

## ロード値予測における予測精度とIPCの向上

森脇 信啓†

†立命館大学情報理工学部

孟 林‡

‡立命館大学理工学部

小柳 滋†

## 1 はじめに

現在のスーパーコンピュータでは、性能を上げるために周波数を上げることは限界に近づいている。そこで、命令の並列性を上げることが必要となっている。並列性の向上を阻害する要因の一つであるデータ依存を軽減させる手法として値予測があり、予測が比較的簡単で、成功したときの効果が高いことからロード値予測が主に行われている。本稿では、ストア命令アドレスとデータアドレスの2つを用いて予測値を得る2方向アドレス名前替えを提案し、ロード値予測におけるパイプライン数、信頼性の導入等に注目し、既存手法より予測成功数と予測精度の向上を目指す。また、ペナルティを考慮した1サイクルあたりの実行命令数であるIPCの向上率についても着目する。

## 2 関連研究

## 2.1 値予測

値予測とは、命令の実行結果を予測し、データ依存の関係にある後続の命令を投機実行することにより、データ依存を軽減させるというものである。値予測にはあるロード命令の最後の値を保持しておく最終値予測やストライド予測、DFCMなどがある。

また、データアドレスをロード命令アドレスに名前替えてデータアドレスの計算を無くす1ホップアドレス名前替え予測 ([1]) がある。

## 2.2 2ホップアドレス名前替え

同一データアドレスに対するロード命令アドレスとストア命令アドレスを関連づけることによりロード値を予測する方法が提案されている ([2])。この方式は、ロード命令アドレスやストア命令アドレス、またこれらの命令が使用したデータアドレスをタグとして用いて、各命令が参照したデータをバッファに保存する。また、データアドレスのタグを用いてロード命令とストア命令を関連付ける。このことにより、ロード命令アドレスからストア命令アドレスを読み出し、そのストア命令アドレスからストア値を読み出す手法である。

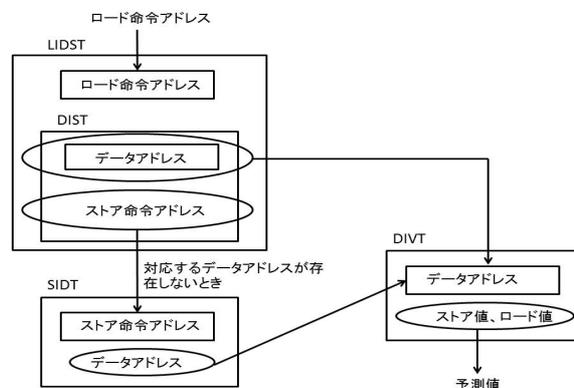


図1: 2方向アドレス名前替えのロード値予測時

## 3 提案手法

2方向アドレス名前替えは、ロード命令アドレスからストア命令アドレスとデータアドレスへ2方向の名前替えを行えるようにしたものである。また、2ホップアドレス名前替えの以下の欠点を解決している。

- 対応付けたものと異なるストア命令による書き換えに対応できない
- ロード命令に対応付けするストア命令が存在しないときに予測できない
- word単位やbyte単位での書き換えができない

2方向アドレス名前替えはLIDST(Load Indexe Data and Store Table), SIDT(Store Indexed Data Table), DIST(Data Indexed Store Table), DIVT(Data Indexed Value Table)の4つを用意する。LIDSTはロード命令アドレスをタグとして、データアドレスとストア命令アドレスを保持する。SIDTはストア命令アドレスをタグとして、データアドレスを保持する。DISTはデータアドレスをタグとしてストア命令アドレスを保持する。DIVTはデータアドレスをタグとしてストア値もしくはロード値をバイト単位で4つ保持する。この4つのテーブルで図1のように値を予測することができる。

データアドレス予測に最終値予測を用いたものを2D-last, ストライド予測を用いたものを2D-stride, DFCM予測を用いたものを2D-DFCMとする。

Improving Accuracy and IPC of Load Value Prediction

Nobuhiro Moriwaki Meng Lin Shigeru Oyanagi

†College of Information Science and Engineering, Ritsumeikan University

†

‡College of Science and Engineering, Ritsumeikan University

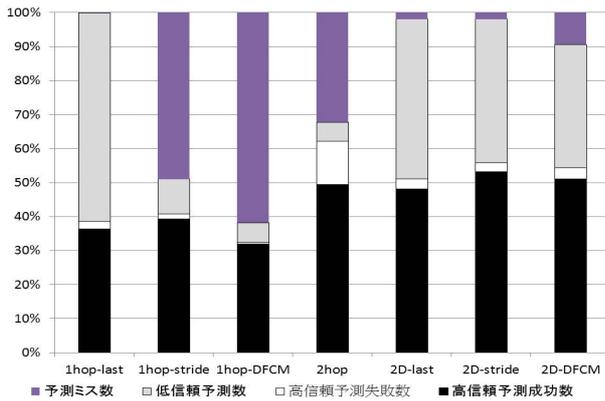


図 2: 予測の割合

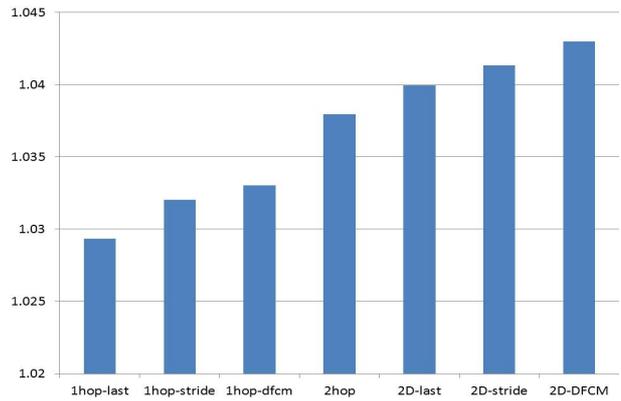


図 3: IPC 向上率

## 4 評価

### 4.1 評価指標

ロード値予測を評価する指標として予測の割合と高信頼予測精度とIPCを用いる。高信頼とは、信頼性評価により判定されるものであり、高信頼の場合は予測値を投機実行に使用し、低信頼の場合は予測値を使用しない。また、予測の割合(図2)においての予測ミス数は予測が出来なかった数を表す。また、高信頼予測失敗数とは高信頼において予測の失敗数である。

予測が成功した命令の数は多ければ多いほどプロセッサの性能を向上させるために、予測成功率が高いことが求められる。また、予測が失敗したときには、大きなペナルティが生じる。よって、予測が失敗した命令が多ければロード値予測による効果は大きく減少するため、高い予測精度も求められることになる。

### 4.2 評価環境

提案手法を評価するため、SimpleScalar Tool Setを用いる。ベンチマークプログラムには、SPECint2000から7つのプログラムを使用し、その平均値を取った。また、命令数は1億命令として、命令実行幅は4命令、命令ウィンドウは32エントリ、LSQは16エントリにした。また、信頼性評価は2bit counter, 3bit counter, miss resetting 2bit counter, miss resetting 3bit counterで比較した結果、miss resetting 2bit counterが予測精度、IPCともに最大であったためmiss resetting 2bit counterを採用した。また、初期信頼度は最大にした。

さらに、2方向アドレス予測を評価するために1ホップアドレス名前替え、ストライド予測、DFCMとを比較した。ハードウェア量を統一するために約1Mbitのハードウェアにした。

### 4.3 考察

図2より、高信頼予測成功数において提案手法が既存手法より優れていることがわかる。また、高信頼予

測成功数と高信頼予測失敗数を比較する、高信頼予測精度においては、2D-strideと2D-lastが最終値予測を上回ったが、予測精度が高いとされるDFCMを上回ることができなかった。IPCにおいては提案手法が従来手法よりも良い結果が出たことが分かる。また、2D-DFCMが2D-strideよりも、高信頼の予測成功数が低く予測失敗数が多いのにも関わらずにIPCが高いのは、予測ミス数と低信頼予測の割合が少なく、ペナルティが少なかったためだと考えられる。

## 5 おわりに

本研究で、データアドレス予測とストア命令による参照を利用した2方向アドレス名前替え予測を提案し、性能向上を実現した。今後の研究において、ALU chainingという演算間のデータ依存を解決するものを値予測に組み合わせるとIPCが向上することが分かっている([3])ため、各手法にALU chainingを組み合わせた機構の実装と評価を行っていきたい。

また、信頼性評価において、低信頼性のうち高信頼性に近いものを取り出す機構を作りだし、高信頼性成功数をより多く出してみたい。

## 参考文献

- [1] Pipasti, M.H.: Value locality and speculative execution, Ph.D. Dissertation, Department of Electrical and Computer Engineering, Carnegie Mellon University(1997)
- [2] 佐藤寿倫. "2ホップアドレス名前替えを用いたロード命令の投機的実行", pp.2109-2118. 情報処理学会論文誌, Vol.40, No.5, 1999.
- [3] 市野 慧. "2方向アドレス名前替えによるロード値予測とALU chainingとの併用", 立命館大学大学院 理工学研究科 情報理工学専攻 修士論文, 2012.