

Handbuch der Künstlichen Intelligenz

von

Prof. Dr. Günther Görz
Friedrich-Alexander-Universität
Erlangen-Nürnberg

Prof. Dr. Josef Schneeberger
Technische Hochschule Deggendorf

Prof. Dr. Ute Schmid
Otto-Friedrich-Universität Bamberg

5., überarbeitete und aktualisierte Auflage

Oldenbourg Verlag München

Inhaltsverzeichnis

Vorwort	V
----------------	----------

1	Einleitung	1
1.1	Zum Begriff Künstliche Intelligenz	2
1.2	Die Entwicklung der KI	4
1.3	Grundsätzliche Herangehensweisen	6
1.3.1	Symbolische Repräsentation – die Wissensebene	6
1.3.2	Verteilung und Situiertheit.....	9
1.3.3	Nicht-Symbolische Ansätze und Maschinelles Lernen.....	11
1.3.4	Verkörperung (Embodiment)	12
1.4	Teilbereiche und Anwendungsgebiete der KI	13
	Literaturverzeichnis	16

I Grundlagen

2	Kognition	21
2.1	Kognitionswissenschaft	22
2.1.1	Charakterisierung und historische Entwicklung	22
2.1.2	Methoden kognitionswissenschaftlicher Forschung	24
2.2	Menschliche Kognition.....	34
2.2.1	Wahrnehmung, Aufmerksamkeit, Bewusstsein, Handlungskontrolle	35
2.2.2	Mentale Repräsentation, Begriffe und mentale Modelle	38
2.2.3	Gedächtnis und Lernen	39
2.2.4	Denken und Problemlösen	44
2.2.5	Soziale Kognition	53
2.2.6	Sprache.....	57
2.2.7	Schlusswort.....	63
	Literaturverzeichnis	64
3	Suche	75
3.1	Problemlösen als Suche	75
3.1.1	Problemrepräsentation mit Zuständen und Operatoren.....	75

3.1.2	Generische Suche	78
3.1.3	Suchstrategien und deren Bewertung	81
3.2	Uninformierte Suchverfahren	82
3.2.1	Breitensuche	82
3.2.2	Gleiche-Kosten-Suche	84
3.2.3	Tiefensuche	85
3.2.4	Schrittweise vertiefende Suche	88
3.3	Heuristische Suche	89
3.3.1	Heuristische Schätzfunktionen	89
3.3.2	Suche mit schrittweiser lokaler Verbesserung	91
3.3.3	Bestensuche	94
	Literaturverzeichnis	103

4	Wissensrepräsentation und -verarbeitung	105
4.1	Einleitung und Motivation	105
4.1.1	Wissen – wozu?	105
4.1.2	Wissensformen	106
4.1.3	Repräsentation	109
4.1.4	Wissensverarbeitung = Schlussfolgern	110
4.2	Deklarative Wissensrepräsentation	111
4.2.1	Wissensbasierte Systeme	111
4.2.2	Die Rolle der Logik	113
4.2.3	Schlussfolgerungstypen	114
4.3	Ein Beispiel: Beschreibungslogiken	115
4.3.1	Der Formalismus	115
4.3.2	Semantik	117
4.3.3	Inferenzdienste	118
4.3.4	Inferenzalgorithmen	119
4.3.5	Berechenbarkeitseigenschaften	123
4.3.6	Neuere Entwicklungen	125
4.4	Ausblick	126
	Literaturverzeichnis	127

5	Automatische Inferenz	129
5.1	Einleitung	129
5.2	Entwurf automatischer Inferenzsysteme	132
5.3	Prädikatenlogik erster Stufe	134
5.4	Normalformen	137
5.5	Das DPLL Verfahren für die Aussagenlogik	142

5.6	Aussagenlogische Resolution	145
5.6.1	Ein einfacher Resolutionskalkül	146
5.6.2	A-geordnete Resolution	149
5.6.3	Verfeinerungen des Resolutionsverfahrens	154
5.7	Kalküle für die Prädikatenlogik	154
5.7.1	Herbrand-Theorie	155
5.7.2	Prädikatenlogische Resolution	157
5.8	Weitere Betrachtungen	163
	Literaturverzeichnis	164

II Theorie und Methoden

6	Nichtmonotones Schließen	171
6.1	Einführung	171
6.2	Formalisierungen nichtmonotonen Schließens	176
6.2.1	Default Logik	177
6.2.2	Autoepistemische Logik	183
6.2.3	Zirkumskription	185
6.3	Default-Schließen als Behandlung von Inkonsistenz	187
6.3.1	Ein Rahmen für nichtmonotone Systeme	187
6.3.2	Pooles System	189
6.3.3	Zuverlässigkeitsstufen	191
6.4	Nichtmonotonie und Logikprogrammierung	193
6.4.1	Stabile Modelle	194
6.4.2	Wohlfundierte Semantik	195
6.4.3	Antwortmengenprogrammierung	197
6.5	Argumentation	198
6.6	Ausblick	200
	Literaturverzeichnis	201
7	Constraints	205
7.1	Einführung	205
7.2	Finite-Domain-Constraints	207
7.2.1	Constraint-Satisfaction-Probleme	207
7.2.2	Lokale und globale Konsistenz	209
7.2.3	Suchtechniken	212
7.2.4	Globale Constraints	215
7.3	Constraint-basierte Programmierung	220
7.3.1	Constraint-logische Programmierung	221
7.3.2	Constraint-basierte Modellierungssprachen	222

7.3.3	Constraints als Objekte	223
7.3.4	Nebenläufige Constraint-Programmierung	224
7.4	Soft-Constraints.....	225
7.5	Temporale Constraints	227
7.6	Zusammenfassung	229
	Literaturverzeichnis	230
8	Unsicheres und vages Wissen	235
8.1	Begriffe	236
8.1.1	Wissen	236
8.1.2	Impräzision, Unsicherheit und Vagheit	236
8.1.3	Schlussfolgern	238
8.1.4	Wahrscheinlichkeit.....	240
8.1.5	Fuzzy-Menge	246
8.2	Sicherheitsfaktoren.....	250
8.2.1	Grundlagen des Sicherheitsfaktoransatzes	250
8.2.2	Rechenregeln für Sicherheitsfaktoren	253
8.2.3	Inkonsistenz der Originaldefinition.....	255
8.2.4	Korrekte probabilistische Interpretation	257
8.3	Probabilistische Schlussfolgerungsnetze.....	259
8.3.1	Ein einfaches Beispiel	261
8.3.2	Bedingte Unabhängigkeit.....	266
8.3.3	Darstellung durch Graphen	269
8.3.4	Evidenzpropagation	275
8.3.5	Lernen aus Daten	280
8.4	Fuzzy-Regelsysteme	281
8.4.1	Einführung	281
8.4.2	Fuzzy-Regelsysteme nach Mamdani	283
8.4.3	Defuzzifizierung	285
8.4.4	Fuzzy-Regelung auf der Basis von Gleichheitsrelationen	287
8.4.5	Fuzzy-Regelung und Relationalgleichungen	290
	Literaturverzeichnis	292
9	Fallbasiertes Schließen	297
9.1	Motivation und etwas Historie	297
9.2	Einige Charakteristika von CBR	299
9.3	Grundbegriffe und ein einfaches Modell	299
9.3.1	Fälle als Erfahrungen.....	299
9.3.2	CBR Methodologie	301
9.3.3	Das Prozessmodell	301
9.3.4	Die Wissenscontainer und ihre Diskussion	303

9.4	Eine Erweiterung	303
9.5	Repräsentationssprachen	305
9.5.1	Attribut-Wert Darstellungen	305
9.5.2	Weitere Darstellungen	306
9.6	Ähnlichkeiten	307
9.6.1	Generelles	307
9.6.2	Semantik der Ähnlichkeitsmaße	310
9.6.3	Das lokal-global Prinzip für Ähnlichkeitsmaße	313
9.6.4	Spezielle Ähnlichkeitsmaße	314
9.7	Spezielle Retrievalfragen	317
9.8	Fallbasisprobleme	321
9.9	Adaptionsfragen	321
9.10	Ein paar typische Anwendungen	322
9.10.1	Aufwands-Prognose	322
9.10.2	E-commerce	323
9.10.3	Skizzen von Bildern	323
9.11	Methodologie zum Aufbau eines CBR-Systems und Integrationsfragen	324
9.11.1	Generelles	324
9.11.2	Integration in übergeordnete Problemlöser	325
	Literaturverzeichnis	326
10	Planen	329
10.1	Repräsentation von Planungsproblemen	330
10.1.1	Mengenbasiertes Planen: STRIPS	331
10.1.2	Die Planungsaufgabe	333
10.1.3	Propositionale Repräsentationen	333
10.2	Planen als Suche im Zustandsraum	334
10.2.1	Planungsheuristiken	336
10.2.2	Hierarchische Abstraktion	338
10.3	Planen im Planraum	339
10.3.1	Partiell geordnete Pläne	340
10.3.2	Planen mit partiell geordneten Plänen	340
10.3.3	Transformationsplanen	344
10.4	Graphbasiertes Planen	345
10.5	Erweiterungen und Ausblick	350
10.5.1	Erweiterungen des Planungsproblems	350
10.5.2	Was haben wir ausgelassen?	352
10.6	Literatur und Verweise	353
	Literaturverzeichnis	353

11	Neuronale Netze	357
11.1	Motivation	357
11.2	Natürliche neuronale Netze	359
11.2.1	Das Nervensystem besteht aus diskreten Zellen	359
11.2.2	Nervenzellen sind erregbar	360
11.2.3	Synaptische Übertragung	361
11.2.4	Lernen und synaptische Plastizität	363
11.3	Künstliche neuronale Netze	365
11.3.1	Elemente neuronaler Netze	365
11.3.2	Erregungsdynamik	366
11.3.3	Grundtypen von neuronalen Netzen	369
11.3.4	Gewichts- und Strukturdynamik	375
11.3.5	Überwachtes Lernen als Fehlerminimierung	376
11.3.6	Unüberwachtes Lernen	380
11.3.7	Generalisierung und Komplexität	386
11.4	Modellierung biologischer Systeme	390
11.4.1	Neuroanatomie des visuellen Systems	390
11.4.2	Rezeptive Felder	392
11.4.3	Visuelle Informationsverarbeitung	394
11.5	Mustererkennung mit neuronalen Netzen	397
11.6	Schlussbemerkung	401
11.7	Weiterführende Literatur	401
	Literaturverzeichnis	401
12	Maschinelles Lernen und Data Mining	405
12.1	Was ist maschinelles Lernen	406
12.1.1	Intensionale Definitionsversuche	406
12.1.2	Extensionale Definition über Lernaufgaben	407
12.1.3	Motivationen und Anwendungen	408
12.1.4	Wissensentdeckung	409
12.2	Funktionslernen aus Beispielen	410
12.3	Entscheidungsbäume	413
12.3.1	Stützen des Baumes	418
12.3.2	Boosting and Bagging: Ensemble-Methoden	419
12.3.3	Erweiterungen des Basis-Entscheidungsbaumverfahrens	420
12.4	Instanzbasiertes Lernen	421
12.4.1	Die Ähnlichkeitsfunktion	424
12.4.2	Parameterbestimmung durch Kreuzvalidierung	426
12.4.3	Weitere Verfahrensvarianten	427
12.5	Stützvektormethode	427
12.5.1	SVMs und die optimale Hyperebene	428

12.5.2	Wie berechnet man die optimale Hyperebene	429
12.5.3	Statistische Eigenschaften der optimalen Hyperebene	430
12.5.4	Nicht-lineare SVMs durch Kernfunktionen	432
12.5.5	SVMs mit „weicher“ Trennung	433
12.6	Lernbarkeit in wahrscheinlich annähernd korrektem Lernen (PAC)	433
12.6.1	Stichprobenkomplexität	435
12.7	Lernen aus strukturierten Daten: Logik	438
12.7.1	Repräsentation	439
12.7.2	Algorithmus FOIL	440
12.8	Assoziationsregeln	442
12.8.1	Der Apriori-Algorithmus	444
12.8.2	Erweiterungen	447
12.9	Subgruppenentdeckung	449
12.9.1	Qualitätsfunktionen	450
12.9.2	Effiziente Suche	453
12.9.3	Assoziationsregeln vs. Subgruppen	456
12.9.4	Erweiterungen	456
12.10	Clusteranalyse	457
12.10.1	Das k -Means-Verfahren	458
12.10.2	Hierarchische Clustering-Verfahren	460
12.11	Verstärkungslernen	461
12.11.1	Wann handelt ein Agent optimal?	462
12.11.2	Dynamische Programmierung	463
12.11.3	Q-Learning – Lernen in unbekannter Umgebung	465
12.11.4	Erweiterungen	466
12.12	Weiterführende Themen	466
Literaturverzeichnis		467
13	Sprachverarbeitung	473
13.1	Sprache und sprachliche Beschreibungsebenen	473
13.2	Sprache und KI	476
13.3	Anwendungen der Sprachtechnologie	480
13.3.1	Werkzeuge für die zwischenmenschliche Kommunikation	482
13.3.2	Werkzeuge für die Textproduktion	483
13.3.3	Werkzeuge für das Informationsmanagement	483
13.3.4	Mensch-Maschine-Kommunikation	485
13.4	Modelle und Verfahren zur Sprachverarbeitung	485
13.4.1	Strukturbeschreibungen	485
13.4.2	Wissensrepräsentation	491
13.4.3	Strukturanalyse	499
13.4.4	Robuste Verfahren	504

13.4.5	Maschinelles Lernen zur Wissensakquisition	513
13.4.6	Generierung	514
13.5	Architekturen für die Sprachverarbeitung	516
13.5.1	Modularisierung	516
13.5.2	Inkrementelle Verarbeitung	518
13.5.3	Multimodale Kommunikation	519
	Literaturverzeichnis	520

14	Multiagentensysteme	527
14.1	Vom Agenten zum Multiagentensystem	528
14.1.1	Begriff und Charakteristika	528
14.1.2	Wichtige Agentenarchitekturen	529
14.1.3	Multiagentensystem	533
14.2	Interaktion, Kommunikation, Organisation	534
14.2.1	Kommunikation und Koordinationsinfrastruktur	534
14.2.2	Interaktionsprotokolle	537
14.2.3	Organisation	537
14.2.4	Koordinierte Aktivitäten	539
14.3	Von der Kooperation zum Wettbewerb	540
14.3.1	Idee des rationalen Agenten	541
14.3.2	Voting	542
14.3.3	Auktionen	544
14.3.4	Verhandlungen	545
14.3.5	Bildung von Koalitionen	546
14.4	Entwicklung und Praxis	546
14.4.1	Agentenorientiertes Software Engineering	546
14.4.2	Werkzeuge und Wettbewerbe	548
14.4.3	(Zu) kurzer Blick auf die Anwendungen	549
14.5	Aktuelle Trends	550
	Literaturverzeichnis	551

III Anwendungen

15	Verkörpernte Kommunikation mit kognitiven virtuellen Agenten	559
15.1	Einleitung	559
15.2	Grundlagen	560
15.2.1	Begriffe der Kommunikation	560

15.3	Technische Ansätze	563
15.3.1	Dialogmanagement	563
15.3.2	Multimodale Verhaltensverarbeitung	564
15.3.3	Multimodale Verhaltensgenerierung	565
15.3.4	Emotionen	566
15.3.5	Kognitive Architektur	566
15.4	Virtueller Kommunikationspartner Max	567
15.4.1	Szenario	567
15.4.2	Kognitive Architektur: Beispiel	568
15.4.3	Interaktionssteuerung	571
15.4.4	Sprach- und Gestenverarbeitung	572
15.4.5	Turn-Taking	573
15.4.6	Multimodale Verhaltensgenerierung	575
15.4.7	Physis, Emotionen, Bewegungsgenerierung	577
15.5	Zusammenfassung und Ausblick	578
Literaturverzeichnis		579
16	Semantic Web	585
16.1	Einleitung	585
16.2	Semantic Web Architektur.....	586
16.3	Verteilte semantische Daten im Web	590
16.3.1	Verknüpfte Daten	590
16.3.2	Anfragen mit SPARQL.....	591
16.3.3	Anfragen auf verknüpfte und verteilte Daten.....	593
16.4	Wissensrepräsentation und -integration	595
16.4.1	Analyse des einführenden Beispiels	595
16.4.2	Verschiedene Arten von Ontologien.....	596
16.4.3	Verteiltes Netzwerk von Ontologien im Web	597
16.5	Inferenz im Web	599
16.6	Identität und Verknüpfung von Objekten und Begriffen	600
16.7	Herkunft und Vertrauenswürdigkeit von Daten	602
16.8	Semantic Web Anwendungen und Benutzerschnittstellen	603
16.8.1	Vokabulare und Schemas	603
16.8.2	Semantic Web Browser und Semantische Suche	604
16.8.3	Zugriff auf soziale Netzwerke	605
16.8.4	Visualisierung semantisch heterogener und verteilter Daten	605
16.9	Zusammenfassung und Ausblick	606
Literaturverzeichnis		608

17	Universelle Spielprogramme	613
17.1	Spielregeln beschreiben: Wissensrepräsentation	614
17.1.1	Spielzustände und Züge	614
17.1.2	Spielregeln	615
17.1.3	GDL: Zusammenfassung	618
17.1.4	Kommunikationsprotokoll für GDL	619
17.2	Spielregeln verstehen: Inferenz	619
17.2.1	Unifikation/Grundinstanzierung	622
17.2.2	Ableitungsschritt (ohne Negation)	622
17.2.3	Ableitungen	623
17.2.4	Regeln mit Negation	623
17.2.5	Regeln mit Disjunktion	624
17.3	Spielbaumsuche	624
17.3.1	Minimax-Verfahren	624
17.3.2	Optimierungen	626
17.3.3	Gegenspielermodelle	627
17.4	Stochastische Baumsuche	628
17.4.1	MCT-Suche	629
17.4.2	UCT-Bonus	629
17.4.3	Optimierungen	631
17.4.4	Grenzen	631
17.5	Heuristische Suche	632
17.5.1	Mobilitätsheuristik	633
17.5.2	Zielheuristiken	634
17.5.3	Optimierungen	636
17.6	Wissen	637
17.6.1	Domänenanalyse	637
17.6.2	Regelstrukturanalyse	639
17.7	Spiele mit unvollständiger Information	642
17.7.1	GDL-II	642
17.7.2	Hypothetische Spielstellungen	645
17.8	Weiterführende Literatur	647
	Literaturverzeichnis	647
Index		651