

## 論文の内容の要旨及び論文審査の結果の要旨の公表

学位規則第 8 条に基づき、論文の内容の要旨及び論文審査の結果の要旨を公表する。

○氏名	孟 林 (もう りん)
○学位の種類	博士 (工学)
○授与番号	甲 第 806 号
○授与年月日	2012 年 3 月 31 日
○学位授与の要件	本学学位規程第 18 条第 1 項 学位規則第 4 条第 1 項
○学位論文の題名	高性能スーパースカラプロセッサに関する研究
○審査委員	(主査) 小柳 滋 (立命館大学情報理工学部教授) 山崎 勝弘 (立命館大学理工学部教授) 國枝 義敏 (立命館大学情報理工学部教授)

### <論文の内容の要旨>

従来、プロセッサの性能向上はクロック周波数の向上に支えられてきた。しかし、最近では消費電力や信頼性の問題によりクロック周波数の向上は限界になりつつあり、プロセッサの更なる性能向上のためには、大規模なハードウェアを追加することなく、高い命令レベル並列性を抽出するアプローチが必要である。本論文は、このような背景の下で高性能スーパースカラプロセッサを実現するため、命令レベル並列処理を妨げる主要因であるデータ依存、制御依存を軽減する 3 つの方式を提案している。

第 1 に、データ依存を軽減する技術として、**ALU chaining** における動的な命令スケジューリング手法を提案している。同一ステージの命令間の依存性と、異なるステージの命令間の依存性を統合するスケジューリング方式を提案している。

第 2 に、制御依存を軽減する技術として、分岐予測ミスの偏りを利用した予測方法を提案している。従来の分岐予測器においてミスの多い分岐命令を動的に検出し、これらの予測のために専用のメカニズムを従来の分岐予測器に付加する方式を提案している。

第 3 に、制御依存を軽減する技術として、分岐予測が失敗したときのペナルティを減少させる **Control Independence** 技術の効率的な実現法を提案している。分岐の成否に依存しない命令の再利用性を高めることによりペナルティを減少させるため、2 つの **Renaming** を同時に行うアーキテクチャを提案している。

以上の 3 つの提案をシミュレータ上に実装し、詳細な評価実験と必要なハードウェア規模に基づき、有効性を示している。

<論文審査の結果の要旨>

本論文は以下の点において評価することができる。

1. データ依存、制御依存を軽減することにより、命令レベル並列性を高めるための従来のアプローチを体系的に整理し、ハードウェア規模の増加を抑えつつ性能を向上させる方式として、以下の3つの提案を行っている。
2. **ALU chaining** を効率よく利用するための命令スケジューリング方法の提案である。複数のステージを統合することにより、従来よりも高い並列性の抽出が可能である点が特徴である。シミュレーションの結果、IPC が 12%向上することが示されており、有効性が認められる。
3. 分岐予測ミスの偏りを利用した新しい分岐予測器の提案である。予測ミスの偏りに着眼した点が特徴である。シミュレーションの結果、従来の分岐予測に対して予測ミスが 9%減少することが示されており、ハードウェア規模を考慮した上での有効性が認められる。
4. 分岐予測が失敗したときのペナルティを減少させる **Control Independence** 技術の効率的な実現法の提案である。少ないハードウェア規模で対応範囲の広い方式である点が特徴である。シミュレーションの結果、IPC が 12%向上することが示されており、ハードウェア規模を考慮した上での有効性が認められる。
5. 上記の提案は、現在のスーパースカラプロセッサに適用することにより性能向上が期待され、今後のプロセッサ技術の発展に寄与するものであり、その意義は大きい。

本論文の審査に関して、2012年2月3日（金）13時30分～15時00分情報システム学科会議室において公聴会を開催し、申請者による論文要旨の説明の後、審査委員は学位申請者 孟林氏に対する口頭試問を行った。各審査委員および公聴会参加者より、性能評価方法、評価結果の分析、周波数への影響などの質問がなされたが、いずれの質問に対しても申請者の回答は適切なものであった。よって、以上の論文審査と公聴会での口頭試問結果を踏まえ、本論文は博士の学位に値する論文であると判断した。

<試験または学力確認の結果の要旨>

本論文の主査は、本論文提出者と本学大学院理工学研究科総合理工学専攻博士課程後期課程在学期間中に、研究指導を通じ、日常的に研究討論を行ってきた。また、本論文提出後、主査および副査はそれぞれの立場から論文の内容について評価を行った。

本論文提出者は、本学学位規程第18条第1項該当者であり、論文内容および公聴会での質疑応答を通して、本論文提出者が十分な学識を有し、博士学位に相応しい学力を有していると確認した。

以上の諸点を総合し、本論文提出者に対し、本学学位規程第18条第1項に基づいて「博士（工学 立命館大学）」の学位を授与することが適当であると判断する。