

審査の結果の要旨

氏 名 服部 直也

本論文は、「分散命令発行マイクロプロセッサの命令ステアリング方式に関する研究」と題し、8章からなる。プロセッサ処理性能を上げるためには、クロック速度の向上が有効であるが、それには半導体チップ内の配線遅延に対する考慮が重要である。そのために回路部分を複数のクラスタに分割して構成し、クラスタ内部の高速性を生かすべき処理部分と、複数のクラスタを並列に利用することによって処理性能の向上をはかる部分とを切り分けることで高性能化を目指すクラスタアーキテクチャがある。このアーキテクチャでは、従って、命令を時々刻々の処理状況に応じて適切に割り付ける方式、すなわち命令ステアリング方式がキーとなる。本論文は、このようなクラスタアーキテクチャの命令ステアリング方式について論じたものである。

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「マイクロプロセッサアーキテクチャの動向」は、近年のマイクロプロセッサの性能向上をはかる手法として、動作周波数と命令の並列処理を取り上げ、それらの技術について考察し性能向上の制約となる問題点とそれへの対処手法についてまとめている。

第3章「本研究で仮定するクラスタアーキテクチャ」は、4章以降の議論で必要となる想定マイクロプロセッサの構成について述べたもので、命令のフェッチ、デコード、リネーム処理部分をフロントエンドとし、命令のリタイア部分をバックエンドとして、その間にある命令発行、レジスタファイルアクセス、演算、キャッシュアクセスなどの処理は、直列に処理するとして、その直列処理部分を複数並置した構成を取っており、その直列処理部分それぞれをクラスタと呼んでいる。クラスタそれぞれは独立のレジスタファイルを備え、書き込みは全クラスタに対して並列に行われる。本章では、更に、評価する場合に設定した遅延時間などのパラメータを与えるとともに、想定アーキテクチャの基本性能を分析している。

第4章「発行時刻情報を用いた理想命令ステアリング」は、高性能な命令ステアリングに要求される事項を整理し、ほぼ理想的なClock Per Instruction(CPI)が得られる命令ステアリング方式が、命令の発行時刻情報を用いるUltimate Steeringであることを導き、それによって、クラスタアーキテクチャの潜在的な性能を明らかにしている。これは、フェッチ順の早い命令から順に、もっとも早く発行可能なクラスタに割り当てるものであるが、命令の発行時刻計算を理想的に行おうとするとかなりな処理ステップを必要とするので、その近似方式が必要である他、その計算処理の逐次性への対処が必要であることを述べている。

第5章「命令ステアリングに関する関連研究」は、4章で考察したUltimate Steeringの近似検討に先立って、命令ステアリングの先行研究を調べ、それらの性能を比較して更なる性能向上の可能性のある3つの手法を提案している。

第6章「命令ステアリングに用いる近似判断指標の改良」は、前章で述べた3つの手法に対応する、クラスタの負荷情報、命令の重要性情報、依存命令間の距離情報、の3種類の情報に着目し、更に高性能な命令ステアリングの近似指標を提案するとともに、複数指標の組み合わせを検討したものである。すなわち、クラスタの負荷情報に関してはクラスタ全体の命令数バランス指標を用いる方式とクラスタ個別の命令数バランス情報を用いる方式、命令の重要性情報に関しては、重要性予測に基づいた予防的負荷分散、重要性情報と負荷情報の併用方式、依存命令間の距離情報については、命令番号差やフェッチ順位と重要性情報の併用方

式などである。最後にこれらを比較し、これらの方式性能はいずれも先行研究の性能よりも高いが、重要性情報のみを用いると有効性の変動が激しいが、負荷情報と併用することで環境に依存せず性能を高く保つことができる、また距離情報を用いることは最も性能向上に役立つ、ことなどを明らかにしている。

第7章「並列命令ステアリング」は、4章で述べた逐次性の解決手法について検討したもので、従来のステアリング方式はすべて、先行命令のステアリング結果を後続命令のステアリングで使用する依存関係があり、これはパイプライン化では解決できない。本章ではその逐次動作の原因を分析し、最小命令数クラスタの並列推定、オペランド生成クラスタの並列推定、並列は戦略判断などの手法を提案するとともに、それらの性能を評価している。

第8章は結論である。

以上、これを要するに本論文は、今後重要となるクラスタアーキテクチャを用いて、プロセッサの性能向上を目指す場合、そのキーとなる命令ステアリング方式について検討し、その理想方式を与えるとともに実現可能な近似方式を提案して性能向上を示したもので、新しいマイクロプロセッサ構成法としての寄与が大きく、情報工学上貢献するところ少なくない。

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。