

氏 名	まつ だ もと ひこ 松 田 元 彦
学位(専攻分野)	博 士 (工 学)
学 位 記 番 号	論 工 博 第 3450 号
学位授与の日付	平 成 11 年 7 月 23 日
学位授与の要件	学 位 規 則 第 4 条 第 2 項 該 当
学位論文題目	データ並列計算のためのオブジェクト指向ライブラリと通信機構の設計

論文調査委員 (主 査) 教 授 湯 淺 太 一 教 授 富 田 眞 治 教 授 上 林 彌 彦

論 文 内 容 の 要 旨

クラスタ計算機上でデータ並列計算が行なわれる機会が増えたが、その場合ハードウェアの汎用品化に従いソフトウェアにはポータビリティが要求される。その解決としてデータ並列計算環境をライブラリとして提供することが行なわれる。実現には、データ並列計算を抽象的に記述可能にする C++ 言語ライブラリとデータ転送を行なう通信ライブラリが使用される。ただし、C++ 言語ライブラリではコンパイラのような最適化が行なわれないため非効率であり非実用的であった。また、通信ライブラリはメッセージ通信を基本としておりデータ並列計算に最適化されていなかった。

本論文は、クラスタ計算機上の高性能データ並列計算環境の提供を目標とし、C++ 言語ライブラリの非効率部分に関しては、オブジェクト指向機能による改善方法とその成果を利用するライブラリ構築方法について、また、通信ライブラリに関しては、データ並列計算に最適化した通信を実現するためにハードウェア機能を活用する方法について論じている。本論文は、これらライブラリの高性能化に関する研究成果をまとめたものであり以下の 7 章から構成されている。

第 1 章は序論であり、本研究を概観し研究の背景および目的を述べている。

第 2 章は準備であり、後章の説明に必要な C++ 言語の機能と標準ライブラリおよびデータ並列計算の実装に関する一般的な事項について概説している。

第 3 章は C++ 言語ライブラリによるデータ並列計算における主な問題である一時変数の発生に対して、「テンプレート・クロージャ」の手法を提案する。この手法はオブジェクト指向言語の型パラメータ機能を利用する解決方法であり、関数のネスト表現を型のネスト表現に反映することに基づいている。この手法は簡単な例題に対して効率を約 80% 改善できることが示される。また、この手法を C++ 標準ライブラリ STL に応用することで、ネストしたデータ構造を直接操作可能にする拡張を示す。

第 4 章は前章の効率化手法を含めオブジェクト指向機能の活用により性能を改善したデータ並列計算ライブラリ「OBP-Lib」の設計を示す。まず、アレイ計算ライブラリとして、既存のデータ並列言語である C* のエミュレーションを示す。ここでは前章の手法を用いるとともに、オブジェクト指向の型ディスパッチ機能を使った通信式の効率化を用いている。また、データ並列計算として重要な Fortran 90 のアレイ表記のサポート方法についても示す。次に、行列計算を提供する行列 / ベクタ・ライブラリの実現方法について示す。ここでは反復解法などの高レベルな汎用アルゴリズム・ライブラリの提供を可能にしている。

第 5 章は OBP-Lib の性能評価について述べる。まず、C* 言語エミュレーションに関して CM-5 上の商用コンパイラとの比較を行ない、ほぼ同等の性能が得られることを示す。つぎに Fortran 90 のアレイ表記に関しては、その性能とともに既存の最適化手法との比較を行ない、より広い範囲の式に対して効果があることを示す。汎用アルゴリズムの提供に関してはその抽象化によるオーバーヘッドが実用上十分小さいことを示す。

第 6 章はデータ並列計算に適した通信を実現する通信ライブラリ「NICAM」の設計を示す。計算資源を有効利用できるように、通信ハードウェアで提供される機能を活用して低オーバーヘッドな通信を実現する。また、データ並列計算で重要なバリア同期を高速に実現する方法を示し、従来のメッセージ通信による実装に比べて性能が高いことを示す。このバリア同期

の応用として、データ並列計算に現れる同期レイテンシを完全に隠蔽することが可能であることを示す。

第7章は結論であり、本論文で得られた結果について要約している。

論文審査の結果の要旨

クラスタ計算機上でデータ並列計算が行なわれる機会が増えたが、その場合ハードウェアの汎用品化に従いソフトウェアにはポータビリティが要求される。その解決としてデータ並列計算環境をライブラリとして提供することが行なわれる。ただし、ライブラリではコンパイラのような最適化が行なわれないため非効率になる部分が存在する。本論文は、ライブラリの高性能化を目標に研究した成果についてまとめたものであり、得られた主な成果は次のとおりである。

1. C++ 言語でデータ並列ライブラリを実装する場合に発生する一時変数の問題においては、型パラメータ機能を使う関数合成の表現によってコンパイル時に静的に展開可能にする一時変数除去手法を提案した。

2. データ並列ライブラリの通信式においては、型ディスペッチ機能を使用する規則的通信パターン検出による最適化、およびアレイ・セクション表記による近傍計算に対する一時変数除去手法の拡張を示した。

3. データ並列計算の汎用アルゴリズム・ライブラリにおいては、その実現方法の提示と、その記述に抽象化ペナルティが小さく性能上問題のないことを示した。

4. データ並列計算に適した通信ライブラリにおいては、データ並列計算ではデータ転送オーバーヘッドと同期処理レイテンシの低減が重要であることに注目し、プログラム可能な通信ハードウェアを活用することによってこれらを低減する設計方法を提案した。

5. データ並列ライブラリにおける通信ライブラリの応用においては、通信とメモリ管理を統合することで同期レイテンシを完全に隠蔽する方法を示した。

以上要するに、本論文はクラスタ計算機におけるデータ並列計算の高性能化に関する技術を開発し、それらの有効性を示したものであって、得られた結果は学術上、實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11年5月19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。