

氏 名	す 須 やま たか ゆき 敬 之
学位(専攻分野)	博 士 (情 報 学)
学 位 記 番 号	情 博 第 264 号
学位授与の日付	平 成 19 年 3 月 23 日
学位授与の要件	学 位 規 則 第 4 条 第 1 項 該 当
研究科・専攻	情 報 学 研 究 科 通 信 情 報 シ ス テ ム 専 攻
学位論文題目	リコンフィギャラブルコンピューティングの組合せ問題への応用に関する研究

論文調査委員	(主 査) 教 授 中 村 行 宏	教 授 岡 部 寿 男	助教授 越 智 裕 之
--------	----------------------	-------------	-------------

論 文 内 容 の 要 旨

本論文は、論理合成システム、FPGA (Field Programmable Gate Array) を用いたリコンフィギャラブルコンピューティングと、その組合せ問題への応用について論じている。具体的には論理合成による回路の最適化と FPGA へのマッピング、リコンフィギャラブルコンピューティングによる充足可能性問題の解法、組合せ問題の応用として架空名義入札に頑健なオークションプロトコルから成り立っている。論文は以下に示す7章で構成されている。

第1章は序論である。研究の背景として、VLSI の論理設計の重要性、論理合成システムと FPGA を用いたリコンフィギャラブルコンピューティングの可能性、ネットワークの発展によるオークションプロトコルの重要性を述べている。オークションプロトコルは組合せ問題を内包しており、その高速化が望まれる。

第2章では大規模回路の最適化と FPGA へのマッピングについて述べている。ここではトランスダクション法による論理の最小化法を大規模な論理回路を分割して適用する手法について述べており、その手法を幾つかの回路に適用し、その実験結果を検証することにより、回路の削減と計算コストについての傾向を明らかにしている。次に論理合成システムの出力されたネットリストを商用の FPGA システムへの入力とした際のマッピング効率の検討を行っている。また、商用に限らず、LUT 型 FPGA の一般的なモデルに対して、許容関数を用いて論理回路をマッピングする方法について述べ、それにより効率的なマッピングが得られることを示している。

第3章から第5章ではリコンフィギャラブルコンピューティングによる充足可能性問題の解法について述べている。

第3章では基本的な手法について述べている。ここでは論理合成システムと FPGA を用いたリコンフィギャラブルコンピューティングにより、問題毎に回路を合成し、ユーザの手元で FPGA 上にその問題専用の論理回路を実現することにより、問題を高速に解く手法を述べている。論理合成システムにより、必要な論理回路が簡単に得られることと、FPGA を用いることにより、何度でも繰り返し回路を利用することが可能であるため、このような手法が実現可能となっている。また、この手法では論理回路の並列性を用いることにより、汎用計算機上で用いられるアルゴリズムとは異なる新たなアルゴリズムを適用することが可能となる。ここでは新たに研究開発したアルゴリズムについて述べ、効果的に問題を解くことができることを示している。

第3章では問題の変数の評価の順序が固定的であったのに対し、第4章では変数評価の順序を動的に変更するアルゴリズムを取り入れることにより、より効率的に解を探索するアルゴリズムを提案している。ハードウェアの並列性とソフトウェアアルゴリズムの逐次性の両方を取り入れることにより、両者の利点を取り入れる新しいアルゴリズムを提案し、シミュレーションによりその有効性を確認している。また実際に FPGA 上に実装することによりその動作を確認している。

第5章では、更に Experimental Unit Propagation という新たなヒューリスティックを取り入れたアルゴリズムを提案している。このアルゴリズムでは、変数の選択を行う際に、通常の探索動作と変数の選択動作をうまく重複させることにより、第4章で述べたアルゴリズムより、より少ない面積で効果的なアルゴリズムを実装することに成功している。アルゴリズム

の有効性はシミュレーションにより確認し、実際に FPGA 上に実装を行っている。

第 6 章では、組合せ問題の応用問題として、オークションプロトコルを取り上げて、架空名義入札に頑健なプロトコルについて考察している。最近のネットワークの発達により、ネットを用いた取引が盛んになっているが、その反面、複数の ID を用いた入札などの不正行為が可能となっている。ここでは、そのような行為をせずに正直に入札することがもっとも良い策となるオークションのプロトコルについて提案し、その有効性を証明している。

第 6 章では、結論として本論文の研究成果のまとめと今後の展望について述べている。

論文審査の結果の要旨

本論文は、リコンフィギャラブルコンピューティングの組合せ問題への応用に関する研究を行っている。大規模な回路に対してトランスダクション法を適用する手法について研究を行い、また論理回路を FPGA (Field Programmable Gate Array) 上に効率よくマッピングする手法の提案、論理合成システムと FPGA を用いたリコンフィギャラブルコンピューティングによる充足可能性問題の解法と、その手法で用いることで有効となる幾つかのアルゴリズムに関する研究、組合せ問題の応用となるネットワークオークションのプロトコルについての研究についての成果をまとめたものである。一連の研究で得られた成果は以下の通りである。

1. 大規模な回路に適用することが難しい論理の最適化手法であるトランスダクション法を、回路を分割することにより大規模な回路に適用する手法を提案し、実際にその手法の適用する際の傾向を実験を通して明らかにした。
2. 論理合成システムの出力を商用の FPGA マッピングツールの入力とする際に生じる問題点について注目し、論理合成システムの出力を調整することにより、より効率的に FPGA に回路をマッピングすることが可能であることを示した。
3. 論理合成システムの出力を LUT 型の FPGA にマッピングする際に、許容関数を用いて論理ゲートを分割する手法を提案し、実験を行うことによりその有効性を示した。
4. 論理合成システムと FPGA を用いたリコンフィギャラブルコンピューティングによる充足可能性問題を解く手法を提案した。その手法は、論理合成システムと FPGA の特性を活かして、問題毎に回路を構成し、問題を高速に解くという特徴があり、更にその手法に適したアルゴリズムを複数提案し、シミュレーションによりその有効性を示した。また実際に FPGA 上に実装し、その動作の確認を行った。
5. 組合せ問題の応用として、オークションプロトコルを取り上げ、ネットワーク上での取引で問題となる架空名義入札に頑健なプロトコルについて考察した。そのプロトコルは組合せオークションで、かつ個々の取引のアイテムに属性があるという状況において有効であり、戦略的に操作を行っても入札者が得をしないことを証明した。また、架空名義入札に頑健なプロトコルの提案を行い、それを証明した。

以上要するに本論文は、リコンフィギャラブルコンピューティングの要素となる論理合成システムと FPGA について様々な考察と実験を行い、また充足可能性問題を解く新たな手法について提案、研究を行い、また今後重要性を増すと考えられ、組合せ問題を内包しているオークションプロトコルの特性を明らかにしたものであり、学術上および、産業上に寄与するところが少なくない。

よって、本論文は博士(情報学)の学位論文として価値あるものと認める。また、平成19年2月9日に実施した論文内容とそれに関連した試問の結果、合格と認めた。