

Informatik-Fachberichte 200

Herausgeber: W. Brauer
im Auftrag der Gesellschaft für Informatik (GI)

Subreihe Künstliche Intelligenz

Mitherausgeber: C. Freksa
in Zusammenarbeit mit dem Fachausschuß 1.2
„Künstliche Intelligenz und Mustererkennung“ der GI

Alexander Reinefeld

Spielbaum-Suchverfahren



Springer-Verlag
Berlin Heidelberg New York
London Paris Tokyo

Autor

Alexander Reinefeld
Universität Hamburg, Fachbereich Informatik
Bodenstedtstraße 16, D-2000 Hamburg 50

CR Subject Classification (1987): I.2.8, I.2.1, F.2.2, D.2.8

ISBN-13: 978-3-540-50742-0 e-ISBN-13: 978-3-642-74413-6

DOI: 10.1007/978-3-642-74413-6

CIP-Titelaufnahme der Deutschen Bibliothek.

Reinefeld, Alexander:

Spielbaum-Suchverfahren / Alexander Reinefeld. – Berlin; Heidelberg; New York; London; Paris;
Tokyo: Springer, 1989

(Informatik-Fachberichte; 200 : Subreihe künstliche Intelligenz)

Zugl.: Hamburg, Univ., Diss. u. d. T.: Reinefeld, Alexander: Analyse von Baum-Suchalgorithmen

NE: GT

Dieses Werk ist urheberrechtlich geschützt. Die dadurch begründeten Rechte, insbesondere die der Übersetzung, des Nachdrucks, des Vortrags, der Entnahme von Abbildungen und Tabellen, der Funksendung, der Mikroverfilmung oder der Vervielfältigung auf anderen Wegen und der Speicherung in Datenverarbeitungsanlagen, bleiben, auch bei nur auszugsweiser Verwertung, vorbehalten. Eine Vervielfältigung dieses Werkes oder von Teilen dieses Werkes ist auch im Einzelfall nur in den Grenzen der gesetzlichen Bestimmungen des Urheberrechtsgesetzes der Bundesrepublik Deutschland vom 9. September 1965 in der Fassung vom 24. Juni 1985 zulässig. Sie ist grundsätzlich vergütungspflichtig. Zuwiderhandlungen unterliegen den Strafbestimmungen des Urheberrechtsgesetzes.

© by Springer-Verlag Berlin Heidelberg 1989

Softcover reprint of the hardcover 1st edition 1989

Druck- und Bindearbeiten: Weiher-Druck GmbH, Darmstadt
2145/3140 – 543210 – Gedruckt auf säurefreiem Papier

Vorwort

Das vorliegende Buch ist aus meiner Dissertation mit dem Thema "Analyse von Baum-Suchalgorithmen" hervorgegangen. Es ist das Ergebnis vierjähriger Forschungstätigkeit am Fachbereich Informatik der Universität Hamburg und am Department of Computing Science der University of Alberta, Canada.

Mein besonderer Dank gilt Herrn Professor Dr. F. Schwenkel für seine Ermutigung und Unterstützung meines Forschungsvorhabens und seinen tatkräftigen Einsatz, als es darum ging, meine beiden Forschungsaufenthalte in Kanada vorzubereiten und zu fördern. Für die freundliche Aufnahme an der University of Alberta und seine engagierte Unterstützung danke ich Herrn Professor Dr. T.A. Marsland. Aus den vielen Diskussionen mit ihm und Herrn Professor Dr. J. Schaeffer sind entscheidende Impulse für die vorliegende Arbeit hervorgegangen. Herrn Professor Dr. G. Veenker von der Universität Bonn sei an dieser Stelle für seine kritische Durchsicht der Arbeit gedankt.

Nicht zuletzt danke ich dem Deutschen Akademischen Austauschdienst (DAAD) für die Verleihung eines Doktoranden-Stipendiums, das mir 1984/85 einen einjährigen Forschungsaufenthalt in Kanada ermöglichte. Das Killam Post-Doctoral Fellowship der University of Alberta, das ich für die Jahre 1987/88 verliehen bekam, sowie die finanzielle Unterstützung des Natural Sciences and Engineering Research Council of Canada (NSERC) ermöglichten schließlich die Überarbeitung meiner Dissertation zum vorliegenden Buch.

Hamburg, im Herbst 1988

Alexander Reinefeld

Zusammenfassung

Baum-Suchverfahren werden in der Informatik, insbesondere im Teilbereich der Künstlichen Intelligenz, zum Durchsuchen von Entscheidungsbäumen eingesetzt. Das vorliegende Buch befaßt sich mit Baum-Suchverfahren für eine spezielle Art von Entscheidungsbäumen, den Spielbäumen. Es werden zwei grundlegende Klassen von Spielbaum-Suchverfahren ausführlich behandelt: die Nullfenster-Suchverfahren, die den Baum in einer vorher festgelegten Reihenfolge durchsuchen, und die Zustandsraum-Suchverfahren, deren Suchabfolge dynamisch gesteuert ist.

Der praktisch orientierte Spielprogrammierer findet in diesem Buch einen universell verwendbaren Grundstock von Baum-Suchalgorithmen für Zwei-Personen-Null-Summen-Spiele. Neben den Baum-Suchalgorithmen selbst werden ihm theoretische und empirische Bewertungskriterien an die Hand gegeben, mit denen er die zu erwartende Suchleistung eines Algorithmus abschätzen kann. — Der an den theoretischen Grundlagen der Spielbaumsuche interessierte Leser findet in diesem Buch Ansätze zur Analyse der Suchabfolge und zur Berechnung der Sucheeffizienz der Algorithmen. Den Ausgangspunkt bilden die zu durchsuchenden Bäume, deren Knoten-Beziehungen auf einfache Weise in mathematischen Gleichungssystemen beschrieben werden.

Abstract

Tree search algorithms are used in computer science—more specifically in the subfield of Artificial Intelligence—for searching decision trees. This book deals with algorithms for a special kind of decision trees: the game trees. Two important classes of algorithms for searching game trees are investigated: the minimal window search algorithms, which examine the tree in a predetermined order, and the state space search algorithms, which utilize dynamically acquired information to control the search sequence.

In this book, the practitioner will find a variety of tree search algorithms for two-person-zero-sum games. In addition to that, he will be provided with analytical and empirical criteria to evaluate their expected search performance in a given application. — The theorist, on the other hand, will find a number of analytical approaches which assess the influence of static node values on the dynamic search process.

Inhaltsverzeichnis

1	Grundlagen	1
1.1	Einführung	1
1.2	Bäume	5
1.2.1	Allgemeine Bäume	5
1.2.2	UND/ODER-Bäume	6
1.2.3	Spielbäume	8
1.3	Konzepte der Baumsuche	14
1.3.1	Grundlegende Suchstrategien	14
1.3.2	Minimax und Negamax	15
1.3.3	Solve	18
2	Baum-Suchalgorithmen	21
2.1	Varianten des Alpha-Beta-Verfahrens	22
2.1.1	Alpha-Beta	22
2.1.2	B&B	27
2.1.3	Alpha-Beta-Verbesserungen	29
2.1.3.1	Suchfenster-Technik	30
2.1.3.2	F-Verbesserung	30
2.1.3.3	L-Verbesserung	32
2.2	Nullfenster-Suchverfahren	34
2.2.1	Scout	34
2.2.2	NegaScout	36
2.2.3	NegaScout-Verbesserungen	40
2.2.3.1	F-Verbesserung	41
2.2.3.2	L-Verbesserung	42

2.2.3.3	TL-Verbesserung	42
2.2.3.4	Verbesserte Informationsakquisition	44
2.3	Zustandsraum-Suchverfahren	49
2.3.1	Dual*	50
2.3.2	SSS*	56
2.3.3	Eigenschaften und Verbesserungen	60
2.3.3.1	Suchfenster-Technik	60
2.3.3.2	Verbesserte Zustandsreihenfolge	64
2.3.3.3	Elimination überflüssiger Zustände	66
2.3.3.4	L-Verbesserung für Dual*	67
2.3.3.5	Globale Bestensuche für Dual*	68
2.3.3.6	Zustandsraum-Suche in Graphen	69
2.3.3.7	Hybride Algorithmen	70
2.3.3.8	Iterative Zustandsraum-Suche	72
2.3.4	Zusammenfassung	75
3	Theoretische Effizienzanalyse	76
3.1	Effizienzanalyse bei gegebener Blattwertverteilung	78
3.2	Notwendige und hinreichende Knoten-Expansionskriterien	84
3.2.1	Expansionskriterium für B&B	84
3.2.2	Expansionskriterium für Alpha-Beta	86
3.2.3	Expansionskriterium für SSS*	88
3.2.4	Expansionskriterium für Dual*	92
3.2.5	Expansionskriterium für NegaScout	98
3.2.6	Expansionskriterium für Solve	101
3.2.7	Dominanzrelationen	102
3.3	Effizienzanalyse auf der Basis rekursiver Expansionsgleichungen	105
3.3.1	Knotentypen in optimal sortierten Bäumen	106
3.3.2	Gleichungssystem für NegaScout	108
3.3.3	Gleichungssystem für Alpha-Beta	110
3.3.4	Modellerweiterung für Wiederholungssuchen	114
3.3.5	Auswertung der Gleichungssysteme	115

3.3.6	Zusammenfassung	118
3.4	Kritik der drei theoretischen Modelle	120
4	Empirische Effizienzanalyse	122
4.1	Speicherplatzbedarf	125
4.2	Statistische Effizienzanalyse anhand großer Bäume	128
4.2.1	Auswahl der Baumart, Baumform und Blattwertverteilung	129
4.2.2	Erzeugung synthetischer Bäume	131
4.2.3	Leistungsmaße	134
4.2.4	Versuchsdurchführung und Auswertung	139
4.3	Vollständige Effizienzanalyse anhand kleiner Bäume	147
4.3.1	Überblick	148
4.3.2	Sucheffizienz der Nullfenster-Suchverfahren	149
4.3.3	Sucheffizienz der Zustandsraum-Suchverfahren	152
4.3.4	Zusammenfassung und Ausblick	156
4.4	Der Wert globaler Knoteninformationen	159
4.5	Rechenzeitbedarf	163
4.6	Zusammenfassung	166
5	Schlußbemerkungen	168
5.1	Zusammenfassung	168
5.2	Offene Probleme	173
	Abbildungsverzeichnis	178
	Tabellenverzeichnis	180
	Literaturverzeichnis	181
	Index	188