



Hochgenaue Lokalisierung von Signalen und automatische Rekonstruktion von Objektoberflächen mit digitalen Bildern

Franz Rottensteiner ¹

¹ *Institut für Photogrammetrie und Fernerkundung der TU Wien, Gußhausstr. 27-29,
A-1040 Wien*

VGI – Österreichische Zeitschrift für Vermessung und Geoinformation **86** (1), S. 23–30

1998

BibT_EX:

```
@ARTICLE{Rottensteiner_VGI_199804,  
Title = {Hochgenaue Lokalisierung von Signalen und automatische Rekonstruktion  
von Objektoberfl{"a}chen mit digitalen Bildern},  
Author = {Rottensteiner, Franz},  
Journal = {VGI -- {"0}sterreichische Zeitschrift f{"u}r Vermessung und  
Geoinformation},  
Pages = {23--30},  
Number = {1},  
Year = {1998},  
Volume = {86}  
}
```





Hochgenaue Lokalisierung von Signalen und automatische Rekonstruktion von Objektoberflächen mit digitalen Bildern

Franz Rottensteiner, Wien

Zusammenfassung

Im Rahmen des österreichischen Forschungsschwerpunktes (FSP) über „Theorie und Anwendung der digitalen Bildverarbeitung und Mustererkennung“ wird am Institut für Photogrammetrie und Fernerkundung der TU Wien (IPF) an der Entwicklung von Werkzeugen für die automatische Lokalisierung von Signalen und die automatische Rekonstruktion von Objektoberflächen gearbeitet, die das hohe Automatisierungspotential der Methoden der digitalen Bildverarbeitung für diese Aufgaben nutzen. Zur automatischen Lokalisierung von Signalen wurden zwei rasterbasierte Zuordnungsverfahren implementiert und getestet. Für den zweiten Entwicklungsbereich wurde ein Konzept entwickelt, das auf eine hierarchische Zuordnung von Merkmalen mit Hilfe von Objektraummodellen abzielt, wobei wesentliche Komponenten durch Integration eines Bündelblockausgleichsprogrammes verwirklicht werden.

Abstract

In the course of the Austrian Research Program on Theory and Application of Digital Image Processing and Pattern Recognition, tools for precise localisation of targets and automatical reconstruction of object surfaces taking advantage of the high potential of automation offered by digital image processing techniques are being developed at the Institute of Photogrammetry and Remote Sensing at Vienna University of Technology (IPF). Two raster-based matching algorithms for localisation of targets have been implemented and tested. With respect to object surface reconstruction, a concept has been developed aiming at hierarchical feature-based matching using local surface models in object space. The concept heavily relies on the integration of a bundle block adjustment program.

1. Der österreichische Forschungsschwerpunkt „Theorie und Anwendung der digitalen Bildverarbeitung und Mustererkennung“

Am österreichischen Forschungsschwerpunkt (FSP) über „Theorie und Anwendung der digitalen Bildverarbeitung und Mustererkennung“, der nun in seinem vierten Jahr steht, nehmen zehn Institutionen aus Wien, Linz und Graz teil. Der Forschungsschwerpunkt wird vom Fonds zur Förderung der wissenschaftlichen Forschung (FWF) und der österreichischen Nationalbank (ÖNB) finanziell unterstützt und soll noch bis 1999 laufen. Er besteht aus einem Koordinationsprojekt und vier nach thematischen Kriterien getrennten Teilprojekten, die ihrerseits wiederum in bis zu vier „Tasks“, von denen jede jeweils von einer Gruppe behandelt wird, gegliedert ist:

0. Koordination
1. Mathematische Methoden und Werkzeuge für die digitale Bildverarbeitung
2. Robuste und adaptive Methoden zum Bildverstehen
3. Information Fusion und physikalische Modelle zum Bildverstehen
4. Stereovideometrie und räumliche Objekterkennung

Diese vernetzte Struktur des FSP soll die Interdisziplinarität der in seinem Rahmen stattfindenden Entwicklungen ermöglichen, was eine der wesentlichen Zielsetzungen des FWF darstellt. Zu diesem Zweck werden außerdem vom Koordinationsprojekt zwei Workshops pro Jahr veranstaltet, bei denen die Ergebnisse der einzelnen Tasks präsentiert werden. Zusätzlich wird eine Seite im WWW betreut, auf der aktuelle Informationen über den FSP gefunden werden können <http://www.prip.tuwien.ac.at/fsp/fsp.html>.

2. Der Beitrag des Instituts für Photogrammetrie und Fernerkundung

Der Beitrag des IPF gehört zum Teilprojekt 4 und ist aus der Sicht des FSP eher im Bereich der angewandten Forschung anzusiedeln. Es sollen Werkzeuge für die photogrammetrische Auswertung entwickelt werden, die das hohe Automatisierungspotential der Methoden der digitalen Bildverarbeitung, insbesondere der Bildzuordnungs- oder Matchingverfahren, nutzen. Zwei Ziele werden vorrangig verfolgt: die hochgenaue Lokalisierung von Signalen und die automatische Rekonstruktion von Objektoberflächen. Die erste der beiden Aufgabenstellungen

tritt in der Photogrammetrie bei der Messung von Rahmenmarken sowie von signalisierten Paß- bzw. Verknüpfungspunkten auf. Es geht dabei darum, ein bestimmtes Signal, dessen Form bekannt ist, in allen Bildern zu lokalisieren. Im Gegensatz dazu müssen zur Objektrekonstruktion homologe Punkte bzw. Linien in verschiedenen Bildern einander zugeordnet werden, wobei es weitgehend egal ist, welche Punkte bzw. Linien zu diesem Zweck verwendet werden, solange es sich nur in allen Bildern um dieselben handelt. Aus diesen Gründen ergibt sich, daß für die Signallokalisierung bzw. die Oberflächenrekonstruktion unterschiedliche Verfahren in Betracht kommen, auf die in den folgenden Abschnitten genauer eingegangen werden soll. Es sei hier erwähnt, daß es vor allem im Bereich der Oberflächenrekonstruktion zu Anknüpfungspunkten mit anderen Gruppen des FSP kommt, wobei allerdings im Zusammenhang mit den in photogrammetrischen Anwendungen üblichen Bildgrößen (z.B. 64 MB für ein mit $30\ \mu\text{m}$ gescanntes Luftbild) Probleme auftauchen, die spezifische Lösungsansätze erforderlich machen.

3. Hochgenaue Lokalisierung von Signalen

Die erste der am IPF bearbeiteten Aufgabenstellungen betrifft die automatische Lokalisierung von Signalen. Ausgehend von einer CAD-Beschreibung des Signales und von grob vorgegebenen Näherungswerten für deren Position sollen diese Signale in einem digitalen Bild mit hoher Genauigkeit lokalisiert werden. Aus den Signalbeschreibungen kann man Rasterbilder ableiten, die abgesehen vom Rauschanteil und im Fall von signalisierten Paßpunkten von Verzerrungen durch die Projektion, die man aber modellieren kann, den zu findenden Signalen ähneln, weil davon ausgegangen werden kann, daß diese Signale im Objektraum eben sind. Aus diesen Gründen sind rasterbasierte Zuordnungsverfahren, das sind Bildzuordnungsverfahren, die auf der Ähnlichkeit der Grauwerte von zwei oder mehreren digitalen Bildern beruhen, sehr gut für diesen Zweck geeignet [1]. Im Rahmen des FSP wurden zwei rasterbasierte Zuordnungsverfahren, nämlich ein Verfahren zur Grauwertkorrelation mit Subpixelschätzung durch Polynomapproximation und ein Least Squares Matching – Verfahren, implementiert und im Rahmen eines internationalen Tests der OEEPE auf ihre Tauglichkeit geprüft. Dabei wurde ein aus Differenzen zu Sollkoordinaten ermittelter mittlerer Fehler von ± 0.3 Pixel ($\pm 4\ \mu\text{m}$) bei ei-

ner Pixelgröße von $15\ \mu\text{m}$ bzw. ± 0.2 Pixel ($\pm 6\ \mu\text{m}$) bei einer Pixelgröße von $30\ \mu\text{m}$ erreicht [2], [3]. Auf die Zuordnungsverfahren soll in der Folge etwas genauer eingegangen werden.

3.1. Rasterbasierte Grauwertkorrelation

Bei der rasterbasierten Grauwertkorrelation wird das aus der CAD-Beschreibung des Signals abgeleitete Referenzbild zunächst an einer Näherungsposition über das Suchbild gelegt und dann rasterförmig über das Suchbild verschoben, wobei an jeder Position ein Maß für die Ähnlichkeit der Grauwerte in Such- und Referenzbild berechnet wird, und zwar der Kreuzkorrelationskoeffizient r der Grauwerte (Abbildung 1a). Die Position des Signales im Suchbild entspricht der Position des Maximums von r , die man somit mit einer Auflösung von einem Pixel erhält. Da r ein normiertes Ähnlichkeitsmaß darstellt (r liegt immer zwischen 0 und 1), kann eine Schranke für $\text{Max}(r)$, z.B. 0.7, angegeben werden, mit deren Hilfe falsche Zuordnungen eliminiert werden können. Die Lokalisierung des Maximums von r wird noch verfeinert, indem man r in der Umgebung des Maximums durch ein bivariates Polynom zweiten Grades approximiert und die Position des Maximums dieses Polynoms zur subpixelgenauen Lokalisierung des Signales heranzieht (Abbildung 1b). Man erhält die Koordinaten des Signales mit einer Genauigkeit von ± 0.3 Pixel [4]. Im Falle von signalisierten Paßpunkten muß die Verdrehung des Signales im Objektraum dadurch ermittelt werden, daß man im ersten Suchbild mit mehreren, gegeneinander verdrehten, Referenzbildern nach dem Signal suchen muß. Der Vorteil der Grauwertkorrelation liegt darin, daß die Näherungsposition des Signals nur sehr grob bekannt sein muß [4].

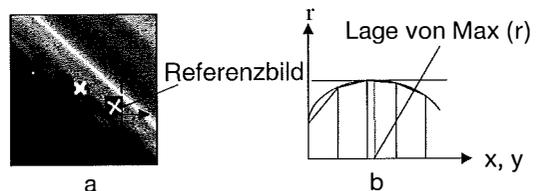


Abb. 1: Flächenbasierte Grauwertkorrelation (a) mit Subpixelschätzung durch Polynomapproximation (b)

3.2. Least Squares Matching

Beim Least Squares Matching (LSM) [5], [1] wird zwischen Referenz- und Suchbild eine Transformation T angesetzt. Mit Hilfe von Näherungswerten für die Parameter von T wird das Referenzbild durch Resampling in das Suchbild

transformiert. Man geht nun davon aus, daß, wenn das Suchbild eine Abbildung des Referenzbildes ist und T diese Abbildung beschreibt, die Grauwerte in Such- und transformiertem Referenzbild abgesehen von einem Rauschanteil gleich sind (Abbildung 2) [5]:

$$g_S(x_S, y_S) + v = g_S[T(x_R, y_R)] + v = g_R(x_R, y_R)$$

Mit diesem mathematischen Modell können die Parameter von T aus den Differenzen der Grauwerte des transformierten Referenzbildes und des Suchbildes durch eine vermittelnde Ausgleichung gefunden werden. Da die Verbesserungsgleichungen nicht linear sind, muß von Näherungswerten ausgehend iteriert werden, wobei bei jeder Iteration das Referenzbild neu in das Suchbild zu transformieren ist [5]. In dieser Nicht-linearität liegt das größte Problem dieses Verfahrens begründet: die Näherungswerte für T müssen sehr genau (auf wenige Pixel) bekannt sein. Da LSM als genauestes Verfahren der Bildzuordnung gilt [5], erscheint es daher sinnvoll, die Ergebnisse der Grauwertkorrelation aus Abschnitt 3.1 zur Bestimmung von Näherungen heranzuziehen. Für die Transformation T kann man, wenn die betrachteten Bildausschnitte klein und das Signal im Objektraum eben ist, eine Affintransformation ansetzen [5], [1].

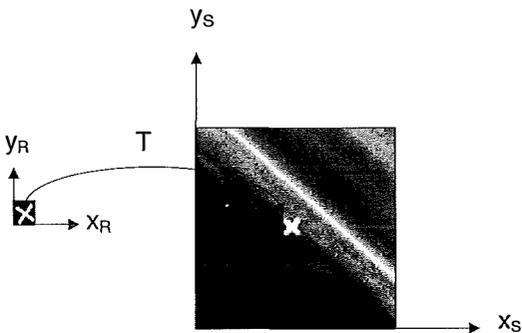


Abb. 2: Least Squares Matching

4. Automatische Rekonstruktion von Objekt-oberflächen

Wie bereits in Abschnitt 2 erwähnt, unterscheidet sich diese Aufgabe von der Signallokalisierung dadurch, daß es bei der Rekonstruktion von Objekt-oberflächen egal ist, welche Merkmale (Punkte bzw. Linien) dazu verwendet werden. Es kommt vielmehr darauf an, daß es sich tatsächlich um homologe Merkmale handelt, d.h. daß die Zuordnung homologer Merkmale aus verschiedenen Bildern richtige Ergebnisse liefert. Es kann bei der Objektrekonstruktion

aus Bildern mit großen Maßstäben nicht mehr prinzipiell davon ausgegangen werden, daß das abgebildete Objekt eine glatte Oberfläche hat, sondern es ist wie z.B. in Abbildung 3 mit Verdeckungen und sichttoten Räumen zu rechnen, welche die im Abschnitt 3 beschriebenen Verfahren scheitern lassen würden. In der Literatur findet man viele Verfahren zur Rekonstruktion von glatten Oberflächen [1], [6], aber auch diese Verfahren sind in Fällen wie in Abbildung 3 mit Problemen konfrontiert. Das IPF hat sich im Rahmen des FSP das Ziel gesetzt, einen Algorithmus zu finden, der unter möglichst vielen Umständen, vor allem auch im Nahbereichsfall, zuverlässige und genaue Ergebnisse liefert. Es wurde zu diesem Zweck ein Konzept zur hierarchischen Rekonstruktion von Objekt-oberflächen entwickelt, an dessen Realisierung nun gearbeitet wird und das folgendermaßen charakterisiert werden kann [7]:

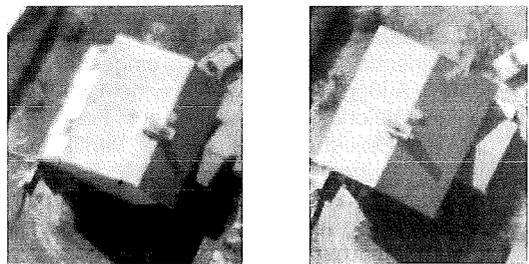


Abb. 3: Homologe Ausschnitte aus zwei Luftbildern 1:5.000 mit Verdeckungen und sichttoten Räumen

- 3D-Repräsentation der Oberfläche: Viele in der Literatur beschriebene und auch zu Marktreife gelangte Verfahren zur Oberflächenrekonstruktion verwenden eine 2.5-dimensionale Darstellung des Objekts [1], [6], die für viele Objektklassen, vor allem im Nahbereich, nicht ausreicht, weil damit keine Überhänge modelliert werden können. Im Zuge einer Diplomarbeit wurde am IPF ein Verfahren zur 3D-Modellierung von Oberflächen entwickelt, die auf einer 3D Triangulierung mit Zwangskanten beruht und die wir zur Oberflächenrepräsentation verwenden [8].
- Merkmalsbasiertes Zuordnungsverfahren: Da aus den oben genannten Gründen nicht mehr davon ausgegangen werden kann, daß in der Umgebung homologer Merkmale auch ähnliche Grauwerte vorliegen, erscheint es sinnvoller, zunächst markante Merkmale (Punkte, Linien) sowie deren Nachbarschaftsbeziehungen aus den Bildern zu extrahieren und dann homologe Merkmale aus verschiedenen Bildern einander zuzuordnen [1], [9], weil man

dann für die Wahl der Kriterien für die Zuordnung, d.h. bei der Wahl des Ähnlichkeitsmaßes größeren Spielraum hat. Die vor allem in der Nahbereichsphotogrammetrie üblichen Aufnahme Konfigurationen legen außerdem nahe, mehr als zwei Bilder zur Oberflächenrekonstruktion zu verwenden.

- Verwendung von lokalen Oberflächenmodellen im Objektraum: Ablauf und Ergebnis von Zuordnungsverfahren hängen wesentlich von der Erwartung ab, die man von der Geometrie des zu rekonstruierenden Objektes hat. So wird z. B. bei den rasterbasierten Zuordnungsverfahren implizit davon ausgegangen, daß das Objekt eben ist [1]; ist diese Annahme nicht zutreffend, scheitert auch das Verfahren. Um möglichst große Flexibilität für unser Zuordnungsverfahren zu erhalten, werden explizit lokale Modelle der Oberfläche im Objektraum eingeführt und im Zuordnungsprozeß berücksichtigt [7].
- Bündelblockgeometrie: Bei bekannten Orientierungsparametern kann der Suchraum durch geometrische Bedingungen eingeschränkt werden. Außerdem verwenden wir ein Bündelblockausgleichsprogramm zur Formulierung der Objektmodelle und zur Verifikation von Zuordnungen anhand dieser Modelle.
- Bildpyramiden: Um sowohl die Zuverlässigkeit der Zuordnung als auch ihre Geschwindigkeit zu erhöhen, muß eine Strategie besprochen werden, die, ausgehend von groben Näherungen, diese iterativ verbessert und für jede Iteration den Suchbereich einschränkt. Dies wird durch die Verwendung von Bildpyramiden gewährleistet [6].

4.1. Hierarchische Rekonstruktion von Objekt-oberflächen

Abbildung 4 zeigt das Flußdiagramm der hierarchischen Rekonstruktion von Objekt-oberflächen. Eingangsparemeter in diesen Prozeß sind die Bildpyramiden, die Orientierungsparameter der Bilder und ein sehr grobes Modell des Objektes (z.B. eine Ebene, ein Quader, eine Kugel). Der Prozeß beginnt im obersten Pyramidenniveau N , jenem mit der geringsten Auflösung. Ausgehend von den Eingangsparemetern wird die Oberflächenrekonstruktion mit den Bildern aus diesem Pyramidenniveau durchgeführt, und man erhält eine Repräsentation der Oberfläche, deren Genauigkeit und Detaillierungsgrad jenem des gerade bearbeiteten Pyramidenniveaus entspricht. Dieses Ergebnis wird nun zur Gewinnung von Näherungswerten für die Oberflächenrekonstruktion mit den Bildern aus dem nächsttieferen Pyramidenniveau herangezogen, usw.

Der Prozeß endet, wenn das Pyramidenniveau mit der höchsten Auflösung erreicht ist. Das Ergebnis ist eine Repräsentation der gesuchten Objekt-oberfläche, deren Detaillierungsgrad jenem der ursprünglichen Bilder entspricht.

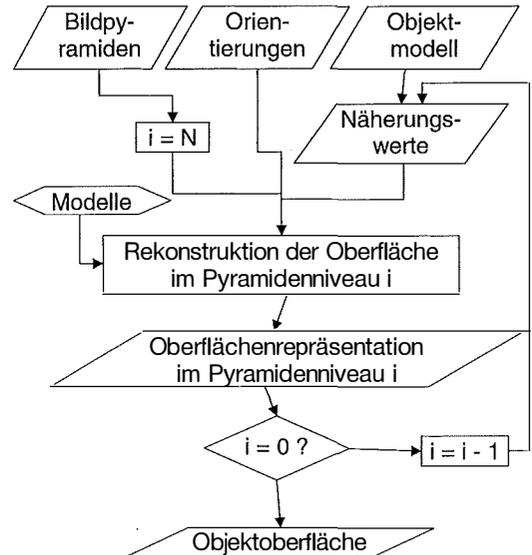


Abb. 4: Flußdiagramm zur hierarchischen Rekonstruktion von Objekt-oberflächen

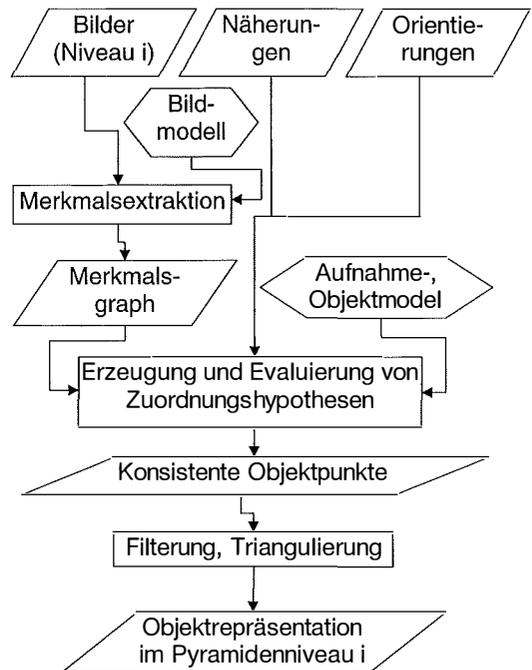


Abb. 5: Flußdiagramm zur Rekonstruktion einer Objekt-oberfläche im Pyramidenniveau i

Der Prozeß der Oberflächenrekonstruktion mit den Bildern aus einem Pyramidenniveau i wird durch das Flußdiagramm in Abbildung 5 gezeigt. Zunächst werden aus den Bildern markante Merkmale und deren Nachbarschaftsbeziehungen extrahiert. Das zu diesem Zweck verwendete Verfahren der polymorphen Merkmalsextraktion wird von einem Modell der stochastischen Eigenschaften der Grauwerte gesteuert; als Ergebnis erhält man einen Merkmalsnachbarschaftsgraphen [10]. Es müssen nun auf Grund von Ähnlichkeitsmaßen Hypothesen über Zuordnungen homologer Merkmale aus verschiedenen Bildern erzeugt werden. Auf Grund von Diskontinuitäten der Objektoberfläche eignet sich die Ähnlichkeit der Grauwerte nur bedingt zu diesem Zweck. Andere Ähnlichkeitsmaße berücksichtigen die Ähnlichkeit der Topologie oder Ähnlichkeiten von Attributen der Merkmale (z. B. Krümmungen von Linien) [11]. Abbildung 6 zeigt ein Bildpaar mit extrahierten Merkmalen.



Abb. 6: Erzeugung und Evaluierung von Zuordnungshypothesen

Bei bekannten Orientierungsparametern kann der Suchraum für Zuordnungshypothesen eingeschränkt werden, weil homologe Punkte auf Kernlinien liegen [1]. Wenn man Restfehler der Orientierungen als Möglichkeit in Betracht zieht und wenn man weiters annimmt, daß auf Grund von Näherungen die Lage des homologen Punktes entlang der Kernlinien beschränkt ist, liegt z. B. der zu dem in Abbildung 6 links markierten Punkt homologe Punkt im rechten Bild innerhalb des dort markierten Rechteckes. Da wir prinzipiell davon ausgehen, daß mehr als zwei Bilder zur Oberflächenrekonstruktion zur Verfügung stehen, können nicht, wie etwa in [6], Epipolarbilder verwendet werden. Die Kernlinienbedingung wird daher rechnerisch berücksichtigt.

Von den auf diese Weise gefundenen Zuordnungen sind viele falsch; diese falschen Zuord-

nungen müssen in der Folge eliminiert werden. Dazu wird ein Modell der Oberfläche im Objektraum explizit formuliert und die Parameter dieses Modelles aus den Zuordnungsergebnissen durch eine Ausgleichung bestimmt. Mit Hilfe eines robusten Schätzverfahrens können nun jene Beobachtungen, die nicht mit dem Modell konsistent sind, eliminiert werden [12]. Die explizite Formulierung der Modelle im Objektraum erhöht die Flexibilität des Verfahrens wesentlich. Man kann sowohl sehr einfache Modelle heranziehen, z. B. eine geneigte Ebene, es können aber auch sehr komplexe Modelle formuliert werden, wie man sie etwa bei der Extraktion von Hausdächern verwendet. Die Wahl eines geeigneten Modelles bleibt dabei vorerst dem Programmanwender überlassen. Als Resultat der Evaluierung der Zuordnungshypothesen liegen die mit dem lokalen Oberflächenmodell konsistenten Zuordnungen vor, aus denen durch Filterung und Triangulierung die dem bearbeiteten Pyramidenniveau zugeordnete Repräsentation der Objektoberfläche entsteht.

4.2. Polymorphe Merkmalsextraktion

Das aus einer Verallgemeinerung des Förstner-Interest - Operators entwickelte Konzept der polymorphen Merkmalsextraktion erlaubt die simultane Extraktion von markanten Linien und Punkten aus digitalen Bildern [10]. Aus tiefpaßgefilterten Grauwertgradienten werden ein Bild für die „Stärke“ W und eines für die „Gerichtetheit“ oder „Rundheit“ Q der Textur abgeleitet. Aus diesen Bildern entsteht durch zwei Schwellwertbildungen ein drittes Bild, in dem jedes Pixel einer Klasse zugeordnet wird: Liegt die Stärke der Textur in diesem Pixel unter einem Schwellwert W_{\min} , wird das Pixel als „homogen“ klassifiziert (schwarzer Bereich in Abbildung 7); im anderen Fall wird Q zu einer weiteren Klassifikation herangezogen. Liegt Q unter einem Schwellwert Q_{\min} , wird das Pixel als „Linienpixel“ (grau in Abbildung 7), ansonsten als „Punktpixel“ (weiß in Abbildung 7) klassifiziert. Die Wahl von W_{\min} ist kritisch; dieser Schwellwert wird aus der Verteilung der W abgeleitet. Q liegt immer zwischen 0 und 1, sodaß man für Q_{\min} z. B. den Wert 0.5 oder 0.7 wählen kann [10]. Das so erhaltene klassifizierte Bild muß, wie aus Abbildung 7 ersichtlich, noch ausgedünnt werden. Die Punkte erhält man dann an den Stellen der relativen Maxima im Texturbild; dasselbe gilt für Linienpixel, doch wird bei Linien nur in Richtung des Grauwertgradienten ausgedünnt. Schließlich müssen noch durch Linienverfolgung die verbleibenden Linienpixel zu Kantenstücken verbunden werden

[13]. Sowohl für Punkte als auch für Linien werden die Koordinaten mit Subpixelgenauigkeit geschätzt [10], [13].

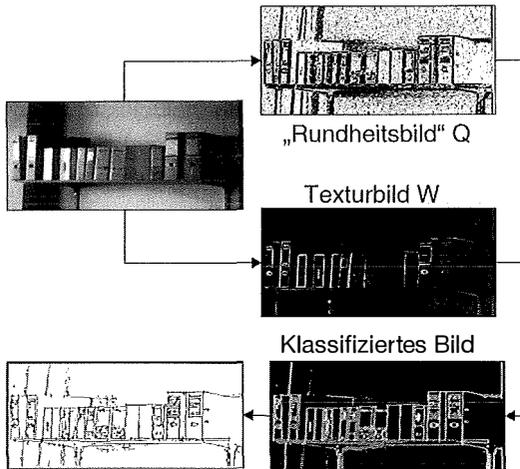


Abb. 7: Polymorphe Merkmalsextraktion

Um die gesamte im digitalen Bild enthaltene Information nicht auf je eine Liste von Punkten bzw. Linien zu reduzieren, werden auch die Nachbarschaftsbeziehungen dieser Merkmale extrahiert. Ausgehend von einer Delaunay - Triangulierung der Punkte werden die extrahierten Linien nach dem in [8] entwickelten Algorithmus als Zwangskanten in den Graphen eingeführt. Wenn man zur Abbildung 7 assoziiert, so ist augenscheinlich, daß der rechte der beiden Graphen, der die extrahierten Linien als Zwangskanten berücksichtigt, die im Bild enthaltene Information besser wiedergibt als der linke [13].

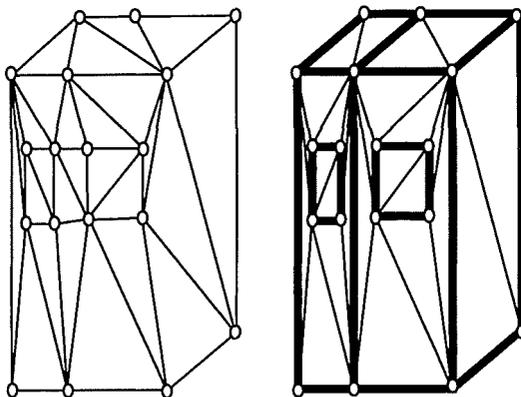


Abb. 8: links: Delaunay-Triangulierung; rechts: Triangulierung mit Zwangskanten (dick)

4.3. Integration Bündelblockausgleichung – Objektrekonstruktion

Wesentliche Aufgaben im Prozeß der Oberflächenrekonstruktion werden vom Bündelblockausgleichungssystem ORIENT, das am IPF entwickelt wurde [14], wahrgenommen:

- ORIENT ermöglicht die Verwaltung der Beobachtungen und Orientierungsparameter in einer relationalen Datenbank, wodurch Mehrbildlösungen ermöglicht werden.
- Durch diesen Zugriff auf die Orientierungsparameter spielt ORIENT eine wesentliche Rolle bei der rechnerischen Berücksichtigung der Kernlinienbedingung.
- Durch das strenge mathematische Konzept der hybriden Ausgleichung nach vermittelnden Beobachtung erlaubt ORIENT die simultane Ausgleichung von Bildkoordinaten, Paßpunktkoordinaten, geodätischen Beobachtungen, und, in diesem Zusammenhang besonders wichtig, von „fiktiven Beobachtungen“. Durch letztere können Punkte als zu einer oder mehreren Flächen bzw. Linien gehörig deklariert werden [14].
- Dieses Potential von ORIENT zur Formulierung von Ebenen und Polynomflächen sowie von Kombinationen mehrerer solcher Elemente in einer Ausgleichung wird bei der expliziten Formulierung der lokalen Oberflächen im Objektraum verwendet: Man kann solche Elemente beliebig kombinieren und somit beliebig komplexe Modelle im Objektraum erstellen, sodaß unser Konzept für Erweiterungen jederzeit offen steht und auch für Aufgaben wie etwa die Extraktion von Hausdächern anwendbar ist.
- ORIENT bietet die Möglichkeit, die Parameter dieser Modelle in einem robusten Schätzverfahren zu ermitteln, wodurch falsche Beobachtungen, also in unserem Fall mit dem lokalen Modell der Oberfläche im Rahmen der erwarteten Genauigkeit in Widerspruch stehende Zuordnungen eliminiert werden können. Wie oben erwähnt, ist dies ein zentraler Punkt im Zuordnungsprozeß.
- Neu entwickelte Module zur Visualisierung und interaktiven Messung gemeinsam mit bereits vorhandenen Möglichkeiten der graphischen Darstellung von Residuen und Fehlerellipsen ermöglichen die visuelle Kontrolle der Ergebnisse.

Die gleichsam als Nebenprodukt entstandenen Module zur Visualisierung und interaktiven Kontrolle bzw. Messung haben das Bündelblockprogramm bereits so erweitert, daß es als Mehrbild Monokomparator verwendet werden

kann, der besonders für den Nahbereichsfall geeignet ist und einen vollen photogrammetrischen Arbeitsplatz darstellt. Gleichzeitig dient ORIENT gemeinsam mit diesen neuentwickelten Modulen als Entwicklungsumgebung des IPF für digitale Bildverarbeitung, in die nach und nach die bisher im Rahmen des FSP und anderer Forschungsprojekte entwickelten Algorithmen integriert werden bzw. in der neue Algorithmen implementiert und getestet werden. Dabei bleibt die volle Funktionalität des bisherigen Systems erhalten.

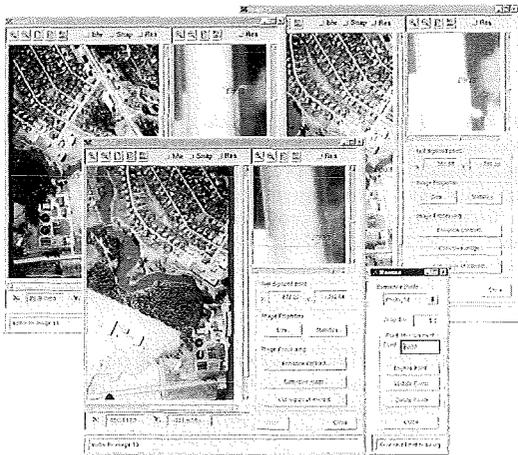


Abb. 9: Neue ORIENT-Module zur Visualisierung und interaktiven Messung

5. Zusammenfassung und Ausblick

Im Rahmen des FSP werden am IPF Algorithmen der digitalen Bildverarbeitung für photogrammetrische Zwecke entwickelt, wobei großes Augenmerk auf die tatsächliche Verwendbarkeit unter „photogrammetrischen“ Bedingungen (große Datenmengen!) gelegt wird. Es wurde ein Prototyp eines Programmes zur automatischen Lokalisierung von Signalen implementiert und getestet; dieser Teil des Projektes wird im Rahmen des FSP als abgeschlossen betrachtet. Für die automatische Rekonstruktion von Oberflächen wurde ein Konzept erstellt, dessen Komponenten sich in unterschiedlichen Entwicklungsstadien befinden. Im gegenwärtigen Stand sind die Module zur Merkmalsextraktion, zur Erzeugung und Verwaltung von Bildpyramiden und die Verbindung zum am IPF entwickelten Bündelblockausgleichsprogramm ORIENT implementiert. Letztere Verbindung umfaßt nicht nur die Datenbankschnittstelle, sondern auch die Module

zur Visualisierung und interaktiven Messung. Weiters existiert der Prototyp eines Programmes zur 3D Triangulierung. Die 2D Triangulierung mit Zwangskanten ist ein Sonderfall der 3D Triangulierung, aus Effizienzgründen wird allerdings an einer Neuimplementierung gearbeitet. Die Komponenten zur Erzeugung der Zuordnungshypothesen und zu deren Evaluierung befinden sich im konzeptionellen Stadium, wobei für die Formulierung der Objektmodelle und die Evaluierung der Zuordnung auf die bestehenden ORIENT-Module zurückgegriffen werden kann.

Diese Arbeit wurde vom Fonds zur Förderung der wissenschaftlichen Forschung im Rahmen des Forschungsschwerpunktes S7004-MAT, Theory and Applications of Digital Image Processing and Pattern Recognition, Project IV: Stereovideometry and Spatial Object Recognition, unterstützt.

Literatur

- [1] Gülch, E.: Erzeugung digitaler Geländemodelle durch automatische Bildzuordnung. Dissertation, Deutsche Geodätische Kommission, Reihe C, Heft 418, München, 1994
- [2] Rottensteiner, F., Prinz, R.: Aerotriangulation mit digitalen Bildern: Der Testblock Forssa der OEEPE. Österreichische Zeitschrift für Vermessung & Geoinformation, Heft 2/96, S. 189 ff, Wien, 1996
- [3] Jaakkola J., Sarjakoski, T.: Experimental Test on Digital Aerial Triangulation. Offizielle Publikation Nr. 31 der OEEPE, Institut für angewandte Geodäsie, Frankfurt / Main, 1996
- [4] Rottensteiner, F.: Flächenbasierte Korrelation von Rahmenmarken in abgetasteten Bildern. Diplomarbeit am Institut für Photogrammetrie und Fernerkundung der TU Wien, 1993
- [5] Ackermann, F.: High Precision Digital Image Processing. Proceedings of the 39th Photogrammetric Week at Stuttgart University. Heft 9, S. 231-243, Stuttgart 1984
- [6] Kzyszek, P.: Generation of Digital Elevation Systems. In: Second Course in Digital Photogrammetry, Kursunterlagen vom Institut für Photogrammetrie der Universität Bonn, Bonn, 1995
- [7] Rottensteiner, F.: Three Dimensional Object Reconstruction by Object Space Matching. International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing, Band XXXI, Teil B3, S. 692 ff, Wien, 1996
- [8] Heitzinger, D.: 3D-Oberflächenmodellierung mit topologischen Grundelementen. Diplomarbeit am Institut für Photogrammetrie und Fernerkundung der TU Wien, 1996
- [9] Förstner, W.: A Feature Based Correspondence Algorithm for Image Matching. International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing, Band XXVI, Teil 3/3, Rovaniemi, Finnland 1986
- [10] Fuchs, C., Förstner, W.: Polymorphic Grouping for Image Segmentation. In: Grimson, E. (Hrsg.): Proceedings of the 5th ICCV 95, IEEE Computer Society Press, 1995
- [11] Li, J.-C., Schenk, T., Toth, C.: Towards an Autonomous System for Orienting Digital Stereopairs, Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, Vol. 57, No. 8, August 1991, S. 1057 ff
- [12] Lang, F., Förstner, W.: Matching Techniques. In: Second Course in Digital Photogrammetry, Kursunterlagen vom Institut für Photogrammetrie der Universität Bonn, Bonn, 1995
- [13] Mischke, A. und Rottensteiner, F.: Feature Extraction in an On-line Engineering Surveying System. In: Burger, Burge, (Hrsg.): Pattern Recognition 1997. Proceedings of the 21st



Realizing Automatic Aerotriangulation

Liang Tang, Kirchheim b. München

Abstract

Automation in digital photogrammetry of today brings much more economy in the practice than ever before and is now in the course to revolutionize again the daily production since the boom of analytical photogrammetry about three decades before. In this sense, automatic aerotriangulation proved to be very promising. The paper deals with thoughts and strategies for realizing a commercial system of automatic aerotriangulation. The idea of "block as a whole" leads to great success in autonomous processing. "Image connection" provides high robustness of the procedure and thus high reliability of achieved results. It has proven that automatic aerotriangulation meets the accuracy requirements of practice and is much more economic than conventional approach.

Zusammenfassung

Automation in der digitalen Photogrammetrie bringt heutzutage viel mehr Wirtschaft in der Praxis als zuvor und ist nun gerade auf dem Weg, die tägliche Produktion seit dem Boom der analytischen Photogrammetrie vor etwa drei Jahrzehnten nochmals zu revolutionieren. In diesem Sinne hat sich die automatische Aerotriangulation als sehr vielversprechend herausgestellt. Der vorliegende Beitrag befaßt sich mit Gedanken und Strategien zur Realisierung eines kommerziellen Systems der automatischen Aerotriangulation. Die Idee von „Block als ein Ganzes“ führt zu großem Erfolg bei der autonomen Verarbeitung. „Bildverknüpfung“ bietet hohe Robustheit des Verfahrens und insofern hohe Zuverlässigkeit der erzielten Ergebnisse. Es hat sich gezeigt, daß die automatische Aerotriangulation den Genauigkeitsanforderungen der Praxis entspricht und zwar viel wirtschaftlicher ist als konventionelles Verfahren.

1. Introduction

The most significant feature of digital photogrammetry of today is the high automation of individual processing procedures, e.g. automated film scanning, automatic interior and relative orientation, automatic digital terrain or surface modelling, automatic orthoimage generation and automated image plotting [3, 15]. This brings much more economy to the photogrammetric practice than ever before and is now in the course to revolutionize again the daily production since the boom of analytical photogrammetry about three decades before.

Aerotriangulation (AT) is an essential task in photogrammetry. With introduction of computer technologies in photogrammetry in the sixties and seventies of this century, great technical jump had been achieved also for aerotriangulation [1]. Orientation parameters of images can be determined computationally by block adjust-

ment programs and point measurement can be supported conveniently by analytical instruments. However, the tie point selection, transfer and image coordinate measurement in the course of analytical AT still require intensive interaction of a human operator and belong to the most laboured and time-consuming work. Thus, automation of these steps is highly desirable in practice.

Digital photogrammetry uses digital or digitized images as information carrier. Thus, numerical operations of images become possible and so does automation of photogrammetric processing procedures. With success in algorithmic development of digital image matching techniques and their application for e.g. relative orientation [17, 18], automation of AT has become a focus in research and development since early the nineties, e.g. [2, 6, 11, 13, 14, 19]. Commercial systems of automatic aerotriangulation are now available on the market,