

Jochen Meidow

Gemeinsame Segmentierung und Interpretation
digitaler Luftbilder mit Hilfe der Bayes-Statistik

D 98

Inaugural-Dissertation zur Erlangung des Grades
Doktor-Ingenieur (Dr.-Ing.) der
Hohen Landwirtschaftlichen Fakultät der
Rheinischen Friedrich-Wilhelms-Universität zu Bonn

Referent: Prof. Dr.-Ing., Dr.-Ing. E.h. mult. K.-R. Koch (em.)
Korreferent: Prof. Dr.-Ing. W. Förstner
Tag der mündlichen Prüfung: 20. Oktober 2000

Geodäsie

Band 8

Jochen Meidow

**Gemeinsame Segmentierung und Interpretation
digitaler Luftbilder mit Hilfe der Bayes-Statistik**

D 98 (Diss. Universität Bonn)

Shaker Verlag
Aachen 2000

Die Deutsche Bibliothek - CIP-Einheitsaufnahme

Meidow, Jochen:

Gemeinsame Segmentierung und Interpretation digitaler Luftbilder
mit Hilfe der Bayes-Statistik / Jochen Meidow.

Aachen : Shaker, 2000

(Geodäsie ; Bd. 8)

Zugl.: Bonn, Univ., Diss., 2000

ISBN 3-8265-8193-8

Copyright Shaker Verlag 2000

Alle Rechte, auch das des auszugsweisen Nachdruckes, der auszugsweisen
oder vollständigen Wiedergabe, der Speicherung in Datenverarbeitungs-
anlagen und der Übersetzung, vorbehalten.

Printed in Germany.

ISBN 3-8265-8193-8

ISSN 1438-4566

Shaker Verlag GmbH • Postfach 1290 • 52013 Aachen

Telefon: 02407 / 95 96 - 0 • Telefax: 02407 / 95 96 - 9

Internet: www.shaker.de • eMail: info@shaker.de

Vorwort

Die vorliegende Dissertation entstand während meiner Tätigkeit als wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Theoretische Geodäsie der Rheinischen Friedrich-Wilhelms-Universität Bonn.

Mein herzlicher Dank gilt Herrn Prof. Dr.-Ing., Dr.-Ing. E.h. mult. Karl-Rudolf Koch für seine Anregungen zu dieser Arbeit, die ständige Diskussionsbereitschaft sowie für seine engagierte Betreuung. Herrn Prof. Dr.-Ing. Wolfgang Förstner danke ich für die Übernahme des Korreferats und für die vielen Hinweise und Verbesserungsvorschläge.

Allen Kollegen und ehemaligen Mitarbeitern des Institutes für Theoretische Geodäsie danke ich für die kollegiale und kreative Atmosphäre, die zum Gelingen dieser Arbeit beigetragen hat.

Nicht zuletzt bedanke ich mich bei meinen Eltern und meiner Frau Sonja. Ihre Geduld und ihr Rückhalt hat das Zustandekommen dieser Arbeit erst ermöglicht.

Bonn, im August 2000

Jochen Meidow

Gemeinsame Segmentierung und Interpretation digitaler Luftbilder mit Hilfe der Bayes-Statistik

Zusammenfassung

Digitale Luftbilder bieten die Möglichkeit, die Erdoberfläche schnell und flächen-deckend zu erfassen und können somit als Grundlage für die Aktualisierung von Geoinformationsdaten dienen. Die für die Erkennung des Bildinhaltes notwendige Bildanalyse beinhaltet die Gruppierung der Bildelemente zu Regionen und deren Interpretation aufgrund beobachteter Bildmerkmale. Insbesondere die vielfältigen Erscheinungsformen der geographischen Objekte im Bild bewirken, daß in diesem Erkennungsprozeß mit einem hohen Maß an Unsicherheit zu rechnen ist.

Im Rahmen dieser Arbeit wird mit der Bayes-Statistik ein mathematisch-stochastischer Rahmen gewählt, der es erlaubt, diese Unsicherheiten zu berücksichtigen und Vorinformation über die abgebildeten Objekte in den Analyseprozeß einfließen zu lassen. Die Interpretation der Szene erfolgt in einem Bezeichnungsprozeß durch Maximierung der mit dem Bayes-Theorem gebildeten Posteriori-Dichten. Dabei werden auch statistisch unbekannte oder unsicher interpretierte Bildregionen ausgewiesen. Die Analyse erfolgt in Bezug auf eine interpretationsführende Wissensbasis, die den zu erwartenden Bildinhalt wiedergibt. Diese Wissensbasis beinhaltet eine statistische Beschreibung der eingeführten Objektklassen und deren Relationen und wird mit Hilfe von exemplarisch interpretierten Trainingsbildern aufgebaut.

Die gesuchte Einteilung des Bildes in Regionen gemäß der Bedeutung der abgebildeten Objekte erfolgt methodisch im Rahmen eines Regionenwachstumsverfahrens. Für die sukzessive Verschmelzung von benachbarten Regionenpaaren wird ein statistisches Verschmelzungskriterium formuliert, welches die möglichen Bezeichnungen der Regionen berücksichtigt. Die Fortführung der variabel konzipierten Wissensbasis wird an den Fortschritt der Bildanalyse gekoppelt und ermöglicht die Formulierung eines wissensbasierten Abbruchkriteriums für das Regionenwachstum.

Die Leistungsfähigkeit des entwickelten Verfahrens wird exemplarisch an zwei Luftbildausschnitten untersucht, die Ortsrandlagen mit offener Bebauung zeigen. Die Bewertung der Ergebnisse erfolgt durch den Vergleich mit einer manuell erstellten Soll-Interpretation.

Joint segmentation and interpretation of aerial photographs by Bayesian statistics

Abstract

Digital aerial photographs offer the possibility to scan the surface of the earth fast and over large regions and can thus serve to update geoinformation. The image analysis necessary for the recognition of the image contents consists of the grouping of the picture elements into regions and their interpretation on the basis of observed features. Especially the manifold appearances of the geographical objects in the image cause a high degree of uncertainty in the process of recognition.

By means of Bayesian statistics a mathematical and stochastic framework is applied in this thesis which allows to take these uncertainties into consideration and to introduce prior information about the shown objects in the process of analysis. The interpretation of the scene results from the maximization of the posterior density function which follows from Bayes' theorem. Unknown or uncertain regions are included. The analysis is performed by an interpretation-guiding knowledge base which reflects the expected contents of the image. This knowledge base contains a statistical description of the object classes being introduced and their relations and is constructed with the help of exemplary interpreted images.

The sought partition of the image into regions according to their meaning is accomplished methodically in the framework of a region growing procedure. For the pairwise, successive merging of neighbouring regions a statistical merging criterion is formulated which takes the possible labels of the regions into consideration. The update of the knowledge base, which is conceived as being variable, is coupled to the progress of the analysis. This makes it possible to formulate a knowledge-based stopping rule for the process of region growing.

The performance of the derived procedure is tested with two aerial photographs which show residential areas with an open development. The evaluation of the results follows from the comparison with a manually obtained interpretation of the scene.

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
1.1	Motivation	1
1.2	Bildanalyse	2
1.2.1	Prozeßebenen	2
1.2.2	Problemstellung	3
1.3	Lösungsansatz im Rahmen dieser Arbeit	6
1.4	Bisherige Arbeiten	9
1.5	Inhalt der Arbeit	12
2	Theoretische Grundlagen	15
2.1	Relationen und Graphen	15
2.2	Grundlagen der Bayes-Statistik	18
2.2.1	Bayes-Theorem und MAP-Schätzung	18
2.2.2	Mustererkennung	19
2.2.3	Konfidenzbereiche und Hypothesenprüfung	21
2.3	Postulat einer offenen Welt	24
2.4	Bewertung der Ergebnisse	24
2.4.1	Bewertung der Interpretation	25
2.4.2	Bewertung der Partitionierung	27
3	Modellbildung	29
3.1	Initiale Segmentierung	29
3.2	Objekt- und Bildmodell	34
3.2.1	Objektclassen	35
3.2.2	Merkmale	37
3.3	Wissensbasen	40
3.3.1	Inhalte und Typen	40
3.3.2	Fortführung der prozeßführenden Wissensbasis	41

3.4	Verteilungen	43
3.4.1	Likelihood-Funktion	43
3.4.2	Priori-Verteilung	45
3.5	Schätzung der Bezeichnungen	46
3.6	Verschmelzungskriterium	49
4	Segmentierungs- und Interpretationsprozeß	53
4.1	Merkmale	53
4.1.1	Regionenmerkmale	53
4.1.2	Relationale Merkmale	55
4.2	Objektklassen und Wissenserwerb	55
4.3	Implementierung	56
4.4	Ablauf der Bildanalyse	58
5	Ergebnisse	61
5.1	Vorbemerkungen	61
5.2	Analyse des Luftbildes „Glandorf“	62
5.2.1	Bezeichnungen und Training	62
5.2.2	Wissensbasen	65
5.2.3	Initialisierung	68
5.2.4	Regionenwachstum und Endergebnis	70
5.3	Analyse des Luftbildes „Hohengehren“	74
5.3.1	Bezeichnungen und Training	74
5.3.2	Initialisierung	77
5.3.3	Regionenwachstum und Endergebnisse	81
5.4	Ergebnisdiskussion	83
6	Zusammenfassung und Ausblick	85
	Literatur	89