

**Leitfäden der angewandten Informatik**

**H. Bunke**

**Modellgesteuerte Bildanalyse**

# Leitfäden der angewandten Informatik

Herausgegeben von

Prof. Dr. L. Richter, Zürich

Prof. Dr. W. Stucky, Karlsruhe

Die Bände dieser Reihe sind allen Methoden und Ergebnissen der Informatik gewidmet, die für die praktische Anwendung von Bedeutung sind. Besonderer Wert wird dabei auf die Darstellung dieser Methoden und Ergebnisse in einer allgemein verständlichen, dennoch exakten und präzisen Form gelegt. Die Reihe soll einerseits dem Fachmann eines anderen Gebietes, der sich mit Problemen der Datenverarbeitung beschäftigen muß, selbst aber keine Fachinformatik-Ausbildung besitzt, das für seine Praxis relevante Informatikwissen vermitteln; andererseits soll dem Informatiker, der auf einem dieser Anwendungsgebiete tätig werden will, ein Überblick über die Anwendungen der Informatikmethoden in diesem Gebiet gegeben werden. Für Praktiker, wie Programmierer, Systemanalytiker, Organisatoren und andere, stellen die Bände Hilfsmittel zur Lösung von Problemen der täglichen Praxis bereit; darüber hinaus sind die Veröffentlichungen zur Weiterbildung gedacht.

# **Modellgesteuerte Bildanalyse**

Dargestellt anhand eines Systems  
zur automatischen Auswertung von  
Sequenzsintigrammen des menschlichen Herzens

Von Dr.-Ing. Horst Bunke  
Professor an der Universität Bern

Mit zahlreichen Abbildungen



**B. G. Teubner Stuttgart 1985**

Prof. Dr.-Ing. Horst Bunke

Geboren 1949 in Langenzenn (Bayern). Von 1968 bis 1974 Studium der Informatik an der Universität Erlangen-Nürnberg und dort wissenschaftliche Tätigkeit von 1974 bis 1984. 1980/81 Forschungsaufenthalt an der Purdue University, West-Lafayette, USA. 1983 Vertretung einer Professur an der Universität Hamburg. Seit 1984 Professor für Informatik an der Universität Bern.

CIP-Kurztitelaufnahme der Deutschen Bibliothek

**Bunke, Horst:**

Modellgesteuerte Bildanalyse : dargest. anhand e. Systems zur automat. Auswertung von Sequenzsintigrammen d. menschl. Herzens von Horst Bunke.

Stuttgart : Teubner, 1985.

(Leitfäden der angewandten Informatik)

ISBN 978-3-519-02481-1

ISBN 978-3-322-93008-8 (eBook)

DOI 10.1007/978-3-322-93008-8

Das Werk ist urheberrechtlich geschützt. Die dadurch begründeten Rechte, besonders die der Übersetzung, des Nachdrucks, der Bildentnahme, der Funksendung, der Widergabe auf photomechanischem oder ähnlichem Wege, der Speicherung und Auswertung in Datenverarbeitungsanlagen, bleiben auch bei Verwertung von Teilen des Werkes, dem Verlag vorbehalten.

Bei gewerblichen Zwecken dienender Vervielfältigung ist an den Verlag gemäß § 54 UrhG eine Vergütung zu zahlen, deren Höhe mit dem Verlag zu vereinbaren ist.

© B. G. Teubner Stuttgart 1985

Softcover reprint of the hardcover 1st edition 1985

Gesamtherstellung: Zehnersche Buchdruckerei GmbH, Speyer  
Umschlaggestaltung: M. Koch, Reutlingen

# Vorwort

Wissensbasierte Verarbeitung von Daten, ein Teilgebiet der künstlichen Intelligenz innerhalb der Informatik, gewinnt zunehmend an Bedeutung. Die Anfänge wissensbasierter Systeme und künstlicher Intelligenz reichen bis in die 50er Jahre zurück und somit hat dieses Gebiet - gemessen an der Geschichte der Informatik - eine lange Tradition. Seit etwa 1980 ist jedoch eine starke Zunahme des Interesses an Fragen zu wissensbasierten Systemen festzustellen. Diese Entwicklung ist u.a. begründet durch zahlreiche Forschungsprogramme, die weltweit ins Leben gerufen wurden.

Systeme zur modellgesteuerten Verarbeitung und Analyse von Bildern stellen eine interessante und wichtige Teilklasse allgemeiner wissensbasierter Systeme dar. Derartige Systeme stehen im Mittelpunkt der vorliegenden Publikation. Das Buch gliedert sich in zwei Teile. Der erste Teil behandelt die wissensbasierte Bildanalyse unter allgemeinen Gesichtspunkten in breitem Rahmen. Hierbei wird auch auf Methoden zur Extraktion elementarer Bildbestandteile eingegangen, d.h. auf Vorverarbeitung und Segmentierung. Im zweiten Teil erfolgt die detaillierte Beschreibung eines unter der Leitung des Autors an der Universität Erlangen-Nürnberg entwickelten wissensbasierten Systems zur Bildanalyse. Der Anwendungsbereich dieses Systems liegt in der Medizin, genauer gesagt in der Herzdiagnostik. Die verwendeten Methoden sind jedoch zum überwiegenden Teil so allgemein, dass das vorgestellte System als eine prototypische Realisierung eines allgemeinen, wissensbasierten Bildanalyse-Systems verstanden werden kann.

Das Buch wendet sich an Informatiker mit Schwerpunkt Bildverarbeitung, Künstliche Intelligenz oder medizinische Informatik sowie an Studenten entsprechender Fachrichtungen, welche einen Einstieg in das Gebiet suchen oder bereits vorhandene Kenntnisse vertiefen wollen. Dem Neuling wird ein Eindringen in das Gebiet über den ersten Teil des Buches ermöglicht. Hier erfolgt eine Erläuterung der wichtigsten grundlegenden Konzepte der wissensbasierten Bildanalyse, wobei vor allem auch die weiterführende Literatur zitiert wird. Der zweite Teil des Buches kann als Ergänzung und Vertiefung von Teil 1 angesehen werden. Es wird hier gezeigt, wie sich die im ersten Teil beschriebenen Methoden zur Lösung einer komplexen Aufgabenstellung konkret anwenden und kombinieren lassen.

Der grösste Teil der vorliegenden Arbeit entstand während der Tätigkeit des Autors am Lehrstuhl für Informatik 5 (Mustererkennung) an der Universität Erlangen-Nürnberg. Herrn Prof. Dr. H. Niemann, dem Lehrstuhlinhaber, sei sehr herzlich gedankt für die grosszügige Unterstützung und die zahlreichen Anregungen, die er mir während meiner langjährigen Mitarbeit in seiner Gruppe zukommen liess.

Das im zweiten Teil des Buches beschriebene wissensbasierte Bildanalysesystem entstand als Forschungsprojekt unter Mitwirkung zahlreicher Personen, denen ich meinen herzlichen Dank aussprechen möchte, insbesondere G. Sagerer, I. Hofmann, F. Wolf, H. Feistel, D.P. Pretschner. Ohne auf einzelne Namen einzugehen möchte ich mich bei allen am Projekt beteiligten studentischen Mitarbeitern bedanken. Mein Dank gebührt schliesslich W. Obermayer, J. Fischer, U. Müller, B. Bachmann und M. Schär für die Unterstützung bei der Gestaltung des Manuskripts. Die Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG) gewährte in grösserem Umfang Sachbeihilfen zur Durchführung des Projekts.

Bern, Januar 1985

H. Bunke

# Inhalt

Seite

|   |     |
|---|-----|
| <u>Teil 1: Modellgesteuerte Bildanalyse</u>   | 1   |
| 1.1 Einleitung  | 2   |
| 1.2 Extraktion elementarer Bildbestandteile   | 6   |
| 1.2.1 Bildvorverarbeitung und -verbesserung   | 7   |
| 1.2.2 Kantenorientierte Segmentierung   | 10  |
| 1.2.3 Regionenorientierte Segmentierung   | 15  |
| 1.2.4 Textur  | 20  |
| 1.2.5 Bestimmung von 3D-Information   | 21  |
| 1.2.6 Analyse von Bildfolgen  | 25  |
| 1.2.7 Strukturelle Repräsentation   | 30  |
| 1.3 Methoden der Wissensrepräsentation  | 33  |
| 1.3.1 Graphen, Relationalstrukturen, semantische Netze und Frames   | 33  |
| 1.3.2 Produktionensysteme   | 45  |
| 1.3.3 Formale Grammatiken   | 52  |
| 1.3.4 Sonstige Ansätze  | 66  |
| 1.4 Wissensnutzung und Kontrolle  | 66  |
| 1.4.1 Allgemeine Suchverfahren  | 67  |
| 1.4.2 Matching von Graphen und Relationalstrukturen   | 72  |
| 1.4.3 Methoden der Syntaxanalyse  | 78  |
| 1.4.4 Relaxationsverfahren  | 85  |
| 1.4.5 Sonstige Ansätze  | 93  |
| 1.5 Uebersicht über bestehende Systeme  | 96  |
| 1.5.1 Luftbildauswertung (NAGAO/MATSUYAMA 1980)   | 96  |
| 1.5.2 Szenenanalyse (OHTA 1980)   | 98  |
| 1.5.3 Szenenanalyse (RUBIN 1980)  | 100 |
| 1.5.4 Szenenanalyse (HANSON/RISEMAN 1978)   | 101 |
| 1.5.5 Szenenanalyse (LEVINE 1978)   | 103 |
| 1.5.6 Szenenanalyse (BROOKS 1981)   | 105 |
| 1.5.7 Sonstige Systeme  | 107 |
| 1.6 Zusammenfassung   | 110 |
| <u>Teil 2: Ein wissensbasiertes Bildanalysessystem zur automatischen Auswertung von Sequenzszintigrammen des menschlichen Herzens</u> | 116 |
| 2.1 Einleitung  | 117 |
| 2.1.1 Ziele und Motivation  | 117 |
| 2.1.2 Bildaufnahme  | 122 |
| 2.1.3 Systemübersicht   | 127 |
| 2.2 Extraktion elementarer Bildbestandteile   | 131 |
| 2.2.1 Bildinhalt  | 131 |
| 2.2.2 Bildglättung  | 133 |
| 2.2.3 Detektion der Herzkontur-Schwellwertmethoden  | 137 |
| 2.2.4 Gradientenorientierte Detektion des linken Ventrikels   | 142 |
| 2.2.5 Segmentierung des linken Ventrikels - feste Sektoren  | 159 |
| 2.2.6 Segmentierung des linken Ventrikels nach anatomischen Kriterien   | 161 |
| 2.3 Modell und Instanzen  | 169 |
| 2.3.1 Modellsyntax und -implementierung   | 169 |

|       |   |     |
|-------|---|-----|
| 2.3.2 | Deklaratives Wissen   | 177 |
| 2.3.3 | Prozedurales Wissen - allgemeine Aspekte                    | 186 |
| 2.3.4 | Basisbewegungen und Bewegungen                              | 188 |
| 2.3.5 | Anatomische Zyklusinterpretation                            | 198 |
| 2.3.6 | Ein Produktionensystem zur Ableitung von<br>Diagnosen       | 202 |
| 2.3.7 | Sicherheitsfaktoren und Strukturen                          | 211 |
| 2.3.8 | Instanzen   | 212 |
| 2.4   | Kontrolle   | 215 |
| 2.4.1 | Top-down Netzwerkexpansion und Bottom-up<br>Instanziierung  | 216 |
| 2.4.2 | Behandlung von Mehrdeutigkeiten durch<br>heuristische Suche | 224 |
| 2.5   | Benutzerschnittstelle                                       | 234 |
| 2.5.1 | Interaktive Auswahl des Zielkonzepts                        | 234 |
| 2.5.2 | Lesen und Ausgabe der Instanzen                             | 239 |
| 2.6   | Experimentelle Ergebnisse und Erfahrungen                   | 245 |
| 2.6.1 | Allgemeines   | 245 |
| 2.6.2 | Beurteilung der Konturen des linken Ventrikels              | 246 |
| 2.6.3 | Beurteilung der abgeleiteten Diagnosen                      | 251 |
| 2.6.4 | Vorschläge für weitere Arbeiten                             | 255 |
| 2.7   | Zusammenfassung   | 257 |
|       | Literatur   | 261 |
|       | Sachregister  | 297 |