Zeitschrift: Vermessung, Photogrammetrie, Kulturtechnik : VPK = Mensuration, photogrammétrie, génie rural

Herausgeber: Schweizerischer Verein für Vermessung und Kulturtechnik (SVVK) = Société suisse des mensurations et améliorations foncières (SSMAF)

Band: 87 (1989)

Heft: 8

Artikel: Erfahrungen mit einer kreiselorientierten Landfahrzeug-Navigationsanlage

Autor: Lechner, W.

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-234072

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 12.07.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch

Erfahrungen mit einer kreiselorientierten Landfahrzeug-Navigationsanlage

W. Lechner

Landfahrzeug-Navigationsanlagen der hier untersuchten Art verwenden Kreisel und Radumdrehungszähler, um mit Hilfe des Verfahrens der Koppelnavigation bordautonome Echtzeit-Positionsbestimmung durchzuführen. Im nachfolgenden Beitrag wird beschrieben, welche Erfahrungen mit einem derartigen System unter Bedingungen gemacht wurden, wie sie aus der Verwendung von Inertialen Vermessungssystemen bekannt sind, insbesondere, welche Genauigkeitssteigerung durch eine nachträgliche Glättung der Messdaten erreichbar ist und wie die daraus resultierende Leistungsfähigkeit im Vergleich mit Inertialsystemen zu bewerten ist.

Les installations de vavigation sur véhicules de terrain qui sont étudiées ici utilisent des gyroscopes et des compteurs de tours de roues pour parvenir, à l'aide du processus de navigation couplée, à une détermination de la position en temps réel à bord même du véhicule. L'article qui suit présente les expériences faites avec une de ces installations dans les conditions connues de l'utilisation des systèmes inertiels. Il décrit plus particulièrement l'augmentation de la précision due à un lissage des mesures brutes et comment la performance résultante peut être jugée par rapport aux systèmes inertiels.

1. Einleitung

Die Nutzung von Navigationssystemen für Zwecke der geodätischen Punktbestimmung hat in den letzten 20 Jahren wiederholt deutlich gemacht, welches Genauigkeitspotential darartige Systeme beinhalten, wenn man vom ursprünglichen Anwendungszweck, der «Echtzeit-Einzelpunkt-Positionierung» abweicht. Allgemein bekannte Beispiele sind in diesem Zusammenhang die satellitengestützten Verfahren NNSS-Transit und Navstar GPS sowie die Trägheitsnavigation (z.B. Schödlbauer, Welsch, 1984; King u.a., 1987; Wells u.a., 1986; Caspary, Hein, Schödlbauer, 1987; Mancini, Moore, 1977; Schwarz, 1981; Schwarz, 1986).

Der folgende Beitrag befasst sich nun mit einer weiteren Gruppe von Navigationssystemen, den sogenannten Landfahrzeug-Navigationsanlagen. Diese Systeme nutzen, wie Inertialsysteme, die Orientierungsinformationen von Kreiseln zur Bestimmung der azimutalen Ausrichtung des Trägerfahrzeugs bezüglich des erdfesten Referenzkoordinatensystems. Der während der Fahrt zurückgelegte Weg wird durch Zählen von Rad- bzw. Getriebe-Umdrehungen durch einen Weggeber ermittelt.

Nachfolgend werden nun, nach einer kurzen technischen Beschreibung des verwendeten Systems, einige Erfahrungen zusammengefasst, die während der Untersuchung einer derartigen Anlage gewonnen werden konnten (Lechner, 1988).

2. Fahrzeugnavigationsanlage FNA 615

Gegenstand der Untersuchungen war die Fahrzeugnavigationsanlage FNA 615, die von der Fa. Bodenseewerk Gerätetechnik GmbH, Überlingen, hergestellt wird und bisher nur für Zwecke der Echtzeit-Positionierung im militärischen Bereich verwendet wurde. Die Positionsbestimmung erfolgt dabei mit Hilfe des Verfahrens der Koppelnavigation, d.h. durch die fortgesetzte Lösung der Ersten Geodätischen Grundaufgabe (Lechner, 1988, S.16ff). Die Koordinatenberechnungen werden im UTM-System (Schödlbauer, 1982, S.11ff.) durchgeführt, wobei der Massstabsfaktor der gauss'schen konformen Abbildung als Konstante mit m = 1 gesetzt wird. Bei Verwendung von kleinen Weginkrementen (= hohe Abtastrate F) ergeben sich dann folgende Übertragungsformeln (Lechner, 1988, S.49ff):

$$E_n = E_1 + \sum_{i=1}^{n-1} \Delta S_i \cdot \sin T_i \qquad (2\text{-}1)$$

$$N_n = N_1 + \sum_{i=1}^{n-1} \Delta S_i \cdot \cos T_i \qquad (2\text{-}2)$$

E_n, N_n ... UTM-Koordinaten des aktuellen Standortes

E_1, N_1 ... UTM-Koordinaten des Startpunktes der Navigationsfahrt

ΔS_i ... Streckeninkrement in der Horizontalebene

T_i ... ellipsoidischer Richtungswinkel

n-1 ... Anzahl der Navigationszyklen, n-1 = f (F)

Streckeninkrement und Richtungswinkel, die im ellipsoidischen Horizontsystem nicht direkt beobachtbar sind, werden aus den Sensordaten der FNA 615 abgeleitet (Lechner, 1988, S.43ff). Als Sensoren werden dabei ein Meridiankreisel zur Bestimmung der Anfangsorientierung, ein Kurskreisel zur Messung von Orientierungsänderungen während der Fahrt, ein elektrischer Weggeber zur Rad-/Getriebe-Umdrehungszählung sowie zwei Elektrolytlibellen zur Bestimmung der aktuellen Orientierung des Fahrzeugs bezüglich der Horizontebene verwendet (Lechner, 1988, S.40).

Eine Höhenübertragung ist mit derartigen Systemen nicht vorgesehen, jedoch kann die FNA 615 mit einfachen Mitteln derart ergänzt werden, dass die erreichbare Höhengenauigkeit der Lagegenauigkeit entspricht (Lechner, 1988, S.123ff).

3. Testmessungen

Grundlage der mit der FNA durchgeführten Untersuchungen waren Messfahrten, die in zwei Testnetzen durchgeführt wurden, die während der Messungen im Rahmen des Projekts «Inertialgeodäsie» der Universität der Bundeswehr angelegt worden sind, (Borutta u.a., 1986). Der unterschiedliche Charakter der Testnetze (s. Abb. 1 und 2), die Vielzahl der als fehlerfrei anzunehmenden Kontrollpunkte und die umfangreichen Messungen (ca. 1000 Positionsbestimmungen bei mehr als 1100 km Fahrtstrecke) erbrachten genügend Datenmaterial, um die angestrebten Untersuchungen durchführen zu können.

Es waren dies primär:

- Untersuchungen zum Verhalten der Sensoren hinsichtlich systematischer und zufälliger Fehleranteile,
- Entwicklung von Auswertemodellen zur nachträglichen Glättung des Beobachtungsmaterials (Post-Processing),
- Vergleich der Leistungsfähigkeit und Handhabbarkeit der FNA 615 mit der inertialer Vermessungssysteme.

Die Messungen wurden dabei in Form von doppelt gemessenen Polygonzügen und Polygonnetzen durchgeführt, Verfahren, die sich bereits beim Einsatz von Inertialsystemen bewährt haben (z.B. Caspary, 1983).

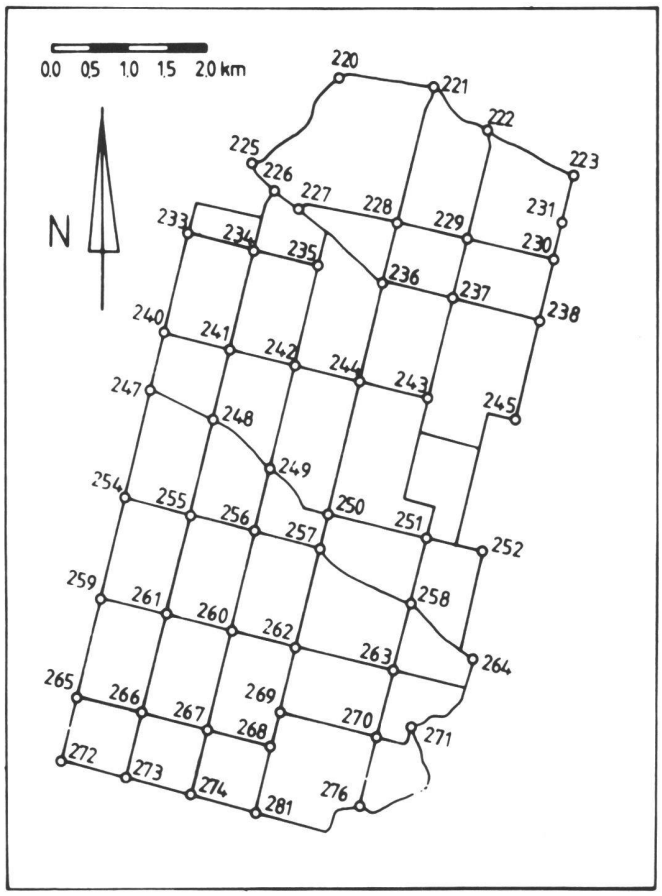

Abb. 1: Testnetz «Ebersberger Forst»

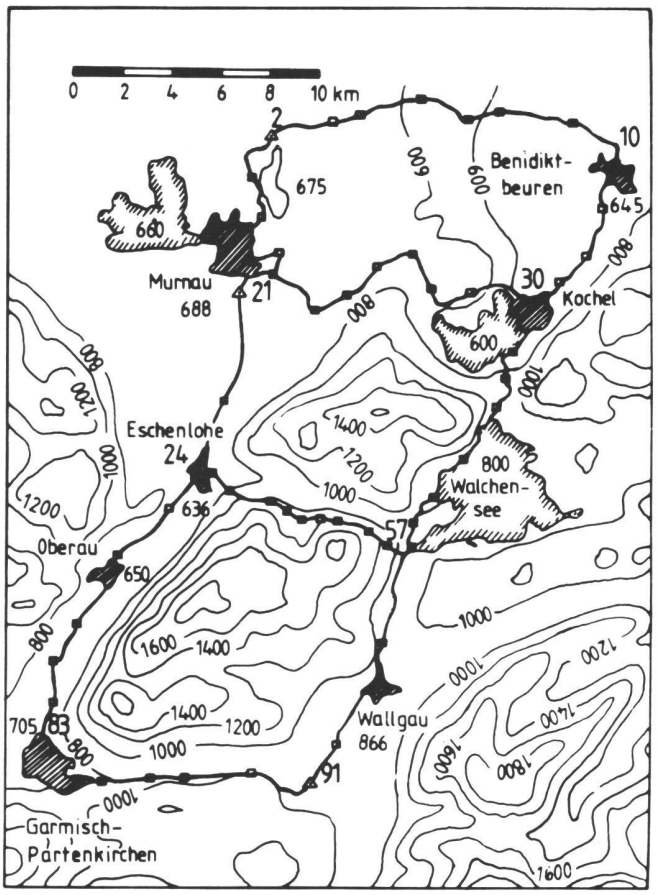

Abb. 2: Testnetz «Werdenfelser Land»

4. Auswertung und Ergebnisse

Ziel der Auswertung der Messdaten war es, Modelle für die nachträgliche Glättung der Beobachtungen zu entwickeln, um so deren Genauigkeit durch Modellierung systematischer Einflüsse und Schätzung entsprechender Parameter zu verbessern. Um ein Konzept für das mathematische Modell als Grundlage der Parameterschätzung zu erarbeiten, wurde die FNA 615 hinsichtlich kontruktiver Sensorfehler analysiert sowie ein stochastisches Modell entwickelt (Lechner, 1988, S.75ff).

Als Resultat dieser Untersuchungen ergibt sich ein funktionales Modell, das auf den grundlegenden Übertragungsgleichungen ([2-1], [2-2]) der Koppelnavigation aufbaut und als zusätzliche Systemparameter eines Fehlermodells einen Ausrichtfehler α des Meridiankreisels, einen Parameter für die linear zeitabhängige Drift α des Kurskreisels sowie einen Massstabsfaktor m des Weggebers enthält.

$$E_n = E_1 + \sum m \cdot \Delta S \cdot \sin(T + \alpha + \dot{\alpha} \cdot \Delta t) \qquad (4\text{-}1)$$

$$N_n = N_1 + \sum m \cdot \Delta S \cdot \cos(T + \alpha + \dot{\alpha} \cdot \Delta t) \qquad (4\text{-}2)$$

Die Parameter sowie die Koordinatenunbekannten wurden im Rahmen einer Ausgleichung nach der Methode der kleinsten Quadrate geschätzt. Als stochastisches Modell wurde ein Gauss-Markov-Prozess 1. Ordnung gewählt, der die ständige Aufsummierung von Koordinatendifferenzen berücksichtigt (Lechner, 1988, S.81) und sich aus diesem Grunde auch bereits mehrfach in der Inertialgeodäsie bewährt hat (Caspary, König, 1986, S.520; Hannah, 1982, S.137, König, 1988, S.74ff). Die aus diesem Ansatz resultierende Gewichtsmatrix ist analytisch darstellbar und aufgrund ihrer Bandstruktur leicht zu errechnen und zu verarbeiten:

$$P = \frac{1}{\sigma^2} \begin{pmatrix} 1 & -\beta & 0 & 0 & \dots & 0 \\ -\beta & 1+\beta^2 & -\beta & 0 & \dots & 0 \\ 0 & -\beta & 1+\beta^2 & -\beta & \dots & 0 \\ . & . & & & & \\ . & . & & & & \\ . & . & & & 1+\beta^2 & -\beta \\ 0 & . & . & . & -\beta & 1 \end{pmatrix} \qquad (4\text{-}3)$$

Der darin enthaltene Koeffizient β hat die Funktion eines Korrelationskoeffizienten zwischen benachbarten Werten des Gauss-Markov-Prozesses und wurde empirisch aus dem Beobachtungsmaterial zu $\beta = 0.5$ bestimmt (Lechner, 1988, S.105ff). Die numerische Auswertung ergab, dass der Parameter zur Modellierung der linear zeitabhängigen Drift des Kurskreisels lediglich im Rahmen einer Netzausgleichung sinnvoll schätzbar ist, während bei der Auswertung von Polygonzügen nur Ausrichtfehler und Massstabsfaktor signifikant bestimmbar sind.

Die Tabelle zeigt repräsentative Ergebnisse der Polygonzug- und Netzausgleichung im Testnetz «Ebersberger Forst»; eine umfassende Darstellung der Resultate sowie weitere Auswertungen sind (Lechner, 1988, S.91ff) zu entnehmen.

Beobachtungsverfahren	Polygonzug	Polygonnetz
RMS (East)	0,67 m	0,35 m
RMS (North)	0,78 m	0,32 m
dE (max)	3,02 m	0,89 m
dN (max)	3,82 m	0,83 m
Anz P	431 (48)	431 (48)
Anz N	30	30
f	534	496

Tab.: 4-1: Polygonzug- und Netzausgleichung Testnetz «Ebersberger Forst».

Dabei bedeuten:

$$RMS = \sqrt{\sum_{i=1}^{n} \frac{(x_{i_{soll}} - x_{i_{ist}})^2}{n}}$$

... Root Mean Square

xi_{soll} ... i-te Komponente des Vektors der Referenzkoordinaten

xi_{ist} ... i-te Komponente des Vektors der geschätzten Koordinaten

n ... Anzahl der geschätzten Koordinaten.

dE, dN (max) = Maximale Ablage einer Koordinate vom Sollwert

AnzP = Anzahl der Punktbestimmungen (in Klammern: Anzahl der Neupunkte)

Anz N = Anzahl der Navigationsfahrten

f = Freiheitsgrad.

Es zeigt sich, dass im Rahmen einer Netzausgleichung durchaus Genauigkeiten erreicht werden können, wie sie auch aus der Verwendung von Inertialsystemen bekannt sind (RMS-Werte 0,1–0,3 m, siehe König, 1987, S.323). Berücksichtigt man weiterhin die wesentlich einfachere und schnellere Bedienung einer Fahrzeugnavigationsanlage, Anfangsausrichtung in vier Minuten, keine Geschwindigkeitsfehlerkontrollen (ZUPT's) sowie der mit ca. DM 200 000.— (FNA 615) im Vergleich mit Inertialplattformen (ca. DM 700 000.— bis DM 1 500 000.—) recht günstige Preis, so wird deutlich, dass Anlagen des hier untersuchten Typs unter Umständen eine interessante Alternative zum Einsatz inertialer Vermessungssysteme sein können.

5. Anwendungsmöglichkeiten

Betrachtet man die aus der Tabelle ersichtlichen Ergebnisse, so wird deutlich, dass der Einsatz einer Fahrzeugnavigationsanlage nur dort sinnvoll sein wird, wo Positionsbestimmungen niederer Genauigkeit gefordert sind. Die relativ geringe Verbreitung von inertialen Vermessungssystemen zeigt, dass hier bisher offenbar nur ein eingeschränkter Bedarf besteht.

Ein ausserordentlich interessantes Anwendungsgebiet könnte jedoch in der Möglichkeit der direkten Digitalisierung des Strassennetzes liegen, die für viele verkehrstechnische Vorhaben (z.B. Zielführung, dynamische Verkehrsleitung etc.) unabdingbare Voraussetzung ist. Hierbei liessen sich neben den reinen Koordinatenwerten sofort noch weitere Informationen sammeln (Belag, Verkehrszeichen, Infrastruktur [Tankstellen] etc.), die zum Aufbau eines «Vekehrswege-Informationssystems» benötigt werden und letztlich ohnehin ein Abfahren der Strassen erfordern. Hierbei wäre es unter Umständen sogar ausreichend, weniger aufwendige Anlagen einzusetzen, die bereits ab ca. 40 000.— DM erhältlich sind.

Insgesamt ist somit in der Zukunft durchaus ein Bedarf für den Genauigkeitsbereich von einigen Dezimetern bis hin zu wenigen Metern zu sehen. Die Nutzung dynamisch einsetzbarer Systeme in der Art der hier untersuchten Fahrzeugnavigationsanlage kann dabei in vielen Fällen ein geeignetes Verfahren sein.

Literatur:

Borutta, H., Eissfeller, B., König, R., Landau, H., Lechner, W.: Testnetze zur Untersuchung von fahrzeuggebundenen Messsystemen zur Positionsbestimmung in Geodäsie und Navigation. Ortung und Navigation, S. 440–449, 1986.

Caspary, W.: Inertiale Vermessungssysteme. Vermessungswesen und Raumordnung, S. 169–188, 1983.

Caspary, W., Hein, G., Schödlbauer, A.: Beiträge zur Inertialgeodäsie, Geodätisches Seminar 25./26. September 1986. Heft 22, Schriftenreihe Studiengang Vermessungswesen, Neubiberg 1987.

Caspary, W., König, R.: Comparative Study of the Ferranti, Honeywell and Litton Inertial Surveying Systems: Testnet Ebersberger Forst. In: Proceedings Inertial Technology for Surveying and Geodesy, Banff 1985, S. 513–524, Calgary 1986.

Hannah, J.: The Development of Comprehensive Error Models and Network Adjustment Techniques for Inertial Surveys. Report No. 330, Department of Geodetic Science, Ohio State University, Columbus, Ohio 1982.

King, R.W., Masters, E.G., Rizos, C., Stolz, A.: Surveying with GPS. Dümmlers Verlag, Bonn 1987.

König, R.: Inertialvermessungen im Testnetz Ebersberger Forst. In: Caspary, Hein, Schödlbauer (Hrsg.): Beiträge zur Inertialgeodäsie, Geodätisches Seminar 25./26. September 1986, Heft 22, Schriftenreihe Studiengang Vermessungswesen der Universität der Bundeswehr München, S. 317–330, Neubiberg 1987.

König, R.: Zur Fehlertheorie und Ausgleichung inertialer Positionsbestimmungen. Heft 32, Schriftenreihe Studiengang Vermessungswesen der Universität der Bundeswehr München, Neubiberg 1988.

Lechner, W.: Untersuchung einer kreiselorientierten Landfahrzeug-Navigationsanlage im Hinblick auf geodätische Anwendungen und Möglichkeiten der Höhenübertragung. Heft 31, Schriftenreihe Studiengang Vermessungswesen der Universität der Bundeswehr München, Neubiberg 1988.

Mancini, A., Moore, R.E.: Proceedings First International Symposium on Inertial Technology for Surveying and Geodesy. Ottawa 1977.

Schödlbauer, A.: Rechenformeln und Rechenbeispiele zur Landesvermessung, Teil 2. Herbert Wichmann Verlag, Karlsruhe 1982.

Schödlbauer, A., Welsch, W. (Hrsg.): Satelliten-Doppler-Messungen. Beiträge zum Geodätischen Seminar 24./25. September 1984. Heft 15, Schriftenreihe wissenschaftlicher Studiengang Vermessungswesen, Hochschule der Bundeswehr München, Neubiberg 1984.

Schwarz, K.P. (Editor): Proceedings of the Second International Symposium on Inertial Technology for Surveying and Geodesy. Banff, June 1–5, 1981. Canadian Institute for Surveying, Ottawa 1981.

Schwarz, K.P. (Editor): Proceedings of the Third International Symposium on Inertial Technology for Surveying and Geodesy, Banff, September 16–20, 1985. University of Calgary 1986.

Wells, D.E. (Editor): Guide to GPS Positioning. The Canadian Institute of Surveying, Ottawa 1986.

Adresse des Verfassers:
Dr.-Ing. W. Lechner
Deutsches Geodätisches
Forschungsinstitut
Abt. I: Theoretische Geodäsie
Marstallplatz 8
D-8000 München 22