

Inhaltsverzeichnis

Verzeichnis der Anwendungsbeispiele	xvii
Hinweise zum Gebrauch des Buches	xxiii

Teil 1: Problemlösen durch Suche

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

3	Grafensuche	45
3.1	Grundbegriffe der Grafentheorie	45
3.1.1	Ungerichtete Grafen	45
3.1.2	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	59
3.3.1	Tiefe-zuerst-Suche von Pfaden	59
3.3.2	Optimale Pfade	62
3.3.3	DIJKSTRA-Algorithmus	62
3.3.4	Gleiche-Kosten-Suche	72
3.4	Heuristische Suche	72
3.4.1	Erweiterungsmöglichkeiten der blinden Suche	72
3.4.2	A*-Algorithmus	74
3.5	Anwendungsbeispiel: Bahnplanung für Industrieroboter	82
3.5.1	Aufgabenstellung und Lösungsweg	82
3.5.2	Beschreibung kollisionsfreier Bahnen im Konfigurationsraum	83
3.5.3	Planungsalgorithmus	85
3.5.4	Erweiterungen	86
3.6	Zusammenfassung	87
3.6.1	Problemlösen durch Suche	87
3.6.2	Struktur und Eigenschaften von Suchsystemen	88
	Literaturhinweise	90
4	Regelbasierte Wissensverarbeitung	91
4.1	Zustandsraumdarstellung von Wissensverarbeitungsproblemen	91
4.1.1	Darstellung von Wissen in Form von Regeln	91
4.1.2	Zustandsraumdarstellung	93
4.1.3	Wissensverarbeitung als Grafensuche	97
4.2	Problemlösen durch Vorwärtsverkettung von Regeln	99
4.2.1	Vorwärtsverkettung	99
4.2.2	Verarbeitung von Schlussfolgerungsregeln	99
4.2.3	Verarbeitung von Aktionsregeln	103
4.2.4	Beispiel: Zusammenfassung von Widerstandsnetzwerken	103
4.2.5	Kommutative und nichtkommutative regelbasierte Systeme	110
4.2.6	Beispiel: Lösung von Packproblemen	113
4.3	Problemlösen durch Rückwärtsverkettung von Regeln	119
4.3.1	Rückwärtsverkettung	119
4.3.2	Anwendungsgebiete der Rückwärtsverkettung	122
4.4	Architektur und Einsatzgebiete regelbasierter Systeme	123
4.4.1	Allgemeiner Wissensverarbeitungsalgorithmus	123

4.4.2	Architektur regelbasierter Systeme	125
4.4.3	Einsatzcharakteristika regelbasierter Systeme	126
	Literaturhinweise	129
5	Funktionale Programmierung in LISP	131
5.1	Einführung in die funktionale Programmierung	131
5.1.1	Grundidee von LISP	131
5.1.2	Rekursive Funktionen	134
5.2	Syntax von LISP	136
5.2.1	Listen	136
5.2.2	LISP-Ausdrücke	139
5.2.3	Spezielle Auswertungsregeln	140
5.2.4	Verarbeitung von Listen	143
5.2.5	Definition von Funktionen	149
5.2.6	Bedingte Anweisungen und Let-Konstruktionen	150
5.3	Programmbeispiel: Tiefe-zuerst-Suche in Grafen	152
5.3.1	Programmelemente	152
5.3.2	Zusammenfassung zur Funktion „Erreichbarkeitsbaum“	157
5.4	Merkmale der Programmiersprache LISP	160
	Literaturhinweise	162

Teil 2: Logikbasierte Wissensverarbeitung

6	Aussagenlogik	163
6.1	Einführung in die logikbasierte Wissensverarbeitung	163
6.2	Grundlagen der Aussagenlogik	164
6.2.1	Aussagen und logische Ausdrücke	164
6.2.2	Semantik logischer Ausdrücke	168
6.2.3	Logische Gesetze	175
6.2.4	Logische Ausdrücke in Klauselform	177
6.3	Aussagenkalkül	179
6.3.1	Folgerungen	179
6.3.2	Ableitungsregeln der Aussagenlogik	181
6.3.3	Beweis aussagenlogischer Ausdrücke	185
6.3.4	Formale Systeme der Aussagenlogik	188
6.3.5	Eigenschaften des Aussagenkalküls	189
6.4	Problemlösen durch Resolution	190
6.4.1	Resolutionsprinzip der Aussagenlogik	190
6.4.2	Widerspruchsbeweis	192
6.4.3	Resolutionskalkül	194
6.4.4	Steuerung des Inferenzprozesses	197
6.5	Anwendungsbeispiel: Verifikation von Steuerungen	202
	Literaturhinweise	205

7	Prädikatenlogik	207
7.1	Grundlagen der Prädikatenlogik	207
7.1.1	Prädikate, logische Ausdrücke und Aussageformen	207
7.1.2	Prädikatenlogische Ausdrücke in Klauselform	212
7.1.3	Semantik prädikatenlogischer Ausdrücke	214
7.2	Prädikatenkalkül	216
7.2.1	Resolutionsregel der Prädikatenlogik	216
7.2.2	Resolutionskalkül	219
7.2.3	Merkmale von Resolutionssystemen	222
7.3	Resolutionswiderlegung in der logischen Programmierung	224
7.3.1	Resolutionsregel für Hornklauseln	224
7.3.2	Beweisverfahren der logischen Programmierung	227
7.4	Logik als Grundlage der Wissensrepräsentation und der Wissensverarbeitung	231
7.4.1	Modellierung technischer Systeme durch logische Ausdrücke	231
7.4.2	Beispiel: Prädikatenlogische Beschreibung von Planungsaufgaben	232
7.4.3	Vergleich von regelbasierter und logikbasierter Wissensverarbeitung	237
7.4.4	Erweiterungsmöglichkeiten der klassischen Logik	238
	Literaturhinweise	239
8	Logische Programmierung in PROLOG	241
8.1	Einführung in die logische Programmierung	241
8.2	Syntax von PROLOG	242
8.3	Abarbeitung logischer Programme	244
8.3.1	Semantik logischer Programme	244
8.3.2	Steuerfluss bei der Verarbeitung logischer Programme	245
8.3.3	Interpretation des Ergebnisses	249
8.4	Programmelemente	251
8.4.1	Verarbeitung von Listen	251
8.4.2	Rekursive Programmierung	253
8.4.3	Built-in-Prädikate	254
8.5	Programmbeispiele	259
8.5.1	Bestimmung von Pfaden in gerichteten Grafen	259
8.5.2	Zusammenfassung eines Widerstandsnetzwerkes	265
8.5.3	Handlungsplanung für Roboter	269
8.6	Anwendungsgebiete von PROLOG	274
	Literaturhinweise	276

Teil 3: Verarbeitung unsicheren Wissens

9	Nichtmonotones Schließen und ATMS	277
9.1	Probleme und Lösungswege für die Verarbeitung unsicheren Wissens	277
9.1.1	Quellen für die Unbestimmtheiten der Wissensbasis	278
9.1.2	Probleme der Darstellung und der Verarbeitung unsicheren Wissens	281

9.1.3	Überblick über die Behandlungsmethoden für unsicheres Wissen	282
9.2	Darstellung veränderlichen Wissens	283
9.3	Grundidee des ATMS	287
9.3.1	Begründungen	287
9.3.2	ATMS-Graf	288
9.3.3	Lokale und globale Umgebungen	290
9.4	Erweiterungen	294
9.4.1	Verwaltung logischer Ausdrücke	294
9.4.2	Behandlung logischer Widersprüche	296
9.4.3	Zusammenspiel von Problemlöser und ATMS	299
9.5	Anwendungsbeispiel: Analyse eines verfahrenstechnischen Prozesses	301
9.5.1	Aussagenlogisches Modell	301
9.5.2	Bildung des ATMS-Grafen	303
9.5.3	Analyse und Prozessüberwachung mit dem ATMS	307
9.6	Fehlerdiagnose mit ATMS	311
9.6.1	Modellbasierte Diagnose	311
9.6.2	Diagnoseprinzip GDE	314
9.6.3	Realisierung von GDE mit einem ATMS	315
9.6.4	Erweiterungen	319
	Literaturhinweise	324
10	Mehrwertige und unscharfe Logik	325
10.1	Mehrwertige Logiken	325
10.1.1	Logische Ausdrücke der dreiwertigen Logik	325
10.1.2	Ableitungsregel und Theorembeweisen	327
10.1.3	Erweiterung von dreiwertiger auf mehrwertige Logiken	329
10.2	Wissensverarbeitung mit unscharfen Mengen	330
10.2.1	Unscharfe Mengen	330
10.2.2	Unscharfe Mengen in der Wissensrepräsentation	334
10.2.3	Unscharfe Logik	337
10.2.4	Fuzzifizierung und Defuzzifizierung	342
10.2.5	Anwendungsbeispiel: Fuzzyregelung	345
	Literaturhinweise	354
11	Probabilistische Logik und Bayesnetze	355
11.1	Wahrscheinlichkeitstheoretische Modelle	355
11.1.1	Übersicht über die wahrscheinlichkeitstheoretische Behandlung unsicheren Wissens	355
11.1.2	Aussagenlogische Beschreibung zufälliger Ereignisse	356
11.1.3	Wahrscheinlichkeit logischer Ausdrücke	360
11.2	Probabilistische Logik	364
11.2.1	Modus Ponens der probabilistischen Logik	364
11.2.2	Fehlende Modularität der probabilistischen Logik	368
11.2.3	Bayessche Inferenzregel	372
11.2.4	Lösung von Diagnoseaufgaben	374

11.2.5	Aussagekraft probabilistischer Folgerungen	377
11.2.6	Anwendungsgebiete der probabilistischen Logik	379
11.3	Bayesnetze	380
11.3.1	Abhängige und unabhängige Ereignisse	380
11.3.2	Modellbildung mit Bayesnetzen	388
11.3.3	Kausales Schließen mit Bayesnetzen	397
11.3.4	Diagnostisches Schließen mit Bayesnetzen	403
11.3.5	Erweiterung der Bayesnetze	408
11.4	Zusammenfassung und Wertung	409
	Literaturhinweise	412
12	Heuristische Verfahren zur Darstellung und zur Verarbeitung unsicheren Wissens	413
12.1	Wissensverarbeitung auf der Grundlage der Evidenztheorie	413
12.1.1	Grundlagen der Evidenztheorie	414
12.1.2	Dempster-Regel	417
12.1.3	Erweiterung der Aussagenlogik mit Hilfe der Evidenztheorie	418
12.2	Heuristische Methoden	422
12.2.1	Beschreibung der Unbestimmtheit des Wissens durch Konfidenz- faktoren	422
12.2.2	Verarbeitung der Konfidenzfaktoren bei Ableitungen	424
12.3	Vergleichende Zusammenfassung der Methoden zur Verarbeitung unsicheren Wissens	426
	Literaturhinweise	428
13	Wissensverarbeitung mit strukturierten Objekten	429
13.1	Begriffsbildung und strukturierte Objekte	429
13.1.1	Begriffshierarchien und Vererbung von Eigenschaften	430
13.1.2	Multihierarchien und Sichten	432
13.2	Semantische Netze	433
13.2.1	Syntax und Semantik	433
13.2.2	Kausale Netze	435
13.3	Frames	436
13.3.1	Grundidee der Wissensrepräsentation mit Frames	436
13.3.2	Anordnung von Frames in Generalisierungshierarchien	439
13.3.3	Erweiterungsmöglichkeiten	440
13.3.4	Vergleich von Frames mit anderen Wissenrepräsentationsformen	442
	Literaturhinweise	443
14	Merkmale und technische Anwendungsgebiete der Wissensverarbeitung	445
14.1	Struktur wissensbasierter Systeme	445
14.2	Wissensrepräsentation	446
14.2.1	Modellbildung	446
14.2.2	Deklaratives und prozedurales Wissen	448
14.2.3	Anforderungen an die Wissensrepräsentation	449

14.2.4 Wissensrepräsentationsmodelle	451
14.2.5 Modularität der Wissensrepräsentation	453
14.2.6 Wissenserwerb	454
14.3 Wissensverarbeitung	455
14.3.1 Zusammenfassung der Verarbeitungsmethoden	455
14.3.2 Problemspezifikation und Algorithmierung	457
14.4 Ingenieurtechnische Anwendungsgebiete	459
Literaturverzeichnis	465

Anhänge

Anhang 1: Lösung von Übungsaufgaben	471
Anhang 2: Grundlagen der Wahrscheinlichkeitsrechnung	493
Anhang 3: Aufgaben zur Prüfungsvorbereitung	499
Anhang 4: Projektaufgabe	503
Anhang 5: Fachwörter deutsch – englisch	507
Sachwortverzeichnis	511