Übungsblatt 4: Satellite Laser Ranging (SLR)

Berechnung von Beobachtungsresiduen „Messung - Berechnung“ („observed - computed“)

Gegeben ist ein Auszug einer SLR Beobachtung der Station Yarragadee, Australien (Code:7090) zum Satelliten Lageos1 im Normalpoint-Format (`lageos1_20160707.npt`):

```
h1 CRD 1 2016 7 7 2
h2 YARL 7090 5 13 3
h3 lageos1 7603901 1155 8820 0 1
h4 1 2016 7 7 1 33 43 2016 7 7 2 0 7 0 0 0 0 1 0 2 0
c0 0 532.000 std la1 mcp ti1
c1 0 la1 Nd:Yag 532.00 5.00 100.00 150.0 15.00 1
c2 0 mcp MCP-PMT 532.000 15.5 3000.0 31.0 analog 400.0 1.00 80.0 30.00 none
c3 0 ti1 Truetime_XLDC Truetime_XLDC HP5370B na -1.0
60 std 5 1
40 5623.200573800000 0 std -1 -1 -1.000 105309.0 0.0 26.0 -1.000 -1.000 -1.0 2 2 0
20 5630.201 988.30 283.30 91. 0
11 5630.200582000000 0.055037496978 std 2 120.0 3 38.0 -0.636 -1.500 -1.0 0.50 0
...
h8
```

Entnehmen sie mithilfe der Formatbeschreibung `https://ilrs.gsfc.nasa.gov/docs/2009/crd_v1.01.pdf` folgende wesentliche Daten.

Datum =

Epoche $t =$ s

$\Delta t =$ s

Die Beobachtungsgleichung für SLR lässt sich wie folgt anschreiben:

$$c\frac{\Delta t}{2} = \rho + \frac{1}{2}\delta\rho_{sys} + \delta\rho_{atm} - \delta\rho_{CoM} + \delta\rho_{rel} + c \cdot \varepsilon$$

mit

$$c = 299792458\,[m/s]$$

Die gemessene Distanz Δr soll mit einer korrigierten, theoretischen Distanz ρ_{corr} verglichen werden. Die troposphärischen Einflüsse $\delta\rho_{atm}$, sowie die Messfehler ε sollen vorerst vernachlässigt werden.

a) Welche Größenordnung erwarten Sie für $\delta\rho_{atm}$?

b) Weshalb kann $\delta\rho_{sys}$ vernachlässigt werden?

Die **gemessene** Distanz Δr zwischen Station und Satellit berechnet sich zu:

$$\Delta r = c\frac{\Delta t}{2} = \qquad\qquad \text{m}$$

Für die Berrechnung der **geometrische** Distanz ρ muss die Position der Station sowie die Position des Satelliten im selben Koordinatensystem zum Beobachtungszeitpunkt gegeben sein. Als Beobachtungszeitpunkt wird t_{refl} (Zeitpunkt der Signalreflexion am Satelliten) verwendet.

$$t_{refl} = t + \frac{\Delta t}{2} = \qquad\qquad \text{s} = \qquad\qquad \text{hh:mm:ss}$$

Die erdfesten Koordinaten $\boldsymbol{X}_E$ der Station sind zum Beobachtungszeitpunkt gegeben mit

$$\boldsymbol{X}_E = \begin{pmatrix} -2389009.019 \\ 5043331.905 \\ -3078525.374 \end{pmatrix}$$

Radius r_E:

$$r_E = \qquad\qquad \text{m}$$

Erdfeste Koordinaten von Lageos1 können dem „Precise orbit file“ `ilrsa.orb.lageos1.160709.v35.sp3` entnommen werden. Die Formatbeschreibung ist unter `https://files.igs.org/pub/data/format/sp3_docu.txt` verfügbar. Es ist zu beachten, dass die Satellitenkoordinaten sowie die Beobachtungen im selben Zeitsystem vorliegen müssen.

c) Welche Zeitsysteme sind jeweils in Verwendung?

d) Ist eine Umrechnung der Zeitsysteme erforderlich?

Konkret können der sp3-Datei die Satellitenpositionen rund um t_{refl} entnommen werden, um die Position $\boldsymbol{X}^S$ anschließend für den entsprechenden Zeitpunkt t_{refl} zu interpolieren. Dazu eignet sich z.B. eine Lagrange-Interpolation 9. Ordnung (bei der vorliegenden zeitlichen Auflösung der Satellitenpositionen ist diese Interpolationsmethode ausreichend). Hierfür wird das Matlab-Skript `lagint9.m` zur Verfügung gestellt.

$$\boldsymbol{X}^S = \qquad\qquad \text{m}$$

$$r^S = \qquad\qquad \text{m}$$

Nun kann die geometrische Distanz ρ berechnet werden

$$\rho = |\boldsymbol{X}^S - \boldsymbol{X}_E| = \qquad\qquad\qquad\qquad \text{m}$$

Die (Standard) Center-of-Mass Korrektur $\delta\rho_{CoM}$ kann der ILRS Homepage entnommen werden: `https://ilrs.cddis.eosdis.nasa.gov/missions/satellite_missions/current_missions/lag1_com.html`

$$\delta\rho_{CoM} = \qquad\qquad\qquad\qquad \text{m}$$

Die relativistische Korrektur $\delta\rho_{rel}$ berechnet sich wie folgt:

$$\delta\rho_{rel} = \frac{2GE}{c^2} \ln\left(\frac{r^S + r_E + \Delta r}{r^S + r_E - \Delta r}\right) = \qquad\qquad\qquad\qquad \text{m}$$

Durch Anbringen beider Korrekturen erhalten wir die korrigierte, theoretische Distanz ρ_{corr}.

$$\rho_{corr} = \qquad\qquad\qquad\qquad \text{m}$$

Die Differenz $\Delta\rho$ zur gemessenen Distanz ergibt:

$$\Delta\rho = \Delta r - \rho_{corr} = \qquad\qquad\qquad\qquad \text{m}$$

e) Wie ist diese Differenz erklärbar?

Antworten a) bis e)