



Doctoral Thesis

Semi-automatic road extraction from satellite and aerial images

Author(s):

Li, Haihong

Publication Date:

1997

Permanent Link:

<https://doi.org/10.3929/ethz-a-001766570> →

Rights / License:

[In Copyright - Non-Commercial Use Permitted](#) →

This page was generated automatically upon download from the [ETH Zurich Research Collection](#). For more information please consult the [Terms of use](#).

ETH Dissertation No. 12101

Semi-automatic Road Extraction from Satellite and Aerial Images



A dissertation submitted to the
SWISS FEDERAL INSTITUTE OF TECHNOLOGY ZURICH

for the degree of
Doctor of Technical Sciences

presented by

Haihong Li

Bachelor of Surveying Engineering, Master of Sciences,
Wuhan Technical University of Surveying and Mapping, China

born 13. June 1962, China

accepted on the recommendation of

Prof. Dr. Armin Gruen, referent

Dr. Pascal Fua, co-referent

Prof. Zuxun Zhang, co-referent

Zurich, February 1997

Abstract

Of all parts in the process of GIS data generation from satellite and aerial images, the actual mapping phase is one of the most time consuming and expensive procedure. Research is therefore increasingly focusing on the development of efficient methods to automatically extract man-made objects like houses and roads from digital images. As fully automatic methods for mapping are still far out of reach, semi-automatic methods for feature extraction that interact with a human operator are considered to be a good compromise, combining the mensuration speed and accuracy of a computer algorithm with the interpretation skills of a human operator.

This dissertation deals with semi-automatic linear feature extraction from digital images for GIS data capture, where the identification task is performed manually on a single image, while a special automatic digital module performs the high precision line tracking. More specifically, a human operator is used to identify the object from an on-screen display of a digital image, selects the particular class this object belongs to and provides some very few seed points coarsely distributed. This is done through activation of a mouse in a convenient interactive graphics-image user interface. Subsequently, with these seed points as an approximation of the position and shape, the linear feature will be extracted precisely and automatically by either a dynamic programming approach or LSB-Snakes. These techniques can be used in a monoplotted mode, which combines one image with its underlying DTM. The LSB-Snakes approach is also implemented in a multi-image mode, which uses multiple images simultaneously and provides for a robust and mathematically sound full 3-D approach.

Firstly, we propose a semi-automatic road extraction scheme which combines the wavelet decomposition for road sharpening and a model driven linear feature extraction algorithm based on dynamic programming. With a wavelet transform interesting image structures can be enhanced and a multiresolution representation can be obtained by selection of a special wavelet. We have built a particular wavelet for road sharpening, which has been implemented as a fast pyramidal algorithm.

In the model driven feature extraction scheme, a road is represented by a generic road model with six photometric and geometric properties. This model is formulated by some constraints and a merit function which embodies a notion of the “best road segment”, and

evaluated by a “time-delayed” dynamic programming algorithm. In order to reduce the computational complexity, a strategy of dynamic vertex insertion and deletion is developed. In such a way, even a long road segment can be handled efficiently. The mathematical foundation and issues relating to its practical implementation are discussed in detail. This approach has been applied very successfully to extract complete road structures from single SPOT scenes and small scale aerial images. Experimental results show that the algorithm is very robust in case of gaps and other distortions because of use of global photometric information and geometric constraints.

Then, a general approach for linear feature extraction with active contour models is investigated. In general, the Snakes or active contour models feature extraction algorithm integrates both photometric and geometric constraints, with an initial estimate of the location of the feature, by an integral measure referred to as the total energy of Snakes. The local minimum in this energy defines the feature of interest. In this dissertation, active contour models are approximated by B-spline curves and formulated in terms of a combined least squares adjustment. The observation equations consist of the equations formulating the matching of a generic object model and image data, and those that express the geometric constraints and operator-given seed points. We call this novel concept of Snakes “LSB-Snakes” (Least Squares B-spline Snakes).

LSB-Snakes considerably improve active contour models by using three new elements: (i) the possibility for internal quality control through computation of the covariance matrix of the estimated parameters, (ii) the exploitation of any a priori known geometric and photometric information to constrain the solution and (iii) the simultaneous use of any number of images. The least squares approach allows for precision and reliability assessment of the estimated 3-D feature via covariance matrix evaluation. This is in clear contrast to conventional methods of Snakes, which due to their particular theoretical background and formulation, do not provide any measures for the qualitative control of their results. Instead of a set of points on the feature, a B-spline representation of the linear feature is estimated. Through the connection of image and object space, assuming that the interior and exterior orientation of the sensors are known, any number of images can be simultaneously accommodated and the feature can be extracted in a 2-D as well as in a fully 3-D mode. Thus blunders in image data, like occlusions, can be controlled very well. At the same time, LSB-Snakes can be considered a new application and extension of the least squares template matching (LSM) techniques.

Our LSB-Snakes concept is not restricted to road extraction. Other linear features, e.g. edges, can be modelled and extracted. In fact, anything which can be geometrically modelled by B-splines can be handled. This makes it a powerful general concept for semi-automated feature extraction, not only for the processing of aerial and space images, but also for a variety of close-range (machine vision) applications. The results obtained so far are very encouraging. Further studies will make use of more extensive data sets and will focus on the quality assessment and automated performance evaluation.

Zusammenfassung

Von allen GIS-Teilprozessen ist die Daten-generierung aus Luft- und Satellitenaufnahmen die zeitaufwendigste und teuerste Prozedur. Die Forschung konzentriert sich daher in steigendem Masse auf die Entwicklung effizienter Methoden zur automatischen Extraktion von Merkmalen wie Häusern und Strassen aus digitalen Bildern. Da vollautomatische Methoden zur Kartierung noch in weiter Ferne liegen, werden Methoden zur Merkmalsextraktion, welche mit einem menschlichen Operateur interagieren, als guter Kompromiss zwischen Geschwindigkeit und Genauigkeit eines Computer-Algorithmus und den Interpretationsfähigkeiten eines Menschen betrachtet.

Diese Dissertation behandelt die halbautomatische Extraktion linearer Merkmale aus digitalen Bildern zur GIS-Datenerfassung, wobei die Identifikation manuell auf einem Einzelbild vorgenommen wird, während ein spezielles digitales Modul die Hochpräzisions-Linienverfolgung vornimmt. Ein menschlicher Operateur wird benutzt, um die Objekte auf der Bildschirmdarstellung des digitalen Bildes zu identifizieren, die spezifische Objektklasse, zu der das Objekt gehört, zu selektieren und einige grob verteilte Stützpunkte zu setzen. Dies geschieht durch Verwendung einer geeigneten interaktiven grafischen Benutzeroberfläche. Daraufhin wird mit diesen Stützpunkten als Näherung für die Lage und Form das lineare Merkmal automatisch extrahiert. Diese Technik kann im Einzelbildmodus, welcher ein Einzelbild mit seinem darunterliegenden DTM kombiniert, oder im Mehrbildmodus, welcher mehrere Bilder gleichzeitig benutzt und für ein robustes und mathematisch korrektes 3-D Verfahren sorgt, verwendet werden.

Zuerst schlagen wir ein halbautomatisches Strassenextraktionsverfahren vor, welches die Wavelet-Zerlegung zur Strassen-Verstärkung mit einem auf Dynamischer Programmierung basierenden modellorientierten linearen Merkmalsextraktionsalgorithmus kombiniert. Mit einer Wavelet-Transformation können interessante Bildstrukturen verstärkt und Bildrepräsentationen in verschiedenen Auflösungen durch die Verwendung eines speziellen Wavelets erhalten werden. Wir generierten ein spezielles Wavelet zur Strassen-Verstärkung, welches als schneller pyramidaler Algorithmus implementiert wurde.

Im modellorientierten Merkmalsextraktionsablauf wird eine Strasse durch ein generisches Strassenmodell repräsentiert, welches sechs radiometrische und geometrische

Eigenschaften beinhaltet. Dieses Modell wird durch einige Bedingungen und eine Zielfunktion, welche eine Interpretation des "besten Strassen-Segments" verkörpert, formuliert, und durch einen "zeitverzögerten" Dynamischen Programmierungsalgorithmus ausgewertet. Um die Rechenkomplexität zu reduzieren, wurde eine Strategie zum dynamischen Einfügen und Löschen von Scheitelpunkten entwickelt. Auf diese Weise können selbst lange Strassensegmente effizient behandelt werden. Die mathematischen Grundlagen und relevanten Themen zu deren praktischer Implementierung werden im Detail besprochen. Dieser Ansatz wurde sehr erfolgreich angewendet, um komplette Strassennetze aus einzelnen SPOT-Aufnahmen und kleinmassstäblichen Luftbildern zu extrahieren. Experimentelle Resultate zeigen, dass der Algorithmus bei Lücken und anderen Verzerrungen aufgrund seiner Verwendung von globalen radiometrischen Informationen und geometrischen Einschränkungen sehr robust ist.

Danach wird ein genereller Ansatz zur linearen Merkmalsextraktion mit aktiven Umrissmodellen untersucht. Allgemein integrieren der Snakes- oder Aktive-Umrissmodelle-Algorithmus radiometrische und geometrische Bedingungen mit einer initialen Schätzung der Lage des Merkmals durch ein integrales Mass, welches als die totale Energie der Snakes bezeichnet wird. Das lokale Minimum dieser Energie bestimmt das gesuchte Merkmal. In dieser Arbeit werden aktive Umrissmodelle durch B-spline Kurven an genähert und im Sinne einer allgemeinen Ausgleichung nach kleinsten Quadraten formuliert. Die Beobachtungsgleichungen bestehen aus den Gleichungen, welche die radiometrische Uebereinstimmung zwischen einem generischen Objektmodell und den Bilddaten beschreiben, und solchen, welche die geometrischen Bedingungen und die vom Operateur gegebenen Stützpunkte ausdrücken. Wir bezeichnen dieses neuartige Konzept der Snakes als LSB-Snakes (Least Squares B-spline Snakes).

LSB-Snakes verbessern die aktiven Umrissmodelle beträchtlich durch drei neue Elemente (i) die Möglichkeit für eine interne Qualitätskontrolle durch die Berechnung der Kovarianzmatrix der geschätzten Parameter, (ii) das Ausnutzen von sämtlichen a priori bekannten geometrischen und radiometrischen Informationen um die Lösung einzuschränken und (iii) das gleichzeitige Verwenden einer beliebigen Anzahl von Bildern. Der Kleinste-Quadrate Ansatz erlaubt eine Beurteilung der Genauigkeit und der Zuverlässigkeit des geschätzten 3-D Merkmals durch die Auswertung der Kovarianzmatrix. Dies steht in klarem Gegensatz zu konventionellen Snakes, welche aufgrund ihres speziellen theoretischen Hintergrundes und ihrer Formulierung kein Mass zur Beurteilung der Qualität ihrer Resultate erlauben. Anstelle einer Menge von Punkten entlang des Merkmals wird eine B-Spline Repräsentation des linearen Merkmals geschätzt. Durch die Verbindung von Bild und Objektraum - vorausgesetzt, dass die innere und äussere Orientierung des Sensors bekannt sind - kann eine beliebige Anzahl von Bildern gleichzeitig behandelt werden, und das Merkmal kann sowohl im 2-D als auch im 3-D Modus extrahiert werden. Dadurch können Störungen in den Bilddaten, wie z.B.

Ueberdckungen, sehr gut kontrolliert werden. Gleichzeitig können LSB-Snakes als eine neue Anwendung und eine Erweiterung der Kleinste-Quadrate Template- Matching (LSM)-Techniken betrachtet werden.

Unser LSB-Snakes Konzept ist nicht auf die Extraktion von Strassen beschränkt. Andere lineare Merkmale, wie z.B. Kanten, können modelliert und extrahiert werden. Tatsächlich kann alles, was mit B-Splines geometrisch modelliert werden kann, behandelt werden. Dies macht es zu einem leistungsstarken generellen Konzept zur halbautomatischen Merkmalsextraktion, nicht nur zur Verarbeitung von Luft- und Weltraumaufnahmen, sondern auch für eine Reihe von Nahbereichs- (Machine Vision-) anwendungen. Die bis jetzt erhaltenen Resultate sind sehr ermutigend. Weitere Studien werden Gebrauch von umfangreicheren Datensätzen machen und sich auf die Qualitätsbeurteilung der Resultate und die Leistungsfähigkeit des automatisierten Verfahrens konzentrieren.