

# 分岐予測器におけるローカル履歴テーブルの最適な構成の探索

畔 柳 圭 佑<sup>†</sup> 澤 田 武 男<sup>†</sup> 石 井 康 雄<sup>†,††</sup>  
 稲 葉 真 理<sup>†</sup> 平 木 敬<sup>†</sup>

## 1. はじめに

命令レベル並列性の抽出には高精度な分岐予測器の存在が欠かせない。これまでに提案されてきた分岐予測器では、全ての分岐の履歴を並べたグローバル履歴、ある分岐のみの履歴を並べたローカル履歴、通ってきた分岐のアドレスを並べたパス履歴などが利用されている。Perceptron<sup>5)</sup> や、Gehl<sup>6)</sup> といった分岐予測器では、数十から数百程度の長いグローバル履歴を利用することが可能である。

さらなる分岐予測器の予測精度向上にはローカル履歴情報の活用が有効である。しかし長いローカル履歴を利用するには、大きな記憶容量と複雑な機構が必要でありハードウェアでの実装可能性を損なってしまう。また、これまで提案されてきた分岐予測器では、異なる分岐命令の履歴同士がテーブル上の同一エントリに割り当てられることをできる限り減らすため、エントリ数は 1024 程度などの大きなものが使われてきた。これらのテーブルでは、トレードオフとして保持する履歴長は 2–16 程度の短いものになる。(表 1)

本研究では、長い履歴長を有効に使える分岐予測機構においてどのような構成のローカル履歴を用いることが分岐予測器の精度向上につながるかについて研究した。

表 1 CBP1<sup>1)</sup>、CBP2<sup>2)</sup> で提案された分岐予測器におけるローカル履歴テーブルの構成

提案時期	提案者	エントリ数	履歴長
CBP1	H. Gao	63	8 bit
	D. Jiménez	55	16 bit
	V. Desmet	512	6 bit
CBP2	Y. Ishii	1024	16 bit
	H. Gao	1024	10 bit
	Y. Ninomiya	4096	2 bit

<sup>†</sup> 東京大学

The University of Tokyo

<sup>††</sup> 日本電気株式会社

NEC Corporation

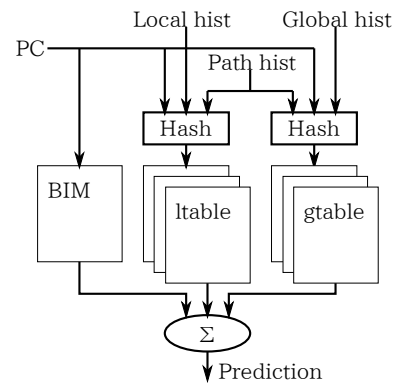


図 1 実験に用いた分岐予測器の構成

## 2. 実験と結果

2nd Championship Branch Prediction (CBP2)<sup>2)</sup> で提案された、Fused Two-Level Branch Predictor<sup>4)</sup> へのローカル履歴入力として、様々なエントリ数、履歴長を持つテーブルを試し、それぞれの分岐予測精度を計測した。図 1 は実験に用いた分岐予測器の構成を表したものである。この分岐予測器では、分岐命令のアドレス (PC) のみをインデックスとして用いる Bimodal テーブル、グローバル履歴とパス履歴と PC をハッシュしたものをインデックスとするテーブルを併せて、ローカル履歴とパス履歴と PC を用いたテーブルを用意した。これらのテーブルそれぞれが持つ予測値を足しあわせ、その結果が正か否かで分岐を予測する。

評価に使用するフレームワークや実行トレースには、CBP3<sup>3)</sup> のものを使用した。精度の指標としては、評価に用いた 40 のトレースそれぞれにおける 1000 命令あたりの分岐予測ミス回数の平均 (MPKI) を使用した。MPKI が低いほど予測精度が高い。

以上の分岐予測器の構成で、ローカル履歴テーブルのエントリ数と履歴長をそれぞれ 4–4096、5–50 の間で変化させ、どのパラメータを用いたとき最も分岐予測の精度が高くなるか調べた。

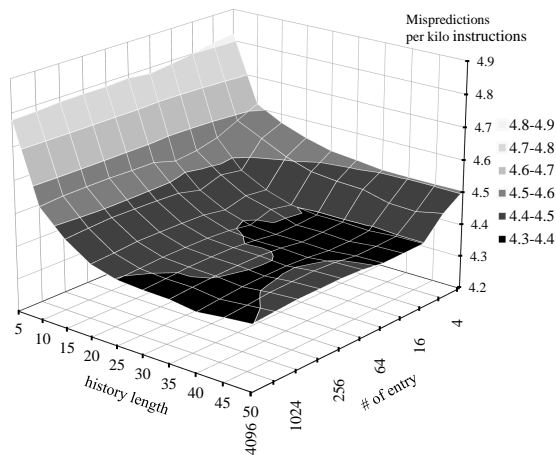


図 2 予測精度の結果

結果は図 2 のようになった。各エントリ数で最も低い MPKI 値を比較すると、エントリ数 4096 の時の値がベストな結果を示している。しかし、エントリ数 32 の場合と比べて MPKI 値の改善は 0.09% しかなく、エントリ数よりも履歴長が性能に大きな影響を与えている。履歴長 40 の時の最も低い MPKI 値は、履歴長 15 の時の値に比べて 1.7% 改善する。既存の分岐予測器で用いられている 16 以下の履歴長では不十分で、40 程度の長い履歴を利用することで大きく性能を改善できる。

### 3. 考 察

エントリ数の少ないローカル履歴は、1993 年に文献 7) で Per-set 履歴として提案された。Per-set 履歴はエントリ数が少ないので、履歴長を数十以上と長く取った場合でもハードウェアで扱うことが可能である。現在では Per-set 履歴が提案された当時と異なり、gehl<sup>6)</sup> や FTL<sup>4)</sup> のように、長い履歴長を有効に活用する機構や複数の分岐予測テーブルを組み合わせる機構を持つ分岐予測器が考案されており、Per-set 履歴の良い特性を生かした分岐予測器を構成することが可能になっている。

エントリ数が 32 程度と少ないテーブルでは、異なる分岐同士がテーブル上の同一エントリを使用するケースが頻繁に発生することが考えられる。このような衝突が多く発生するようなテーブルが、なぜエントリ数の多いテーブルを使用した場合と比べて性能が下がらないのかは今回の実験ではわからなかった。テーブル上での衝突の様子を調べこの理由を解明することは、より良い構成を見つける上で有用である。

また、Per-set 履歴のセット分けには今回使用した

アドレスによる分割以外にも様々な方法が考えられる。例えば、文献 7) では Opcode やコンパイラにより付加された情報を使うものが提案されている。

同じ分岐命令でもその命令に到達する状況によって異なるふるまいを示すことがある。このような性質を持つ分岐命令をうまく扱うために、グローバル履歴やバス履歴など利用し 1 つの分岐命令を状況に応じて別のセットに割り当てることも可能である。

このようにセット分けには多くの方法が考えられるが、より高い分岐予測精度に貢献する良い特性を持ったものや組み合わせがあるか研究する必要がある。

### 4. おわりに

既存の分岐予測器ではハードウェアリソースの制限などからローカル履歴テーブルとしてエントリ数が多く履歴長が短いものが使われてきた。しかし、本研究における実験の結果、エントリ数は 16 程度でも充分であり、履歴長が 40 程度の長いローカル履歴を利用することでより高い精度で分岐予測を行えることがわかった。

本研究の成果を利用した分岐予測器を ISCA2011 Workshop で開催される 3rd Championship Branch Prediction に提出する予定である。

### 参 考 文 献

- 1) : CBP-CFP, <http://www.jilp.org/cbp/> (2011).
- 2) : Championship Branch Prediction, <http://cava.cs.utsa.edu/camino/cbp2/> (2011).
- 3) : Championship Branch Prediction, <http://www.jilp.org/jwac-2/> (2011).
- 4) Ishii, Y.: Fused Two-Level Branch Prediction with Ahead Calculation, *The Journal of Instruction-Level Parallelism*, Vol. 9 (2007).
- 5) Jiménez, D. and Lin, C.: Dynamic Branch Prediction with Perceptrons, *High-Performance Computer Architecture, International Symposium on*, Vol. 0, p. 0197 (2001).
- 6) Seznec, A.: Analysis of the O-GEometric History Length Branch Predictor, *Proceedings of the 32nd annual international symposium on Computer Architecture*, ISCA '05, Washington, DC, USA, IEEE Computer Society, pp.394-405 (2005).
- 7) Yeh, T.-Y. and Patt, Y. N.: A comparison of dynamic branch predictors that use two levels of branch history, *Proceedings of the 20th annual international symposium on computer architecture*, ISCA '93, New York, NY, USA, ACM, pp. 257-266 (1993).