

氏名	いまむらとしゆき 今村俊幸
学位(専攻分野)	博士(工学)
学位記番号	工博第1893号
学位授与の日付	平成12年3月23日
学位授与の要件	学位規則第4条第1項該当
研究科・専攻	工学研究科応用システム科学専攻
学位論文題目	分散メモリ型並列計算機のための交互方向操作に基づく処理系とアルゴリズムの研究

論文調査委員 (主査) 教授 島崎真昭 教授 富田真治 教授 野木達夫

論文内容の要旨

科学技術計算需要の増大に対応して、各種の並列計算機が出現している。並列計算機全体の公称計算能力は高いが、並列計算においてはハードウェア、プログラム言語、問題解決アルゴリズムが深く関与するので、並列計算機の能力を最大限に引き出すためには、プログラミングに相当の工夫を必要とするのが現状である。本論文は、問題、アルゴリズム、並列処理モデルを統一的に扱う枠組みとしての ADEPS に対応したプログラム言語 ADETRAN 4 の処理系を開発し、それを用いて、線形計算の LU 分解、固有値問題のアルゴリズムの開発と性能評価、応用プログラムの並列化と性能評価について研究した成果をまとめたもので5章から成っている。

各章の内容は次の通りである。

第1章は序論であり、並列計算機の現状と問題点を示し、この研究の意義を述べ、各章の内容説明を行なっている。

第2章では、交互操作に基づく並列処理様式 ADEPS のための並列処理言語 ADETRAN 4 の開発経緯および言語の概要を示した後、ADETRAN 4 の処理方式を論じ、並列計算機 ADENART および VPP-500 上での処理系開発について述べている。ADETRAN 4 のメモリモデルを分散メモリ並列計算機上でエミュレートするとき、行列データの転送が必要になるので、処理系がプログラム中にデータ転送文を挿入することになる。このデータ転送文挿入位置決定問題をデータフロー解析問題として定式化し、このデータフロー方程式を解くアルゴリズムを与えている。さらに、ADETRAN 4 のソースプログラムを Fortran 90 と通信ライブラリ MPI とを用いたプログラムに変換するプリプロセッサ方式を論じ、処理系を開発して、ADETRAN 4 プログラムを広範囲の並列計算機に移植することを可能にしている。

第3章では線形計算アルゴリズムを取り上げている。分散メモリ並列計算機上で、幅付サイクリック分割方式によってメモリーマッピングを行なって行列の LU 分解を行なう場合に、行列サイズ、プロセッサ数、ブロック幅によって計算時間がどのように変化するかを見積もる式を、スカラプロセッサの場合とベクトルプロセッサとの場合に分けて導いている。そして、2つの並列計算機上で計算実験を行なってその妥当性を確認し、計算の際のブロック幅の決定の目安を与えることに成功している。

つぎにハウスホルダー変換の並列プログラムとその計算時間を見積もる式を導き、実験による実測結果と比較し、有効性を確認している。さらに、ハウスホルダー変換により導かれた対称三重対角行列の固有値計算法としての divide and conquer 法における分割数を2から3に拡張するアルゴリズムを提案し、提案手法による固有値計算精度の問題を検討している。計算実験により、従来のもものと比較して約1.4倍高速であることを実測している。

第4章では、NAS パラレルベンチマークと粒子プラズマコードの2つを取り上げ、大規模問題に対する並列化の手法を提案している。

並列処理モデル ADEPS に基づく NAS パラレルベンチマークの並列化を行い、並列計算機 ADENART 上で性能測定し、システム性能比に基づく比較を行なったところ、同時期に出現した分散メモリ型計算機で十分にチューニングされた結果と

ほぼ同程度の結果を得ている。これにより、ADEPSに基づく並列化および並列計算機 ADENART のアーキテクチャの優れていることを示している。

粒子プラズマコードでは、ADEPSに基づく高速フーリエ変換と粒子運動プログラムの並列化を行ない、問題に依存する別の観点からの並列性と組み合わせた並列手法が有効であることを示している。具体的には、複数の交互方向 FFT 操作をグループに分けて同時に行なうものと、領域分割と粒子分割が有効であることを示している。

第5章では得られた成果のまとめを示している。

論文審査の結果の要旨

本論文は、並列計算において、問題、アルゴリズム、並列処理モデルを統一的に扱う枠組みである ADEPS に対応した並列プログラム言語 ADETRAN 4 の処理系を開発し、それを用いて、線形計算プログラムおよび大規模応用プログラムの並列化と性能評価について研究した結果をまとめたものであり、得られた主な成果は次の通りである。

1. ADETRAN 4 のメモリモデルを分散メモリ計算機上でエミュレートするときに必要となる行列データ再分散のための転送文挿入問題をデータフロー解析問題として定式化し、解法アルゴリズムを与え、ADETRAN 4 の処理系実装に用い有効性を確認した。

2. 並列計算機 ADENART に対して ADETRAN 4 の処理系を開発し、さらに a) ADETRAN 4 プログラムを商用並列計算機の VPP-FORTRAN プログラムへ変換するプリプロセッサ、および b) ADETRAN 4 プログラムを FORTRAN 90 プログラムと通信ライブラリ MPI とによるプログラムへ変換するプリプロセッサを開発し、広範囲の並列計算機に ADETRAN 4 プログラムを移植する事を可能とした。

3. 分散メモリ並列計算機上で、幅付サイクリック分割方式によってメモリーマッピングを行なって行列の LU 分解を行なう場合に、行列サイズ、プロセッサ数、ブロック幅によって計算時間がどのように変化するかを見積もる式を与え、2 つの並列計算機上で計算実験を行なってその妥当性を確認し、計算時に決めるブロック幅の目安を与えることに成功した。

4. ハウスホルダー変換の並列プログラムを開発し、その計算時間を見積もる式を導いて、実験による実測結果と比較し、有効性を確認した。

5. 対称三重対角行列の固有値計算法としての divide and conquer 法における分割数を 2 から 3 に拡張するアルゴリズムを提案し、従来のものと比較して約 1.4 倍高速であることを実測した。

6. 並列計算機 ADENART 上で、交互操作に基づき、NAS パラレルベンチマークプログラムの並列化と性能評価をおこない、分散メモリ並列計算機で十分にチューニングされ、当時当該ベンチマークの標準とされた結果とほぼ同程度の結果を得て、手法の有効性を確認した。

7. 粒子プラズマコードについて、複数の交互方向 FFT 操作をグループに分けて同時に行なうものと、領域分割と粒子分割による並列化が有効であることを示した。

以上要するに、本論文は並列処理プログラム言語 ADETRAN 4 の処理系を開発し、線形計算と応用プログラムの並列化、性能評価を通して、交互操作に基づく並列処理プログラム開発法の有効性を明らかにしたものであり、学術上、実際上寄与するところが少なくない。よって本論文は博士(工学)の学位論文として価値あるものと認める。また、平成 12 年 1 月 7 日、論文内容とそれに関連した試問を行なった結果、合格と認めた。