

平成 25 年度工学系共通経費による顕彰と研究助成 成果報告書

所 属	理工学研究科 通信情報工学専攻
研究者 (ふりがな)	原 祐子 (はら ゆうこ)
タイトル	高位合成におけるコントローラとデータパス回路の同時最適化
助 成 名	他機関から採用となった准教授 (講師) への研究促進のための助成
採択金額	1,200 千円
<p>研究の背景</p> <p>組込みシステムの大規模複雑化に伴い, C などの動作記述プログラムから回路設計する高位合成技術が普及しつつある. 高位合成を用いた回路設計では, 一般的に, 高位合成で設計したデータパス回路に対して, 後続の論理合成で制御回路を設計する. このような独立した設計では, データパス回路をいかに最適に高位合成できても, 制御回路と合わせた際にデータパス・制御回路をまたぐクリティカルパス長が長くなり, クロック周波数を十分上げることができない. 組込みシステムの複雑化に伴い, この問題は益々深刻になっている.</p>	
<p>結果と考察</p> <p>本研究では, 制御回路の複雑さを考慮したデータパス回路の設計を行う新たな高位合成技術を確立し, 制御構造が複雑な組込みシステムにおけるデータパス・制御回路の体系的な最適設計を実現する, という目標の下, 以下の通り段階的に研究を進めた.</p> <p>1. 制御回路に着目したリタイミング: クリティカルパス長を改善するために, パス長をバランシングすることをリタイミングという. 一般的には, 論理合成において, 回路全体を対象に行うレジスタの増大などコスト (回路面積) 増大の問題がある. 本研究では, 制御回路とデータパス回路をまたぐクリティカルパスのみに着目し, ゲートレベルより 1 つ高い抽象度 (RT レベル) で制御回路にリタイミングを適用することで, 少ない面積オーバーヘッドで効率良く性能改善 (クリティカルパス長改善) を行った. 実用的な回路では, 効率的なパスの抽出は非常に難しく, それ自体が 1 つの研究課題となるほど重要な課題である. 本研究は, 従来のゲートレベルの手法より 1 つ高い抽象度からパス抽出を行う手法を応用することで, 実用的な時間内で候補となるクリティカルパスの抽出と提案手法の RT レベル・リタイミングの適用の有無を決定するアルゴリズムを確立した.</p> <p>2. 制御回路の状態レジスタのエンコーディング手法の改良: 制御回路とデータパス回路をまたぐクリティカルパス長は, データパス中のマルチプレクサとそのマルチプレクサを制御する制御関数の遅延に因る. さらに, 制御関数の遅延は, 制御回路の状態レジスタのエンコーディングに依存する. 本研究では, 最適なエンコーディングを決定するための準備として, まず, 既存のエンコーディング手法を用い, 1 のリタイミング手法の影響を定量的に評価した.</p> <p>3. マルチプレクサの構成方法の改良: 一般的には, 面積削減の観点からツリー型のマルチプレクサが使用される. 本研究では, ツリー型, および, ワンホットエンコーディングで構築したマルチプレクサと, 1 および 2 の手法を併用することによる面積・性能 (クロック周波数) への影響を定量的に解析した.</p>	

1~3の手法と合わせて、演算器の共有（少ない演算器をデータパス中で再利用することによる面積削減、および、共有によるマルチプレクサ増加がもたらす面積増加）の影響も評価した。

実用的なアプリケーションプログラムに対して、以上の手法を組み合わせた合成手法を網羅的に適用し、面積・性能を評価した結果、メディアプロセッシング・算術演算・暗号化アプリケーションなど、アプリケーションのドメインによらず、「提案手法の RT レベルのリタイミングとデータパス中のマルチプレクサの改良（ワンホットで構成したマルチプレクサの使用）を併用した手法」は、クロック周波数の改善に大きく貢献できることを確認した。状態レジスタのエンコーディングの手法によって効果の程は変わるものの、全体的な傾向として一貫している。クロック周波数は最大 92%、平均 52%の改善が得られた。

一般的に、クロック周波数の改善に伴い、回路面積は増大する。しかし、性能劣化の要因となっているパスにのみ、本手法を適用することで、回路面積のオーバーヘッドは約 18%に抑えることができた。回路面積増加は、既存のデータパス最適化手法と同程度でありながら、更なるクロック周波数の向上を実現できることを確認した（既存手法に比べ平均で約 40%程度改善）。

以上の成果は、立命館大学との共同研究の下、以下で研究成果を報告した。

- 祖父江 亮哉, 原 祐子, 谷口 一徹, 富山宏之, "高位合成におけるマルチプレクサの遅延の削減手法," 情報処理学会 組込み技術とネットワークに関するワークショップ, 2014年3月.

現在、以上の研究成果は、国際論文誌に投稿準備中である。

結論と今後の課題

従来は、制御回路の最適化は、高位合成後の論理合成によって行われていたが、本研究により、高位合成中における制御回路の最適化の重要性が明らかになった。上記の結果は、データパス回路生成後に制御回路を最適化した結果である。「データパス回路と制御回路の同時最適化」をすることで、更に大きな効果（より少ない回路面積増加でよりクロック周波数を改善）が得られると期待される。以上に述べた実験結果・考察を布石とし、今後は上記に掲げた同時最適化手法に拡張することを課題とする。

使用内訳書

費目	内訳	金額
備品1	計算機一式（デスクトップマシン、ノートパソコン等）	777千円
備品2		
消耗品		423千円
旅費		
その他		
合計		1,200千円

記入上の注意：

備品は、品名ごとに記入。

差額が生じた場合は、消耗品で調整。

消耗品を購入しなかった場合は、経費の差額と補填した予算科目名を合計額の内訳欄に記入。