UE Satellitengeodäsie - Übung 5

SLR Troposphäre

Berechnung der troposphärischen Laufzeitverzögerung für SLR-Beobachtungen

In Übung 4 haben wir den Positionsvektor X^Sdes Satelliten E12 zum Zeitpunkt t_{refl} bestimmt und die theoretische Distanz zur Station Zimmerwald (X_E) unter Berücksichtigung der Aberration, der CoM-Korrektur sowie der relativistischen Korrektur berechnet.

$$X^S = \begin{pmatrix} 6743465.613 \\ -21701615.380 \\ 18982304.561 \end{pmatrix} \text{m} \qquad X_{ZIMM} = \begin{pmatrix} 4331283.456 \\ 567550.021 \\ 4633140.441 \end{pmatrix} \text{m}$$

Der verbleibende Restfehler zwischen gemessener und theoretischer Distanz beträgt:

$$\Delta_E^S - (\rho_{E,CoM}^S + \delta\rho_{rel}) = \quad \textbf{5.990 m.}$$

Die wesentlichsten Ursachen dafür sind Satellitenbahnfehler sowie nicht berücksichtigte atmosphärische Korrekturen, Auflasteffekte und feste Erdgezeiten. Der größte Einfluss, die atmosphärische Korrektur, ist in dieser Aufgabe mittels dem Modell von [Marini und Murray, 1973] zu berechnen. Luftdruck (p), relative Feuchte (H), Temperatur (T) und Wellenlänge (λ) des Lasers können dem Normalpoint-Format entnommen werden.

Auszug aus dem Normalpoint-Format:
(Quelle: *ftp://cddis.gsfc.nasa.gov/slr/data/npt/galileo102/2012/galileo102.1203.Z*)

```
Wellenlänge λ des Lasers [0.1 nm]
11060021208578106801|5321|00120119000000003094011016000071
38071697500017746527162200001620|9220|2838|059|00930000065
                Druck p [0.1 mbar] | Temperatur T [0.1°K] | Rel. Feuchte H [%]

381227475001177500231757000015209220283805900630000050
```

Die ellipsoidische Höhe h_{ZIMM} und die ellipsoidische Breite φ_{ZIMM} der Station Zimmerwald können aus dem Positionsvektor X_{ZIMM} der Station berechnet werden. Die Formeln dazu sind im Anhang, auf der letzten Seite, zu finden.

Die atmosphärische Korrektur $\delta\rho_{atm}$ für SLR-Beobachtungen nach [Marini and Murray] wird in Gleichung (5.31) in Abhängigkeit vom Laser-Frequenz-Parameter $f(\lambda)$, der Laser-Stationsfunktion $F(\varphi, h)$, dem Elevationswinkel des Satelliten E und den Parametern A und B beschrieben.

$$\delta\rho_{atm} = \delta\rho_{trp} = \frac{f(\lambda)}{F(\varphi_{ZIMM}, h_{ZIMM})} \cdot \frac{A+B}{sin(E) + \frac{B/(A+B)}{sin(E)+0.01}}$$

Der Wasserdampfdruck e in [hPa] wird aus der relativen Feuchte H [%] und der Temperatur T [K] berechnet (5.32).

$$e = \frac{H}{100} \cdot 6.11 \cdot 10^{\frac{7.5(T-273.15)}{237.3+(T-273.15)}} = \qquad \text{hPa}$$

Die Parameter A und B ergeben sich zu:

$$A = 0.002357 \cdot p + 0.000141 \cdot e =$$

$$B = 1.084 \cdot 10^{-8} \cdot p \cdot T \cdot K + 4.734 \cdot 10^{-8} \cdot \frac{p^2}{T} \cdot \frac{2}{3-1/K} =$$

mit $K = 1.163 - 0.00968 \cdot \cos(2\varphi_{ZIMM}) - 0.00104 \cdot T + 0.00001435p$, p in [hPa] und T in [K].

Der Laser-Frequenz-Parameter $f(\lambda)$ beschreibt die Frequenzabhängigkeit mit λ in [µm].

$$f(\lambda) = 0.9650 + \frac{0.0164}{\lambda^2} + \frac{0.000228}{\lambda^4} =$$

In die Laser-Stationsfunktion $F(\varphi, h)$ muss die Stationshöhe h in [km!] eingesetzt werden.

$$F(\varphi_{ZIMM}, h_{ZIMM}) = 1 - 0.0026 \cdot \cos(2\varphi_{ZIMM}) - 0.00031 \cdot h_{ZIMM}$$

Um E zu berechnen, verwenden Sie die sphärische Näherung:

$$E = \frac{\pi}{2} - acos\left(\frac{X_{ZIMM} \cdot (X^S - X_{ZIMM})}{|X_{ZIMM}| \cdot |X^S - X_{ZIMM}|}\right) = \qquad ^\circ$$

Demnach ergibt sich die atmosphärische Korrektur für die vorliegende SLR-Beobachtung nach Gl. (5.31) im Vorlesungsskriptum zu:

$$\delta\rho_{atm} = \qquad \text{m.}$$

Bringen Sie die atmosphärische Korrektur $\delta\rho_{atm}$ an die theoretische Distanz an. Wie groß ist der verbleibende Restfehler zwischen gemessener und theoretischer Distanz?

Anhang: Berechnung der ellipsoidischen Koordinaten (φ, λ, h) aus kartesischen Koordinaten (X, Y, Z)

Referenzellipsoid: GRS80 mit Großer Halbachse $a = 6378137.0\ \mathrm{m}$ und Abplattung $f = 1/298.257222101$

$b = a * (1 - f) =$ m und Exzentrizität $e = \frac{a^2 - b^2}{a^2} =$

Der Abstand der Station von der z-Achse (r_e) ergibt sich zu:

$r_e = \sqrt{x_{ZIMM}^2 + y_{ZIMM}^2} =$ m

Die reduzierte Breite β wird iterativ berechnet.

Näherungswert für $\tilde{\beta}$ ist:

$\tilde{\beta} = \beta_0 = atan\left(\frac{z_{ZIMM}}{r_e}\right) =$ °

Nach 3 Iterationen $(i = 1..3)$ ergibt sich eine reduzierte Breite von:

$\beta_i = \operatorname{atan}(m + n \cdot \sin(\beta_{i-1})) =$ °

mit

$m = \frac{b \cdot z_{ZIMM}}{a \cdot r_e} =$ und $n = \frac{a^2 - b^2}{a \cdot r_e} =$

Nun sind alle Größen bekannt um die ellipsoidische Breite φ_{ZIMM} und die ellipsoidische Höhe h_{ZIMM} der Station (Zimmerwald) zu berechnen.

$\varphi_{ZIMM} = \operatorname{atan}\left(\frac{a}{b} \cdot \tan(\beta)\right) =$ °

$h_{ZIMM} = \frac{z_{ZIMM}}{\sin(\varphi_{ZIMM})} - (1 - e) \cdot \left(\frac{a}{\sqrt{1 - e \cdot \sin(\varphi_{ZIMM})^2}}\right) =$ km

Zur Vollständigkeit ist auch die Formel für die ellipsoidische Länge λ_{ZIMM} gegeben.

$$\lambda_{ZIMM} = \operatorname{atan} 2(y_{ZIMM}, x_{ZIMM}) \quad \text{mit} \quad \operatorname{atan2}(\mathrm{y}, \mathrm{x}) = \begin{cases} \arctan\frac{\mathrm{y}}{\mathrm{x}} & \mathrm{x} > 0 \\ \arctan\frac{\mathrm{y}}{\mathrm{x}} + \pi & \mathrm{y} \geq 0, \mathrm{x} < 0 \\ \arctan\frac{\mathrm{y}}{\mathrm{x}} - \pi & \mathrm{y} < 0, \mathrm{x} < 0 \end{cases}$$