

科学技術計算プログラムにおけるマルチグレイン並列性の評価

2E-7

小幡 元樹†, 松井 巖徹†, 松崎 秀則†, 木村 啓二†, 稲石 大祐†,
宇治川 泰史†, 山本 晃正†, 岡本 雅巳‡, 笠原 博徳†

† 早稲田大学理工学部電子電気情報工学科, ‡ (株) 東芝

1 はじめに

マルチプロセッサシステムを専門家だけでなく誰もが使用できるようにする1手段として自動並列化コンパイラの開発が進められている。しかし、プロセッサ数の増加と共に、アマダールの法則のため、従来のループ並列性のみを抽出するコンパイラ技術では並列処理効率の向上は困難になっている。

そこで筆者らは、従来の中粒度並列処理手法（ループ並列化）に加えて、粗粒度並列性を用いた並列処理手法（マクロデータフロー処理手法）[1, 2, 3] やステートメント群からなる基本ブロック内部の近細粒度並列性を用いた並列処理手法[4]を併用するマルチグレイン並列処理手法を提案している。本稿では、提案するマルチグレイン並列処理手法を科学技術計算ベンチマークである Perfect Benchmark に適用し、その有用性について述べる。

2 マルチグレイン並列処理

本章では、これらの並列処理単位について説明し、階層型マクロデータフロー処理によりマクロタスクを階層的に割り当てるマルチグレイン並列処理について述べる。

OSCAR FORTRAN Multi-Grain Compiler を用いたマルチグレイン並列処理では、近細粒度、中粒度、粗粒度の3種類の並列処理手法を用いる。近細粒度並列処理とは、プログラム上のステートメント間の並列性を用いて並列処理することである。また、中粒度並列処理とは、ループのイタレーション間の並列性を用いて並列処理する手法である。最後に粗粒度並列処理については、ループ間、サブルーチン間、基本ブロック間の並列性を用いて並列処理する手法である。

粗粒度並列処理のための階層型マクロデータフロー処理では、プログラムを次に示す3種類のマクロタスク (MT) で表し、図1のように階層的に分割する。

- BPA (Block of Pseudo Assignment statements)
基本ブロック、及び複数の小基本ブロックを融合したブロック
- RB (Repetition Block)
最外側ナチュラルループ
- SB (Subroutine Block)
インライン展開が有効でないサブルーチン

各階層の MT は階層的に定義されたプロセッサクラスタ (以下 PC) 間で並列処理される。また、各階層の PC に割り当

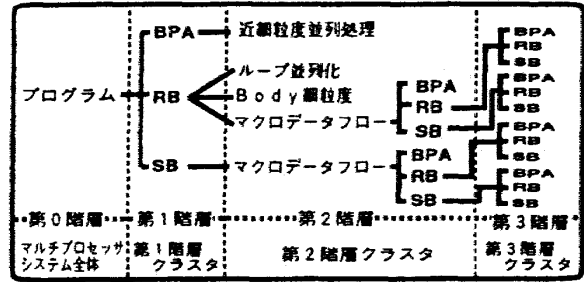


図1: マクロタスクの階層的な定義

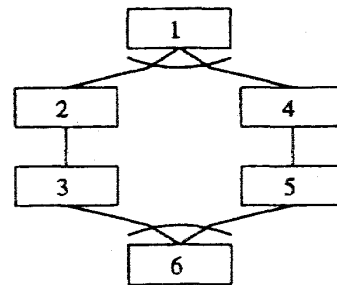


図2: 粗粒度並列性のあるマクロタスクグラフ

てられた MT は、PC 内のプロセッサエレメント (以下 PE) により階層的に並列処理される。MT が BPA ならば、BPA 内部のステートメントレベルの近細粒度並列処理、RB ならば中粒度並列処理やループボディの近細粒度並列処理が行われる。さらに RB が大規模であり、RB 内部でサブ MT が定義できる場合には階層的にマクロデータフロー処理を適用する。この場合は、サブ MT は PC 内で定義されるサブ PC に割り当てられる。図1に MT の階層化構造を示す。

例えば、図2に示すマクロタスクグラフを例にとると、MT 2~3, 4~5 はそれぞれ全く依存がないので、各 PC に割り当てての粗粒度並列処理が可能であり、それぞれの PC 内部で、各 MT を中粒度、近細粒度並列処理することができる。

このように、マルチグレイン並列処理は、中粒度並列性のみを用いた並列処理に比べ多数のプロセッサの利用効率の向上が可能である。

3 マルチグレイン並列性の評価

本章では、マルチグレイン並列性の評価に用いたサンプルについて説明し、評価に用いた OSCAR のアーキテクチャ及び評価結果について述べる。

3.1 評価に用いたプログラム

本節では、評価に用いた Perfect Benchmark ARC 2D のプログラムのな特徴を述べる。

* Evaluation of Multi-Grain Parallelism in Scientific Programs

Motoki OBATA†, Gantetsu MATSUI†,
Hidenori MATSUZAKI†, Keiji KIMURA†,
Daisuke INAISHI†, Yasushi UJIGAWA†,
Terumasa YAMAMOTO†, Masami OKAMOTO‡,
Hironori KASAHARA†

† Department of Electrical, Electronics and Computer Engineering, Waseda University

‡ TOSHIBA Corporation

```

DO 420 N = 2, 4
  ...
  K = KLOW
  DO 422 J = JLOW, JUP
    C2 = COEF2(J,K) * DTD
    C4 = COEF4(J,K) * DTD
    WORK(J,K,4) = -(C2+3.*C4)*XYJ(J,K+1)
    WORK(J,K,5) = XYJ(J,K+2)*C4
422 CONTINUE
  ...
  DO 435 K = KLOW, KUP
    DO 435 J = JLOW, JUP
      WORK(J,K,2) = ....
      WORK(J,K,4) = ....
      WORK(J,K,3) = ....
435 CONTINUE
  ...
420 CONTINUE

```

図 3: 簡略化した STEPFY のコード

ARC 2D は 2 次元流体解析プログラムであり、その解析法には Euler 方程式が使用されており、40 のサブルーチンを含む約 4000 行のコードである。

実際には、全体の処理時間の 95% を占めるサブルーチン INTEGR の内部から、多数のサブルーチン呼び出ししている。今回は、これらのサブルーチンに対して、ループアンローリング、インライン展開などを適用し評価した。図 3 にサブルーチン INTEGR 内から呼び出されるサブルーチン STEPFY のコードを簡略化したものを示す。STEPFY は、図 4 に示すように、最外側ループのシーケンシャルループ内部に、基本ブロックや DOALL ループがあるサブルーチンである。しかし、最外側ループは DOALL ループとすることができるため、従来はこのループでの中粒度並列処理が最も効率が良いとされてきた。しかし、最外側ループの回転数が 3 回転と少ないため、プロセッサ数が多い場合、その利用効率が悪化することが避けられない。そこで、最外側ループをアンローリングすることで粗粒度並列性を抽出することができ、各 PC に割り当てられた内部の DOALL ループを中粒度並列処理することで、プロセッサを効率良く利用できる。

3.2 OSCAR 上での性能評価

本節では、マルチプロセッサシステム OSCAR を用いたの性能評価について述べる。

OSCAR は、ローカルメモリと分散共有メモリを持つ 32 ビット RISC プロセッサを集中共有メモリに 3 本のバスで接続した共有メモリ型マルチプロセッサシステムである。

OSCAR 上で ARC 2D をシーケンシャル実行 (1 PC 1 PE) すると、15392 秒を要する。次にプロセッサ数を 4 とし並列処理をした結果については、クラスタ構成によって、1 PC 4 PE による実行、4 PC 1 PE による実行、2 PC 2 PE による実行の 3 種類に分けることができる。OSCAR FORTRAN Multi-Grain Compiler では、1 PC 4 PE での実行では近細粒度と従来のループ並列処理 (中粒度並列性) を利用した並列処理を行い、4 PC 1 PE での実行では粗粒度並列性のみを利用して並列処理 (マクロデータフロー処理) を行う。最後の 2 PC 2 PE での実行では、PC に粗粒度並列性のある MT を割り当て、各 PC 内部で 2 PE を用いて近細粒度、中粒度並列性を利用したマルチグレイン並列処理を行う。各クラスタ構成による実行時間は、1 PC 4 PE 構成での実行時間は 6520 秒で、シーケンシャル実行に対する速度向上比は 2.4 倍である。4 PC 1 PE (マクロデータフロー処理) で実行すると 7232 秒で終了し、速度向上比は 2.2 倍となる。最後に 2 PC

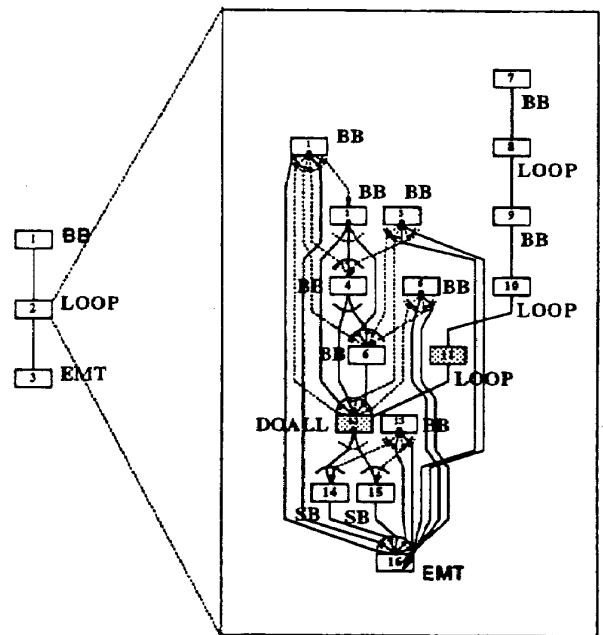


図 4: STEPFY のマクロタスクグラフ

2 PE (マルチグレイン) で実行すると、更に実行時間が短縮されて 5975 秒となり、速度向上比は 2.6 倍である。

これらの結果からわかるように、中粒度並列性のみを利用した従来の並列処理手法に近細粒度並列性も考慮した場合や粗粒度並列性のみを利用したマクロデータフロー処理による実行時間より、全ての並列性を抽出して並列処理を行うマルチグレイン並列処理の方が実行時間が短縮されている。

4 まとめ

本稿では、OSCAR FORTRAN Multi-Grain Compiler の Perfect Benchmark ARC 2D を用いた評価を行い、プロセッサ 4 台を 2 PC 2 PE としてマルチグレイン並列処理した場合は、シーケンシャル処理の 2.6 倍のスピードアップ、またループ並列処理と近細粒度並列処理の組合せと比べ 10% のスピードアップが得られ、その有効性を確認した。

以上のように旧 OSCAR コンパイラを書き直し、大規模プログラムのコンパイルを可能とする新コンパイラは、ARC 2D のような数千行程度のプログラムの並列化が可能となり、今後より多くの問題へ適用し、性能評価を行う予定である。

本研究の一部は、通産省次世代情報処理基盤技術開発事業並列分散分野マルチプロセッサコンピューティング領域研究の一環として行われた。

参考文献

- [1] H.Kasahara, H.Honda, S.Narita, "A Multi-Grain Compilation Scheme for OSCAR", Proc. 4th Workshop on Languages and Compilers for Parallel Computing, Aug. 1991.
- [2] 本多, 岩田, 笠原, "Fortran プログラム粗粒度タスク間の並列性の検出手法", 信学論, J73-D-I(12), Dec. 1991.
- [3] H.Kasahara, H.Honda, M.Iwata, M.Hirota, "A Compilation Scheme for Macro-dataflow Computation or Hierarchical Multiprocessor Systems", Inter. Conf. on Parallel Processing, Aug. 1990.
- [4] 笠原 博徳, "並列処理技術", コロナ社, Jun. 1991.