Semantische Modellierung und Extraktion räumlicher Objekte aus Bildern und Karten – ein gemeinsames Forschungsvorhaben der deutschen Photogrammetrie und Kartographie[1]

Wolfgang Förstner, Universität Bonn

Inhaltsverzeichnis

1 Kurzfassung

Bei der effizienten Nutzung von raumbezogenen Informationssystemen stellt die Erfassung des Datenbestandes den Flaschenhals dar. Die Datenerfassung erfolgt daher bisher weitgehend auf der Basis von bestehendem Karten- oder Bildmaterial manuell. Dafür sind mindestens drei Gründe maßgebend:

1. Bilder natürlicher Szenen, insbesondere Luft- und Fernerkundungsbilder, weisen eine außerordentlich hohe Komplexität auf, die eine automatische Interpretation wohl noch auf lange Zeit verhindert.

2. Karten- und Pläne sind vorinterpretierte graphische Darstellungen, die - redundanzarm und thematisch, bei kleineren Maßstäben auch geometrisch generalisiert - reichhaltiges Vorwissen für die Interpretation verlangen.

3. Die Modellierung natürlicher, vor allem topographischer Objekte steht erst am Anfang und berücksichtigt im Bereich raumbezogener Informationssysteme (ATKIS) nur die Belange der Speicherung, Analyse und Visualisierung nicht die einer automatischen Datenerfassung.

[1]gekürzte Fassung eines Vortrags auf der Jahrestagung der Deutschen Gesellschaft für Photogrammetrie und Fernerkundung in Jena, 1992

Das dem DFG-Paketantrag 'Semantische Modellierung zur Extraktion räumlicher Objekte aus Bildern und Karten' zugrunde liegende Forschungsprogramm zielt daher auf die Entwicklung und Erprobung der methodischen und technischen Grundlagen der Interpretation von Bildern und Karten zur Automatisierung der Datenerfassung für raumbezogene Informationssysteme.

Die Modellierung der Semantik und ihrer Beziehungen zur Geometrie und zur Physik der abgebildeten und zu erfassenden Objekte steht im Mittelpunkt der Arbeiten.

Die methodischen Entwicklungen lassen sich in drei Bereiche gliedern.

1. Konzepte zur Modellierung von Objekten, Bildern und Karten einschließlich ihrer Analyse in einer möglichst konsistenten Repräsentation. Speziell sind Fragen der 3-D-Modellierung, der Unsicherheit der Modelle und der effizienten Kontrollstrategien zu beantworten.

2. Methoden zur Interpretation und Auswertung von Bildern und Karten. Hier geht es um die zentrale Frage der Zuordnung von aus den Daten ableitbaren Strukturen zu den als Strukturen abgelegten Bildmodellen mit Hilfe von Methoden aus der Mustererkennung, dem Bildverstehen und der sog. Künstlichen Intelligenz.

3. Methoden zur Generalisierung sowohl von Objekten (Erfassungsgeneralisierung) als auch von, etwa durch Bildinterpretation, abgeleiteten Objektbeschreibungen (kartographische Generalisierung). Im ersten Fall wird sie methodisch durch das Sensormodell (insbesondere die Auflösung), im zweiten Fall durch die Wahrnehmungsfähigkeit des Menschen (Lesbarkeit visueller Information) bestimmt.

Im Mittelpunkt des Forschungsprogramms steht der Modellierungsaspekt. In den Einzelprojekten soll die Umsetzung und Anwendung der Konzepte exemplarisch an konkreten Fragestellungen durchgearbeitet und erprobt werden.

Das Forschungsprogramm steht im Spannungsfeld zwischen Fernerkundung, Geoinformatik, Datenbanktechnik und Künstlicher Intelligenz und kann daher nur interdisziplinär bearbeitet werden. Es ist genügend gegen diese Disziplinen abgesetzt, was durch den komplexen, aber eingeschränkten Objektbereich erreicht wird.

2 Motivation

1.1 Die Forschung in den von der 'Kartenherstellung' betroffenen Disziplinen erfolgte in den letzten Jahren mit z. T. sehr unterschiedlichen Zielsetzungen und Methoden.

- In der *Photogrammetrie* war die Forschung durch geometrische Fragestellungen geprägt (Aerotriangulation, Digitale Geländemodelle, Digitale Bildzuordnung und Oberflächenrekonstruktion).

- In der *Fernerkundung* lag der Schwerpunkt der Arbeiten auf der automationsgestützten thematischen Interpretation (Bildaufbereitung, multispektrale Klassifikation, Nutzung von Zusatzwissen).

- In der *kartographischen Forschung* ging es wesentlich um das komplexe Problem der kartographischen Generalisierung mit ihren vielfältigen Wechselwirkungen zwischen Geometrie, Semantik und visueller Wahrnehmung.

- Die Forschung im Bereich *raumbezogener Informationssysteme* befaßte sich schwerpunktmäßig mit der Modellierung komplexer Objekte (Nichtstandarddatenbanken, Objektbanken) und der effizienten Verwaltung großer Datenbestände räumlicher Objekte.

Die *Querverbindungen* zwischen diesen Forschungsbereichen sind zwar vielfältig, aber bisher *kaum thematisiert*, weshalb die im einzelnen erreichten Fortschritte und Erfolge sich kaum gegenseitig unterstützen. Daher existieren bis heute kaum automatische Verfahren zur großräumigen Erfassung von Daten von raumbezogenen Informationssystemen die - im Gegensatz zu den Ergebnissen der Fernerkundung - eine gewisse strukturelle Komplexitätaufweisen.

1.2 Die Entwicklungen in den Bereichen Mustererkennung und Bildverstehen können von ihrer Zielsetzung her eine integrierende Funktion einnehmen.

Wissensbasierte Techniken werden seit mehr als 10 Jahren zur Bildanalyse eingesetzt und stellen ein reichhaltiges Arsenal an Methoden und Techniken zur Repräsentation komplexer Sachverhalte, der Interpretation von Meßdaten und der Behandlung unsicheren Wissens bereit.

Methoden zur *Analyse von Dokumenten* (Schriftstücken, technischen Zeichnungen) werden auf breiter Basis erforscht, sind regelmäßiges Thema auf Konferenzen zur Mustererkennung und z. T. schon zu Anwendungsreife gelangt.

Zwar wurde in beiden Bereichen, topographischen Objekten, u. a. wegen ihrer Komplexität, eine geringe Aufmerksamkeit zuteil. Einige Beispiele zur automatischen Luftbild- und zur Karteninterpretation lassen aber einerseits die prinzipielle Nutzbarkeit dieser Techniken erkennen. Andererseits werden in jüngster Zeit Methoden der Mustererkennung im Bereich der Kartographie und der Photogrammetrie verstärkt von einzelnen Forschern aufgegriffen. Die Zielsetzungen, das methodische Vorgehen und die Auswahl der jeweils bearbeiteten Probleme lassen aber auch hier *keinen Synergieeffekt* entstehen.

1.3 Eine *mittelfristige* erreichbare Zielsetzung wäre die Entwicklung von leistungsfähigen speziell angelegten Bild- und Kartenanalysesystemen auf der Basis vorhandener Software.

Die Entwicklung eines solchen funktionsfähigen Systems und einer Entwicklungsumgebung für Bildanalyseverfahren ist das Ziel der vom Verteidigungsministerium (DARPA) seit 1991 geförderten Projekte 'Research and Development for Image Understanding Systems' (RADIUS) und 'Image Understanding Environment' (IUE). Beide Projekte zielen auf die Integration der von der DARPA in den letzten 10 bis 15 Jahren breit geförderten Entwicklungen im Bereich Bildverstehen.

Das **RADIUS-Projekt** ist durch folgende Aspekte gekennzeichnet:

- anwendungsorientierte Entwicklung halbautomatischer Verfahren zur Unterstützung der Photointerpretation

- Fortführung von 2D/3D-Modellen
- Integration nicht-bildhafter Daten in die Analyse
- begleitende Projekte (gemeinsame Entwicklungsplattform, Technologie-Entwicklung)
- 5-jährige Forschungs- und 5-jährige Entwicklungsförderung

Das **IUE-Projekt** ist durch folgende Aspekte gekennzeichnet:

- konzeptionelle Basis zur Förderung des Austausches von Software
- Standardisierung von Sprache (C, LISP) und Objektklassenhierarchien (bisher 400 Seiten Dokumentation)
- Interaktivität
- Hilfsmittel zur Entwicklung von Algorithmen
- 1. Version bis Ende 1994, Pflege durch DARPA bis Ende 1996.

Beide Projekte berühren das hier vorgelegte Forschungsprogramm unmittelbar sowohl inhaltlich als auch organisatorisch. Eine ähnliche Bündelung ist auch hier angestrebt, um eine Beschleunigung im Fortschritt der Forschung zu erreichen.

Dieser ist jedoch *langfristig* nur über die Entwicklung einer für all diese Fragestellungen *gemeinsamen theoretischen, konzeptionellen Grundlage* zu erreichen und nicht primär durch die Standardisierung und Vereinheitlichung der Software.

3 Ziele

Ziel des Forschungsprogramms ist die Entwicklung der methodischen Grundlagen zur Automatisierung der Interpretation von Bildern und Karten zur Erfassung räumlicher Objekte. Der gemeinsamen Modellierung von Objekterfassung, -beschreibung und -nutzung fällt dabei eine zentrale Rolle zu. Wegen der hohen Komplexität der zu erfassenden Objekte sind auch halbautomatische Techniken im Blickfeld. Sie erfordern eine explizite Modellierung der Interaktion mit dem Interpreten.

Die *Bündelung der Forschung* in Photogrammetrie, Kartographie, Fernerkundung und Geoinformatik soll erreicht werden u. a. durch:

- die Entwicklung gemeinsamer Objektmodelle
- die Entwicklung generischer Interpretationsstrategieen
- die enge Kooperation mit der Informatik sowohl durch den Import von Methoden und Konzepten als auch durch gemeinsame Projekte
- 3-monatige Treffen in Arbeitsgruppen

In den Einzelprojekten an konkreten Fragestellungen soll die Umsetzung und Anwendung der Konzepte exemplarisch durchgearbeitet und erprobt werden. Die Bündelung der Aktivitäten wird zu einer gemeinsame Sprache der beteiligten Disziplinen führen.

Das *Untersuchungsobjekt* des Paketantrags läßt sich charakterisieren durch:

- räumliche Objekte (2D/3D)
- natürliche Szenen, Topographie
- automatische und semiautomatische Verfahren
- Schwerpunkt auf der Modellierung der Thematik/Semantik

Damit ergeben sich natürliche *Abgrenzungen*:

- *Fernerkundung* wird insofern integriert als nicht primär multispektrale Klassifikation Thema ist.
- *Geoinformatik* wird insofern integriert als es nicht primär um die effiziente Speicherung und die Datenanalyse geht.
- *Computer Vision und Mustererkennung* werden insoweit integriert als es nicht primär um industrielle oder medizinische Objekte geht und nur langsame Prozesses behandelt werden.
- *Informatik* wird nur insofern integriert als es nicht speziell um datenbanktechnische Aspekte geht.

Damit ist das Untersuchungsgebiet *genügend breit* um wesentliche und vor allem langfristige Fragestellungen angehen zu können, andererseits *eng genug abgegrenzt*, um mit der zu erwartenden Kapazität Lösungen zu erreichen.

4 Untersuchungsgebiet

Das Untersuchungsgebiet läßt sich in drei Teile gliedern:

1. Semantische Modellierung

   Hier geht es um Konzepte zur Modellierung von Objekten, Bildern und Karten einschließlich ihrer Analyse in einer möglichst konsistenten Repräsentation. Speziell sind Fragen der 3-D-Modellierung, der Unsicherheit der Modelle und der effizienten Kontrollstrategien zu beantworten.

2. Bild- und Karteninterpretation

   Hier ist die zentrale Frage die Zuordnung von aus den Daten ableitbaren Strukturen zu den als Strukturen abgelegten Bildmodellen mit Hilfe von Methoden aus der Mustererkennung, dem Bildverstehen und der sog. Künstlichen Intelligenz.

3. Generalisierung

   Hierunter fallen Methoden zur Generalisierung sowohl von Objekten (Erfassungsgeneralisierung) als auch von, etwa durch Bildinterpretation, abgeleiteten Objektbeschreibungen (kartographische Generalisierung). Im ersten Fall wird sie methodisch durch das Sensormodell (insbesondere die Auflösung), im zweiten Fall durch die Wahrnehmungsfähigkeit des Menschen (Lesbarkeit visueller Information) bestimmt.

Die Semantische Modellierung stellt die Grundlagen für die Interpretation und die Generalisierung zur Verfügung.

4.1 Semantische Modellierung

Sie Modellierung der Semantik ist das zentrale Arbeitsgebiet der Forschungsprogramms. Semantik meint einerseits die Beziehungen zwischen den gespeicherten Informationen und der modellierten Welt und unter den im Rechner gespeicherten Begriffen. Methodisch geht es um die Abbildung der Semantik auf eine Syntax, die rechentechnisch verarbeitbar ist, und damit eine Formalisierung des Wissens über Objekte, Bilder etc. ermöglicht.

Die geometrischen und physikalischen, evtl. auch weitere Modellanteile, werden in die sematischen Modelle integriert bzw. sind Bestandteil des jewiligen Gesamtmodells. Unter *semantischer Modellierung* wird hier die Entwicklung dieser Modelle verstanden.

Die semantischen Modelle dienen:

- zur Darstellung des Beziehungsgeflechts unter den, hier vor allem topographischen, Objekten
- zur Ableitung von Bild- bzw. Erscheinungsmodellen als Basis für die Bildinterpretation
- zur Steuerung der Interpretation
- als Basis für die kartographische Generalisierung

Im einzelnen ist eine Vielzahl von Fragestellungen zu bearbeiten. Die wichtigsten sind:

- Die Effizienz von Repräsentationsformaten (Raster-/Vektor-Format, Regeln, Rahmen, Semantische Netze)
- Die Repräsentation von 2D-/3D-Objekten (Minimalrepräsentationen, generische Modelle, automatisches geometrisches Schließen, Inverse Perspektive)
- Wahrnehmungs- und Bildmodelle (geometrische und radiometrische Invarianten der Abbildung, hierarchische Bildstrukturen, Beobachtbarkeit geometrischer, physikalischer und semantischer Größen)
- Repräsentation von Unschärfe (Ungenauigkeit von Meßgrößen, Ungenauigkeit von Begriffen, Unvollständigkeit von Modellen, nicht-monotones Schließen, Revision von Hypothesen)

4.2 Bild- und Karteninterpretation

Die Interpretation von Bildern und Karten besteht in der Zuordnung von Objekt- und Bild- bzw. Kartenstrukturen. Dazu muß aus den analogen bzw. als Raster vorliegenden Bildern bzw. Karten eine strukturierte Bild- bzw. Kartenbeschreibung abgeleitet werden, die das gleiche Repräsentationsformat wie das Bild- bzw. Erscheinungsmodell aufweist. Basis hierfür bilden vor allem die zwischen den Objekten bzw. Objektteilen bestehenden Relationen (semantische Beziehungen) und die Attribute der Objekte und Relationen.

Im einzelnen ergeben sich u. a. folgende Fragestellungen:

- Effizienz von Zuordnungsverfahren (heuristische Suchverfahren, Relaxationsverfahren, constraint-basierte Verfahren, robuste Schätzverfahren)
- Strategien (hierarchische Verfahren, Gruppierungsverfahren, Parallelisierung)
- Methodik (Merkmalsselektion, Qualitätsbewertung von Algorithmen, Repräsentation von Kontrollstrukturen)

4.3 Generalisierung und Visualisierung

Die Abstraktion und die graphische Dartellung der erfaßten Objekte erfordern eine explizite Modellierung. Dabei fällt an zwei Stellen eine Generalisierung an:

1. Bei der Erfassung der Objekte bedingt vor allem die begrenzte Auflösung und die Relevanz der Objektdetails eine *Erfassungsgeneralisierung*.
2. Bei der Visualisierung von Sachverhalten ist eine Zuordnung von Objekt- und Signaturstrukturen erforderlich, die bei der Wahrnehmung durch einen Betrachter die gewünschten Assoziationen hervorruft, d. h. die Semantik der dargestellten Objekte richtig widerspiegelt und gleichzeitig die Begrenztheit der zur Verfügung stehenden Fläche (Papier, Bildschirm etc.) berücksichtigt (*kartographische Generalisierung*).

Beide Probleme sind vom Ansatz her nur auf der symbolischen, d. h. begrifflichen Ebene lösbar.

Folgende Fragestellungen sind von besonderem Interesse:

- Erfassungsgeneralisierung (Wechselbeziehung zwischen Auflösung und Semantik, halbautomatische Erfassungsgeneralisierung, automatische Ableitung von Erscheinungsmodellen)
- Kartographische Generalisierung (Desymbolisierung, Signaturierung, Wechselwirkungen zwischen Einzelprozessen der Generalisierung)

Alle angesprochenen Fragestellungen stellen sich im Kontext der Interpretation natürlicher Szenen zum größten Teil neu. Sie finden sich in den 16 Einzelanträgen wieder. Im einzelnen kann auf Erfahrungen und Entwicklungen aus der Computergraphik, der Künstlichen Intelligenz, der Statistik oder der Wahrnehmungspsychologie zurückgegriffen werden.