

2 Моделирование траектории движения

2.1 Задание второе

Требуется реализовать на языке Matlab или Python функцию расчета положения спутника GPS на заданный момент по шкале времени UTC. В качестве эфемерид использовать данные, полученные на предыдущем этапе.

Построить трехмерные графики множества положений спутника GPS с системным номером, соответствующим номеру студента по списку. Графики в двух вариантах: в СК ECEF WGS84 и соответствующей ей инерциальной СК. Положения должны соответствовать суточному интервалу на дне формирования наблюдений, определенном на предыдущем этапе. Допускается использовать одни и те же эфемериды на весь рассматриваемый интервал.

Вывести значения координат спутника в файл out.txt в системе ECEF WGS 84 в виде строк: Секунда_от_начала_дня X Y Z.

Используя оценку местоположения с предыдущего этапа, построить Sky Plot за указанный временной интервал и сравнить результат с Trimble GNSS Planning Online.

Требуется:

1. Реализовать в Matlab или Python (описание модели и её листинг)
2. Записать таблицу использованных эфемерид
3. Построить трехмерные графики положений спутника в ECEF и ECI (не забыть подписать оси, изобразить соответствующую Земле сферу в начале СК)
4. Построить расчётный и полученный в GNSS Planing Online SkyView

2.2 Разработка программы расчета положения спутника

Из [2] запишем таблицу значений эфемерид из п.1.2 в соответствии с моделью GPS и воспользуемся константами из ИКД GPS.

Таблица 1 – Значения эфемерид в соответствии с моделью GPS

Crs	1.056250e+01
Δn	2.848947e-07
M_0	136.526979
Cuc	3.501773e-07
e	1.554191e-02
Cus	5.355105e-06

sqrtA	5.153684e+03
toe	-6.519258e-08
Cic	-2.887100e-07
Omega0	70.200499
Cis	2.710312e+02
i0	54.466585
Crc	-131.270351
omega	-4.590606e-07
OmegaDot	7.346443e-09
iDot	-1.117587e-08
Tgd	100800
toc	100800
af2	3.101248e-04
af1	149
af0	35
WN	0

Далее значения из табл.1 используются для расчета положения спутника GPS на заданный момент по шкале времени UTC на суточном интервале в системе координат ECEF WGS 84 и соответствующей ей инерциальной СК. Алгоритм расчёта координат КА взят из [2].

Для перевода в инерциальную СК расчёт проводится по (1):

$$\begin{cases} x' = x \cos(\theta) - y \sin(\theta) \\ y' = x \sin(\theta) + y \cos(\theta) \\ z' = z \end{cases} \quad (1)$$

, где $\theta = \Omega_c (t - t_0)$

Центр декартовой системы координат переносится в точку приёма (рисунок 6). Далее координаты КА относительно точки приёма пересчитываются в полярную систему координат по (2) из алгоритма ИКД.

$$\begin{cases} r = \sqrt{x^2 + y^2 + z^2} \\ \cos(\theta) = \frac{z}{\sqrt{x^2 + y^2 + z^2}} \\ \operatorname{tg}(\varphi) = \frac{y}{x} \end{cases} \quad (2)$$

Координаты приёмника в RTKNAVI:

```

Solution:                SINGLE ☐
N:                        44° 09' 36.3261"
E:                        39° 00' 13.0546"
He:                       1.247 m
N: 5.081 E: 2.342 U: 4.863 m
Age: 0.0 s Ratio: 0.0 #Sat: 6

```

Рисунок 6 – Координаты приемника

Вывод значений координат производится в файл out.txt. В приложении Б представлен листинг кода, реализующий расчёт положения КА и вывод соответствующих графиков.

2.3 Результаты моделирования

На рисунке 7 представлена траектория движения КА №7 на интервале суток в СК ECEF WGS 84 с отмеченным местоположением приёмника. На рисунке 8 изображена траектория движения КА в СК, а также точка, в которой находится приёмник. На рисунке 8 изображён Sky Plot с учётом угла места в 10 град.

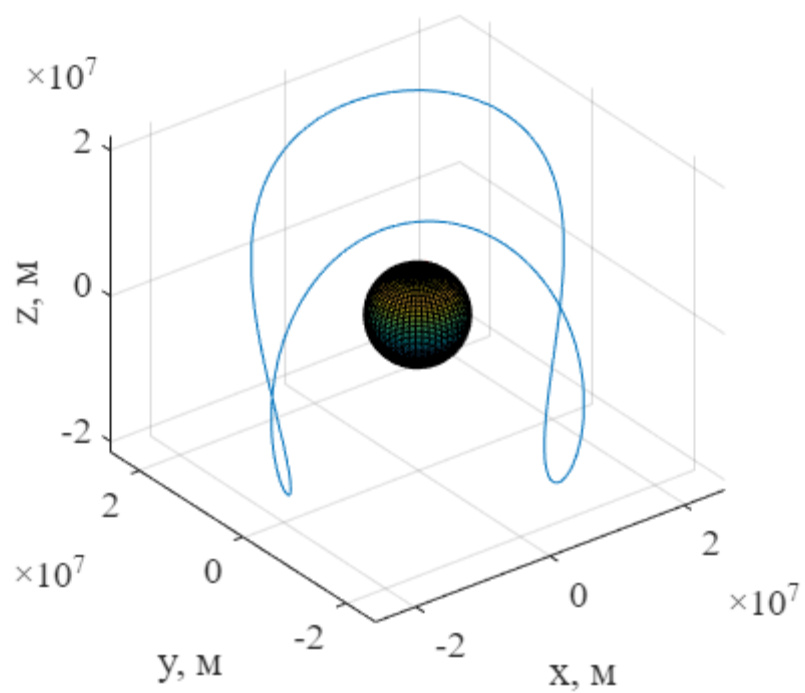


Рисунок 7 – Траектория движения КА в СК ECEF WGS84 и приёмник

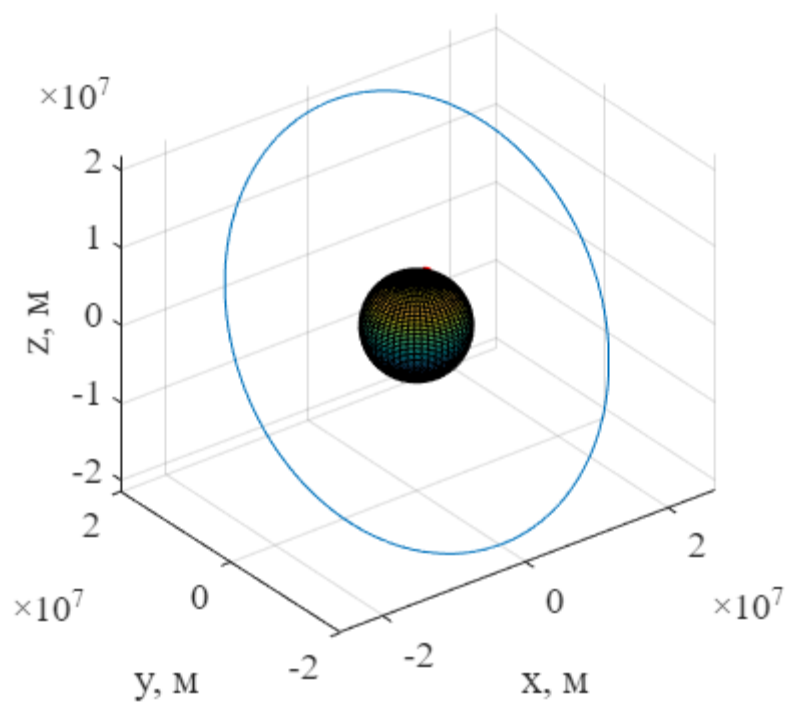


Рисунок 8 – Траектория движения КА в СК ECI и приёмник

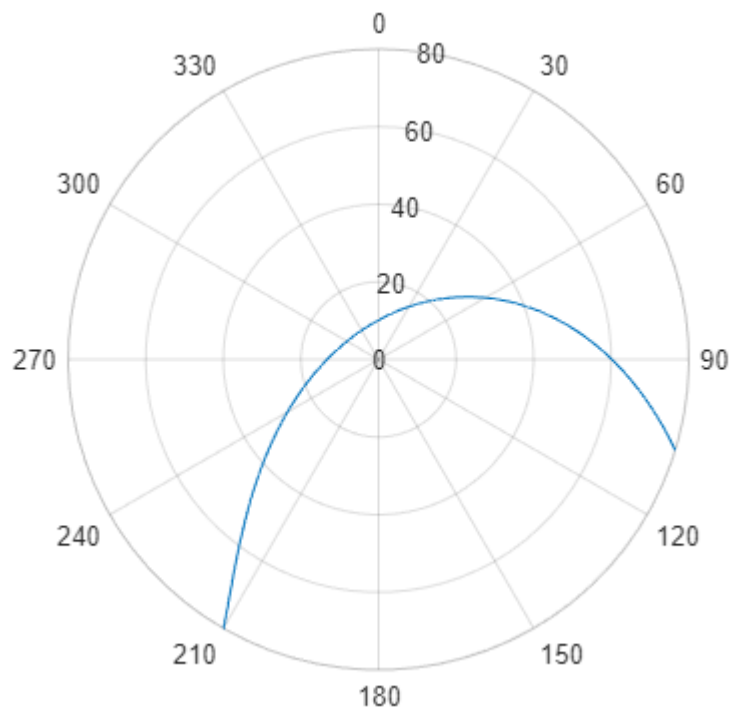


Рисунок 9 – Sky Plot

2.4 Сравнение результатов моделирования с Trimble GNSS Planning Online

Выставим необходимые параметры в Trimble GNSS Planning Online для построения SkyView на заданную дату и время:

Satellite Selection		
Change selection		
Satellites: 30/140		
System: active	Selected	Healthy
GPS <input checked="" type="checkbox"/>	30	30
GLONASS <input checked="" type="checkbox"/>	0	22
Galileo <input checked="" type="checkbox"/>	0	24
BeiDou <input checked="" type="checkbox"/>	0	48
QZSS <input checked="" type="checkbox"/>	0	5
IRNSS <input checked="" type="checkbox"/>	0	7

My Settings	
Time of almanac:	2022-02-14
Time zone:	UTC +00:00
Visible period:	2022-02-14 04:00 - 2022-02-15 04:00
Latitude:	N 44° 9' 36.3261"
Longitude:	E 39° 0' 13.0546"
Height:	1 m
Elevation cutoff:	10 °

Settings	
Latitude:	N 44° 9' 36.3261"
Longitude:	E 39° 0' 13.0546"
Height:	1,247 m
Elevation cutoff:	10 °
Day:	14.02.2022 Today
Start time:	04:00 UTC+00:00
Period [hours]:	24
Time zone:	(UTC) Coordinated Universal Time
<input checked="" type="button" value="Apply"/>	

Рисунок 10 — Данные для построения SkyView

На рисунках 11,12 построен SkyView КА №7 системы GPS.

На интервале времени 14.02.2022 04:00 - 15.02.2022 04:00 из точки приёма КА виден 2 раза.

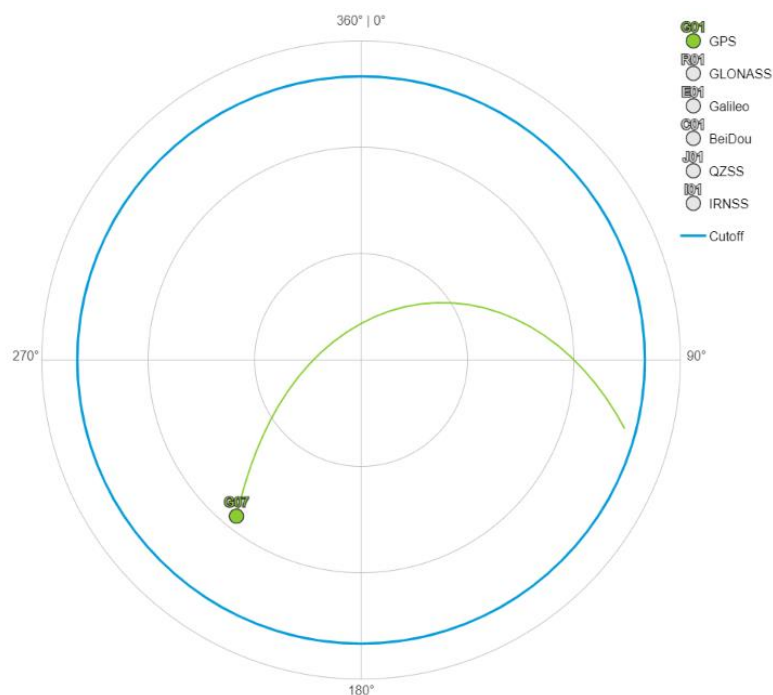


Рисунок 11 – Построение SkyView для первого пролёта КА

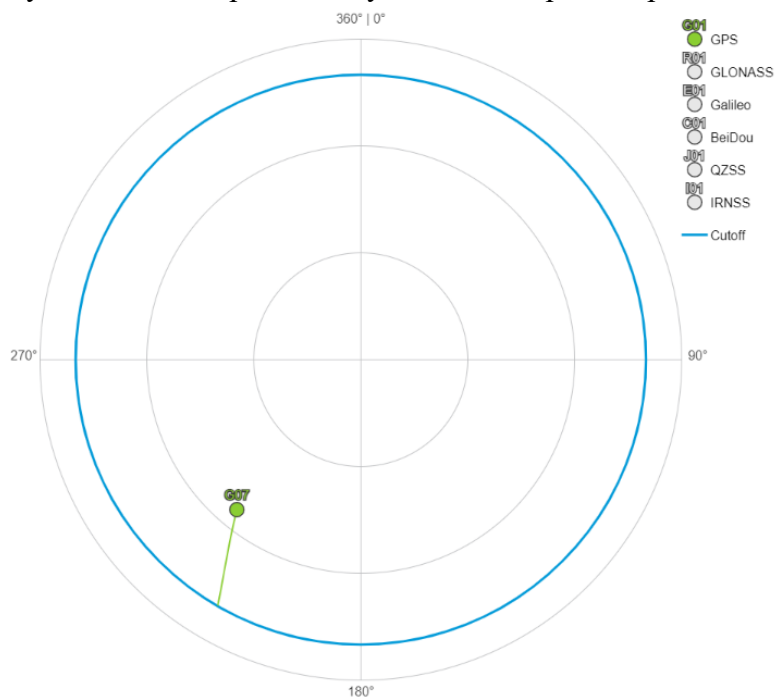


Рисунок 12 – Построение SkyView для второго пролёта КА

Комментарий к рис. 9,11,12:

Рассчитанные положения КА в результате моделирования совпадают с Trimble GNSS Planning Online

Вывод:

На втором этапе курсового проекта была разработана программа, выполняющая расчет положения спутника GPS, выводящая в файл out.txt значения координат спутника в заданном формате. При сравнении графиков на рисунках 8 и 10 замечается сходство рассчитанного SkyView и полученного с помощью Trimble GNSS Planning Online.