

3D Objekterfassung mittels Fernerkundung

Franz Leberl und Rainer Kalliany, Graz



Zusammenfassung

Die Erfassung der Erdoberfläche durch die Fernerkundung war bisher traditionell 2-dimensional, wird aber zunehmend um die dritte Dimension erweitert. Digitale Verfahren der optischen Bildmessung, Radardaten-Verarbeitung sowie auch die Laserabtastung werden vermehrt eingesetzt, sodass damit 3-dimensionale Modelle der Umwelt entstehen. Als besonderes Beispiel wird die Erstellung von Gebäudemodellen aus interferometrischen Radarbildern mit Genauigkeiten im Bereich von ± 1 Meter behandelt

Abstract

Remote Sensing of the Earth's surface has traditionally produced two-dimensional data products, but recently, this is being augmented by the third dimension. Digital optical imaging, radar data processing, as well as laser scanning, are increasingly being applied to produce three-dimensional models of the environment. As a special example, the generation of building modelings from interferometric radar images, with results at an accuracy of ± 1 meter is discussed.

1. Fernerkundung als Quelle für 3D Modelle

Als „Remote Sensing of the Environment“ in den 60er-Jahren entstanden ist, beschränkte man sich meist auf eine 2-dimensionale Betrachtung der Erdoberfläche. Dies ursprünglich im Gegensatz zur Photogrammetrie, die seit Anbeginn auf eine dreidimensionale Datenerfassung abzielte und diese für die meisten Anwendungen benötigt. Diese Einschränkung der Fernerkundung war einerseits in der Sensorik begründet, die meist nur eine geometrische Auflösung im Bereich von 10 bis 80 Metern lieferte. Andererseits waren auch die untersuchten Umwelt-Phänomene im wesentlichen 2-dimensional, wie etwa bei der Erfassung von Landnutzung, Biomasse, Ernte-Ertrag oder Bodenfeuchte.

Während die SPOT-Satelliten seit den späten 80er-Jahren eine für topographische Anwendungen mittlerer Genauigkeit brauchbare Stereo-Kapazität bieten, begann der echte Wandel in Richtung „3D“ Anfang der 90er-Jahre mit der Radarinterferometrie. Es entstanden eine ganze Reihe von Satellitenfernerkundungs-Projekten, die zum Ziel hatten Phänomene in drei Dimensionen zu betrachten. Dazu zählten digitale Höhenmodelle, Eisbewegungen, Beobachtung von Bodensenkungen usw.

Aber auch im Bereich der optischen Satelliten erweitern sich die Messverfahren in die dritte Dimension. Neben der – mittlerweile auch stark von Seiten der „klassischen“ Photogrammetrie vorangetriebenen – Entwicklung von Methoden zur Automatisierung der Stereo-Auswertung sind die neuen hochauflösenden satellitengestützten Sensoren der Träger dieser Entwicklung. So ist von der Firma EarthWatch mit QuickBird-2 noch für das Jahr 2001 der Start des ersten kommerziellen Satelliten mit einer Auflösung von bis zu 0,6 Metern angekündigt. Wie auch das bereits operationelle Ikonos-System (maximal 1m Auflösung) unterstützen diese Sensoren durch eine hohe Flexibilität bei der Aufnahmerichtung auch die stereoskopischen Auswerteverfahren.

Zugleich wächst das Interesse an 3-dimensionalen Datenprodukten. Das ehemals 2-dimensionale geographische Informationssystem GIS wird in die dritte Dimension erweitert. Anwendungen der „Virtual“ und „Augmented Reality“ stellen wachsende Anforderungen an die Erzeugung großflächiger und detailgetreuer 3-dimensionaler Datensätze.

2. Optische Sensorik im Umbruch

Abgesehen von speziellen film-basierten hochauflösenden Systemen war in der Satellitenfernerkundung der Einsatz von digitalen Sensoren von Anfang an unvermeidlich, um die Daten laufend zur Erde übertragen zu können. Die bisherigen geometrischen Auflösungen waren aber kaum in der Lage, 3-dimensionale Daten von künstlichen Objekten abzuleiten (Abb.1a+b). Erst die neuesten kommerziellen Systeme erreichen eine Auflösung, welche etwa Gebäude in drei Dimensionen wiedergeben können (Abb.1c).



Abb.1: Der Wiener Stephansdom in hochauflösenden Satellitenbildern verschiedener Generationen. Von oben nach unten: CORONA (USA, 1968, Film digitalisiert auf 2,3 m-Pixelgröße); SPIN-2 (Russland, 1998, Film digitalisiert auf 2m Pixelgröße) und IKONOS (USA, 2000, 1m-Pan-Kanal kombiniert mit Farbe aus den 4m-XS-Bändern, © SpacelMaging / Geoville).

Nunmehr erfasst der Übergang zur Digitalsensorik auch die Luftbildgebung. Dieser Umbruch wird weitreichende Folgen für die bisher stark standardisierte Photogrammetrie haben: Das Luftbild-Format 23 cm x 23 cm wird durch digitale multispektrale Bildstreifen oder Bildmosaike ersetzt (Abb.2). Damit ist auch eine Unterscheidung zwischen photogrammetrischen bzw. fernerkundungs-spezifischen Bildgebungsverfahren nicht länger sinnvoll.

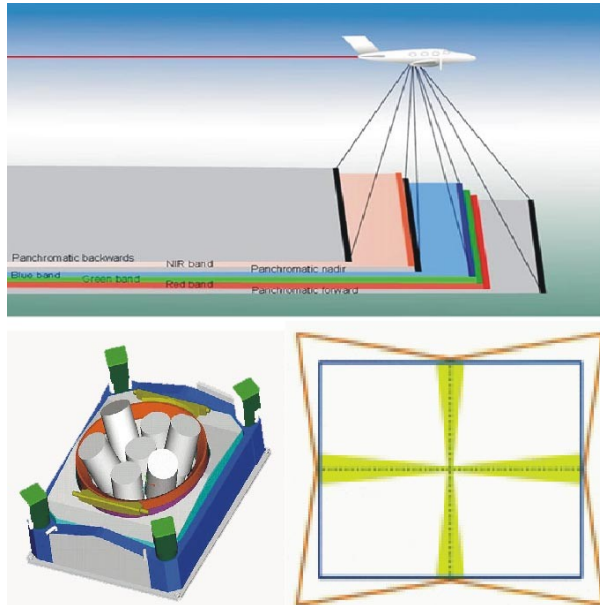


Abb.2: Die neuen digitale Luftbildkameras der beiden führenden Photogrammetrie-Hersteller. Während Leica (oben) einen multispektralen Zeilenabtaster verwendet, setzt Z/I auf ein Bündel von Kameras mit flächigen (2D-) Sensoren: Links unten das Schema des Kamerablocks, rechts die Zusammensetzung des Bildmosaiks aus 4 Einzelbildern)

3. Stereo-Radar ist operationell

Abb.3 zeigt ein Höhenmodell aus Satelliten-Stereoradar und eine verbesserte Version unter Einbeziehung von „Shape-from-Shading“. Stereo-Radar mit Flugzeug-Sensoren ist seit etwa Mitte der 80er-Jahre ein operationelles Fernerkundungsverfahren zur Erzeugung von 3-dimensionalen Höhenmodellen [1]. Heute werden zunehmend Satelliten-Radarbilder operationell zur Vermessung großer Gebiete verwendet. Die Daten des kanadischen Radarsat liefern Höhenmodelle aus Stereo-Paaren mit einer Genauigkeit von ± 25 Metern [2].

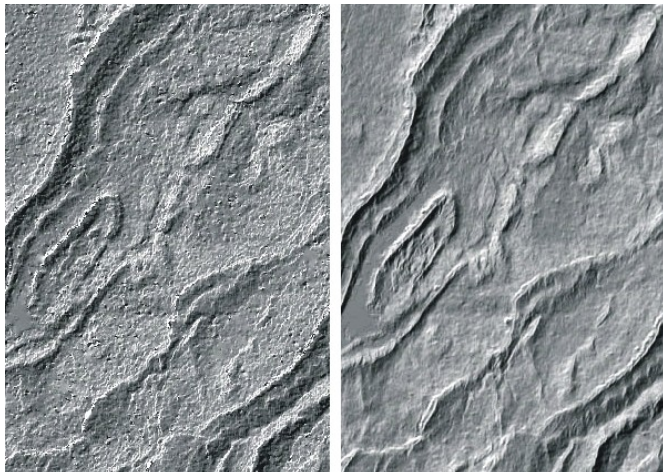


Abb.3: Radarsat-Höhenmodell aus Stereo (links), verbessert mittels Shape-from-Shading (rechts).

4. Interferometrie belebt die Bedeutung von Radar

Die Realisierung der Radar-Interferometrie begann mit dem ersten digitalen Radar der NASA (Shuttle Imaging Radar) [3]. Darauf folgten diverse Flugzeug-getragene Radarsysteme, sowie die Radar-Satelliten ERS-1 und ERS-2 (insbesondere in der Tandem-Konfiguration), J-ERS-1, Radarsat und schließlich die Shuttle Radar Topographic Mission SRTM des Jahres 2000 (3-dimensionale Vermessung der gesamten Erdballes von 60° S bis 60° N). Abb.4 zeigt ein Höhenmodell aus Stereo-Radar, gegenübergestellt und vereinigt mit einem Interferometrie-Modell.

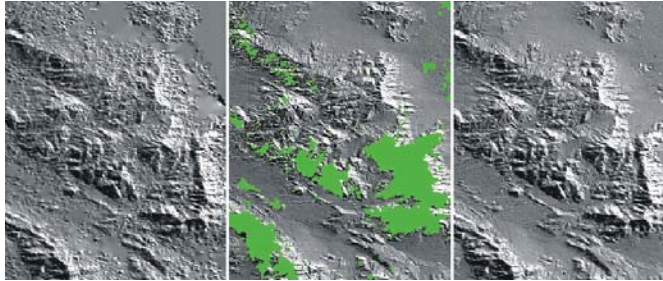


Abb.4: Links Stereo-Höhen aus Radarsat-Bildern, in der Mitte die Interferometrisch abgeleiteten Höhen (in grün Gebiete wo es wegen mangelnder Kohärenz keine Ergebnisse gibt) und rechts die Fusion beider Datensätze zum optimalen Datensatz (© Vexcel Corp.).

Die Verfahren zur Radarbild-Verarbeitung sind heute operationell und werden von vielen Firmen zu Fix-Preisen angeboten. Flugzeuggetragene Sensoren sind ebenfalls kommerziell verfügbar, sodass digitale Höhenmodelle großer Gebiete und ganzer Länder bereits routinemässig mittels interferometrischem Radar aus Flugzeugen oder Satelliten erstellt werden können.

Ebenfalls bereits Routine ist die Erstellung von sogenannten „differentiellen“ Interferometrie-Produkten. Dazu werden höhenmäßige Veränderungen erfasst, die etwa durch ein Erdbeben oder durch die Absenkung des Grundwasserspiegels entstehen können (Abb.5). Die dabei erzielbaren Genauigkeiten beruhen auf der Wellenlänge der verwendeten Strahlung und liegen daher im Bereich einiger Millimeter.

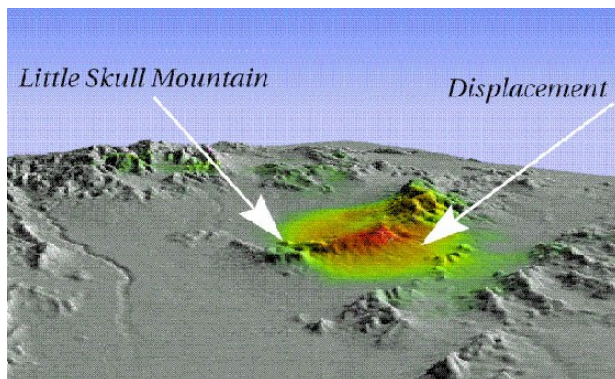


Abb.5: Bodensenkung im Bereich von 3 cm nach Erdbeben im Gebiet bei Yucca Mountain in Nevada (© Vexcel Corp.)

5. Automatische 3D-Erfassung von Gebäuden aus SAR Bildern

Die Vorstellung, 3-dimensionale Stadtmodelle mittels Radarbildern erstellen zu wollen war bisher wenig realistisch, da kaum Daten verfügbar waren, die eine geometrische Auflösung von 3 Metern unterschritten haben. Das trifft aber nicht länger zu.

Abb.6 ist das Beispiel eines vom Flugzeug aus aufgenommenen Radardatensatzes mit Pixelgrößen von 0,3 Metern. Das System besitzt zwei simultan arbeitende Antennen, womit die Interferometrie als Messmethode zur direkten Erfassung von Höheninformation zur Verfügung steht. Um Schatteneffekte kompensieren zu können werden als Ausgangsdaten zur

Gebäudeerfassung Aufnahmen aus bis zu 4 unterschiedlichen Richtungen verwendet. Jedes dieser „Bilder“ besteht aus drei Komponenten: (1) dem Grauwertbild, (2) den interferometrischen Höhenwerten und (3) den Kohärenzwerten der Interferometrie.

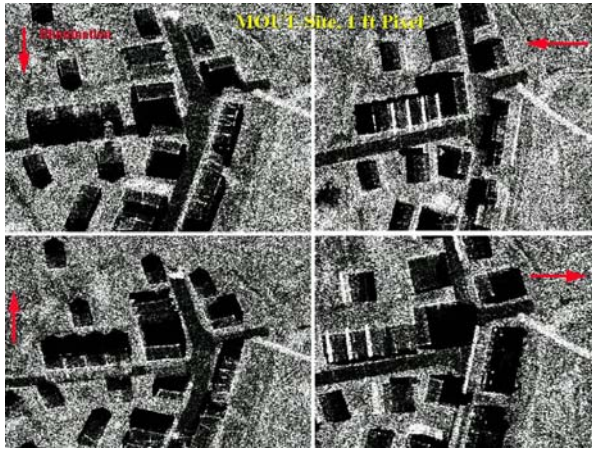


Abb.6: Radaraufnahme (Grauwertbilder) eines Dorfes aus unterschiedlichen Richtungen, Pixeldurchmesser 0,3 m (© Vexcel Corp., Sandia)

In mehreren Arbeiten [4-7] wurde erstmals gezeigt, dass aus solchen Datensätzen Gebäude mit einer Genauigkeit von ± 1 m rekonstruiert werden können, was etwa der Dreifachen Dimension der Pixelgröße entspricht. Das Ergebnis ist in Abb.7 ersichtlich. Wie der Vergleich zeigt wurden einige komplexere Gebäude in ihrer Form noch nicht richtig erkannt.

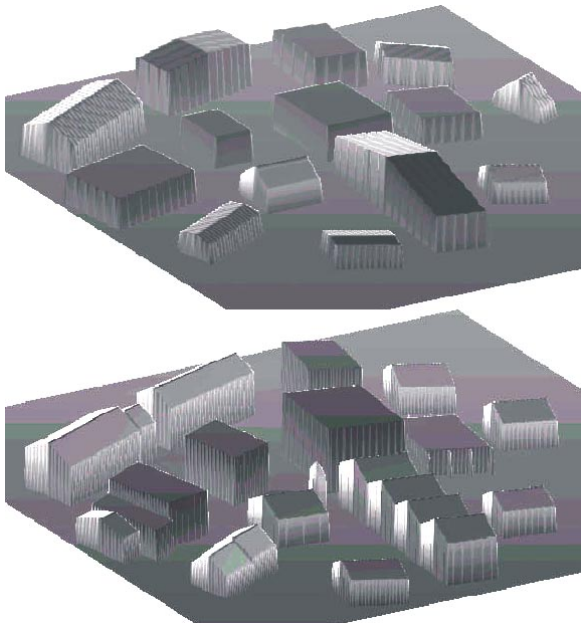


Abb.7: Oben das Ergebnis der Gebäude-Rekonstruktion aus dem Datensatz Abb.6. Unten zum Vergleich das Resultat einer photogrammetrischen Auswertung (aus [7])

Während üblicherweise die Quelle von großflächigen Gebäudemodellen, z.B. für Telekom-Anwendung (siehe Abb.8) noch immer die Stereoluftbild-Messung ist, erscheint es zukünftig gut möglich, solche Datensätze weitgehend automatisiert aus interferometrischen Radardaten zu generieren.



Abb.8: Ein stereo-photogrammetrisch erstelltes Stadtmodell von Philadelphia mit ± 1 m Genauigkeit (© Vexcel Corp.).

6. Ausblick

Wir haben zu zeigen versucht, dass sich die Grenzen zwischen Photogrammetrie und Fernerkundung verwischen - nicht nur weil letztere sich zunehmend mit der dritten Dimension befasst. Auch weil die Photogrammeter mittlerweile Sensoren verwenden die bisher der Fernerkundung zugerechnet worden sind, wie digitale Kameras, Zeilensensoren oder Laserscanner. Jedenfalls gestatten es die neuen Systeme und Signalverarbeitungs-Technologien, die dritte Dimension - wie auch gegebenenfalls eine zusätzliche zeitliche Komponente - weitgehend automatisch zu erfassen. Dadurch wird künftig nicht nur die Erstellung der „klassischen“ Geländemodelle wesentlich genauer, sondern es können auch Gebäude erfaßt und somit durch die Fernerkundung echte 3D-Informationssysteme auf effiziente Weise erstellt werden.

Referenzen

- [1] Wang Y., Mercer B., Tao V.C., Sharma J. & Crawford S. (2001): Automated Generation of Bald Earth Digital Elevation Models from Digital Surface Models created using Airborne IFSAR. Proceedings of ASPRS 2001 Gateway to the New Millennium, April 23-27, St. Louis, Missouri, CD-ROM.
- [2] Marra M., Carande R., Leberl F. (1998): Accuracy of DEMs from Remotely Sensed Radar Images, Proceedings of GIS/LIS'98, Ft. Worth, Texas.
- [3] Zebker H.A., Goldstein R.M. (1986): Topographic Mapping from Interferometric Synthetic Radar Observations. J. Geophysical Res., Vol. 91, 4993.
- [4] Bolter R. & Leberl F. (2000a): Detection and Reconstruction of Buildings from Multiple View Interferometric SAR Data. Proceedings of IGARSS 2000, Hawaii, pp. 749-751.
- [5] Bolter R. & Leberl F. (2000b): Detection and Reconstruction of Human Scale Features from High Resolution Interferometric SAR Data. Proceedings of the ICPR 2000, Volume 4: Applications, Robotics Systems and Architectures, Barcelona, Spain, pp. 291-294.
- [6] Bolter R. & Leberl F. (2000c): Fusion of Multiple View Interferometric and Slant Range SAR Data for Building Reconstruction. EOS/SPIE Remote Sensing Symposium, Barcelona, 2000, Conference on SAR Image Analysis, Modeling, and Techniques III, SPIE Vol. 4173, pp. 241-250.
- [7] Leberl F., Bolter R. (2001): Building Reconstruction from Synthetic Aperture Radar Images and Interferometry. 3rd Int'l Workshop on Automatic Extraction of Man-Made Objects from Aerial and Space Images, 10.-15. Juni 2001, Monte Verita, Ascona, Schweiz. Erscheint im Birkhäuser Verlag, Basel-Boston-Zürich.

Anschrift der Autoren

Univ.-Prof.Dr. Franz Leberl, DI. Rainer Kalliany: Institut für Maschinelles Sehen und Darstellen,
Technische Universität Graz, Inffeldgasse 16, A-8010 Graz; E-Mail: leberl@icg.tu-graz.ac.at,
kalliany@icg.tu-graz.ac.at