

Christoph Beierle
Gabriele Kern-Isberner

Methoden wissensbasierter Systeme

**Grundlagen – Algorithmen –
Anwendungen**

2., überarbeitete und erweiterte Auflage



Inhaltsverzeichnis

Vorwort zur 1. Auflage	v
Vorwort zur 2., erweiterten Auflage	vii
Inhaltsverzeichnis	ix
1 Einleitung	1
1.1 Über dieses Buch	1
1.2 Themenbereiche des Buches	2
2 Wissensbasierte Systeme im Überblick	6
2.1 Beispiele für wissensbasierte Systeme	6
2.1.1 Geldabheben am Automaten	6
2.1.2 Medizinische Diagnose	8
2.2 Wissensbasierte Systeme und Expertensysteme	10
2.3 Eigenschaften von Experten und Expertensystemen	10
2.4 Zur Geschichte wissensbasierter Systeme	12
2.5 Das medizinische Diagnosesystem MYCIN	13
2.6 Aufbau und Entwicklung wissensbasierter Systeme	16
2.6.1 Architektur eines wissensbasierten Systems	16
2.6.2 Entwicklung eines wissensbasierten Systems	18
3 Logikbasierte Wissensrepräsentation und Inferenz	20
3.1 Formen der Inferenz	20
3.1.1 Menschliches Schließen und Inferenz	20
3.1.2 Charakterisierung der Inferenzrelation nach Peirce	23
3.1.3 Deduktives Schließen	26
3.1.4 Unsicheres Schließen	26
3.2 Logische Systeme	28
3.2.1 Signaturen	29
3.2.2 Formeln	29
3.2.3 Interpretationen	31
3.2.4 Erfüllungsrelation	32
3.3 Eigenschaften klassisch-logischer Systeme	34
3.3.1 Erfüllungsrelation und Wahrheitsfunktionalität	34
3.3.2 Modelle und logische Folgerung	35
3.3.3 Inferenzregeln und Kalküle	38
3.3.4 Korrektheit und Vollständigkeit von Kalkülen	39
3.3.5 Logisches Folgern durch Widerspruch	40
3.3.6 Entscheidbarkeitsresultate	41
3.4 Logische Grundlagen: Aussagenlogik	42

3.4.1	Syntax	42
3.4.2	Semantik	43
3.4.3	Äquivalenzen und Normalformen	45
3.4.4	Wahrheitstafeln und Ableitungen in der Aussagenlogik	47
3.5	Logische Grundlagen: Prädikatenlogik 1. Stufe	47
3.5.1	Signaturen und Interpretationen	48
3.5.2	Terme und Termauswertung	50
3.5.3	Formeln und Formelauswertung	51
3.5.4	Äquivalenzen	55
3.5.5	Ableitungen in der Prädikatenlogik 1. Stufe	57
3.5.6	Normalformen	60
3.5.7	Unifikation	62
3.6	Der Resolutionskalkül	64
3.7	Erweiterungen	67
3.8	Wie kommt der Delphin in den Karpfenteich?	68
4	Regelbasierte Systeme	71
4.1	Was sind Regeln?	71
4.2	Die Wissensbasis eines regelbasierten Systems	76
4.3	Inferenz in einem regelbasierten System	78
4.3.1	Datengetriebene Inferenz (Vorwärtsverkettung)	80
4.3.2	Zielorientierte Inferenz (Rückwärtsverkettung)	83
4.4	Das Problem der Widersprüchlichkeit	85
4.5	Die Erklärungskomponente	86
4.6	Signalsteuerung im Eisenbahnverkehr durch Regeln	87
4.7	MYCIN – ein verallgemeinertes regelbasiertes System	89
4.8	Modularität und Effizienz regelbasierter Systeme	95
4.9	Ausblick	96
5	Maschinelles Lernen	97
5.1	Definition des Lernens	97
5.2	Klassifikation der Ansätze zum maschinellen Lernen	98
5.2.1	Klassifikation gemäß der benutzten Lernstrategie	99
5.2.2	Klassifikation gemäß dem gelernten Typ von Wissen	103
5.2.3	Klassifikation gemäß dem Anwendungsbereich	104
5.3	Erlernen von Entscheidungsbäumen	104
5.3.1	Entscheidungsbäume	105
5.3.2	Erzeugung von Regeln aus Entscheidungsbäumen	107
5.3.3	Generieren von Entscheidungsbäumen	108
5.3.4	Bewertung des Lernerfolges und Anwendungen	114
5.3.5	Die induktiven Lernverfahren ID3 und C4.5	115
5.4	Lernen von Konzepten	118
5.4.1	Eine Konzeptlernaufgabe	118
5.4.2	Allgemeine Problemstellung	120
5.4.3	Repräsentation von Beispielen und Konzepten	122
5.4.4	Lernen von Konzepten als Suchproblem	123

5.4.5	Versionenräume	126
5.4.6	Das Versionenraum-Lernverfahren	128
5.4.7	Anwendungsbeispiel	130
5.4.8	Eigenschaften des Versionenraum-Lernverfahrens	135
5.4.9	Konzeptlernen mit Merkmalsbäumen	136
5.5	Data Mining und Wissensfindung in Daten	141
5.5.1	KDD – Knowledge Discovery in Databases	141
5.5.2	Der KDD-Prozess	143
5.5.3	Data Mining	144
5.5.4	Assoziationsregeln	145
5.5.5	Warenkorbanalyse	150
6	Fallbasiertes Schließen	155
6.1	Motivation	155
6.2	Ein Beispiel	156
6.3	Fallbasiertes Schließen und CBR-Systeme	157
6.3.1	Grundzüge des fallbasierten Schließens	157
6.3.2	CBR-Systeme	158
6.3.3	Anwendungsgebiete des fallbasierten Schließens	160
6.3.4	Fallbasiertes Schließen im Vergleich mit anderen Methoden	161
6.3.5	Die Grundtypen fallbasierten Schließens	162
6.4	Der Prozess des fallbasierten Schließens	162
6.4.1	Der CBR-Zyklus	162
6.4.2	Die Prozesse im Einzelnen	163
6.5	Die Repräsentation von Fällen	167
6.5.1	Die Komponenten eines Falles	168
6.5.2	Problem- und Situationsbeschreibung	169
6.5.3	Die Repräsentation von Lösungen	170
6.5.4	Das Resultat eines Falles	171
6.5.5	Methoden der Fallrepräsentation	172
6.6	Die Indizierung von Fällen	173
6.6.1	Das Indexvokabular	174
6.6.2	Die Kennzeichnung eines Falles durch Indizes	176
6.7	Suche nach geeigneten Fällen	179
6.8	Organisationsformen der Fallbasis	183
6.9	Die Bestimmung der Ähnlichkeit	185
6.9.1	Die Hamming-Ähnlichkeit	186
6.9.2	Die gewichtete Hamming-Ähnlichkeit	187
6.9.3	Verallgemeinerte Ähnlichkeiten	189
6.9.4	Beispiel: Ähnlichkeiten im PATDEX/2 - System	193
6.9.5	Andere Ähnlichkeitsbestimmungen	196
6.10	Adaption	196
6.10.1	Substitutionsmethoden	197
6.10.2	Andere Adaptionsmethoden	199
6.11	Wie ein fallbasiertes System lernt	200
6.12	Einige abschließende Bemerkungen	201

7	Truth Maintenance-Systeme	202
7.1	Die Rolle des nichtmonotonen Schließens in der KI	202
7.2	Monotone vs. nichtmonotone Logik	204
7.3	Truth Maintenance-Systeme	206
7.4	Justification-based Truth Maintenance-Systeme – JTMS	208
7.4.1	In’s und Out’s – die Grundbegriffe eines JTMS	208
7.4.2	Der JTMS-Algorithmus	213
7.4.3	Anwendungsbeispiele	221
7.4.4	Die JTMS-Inferenzrelation	225
7.5	Assumption-based Truth Maintenance-Systeme – ATMS	228
7.5.1	Grundbegriffe	228
7.5.2	Arbeitsweise eines ATMS	229
7.6	Verschiedene TMS im Vergleich	234
7.7	Ausblicke	235
8	Default-Logiken	236
8.1	Default-Logik nach Reiter	236
8.1.1	Aussehen und Bedeutung eines Defaults	236
8.1.2	Die Syntax der Default-Logik	238
8.1.3	Die Semantik der Default-Logik	240
8.1.4	Ein operationaler Zugang zu Extensionen	243
8.1.5	Prozessbäume	248
8.1.6	Berechnung von Prozessbäumen	252
8.1.7	Eigenschaften der Reiter’schen Default-Logik	253
8.1.8	Normale Defaults	257
8.2	Die Poole’sche Default-Logik	259
8.3	Nichtmonotone Inferenzrelationen für Default-Logiken	264
8.4	Probleme und Alternativen	267
9	Logisches Programmieren und Antwortmengen	269
9.1	Klassische logische Programme	270
9.2	Anfragen und Antwortsubstitutionen	270
9.3	Resolution von Hornklauseln	273
9.3.1	SLD-Ableitungen	274
9.3.2	Berechnete Antwortsubstitutionen	275
9.3.3	Suchraum bei der SLD-Resolution	277
9.4	Fixpunktsemantik logischer Programme	279
9.5	Erweiterte logische Programme	280
9.6	Die stabile Semantik normaler logischer Programme	284
9.7	Die Antwortmengen-Semantik erweiterter logischer Programme	288
9.8	Stabile Semantik und Antwortmengensemantik	292
9.9	Truth Maintenance-Systeme und Default-Theorien	294
9.10	Erweiterungen der Antwortmengensemantik	296
9.11	Implementationen und Anwendungen	298
9.12	Kriterien zur Beurteilung nichtmonotoner Inferenzoperationen	298
9.13	Rückblick	300

10 Aktionen und Planen	302
10.1 Planen in der Blockwelt	302
10.2 Logische Grundlagen des Planens	303
10.3 Der Situationskalkül	304
10.3.1 Aktionen	304
10.3.2 Situationen	304
10.3.3 Veränderungen zwischen Situationen	305
10.3.4 Ausführungsbedingungen und Effektaxiome	305
10.3.5 Zielbeschreibungen	307
10.4 Probleme	308
10.4.1 Das Rahmenproblem	308
10.4.2 Das Qualifikationsproblem	309
10.4.3 Das Verzweigungsproblem	309
10.5 Plangenerierung im Situationskalkül	310
10.6 Planen mit STRIPS	312
10.6.1 Zustände und Zielbeschreibungen	312
10.6.2 STRIPS-Operatoren	313
10.6.3 Planen mit Vorwärtssuche	315
10.6.4 Planen mit Rückwärtssuche	315
10.6.5 Behandlung des Rahmenproblems in STRIPS	318
10.7 Nichtklassische Planungssysteme	320
10.8 Planen mit Antwortmengen	324
10.8.1 Systeme zur Berechnung von Antwortmengen	324
10.8.2 Planen mit SMODELS	325
10.8.3 Behandlung des Rahmenproblems	329
10.9 Autonome Agenten und Anwendungen	330
11 Quantitative Methoden I – Probabilistische Netzwerke	332
11.1 Ungerichtete Graphen – Markov-Netze	333
11.1.1 Separation in Graphen und probabilistische Unabhängigkeit	333
11.1.2 Markov-Eigenschaften und Markov-Graphen	337
11.1.3 Konstruktion von Markov-Graphen	339
11.1.4 Potential- und Produktdarstellungen	341
11.2 Gerichtete Graphen – Bayessche Netze	346
11.3 Inferenz in probabilistischen Netzen	351
11.3.1 Bayes-Netze und Potentialdarstellungen	351
11.3.2 Der permanente Cliquesbaum als Wissensbasis	356
11.3.3 Der Algorithmus von Lauritzen und Spiegelhalter	358
11.3.4 Berücksichtigung fallspezifischer Daten	362
11.4 Bayessche Netzwerke in praktischen Anwendungen	366
11.5 Erlernen Bayesscher Netze aus Daten	367
11.6 Probabilistische Inferenz unter informationstheoretischen Aspekten	368
11.7 Weitere Anwendungen	373
11.7.1 Proteinklassifikation mittels Hidden Markov Models (HMM)	373
11.7.2 Herzerkrankungen bei Neugeborenen	376
11.7.3 Suchterkrankungen und psychische Störungen	380

12 Quantitative Methoden II – Dempster-Shafer, Fuzzy & Co.	383
12.1 Verallgemeinerte Wahrscheinlichkeitstheorie	383
12.2 Die Dempster-Shafer-Theorie	385
12.2.1 Basismaße und Glaubensfunktionen	385
12.2.2 Dempsters Kombinationsregel	388
12.2.3 Sensorenauswertung in der mobilen Robotik mittels Dempster-Shafer-Theorie	391
12.3 Fuzzy-Theorie und Possibilistik	393
12.3.1 Fuzzy-Theorie	393
12.3.2 Possibilitätstheorie	397
12.3.3 Expertensysteme mit Fuzzy-Regeln	399
A Wahrscheinlichkeit und Information	403
A.1 Die Wahrscheinlichkeit von Formeln	403
A.2 Randverteilungen	408
A.3 Bedingte Wahrscheinlichkeiten	409
A.4 Der Satz von Bayes	411
A.5 Mehrwertige Aussagenvariable	413
A.6 Abhängigkeiten und Unabhängigkeiten	415
A.7 Der Begriff der Information	419
A.8 Entropie	420
B Graphentheoretische Grundlagen	424
B.1 Graphen und Cliques	424
B.2 Triangulierte Graphen	428
B.3 Die running intersection property RIP	434
B.4 Hypergraphen	436
Literaturverzeichnis	439
Index	449