Parallele Evolutionsstrategien mit der Optimierungsumgebung EvA

Dissertation

der Fakultät für Informatik
der Eberhard-Karls-Universität Tübingen
zur Erlangung des Grades eines
Doktors der Naturwissenschaften
vorgelegt von

Dipl.-Inform. Jürgen Wakunda

Tübingen
2001

Tag der mündlichen Qualifikation:	9. Mai 2001
Dekan:	Prof. Dr. rer. nat. habil. Andreas Zell
1. Berichterstatter:	Prof. Dr. rer. nat. habil. Andreas Zell
2. Berichterstatter:	Prof. Dr. rer. nat. habil. Michael Kaufmann

Berichte aus der Informatik

Jürgen Wakunda

Parallele Evolutionsstrategien mit der Optimierungsumgebung EvA

D 21 (Diss. Universität Tübingen)

Shaker Verlag
Aachen 2001

Die Deutsche Bibliothek - CIP-Einheitsaufnahme

Wakunda, Jürgen:
Parallele Evolutionsstrategien mit der Optimierungsumgebung EvA / Jürgen Wakunda.
Aachen : Shaker, 2001
(Berichte aus der Informatik)
Zugl.: Tübingen, Univ., Diss., 2001
ISBN 3-8265-9342-1

Copyright Shaker Verlag 2001
Alle Rechte, auch das des auszugsweisen Nachdruckes, der auszugsweisen oder vollständigen Wiedergabe, der Speicherung in Datenverarbeitungsanlagen und der Übersetzung, vorbehalten.

Printed in Germany.

ISBN 3-8265-9342-1
ISSN 0945-0807

Shaker Verlag GmbH • Postfach 1290 • 52013 Aachen
Telefon: 02407 / 95 96 - 0 • Telefax: 02407 / 95 96 - 9
Internet: www.shaker.de • eMail: info@shaker.de

Kurzfassung

Evolutionäre Algorithmen stellen verschiedene Verfahren für ein breites Gebiet von Optimierungsaufgaben bereit. Allen Verfahren liegt die von der Natur inspirierte Technik der schrittweisen Optimierung durch Prinzipien der Evolution zugrunde. Die Evolutionsstrategie als ein Vertreter der Evolutionären Algorithmen ist besonders geeignet für Anwendungen, die durch einen Vektor kontinuierlicher Parameter beschrieben werden können. Ziel dieser Arbeit ist es, die praktische Anwendung von Evolutionsstrategien bei Optimierungsaufgaben zu vereinfachen. Dazu werden drei Aspekte besonders behandelt, die bei der praktischen Anwendung relevant sind: Parallelisierung von Evolutionsstrategien, das Finden von guten Parametern für die Evolutionsstrategie selbst und die Optimierungsumgebung *EvA*, welche diese Methoden und den Einsatz von Evolutionsstrategien als Optimierungskomponente in einem System unterstützt.

Für Evolutionsstrategien existieren gut entwickelte Mechanismen zur Selbstadaption der Größe der Suchschritte während der Optimierung. Dies bringt einen wesentlichen Geschwindigkeitsgewinn. Für sehr rechenintensive Anwendungen existiert eine einfache und effiziente Standard-Methode zur Parallelisierung. Wird sie auf Evolutionsstrategien angewendet, wird dabei jedoch der wichtige Prozeß der Selbstadaption gestört und die Leistungsfähigkeit der Evolutionsstrategie vermindert. In dieser Arbeit wird die neu entwickelte *Median-Selektion* vorgestellt, welche diesen Nachteil nicht besitzt. Somit kann der Geschwindigkeitsgewinn durch Parallelisierung unter Erhaltung der Selbstadaption ausgenutzt werden.

Beim Einsatz der Evolutionsstrategie müssen durch Wahl von Parametern viele Details des Algorithmus festgelegt werden, welche die Leistungsfähigkeit deutlich beeinflussen. Besonders wenn der Optimierungsprozeß oft und mit hohen Anforderungen an eine kurze Ausführungszeit stattfinden muß, lohnt sich eine gute Wahl der Parameter. Solch eine *Meta-Optimierung* kann selbst von Experten nicht immer zufriedenstellend bewältigt werden. Deshalb wird in dieser Arbeit die Erweiterung einer Evolutionsstrategie zur Meta-Optimierung vorgestellt. Auch hier ist Selbstadaption enthalten und wegen des hohen Rechenaufwands ist der Algorithmus parallelisiert. Daher kann sich hier der Einsatz der neuen Median-Selektion ebenfalls lohnen.

Die Optimierungsumgebung EvA implementiert neben parallelen Evolutionsstrategien sowohl die Median-Selektion als auch die Meta-Optimierung. Darüberhinaus werden Aspekte des praktischen Einsatzes von Evolutionsstrategien unterstützt: einfache und flexible Implementierung von Fitneßfunktionen. Dabei sind viele Rahmenbedingungen, welche die Problemstellung vorgibt, flexibel handhabbar. Der Optimierungsschritt stellt in realen Anwendungen oft nur ein Baustein in einem komplexeren Softwaresystem dar. Es ist deshalb eine Unterstützung für eine einfache Einbettung und Interaktion mit dem Gesamtsystem vorhanden.

Es kann gezeigt werden, daß die Median-Selektion sehr gut für den Einsatz von parallelen Evolutionsstrategien geeignet ist. Die Meta-Evolutionstrategie kann als einfache Methode zur Parameterfindung für Evolutionsstrategien dienen.

Danksagung

Die vorliegende Arbeit entstand während meiner Tätigkeit als wissenschaftlicher Mitarbeiter am Lehrstuhl Rechnerarchitektur der Universität Tübingen. Ich möchte an dieser Stelle allen meinen Dank aussprechen, die durch ihre Hilfe und Anregungen direkt oder indirekt zu dieser Arbeit beigetragen haben.

An erster Stelle bin ich meinem Betreuer und Erstberichterstatter Prof. Dr. Andreas Zell zu Dank verpflichtet. Seine Anregungen trugen wesentlich zur Verbesserung der Qualität der Arbeit bei. Die freie Arbeitsatmosphäre am Lehrstuhl bot hervorragende Rahmenbedingungen für die Entstehung dieser Arbeit.

Prof. Dr. Michael Kaufmann danke ich für die Übernahme des Zweitgutachtens, welches er trotz seines engen Zeitplanes zügig anfertigen konnte.

Besonderer Dank gilt meinen Kollegen am Lehrstuhl, die zu einem hervorragenden Arbeitsklima beigetragen haben. Bei Kollege Igor Fischer möchte ich mich insbesondere dafür bedanken, daß er mich im letzten Semester dieser Arbeit wesentlich von meinen Verpflichtungen im Lehrbereich entlastet hat.

An dieser Stelle sei auch allen Studenten mein Dank ausgesprochen, die durch ihre Diplomarbeiten oder ihre Tätigkeiten als wissenschaftliche Hilfskraft einen Beitrag zu dieser Arbeit geleistet haben. Dies sind im einzelnen Volker Scheer, Hartmut Ott und Ralf Sondershaus.

Desweiteren bin ich allen Freunden und Kollegen zu Dank verpflichtet, die durch Korrekturlesen zur Verbesserung der Arbeit beigetragen haben.

Den herzlichsten Dank spreche ich hiermit meinen Eltern Johanna und Horst Wakunda aus, die es mir ermöglicht haben, meinen Weg zu gehen und auf deren Unterstützung und Vertrauen ich immer zählen konnte.

Jürgen Wakunda

Inhaltsverzeichnis

1 Einleitung **1**

1.1 Einordnung 1

1.2 Motivation 3

1.3 Aufbau der Arbeit 5

2 Evolutionäre Algorithmen **7**

2.1 Überblick 7

2.2 Grundbegriffe der Optimierung 9

2.2.1 Optimierungsaufgabe 9

2.2.2 Begriffe bei Evolutionären Algorithmen 10

2.3 Genetische Algorithmen 11

2.4 Evolutionsstrategien 14

2.4.1 Initialisierung der Individuen 16

2.4.2 Rekombination 16

2.4.3 Mutation und Selbstadaption 18

2.4.4 Selektion 32

2.4.5 Terminierung 35

2.4.6 Randbedingungen 36

2.5 Andere Evolutionäre Algorithmen 39

2.5.1 Genetic Programming 39

2.5.2 Evolutionary Programming 39

2.5.3 Classifier Systeme 40

2.5.4 Simulated Annealing 40

3 Parallelisierung Evolutionärer Algorithmen 43
3.1 Klassifikation von Parallelrechnern 44
3.2 Parallelmodelle Evolutionärer Algorithmen 46
3.2.1 Inselmodell 47
3.2.2 Gittermodell 49
3.2.3 Parallele Fitneßevaluation 51
3.2.4 Entkopplung von der Rechnerarchitektur 53

4 Das EvA-System 55
4.1 EA-Software 56
4.2 Die Software-Architektur von EvA 60
4.2.1 Die Modul-Schnittstelle 61
4.2.2 Die graphische Benutzeroberfläche 63
4.2.3 Online Ergebnisverarbeitung und -visualisierung 64
4.3 VEES: Verteilte Evolutionsstrategien 66
4.3.1 ES-Varianten in VEES 67
4.3.2 Fitneßfunktionen in VEES 68
4.3.3 Randbedingungen 71

5 Parallele Steady-State-Evolutionsstrategien 73
5.1 Steady-State Grundlagen 74
5.2 Optimierungsbeispiel 76
5.3 Selektion bei Steady-State 78
5.3.1 Lokale Tournament-Selektion 79
5.4 Median-Selektion 80
5.4.1 Einfluß der Pufferlänge 89
5.4.2 Einfluß der Akzeptanzrate 92
5.5 Vergleichstests mit Benchmarkfunktionen 92
5.5.1 Funktion f_2: Generalized Rosenbrock's Function 95
5.5.2 Funktion f_6: Schwefel's Function 1.2 (Doublesum) 97
5.5.3 Funktion f_9: Ackley's Function 98
5.5.4 Funktion f_{15}: Weighted Sphere Model 98

5.5.5 Funktion f_{24}: Kowalik 99
5.5.6 Funktion q_1: Achsenparalleler Hyperellipsoid 100
5.5.7 Funktion q_2: Zufällig gedrehter Hyperellipsoid 101
5.6 Zusammenfassung 101

6 Parallele Meta-Optimierung 103
6.1 Diskussion 105
6.1.1 Verwendung von Standardparameterwerten 105
6.1.2 Selbstadaption 105
6.1.3 Meta-Optimierung 108
6.2 Verwandte Arbeiten über Meta-Optimierung 109
6.3 Die Meta-Evolutionsstrategie 112
6.3.1 Behandlung von ganzzahligen Parametern 114
6.3.2 Behandlung von Aufzählungsparametern 115
6.3.3 Selbstadaption des gemischten Vektors 116
6.3.4 Fitneßfunktion des Meta-Algorithmus 116
6.3.5 Parameter der Meta-Evolutionsstrategie 118
6.4 Ergebnisse 119
6.4.1 Evolvieren von λ 119
6.4.2 Funktion f_{10} - Traveling Salesman Problem 120
6.5 Zusammenfassung 127

7 Anwendungen 129
7.1 Spannmittelplazierung zur Werkstückfixierung 129
7.1.1 Meta-Optimierung 131
7.2 Konformationsanalyse eines Peptids 134
7.2.1 Steady-State-Optimierung mit Median-Selektion 135
7.3 Optimierung einer Linse 137
7.3.1 Steady-State-Optimierung mit Median-Selektion 138

8 Bewertung und Ausblick 141

Literaturverzeichnis 144

A Abkürzungen und Mathematische Symbole **157**

B EA-Software **161**

C Testfunktionen **165**

C.1 Funktion f_2: Generalized Rosenbrock's Function 165

C.2 Funktion f_6: Schwefel's Function 1.2 (Doublesum) 165

C.3 Funktion f_9: Ackley's Function 166

C.4 Funktion f_{10}: Krolak's 100 city TSP 166

C.5 Funktion f_{15}: Weighted Sphere Model 167

C.6 Funktion f_{24}: Kowalik 167

C.7 Funktion q_1: Achsenparalleler Hyperellipsoid 168

C.8 Funktion q_2: Zufällig gedrehter Hyperellipsoid 168