

## 審査の結果の要旨

論文提出者氏名 堀江 健志

本論文は、「並列計算機における相互結合網の高速化の研究」と題し、9章からなる。計算機処理に対する高速化の要求は留まる所を知らない。その要求を満たすための重要な手法が並列計算機であり、多数の計算機を結合することによって大規模な処理性能を実現するが、その性能向上のキーは計算機の単体性能の向上と、計算機を接続する相互結合網の性能向上である。本論文は、並列計算機の中でも大規模な性能を実現する上で中心的な役割を果たす、分散メモリ型並列計算機の相互結合網の高速化手法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「並列計算機と相互結合網」は、対象とする分散メモリ型並列計算機の構成とそのための相互結合網について述べたもので、結合網の機能を物理層、リンク層、トランスポート層の3層に分けて検討し、それぞれの層における課題を論じて、本論文で取り上げる4つの課題を示している。

第3章「構造化チャネルルーティング方式」は、一つ目の課題であるワームホールルーティングでのデッドロック回避と高スループットの実現について論じたもので、ワームホールルーティングに構造化バッファプールのアルゴリズムを取り入れた構造化チャネルを提案することにより、それを実現したものである。更に、ネットワークとして二次元トーラスを用いた高並列計算機 AP1000 上にその方式を実装し、それがネットワークの持つ最大の転送スループットを出すことを実験により確かめている。

第4章「トーラスネットワークにおける最適全対全通信方式」は、多くの応用で用いられる通信パターンの中でよく用いられ、また、最も多くの通信転送量を必要とする全対全通信を取り上げ、その最適な方式を提案したものであって、これが第二の課題の解決を与えている。本アルゴリズムは一次元から多次元のトーラスネットワーク、長方形形状にも適用可能で、並列計算機 AP1000 にこれを実装し、チャネルの転送ピーク性能が達成可能なことを示している。

第5章「演算と通信の性能バランス」は、総合的な処理性能向上には、単なるネットワーク性能だけではなく、メッセージ処理性能とネットワーク性能を含む通信性能の向上が不可欠であることを指摘し、CPU性能と通信性能のバランスを定量的に理解して分散メモリ計算機的设计指針を与えるために、メッセージレベルシミュレータ MLsim を開発して、これらの性能が応用性能にどの程度影響を与えるか検討した結果について述べている。その結果、CPU性能を上げてもメッセージ処理性能を向上させないと著しく応用性能が劣ること、通信性能が1/4となると応用性能が1/2となることなどいくつかの知見を与えている。第6章「メッセージ通信方式I: 通信と演算のオーバーラップと直接メッセージ受信」は、第

三の課題であるメッセージ処理時間を削減するための手法について論じたもので、メッセージ処理時間のうち、削減が困難であったメッセージ長に比例したオーバーヘッドを削減する手法を与えている。すなわち、演算と送信とをオーバーラップさせる方法、直接メッセージ受信手法、受信と演算とのオーバーラップの3つの手法で、これらの効果を前章のシミュレータを用いて定量的に評価している。その結果、送信と演算のオーバーラップは余り効果がないが、直接メッセージ受信の効果は応用問題に大きく依存し、また、受信と演算のオーバーラップは応用性能に大きな影響を与えることを示している。

第7章は「メッセージ通信方式 II: 並列コンパイラが必要とする通信機能のサポート」で、分散メモリ型並列計算機が広く使われるために、ハードウェアの詳細を意識しないでプログラミングが行えるための支援を論じたものである。本章では、HPF、VPP Fortran を AP1000 に実装する場合を例題に取り上げ、並列コンパイラで生成されたコードを効率よく実行するために必要となる通信機能を検討し、それがダイレクトリモートデータアクセス、ストライドデータ転送、通信終了判定、バリア同期とグローバル演算であることを明らかにした。また、これらの内、リモートデータアクセスと通信終了判定は、PUT/GET オペレーションをハードウェアによってサポートすることによって高速化することが可能で、大変有効であることをシミュレーションによって示している。

第8章は「研究の位置づけ」であり、上記研究の成果を他の同種の研究と比較してそのオリジナリティを主張するとともにその意味合いを述べたものである。

第9章は「結論」である。

以上、これを要するに本論文は、分散メモリ型並列計算機の性能向上に本質的な相互結合網の高速化手法について論じ、それに必要な種々の要素方式を提案し高並列計算機 AP1000 に実装することによってその有効性を明らかにしたもので、情報工学上貢献するところ少なくない。

よって、本論文は、博士（工学）の学位請求論文として合格と認められる。