

Synthese- und Optimierungsverfahren für zukünftige Computerparadigmen

Ergebnisse des studentischen Projektes CompTech

Christoph Bäck
Tobias Böhnisch
Stefan Hillmich
Clemens Hopfmüller
Alexander Kröker
Jan Mantei
Patrick Röhrs
Marcel Walter

Technische Informatik

Robert Wille, Oliver Keszöcze, Rolf Drechsler (Hrsg.)

**Synthese- und Optimierungsverfahren für
zukünftige Computerparadigmen**

Ergebnisse des studentischen Projektes CompTech

Shaker Verlag
Aachen 2015

Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek

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

Copyright Shaker Verlag 2015

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

Printed in Germany.

ISBN 978-3-8440-3467-7

ISSN 1436-882X

Shaker Verlag GmbH • Postfach 101818 • 52018 Aachen

Telefon: 02407 / 95 96 - 0 • Telefax: 02407 / 95 96 - 9

Internet: www.shaker.de • E-Mail: info@shaker.de

Vorwort

Die Entwicklung von Computertechnologien befindet sich vor einer Zeitenwende. Physikalische Grenzen bisheriger Technologien werden früher oder später erreicht werden, was eine Weiterentwicklung von Rechensystemen auf Basis konventioneller Paradigmen immer schwieriger macht. Bereits heute lassen sich vereinzelt Anzeichen dafür finden: Die Performanz heutiger Rechner wird oft nicht mehr nur durch tatsächliche Leistungssteigerung der Prozessoren erreicht, sondern z.B. durch einfache Duplizierung mittels Mehrkernprozessoren. Rechner werden kleiner und stromsparender, aber oft nicht schneller.

Als Konsequenz dieser Entwicklung beschäftigen sich Wissenschaftler und Ingenieure bereits seit vielen Jahren mit der Entwicklung alternativer Computertechnologien. Während es sich hierbei in vielen Fällen noch um Grundlagenforschung handelt, existieren aber bereits auch erste Prototypen – mit vielversprechenden Ergebnissen. Zu den neuen Formen von Computertechnologien zählen dabei unter anderem:

- *Quantencomputer*: Hier werden bestimmte quantenmechanische Effekte (s.g. Superpositionen und Verschränkungen) ausgenutzt, welche z.B. Berechnungen mit massiver Parallelität ermöglichen.
- *Reversible Computer*: Hier werden Berechnungen ausschließlich auf Basis von reversiblen, d.h. umkehrbaren, Operationen durchgeführt. Diese führen zu Berechnungen ohne Informationsverlust, welche sich insbesondere für Low Power Anwendungen eignen. Nebenbei gelten reversible Berechnungen als Basis für Quantencomputer.
- *Optische Computer*: Hier werden Berechnungen vollständig bzw. teilweise mit Hilfe optischer Signale durchgeführt, welche im Vergleich zu elektronischen Signalen eine deutlich schnellere Übertragungsgeschwindigkeit und höhere Bandbreite vorweisen.
- *Biochips*: Hier werden Errungenschaften aus der Hardwareentwicklung genutzt, um medizinische, biologische oder chemische Experimente auf einem elektromagnetischen Grid (anstelle teurer Labore) durchführen zu können.

Neben den Anwendungsmöglichkeiten dieser neuen Technologien ergeben sich aber noch neue Fragestellungen. So müssen wie bei heutigen Technologien entsprechende Schaltungen effizient entworfen werden. Konventionelle Methoden lassen sich hierfür aber nicht unbedingt direkt für die neuen Computerparadigmen umsetzen. Daher müssen Verfahren zum Entwurf solcher Schaltungen neu entwickelt werden.

Dieser Aufgabe hat sich eine Gruppe von acht Studierenden der Informatik an der Universität Bremen im einjährigen studentischen Projekt *CompTech* gewidmet. Ziel des Projektes war die Entwicklung und Verbesserung von Entwurfsverfahren für zukünftige Computertechnologien. Dies beinhaltete insbesondere die Synthese und Optimierung entsprechender Systeme. Neben der dafür nötigen Erarbeitung der Grundlagen sowie des existierenden Stands der Forschung haben die Studierenden dabei auch wissenschaftliche Fragestellungen adressiert und erfolgreich gelöst.

Das vorliegende Buch ist eine Zusammenfassung der im Rahmen des Projektes erzielten Ergebnisse. Es führt in die wesentlichen Grundlagen ein und stellt anschließend die im Projekt entwickelten Beiträge vor. Das Buch ist dabei mehr als nur ein Arbeitsbericht eines studentischen Projektes. Es stellt Innovationen sowie bisher unveröffentlichte, wissenschaftlich sehr interessante Ergebnisse vor und bietet damit auch für Wissenschaftler aus dem Gebiet neue Einblicke und interessante Ideen.

Als Betreuer des *CompTech*-Projektes möchten wir uns bei den Teilnehmern für die spannende und interessante Zusammenarbeit bedanken. Die gemeinsame Projektarbeit haben wir sowohl fachlich als auch außerfachlich stets als sehr inspirierend und bereichernd empfunden. Allen Teilnehmern wünschen wir alles Gute und weiterhin viel Erfolg in ihrem Studium bzw. einen erfolgreichen Start in das Berufsleben.

Bremen,
Februar 2015

Robert Wille
Oliver Keszöcze
Rolf Drechsler

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
2	Optical Computing	3
2.1	Grundlagen	3
2.1.1	Optische Schaltkreise	3
2.1.2	Kostenmaße	5
2.2	Synthese mit virtuellen Gattern	5
2.3	Synthese basierend auf zweistufigen Funktionsdarstellungen	9
2.3.1	SOP-basierte Synthese	9
2.3.2	ESOP-basierte Synthese	16
2.4	Synthese basierend auf Entscheidungsdiagrammen	21
2.4.1	Direkte Synthese	22
2.4.2	Umgekehrte Synthese	25
2.5	Diskussion und experimentelle Evaluation	27
2.5.1	SOP-basierte Synthese	27
2.5.2	ESOP-basierte Synthese	28
2.5.3	BDD-basierte Synthese	28
2.5.4	Ergebnisse und Vergleich der Ansätze	28
2.6	Zusammenfassung	34
3	Reversible und Quantum Computing	35
3.1	Grundlagen	35
3.1.1	Reversible Funktionen	35
3.1.2	Reversible Schaltkreise	36
3.1.3	Quantenlogik und -schaltkreise	38
3.2	Optimierung für Nearest Neighbor Quantum Schaltkreise	40
3.2.1	1D-Optimierung	43
3.2.2	2D-Optimierung	53
3.2.3	Experimentelle Evaluation	64

3.3	Äquivalenzprüfung mit QMDDs	71
3.3.1	Quantum Multiple-valued Decision Diagrams	71
3.3.2	Äquivalenzprüfung	72
3.3.3	Optimierung des Verfahrens	75
3.3.4	Experimentelle Evaluation	80
3.3.5	Zusammenfassung	83
4	Microfluidic Biochips	85
4.1	Grundlagen	85
4.1.1	Digitale mikrofluidische Biochips	85
4.1.2	Sequenzgraph	86
4.1.3	Operationen	87
4.1.4	Module	88
4.1.5	Ablaufzeit	89
4.1.6	Modulbibliothek	90
4.1.7	Optimierungskriterien	90
4.1.8	Manhattan Distanz	90
4.2	Herkömmliches Syntheseverfahren	91
4.2.1	Eingabe	91
4.2.2	Syntheseschritte	93
4.2.3	Ergebnis	95
4.2.4	Probleme	96
4.3	One-Pass-Synthese	97
4.3.1	Exakte One-Pass-Synthese	97
4.3.2	Heuristische One-Pass-Synthese	98
4.4	Umsetzung	98
4.4.1	Der Algorithmus	98
4.5	Experimentelle Evaluation	105
4.6	Zusammenfassung	108
5	Zusammenfassung	109
	Literaturverzeichnis	111