ETH zürich

Globale Navigations-Satelliten-Systeme (GNSS) Einführung Übung 2

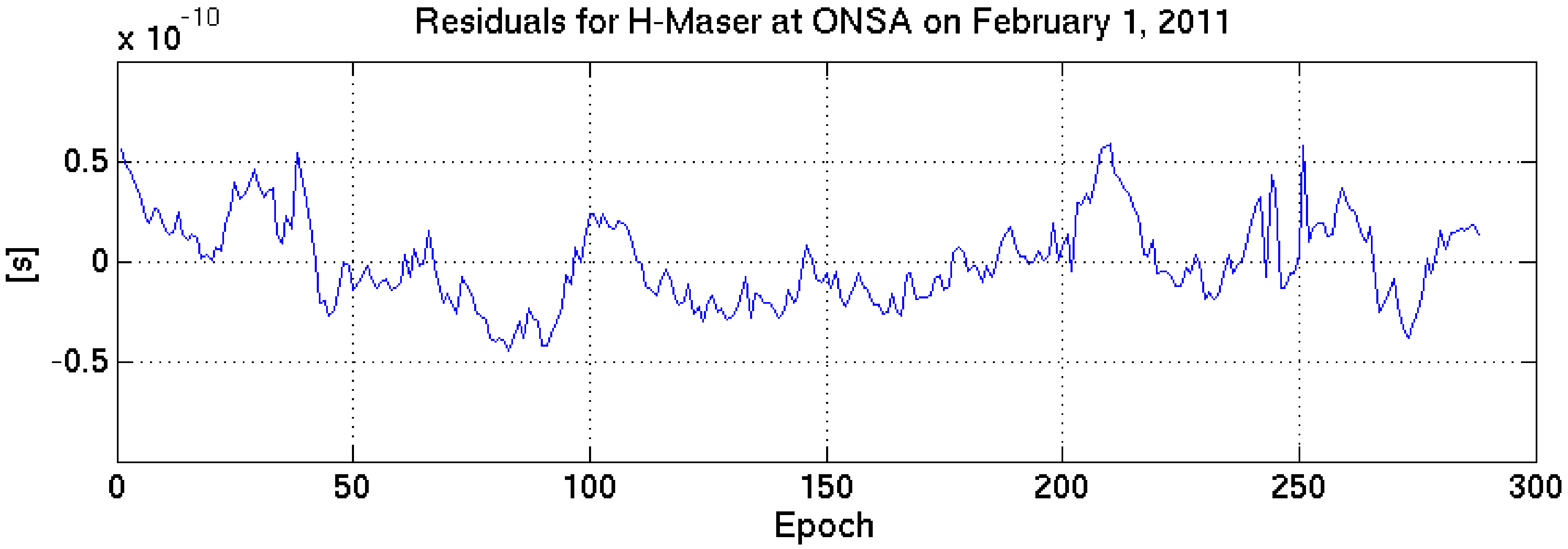
Berechnung einer absoluten Positionierung mit Code-Messungen, Teil 2

Satellitenuhrfehler: Clock Rinex File

- Uhrtypen:
  - Quarzuhr,
  - Cäsium Uhr, Rubidium Uhr (Atomuhr)
  - Aktiver/Passiver H-Maser (Atomuhr)
- GPS Satellitenuhrenfehler + Empfängeruhrfehler von ein paar Stationen
  - GPS Satellitenuhr: Cäsium/Rubidium Uhren
  - Empfängeruhr: alle Uhrtypen
- Referenzzeit:
  - Eine stabile Zeitreferenz: IGST, GPST, . . .
  - Eine sehr stabile Empfängeruhr (H-Maser)
- Öffentlich verfügbar auf dem IGS und CODE ftp-server

Satellitenuhrfehler: Clock Rinex File

- Bias in Clock Rinex File
  - Offset + Drift + stochastisches Bias
- Typisches Verhalten einer stabilen H-Maser Uhr
  - (Offset und Drift über einen Tag wurden schon eliminiert)



Clock Rinex File

```
     2.00           CLOCK DATA                              RINEX VERSION / TYPE
CCRNXC V5.1         AIUB                06-FEB-11 08:05     PGM / RUN BY / DATE
CODE final GPS clock information for day 032, 2011          COMMENT
Clock information consistent with phase and P1/P2 code data COMMENT
Satellite/receiver clock values at intervals of 30/300 sec  COMMENT
High-rate (30 sec) clock interpolation based on phase data  COMMENT
   GPS                                                      TIME SYSTEM ID
    15                                                      LEAP SECONDS
G GPSEST V5.1       IGS05                                   SYS / PCVS APPLIED
G GPSEST V5.1       P1C1.DCB @ ftp.unibe.ch/aiub/CODE/      SYS / DCBS APPLIED
     2    AR    AS                                          # / TYPES OF DATA
COD  Center for Orbit Determination in Europe               ANALYSIS CENTER
     1                                                      # OF CLK REF
USN3 40451S007                            0.000000000000E+00 ANALYSIS CLK REF
   111    IGS05                                             # OF SOLN STA / TRF

    32                                                      # OF SOLN SATS
G01 G02 G03 G04 G05 G06 G07 G08 G09 G10 G11 G12 G13 G14 G15 PRN LIST
G16 G17 G18 G19 G20 G21 G22 G23 G24 G25 G26 G27 G28 G29 G30 PRN LIST
G31 G32                                                     PRN LIST
                                                            END OF HEADER

AS G02  2011 02 01 00 00 30.000000  1    0.317870199581E-03
AS G03  2011 02 01 00 00 30.000000  1    0.670073604957E-03
AS G04  2011 02 01 00 00 30.000000  1    0.235552665407E-04
AS G05  2011 02 01 00 00 30.000000  1   -0.107668143676E-03
AS G06  2011 02 01 00 00 30.000000  1   -0.494639557135E-04
AS G07  2011 02 01 00 00 30.000000  1    0.278385085542E-05
AS G08  2011 02 01 00 00 30.000000  1    0.731435183403E-05
AS G09  2011 02 01 00 00 30.000000  1    0.589763870949E-04
AS G10  2011 02 01 00 00 30.000000  1   -0.649517536449E-04
```

Referenzuhr

PRN

GPS-Zeit

Uhrenbias [s]

A priori Uhrfehler

$$P^j_{3k}(t_i) = |\overrightarrow{X}_{k0} - \overrightarrow{X}^j(t_i - \tau^j_k(t_i))| +$$
$$\Delta trop^j_k(t_i) + \Delta rel^j_k(t_i) - c \cdot \Delta t^j(t_i) + c \cdot \Delta t_{k0}(t_i)$$

mit

$P^j_{3k}(t_i)$:	Ionosphärenfreie LK der Code-Messungen zwischen der Station k und dem Satelliten j zum Zeitpunkt t_i
$\overrightarrow{X}_{k0}$:	A priori Stationskoordinaten im erdfesten System
$X^j(t_i - \tau^j_k(t_i))$:	Position des Satelliten j zur Sendezeit des Signals im erdfesten System
$\Delta trop^j_k(t_i)$:	Troposphärische Verzögerung zum Zeitpunkt t_i
$\Delta rel^j_k(t_i)$:	Relativistischer Effekt zum Zeitpunkt t_i
$\Delta t^j(t_i)$:	Satellitenuhrfehler vom Satelliten j zum Zeitpunkt t_i
$\Delta t_{k0}(t_i)$:	A priori Empfängeruhrfehler des Empfängers k zum Zeitpunkt t_i

Ausgleichungsrechnung für a priori Empfängeruhrfehler

Absolutglied: $\tilde{l} = l - l_o$

mit $l = P^j_{3k}(t_i)$

$$l_0 = |\overrightarrow{X}_{k0} - \overrightarrow{X}^j(t_i - \tau^j_k(t_i))| + \Delta trop^j_k(t_i) + \Delta rel^j_k(t_i) - c \cdot \Delta t^j(t_i)$$

Elevationsabhängige Gewichtung (P-Matrix):

$P = diag(p^j_k(t_i))$ mit $p^j_k(t_i) = \cos^2(Zn^j_k(t_i))$

Designmatrix: Empfängeruhrfehler ist epochenweise geschätzt

$$A = \begin{bmatrix} \vdots \\ \frac{\partial l}{\partial \Delta t_{k_0}(t_i)} \\ \vdots \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \vdots \\ c \\ \vdots \end{bmatrix}$$

Ausgleichung:

$$\Delta \hat{t}_{k_0}(t_i) = (A'PA)^{-1}A'P\tilde{l}$$

Korrigierte Signallaufzeit

- Die Signallaufzeit wird durch den a priori Empfängeruhrfehler korrigiert:

$$\tau_k^j(t_i) \approx \frac{P_{3k}^j(t_i)}{c} + \Delta t_{k_0}(t_i)$$

$\Delta t_{k_0}(t_i)$ ist noch referenziert zur Referenzuhr im Clock Rinex file, aber nicht zu GPST. Hier werden die Iterationen vernachlässigt

- Die Satellitenposition zur Sendezeit des Signals wird mit der korrigierten Signallaufzeit berechnet

$$\overrightarrow{X}^j(t_i - \tau_k^j(t_i)) = \overrightarrow{X}^j(t_i) - (\overrightarrow{V}^j(t_i) + \omega_E \cdot [-y^j(t_i)\ x^j(t_i)\ 0]) \cdot \tau_k^j(t_i)$$

Ausgleichungsrechnung für die Stationskoordinaten und die Empfängeruhrfehler

Absolutglied: $\tilde{l} = l - l_o$

mit $l = P^j_{3k}(t_i)$

$$l_0 = |\vec{X}_{k0} - \vec{X}^j(t_i - \tau^j_k(t_i))| + \Delta trop^j_k(t_i) + \Delta rel^j_k(t_i) - c \cdot \Delta t^j(t_i)$$

Elevationsabhängige Gewichtung (P-Matrix):

$P = diag(p^j_k(t_i))$ mit $p^j_k(t_i) = \cos^2(Zn^j_k(t_i))$

Ausgleichungsrechnung für die Stationskoordinaten und die Empfängeruhrfehler

Designmatrix: Stationskoordinaten und Empfängeruhrfehler sind epochenweise berechnet

$$A = \begin{bmatrix} \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ \frac{\partial l}{\partial x_k(t_i)} & \frac{\partial l}{\partial y_k(t_i)} & \frac{\partial l}{\partial x_k(z_i)} & \frac{\partial l}{\partial (c \cdot \Delta t_{k_0}(t_i))} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \end{bmatrix}$$

$$= \begin{bmatrix} \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ \frac{x_{k_0} - x^j(t_i - \tau_k^j(t_i))}{|\vec{X}_{k_0} - \vec{X}^j(t_i - \tau_k^j(t_i))|} & \frac{y_{k_0} - y^j(t_i - \tau_k^j(t_i))}{|\vec{X}_{k_0} - \vec{X}^j(t_i - \tau_k^j(t_i))|} & \frac{z_{k_0} - z^j(t_i - \tau_k^j(t_i))}{|\vec{X}_{k_0} - \vec{X}^j(t_i - \tau_k^j(t_i))|} & 1 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \end{bmatrix}$$

Ausgleichungsrechnung

$$\Delta\hat{X}(t_i) = \begin{bmatrix} \Delta\hat{x}_k(t_i) \\ \Delta\hat{y}_k(t_i) \\ \Delta\hat{z}_k(t_i) \\ c \cdot \Delta\hat{\delta}x_k(t_i) \end{bmatrix} = (A'PA)^{-1}A'P\tilde{l}$$

$$\hat{X}(t_i) = \hat{X}_0(t_i) + \Delta\hat{X}(t_i)$$

Die Stationskoordinaten und der Empfängeruhrfehler werden epochenweise geschätzt

Abweichung in NEU-Richtungen

Gegeben: IGS präzise Koordinaten von ONSA im erdfestem System

Schritt 1: Berechnung der Breite und Länge der gegebenen Koordinaten

Schritt 2: Die Abweichungen in NED-System zu transformieren

$$R_2\left(\frac{\pi}{2} - B_{\text{sta}_0}\right) \cdot R_3\left(L_{\text{sta}_0}\right) \cdot (\|\overrightarrow{X}^{\text{sat}} - \overrightarrow{X}_{\text{sta}_0}\|)$$

Liegen die Abweichungen im Meter-Bereich? In welcher Richtung ist die Abweichung am größten?

Abgabe

- Input Daten:
  - G3_11032.PRE (sp3)
  - ONSA0320.11O (RINEX)
  - cod16212.clk (Clock File)
- Deadline: **15.11.2022**
- Abgabe (am besten als pdf) sollte enthalten:
  - Schritte, Formeln, Ergebnissen (Einheiten und signifikante Stellen)
  - Interpretation
  - Code
- Abgabe per Mail an maichinger@ethz.ch
- Besprechung/Diskussion: **17.11.2022**