

審査の結果の要旨

氏 名 入江 英嗣

本論文は、「クラスタ化プロセッサにおける分散投機メモリフォワードリング手法の研究」と題し、7章からなる。次世代プロセッサの有望な方式にクラスタ型プロセッサがある。これは、実行コアを複数のクラスタで構成し、各要素回路を小型化することにより処理ネックを解消しようとするものである。しかし、小型化の恩恵に属さないフロントエンド部やメモリ参照処理は逆に、従来よりも遅延による影響を受けることが予想される。本論文は、このようなクラスタプロセッサのメモリ参照オーバーヘッドを減少させる手法について考察したものである。

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、マイクロプロセッサの処理性能向上技術として、スーパースカラプロセッサ、メモリアクセスの投機実行、及びクラスタ化アプローチなどの従来技術を検討し、それらの問題点を考察している。

第3章「ベースラインモデル」は、方式の定量的な議論のために評価用ベースラインモデルを与え、評価環境について述べたものである。そのモデルは、今後の高クロック指向を想定し、小規模で高速に動作可能なクラスタと、深いフロントエンド処理パイプラインを持つものである。特に、メモリ参照部分は理想化せず詳細なモデルとなっており、L1キャッシュは集中型であるが、参照遅延には実際の状況を反映して長いクロック値を設定し、ロード・ストア間の依存関係分析にはウェイトテーブルによる依存予測を用い、ロード命令に投機的な先行発行を行う方式としている。また、さまざまな部分処理に要するクロック数パラメータも与えており、クラスタ間レジスタファイルアクセス遅延は2サイクルとしている。

第4章「クラスタ化スーパースカラ・プロセッサにおけるメモリ参照処理」では、今後、高クロック化に伴って、ロード命令、ストア命令などのメモリ参照命令処理がますます大きなオーバーヘッドとなることに鑑み、その原因を検討して、キャッシュ参照遅延の増加、メモリ依存関係が命令発行時点では曖昧であることによる影響、クラスタ間遅延やクラスタ台数の効果などの分析をおこなっている。

第5章「投機分散メモリフォワードリング」は、前章の分析に見られるキャッシュ参照遅延の大きな影響を隠蔽するために考案した投機分散メモリフォワードリング手法について述べたものである。これは、クラスタ毎に小容量のローカルフォワードバッファを設けるもので、ストア値が生成される度にその値をここに保持する。それとメモリ依存関係を持つ可能性のあるロード命令は、読み込むストア値を持っているクラスタへステアリングによって割り付けられ、そのバッファから値を投機的に読み込むことにより、従来のキャッシュ階層をバイパスしローカルな参照で済ませることができる方式である。これは、分散キャッシュとは異なり投機的なもので、複雑なコヒーレンス制御が不要で単純かつ高速なフォワードリング方式となっている。この章では、更に、メモリ依存予測機構やフォワード機構など、この方式の詳細な構成法を与えている。

第6章「分散投機メモリフォワードリングの評価」は、5章で提案した方式を評価したもので、メモリ依存予測器はエントリ数が4k、ローカルバッファエントリ数は、8エントリで約3割のロード命令が高速に処理でき、その性能向上は20%程度、予測の確信度カウンタを定期的に取りフレッシュすることにより、更に7%程度性能が向上することなどを明らかにした他、キャッシュ参照遅延の値によるその効果への影響度合い、応用ご

との傾向、クラスタ台数効果などを検討している。

第7章「おわりに」で、研究をまとめるとともに、今後の課題を与えている。

以上、これを要するに本論文は、今後のプロセッサ性能向上に大きな影響を与えることが予想されるメモリ参照オーバーヘッドを軽減する手法として、クラスタ化アーキテクチャで用いる各クラスタに小さなバッファを設け、命令ステアリングとメモリ依存予測を組み合わせることで有効であることを示したもので、情報工学上貢献するところが少なくない。

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。