

( 続紙 1 )

京都大学	博士 (情報学)	氏名	今川 隆司
論文題目	ソフトウェア耐性を考慮した粗粒度再構成可能アーキテクチャの設計手法		
<p>(論文内容の要旨)</p> <p>微細加工技術や設計自動化技術の進展により集積回路が高性能・高機能化がなされている一方で、高エネルギー粒子の衝突に起因する一過性雑音であるソフトウェアや素子特性の変動による恒久的な故障等、回路の正常な動作を阻害する様々な現象が顕在化してきている。こうした現象に柔軟に対処可能なハードウェアとして、再構成可能アーキテクチャが注目されている。本論文では特に、粗粒度再構成可能アーキテクチャ (CGRA: coarse grained reconfigurable architecture) を対象とするソフトウェア耐性を考慮した設計手法を提案しており、全6章から成っている。</p> <p>第1章は序論であり、微細なトランジスタを用いる集積回路において、設計コストの増大とソフトウェアへの耐性低下が顕在化していることを指摘している。さらに、これらの問題に対する再構成可能アーキテクチャの利点や、本論文がCGRAを対象とする根拠を述べている。</p> <p>第2章では、空間多重化や時間多重化に代表される、既存の高信頼化手法について概説し、ソフトウェア耐性を考慮して設計されたCGRAの既存研究について述べている。それらの利点と欠点に対する考察により、ソフトウェア耐性を考慮したCGRAのアーキテクチャ設計のために本研究において解決すべき課題を具体的に述べている。</p> <p>第3章では、ソフトウェア耐性を考慮しつつ、CGRAアーキテクチャの設計空間探索を効率良く行うために新たに構築した、ソフトウェアによる信頼性評価環境について詳述している。この環境を用いて行った信頼性評価により、配線資源量の相違が空間多重化を適用する際の面積と信頼性のトレードオフ曲線に影響を与えることや、多重化を施す回路ブロックによって面積オーバーヘッドあたりの信頼性改善効率に違いが現れることを定量的に示すなど、空間多重化に関する様々な知見を得ている。</p> <p>第4章では、CGRA上に実装されるアプリケーション回路をデータフローグラフで表現し、評価関数を用いて各頂点の脆弱性を解析することにより、空間多重化の適用優先順位を決定する手法を提案している。この手法により、対象とするアプリケーション回路毎に膨大な時間をかけて行う必要のあった、網羅的な故障挿入シミュレーションの実行を不要とし、信頼性改善効率の良い選択的空間多重化回路を短時間で得ることが可能となった。</p> <p>例えば構成情報メモリ上に発生したソフトウェアのように、複数サイクルにわたって回路動作に影響を与え、誤った出力が継続する故障が存在する。第5章ではこうした現象が支配的である場合に特に有効な時間多重化手法を提案している。この手法では、処理の繰り返しの途中でエラーが検出された時点や、十分な訂正が完了した時点で処理を打ち切る工夫がなされている。これにより回路面積オーバーヘッドの削減とソフトウェア耐性の改善を同時に達成し、また本手法が効果的な範囲を示している。さらに本章では、ソフトウェア耐性を考慮したCGRAの空間多重化と時間多重化の使い分けに関し、与えられた設計制約に応じてソフトウェア耐性を最大化することが可能となる多重化手法の選択指針を述べている。</p> <p>第6章は結論であり、本論文により得られた結果と今後の展望をまとめている。</p>			

注) 論文内容の要旨と論文審査の結果の要旨は1頁を38字×36行で作成し、合わせて、3,000字を標準とすること。

論文内容の要旨を英語で記入する場合は、400～1,100 wordsで作成し  
審査結果の要旨は日本語500～2,000字程度で作成すること。

(論文審査の結果の要旨)

本論文は、回路面積やスループット等の設計制約に応じて粗粒度再構成可能アーキテクチャ (CGRA) のソフトウェア耐性を最大化する設計手法について論じている。この目的に対し、アーキテクチャの設計空間探索を効率化するソフトウェアベースの評価環境を構築し、この環境を一貫して用いながら、従来手法と比較して効率良く信頼性を向上できる空間的および時間的な多重化手法を提案し、定量的な評価を実施している。本論文で得られた成果は、以下の通りまとめることができる。

1. CGRA向けの信頼性評価環境を構築したことにより、様々なCGRAやその上で動作するアプリケーションに対する配置配線や故障挿入シミュレーションの自動化を実現し、設計空間の探索や信頼性の評価を効率良く行えるようになった。またこの環境を用いて行った信頼性評価の結果から、ソフトウェアはその発生場所によって、回路動作、ひいてはその出力に与える影響に違いがあることを定量的に示し、回路全体ではなく一部を多重化する選択的空間多重化により信頼性の向上が可能であること、および、多重化を適用すべき部分回路を適切に選択することの重要性を示した。
2. アプリケーション回路を表すデータフローグラフの頂点毎に脆弱性を解析して空間多重化の適用優先順位を決定することで、既存の手法と比べてより細かな単位での優先順位付けが可能になり、回路面積やスループットが強く制約される場合であっても、回路の信頼性を大きく改善することが可能になり、またそれに要する時間も大幅に削減することができた。
3. CGRA上に発生するソフトウェアの性質、特に持続的に誤りが継続する故障に着目した時間多重化における処理の繰り返し手法であるTRITを新たに提案し、回路面積オーバーヘッドの削減と信頼性改善を同時に達成した。これにより時間多重化によるスループットの低下が許容される状況下で達成可能な信頼性を最大で2.5倍程度改善した。
4. 上述の提案手法に対する評価を通して、空間多重化や従来の時間多重化、提案した時間多重化によって達成されるソフトウェア耐性や、それに伴う回路面積オーバーヘッドを定量的に明らかにし、回路面積やスループット等の設計制約が与えられたときに信頼性を最大化する多重化技術の選択手法を与えた。

以上、本論文は、CGRAにおけるソフトウェア耐性の向上という課題に対して、評価環境を用いて適切な量の配線資源量を探索し、更に多重化を効果的に適用することで、与えられた設計制約下での信頼性の向上を可能にしている。集積回路を継続的に発展させるうえで、設計による信頼性の確保は今後もその重要性を一層増していくと考えられており、本論文の成果は学術上、応用上とも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27年2月16日に実施した論文内容とそれに関連した口頭試問を行った結果合格と認めた。

注) 論文審査の結果の要旨の結句には、学位論文の審査についての認定を明記すること。更に、試問の結果の要旨 (例えば「平成 年 月 日論文内容とそれに関連した口頭試問を行った結果合格と認めた。」) を付け加えること。

Webでの即日公開を希望しない場合は、以下に公開可能とする日付を記入すること。  
要旨公開可能日： 年 月 日以降