

Задание 1-3.

Рассчитать исправленные геомагнитные координаты в величины конуса потерь вдоль траектории спутника.

Выполнил Лапин Ярослав. 12/12/2010.

Данные

Использовались данные спутника Polar из задания 1.1¹.

Исправленные геомагнитные координаты

Исправленные геомагнитные координаты (CGM) заданной точки это координаты (широта и долгота), которые вычисляются следующим образом. Из заданной точки вдоль силовой линии магнитного поля IGRF (без внешнего поля) вычисляется проекция на дипольный геомагнитный экватор (с помощью п/п TRACE), потом нужно вернуться на ту же высоту вдоль линии поля магнитного поля DIP (без внешнего поля) и полученные широта и долгота и будут исправленными геомагнитными координатами.

Рассчёт исправленных геомагнитных координат

В работе мы будем использовать другой подход. Так как IGRF и DIP совпадают на большом отдалении от земли, то уходить и возвращаться обратно достаточно до расстояния $6 R_E$. Чтобы точку из координатной системы GSM перевести в CGM нужно сначала используя GEOGSM перевести в GEO, потом используя GEOMAG перевести в MAG и используя SPHCAR перевести координаты MAG в широту, долготу.

Определение положения проекции

```
subroutine get_footprint_gsm(XGSM,YGSM,ZGSM, XF, YF, ZF)
dimension parmod(10) ! -- dummy
external dip, zero, igrf_gsm ! declare dip, zero as subroutine names
real :: XX(1000),YY(1000),ZZ(1000) ! array containing all points along field line
RLIM = 60.0
R0 = 1.
IOPT = 1
```

¹https://github.com/JLarky/magnetosphere-magnetic-field/tree/master/task_1.1/

```

dir = -1.
call TRACE (XGSM,YGSM,ZGSM, DIR,RLIM,R0,IOPT,PARMOD,ZERO,IGRF_GSM,
            _      XF,YF,ZF,XX,YY,ZZ,L)
r = sqrt(Xf**2+Yf**2+Zf**2)
if (r.gt.2.) then ! field line going to tail.
    ! I don't know how to handle that, so we will skip it
    print *, 'error', XGSM,YGSM,ZGSM, XF,YF,ZF
    XF = 0.;YF = 0.;ZF = 0.; !mark skiped points

end if
end subroutine get_footprint_gsm

```

Пересчёт положения проекции в исправленных геомагнитных координатах

```

subroutine get_cgm_from_gsm(XGSM,YGSM,ZGSM, LAT, LONG)
dimension parmod(10) ! -- dummy
external dip, zero, igrf_gsm ! declare dip, zero, igrf_gsm as subroutine names
real :: XX(1000),YY(1000),ZZ(1000) ! array containing all poins along field line
RLIM = 6.0 ! we dont need to go further, because in this area igrf=dip
R0 = 1.0
IOPT = 1

dir = 1.
call TRACE (XGSM,YGSM,ZGSM, DIR,RLIM,R0,IOPT,PARMOD,ZERO,IGRF_GSM,
            _      XF1,YF1,ZF1,XX,YY,ZZ,L)
r = sqrt(Xf1**2+Yf1**2+Zf1**2)
if (r.lt.5.9) then ! if final point closer than RLIM that means
    ! field line is closed and we must find point from trajectory
    ! that lies on equatorial plane (this point have max distant
    ! from Earth)
    do i = 1, L ! find most distant point from XX,YY,ZZ
        r_curr = sqrt(XX(i)**2+YY(i)**2+ZZ(i)**2)
        if (r_curr .gt. r) then ! is more distant
            r = r_curr
            XF1=XX(i);YF1=YY(i);ZF1=ZZ(i)
        end if
    end do
end if

```

```

    print *, 'error2', XGSM,YGSM,ZGSM, XF1,YF1,ZF1, 1
end if
dir = -1.
call TRACE (XF1,YF1,ZF1, DIR,RLIM+2.,R0,IOPT,PARMOD,ZERO,DIP,
            -      XF,YF,ZF,XX,YY,ZZ,L)
r = sqrt(Xf**2+Yf**2+Zf**2)
if (r.gt.2.) then
    print *, 'error3', XF1,YF1,ZF1, XF,YF,ZF, 1
    stop
end if

call gsm_to_mag_ll(XF,YF,ZF, THETA,PHI)
end subroutine

subroutine gsm_to_mag_ll(XGSM,YGSM,ZGSM, THETA,PHI)
! convert gsm to geo
call GEOGSM (XGEO,YGEO,ZGEO,XGSM,YGSM,ZGSM,-1)
print *, 'geo', XGEO,YGEO,ZGEO
! convert geo to mag
call GEOMAG (XGEO,YGEO,ZGEO,XMAG,YMAG,ZMAG,1)
! convert mag to spherical
call SPHCAR (R,THETA,PHI,Xmag,Ymag,Zmag,-1)
print *, R,THETA,PHI
end subroutine gsm_to_mag_ll

```

Определение pitch-угла на ионосферной высоте

```

subroutine get_pitch_angle(XI,YI,ZI,pa)
    dimension parmod(10) ! -- dummy
external dip, zero ! declare dip, zero as subroutine names
real :: XX(1000),YY(1000),ZZ(1000) ! array containing all poins along field line

RLIM = 30.0
R0 = 1.+100./6371.
IOPT = 1

dir = 1.
call TRACE (XI,YI,ZI,DIR,RLIM,R0,IOPT,PARMOD,ZERO,DIP,

```

```

        _      XF,YF,ZF,XX,YY,ZZ,L)
call get_fields(xx,yy,zz,l, tf1_min, tf1_max)
dir = -1.
call TRACE (XI,YI,ZI,DIR,RLIM,R0,IOPT,PARMOD,ZERO,DIP,
        _      XF,YF,ZF,XX,YY,ZZ,L)
call get_fields(xx,yy,zz,l, tf2_min, tf2_max)

tf_min = min(tf1_min,tf2_min)
tf_max = max(tf1_max,tf2_max)

pa = asin(sqrt(tf_min/tf_max))
print *, 'pitch', pa, tf_max, tf_min

end subroutine get_pitch_angle

subroutine get_fields(xx,yy,zz,l,tf_min,tf_max)
real :: xx(l), yy(l), zz(l)
c move along field line
tf_max = 0.
tf_min = 1e10
do i = 1, l
! calculate field module
call IGRF_GSM (xx(i),yy(i),zz(i),BXGSM,BYGSM,BZGSM)
tf = sqrt(bxgsm**2+bygsm**2+bzgsm**2)
if (tf.gt.tf_max) then
    tf_max = tf
end if
if (tf.lt.tf_min) then
    tf_min = tf
end if
c print *, tf, xx(i),yy(i),zz(i)
end do
! mark cases when we going from the Earth
if (sqrt(xx(i-1)**2+yy(i-1)**2+zz(i-1)**2).gt.1.1) then
    tf_min = 0.
end if
end subroutine

```

Результат

Пример выходного файла. Первые три столбика это данные положения спутника в GSM, следующие 2 это широта и долгота в CGM, последний столбик pitch-угол в радианах.

-3.867320	-3.533450	5.691220	11.155639	-45.251049	0.004627
-3.868140	-3.536140	5.675300	11.165236	-45.517414	0.004663
0.406071	-0.371808	-1.799490	10.440798	-165.892334	0.004657
0.941303	0.459064	-1.615260	0.000000	-180.000000	0.005627
0.970187	0.510048	-1.594390	14.451489	19.946859	0.007649
0.998444	0.560733	-1.572560	15.843851	19.342142	0.010046
1.800820	3.016750	1.077590	31.618912	-53.864365	0.101282
1.798830	3.034230	1.115560	31.416204	-53.930561	0.099608
1.796670	3.051390	1.153450	31.213699	-53.997005	0.098027
1.038670	3.812680	4.609000	22.014292	3.847968	0.019313
1.028960	3.815000	4.631320	21.933226	3.739136	0.019196
1.019220	3.817260	4.653560	21.852413	3.630972	0.018795
1.009460	3.819440	4.675710	21.771917	3.523329	0.018711
0.999676	3.821550	4.697770	21.691704	3.413526	0.018345

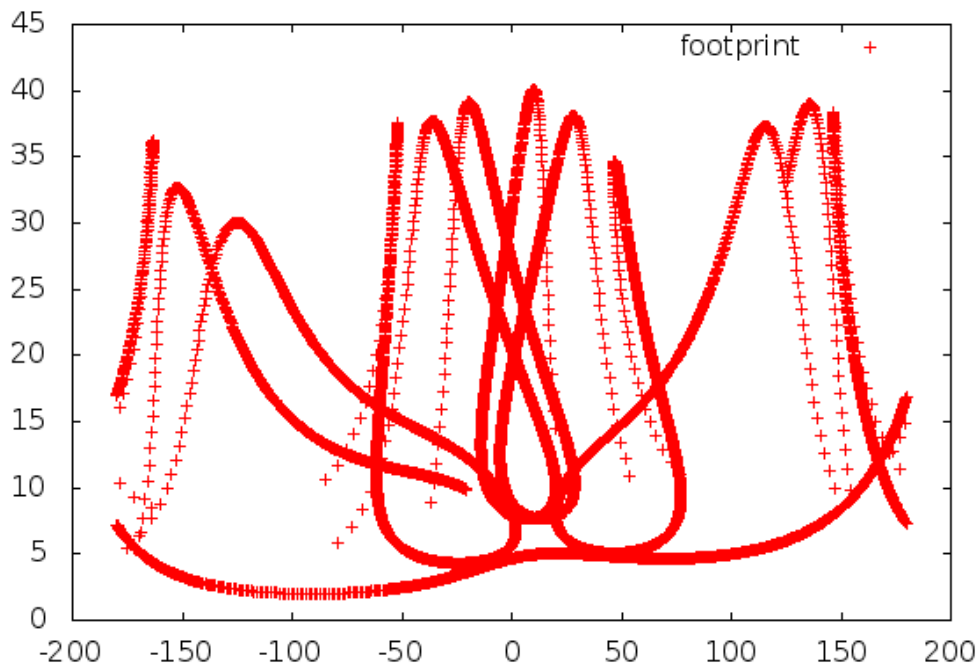


Figure 1: Визуализация широты и долготы проекции положения спутника в CGM

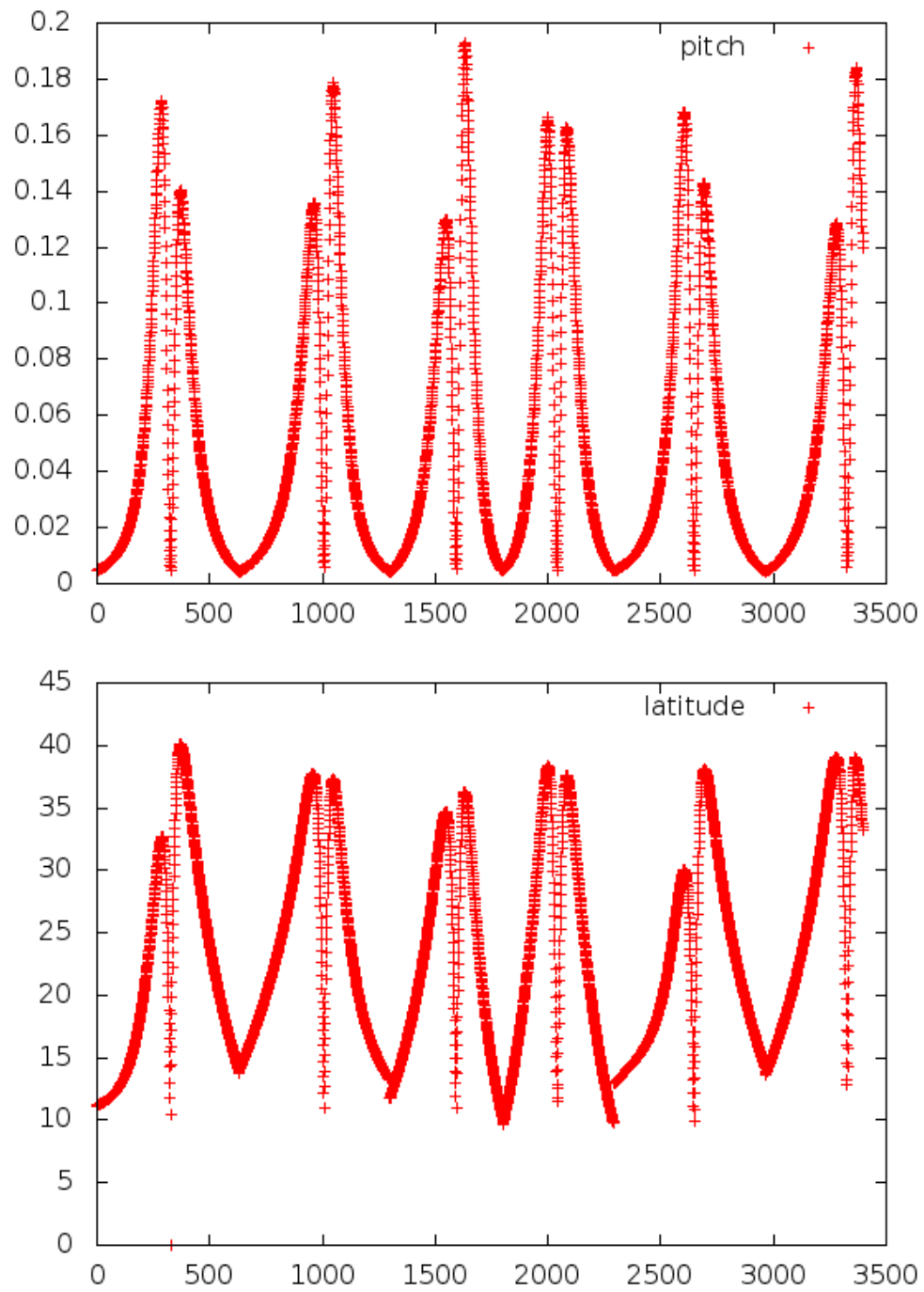


Figure 2: Питч-угол был посчитан в поле IGRF, поэтому заметны аномалии, но в целом связь между широтой и pitch-углом явная.