

分岐履歴のパターンマッチングと命令アドレスを用いた分岐予測精度の検討

田原慎也^Y, 吉瀬謙二^Z

東京工業大学工学部情報工学科^Y 東京工業大学大学院情報理工学研究科^Z

1 はじめに

近年のマイクロプロセッサでは高速化を目的として段数の多い命令パイプラインを採用している。このパイプライン処理の流れを途切れさせないためには命令を次から次へとフェッチすることが重要となってくる。プログラム中に含まれる分岐命令をフェッチした際に、分岐結果が出てから次の命令をフェッチしていたのではパイプラインの処理効率が低下してしまう。この処理効率の低下を防ぐには、分岐命令の結果をあらかじめ予測し、予測した制御の流れを投機的に実行して分岐オーバヘッドの削減をはかる分岐予測が行われる必要がある。ここで、プロセッサが処理する条件分岐命令の結果を予測するものを分岐予測器と呼び、精度の高い予測が成されることは高性能プロセッサを実現する上で重要な課題となっている。

文献 [1] では予測対象に至るまでの分岐履歴のみを用いた分岐予測を検証しており、従来の手法の gshare[2] と比較して精度の高い分岐予測が達成されていることを示したものである。本稿では、その分岐予測に命令アドレスの情報を加えてパターンマッチングを行った分岐予測を取り上げ、従来の手法と比較してどれほどの予測精度が達成されているかを検証する。ただし、ここでの評価は、計算量と記憶量の制限を考慮していないことに注意する。

2 提案する分岐予測手法

分岐予測手法として、文献 [1] で使われている Sampled Pattern Matching (SPM) と呼ばれる手法を修正して用いた。修正した SPM の基本的なアルゴリズムを以下に説明する。過去の履歴 X_i^n を $X_i^n = (X_{i,1}, X_{i,2}, \dots, X_{i,n})$ とし、予測すべき分岐を X_{n+1} と仮定する。文献 [1] では $X_{i,1} \cdot i \cdot n$ は分岐結果の情報だけであったが、ここでの $X_{i,1} \cdot i \cdot n$ は分岐結果と命令アドレスの組であり、 X_i と X_j が一致したというときは命令アドレスと分岐結果の両方とも一致したときとする。この部分が修正した箇所であり、他の部分はほぼ文献 [1] と同じである。この SPM は、履歴 X_i^n とその接尾系列の $X_{j,1}^n, 1 \cdot j \cdot n$ でのパターン的一致を検索して最長一致となる接尾系列 $X_{j_{\min}}^n, j_{\min} = \min_j |X_j^n = X_k^{k+j_i} | n, 1 \cdot k \cdot n$ を求める。このとき、SPM はここまで得られた分岐履歴と命

令アドレスのなかで最長一致となる接尾系列 X_j^n と一致する系列の次の分岐で成立・不成立の頻度を求める。頻度の多い分岐結果の値を、SPM における次の X_{n+1} の分岐予測の値とする。頻度が同じである場合には、一致長を短くした際の頻度によりその値を求める。

過去の命令アドレスを活用するか否かが、本稿の実験と文献 [1] の唯一の違いである。文献 [1] は、分岐履歴のみを考慮に入れて対象の分岐命令を予測しているが、本稿では分岐履歴に加えて命令アドレスを参考にしながら分岐を予測しているのである。

この違いが、分岐精度にどのように影響しているのかを検証してみた。

3 検証および考察

提案した手法によって得られた予測精度は、2004 年開催の Championship Branch Prediction Workshop にて用いられたベンチマークに対して、表 1 のようになった。また、ベンチマークそれぞれの分岐予測ミス率を、次ページの図 1 に示した。分岐履歴のみ用いた手法を「Branch History」、分岐履歴と命令アドレスを用いた手法を「Branch History and Instruction Address」とし、図 1 のグラフでは縦軸に分岐予測ミス率、横軸に 20 のベンチマークとその平均をとった。グラフ中の棒線が短いほど分岐予測精度がよく、性能が高いと言える。ただし、文献 [1] において一致長の許容最大値が長ければ長いほど高い分岐予測精度がでているという結論から、許容する最大一致長を 1024 として比較検証を行っている。

表 1: 分岐履歴と命令アドレスを用いた分岐予測精度の比較

| | Branch History | Branch History and Instruction Address |
|------------|----------------|--|
| SpecFP | 0.43 | 0.41 |
| SpecINT | 2.16 | 1.84 |
| MultiMedia | 4.93 | 4.39 |
| Server | 1.73 | 1.18 |
| Average | 2.31 | 1.96 |

表 1 の結果から、分岐結果の履歴のみを用いるよりも、命令アドレスもパターンマッチングを行うほうが高い分岐予測精度を達成できる。分岐履歴と命令アドレスを用いた場合の予測ミス率の平均は 1.96 であり、分岐履歴のみを用いた場合の 2.31 と比べて、15%ほど性能が上がっている。

この結果が示すことは、ある分岐命令において分岐を予測する際に、過去どのように分岐してきたかだけを参

The Examination of Branch Prediction Accuracy used Instruction Address and Branch History

Shinya TAHARA, Kenji KISE

^Y Department of Computer Science, Tokyo Institute of Technology

^Z Graduate School of Information Science and Engineering, Tokyo Institute of Technology

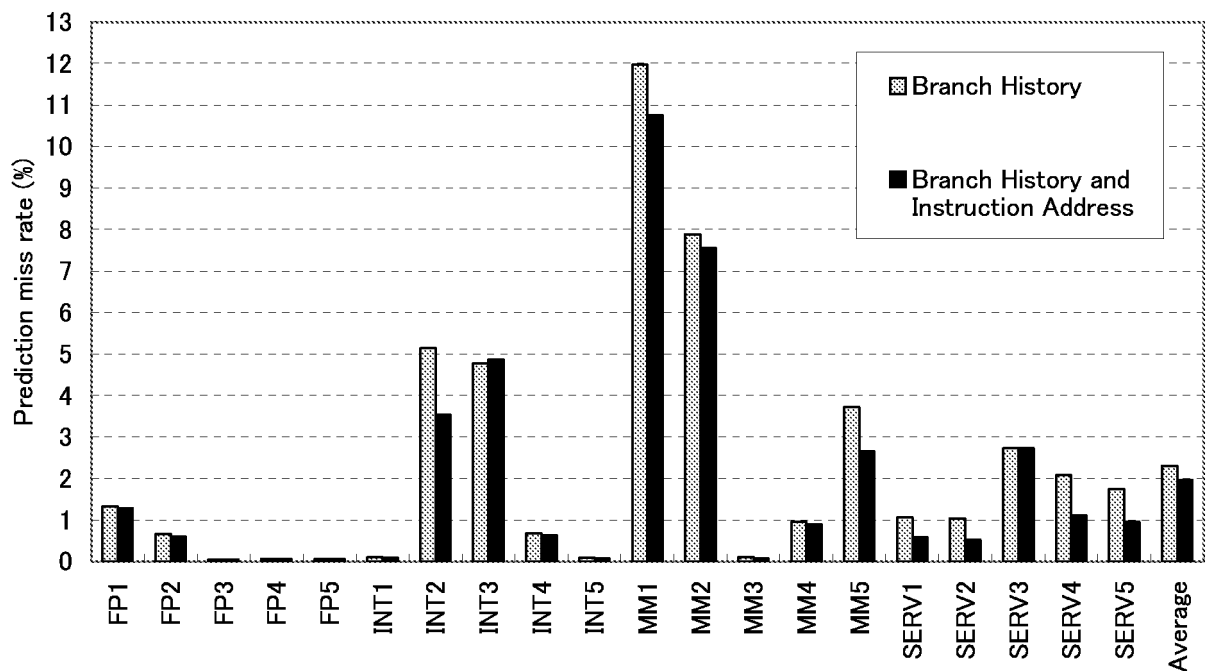


図 1: 分岐履歴と命令アドレスを用いた分岐予測精度の比較

考にするのではなく、過去のどの分岐命令がどのような分岐をしてきたかまでをも参考にするほうがより正確であるということである。

ある程度分岐履歴が一致していれば同じような分岐命令を辿ってきている可能性が高く、命令アドレスを考慮してもしなくてもそこまで分岐精度は変わらないのではと推測していた。しかし、この実験によって命令アドレスを考慮することが15%も分岐精度を上げる結果となった。このことは、命令アドレスが違うが似たような分岐履歴パターンがいくつか存在するため、命令アドレスを使いそのようなパターンを考慮にいれず分岐を推測することで精度が上がったと考えられる。

こうして、計算量や記憶量の制限がなければ、過去の分岐履歴と命令アドレスを有効に活用することで高い分岐予測精度が達成される可能性を示すことができた。

4 おわりに

文献 [1] では、分岐履歴のみの予測が従来の手法の gshare[2]¹ と比較して高い予測精度が達成されていることが示されている。今回、予測対象の分岐に至るまでの分岐履歴と命令アドレスを用いた SPM に基づく予測手法の可能性を検討し、分岐履歴のみの予測よりもさらに高い予測精度を達成できることを検証した。

しかし、今回の検証において一部のベンチマークで分岐履歴のみの予測のほうが精度が高いケースがみられた。今後、そのような結果に至った原因を検証し、分岐履歴と命令アドレスを有効に使い効率よく精度を高める分岐

予測手法についてさらなる追求をしていく必要がある。

謝辞

本研究の一部は、文部科学省科学研究費補助(課題番号 17360178「情報理論的予測に基づく計算機システムの投機処理に関する研究」)の援助による。

参考文献

- [1] 吉瀬謙二, 岩田賢一. 分岐予測精度と履歴情報との関係について. 電子情報通信学会 2005 年基礎・境界ソサイエティ大会講演論文集, A-1-25, p.25 (2005).
- [2] S.McFarling. "Combining branch predictions". Technical Report WRL TN-36, Digital Equipment Corporation(1993).

¹ 今回用いたベンチマークの分岐予測ミス率 4.71