

## 審査の結果の要旨

氏 名 田代 大輔

本論文は、「スレッド投機実行チップマルチプロセッサにおけるコンパイル手法の研究」と題し、全体で7章から成る。本論文は、これからのCPUの主流をなすチップマルチプロセッサについて、特にスレッド投機実行を効果的に行うためのコンパイル手法について、提案・評価を行ったものである。

第1章「序論」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「関連研究」は、スレッド投機実行の概念について述べ、これを効果的に行うためのコンパイラの課題を明らかにしたものである。スレッド投機実行の課題として、(1) スレッドの粒度を適切なものに調整すること、(2) スレッド予測の成功率を高く保つこと、(3) スレッド間のデータ依存を削減するかその影響を小さくすること、がある。この分野の先行研究として、動的マルチスレッディング (Intel)、MP98 (NEC)、SKY (名古屋大学)、Multiscalar (ウィスコンシン大学)、Hydra (スタンフォード大学)、IACOMA (イリノイ大学)、Superthreaded Processor (ミネソタ大学)、Speculative Multithreaded Processor (カタルーニャ工科大学) などがあり、本章ではこれらの研究開発について紹介し、上記課題へのアプローチについて検討しながら、未解決の問題点を具体的に指摘している。

第3章「スレッド投機実行アーキテクチャ NEKO」は、本論文で想定するチップマルチプロセッサである NEKO の実行モデルとアーキテクチャについて説明し、NEKO におけるコンパイラ支援について議論している。NEKO では、スレッド間の制御依存・データ依存の両者について投機実行を行う。機構としては、更新型プロトコルを拡張したコヒーレントキャッシュ、Dual-length path-based 予測器と呼ばれるスレッド予測器、リング構成のレジスタ通信機構などが本アーキテクチャの特徴となっている。その上で、NEKO におけるコンパイラの役割として、(1) スレッド間のレジスタ通信におけるデータ送信のタイミング設定、(2) プログラムへのスレッド分割があることを述べている。

第4章「スレッド投機実行のためのコンパイル手法」では、まず、NEKO アーキテクチャにおけるスレッド投機実行コードの生成について、基本的な手順を述べている。次に、スレッドの粒度について考察し、スレッドモデルおよびスレッド分割手法がこの問題に影響を

与えることを示し、スレッド投機実行に適したスレッドモデルの要件を検討している。要件を満たすモデルとして、本章は「ノード共有スレッドモデル」を提唱し、これに基づくスレッド分割アルゴリズムを提案している。さらに、関数間解析によるスレッド分割手法の改善についても検討している。

第5章「値予測によるスレッド間データ依存の解決」では、スレッド間のデータ依存の問題に着目し、これを緩和・解消しスレッド投機による利得の拡大を図る手法としてスレッドレベルの値予測を行うことを検討し、その機構を提案するとともに、コンパイラによって投機対象を絞り込む手法について提案している。

第6章「評価」は、以上で述べた手法をベンチマーク **Spec95Int** によって評価したものである。最初に、ノード共有スレッドモデルを導入した粒度調整の効果について評価し、平均 10%程度の性能向上を得た。次に、スレッドレベル値予測の効果について評価し、最大 8%程度の性能向上が得られたが、一方で全く速度向上の得られなかったプログラムもあった。後者の原因については、検討・考察がなされている。

第7章「結論」は、結論であり、本論文の成果をまとめるとともに、今後の課題として残されたものについて述べ、さらに将来の可能性について検討している。

以上、これを要するに本論文は、これからのCPUの主流をなすチップマルチプロセッサに関し、特にスレッド投機実行を効果的に行うためのコンパイル手法について提案・評価を行ったものであり、ノード共有型スレッドモデルの提唱とスレッド分割方式の提案、スレッドレベル値予測方式の提案を行い、さらに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。