

Metatool による選択的値予測の評価と検討*

3H-5

岩田 靖† 鈴木和宏† 安里 彰† 木村康則†

新情報富士通研† (株)富士通研究所†

1 はじめに

タスクレベルの並列処理を行う場合、並列実行を妨げる要因として、命令間のデータ依存による真依存が発生し並列実行が妨げられることが知られている。このようなデータ依存により発生するハザードを回避する技術として、依存している命令が必要とする値そのものを予測して、投機的に実行する値予測 (Value Prediction) の研究が近年行われている。

著者らは選択的値予測と呼ぶ値予測の新しい概念を提案している [1]。これは、値依存の関係にある命令を分類しタスクレベルの投機的実行に効果のある命令のみに対して値予測を行うものである。本稿では著者らが開発した Metatool (Multiprocessor Environment Trace-based Analysis Tool) と呼ぶ SMP シミュレータ [2] を用いて、選択的値予測の効果を評価・検討する。

2 選択的値予測

著者らが提案している選択的値予測という概念は、タスクレベルの投機的実行を行う場合に効果のある命令を選択して、その命令を実行するために必要とする値を予測し、投機的に実行するものである。図 1 に 2 台の PE に割り振られた 2 個のタスク間に発生する命令間の依存関係を示す。投機実行するタスクである TaskB に対してプログラム上で先行して実行すべきタスクが TaskA であることを示している。

この例では、命令 [b] と命令 (1) の間には y という値に関して真依存があり、命令 [b] の実行結果を受けて、投機実行系の命令 (1) を実行しなければならない。すなわち、命令 (1) を命令 [b] に先行して実行することは通常できず、並列実行が阻害される。そこで、命令 (1) のソースレジスタ y の値を予測することによって、この真依存を取り除き、命令 (1) を投機的に実行する。なお、命令 [a] と命令 (3) の様に投機実行系で必要とする値が既に確定している場合は、値予測

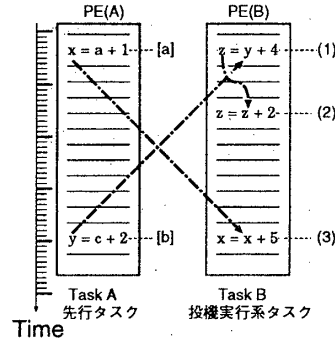


図 1: 命令間の依存関係

を行わないとともに、命令 (1) と命令 (2) のように、同じタスク内に真依存がある場合にも、値予測を行わない。

本稿でタスクレベルの投機的実行を複数の PE で行うことと仮定する。また、投機的に実行されるタスクは基本ブロックとし、タスク分割は分岐予測により完全に行われるものと仮定する。

3 選択的値予測機構の評価

3.1 実行方式

選択的値予測方式を Metatool により実行するフローチャートを図 2 に示す。まず、トレースデータをフェッチし各 PE が処理するタスクに分割する。タスクに分割された命令が他タスクに値の依存があるかどうか解析を行う。他タスクに依存がなかったり、依存があっても実行済であった場合は、当該命令は通常の実行を行う。それ以外の場合は値予測を行って、予測に基づく投機的実行を行う。2 節に示したように、本方式では全てレジスタ値を予測する。そのため、予測したレジスタ番号とその予測値を各 PE 毎に有する予測値テーブル (PVT) に書き込み、これを検証に用いる。

3.2 検証方式

各 PE 毎に有する PVT と PE の関係を図 3 に示す。例えば、PE2 で i 番目のタスクが、PE1 で i-1 番目のタスクが処理された時の検証可能条件は、i 番目のタスクが全て投機実行され、かつ、i-1 番目のタスクが

* Evaluation of Selective Value Prediction using the Metatool

† Yasushi IWATA, Akira ASATO, Yasunori KIMURA

‡ Kazuhiro SUZUKI

† RWCP Multi-Processor Computing Fujitsu Laboratory

† FUJITSU LABORATORIES LTD.

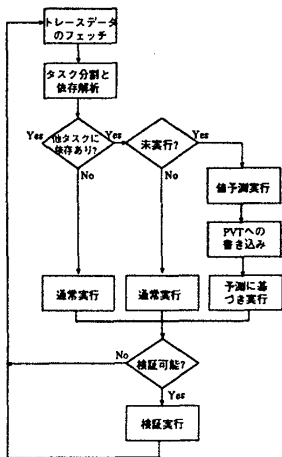


図 2: 選択的値予測のフローチャート

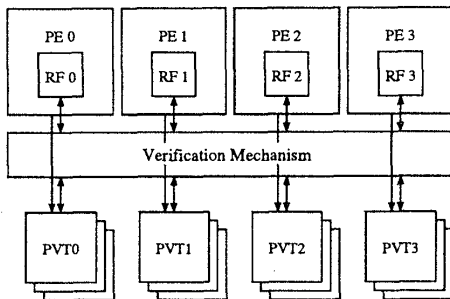


図 3: 予測値テーブル (PVT)

全て正しく実行されたことが保証された段階で可能となる。この条件の時、 i 番目のタスクで値予測したレジスタ値は PE2 の PVT に書かれ、その内容と $i-1$ 番目のタスクを処理した PE のレジスタファイルの内容を比較することにより検証を行う。検証の結果、予測ミスがあった場合は、ミスした命令以降の命令を再実行する。このように、値予測の検証を、PVT とレジスタ値の比較に帰着することにより、能率的な検証を可能としている。また、複数の PVT を PE 毎に持たせることにより、複数のタスクを検証を待たずに投機実行することが可能となっている。

3.3 シミュレーション結果

本提案の選択的値予測を Metatool に実装して評価した。Metatool では、各 PE はスーパースカラプロセッサ (SS) とし、それを SMP に構成している。選択的値予測を Metatool に実装するにあたり、予測機構と検証機構を新たに追加している。シミュレーションの仮定として、(1) タスクは基本ブロック (2) 分岐予測は完全に正解する (3) PE は 4Way の SS で 4PE で SMP を構成する (4) 値予測のレイテンシは 0 クロック、検証のレイテンシは 1 クロックと仮定する。

図 4 に、SPECint92 をベンチマークとした際の速度向上比を「値予測なしの 4 並列 SMP」を 1 としてグラフに表す。黒く塗り潰されたグラフは、完全に予測が成功した場合の速度向上比を、薄く塗られたグラフは、文献 [3] の予測機を用いて、予測正解確率が平均で 60% となった時の速度向上比を表している。図 4 に示すように、60% の確率で予測することにより、速度向上比は「予測なし」の場合の 1.4 倍となることが明らかになった。さらに、完全に予測が成功した場合の速度向上比は 2.0 倍が得られることがわかる。

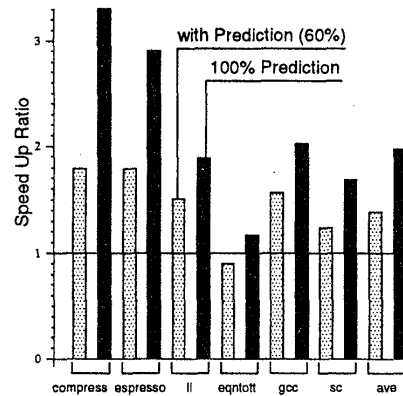


図 4: 速度向上比

4 まとめ

本稿では、タスクレベルの投機的実行を選択的値予測により行う場合の性能を Metatool を用いて評価した。今後は、より詳細なデータを取得するとともに、更なるスピードアップを図るために、検証ルーチンの再検討と、予測正解確率が良好な予測機の検討を行う予定である。

参考文献

- [1] 岩田ほか: 投機的実行のためのデータ予測可能性, 情処研報 Vol.98, No.70, pp.55-60(1998).
- [2] 鈴木ほか: トレースベース SMP シミュレータ Metatool の開発, 第 58 回情処全国大会, 3J-04(1999).
- [3] Chao-ying Fu, Matthew D. Jennings, Sergei Y. Larin and Thomas M. Cnte: "Value Speculation Scheduling for High Performance Processors", ASPLOS VIII, pp. 262-271(1996).