

氏名	なかしまひろし 中島浩
学位(専攻分野)	博士(工学)
学位記番号	論工博第2537号
学位授与の日付	平成3年11月25日
学位授与の要件	学位規則第4条第2項該当
学位論文題目	論理型言語向きプロセッサのアーキテクチャに関する研究

(主査)
論文調査委員 教授 富田真治 教授 堂下修司 教授 池田克夫

論文内容の要旨

本論文は、第5世代コンピュータの中核言語である論理型言語の高速実行を目的とした専用計算機のアーキテクチャ(構成方式)とそのコンパイル方式について述べたもので、6章より構成されている。

第1章、第2章は序論であって、人工知能処理言語と数値計算処理言語の構造的な違いを明らかにし、論理型言語 Prolog の言語仕様と、ユニフィケーション、バックトラックなど Prolog 特有の処理方式について例題を用いて概説し、以下の理解を容易にしている。また、基本的な論理型言語プログラムの最適化手法について紹介し、拡張された論理型言語 ESP/KLO のオブジェクト指向機能、実行処理方式についてもまとめている。

第3章では、著者が研究開発した、一連の論理型言語向きコンピュータのアーキテクチャについて詳細に述べている。すなわち、インタプリタ方式の PSI-I、WAM(Warren Abstract Machine) をベースとしたコンパイラ方式の PSI-II、および PSI-II をさらにパイプライン化し、高速化した PSI-III について、それらの設計思想・指針、命令・データ形式、ハードウェア構成方式、マイクロプログラムレベルでのアーキテクチャ、基本的な動作およびシステムの特長について論じている。特に、タグ操作や記憶管理などの論理型言語固有の処理のためのハードウェア機構について、これらのコンピュータでの処理方式と高速化手法を比較検討し、一連の論理型言語向きのコンピュータの研究開発において、ハードウェア構成方式の改良が、どのようなトレードオフのもとでなされてきたのかを明かにしている。さらに、これらのコンピュータをネットワークで多数結合した並列推論コンピュータの構成方式にも言及している。なお、付録として、WAM の命令セットと動作仕様およびその実行に必要なマイクロサイクル数の一覧を示すとともに、例題プログラムの WAM 命令系列へのコンパイル結果をも示している。

第4章では、論理型言語のプログラム最適化に関して、著者が独自に提案した、Clause Indexing の拡張などによるバックトラックの最適化、タグを用いたトレイル要否判定による最適化、実用的なシステムでは欠かすことのできない組込み述語や例外処理の最適化など、コンパイラの最適化機構について論じ、これらが PSI-II、PSI-III で大きな効果を上げていることを示している。

第5章では、4つのベンチマークプログラム・クラスについて第3、4章で述べた論理型言語向きアーキテクチャやコンパイラ最適化手法の効果を実測して、ハードウェアとソフトウェアのトレードオフの検討を行っている。特に、インタプリタ方式とコンパイル方式の性能比較、コンパイラ方式とパイプライン方式の性能比較、専用コンピュータと汎用コンピュータとの性能比較、RISC方式との性能比較などによって、PSI-IIIに代表されるパイプライン方式が最も性能価格比のよいシステムであると結論している。また、近年注目されているRISC方式は、目的プログラムの量が膨大となり、論理型言語向きのアーキテクチャとしては適合しえないとしている。さらに、実用プログラムとしてコンパイラ、アセンブラ、SIMPOS（オペレーティングシステム）を取り上げ、コンパイラの最適化の効果を実測している。また、論理型言語の処理の特長の一つとして、メモリアクセスの頻度が多いことが上げられ、キャッシュメモリをはじめとしてメモリ系の性能に及ぼす影響がきわめて大きいことが予想される。そこで、PSI-I、PSI-II、PSI-IIIのおおのについてキャッシュメモリやTLBの構成についてシミュレーションや実測によって評価データを収集し、採用した構成方式の妥当性を検証している。

第6章では、本研究の成果をまとめるとともに、今後の研究課題として、PSI-IIIの後継コンピュータとしてのスーパスカラ方式やVLIW方式の研究、大域的最適化の研究、超並列処理を前提とした要素プロセッサの構成方式の研究、などの必要性を述べ、将来を展望している。

論文審査の結果の要旨

第5世代コンピュータの研究推進に伴って、論理型言語が普及してきた。論理型言語はバックトラック、ユニフィケーションといった従来言語にない処理方式を採用しており、高速化に対するハードウェア・ソフトウェア支援が必要とされる。本論文は、論理型言語向きの専用コンピュータの構成方式、コンパイラの最適化手法、およびシステムの性能評価について述べたものである。本研究で得られた主な成果は以下の通りである。

1. 論理型言語向きの基本アーキテクチャの確立

論理型言語に対する基本的な処理方式をいち早く確立し、タグ機構、複数スタックによる記憶管理機構、マイクロプログラム制御機構を有機的に組み合わせた基本ハードウェア機構の提案を行い、実機の試作によって提案方式の有効性を実証している。これは以後の論理型言語に関連した研究に大きな指針を与えてきた。

2. 種々のシステムの高高速化手法の提案と実用化

インタプリタ方式、コンパイラ方式、パイプライン方式に基づく一連の実コンピュータを開発して、種々の高速化手法のシステム性能に与える効果を各種のベンチマークや実プログラムで詳細に検討・評価している。これらの実証的な研究により、論理型言語およびその専用コンピュータの実用化が大きく前進した。

3. 各種最適化手法の提案と評価

論理型言語に対する最適化手法として、組込み述語の引数受渡し方式など、新たな最適化手法を多数提案し、それらが実コンピュータ上で高い効果を発揮することを示した。これらの手法は汎用コンピュータ

上でも適用可能であり，処理系の普及に大きく貢献した。

以上要するに，本論文は論理型言語向きのコンピュータの構成方式を研究し，実用化させたもので，学術上および實際上寄与するところが少なくない。よって，本論文は京都大学博士（工学）の学位論文として価値あるものと認める。

また，平成3年10月28日，論文内容とそれに関連した事項について試問を行った結果，合格と認めた。