

氏名	中島 耕太
授与した学位	博士
専攻分野の名称	工学
学位授与番号	博甲第3639号
学位授与の日付	平成20年 3月25日
学位授与の要件	自然科学研究科産業創成工学専攻 (学位規則第5条第1項該当)
学位論文の題目	計算機間的高速データ転送制御の機構に関する研究
論文審査委員	教授 谷口 秀夫 教授 山崎 進 教授 名古屋 彰

学位論文内容の要旨

1990年代より、計算機を結合する通信路の高速化が著しい。これに対し、計算機を構成するCPU、メモリ、I/Oバスといった各ハードウェア性能も向上している。しかし、通信路性能と計算機を構成する各ハードウェアの性能の向上速度は異なるため、両者の性能バランスは大きく変化している。通信路性能の向上の結果、CPU性能やメモリアクセス性能が相対的に低下し、基盤ソフトウェア処理性能が相対的に低下している。したがって、十分に高い計算機間のデータ転送性能を達成するためには、基盤ソフトウェアとハードウェアの適切な処理分担を明らかにする必要がある。また、データ転送処理を用いる並列アプリケーションにおいては、データ転送処理の高速化により、アプリケーション処理とデータ転送処理の性能バランスが変化している。したがって、十分に高いアプリケーション性能を達成するためには、アプリケーションが行うソフトウェア処理も含めた適切な処理分担を明らかにする必要がある。

そこで、基盤ソフトウェアとハードウェアの性能バランス変化に対し、基盤ソフトウェア処理を工夫する方法を明らかにする。具体的には、データ転送処理の基盤ソフトウェア処理である割込み処理のオーバーヘッド軽減化手法を提案する。また、データ転送処理とアプリケーション処理の性能バランス変化に対し、処理分担を工夫する方法を明らかにする。具体的には、並列アプリケーションで利用される転置を伴うデータ転送処理の高速化手法を提案する。また、並列環境での典型的なサービスの一つである仮想マシン移動処理の高速化手法を提案する。

割込み処理オーバーヘッド軽減のため、複数の割込みを一括処理することで割り込み処理の前後で実行される前処理と後処理のオーバーヘッドを削減し、さらに割込み処理本体のキャッシュヒット率を向上させる一括割込み処理機構を提案し、その効果を実証した。これにより、基盤ソフトウェア処理の工夫により、基盤ソフトウェア処理の性能問題を軽減できることを示した。

また、計算機間における転置を伴うデータ転送処理の高速化のため、限られたメモリ資源を用いてI/Oバス性能を最大化し高い性能を達成するNIC上の転置処理ハードウェア機構を提案し、その効果を実証した。これにより、従来ソフトウェア処理である転置処理のハードウェア化によりアプリケーション処理の性能問題を軽減できることを示した。

そして、仮想マシン移動処理の高速化のため、仮想マシン移動処理に対し、データ転送処理における基盤ソフトウェア処理を軽減するハードウェア機構であるRemote Direct Memory Accessを適用し、さらに削減した基盤ソフトウェア処理時間を利用した仮想マシン移動処理に伴うページマップ処理時間の短縮手法を提案し、その効果を実証した。これにより、ハードウェアの特性を利用することでアプリケーション処理の性能問題を軽減できることを示した。

これらの事例より、高いデータ転送性能やアプリケーション性能を達成するためには、ハードウェア性能のバランスを考慮し、ハードウェア処理とソフトウェア処理において適切な処理分担を行い、両者を融合させる必要があることを示した。

論文審査結果の要旨

ハードウェア技術の進歩により、通信路の高速化と計算機の高性能化が進んでいる。しかし、両者の性能向上比率は同様でないため、両者の性能が相互に深く関係する計算機間データ転送を高速化することは容易ではない。

論文提出者は、計算機間の高速なデータ転送を可能にするため、基盤ソフトウェアとハードウェアの適切な処理分担を明らかにし、さらに、応用プログラム（AP）から見ても計算機間の高速なデータ転送を可能にするために、AP処理も含めた適切な処理分担を明らかにしている点が素晴らしい。

まず、基盤ソフトウェアとハードウェアの性能バランス変化に対し、基盤ソフトウェア処理を工夫する方法として、データ転送処理の基盤ソフトウェア処理である割込み処理のオーバヘッド軽減化手法を提案している。さらに、データ転送処理とAP処理の性能バランス変化に対し、処理分担を工夫する方法として、並列APで利用される転置を伴うデータ転送処理の高速化手法を提案している。また、並列環境での典型的なサービスの一つである仮想マシン移動処理の高速化手法を提案している。

以上のように、本研究は、高いデータ転送性能やAP性能を達成するために、ハードウェア性能のバランスを考慮してハードウェア処理とソフトウェア処理において適切な処理分担を行い、両者を融合させる必要があることを示しており、情報工学に寄与するところが大きい。よって、本論文は博士（工学）の学位論文に値すると認める。

なお、論文発表会では、適切な説明が行われ、また質疑に対する応答も適切であった。これにより、十分な学力を有することが確認でき、研究者として自立して研究活動を行うに必要な能力を有することも認められた。