

論文の内容の要旨

論文題目 共有メモリ型並列計算機における並列論理型言語 Fleng
の処理系に関する研究

氏名 馬場 恒彦

近年、情報化社会を反映して、アプリケーションソフトウェアはより多機能なものが開発され、より高速・高性能なアーキテクチャが求められている。そうした要求を満たす高速化技術の一つとして並列計算機に注目が集まっており、既に実用化の段階に入ってきている。その関連研究の一つとして、並列プログラミング言語がある。

並列プログラミング言語は設計方針から二種類に分類される。一つは従来の逐次処理向けに設計された言語を基盤とし、並列計算機用に仕様の拡張と並列化を行なった言語であり、もう一つは最初から並列計算機での動作を考慮して、最初から設計、開発された言語である。

現在、従来の言語との互換性などの点から前者が主流である。しかし、将来的にさらなる高並列計算機への要求が高まることは十分に考えられることであり、前者は元来逐次処理向けの言語であったために並列計算機向けに仕様拡張しても十分な並列度を抽出することが難しい。このことから後者の言語に対する研究の必要性は極めて高い。

我々の研究室では、こうした必要性を考慮し、並列計算機に関するソフトウェアとハードウェア技術の研究を行なっている。その中で、ソフトウェア技術としては並列論理型言語 Fleng を開発し、実装、最適化に関する様々な研究が行なわれてきた。

しかし、これらの多くの研究成果は Fleng を高速実行する専用計算機である PIE64 上での評価が中心であった。前述のように、汎用的な並列分散環境が実用段階にある今日では、専用計算機ではなく、汎用型の共有メモリ型並列計算機上での評価がより現実的な研究として重要である。

また、次のプロセッサとして注目されている CMP はハードウェアを一つのチップ上に集約化し、チップ間の遅延を削減することで高速化を実現するものであり、プロセッサクロック比で考えると、より細粒度な実行単位が要求されている。実際に、関連研究として、スレッド単位の実行といった細粒度実行の研究が活発であり、近い将来に細粒度実行が要求される時期が来る可能性が高い。このことから、細粒度実行の特長を明確化することが極めて重要である。

そこで、本研究では共有メモリ並列計算機上の Fleng 処理系を用い、その最適化と、その実行動作に関する定量的評価を行なうことにより細粒度な言語の特長について検討を行なった。

まず、処理系の中でのコンパイラの最適化に着目をした。従来のコンパイラではゴール融合等の粒度最適化手法が実装されている。しかし、こうした最適化技術を複合的に適用することにより、従来は存在しなかった新たなオーバーヘッドが存在することを明確化した。さらに、オーバーヘッドの削減手法として Common Subexpression 等の最適化手法の適用、評価を行なった。その結果、数十%のコード量削減と約10%の速度向上を実現した。

次に、処理系の中でのランタイムシステムの高速化に着目した。従来のランタイムでは、ローカル優先のスケジューリング機構を用いているために並列動作による十分な速度向上が得られない問題点があった。そこで、プロセッサの稼働状態に応じたスケジューリング機構を提案した。また、提案手法ではプロセッサ間の排他制御によるオーバーヘッドが大きくなるため、従来の排他制御機構の改善を行なった。この結果、粒度の小さなプログラムでも並列動作による速度向上を達成するとともに、従来に比べ数十%の速度向上を実現した。

また、こうした最適化においてはその最適化の方向をまとめることが不可欠である。しかし、こうした大規模なソフトウェアが並列実行される場合、オーバーヘッドは複合的な要因が多く、定量的評価は困難である。そこで、ランタイムと Fleng プログラムの挙動を細分化するとともに、プロセッサの命令やキャッシュ等の細部に渡り、ランタイムの定量的評価を行なった。この評価から論理型言語 Fleng における利害得失について定量的評価をまとめ、細粒度実行の特長に関して検討を行なった。

このように、本研究では共有メモリ型並列計算機上の Fleng 処理系に対し、最適化技術の提案、実装、評価と、ランタイムシステムの定量的評価を行なった。これにより従来に比べて、約2倍の速度向上を達成するとともに、汎用的な共有メモリ型並列計算機における並列論理型言語 Fleng の利害得失を定量的に評価し、細粒度実行の特長を明確化した。