Leitfäden und Monographien der Informatik

Brauer: **Automatentheorie**

493 Seiten. Geb. DM 58,—

Loeckx/Mehlhorn/Wilhelm: **Grundlagen der Programmiersprachen**

448 Seiten. Kart. DM 42,—

Mehlhorn: **Datenstrukturen und effiziente Algorithmen**

Band 1: Sortieren und Suchen

324 Seiten. Kart. DM 42,—

Messerschmidt: **Linguistische Datenverarbeitung mit Comskee**

207 Seiten. Kart. DM 36,—

Niemann/Bunke: **Künstliche Intelligenz in Bild- und Sprachanalyse**

256 Seiten. Kart. DM 38,—

Pflug: **Stochastische Modelle in der Informatik**

272 Seiten. Kart. DM 36,—

Richter: **Betriebssysteme**

2., neubearbeitete und erweiterte Auflage

303 Seiten. Kart. DM 36,—

Wirth: **Algorithmen und Datenstrukturen**

Pascal-Version

3., überarbeitete Auflage

320 Seiten. Kart. DM 38,—

Wirth: **Algorithmen und Datenstrukturen mit Modula - 2**

4., überarbeitete und erweiterte Auflage

299 Seiten. Kart. DM 38,—

Leitfäden der angewandten Informatik

Bauknecht/Zehnder: **Grundzüge der Datenverarbeitung**

Methoden und Konzepte für die Anwendungen

3. Aufl. 293 Seiten. DM 34,—

Beth / Heß / Wirl: **Kryptographie**

205 Seiten. Kart. DM 25,80

Bunke: **Modellgesteuerte Bildanalyse**

309 Seiten. Geb. DM 48,—

Craemer: **Mathematisches Modellieren dynamischer Vorgänge**

288 Seiten. Kart. DM 36,—

Frevert: **Echtzeit-Praxis mit PEARL**

216 Seiten. Kart. DM 32,—

Gorny/Viereck: **Interaktive grafische Datenverarbeitung**

256 Seiten. Geb. DM 52,—

Hofmann: **Betriebssysteme: Grundkonzepte und Modellvorstellungen**

253 Seiten. Kart. DM 34,—

Holtkamp: **Angepaßte Rechnerarchitektur**

233 Seiten. DM 38,—

Hultzsch: **Prozeßdatenverarbeitung**

216 Seiten. Kart. DM 25,80

Kästner: **Architektur und Organisation digitaler Rechenanlagen**

224 Seiten. Kart. DM 25,80

Kleine Büning/Schmitgen: **PROLOG**

304 Seiten. Kart. DM 34,—

Fortsetzung auf der 3. Umschlagseite

**Leitfäden und Monographien
der Informatik**

**H. Niemann/H. Bunke
Künstliche Intelligenz in
Bild- und Sprachanalyse**

Leitfäden und Monographien der Informatik

Unter beratender Mitwirkung von

Prof. Dr. Hans-Jürgen Appelrath, Zürich
Dr. Hans-Werner Hein, St. Augustin
Dr. Rolf Pfeifer, Zürich
Dr. Johannes Retti, Wien
Prof. Dr. Michael M. Richter, Kaiserslautern

Herausgegeben von

Prof. Dr. Volker Claus, Oldenburg
Prof. Dr. Günter Hotz, Saarbrücken
Prof. Dr. Klaus Waldschmidt, Frankfurt

Die Leitfäden und Monographien behandeln Themen aus der Theoretischen, Praktischen und Technischen Informatik entsprechend dem aktuellen Stand der Wissenschaft. Besonderer Wert wird auf eine systematische und fundierte Darstellung des jeweiligen Gebietes gelegt. Die Bücher dieser Reihe sind einerseits als Grundlage und Ergänzung zu Vorlesungen der Informatik und andererseits als Standardwerke für die selbständige Einarbeitung in umfassende Themenbereiche der Informatik konzipiert. Sie sprechen vorwiegend Studierende und Lehrende in Informatik-Studiengängen an Hochschulen an, dienen aber auch den in Wirtschaft, Industrie und Verwaltung tätigen Informatikern zur Fortbildung im Zuge der fortschreitenden Wissenschaft.

Künstliche Intelligenz in Bild- und Sprachanalyse

Von Dr.-Ing. Heinrich Niemann
Professor an der Universität Erlangen-Nürnberg
und Dr.-Ing. Horst Bunke
Professor an der Universität Bern

Mit zahlreichen Bildern

B. G. Teubner Stuttgart 1987

Prof. Dr.-Ing. Heinrich Niemann

Von 1960 bis 1966 Studium der Elektrotechnik an der Technischen Universität Hannover, Studienaufenthalt 1966/67 an der University of Illinois in Urbana mit einem Stipendium der Studienstiftung des Deutschen Volkes. Von 1967 bis 1972 wissenschaftliche Tätigkeit, zuletzt als Leiter einer biokybernetischen Arbeitsgruppe, am Fraunhofer Institut für Informationsverarbeitung in Technik und Biologie in Karlsruhe, von 1973 bis 1975 Dozent im Fachbereich elektrische Nachrichtentechnik an der Fachhochschule Gießen, und seit 1975 Professor für Informatik an der Universität Erlangen.

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

Niemann, Heinrich:

Künstliche Intelligenz in Bild- und Sprachanalyse / von Heinrich Niemann u. Horst Bunke. – Stuttgart: Teubner, 1987.

(Leitfäden und Monographien der Informatik)

ISBN 978-3-519-02261-9

ISBN 978-3-322-96664-3 (eBook)

DOI 10.1007/978-3-322-96664-3

NE: Bunke, Horst:

Das Werk einschließlich aller seiner Teile ist urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung außerhalb der engen Grenzen des Urheberrechtsgesetzes ist ohne Zustimmung des Verlages unzulässig und strafbar. Das gilt besonders für Vervielfältigungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen und die Einspeicherung und Verarbeitung in elektronischen Systemen.

© 1987 B. G. Teubner Stuttgart

Gesamtherstellung: Zehnersche Buchdruckerei GmbH, Speyer

Umschlaggestaltung: M. Koch, Reutlingen

Vorwort

Der vorliegende Band behandelt Verfahren der Künstlichen Intelligenz (KI) in der Bild- und Sprachanalyse, also in einem Teilgebiet der Mustererkennung (ME). Die Definition und Abgrenzung von Begriffen wie KI und ME wird in der Literatur nicht einheitlich gehandhabt; es ist aber wichtig daran zu erinnern, daß beide aus ihrer Frühzeit gemeinsame Wurzeln haben. Die Fähigkeit zur Erkennung von Mustern, und ganz allgemein zur Wahrnehmung der Umwelt mit geeigneten Sensoren, wurde als wesentliche Voraussetzung für autonom agierende "intelligente" technische Systeme angesehen. Einerseits wurde in ersten Veröffentlichungen über KI immer wieder die ME als ein zu lösendes Problem genannt, andererseits wurde als wichtiges Problem in der ME die Einbeziehung von Wissen über das Problem und die zu erkennenden Muster gefordert. Die Wichtigkeit der Wissensverarbeitung in der ME läßt sich in Forschungsanträgen schon aus dem Ende der fünfziger Jahre nachlesen. Zu dieser Zeit war der Stand der ME natürlich noch nicht so weit entwickelt wie heute, er stand praktisch auf der Stufe der Extraktion und Klassifikation von Merkmalvektoren. Leider wird immer noch vielfach ME mit diesem Anfangsstand der Technik verwechselt und nicht die generelle Aufgabe, nämlich die automatische Verarbeitung, Auswertung und Interpretation sensorischer Information gesehen. Inzwischen sind auf dem Sektor der Wissensverarbeitung in der KI solche Fortschritte erzielt worden, daß man in der ME die Nutzung von Wissen nicht mehr nur fordern sondern tatsächlich auch durchführen kann. Es ist der Zweck dieses Bandes, eine Einführung in die relevanten Techniken zu geben.

Das Buch wendet sich an Fachleute, die sich mit der Vorgehensweise vertraut machen wollen und an Studenten, die vertiefte Kenntnisse in der Bild- und Sprachanalyse erwerben wollen. Vom Leser werden gewisse Grundkenntnisse in Mathematik, Logik und Informatik erwartet wie sie etwa einem Vordiplom in Informatik entsprechen.

In einer Einführung wird ein Gesamtüberblick über die Vorgehensweise bei der

VI

Bild- und Sprachanalyse gegeben, während der eigentliche Schwerpunkt des Buches bei der Wissensrepräsentation, -nutzung und -akquisition liegt, also die Verarbeitung auf unterer Ebene nicht weiter behandelt. In den folgenden vier Kapiteln wird auf die Verwendung der Logik, der Relationalstrukturen und semantischen Netze, der Regelsysteme sowie kurz auf einige weitere Ansätze zur Wissensrepräsentation und -nutzung eingegangen. Kapitel 6 behandelt das Problem der Kontrolle eines Analyseprozesses, wobei insbesondere auch auf das Bewertungsproblem eingegangen wird. Die Möglichkeiten zur Wissensakquisition werden im nächsten Kapitel behandelt, wobei der automatische Wissenserwerb (das Lernen) im Vordergrund steht. Die Kapitel 8 und 9 schließlich geben als Beispiele eine genauere Erörterung zweier realisierter Anwendungen wissensbasierter Analyseverfahren aus den Bereichen der Auswertung nuklearmedizinischer Bildfolgen und des Verstehens kontinuierlich gesprochener Sprache

Die Autoren danken dem Teubner Verlag, vertreten durch Herrn Dr. Spuhler, sowie dem Herausgeber, Herrn Prof. Claus, für die Unterstützung bei der Fertigstellung des Buches. Sie danken ferner Frau R. Mast, Frau U. Müller und Frau T. Wille für die Reinschrift des Manuskripts sowie den Herren A. Cieslik, J. Fischer und A. Ültzchi für die Erstellung der Zeichnungen.

Erlangen und Bern, im Frühjahr 1987

H. Niemann und H. Bunke

Inhalt

1	Einführung	1
1.1	Anliegen	1
1.2	Systemstruktur	5
1.3	Vorverarbeitung	14
1.4	Segmentierung von Bildern	18
1.5	Segmentierung von Sprache	25
1.6	Anwendungen	28
1.7	Bibliografischer Rückblick	29
2	Formale Logik	31
2.1	Grundlagen des Prädikatenkalküls 1. Ordnung	31
2.2	Umformung in Klausel-Form	37
2.3	Substitution und Unifikation	41
2.4	Resolutionsregel	43
2.5	Beweisen von Theoremen durch Resolution	46
2.6	Konstruktives Beweisen	50
2.7	Logisches Programmieren und Horn-Klauseln	53
2.8	Aufgaben	59
2.9	Bibliografischer Rückblick	60
3	Relationalstrukturen und semantische Netze	63
3.1	Graphen und Relationalstrukturen	64
3.2	Semantische Netze - Konzepte und Instanzen	68
3.3	Semantische Netze - Relationen und Vererbung	75
3.4	Wissensnutzung in Relationalstrukturen und semantischen Netzen	81
3.4.1	Vergleich von Relationalstrukturen	81
3.4.2	Wissensnutzung in semantischen Netzen	83
3.5	Semantische Netze und Prädikatenkalkül	87
3.6	Aufgaben	90
3.7	Bibliografischer Rückblick	91
4	Regelsysteme	93
4.1	Wissens- und Datenbasis	93
4.2	Interpreter	98
4.2.1	Vorwärtsableitung	99
4.2.2	Rückwärtsableitung	104
4.3	Erweiterungen	110
4.4	Zusammenhänge mit Prädikatenkalkül und semantischen Netzen	112
4.5	Aufgaben	116
4.6	Bibliografischer Rückblick	117
5	Andere Repräsentationsformalismen	120
5.1	Grammatiken	120
5.1.1	Formale Grammatiken	120
5.1.2	Syntaktische Regeln	122
5.2	Relaxationsverfahren	126
5.3	Prototypen	127
5.4	Diskriminantenfunktionen	128
5.5	Markov Modelle	129

VIII

5.5.1	Definition	129
5.5.2	Wahrscheinlichkeit einer Beobachtung	130
5.5.3	HMM in der Sprachverarbeitung	131
5.6	Aufgaben	134
5.7	Bibliografischer Rückblick	135
6	Kontroll- und Suchalgorithmen	137
6.1	Aufgabe und prinzipielle Vorgehensweise	137
6.2	Planung	139
6.3	Bewertung	140
6.3.1	Alternative Transformationen	141
6.3.2	Segmentierungsergebnisse	141
6.3.3	Unsichere Aussagen	143
6.3.4	Ungenaue Aussagen	146
6.3.5	Ungenaue Schlussfolgerungen	148
6.3.6	Prioritäten	151
6.3.7	Anmerkungen	152
6.4	Suche	153
6.4.1	Verfahren	153
6.4.2	Allgemeine Graphsuche	155
6.4.3	Knotenbewertung	158
6.4.4	Dynamische Programmierung	161
6.4.5	Aufwandsreduktion	162
6.5	Aufgaben	163
6.6	Bibliografischer Rückblick	164
7	Wissenserwerb	166
7.1	Formen des Wissenserwerbs	166
7.2	Parameterlernen und Konstruktion von Grammatiken	168
7.3	Manueller Wissenserwerb	169
7.4	Interaktiver Wissenserwerb	170
7.5	Automatischer Wissenserwerb	174
7.5.1	Voraussetzungen	175
7.5.2	Repräsentation von Beobachtungen	176
7.5.3	Prinzipien der Generalisierung	179
7.5.4	Abstandsmaße	181
7.5.5	Generalisierungsregeln	185
7.5.6	Qualitätsmaße	188
7.5.7	Schema der Algorithmen	189
7.6	Aufgaben	195
7.7	Bibliografischer Rückblick	196
8	Wissensbasierte Analyse nuklearmedizinischer Bildfolgen	198
8.1	Datengewinnung und medizinische Hintergründe	198
8.2	Systemübersicht	201
8.3	Verarbeitung auf unterer Ebene	204
8.4	Modell	208
8.4.1	Modellsyntax	208
8.4.2	Modell - Deklaratives Wissen	209
8.4.3	Modell - Prozedurales Wissen	214
8.5	Kontrolle	217
8.6	Ergebnisse und Diskussionen	221
8.7	Aufgaben	222
8.8	Bibliografischer Rückblick	224
9	Verstehen gesprochener Sprache	227

IX

9.1	Ziele	227
9.2	Verarbeitung auf unterer Ebene	228
9.3	Wissensbasierte Verarbeitung der Sprache	230
	9.3.1 Semantische Verarbeitung	230
	9.3.2 Pragmatische Verarbeitung	233
	9.3.3 Weitere Verarbeitung	240
9.4	Bibliografischer Rückblick	241