

BESONDERE PROBLEME BEI DER ENTZERRUNG VON ABTASTERDATEN

G. Konecny und W. Schuhr, Hannover

Einführung

Untersuchungsschwerpunkte dieser Arbeit sind die auf Kollinearitätsgleichungen nach KONECNY (1971) basierende vierdimensionale Bündelblockausgleichung für multispektrale Zeilenabtasterbilder und die digitale geometrische Entzerrung dieser Daten unter Einbeziehung des DGM, also die Herstellung digitaler Orthophotos. Sie werden i.a. in einem einheitlichen, übergeordneten Koordinatensystem orientiert und dienen als Grundlage eines (digitalen) Vergleichs der Inhalte von Bild und Karte, z.B. für eine thematisch kartographische Interpretation, die durch geeignete Klassifizierungs- und/oder Texturanalysenprogramme auch automatisch abläuft. Dieser Vergleich kann auch im Hinblick auf das Auffinden von Veränderungen (Change Detection) in Bildern unterschiedlicher Aufnahmezeit, z.B. für Zwecke der Kartenfortführung, erfolgen.

Resultate der Bündelblockausgleichung

Die Bildkoordinaten der Paßpunkte werden nicht mehr durch manuelles Auszählen im Quasi-Halbton-Zeilendruckerbild, sondern durch PSK-Komparatormessungen in einem zeilen- und spaltenweise am Optronics P 1700 abgespielten echten Halbtonbild und anschließender Affintransformation auf die 4 Bild-(Informations-)Ecken bekannter Dateikoordinaten gewonnen (Abb. 1).

Die für die Paßpunkte gesuchten Dateikoordinaten, d.h. die Zeilen- und Spaltenwerte, ergeben sich durch überbestimmte Affintransformation der Komparatorkoordinaten aufgrund der vier Bildecken, die als identische Punkte für die Koordinatentransformation dienen, da deren Koordinaten sowohl im Komparatorsystem als auch im Zeilen- und Spaltensystem bekannt sind.

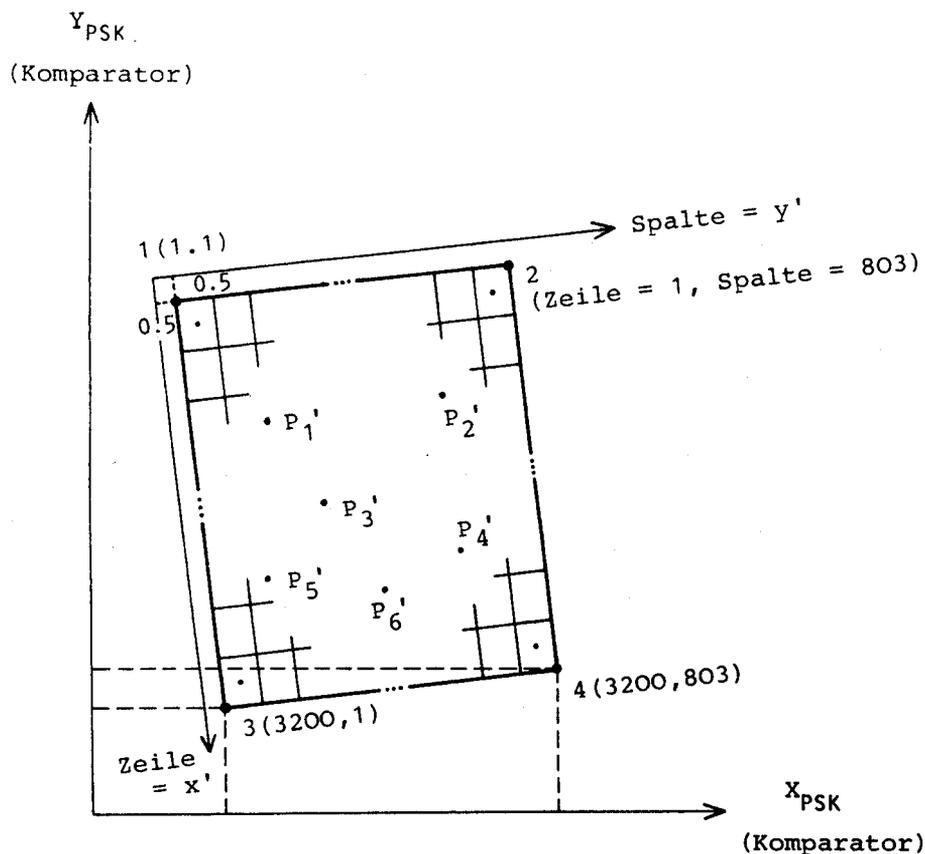


Abb.1: Zur Transformation der Maschinenkoordinaten ins Dateisystem

Die Auswahl und die Koordinierung der Landeskoordinaten und NN-Höhen der Paßpunkte für M²S-Bilder stützt sich auf die Ergebnisse einer konventionellen Bündelblockausgleichung simultan beflogener RMK-Aufnahmen, die nach einem Bezug auf einige wenige gut definierte DGK 5-Punkte eine problemlose Koordinierung markanter Geländepunkte erlaubt, die nicht einmal in topographischen Karten enthalten sein müssen.

Die konventionelle Bündelblockausgleichung erfolgt mit dem Hannoverschen Programmsystem BLUH nach JACOBSEN (1980), welches sich u.a. durch folgende Merkmale auszeichnet (s.auch Abb. 2):

- Das Meßprogramm beinhaltet eine online Aerotriangulation mit automatischem Punktanfahren.
- Das Blockausgleichungssystem beinhaltet u.a. die automatische Suche grober Fehler mittels Datasnooping und durch robuste Schätzer,
- sowie die automatische Auswahl der zusätzlichen Parameter.

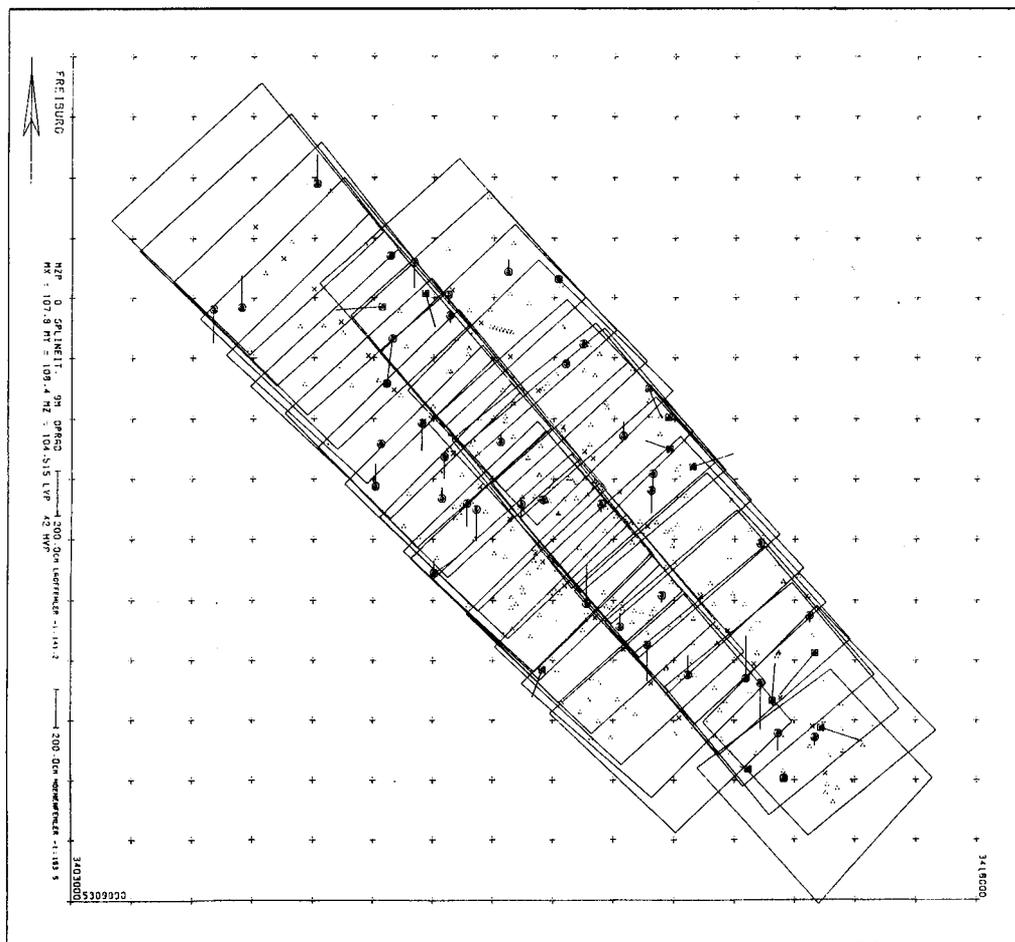


Abb.2: Plot des Bildverbandes, der Paßpunkte und Neupunkte sowie der Restfehlervektoren der simultanen RMK-Befliegung des Testfeldes Freiburg

Für Zeilenabstasteraufnahmen bestehen, wie für alle photogrammetrischen Bilder, prinzipiell folgende numerischen Auswerteverfahren:

1. Bildkorrelationsmethoden
 - hardwareorientierte (Echtzeit-)Lösung
 - softwareorientierte Lösung
2. Flächenhafte Interpolationsmethoden
 - Polynome
 - Splinefunktionen
 - Interpolation in einem stochastischen Feld:
 - Gleitende Schrägebene
 - Gewogenes Mittel
 - Kollokation

3. Komplanaritätsgleichungen (Grundlage: Modelle)
4. Kollinearitätsgleichungen (Bündelblockausgleichung) (Grundlage: Einzelbilder).

Es sind auch Kombinationen aller Methoden denkbar.

Hier wurden als Grundlage für die Einzelbildauswertung und für die Bündelblockausgleichung von Zeilenabtasteraufnahmen Kollinearitätsgleichungen angewendet, weil sie die strenge Berücksichtigung eines mathematischen Modells für das dynamische Sensorverhalten entlang des Flugweges und eine korrekte (projektive) Einbeziehung der Geländehöhen gestatten (Programmsystem EXTORI).

Die Kollinearitätsgleichungen für Zeilenabtasteraufnahmen lauten nach KONECNY (1971, s. auch Abb.3):

$$0 = -c \frac{a_{11j}(x_i - x'_{0j}) + a_{12j}(y_i - y'_{0j}) + a_{13j}(z_i - z'_{0j})}{a_{31j}(x_i - x'_{0j}) + a_{32j}(y_i - y'_{0j}) + a_{33j}(z_i - z'_{0j})}$$

$$c \cdot \tan \theta' = -c \frac{a_{21j}(x_i - x'_{0j}) + a_{22j}(y_i - y'_{0j}) + a_{23j}(z_i - z'_{0j})}{a_{31j}(x_i - x'_{0j}) + a_{32j}(y_i - y'_{0j}) + a_{33j}(z_i - z'_{0j})}$$

Diese Form der Kollinearitätsgleichungen ist das Analogon zu den Abbildungsgleichungen der konventionellen Photogrammetrie.

Aufgrund von Simulationen erzielte Ansätze für das Sensorverhalten entlang des Flugwegs erbrachten bei Anwendung auf das Testgebiet Freiburg empirisch die Notwendigkeit zur Einführung zusätzlicher Parameter. In Verbindung mit der gleichzeitigen erstmaligen Einbeziehung von Flugdaten einer konventionellen Bündelblockausgleichung und einer anschließenden Nachbehandlung der Residuen wurde für die Einzelbildauswertung in Kontrollpunkten eine Genauigkeit von ± 1 Pixel erreicht. Dieses Genauigkeitsniveau konnte auch bei der gemeinsamen Bündelblockausgleichung von 2 und 3 Zeilenabtasterstreifen eingehalten werden (s. Abb.4).

Darüberhinaus werden erste vielversprechende Analysen aufgezeichneter Flugparameter (Berechnung von Amplitudenspektren und Korrelationen mit den Parametern einer konventionellen Bündelblockausgleichung u.a.) zur Einbeziehung ins mathematische Modell vorgenommen (s. Tabelle 1, gemäß SCHUHR (1982)).

Parameter aus der Bündelblockausgleichung		registrierter Parameter	Korrelation in	
			Streifen 1	Streifen 2
ω	korreliert mit	Rollen	- 0,993	0,963
ϕ	korreliert mit	Nicken	0,620	- 0,229
κ	korreliert mit	Drift	- 0,051	- 0,198
κ	korreliert mit	Magnet.Heading	- 0,944	- 0,939
κ	korreliert mit	Kurswinkel	- 0,977	- 0,977
z'_0	korreliert mit	barom.Höhe grob	0,156	0,174
z_0	korreliert mit	barom.Höhe fein	0,906	0,851
z_0	korreliert mit	rad. Höhe	- 0,200	0,230
$e = \sqrt{\Delta x_0'^2 + \Delta y_0'^2}$	korreliert mit	$e = v \cdot dt$	0,999	1,000

Tabelle 1: Erste Ergebnisse einer Korrelation registrierter Flugdaten mit den "wahren Werten"

Resultate der pixelweisen Entzerrung

Eine wesentliche Voraussetzung für eine digitale Weiterverarbeitung von Bilddaten ist eine A/D-Wandlung der Grauwerte der verzerrten Bilder zur Speicherung der Bilddaten in Matrizenform auf CCTs.

Die verzerrten Bilder dienen der Messung der Bildkoordinaten und der qualitativen und quantitativen Beurteilung des Erfolges der Rektifizierung.

Als Bildausgabegeräte standen hierzu sowohl Zeilendrucker als auch Bildausgabegeräte für eine echte Halbtonbildausgabe zur Verfügung. Die Außenwirkung entzerrter Bildbeispiele verlangt eine geeignete densitometrische digitale Bildverarbeitung.

Das hier praktizierte Verfahren der pixelweisen digitalen geometrischen Entzerrung basiert auf einer Anwendung der bei der Paßpunktanalyse erzielten Parameter auf die Elemente der Matrix der Ausgabepixel. Dabei erfolgt u.a. eine strenge Einbeziehung der DGM-Daten in die Entzerrung.

Eine "Kompromiß- oder Kombinationsmethode", der die Nachteile der direkten und der indirekten Entzerrungsmethode nicht anhaften, erwies sich dazu als sehr geeignet.

Aus Optimierungsgründen dienen die Ankerpunkt- und die Nearest-Neighbour-Methode der Grauwertinterpolation. Für die multispektrale Entzerrung erfolgt eine einmalige Berechnung der Orientierungsparameter, die dann sukzessive auf alle Kanäle angewendet werden.

Das Orthophoto kann wahlweise im Bildsystem oder in einem übergeordneten (Gauß-Krüger-)Koordinatensystem digital oder analog ausgegeben und mit einem Gitterrunder Koordinaten versehen werden, das auch auf den Randbereich (radiometrische Lösung) beschränkt bleiben kann. Neben den Orthophotos für M²S- und LANDSAT-Zeilenabtasteraufnahmen wurden rektifizierte Resultate einer gelungenen Programmmodifikation für konventionelle aerophotogrammetrische und terrestrische Bilder generiert. Die bei Anwendung des Programmsystems INDI 3 benötigten Rechenzeiten für die digitale Entzerrung auf Großrechnern betragen mit $5,5 \cdot 10^{-5}$ sec/Pixel nur einen Bruchteil der Rechenzeit für die multispektrale Klassifizierung nach statistischen Methoden.

Abschließende Komparatormessungen in dem in Abb. 5 präsentierten, geometrisch rektifizierten Bildbeispiel zeigen, daß die bei der Paßpunktanalyse erreichte Genauigkeit auch bei Anwendung der indirekten Entzerrung gehalten werden kann, so daß für die direkte Entzerrungsmethode keine echten Vorteile mehr gesehen werden.

Aus der Passivseite des Fehlerbudgets für die geometrische Analyse von Zeilenabtasteraufnahmen ergeben sich u.a. folgende Anregungen für zukünftige Untersuchungen:

- geometrische Aspekte:

der Paßpunktanalyse: Das Problem einer noch weiteren Algorithmusanpassung an die Verhältnisse im Bild.

der Entzerrung: Einflüsse sekundärer Art (z.B. Einfluß des Interpolationsfehlers im DGM).

- radiometrische Aspekte:

der Paßpunktanalyse: Das Problem der Verifizierung der Punktidentität im Bild und in der Natur.

der Entzerrung: Suche nach einem optimalen Verfahren zur Grauwertinterpolation.

Für die Zukunft wird vermutet, daß eine streng physikalisch-parametrische Kollinearitätsgleichungs-Lösung der geometrischen Verhältnisse für multispektrale Zeilenabtasterdaten aber auch für Linear-Array-Abtaster an Bedeutung gewinnen wird (KONECNY et al., 1981). Dies gilt insbesondere bei Verfügbarkeit verlässlicher, präzise aufgezeichneter Flugdaten und inneren Orientierungsdaten.

Ebenso wird die Bündelblockausgleichung für Zeilenabtasteraufnahmen im Hinblick auf die Entzerrung mehrerer Bildstreifen aus einem Guß an Bedeutung gewinnen.

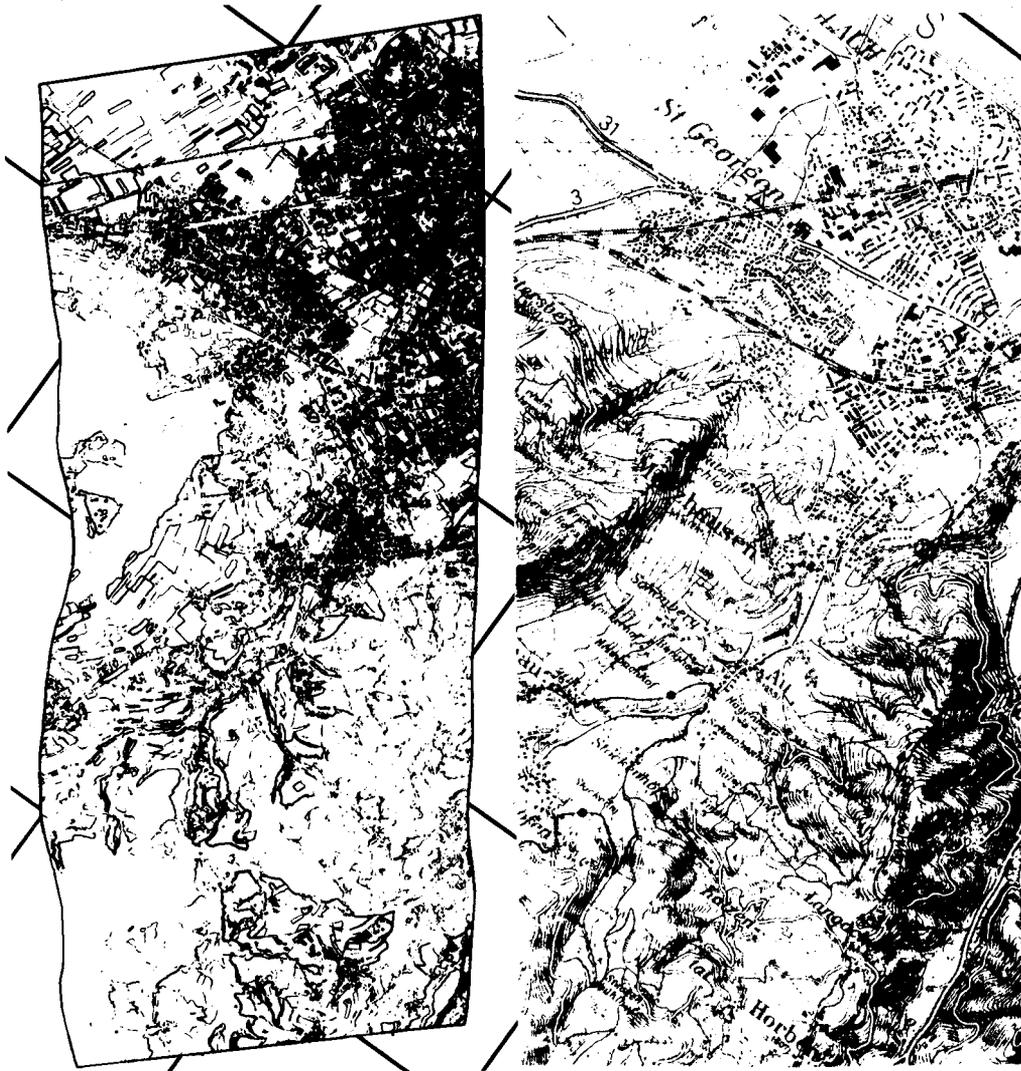


Abb.5: Gegenüberstellung der
- kantenverstärkten, entzerrten M²S-Aufnahme (Maßstab 1:50 000)
von Freiburg mit digitalem (2 km) Koordinatengitter nur am
Bildrand
- und dem entsprechenden Ausschnitt aus der topographischen
Karte TK 50

Neben einer eigenständigen Weiterentwicklung des Bildkorrelationsverfahrens, etwa im Hinblick auf schnellere Rechenzeiten dank moderner Pipelineprozessoren und in bezug auf das noch nicht ausdiskutierte Thema der Bilddatenbanken wird die Korrelation zum automatischen Auffinden von Paßpunkten und zur Gewinnung der 3. Dimension an Bedeutung zunehmen (KONECNY und PAPE, 1980). Die hier bereits z.T. vorliegenden Simultanbefliegungen von konventionellen Aufnahmen, Abtasterbildern und registrierten Flugdaten sind ein vielversprechendes Konzept für zukünftige Missionen, mit der Maßgabe, konventionelle Aufnahmen wegen ihrer hohen Auflösung und geometrischen Treue (statische Aufnahmeverhältnisse) für geometrisch topographische Aufgaben, einschließlich einer Referenzfunktion, einzusetzen, während die Abtasterdaten (insbesondere im thermalen Bereich geflogen) als Zusatzinformationen aufzufassen sind (KONECNY et al., 1979).

LITERATUR

- Jacobsen, K.: Vorschläge zur Konzeption und zur Bearbeitung von Bündelblockausgleichungen, Universität Hannover (Diss. 1980)
- Konecny, G.: Metric Problems in Remote Sensing, Proceedings of the ISP Comm. IV Symposium, ITC Delft, 1971, Series A, Nr. 50, S. 152-177
- Konecny, G., Bähr, H.P., Reil, W. und Schreiber, H.C.: Einsatz photogrammetrischer Kameras aus dem Weltraum für kartographische Anwendungen. Studie des Instituts für Photogrammetrie und Ingenieurvermessungen, Universität Hannover, Heft 4, 1979, 165 Seiten
- Konecny, G. und Pape, D.: Correlation Techniques and Devices. ISP Comm. II, ISP-Kongreß Hamburg 1980
- Konecny, G., Schuhr, W. und Wu, J.: Nutzeranforderungen an satellitengetragene Stereo-MOMS vom Standpunkt der topographischen Kartographie. Studie des Instituts für Photogrammetrie und Ingenieurvermessungen der Universität Hannover, Heft 8, 1981
- Schuhr, W.: Geometrische Verarbeitung multispektraler Daten von Zeilenabtastern. Universität Hannover (Diss. 1982)

ZUSAMMENFASSUNG

Die Herstellung digitaler Orthophotos als Kartenersatz sowie als Grundlage eines (digitalen) Vergleichs der Inhalte von Bild und Karte für eine ergänzende automatische: thematisch kartographische Interpretation oder zum Auffinden von Veränderungen in Bildern unterschiedlicher Aufnahmezeit erfolgte aufgrund einer vierdimensionalen Bündelblockausgleichung mit zusätzlichen Parametern für überlappende Zeilenabtasterbilder und der digitalen geometrischen Entzerrung dieser Daten unter projektiver Einbeziehung des DGM.

Die Voraussetzungen für die pixelweise geometrische Verarbeitung digitaler Bilddaten werden dargelegt. Die Auswahl und die Koordinierung der Paßpunkte in M^2S -Bildern stützt sich auf die Ergebnisse einer konventionellen Bündelblockausgleichung. Anschließend werden die derzeit bekannten mathematischen Modelle zur geometrischen Verarbeitung von Zeilenabtasterdaten, einschließlich stochastischer Interpolationsverfahren weiterentwickelt. Durch die Einführung zusätzlicher Parameter sowie von Flugdaten einer konventionellen Bündelblockausgleichung in die Kollinearitätsbedingungsgleichungen für die Ausgleichung von Zeilenabtasterbildblöcken und einer anschließenden Nachbehandlung der Residuen wurde eine äußere Genauigkeit von $\pm 1,0$ Pixel erreicht. Aufgrund der Amplitudenspektren und den empirischen Korrelationen zwischen den Parametern einer konventionellen Bündelblockausgleichung und den aufgezeichneten Flugdaten, sind diese im mathematischen Modell zu berücksichtigen. Die Entzerrung von M^2S - und Landsat-Zeilenabtasteraufnahmen erfolgte nach einer Kombination aus direkter und indirekter Methode, während konventionelle aerophotogrammetrische und terrestrische Bilder nach der indirekten Methode rektifiziert wurden.

SPECIAL PROBLEMS WITH RECTIFICATION OF SCANNER DATA

Abstract

The production of digital orthophotos for use as map substitutes and for (digital) comparison of image and map contents in complementary automatic topical and cartographic interpretation or for detecting changes in photos taken at different times is based on four-dimensional bundle block adjustment using additional parameters for overlapping line scanner images and on digital geometric rectification of the data including DEM projection.

The requirements for pixel-grade geometric processing of digital image data are shown. Selection and coordination of control points in M^2S images are based on the results obtained from conventional bundle block adjustment. Then the known mathematical models for the geometric processing of line scanner data inclusive of stochastic interpolation are developed. Through the introduction of additional parameters and flight data from conventional bundle block adjustment in the collinearity condition equations for the adjustment of line scanner image blocks and through another residuals processing step, an external precision of $\pm 1,0$ pixel is achieved. Because of the amplitude spectra and the empirical correlations between the conventional bundle block adjustment parameters and the recorded flight data, the latter have to be included in the mathematical model. M^2S and Landsat line scanner images are rectified by a combined direct and indirect method, while conventional aerophotogrammetrical and terrestrial photos are rectified by the indirect method.

PROBLEMES PARTICULIERS LIES AU REDRESSEMENT DE DONNEES DETECTEES

Résumé

Les orthophotos numériques sont réalisées sur la base d'images produites par le scanner de lignes avec un recouvrement pour la compensation de blocs par gerbes perspectives (quadrodimensionnelle et avec paramètres supplémentaires), suivie d'un redressement géométrique numérique de ces données tenant compte du modèle de terrain digital pour le calcul de la projection. Ces orthophotos numériques sont utilisées comme cartes ou bien comme matériel de base dans le but de comparer numériquement le contenu des clichés et celui des cartes, soit pour une interprétation thématique de complément, soit pour la reconnaissance de modifications entre des clichés pris à des moments différents.

Le présent exposé précise les conditions requises pour le traitement géométrique de ces données d'image numérisées, représentées en pixels, le choix et la coordination des points d'appui dans les images produites par le scanner M²S résultant d'une compensation de blocs par gerbes perspectives conventionnelle, puis développe les modèles mathématiques actuellement connus pour le traitement géométrique des données du scanner de lignes et les procédés stochastiques d'interpolation. L'introduction dans les équations sur la condition de colinéarité, de paramètres supplémentaires et de paramètres de vol de la compensation conventionnelle de blocs par gerbes perspectives, puis le traitement consécutif des erreurs résiduelles, ont permis d'atteindre une précision limite de $\pm 1,0$ pixel. En raison des spectres d'amplitude et des corrélations empiriques entre les paramètres d'une compensation conventionnelle de blocs par gerbes perspectives et les paramètres de vol, ces derniers sont à prendre en considération dans le modèle mathématique. Le redressement des images produites par le scanner de lignes du satellite Landsat et par le scanner M²S résulte de la combinaison de deux méthodes, directe et indirecte, alors que les clichés conventionnels, terrestres ou aériens, sont redressés selon la méthode indirecte.

PROBLEMAS ESPECIALES DEL RECTIFICADO DE DATOS OBTENIDOS POR DETECTORES

Resumen

Las ortofotos digitales que reemplazan los mapas y sirven de base a la comparación digital de los contenidos de la imagen y del mapa con objeto de una interpretación suplementaria, automática y temático-cartográfica o bien para detectar cambios en fotos realizadas en momentos distintos, han sido confeccionadas mediante una compensación cuatridimensional de bloques con haces de rayos, con parámetros adicionales para imágenes solapadas de barredores lineales y por rectificación geométrica digital de estos datos, considerando en la proyección el modelo digital del terreno.

Se exponen las condiciones necesarias para el procesamiento geométrico por "pixel" (áreas de exploración) de datos digitales de imagen. La elección y la determinación de los puntos de apoyo en fotos M²S se basa en los resultados de una compensación de bloques con haces de rayos, de tipo convencional. A continuación, se procede al desarrollo ulterior de los modelos matemáticos actualmente conocidos y que se dedican al procesamiento geométrico de datos de barredores lineales, a la vez que al de los métodos estocásticos de interpolación.

La introducción de parámetros adicionales así como de los datos de vuelo obtenidos a partir de una compensación de bloques con haces de rayos, de tipo convencional, en las ecuaciones de las condiciones de co-linealidad para compensar bloques de imágenes de barredores lineales así como el tratamiento sucesivo de los errores residuales ha permitido obtener una precisión exterior de $\pm 1,0$ pixel. Debido a los espectros de amplitudes y puesto que existen correlaciones empíricas entre los parámetros de una compensación de bloques con haces de rayos, de tipo convencional, y los datos de vuelo registrados, es preciso considerar las correlaciones en el modelo matemático. Las fotografías de barredores lineales obtenidos por M²S y satélite Landsat se rectificaron con ayuda de una combinación de los métodos directo e indirecto, mientras que para las fotos aéreas y terrestres corrientes se aplicó el método indirecto.

Vortragender:
Dr.-Ing. Walter Schuhr
Institut für Photogrammetrie und Ingenieurvermessungen
der Universität Hannover
Nienburgerstrasse 1, D-3000 Hannover 1