ETH zürich

ETH Library

GNSS meteorology in spatially dense networks

Doctoral Thesis

Author(s):
Hurter, Fabian

Publication date:
2014

Permanent link:
https://doi.org/https://doi.org/10.3929/ethz-a-010276927

Rights / license:
In Copyright - Non-Commercial Use Permitted

This page was generated automatically upon download from the ETH Zurich Research Collection.
For more information, please consult the Terms of use.

Diss. ETH No. 22005

GNSS METEOROLOGY IN SPATIALLY DENSE NETWORKS

A dissertation submitted to the
ETH Zurich
for the degree of
Doctor of Sciences

presented by

FABIAN HURTER
MSc ETH NS
born April 14, 1982
citizen of Zürich

accepted on the recommendation of

Prof. Dr. A. Geiger, examiner
Prof. Dr. M. Rothacher, co-examiner
Prof. Dr. U. Hugentobler, co-examiner

2014

Abstract

Two basic products from GNSS meteorology have been investigated in detail: (a) the Zenith Total Delay (ZTD) and, (b) wet refractivity fields reconstructed from Zenith Wet Delays (ZWD). The thesis aims at quantifying the accuracies of GNSS-derived ZTDs and refractivities and at characterizing their temporal and spatial resolution. In a first study using operational radiosondes and Global Navigation Satellite System (GNSS) data from the Swiss meteorological station in Payerne, the following uncertainty figures are obtained: With respect to the radiosonde, the GNSS-derived ZTD has a 1–3 mm dry bias. Annual systematic variations of the comparison are found to have an amplitude of 1–2 mm. Removal of most systematic effects from the GNSS minus radiosonde ZTD time series plus a thorough budget of the radiosonde uncertainties allows the derivation of the random GNSS uncertainties. In the winter half-year, the standard deviation is shown to be 2.5–3.5 mm, during the summer half-year we obtain 3.5–5.0 mm.

In a further study in the western part of Switzerland, wet refractivities have been derived on the basis of interpolated ZWDs from the Automatic GNSS Network for Switzerland (AGNES). The employed interpolation algorithm is termed least-squares collocation. It makes use of a deterministic function to describe the general parametric field and a correlation function describing the spatial and temporal correlations between the zenith wet delays. Corresponding wet refractivities show accuracies superior to results from tomographic reconstructions of a similar data set. Further inclusion of ground meteorological measurements of temperature and water vapour pressure improve the derived refractivities in the lowest 2 km of the troposphere. Radio occultations are added to the reconstruction. The data combination enables the extension of the radio occultation profiles down to the ground. It is also shown that the GNSS data largely contributes to the profile quality above the atmospheric boundary layer. Transformation of the wet refractivities to humidity values with temperature profiles from a radiometer in Payerne show accuracies of a similar order of magnitude to those from numerical weather prediction analysis. Hence, application of the algorithm in nowcasting of rain or investigating boundary layer processes are envisaged.

The third part of the thesis investigates the results from a campaign network of 34 geodetic-grade receivers. They were deployed close to and around Zermatt (Switzerland) for one month in summer 2010. The stations were spaced at distances of a few kilometers from each other and at heights between 1600–3500 m above mean sea level. The mountainous region provides an excellent natural laboratory to investigate the influences affecting the accuracy of the ZTD. Additionally, the Alpine region is prone to small-scale fluctuations in the troposphere. Thus, the spatial and temporal variability of the ZTD has been investigated. The influences of satellite obstructions, antenna and receiver types and a number of processing strategies on the estimated ZTD are analysed and validated with measurements from radiosondes launched during the campaign. The analysis suggests that 1 hour temporal resolution should not be undercut for estimated ZTDs. A temporal resolution of 30 minutes introduces more noise without better following the tropospheric fluctuation. The horizontal variability observed in ZTDs indicates correlation scale lengths of a few kilometers. From comparison with radiosondes, the ZTD uncertainty is shown to have 4–6 mm standard deviation. Some stations show signs of systematic effects caused by multipath and low-quality antenna patterns. Through the GNSS-inherent negative correlation of height with zenith delay, both parameters are similarly affected by these systematic influences. The performance of the numerical weather prediction model COSMO-2 is characterized in terms of integrated atmospheric state. The analysis yields preliminary recommendations on the assimilation of zenith total path delays into weather models in regions of highly complex topography such as the Swiss Alps.

Zusammenfassung

Diese Arbeit befasst sich mit zwei Basisprodukten der GNSS-Meteorologie: (a) der Zenit-Pfadverzögerung und (b) den Feuchtrefraktivitäten, die man aus den Pfad-Verzögerungen rekonstruieren kann. Insbesondere geht es darum, die Genauigkeiten der beiden Parameter zu eruieren und deren räumliche und zeitliche Auflösung zu charakterisieren. In einer ersten Studie wird die aus GNSS-Daten geschätzte Pfadverzögerung mit Daten von Radiosonden verglichen. Es handelt sich dabei um Messungen der operationellen Radiosonden-Station der MeteoSchweiz in Payerne. Folgende Genauigkeiten sind zu beobachten: Ein konstanter Offset von der Radiosonde beläuft sich auf 1–3 mm. Die GNSS-Pfadverögerung zeigt dabei im Durschnitt zu tiefe Werte. Systematische Abweichungen der zenitalen Pfadverzögerung zeigen ein jährliches Signal mit einer Amplitude von 1–2 mm. Mit dem jährlichen Signal und der konstanten Abweichung ist ein grosser Anteil der systematischen Einflüsse beschrieben. Die verbleibenden Differenzen zwischen Radiosonde und GNSS können nun mit einer detaillierten Analyse in zufällige Messunsicherheiten der Radiosonde und in solche vom GNSS aufgeteilt werden. Demnach belaufen sich die Standardabweichungen der Zenit-Pfadverzögerung auf 2.5–3.5 mm im Winterhalbjahr und 3.5–5.0 mm im Sommerhalbjahr.

Atmosphärische Pfadverzögerungen des AGNES-Netzes wurden in einer weiteren Studie für den Westen der Schweiz zu Feuchtrefraktivitäts-Felder verarbeitet. Die Refraktivitäten wurden aus interpolierten Pfadverzögerungen bestimmt. Der verwendete Algorithmus nennt sich Kollokation mit der Methode der kleinsten Quadrate. Dabei wird die räumliche Verteilung und das zeitlichen Verhalten der Zenit-Pfadverzögerung mit einem funktionalen und einem stochastischen Anteil beschrieben. Die erreichten Genauigkeiten sind deutlich besser als Resultate, die bei früheren Arbeiten mit tomographischen Ansätzen erzielt wurden. Durch zusätzliches Einbinden von Temperatur- und Wasserdampf-Messwerten von meteorologischen Bodenmessstationen konnte die Genauigkeit des rekonstruierten Refraktivitätsfeldes weiter gesteigert werden. Ebenfalls hat der Algorithmus eine Weiterführung von Radio-Okkultationsprofilen, die typischerweise 1–2 km oberhalb der Erdoberfläche aufhören, bis zur Erdoberfläche ermöglicht. Dies wurde durch die gemeinsame Kollokation des GNSS-Datensatzes, der Messwerte der meteorologischen Stationen und der Radio-Okkultationsprofile erreicht. Mit Hilfe von Temperatur-Profilen eines in Payerne stationierten Radiometers wurden die Feuchtrefraktiviäten zu relativer Feuchte umgerechnet. Das Ergebnis war von ähnlicher Genauigkeit, wie Feuchte-Profile aus numerischen Wettervorhersage-Modellen. Eine mögliche Anwendung der Kollokation ist die kurzzeitigen Vorhersage von Regenfällen oder Analysen von Prozessen, die in der atmosphärischen Grenzschicht ablaufen.

Der dritte Teil der Arbeit befasst sich mit einem Kampagnen-Netzwerk von 34 geodätischen GNSS-Empfängern. Es wurde im Sommer 2010 während der Dauer eines Monats in und um Zermatt (Schweiz) betrieben. Die Stationen waren nur wenige Kilometer voneinander entfernt und befanden sich zwischen 1600–3500 m über mittlerem Meeresspiegel. Die hochalpine Region stellte ein exzellentes Versuchsfeld für die Untersuchung von Fehlereinflüssen auf die Zenit-Pfadverzögerung dar. Es waren auch kleinräumige und schnelle zeitliche Fluktuation des atmosphärischen Zustandes zu erwarten. Der Einfluss von Abschattungen, unterschiedlicher Empfänger und Antennentypen und verschiedener Verarbeitungsstrategien auf die Bestimmung der Pfadverzögerung konnte somit genauestens studiert werden. Zur Validierung der Pfadverzögerungen wurden Radiosondierungen durchgeführt. Die Analyse lässt darauf schliessen, dass ein Parameter-Intervall von einer Stunde die beste Schätzung der Pfadverzögerung aus GNSS ermöglicht. Ein Intervall von 30 Minuten hat mehr zufällige Unsicherheiten in der Lösung generiert und keinen Gewinn für die zeitliche Auflösung gebracht. Die Pfadverzögerungen zeigten räumliche Korrelationen von wenigen Kilometern.

Die Vergleiche mit den Radiosonden-Daten ergaben Genauigkeiten von 4–6 mm. Mehrweg-Effekte und schlecht bestimmte Antennen-Phasenzentren verursachten bei einigen Stationen merkliche systematische Abweichungen. Durch die theoretisch bekannte Verschränkung von Stationshöhe und Zenit-Pfadverzögerung wurden diese Einflüsse in beiden Parametern festgestellt. Die Kampagnen-Daten lassen auch eine Analyse des Wettermodells COSMO-2 im alpinen Gebiet zu. Die Performanz in Bezug auf integrierte Zustandswerte in der Atmosphäre konnte quantifiziert werden und eine mögliche Vorgehensweise zur Assimilation von Zenit-Pfadverzögerungen in topographisch komplexen Regionen wird vorgeschlagen.