
Grundkurs Künstliche Intelligenz

Wolfgang Ertel

Grundkurs Künstliche Intelligenz

Eine praxisorientierte Einführung

 Springer Vieweg

Wolfgang Ertel
Hochschule Ravensburg-Weingarten
Weingarten, Deutschland

ISBN 978-3-8348-1677-1
DOI 10.1007/978-3-8348-2157-7

ISBN 978-3-8348-2157-7 (eBook)

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.d-nb.de> abrufbar.

Springer Vieweg

© Springer Fachmedien Wiesbaden 2008, 2009, 2013

Das Werk einschließlich aller seiner Teile ist urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung, die nicht ausdrücklich vom Urheberrechtsgesetz zugelassen ist, bedarf der vorherigen Zustimmung des Verlags. Das gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Bearbeitungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen und die Einspeicherung und Verarbeitung in elektronischen Systemen.

Die Wiedergabe von Gebrauchsnamen, Handelsnamen, Warenbezeichnungen usw. in diesem Werk berechtigt auch ohne besondere Kennzeichnung nicht zu der Annahme, dass solche Namen im Sinne der Warenzeichen- und Markenschutz-Gesetzgebung als frei zu betrachten wären und daher von jedermann benutzt werden dürften.

Gedruckt auf säurefreiem und chlorfrei gebleichtem Papier

Springer Vieweg ist eine Marke von Springer DE. Springer DE ist Teil der Fachverlagsgruppe Springer Science+Business Media
www.springer-vieweg.de

Vorwort zur dritten Auflage

In Kap. 8 gibt es nun zwei neue Abschnitte. Das wichtige Thema Kreuzvalidierung erhält in Abschn. 8.5 endlich den verdienten Raum. In Abschn. 8.8 über One-Class-Learning werden Verfahren zum Lernen von Klassifikatoren beschrieben, wenn nur Daten einer Klasse verfügbar sind.

Neben der Fehlerkorrektur wurden an vielen Stellen Aktualisierungen vorgenommen sowie die Literaturliste ergänzt um wichtige neue Standardwerke wie etwa [Bis06]. Die Geschichte der KI wurde ergänzt um die ganz wichtige aktuelle Strömung hin zu autonomen Maschinen und Robotern. Kapitel 6 wurde ergänzt durch neue Trends bei Schachcomputern. Interessant ist, dass die neuesten Entwicklungen beim Schach nicht mehr auf Hardwareleistung, sondern auf lernfähige KI setzen. Die Nearest Neighbour-Methoden in Kap. 8 wurden ergänzt durch ein anschauliches Beispiel.

Ravensburg, März 2013

Wolfgang Ertel

Vorwort zur zweiten Auflage

Ich bedanke mich bei allen Lesern des Buches und ganz besonders bei Richard Cubek für Kommentare, Kritik und die Meldung von Fehlern. Neben der Fehlerkorrektur waren an einigen Stellen Ergänzungen und Änderungen angebracht. So überarbeitete ich zum Beispiel die Beschreibung der Normalformtransformation für prädikatenlogische Formeln und fügte beim Perzeptron ergänzende Erklärungen ein. Die Beschreibung des Backpropagation-Algorithmus wurde durch Pseudocode verbessert und die Einführung in das Clustering ergänzte ich zur Veranschaulichung durch ein Bild. Das Kapitel zehn zum Lernen durch Verstärkung wurde erweitert um einige wichtige Strömungen in der aktuellen Forschung und zusätzliche Anwendungen. Ich hoffe, dadurch die Faszination der künstlichen Intelligenz noch ein wenig besser vermitteln zu können.

Ravensburg, Mai 2009

Wolfgang Ertel

Vorwort zur ersten Auflage

Mit dem Verstehen von Intelligenz und dem Bau intelligenter Systeme gibt sich die Künstliche Intelligenz (KI) ein Ziel vor. Die auf dem Weg zu diesem Ziel zu verwendenden Methoden und Formalismen sind aber nicht festgelegt, was dazu geführt hat, dass die KI heute aus einer Vielzahl von Teildisziplinen besteht. Die Schwierigkeit bei einem KI-Grundkurs liegt darin, einen Überblick über möglichst alle Teilgebiete zu vermitteln, ohne allzu viel Verlust an Tiefe und Exaktheit.

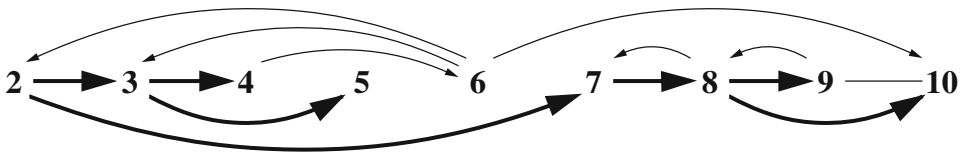
Das Buch von Russell und Norvig [RN03] definiert heute quasi den Standard zur Einführung in die KI. Da dieses Buch aber mit 1327 Seiten in der deutschen Ausgabe für die meisten Studierenden zu umfangreich und zu teuer ist, waren die Vorgaben für das zu schreibende Buch klar: Es sollte eine für Studierende erschwingliche Einführung in die moderne KI zum Selbststudium oder als Grundlage für eine vierstündige Vorlesung mit maximal 300 Seiten werden. Das Ergebnis liegt nun hier vor.

Bei einem Umfang von ca. 300 Seiten kann ein dermaßen umfangreiches Gebiet wie die KI nicht vollständig behandelt werden. Damit das Buch nicht zu einer Inhaltsangabe wird, habe ich versucht, in jedem der Teilgebiete Agenten, Logik, Suche, Schließen mit Unsicherheit, maschinelles Lernen und Neuronale Netze an einigen Stellen etwas in die Tiefe zu gehen und konkrete Algorithmen und Anwendungen vorzustellen.

Nicht im Detail behandelt werden die Gebiete Bildverarbeitung, Fuzzy-Logik, und die Verarbeitung natürlicher Sprache. Das für die gesamte Informatik wichtige Gebiet der Bildverarbeitung stellt eine eigenständige Disziplin mit sehr guten Lehrbüchern, zum Beispiel [Jäh05] dar. Einen ähnlichen Status hat die Verarbeitung natürlicher Sprache. Beim Erkennen und auch beim Erzeugen von Texten und gesprochener Sprache kommen unter anderem Methoden aus der Logik, dem probabilistischen Schließen sowie neuronale Netze zur Anwendung. Insofern gehört dieses Gebiet zur KI. Andererseits ist auch die Computerlinguistik ein eigenes umfangreiches Teilgebiet der Informatik mit vielen Gemeinsamkeiten zu formalen Sprachen. Wir werden in diesem Buch an einigen Stellen auf entsprechende Systeme hinweisen, aber keine systematische Einführung bereitstellen. Für eine erste Einführung in dieses Gebiet verweisen wir auf die Kapitel 22 und 23 in [RN03]. Die Fuzzy-Logik, beziehungsweise die Fuzzy-Mengentheorie hat sich aufgrund ihrer primären Anwendungen in der Automatisierungstechnik zu einem Teilgebiet der Regelungstechnik

entwickelt und wird auch in entsprechenden Büchern und Vorlesungen behandelt. Daher verzichten wir hier auf eine Einführung.

In dem unten dargestellten Graphen sind die Abhängigkeiten der Kapitel des Buches grob skizziert. Um die Darstellung übersichtlich zu halten, wurde Kap. 1 mit der für alle weiteren Kapitel grundlegenden Einführung nicht eingezeichnet. Ein dicker Pfeil von Kap. 2 nach 3 zum Beispiel bedeutet, dass die Aussagenlogik für das Verständnis der Prädikatenlogik vorausgesetzt wird. Der dünne Pfeil von Kap. 9 nach 10 bedeutet, dass Neuronale Netze für das Verständnis des Lernens durch Verstärkung hilfreich sind, aber nicht dringend benötigt werden. Dünne Rückwärtspfeile sollen deutlich machen, dass spätere Kapitel das Verständnis schon gelernter Themen vertiefen können.



Das Buch wendet sich an Studierende der Informatik und anderer technisch naturwissenschaftlicher Fächer und setzt überwiegend nur Mathematikkenntnisse der Oberstufe voraus. An einigen Stellen werden Kenntnisse aus der linearen Algebra und der mehrdimensionalen Analysis benötigt. Zu einem tieferen Verständnis der Inhalte ist die aktive Beschäftigung mit den Übungen unerlässlich. Das bedeutet, dass die Musterlösung nur nach intensiver Beschäftigung mit der jeweiligen Aufgabe zur Kontrolle konsultiert werden sollte, getreu dem Motto „Studium ohne Hingabe schadet dem Gehirn“ von Leonardo da Vinci. Etwas schwierigere Aufgaben sind mit *, besonders schwierige mit ** markiert. Aufgaben, die Programmier- oder spezielle Informatikkenntnisse erfordern, sind mit \Rightarrow gekennzeichnet.

Auf der Webseite zum Buch unter <http://www.hs-weingarten.de/~ertel/kibuch> sind digitale Materialien zu den Übungen wie zum Beispiel Trainingsdaten für Lernalgorithmen, eine Seite mit Verweisen auf die im Buch erwähnten KI-Programme, eine Liste mit Links zu den behandelten Themen, eine anklickbare Liste der Literaturverweise, eine Errataliste und Präsentationsfolien für Dozenten zu finden. Ich möchte den Leser bitten, Anregungen, Kritik und Hinweise auf Fehler direkt an ertel@hs-weingarten.de zu senden.

Bedanken möchte ich mich an erster Stelle bei meiner Frau Evelyn, die mir den Rücken frei hielt für das Schreiben. Ein besonderer Dank geht an Wolfgang Bibel und an Chris Lobenschuss, die das Manuskript sehr sorgfältig korrigierten. Ihre Anmerkungen und Diskussionen führten zu vielen Verbesserungen und Ergänzungen. Für das Korrekturlesen und andere wertvolle Dienste möchte ich mich bedanken bei Celal Döven, Joachim Feßler, Nico Hochgeschwender, Paul Kirner, Wilfried Meister, Norbert Perk, Peter Radtke, Markus Schneider, Manfred Schramm, Uli Stärk, Michel Tokic, Arne Usadel und allen interessierten Studierenden. Mein Dank geht auch an Florian Mast für die überaus gelungenen

Cartoons und die sehr effektive Zusammenarbeit. Für die kooperative und fruchtbare Zusammenarbeit mit dem Vieweg Verlag bedanke ich mich bei Günter Schulz und Sybille Thelen.

Ravensburg, September 2007

Wolfgang Ertel

Inhaltsverzeichnis

1	Einführung	1
1.1	Was ist Künstliche Intelligenz	1
1.2	Geschichte der KI	6
1.3	Agenten	12
1.4	Wissensbasierte Systeme	14
1.5	Übungen	16
2	Aussagenlogik	19
2.1	Syntax	19
2.2	Semantik	20
2.3	Beweisverfahren	23
2.4	Resolution	27
2.5	Hornklauseln	30
2.6	Berechenbarkeit und Komplexität	33
2.7	Anwendungen und Grenzen	34
2.8	Übungen	34
3	Prädikatenlogik erster Stufe	37
3.1	Syntax	38
3.2	Semantik	39
3.3	Quantoren und Normalformen	44
3.4	Beweiskalküle	47
3.5	Resolution	49
3.6	Automatische Theorembeweiser	54
3.7	Mathematische Beispiele	56
3.8	Anwendungen	59
3.9	Zusammenfassung	61
3.10	Übungen	62
4	Grenzen der Logik	65
4.1	Das Suchraumproblem	65
4.2	Entscheidbarkeit und Unvollständigkeit	67

4.3	Der fliegende Pinguin	69
4.4	Modellierung von Unsicherheit	72
4.5	Übungen	73
5	Logikprogrammierung mit Prolog	75
5.1	Prolog-Systeme und Implementierungen	76
5.2	Einfache Beispiele	76
5.3	Ablaufsteuerung und prozedurale Elemente	79
5.4	Listen	81
5.5	Selbstmodifizierende Programme	83
5.6	Ein Planungsbeispiel	84
5.7	Constraint Logic Programming	86
5.8	Zusammenfassung	88
5.9	Übungen	88
6	Suchen, Spielen und Probleme lösen	93
6.1	Einführung	93
6.2	Uninformierte Suche	100
6.3	Heuristische Suche	105
6.4	Spiele mit Gegner	114
6.5	Heuristische Bewertungsfunktionen	118
6.6	Stand der Forschung	120
6.7	Übungen	122
7	Schließen mit Unsicherheit	125
7.1	Rechnen mit Wahrscheinlichkeiten	127
7.2	Die Methode der Maximalen Entropie	135
7.3	LEXMED, ein Expertensystem für Appendizitisdiagnose	144
7.4	Schließen mit Bayes-Netzen	158
7.5	Zusammenfassung	171
7.6	Übungen	172
8	Maschinelles Lernen und Data Mining	177
8.1	Datenanalyse	183
8.2	Das Perzeptron, ein linearer Klassifizierer	185
8.3	Nearest Neighbour-Methoden	192
8.4	Lernen von Entscheidungsbäumen	202
8.5	Kreuzvalidierung und Überanpassung	218
8.6	Lernen von Bayes-Netzen	220
8.7	Der Naive-Bayes-Klassifizierer	223
8.8	One-Class-Learning	228
8.9	Clustering	230
8.10	Data Mining in der Praxis	235

8.11	Zusammenfassung	239
8.12	Übungen	241
9	Neuronale Netze	247
9.1	Von der Biologie zur Simulation	248
9.2	Hopfield-Netze	253
9.3	Neuronale Assoziativspeicher	259
9.4	Lineare Netze mit minimalem Fehler	268
9.5	Der Backpropagation-Algorithmus	274
9.6	Support-Vektor-Maschinen	281
9.7	Anwendungen	282
9.8	Zusammenfassung und Ausblick	283
9.9	Übungen	284
10	Lernen durch Verstärkung (Reinforcement Learning)	287
10.1	Einführung	287
10.2	Die Aufgabenstellung	290
10.3	Uninformierte kombinatorische Suche	291
10.4	Wert-Iteration und Dynamische Programmierung	293
10.5	Ein lernender Laufroboter und seine Simulation	296
10.6	Q-Lernen	298
10.7	Erkunden und Verwerten	302
10.8	Approximation, Generalisierung und Konvergenz	303
10.9	Anwendungen	304
10.10	Fluch der Dimensionen	305
10.11	Zusammenfassung und Ausblick	306
10.12	Übungen	307
11	Lösungen zu den Übungen	309
11.1	Einführung	309
11.2	Aussagenlogik	310
11.3	Prädikatenlogik	312
11.4	Grenzen der Logik	314
11.5	Prolog	314
11.6	Suchen, Spielen und Probleme lösen	316
11.7	Schließen mit Unsicherheit	319
11.8	Maschinelles Lernen und Data Mining	325
11.9	Neuronale Netze	333
11.10	Lernen durch Verstärkung	334
	Literatur	339
	Sachverzeichnis	347