

# EIN WISSENBASIERTES SYSTEM FÜR DIE AUTOMATISCHE BILDANALYSE

H. Füger, K. Jurkiewicz, K. Lütjen, U. Stilla

Forschungsinstitut für Informationsverarbeitung und Mustererkennung  
(FIM/FGAN)

Eisenstockstr. 12, D 7505 Ettlingen 6

ISPRS Commission number III

## ABSTRACT:

For an efficient map revision, the analysis of aerial images is necessary. To do this automatically, a structure based approach is presented in this paper. This approach is a model driven one. The models are implemented as knowledge basis in a blackboard system. The revision of the map starts with analysing the map itself. Based on this map information the aerial images will be analysed. Detected differences will be used for an update of the map. Some first results achieved with this approach in the field of classification of urban areas are given in this paper.

KEY WORDS: map revision, image analysis, classification, expert system, knowledge base, blackboard

## AUFGABENSTELLUNG

Zur automatischen Verifikation und Aktualisierung von veraltetem Kartenmaterial sollen Luftbilder analysiert werden. Dazu ist es notwendig, daß sowohl die Karte als auch die Luftbilder in digitalisierter Form vorliegen. In einem ersten Schritt sollen die Objekte der digitalen Karte im Luftbild verifiziert werden, d. h. aus der Karte werden Positionen für bestimmte Objekte wie Straßen, Kreuzungen, Grünflächen oder Häuser bestimmt, die dann im Luftbild an diesen Positionen wiedergefunden werden sollen. Dazu ist es notwendig, zuerst die digitalisierte Karteninformation automatisch zu analysieren, um Informationen über die zu verifizierenden Objekte (Objekttyp, Position, Geometrie des Objekts, usw.) zu erhalten. Mit dieser Information wird dann die automatische Luftbildanalyse gezielt gesteuert. Kann ein Objekt im Luftbild nicht verifiziert werden (Gebäude wurde baulich verändert, Straßen wurden verbreitert usw.), muß die aus dem Luftbild gewonnene Information in Karteninformation übertragen und die Karte an dieser Position aktualisiert werden. In einem zweiten Schritt soll dann die Karte an den Stellen aktualisiert werden, an denen sie keine Information enthält, im Luftbild jedoch bauliche Objekte analysiert werden (Grünflächen wurden bebaut, neue Straße usw.).

Zur automatischen Analyse sowohl der digitalen Karte als auch der Luftbilder wird ein strukturorientiertes Verfahren vorgeschlagen.

Im Folgenden wird die automatische Analyse von Siedlungsgebieten in Luftbildern mit diesem strukturorientierten Verfahren vorgestellt. Die Erfahrungen, die in dieser als auch in weiteren Arbeiten, wie z.B. auf dem Gebiet der bildgestützten Navigation, mit dem hier vorgestellten Verfahren gewonnen wurden, sind die Grundlage für die Arbeiten zur automatischen Verifikation und Aktualisierung von Kartenmaterial.

## STRUKTURORIENTIERTE BILDANALYSE

In dem vorgestellten Verfahren werden Objekte in Luftbildern verifiziert bzw. klassifiziert indem, ausgehend von in einem Vorverarbeitungsschritt aus dem Bild extrahierten Objektprimitiven (z.B. kurze Geradenstücke), modellgestützt immer komplexere Objektstrukturen (z.B. Streifen) aufgebaut werden, bis die zu analysierende Objekte (z.B. Häuserreihen) generiert sind.

Das Verfahren ist als Blackboardsystem [2, 4, 6, 7] realisiert, wobei jedes Modell als Wissensmodul (Verarbeitungsmodul) implementiert ist. Alle Objektstrukturen, die nach den für die Analyse vorliegenden Modellen zusammengesetzt werden kön-

nen, werden parallel aufbaut, symbolisch beschrieben und im Blackboard zum assoziativen Zugriff abgespeichert. Auftretende Fehler aus der Bildverarbeitung können zu 'falschen' Objektstrukturen führen. Da jedoch zum Aufbau von komplexeren Objektstrukturen mehrere einfachere Objektstrukturen in bestimmten Anordnungen vorhanden sein müssen, findet im allgemeinen keine Fehlerfortpflanzung statt, so daß die 'falschen' Objektstrukturen nicht weiter berücksichtigt werden.

Man kann das hier eingesetzte blackboardbasierte Verfahren als Parser interpretieren [1, 3, 5], der Bildobjekte analysiert, indem mittels geeigneter Produktionen (Modelle) Teilgraphen zu Ableitungsgraphen zusammengefaßt werden. Um alternative Bildinterpretationen betrachten zu können, werden alle Produktionen dieses Parsers im Blackboardsystem parallel angewendet. Einmal generierte Teilgraphen werden nicht gelöscht. Teilgraphen können Teile verschiedener Ableitungsgraphen sein.

Der Ablauf innerhalb des Blackboardsystems wird durch eine prioritätsgesteuerte Warteschlange (Auswahlmodul) gesteuert, die zu jedem Zeitpunkt jeweils die nächste beste Objektstruktur aus dem Blackboardspeicher liefert und ihr entsprechende Wissensmodule zuordnet. In Abbildung 1 ist die Struktur des Blackboardsystems dargestellt.

#### SYMBOLISCHE BESCHREIBUNG DER OBJEKTSTRUKTUREN

Die Objektstrukturen werden symbolisch beschrieben und in einem Blackboardspeicher zum assoziativen Zugriff abgelegt. Zur Beschreibung der Objektstrukturen werden Attribute definiert, die jeweils einen Wert annehmen können. Neben Attributen, die allgemeine Aussagen über Objektstrukturen angeben, wie Farbe, räumliche Koordinaten usw., gibt es auch ein Attribut, das die Bewertung der Objektstruktur angibt, das heißt ein Gütemaß dafür darstellt, wie 'gut' die analysierte Objektstruktur mit dem Modell dieser Struktur übereinstimmt. Der assoziative Zugriff auf Objektstrukturen im Blackboard geschieht mittels Mengenverknüpfungen über diese Attributwerte. Dazu werden Werte oder Intervalle über Attribute angegeben. So erhält man z.B. alle Objektstrukturen vom Typ 'verlängertes

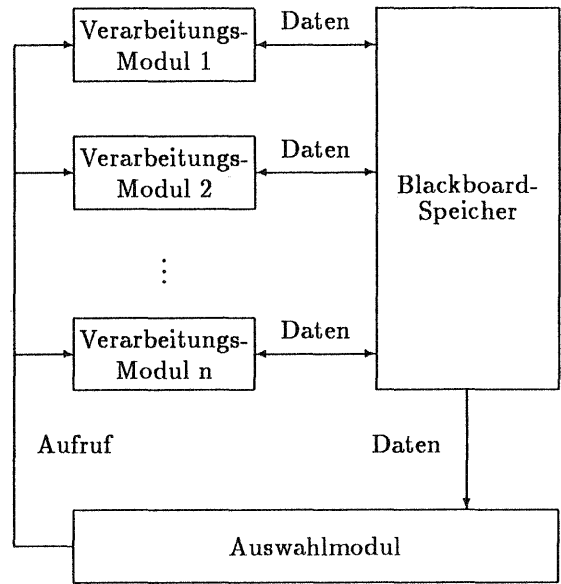


Abb. 1: Blackboardsystem

Geradenstück', die einen 'ähnlichen' Orientierungswinkel wie ein vorgegebenes  $\alpha$  haben, indem man eine erste Menge von Objekten bestimmt, die als Wert für das Attribut 'Orientierung' einen Wert innerhalb eines Intervalls  $\alpha - \Delta$  bis  $\alpha + \Delta$  besitzen und diese Menge mit einer zweiten Menge von Objekten schneidet, die für das Attribut 'Objektstruktur' den Wert 'verlängertes Geradenstück' besitzen.

In den Produktionen wird mittels dieser assoziativen Mengenbildungen, die durch Spezialhardware unterstützt werden, für eine als nächstes zu verarbeitende Objektstruktur modellgesteuert eine Menge von zusätzlich geforderten Objektstrukturen gebildet, die mit der zu verarbeitenden Objektstruktur zusammen eine komplexere Objektstruktur aufbauen könnten. Ist die Menge leer, so kann die komplexere Objektstruktur nicht aufgebaut werden. Wie die Menge zu bilden ist, wird durch das Modell der aufzubauenden Objektstruktur bestimmt, wobei dieses Modell einer 'idealen' Objektstruktur mittels Translation und Rotation in Abhängigkeit der zu verarbeitenden Objektstruktur auf die zu analysierende 'reale' Objektstruktur angepaßt werden muß. Als Beispiel ist für das Modell 'Streifen' der explizite Aufbau in Abbildung 2 dargestellt. Ausgehend von einer Objektstruktur 'verlängertes Geradenstück', das in der Abbildung dick gezeichnet ist

(triggerndes Objekt), werden andere Objektstrukturen vom Typ 'verlängertes Geradenstück' gesucht, die sowohl parallel zu dem triggernden Objekt sind als auch mindestens einen Endpunkt in einem der Suchräume A0 und A1 besitzen. In der Produktion, die nach diesem Modell die gesuchte Objektstruktur aufbaut, muß zuerst die Orientierung des zu verarbeitenden 'verlängerten Geradenstücks' ermittelt werden und danach ein Suchraum A0 und ein Suchraum A1 mit Abstand  $d_g$  (links bzw. rechts von der zu verarbeitenden Objektstruktur) für die anderen Objektstrukturen aufgebaut werden. Ist die Menge im Suchraum A1 nicht leer, so wird mit diesen Objektstrukturen zusammen mit den Objektstrukturen die im Suchraum A0 liegen die Objektstruktur 'Streifen' aufgebaut.

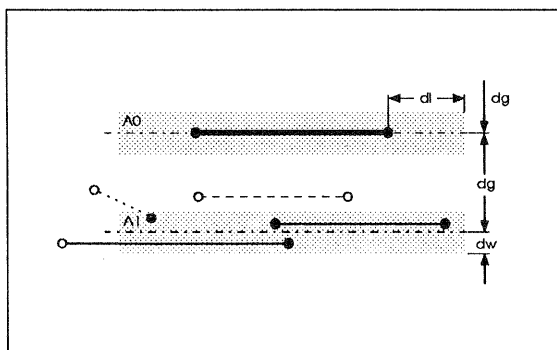


Abb. 2: Modellierung eines Streifens

BILDVORVERARBEITUNG

Für die Aufgabe der Siedlungsklassifikation wurde eine einfache Vorverarbeitung gewählt, die das Grauwertgebirge des gewählten Bildausschnittes in mehreren Ebenen schneidet. Der so gewonnene Höhenlinienverlauf wird anschließend mit kurzen Geradenstücken (Objektprimitiven) approximiert. Die Objektprimitive werden in Abhängigkeit von ihrer Approximationsgüte bewertet und in den Datenspeicher (Blackboard) eingetragen. Sie dienen dem Klassifikationsverfahren als Eingangsdaten, aus denen Hypothesen über immer komplexere Objekte abgeleitet werden [6].

Für die Siedlungsanalyse wurden für die Objekte 'Häuser einer Siedlung', 'bestimmte Dachkonstruktionen von Industrieanlagen' (Reihe schräggestellter Fenster) und 'Straßennetz' Modelle erstellt und Produktionen, welche Objektstrukturen entsprechend der Modelle aufbauen, als Wissensmodule implementiert.

Die bei dieser Analyse zu überprüfenden logischen Zusammenhänge (Modelle) können mit einem sogenannten "Produktionsnetz" dargestellt werden. Die Knoten des Netzes sind zu berücksichtigende Objekte (bzw. Symbole), die Kanten geben an, welche Symbole aus anderen Symbolen entstehen können. Zwischen den Kanten werden diejenigen Prädikate angegeben, die zu überprüfen sind, bevor ein neues Symbol generiert wird. Dabei stehen elementare Symbole unterhalb der abstrakten Symbole, die aus den elementaren "zusammengesetzt", d.h. logisch abgeleitet werden. In Abbildung 3 ist das vollständige Produktionsnetz, das für die Klassifikation von Siedlungsgebieten verwendet wurde, angegeben.

AUSBLICK

In Abbildung 4 ist ein Ergebnis der Siedlungsklassifikation dargestellt. Dabei sind sowohl die Häuser einer Häuserreihe als auch die Fensterreihen des Fabrikdaches weiß umrandet und untereinander verbunden und die als Straße interpretierten Streifen weiß gefüllt dargestellt. Die Erfassung der Umriss der Häuser einer Häuserreihe erfolgte in manchen Fällen nur ungenau. Das lag vor allem an der Ungenauigkeit der Vorverarbeitung und dem vagen Modell zur Bildung der Doppelrechtecke. Jedoch wurden die Häuserreihen und das Industriedach bzgl. ihres Ortes und ihrer Ausdehnung in den meisten Fällen richtig lokalisiert, ebenso hinsichtlich der Positionen der Einzelhäuser der Häuserreihen bzw. der Doppelrechtecke des Industriedaches.

Für die Aufgabenstellung der Aktualisierung von Karteninformation dürfte eine einfache systematische Vorverarbeitung zur Analyse der Karteninformation ausreichen. Im Luftbild jedoch wird eine gezielte, von der Analyse der Karte abhängige Vorverarbeitung notwendig sein (top down), um Umriss präzise zu bekommen. Diese Vorverarbeitung

im Luftbild muß jedoch nicht das ganze Bild systematisch verarbeiten, sondern nur an fest vorgegebenen Positionen im Bild ablaufen. Somit kann eine aufwendige Vorverarbeitung eingesetzt werden, ohne den Rechenaufwand stark zu erhöhen.

Der Analyseaufwand bei der Klassifikation ohne Vorwissen ist immens. So sind bei einem  $1024^2$  großen Bild typischerweise 250000 Objektstrukturen zu bearbeiten. Der Aufwand dürfte sich beträchtlich verringern, wenn Vorwissen aus der digitalen Karten vorhanden ist.

#### LITERATUR

- [1] A.V. Aho, J. D.Ullman *The theory of parsing, translation and compiling*, Vol. 1. Parsing, Prentice Hall., Englewood Cliffs, 1972
- [2] L.D. Erman, F. Hayes-Roth, V.R. Lesser, R. Reddy *The HEARSAY-II speech-understanding system*, Comp. Surveys 12, 1980
- [3] K.S. Fu *Syntactic pattern recognition and applications*, Prentice Hall, 1982
- [4] H. Füger, H.-J. Greif, K. Jurkiewicz, K. Lütjen *Auswahlverfahren für die wissenbasierte Bildauswertung mit dem Blackboard-basierten Produktionssystem BPI*, Informatik-Fachb. 149, Springer-Verlag, 1987
- [5] R.C. Gonzalez, M.G. Thomason *Syntactic pattern recognition*, Addison-Wesley, 1978
- [6] K. Lütjen *BPI: Ein Blackboard-basiertes Produktionssystem für die automatische Bildauswertung*, Informatik-Fachb. 125, Springer-Verlag, 1986
- [7] P. Nii *The blackboard model of problem solving*, AI Magazine 7, No. 2, 1986

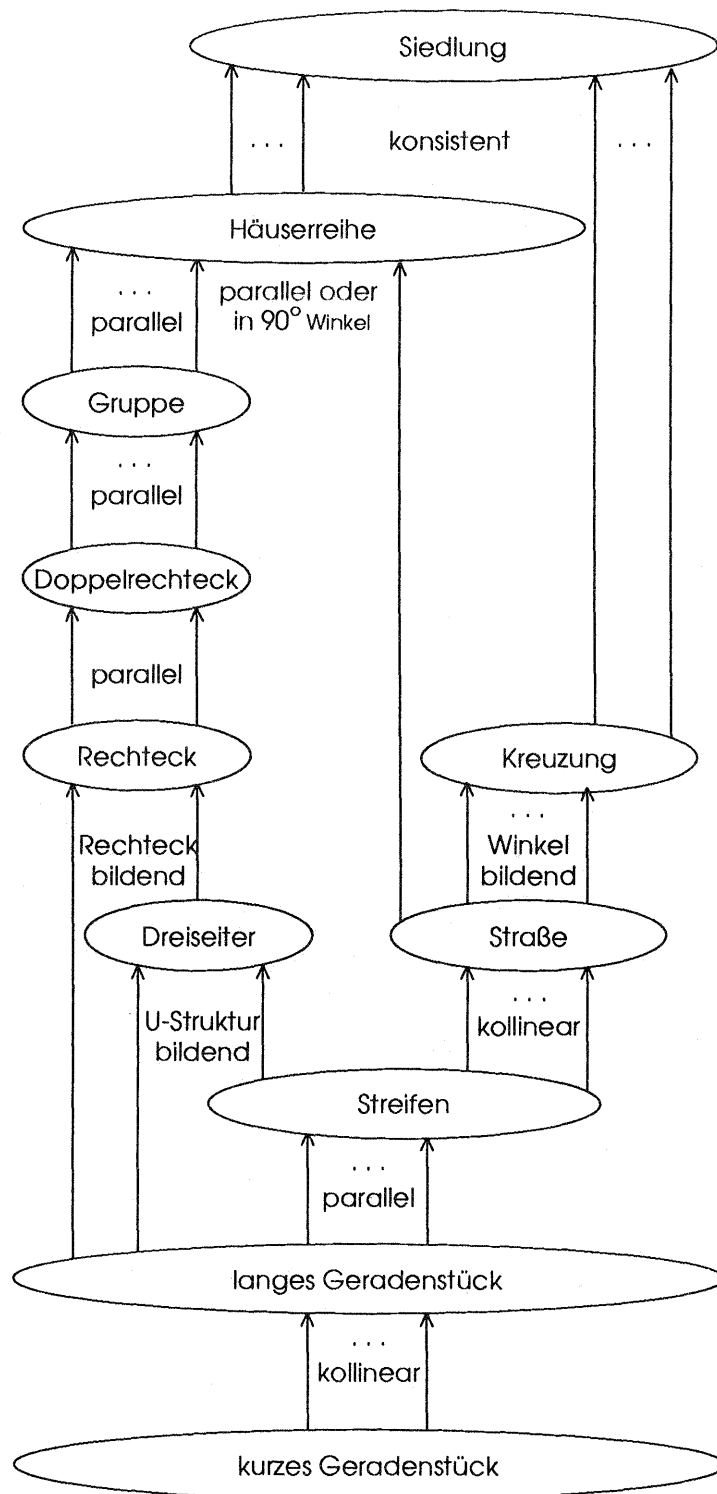
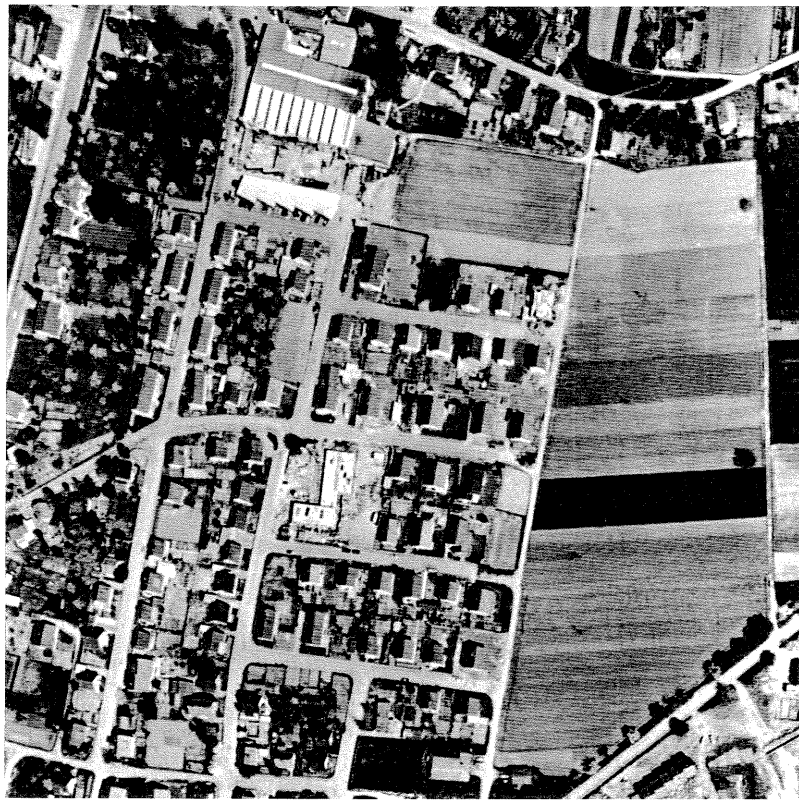


Abb. 3: Produktionsnetz eines Siedlungsmodells



a)



b)

Abb. 4: Klassifikation von Siedlungsgebieten

a) Ausgangsbild

b) Ergebnis der Klassifikation