

UE Satellitengeodäsie - Übung 6

Berechnung der Satellitenkoordinaten aus Broadcast-Ephemeriden

Zur Lösung der Navigationsaufgabe müssen Satellitenpositionen und Satellitenzeit in Echtzeit dem Nutzer verfügbar sein. Dies wird durch die im GNSS Datensignal enthaltene Navigationsnachricht ermöglicht. Die Bahnrepräsentation geschieht durch eine Folge verschiedener gestörter Keplerbahnen. Die Broadcast-Ephemeriden enthalten die aktuellen Satellitenpositionen in Form einer Keplerellipse mit zusätzlichen Störparametern, die sich auf eine bestimmte Referenzepoche t_{0e} beziehen. Die Parameter beschreiben die Satellitenbahn für ein Zeitintervall von etwa 2 Stunden vor und 2 Stunden nach dem Referenzzeitpunkt. Der Referenzzeitpunkt wird in GPS-Systemzeit angegeben (GPS-Woche + t_{0e} in Sekunden).

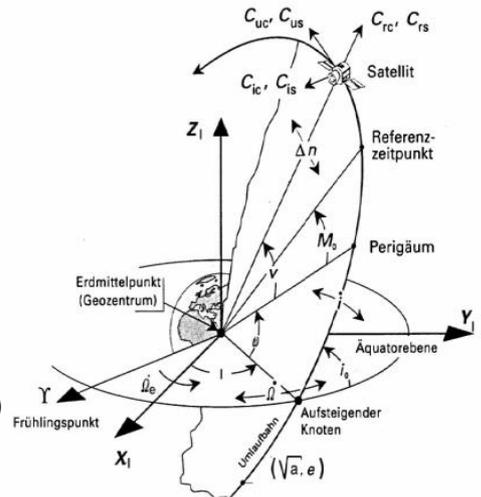
Bahnparameter

Zeitangaben

t_{0e} Referenzzeit für die Ephemeriden (Sekunden ab GPS-Wochenbeginn)

Keplerparameter

\sqrt{a} Wurzel aus der großen Halbachse
 e Exzentrizität
 i_0 Inklination zur Referenzzeit
 Ω Rektaszension des aufsteigenden Knotens (Achtung: hier bezogen auf Nullmeridian, nicht Frühlingspunkt!)
 ω Argument des Perigäums
 \bar{M}_0 Mittlere Anomalie zur Referenzzeit



Störungsparameter

Δn Differenz der mittleren Bewegung zum berechneten Wert (Beschreibt säkulare Drift $d\omega/dt$ auf Grund der Erdabplattung (C_{20}), Sonnen- und Mondgravitation und des Strahlungsdrucks der Sonne.)
 $\dot{\Omega}$ Änderungsrate der Rektaszension (säkulare Drift in der Rektaszension des Knotens aufgrund von C_{20} ; Anteile der Polbewegung)
 \dot{i} Änderungsrate der Inklination
 C_{us}, C_{uc} Amplituden zur Korrektur des Arguments der Breite
 C_{is}, C_{ic} der Inklination
 C_{rs}, C_{rc} des Bahnradius (Kurzperiodische Effekte von C_{20} . Enthalten auch Effekte höherer Ordnung und kurzperiodische Effekte der Mondgravitation, sowie andere Störungen)

Die Berechnung der Satellitenkoordinaten X_k, Y_k, Z_k für einen gegebenen Zeitpunkt t (in GPS-Zeit) erfolgt im erdfesten geozentrischen Koordinatensystem. Die seit der Referenzepoche t_{0e} verstrichene Zeit ist $t_k = t - t_{0e}$.

Gegeben:

$GM = 3,986005 \cdot 10^{14} \text{ m}^3/\text{s}^2$

Geozentr. Gravitationskonstante

$\dot{\Omega}_e = 7,2921151467 \cdot 10^{-5} \text{ rad/s}$

Erdrotationsgeschwindigkeit

Auszug aus der Broadcast Message vom 15.10.2015 (brdc2880.15n):

```

3 15 10 15 16 0 0.0 .199610367417E-04 -.147792889038E-11 .000000000000E+00
.900000000000E+02 -.207812500000E+02 .457447625958E-08 -.180185708521E+01
-.109896063805E-05 .484641175717E-03 .976212322712E-05 .515358584023E+04
.403200000000E+06 .763684511185E-07 .289000380005E+01 .428408384323E-07
.959622949611E+00 .188562500000E+03 -.275505104383E+01 -.799283293357E-08
-.560380484954E-09 .100000000000E+01 .186600000000E+04 .000000000000E+00
.240000000000E+01 .000000000000E+00 .186264514923E-08 .900000000000E+02
.400296000000E+06 .400000000000E+01
    
```

Aufgabe: Prädizieren Sie aus den zum Zeitpunkt 16:00 Uhr GPS-Zeit gültigen Parametern der Navigationsnachricht die geozentrischen, erdfesten Satellitenkoordinaten des GPS-Satelliten PRN03 zu den Zielzeitpunkten $t_{k1} = 17:00$ Uhr und $t_{k2} = 22:00$ und vergleichen Sie diese mit den hochpräzisen Orbits des IGS.

Korrigierte mittlere Bewegung	$n_k = \sqrt{\frac{GM}{a^3}} + \Delta n$
mittlere Anomalie	$\bar{M}_k = M_0 + n_k t_k$
exzentrische Anomalie	E_k iterativ (Formel (2.20) VO)
wahre Anomalie	$v_k = 2 \operatorname{atan} \left(\sqrt{\frac{1+e}{1-e}} \cdot \tan \left(\frac{E_k}{2} \right) \right)$
Argument der Breite	$\Phi_k = \omega + v_k$
Breitenkorrektur	$\delta u_k = C_{uc} \cos 2\Phi_k + C_{us} \sin 2\Phi_k$
Radiuskorrektur	$\delta r_k = C_{rc} \cos 2\Phi_k + C_{rs} \sin 2\Phi_k$
Inklinationskorrektur	$\delta i_k = C_{ic} \cos 2\Phi_k + C_{is} \sin 2\Phi_k$
Korrigiertes A. d. Breite	$u_k = \Phi_k + \delta u_k$
Korrigierter Radius	$r_k = a(1 - e \cdot \cos E_k) + \delta r_k$
Korrigierte Inklination	$i_k = i_0 + \dot{i} \cdot t_k + \delta i_k$
Korrigierte RA d. a. Knotens	$\Omega_k = \Omega - \dot{\Omega}_e t_{0e} - (\dot{\Omega}_e - \dot{\Omega}) t_k$
Position in der Bahnebene	$X'_k = r_k \cos u_k$ $Y'_k = r_k \sin u_k$

erdfeste Koordinaten

$$X_k = X'_k \cos \Omega_k - Y'_k \sin \Omega_k \cos i_k$$

$$Y_k = X'_k \sin \Omega_k + Y'_k \cos \Omega_k \cos i_k$$

$$Z_k = Y'_k \sin i_k$$

Bei den in der GPS-Navigationsnachricht enthaltenen Broadcast-Ephemeriden handelt es lediglich sich um Vorhersagen, welche 2-stündlich aktualisiert werden. Im post-processing können mittels direkter Beobachtungen der Satelliten (z.B. mittels SLR) noch genauere Ephemeriden berechnet werden, welche über den Server des IGS zur Verfügung gestellt werden: <ftp://ftp.igs.org/pub/gps/>.

Downloaden Sie aus dem korrekten Unterordner (eingeteilt nach GPS-Wochen) das igs*****.sp3.Z File des korrekten Tages und lesen Sie die Daten des Satelliten PRN03 für die beiden Zielzeitpunkte aus (Einheiten beachten!).

Berechnen Sie den Bahnfehler (= Distanz zwischen den von Ihnen prädierten Satellitenposition und den aus den IGS-Orbits) zu t_{k1} und t_{k2} . Was fällt Ihnen dabei auf?

Wie groß wären die Bahnfehler, würde man alle Störungsparameter ausschalten?

TABLE A4 GPS NAVIGATION MESSAGE FILE - DATA RECORD DESCRIPTION		
OBS. RECORD	DESCRIPTION	FORMAT
PRN / EPOCH / SV CLK	- Satellite PRN number - Epoch: Toc - Time of Clock year (2 digits, padded with 0 if necessary) month day hour minute second - SV clock bias (seconds) - SV clock drift (sec/sec) - SV clock drift rate (sec/sec ²)	I2, 1X,I2.2, 1X,I2, 1X,I2, 1X,I2, F5.1, 3D19.12 *)
BROADCAST ORBIT - 1	- IODE Issue of Data, Ephemeris - Crs (meters) - Delta n (radians/sec) - M0 (radians)	3X,4D19.12
BROADCAST ORBIT - 2	- Cuc (radians) - e Eccentricity - Cus (radians) - sqrt(A) (sqrt(m))	3X,4D19.12
BROADCAST ORBIT - 3	- Toe Time of Ephemeris (sec of GPS week) - Cic (radians) - OMEGA (radians) - CIS (radians)	3X,4D19.12
BROADCAST ORBIT - 4	- i0 (radians) - Crc (meters) - omega (radians) - OMEGA DOT (radians/sec)	3X,4D19.12
BROADCAST ORBIT - 5	- IDOT (radians/sec) - Codes on L2 channel - GPS Week # (to go with TOE) Continuous number, not mod(1024)! - L2 P data flag	3X,4D19.12
BROADCAST ORBIT - 6	- SV accuracy (meters) - SV health (bits 17-22 w 3 sf 1) - TGD (seconds) - IODC Issue of Data, Clock	3X,4D19.12
BROADCAST ORBIT - 7	- Transmission time of message (**) (sec of GPS week, derived e.g. from Z-count in Hand Over Word (HOW)) - Fit interval (hours) (see ICD-GPS-200, 20.3.4.4) Zero if not known - spare - spare	3X,4D19.12