

小型化版CHIの性能評価

— ハードウェア・アーキテクチャの評価 —

幅田 伸一、中崎 良成、梅村 護

日本電気(株) C & C システム研究所

はじめに 通産省第5世代計算機プロジェクトの一環として開発を行った逐次型推論マシンCHI-II⁽¹⁾の性能評価を行った。CHI-IIは、6MHzのクロックで動作するマシンであり、128M語の大容量の主記憶と述語論理型言語の引数を保持する引数レジスタ群を備え、述語論理型言語の高速処理を実現している。今回の評価は、各機械語命令の実行に要するマイクロステップ数、使用されるマイクロ操作の頻度/並列度を求め、ハードウェアが提供しているマイクロ操作の並列実行機能の有効性を確認した。

評価内容 評価は、述語論理型言語を処理する際に使用する機械語命令(述語論理型言語命令)に対して行った。各命令の実行に必要なマイクロステップ数と、その中で使用されるマイクロ操作の種類を調べ、マイクロ操作の種類ごとの使用頻度とマイクロ操作の並列度を求め、ハードウェアが提供しているマイクロ操作の並列実行機能の有効性を確認した。

評価対象とした機械語命令 CHIの機械語命令セットは基本命令セットと述語論理型言語命令セットからなる。基本命令セットは組込み述語及びOSの記述に使用する命令セットである。今回は、CHIが採用した述語論理型言語指向ハードウェアの評価に重点を置いたので、述語論理型言語命令セットを評価の対象とした。具体的には、PUT、GET、UNIFY命令、実行制御命令とバックトラック制御命令の評価を行った。

CHI-IIのマイクロ操作 CHI-IIは2つのALUとマルチポートのレジスタ・ファイル(図1)、マイクロ操作を並列実行することで、マイクロステップ数を減らし、処理の高速化を実現している。CHI-IIハードウェアが並列に実行できるマイクロ操作は、データ・バスを使用したメモリ・レジスタ間のデータ転送操作、アドレス演算用算術演算器を使用した演算操作と引数処理用算術論理演算器またはタグ操作用ハードウェアを使用した引数操作の3つである。データの送込み/読み出しの他に、スタック操作のpush、命令の読み出し操作が含まれる。演算操作は、マルチポートのレジスタ・ファイルが格納しているデータに対する加減算、1及び2のインクリメント/デクリメントを行うマイクロ操作である。引数操

作は、マルチポートのレジスタ・ファイルが格納しているデータに対する算術論理演算の他に、タグ値の書き換え/読み出し、タグ値によるマイクロ分岐の判定を行うマイクロ操作である。

各マイクロ操作の使用頻度及びマイクロ操作の並列実行機能がどの程度使用されているかを確認するため、述語論理型言語命令の実行制御を行うマイクロプログラムを調べ、マイクロ操作の動的並列実行度を求めた。以下、各命令毎の評価結果について報告する。

PUT 命令 述語呼出しの直前に実行し、呼出し側述語の引数を引数レジスタにセットする命令である。1つの命令が1つの引数に対応する。引数レジスタがデータの転送先になるデータ転送命令である。但し、転送データが特定のデータタイプの場合、データタイプの変更を行う。この為、タグ値を調べ、データタイプの変更が必要かを判定する。使用されているマイクロ操作の使用頻度/マイクロ操作の並列度は表1の通りである。代表的な13命令を実行して

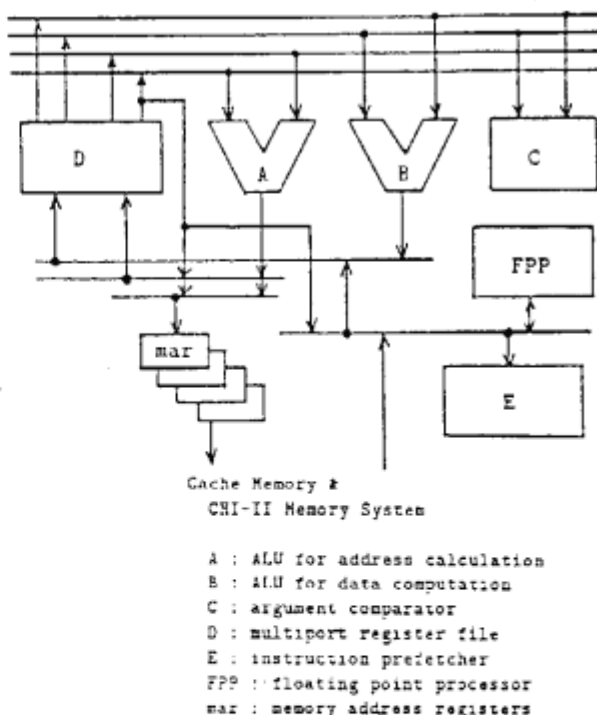


図1

Performance Evaluation of CHI-II --Verification of CHI-II Hardware Architecture--
Shin-ichi HABATA, Ryosei SAKAZAKI, Mamoru Umemura
C&C Systems Research Laboratories, NEC Corporation

データを収集した。データ転送操作を行うマイクロステップが全体の約80%と、他の操作の2倍以上の使用頻度になっている。この為、PUT 命令の処理速度を改善するためにはメモリ系の改善が必要であることがわかった。その1つとして、データと命令キャッシュの分離がある。データ転送操作の約30%が命令フェッチであるから、キャッシュを分離する事による速度の向上が期待出来る。

GET 命令 引数単位のユニファイを行う命令である。1つの命令が呼出された側の述語の1つの引数に対応する。GET 命令が指定する引数レジスタが保持する呼出し側述語の引数と実行環境フレームまたは命令の中に即値で指定されている呼出された側の述語引数のユニファイを行う。代表的な15命令の実行結果が表2である。

UNIFY 命令 構造体及びリスト・データの要素を処理する命令である。グローバル・スタック上に構造体/リストの要素を展開するWRITE モードとグローバル・スタック上に存在する構造体/リストの要素と命令が指定するメモリ上またはレジスタ上のデータをユニファイするREAD モードの2つの動作モードがある。直前の命令の実行結果により動作モードが決る。1つの命令が構造体/リストの1つの要素に対応する。グローバル・スタックを必ずアクセスする命令である。この為、UNIFY 命令専用のグローバル・スタックの番地計算用カウンタを用意した。表3が測定結果である。専用のカウンタを用意したが、それでも演算操作の使用頻度(約53%)は、他の命令より高い。実行したマイクロ命令を調べた結果、カウンタの機能を任意値の加減算が出来るように強化することでマイクロステップ数を減少できることがわかった。

実行制御命令 スタック上に実行環境フレームを生成/消去する命令(allocate, deallocate)及び述語の呼出し/呼出しからの復帰を行う命令(call, execute, proceed)からなる。スタックフレームのアクセス、アクセスしたデータのタグ値の変更が主な処理となるため、他の命令より3つのマイクロ操作の使用頻度の偏りが少ない。それでも、データ転送操作の使用頻度が他のマイクロ操作より多いのは、CHIハードウェアの苦手の分岐命令が含まれているからである。

バックトラック制御命令 バックトラック制御のための制御情報を保持するフレームの生成/消去を行う命令(try, retry, trust)である。レジスタ上の制御情報のタグ値を変更してスタックに書込む操作を行うため、データ転送操作と引数操作の使用頻度が高くなっている。

考察 CHI-11ハードウェア・アーキテクチャの見直しを目的とした評価を行った。マイクロプログラムの最適化の余地が未だ残っているが、ハードウェアが提供している

同時に実行できる3つのマイクロ操作の使用頻度を求めた結果、メモリアクセスに関係するマイクロ操作の使用頻度が他のマイクロ操作の使用頻度より高いことから、メモリアクセスがボトルネックとなっていることが再確認できた。また、実行したマイクロ命令を調べた結果、メモリアクセス系を改善することで、マイクロステップ数を減少できることも確認した。メモリアクセス系の改善、特に、命令とデータ・アクセスの並列化、先取り機能の強化により、実行に必要なマイクロステップ数を減少させ、同時に実行できる3つのマイクロ操作の使用頻度が全て70%以上になるハードウェア・アーキテクチャを追求していくつもりである。

参考文献：

(1) 幅田 他：“逐次型推論マシン：CHI”，情報学会記号処理研究会、87SYM42、1

表1 PUT 系命令におけるマイクロ操作の使用頻度

使用しているマイクロ操作	使用頻度	備 考
データ転送操作	80.3%	データ転送操作 の中での比率
read	30.6%	
write	40.8%	
命令フェッチ	28.6%	
演算操作	34.4%	
引数操作	37.7%	

表2 GET 系命令におけるマイクロ操作の使用頻度

使用しているマイクロ操作	使用頻度	備 考
データ転送操作	69.6%	データ転送操作 の中での比率
read	17.5%	
write	47.8%	
命令フェッチ	34.7%	
演算操作	45.4%	
引数操作	21.2%	

表3 UNIFY 系命令におけるマイクロ操作の使用頻度

使用しているマイクロ操作	使用頻度	備 考
データ転送操作	70.5%	データ転送操作 の中での比率
read	28.8%	
write	26.8%	
命令フェッチ	44.4%	
演算操作	52.9%	
引数操作	23.5%	

表4 実行制御命令におけるマイクロ操作の使用頻度

使用しているマイクロ操作	使用頻度	備 考
データ転送操作	79.3%	データ転送操作 の中での比率
read	21.8%	
write	34.7%	
命令フェッチ	43.5%	
演算操作	41.3%	
引数操作	51.7%	

表5 バックトラック制御系命令におけるマイクロ操作の使用頻度

使用しているマイクロ操作	使用頻度	備 考
データ転送操作	66.6%	データ転送操作 のPでの比率
read	11.8%	
write	52.9%	
命令フェッチ	35.3%	
演算操作	29.1%	
引数操作	62.7%	