о состоянии космических аппаратов Beidou на 02.03.21 из «Информационно-аналитического центра координатно-временного и навигационного обеспечения» [2].

PRN	НОРАД	Тип КА	Тип системы	Дата запуска	Факт. суш. (дней)	Примечание
C21	43208	МЕО-3	BDS-3	12.02.18	1114	Используется по ЦН

Рисунок 2 — Данные о состоянии космических аппаратов Beidou на 02.03.21 (источник «Информационно-аналитического центра координатно-временного и навигационного обеспечения»)

Информация с рисунков 1 и 2 совпадает.

1.1. Определение формы орбиты и положения спутника

Определим формы орбиты и положения спутника на ней на начало рассматриваемого интервала времени по данным сервиса CelesTrak: общий вид + положение спутника на 18:00 МСК 16 февраля 2021, так, чтобы было видно подспутниковую точку и время.

18:00 по МСК соответствует 15:00 по UTC (UTC +3). Так как сервис CelesTrak работает в формате времени UTC, установим время 15:00 UTC 16 февраля 2021.

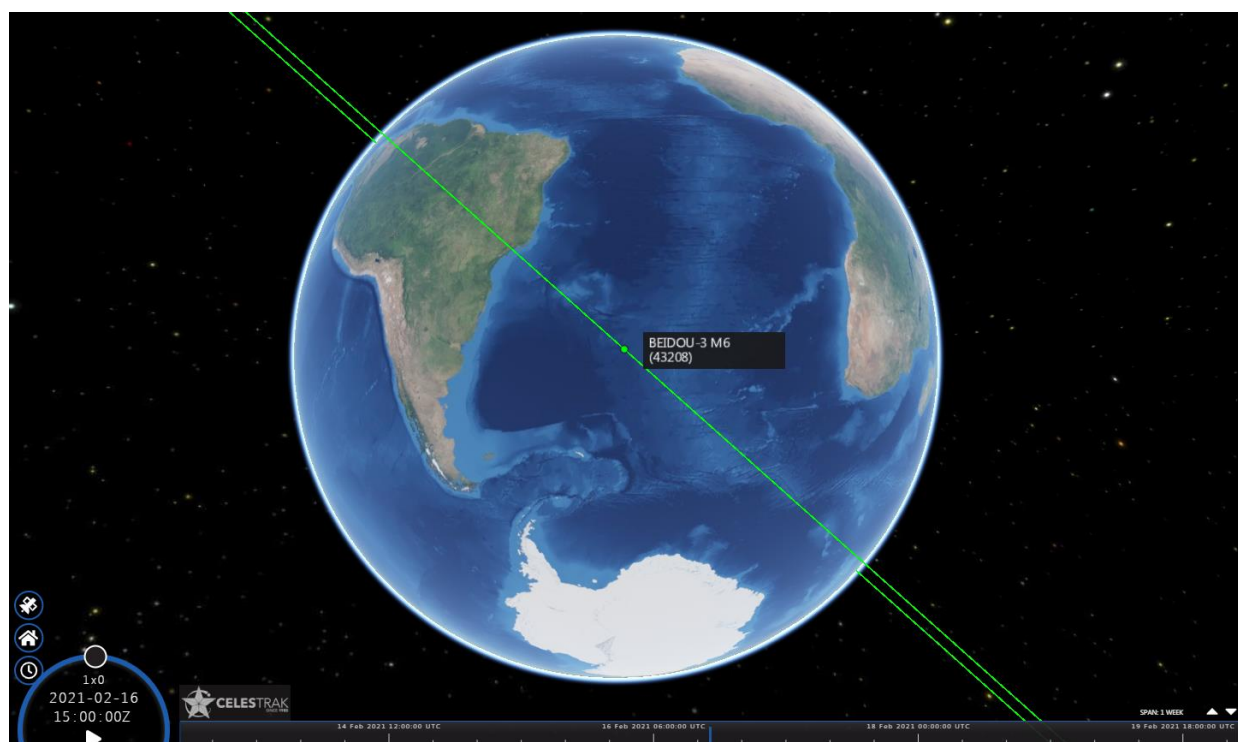


Рисунок 3 — Модель сервиса CelesTrak, видно подспутниковую точку и время

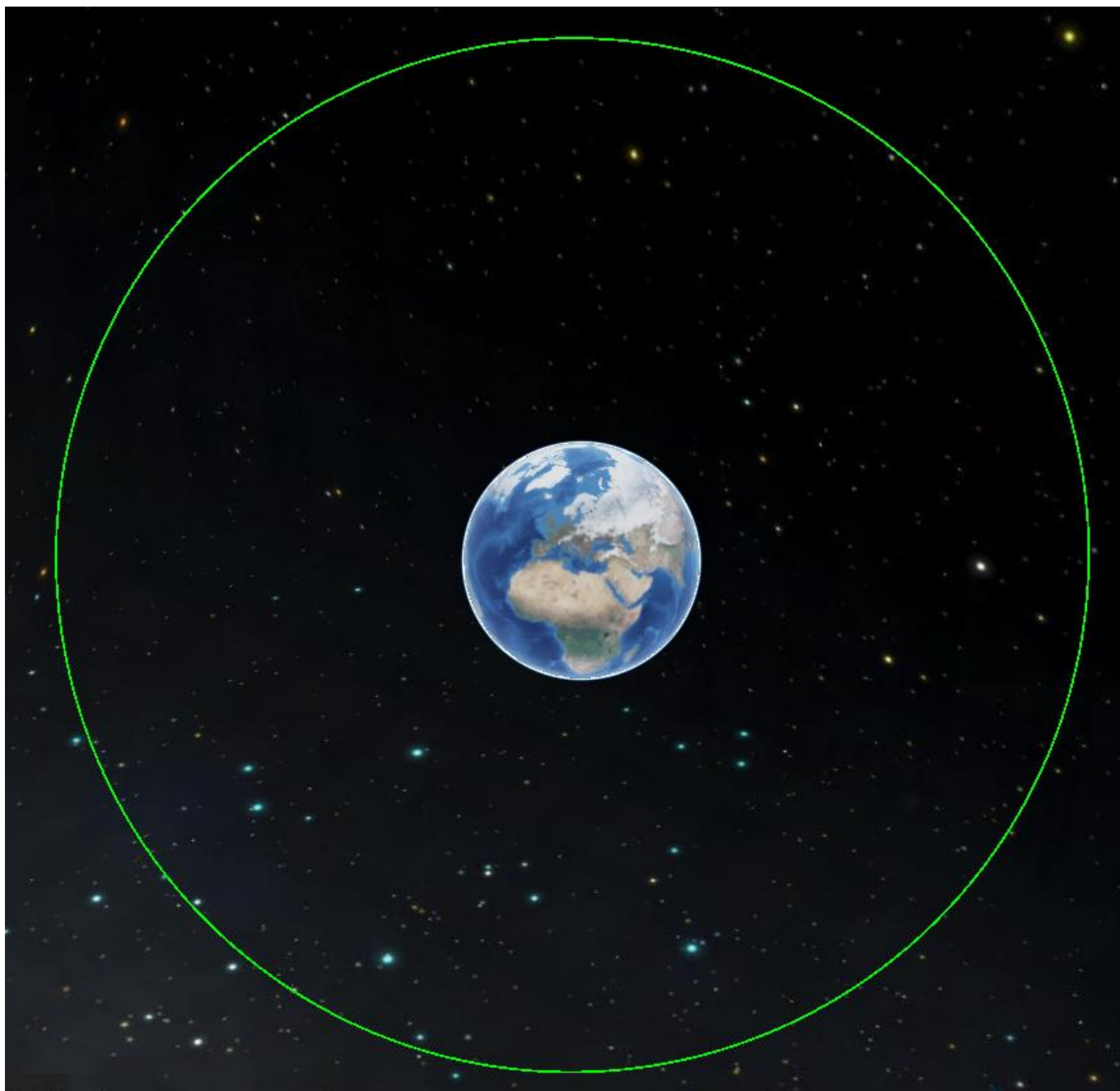


Рисунок 4 — Модель сервиса Celestia, общий вид орбиты спутника

1.2. Расчет графика угла места собственного спутника от времени

Рассчитаем график угла места собственного спутника от времени по данным Trimble GNSS Planning Online на интервал времени с 18:00 МСК 16 февраля до 06:00 МСК 17 февраля 2021 года.

Установили приблизительные координаты местоположения антенны и границы времени, также выбрали конкретный, интересующий нас, спутник C21.

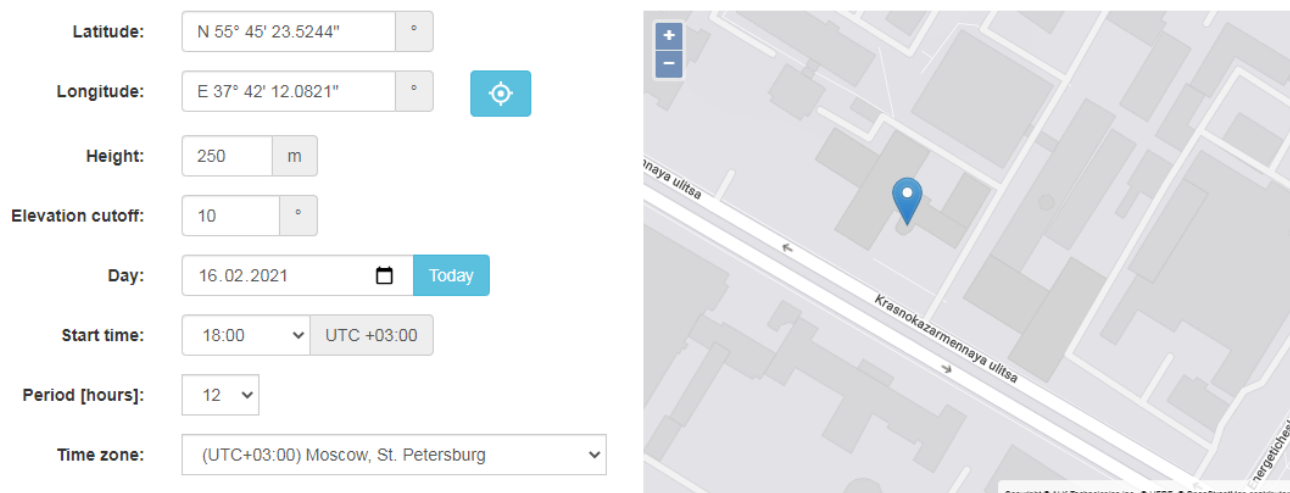


Рисунок 5 — Экран настроек Trimble GNSS Planning Online

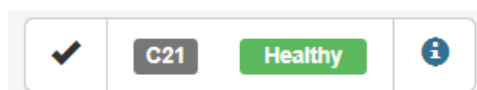


Рисунок 6 — Выбор собственного спутника

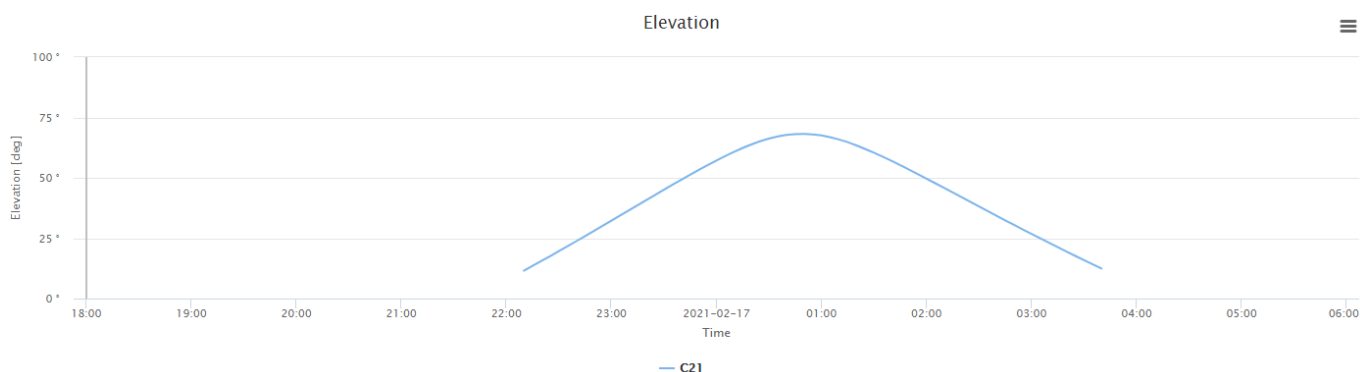


Рисунок 7 — График угла места спутника C21 от времени

По рисунку 6 видно, что спутник находился в зоне видимости в промежутке времени с 22:10 до 3:50.

1.3. Расчет диаграммы угла места и азимута спутника

Рассчитаем диаграммы угла места и азимута спутника (SkyView, он же SkyPlot) по данным Trimble GNSS Planning Online на интервал времени с 18:00 МСК 16 февраля до 06:00 МСК 17 февраля 2021 года.

Зафиксируем моменты появления спутника в зоне видимости и его исчезновения, пронаблюдаем траекторию движения спутника.

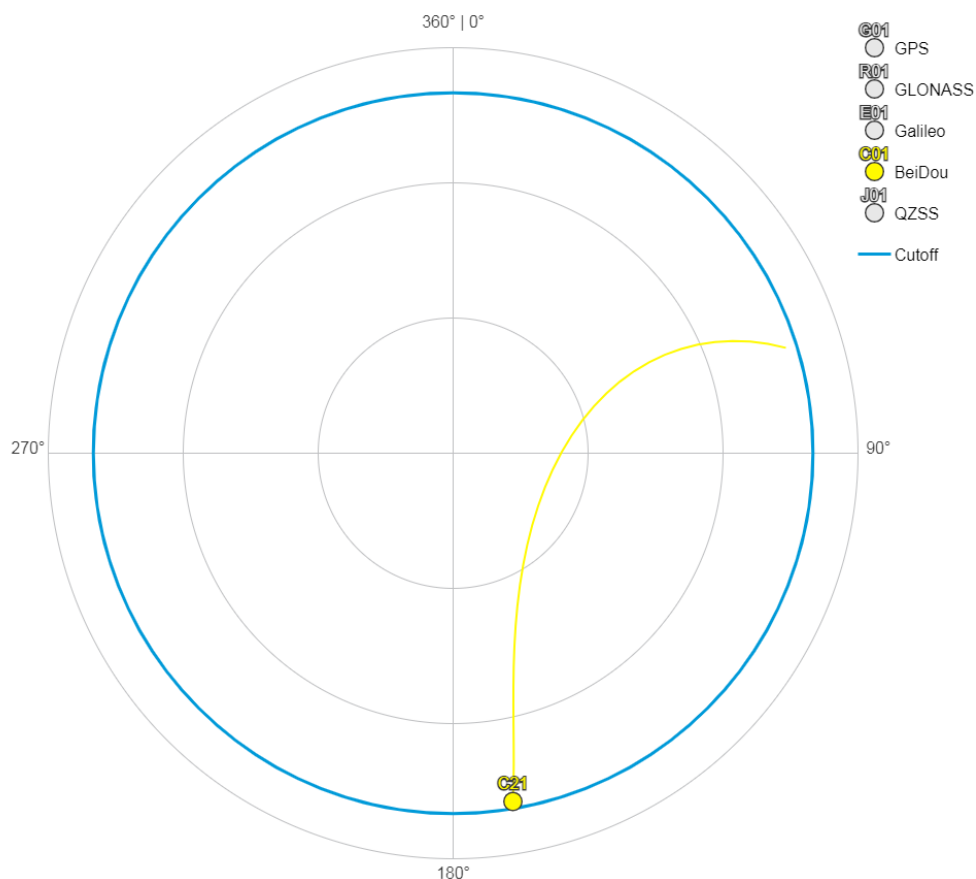


Рисунок 8 — Момент появления спутника в зоне видимости (Время: 2021-02-16 22:10 UTC +03:00)

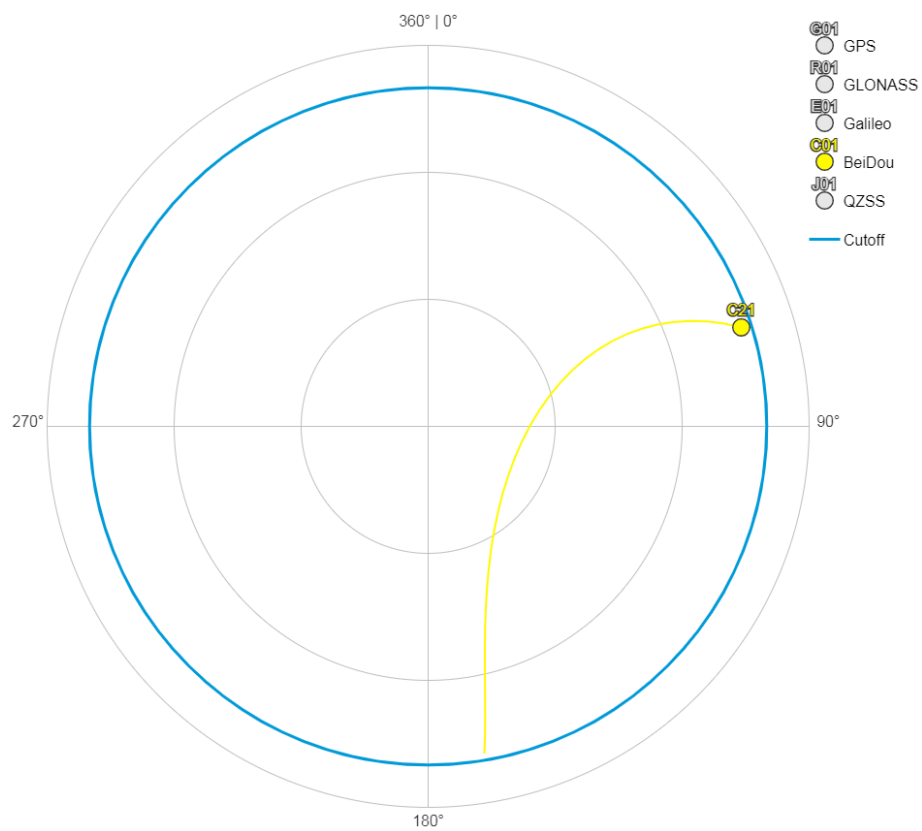


Рисунок 8 — Момент перед исчезновением спутника из зоны видимости (Время:
2021-02-17 03:40 UTC +03:00)

1.4. Формирование списка и описание параметров

Сформируем список и описание параметров, входящих в состав эфемерид в сигнале B1I Beidou. Сформируем список эфемерид [3]:

Таблица 1 — Описание параметров эфемерид

Параметры	Определение
t_{oe}	Исходное время эфемерид
\sqrt{A}	Квадратный корень из большой полуоси
e	Эксцентриситет
ω	Аргумент перигея
Δn	Среднее отклонение движения от расчетного значения
M_0	Средняя аномалия в исходное время
Ω_0	Долгота восходящего узла орбитальной плоскости, вычисленная по исходному времени
$\dot{\Omega}$	Скорость прямого восхождения
i_0	Угол наклона в исходное время
$IDOT$	Скорость угла наклона
C_{uc}	Амплитуда косинусного гармонического корректирующего члена к аргументу широты
C_{us}	Амплитуда синусного гармонического корректирующего члена к аргументу широты
C_{rc}	Амплитуда косинусного гармонического корректирующего члена к радиусу орбиты
C_{rs}	Амплитуда синусного гармонического корректирующего члена к радиусу орбиты
C_{ic}	Амплитуда косинусного гармонического корректирующего члена к углу наклона
C_{is}	Амплитуда синусного гармонического корректирующего члена к углу наклона

Таблица 2 — Значения параметров эфемерид спутника C21

Параметр	Обозначение	Значение	Размерность
SatNum	PRN	21	-
toe	t_{oe}	241200000.000	мс
Crs	C_{rc}	-6.6843750000000000e+01	рад
Dn	Δn	3.86908994426393704e-12	рад/мс
M0	M_0	3.86908994426393704e-12	рад
Cuc	C_{uc}	-3.16184014081954956e-06	рад
e	e	6.40757265500724316e-04	-
Cus	C_{us}	6.28596171736717224e-06	рад
sqrtA	\sqrt{A}	5.28262227249145508e+03	м ^{1/2}
Cic	C_{ic}	1.76951289176940918e-08	рад
Omega0	Ω_0	-2.80692060956725220e-01	рад
Cis	C_{is}	-6.79865479469299316e-08	рад
i0	i_0	9.64946480705556331e-01	рад
Crc	C_{rc}	2.33203125000000000e+02	рад
omega	ω	-9.96705605657731697e-01	рад
OmegaDot	$\dot{\Omega}$	-6.91350226083361201e-12	рад/мс
iDot	\dot{I}	-1.40362989539061277e-13	рад/с
Tgd	T_{GD}	1.4100000000000000e+05	мс
toc	t_{oc}	2.4120000000000000e+08	мс
af2	a_{f2}	0.0000000000000000e+00	мс/мс ²
af1	a_{f1}	-1.83684178978182899e-11	мс/мс
af0	a_{f0}	-8.41504871845245361e-01	мс
URA	-	0	-
IODE	-	257	-
IODC	-	0	-

codeL2	-	0	-
L2P	-	0	-
WN	-	789	-

Список литературы и источников

1. Википедия. Бэйдоу - https://ru.wikipedia.org/wiki/Бэйдоу#Список_спутников
2. «Информационно-аналитический центр координатно-временного и навигационного обеспечения» - <https://www.glonass-iac.ru/BEIDOU/>
3. BeiDou Navigation Satellite System Signal In Space Interface Control Document Open Service Signal B1I (Version 3.0) - China Satellite Navigation Office February 2019