

氏 名	か の う やすし 加 納 健
学位(専攻分野)	博 士 (情 報 学)
学位記番号	論 情 博 第 3 号
学位授与の日付	平 成 12 年 7 月 24 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	並列計算機のプロセッサ間通信に関する研究

論文調査委員 (主 査)
教授 富田 眞 治 教授 湯 淺 太 一 教授 岩 間 一 雄

論 文 内 容 の 要 旨

ベクトル型スーパーコンピュータの高速化に限界が見え始め、大規模並列コンピュータに対する期待が高まっている。しかしながら、並列処理を効率よく行なうことは、記憶構造が集中化され、1次元ベクトル処理でプログラム実行されるベクトルプロセッサと比べると極めて難しく、性能を十分に出せない場合も多い。並列処理の効果を低下させる大きな要因の1つにプロセッサ間通信のオーバーヘッドがある。プロセッサ間通信のオーバーヘッドを削減するには、並列プログラムの書き方やハードウェアのアーキテクチャなど、ソフトウェアとハードウェアの両方からのアプローチが必要である。

本論文は、プロセッサ間通信のオーバーヘッドを削減して、並列処理効果を向上させるための方法をソフトウェアとハードウェアの両方から多数提案したものであり、以下の章から構成されている。

第1章では、並列処理の効果を減少させるさまざまな要因について述べ、本研究の主要なテーマを列挙している。

第2章では、近年の商用および実験用並列コンピュータについて、プロセッサ間通信の観点からサーベイを行なっている。

第3章と第4章では、プロセッサ間通信のオーバーヘッドを削減するさまざまな並列処理方式を提案している。有限要素法による非線形変形解析を応用例として、並列コンピュータ Cenju と Cenju 2 を使った並列処理方式とその評価について述べている。バッファを使うことにより通信と計算の時間的な制約を取り除く方法、不要なプロセッサ間通信を削減する方法、1ワード転送をハードウェアの得意なブロック転送に変換する方法などを提案し、評価結果からその有効性を示している。たとえば、Cenju 上での有限要素法の剛性行列作成部分や線形求解では64台のプロセッサでおのおの49倍、38倍の高い台数効果をj得ている。また、プロセッサへの処理とデータの割り当てをプロセッサ間通信が発生しないように行なうことにより、プロセッサ間通信自体を削減できることを示し、性能に対するその効果(64台で60倍)も明らかにしている。

第5章では、ニューラルネットワークをシミュレートするための専用ハードウェアである Neuman に必要なアーキテクチャの提案をしている。特に粒度の細かなプロセッサ間通信に対して必要なハードウェア支援に関して述べている。特に、プロセッサ間ネットワークでのマルチキャストと同期というプロセッサ間通信のオーバーヘッドを削減するためのネットワークの機能を提案している。さらに、これらの機能の有効性をソフトウェアシミュレーションによって示している。

第6章と第7章では、汎用の並列コンピュータのために必要なプロセッサ間通信のハードウェアについて提案している。まず、第6章ではOSを介さないプロセッサ間通信であるユーザレベル通信の有効性を並列計算機 Cenju-3 を使った実験を行なって示した。たとえばMACHマイクロカーネルをベースとしたシステムOSではシステムコールでの通信レイテンシ27.1 μ sec に対しユーザレベル通信では11.75 μ sec と大幅な性能改善ができることを示している。また、宛先プロセッサやアドレスの保護、キャッシュ一貫性制御など、ユーザレベル通信を実現するために必要なハードウェアの機能を示した。その実験を踏まえて、第7章では、キャッシュ一貫性制御の導入、アドレス変換機構による送受信バッファコピーの削減、マルチタスク対応のための通信機構の多重化など、次機種である並列コンピュータ Cenju-4 のメッセージ通信に必要なハードウェアを提案している。Cenju-4 のネットワークには第5章で提案したネットワークでのマルチキャストと同期の機能も実現されている。また、これらのハードウェア方式が有効なことを実機を使って評価し、良好な結果を得ている。

第8章では、本研究の結論と今後の課題について述べている。

論文審査の結果の要旨

コンピュータの性能を高める方法として並列処理が重要視されている。本論文は、並列処理の効果を低下させる要因の1つであるプロセッサ間通信のオーバーヘッドを削減するための並列処理の方法と必要となるハードウェアの機能を提案し、商用並列コンピュータとして実現し、それらの方法の効果を評価した結果についてまとめたものであり、得られた成果は以下の通りである。

1. プロセッサ間通信のオーバーヘッドを削減する並列処理方式の提案

1ワード転送をブロック転送にする方法など並列コンピュータのアーキテクチャと合致した、プロセッサ間通信のオーバーヘッドを削減する並列処理方式と、プロセッサへの処理とデータの割り当てをプロセッサ間通信が発生しないように行なうことによりプロセッサ間通信自体を削減する方法を種々示している。たとえば、有限要素法の剛性行列作成部分や線形求解では64台のプロセッサでおおの60倍、38倍の高い台数効果を得ている。

2. プロセッサ間通信のオーバーヘッドを削減するためのハードウェア機能の提案粒度の小さいプロセッサ間通信を高速に処理するための機能、ネットワークによるマルチキャストや同期の機能、ユーザレベル通信に必要な情報の保護機能や通信機構の多重化など多数のハードウェア機構を提案している。

3. 商用並列コンピュータ Cenju-4 開発による有効性の検証

先に述べた様々な方式や機構を実装した商用並列コンピュータ Cenju-4 を開発し、実機によるプロセッサ間通信の評価を行った結果、提案したユーザレベル通信機構により、通信のレイテンシの削減(4.9マイクロ sec 秒)とスループットの向上(168 M バイト/秒)ができることを示した。システムコールのオーバーヘッドは13 μ sec であり、ユーザレベル通信によって大幅な性能改善がなされており、実用コンピュータとして十分な性能を有している。

以上、本論文は商用並列コンピュータ Cenju-4 開発までの長年のプロセッサ間通信の高速化についてまとめたものであり、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(情報学)の学位論文として価値のあるものと認める。

また、平成12年6月29日、論文内容とそれに関する事項について試問を行なった結果、合格と認めた。