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: 83 (1985)

Heft: 9: Sonderheft zum Rücktritt und 70. Geburtstag von Prof. Dr. Dr. h. c. H. H. Schmid

Artikel: Zur Gründung des Sonderforschungsbereichs 228 "Hochgenaue Navigation - Integration navigatorischer und geodätischer Methoden" an der Universität Stuttgart

Autor: Linkwitz, K.

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-232617

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: 16.07.2025

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

Zur Gründung des Sonderforschungsbereichs 228 ‹Hochgenaue Navigation – Integration navigatorischer und geodätischer Methoden› an der Universität Stuttgart

K. Linkwitz

Kürzlich ging eine zweiseitige farbige Anzeige durch die Zeitungen. Sie zeigt ein Geländefahrzeug zwischen den braunen Sandhügeln einer Wüste. ‹Fahren Sie mit unserem bordeigenen computergesteuerten Navigationsgerät drei Grad Richtung Ost und dann 16 km geradeaus. Dort finden Sie Oase und Wasser.› In der Anzeige ist weiter zu erfahren, dass das bordeigene Navigationssystem die gefahrenen Entfernungen aus einem Abgriff am Getriebe und die Himmelsrichtung aus einem Kreiselkompass ermittelt. Der bordeigene Rechner setzt dann aus den Richtungen und Strecken einen Kompasszug zusammen, der – ausgehend von einem bekannten Anfangsort – die Koordinaten des jeweiligen Standortes zu bestimmen erlaubt. Durch Vergleich der Koordinaten des Standpunktes mit denen des Zielpunktes kann er die verbleibende Entfernung und die einzuschlagende Richtung ermitteln.

Beim Abschuss eines nordkoreanischen Passagierflugzeuges 1983 nahe Sachalin auf der Polarroute von Anchorage nach Seoul stellte sich den Berichtern die Frage, ob das ‹INS› (Inertial Navigation System) des Flugzeuges versagt habe oder beim Start falsch programmiert worden sei. Die Zeitungen berichteten weiter, das System sei dreifach gesichert.

Beide Beispiele zeigen schlaglichtartig die Bedeutung zuverlässiger und genauer Navigation. Sie geben aber auch einen Hinweis auf ein Bauelement moderner autonomer Navigationssysteme, nämlich den Kreisel.

An der Universität Stuttgart befindet sich der Sonderforschungsbereich ‹Hochgenaue Navigation – Integration navigatorischer und geodätischer Methoden› in der Anlaufphase. Was ist ein Sonderforschungsbereich?

1969 wagten der Bund, die Länder und die Deutsche Forschungsgemeinschaft, die ersten Sonderforschungsbereiche mit bescheidenen Mitteln zu finanzieren. Ihre Aufgabe hatte der Wissenschaftsrat bereits 1967 in einer kurzen Denkschrift zitiert: ‹Mit der Bildung von Sonderforschungsbereichen werden verschiedene Ziele verfolgt. Es geht um eine Konzentration der Kräfte, um die Förderung der Kooperation zwischen den Forschern und zwischen den verschiedenen Forschungseinrichtungen, um eine planvolle Abstimmung der Spezialisierungsgebiete, um die Schaffung leistungsfähiger Forschungseinheiten in den Hochschulen und Hand in Hand damit eine verstärkte und zugleich mit einer Leistungskontrolle verbundene finanzielle Förderung der Forschung.› Zugleich waren die Sonderforschungsbereiche eine Antwort auf die damals befürchtete Störung der Hochschulforschung durch die sogenannte Studentenrevolte 1969.

In Auslegung dieser Denkschrift vollzieht sich die Arbeit in einem Sonderforschungsbereich unter dreierlei Prinzipien:

1. Eine Gruppe von interdisziplinär arbeitenden Forschern muss einen Antrag auf Einrichtung eines Sonderforschungsbereiches und dann im Zwei- bis Dreijahresturnus auf die jeweiligen Förderungen stellen. Die Forscher müssen Vorleistungen auf dem beabsichtigten Arbeitsgebiet des SFB vorweisen können, und das Gebiet muss Einzelförderung durch die DFG ausschliessen.
2. Die Forschungsrichtung soll wegweisend und zukunftsorientiert sein und eine möglichst langfristige Förderung erlauben. Ein Zwischenzeitraum umfasst zwei bis drei Jahre; das gesamte Thema soll eine voraussichtliche, kontinuierliche Arbeit für einen Zeitraum zwischen etwa fünf und zwölf Jahren ermöglichen. Daran knüpft sich weiter die Vorstellung, dass nach Initialzündung der Forschungsrichtung im SFB die Personalstellen nach angemessener Zeit in den Landeshaushalt der Hochschule übernommen würden. Von diesem weiteren Ziel können wir allerdings heute nur träumen.
3. Zwischenergebnisse und Vorausplanungen der Arbeiten unterliegen vor und nach der Antragstellung, also auch während der Laufzeit des SFB, einer rigorosen Leistungskontrolle durch Gutachterbegehungen, bei denen für jedes einzelne Teilprojekt die Förderungswürdigkeit für den nächsten Zeitraum begutachtet wird, aber auch, ob die Förderung nur im Rahmen eines Sonderforschungsbereiches möglich ist.

Es wird weiter beurteilt, ob das Zusammenwirken der einzelnen Gruppen befriedigend ist, die Zielrichtung des SFB sich der generellen Entwicklung angepasst hat und sich die Teilprojekte diesem Ziel ein- und unterordnen. Die Förderung ist häufig mit Empfehlungen und Auflagen verbunden. In der Durchführung sind die Gruppen jedoch dann weitgehend frei, ebenso in der Gestaltung ihrer Satzung, Administration und Selbstkontrolle.

Der Sonderforschungsbereich SFB 228 ‹Hochgenaue Navigation – Integration navigatorischer und geodätischer Methoden› ist bis auf den Projektbereich Inertialgeodäsie am 1. Juli 1984 in Stuttgart eingerichtet worden. Dem gingen Vorarbeiten innerhalb und ausserhalb der Hochschule von etwa drei Jahren voraus, in denen sich die jetzigen Forschergruppen freiwillig zusammenfanden, sich das Arbeits- und Forschungsprogramm herauskristallisierte und in denen die notwendigen administrativen und organisatorischen Vorabklärungen getroffen wurden. Die entscheidende Hauptbegutachtung erfolgte Anfang Februar 1984.

Im SFB 228 haben sich acht Institute zusammengeschlossen, nämlich die vier Institute der Fachrichtung Vermessungswesen (die Professoren Ackermann, Grafarend, Hartl, Linkwitz), das Institut für Technische Optik (Prof. Tiziani), das Institut für Systemdynamik und Regelungstechnik (Prof. Gilles), das Institut A für Mechanik (Prof. Sorg), das Physikalische Institut 2 (Prof. Mehring). Als auswärtiges Mitglied ist das Institut für Physikalische Geodäsie der TU Darmstadt (Prof. Groten) hinzugekommen.

Ziel dieses Sonderforschungsbereichs ist es unter anderem, Punktbestimmungen mit Zentimetergenauigkeit in Echtzeit durchzuführen und damit Fahrzeuge und andere Objekte mit höchster Genauigkeit zu navigieren. Diese Aufgabenstellung ist mit der klassischen Aufgabe der Positionsbestimmung von Punkten in der Geodäsie aufs engste verknüpft. Bei der geodätischen Punktbestimmung vergeht jedoch ein mehr oder weniger grosser Zeitraum zwischen Messung und Auswertung. Die Auswertung in Echtzeit, ihre beliebige kurzfristige Wiederholung und der Einbau von Mess- und Auswertevorrichtung in ein Fahrzeug oder bewegtes Objekt lassen die geodätische Punktbestimmung zur Navigation werden. Um diese Kernaufgabe der Navigation gruppieren sich im SFB weitere Aufgaben, die mit ihr in unmittelbarem Zusammenhang stehen. Geodäsie und Navigation berühren sich aber auch in ihren Zielen, Methoden und technischen

Hilfsmitteln: Die Systeme und Messtechniken sind identisch, und in beiden Disziplinen werden die gleichen technischen Hilfsmittel angewendet.

Zur Gründung dieses Sonderforschungsbereichs befindet sich die Universität Stuttgart in einer einzigartigen Ausgangssituation; sie hat eine lange Vorgeschichte. Anfang der fünfziger Jahre gründete der damalige Direktor des Geodätischen Instituts, Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E. h. Karl Ramsayer, aus persönlicher Neigung und finanziert mit Drittmitteln, das Institut für Flugnavigation. In diesem Institut lebte Karl Ramsayer einen grossen Teil seiner wissenschaftlichen und konstruktiven Ideen aus. Er verwirklichte sie bis in Prototypen von Geräten der Navigation, die in praktischen Flügen, vorwiegend in Flugzeugen der Luftwaffe, erprobt wurden. Das Institut erwarb durch seine wesentlichen Arbeiten auf den Gebieten der Koppel- und integrierten Navigation rasch Anerkennung. Dadurch war es Karl Ramsayer möglich, in Verhandlungen mit dem Land Baden-Württemberg zu erreichen, dass bisher frei finanzierte Mitarbeiterstellen in Planstellen des Landes überführt wurden. Damit begann das Institut ab Ende der fünfziger Jahre als voll etatisiertes Forschungsinstitut mit knapp 30 Mitarbeitern zu bestehen. Karl Ramsayer leitete in Doppelfunktion dieses Institut und das Geodätische Institut.

Nach seiner Emeritierung 1980 bestand die einmalige Möglichkeit, nun das Institut voll in die Fachrichtung Geodäsie zu integrieren. Dies bot sich einmal deswegen an, weil sich heute methodische Entwicklungen und wissenschaftliche Fragestellungen in Geodäsie und Navigation überschneiden. Eine solche Integration bietet aber weiter die Möglichkeit, eine Vertiefungsrichtung Navigation (für Studierende der Geodäsie und für Studierende anderer Fachbereiche) einzurichten. Diese Vorstellungen und die dadurch gegebenen Möglichkeiten zur vertieften Forschung auf einem zukunftsorientierten Gebiet fanden rasch positiven Widerhall bei der Universitätsleitung, beim Verwaltungsrat und bei den verantwortlichen Stellen des Landes Baden-Württemberg. Durch Genehmigung einer neuen Struktur für die zukünftige Zusammenarbeit der vier Institute der Fachrichtung Vermessungswesen und durch weitgehenden Erhalt von Planstellen aus dem vormaligen Institut für Flugnavigation schuf der Verwaltungsrat die Voraussetzungen dafür, dass die geodätischen Institute und das Institut für Navigation heute eine organisatorische Einheit bilden und die notwendige Grundausstattung zur Einrichtung eines Sonderforschungsbereichs zur Verfügung stellen konnten. Das Land Baden-Württemberg sorgte durch Neuschaffung einer C4-Stelle zur Leitung des Instituts für Navigation dafür, dass dieses nicht nur fortgeführt, sondern auch – im Gegensatz zu früher – in Zukunft im gleichen Umfang wie die übrigen Institute in der Lehre tätig werden kann. Die so geschaffene Ausgangssituation ist an keiner anderen westdeutschen oder auch europäischen Technischen Universität in vergleichbarer Weise noch einmal anzutreffen. In der Fachrichtung Vermessungswesen entstand dann bald der Gedanke, als eigenes zukunftsorientiertes Forschungsgebiet – und dies unabhängig und neben der Einrichtung einer Vertiefungsrichtung Navigation – die hochgenaue Navigation durch Integration navigatorischer und geodätischer Methoden in Angriff zu nehmen. Auch dafür gibt es in Stuttgart ungewöhnlich günstige Ausgangspositionen. Davon seien nur einige wenige hier genannt.

Das Institut A für Mechanik (Prof. Sorg) ist das einzige Hochschulinstitut in Deutschland, das seit langer Zeit die Kreiselgerättechnik vertritt. Die Mitwirkung von Spezialisten auf diesem Gebiet ist aber unabdingbare Voraussetzung zur erfolgreichen Forschung, Methoden- und Geräteentwicklung auf dem Gebiet der Trägheitsnavigation im Zentimeterbereich. Unter diesen Umständen ist es ein besonders glücklicher Umstand, dass im Institut 2 für Physik (Prof. Mehring) bereits Forschungsvorarbeiten zur Entwicklung eines Kernresonanzkreisels laufen. Dieses Gerät wird aller Voraussicht nach die nächste Generation der Drehgeschwindigkeitssensoren sein.

Am Institut für Systemdynamik und Regelungstechnik (Prof. Gilles) wird seit mehreren Jahren auf dem Gebiet der Automatisierung des Verkehrs auf Binnenschiffahrtsstrassen gearbeitet. Es wurde bereits ein Verfahren zur automatischen Führung von Binnenschiffen auf der Basis induktiver Leitkabeltechnik entwickelt. Die Fortsetzung und Erweiterung dieses Forschungsschwerpunktes soll unter anderem schnelle Radarbildfolgen der Schiffsumgebung zur Navigation ausnützen. Hier ergeben sich unmittelbare Berührpunkte zu den seit einiger Zeit erfolgreichen Arbeiten des Instituts für Photogrammetrie (Prof. Ackermann) auf dem Gebiet der digitalen Bildkorrelation. Am Institut für Technische Optik (Prof. Tiziani) wiederum laufen seit einiger Zeit Arbeiten zur direkten Bildkorrelation mit Hilfe optischer Kristalle. Weiter beschäftigt sich das Institut mit der Möglichkeit der Ausschaltung von Refraktionseinflüssen durch dispersive Messung bei der Entfernungs- und Winkelmessung. Dieses Gebiet wiederum ist von grösstem Interesse für alle Institute der Fachrichtung Vermessungswesen. Die gegenwärtige Begrenzung in der Genauigkeit von Winkel- und Streckenmessung liegt in der Unsicherheit der genauen Erfassung und Berücksichtigung der atmosphärischen Bedingungen. Es wäre ein Durchbruch, wenn es gelänge, durch andere Messmethoden dieses im Messmedium liegende Genauigkeitshindernis zu umgehen.

Gleichzeitig zu diesen Entwicklungen verlief bisher unabhängig ein Pilotprojekt zur Erprobung und Fortentwicklung gegenwärtig auf dem Markt vorhandener Trägheitsplattformen im Institut für Physikalische Geodäsie in Darmstadt (Prof. Groten). Darin ist vorgesehen, die Messsensoren direkt und kontinuierlich abzugreifen, die Signale zu analysieren und durch eine hochwertige Software so aufzubereiten, dass eine Steigerung in der Positionsbestimmung vom bisherigen Dezimeter- in den Zentimeterbereich möglich ist.

Durch die von allen Instituten bisher geleisteten erfolgreichen Vorarbeiten und durch die schon jetzt vorhandenen vielen Berührpunkte ist von Beginn an ein erfolgreiches Arbeiten des geplanten Sonderforschungsbereichs zu erwarten. Aus dieser Zusammenarbeit werden sich für die einzelnen Institute zahlreiche Impulse für ihre eigenen bisherigen Arbeiten ergeben.

Stuttgart ist aber auch in anderer Hinsicht idealer Standort für den geplanten Sonderforschungsbereich. Einige namhafte Firmen im Stuttgarter Gebiet beschäftigen eigene Entwicklungsgruppen zur Forschung und Entwicklung auf dem Gebiet der Navigation. Durch Kontakte zu diesen Gruppen wird es möglich sein, in allen Arbeiten des SFB Praxisbezug zu wahren. Es lässt sich erwarten, dass hochqualifizierte Ingenieure für den Sonderforschungsbereich als Mitarbeiter gewonnen werden können. Die Konsequenz könnte sein, dass Ingenieure und Wissenschaftler, die sich im Sonderforschungsbereich bewährt und ausgezeichnet haben, gute Stellungen in der benachbarten Industrie finden können.

In seinen Forschungsschwerpunkten baut der Sonderforschungsbereich auf den allgemeinen Entwicklungen in Navigation, Geodäsie und Photogrammetrie auf.

In der Navigation stand nach dem Zweiten Weltkrieg der Ausbau der Funkmessverfahren und der Funkortung für die Flug-, die Schiffs- und die Küstenschiffsnavigation im Vordergrund. Parallel dazu entwickelte sich das Radar zu einer wetterunabhängigen Methode zur Abtastung der Umgebung von Schiffen und das Dopplerradar zur Kurs- und Geschwindigkeitsbestimmung von Flugzeugen. In der Kreiseltechnik erlaubten Trägheitsplattformen die zweidimensionale Navigation von

Schiffen und Flugzeugen. Mit der Kenntnis des Schwerefeldes der Erde ist auch die dreidimensionale Trägheitsnavigation möglich. Auf dem Gebiet der künstlichen Satelliten wurden zunächst für militärische Zwecke Dopplernavigationssatellitensysteme (Transitsysteme) entwickelt. Sie zeigten sich als geeignet für die Echtzeitnavigation von See- und Luftfahrzeugen. Derzeit im Aufbau begriffen ist in den USA das Global Positioning Satellitensystem (GPS), welches die Satellitennavigation an jedem beliebigen Ort der Erde zu jeder Zeit mit hoher Genauigkeit möglich machen wird.

Eine besonders interessante Entwicklung, zunächst im militärischen Bereich begonnen, ist eine Navigationsart, bei der das Gelände in Echtzeit durch Mikrowellen abgetastet, mit einem im Bordrechner gespeicherten digitalen Geländemodell verglichen und dann die Differenz zwischen tatsächlichem Gelände und digitalem Geländemodell zur hochgenauen Steuerung benützt wird. Mit dieser Methode kann bodennah mit grosser Präzision und Zuverlässigkeit navigiert werden. Das Verfahren steht bisher nur zur Navigation bemannter und unbemannter militärischer Flugkörper zur Verfügung. Es hat aber grosse Bedeutung für die sichere bodennahe Steuerung von kleinen und grossen Passagierflugzeugen in komplizierten topographischen Umgebungen oder bei schlechtem Wetter. Dieses Verfahren zeigt, dass Navigation nicht nur auf die absolute Ortung des Fahrzeuges zielt, sondern auch den Vergleich mit dem Gelände einschliesst. Der Problemkreis lässt sich als ‹inverses Navigationsproblem› beschreiben: Anstatt vom bekannten Gelände auf die Position des Fahrzeuges zu schliessen, kann umgekehrt von der bekannten Sensororting die Eigenschaft des Geländes ermittelt oder verfolgt werden. Die so ermittelten Eigenschaften des Geländes sind im Vergleich zum Geländemodell Mittel zur Navigation.

Die modernen Entwicklungen in der Geodäsie sind insbesondere durch das Aufkommen der Satellitengeodäsie gekennzeichnet. In ihr werden die Navigationssatelliten zur hochgenauen globalen und regionalen Positionsbestimmung auf der Erde benutzt. Wenn es gelingt, mit dem GPS-System in die Genauigkeit von Zentimetern zu kommen, können vermutlich grossräumige Bewegungen von Erdschollen auf der Erdoberfläche durch Messungen nachgewiesen werden; dies ist bisher nicht möglich. In der Ingenieurvermessung lassen die bisherigen Entwicklungen jetzt modellgestütztes Messen und Steuern an Bauwerken und Baumaschinen erwarten. Auf dem Gebiet der Photogrammetrie und Fernerkundung hat durch den Übergang von analogen auf numerische Verfahren und durch die Verschmelzung beider Methoden eine grosse Erweiterung und Verallgemeinerung der Arbeitsmethoden und Anwendungsbereiche stattgefunden.

Für die praktische Organisation der Arbeiten ist der SFB in fünf Projektbereiche gegliedert, nämlich: Hochgenaue integrierte Navigation (Projektbereich A), Geodätische Nutzung von hochgenauer Navigationssensorik (B), Bildverarbeitung (C), Hochgenaue Navigation im Nahbereich (D), Integrierte geodätisch-gravimetrische Inertialtechniken (E).

Die Programme und Ziele in den Projektbereichen sind etwa folgende: Im Projektbereich A *‹Hochgenaue integrierte Navigation›* sollen vorwiegend die instrumentellen Grundlagen zur Verwirklichung der hochgenauen Fahrzeugnavigation erarbeitet werden. Dabei sollen Genauigkeiten zwischen wenigen Dekametern und Zentimetern erreicht werden. Dazu sollen Navigationssatellitensysteme benutzt werden, vor allem das GPS NAVSTAR-System und mögliche Nachfolgesysteme. Methodisch liegen die Möglichkeiten zur Erzielung der genannten Genauigkeiten in der Ausnutzung der Mikrowellen- und Lasertechnik, der Mikroelektronik, der Datentechnik und ihrer Integration. Dabei ist der Projektbereich besonders dadurch charakterisiert, dass die Systeme instrumentell fortentwickelt werden sollen. Ganz besonders gilt das für die Entwicklung von Empfängersystemen. Eine weiteres Unterprojekt behandelt die Mikrowellenaltimetrie. Diese leidet bisher darunter, dass der Dynamikbereich bei sprunghaften Höhenänderungen klein und der Messstreifen schmal ist. Beide bisherigen Einschränkungen sollen wesentlich reduziert werden. Schnelle Höhenänderungen werden wegen mangelnder Dynamik von den Altimetern nicht nachvollzogen, so dass sich die Einsätze auf die Ozeane, ausgedehnte Gletscher und Ebenen (Wüsten) beschränken. Wegen des schmalen Abtaststreifens ist eine vollständige Überdeckung des überflogenen Gebietes häufig nicht erreicht worden. Wegen der mangelnden Dynamik gerät die Altimetermessung bei steilen Anstiegen ausser Tritt. Genaue Altimetervermessungen der Ozeane sowie der Kontinente sind für eine Vielzahl von Fragestellungen die Grundlage weiterführender wissenschaftlicher Forschung. Die eingesetzten Altimeter besitzen eine relative Genauigkeit im Zentimeterbereich. Die Höhenmessung erfolgt auf dem Prinzip des Impulsradars. Diese Technik erfordert hohe Sendeleistungen für den Impuls. Dies bereitet der Gerätetechnik gegenwärtig gewisse Schwierigkeiten.

Obwohl die Satellitenverfahren ebenso wie die terrestrischen Funkortungsverfahren mit Methoden der Entfernungslaufzeit und Dopplermessung arbeiten, können durch Ausnutzung und Fortentwicklung der instrumentellen Gegebenheiten noch wesentlich höhere Genauigkeiten als bisher erzielt werden. Da man mit relativ geringen Leistungen auskommt und auch die Möglichkeit hat, mit höherfrequenten Wellen zu arbeiten, ist man vom Übertragungsmedium wenig beeinflusst.

Der Projektbereich B hat das Thema *‹Geodätische Nutzung von hochgenauer Navigationssensorik›*. Im Unterprojekt ‹Nutzung globaler Satellitennavigationssysteme zur lokalen Deformationsüberwachung› soll, unter Benutzung der Navigationssatellitensysteme TRANSIT und GPS und durch Anwendung interferometrischer Messmethoden im lokalen und regionalen Bereich, also zwischen 100 m und 100 km, eine Relativgenauigkeit von 1 mm bis 1 cm erreicht werden. Dies würde bedeuten, dass man die Satellitensysteme zu örtlichen Deformationsmessungen bei geodynamischen Fragestellungen verwenden kann. Da es bisher äusserst schwierig ist, in Netzen von etwa 100 km Ausdehnung eine zuverlässige Zentimetergenauigkeit zu erzielen – die Messgenauigkeit ist im wesentlichen durch unbekannte, nicht modellierbare atmosphärische Anteile in der Strecken- und Winkelmessung begrenzt –, würde dieser Projektbereich einen wesentlichen Beitrag für lokale Deformationsnetze in der Erdbebenforschung liefern. Dabei ist ein besonderes Problem, die Signale verschiedener Frequenzen des GPS-Systems auf ihre Nutzbarkeit zur interferometrischen Verarbeitung aufzuschliessen.

Im Unterprojekt ‹Kernresonanzkreisel› sollen die physikalischen Prozesse bei der Verwirklichung eines NMR-Gyrosystems untersucht werden, mit dem Ziel, zunächst einen Gaskernresonanzkreisel zu realisieren. Der nächste Schritt wäre dann die Inangriffnahme eines Festkörperspinkreisels. Dies ist eine äusserst schwierige Aufgabe, und ihre Lösung wäre ein wirklicher Durchbruch.

Im Teilprojekt ‹Einbeziehung von Navigationsdaten in die Photogrammetrie› werden Navigationsdaten als direkte Orientierungsdaten für Luftbilder oder als zusätzliche Hilfsdaten für die Bildorientierung in der Aerotriangulation verwendet. Man hat damit die Möglichkeit, gleichzeitig zur photographischen Aufnahme die für die jeweiligen Luftbilder gültigen Orientierungsdaten zu ermitteln. Sie können dann, unter Beachtung ihrer Genauigkeitseigenschaften, als zusätzliche Beobachtungen in die simultane Berechnung des Bildverban-

des, nämlich in die Blockausgleichung, mit einbezogen werden. Die dadurch erreichbare wirksame Stützung des Bildverbandes, bei gleichzeitiger Verminderung der sonst erforderlichen terrestrischen Passpunkte, erlaubt eine wirtschaftlichere photogrammetrische Festpunktbestimmung als bisher. Die grossen Möglichkeiten, die dann insbesondere durch eine integrierte Datenverarbeitung geboten werden, werden bisher noch nicht genutzt. Es scheint durchaus möglich, dass unter gewissen Bedingungen dann ganz auf geodätische Passpunkte verzichtet werden kann. Eine besondere Möglichkeit auf diesem Teilgebiet liegt auch darin: ein Statoskop mit neuem Messprinzip zur Gewinnung von die Aerotriangulation stützenden Höhendaten. Hier würde der SFB auch gerätetechnisch Neuland betreten, da die photogrammetrischen Industriefirmen bisher nicht bereit sind, moderne Statoskope zu entwickeln.

Im Projektbereich C *‹Bildverarbeitung›* soll ein Teilgebiet der Bildverarbeitung, die derzeit in verschiedenen technischen und wissenschaftlichen Disziplinen untersucht und entwickelt wird, bearbeitet werden, nämlich die direkte Verarbeitung flächenhafter Bildinformationen. Das ist für die Geodäsie und Navigation von besonderer Bedeutung. Die Aufgabenstellung der Ableitung geometrischer und inhaltlicher Informationen aus Bildsignalen und die Verfolgung von Prozessen und Veränderungen in Raum und Zeit verbindet besonders die Institute für Technische Optik, Photogrammetrie und Systemdynamik und Regelungstechnik.

Im Unterprojekt C1 ‹Digitale Geländemodelle und Mikrowellen› soll zunächst ein geeignetes mathematisches Modell für Geländeflächen entwickelt werden. Durch einen Mikrowellenabtaster müsste sich erreichen lassen, dass die Geländeoberfläche in Waldgebieten wesentlich genauer als bisher erfasst werden kann. Die Anwendung digitaler Geländemodelle ist bisher durch nicht gelöste Probleme behindert. Es fehlt die Möglichkeit zur Abschätzung der Repräsentationsgenauigkeit im Modell, da ein geeignetes mathematisches Modell für Geländeflächen nicht vorhanden ist. Da die Höhen in Waldgebieten bisher nicht mit genügender Genauigkeit erfassbar sind, ist bisher in solchen Gebieten die Höhengenauigkeit in den Karten um eine Grössenordnung schlechter als in offenem Gelände. Entscheidend für die Genauigkeit eines Geländemodells ist die Anordnung und Auswahl der Messpunkte. Bisher gibt es jedoch keine anerkannten, objektivierbaren Regeln zur Erfassung von digitalen Geländemodellen. Auch ein Sensor, der die Vegetation durchdringt, fehlt bisher. Deswegen ist die Geländeaufnahme in Waldgebieten mit photogrammetrischen Methoden äusserst schwierig.

Im Teilprojekt C2 ‹Digitale Bildkorrelation› soll ein digitaler Flächenkorrelator entwickelt und erprobt werden, der sich für die Positionierung, Lokalisierung und Verfolgung von Objekten in mehreren Bildern eignet. Unter den dazu möglichen vielfältigen Methoden nimmt die digitale Bildkorrelation eine Sonderstellung ein. Um die Genauigkeit der Korrelation zu steigern, ist die Einbeziehung der Einflüsse der Geländeneigung und der Parameter der äusseren Orientierung unerlässlich. Ein Algorithmus für die digitale Korrelation kleiner Flächen ist am Institut für Photogrammetrie bereits entwickelt worden. Als Ziel des Teilprojekts soll nun ein für die Multibildauswertung geeigneter Flächenkorrelator entwickelt und erprobt werden. Das Korrelationsverfahren soll zunächst durch einen Operateur überwacht werden, später jedoch in ein automatisches Verfahren übergehen. Später soll auch der Zweibildkorrelator auf die Korrelation von mehr als zwei Bildern erweitert werden.

Gegenstand des Teilprojekts C3 ‹Übertragungskette des optischen Bildaufnahmeprozesses bei Flug- und Satellitenaufnahmen› ist die Beschreibung der Bildübertragungskette mit den Gliedern Objektkontrast, Atmosphäre, Kammerträger mit Bildbewegungen, Schwingungen, Aufnahmeobjektiv, Temperatur- und Druckeinfluss mit Hilfe optischer Modulationsübertragungsfunktionen.

Die Bedeutung dieser Analyse liegt in ihrer Anwendbarkeit auf die automatische Auswertung. Im Teilprojekt C4 ‹Digitale Verarbeitung von Radarbildfolgen› soll ein fortgeschrittenes System zur fahrzeugautonomen Führung von Binnenschiffen entwickelt werden. Damit würde für die Binnenschiffahrt ein rechnergestütztes Navigationssystem zur Verfügung stehen, dessen Anwendungsbereich wesentlich über die bisher häufig verwendeten relativ einfachen Rundsichtimpulsradargeräte hinaus geht. Dabei werden Bildfolgen benutzt, um sowohl die Bildeigenbewegungen des Bildsensors als auch die unterschiedlichen Bewegungen der in den Bildfolgen aufscheinenden Objekte – zum Beispiel andere Schiffe – zu ermitteln. Dies ist insbesondere möglich durch die Kopplung eines gewöhnlichen Binnenschiffradargeräts mit einem leistungsfähigen Kleinrechner. Ein solches System müsste in der Lage sein, verschiedene Klassen von Objekten zu erkennen, eine Leitlinie kleinsten Risikos zu erzeugen, die Bewegung des eigenen Fahrzeugs zu ermitteln und die Position in Längsrichtung der Wasserstrasse absolut zu bestimmen. Es müsste weiter A-priori-Informationen für die Erzeugung der Leitlinie aus vorher abgespeicherten Karten und weitere aktuelle Informationen – Wasserstände, Überschwemmungen – berücksichtigen können.

Im Projektbereich E ‹Inertialgeodäsie› soll das bisher nicht erschlossene, weitreichende Potential der zunächst zur Navigation von Schiffen und Flugzeugen entwickelten Trägheitsnavigation für die Geodäsie nutzbar gemacht werden.

Bei den heute in der Geodäsie eingesetzten Trägheitsnavigationssystemen (TNS) handelt es sich allerdings um Messsysteme, die rein für Navigationszwecke entwickelt worden sind. Zwar werden von einzelnen Firmen bereits geodätische Plattformen angeboten. Diese sind jedoch Weiterentwicklungen der Serien-TNS und werden nur dadurch auf die für die Geodäsie geforderte hohe Genauigkeit gebracht, dass sie mit speziell aus der Fertigungsserie ausgewählten Sensoren höchster Genauigkeit bestückt und dann besonders sorgfältig kalibriert werden. Die Messdaten werden dann zusätzlich einer Post-Mission-Ausgleichung unterzogen. Mit diesem Vorgehen wird heute bei der geodätischen Punktbestimmung im allgemeinen ein mittlerer Punkt-Lage-Fehler von 1 bis 5 dm erzielt.

Beim Einsatz der TNS zur Bestimmung des Erdschwerefeldes – seine Kenntnis ist grundlegend für viele geodätische und geodynamische Fragestellungen – lassen sich heute für den Betrag der Schwere Standardabweichungen von ±3 mgal und für die Lotabweichungskomponenten von einigen Bogensekunden erreichen.

Die bisher bekannten Anwendungen der TNS in Navigation und Geodäsie zeigen ihre prinzipielle Leistungsfähigkeit. Hierbei ist wesentlich, dass die TNS autonom sind und damit unabhängig von anderen globalen Positionierungssystemen – z. B. NAVSTAR – arbeiten. Das hat besondere Bedeutung für geodätische und navigatorische Aufgaben in schwierig begehbaren oder in schwer oder gar nicht einsehbaren Gebieten, wie Strassenschluchten in Städten oder Messungen in Tunneln. Weiter handelt es sich bei den TNS um nichtoptische Messsysteme, welche refraktionsfreie geodätische Messungen ermöglichen. Dies ist ein wichtiger Vorteil gegenüber anderen geodätischen Messverfahren, deren Genauigkeit im wesentlichen durch Refraktionseinflüsse begrenzt wird.

Gelänge es, die Genauigkeit der Inertialgeodäsie um ein bis zwei Zehnerpotenzen zu steigern, ergäben sich zahlreiche vielversprechende Anwendungen. In Verbindung mit Satelliten- und Triangulationsverfahren könnten Punkte dritter und vierter Ordnung interpolierend mit Hilfe der Inertialgeodäsie bestimmt

werden. Bei Erreichen von Zentimetergenauigkeit ist zu erwarten, dass die Inertialgeodäsie in der Standardvermessungstechnik angewendet werden kann und wird. Bei geodynamischen Problemen der Plattentektonik wäre die Inertialgeodäsie, insbesondere in Verbindung mit Satellitenmethoden, ein hervorragendes Mittel, auch im unwegsamen und schwierigsten Gelände dichte Festpunktfelder hoher Genauigkeit zu schaffen, die als Grundlage für Deformationsanalysen dienen könnten. Ein anderes interessantes Anwendungsgebiet ist der Einsatz der Inertialgeodäsie im Nahbereich bei der Ingenieurvermessung.

Ziel dieses Projektbereiches im SFB 228 ist es daher, die Positionsmessgenauigkeit der Inertialgeodäsie vom Dezimeter- in den Zentimeter-Bereich, die Genauigkeit der Schwerebestimmung von 10-mgal- in den 0,1-mgal-Bereich und die Genauigkeit der Komponentenbestimmung von Bogensekunden in Bruchteile von Bogensekunden zu steigern.

Die genannte Problemstellung soll in drei miteinander verzahnten Teilprojekten angegangen werden.

Das Teilprojekt E1 hat zunächst den Charakter einer Feasibility-Studie derart, dass theoretisch und durch Simulationsrechnung untersucht werden soll, welche Voraussetzungen erfüllt sein müssen, damit die Inertialgeodäsie in den Zentimeterbereich eindringen kann. Durch genaue Modellierung der Fehlerstruktur und Trennung ihrer einzelnen Anteile soll abgeschätzt werden, welche Mindestgenauigkeit in den einzelnen Teilen und ihrem Zusammenwirken erreicht werden muss, damit im Endergebnis der Zentimeter erreichbar ist.

Das Teilprojekt E2 beinhaltet vor allen Dingen die experimentellen Untersuchungen – ausgehend von einem bereits bestehenden, hochgenauen Testfeld –, welche zur Genauigkeitssteigerung notwendig sind. Dabei soll auch der Einfluss der Feinstruktur des Gravitationsfeldes auf die inertialgeodätischen Resultate untersucht werden. Dabei sollen insbesondere die Einflüsse von Abweichungen zwischen wirklichem und modelliertem Schwerefeld experimentell ermittelt werden.

Im Teilprojekt E3 sollen Sonderanwendungen der Inertialgeodäsie untersucht werden. Vermessungsarbeiten und Positionierungen in engen Tunnelbereichen, Kavernen, Kraftwerken, grossen Gebäuden und schwer einsehbaren Gebieten bringen durch Refraktion und kurze Anschlussbasen erhebliche Genauigkeitsprobleme und damit eine überproportionale Steigerung des Messaufwandes mit sich. Mit dem Einsatz von Trägheitsnavigationssystemen können die Aufgaben dieses Problemkreises unabhängig von störenden und nicht erfassbaren Refraktionseinflüssen schlagartig wirtschaftlich gelöst werden. Ausgehend von diesen praktischen Problemen soll das Potential an Genauigkeitssteigerung insbesondere ausgeschöpft werden durch Berücksichtigung der dynamischen Eigenschaften des Trägheitsnavigationssystemes und durch die Entwicklung spezieller Zwangseinpassungen und Kalibrierverfahren.

Wesentliche Besonderheit dieses Projektbereiches ist es, dass bei der Bearbeitung im Rahmen des SFB 228 die bisher kinematisch orientierte Inertialgeodäsie sich um dynamische Aspekte erweitern kann, da auch Fachleute aus dem Gebiet der Systemdynamik diesem SFB angehören.

Unter diesen günstigen Randbedingungen hoffen wir in Stuttgart zuversichtlich, in den kommenden Jahren einen interessanten Beitrag zur Fortentwicklung der Geodäsie leisten zu können.

Adresse des Verfassers:
Prof. Dr.-Ing. Klaus Linkwitz
Institut für Anwendungen der Geodäsie im Bauwesen
Universität Stuttgart
Postfach 560, D-7000 Stuttgart 1

Automated Data Ordering in Photogrammetry

J. R. Lucas

Introduction

When Dr. Hellmut Schmid went to the Swiss Federal Institute of Technology in Zurich, Switzerland, as a Visiting Professor in January 1974, it became necessary to hand down some of his many active projects to various members of the Geodetic Research and Development Laboratory (GRDL) of the National Geodetic Survey (NGS). One such project, the simultaneous adjustment of more than 1,200 metric quality photographs obtained on the last three Apollo missions, for the purpose of establishing a Selenocentric control network (Doyle et al., 1977), was temporarily assigned to the author. In September 1974, when Dr. Schmid retired from the NGS and moved permanently to Switzerland, this temporary assignment continued to be a challenging and rewarding responsibility.

Selection, identification, and measurement of the imagery were accomplished by the Defense Mapping Agency, which also provided the orientation angles of each photo, as determined from the coupled stellar exposures. The MUSAT IV program (Elassal et al., 1970) was provided by the U. S. Geological Survey, which was cooperating in the project, so there was little software development required. The only major obstacle that remained was structuring the data such that the adjustment of more than 23,000 unknown parameters could be fit into the available computer, a CDC-6600 with approximately 300K words of available storage, and completed within a reasonable time.

Cross-strip numbering of photographs to minimize the bandwidth of the normal equation structure (Gyer, 1967) was common practice in dealing with conventional photogrammetric networks. However, the varying amounts of overlap that resulted from orbital photography within each mission and the criss-crossing of strips from missions with different orbital inclinations provided a more difficult problem than had been anticipated. Attempts to order the photos for acceptable bandwidth consisted of visual inspection of a ground track graphic by experienced photogrammetrists and a more elaborate scheme based on sliding a template perpendicular to a line approximating the long dimension of the block and selecting photos in the order in which their plotted nadir points were encountered. The best effort resulted in a bandwidth of 504 unknowns (84 photos) which would have required more than 250K words of storage for that portion of the normal equation matrix that must reside in core.

The ordering that was finally used to accomplish this adjustment was provided by the U. S. Naval Ship Research and Development Center's BANDIT Program, which employed the algorithm of Cuthill and McKee (1969) and had been implemented on the NGS