

Künstliche Intelligenz

Ein moderner Ansatz

4., aktualisierte Auflage

Stuart Russell
Peter Norvig

Inhaltsverzeichnis

Vorwort	15
Über die Autoren	20
I Künstliche Intelligenz	
Kapitel 1 Einleitung	21
1.1 Was ist KI?	22
1.2 Die Grundlagen der Künstlichen Intelligenz	27
1.3 Die Geschichte der Künstlichen Intelligenz	39
1.4 State of the Art	50
1.5 Risiken und Nutzen der KI	54
Bibliografische und historische Anmerkungen	59
Kapitel 2 Intelligente Agenten	61
2.1 Agenten und Umgebungen	62
2.2 Gutes Verhalten: das Konzept der Rationalität	64
2.3 Arten von Umgebungen	68
2.4 Die Struktur von Agenten	73
Bibliografische und historische Anmerkungen	88
II Problemlösen	
Kapitel 3 Problemlösen durch Suchen	91
3.1 Problemlösende Agenten	92
3.2 Beispielprobleme	95
3.3 Suchalgorithmen	100
3.4 Uninformierte Suchstrategien	105
3.5 Informierte (heuristische) Suchstrategien	114
3.6 Heuristische Funktionen	128
Bibliografische und historische Anmerkungen	137

Kapitel 4	Suche in komplexen Umgebungen	141
4.1	Lokale Suche und Optimierungsprobleme	142
4.2	Lokale Suche in stetigen Räumen	151
4.3	Suche mit nichtdeterministischen Aktionen	154
4.4	Suche in teilweise beobachtbaren Umgebungen.....	158
4.5	Onlinesuchagenten und unbekante Umgebungen.....	167
	Bibliografische und historische Anmerkungen	175
Kapitel 5	Adversariale Suche und Spiele	179
5.1	Spieltheorie	180
5.2	Optimale Entscheidungen in Spielen	182
5.3	Heuristische Alpha-Beta-Baumsuche	189
5.4	Monte-Carlo-Baumsuche	195
5.5	Stochastische Spiele	199
5.6	Teilweise beobachtbare Spiele	203
5.7	Einschränkungen von Spiel-Suchalgorithmen	208
	Bibliografische und historische Anmerkungen	211
Kapitel 6	Constraint-Satisfaction-Probleme	217
6.1	Definieren von Constraint-Satisfaction-Problemen	218
6.2	Constraint-Propagation: Inferenz in CSPs	223
6.3	Backtracking-Suche für CSPs	229
6.4	Lokale Suche für CSPs	236
6.5	Die Struktur von Problemen	238
	Bibliografische und historische Anmerkungen	243
 III Wissen, Schlussfolgerungen und Planen		
Kapitel 7	Logische Agenten	247
7.1	Wissensbasierte Agenten	249
7.2	Die Wumpus-Welt.....	250
7.3	Logik.....	254
7.4	Aussagenlogik: Eine sehr einfache Logik	257
7.5	Theorembeweise in der Aussagenlogik.....	262
7.6	Effektives Model Checking in der Aussagenlogik	273
7.7	Agenten auf der Basis von Aussagenlogik.....	278
	Bibliografische und historische Anmerkungen	289

IV Unsicheres Wissen und Schlussfolgern

Kapitel 12 Quantifizieren von Unsicherheit	441
12.1 Handeln unter Unsicherheit	442
12.2 Grundlegende Notation der Probabilistik	446
12.3 Inferenz mithilfe vollständiger gemeinsamer Verteilungen	453
12.4 Unabhängigkeit	455
12.5 Die Bayes'sche Regel und ihre Anwendung	457
12.6 Naive Bayes-Modelle.....	461
12.7 Eine erneute Betrachtung der Wumpus-Welt	462
Bibliografische und historische Anmerkungen	468
Kapitel 13 Probabilistisches Schlussfolgern	471
13.1 Wissensrepräsentation in einer unsicheren Domäne	472
13.2 Die Semantik Bayes'scher Netze	474
13.3 Exakte Inferenz in Bayes'schen Netzen	488
13.4 Approximative Inferenz für Bayes'sche Netze	496
13.5 Kausale Netze	511
Bibliografische und historische Anmerkungen	516
Kapitel 14 Probabilistisches Schlussfolgern über die Zeit	523
14.1 Zeit und Unsicherheit.....	524
14.2 Inferenz in Zeitmodellen	528
14.3 Hidden-Markov-Modelle	536
14.4 Kalman-Filter	542
14.5 Dynamische Bayes'sche Netze	549
Bibliografische und historische Anmerkungen	562
Kapitel 15 Probabilistische Programmierung	565
15.1 Relationale Wahrscheinlichkeitsmodelle.....	567
15.2 Wahrscheinlichkeitsmodelle mit offenem Universum.....	573
15.3 Eine komplexe Welt verfolgen	581
15.4 Programme als Wahrscheinlichkeitsmodelle	585
Bibliografische und historische Anmerkungen	590

Kapitel 16	Einfache Entscheidungen	595
16.1	Überzeugungen und Wünsche unter Unsicherheit	596
16.2	Grundlage der Nutzentheorie	597
16.3	Nutzenfunktionen	601
16.4	Nutzenfunktionen mit Mehrfachattributen	609
16.5	Entscheidungsnetze	614
16.6	Der Wert von Informationen	616
16.7	Unbekannte Präferenzen	623
	Bibliografische und historische Anmerkungen	628
Kapitel 17	Komplexe Entscheidungen	633
17.1	Sequenzielle Entscheidungsprobleme	634
17.2	Algorithmen für MDPs	645
17.3	Bandit-Probleme	653
17.4	Teilweise beobachtbare MDPs	661
17.5	Algorithmen zum Lösen von POMDPs	663
	Bibliografische und historische Anmerkungen	669
Kapitel 18	Entscheidungen in Multiagentenumgebungen	673
18.1	Eigenschaften von Multiagentenumgebungen	674
18.2	Nicht kooperative Spieltheorie	680
18.3	Die kooperative Spieltheorie	702
18.4	Kollektiventscheidungen treffen	709
	Bibliografische und historische Anmerkungen	724
V	Maschinelles Lernen	
Kapitel 19	Lernen aus Beispielen	729
19.1	Lernformen	730
19.2	Überwachtes Lernen	732
19.3	Lernen von Entscheidungsbäumen	736
19.4	Modellauswahl und Optimierung	745
19.5	Die Theorie des Lernens	752
19.6	Lineare Regression und Klassifikation	756
19.7	Nichtparametrische Modelle	767
19.8	Ensemble-Lernen	777
19.9	Entwicklung von Systemen für maschinelles Lernen	785
	Bibliografische und historische Anmerkungen	797

Kapitel 20	Lernen probabilistischer Modelle	803
20.1	Statistisches Lernen	804
20.2	Lernen mit vollständigen Daten	807
20.3	Lernen mit verborgenen Variablen: der EM-Algorithmus	821
	Bibliografische und historische Anmerkungen	830
Kapitel 21	Deep Learning	833
21.1	Einfache Feedforward-Netze	835
21.2	Berechnungsgraphen für Deep Learning	840
21.3	Convolutional Neural Networks	844
21.4	Algorithmen lernen	849
21.5	Generalisierung	853
21.6	Rekurrente neuronale Netze	857
21.7	Unüberwachtes Lernen und Transfer Learning	860
21.8	Anwendungen	867
	Bibliografische und historische Anmerkungen	870
Kapitel 22	Reinforcement Learning	875
22.1	Aus Belohnungen lernen	876
22.2	Passives Reinforcement Learning	878
22.3	Aktives Reinforcement Learning	884
22.4	Generalisierung beim Reinforcement Learning	890
22.5	Strategiesuche	897
22.6	Apprenticeship Learning und Inverse Reinforcement Learning	900
22.7	Anwendungen von Reinforcement Learning	903
	Bibliografische und historische Anmerkungen	907
 VI Kommunikation, Wahrnehmung und Aktion		
Kapitel 23	Natürliche Sprachverarbeitung	911
23.1	Sprachmodelle	912
23.2	Grammatik	923
23.3	Parsen	925
23.4	Erweiterte Grammatiken	931
23.5	Komplikationen der realen natürlichen Sprache	936
23.6	Aufgaben in natürlicher Sprache	939
	Bibliografische und historische Anmerkungen	949

Kapitel 24	Deep Learning für die Verarbeitung natürlicher Sprache	947
24.1	Wortembeddings	948
24.2	Rekurrente Neuronale Netze für NLP	952
24.3	Sequenz-zu-Sequenz-Modelle	956
24.4	Die Transformerarchitektur	961
24.5	Vortraining und Transfer Learning	963
24.6	Stand der Technik	968
	Bibliografische und historische Anmerkungen	971
Kapitel 25	Computer Vision	975
25.1	Einleitung	976
25.2	Bildaufbau	977
25.3	Einfache Bildeigenschaften	983
25.4	Bilder klassifizieren	991
25.5	Erkennen von Objekten	994
25.6	Die 3-D-Welt	997
25.7	Anwendungen der Computer Vision	1002
	Bibliografische und historische Anmerkungen	1016
Kapitel 26	Robotik	1021
26.1	Roboter	1022
26.2	Roboterhardware	1023
26.3	Welche Art von Problem löst die Robotik?	1027
26.4	Roboterwahrnehmung	1028
26.5	Planung und Kontrolle	1036
26.6	Planung unsicherer Bewegungen	1054
26.7	Reinforcement Learning in der Robotik	1057
26.8	Menschen und Roboter	1059
26.9	Alternative Robotik-Frameworks	1067
26.10	Anwendungsbereiche	1070
	Bibliografische und historische Anmerkungen	1075
VII	Fazit	
Kapitel 27	Philosophie, Ethik und Sicherheit der KI	1081
27.1	Die Grenzen der KI	1082
27.2	Können Maschinen wirklich denken?	1085
27.3	Ethik der KI	1087
	Bibliografische und historische Anmerkungen	1109

Kapitel 28 Die Zukunft der KI	1115
28.1 KI-Komponenten	1116
28.2 KI-Architekturen	1123
Anhang A Mathematischer Hintergrund	1127
A.1 Komplexitätsanalyse und $O()$ -Notation	1128
A.2 Vektoren, Matrizen und lineare Algebra	1130
A.3 Wahrscheinlichkeitsverteilungen	1132
Bibliografische und historische Anmerkungen	1134
Anhang B Hinweise zu Sprachen und Algorithmen	1135
B.1 Sprachen mit Backus-Naur-Form (BNF) definieren	1136
B.2 Algorithmen mit Pseudocode beschreiben	1137
B.3 Ergänzendes Onlinematerial	1138
Literaturverzeichnis	1139
Index	1209
Namensregister	1238