

Analysis of refraction influences in geodesy using image processing and turbulence models

Doctoral Thesis

Author(s):

Flach, Philipp

Publication date:

2000

Permanent link:

<https://doi.org/10.3929/ethz-a-004045114>

Rights / license:

[In Copyright - Non-Commercial Use Permitted](#)

Diss. ETH No 13844

Analysis of refraction influences in geodesy using image processing and turbulence models

A dissertation submitted to the

SWISS FEDERAL INSTITUTE OF TECHNOLOGY ZURICH

for the degree of

Doctor of Technical Sciences

presented by

Philipp Flach

Dipl. Kulturingenieur ETH

born 30.05.1970

citizen of Dietlikon (Zurich)

accepted on the recommendation of

Prof. Dr. H. Ingensand, examiner

Prof. Dr. F.K. Brunner, co-examiner

Prof. Dr. M. Hennes, co-examiner

Abstract

The propagation path of light in the atmosphere is influenced by inhomogeneities of the refractive index. These refraction effects deteriorate the accuracy of the direction and distance measurements in geodetic applications. As illustrated by two examples in this report, the refraction effects cannot be accurately corrected up to now and, therefore, solutions must be provided which can be implemented into geodetic instruments. The presented approach is based on the determination of the temperature gradient being the decisive influential parameter for angular refraction effects.

In the atmosphere, temperature gradients are related to turbulent thermal exchange processes such as the turbulent sensible heat flux. In order to describe atmospheric turbulence, the applied statistical approach uses the method of spectral analysis which states that the atmospheric turbulent velocity field can be thought to consist of many eddies of different densities. This energy spectrum of turbulence can be modelled using the structure constant of refractive index C_n^2 and the inner scale l_0 of turbulence. If these two structure parameters are measured, the temperature gradient is derived from dimensionless profile functions using the so-called Monin-Obukhov similarity description. Hereby, the fact should be kept in mind, that the Monin-Obukhov similarity description and the energy spectrum of turbulence are only valid for vertical temperature gradient profiles in the atmospheric boundary layer.

This research work investigates the determination of the required structure parameter C_n^2 and l_0 by means of image sensors which can be built into geodetic instruments. To derive the structure parameters C_n^2 and l_0 from the acquired image data, the application of appropriate image processing techniques is examined. The evaluation concept is based on angle-of-arrival fluctuations and intensity fluctuations. Angle-of-arrival fluctuations are perceived as high-frequency motions of image patterns grabbed by the sensor, and intensity fluctuations are related to the temporal variation of the gray values of the pixels. As presented in this report, these two effects of optical turbulence can be used to determine the structure parameter C_n^2 and l_0 . For this purpose, image processing techniques must parameterize both angle-of-arrival fluctuations and intensity fluctuations. Within this research work, the angle-of-arrival fluctuations are modelled by the variance σ_x^2 characterizing the shifting of image patterns which are located using edge detection algorithms. The intensity fluctuations are modelled by the variance σ_v^2 characterizing the temporal intensity spectrum of the incoming light beam. In the scope of this research work, the variance σ_v^2 is provided using digital filter techniques such as the Wiener filter or least-squares template matching.

In order to validate this concept, the video theodolite Leica TM3000V and a digital line scan camera Basler L120 are used as two different imaging systems to acquire image data during various practical field experiments. These field experiments revealed a partial good agreement between the structure parameter C_n^2 and l_0 obtained by the image sensors and the ones obtained by a reference system (scintillometer). Basically, the method presented here is appropriate to reduce the refraction influence. A decisive advantage of this method is based on the fact that additional sensors are not necessary (except for the image sensors which are built into the instrument). However, as the exemplary comparison of temperature gradients shows at the end of the report, further research work in the scope of the atmospheric boundary layer is still necessary.

Kurzfassung

Die Ausbreitung von Licht in der Atmosphäre wird durch Inhomogenitäten des Brechungsindex beeinflusst. Diese Refraktionseinflüsse verschlechtern die Genauigkeit von Richtungs- und Distanzmessungen in geodätischen Anwendungen. Wie in zwei Beispielen dieses Berichts dargelegt wird, können Refraktionseinflüsse bis heute nicht vollständig korrigiert werden, und deshalb müssen Lösungen gefunden werden, welche in den geodätischen Instrumenten implementiert werden können. Der vorgelegte Ansatz basiert auf der Bestimmung des Temperaturgradienten, da dieser den entscheidenden Einflussparameter des Refraktionseinflusses auf Winkelmessungen darstellt.

In der Atmosphäre stehen Temperaturgradienten in Beziehung mit turbulenten Wärmeaustauschprozessen wie zum Beispiel dem turbulenten Fluss der fühlbaren Wärme. Um die atmosphärische Turbulenz beschreiben zu können, verwendet der untersuchte Ansatz die Methode der Spektralanalyse, welche auf der Vorstellung beruht, dass das turbulente atmosphärische Geschwindigkeitsfeld aus vielen Wirbeln unterschiedlicher Grösse besteht. Dieses turbulente Energiespektrum kann mit Hilfe der Strukturkonstante C_n^2 des Brechungsindex und der inneren Skalenlänge l_0 modelliert werden. Sind C_n^2 und l_0 gemessen, so lässt sich der Temperaturgradient von dimensionslosen Profilkfunktionen unter Berücksichtigung der sogenannten Monin-Obukhov Similarität ableiten, wobei beachtet werden muss, dass diese Theorie nur für vertikale Temperaturgradienten in der atmosphärischen Grenzschicht gültig ist

Diese Forschungsarbeit untersucht die Bestimmung der erforderlichen Strukturparameter C_n^2 und l_0 mittels Bildsensoren, welche in geodätischen Instrumenten eingebaut werden können. Um diese Strukturparameter von den erfassten Bilddaten ableiten zu können, wird die Anwendung von Bildverarbeitungstechniken untersucht. Dazu benützt das Auswertekonzept Winkel- und Intensitätsfluktuationen. Winkelfluktuationen können als hochfrequente Bewegungen von Bildmustern, die der Bildsensor erfasst, wahrgenommen werden, und Intensitätsfluktuationen stehen in Beziehung mit der zeitlichen Grauwert-Variation der Pixel. Wie in diesem Bericht dargelegt, können diese zwei Effekte der optischen Turbulenz für die Bestimmung der Strukturparameter C_n^2 und l_0 verwendet werden. Zu diesem Zweck müssen Bildverarbeitungstechniken sowohl die Winkel- als auch die Intensitätsfluktuationen mit Parametern beschreiben. Im Rahmen dieser Forschungsarbeit werden die Winkelfluktuationen mittels der Varianz σ_X^2 modelliert, welche das Verschieben von Bildmustern charakterisiert, die mit Hilfe von Kantendetektionsalgorithmen lokalisiert werden. Die Modellierung der Intensitätsfluktuationen erfolgt durch die Varianz σ_V^2 , welche mittels digitaler Filtertechniken wie das Wiener Filter oder das Least-squares template matching Verfahren berechnet wird.

Um diese Konzept zu validieren, werden als zwei unterschiedliche Bilderfassungssysteme der Videotheodolit Leica TM3000V und die digitale Zeilenkamera Basler L120 verwendet, um Bilder während verschiedener praktischer Feldexperimente zu erfassen. Diese Feldexperimente ergaben zum Teil eine gute Übereinstimmung zwischen den aus den Bildsensoren gewonnen Strukturparametern und denjenigen, die aus einem Referenzmesssystem (Scintillometer) erhalten wurden. Grundsätzlich ermöglicht die vorgestellte Methode eine Reduktion der Refraktionseinflüsse. Ihr entscheidender Vorteil besteht darin, dass nebst den im Instrument vorhandenen Bildsensoren keine zusätzliche Sensoren benötigt werden. Wie jedoch am Ende des Berichts anhand der exemplarischen Berechnung von Temperaturgradienten gezeigt wird, sind noch weitere Forschungsarbeiten im Bereich der atmosphärischen Grenzschicht notwendig.