

**Национальный исследовательский университет
«МЭИ»**

Институт радиотехники и электроники

Кафедра радиотехнических систем

Особенности СРНС ГЛОНАСС, GPS, Galileo, Бэйдоу

Контрольная работа №1

ФИО студента: Жеребин В.Р.

Группа: ЭР-15-15

Вариант №: 3

Дата: 17. 03.20

Подпись: _____

ФИО преподавателя: Шатилов А.Ю.

Оценка: _____

Москва, 2020 г.

Дано:

1. Текущая дата и время T в шкале времени UTC.
2. Спутниковая радионавигационная система (ГЛОНАСС, GPS, или Galileo).
3. Системный номер навигационного спутника.

№ варианта	СРНС	Текущая дата и время T в шкале UTC (дд/мм/гггг чч:мм:сс)	№ НКА
3	ГЛОНАСС	28/02/2014 12:00:00	5

Требуется:

1. Записать текущее время в T форматах систем ГЛОНАСС, GPS и Galileo, с учетом поправок между системными шкалами и UTC.
2. Найти альманах группировки заданной СРНС на заданную дату (в интернете).
3. Рассчитать по альманаху координаты и вектор скорости заданного спутника на заданный момент времени, пользуясь алгоритмом из ИКД.
4. Предъявить исходные коды программы, выполняющей расчеты.

1. Формат времени ГЛОНАСС:

$N_4:N_T:t$

N_4 – номер четырехлетнего периода, первый год первого четырёхлетия соответствует 1996 году. $N_4 = \frac{2014-1996}{4} = 4,5$. Округляем в большую сторону: $N_4 = 5$.

N_T – текущая дата, календарный номер суток внутри четырехлетнего интервала, начиная с 1-го января високосного года. $N_T = 365 \cdot 2 + 31 + 28 = 789$.

t – количество секунд от начала текущих суток. $t = 12 \cdot 60 \cdot 60 = 43200$. Шкала времени системы ГЛОНАСС формируется от Московского декретного времени как время UTC плюс 3 часа (10800 с): $t = 43200 + 10800 = 54000$

Для заданных даты и времени, формат времени ГЛОНАСС будет содержать следующее значение:

5:789:54000

2. Альманах группировки представлен в приложении.

Альманах НКА №5 ГЛОНАСС:

Строка 1	
число получения альманаха	28
месяц получения альманаха	02
год получения альманаха	2014
время получения альманаха от начала суток, с UTC	1804
комментарий (приемник, с которого получено, версия SW и т.д.)	
Строка 2	
номер КА в группировке	5
номер частотного слота (-7 - 24)	1
признак здоровья по альманаху (0 - 1)	1
число	27
месяц	02
год	2014
время прохождения первого узла, на которое все дано, с	0.452390625E+04
поправка ГЛОНАСС-UTC, с	0.000000000E+00
поправка GPS-ГЛОНАСС, с	0.000000000E+00
поправка времени КА ГЛОНАСС относительно системного времени, с	0.160217285E-03
Строка 3	
Lam - долгота узла, полуциклы	0.5243139E+00
dI - коррекция наклона, полуциклы	0.6758690E-02
w - аргумент перигея, полуциклы	0.3695374E+00
E - эксцентриситет	0.5750656E-03
dT - поправка к драконическому периоду, с	-0.2656127E+04
dTT - поправка к драконическому периоду, с/виток	0.1220703E-02

3. Расчет координат и вектора скорости на заданный момент времени:

Алгоритм расчета координат:

- 1) Определяется интервал прогноза в секундах:

$$\Delta t_{\text{пр}} = 135876,09375 \text{ с}$$

- 2) Рассчитывается количество витков на интервале прогноза:

$$W = 3$$

- 3) Определяется текущее наклонение:

$$i = 1,103392380333442$$

- 4) Рассчитывается текущий драконический период и среднее движение:

$$T_{\text{др}} = 40543,881544921$$

$$n = 0,000154972466$$

- 5) Методом последовательных приближений определяется большая полуось орбиты:

m	a	p	$T_{\text{оск}}$
0	2.550798948189136e+07	2.550798104638791e+07	4.021748073108479e+04
1	2.537090278919708e+07	2.537089439902826e+07	4.021752498233370e+04
2	2.537092139957758e+07	2.537091300940260e+07	4.021752497627758e+04
3	2.537092139703061e+07	2.537091300685563e+07	4.021752497627841e+04

- 6) Определяется текущее значение долготы восходящего узла орбиты и аргумента перигея с учетом их векового движения под влиянием сжатия Земли:

$$\lambda = -8,262034061880609$$

$$\omega = 1,160952262584222$$

- 7) Рассчитывается значение средней долготы на момент прохождения текущего восходящего узла:

$$E_0 = -1,160424882601446$$

$$L_1 = 0,001054699437784$$

- 8) Определяется текущее значение средней долготы НКА:

$$L = 2,208554376778719$$

- 9) Параметры орбиты корректируются с учетом периодических возмущений от сжатия Земли:

Для большинства потребителей ГЛОНАСС пункт 9 можно опустить.

10) Определяется эксцентрическая аномалия путем решения уравнения Кеплера:

m	$E^{(m)}$
0	1.048100251897312
1	1.048100394966053
2	1.048100395007126

11) Определяется истинная аномалия и аргумент широты НКА:

$$v = 1,048598747384915$$

$$u = 2,209551009969137$$

12) Рассчитываются координаты центра масс НКА в геоцентрической прямоугольной пространственной системе координат:

$$p = 25370913,00685563$$

$$r = 25363,63783560268 \text{ км}$$

$$x(t_i) = 14422,24918480124 \text{ км}$$

$$y(t_i) = 10239,32636589026 \text{ км}$$

$$z(t_i) = 18178,80766936876 \text{ км}$$

13) Рассчитываются составляющие вектора скорости центра масс НКА в геоцентрической прямоугольной пространственной системе координат:

$$v_r = 0,001975602779520$$

$$v_u = 3,964837502739980$$

$$\dot{x}(t_i) = 0,7469500924744689 \text{ км/с}$$

$$\dot{y}(t_i) = -1,048341779781355 \text{ км/с}$$

$$\dot{z}(t_i) = -0,002108863701152701 \text{ км/с}$$

Так же составляющие вектора скорости центра масс НКА можно найти путем численного дифференцирования координат. Для этого рассчитаем координаты для времени $(t_i + 1)$ с, сведем в таблицу, и рассчитаем приращение:

t	$x(t)$, км	$y(t)$, км	$z(t)$, км
t_i	14422,24918480124	10239,32636589026	18178,80766936876
$t_i + 1$	14423,28028329213	10241,59269365956	18176,71556241687

$$\dot{x}(t_i) = \frac{x(t_i + 1) - x(t_i)}{(t_i + 1) - t_i} = 1,031098490890116 \text{ км/с}$$

$$\dot{y}(t_i) = \frac{y(t_i + 1) - y(t_i)}{(t_i + 1) - t_i} = 2,266327769299969 \text{ км/с}$$

$$\dot{z}(t_i) = \frac{z(t_i + 1) - z(t_i)}{(t_i + 1) - t_i} = -2,092106951888651 \text{ км/с}$$

Приложение 1. Альманах группировки ГЛОНАСС на заданное число

```

28 02 2014 3600
1 1 1 27 02 2014 0.248507500E+05 0.000000000E+00 0.000000000E+00 0.164031982E-03
0.5275345E-01 0.6829262E-02 0.1171570E+00 0.5092621E-03 -0.2656080E+04 0.9155273E-03
28 02 2014 1801
2 -4 1 27 02 2014 0.297991563E+05 0.000000000E+00 0.000000000E+00 -0.572204590E-04
-0.6247902E-01 0.9443283E-02 -0.6283875E+00 0.1129150E-02 -0.2656059E+04 0.9155273E-03
28 02 2014 1802
3 5 1 27 02 2014 0.349075938E+05 0.000000000E+00 0.000000000E+00 -0.762939453E-05
-0.1797695E+00 0.8511543E-02 -0.5834656E+00 0.1126289E-02 -0.2656070E+04 0.7934570E-03
28 02 2014 1803
4 6 1 27 02 2014 0.400349375E+05 0.000000000E+00 0.000000000E+00 -0.610351562E-04
-0.2993679E+00 0.8620262E-02 -0.5131531E+00 0.2803802E-03 -0.2656035E+04 0.7324219E-03
28 02 2014 1804
5 1 1 27 02 2014 0.452390625E+04 0.000000000E+00 0.000000000E+00 0.160217285E-03
0.5243139E+00 0.6758690E-02 0.3695374E+00 0.5750656E-03 -0.2656127E+04 0.1220703E-02
28 02 2014 1805
6 -4 1 27 02 2014 0.973200000E+04 0.000000000E+00 0.000000000E+00 -0.419616699E-04
0.4034157E+00 0.6728172E-02 0.7053528E+00 0.8897781E-03 -0.2656035E+04 0.1220703E-02
28 02 2014 1806
7 5 1 27 02 2014 0.146638125E+05 0.000000000E+00 0.000000000E+00 0.877380371E-04
0.2903404E+00 0.8557320E-02 -0.5739746E+00 0.9355545E-03 -0.2656049E+04 0.9765625E-03
28 02 2014 1807
8 6 1 27 02 2014 0.196609375E+05 0.000000000E+00 0.000000000E+00 0.228881836E-04
0.1742277E+00 0.8598328E-02 -0.3838806E+00 0.1724243E-02 -0.2656078E+04 0.1037598E-02
28 02 2014 1808
9 -2 1 27 02 2014 0.231483437E+05 0.000000000E+00 0.000000000E+00 -0.762939453E-05
0.7628145E+00 0.1182270E-01 0.9649658E-01 0.2434731E-02 -0.2655809E+04 -0.9155273E-03
28 02 2014 1809
10 -7 1 27 02 2014 0.279844687E+05 0.000000000E+00 0.000000000E+00 0.190734863E-04
0.6491985E+00 0.1622295E-01 0.8632507E+00 0.1518250E-02 -0.2655750E+04 -0.8544922E-03
28 02 2014 1810
11 0 1 27 02 2014 0.330728437E+05 0.000000000E+00 0.000000000E+00 0.190734863E-04
0.5293388E+00 0.1411152E-01 0.5157471E-02 0.1950264E-02 -0.2655762E+04 -0.8544922E-03
28 02 2014 1811
12 -1 1 27 02 2014 0.383048750E+05 0.000000000E+00 0.000000000E+00 0.457763672E-04
0.4110298E+00 0.1181221E-01 0.9044800E+00 0.3286362E-02 -0.2655803E+04 -0.8544922E-03
28 02 2014 1812
13 -2 1 27 02 2014 0.288537500E+04 0.000000000E+00 0.000000000E+00 0.427246094E-03
-0.7700605E+00 0.1403713E-01 0.4422302E+00 0.6036758E-03 -0.2655729E+04 -0.1037598E-02
28 02 2014 1813
14 -7 1 27 02 2014 0.785528125E+04 0.000000000E+00 0.000000000E+00 -0.572204590E-04
-0.8838406E+00 0.1613712E-01 0.8533020E+00 0.1471519E-02 -0.2655545E+04 -0.1037598E-02
28 02 2014 1814
15 0 1 27 02 2014 0.129892188E+05 0.000000000E+00 0.000000000E+00 -0.152587891E-04
0.9969406E+00 0.1612854E-01 -0.3933716E-01 0.2400398E-02 -0.2656123E+04 -0.9155273E-03
28 02 2014 1815
16 -1 1 27 02 2014 0.182121875E+05 0.000000000E+00 0.000000000E+00 -0.114440918E-04
0.8771420E+00 0.1171970E-01 0.7990417E+00 0.1971245E-02 -0.2655725E+04 -0.8544922E-03
28 02 2014 1816
17 4 1 27 02 2014 0.212984375E+05 0.000000000E+00 0.000000000E+00 -0.102996826E-03
-0.5272903E+00 0.1081657E-01 -0.6670227E+00 0.1244545E-02 -0.2656109E+04 0.4272461E-03
28 02 2014 1817
18 -6 1 27 02 2014 0.211320312E+05 0.000000000E+00 0.000000000E+00 0.381469727E-04
-0.5186043E+00 0.1121426E-01 -0.3778076E-01 0.1665115E-02 -0.2657199E+04 0.4272461E-03
28 02 2014 1818
19 3 1 27 02 2014 0.322007188E+05 0.000000000E+00 0.000000000E+00 0.839233398E-04
-0.7769079E+00 0.1129055E-01 -0.5152283E+00 0.1974106E-03 -0.2656611E+04 0.5493164E-03
28 02 2014 3589
20 2 1 27 02 2014 0.371852500E+05 0.000000000E+00 0.000000000E+00 0.953674316E-04
-0.8923292E+00 0.1135921E-01 -0.9793091E-01 0.1257896E-02 -0.2656477E+04 0.4882812E-03
28 02 2014 1819
21 4 1 27 02 2014 0.117631250E+04 0.000000000E+00 0.000000000E+00 0.534057617E-04
-0.5949688E-01 0.1087856E-01 -0.9805298E+00 0.1866341E-02 -0.2655930E+04 0.3662109E-03
28 02 2014 1820
22 -3 1 27 02 2014 0.597403125E+04 0.000000000E+00 0.000000000E+00 -0.114440918E-03
-0.1722012E+00 0.1075172E-01 -0.2969360E-01 0.3021240E-02 -0.2656104E+04 0.3051758E-03
28 02 2014 1821
23 3 1 27 02 2014 0.112063125E+05 0.000000000E+00 0.000000000E+00 0.598907471E-03
-0.2937918E+00 0.1065540E-01 0.5756836E+00 0.4196167E-04 -0.2656043E+04 0.3662109E-03
28 02 2014 1822
24 2 1 27 02 2014 0.160717187E+05 0.000000000E+00 0.000000000E+00 0.106811523E-03
-0.4066668E+00 0.1071072E-01 0.4372253E+00 0.5960464E-03 -0.2656117E+04 0.3662109E-03

```

Приложение 2. Листинг программы, выполняющей расчет

```
close all; clear all; clc;
format long

%% Расчет формата времени ГЛОНАСС
Time_year = 2014;
Time_month = 2;
Time_day = 28;

Time_hour = 12;
Time_minutes = 0;
Time_seconds = 0;

N4 = floor(1+(Time_year-1996)/4);
N_T = 365*(Time_year-1996-4*(N4-1)) + 31 + Time_day;
t = Time_seconds + Time_minutes*60 + Time_hour*60*60 + 10800;

Time_GLN = [N4 N_T t];

%% Альманах НКА
% Значения для расчета примера ИКД
% N_A = 1452;
% t_labda_A = 33571.625;
% delta_T_A = 0.01953124999975;
% delta_Tp_A = 6.103515625e-5;
% labda_A = -0.293967247009277;
% omega_A = 0.57867431640625;
% epsilon_A = 0.000432968139648438;
% delta_i_A = -0.00012947082519531;

%t_i = 51300;
%N = 1453;

%i_cr = 64.8;
%T_cr = 40544;

% Значения для расчета KP1
N_A = 788; % на 27.02.2014
t_labda_A = 0.452390625e+4; % время прохождения первого узла, на которое все
дано, с
delta_T_A = -0.2656127e+4; % поправка к среднему значению драконического
периода обращения, с
delta_Tp_A = 0.1220703e-2; % половинная скорость изменения драконического
периода
labda_A = 0.5243139e+0; % долгота восходящего узла на момент времени
t_labda_A
omega_A = 0.3695374e+0; % аргумент перигея орбиты на момент времени t_labda_A
epsilon_A = 0.5750656e-3; % эксцентриситет орбиты НКА на момент времени
t_labda_A
delta_i_A = 0.1220703e-2; % поправка к среднему значению наклонения орбиты, с

t_i = 54000; % Из 1 пункта
N = 789; % Из 1 пункта

i_cr = 63; % Из указаний
T_cr = 43200; % Из указаний

%% 1 Определяется интервал прогноза в секундах:
if N4 == 27
```

```

    delta_N_A = N - N_A - floor((N-N_A)/1461)*1461;
else
    delta_N_A = N - N_A - floor((N-N_A)/1460)*1460;
end
delta_t_pr = delta_N_A * 86400 + (t_i - t_labda_A)

%% 2 Рассчитывается количество целых витков W на интервале прогноза:
W = fix(delta_t_pr/(T_cr + delta_T_A))

%% 3 Определяется текущее наклонение:
i = (i_cr/180 + delta_i_A)*pi

%% 4 Определяются средний драконический период на витке W+1 и среднее
движение:
T_dr = T_cr + delta_T_A + (2*W+1) * delta_Tp_A
n = 2 * pi / T_dr

%% 5 Методом последовательных приближений m = 0, 1, 2... рассчитывается большая
полуось орбиты a:
GM = 398600441.8e6; % геоцентрическая константа гравитационного поля Земли с
учетом атмосферы
a_c = 6378136; % большая (экваториальная) полуось общеземного эллипсоида ПЗ-
90
J02 = 1082.62575e-6; % зональный гармонический коэффициент второй степени,

T_ock = T_dr;
a = 1;
a_old = 0;
p = 0;
cnt = 0;

% такой ужас, что бы не ошибиться с супер большой дробью
eq1 = 2 - (5/2)*((sin(i))^2);
eq2 = 1 - epsilon_A^2;
eq3 = 1 + epsilon_A*cos(omega_A*pi);
eq4 = eq2^(3/2);
eq5 = eq3^2;
eq6 = eq4 / eq5;
eq7 = eq3^3;
eq8 = eq7 / eq2;

Big_div = eq1 * eq6 + eq8;

while abs(a - a_old) > 1e-2
    a_old = a;
    a = (((T_ock/(2*pi))^2)*GM)^(1/3)
    p = a*eq2
    eq9 = 1 - (3/2)*J02*((a_c/p)^2);
    T_ock = T_dr/(eq9*Big_div)
    cnt = cnt + 1;
end

%% 6 Определяются текущие значения долготы восходящего узла орбиты и
аргумента перигея с учетом их векового движения под влиянием сжатия Земли:
omega_z = 7.2921150e-5; % угловая скорость вращения Земли
labda = labda_A*pi - (omega_z+(3/2)*J02*n*((a_c/p)^2)*cos(i))*delta_t_pr
omega = omega_A*pi - (3/4)*J02*n*((a_c/p)^2)*(1-5*cos(i)^2)*delta_t_pr

%% 7 Рассчитывается значение средней долготы на момент прохождения текущего
восходящего узла:
E0 = -2*atan(sqrt((1-epsilon_A)/(1+epsilon_A))*tan(omega/2))
L1 = omega + E0 - epsilon_A*sin(E0)

```



```

%% 8 Определяется текущее значение средней долготы НКА:
L = L1 + n*(delta_t_pr-(T_cr+delta_T_A)*W-delta_Tp_A*W^2)

%% 9 Параметры корректируются с учетом периодических возмущений от сжатия
Земли по формулам:
% Для потребителей пункт 9 настоящего алгоритма можно опустить

%% 10 Определяется эксцентрическая аномалия путем решения уравнения Кеплера

E = L - omega;
E_old = 0;
cnt1 = 0;

while abs(E - E_old) > 1e-9
    E_old = E;
    E = L - omega + epsilon_A * sin(E) % что за эпсилон тут должна быть!?
    cnt1 = cnt1 + 1;
end

%% 11 Вычисляются истинная аномалия и аргумент широты НКА u:
upsilon = 2*atan(sqrt((1+epsilon_A)/(1-epsilon_A))*tan(E/2))
u = upsilon + omega

%% 12 Рассчитываются координаты центра масс НКА в геоцентрической
прямоугольной пространственной системе координат:
p = a * eq2
r = p / (1 + epsilon_A*cos(upsilon))

x = r * (cos(labda)*cos(u) - sin(labda)*sin(u)*cos(i))
y = r * (sin(labda)*cos(u) + cos(labda)*sin(u)*cos(i))
z = r * sin(u)*sin(i)

%% 13 Определяются составляющие вектора скорости центра масс НКА в
геоцентрической прямоугольной пространственной системе координат:
mu = 3.986004418e+08;

v_r = sqrt(mu/p)*epsilon_A*sin(upsilon)
v_u = sqrt(mu/p)*(1+epsilon_A*cos(upsilon))

v_x = v_r * (cos(labda)*cos(u) - sin(labda)*sin(u)*cos(i)) ...
      -v_u * (cos(labda)*sin(u) + sin(labda)*cos(u)*cos(i)) ...
      +omega_z*y
v_y = v_r * (sin(labda)*cos(u) + cos(labda)*sin(u)*cos(i)) ...
      -v_u * (sin(labda)*sin(u) - cos(labda)*cos(u)*cos(i)) ...
      -omega_z*x
v_z = v_r * sin(u)*sin(i) + v_u * cos(u)*sin(i)

%% Расчет mu
p = 25508.950840878515;
Vr = 0.0016757724716836881;
epsilon_A = 0.00042419917873569112;
upsilon = 1.6065317766004903;
mu = p * (Vr/(epsilon_A*sin(upsilon)))^2

```