



**Stuart Russell  
Peter Norvig**

# Künstliche Intelligenz

Ein moderner Ansatz

3., aktualisierte Auflage

## Künstliche Intelligenz

# Künstliche Intelligenz

## 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

# **Inhaltsverzeichnis**

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

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

# Inhaltsverzeichnis

1.2 Die Grundlagen der künstlichen Intelligenz	26
1.3 Die Geschichte der künstlichen Intelligenz	39
1.4 Die aktuelle Situation	52
<b>Intelligente Agenten</b>	<b>59</b>
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
<b>Teil II - Problemlösen</b>	
<b>Kapitel 3 - Problemlösung durch Suchen</b>	<b>97</b>
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
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

# Inhaltsverzeichnis

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
<b>Teil III - Wissen, Schließen und Planen</b>	
<b>Kapitel 7 - Logische Agenten</b> 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
<b>Logik erster Stufe First-Order-Logik</b> 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
<b>Inferenz in der Logik erster Stufe</b> 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
<b>Klassisches Planen</b> 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
<b>Planen und Agieren in der realen Welt</b> 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

# **Inhaltsverzeichnis**

## 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
- 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

# **Inhaltsverzeichnis**

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
<b>Komplexe Entscheidungen 751</b>
17.1 Sequentielle Entscheidungsprobleme 752
17.2 Wert-Iteration 759
17.3 Taktik-Iteration 764
17.4 Partiell beobachtbare MEPs 766
17.5 Entscheidungen mit mehreren Agenten: Spieltheorie 775
17.6 Mechanismenentwurf 789
<b>Teil V - Lernen</b>
<b>Kapitel 18 - Aus Beispielen lernen 807</b>
18.1 Lernformen 809
18.2 Überwachtes Lernen 811
18.3 Lernen von Entscheidungsbäumen 814
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
<b>Wissen beim Lernen 889</b>
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
<b>Lernen probabilistischer Modelle 927</b>
20.1 Statistisches Lernen 928
20.2 Lernen mit vollständigen Daten 932

# **Inhaltsverzeichnis**

20.3 Lernen mit verborgenen Variablen: der EM-Algorithmus	943
<b>Verstärkendes (Reinforcement-)Lernen</b>	<b>959</b>
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
<b>Teil VI - Kommunizieren, Wahrnehmen und Handeln</b>	
<b>Kapitel 22 - Verarbeitung natürlicher Sprache</b>	<b>995</b>
22.1 Sprachmodelle	996
22.2 Textklassifizierung	1001
22.3 Informationsabruft	1004
22.4 Informationsextraktion	1011
<b>Natürliche Sprache für die Kommunikation</b>	<b>1027</b>
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
<b>Wahrnehmung</b>	<b>1071</b>
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
<b>Robotik</b>	<b>1119</b>
25.1 Einführung	1120
25.2 Roboter-Hardware	1122
25.3 Roboterwahrnehmung	1128
25.4 Bewegung planen	1136
25.5 Planung unsicherer Bewegungen	1143
25.6 Bewegung	1147

# **Inhaltsverzeichnis**

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



# Inhaltsverzeichnis

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

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 (19431955)

1.3.2 Die Geburt der künstlichen Intelligenz (1956)

1.3.3 Früher Enthusiasmus, große Erwartungen (19521969)

1.3.4 Ein bisschen Realität (19661973)

1.3.5 Wissensbasierte Systeme: der Schlüssel zum Erfolg?  
(19691979)

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

# Inhaltsverzeichnis

## 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

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 uninformerter Suchstrategien



# Inhaltsverzeichnis

## 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 simulierte 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 Partiell beobachtbare Probleme lösen
- 4.4.4 Ein Agent für partiell beobachtbare Umgebungen

## 4.5 Online-Suchagente und unbekannte Umgebungen

# Inhaltsverzeichnis

- 4.5.1 Online-Suchprobleme
- 4.5.2 Online-Suchagenten
- 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 Kriegspiel: 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

# Inhaltsverzeichnis

- 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**
- 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



# Inhaltsverzeichnis

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

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

# Inhaltsverzeichnis

## 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



# Inhaltsverzeichnis

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

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



# **Inhaltsverzeichnis**

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

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

# Inhaltsverzeichnis

- 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
- 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

# Inhaltsverzeichnis

## 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 Nutzeneinschätzung und Nutzenskalen

16.3.2 Der Nutzen von Geld

# Inhaltsverzeichnis

- 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 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 Partiell 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

# Inhaltsverzeichnis

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

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)



# **Inhaltsverzeichnis**

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-besten-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 Erklärungsbasiertes Lernen**

19.3.1 Allgemeine Regeln aus Beispielen extrahieren

19.3.2 Effizienzverbesserung

## **19.4 Lernen mit Relevanzinformation**

19.4.1 Den Hypothesenraum festlegen

19.4.2 Lernen und Verwenden von Relevanzinformation

## **19.5 Induktive logische Programmierung**

19.5.1 Ein Beispiel

# Inhaltsverzeichnis

- 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



# **Inhaltsverzeichnis**

## **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**

##### **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 e0**

##### **23.1.2 Die Grammatik von e0**

# **Inhaltsverzeichnis**

## **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 Spracherkennner erstellen

# **Kapitel 24 - Wahrnehmung**

## **24.1 Bildaufbau**

- 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

# Inhaltsverzeichnis

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

25.4.4 Skelettierungsmethoden



# Inhaltsverzeichnis

## 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?

# Inhaltsverzeichnis

## 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

### 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

# Inhaltsverzeichnis

- 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
- Abwartsverfeinerung 487
- Abzugsschach 227
- AC-3 259
- ACT 403, 485
- Actions 189
- Ada 37
- AdaBoost 869
- Adalines 44
- Adaptive Dynamische Programmierung 964
- Add 440

# Inhaltsverzeichnis

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

# Inhaltsverzeichnis

aima.cs.berkeley.edu 73  
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-besten-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

# Inhaltsverzeichnis

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  
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  
variableneliminie- rende 618  
Viterbi 675  
vollständige 161  
Vorwärts-Rückwärts- 672  
Vorwärtsverkettung 398  
Algorithmus 30

# Inhaltsverzeichnis

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

Angelic-Search 491

Ankereffekt 724

Ankertext 546, 1008

Annahme

eindeutige Namen 362, 634

Weltabgeschlossenheit 362

Annealing

simulated 165

anreizkompatibel 791

# Inhaltsverzeichnis

- 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

# Inhaltsverzeichnis

- Arch-Learning 895
- Arität 353
- 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



# Inhaltsverzeichnis

- 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
  - 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



# Inhaltsverzeichnis

- 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
    - Aktionausschluss- 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
  - Backpropagation 48, 852
  - Backpropagation-Lernalgorithmen 45
  - Backtrack 266
  - Backtracking 193
    - abhängigkeits- gesteuertes 280
    - chronologisches 269
    - dynamisches 281

# Inhaltsverzeichnis

- 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
  - Baubreite 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

# Inhaltsverzeichnis

- Ablehnungs-Sampling 625
- annähernde Inferenz 623
- bedingte Unabhängigkeit 609
- dynamisches 688, 753, 772
- 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

# Inhaltsverzeichnis

- 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
  - 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

# Inhaltsverzeichnis

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

## Bestätigung 594

## Bestätigungstheorie 28

## Bestensuche 128

gierige 128

heuristischer Pfadalgorithmus 157

## Best-First 128

# Inhaltsverzeichnis

- 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
- BGBBlitz 241
- Bias
  - deklarative 910
- Bias-Gewicht 839
- Bi-Implikation 300
- Bikonditional 300
- Bild 1074
- Bildaufbau 1116
- Bildstrukturmodell 1104
- Bildsynthesemodell 1072

# Inhaltsverzeichnis

- Bildverarbeitung 1116
- Billiards 242
- binäre Beschränkung 256
- binäre Entscheidungsdiagramme 470
- binäre Resolutionsregel 415
- Bindungen
  - epistemologische 351
  - ontologische 350
- Bindungsliste 363
- biologischer Naturalismus 1188
- Blackbox 252, 469
- Blattknoten 111
- blinde Suche 116
- Blockwelt 43, 442
- Blog 640, 651
- Blue Gene 34
- Bluffen 231
- BM25-Bewertungsfunktion 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

# Inhaltsverzeichnis

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

## 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

# Inhaltsverzeichnis

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  
Computervision 24  
Conditional Random Field 1016  
co-NP 1216

# Inhaltsverzeichnis

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

# Inhaltsverzeichnis

- cutoff-Wert 124
- CyberLover 1177
- CYK-Algorithmus 1033
- D**
  - DAG (Directed Acyclic Graph) 602
  - Dalton 923
  - Dame 233
  - 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

# Inhaltsverzeichnis

- Datenkomplexität 401
- Datenkomprimierung 1003
- Datenverarbeitung
  - autonome 88
- Datenuordnung 698
- Dauer 479
- Davis-Putman-Algorith- mus 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
- 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

# Inhaltsverzeichnis

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

# Inhaltsverzeichnis

- 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
- dominieren
  - streng/schwach 777
- dominiert 770
- DPLL 317
- Dragon 1063
- Drehgelenke 1125
- Drehimpulsgeber 1124
- Drehmomentsensoren 1124
- Dreiecksungleichung 131
- Dreifarbigkeit 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

# Inhaltsverzeichnis

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

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

# Inhaltsverzeichnis

Einheitenfunktion 525  
Einheitsklausel 309, 317, 423  
Einheitspriorität 423  
Einheitspropagierung 317  
Einheitsresolution 309, 423  
Einrückungen 1223  
Einzelagenten 69  
Ein-Zug-Spiele 776  
EKF 687  
Elektroenzephalograph 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

# Inhaltsverzeichnis

- Entailment 296
- 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

# Inhaltsverzeichnis

- 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
  - Schwellenwert- Phänomen 321
- Erfüllbarkeitsproblem
  - schwieriges 320
- Ergebnis 570, 776
- Ergebnismenge 1004
- ergodisch 630
- Erkennung 1073
- Erklärung 545
  - wahrscheinlichste 667
- erklärungsbasierte Verallgemeinerung 234
- Erklärungslücke 1191
- erkundbar
  - sicher 191
- Erlösäquivalenz, Satz über die 793
- erratische Staubaugerwelt 175
- erreichbare Menge 488
- Erreichbarkeitsrelationen 533
- Erscheinung 1088
- Erscheinungsmodell 1105
- erschöpfende Zerlegung 522

# Inhaltsverzeichnis

- 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
- evolutionäre Psychologie 724
- Evolutionsbiologie 160
- Evolutionsstrategien 197
- Existential Graphs 536
- Existentielle Einführung 430
- Existentielle Instanziierung 389
- Existenzquantor 357, 358
- Existenzunsicherheit 635

# Inhaltsverzeichnis

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

# Inhaltsverzeichnis

M

N

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

# Inhaltsverzeichnis

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  
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

# Inhaltsverzeichnis

- 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
- Zustandsraum 101, 252
  - Metaebene 139
  - Objektebene 139
  - stetiger 170
  - unendlicher 107
- Zustandsraum-Land-schaften 161
- Zustandsschätzung 187, 327
- Zustandsvariablen 501

# Inhaltsverzeichnis

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](mailto: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>**