

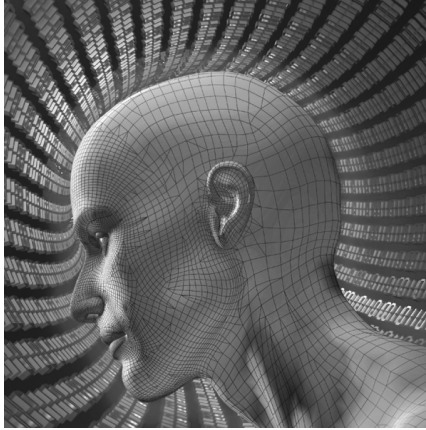


Stuart Russell
Peter Norvig

Künstliche Intelligenz

Ein moderner Ansatz

3., aktualisierte Auflage



**Stuart Russell
Peter Norvig**

Künstliche Intelligenz

Ein moderner Ansatz

3., aktualisierte Auflage

**Fachliche Betreuung:
Prof. Dr. Frank Kirchner**

PEARSON

Higher Education
München • Harlow • Amsterdam • Madrid • Boston
San Francisco • Don Mills • Mexico City • Sydney
a part of Pearson plc worldwide

Künstliche Intelligenz - PDF

Inhaltsverzeichnis

Künstliche Intelligenz

Inhaltsübersicht

Vorwort 13

Teil I - Künstliche Intelligenz

Kapitel 1 - Einführung 21

Intelligente Agenten 59

Teil II - Problemlösen

Kapitel 3 - Problemlösung durch Suchen 97

Über die klassische Suche hinaus 159

Adversariale Suche 205

Probleme unter Rand- oder Nebenbedingungen 251

Teil III - Wissen, Schließen und Planen

Kapitel 7 - Logische Agenten 289

Logik erster Stufe – First-Order-Logik 345

Inferenz in der Logik erster Stufe 387

Klassisches Planen 437

Planen und Agieren in der realen Welt 477

Wissensrepräsentation 517

Teil IV - Unsicheres Wissen und Schließen

Kapitel 13 - Unsicherheit quantifizieren 567

Probabilistisches Schließen 601

Probabilistisches Schließen über die Zeit 661

Einfache Entscheidungen 711

Komplexe Entscheidungen 751

Teil V - Lernen

Kapitel 18 - Aus Beispielen lernen 807

Wissen beim Lernen 889

Lernen probabilistischer Modelle 927

Verstärkendes (Reinforcement-)Lernen 959

Teil VI - Kommunizieren, Wahrnehmen und Handeln

Kapitel 22 - Verarbeitung natürlicher Sprache 995

Natürliche Sprache für die Kommunikation 1027

Wahrnehmung 1071

Robotik 1119

Teil VII - Schlussfolgerungen

Kapitel 26 - Philosophische Grundlagen 1175

KI: Gegenwart und Zukunft 1203

Mathematischer Hintergrund 1213

Inhaltsverzeichnis

Hinweise zu Sprachen und Algorithmen 1221

Bibliografie 1225

Personenregister 1271

Register 1283

Bibliografie 1225

Personenregister 1271

Register 1283

Inhaltsverzeichnis

Vorwort 13

Neu in dieser Auflage 13

Überblick über das Buch 14

Die Website 15

Danksagungen 16

Die Autoren 18

Teil I - Künstliche Intelligenz

Kapitel 1 - Einführung 21

1.1 Was ist KI? 22

1.2 Die Grundlagen der künstlichen Intelligenz 26

1.3 Die Geschichte der künstlichen Intelligenz 39

1.4 Die aktuelle Situation 52

Intelligente Agenten 59

2.1 Agenten und Umgebungen 60

2.2 Gutes Verhalten: das Konzept der Rationalität 63

2.3 Die Natur der Umgebungen 66

2.4 Die Struktur von Agenten 73

Teil II - Problemlösen

Kapitel 3 - Problemlösung durch Suchen 97

3.1 Problemlösende Agenten 98

3.2 Beispielprobleme 104

3.3 Die Suche nach Lösungen 110

3.4 Uninformierte Suchstrategien 116

3.5 Informierte (heuristische) Suchstrategien 128

3.6 Heuristikfunktionen 139

Über die klassische Suche hinaus 159

4.1 Lokale Suchalgorithmen und Optimierungsprobleme 160

4.2 Lokale Suche in stetigen Räumen 170

4.3 Suchen mit nichtdeterministischen Aktionen 173

4.4 Mit partiellen Beobachtungen suchen 179

4.5 Online-Suchagenten und unbekannte Umgebungen 189

Adversariale Suche 205

5.1 Spiele 206

5.2 Optimale Entscheidungen in Spielen 208

5.3 Alpha-Beta-Kürzung 212

5.4 Unvollständige Echtzeitentscheidungen 216

Inhaltsverzeichnis

- 5.5 Stochastische Spiele 223
- 5.6 Teilweise beobachtbare Spiele 226
- 5.7 Hochklassige Spielprogramme 232
- 5.8 Alternative Ansätze 235

Probleme unter Rand- oder Nebenbedingungen 251

- 6.1 Probleme unter Rand- und Nebenbedingungen – Definition 252
- 6.2 Beschränkungsweitergabe: Inferenz in CSPs 258
- 6.3 Backtracking-Suche für CSPs 265
- 6.4 Lokale Suche für Probleme unter Rand- und Nebenbedingungen 272
- 6.5 Die Struktur von Problemen 274

Teil III - Wissen, Schließen und Planen

Kapitel 7 - Logische Agenten 289

- 7.1 Wissensbasierte Agenten 291
- 7.2 Die Wumpus-Welt 292
- 7.3 Logik 296
- 7.4 Aussagenlogik: eine sehr einfache Logik 300
- 7.5 Theoreme der Aussagenlogik beweisen 305
- 7.6 Effektive aussagenlogische Inferenz 316
- 7.7 Agenten auf der Basis von Aussagenlogik 321

Logik erster Stufe – First-Order-Logik 345

- 8.1 Wiederholung der Repräsentation 346
- 8.2 Syntax und Semantik der Logik erster Stufe 352
- 8.3 Anwendung der Logik erster Stufe 363
- 8.4 Wissensmodellierung in Logik erster Stufe 370

Inferenz in der Logik erster Stufe 387

- 9.1 Aussagen- und prädikatenlogische Inferenz 388
- 9.2 Unifikation und Lifting 391
- 9.3 Vorwärtsverkettung 396
- 9.4 Rückwärtsverkettung 404
- 9.5 Resolution 413

Klassisches Planen 437

- 10.1 Definition der klassischen Planung 438
- 10.2 Planen mit Zustandsraumsuche 445
- 10.3 Planungsgraphen 452
- 10.4 Andere klassische Planungskonzepte 460
- 10.5 Analyse von Planungsansätzen 466

Planen und Agieren in der realen Welt 477

- 11.1 Zeit, Zeitpläne und Ressourcen 478
- 11.2 Hierarchisches Planen 482
- 11.3 Planen und Agieren in nicht deterministischen Domänen 493
- 11.4 Multiagenten-Planen 504

Wissensrepräsentation 517

- 12.1 Ontologisches Engineering 518
- 12.2 Kategorien und Objekte 521
- 12.3 Ereignisse 527
- 12.4 Mentale Ereignisse und mentale Objekte 532

Inhaltsverzeichnis

12.5 Deduktive Systeme für Kategorien 535

12.6 Schließen mit Defaultinformation 540

12.7 Die Internet-Shopping-Welt 545

Teil IV - Unsicheres Wissen und Schließen

Kapitel 13 - Unsicherheit quantifizieren 567

13.1 Handeln unter Unsicherheit 568

13.2 Grundlegende Notation für die Wahrscheinlichkeit 572

13.3 Inferenz mithilfe vollständig gemeinsamer Verteilungen 580

13.4 Unabhängigkeit 583

13.5 Die Bayessche Regel und ihre Verwendung 585

13.6 Eine erneute Betrachtung der Wumpus-Welt 589

Probabilistisches Schließen 601

14.1 Wissensrepräsentation in einer unsicheren Domäne 602

14.2 Die Semantik Bayesscher Netze 605

14.3 Effiziente Repräsentation bedingter Verteilungen 610

14.4 Exakte Inferenz in Bayesschen Netzen 615

14.5 Annähernde Inferenz in Bayesschen Netzen 623

14.6 Relationale Wahrscheinlichkeitsmodelle und Modelle erster Stufe 632

14.7 Weitere Ansätze zum unsicheren Schließen 640

Probabilistisches Schließen über die Zeit 661

15.1 Zeit und Unsicherheit 662

15.2 Inferenz in temporalen Modellen 666

15.3 Hidden-Markov-Modelle 675

15.4 Kalman-Filter 681

15.5 Dynamische Bayessche Netze 688

15.6 Verfolgen mehrerer Objekte 698

Einfache Entscheidungen 711

16.1 Glauben und Wünsche unter Unsicherheit kombinieren 712

16.2 Grundlagen der Nutzentheorie 713

16.3 Nutzenfunktionen 717

16.4 Nutzenfunktionen mit Mehrfachattributen 725

16.5 Entscheidungsnetze 730

16.6 Der Wert von Information 732

16.7 Entscheidungstheoretische Expertensysteme 737

Komplexe Entscheidungen 751

17.1 Sequentielle Entscheidungsprobleme 752

17.2 Wert-Iteration 759

17.3 Taktik-Iteration 764

17.4 Partiiell beobachtbare MEPs 766

17.5 Entscheidungen mit mehreren Agenten: Spieltheorie 775

17.6 Mechanismenentwurf 789

Teil V - Lernen

Kapitel 18 - Aus Beispielen lernen 807

18.1 Lernformen 809

18.2 Überwachtes Lernen 811

18.3 Lernen von Entscheidungsbäumen 814

Inhaltsverzeichnis

- 18.4 Die beste Hypothese bewerten und auswählen 825
- 18.5 Theorie des Lernens 831
- 18.6 Regression und Klassifizierung mit linearen Modellen 835
- 18.7 Künstliche neuronale Netze 845
- 18.8 Parameterfreie Modelle 856
- 18.9 Support-Vector-Maschinen 863
- 18.10 Gruppenlernen 868
- 18.11 Maschinelles Lernen in der Praxis 873

Wissen beim Lernen 889

- 19.1 Eine logische Formulierung des Lernens 890
- 19.2 Wissen beim Lernen 899
- 19.3 Erklärungsbasiertes Lernen 902
- 19.4 Lernen mit Relevanzinformation 907
- 19.5 Induktive logische Programmierung 910

Lernen probabilistischer Modelle 927

- 20.1 Statistisches Lernen 928
- 20.2 Lernen mit vollständigen Daten 932
- 20.3 Lernen mit verborgenen Variablen: der EM-Algorithmus 943

Verstärkendes (Reinforcement-)Lernen 959

- 21.1 Einführung 960
- 21.2 Passives verstärkendes Lernen 962
- 21.3 Aktives verstärkendes Lernen 969
- 21.4 Verallgemeinerung beim verstärkenden Lernen 975
- 21.5 Strategiesuche 979
- 21.6 Anwendungen des verstärkenden Lernens 981

Teil VI - Kommunizieren, Wahrnehmen und Handeln

Kapitel 22 - Verarbeitung natürlicher Sprache 995

- 22.1 Sprachmodelle 996
- 22.2 Textklassifizierung 1001
- 22.3 Informationsabruf 1004
- 22.4 Informationsextraktion 1011

Natürliche Sprache für die Kommunikation 1027

- 23.1 Phrasenstrukturgrammatiken 1028
- 23.2 Syntaktische Analyse (Parsing) 1032
- 23.3 Erweiterte Grammatiken und semantische Interpretation 1037
- 23.4 Maschinelle Übersetzung 1047
- 23.5 Spracherkennung 1054

Wahrnehmung 1071

- 24.1 Bildaufbau 1073
- 24.2 Frühe Operationen der Bildverarbeitung 1080
- 24.3 Objekterkennung nach Erscheinung 1088
- 24.4 Rekonstruieren der 3D-Welt 1093
- 24.5 Objekterkennung aus Strukturinformationen 1103
- 24.6 Computervision im Einsatz 1107

Robotik 1119

- 25.1 Einführung 1120

Inhaltsverzeichnis

- 25.2 Roboter-Hardware 1122
- 25.3 Roboterwahrnehmung 1128
- 25.4 Bewegung planen 1136
- 25.5 Planung unsicherer Bewegungen 1143
- 25.6 Bewegung 1147
- 25.7 Software-Architekturen in der Robotik 1154
- 25.8 Anwendungsbereiche 1157

Teil VII - Schlussfolgerungen

Kapitel 26 - Philosophische Grundlagen 1175

- 26.1 Schwache KI: Können Maschinen intelligent handeln? 1176
- 26.2 Starke KI: Können Maschinen wirklich denken? 1182
- 26.3 Ethik und Risiken bei der Entwicklung künstlicher Intelligenz 1191

KI: Gegenwart und Zukunft 1203

- 27.1 Agentenkomponenten 1204
- 27.2 Agentenarchitekturen 1207
- 27.3 Gehen wir in die richtige Richtung? 1209
- 27.4 Was passiert, wenn die KI erfolgreich ist? 1211

Mathematischer Hintergrund 1213

- A.1 Komplexitätsanalyse und O()-Notation 1214
- A.2 Vektoren, Matrizen und lineare Algebra 1216
- A.3 Wahrscheinlichkeitsverteilungen 1218

Hinweise zu Sprachen und Algorithmen 1221

- B.1 Sprachen mit Backus-Naur-Form (BNF) definieren 1222
- B.2 Algorithmen mit Pseudocode beschreiben 1223
- B.3 Online-Hilfe 1224

Bibliografie 1225

Personenregister 1271

Register 1283

Bibliografie 1225

Personenregister 1271

Register 1283

Vorwort

Teil I - Künstliche Intelligenz

Kapitel 1 - Einführung

1.1 Was ist KI?

- 1.1.1 Menschliches Handeln: der Ansatz mit dem Turing-Test
- 1.1.2 Menschliches Denken: der Ansatz der kognitiven Modellierung
- 1.1.3 Rationales Denken: der Ansatz der „Denkregeln“
- 1.1.4 Rationales Handeln: der Ansatz der rationalen Agenten

1.2 Die Grundlagen der künstlichen Intelligenz

- 1.2.1 Philosophie
- 1.2.2 Mathematik
- 1.2.3 Wirtschaftswissenschaft

Inhaltsverzeichnis

- 1.2.4 Neurowissenschaft
- 1.2.5 Psychologie
- 1.2.6 Technische Informatik
- 1.2.7 Regelungstheorie und Kybernetik
- 1.2.8 Linguistik

1.3 Die Geschichte der künstlichen Intelligenz

- 1.3.1 Der Reifungsprozess der künstlichen Intelligenz (1943–1955)
- 1.3.2 Die Geburt der künstlichen Intelligenz (1956)
- 1.3.3 Früher Enthusiasmus, große Erwartungen (1952–1969)
- 1.3.4 Ein bisschen Realität (1966–1973)
- 1.3.5 Wissensbasierte Systeme: der Schlüssel zum Erfolg? (1969–1979)
- 1.3.6 KI wird zu einem Industriezweig (1980 bis heute)
- 1.3.7 Die Rückkehr der neuronalen Netze (1986 bis heute)
- 1.3.8 KI wird zu einer Wissenschaft (1987 bis heute)
- 1.3.9 Das Entstehen intelligenter Agenten (1995 bis heute)
- 1.3.10 Die Verfügbarkeit sehr großer Datenmengen (2001 bis heute)

1.4 Die aktuelle Situation

Kapitel 2 - Intelligente Agenten

2.1 Agenten und Umgebungen

2.2 Gutes Verhalten: das Konzept der Rationalität

- 2.2.1 Rationalität
- 2.2.2 Allwissenheit, Lernen und Autonomie

2.3 Die Natur der Umgebungen

- 2.3.1 Spezifizieren der Aufgabenumgebung
- 2.3.2 Eigenschaften von Aufgabenumgebungen

2.4 Die Struktur von Agenten

- 2.4.1 Agentenprogramme
- 2.4.2 Einfache Reflexagenten
- 2.4.3 Modellbasierte Reflexagenten
- 2.4.4 Zielbasierte Agenten
- 2.4.5 Nutzenbasierte Agenten
- 2.4.6 Lernende Agenten
- 2.4.7 Wie die Komponenten von Agentenprogrammen funktionieren

Teil II - Problemlösen

Kapitel 3 - Problemlösung durch Suchen

3.1 Problemlösende Agenten

- 3.1.1 Wohldefinierte Probleme und Lösungen
- 3.1.2 Probleme formulieren

3.2 Beispielprobleme

- 3.2.1 Spielprobleme

Inhaltsverzeichnis

3.2.2 Probleme aus der realen Welt

3.3 Die Suche nach Lösungen

3.3.1 Infrastruktur für Suchalgorithmen

3.3.2 Leistungsbewertung für die Problemlösung

3.4 Uninformierte Suchstrategien

3.4.1 Breitensuche (Breadth-first)

3.4.2 Suche mit einheitlichen Kosten (Uniform-cost-Suche)

3.4.3 Tiefensuche (Depth-first)

3.4.4 Tiefenbeschränkte Suche (Depth-limited)

3.4.5 Iterativ vertiefende Tiefensuche (iterative deepening depth-first search)

3.4.6 Bidirektionale Suche

3.4.7 Vergleich uninformatierter Suchstrategien

3.5 Informierte (heuristische) Suchstrategien

3.5.1 „Gierige“ Bestensuche (Greedy Best-first)

3.5.2 A*-Suche: Minimierung der geschätzten Gesamtkosten für die Lösung

3.5.3 Speicherbegrenzte heuristische Suche

3.5.4 Lernen, besser zu suchen

3.6 Heuristikfunktionen

3.6.1 Die Wirkung heuristischer Genauigkeit auf die Leistung

3.6.2 Zulässige Heuristikfunktionen aus gelockerten Problemen generieren

3.6.3 Zulässige Heuristiken aus Unterproblemen generieren: Musterdatenbanken

3.6.4 Heuristiken aus Erfahrung lernen

Kapitel 4 - Über die klassische Suche hinaus

4.1 Lokale Suchalgorithmen und Optimierungsprobleme

4.1.1 Hillclimbing-Suche (Bergsteigeralgorithmus)

4.1.2 Simulated-Annealing – simuliertes Abkühlen

4.1.3 Lokale Strahlsuche (Local Beam Search)

4.1.4 Genetische Algorithmen

4.2 Lokale Suche in stetigen Räumen

4.3 Suchen mit nichtdeterministischen Aktionen

4.3.1 Die erratische Staubsaugerwelt

4.3.2 AND-OR-Suchbäume

4.3.3 Immer wieder versuchen

4.4 Mit partiellen Beobachtungen suchen

4.4.1 Suchen ohne Beobachtung

4.4.2 Suchen mit Beobachtungen

4.4.3 Partiiell beobachtbare Probleme lösen

4.4.4 Ein Agent für partiell beobachtbare Umgebungen

4.5 Online-Suchagenten und unbekannte Umgebungen

4.5.1 Online-Suchprobleme

4.5.2 Online-Suchagenten

Inhaltsverzeichnis

4.5.3 Lokale Online-Suche

4.5.4 Lernen bei der Online-Suche

Kapitel 5 - Adversariale Suche

5.1 Spiele

5.2 Optimale Entscheidungen in Spielen

5.2.1 Der Minimax-Algorithmus

5.2.2 Optimale Entscheidungen in Mehrspieler-Spielen

5.3 Alpha-Beta-Kürzung

5.3.1 Zugreihenfolge

5.4 Unvollständige Echtzeitentscheidungen

5.4.1 Bewertungsfunktionen

5.4.2 Abbrechen der Suche

5.4.3 Vorabkürzung

5.4.4 Suche und Nachschlagen

5.5 Stochastische Spiele

5.5.1 Bewertungsfunktionen für Zufallsspiele

5.6 Teilweise beobachtbare Spiele

5.6.1 Kriegsspiel: teilweise beobachtbares Schach

5.6.2 Kartenspiele

5.7 Hochklassige Spielprogramme

5.8 Alternative Ansätze

Kapitel 6 - Probleme unter Rand- oder Nebenbedingungen

6.1 Probleme unter Rand- und Nebenbedingungen – Definition

6.1.1 Beispielproblem: Färben von Karten

6.1.2 Beispielproblem: Fertigungsablaufplanung

6.1.3 Variationen des CSP-Formalismus

6.2 Beschränkungsweitergabe: Inferenz in CSPs

6.2.1 Knotenkonsistenz

6.2.2 Kantenkonsistenz

6.2.3 Pfadkonsistenz

6.2.4 k-Konsistenz

6.2.5 Globale Beschränkungen

6.2.6 Sudoku-Beispiel

6.3 Backtracking-Suche für CSPs

6.3.1 Reihenfolge von Variablen und Werten

6.3.2 Suche und Inferenz verknüpfen

6.3.3 Intelligentes Backtracking: rückwärts schauen

6.4 Lokale Suche für Probleme unter Rand- und Nebenbedingungen

6.5 Die Struktur von Problemen

Teil III - Wissen, Schließen und Planen

Inhaltsverzeichnis

Kapitel 7 - Logische Agenten

- 7.1 Wissensbasierte Agenten
- 7.2 Die Wumpus-Welt
- 7.3 Logik
- 7.4 Aussagenlogik: eine sehr einfache Logik
 - 7.4.1 Syntax
 - 7.4.2 Semantik
 - 7.4.3 Eine einfache Wissensbasis
 - 7.4.4 Eine einfache Inferenzprozedur
- 7.5 Theoreme der Aussagenlogik beweisen
 - 7.5.1 Inferenz und Beweise
 - 7.5.2 Beweis durch Resolution
 - 7.5.3 Horn-Klauseln und definitive Klauseln
 - 7.5.4 Vorwärts- und Rückwärtsverkettung
- 7.6 Effektive aussagenlogische Inferenz
 - 7.6.1 Ein vollständiger Backtracking-Algorithmus
 - 7.6.2 Lokale Suchalgorithmen
 - 7.6.3 Die Landschaft zufälliger SAT-Probleme
- 7.7 Agenten auf der Basis von Aussagenlogik
 - 7.7.1 Der aktuelle Zustand der Welt
 - 7.7.2 Ein hybrider Agent
 - 7.7.3 Logische Zustandsschätzung
 - 7.7.4 Pläne durch aussagenlogische Inferenz erstellen

Kapitel 8 - Logik erster Stufe First-Order-Logik

- 8.1 Wiederholung der Repräsentation
 - 8.1.1 Die Sprache des Denkens
 - 8.1.2 Die Vorzüge der formalen und natürlichen Sprachen vereinen
- 8.2 Syntax und Semantik der Logik erster Stufe
 - 8.2.1 Modelle für die Logik erster Stufe
 - 8.2.2 Symbole und Interpretationen
 - 8.2.3 Terme
 - 8.2.4 Atomare Sätze
 - 8.2.5 Komplexe Sätze
 - 8.2.6 Quantoren
 - 8.2.7 Gleichheit
 - 8.2.8 Eine alternative Semantik?
- 8.3 Anwendung der Logik erster Stufe
 - 8.3.1 Zusicherungen und Abfragen in der Logik erster Stufe
 - 8.3.2 Die Verwandtschaftsdomäne
 - 8.3.3 Zahlen, Mengen und Listen

Inhaltsverzeichnis

8.3.4 Die Wumpus-Welt

8.4 Wissensmodellierung in Logik erster Stufe

8.4.1 Der Prozess der Wissensmodellierung

8.4.2 Die Domäne der elektronischen Schaltkreise

Kapitel 9 - Inferenz in der Logik erster Stufe

9.1 Aussagen- und prädikatenlogische Inferenz

9.1.1 Inferenzregeln für Quantoren

9.1.2 Reduzierung auf aussagenlogische Inferenz

9.2 Unifikation und Lifting

9.2.1 Eine Inferenzregel der Logik erster Stufe

9.2.2 Unifikation

9.2.3 Speichern und Abrufen

9.3 Vorwärtsverkettung

9.3.1 Definite Klauseln erster Stufe

9.3.2 Ein einfacher Algorithmus für die Vorwärtsverkettung

9.3.3 Effiziente Vorwärtsverkettung

9.4 Rückwärtsverkettung

9.4.1 Ein Algorithmus für die Rückwärtsverkettung

9.4.2 Logikprogrammierung

9.4.3 Effiziente Implementierung von Logikprogrammen

9.4.4 Redundante Inferenz und Endlosschleifen

9.4.5 Datenbanksemantik von Prolog

9.4.6 Logikprogrammierung mit Randbedingungen

9.5 Resolution

9.5.1 Konjunktive Normalform für die Logik erster Stufe

9.5.2 Die Resolutions-Inferenzregel

9.5.3 Beispielbeweise

9.5.4 Vollständigkeit der Resolution

9.5.5 Gleichheit

9.5.6 Resolutionsstrategien

9.5.7 Praktische Verwendung von Resolutions-Theorembeweisern

Kapitel 10 - Klassisches Planen

10.1 Definition der klassischen Planung

10.1.1 Beispiel: Luftfrachttransport

10.1.2 Beispiel: das Ersatzreifenproblem

10.1.3 Beispiel: die Blockwelt

10.1.4 Die Komplexität der klassischen Planung

10.2 Planen mit Zustandsraumsuche

10.2.1 Vorwärts-(Progressions-)Zustandsraumsuche

10.2.2 Rückwärts-Zustandsraumsuche

Inhaltsverzeichnis

10.2.3 Heuristiken für die Planung

10.3 Planungsgraphen

10.3.1 Planungsgraphen für heuristische Schätzung

10.3.2 Der Graphplan-Algorithmus

10.3.3 Terminierung von Graphplan

10.4 Andere klassische Planungskonzepte

10.4.1 Klassisches Planen als boolesche Erfüllbarkeit

10.4.2 Planen als logische Deduktion erster Stufe: Situationskalkül

10.4.3 Planen als Problem unter Rand- und Nebenbedingungen

10.4.4 Planen als Verfeinerung von partiell geordneten Plänen

10.5 Analyse von Planungsansätzen

Kapitel 11 - Planen und Agieren in der realen Welt

11.1 Zeit, Zeitpläne und Ressourcen

11.1.1 Zeit- und Ressourceneinschränkungen darstellen

11.1.2 Scheduling-Probleme lösen

11.2 Hierarchisches Planen

11.2.1 Höhere Aktionen

11.2.2 Primitive Lösungen suchen

11.2.3 Abstrakte Lösungen suchen

11.3 Planen und Agieren in nicht deterministischen Domänen

11.3.1 Sensorloses Planen

11.3.2 Kontingenzplanen

11.3.3 Online-Neuplanen

11.4 Multiagenten-Planen

11.4.1 Planen mit mehreren simultanen Aktionen

11.4.2 Planen mit mehreren Agenten: Kooperation und Koordination

Kapitel 12 - Wissensrepräsentation

12.1 Ontologisches Engineering

12.2 Kategorien und Objekte

12.2.1 Physische Zusammensetzung

12.2.2 Maße

12.2.3 Objekte: Dinge und Stoffe

12.3 Ereignisse

12.3.1 Prozesse

12.3.2 Zeitintervalle

12.3.3 Fluenten und Objekte

12.4 Mentale Ereignisse und mentale Objekte

12.5 Deduktive Systeme für Kategorien

12.5.1 Semantische Netze

12.5.2 Beschreibungslogiken

Inhaltsverzeichnis

12.6 Schließen mit Defaultinformation

12.6.1 Circumscription und Defaultlogik

12.6.2 Truth Maintenance Systems (Wahrheitserhaltungssysteme)

12.7 Die Internet-Shopping-Welt

12.7.1 Links folgen

12.7.2 Angebote vergleichen

Teil IV - Unsicheres Wissen und Schließen

Kapitel 13 - Unsicherheit quantifizieren

13.1 Handeln unter Unsicherheit

13.1.1 Unsicherheit zusammenfassen

13.1.2 Unsicherheit und rationale Entscheidungen

13.2 Grundlegende Notation für die Wahrscheinlichkeit

13.2.1 Das Wesen von Wahrscheinlichkeiten

13.2.2 Die Sprache der Aussagen in Wahrscheinlichkeitsbehauptungen

13.2.3 Warum Wahrscheinlichkeitsaxiome sinnvoll sind

13.3 Inferenz mithilfe vollständig gemeinsamer Verteilungen

13.4 Unabhängigkeit

13.5 Die Bayessche Regel und ihre Verwendung

13.5.1 Die Anwendung der Bayesschen Regel: der einfache Fall

13.5.2 Verwendung der Bayesschen Regel: Evidenzen kombinieren

13.6 Eine erneute Betrachtung der Wumpus-Welt

Kapitel 14 - Probabilistisches Schließen

14.1 Wissensrepräsentation in einer unsicheren Domäne

14.2 Die Semantik Bayesscher Netze

14.2.1 Darstellung der vollständigen gemeinsamen Verteilung

14.2.2 Bedingte Unabhängigkeiten in Bayesschen Netzen

14.3 Effiziente Repräsentation bedingter Verteilungen

14.4 Exakte Inferenz in Bayesschen Netzen

14.4.1 Inferenz durch Aufzählung

14.4.2 Der Algorithmus zur Variableneliminierung

14.4.3 Die Komplexität exakter Inferenz

14.4.4 Clustering-Algorithmen

14.5 Annähernde Inferenz in Bayesschen Netzen

14.5.1 Direkte Sampling-Methoden

14.5.2 Inferenz durch Markov-Ketten-Simulation

14.6 Relationale Wahrscheinlichkeitsmodelle und Modelle erster Stufe

14.6.1 Mögliche Welten

14.6.2 Relationale Wahrscheinlichkeitsmodelle

14.6.3 Wahrscheinlichkeitsmodelle im offenen Universum

Inhaltsverzeichnis

14.7 Weitere Ansätze zum unsicheren Schließen

14.7.1 Regelbasierte Methoden für unsicheres Schließen

14.7.2 Unwissen darstellen: Dempster-Shafer-Theorie

14.7.3 Repräsentation von Vagheit: Fuzzy-Mengen und Fuzzy-Logik

Kapitel 15 - Probabilistisches Schließen über die Zeit

15.1 Zeit und Unsicherheit

15.1.1 Zustände und Beobachtungen

15.1.2 Übergangs- und Sensormodelle

15.2 Inferenz in temporalen Modellen

15.2.1 Filtern und Vorhersage

15.2.2 Glättung

15.2.3 Die wahrscheinlichste Folge finden

15.3 Hidden-Markov-Modelle

15.3.1 Vereinfachte Matrixalgorithmen

15.3.2 Beispiel für Hidden-Markov-Modell: Positionierung

15.4 Kalman-Filter

15.4.1 Gaußsche Verteilungen aktualisieren

15.4.2 Ein einfaches eindimensionales Beispiel

15.4.3 Der allgemeine Fall

15.4.4 Anwendbarkeit der Kalman-Filterung

15.5 Dynamische Bayessche Netze

15.5.1 DBNs erstellen

15.5.2 Exakte Inferenz in DBNs

15.5.3 Annähernde Inferenz in DBNs

15.6 Verfolgen mehrerer Objekte

Kapitel 16 - Einfache Entscheidungen

16.1 Glauben und Wünsche unter Unsicherheit kombinieren

16.2 Grundlagen der Nutzentheorie

16.2.1 Einschränkungen rationaler Prioritäten

16.2.2 Prioritäten führen zu Nutzen

16.3 Nutzenfunktionen

16.3.1 Nutzeinschätzung und Nutzenskalen

16.3.2 Der Nutzen von Geld

16.3.3 Erwarteter Nutzen und Enttäuschung nach einer Entscheidung

16.3.4 Menschliches Urteilsvermögen und Irrationalität

16.4 Nutzenfunktionen mit Mehrfachattributen

16.4.1 Dominanz

16.4.2 Prioritätsstruktur und Nutzen mit Mehrfachattributen

16.5 Entscheidungsnetze

16.5.1 Darstellung eines Entscheidungsproblems mithilfe eines

Inhaltsverzeichnis

Entscheidungsnetzes

16.5.2 Auswertung von Entscheidungsnetzen

16.6 Der Wert von Information

16.6.1 Ein einfaches Beispiel

16.6.2 Eine allgemeine Formel für perfekte Information

16.6.3 Eigenschaften des Informationswertes

16.6.4 Implementierung eines Agenten, der Informationen sammelt

16.7 Entscheidungstheoretische Expertensysteme

Kapitel 17 - Komplexe Entscheidungen

17.1 Sequentielle Entscheidungsprobleme

17.1.1 Nutzer über der Zeit

17.1.2 Optimale Taktiken und die Nutzen von Zuständen

17.2 Wert-Iteration

17.2.1 Die Bellman-Gleichung für Nutzen

17.2.2 Der Algorithmus für die Wert-Iteration

17.2.3 Konvergenz der Wert-Iteration

17.3 Taktik-Iteration

17.4 Partiiell beobachtbare MEPs

17.4.1 Definition von partiell beobachtbaren MEPs

17.4.2 Wert-Iteration für partiell beobachtbare MEPs

17.4.3 Online-Agenten für partiell beobachtbare MEPs

17.5 Entscheidungen mit mehreren Agenten: Spieltheorie

17.5.1 Ein-Zug-Spiele

17.5.2 Wiederholte Spiele

17.5.3 Sequentielle Spiele

17.6 Mechanismenentwurf

17.6.1 Auktionen

17.6.2 Gemeinsame Güter

Teil V - Lernen

Kapitel 18 - Aus Beispielen lernen

18.1 Lernformen

18.2 Überwachtes Lernen

18.3 Lernen von Entscheidungsbäumen

18.3.1 Entscheidungsbäume als Leistungselemente

18.3.2 Ausdruckskraft von Entscheidungsbäumen

18.3.3 Entscheidungsbäume per Induktion aus Beispielen ableiten

18.3.4 Auswahl von Attributtests

18.3.5 Verallgemeinerung und Überanpassung

18.3.6 Die Anwendbarkeit von Entscheidungsbäumen erweitern

18.4 Die beste Hypothese bewerten und auswählen

Inhaltsverzeichnis

18.4.1 Modellauswahl: Komplexität gegenüber Anpassungsgüte

18.4.2 Von Fehlerraten zum Verlust

18.4.3 Regularisierung

18.5 Theorie des Lernens

18.5.1 Beispiel für PAC-Lernen: Entscheidungslisten lernen

18.6 Regression und Klassifizierung mit linearen Modellen

18.6.1 Univariate lineare Regression

18.6.2 Multivariate lineare Regression

18.6.3 Lineare Klassifizierer mit Schwellenwertfunktion

18.6.4 Lineare Klassifizierung mit logistischer Regression

18.7 Künstliche neuronale Netze

18.7.1 Strukturen neuronaler Netze

18.7.2 Einschichtige neuronale Feedforward-Netze (Perzeptrons)

18.7.3 Mehrschichtige neuronale Feedforward-Netze

18.7.4 Lernen in mehrschichtigen Netzen

18.7.5 Strukturen neuronaler Netze lernen

18.8 Parameterfreie Modelle

18.8.1 Nächste-Nachbarn-Modelle

18.8.2 Die nächsten Nachbarn mit k-d-Bäumen suchen

18.8.3 Ortsabhängiges Hashing

18.8.4 Parameterfreie Regression

18.9 Support-Vector-Maschinen

18.10 Gruppenlernen

18.10.1 Online-Lernen

18.11 Maschinelles Lernen in der Praxis

18.11.1 Fallstudie: handschriftliche Ziffernerkennung

18.11.2 Fallstudie: Wortsinn und Hauspreise

Kapitel 19 - Wissen beim Lernen

19.1 Eine logische Formulierung des Lernens

19.1.1 Beispiele und Hypothesen

19.1.2 Aktuell-beste-Hypothese-Suche

19.1.3 Geringste-Verpflichtung-Suche

19.2 Wissen beim Lernen

19.2.1 Einfache Beispiele

19.2.2 Einige allgemeine Schemata

19.3 Erklärungs-basiertes Lernen

19.3.1 Allgemeine Regeln aus Beispielen extrahieren

19.3.2 Effizienzverbesserung

19.4 Lernen mit Relevanzinformation

19.4.1 Den Hypothesenraum festlegen

Inhaltsverzeichnis

19.4.2 Lernen und Verwenden von Relevanzinformation

19.5 Induktive logische Programmierung

19.5.1 Ein Beispiel

19.5.2 Induktive Top-down-Lernmethoden

19.5.3 Induktives Lernen mit inversem Schließen

19.5.4 Entdeckungen mit induktiver logischer Programmierung

Kapitel 20 - Lernen probabilistischer Modelle

20.1 Statistisches Lernen

20.2 Lernen mit vollständigen Daten

20.2.1 ML-Parameterlernen: diskrete Modelle

20.2.2 Naive Bayes-Modelle

20.2.3 ML-Parameterlernen: stetige Modelle

20.2.4 Bayessches Parameterlernen

20.2.5 Strukturen Bayesscher Netze lernen

20.2.6 Dichteabschätzung mit parameterfreien Modellen

20.3 Lernen mit verborgenen Variablen: der EM-Algorithmus

20.3.1 Nicht überwachtes Clustering: Gaußsche Mischungen lernen

20.3.2 Bayessche Netze mit verborgenen Variablen lernen

20.3.3 Hidden-Markov-Modelle lernen

20.3.4 Die allgemeine Form des EM-Algorithmus

20.3.5 Bayessche Netzstrukturen mit verborgenen Variablen lernen

Kapitel 21 - Verstärkendes (Reinforcement-)Lernen

21.1 Einführung

21.2 Passives verstärkendes Lernen

21.2.1 Direkte Nutzenschätzung

21.2.2 Adaptive dynamische Programmierung

21.2.3 Lernen mit temporaler Differenz

21.3 Aktives verstärkendes Lernen

21.3.1 Exploration

21.3.2 Lernen einer Aktion/Wert-Funktion

21.4 Verallgemeinerung beim verstärkenden Lernen

21.5 Strategiesuche

21.6 Anwendungen des verstärkenden Lernens

21.6.1 Anwendungen beim Spielen

21.6.2 Anwendung auf Robotersteuerung

Teil VI - Kommunizieren, Wahrnehmen und Handeln

Kapitel 22 - Verarbeitung natürlicher Sprache

22.1 Sprachmodelle

22.1.1 N-Gramm-Zeichenmodelle

22.1.2 N-Gramm-Modelle glätten

Inhaltsverzeichnis

22.1.3 Modellauswertung

22.1.4 N-Gramm-Wortmodelle

22.2 Textklassifizierung

22.2.1 Klassifizierung durch Datenkomprimierung

22.3 Informationsabruf

22.3.1 IR-Bewertungsfunktionen

22.3.2 IR-Systembewertung

22.3.3 IR-Verbesserungen

22.3.4 Der PageRank-Algorithmus

22.3.5 Der HITS-Algorithmus

22.3.6 Beantworten von Fragen

22.4 Informationsextraktion

22.4.1 Endliche Automaten für die Informationsextraktion

22.4.2 Probabilistische Modelle für die Informationsextraktion

22.4.3 Bedingte Zufallsfelder für die Informationsextraktion

22.4.4 Ontologieextraktion aus großen Korpora

22.4.5 Automatisierte Vorlagenkonstruktion

22.4.6 Maschinelles Lesen

Kapitel 23 - Natürliche Sprache für die Kommunikation

23.1 Phrasenstrukturgrammatiken

23.1.1 Das Lexikon von e_0

23.1.2 Die Grammatik von e_0

23.2 Syntaktische Analyse (Parsing)

23.2.1 Wahrscheinlichkeiten für PCFGs lernen

23.2.2 Kontextfreie und Markov-Modelle vergleichen

23.3 Erweiterte Grammatiken und semantische Interpretation

23.3.1 Lexikalisierte PCFGs

23.3.2 Formale Definition erweiterter Grammatikregeln

23.3.3 Fallkongruenz und Subjekt-Verb-Kongruenz

23.3.4 Semantische Interpretation

23.3.5 Komplikationen

23.4 Maschinelle Übersetzung

23.4.1 Maschinelle Übersetzungssysteme

23.4.2 Statistische maschinelle Übersetzung

23.5 Spracherkennung

23.5.1 Akustisches Modell

23.5.2 Sprachmodell

23.5.3 Einen Spracherkenner erstellen

Kapitel 24 - Wahrnehmung

24.1 Bildaufbau

Inhaltsverzeichnis

24.1.1 Bilder ohne Linsen: die Lochkamera

24.1.2 Linsensysteme

24.1.3 Skalierte orthographische Projektion

24.1.4 Licht und Schatten

24.1.5 Farbe

24.2 Frühe Operationen der Bildverarbeitung

24.2.1 Kantenerkennung

24.2.2 Textur

24.2.3 Optischer Fluss

24.2.4 Segmentierung von Bildern

24.3 Objekterkennung nach Erscheinung

24.3.1 Komplexe Erscheinungs- und Musterelemente

24.3.2 Fußgängererkennung mit HOG-Merkmalen

24.4 Rekonstruieren der 3D-Welt

24.4.1 Bewegungsparallaxe

24.4.2 Binokulares Sehen

24.4.3 Mehrere Ansichten

24.4.4 Textur

24.4.5 Schattierung

24.4.6 Konturen

24.4.7 Objekte und die geometrische Struktur von Szenen

24.5 Objekterkennung aus Strukturinformationen

24.5.1 Die Geometrie von Körpern: Arme und Beine suchen

24.5.2 Kohärente Erscheinung: Personen im Video verfolgen

24.6 Computervision im Einsatz

24.6.1 Wörter und Bilder

24.6.2 Rekonstruktion von vielen Ansichten

24.6.3 Computervision für die Bewegungssteuerung

Kapitel 25 - Robotik

25.1 Einführung

25.2 Roboter-Hardware

25.2.1 Sensoren

25.2.2 Effektoren

25.3 Roboterwahrnehmung

25.3.1 Lokalisierung und Zuordnung

25.3.2 Weitere Wahrnehmungstypen

25.3.3 Maschinelles Lernen in der Roboterwahrnehmung

25.4 Bewegung planen

25.4.1 Konfigurationsraum

25.4.2 Zellzerlegungsmethoden

25.4.3 Modifizierte Kostenfunktionen

Inhaltsverzeichnis

25.4.4 Skelettierungsmethoden

25.5 Planung unsicherer Bewegungen

25.5.1 Robuste Methoden

25.6 Bewegung

25.6.1 Dynamik und Steuerung

25.6.2 Potentialfeldregelung

25.6.3 Reaktive Steuerung

25.6.4 Reinforcement-Learning-Regelung

25.7 Software-Architekturen in der Robotik

25.7.1 Subsumptions-Architektur

25.7.2 Drei-Schichten-Architekturen

25.7.3 Pipeline-Architektur

25.8 Anwendungsbereiche

Teil VII - Schlussfolgerungen

Kapitel 26 - Philosophische Grundlagen

26.1 Schwache KI: Können Maschinen intelligent handeln?

26.1.1 Das Argument „... aus Unfähigkeit“

26.1.2 Der mathematische Einwand

26.1.3 Das Argument der Formlosigkeit

26.2 Starke KI: Können Maschinen wirklich denken?

26.2.1 Mentale Zustände und das Gehirn im Tank

26.2.2 Funktionalismus und das Gehirnprothesenexperiment

26.2.3 Biologischer Naturalismus und das Chinesische Zimmer

26.2.4 Bewusstsein, Qualia und die Erklärungslücke

26.3 Ethik und Risiken bei der Entwicklung künstlicher Intelligenz

Kapitel 27 - KI: Gegenwart und Zukunft

27.1 Agentenkomponenten

27.2 Agentenarchitekturen

27.3 Gehen wir in die richtige Richtung?

27.4 Was passiert, wenn die KI erfolgreich ist?

Kapitel A - Mathematischer Hintergrund

A.1 Komplexitätsanalyse und $O()$ -Notation

A.1.1 Asymptotische Analyse

A.1.2 NP und inhärent harte Probleme

A.2 Vektoren, Matrizen und lineare Algebra

A.3 Wahrscheinlichkeitsverteilungen

Kapitel B - Hinweise zu Sprachen und Algorithmen

B.1 Sprachen mit Backus-Naur-Form (BNF) definieren

B.2 Algorithmen mit Pseudocode beschreiben

Inhaltsverzeichnis

B.3 Online-Hilfe

Bibliografie

Personenregister

Register

!

Numerisch

15-Puzzle 106

3-nächste-Nachbarn 874

5. Generation 48

8-Damen-Problem 106, 162, 272

8-Puzzle 105, 106, 139

A

A*-Algorithmus

IDA* 135

iterativ vertiefender 135

A*-Suche 130

Abbruchtest 216

ABC 36

abfallender MCMC-Filter 704

Abfragen 363

Abfragesprache 1004

Abfragevariablen 615

Abhängigkeiten

funktionale 907

weitreichende 1045

Abhängigkeits- grammatik 1061

Abkühlung

simulierte 160, 165

Ablehnungs-Sampling 625

ABO (asymptotisch begrenzte Optimalität) 1211

Abrufen 394

Abrundung 107

Abschluss 411

absoluter Fehler 134

Absolver 143

Abstraktion 102, 787

Abstraktionsgrad 103

Abstraktionshierarchie 510

Abstrips 510

Abtastrate 1055

Abtrennung 642

Inhaltsverzeichnis

Abwärtsverfeinerung 487
Abzugsschach 227
AC-3 259
ACT 403, 485
Actions 189
Ada 37
AdaBoost 869
Adalines 44
Adaptive Dynamische Programmierung 964
Add 440
ADP-Agent 964
Advice Taker 42
AFSM 1154
Agenten 25, 28
 ADP- 964
 Architektur 74, 1207
 Attribute 86
 Aussagenlogik 321
 Darstellung, strukturierte 87
 einfache Reflex- 76
 Einzel- 69
 entscheidungs- theoretische 772
 gierige 970
 hybride 326
 intelligente 51, 60
 Komponenten 1204
 lernende 83
 modellbasierte 78
 nutzenbasierte 81, 772
 Nutzenfunktion 81
 partiell beobachtbare Umgebungen 186
 planende 98
 problemlösende 98
 rationale 25, 60, 63, 64
 Struktur 73
 Variablen 86
 Werte 86
 wissensbasierte 290
 zielbasierte 80
Agentenentwürfe 961
Agentenfunktion 60
Agentenprogramme 61, 73
Aggregation 479
AGTC 170
aima.cs.berkeley.edu 73

Inhaltsverzeichnis

- Aktion/Wert-Funktion 973
- Aktionen 28, 71, 101, 104, 506, 776
 - Act 485
 - höhere 483
 - Informationsermittlung 1144
 - primitive 483
 - simultane 505
- Aktionsausschlussaxiome 330
- Aktionsschemas 439
- Aktionsüberwachung 501
- aktive Sensoren 1072, 1122
- Aktivierung 846
- Aktivierungsfunktion 847
- Aktoren 505
- Aktuatoren 60, 66, 67, 1120
- Aktuell-beste-Hypothese- Suche 892
- akustisches Modell 1055
- Albedo 1078
- Algorithmen
 - Anytime 1208
 - Boyer-Moore 425
 - Clustering 622
 - CYK 1033
 - Davis-Putman- 317
 - Decision-Tree- Learning 817
 - DPLL 317
 - Expectiminimax 774
 - Factored-Frontier 704
 - gemeinsame Baum- 622
 - genetische 45, 160, 167
 - Graphplan 456
 - GSAT 334
 - hierarchische Lookahead- 493
 - HITS (Hyperlink-Induced Topic Search) 1008, 1022
 - Hybrid A* 1141
 - Inside-Outside 1036
 - konstruktive Induktion 913
 - Local Beam Search 166
 - MAC (Maintaining Arc Consistency) 269
 - Markov Chain Monte Carlo 629
 - Metropolis 197
 - Metropolis-Hastings- 660
 - Min-Conflicts 319
 - minimaler Spielraum 482
 - Minimax 210
 - Monte-Carlo- 623

Inhaltsverzeichnis

- optimale 161
- optimale Hirn- schädigung 856
- PageRank 1022
- PC-2 261
- ProbCut 221
- randomisiert gewichtete Mehrheits- 872
- Rete 402
- RSA 425
- SATPlan 329
- Skelettierung 1142
- SPI (Symbolische Probabilistische Inferenz) 647
- Stemming- 1007
- strukturelle EM 952
- Tiling 856
- Value-Iteration 1139
- variableneliminierende 618
- Viterbi 675
- vollständige 161
- Vorwärts-Rückwärts- 672
- Vorwärtsverkettung 398
- Algorithmus 30
- Allais-Paradoxon 722
- Alldiff 256, 262
- Allianzen 211
- Allmendeklemme 794
- Allquantor 357
- Allwissenheit 65
- Alpha-Beta-Kürzung 212
- Alpha-Beta-Search 219
- Alpha-Beta-Suche 214
- Alvey-Bericht 48
- Analogie
 - derivationale 922
- Analogy 43
- Analyse
 - asymptotische 1214, 1215
 - mathematische 1214
- And 849
- AND-OR-Baum 175
- AND-OR-Graphen 315
- And-Or-Graph-Search 177
- AND-Parallelität 409
- And-Search 177
- angelic 488

Inhaltsverzeichnis

- Angelic-Search 491
- Ankereffekt 724
- Ankertext 546, 1008
- Annahme
 - eindeutige Namen 362, 634
 - Weltabgeschlossenheit 362
- Annealing
 - simulated 165
- anreizkompatibel 791
- Ansätze
 - regelbasierte 641
- Ansichten
 - mehrere 1096
- Anspruchserfüllung 32
- Antezedenz 300
- Antrieb
 - hydraulischer 1127
 - pneumatischer 1127
- Antwortliterale 418
- anwendbar 101, 440, 447
- Anytime-Algorithmus 1208
- Aortaverengung 738
- A-posteriori-Wahrscheinlichkeit 573
- Appearance Model 1105
- Append 368, 408
- append 406
- Apprenticeship Learning 988
- A-priori-Hypothese 929, 937
- A-priori-Wahrscheinlichkeiten 573
- Äquivalenz
 - inferentielle 389
 - logische 305
- Äquivalenzklassen 217
- Arbeitsraum-Repräsentation 1136
- Architektur 74
 - Drei-Schichten- 1155
 - hybride 1154, 1207
 - kognitive 403
 - Pipeline- 1156
 - reflexive 1209
 - Software- 1154
 - Subsumptions- 1154
- Arch-Learning 895
- Arität 353

Inhaltsverzeichnis

- ARPAbet 1056
- Arten
 - natürliche 524
- Artificial General Intelligence 51
- Artificial Life 197
- Ask 291, 363
- AskMSR 1009, 1023
- AskVars 363
- ASPEN 510
- Assoziativspeicher 882
- asymptotisch begrenzte Komplexität 1211
- asymptotische Analyse 1215
- atmost-Beschränkung 262
- ATMS 544
- atomare Darstellung 86, 98
- atomare Ereignisse 597
- atomarer Satz 300
- Attribut 86, 890
 - mehrwertiges 824
- attributbasiertes Extraktionssystem 1011
- Attribut-Grammatik 1060
- Attributtest
 - Auswahl 820
- Aufgabennetze 468
- Aufgabenumgebungen 66, 69
- Auflösung der Mehrdeutigkeit 1047
- Aufrollen 638, 694
- Aufteilungspunkt 824
- Aufzählung
 - Inferenz 615
- Augmented Finite State Machines 1154
- Auktion 790
 - mit versiegelten Geboten 792
 - mit versiegelten Geboten und zweithöchstem Preis 792
- Aura 424, 428
- Ausblick 1204
- Ausdrücke
 - reguläre 1011
- Ausdrucksfähigkeit 87
- ausführende Schicht 1156
- Ausführung 100
- Ausführungsüberwachung 501
- Ausgabeattribute

Inhaltsverzeichnis

stetigwertige 824

Ausgangszustand 104, 207, 441

ausgeglichen 454

Ausgleichsknoten 611

Ausnutzung 970

Ausrichtungsmethode 1101

Aussagen 573

Aussagenlogik 29, 290, 300

Agenten 321

Grammatik 300

Semantik 301

Syntax 300

Überführen in 388, 638

aussagenlogische Standpunkte 532

Aussagensymbol 300

Auswahlpunkte 407

Auswertung

partielle 921

Auswertungsfunktionen 207

Auszahlungsfunktion 776

Authority 1009

Autoclass 954

Automaten

erweiterte endliche 1154

automatische Montageablaufsteuerung 109

Automatisches logisches Schließen 23

autonome Datenverarbeitung 88

Autonomie 66

AUV 1120

Axiome 291, 364

Aktionsausschluss- 330

Nachfolgerzustands- 324

Peano- 366

Percept 494

Vorbedingungs- 330

Axon 33

B

backed-up value 136

Backgammon 223, 233, 241

Backjumping 270

konfliktgesteuertes 271

Backmarking 280

Back-Off 999

Inhaltsverzeichnis

- Backpropagation 48, 852
- Backpropagation-Lernalgorithmen 45
- Backtrack 266
- Backtracking 193
 - abhängigkeits- gesteuertes 280
 - chronologisches 269
 - dynamisches 281
 - intelligentes 269
- Backtracking-Algorithmus 317
- Backtracking-Search 265, 304
- Backtracking-Suche 123, 265
 - CSP 265
- Backus-Naur-Form 1222
- Bag of Words 1002
- Bagging 880
- Banditenproblem 970
- Bang-Bang-Steuerung 982
- Baseball 1062
- Basisfunktionen 976
- Batch-Gradientenabstieg 838
- Baum
 - AND-OR- 175
- Baum-Algorithmen, gemeinsame 622
- Baumbank 1035
- Baumbreite 278
- Baum-Suchalgorithmus 111
- Baumzerlegung 277
- Bayes-Klassifizierer 589
- Bayes-Modell
 - naives 589, 934, 947
- Bayes-Nash-Gleich- gewicht 788
- Bayessche Ansicht 579
- Bayessche Netze
 - Gibbs-Sampling 629
- Bayessche Netzstrukturen
 - verborgene Variablen 951
- Bayessche Regel 585
- Bayessches Lernen 871
- Bayessches Netz 50
 - Ablehnungs-Sampling 625
 - annähernde Inferenz 623
 - bedingte Unabhängig- keit 609
 - dynamisches 688, 753, 772

Inhaltsverzeichnis

Erstellung	606
exakte Inferenz	615
hybrides	612
Semantik	605
stetige Variablen	612
Strukturen	940
Topologie	603
verborgene Variablen	947
Bayessches verstärkendes Lernen	966
Beantworten von Fragen	1009
Bedauern	723, 872
bedingender Fall	604
bedingte Gaußsche Verteilung	614
bedingte Unabhängigkeit	587
bedingte Wahrscheinlichkeit	573
bedingte Wahrscheinlichkeitstabelle	604
bedingter Effekt	497
Bedingung der logischen Konsequenz	899
Bedingungen	
fallen lassen	894
begrenzte Rationalität	26
Begriffsschrift	332, 376
Behauptungen	
logische	572
probabilistische	572
Behaviorismus	35
Beispiel	
falsch negativ	891
falsch positiv	891
Regeln extrahieren	903
bekannt	71, 100
Belief Revision	543
Belief State	179, 200, 227, 327, 453, 666, 733, 766
konservative Näherung	328
Belief-States-Raum	181
Belle	240
Bellman-Aktualisierung	760
Bellman-Gleichung	759
Belohnung	85, 960
Benchmarks	1214
BenInq	555
beobachtbar	100
nicht	69
partiell	766

Inhaltsverzeichnis

- teilweise 69
- vollständig 69, 752
- Beobachtbarkeit
 - teilweise 226
- Beobachtung 809
- Beobachtungsmodell 665
- Beobachtungssätze 28
- berechenbar 30
- Bereich 1086
- Bergrücken 163
- Bergsteigen
 - mit erster Auswahl 164
 - mit zufälligem Neustart 164
 - stochastisches 164
- Bergsteigen-Suche 193
- Bergsteigeralgorithmus 161
- Bergsteiger-Such- algorithmus 162
- beschränkte Optimierung 173
- Beschränkungen
 - Alldiff 256
 - atmost 262
 - binäre 256
 - disjunktive 255
 - globale 256
 - Hypergraph 257
 - Lernen 271
 - lineare/nichtlineare 255
 - Prioritäts- 258
 - Ressourcen- 262
 - Symmetrie brechende 278
 - unäre 256
- Beschränkungsgewichtung 273
- Beschränkungsoptimierungsproblem 258
- Beschränkungssprache 255
- Beschränkungsweitergabe 258
- beschreibende Theorie 722
- Beschreibungen
 - optimistische 490
 - PEAS- 66
 - pessimistische 490
 - probabilistische 32
- Beschreibungslänge
 - minimale 831, 878, 931
- Beschreibungslogiken 535, 539

Inhaltsverzeichnis

- Bestätigung 594
- Bestätigungstheorie 28
- Bestensuche 128
 - gierige 128
 - heuristischer Pfadalgorithmus 157
- Best-First 128
- Bestimmtheit 907
 - konsistente 909
- Bestrafung
 - fortlaufende 783
- Betaverteilungen 938
- Bewegungen
 - ausführen 1147
 - konforme 1136, 1145
 - Punkt-zu-Punkt 1136
 - überwachte 1145
 - unsichere 1143
- Bewegungsmodell 1129
- Bewegungsunschärfe 1076
- Beweise
 - nichtkonstruktive 418
- Bewertungsfunktionen 216, 225
- Bewusstsein 34, 1182, 1190
- Bezeichner 177
- Beziehungen
 - noisy 611
 - Unterkategorie 1018
 - verrauschte 611
- BGBlitz 241
- Bias
 - deklarative 910
- Bias-Gewicht 839
- Bi-Implikation 300
- Bikonditional 300
- Bild 1074
- Bildaufbau 1116
- Bildstrukturmodell 1104
- Bildsynthesemodell 1072
- Bildverarbeitung 1116
- Billiards 242
- binäre Beschränkung 256
- binäre Entscheidungsdiagramme 470
- binäre Resolutionsregel 415

Inhaltsverzeichnis

Bindungen
 epistemologische 351
 ontologische 350

Bindungsliste 363

biologischer Naturalis- mus 1188

Blackbox 252, 469

Blattknoten 111

blinde Suche 116

Blockwelt 43, 442

Blog 640, 651

Blue Gene 34

Bluffen 231

BM25-Bewertungs- funktion 1005

B-Matrix 677

BNF 1222

BNF-Notation 300

Boid 509

Boltzmann-Maschinen 882

boolesches Schlüsselwortmodell 1004

Boosting 869

Bootstrapping 52
 Korpus 1020
 TextRunner 1020

Boss 53, 1159, 1165

Boxes 983

Boyer-Moore-Algorithmus 425

Branching Factor 116

Breadth-first 116

Breadth-First-Search 117

Breiman 880

Breite
 Hyperbaum 281
 induzierte 281

Breitensuche 116

Brennebene 1076

Bridge 230, 234, 242

Bridge Baron™ 234

British National Corpus 1063

Bucket-Eliminierungs- Algorithmus 279

Bugs 650, 953

Build 555

Bündel 523

BWT 604

Inhaltsverzeichnis

C

Cache 327
Carmel 1165
Center 789
Cerebellar Model Articulation Controller 985
CFG 1029
Chaff 334
Chart 1033
Chart-Parser 1033
Chatbots 1177
Chemical Markup Language 552
Chess 4.5 147
Child-Node 114
Chill 1043
Chinook 233, 241
Chomsky-Normalform 1034
Choose-Literal 915, 916
cHUGIN 648
Chunking 921
Church-Turing-These 30
Cigol 922
Circumscription 540, 541
 priorisierte 542
City-Block-Distanz 140
Classic 539, 554
Clint 923
Closures 1223
CLP (Constraint-Logikprogrammierung) 412
Clustering
 nicht überwachtes 944
Clustering-Algorithmus 622, 672
Clustering-Methoden 673
CMAC 985
Code zum Buch 73
Colbert 1165
Colossus 36
Competitive Ratio 190
Computational Linguistics 1023
Computational Neuroscience 846
Computer 36
Computer-Lerntheorie 831
Computerlinguistik 39

Inhaltsverzeichnis

Computervision 24
Conditional Random Field 1016
co-NP 1216
co-NP-Vollständigkeit 1216
Cons 368
cons 1224
Consistent-Det? 909
Constraint Learning 271
Constraint Logic Programming 280
Constraint Optimization Problem (COP) 258
Constraint Propagation 254
Constraint Satisfaction Problem (CSP) 252
Constraint Weighting 273
Constraint-Graph 253
Constraint-Logikprogrammierung 280, 412
Constraints 252
Controller 87, 1148
Convince 646
COP
 (Constraint Optimization Problem) 258
Coq 279, 427
Cortex 33
Cournot-Wettbewerb 788
Cox 704
CPlan 470
Critical Path Method (CPM) 480
Crossover 168
CSP
 (Constraint Satisfaction Problem) 252
 Backtracking-Suche 265
 lokale Suchalgorithmen 272
 verteilt 282
Current-Best-Learning 893, 894
Cutoff 135
Cutoff-Test 216, 219
cutoff-Wert 124
CyberLover 1177
CYK-Algorithmus 1033

D

DAG (Directed Acyclic Graph) 602
Dalton 923
Dame 233

Inhaltsverzeichnis

- DarkThought 240
- DARPA 53
- DARPA Grand Challenge 1165
- Darstellung 1004
 - atomare 98
 - faktorierte 98, 810
 - strukturierte 98
- Darstellungen
 - atomare 86
 - faktorierte 86, 574
 - geliftete 439
 - strukturierte 87
- DART 53
- Datalog 397
- Data-Mining 50
- Daten 928
 - fehlende 823
 - Wahrscheinlichkeit 929
- Datenbank
 - deduktive 388, 403, 426
 - relationale 87
- Datenbanksemantik 362
- Datendichte
 - geringe 1028
- datengesteuertes Schließen 316
- Datenkomplexität 401
- Datenkomprimierung 1003
- Datenverarbeitung
 - autonome 88
- Datenzuordnung 698
- Dauer 479
- Davis-Putman-Algorithmus 317
- DBN 688
 - annähernde Inferenz 695
 - exakte Inferenz 693
- DBpedia 520, 551
- DCG (Definite Clause Grammar) 1038
- DDN 772
- de Kleer 555
- De Morgansche Regeln 360
- Decayed MCMC-Filter 704
- Decision-Tree-Learning 817, 909
- Deduktionstheorem 306
- deduktive Datenbanken 403, 426

Inhaltsverzeichnis

deduktive Synthese 425
Deep Blue 53, 232
Deep Fritz 240
Deep Thought 240
Deep-Belief-Netze 1207
Default Values 538
Defaultinformation
 Schließen 540
Defaultlogik 540, 542
Defaultregeln 542
Default-Schließen 641
Definite Clause Grammar 1038
definite Klausel- Grammatik 1038
Definition 364
 rationaler Agenten 64
definitive Klausel 313
deklarativ 292, 346
Dekomposition 451
Del 440
deliberative Schicht 1156
Delta-Regel 977
Demodulation 422
demonic 488
Dempster-Shafer-Theorie 641, 643
Dendral 46, 551
Dendral, Meta- 898
Denken 24, 32, 38
depth 116
Depth-first 121
 rekursiv 122
Depth-Limited-Search 123
detailliertes Gleichgewicht 631
deterministisch 70, 100
deterministische Knoten 611
Deviser 510
dezentralisiertes Planungsproblem 504
Diagnoseregeln 381
diagnostisch 585
Dichte
 Gleichverteilung 938
Dichteabschätzung
 parameterfreie 941
Dichteschätzung 932

Inhaltsverzeichnis

- Differentialantrieb 1126
- Differentialgleichungen 1147
- Differential-GPS 1124
- Differenz
 - temporale 967
- Differenzmaschine 37
- diffuse Albedo 1078
- diffuse Reflexion 1077
- Dinge 526
- Diophant 279
- DIPRE (Dual Iterative Pattern Relation Extraction) 1023
- Directed Acyclic Graph (DAG) 602
- Dirichlet 938
- Dirichlet-Prozess 954
- Discovery-Systeme 923
- disjunkt 144
- disjunkte Musterdatenbanken 144
- Disjunkten 300
- Disjunktion 300
 - Prinzip von Inklusion und Exklusion 577
- disjunktive Beschränkung 255
- disjunktive Normalform (DNF) 341
- Diskontierungsfaktor 963
- diskret 71, 100
- diskrete Domänen 255
- diskrete Ereignisse 529
- Diskretisierung 171, 612
- Diskriminanzmodell 1016
- DLV 554
- DNA 170
- DNF (disjunktive Normalform) 341
- Domänen 352, 363
 - diskrete 255
 - endliche 255, 412
 - stetige 256
 - unendliche 255
 - Variablen 574
 - Wissen 374
- Domänenabgeschlossen-heit 362
- Domänenelemente 352
- Dominanz 141, 550
 - stochastische 726
 - strenge 725

Inhaltsverzeichnis

dominieren

streng/schwach 777

dominiert 770

DPLL 317

Dragon 1063

Drehgelenke 1125

Drehimpulsgeber 1124

Drehmomentsensoren 1124

Dreiecksungleichung 131

Dreifarbigekeit 1079

Drei-Schichten- Architektur 1155

Drohnen 1160

d-Separation 609

duale Graphen 257

Dualismus 27, 1184

Duplikaterkennung 650

Durchmesser 124

Dynamic Decision Network 772

dynamisch 71

dynamisch stabil 1127

dynamische Programmierung 411

dynamisches Backtracking 281

E

Ebene

maximale 455

Ebenenkosten 455

Ebenensumme 455

EBL 901, 924

Echtzeitentscheidungen

unvollständige 216

Echtzeit-KI 1208

Echtzeitsuche 199

EEG 34

Effekte 439

bedingte 497

externe 794

fehlende 501

nichtdeterministische 516

effektiver Verzweigungs- faktor 140

Effektivwert 1220

Effektoren 1120, 1124

effizient 790

Inhaltsverzeichnis

Eigenschaften 350
Einbettung in niedrigerer Dimension 1135
eindeutige Aktionsaxiome 464
einfache Reflexagenten 76
Einflussdiagramm 602, 712, 730
Eingabeattribute
 stetige und ganz- zahlige 824
Eingaberesolution 424
Einheiten 846
 verborgene 847
Einheitenfunktion 525
Einheitsklausel 309, 317, 423
Einheitspriorität 423
Einheitspropagierung 317
Einheitsresolution 309, 423
Einrückungen 1223
Einzelagenten 69
Ein-Zug-Spiele 776
EKF 687
Elektroencephalograph 34
Elektromotor 1127
Element 522
Eliza 1177, 1193
Ellsberg-Paradoxon 723
EM-Algorithmus 667, 943
 allgemeine Form 951
 Schätzungen ver- bessern 1054
Embodiment 1182
emergentes Verhalten 509
empirischer Gradient 172
Empirismus 28
Empty 115
EMW 719
Endetest 207
endlastige Verteilung 196
endliche Domänen 255
Endlosschleifen 409
Endzustände 207
enger Inhalt 1185
Engineering
 ontologisches 518
Entailment 296

Inhaltsverzeichnis

- entfernte Punktlicht- quelle 1078
- Entfernungsmesser 1122
- Entropie 820
- Entscheidung
 - einfache 712
 - komplexe 752
 - optimale 207
 - rationale 569
- Entscheidungsanalyse 737
- Entscheidungsanalytiker 737
- Entscheidungsbäume 814
 - Anwendbarkeit 823
 - Induktion 814
 - Kürzung 822
 - per Induktion aus Beispielen 816
- Entscheidungsdiagramme
 - binäre 470
- Entscheidungsgrenze 842
- Entscheidungsknoten 731
- Entscheidungslisten 833
- Entscheidungsnetz 602, 712, 730, 772
 - Auswertung 732
 - dynamisches 772
- Entscheidungsprobleme
 - Optimalität 755
 - sequentielle 752
- Entscheidungsprozesse
 - Markov'sche 32
- Entscheidungstheorie 32, 571
- Enttäuschung nach der Entscheidung 741
- Enumeration-Ask 616
- Epiphänomen 1187
- episodisch 69, 71
- EQP 428
- Ereigniskalkül 527
- Ereigniskategorien
 - fließende 529
- Ereignisse 527, 573, 615
 - atomare 597
 - diskrete 529
 - exogene 501
 - mentale 532
- erf() 1219
- Erfüllbarkeit 306

Inhaltsverzeichnis

Schwellenwert- Phänomen 321
Erfüllbarkeitsproblem
 schwieriges 320
Ergebnis 570, 776
Ergebnismenge 1004
ergodisch 630
Erkennung 1073
Erklärung 545
 wahrscheinlichste 667
erklärungs-basierte Verallgemeinerung 234
Erklärungslücke 1191
erkundbar
 sicher 191
Erlösäquivalenz, Satz über die 793
erratische Staubsaugerwelt 175
erreichbare Menge 488
Erreichbarkeitsrelationen 533
Erscheinung 1088
Erscheinungsmodell 1105
erschöpfende Zerlegung 522
Ersetzbarkeit 714
erwarteter Gesamtgewinn 963
erwarteter Minimax-Wert 224
erwarteter Nutzen 82
Erwartung 1220
Erwartung-Maximierung 943, 1054
Erwartungsmaximierungs- Algorithmus 667
Erwartungswert 217, 224
erweiterte Grammatik 1038
Erweiterung 542
 singuläre 220
Erziehung
 belohnende 986
euklidischer Raum 1217
Eulerscher Graph 199
Eurisko 923
Eval 216
Eventualitäten 206
Evidenz 928
Evidenzfusion 1111
Evidenzumkehr 703
Evidenzvariablen 615
Evolution 170

Inhaltsverzeichnis

evolutionäre Psychologie 724
Evolutionenbiologie 160
Evolutionenstrategien 197
Existential Graphs 536
Existentielle Einführung 430
Existentielle Instanzierung 389
Existenzquantor 357, 358
Existenzunsicherheit 635
exogene Ereignisse 501
Expand-Graph 456
Expandieren 111
Expansion
 iterative 148
Expansionsfokus 1094
Expectation-Maximization 943
Expectiminimax 225, 239, 774
Expectiminimax-Wert 224
Expertensysteme 47
 entscheidungs- theoretische 737
Exploration 65, 160, 961, 969, 970
Explorationsfunktion 972
Explorationsproblem 189
Extend-Example 915
Extension 891
Extensivform 784
Extract-Solution 456
Extraktionssysteme
 attributbasierte 1011
 Ontologie 1017
 relationale 1012
 Transduktoren, kaskadierte endliche 1012
extrinsisch 527

F
G
H
I
J
K
L
M
N

Inhaltsverzeichnis

O
P
Q
R
S
T
U
V
W
X
Y
Z

Z-3 36

zählbare Substantive 526

Zählbarkeit 526

Zahlen 366

natürliche 366

Zahlentheorie 366

Zähler

virtuelle 938

Zeichen 997

Zeichenfolgenvergleich 425

Zeilensuche 172

Zeit 71, 530, 662, 1043

Intervalle 530

Zeitform 1043

Zeitkomplexität 115

zeitliche Projektion 335

zeitlose Variablen 322

Zeitplan 481

Zeitplanen 53

Zeitplanung 478

Zeitscheiben 663

Zellen-Layout 109

Zellkörper 33

Zellzerlegung 1139

exakte 1141

zentraler Grenzwertsatz 1220

Zerlegbarkeit 715

Zerlegung 451

erschöpfende 522

Inhaltsverzeichnis

- Ziel 80, 98, 363, 441
- Zielformulierung 99
- Zielfunktion 38, 161
- zielgerichtetes Schließen 316
- Zielprädikat 814
- Zieltest 102, 104
- Zielüberwachung 501
- Ziffernerkennung 873
- Zipfsches Gesetz 1025
- Zufall 223
- Zufälligkeit 78
- Zufallsknoten 223, 730
- Zufallsmengen 646
- Zufallssurfer-Modell 1008
- Zufallsvariablen 574
 - indizierte 650
- Zufallsverhalten 69
- Zugänglichkeitsrelationen 533
- zugreifbar 69
- zulässige Heuristik 131
- Zuordnung
 - prozedurale 538
- Zurückführen 852
- zusammengesetzte Objekte 523
- Zusammenschlüsse 211
- Zusammensetzung
 - sequenzielle 631
- Zusicherungen 363
- Zustand 104
 - dynamischer 1125, 1147
 - intentionaler 1184
 - interner 78
 - kanonische Form 115
 - kinematischer 1125
 - Merkmale 145
 - relevanter 446
 - wahrscheinlichster 1144
 - wiederholter 112
- Zustandsabschätzung 227, 666
- Zustandsabstraktion 450
- Zustandsformulierung
 - vollständige 107, 162
- Zustandsinformationen 78

Inhaltsverzeichnis

Zustandsraum 101, 252

Metaebene 139

Objektebene 139

stetiger 170

unendlicher 107

Zustandsraum-Landschaften 161

Zustandsschätzung 187, 327

Zustandsvariablen 501

zuverlässig 298

Zuweisung 252

konsistente 252

Mehrfach- 1223

partielle 253

vollständige 252

zweisprachiger Korpus 1051

Zwillingserden 1200

Zwingen 179

zwingend 494

Zwischensprache 1049

zyklische Lösung 177

zyklische Schnittmenge 276

Zylinder

verallgemeinerte 1114

Ins Internet: Weitere Infos zum Buch, Downloads, etc.

Copyright

Copyright

Daten, Texte, Design und Grafiken dieses eBooks, sowie die eventuell angebotenen eBook-Zusatzdaten sind urheberrechtlich geschützt. Dieses eBook stellen wir lediglich als **persönliche Einzelplatz-Lizenz** zur Verfügung!

Jede andere Verwendung dieses eBooks oder zugehöriger Materialien und Informationen, einschließlich

- der Reproduktion,
- der Weitergabe,
- des Weitervertriebs,
- der Platzierung im Internet, in Intranets, in Extranets,
- der Veränderung,
- des Weiterverkaufs und
- der Veröffentlichung

bedarf der **schriftlichen Genehmigung** des Verlags. Insbesondere ist die Entfernung oder Änderung des vom Verlag vergebenen Passwortschutzes ausdrücklich untersagt!

Bei Fragen zu diesem Thema wenden Sie sich bitte an: info@pearson.de

Zusatzdaten

Möglicherweise liegt dem gedruckten Buch eine CD-ROM mit Zusatzdaten bei. Die Zurverfügungstellung dieser Daten auf unseren Websites ist eine freiwillige Leistung des Verlags. **Der Rechtsweg ist ausgeschlossen.**

Hinweis

Dieses und viele weitere eBooks können Sie rund um die Uhr und legal auf unserer Website herunterladen:

<http://ebooks.pearson.de>