

Inhaltsverzeichnis

Verzeichnis der Anwendungsbeispiele	xvii
Hinweise zum Gebrauch des Buches	xxiii

Einführung in die Künstliche Intelligenz

1 Das Fachgebiet Künstliche Intelligenz	1
1.1 Anliegen der Künstlichen Intelligenz	1
1.2 Ausgangspunkte	6
1.2.1 Mathematische Logik	6
1.2.2 Algorithmentheorie	8
1.2.3 Rechentechnik	12
1.3 Kurzer historischer Rückblick	13
1.3.1 Geburtsstunde: Dartmouth-Konferenz 1956	13
1.3.2 Die klassische Epoche: Spiele und logisches Schließen	13
1.3.3 Erste Erfolge: Verstehen natürlicher Sprache	15
1.3.4 Wissensbasierte Systeme und KI-Markt	15
1.3.5 Entwicklungstrend: Kognitive Systeme	16
1.4 Ingenieurtechnische Anwendungen der Künstlichen Intelligenz	17
1.4.1 Grundstruktur intelligenter technischer Systeme	17
1.4.2 Intelligente Agenten	21
1.4.3 Impulse der Künstlichen Intelligenz für die Lösung ingenieurtechnischer Probleme	23
1.5 Möglichkeiten und Grenzen der Künstlichen Intelligenz	26
Literaturhinweise	28
2 Einführungsbeispiel	31
2.1 Qualitative und quantitative Beschreibung eines Wasserversorgungssystems ..	31
2.2 Einfache Methoden zur Verarbeitung von Regeln	37
2.2.1 Umformung der Wissensbasis	37
2.2.2 Verschachtelung der Regeln in einem Entscheidungsbaum	38
2.2.3 Anordnung der Regeln als Wissensbasis	42

2.3	Probleme der Wissensverarbeitung	43
	Literaturhinweise	44
Teil 1: Problemlösen durch Suche		
3	Graphensuche	45
3.1	Grundbegriffe der Graphentheorie	45
3.1.1	Vorgehensweise	45
3.1.2	Ungerichtete Graphen	46
3.1.3	Suchprobleme	47
3.2	Bestimmung von Erreichbarkeitsbäumen	48
3.2.1	Tremaux-Algorithmus	48
3.2.2	Geradeaussuche	49
3.2.3	Breite-zuerst-Suche	52
3.2.4	Tiefe-zuerst-Suche	56
3.2.5	Eigenschaften der Suchalgorithmen	59
3.3	Bestimmung von Pfaden	60
3.3.1	Tiefe-zuerst-Suche von Pfaden	60
3.3.2	Optimale Pfade	62
3.3.3	DIJKSTRA-Algorithmus	63
3.3.4	Gleiche-Kosten-Suche	73
3.4	Heuristische Suche	73
3.4.1	Erweiterungsmöglichkeiten der blinden Suche	73
3.4.2	A*-Algorithmus	76
3.5	Anwendungsbeispiel: Bahnplanung für Industrieroboter	84
3.5.1	Aufgabenstellung und Lösungsweg	84
3.5.2	Beschreibung kollisionsfreier Bahnen im Konfigurationsraum	84
3.5.3	Planungsalgorithmus	87
3.5.4	Erweiterungen	88
3.6	Zusammenfassung	89
3.6.1	Problemlösen durch Suche	89
3.6.2	Struktur und Eigenschaften von Suchsystemen	89
	Literaturhinweise	92
4	Regelbasierte Wissensverarbeitung	93
4.1	Zustandsraumdarstellung von Wissensverarbeitungsproblemen	93
4.1.1	Darstellung von Wissen in Form von Regeln	93
4.1.2	Zustandsraumdarstellung	95
4.1.3	Wissensverarbeitung als Graphensuche	99
4.2	Problemlösen durch Vorwärtsverkettung von Regeln	101
4.2.1	Vorwärtsverkettung	101
4.2.2	Verarbeitung von Schlussfolgerungsregeln	102
4.2.3	Verarbeitung von Aktionsregeln	105

4.2.4	Beispiel: Zusammenfassung von Widerstandsnetzwerken	106
4.2.5	Kommutative und nichtkommutative regelbasierte Systeme	113
4.2.6	Beispiel: Lösung von Packproblemen	115
4.3	Problemlösen durch Rückwärtsverkettung von Regeln	122
4.3.1	Rückwärtsverkettung	122
4.3.2	Anwendungsgebiete der Rückwärtsverkettung	125
4.4	Architektur und Einsatzgebiete regelbasierter Systeme	125
4.4.1	Allgemeiner Wissensverarbeitungsalgorithmus	125
4.4.2	Architektur regelbasierter Systeme	127
4.4.3	Einsatzcharakteristika regelbasierter Systeme	129
	Literaturhinweise	131
5	Wissensverarbeitung mit strukturierten Objekten	133
5.1	Begriffsbildung und strukturierte Objekte	133
5.1.1	Begriffshierarchien und Vererbung von Eigenschaften	134
5.1.2	Multihierarchien und Sichten	136
5.2	Semantische Netze	137
5.2.1	Syntax und Semantik	137
5.2.2	Kausale Netze	139
5.3	Frames	143
5.3.1	Grundidee der Wissensrepräsentation mit Frames	143
5.3.2	Anordnung von Frames in Generalisierungshierarchien	145
5.3.3	Erweiterungsmöglichkeiten	146
5.3.4	Vergleich von Frames mit anderen Wissenrepräsentationsformen	149
	Literaturhinweise	150
6	Funktionale Programmierung in LISP	151
6.1	Einführung in die funktionale Programmierung	151
6.1.1	Grundidee von LISP	151
6.1.2	Rekursive Funktionen	154
6.2	Syntax von LISP	156
6.2.1	Listen	156
6.2.2	LISP-Ausdrücke	159
6.2.3	Spezielle Auswertungsregeln	161
6.2.4	Verarbeitung von Listen	163
6.2.5	Definition von Funktionen	169
6.2.6	Bedingte Anweisungen und Let-Konstruktionen	170
6.3	Programmbeispiel: Tiefe-zuerst-Suche in Graphen	172
6.3.1	Programmelemente	172
6.3.2	Zusammenfassung zur Funktion „Erreichbarkeitsbaum“	178
6.4	Merkmale der Programmiersprache LISP	181
	Literaturhinweise	183

Teil 2: Logikbasierte Wissensverarbeitung

7 Aussagenlogik	185
7.1 Einführung in die logikbasierte Wissensverarbeitung	185
7.2 Grundlagen der Aussagenlogik	186
7.2.1 Aussagen und logische Ausdrücke	186
7.2.2 Semantik logischer Ausdrücke	191
7.2.3 Logische Gesetze	198
7.2.4 Logische Ausdrücke in Klauselform	200
7.3 Aussagenkalkül	202
7.3.1 Folgerungen	202
7.3.2 Ableitungsregeln der Aussagenlogik	204
7.3.3 Beweis aussagenlogischer Ausdrücke	208
7.3.4 Eigenschaften des Aussagenkalküls	210
7.3.5 Formale Systeme der Aussagenlogik	211
7.4 Problemlösen durch Resolution	212
7.4.1 Resolutionsprinzip der Aussagenlogik	212
7.4.2 Widerspruchsbeweis	215
7.4.3 Resolutionskalkül	217
7.4.4 Steuerung des Inferenzprozesses	220
7.5 Anwendungsbeispiel: Verifikation von Steuerungen	225
Literaturhinweise	229
8 Prädikatenlogik	231
8.1 Grundlagen der Prädikatenlogik	231
8.1.1 Prädikate, logische Ausdrücke und Aussageformen	231
8.1.2 Prädikatenlogische Ausdrücke in Klauselform	236
8.1.3 Semantik prädikatenlogischer Ausdrücke	238
8.2 Prädikatenkalkül	240
8.2.1 Resolutionsregel der Prädikatenlogik	240
8.2.2 Resolutionskalkül	243
8.2.3 Merkmale von Resolutionssystemen	246
8.3 Resolutionswiderlegung in der logischen Programmierung	249
8.3.1 Resolutionsregel für Hornklauseln	249
8.3.2 Beweisverfahren der logischen Programmierung	252
8.4 Logik als Grundlage der Wissensrepräsentation und der Wissensverarbeitung	256
8.4.1 Modellierung technischer Systeme durch logische Ausdrücke	256
8.4.2 Beispiel: Prädikatenlogische Beschreibung von Planungsaufgaben	257
8.4.3 Vergleich von regelbasierter und logikbasierter Wissensverarbeitung	262
8.4.4 Erweiterungsmöglichkeiten der klassischen Logik	263
Literaturhinweise	264

9 Logische Programmierung in PROLOG	267
9.1 Einführung in die logische Programmierung	267
9.2 Syntax von PROLOG	268
9.3 Abarbeitung logischer Programme	270
9.3.1 Semantik logischer Programme	270
9.3.2 Steuerfluss bei der Verarbeitung logischer Programme	271
9.3.3 Interpretation des Ergebnisses	275
9.4 Programmelemente	277
9.4.1 Listen	277
9.4.2 Rekursive Programmierung	279
9.4.3 Built-in-Prädikate	280
9.5 Programmbeispiele	286
9.5.1 Bestimmung von Pfaden in gerichteten Graphen	286
9.5.2 Zusammenfassung eines Widerstandsnetswerkes	292
9.5.3 Handlungsplanung für Roboter	296
9.6 Anwendungsgebiete von PROLOG	301
Literaturhinweise	303

Teil 3: Verarbeitung unsicheren Wissens

10 Nichtmonotonen Schließen und ATMS	305
10.1 Probleme und Lösungswege für die Verarbeitung unsicheren Wissens	305
10.1.1 Quellen für die Unbestimmtheiten der Wissensbasis	306
10.1.2 Probleme der Darstellung und der Verarbeitung unsicheren Wissens	309
10.1.3 Überblick über die Behandlungsmethoden für unsicheres Wissen	310
10.2 Darstellung veränderlichen Wissens	312
10.3 Grundidee des ATMS	316
10.3.1 Begründungen	316
10.3.2 ATMS-Graph	317
10.3.3 Lokale und globale Umgebungen	319
10.4 Erweiterungen	323
10.4.1 Verwaltung logischer Ausdrücke	323
10.4.2 Behandlung logischer Widersprüche	325
10.4.3 Zusammenspiel von Problemlöser und ATMS	328
10.5 Anwendungsbeispiel: Analyse eines verfahrenstechnischen Prozesses	330
10.5.1 Aussagenlogisches Modell	330
10.5.2 Bildung des ATMS-Graphen	333
10.5.3 Analyse und Prozessüberwachung mit dem ATMS	335
10.6 Fehlerdiagnose mit ATMS	339
10.6.1 Modellbasierte Diagnose	339
10.6.2 Diagnoseprinzip GDE	342
10.6.3 Realisierung von GDE mit einem ATMS	343

10.6.4 Erweiterungen	348
Literaturhinweise	352
11 Mehrwertige und unscharfe Logik	355
11.1 Mehrwertige Logiken	355
11.1.1 Logische Ausdrücke der dreiwertigen Logik	355
11.1.2 Ableitungsregel und Theorembeweisen	357
11.1.3 Erweiterung von dreiwertiger auf mehrwertige Logiken	359
11.2 Wissensverarbeitung mit unscharfen Mengen	360
11.2.1 Unscharfe Mengen	360
11.2.2 Unscharfe Mengen in der Wissensrepräsentation	364
11.2.3 Unscharfe Logik	367
11.2.4 Fuzzifizierung und Defuzzifizierung	372
11.2.5 Anwendungsbeispiel: Fuzzyregelung	375
Literaturhinweise	384
12 Probabilistische Logik und Bayesnetze	385
12.1 Wahrscheinlichkeitstheoretische Modelle	385
12.1.1 Übersicht über die wahrscheinlichkeitstheoretische Behandlung unsicheren Wissens	385
12.1.2 Aussagenlogische Beschreibung zufälliger Ereignisse	386
12.1.3 Wahrscheinlichkeit logischer Ausdrücke	390
12.2 Probabilistische Logik	395
12.2.1 Modus Ponens der probabilistischen Logik	395
12.2.2 Fehlende Modularität der probabilistischen Logik	399
12.2.3 Bayessche Inferenzregel	402
12.2.4 Lösung von Diagnoseaufgaben	404
12.2.5 Aussagekraft probabilistischer Folgerungen	408
12.2.6 Anwendungsgebiete der probabilistischen Logik	410
12.3 Bayesnetze	411
12.3.1 Abhängige und unabhängige Ereignisse	411
12.3.2 Darstellung wahrscheinlichkeitstheoretischer Modelle durch Bayesnetze	417
12.3.3 Modellbildung mit Bayesnetzen	422
12.3.4 Kausales Schließen mit Bayesnetzen	429
12.3.5 Diagnostisches Schließen mit Bayesnetzen	436
12.3.6 Erweiterung der Bayesnetze	443
12.4 Zusammenfassung und Wertung	444
Literaturhinweise	447
13 Heuristische Verfahren zur Darstellung und zur Verarbeitung unsicheren Wissens	449
13.1 Wissensverarbeitung auf der Grundlage der Evidenztheorie	449
13.1.1 Grundlagen der Evidenztheorie	450
13.1.2 Dempster-Regel	453

13.1.3 Erweiterung der Aussagenlogik mit Hilfe der Evidenztheorie	454
13.2 Heuristische Methoden	458
13.2.1 Beschreibung der Unbestimmtheit des Wissens durch Konfidenz-faktoren	458
13.2.2 Verarbeitung der Konfidenzfaktoren bei Ableitungen	460
13.3 Vergleichende Zusammenfassung der Methoden zur Verarbeitung unsicheren Wissens	462
Literaturhinweise	464
14 Merkmale und technische Anwendungsgebiete der Wissensverarbeitung	465
14.1 Struktur wissensbasierter Systeme	465
14.2 Wissensrepräsentation	466
14.2.1 Modellbildung	466
14.2.2 Deklaratives und prozedurales Wissen	468
14.2.3 Anforderungen an die Wissensrepräsentation	469
14.2.4 Wissensrepräsentationsmodelle	471
14.2.5 Modularität der Wissensrepräsentation	473
14.2.6 Wissenserwerb	474
14.3 Wissensverarbeitung	475
14.3.1 Zusammenfassung der Verarbeitungsmethoden	475
14.3.2 Problemspezifikation und Algorithmierung	477
14.4 Ingenieurtechnische Anwendungsgebiete	479
Literaturverzeichnis	485

Anhänge

Anhang 1: Lösung von Übungsaufgaben	491
Anhang 2: Grundlagen der Wahrscheinlichkeitsrechnung	521
Anhang 3: Aufgaben zur Prüfungsvorbereitung	527
Anhang 4: Projektaufgabe	531
Anhang 5: Fachwörter deutsch – englisch	535
Sachwortverzeichnis	539