

Herausgeber der Reihe

F.K. Brunner

Ingenieurgeodäsie und Messsysteme
Technische Universität Graz
Steyrergasse 30, A-8010 Graz
<http://www.cis.tugraz.at/ivm>

Ingenieurgeodäsie - TU Graz

Horst Hartinger

**Development of a Continuous Deformation
Monitoring System using GPS**

Shaker Verlag
Aachen 2001

Die Deutsche Bibliothek - CIP-Einheitsaufnahme

Hartinger, Horst:

Development of a Continuous Deformation Monitoring System using GPS/
Horst Hartinger.

Aachen : Shaker, 2001

(Ingenieurgeodäsie-TU Graz)

Zugl.: Graz, Techn. Univ., Diss., 2001

ISBN 3-8265-9484-3

Diese Dissertation wurde an der Fakultät für Bauingenieurwesen der Technischen Universität Graz zum Zweck der Erlangung des akademischen Grades eines Doktors der technischen Wissenschaften eingereicht.

Prüfungskommission:

Referent: Univ.-Prof. Dr. Fritz K. Brunner

Korreferent: Univ.-Prof. Dr.-Ing. Thomas A. Wunderlich

Tag der mündlichen Prüfung: 21. Mai 2001

Copyright Shaker Verlag 2001

All rights reserved. No part of this publication may be reproduced, stored in a retrieval system, or transmitted, in any form or by any means, electronic, mechanical, photocopying, recording or otherwise, without the prior permission of the publishers.

Printed in Germany.

ISBN 3-8265-9484-3

ISSN 1618-6303

Shaker Verlag GmbH • P.O. BOX 1290 • D-52013 Aachen

Phone: 0049/2407/9596-0 • Telefax: 0049/2407/9596-9

Internet: www.shaker.de • eMail: info@shaker.de

Zusammenfassung

Diese Dissertation befasst sich mit der Entwicklung eines kontinuierlichen Deformationsüberwachungssystems mit GPS, kurz CODMS. Das CODMS besteht aus Referenzstationen im unbewegten Gelände und den Überwachungsstationen im Deformationsgebiet. Die Hardware jeder Station gliedert sich in eine GPS Antenne, einen GPS Empfänger und eine Datenübertragungseinrichtung. Alle Stationen übertragen simultan die GPS Messungen an einen Basiscomputer.

Die Überwachung der Deformationen von Bauwerken und lokalen geodynamischen Prozessen erfordert eine detaillierte, kontinuierliche Beobachtung von Bewegungen, die oft sporadisch auftreten können. Aufgrund dieser Voraussetzungen muss ein CODMS Deformationen in fast Echtzeit bestimmen können. Hochgenaue GPS Vermessungen zeigen aber gerade bei fast Echtzeitanwendungen einen signifikanten Genauigkeitsverlust. Dieses Problem wird in der Dissertation durch Antennenuntersuchungen zur Reduktion von Mehrwegeeffekten, der „Time-Stacking“ Technik und den SIGMA Modellen vermindert. Im Prinzip basieren die SIGMA Modelle auf der mit der Phasenbeobachtung mitgemessenen Signalstärke. Sie eignen sich, um Signalverzerrungseffekte und Perioden mit schlechter Satellitengeometrie in den GPS Ergebnissen zu reduziert.

Neben Genauigkeits- und Präzisionsfragen ist auch die Vermeidung der Berechnung von falschen Deformationsergebnissen ein wichtiges Qualitätskriterium eines CODMS. Für die zuverlässige Beurteilung der Datenintegrität ist eine hohe Datenaufzeichnungsrate des CODMS nützlich. Zur Schätzung der Ergebnisse wird diese hohe Datenquantität aber durch die Berechnung von Normalpunkten reduziert. Die hohe Korrelation der Phasendaten wird bei der Berechnung des Normalpunktes mit einem Faktor η berücksichtigt.

Ergebnisse von Deformationsexperimenten und Feldeinsätze des CODMS zeigen, dass eine Genauigkeit von 2 mm in der Lage und 5 mm in der Höhe innerhalb weniger Minuten erreicht werden kann.

Abstract

The focus of this thesis is the development of a COntinuous GPS based local Deformation Monitoring System, in short CODMS. A few GPS stations are used to define a stable reference frame and the remaining stations are the monitoring points situated in the deformation area. The hardware of each station consists of a GPS antenna, a GPS receiver and a telemetry unit. All GPS observations are simultaneously transmitted from the stations to a central computer station.

Deformation monitoring of structures and local geodynamic processes requires detailed and continuous observation of motions which very often show a sporadic nature. As a consequence, a CODMS must determine the results in near real-time. However, GPS shows a significant accuracy decrease for near real-time applications. This difficulty is addressed with several antenna multipath mitigation experiments, the time stacking technique and the SIGMA models. The SIGMA models reduce the impact of signal diffraction effects and periods of weak satellite geometry in the GPS results. The key parameter in these models is the power of the GPS signal which is a measured by-product of the signal tracking loops.

Beside accuracy and precision concerns, the avoidance of erroneous estimation of deformations is a major quality aspect of a CODMS. A high data sampling rate provides a reliable investigation of the phase integrity. The mass of data quantity is reduced by computing normal points. In addition, scaling the a-posteriori variance of the normal point by a factor η accounts for the high correlation of the phase observations.

Results from simulated deformation experiments as well as several field applications of the CODMS indicate that an accuracy of nearly 2 mm in position and 5 mm in height can be achieved within a few minutes of GPS carrier phase observations.

Acknowledgements

I am very thankful to Prof. Fritz K. Brunner, my advisor, for his patience and advice. Thanks for all the things you taught me during these four years!

I would also like to thank all the people who helped in the completion of this work. Especially: Ekkehart Grillmayer for the discussions we had about multipath and signal diffraction while we shared the same room. Lienhard Troyer for his work on signal diffraction which was very important for the SIGMA models. Andreas Wieser for his advice on several GPS topics and Helmut Woschitz for his advice and for just being a friend all these years.

Thanks to my successors at the IDNDR project: Bernhard Richter, Angelika Lippitsch and Georg Gassner who made and make the project a success.

The whole IVM team is warmly thanked for the very pleasant working atmosphere. Thanks to Sandra Schmuck, Werner Lienhart, Rudolf Lummerstorfer and Robert Presl.

The major part of the work presented in this thesis has been financed by the Austria Academy of Sciences under the aegis of the International Decade of Natural Disaster Reduction (IDNDR).

Horst Hartinger

Contents

Zusammenfassung	V
Abstract	VI
Acknowledgements	VII
Contents	VIII
Preface	X

Part I

1. Local Deformation Monitoring with GPS	1
1.1 GPS versus total stations	1
1.2 Systematic and random effects of the GPS phase observations	4
1.3 Attainable accuracy of CODMS results	8
2. The IVM-CODMS	10
2.1 CODMS developments	10
2.2 Hardware and software	10
2.2.1 Hardware	11
2.2.2 The software package GRAZIA	13
2.3 Models for improved accuracy performance of the IVM-CODMS in near real-time	15
2.3.1 The SIGMA models	15
2.3.2 Multipath mitigation	22
2.3.3 Normal point technique	24
2.4 Monitoring of deformations using the IVM-CODMS	25
3. Special Investigations	27
3.1. Normal Point Technique	27
3.1.1 Phase integrity monitoring	28
3.1.2 Normal point estimation	32
3.1.3 Physical correlations	35
3.1.4 Data processing using normal points	39
3.1.5 An alternative way for estimating the 'Erhaltungszahl' η	41
3.1.6 On the equivalence of η computed with the SVAR or with the autocovariance function	44

3.2. Multipath Investigations	47
3.2.1 Background	47
3.2.2 Reduction of the multipath effects: Antennas	50
3.2.3 Reduction of the multipath effects: Antenna modifications	53
3.2.4 Reduction of the multipath effect: Antenna location	55
3.2.5 Conclusion of the antenna multipath mitigation investigations	60
3.2.6 Reduction of the multipath effects: Time stacking technique	60
4 Conclusions and Recommendations	64
References	67

Part II

Publications which are part of the thesis	71
Paper A: Signal distortion in high precision GPS surveys	11 pages
Paper B: Variances of GPS phase observations: the SIGMA- ε model	12 pages
Paper C: GPS signal diffraction modelling: the stochastic SIGMA- Δ model	13 pages
Paper D: Über die Schranken hochgenauer GPS Vermessungen	12 pages
Paper E: Experimental detection of deformations using GPS	8 pages
Paper F: Continuous monitoring of landslides using GPS: A progress report	16 pages
Paper G: Zur kontinuierlichen Überwachung von Bauwerken mit GPS	12 pages