

Christoph Beierle • Gabriele Kern-Isberner

Methoden wissensbasierter Systeme

Grundlagen, Algorithmen, Anwendungen

5., überarbeitete und erweiterte Auflage

Springer Vieweg

Inhaltsverzeichnis

Vorwort zur 1. Auflage	vii
Vorwort zur 5., überarbeiteten und erweiterten Auflage	ix
Inhaltsverzeichnis	xi
1 Einleitung	1
1.1 Über dieses Buch	1
1.2 Themenbereiche des Buches	2
2 Wissensbasierte Systeme im Überblick	7
2.1 Beispiele für wissensbasierte Systeme	7
2.1.1 Geldabheben am Automaten	7
2.1.2 Medizinische Diagnose	9
2.2 Wissensbasierte Systeme und Expertensysteme	11
2.3 Eigenschaften von Experten und Expertensystemen	11
2.4 Zur Geschichte wissensbasierter Systeme	13
2.5 Das medizinische Diagnosesystem MYCIN	14
2.6 Aufbau und Entwicklung wissensbasierter Systeme	16
2.6.1 Architektur eines wissensbasierten Systems	16
2.6.2 Entwicklung eines wissensbasierten Systems	19
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	63
3.6	Der Resolutionskalkül	64
3.7	Erweiterungen	67
3.8	Wie kommt der Delphin in den Karpfenteich?	69
4	Regelbasierte Systeme	72
4.1	Was sind Regeln?	72
4.2	Die Wissensbasis eines regelbasierten Systems	76
4.3	Inferenz in einem regelbasierten System	79
4.3.1	Regelnetzwerke	79
4.3.2	Datengetriebene Inferenz (Vorwärtsverkettung)	82
4.3.3	Zielorientierte Inferenz (Rückwärtsverkettung)	84
4.4	Das Problem der Widersprüchlichkeit	86
4.5	Die Erklärungskomponente	87
4.6	Signalsteuerung im Eisenbahnverkehr durch Regeln	88
4.7	MYCIN – ein verallgemeinertes regelbasiertes System	90
4.8	Modularität und Effizienz regelbasierter Systeme	96
4.9	Ausblick	97
5	Maschinelles Lernen	98
5.1	Definition des Lernens	98
5.2	Klassifikation der Ansätze zum maschinellen Lernen	99
5.2.1	Klassifikation gemäß der benutzten Lernstrategie	100
5.2.2	Klassifikation gemäß dem gelernten Typ von Wissen	104
5.2.3	Klassifikation gemäß dem Anwendungsbereich	105
5.3	Erlernen von Entscheidungsbäumen	105
5.3.1	Entscheidungsbäume	106
5.3.2	Erzeugung von Regeln aus Entscheidungsbäumen	108
5.3.3	Generieren von Entscheidungsbäumen	109
5.3.4	Bewertung des Lernerfolges und Anwendungen	115
5.3.5	Die induktiven Lernverfahren ID3 und C4.5	116
5.4	Lernen von Konzepten	120
5.4.1	Eine Konzeptlernaufgabe	120
5.4.2	Allgemeine Problemstellung	122
5.4.3	Repräsentation von Beispielen und Konzepten	124
5.4.4	Lernen von Konzepten als Suchproblem	125
5.4.5	Versionenräume	128

5.4.6	Das Versionenraum-Lernverfahren	130
5.4.7	Anwendungsbeispiel	132
5.4.8	Eigenschaften des Versionenraum-Lernverfahrens	137
5.4.9	Konzeptlernen mit Merkmalsbäumen	138
5.5	Data Mining und Wissensfindung in Daten	143
5.5.1	KDD Knowledge Discovery in Databases	143
5.5.2	Der KDD-Prozess	145
5.5.3	Data Mining	146
5.5.4	Assoziationsregeln	147
5.5.5	Warenkorbanalyse	153
6	Fallbasiertes Schließen	158
6.1	Motivation	158
6.2	Fallbasiertes Schließen und CBR-Systeme	160
6.3	Der CBR-Zyklus	165
6.4	Die Repräsentation von Fällen	169
6.5	Die Indizierung von Fällen	175
6.6	Suche nach geeigneten Fällen	181
6.7	Organisationsformen der Fallbasis	184
6.8	Die Bestimmung der Ähnlichkeit	186
6.9	Adaption	197
6.10	Wie ein fallbasiertes System lernt	201
6.11	Abschließende Bemerkungen und weiterführende Literatur - - - -	202
7	Truth Maintenance-Systeme	204
7.1	Die Rolle des nichtmonotonen Schließens in der KI	204
7.2	Monotone vs. nichtmonotone Logik	206
7.3	Truth Maintenance-Systeme	208
7.4	Justification-based Truth Maintenance-Systeme – JTMS	210
7.4.1	In's und Out's die Grundbegriffe eines JTMS	210
7.4.2	Der JTMS-Algorithmus	215
7.4.3	Anwendungsbeispiele	223
7.4.4	Die JTMS-Inferenzrelation	229
7.5	Assumption-based Truth Maintenance-Systeme ATMS	232
7.5.1	Grundbegriffe	232
7.5.2	Arbeitsweise eines ATMS	232
7.6	Verschiedene TMS im Vergleich	237
7.7	Ausblicke	238
8	Default-Logiken	239
8.1	Default-Logik nach Reiter	239
8.1.1	Aussehen und Bedeutung eines Defaults	239
8.1.2	Die Syntax der Default-Logik	241
8.1.3	Die Semantik der Default-Logik	243
8.1.4	Ein operationaler Zugang zu Extensionen	246
8.1.5	Prozessbäume	251
8.1.6	Berechnung von Prozessbäumen	255

8.1.7	Eigenschaften der Reiter'schen Default-Logik	256
8.1.8	Normale Defaults	260
8.2	Die Poole'sche Default-Logik	262
8.3	Nichtmonotone Inferenzrelationen für Default-Logiken	267
8.4	Probleme und Alternativen	270
9	Logisches Programmieren und Antwortmengen	272
9.1	Klassische logische Programme	273
9.2	Anfragen und Antwortsubstitutionen	273
9.3	Resolution von Hornklauseln	276
9.3.1	SLD-Ableitungen	277
9.3.2	Berechnete Antwortsubstitutionen	278
9.3.3	Suchraum bei der SLD-Resolution	280
9.4	Fixpunktsemantik logischer Programme	282
9.5	Erweiterte logische Programme	283
9.6	Die stabile Semantik normaler logischer Programme	287
9.7	Die Antwortmengen-Semantik erweiterter logischer Programme	291
9.8	Stabile Semantik und Antwortmengensemantik	295
9.9	Truth Maintenance-Systeme und Default-Theorien	297
9.10	Erweiterungen der Antwortmengensemantik	299
9.11	Implementationen und Anwendungen	301
9.12	Kriterien zur Beurteilung nichtmonotoner Inferenzoperationen	301
9.13	Rückblick	303
10	Argumentation	305
10.1	Motivation und Einführung	305
10.2	DeLP – Argumentieren mit Regeln	308
10.2.1	DeLP-Programme und Ableitungen	308
10.2.2	Argumente und Gegenargumente	310
10.2.3	Qualitätskriterien für Argumente	314
10.2.4	Schlagende und blockierende Angriffe	316
10.2.5	Argumentationsfolgen	317
10.2.6	Evaluation von Argumentationen	322
10.2.7	Antwortverhalten von DeLP-Programmen	326
10.3	Abstrakte Argumentationstheorie	329
10.3.1	Abstrakte Argumentationssysteme	329
10.3.2	Extensionen	332
10.3.3	Beispielanwendung: Das stabile Heiratsproblem	337
10.3.4	Beziehungen zur Reiter'schen Default-Logik	339
10.4	Labelings für abstrakte Argumentationssysteme	342
10.5	Extensionen als Antwortmengen	349
11	Aktionen und Planen	353
11.1	Planen in der Blockwelt	353
11.2	Logische Grundlagen des Planens	354
11.3	Der Situationskalkül	355
11.3.1	Aktionen	355

11.3.2	Situationen	355
11.3.3	Veränderungen zwischen Situationen	356
11.3.4	Ausführungsbedingungen und Effektaxiome	356
11.3.5	Zielbeschreibungen	358
11.4	Probleme	359
11.4.1	Das Rahmenproblem	359
11.4.2	Das Qualifikationsproblem	360
11.4.3	Das Verzweigungsproblem	360
11.5	Plangenerierung im Situationskalkül	361
11.6	Planen mit STRIPS	363
11.6.1	Zustände und Zielbeschreibungen	363
11.6.2	STRIPS-Operatoren	364
11.6.3	Planen mit Vorwärtssuche	366
11.6.4	Planen mit Rückwärtssuche	366
11.6.5	Behandlung des Rahmenproblems in STRIPS	369
11.7	Nichtklassische Planungssysteme	372
11.8	Planen mit Antwortmengen	376
11.8.1	Systeme zur Berechnung von Antwortmengen	376
11.8.2	Planen mit SMODELS	377
11.8.3	Behandlung des Rahmenproblems	381
11.9	Ausblick und Anwendungen	382
12	Agenten	384
12.1	Das Konzept des Agenten	384
12.2	Abstrakte Agentenmodelle	389
12.2.1	Umgebungen, Aktionen und Läufe eines Agenten	389
12.2.2	Wahrnehmungen	391
12.2.3	Innerer Zustand	394
12.2.4	Aufgabe und Erfolg eines Agenten	395
12.3	Reaktive Agenten und Schichtenarchitekturen	398
12.4	Logikbasierte Agenten	399
12.5	Belief-Desire-Intention-(BDI)-Agenten	403
12.5.1	Praktisches Denken	403
12.5.2	BDI-Architektur	405
12.5.3	Procedural Reasoning System (PRS)	408
12.6	Multiagentensysteme	409
13	Quantitative Methoden I – Probabilistische Netzwerke	411
13.1	Ungerichtete Graphen – Markov-Netze	412
13.1.1	Separation in Graphen und probabilistische Unabhängigkeit	412
13.1.2	Markov-Eigenschaften und Markov-Graphen	416
13.1.3	Konstruktion von Markov-Graphen	418
13.1.4	Potential- und Produktdarstellungen	420
13.2	Gerichtete Graphen Bayessche Netze	426
13.3	Inferenz in probabilistischen Netzen	431
13.3.1	Bayes-Netze und Potentialdarstellungen	431

13.3.2	Der permanente Cliquenbaum als Wissensbasis	435
13.3.3	Der Algorithmus von Lauritzen und Spiegelhalter	438
13.3.4	Berücksichtigung fallspezifischer Daten	442
13.4	Bayessche Netzwerke in praktischen Anwendungen	446
13.5	Erlernen Bayesscher Netze aus Daten	447
13.6	Probabilistische Inferenz unter informationstheoretischen Aspekten	448
13.7	Weitere Anwendungen	453
13.7.1	Proteinklassifikation mittels Hidden Markov Models (HMM)	453
13.7.2	Herzerkrankungen bei Neugeborenen	456
13.7.3	Suchterkrankungen und psychische Störungen	460
14	Quantitative Methoden II – Dempster-Shafer-Theorie, Fuzzy-Theorie und Possibilistik	463
14.1	Verallgemeinerte Wahrscheinlichkeitstheorie	463
14.2	Die Dempster-Shafer-Theorie	465
14.2.1	Basismaße und Glaubensfunktionen	465
14.2.2	Dempsters Kombinationsregel	468
14.2.3	Sensorenauswertung in der mobilen Robotik mittels Dempster-Shafer-Theorie	471
14.3	Fuzzy-Theorie und Possibilistik	473
14.3.1	Fuzzy-Theorie	473
14.3.2	Possibilitätstheorie	477
14.3.3	Expertensysteme mit Fuzzy-Regeln	479
A	Wahrscheinlichkeit und Information	483
A.1	Die Wahrscheinlichkeit von Formeln	483
A.2	Randverteilungen	488
A.3	Bedingte Wahrscheinlichkeiten	489
A.4	Der Satz von Bayes	491
A.5	Mehrwertige Aussagenvariable	493
A.6	Abhängigkeiten und Unabhängigkeiten	496
A.7	Der Begriff der Information	500
A.8	Entropie	502
B	Graphentheoretische Grundlagen	506
B.1	Graphen und Cliquen	506
B.2	Triangulierte Graphen	510
B.3	Die running intersection property RIP	516
B.4	Hypergraphen	518
	Literaturverzeichnis	521
	Index	534