

# COSMOS

Incorporating stochastic and clock modeling into global multi-GNSS processing

<b>Programm / Ausschreibung</b>	ASAP, ASAP, ASAP 16. Ausschreibung (2019)	<b>Status</b>	abgeschlossen
<b>Projektstart</b>	01.07.2020	<b>Projektende</b>	30.06.2022
<b>Zeitraum</b>	2020 - 2022	<b>Projektlaufzeit</b>	24 Monate
<b>Keywords</b>	multi-GNSS processing; stochastic modeling; clock modeling; raw observation approach; Galileo		

## Projektbeschreibung

Globale Satellitennavigationssysteme (GNSS) sind ein integraler Bestandteil vieler wissenschaftlicher und kommerzieller Anwendungen. Die Bestimmung präziser Orbits von Satelliten in niedriger Erdumlaufbahn ist auf hochqualitative GNSS-Produkte angewiesen. Beispiele für solche Satelliten sind jene des EU-Erdbeobachtungsprogramms Copernicus sowie die Schwerefeldmissionen GRACE/GRACE-FO und GOCE. Auch eine Vielzahl von Anwendungen auf der Erde benötigen diese Produkte, zum Beispiel die Schätzung terrestrischer Wasserspeicheränderungen, Erdbebenüberwachung, GNSS-Reflektometrie, Troposphären- und Ionosphärenforschung, die Vermessung oder das Bauwesen. Aus GNSS-Beobachtungen abgeleitete Stationskoordinaten spielen des Weiteren in der Bestimmung des International Terrestrial Reference Frame eine wichtige Rolle. Die Analysezentren des International GNSS Service erzeugen solche Produkte, indem sie Beobachtungen von einem globalen Netzwerk an Bodenstationen zu einer oder mehreren GNSS-Konstellationen prozessieren.

Bislang bezieht diese Art der Prozessierung nur eine elevationsabhängige a priori Modellierung der Beobachtungsvarianzen mit ein und vernachlässigt zeitliche Korrelationen. Zahlreiche Studien haben unterdessen den positiven Einfluss der Miteinbeziehung fortgeschrittener stochastischer Modellierung auf die GNSS-Prozessierung und daraus resultierender Produkte gezeigt. Diese Studien waren allerdings meist auf kurze Zeiträume und auf Basislinien, Precise Point Positioning oder kleine regionale Netzwerke beschränkt. Der Einfluss von stochastischer Modellierung des Beobachtungsrauschens auf globale GNSS-Prozessierung wurde bisher noch nicht in großem Umfang untersucht. Die stochastischen Eigenschaften von hochstabilen Atomuhren, die sich an Bord von GNSS-Satelliten befinden oder mit einigen Empfängern verbunden sind, können ebenfalls auf diese Art modelliert werden. Eine stochastische Modellierung der Uhrenfehler wird bisher ebenfalls nicht in globaler GNSS-Prozessierung genutzt, obwohl Studien gezeigt haben, dass dies die resultierenden Produkte verbessert.

Wir wollen den Stand der Technik von globaler Multi-GNSS-Prozessierung durch das Einbringen von umfangreicher stochastischer Modellierung des Beobachtungsrauschens und der Uhrenfehler voranbringen. Im ersten Schritt geht es darum, die beste parametrische Beschreibung der Kovarianzmatrix des Beobachtungsrauschens und der stochastischen Eigenschaften der Uhrenfehler zu finden. Um diese Modelle in die Prozessierungskette einzubinden und weiterhin die

Möglichkeit zum Prozessieren von großen Gleichungssystemen zu erhalten, ist es notwendig, eine geeignete und effiziente Struktur der Normalgleichungen zu implementieren. Weiters planen wir, die Modellkoeffizienten automatisch mittels Varianzkomponentenschätzung anzupassen, da dadurch eine realistischere Modellierung des Rauschens erreicht wird. Unsere Arbeitsgruppe besitzt langjährige Erfahrung mit stochastischer Modellierung aus der Schwerefeldbestimmung, wo sich dadurch Verbesserungen in der Genauigkeit der Schwerefeldlösungen von 20-40% erzielen ließen. Wir erwarten eine ähnliche Verbesserung auch in der GNSS-Prozessierung, wobei dies durch eine mindestens zehnjährige Zeitreihe von GNSS-Produkten bewertet wird. Diese Datenreihe wird zusammen mit allen Erkenntnissen und entwickelten Methoden auf Open-Access-Basis veröffentlicht.

Im Jahr 2020 werden erstmals vier Systeme (GPS, GLONASS, Galileo, BeiDou) voll operationell sein. Die gemeinsame Verwendung der verschiedenen Beobachtungstypen bietet sich daher für die stochastische Modellierung des Beobachtungsrauschens an. Weiters ermöglicht die Modellierung der Uhrenfehler es, die hohe Qualität der Atomuhren an Bord der GNSS-Satelliten auszunutzen. Dies ist besonders für die ultrastabilen Wasserstoffmaser von Galileo relevant.

## **Abstract**

Global navigation satellite systems (GNSS) are integral to a wide array of scientific and commercial applications. Precise orbit determination of satellites in low Earth orbit relies on high-quality GNSS products. Examples of such satellites are those of the Copernicus Earth observation program of the European Union or the satellite gravimetry missions GRACE/GRACE-FO and GOCE. Numerous ground-based applications also require these products, for example: estimation of terrestrial water storage variations, earthquake monitoring, GNSS reflectometry, tropospheric and ionospheric research, surveying, or civil engineering. Furthermore, GNSS-derived station coordinates play an important role in the determination of the International Terrestrial Reference Frame. The analysis centers of the International GNSS Service generate such products by processing observations from a global network of ground stations to one or more GNSS constellations.

So far, this kind of processing only incorporates elevation-dependent a priori modeling of observation variances and disregards temporal correlations. Meanwhile, numerous studies have shown the positive impact the incorporation of sophisticated stochastic modeling has on GNSS processing and resulting products. These studies, however, were usually confined to short time periods and to either baselines, precise point positioning, or small regional networks. So far, there have not been any large-scale investigations regarding the impact of stochastic modeling of observation noise on global GNSS processing. The stochastic properties of highly stable atomic clocks onboard GNSS satellites or linked to some receivers can also be modeled in this fashion. While studies have shown that this improves the resulting GNSS products, global GNSS processing does not yet commonly utilize stochastic modeling of clock estimates.

We propose to advance the state of the art of global multi-GNSS processing by incorporating sophisticated stochastic modeling of both observation noise and clock estimates. Finding the best parametric description of the observation noise covariance matrix and the stochastic properties of clock estimates is going to be the first step in achieving this goal. Incorporating these models into the processing chain while preserving the capacity to process large equation systems requires the implementation of a suitable and efficient structure of the normal equations. We further plan to adjust the model coefficients automatically by means of variance component estimation, which is going to result in more realistic noise models. Our group has a long and successful history of applying stochastic modeling in gravity field determination, where it has improved the accuracy of our widely used ITSG-Grace solutions by 20-40%. We expect a similar improvement for global

GNSS processing and are going to assess this by processing a GNSS product time series of at least 10 years. Our plan is to publish this dataset together with all findings and developed methodologies on an open access basis.

The year 2020 will mark the first time of having four systems (i.e., GPS, GLONASS, Galileo, and BeiDou) in full operational capability. Utilizing the various available observation types together in global multi-GNSS processing lends itself to incorporating sophisticated stochastic modeling of the observation noise. Furthermore, modeling the stochastic properties of clock estimates opens the opportunity to exploit the high and ever increasing quality of onboard satellite clocks. This is especially relevant for the ultra-stable hydrogen masers employed by Galileo.

## **Projektpartner**

- Technische Universität Graz