

Automatische 3D-Objekterfassung und -erkennung¹

Prof. Dr. Ing. W. Förstner
Institut für Photogrammetrie, Universität Bonn

Zusammenfassung

Der Beitrag stellt photogrammetrische Systeme zur automatischen Vermessung von Oberflächen vor, die seit einigen Jahren im Einsatz sind, und präsentiert aktuelle Forschungs- und Entwicklungsarbeiten zur Gebäudeextraktion.

1 Einleitung

Photogrammetrische Verfahren werden seit über 100 Jahren zur berührungslosen Erfassung dreidimensionaler Objekte eingesetzt. Die Herstellung topographischer Karten in allen Maßstäben ist ohne den Einsatz der Photogrammetrie nicht denkbar. Fernerkundungsmethoden ergänzen seit ca. 20 Jahren die Produktion vor allem bei kleinmaßstäbigen Karten und haben die Nutzung und Entwicklung von Verfahren der Bildverarbeitung und Mustererkennung, etwa zur Herstellung von Orthophotos, d. h. maßstäblich entzerrter Luftbilder, und zur thematischen Kartierung eingeleitet. Heute verschmelzen die Techniken von Photogrammetrie und Fernerkundung mit denen aus den Bereichen des Bildverstehens und dem Computer Vision und ermöglichen in zunehmendem Maße die dringend erforderliche Teilautomation der Produktionsprozesse. Der Beitrag veranschaulicht an repräsentativen Beispielen die Entwicklungen zur Erfassung und Erkennung dreidimensionaler Objekte aus digitalen Bildern die Entwicklung der letzten 10 Jahre.

2 Oberflächenvermessung

Die vollautomatische geometrische Rekonstruktion dreidimensionaler Objekte aus digitalen Bildern stellt ein in voller Allgemeinheit bis heute ungelöstes Problem dar. Im Gegensatz zum visuellen System des Menschen, das diese Aufgabe unter schwierigen Randbedingungen mühelos in Echtzeit zuverlässig löst, sind automatische Verfahren unter eingeschränkten, mittlerweile gut definierbaren Randbedingungen in der Lage mit hoher Genauigkeit und für einige Anwendungen hinreichender Geschwindigkeit die sichtbare Oberfläche räumlicher Objekte zu vermessen.

Das Prinzip ist in allen Fällen das gleiche: Wenigstens zwei, von verschiedenen Stellen aufgenommene Bilder, werden in digitaler bzw. digitalisierter Form dem Rechner zugänglich gemacht. Die räumliche Orientierung der Bilder wird durch einen Operateur oder vollautomatische bestimmt. In den Bildern werden homologe Bilddetails gesucht, d. h. Bilddetails, die sich auf die gleichen Objektpunkte beziehen. Aus den Bildkoordinaten werden durch Triangulation die Raumkoordinaten der Objektpunkte bestimmt. Sie stellen, zusammen mit einer der Objektfläche angemessenen Interpolationsvorschrift, das digitale Oberflächenmodell des Objekts dar. Automatische Verfahren setzen glatte, zumindest stückweise glatte Oberflächen voraus, die genügend texturiert sind.

¹gekürzte Fassung des Vortrag anlässlich der Ringvorlesung 'Bildverarbeitung und Mustererkennung an der Universität Bonn' im WS 1995/96

Industrieanwendung: Bei der Firma Volkswagen ist seit über 8 Jahren das System INDUSURF im Einsatz, das von der Firma Carl Zeiss in Zusammenarbeit mit der Firma INPHO und dem Photogrammetrischen Institut der Universität Stuttgart entwickelt wurde. Das System dient zur dreidimensionalen Erfassung von Karosseriemodellen, um das Ergebnis der Designphase dem CAD-System der Konstrukteure zugänglich zu machen. Die Anforderungen an die Genauigkeit liegen bei einer 95 %-Toleranz von 0.2 mm. Sie werden durch Texturprojektion, Digitalisieren von großformatigen Filmdiapositiven und ein flächenhaft arbeitendes Zuordnungsverfahren für die Suche homologer Bilddetails erfüllbar. Nach Vorgabe der für die CAD-Darstellung gewünschten Raumebenen, entlang derer die Oberflächenprofile zu vermessen sind und eines Näherungspunktes auf der Oberfläche, erfolgt die Messung vollautomatisch, indem das System das Profillinienetz in einem Breitensucheverfahren abarbeitet [Schewe, 1988]. Ein Beispiel für das Ergebnis der Vermessung eines Flugzeugmotorgehäuses findet sich in [Haralick and Shapiro, 1992], Vol. II, S. 365. Das System existiert seit kurzem auch in einer voll digitalen Version etwa zur Vermessung von Stahlkochern, womit eine Integration in Fertigungsprozesse möglich ist.

Topographische Anwendung: Das Programmsystem MATCH-T der Firma INPHO, das ebenfalls in Zusammenarbeit mit dem Institut für Photogrammetrie der Universität Stuttgart erstellt wurde, und seit mehr als 3 Jahren auch durch Intergraph und Zeiss vertrieben wird, dient zur Ableitung Digitaler Höhenmodelle (DHM) als Grundlage für die Ableitung von Höhenlinien in topographischen Karten oder in Plänen für den Straßenbau. In offenem Gelände werden die gleichen oder bessere Höhengenaugkeiten wie mit Operatormessungen, also Streuungen $< 1/10000$ der Flughöhe erreicht. Die Rechenzeiten liegen bei ca. 1/2 Stunde auf eine SGI Indigo 2, bei 4000×8000 Bildelementen pro Bild des Stereopaars. Hier erfolgt die Zuordnung auf der Basis automatisch extrahierter Kantenpunkte und einer Grob-Fein-Strategie folgend, um das Problem der Näherungswertbestimmung zu lösen. Da die Rekonstruktion des DHM mit einem robusten Schätzverfahren erfolgt, um Fehlzuordnungen auszuschließen, werden auch einzeln stehende Bäume und Häuser weggefiltert und so die topographische Oberfläche trotz dieser Störungen – im Sinne dieser Anwendung – rekonstruierbar wird (vgl. [Krzystek and Wild, 1992]).

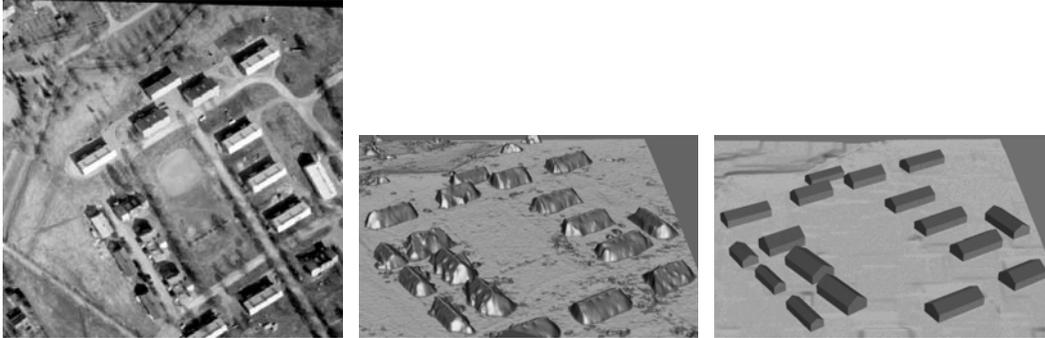
3 Gebäudeerfassung

Die Erkennung von Objekten aus Bildern setzt Wissen über die zu erkennenden Objekte voraus und stellt wegen der dafür notwendigen Semantik in den Modellen eine sehr viel allgemeinere und daher auch schwierigere Aufgabe für die Automatisierung wie die Oberflächenmessung dar. Vollautomatische Verfahren bleiben daher bisher auf sehr spezielle Aufgaben, wie das Lesen von Bar-Codes oder Postadressen beschränkt. Entwicklungen zur Erkennung dreidimensionaler Objekte stehen noch am Anfang.

Am Institut für Photogrammetrie befassen wir uns, in Kooperation mit den Instituten für Informatik I (Dr. Steinhage) und III (Prof. Cremers) der Universität Bonn, den Universitäten in Oxford und Leuven und dem ENST in Paris, mit der Entwicklung von Verfahren zur Erfassung von Gebäuden aus Luft- und Satellitenbildern. Ziel ist die automationsgestützte Generierung von dreidimensionalen Stadtmodellen (vgl. [Förstner and Pallaske, 1993], [Braun et al., 1995], [Lang and Förstner, 1996]). Sie werden u. a. für die großräumige Planung, Untersuchungen des Kleinklimas, Abschätzungen des Einflusses von Bauten auf die Lärm- und Schadstoffausbreitung oder die Standortbestimmung für Sender des Mobilfunks benötigt.

Automatische DHM-Analyse: Hochauflösende DHM-Daten mit 1-2 m Punktabstand, aus einer Stereobildanalyse oder einer direkten Bestimmung mit Laserabtastern

Abbildung 1: Aus einem digitalisierten Luftbild-Stereobildpaar (a. linkes Bild) wurde mit dem Programmsystem MATCH-T (s. o.) eine dichtes Oberflächenmodell (b.) berechnet. Die Identifikation und Rekonstruktion der Gebäude erfolgte vollautomatisch (c.). Als Gebäudemodell wurde einerseits die minimale Höhe über der Umgebung (3 m) und die erwartete Fläche (50 bis 400 qm), andererseits ein parametrisiertes geometrisches Modell (Flachdach, Giebeldach) verwendet.



vom Flugzeug aus, erlauben eine Erfassung der Gebäudestruktur. Da die Daten bereits dreidimensionale Information darstellen ist die Interpretation, d. h. die Objekterkennung leichter als die Interpretation von Bilddaten. Die Trennung der Gebäudestrukturen verlangt eine Rekonstruktion der topographischen Oberfläche, d. h. der Fläche, die vor dem Bau vorgelegen haben könnte. Aus der Differenz beider Flächen lassens sich unschwer diejenigen Stellen identifizieren, die Gebäude darstellen. Eine genauere geometrische Analyse dieser Differenz-DHM ermöglicht die Rekonstruktion der Gebäudestruktur. (s. Fig. 1, [Weidner and Förstner, 1995]).

Semiautomatische Bildanalyse: Die dreidimensionalen Gebäudestruktur läßt sich aus Bildern vollautomatisch bisher nur unter eingeschränkten Randbedingungen automatisch ableiten. Semiautomatische Verfahren verteilen die Aufgaben: die leicht formalisierbaren Entscheidungen, etwa die Extraktion von Bildmerkmalen und die Zuordnung ausgewählter Bildmerkmalen in den verschiedenen Bildern, wird dem Rechner übergeben, während die schwierig formalisierbaren Entscheidungen, etwa über die Klasse eines Gebäudes oder die Gebäudestruktur, dem Operateur überlassen werden (vgl. [Lang and Schickler, 1993], [Englert and Gülch, 1996]). Die Schnittstelle kann an den Stand der Entwicklung automatischer Bildanalyseverfahren angepaßt werden, so daß zu jedem Zeitpunkt ein vollständiges Verfahren zur Verfügung steht und der Fortschritt der Entwicklung nachweisbar wird.

4 Ausblick

Die Entwicklung im Bereich der 3D-Objektvermessung und -erkennung ist außerordentlich rege ([Grün et al., 1995]). Die optische 3D-Meßtechnik ist Forschungsthema eines Konsortiums innerhalb des vom BMBW geförderten Projekts *Elektronisches Auge*, wo es u. a. auch um die Weiterentwicklung von 3D-Sensoren geht, und wir uns in Kooperation mit dem Institut für Informatik III (prof. Cremers) mit der automatischen Kartenfortführung befassen. Wegen der Komplexität der meisten 3D-Objekte ist eine Fusion aller verfügbaren Datenquellen (Sensorem, Karten, CAD-Modelle) erforderlich, wofür es bisher noch kein geschlossenes Konzept gibt. Wesentliches Ziel der Entwicklungen sind Verfahren, die es auch dem Nichtspezialisten die Auswertetechnik zu verwenden.

Abbildung 2: In einem von mehreren Bildern paßt der Operateur das Bild eines entsprechend der Objektstruktur gewählten Gebäudemodells ein.



Abbildung 3: Mit Hilfe einer robusten Ballungsanalyse wird mit den in allen Bildern extrahierten Bildkanten die tatsächliche Höhe des Gebäudeteils und damit die absolute Größe automatisch bestimmt. Das Histogramm zeigt die Wahrscheinlichkeit an, daß das Gebäude in einer bestimmten Höhe liegt.

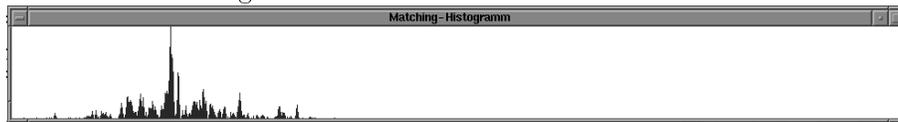


Abbildung 4: Mehrere Gebäudeteile können zu einer Gesamtstruktur verschmolzen werden. Das Ergebnis, hier ein Ausschnitt aus einem Stadtmodell von Oedekoven mit ca. 2000 Gebäuden, kann mit Hilfe eines Rayshaders visualisiert oder als Animation aufbereitet werden.



Literatur

- [Braun et al., 1995] Braun, C., Kolbe, T., Lang, F., Schickler, W., Steinhage, V., Cremers, A., Förstner, W., and Plümer, L. (1995). Models for Photogrammetric Building Reconstruction. *Computer & Graphics*, 19(1).
- [Englert and Gülch, 1996] Englert, R. and Gülch, E. (1996). A One-Eye Stereo System for the Acquisition of Complex 3D-Building Structures. *GIS*.
- [Förstner and Pallaske, 1993] Förstner, W. and Pallaske, R. (1993). Mustererkennung und 3D-Geoinformationssysteme. In *Proc. of 3. Int. Anwenderforum für Geoinformationssysteme, Duisburg*.
- [Grün et al., 1995] Grün, A., Kübler, O., and Agouris, P., editors (1995). *Automatic Extraction of Man-Made Objects from Aerial and Space Images*. Birkhäuser.
- [Haralick and Shapiro, 1992] Haralick, R. M. and Shapiro, L. G. (1992). *Computer and Robot Vision*. Addison-Wesley.
- [Krzystek and Wild, 1992] Krzystek, P. and Wild, D. (1992). Experimental Accuracy Analysis of Automatically Measured Digital Terrain Models. In Förstner, W. and Winter, S., editors, *Robust Computer Vision*, pages 372–390. Wichmann, Karlsruhe.
- [Lang and Förstner, 1996] Lang, F. and Förstner, W. (1996). Surface Reconstruction of Man-Made Structures Using Polymorphic Mid-Level Features and Generic Scene Knowledge. In *ISPRS Symposium, Vienna*.
- [Lang and Schickler, 1993] Lang, F. and Schickler, W. (1993). Semiautomatische 2D-Gebäudeerfassung aus digitalen Bildern. *ZPF*, 5:193–200.
- [Schewe, 1988] Schewe, H. (1988). Automatische photogrammetrische Erfassung von Industrieoberflächen. Technical report, Inpho GmbH, Stuttgart.
- [Weidner and Förstner, 1995] Weidner, U. and Förstner, W. (1995). Towards Automatic Building Extraction from High Resolution Digital Elevation Models. *ISPRS Journal*, 50(4):38–49.