

**Bernd Scheuermann**

# FPGA Task Arrangement with Genetic Algorithms

**Diploma Thesis**

**Bibliographic information published by the German National Library:**

The German National Library lists this publication in the National Bibliography; detailed bibliographic data are available on the Internet at <http://dnb.dnb.de> .

This book is copyright material and must not be copied, reproduced, transferred, distributed, leased, licensed or publicly performed or used in any way except as specifically permitted in writing by the publishers, as allowed under the terms and conditions under which it was purchased or as strictly permitted by applicable copyright law. Any unauthorized distribution or use of this text may be a direct infringement of the author s and publisher s rights and those responsible may be liable in law accordingly.

Copyright © 1999 Diplom.de  
ISBN: 9783832422998

**Bernd Scheuermann**

# **FPGA Task Arrangement with Genetic Algorithms**

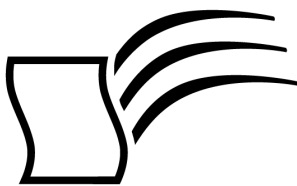


---

Bernd Schmidt

# FPGA Task Arrangement with Genetic Algorithms

Diplomarbeit  
an der Universität Fridericiana Karlsruhe (TH)  
Fachbereich Informatik  
Prüfer Prof. Dr. H. Schmeck  
Institut für Angewandte Informatik  
Juli 1999 Abgabe



**Diplomarbeiten Agentur**

Dipl. Kfm. Dipl. Hdl. Björn Bedey  
Dipl. Wi.-Ing. Martin Haschke  
und Guido Meyer GbR

Hermannstal 119 k  
22119 Hamburg

agentur@diplom.de  
www.diplom.de

ID 2299

Schmidt, Bernd: FPGA Task Arrangement with Genetic Algorithms / Bernd Schmidt -  
Hamburg: Diplomarbeiten Agentur, 2000  
Zugl.: Karlsruhe, Technische Universität, Diplom, 1999

---

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 in der jeweils geltenden Fassung zulässig. Sie ist grundsätzlich vergütungspflichtig. Zuwiderhandlungen unterliegen den Strafbestimmungen des Urheberrechtes.

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.

Die Informationen in diesem Werk wurden mit Sorgfalt erarbeitet. Dennoch können Fehler nicht vollständig ausgeschlossen werden, und die Diplomarbeiten Agentur, die Autoren oder Übersetzer übernehmen keine juristische Verantwortung oder irgendeine Haftung für evtl. verbliebene fehlerhafte Angaben und deren Folgen.

Dipl. Kfm. Dipl. Hdl. Björn Bedey, Dipl. Wi.-Ing. Martin Haschke & Guido Meyer GbR  
Diplomarbeiten Agentur, <http://www.diplom.de>, Hamburg 1999  
Printed in Germany



**Diplomarbeiten Agentur**

## **Wissensquellen gewinnbringend nutzen**

**Qualität, Praxisrelevanz und Aktualität** zeichnen unsere Studien aus. Wir bieten Ihnen im Auftrag unserer Autorinnen und Autoren Wirtschaftsstudien und wissenschaftliche Abschlussarbeiten – Dissertationen, Diplomarbeiten, Magisterarbeiten, Staatsexamensarbeiten und Studienarbeiten zum Kauf. Sie wurden an deutschen Universitäten, Fachhochschulen, Akademien oder vergleichbaren Institutionen der Europäischen Union geschrieben. Der Notendurchschnitt liegt bei 1,5.

**Wettbewerbsvorteile verschaffen** – Vergleichen Sie den Preis unserer Studien mit den Honoraren externer Berater. Um dieses Wissen selbst zusammenzutragen, müssten Sie viel Zeit und Geld aufbringen.

**<http://www.diplom.de>** bietet Ihnen unser vollständiges Lieferprogramm mit mehreren tausend Studien im Internet. Neben dem Online-Katalog und der Online-Suchmaschine für Ihre Recherche steht Ihnen auch eine Online-Bestellfunktion zur Verfügung. Inhaltliche Zusammenfassungen und Inhaltsverzeichnisse zu jeder Studie sind im Internet einsehbar.

**Individueller Service** – Gerne senden wir Ihnen auch unseren Papierkatalog zu. Bitte fordern Sie Ihr individuelles Exemplar bei uns an. Für Fragen, Anregungen und individuelle Anfragen stehen wir Ihnen gerne zur Verfügung. Wir freuen uns auf eine gute Zusammenarbeit

### **Ihr Team der *Diplomarbeiten Agentur***

Dipl. Kfm. Dipl. Hdl. Björn Bedey —  
Dipl. Wi.-Ing. Martin Haschke —  
und Guido Meyer GbR —

Hermannstal 119 k —  
22119 Hamburg —

Fon: 040 / 655 99 20 —  
Fax: 040 / 655 99 222 —

agentur@diplom.de —  
[www.diplom.de](http://www.diplom.de) —

DIPLOMA THESIS

# FPGA Task Arrangement with Genetic Algorithms

by

**Bernd Schmidt**

31<sup>st</sup> July 1999

submitted to

Institut für Angewandte Informatik  
und Formale Beschreibungsverfahren (AIFB)  
University of Karlsruhe  
Germany

*Supervisor:* Prof. Dr. Hartmut Schneck  
*Co-Supervisors:* Assoc. Prof. Hossam ElGindy  
HD. Dr. Martin Middendorf



# Adresses

Adresses in alphabetical order:

Assoc. Prof. Hossam ElGindy  
School of Computer Science & Engineering  
University of New South Wales  
Sydney  
Australia

HD. Dr. Martin Middendorf  
Institute AIFB  
University of Karlsruhe  
Germany

Prof. Dr. Hartmut Schmeck  
Institute AIFB  
University of Karlsruhe  
Germany

Bernd Schmidt  
Bahnhofstraße 53  
D-66869 Kusel  
Germany

## **Declaration:**

I hereby solemnly declare that, with the exception of the assistance already known to my supervisor, I have completed this thesis entirely by myself, and that I have fully and correctly cited all source material used, and acknowledged excerpts taken directly or in altered form from the works of others.

Karlsruhe, 31<sup>st</sup> July 1999

## **Erklärung:**

Ich versichere hiermit wahrheitsgemäß, die Arbeit bis auf die dem Aufgabesteller bereits bekannte Hilfe selbständig angefertigt, alle benutzten Hilfsmittel vollständig und genau angegeben und alles kenntlich gemacht zu haben, was aus Arbeiten anderer unverändert oder mit Abänderung entnommen wurde.

Karlsruhe, den 31. Juli 1999

---

# Acknowledgments

Parts of my thesis were written during my stay abroad at the Department of Electrical & Computer Engineering (University of Newcastle, Australia) where I was supervised by Assoc. Prof. Hossam ElGindy. After my return to Germany my thesis was brought to an end under the direction of Prof. Dr. Hartmut Schmeck at the Institute AIFB. Special thanks to these two supervisors whose friendly cooperation only made it possible for me to study in Australia. Their multifarious and competent advice inspired me and guided my work.

It gave me great pleasure to work together with HD. Dr. Martin Middendorf who helped me to solve problems at any time. I very much appreciated Dr. Oliver Diessel's assistance in the simulations; I also benefitted from the data sets he kindly put at my disposal.

After my work for the AIFB as programmer and tutor I am looking forward to the continuation of my research within the scope of a doctorate at the very same institute. My future colleagues Jürgen Branke, Michael Guntsch and Daniel Merkle brightened up my busy days and supported me whenever questions arose. Last but not least I would like to thank Harry Daniel and Manfred Gehann who ensured a functioning infrastructure.

Karlsruhe, 31<sup>st</sup> July 1999

Bernd Schmidt

# Contents

<b>1</b>	<b>Introduction</b>	<b>7</b>
<b>2</b>	<b>Field Programmable Gate Arrays</b>	<b>9</b>
2.1	Architecture of FPGAs . . . . .	9
2.2	Dynamically Reconfigurable FPGAs . . . . .	10
2.3	Comparison with Related Devices . . . . .	11
2.4	Creation of an FPGA Model . . . . .	11
<b>3</b>	<b>FPGA Task Arrangement Problem</b>	<b>18</b>
3.1	Static Task Arrangement Problem . . . . .	18
3.1.1	Static Task Management . . . . .	18
3.1.2	Problem Formulation . . . . .	20
3.2	Dynamic Task Arrangement Problem . . . . .	21
3.2.1	Dynamic Task Management . . . . .	21
3.2.2	Search for an Admissible Task Rearrangement . . . . .	22
3.2.3	Rearrangement Scheduling . . . . .	24
3.2.4	Buffer Restriction . . . . .	27
3.2.5	Problem Formulation . . . . .	30
<b>4</b>	<b>Arrangement Concepts</b>	<b>31</b>
4.1	Shape Functions . . . . .	31
4.2	Slicing Trees . . . . .	35
<b>5</b>	<b>Genetic Algorithms</b>	<b>41</b>
5.1	Introduction . . . . .	41
5.2	The Functioning of Genetic Algorithms . . . . .	43
5.3	Main Components of Genetic Algorithms . . . . .	45
5.3.1	Representation . . . . .	45
5.3.2	Initialization . . . . .	46

- 5.3.3 Evaluation . . . . . 47
- 5.3.4 Stopping Condition . . . . . 47
- 5.3.5 Reproduction . . . . . 47
- 5.3.6 Selection . . . . . 48
- 5.3.7 Genetic Operators . . . . . 49
  
- 6 Static Task Arrangement 51**
- 6.1 Representation . . . . . 51
- 6.2 Initialization . . . . . 52
  - 6.2.1 Random Pairing . . . . . 53
  - 6.2.2 Traversal of Flexible Slicing Trees . . . . . 53
- 6.3 Evaluation . . . . . 56
- 6.4 Genetic Operators . . . . . 56
  - 6.4.1 Mutation . . . . . 57
  - 6.4.2 Crossover . . . . . 61
  
- 7 Dynamic Task Arrangement 65**
- 7.1 Background GA . . . . . 65
  - 7.1.1 Initialization . . . . . 65
  - 7.1.2 Evaluation . . . . . 66
  - 7.1.3 Events . . . . . 67
- 7.2 Task Remove Event . . . . . 68
- 7.3 New Task Event . . . . . 68
  - 7.3.1 Search for Rearrangement . . . . . 70
  - 7.3.2 Scheduling GA . . . . . 73
  - 7.3.3 Population Update . . . . . 76
  
- 8 Experimental Results 78**
- 8.1 Performance of Static Task Arrangement . . . . . 78
  - 8.1.1 Test Data Generation . . . . . 79
  - 8.1.2 Overview of Experiments . . . . . 81
  - 8.1.3 Performance of Initialization . . . . . 81
  - 8.1.4 Performance of Mutation . . . . . 85
  - 8.1.5 Performance of Crossover . . . . . 89
  - 8.1.6 Task Parameter Effect . . . . . 95
- 8.2 Performance of Dynamic Task Arrangement . . . . . 97
  - 8.2.1 Other Approaches by Diessel . . . . . 98

8.2.2	Simulation-Specific Modifications . . . . .	99
8.2.3	Test Data Generation . . . . .	101
8.2.4	Overview of Experiments . . . . .	104
8.2.5	Relation between System Load and Allocation Performance	105
8.2.6	Relation between Configuration Delay and Allocation Performance . . . . .	110
<b>9</b>	<b>Conclusion</b>	<b>115</b>
<b>A</b>	<b>Program Documentation</b>	<b>117</b>
A.1	Static Task Arrangement . . . . .	117
A.1.1	The File Submenu . . . . .	118
A.1.2	The Control Submenu . . . . .	119
A.1.3	The Settings Submenu . . . . .	119
A.1.4	The Window Submenu . . . . .	124
A.1.5	The Tool Bar . . . . .	126
A.2	Dynamic Task Arrangement . . . . .	127
A.2.1	The File Submenu . . . . .	128
A.2.2	The Control Submenu . . . . .	128
A.2.3	The Settings Submenu . . . . .	129
A.2.4	The Window Submenu . . . . .	132
A.2.5	The Tool Bar . . . . .	135

# Chapter 1

## Introduction

Field programmable gate arrays (FPGAs) are of great importance in the field of reconfigurable computing. They allow to benefit from the advantages of hardware algorithms, for instance parallelism and pipelining, thereby reducing processing times enormously. Since they can be reconfigured for multiple purposes, they also lead to a high level of flexibility.

On an FPGA a multitude of circuits (also called tasks) can be configured. The available chip area can be shared among many tasks executing at the same time. The sequence of tasks which is supposed to be performed can be handled in two ways. The static version searches for an arrangement of tasks offline, i.e. before the tasks are physically placed onto the FPGA. In the dynamic situation tasks arrive online. Their requests to be allocated are processed one after another. A dynamic task management system is responsible for searching for an allocation site of the new task. If such an allocation site exists, the tasks are loaded immediately. Otherwise it might be possible to find an appropriate allocation site after a subset of executing tasks has been reconfigured at another location. Doing so, hopefully a block of contiguous cells is freed which is large enough to accommodate the new task.

The goal of this thesis is to gauge the performance of genetic algorithms as an approach to static as well as dynamic task arrangement. The following preview outlines the structure of this thesis.

Chapter 2 briefly explains the architecture of FPGAs. The special features of dynamically reconfigurable FPGAs are described. Afterwards the chapter assesses the properties of FPGAs in comparison with other related devices. An FPGA model is proposed which represents the basis for computations and analytical examinations.

The two versions of the FPGA task arrangement problem, static and dynamic,