

## Übungsblatt 6: Satellitenkoordinaten

### 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 Bahn wird durch eine Folge verschiedener gestörter Keplerbahnelemente repräsentiert. Die Broadcast-Ephemeriden enthalten in Folge die aktuellen Satellitenpositionen in Form einer Keplerellipse mit zusätzlichen Störparametern, welche sich auf eine bestimmte Referenzepoche  $t_{oe}$  beziehen. Die Parameter beschreiben die Satellitenbahn für ein Zeitintervall von ca. 2 Stunden vor und nach einem Referenzzeitpunkt. Dieser Referenzzeitpunkt wird in GPS-Systemzeit angegeben  $\hat{=}$  GPS-Woche +  $t_{oe}$  in Sekunden.

#### Bahnparameter

Zeitangaben:

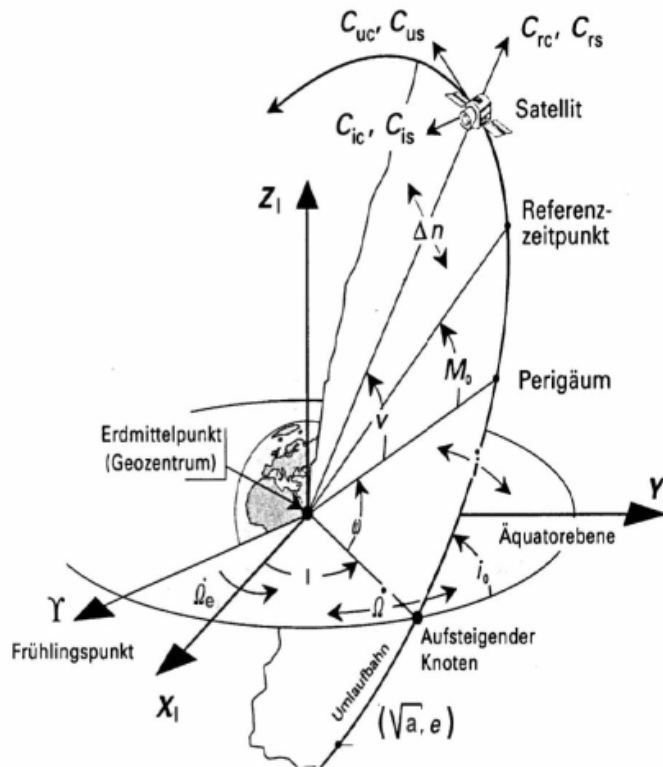
$t_{oe}$  Referenzepoche für die Ephemeriden (Sekunden ab GPS-Wochenbeginn)

Keplerparameter:

$\sqrt{a}$  Quadratwurzel aus der großen Halbachse  
 $e$  Exzentrizität der Umlaufbahn  
 $i_0$  (Mittlere) Inklination  
 $\Omega_0$  Rektaszension des aufsteigenden Knotens (bezogen auf den Nullmeridian)  
 $\omega$  (Mittleres) Argument des Perigäums  
 $M_0$  (Mittlere) Anomalie des Satelliten zur Referenzepoche

Störungsparameter:

$\Delta n$  Mittlere Bewegungsdifferenz vom berechneten Wert  
 (Beschreibt den säkularen Drift  $d\omega/dt$  aufgrund der Erdabplattung  $C_{20}$ , der Sonnen- und Mondgravitation und des Strahlungsdrucks der Sonne.)  
 $\dot{\Omega}$  Änderungsrate der Rektaszension  
 (säkularer Drift in der Rektaszension des Knotens aufgrund von  $C_{20}$ ; Anteile der Polbewegung)  
 $\dot{i}$  Änderungsrate der Inklination  
 $C_{us}, C_{uc}$  Amplitude der harmonischen Sinus- Cosinuskomponente für die Korrektur des Breitengradarguments  
 $C_{is}, C_{ic}$  Amplitude der harmonischen Sinus- Cosinuskomponente für die Korrektur der Inklination  
 $C_{rs}, C_{rc}$  Amplitude der harmonischen Sinus- Cosinuskomponente zur Korrektur des Bahnradius  
 (Störungen, die durch Variationen des Erdschwerefelds, des Sonnenstrahlungsdrucks und der Anziehung von Sonne und Mond verursacht werden)



#### 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 im TISS bereitgestellten Navigationsnachricht (BRDC00IGS\_R\_20210220000\_01D\_MN.rnx):

```
G22 2021 01 22 04 00 00-6.938856095076e-04 6.821210263297e-12 0.000000000000e+00
1.050000000000e+02-1.490625000000e+01 5.158072191591e-09 3.002171757876e+00
-7.860362529755e-07 6.889422889799e-03 7.100403308868e-06 5.153625234604e+03
4.464000000000e+05 5.960464477539e-08-2.409368627760e-01 1.434236764908e-07
9.337267716851e-01 2.251562500000e+02-1.048505666698e+00-8.264629869359e-09
1.782217151636e-10 1.000000000000e+00 2.141000000000e+03 0.000000000000e+00
2.000000000000e+00 0.000000000000e+00-1.816079020500e-08 1.050000000000e+02
4.391400000000e+05 0.000000000000e+00
```

Format-Beschreibung Navigationsnachricht:

[https://gage.upc.edu/sites/default/files/gLAB/HTML/GPS\\_Navigation\\_Rinex\\_v2.11.html](https://gage.upc.edu/sites/default/files/gLAB/HTML/GPS_Navigation_Rinex_v2.11.html) bzw.  
<https://www.igs.org/formats-and-standards/> (Anhang Seite 23)

#### Aufgaben:

- Präzizieren Sie mithilfe dem bereitgestellten Broadcast-Ephemeriden, zum Zeitpunkt  $t_{oe} = 16:00:00$  Uhr gültigen Parametern, die geozentrischen, erdfesten Satellitenkoordinaten  $(X_k, Y_k, Z_k)$  eines GPS-Satelliten zu den Zeitpunkten  $t_1 = t_{oe} + 1 \text{ h}$ , sowie  $t_2 = t_{oe} + 6 \text{ h}$ . Verwenden sie dafür die nachstehenden Formeln, sowie den Satelliten mit dem PRN-Code, welcher mit ihrer Gruppennummer konform ist, z.B. Gruppe 9  $\Rightarrow$  GPS Satellit PRN09.

Korrektur der mittleren Bewegung	$n = \sqrt{\frac{GM}{a^3}} + \Delta n$	
mittlere Anomalie	$M_k = M_0 + n(t_i - t_{oe})$	mit $i = 1,2$
exzentrische Anomalie	$E_k = M_k + e \cdot \sin E_k$	iterativ (2.20 im VO Skript)
wahre Anomalie	$v_k = 2 \arctan \left( \sqrt{\frac{1+e}{1-e}} \tan \left( \frac{E_k}{2} \right) \right)$	
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 Argument der Breite	$u_k = \Phi_k + \delta u_k$	
korrigierter Radius	$r_k = a(1 - e \cos E_k) + \delta r_k$	
korrigierte Inklination	$i_k = i_0 + \dot{i}(t_i - t_{oe}) + \delta i_k$	mit $i = 1,2$
korrigierte Rektaszension d. a. Knotens	$\Omega_k = \Omega_0 - (\dot{\Omega}_e - \dot{\Omega})(t_i - t_{oe}) - \dot{\Omega}_e t_{oe}$	mit $i = 1,2$
Position in der Bahnebene	$X'_k = r_k \cos u_k$ $Y'_k = r_k \sin u_k$	
erd feste Koordinaten	$X_k = X'_k \cos \Omega_k - Y'_k \sin \Omega_k \cos i_k$ $Y_k = X'_k \sin \Omega_k + Y'_k \cos \Omega_k \cos i_k$ $Z_k = Y'_k \sin i_k$	

- b) Bei den in der Navigationsnachricht enthaltenen Broadcast-Ephemeriden, handelt es sich um Vorhersagen, welche 2-stündlich aktualisiert werden. Im post-processing werden mittels ausgewerteter Beobachtungen der Satelliten, genauere Ephemeriden (precise Orbits im sp3-Format) berechnet, welche z.B. im CDDIS-Archiv zur Verfügung gestellt werden. (<https://cddis.nasa.gov/archive/gnss/products/>).

Downloaden sie aus dem CDDIS-Archiv das sp3-File des IGS für den identischen Tag (igs21\*\*\*.sp3). Sie finden dies im Unterordner der zugehörigen GPS Woche. Entnehmen sie hier die Koordinaten für  $t_1$  und  $t_2$ . Berechnen Sie den Bahnfehler (Distanz zwischen den von Ihnen prädierten Satellitenposition und der aus den IGS-Orbits) zu den Zeitpunkten  $t_1$  und  $t_2$ .

Bezeichnung sp3-File:

[https://cddis.nasa.gov/Data\\_and\\_Derived\\_Products/GNSS/orbit\\_products.html](https://cddis.nasa.gov/Data_and_Derived_Products/GNSS/orbit_products.html)

Format-Beschreibung sp3-File:

[https://gage.upc.edu/sites/default/files/gLAB/HTML/SP3\\_Version\\_C.html](https://gage.upc.edu/sites/default/files/gLAB/HTML/SP3_Version_C.html) bzw.

<https://www.igs.org/formats-and-standards/>

- c) Was fällt auf?  
d) Was unterscheidet die beiden Zeitpunkte?