

論文の内容の要旨

論文題目 超高速大容量セルフルーティングスイッチの研究

氏名 漆谷 重雄

21世紀を迎え、本格的なブロードバンドサービスの幕開けが間近に迫ってきている。インターネット系サービスに代表されるデータ系トラフィックの急成長を受けて、経済的でスケラブルな通信ネットワークが強く求められている。その中核となる装置は、ATM (Asynchronous Transfer Mode)システムや高速IP (Internet Protocol)ルータであり、2005年には数テラビットクラスのシステム容量が必要になると予想されている。

本論文は、このような大容量システムを実現するための超高速大容量セルフルーティングスイッチに関しての研究成果をまとめたものである。技術の進歩に依存しない汎用性の高いスイッチアーキテクチャの検討を行い、任意規模に対する高スループット、低セル損失率、セル順序保証、マルチキャストを実現する新しいセルフルーティングスイッチアーキテクチャの提案を行っている。また、システムの実現性を左右するLSI化に対するアーキテクチャの柔軟性を証明するとともに、LSI試作を通じて全機能の高速動作の検証を行っている。さらに、本アーキテクチャの適用範囲の広さを示すために、空間分割型スイッチの一種類であるフリースペースフォトニクススイッチへの展開例についても示している。

第1章では、ノードシステム全体の諸機能を示し、それらの機能配備に関する考え方を明らかにする。また、従来のスイッチアーキテクチャの問題点を示し、本論文が目指す研究領域を明らかにする。

第2章では、本論文全体に亘って基本となる、新しいセルフルーティングスイッチアーキテクチャ、再ルーティング型セルフルーティングスイッチを提案する。本スイッチは、図1に示すようにバンヤン網と呼ばれる基本スイッチ網を各段から形成し、セルがリンク競合を起こしても次の段からの再ルーティングにより目的の出回線位置に到達させることに特徴がある。出回線に通じるバイパスリンクに対する競合(出回線競合)に対しては各段にバッファを配備してスループットを高め、また、カットスルー技術ならびにタイムスタンプ技術を用いることでパケットの到着順序を保証することができる。スイッチの特性を解析ならびにコンピュータシミュレーションにより評価を行い、任意の規模において優れた特性(高スループット、低セル損失率)が得られることを明らかにした。また、スイッチ規模に対する段数の増加傾向を求めた結果、図2に示すように、従来のスイッチ網に比べて少ない段数で優れた特性が得られることを明らかにした。

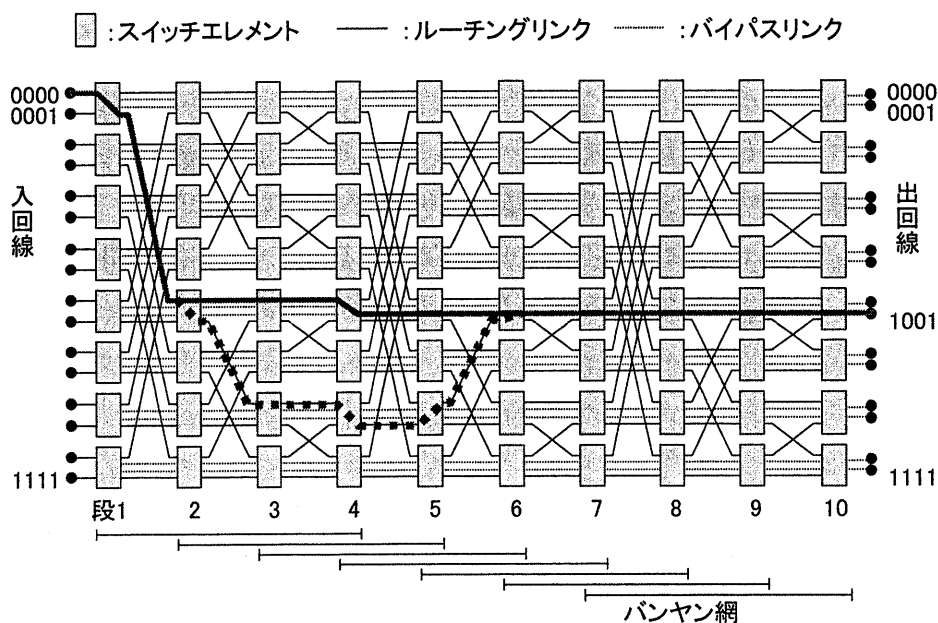


図1 再ルーティング型セルフルーティングスイッチ

第3章では、上記のスイッチ網をマルチキャストスイッチ網に拡張する方法を提案する。図3に示すような $(n+1)$ -bitアドレッシングとアドレスインターバルによるコピーアルゴリズムを適用することで、コピーとルーティングを同一のハードウェア上で動作させ、従来のマルチキャストスイッチの問題点であったシステムとしてのハードウェア規模の増大、ヘッダ変換(コピーヘッダ→マルチキャストヘッダ)テーブル量の増大、セルの順序逆転、スループットの制限等を解決できることを明らかにした。また、コピースイッチとしての特性を解析ならびにコンピュータシミュレーションにより評価を行い、必要なセル損失率を満たすための段数は、ユニキャストの場合と比べて若干の増加で済むことを明らかにした。

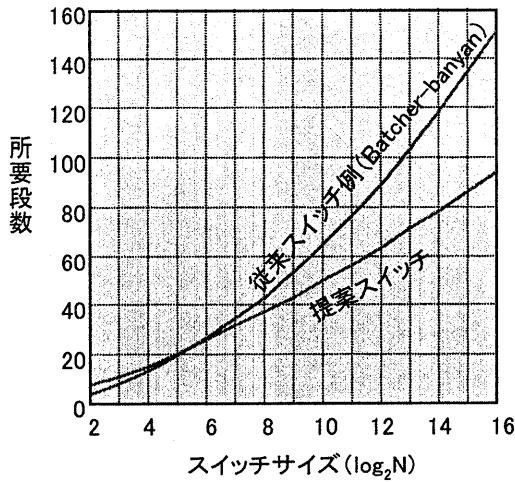


図2 所要段数(負荷0.9、セル損失率 10^{-9})

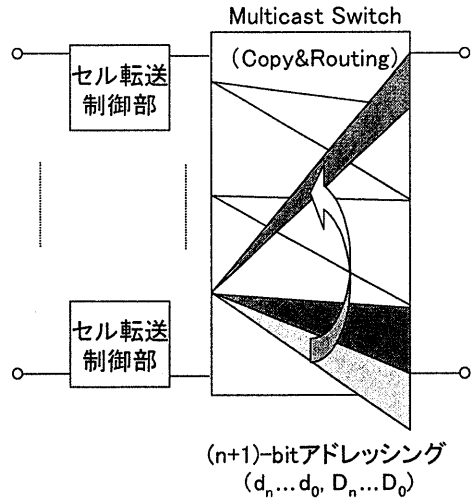


図3 マルチキャストのためのアーキテクチャ

第4章では、上記のスイッチ網の実用性を検証するため、LSI化に伴うリンク配線変更アルゴリズムを明確にするとともに、高速大容量LSIの試作例を示す。本スイッチでは、図4に示すような $2^s \times 2^s$ ($s \geq 2$)サブネットワークのLSI化により $2^n \times 2^n$ ($n \geq s$)の任意規模のスイッチ網を組み上げることができ、従来のように複数LSIを製造する必要がないことを証明した。また、図5に示すような 8×8 サブネットワークのLSIを試作し、全ての機能(マルチキャスト、リンク競合制御、タイムスタンプ比較等)が正常に動作することを確認し、また、スループットの試験において、40Gbit/s (5Gbit/s 8×8)という優れた結果が得られることを示した。また、現状のLSI技術によるスイッチ網の実現規模を推定し、テラビットスイッチ実現の見通しを示した。

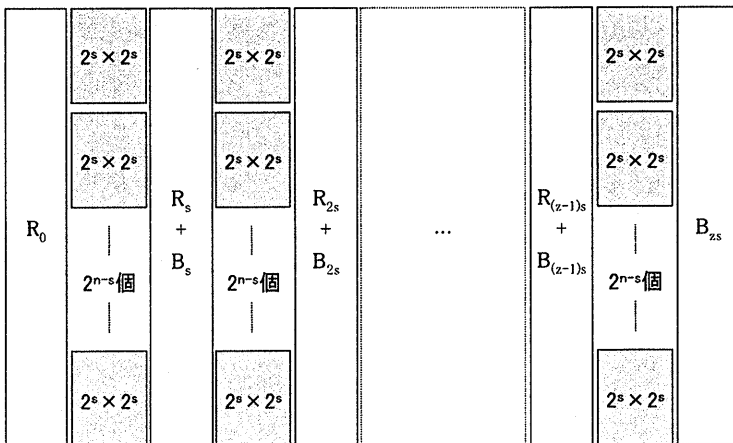


図4 サブネットワークによるスイッチ網の構成

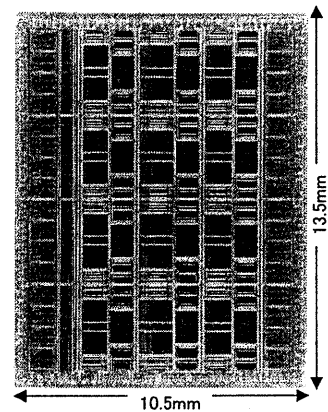


図5 8×8 サブネットワークLSI

第5章では、再ルーティング型スイッチアーキテクチャの汎用性を示すために、空間分割型スイッチの一種であるフリースペース型フォトニックスイッチへの展開例を示す。光スイッチ素子での実現を考慮した 2×2 のスイッチエレメントを用いた変形スイッチアーキテクチャならびにコネクション設定アルゴリズムを提案した。スイッチのブロック率特性を求め、少ないハードウェア量で低いブロック率を実現できることを明らかにした。また、現在入手可能な光素子による実現例として、図6に示すような液晶偏光制御素子と方解石複屈折板による構成例などを示し、本スイッチの実現性の高さを示した。

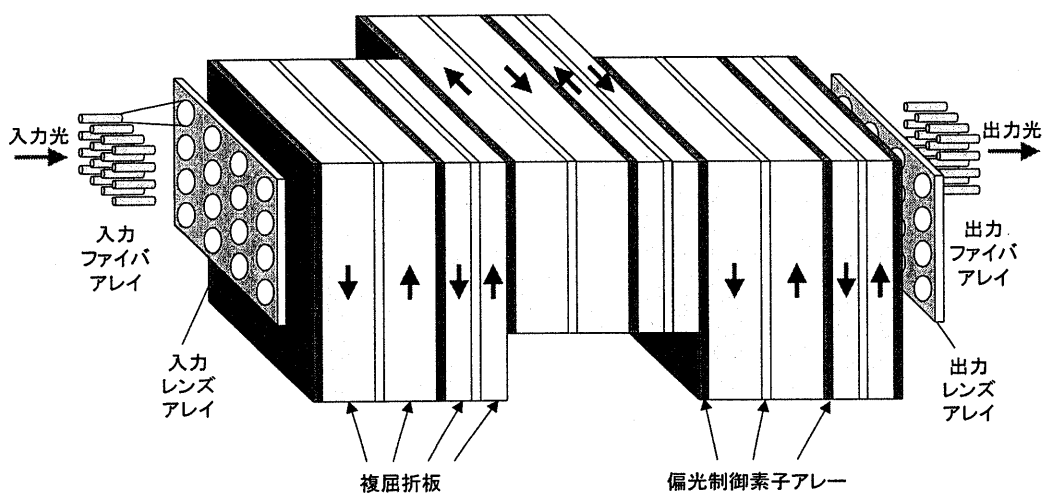


図6 偏光制御素子と複屈折板をもちいた光スイッチ構成例

第6章では、本論文で述べた内容の要点をまとめるとともに、今後の光ネットワーク時代における研究の方向性について言及する。

(以上)