

審査の結果の要旨

論文提出者氏名 馬場 恒彦

本論文は、「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」と題し、8章と付録からなる。情報化社会の発展は、計算機システムの限りない高速化を要求する。それを満たす重要な技術の一つはデバイス技術であり、もう一つは並列処理技術である。並列処理には、優れた並列プログラミング言語が重要であるが、その一つに並列論理型言語がある。本研究は、そのような言語の内、研究室で開発してきた Fleng を対象として、共有メモリ型並列計算機向けの並列論理型言語処理系を開発し、その最適化技術とランタイムシステム技術を検討して、その処理系の評価を行い、特徴的な細粒度実行の特性について論じたものである。

第1章「序論」は、研究の背景、目的を述べるとともに、本論文の構成についてまとめたものである。

第2章「Committed-Choice 型言語 Fleng」は、本研究の対象となる Committed-Choice 型言語 Fleng の言語仕様について述べたものである。

第3章「共有メモリ型並列計算機上の Fleng 処理系」は、研究室で従来までに開発されてきた Fleng 処理系の構成と実装についてまとめたものである。ソースプログラムは、記述性を高めるためにマクロ定義が可能となっているが、処理系は、まずそのマクロを展開し、次に実行効率向上のために、ゴール融合と強制インライン展開からなる粒度制御をソースレベルで行う。その出力をコンパイラでC言語に変換し、対象マシンの機械語に変換の後、マシンごとのランタイムシステムを用いて実行される。ランタイムシステムは、スケジューリングを行うが、そのために仕事の単位であるゴールを蓄える二つのゴールスタック LGS、GGG を用いている。LGS は各スレッド毎に設けられたゴールスタックで、GGG は、全スレッドによって共有されるゴールスタックである。

第4章「ランタイムシステムの最適化」は、3章で述べたランタイムシステムを最適化する手法とその評価について述べたものである。まず、従来のランタイムシステムの問題点を明らかにするために測定をおこない、プログラムの並列度が低い場合は、GGG の排他制御のためのオーバーヘッドがかなり大きく、それが実行速度を落としていること、並列度が高くなるとそれが隠れて並列処理が有効に機能することを明らかにしている。次にそれを改良するために負荷分散方式を工夫し、排他制御を行わないフラグを LGS に設けたり、従来の pthread を用いた排他制御の代りにビジューエイトを用いたり、排他制御機構を細かく5つに分類しそれぞれの寄与を測定から調べることによって問題点を細かく分析し、それに基づいて新たなスケジューリング手法を提案している。それは、ビジューエイト用に新たな排他制御変数を導入し、LGS、GGG の利用を細かく制御するものであって、その手法による実行時間の測定から、それが非常に効率の良い手法であって、システムタイムの

大幅な削減と、台数効果による大きな速度向上を達成している。

第5章「コンパイラの最適化」は、処理系の内、マクロ展開、粒度制御、コンパイラのすべてに対して行った最適化手法について述べたものである。まず、従来の処理系の問題点を分析し、粒度制御の強制インライン展開処理は、定数伝播、共通部分式の削除、部分冗長性の除去などの手法が適用可能な文を多く生成するので、これらの最適化が必要であること、次に Fleng コンパイラにより生成された C プログラムを調べた結果、付けたタグをすぐまた外すような無用命令が発生すること、真偽値を用いた分岐判定に冗長性が発生することなどを明らかにしている。次に、ベンチマークプログラムを用いて、これらの最適化を施した場合の効果を調べ、Fleng レベルの最適化によって、コードが 20-30%減少し、C プログラムレベルでの最適化によって、更に 10%程度の削減が可能なこと、実行速度に関しても、ほぼ 10%程度の速度向上が得られたことを示している。

第6章「共有メモリ型並列計算機上の Fleng 処理系の定量的評価」は、様々な要因が複雑にからみあう処理系に対する評価を検討したものである。Fleng 言語と C 言語の比較では、Fleng プログラムに頻出する算術演算、分岐演算、リスト処理の3つに分けて考察した結果、実行命令は数倍から十数倍の差があり、実行サイクル数ではより大きな差異があること、その理由は、変数の単一化やタグの着脱処理により、ロード、ストア命令が C の数倍発行されるため、キャッシュ上データのミス率が増大すること、ライトアフタライトハザードのため、キャッシュ遅延が生じるためであることを明らかにしている。次に、ランタイムの主要処理要素について、各処理のキャッシュ効率と並列実行の検討を行い、データキャッシュのミス率は、スレッド数が増えると減少すること、更に、性能とスレッド数、キャッシュミス、LGS/GGS 内ゴール数との間の関係を詳細に分析している。

第7章は「考察」で、関連研究との比較を行うとともに、今後の課題をまとめている。

第8章は「結論」である。

以上、これを要するに本論文は、並列論理型プログラミング言語 Fleng の処理系について、コンパイラとランタイムシステムの最適化と、C 言語で同じプログラムを作成した場合に比べての特徴、更にランタイムシステムの並列特性評価について考察したもので、論理型言語の細粒度並列処理の詳細な性質を明らかにしており、電子情報工学上貢献するところ少なくない。

よって、本論分は、博士（工学）の学位請求論文として合格と認められる。