

## 審査の結果の要旨

氏 名 バルリ ニコ デムス

本論文は、**Designing NEKO: A Speculative Multithreading Chip Multiprocessor** (スレッド投機実行チップマルチプロセッサNEKOの設計と評価) と題し、全体で8章から成る。本論文は、近未来のCPUの主流をなすと考えられるチップマルチプロセッサシステムについて、そのアーキテクチャと処理方式を提案し、シミュレーション評価を行ってこれを検証したものである。チップマルチプロセッサは複数のスレッドを並列実行することができるために潜在的に高い性能をあげることが期待されるが、汎用用途においては、並列性の不足からこれが果たされていなかった。本論文は、以下に示す要素技術・システム技術によってこれを解決し、真に有用なチップマルチプロセッサを提案するものである。

第1章「Introduction」は、研究の背景、目的を述べるとともに、本論文の構成についてまとめたものである。

第2章「Related work」は、本論文の下敷きとなる先行研究を紹介し、これを検討することでチップマルチプロセッサの課題を明らかにするものである。先行研究としては、動的マルチスレッディング (DMT) , NEC MP98、名古屋大学SKY、ウィスコンシン大学Multiscalar、スタンフォード大学Hydra、イリノイ大学IACOMA、ミネソタ大学スーパースレッディング、投機的マルチスレッディングなどがとりあげられている。これらの研究開発について紹介したあと、本章では先行研究の限界として、集中型のハードウェア資源が多く競合による性能低下が避けられないこと、投機の正確さだけを問題にして投機に失敗したときのペナルティを軽減する方法について検討していないこと、の2点をあげている。

第3章「Overview of NEKO architecture」は、本論文で提案するチップマルチプロセッサアーキテクチャであるNEKOの概要を述べている。NEKO アーキテクチャにおいては、まずコンパイラが単一スレッドプログラムに対してスレッド分割を行う。実行時にはプログラムの順序に従いスレッドを動的に予測しプロセッシングユニットに割り当てる。割り当てられたスレッドはそれぞれ各プロセッシングユニット上で並列に実行することで、従来の実行方式に比べてより高い性能を目指す。

第4章「Thread-level control speculation」では、スレッドレベルの投機処理を効果的に行う手法が提案・評価されている。具体的には、「Dual-length パスベース・スレッド予測手法」、「スレッドマージ」、「スレッド予測の早期検証手法」の3つの手法が示されている。「Dual-length パスベース・スレッド予測手法」は、パスの長さの長いものと短いもののそれぞれに予測器を設け、両者を組み合わせてハイブリッド構成にすることで、スレッド予測率をあげるものである。「スレッドマージ」は、スレッドを動的にマージして起動オーバヘッドを軽減する方式である。「スレッド予測の早期検証手法」では予測がヒットかミスかをできるだけ早く検証できるようにコンパイラが支援する手法である。

第5章「Register synchronization」は、低レイテンシのレジスタ通信・データ同期機構を提案・評価するものである。NEKO アーキテクチャはスレッド間のレジスタ依存を許しているため、あるスレッドが生成した値を、それに依存する後続スレッドが使用する場合、正しい値が伝わるようにしなければならない。こ

ここではリングトポロジの通信データパスを用い、ハードウェア量を抑えながら通信オーバーヘッドを最小化する方式を提案し、シミュレーション評価によってその有効性を示した。

第6章「Cache design」は、NEKOのキャッシュプロトコルとして、「更新型・リードブロードキャスト コヒーレンス プロトコル」の採用を提案し、評価した。これによって無効化型プロトコルでは多発していた共有ミスを抑制できることなどが確認された。

第7章「Evaluations」は、以上の提案を総合し、NEKOシステムの全体評価を行ったものである。NEKOで提案・提唱された方式により、従来では得られなかった大きな性能向上が達成されることが示された。

第8章「Conclusion」は、結論である。

以上、これを要するに本論文は、近未来のCPUの主流と目されるチップマルチプロセッサについて、スレッド投機方式、レジスタデータ転送方式、キャッシュ方式などにおいて新規性に富む優れた方式提案を行い、綿密なシミュレーション評価によってその有用性を検証しており、電子情報学の発展に寄与するところが小さくない。

よって本論文は博士（情報理工学）の学位請求論文として合格と認められる。