

## ATM 通信方式における

## 多段バッファ型クロスコネクトスイッチ網に関する研究

## 学位論文内容の要旨

近年、将来の通信網のインフラストラクチャとなる B-ISDN(Broadband Integrated Services Digital Network)を実現する上で、ATM(Asynchronous Transfer Mode)通信方式がその最有力技術とみなされている。通信網の ATM 化には、端末・交換機・クロスコネクトといった通信に必要な全ての装置の ATM 対応化が必要である。B-ISDN では端末の通信速度が、現在の電話(64kb/s)から画像通信(数 10Mb/s)へと 3 桁上昇するわけであるから、クロスコネクトにおいても数 100Gb/s の容量を取り扱わなければならない。本研究は、数 100Gb/s の容量の ATM クロスコネクトシステムを実現することを目的とし、クロスコネクトシステムの中核となる ATM クロスコネクトスイッチ網、特に多段バッファ型クロスコネクトスイッチ網の構成法を追求し、世界で初めて ATM クロスコネクトシステムの満たすべき条件を満足するスイッチ構成法を明らかにしたものである。

ATM 通信方式は、情報をセルと呼ばれる固定長のブロックに分割して非同期多重化伝送する方式である。セルは、5 バイトのヘッダと 48 バイトの情報フィールドから構成される。網内での情報の転送は、ヘッダに含まれる宛先情報に従って、交換機やクロスコネクト内部のスイッチが外部からのソフトウェアの介在なしにスイッチングを行うセルフルーチングにより実現される。ATM は、既存のケット交換方式における通信容量の可変性と、回線交換方式における通信速度の高速性を取り入れた全く新しい転送方式であり、端末から単位時間あたりに送出するセルの個数を自由に变化させることにより任意速度の通信回線を提供可能としている。ATM クロスコネクトは、同一対地に向かう回線束からなるバスを単位とし、対地間に通信容量に応じて割り当てられるバスを伝送路へと収容するバス編集機能を実現する必要がある。また、伝送路やノードの障害に対しては、バスの網的切り替えにより復旧がなされるが、その際の高速バス切り替え機能を実現する必要がある。このような機能を実現するためには、クロスコネクトに接続される複数の入力リンクから同時に入力される複数のセルを、セル毎に出力すべき方路を選択して出力リンクへ導く機能を持ったスイッチ(ATM クロスコネクトスイッチ)が必要となる。クロスコネクトスイッチが満たすべき条件は次の通りである。(1) 数 100Gb/s の超大容量クロスコネクトが構成可能であると同時に、小容量クロスコネクトも同じアーキテクチャで実現可能であること。(2) スイッチ網は、セルフルーチング可能であること。(3) 最大規模の構成においても、特性として高スループット、低遅延時間が可能であること。(4) 入力リンクと出力リンクに空き容量が存在するならば、必ずそのリンクを使用するバスが設定可能であることを保証するノンブロッ

ク性を有すること。(5) スイッチ網の増設等において、サービス中断を生じない無瞬断増設が可能であること。(6) 現在の専用線でサービスされているような分岐サービス用のマルチキャストバスを実現可能であること。

本研究では、セルフルーチングスイッチとして知られているバンヤン網を基本的なスイッチネットポロジータンとし、バンヤン網に付加機能を加えて行く手法を採用した。バンヤン網は、2入力2出力の単位スイッチを多数、多段接続することで形成されるスイッチ網であり、出力ポートの番号(0… $N-1$ )を2進数表示したものをルーチングタグとしてセルに付加し、各単位スイッチがルーチングタグの1ビットでセルの出方路を選択していくことでセルフルーチングが実現可能となる性質を有している。このバンヤン網は、そのままではセルフルーチングは可能であるものの、ノンブロック性は有さず、スループットも低い。ノンブロック性を有し、スループットを高める改良としては、バンヤン網の前にセル毎にバンヤン網に入力されるポートをランダムに振り分ける機能を持つ分散網を配置し、バンヤン網の単位スイッチもセルが出力で競合を起こした際に待ち合わせ可能とするバッファを持たせることが有効であることが知られていた。この改良では、低遅延時間の実現や、無瞬断増設の実現が極めて困難であり、パケット交換用のスイッチとしては使用可能でも、ATMスイッチに適用することは不可能であった。本研究では機能付加の第一歩として、分散網としてバンヤン網と同じトポロジーのものが使用可能であることに着目して、バイパスという概念を取り入れたスイッチネットポロジータン”バイパスリンク付きバンヤン網”を提案した。このバイパスリンク付きバンヤン網に対する、セルフルーチング手法、無瞬断増設の可能性、遅延時間特性を明らかにし、前述の従来提案されている多段バッファ型スイッチ網構成よりも低遅延時間で動作することを示した。

次に、バイパスリンク付きバンヤン網をATMスイッチとして使用するための改良を試みた。分散網とルーチング網から構成される多段バッファ型スイッチ網では、同一のバスに属する個々のセルのスイッチ網内での通過経路が異なってくる。通過経路を分散することで、スループットの向上をはかっているわけであるが、逆に通過経路毎のバッファでの待ち合わせ時間が変動するため、セルの時間順序が逆転する可能性があり、ATMスイッチとして適用することはできない。この欠点を克服すべく、セルのヘッダにセルがスイッチ網に入力された時刻を示すタイムスタンプを付与し、スイッチ網内ではタイムスタンプの古いセルを優先的に処理することでセルの時間順序を保存する制御を新たに取り入れた。この改良型バイパスリンク付きバンヤン網に対する、セルフルーチング手法、無瞬断増設手法、遅延時間特性、セル損失率特性を明らかにし、ATMスイッチとして適用可能であることを示した。セル損失率特性を求めるに当たっては、タイムスタンプ制御を取り入れた新たなスイッチモデルと計算手法を提案し、従来手法よりも近似精度を向上させることを可能とした。

最後に、マルチキャストバスの設定手法と、超大容量クロスコネクタの構成可能性を示すための単位スイッチモジュール最適化の検討を行った。マルチキャストバスの設定手法としては、専用のセルコピー網を使用する手法が従来検討されてきているが、装置規模やセル転送遅延時間が増大してしまう欠点があった。本研究では、バイパスリンク付きバンヤン網の分散部・ルーチング部両方でバイパスを活用したセルのコピーを行うことで、装置規模を増大させることなくマルチキャストバスを設定可能であること、また遅延時間の増大が生じないことを明らかにした。

単位スイッチモジュール最適化においては、これまで適用してきた4入力4出力(内部スイッチとしては2入力2出力)モジュールが、多段接続時の遅延時間の増大・大容量化の際

の必要モジュール数の増大といった問題点を持つことから、これを解決すべく、単位スイッチモジュールの規模拡大時の構成手法を提案した。マルチキャストバスを含む場合のセルフルーチング手法、無瞬断増設手法、遅延時間特性、必要タイムスタンプ長を明らかにした。

以上、本研究の結果として、条件(1)～(6)を満たす多段バッファ型クロスコネクトスイッチ網の構成手法を確立することができた。

# 学位論文審査の要旨

主査 教授 小川 吉彦  
副査 教授 伊藤 精彦  
副査 教授 栃内 香次  
副査 教授 北島 秀夫

学位論文題名

## ATM 通信方式における

### 多段バッファ型クロスコネクトスイッチ網に関する研究

21世紀の通信網のインフラストラクチャとなるB-ISDNの実現のためには、ATM通信方式の採用が最有力である。この場合に、端末通信速度を現行の64kb/sから画像通信可能な数10Mb/sへと3桁程度飛躍的に上昇させる必要がある。これに伴い、クロスコネクトにおいても数100Gb/sの容量を取り扱はねばならなくなる。このために、クロスコネクトシステムの中核となるATMクロスコネクトスイッチ網には要求を満たすべく種々の厳しい条件が課せられることになる。

本論文は、これらの厳しい条件をクリアするATMクロスコネクトスイッチ網の構成法を追求することを目的にしたものである。

ATM通信方式は、情報をセルと呼ばれる固定長ブロックに分割し、セルのヘッダに与えられる宛先情報に従い、外部からのソフトウェアの介在なしにセルフルーチングする非同期多重化伝送方式である。B-ISDNのためのATMクロスコネクトスイッチ網に課せられる厳しい条件を要約すると、(1)数100Gb/sの超大容量クロスコネクト構成が可能であると共に小容量クロスコネクトも同一アーキテクチャで実現可能、(2)セルフルーチングなスイッチ網、(3)高スループットで低遅延時間動作、(4)ノンブロック動作、(5)無瞬断増設可能、(6)マルチキャストバスの実現可能、などである。

セルフルーチング性の良好なスイッチとしてはバンヤン網が知られている。著者は、これに付加機能を加えて行く手法で上記諸条件を全てクリアすることを試みている。バンヤン網に欠けるスループット性とノンブロック性の解決のために、

バンヤン網の前に入力をランダムに振り分ける機能を有する分散網の配置が既に提案されているが、低遅延時間性や無瞬断増設性を解決できず、ATMスイッチとしては不向きであった。このため、先ずバイパスリンク付きバンヤン網を新しく提案して、この問題点を解決しているのが大きな成果である。

次に、ATMスイッチに十分対処できるように、新提案のバンヤン網に幾つかの改良を試みている。まず分散網とルーチング網で構成される多段バッファ型スイッチ網内のセルの通過経路を、セルのヘッダに入力時刻を示すタイムスタンプを付与することで分散化を図った。この改良型バンヤン網のセルフルーチング手法、無瞬断増設手法、遅延時間特性、セル損失特性を理論的に解明し、その有用性を確認している。またマルチキャストバスの設定手法としては、改良型バンヤン網の分散部・ルーチング部の両方でバイパスを活用したセルのコピーを行うことで装置規模の増大なく可能なこと、さらに遅延時間の増大も生じないことを示し、これが従来手法では不可能であったことを強調している。最後に、超大容量クロスコネクットの構成のための単位スイッチモジュールの最適化を検討し、新しい規模拡大時の構成手法を提案している。

以上の研究結果により、ATMクロスコネクットスイッチ網に課せられる厳しい条件を全て満たした、多段バッファ型クロスコネクットスイッチ網の構成手法を世界に先駆けて確立することができた。

これを要するに、著者はB-ISDNのためのATM通信方式実現のために厳しい条件を課せられたクロスコネクットスイッチ網の構成手法を確立し、今後のハードウェア化へ大きな基礎技術を提供したものであり、通信工学および交換工学の発展に貢献するところ大なるものがある。

よって著者は、北海道大学博士（工学）の学位を授与される資格あるものと認める。