

Zum Potenzial der Empfängeruhrmodellierung bei kinematischem Precise Point Positioning

Thomas Krawinkel und Steffen Schön
 Institut für Erdmessung | Leibniz Universität Hannover

Motivation

- ▶ Kinematisches PPP erlaubt autonome Navigation mit Dezimeter-Genauigkeit
- ▶ Epochenweises Schätzen des Empfängeruhrfehlers aufgrund geringer Stabilität der in GNSS-Empfängern verbauten Kristalloszillatoren
- ▶ Hohe Korrelationen zwischen Uhrfehler, Höhenkoordinaten, Phasenmehrdeutigkeiten
- ▶ Modellierung des Uhrfehlers bei Verwendung hochstabiler Oszillatoren (Weinbach 2013, Krawinkel und Schön 2016)
- ▶ Anwendungsfelder
 - ▶ Fahrspurgenaue Fahrzeugnavigation
 - ▶ Präzise Landeanflüge

Empfängeruhrmodellierung

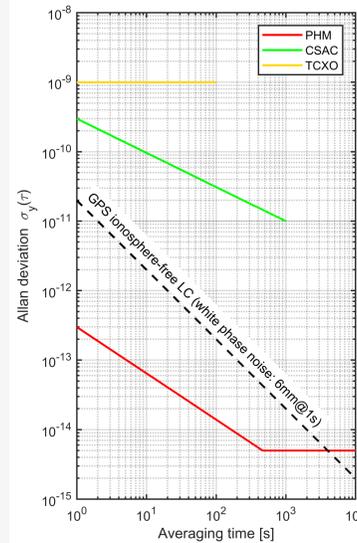


Abb. 1: Typische Frequenzstabilitäten: Passiver Wasserstoff-Maser (PHM), Chip-Scale Atomic Clock (CSAC), Kristalloszillator (TCXO)

- ▶ Uhrrauschen muss kleiner als Beobachtungsrauschen sein
- ▶ Ionosphärenfreie LK der Phasenbeobachtungen: Weißes Rauschen mit $\sigma_{L3} \approx 6 \text{ mm}$
- ▶ Schnittpunkte zwischen LK und Allan-Varianzen zeigen maximale Intervalle für physikalisch sinnvolle Empfängeruhrmodellierung (RCM)
- ▶ RCM in kinematischem PPP nur mit Atomuhr, z.B. passivem Wasserstoff-Maser (PHM)

Simulationsstudie

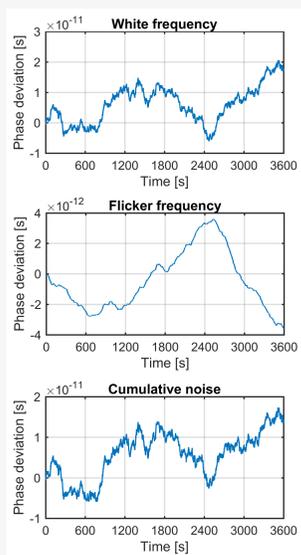


Abb. 2: Simuliertes Rauschverhalten eines passiven H-Masers

- ▶ GPS L1/L2 P-Code und Phase ohne Cycle Slips
- ▶ Typische Fahrzeugtrajektorie
- ▶ Elevations-Cutoff: 15° , sonst „Open Sky“
- ▶ Empfängeruhrfehler: Passiver H-Maser (Kasdin und Walter 1992, Abb. 2)
- ▶ Extended Kalman-Filter
 - ▶ Koordinaten: Random Walk
 - ▶ Phasenmehrdeutigkeiten: Random Constant
 - ▶ Empfängeruhrfehler: Random Ramp
- ▶ Uhrmodellierung nach Dierendonck et al. (1985)

$$Q_{\omega\omega} = \begin{bmatrix} h_0 \frac{\Delta t}{2} + 2 h_{-1} \Delta t^2 + \frac{2}{3} \pi^2 h_{-2} \Delta t^3 & h_{-1} \Delta t + h_{-2} \pi^2 \Delta t^2 \\ h_{-1} \Delta t + h_{-2} \pi^2 \Delta t^2 & \frac{h_0}{2\Delta t} + 4 h_{-1} + \frac{8}{3} \pi^2 h_{-2} \Delta t \end{bmatrix}$$

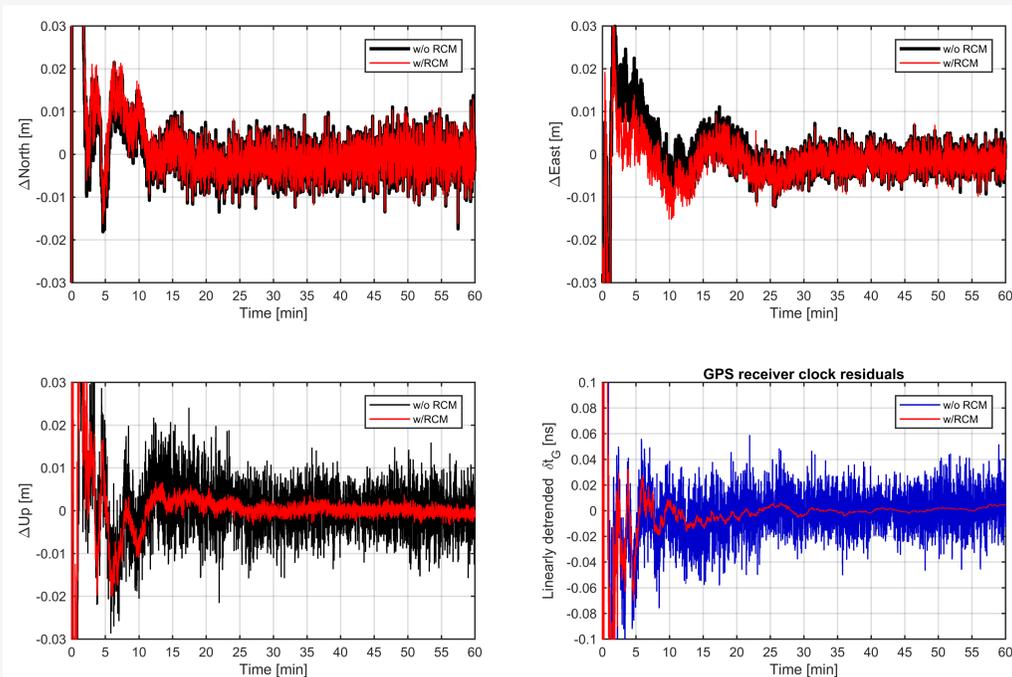


Abb. 3: Topozentrische Koordinatenabweichungen relativ zur Referenztrajektorie sowie Empfängeruhrfehler mit und ohne Uhrmodellierung (RCM)

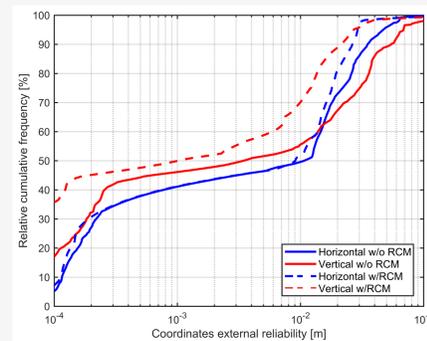


Abb. 4: Äußere Zuverlässigkeit der geschätzten Koordinaten mit und ohne Uhrmodellierung (RCM)

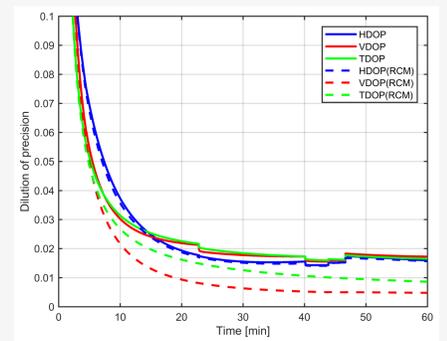


Abb. 5: DOP-Werte der Lage- (HDOP), Höhenkoordinaten (VDOP) sowie des Empfängeruhrfehlers (TDOP) mit und ohne Uhrmodellierung (RCM)

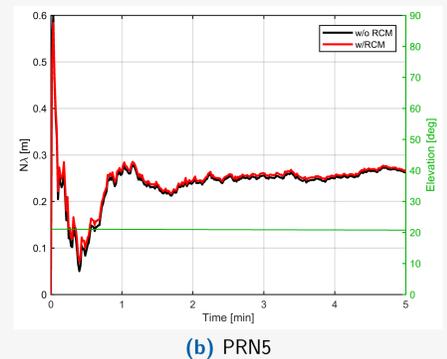
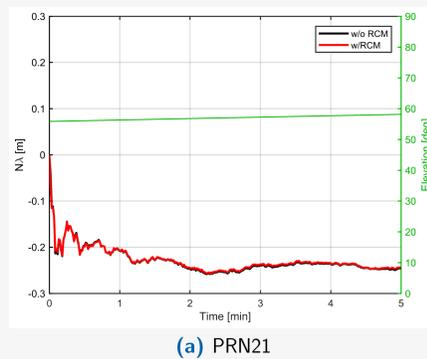


Abb. 6: Konvergenzverhalten der reelwertigen Phasenmehrdeutigkeit mit und ohne Uhrmodellierung (RCM)

Empfängeruhrmodellierung in kinematischem PPP

- ▶ erhöht Richtigkeit der Lagekoordinaten während Initialisierung (abhängig von A-priori-Genauigkeit der Phasenbeobachtungen)
- ▶ verbessert Präzision der Höhenkoordinaten um bis zu 80 %
- ▶ erhöht Zuverlässigkeit der Koordinatenlösung und Robustheit der Parameterschätzung
- ▶ hat minimalen Effekt auf Phasenmehrdeutigkeiten und verkürzt nicht deren Konvergenzzeit, da Modellierungsintervall \ll „Mehrdeutigkeitsintervall“

Literatur

- van Dierendonck A, McGraw J, Grover Brown R (1985) Relationship Between Allan Variances and Kalman Filter Parameters. Proceedings of the 16th Annual PTTI Applications and Planning Meeting
 Kasdin N, Walter T (1992) Discrete Simulation of Power Law Noise. IEEE Frequency Control Symposium
 Krawinkel T, Schön S (2016) Benefits of receiver clock modeling in code-based GNSS navigation. GPS Solutions 20(4):687-701
 Weinbach U (2013) Feasibility and impact of receiver clock modeling in precise GPS data analysis. Wissenschaftliche Arbeiten der Fachrichtung Geodäsie und Geoinformatik der Leibniz Universität Hannover, Nr. 303, Dissertation