

システムエリアネットワークにおけるルーティングに関する研究

鯉 淵 道 紘

論文の内容の要旨

PCクラスタのPC間やストレージシステムなどの高速I/Oシステム間を接続するシステムエリアネットワーク(SAN、サーバエリアネットワーク)は、最近の高性能並列分散システムの性能向上の鍵となっている。SANは、専用の高速スイッチ群と大容量のpoint-to-pointリンクを用いて構成されるが、ローカルエリアネットワーク(LAN)と異なり、高速なダイレクトメモリ通信を行うためにバーチャルカットスルー方式(VCT方式)もしくはワームホール方式(WH方式)によりパケットを転送する。そのため、SANでは効率的なデッドロックフリールーティングが必要となる。しかし、SANは並列計算機の結合網と異なり、不規則なトポロジをとることが多いため、経路保証とデッドロックフリーの両立が難しい。そのため、SANにおける既存のルーティングの多くはトポロジ上へスパニングツリーのマッピングを行ない、ツリー構造が持つ連結性および非循環性の特性を利用している。しかし、この方法では単純にツリー構造を利用したことにより、(1)非最短経路が発生する、(2)トラフィックに偏りが生じやすい、という問題を持つ。

本論文では、これらの問題を解決し、ルーティング技術における様々な側面から、SANのバンド幅を向上させる技術の開発を目的とする。

まず、不規則なトポロジのSANにおいて(デッドロック除去のための)パケット転送制限を分散させる left-up first turn(L-turn)ルーティングと right-down last turn(R-turn)ルーティングを提案する。L-turnルーティングとR-turnルーティングは動的な経路選択ができる適応型アルゴリズムであり、物理チャネルを時分割で共有する仮想チャネル、バッファの追加なしにあらゆるトポロジのSANに適用することができる。L-turnルーティングとR-turnルーティングは、SANを従来の1次元ではなく、2次元座標(垂直方向と水平方向)を持つ有向グラフにマッピングする。そして、L-turnルーティングとR-turnルーティングは4つの論理方向を使ってパケットの転送制限を分散させる。確率モデルシミュレーションの結果、仮想チャネルを持たないSANにおいてL-turnルーティングは最大80%のスループット向上が確認された。

次に、適応型ルーティングにおける出力選択機構(output selection function: OSF)について検討を行う。動的に複数経路の中から使用する経路を選択することができる適応型ルーティングはルーティング機構と選択機構により構成される。ルーティング機構では適応型アルゴリズムが出力チャネルの候補の集合を定める。一方、選択機構ではOSFがその中から実際にパケットの出力チャネルを決定する。そのため、適応型ルーティングのスループットを向上させるためには適応型アルゴリズムと同様にOSFについても基礎的な技術を確立させる必要がある。そこで、仮想チャネル間、物理チャ

ネル間のトラフィックの分散を考慮するload-dependent選択機構(LDSF)、LRU選択機構およびminimal multiplexed and least recently used(MMLRU)選択機構を提案する。この3つのOSFでは各スイッチが各自の物理チャンネルと仮想チャンネルの利用状況に基づいてトラフィックの混雑状況を判断する。確率モデルシミュレーションの結果、提案した3つのOSFは安定した性能を示し、有効であることが確認された。

最後に、不規則なトポロジのSANにおいて仮想チャンネルを用いてデッドロックの除去とスループット向上の両方を達成するdescending layers(DL)ルーティングを提案する。DLルーティングは静的に経路を定める固定ルーティングであり、仮想チャンネルを用いてネットワークを同一トポロジのサブネットワークの層に分割するアイデアを基にしている。DLルーティングはサブネットワーク間の切り換えにより非最短経路の割合を減らし、かつ、経路を分散させることができる点が特徴である。確率モデルシミュレーションの結果、DLルーティングは仮想チャンネルを用いたSANにおいてパケットの平均ホップ数を減らし、スループットを最大266%向上させることが確認された。

以上