卒業論文

題目

ATMにおけるマルチキャスト通信に関する研究

指導教授

所 眞理雄 教授

慶應義塾大学

理工学部 電気工学科

1995年度

69210436

三輪 泰孝

論文要旨

学科	電気工学	学籍番号	69210436	氏名	三輪 泰孝

(論文題目)

ATM におけるマルチキャスト通信に関する研究

近年、電子会議やビデオ・オン・デマンドに代表されるマルチメディアアプリケーションが急速な広がりをみせている。これらのアプリケーションの実現には、高速ネットワークの利用とサービスの質 (QoS) の保証、そして効率的なマルチキャスト通信を行うことが必須となる。これらの要求に対して、広い帯域幅を持ち資源予約が可能な ATM が注目を集めている。しかし効率的なマルチキャスト通信を行うには、ATM は必ずしも適したネットワークであるとは言えない。

そこで本論文では、個々のアプリケーションの特徴やそれぞれのユーザの利用形態に応じた資源予約を行うため、以下の 3 つのマルチキャストサービス形態を提案する。

- General Service
- Shared Service
- Channel Selection

これらのマルチキャストサービス形態を実現するために、マルチキャストサーバを用いる。マルチキャストサーバは以下の機能を提供する。

- Virtual Connection の多重化機構
- Virtual Connection の接続機構

これにより ATM においても、効率的で柔軟性のあるマルチキャスト通信のコネクション設立が可能となる。本論文では、いくつかの ATM ネットワークのトポロジモデルに対して、マルチキャストサーバを用いる場合と用いない場合について、それぞれのマルチキャストサービス形態に対する規模拡張性、マルチキャストグループの動的なメンバシップの変更に関するコストの評価を行う。そして、ATM におけるマルチキャストサーバを用いたマルチキャスト通信の有効性及び問題点を示す。

慶應義塾大学理工学部

◎ 内容の要旨は約 600 字

Summary of Bachelor's Thesis

Course	Student No.	SURNAME, Firstname
Electrical Engineering	69210436	MIWA, Yasutaka

Title

A Study for Multicast Communications on ATM Network

In recent years, multimedia applications such as conferences on computer networks or video-on-demand systems have rapidly generalized. These applications inherently need high-speed networks with guarantee of QoS (Quality of Service), and effective multicast communications. ATM (Asynchronous Transfer Mode) has taken considerable attention because it has preferable features, especially, high-band capacity and capability of resource reservation. However, it is not necessarily suitable for multicast communications.

In this study, we suggest three architectures for multicast services in order to clarify the strategy for making efficient resource reservation according as the characteristics of each application and the needs of every user. They are;

- General Service
- Shared Service
- Channel Selection

We realize each of above, using multicast server, which provides the following functions:

- Multiplexing mechanism of Virtual Connections
- Connecting mechanism of Virtual Connections

With these functions, we will be able to set up the flexible connections efficiently for multicast communications even on ATM. Assuming some topological models of ATM network with and without multicast servers, we evaluate scalability of the architectures, and also estimate costs spent for changing menberships within the multicast group dynamically. Finally, we show the effectiveness and the problems of our strategy for multicast communications over ATM base on multicast servers.

Faculty of Science and Technology, KEIO UNIVERSITY

⊚ The contents of English summary should be written in about 300 words.

目次

図 目 次

表 目 次

第 1 章

序論

1.1 はじめに

近年の計算機の普及は目覚ましく、従来のように複数の利用者が一つの計算機を共有するのではなく、各個人が計算機を所有し、それを独占的に利用する形態が取られるようになってきた。そしてネットワーク技術の進歩及びネットワーク基盤の充実を背景として、多数の計算機がネットワークに接続された分散環境における利用が一般的になりつつある。

一方、計算機の処理能力の高速化・高機能化やネットワークの帯域幅の増加により、計算機によって音声や映像を含めたデータを相互に通信することが可能となった。これにより、計算機上での電子会議やビデオ・オン・デマンドシステム、遠隔授業システムといったマルチメディアアプリケーションが出現している [27, 9, 19, 20]。

音声や映像を取り扱うマルチメディアアプリケーションの実現のために、考慮すべき点は以下の通りである [16]。

1. サービスの質 (QoS) の保証
2. 高速ネットワークの利用
3. 効率的なマルチキャスト通信

音声や映像などの連続メディアを扱うには、単位時間毎に一定量のデータを取り扱うことができる保証が必要である。また電子会議などのシステムでは、議論の進行を妨げないために、少ない遅延で一定時間内にデータを相手に届ける必要がある。これらを実現するには、送信者及び受信者それぞれにおける計算資源、通信資源の確保が重要となる。さらに音声や映像はデータ量が膨大であるため、より高速なネットワークの利用が必須となる。またマルチメディアアプリケーションの特徴として、発信者と受信者が一対一ではなく、一対多あるいは多対多の形態を取ることが多い。こうした通信形態をマルチキャスト通信と言う。マルチキャスト通信では一対一通信の場合に比べ、はるかに多くの通信資源を必要とする。従って、効率的なマルチキャスト通信を行うため、利用形態に合わせた資源予約を行うことが必要になると考えられる。

このようなマルチメディアアプリケーションのためのネットワーク技術として、近年ATM(非同期転送モード) が注目されている。ATM は CCITT が次世代の ISDN として標準化した B-ISDN のための基盤伝送システムで、“セル” と呼ばれる小さな固定長のパケットを転送単位とするセルネットワークの一つである。ATM は現在数十メガビット/秒から数ギガビット/秒までの帯域幅を持ち、その特徴としてコネクション指向であること、利用する帯域幅の予約が可能であることが挙げられる。従って ATM は、マルチメ

ディアアプリケーションに適したネットワークであり、今後のコンピュータネットワークにおいて大きな位置を占めると考えられる。しかしATMのマルチキャスト通信は、設立可能なマルチキャストのコネクション形態が限られているため、効率的であるとは言い難い。

本研究では、ATMネットワークにおいて、マルチメディアアプリケーションがマルチキャスト通信を利用する場合の問題点について注目することにした。

1.2 目的

本研究の目的は、ATMにおいて効率的なマルチキャスト通信を行うための通信形態を提案・評価し、その有効性及び問題点を示すことである。

ATM上でマルチメディアアプリケーションを利用する場合、それぞれの利用者の間でコネクションを設立してから通信を行うことになる。このコネクション設立の際に、同時に通信路の資源の予約も行われる。送信者と受信者が1対1通信の場合は、単方向のコネクションを2本設立する。しかし1対n通信の場合には、このn倍のコネクション設立が要求される。また利用者が相互に通信しあうn対n通信のような場合には、n^2のコネクションを設立しなければならないことになる。これは非常に多くの通信資源を消費することになり、規模拡張性も極めて悪い。しかし実際の会議を考えた場合、同時に2人以上の参加者が発言することは稀であるため、同時に使用される資源の量は少ない。またすべての参加者が発言するとは限らないので、すべての利用者の間でコネクションを設立する必要のない場合もある。　以上のことから、ATM上でマルチメディアアプリケーションを利用するためには、それらのアプリケーションの利用形態に適した効率のよいマルチキャスト通信を考える必要がある。本研究では、規模拡張性や動的変化に対する適応性を重視して、ATMにおける個々のアプリケーションに適したマルチキャスト通信形態を考察し、それを実現するための機構について提案・評価を行う。

1.3 本論文の構成

2章において、マルチキャスト通信及び既存のマルチキャスト通信プロトコル、マルチキャスト資源予約プロトコルを概説する。3章では、ATM上でのマルチキャスト通信について概説し、2章で述べた既存のマルチキャスト通信及び資源予約プロトコルと比較・検討する。4章では、アプリケーションの種類及び利用形態によって異なるマルチキャストサービス形態を提案し、その実現に必要なマルチキャストサーバの機構を述べる。5章

で提案するマルチキャストサービス形態の評価を示し、6章で検討及び今後の課題について述べる。最後に 7章で本研究の結論を述べる。

第 2 章

マルチキャスト通信

本章では、本研究の背景となるマルチキャスト通信の概要、及び既存のマルチキャストプロトコル、資源予約プロトコルについて概説する。

2.1 マルチキャスト通信

分散環境において、複数の計算機上のプロセスが互いに協調しながら動作する分散アプリケーションを考えた場合、ある特定の 2 つのプロセス同士の通信だけではなく、プロセスの集合全体への通信が必要となることがある。この場合、1 つのプロセスが、分散アプリケーションを構成するすべてのプロセスに対し 1 対 1 の通信を行うことによって、プロセスの集合全体への通信が実現できる。しかしこの方法では、同じデータが繰り返し送信されることになり、多くの計算資源及び通信資源を消費する。また各々のプロセスは、送信先のリストを常に管理する必要があるため、アプリケーションも複雑なものになる。

そこで、分散アプリケーションを構成するプロセスの集合を一つのグループとして抽象化し、集合全体への通信をそのグループに対しての通信とすることによって、これを簡素化・効率化する方法が提案されている。このようなグループに対する通信形態をマルチキャスト通信と呼ぶ。

マルチキャストの利用とアプリケーション

従来のマルチキャストの利用

従来、マルチキャストは分散ファイルシステムや分散データベースなどに利用されてきた。例えば、複数のホストにあるデータの内容に一貫性が保たれているかを調べる場合や、自分のホストにあるデータが変更された場合、それを他のホストに通知するときなどにマルチキャストを利用する。

マルチプロセッサシステムでは、並行計算における中間結果をプロセッサ間で交換する必要が生じた場合、一つのプロセッサが他のプロセッサに対してこれを伝えるときにマルチキャストを利用する。

また工場のオートメーションシステムの場合、あるマシンのセンサの値を他の複数のマシンが利用する場合がある。あるいは特定の地域の電気・ガス・水道のメータに対して、その状態の調査や供給の指示などを行うシステムも考えられる。これらの通信にもやはりマルチキャストを利用できる。

新たなマルチキャストの利用

新たなマルチキャストの利用方法の最も身近な例として取り上げられるのが、電子会議システムである。会議は通常複数の参加者が存在し、ある参加者が他の参加者に対して発言を行い、それに対して別の参加者が発言していくというような相互作用によって議事が進行する。電子会議システムは、音声や映像をネットワークを通じて送受信することにより、参加者が互いに離れた場所に居ても会議を行うことができるシステムである。また同時に、黒板や OHP のようなデータもネットワークを通じて各参加者に送信し、これに任意の参加者が変更を加えることも可能である。このようなシステムでは、会議の参加者は自分の音声や映像あるいは必要なデータを、他のすべての参加者に伝える必要がある。よってビデオ会議、音声会議などのアプリケーションにマルチキャストが利用されるのである。またより広範囲なマルチキャストとして、従来の電波によるラジオ放送やテレビ放送に代わって、ネットワークを介して音声や映像のサービスを提供しようという動きもある [3]。

こうした音声や映像を扱うマルチメディア アプリケーションが、新たにマルチキャストを利用するアプリケーションとして大きな位置を占めるようになってきている。

マルチキャストを利用したアプリケーションの分類

アプリケーションによってマルチキャスト通信の形態は大きく異なる [22, 7, 8]。マルチキャストグループの規模、通信に必要な帯域幅、実時間性、メンバシップの動的変更可能性、誰がマルチキャストグループの参加・脱退を決定するのか、などである。これらの項目に基づき、前述したマルチキャストアプリケーションの特徴を表 2.1に示した。下段に示したマルチメディア アプリケーションでは、

- 大規模化 (参加者数、帯域幅)
- 実時間性のあるデータを扱う
- 参加者は動的に変更する
- 受信者が参加・脱退の要求を出す

などの特徴を持つことがわかる。

表2.1: マルチキャストを利用したアプリケーションの分類

アプリケーションの種類	参加者の規模	使用帯域幅 (bit/sec)	実時間性	参加者の変更	参加・脱退の要求
ファイルシステム	小	10K – 1M	×	静的	送信者
分散データベース	小	1 – 10M	×	静的	送信者
マルチプロセッサ	小	1 – 100k	○	静的	送信者
工場のオートメーションシステム	中	< 10K	○	静的	送信者
メータ集計	中	< 10K	×	静的	送信者
音声会議	小	4 – 64K	○	動的	双方
ビデオ会議	小	64K – 6M	○	動的	双方
電子黒板	小	1K – 1M	○	動的	双方
音声放送	大	4 – 192K	○	動的	受信者
ビデオ放送	大	28.8K – 30M	○	動的	受信者

2.2 イーサネットにおけるマルチキャスト

現在計算機は、様々なネットワーク媒体を通じての接続されているが、ここではネットワーク媒体の代表例としてイーサネットを取り上げ、そのマルチキャストについて概説する。

2.2.1 概要

イーサネットはIEEE標準802.3を実装したCSMA/CD方式のネットワーク媒体で、標準で10Mbpsの伝送速度を持つ。イーサネットの構成を図2.1に示す。イーサネットは同軸ケーブル、トランシーバ、トランシーバケーブル、インターフェイスボードからなる。このうちトランシーバは、同軸ケーブルを流れるデータをインターフェイスボードに送信する役割と、インターフェイスボードから受信したデータを同軸ケーブルに送信する役割を持つ。またキャリアと衝突の検出を行う回路も含む。イーサネットで取り扱うフレーム形式は以下の通りである(図2.2)。

- 宛先アドレス・発信アドレス
  アドレスはそれぞれ48ビット(6オクテット)で構成されており、物理アドレスとマルチキャストアドレスの2種類がある。

    * 物理アドレス
      イーサネットでは、それぞれの計算機に接続するインタフェースボードに固有の物理アドレスが割り当てられており、これを用いて個々の計算機(ボード)を識別する。

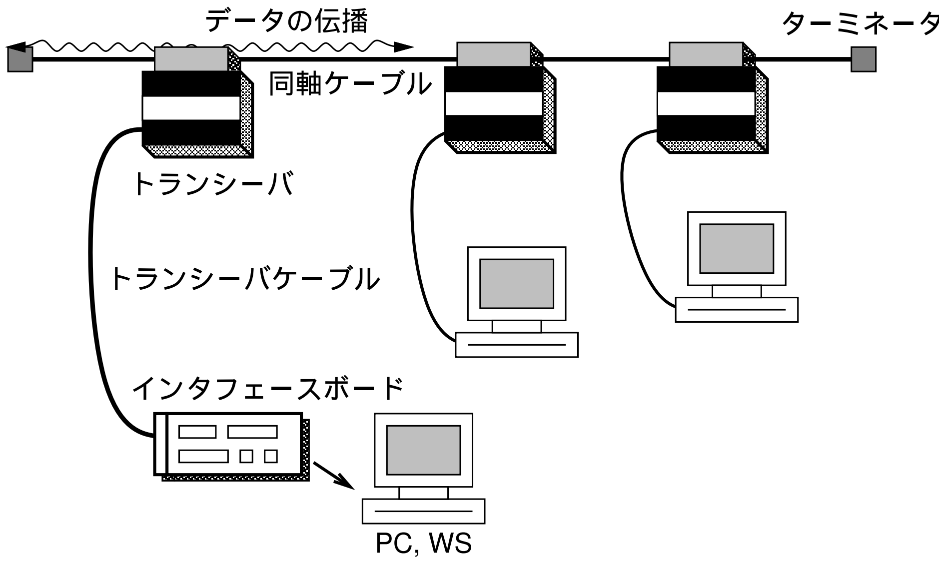


図 2.1: イーサネットの基本構成

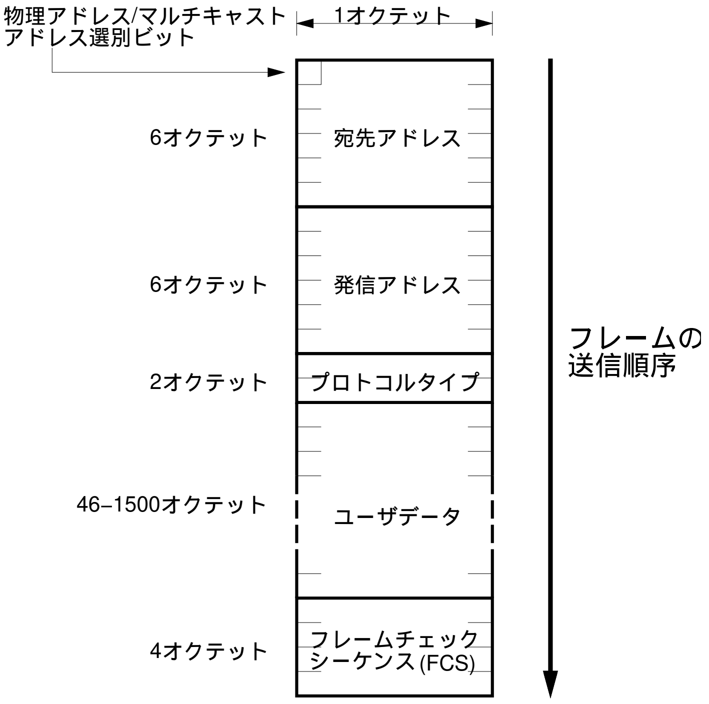


図 2.2: イーサネットのフレーム形式

  - * マルチキャストアドレス

    アドレスの最上位ビットが 1 のアドレス (物理アドレスは 0) は、論理的にグループ化された計算機 (ボード) 群を指定するときに使用される。またすべてのビットが 1 のアドレスはブロードキャストアドレスと呼ばれ、イーサネット上のすべての計算機 (ボード) を指定する。

- プロトコルタイプ

  長さ 2 オクテットで、データリンク層以下を共用する複数の上位層プロトコルを多重化するために使用される。

- データフィールド

  46 オクテット以上 1500 オクテット以下の任意の 8 ビットの整数倍の大きさで、ユーザデータを格納する。

- フレームチェックシーケンス (FCS) フィールド

  宛先フィールドからデータフィールドまでの CRC の値が入る。

2.2.2 マルチキャスト

図 2.1の構成を見てもわかるように、イーサネットはバス結合型ネットワークである。ある計算機がデータを送信すると、同じイーサネット上にある他のすべての計算機 (ボード) は、ほとんど同時にそのデータを受け取ることができる。このことから、イーサネットにおけるマルチキャストの実現はごく単純に行われる。

- 送信側

  送信側は、宛先アドレスに希望するマルチキャストアドレスを指定して送信する。

- 受信側

  受信側は、受信したいマルチキャストアドレスを予めインタフェースボードに登録しておく。これによって必要なデータのみを受信することができる。このマルチキャストアドレスの登録・削除は動的に行う[*]。

2.3 IP マルチキャスト

マルチキャスト通信を行うためのマルチキャストプロトコルとして、最も広く用いられているものが IP マルチキャスト [13] である。IP マルチキャストは従来の IP を拡張し

---

[*] この機能を持たないインタフェースボードの場合は、マルチキャストアドレスを指定されたすべてのデータを受信し、上位層により必要なデータの選択を行う。

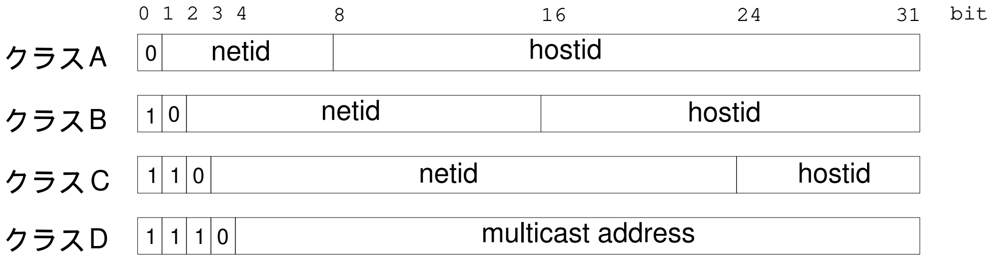


図 2.3: IP アドレス形式

たプロトコルで、IP で接続された特定のホストの集合へ IP データグラムを配送することが可能である。

2.3.1 マルチキャストグループの表現

マルチキャスト通信を行う場合、あるマルチキャストグループとそれを識別するアドレスの対応づけが必要となる。このアドレスによって、ホストは特定のマルチキャストグループに対してデータを送信することができる。また各ホストは、特定のマルチキャストグループに対して送信されたデータを受信するべきかどうかを判断することができるようになる。このマルチキャストグループの表現方法として、IP マルチキャストでは IP マルチキャストアドレスを用いる。現在 IP アドレスは、上位 4 ビットによってクラス A～D の 4 つに分類されるが、このうちクラス D と呼ばれるものが IP マルチキャストアドレスに相当する。

図 2.3に示したように、IP マルチキャストアドレスでは上位 4 ビットの 1110 がマルチキャストアドレスであることを示し、下位 28 ビットが特定のマルチキャストグループを示す。このうち 224.0.0.0 から 224.0.0.255 まではマルチキャストシステムのために予約されている。表 2.2に IANA(Internet Assigned Numbers Authority) によって割り当てられたアドレス (ウェルノウンアドレス) の一部を示す。ユーザが設定するマルチキャストグループにどのような IP マルチキャストアドレスを割り当てるかは、正確には規定されていない[†]。また IP マルチキャストアドレスは終点アドレスとしてのみ用いることができ、始点アドレスとなることはない。

次に IP マルチキャストアドレスを用いたマルチキャスト通信の送信・受信について述べる。

[†] ネットワーク管理者が任意に割り当てたり、またランダムにマルチキャストアドレスを生成して、使われていないマルチキャストアドレスを発見して使用する。

表 2.2: IP マルチキャストアドレスの割り当て (一部)

アドレス	内容
224.0.0.0	(予約済)
224.0.0.1	サブネット上の全てのホストを指定
224.0.0.2	サブネット上の全てのルータを指定
224.0.0.3	(割り当てられていない)
224.0.0.4	DVMRP(Distance Vector Multicast Routing Protocol) 用に予約

IP マルチキャストの送信

あるマルチキャストグループに対してデータを送信する場合は、単に終点 IP アドレスとして、そのグループに対して割り当てられた IP マルチキャストアドレスを指定するだけでよい。ネットワークインタフェースは、この IP マルチキャストアドレスを対応するハードウェアマルチキャストアドレス (もしくはブロードキャストアドレス) に変換して送信する。

IP マルチキャストの受信

あるマルチキャストグループへのデータを受信する場合、ホストはそのグループの IP マルチキャストアドレスをネットワークインタフェースへ伝える。このため、IP モジュールは上位プロトコルに対して以下の操作を提供している。

- `JoinHostGroup (group-address, interface)`
  マルチキャストグループに参加する。これにより、指定したネットワークインタフェースにおいて指定したマルチキャストアドレスのデータを受信する。

- `LeaveHostGroup (group-address, interface)`
  マルチキャストグループから脱退する。これにより、指定したネットワークインタフェースにおいて指定したマルチキャストアドレスのデータの受信を中止する。

ネットワークインターフェイスは、この操作により指定された IP マルチキャストアドレスに対応するハードウェアマルチキャストアドレスのデータを受信する (受信を中止する) ことになる。

2.3.2 マルチキャストグループメンバシップ管理

複数のネットワークにまたがるようなマルチキャストグループを構成する場合、ゲートウェイがマルチキャストグループのメンバシップを管理する。IP マルチキャストではグループメンバシップ情報の通信に **IGMP**(Internet Group Management Protocol) を用いる。IGMP の通信にも IP マルチキャストを利用する。

ホストが新しいマルチキャストグループに参加する場合

ホストはマルチキャストグループへの参加を宣言するために、グループの IP マルチキャストアドレスを含んだ IGMP メッセージを、サブネット上の全てのホスト (224.0.0.1) へ向けて送る。このメッセージによって、ゲートウェイはサブネット上にどの IP マルチキャストアドレスの参加者が存在するかの情報を得る。

メンバシップ情報を更新する場合

メンバシップの動的な変化に対応するため、ゲートウェイは IGMP メッセージを用いて、サブネット上の各ホストに対してどのグループに参加しているかの問い合わせを定期的に行う。そしてホストからの報告に基づき、メンバシップ情報を更新する。このときあるグループに参加していると報告するホストが 1 つもなければ、サブネット上にそのグループに参加しているホストは存在しないと判断する。

ここで注意しなければいけないのは、各ゲートウェイはサブネット上にどのグループが存在するかという情報は持っているが、どのホストがどのグループに参加しているかということを知っているわけではないということである。ゲートウェイは単にグループの存在情報を他のゲートウェイと交換し、必要な IP マルチキャストアドレスに関する経路を確立するだけである。

2.3.3 イーサネットにおける IP マルチキャスト

イーサネットにおける IP マルチキャストでは、イーサネットマルチキャストアドレスが用いられる。このときのイーサネットマルチキャストアドレスと IP マルチキャストアドレスの対応付けは、IP マルチキャストアドレスの下位 23 ビットをイーサネットマルチキャストアドレス $01.00.5E.00.00.00_{16}$の下位 23 ビットに入れることで行われる。例えば IP マルチキャストアドレス 224.0.0.1 は、イーサネットマルチキャストアドレス $01.00.5E.00.00.01_{16}$となる。

IP マルチキャストアドレスでは、マルチキャストグループを識別するのに 28 ビットを用いるため、この対応づけは一意ではない。しかし 28 ビット中 23 ビットだけを使ったとしても、そのアドレスの集合は十分な大きさである。もし下位 23 ビットが一致する異なる IP マルチキャストアドレスを、同じイーサネット上で用いたとしても、IP モジュールが IP アドレスを判断し、自分が参加していないマルチキャストアドレスのデータを破棄する。イーサネットではこのようなアドレスの対応付けを行って、簡単で効率的な IP マルチキャストを実現している。

2.4 マルチキャスト資源予約プロトコル

1.1節でも述べたように、マルチメディア アプリケーションではサービスの質 (QoS) を保証するため、予めサービスに応じた資源予約を行う必要がある。ここでは、マルチキャスト通信に対応した資源予約プロトコルについて概説する。

2.4.1 ST–II

ST–II(Stream Protocol Version 2)[28] はインターネットを対象としたフロー設定プロトコルである。図 2.4に示したように、ST–II では、送信者が受信者に対し送信者固有のツリー状のコネクションを設立して資源予約を行う。そしてデータ転送プロトコルで、設立したコネクションに対してデータを送信する。従って ST–II は以下の 2 つから成り立っている。

- **ST** — データグラム転送用プロトコル
  SCMP によって構築されたフロー配送ツリーにデータグラムを配送する。
- **SCMP** — コネクション管理用プロトコル
  フローの設定及びフロー配送ツリーを構築する。

フローの設定

ST–II ではホスト及び各ルータに **ST Agent** を配置し、これがフローの管理を行う。フローの設定はホップ毎に行われる (図 2.5)。フロー設定の手順を以下に示す。

1. 送信者はコネクション設立要求として、必要な資源の量 (FlowSpec)、受信者のリスト、フロー識別子、ホップ識別子を含んだ CONNECT メッセージを、隣接する ST Agent に送る。

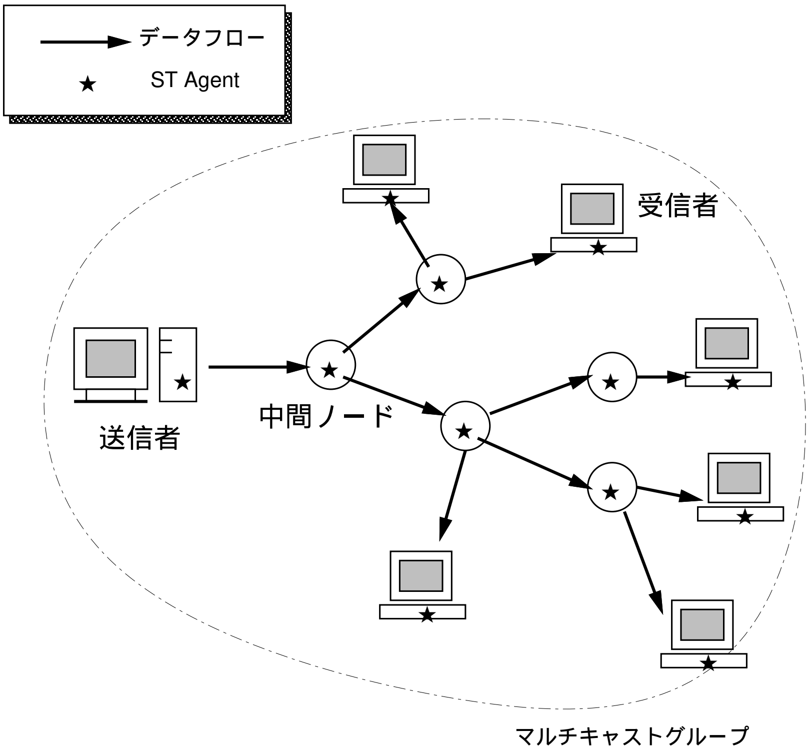


図 2.4: ST–II におけるフロー配送形態

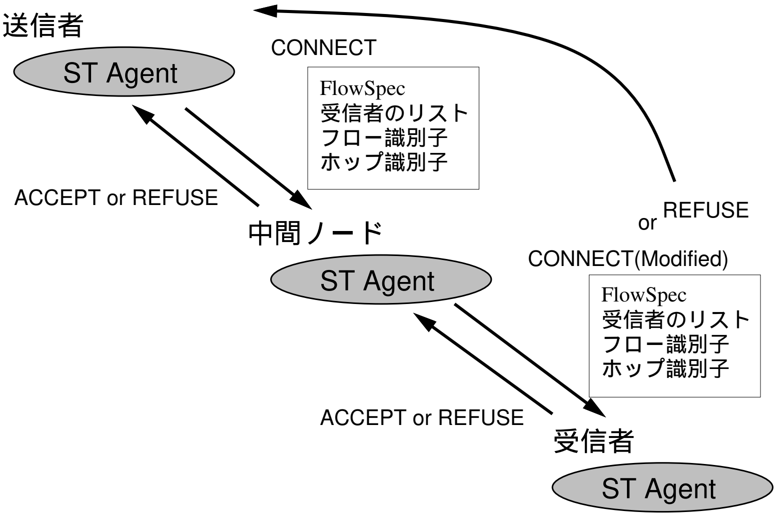


図 2.5: ST–II のフロー設定の手順

2. CONNECT メッセージを受けた ST Agent は、提示されたホップ識別子が受け入れ可能かどうかを決定し、可能ならこれを受け入れる。受け入れられない場合は送信者と調停し、新たなホップ識別子を決定する。

   同時に、受信者のリストから次のホップを決定する。このとき到達不可能な宛先があれば、その受信者に対する REFUSE メッセージを送信者に送り返す。次に、提示された FlowSpec と利用可能な資源の量を調べ、受け入れ可能なように FlowSpec を調整 (提案されたものと同じかあるいはより低いレベルのもの) し、そのための資源を予約する。

3. 調整された FlowSpec、次のホップから到達可能な受信者のリスト、フロー識別子、新たなホップ識別子を含んだ CONNECT メッセージを次のホップへと送る。

このように CONNECT メッセージは受信者に到達するまで、あるいは REFUSE メッセージによって送り返されるまで転送される。

4. 最終的に受信者に到達すると、受信者は ACCEPT メッセージを送信者まで送り返す。このとき中間ノードにある ST Agent は、自分の受け入れた CONNECT メッセージと比較して、もし FlowSpec が変更されていれるならば、より低い FlowSpec に合わせて資源予約を変更する。またコネクションを受け入れられない場合は REFUSE メッセージを送る。この場合、ST Agent は予約していた資源を解放する。

5. 送信者は、全受信者からの送り返されたメッセージの中から最も低い FlowSpec を計算する。これが送信者の受け入れ可能な範囲であれば、再度新しい FlowSpec によりコネクション設立要求を出す。

6. 要求を受けた中間ノードの ST Agent 及び受信者は、指定された FlowSpec により資源予約を確定し、コネクション設立を完了する。

こうして設立されたコネクションにより、一対多の単方向通信を行う。なお、新しく受信者が参加する場合には、送信者に参加の要求を送り、送信者が新たにコネクションを設立することによって対応する。

2.4.2 RSVP

ST–II が送信者から受信者へ向けてコネクションを設立するプロトコルであったのに対し、RSVP(Resource ReSerVation Protocol)[17, 25] は、受信者から送信者へ向けてコ

ネクションを設立し、資源予約を行うプロトコルである。受信者からコネクションを設立することによって、送信者から受信者までの経路や各受信者の処理能力に応じて、受信者固有のFlowSpecを持ったフローを受け取ることができる。またRSVPではパケットフィルタ機構(後述)を導入しており、様々な資源予約形態をとることができる。但し、RSVPにはST–IIのSTプロトコルにあたるデータ転送用のプロトコルは含まれていない。データ転送は、IPマルチキャストなどのネットワーク層のプロトコルを利用する。

フローの設定

フローの設定は、送信者が出すPath Messageと受信者が出すReservation Request Messageによって行われる(図2.6、図2.7)。

- **Path Message**
  Path Messageは、送信者が受信者及び中間ノードに対して、フローの存在及びフロー情報(フロー識別子、FlowSpec)を伝えるためのメッセージである。送信者は、フローを提供するマルチキャストグループに対してPath Messageを送る。グループの参加者は、このメッセージを受信することでフロー情報を得る。受信を希望する参加者は、このフロー情報をもとにコネクション設立要求を出す。

- **Reservation Request Message**
  Reservation Request Messageは、送信者及び中間ノードに対して、コネクション設立要求を伝えるためのメッセージである。マルチキャストグループの参加者は、受信を希望するフローのフロー識別子、FlowSpec、フィルタを含んだResevation Request Messageを送る。フィルタとは資源予約形態を指定するものであり、以下の3種類が考えられている。

  * no-filiter(wildcard-filter):
    マルチキャストグループ内の全ての送信者のフローを受ける(フィルタリングされない)。

  * fixed-filter:
    グループ内のある特定の送信者からのフローを受け取る。送信者は固定。

  * dynamic-flilter(shared-explicit):
    グループ内のある特定の送信者からのフローを受け取る。ただし送信者は動的に変更可能。

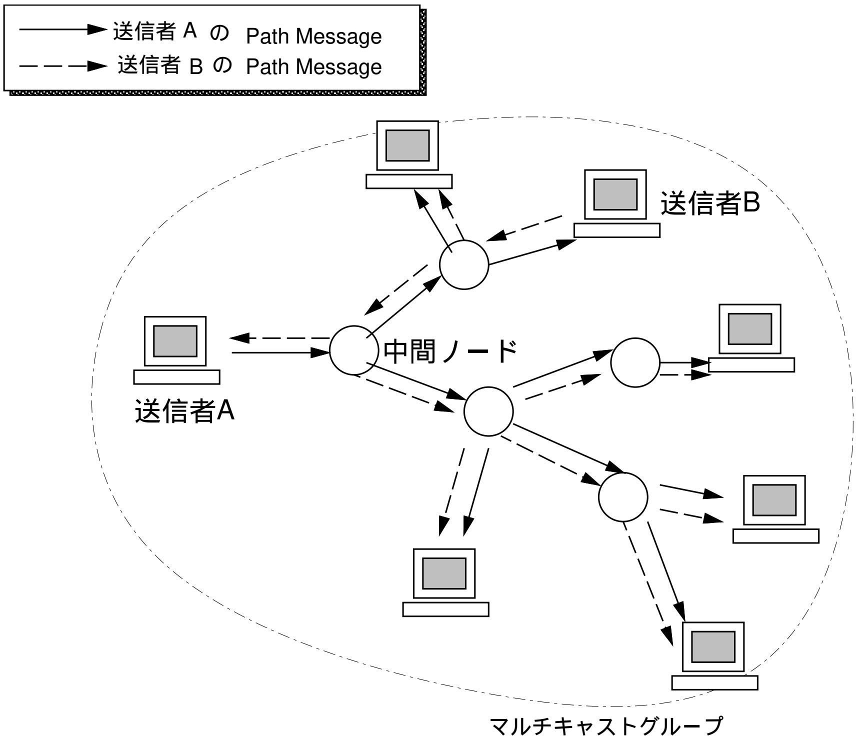


図 2.6: RSVP の Path Message 配送形態

各中間ノードと送信者は、この Reservation Request Message に基づき資源を予約し、コネクションを設立する。

フローの設定の手順を以下に示す。

1. 各受信者は、希望するフローのフロー識別子、FlowSpec、フィルタを指定した Reservation Request Message を送信者に向けて送る。メッセージは Path Message の送信元へと遡ることによって転送される。

2. Reservation Request Message を受けた中間ノードは、共有できるコネクションが既に設立されているかどうかを調べる。設立されている場合は、そのコネクションの下位ノードリストにメッセージを転送してきたノードを付け加え、必要な資源を予約し、確認応答を返す。設立されていない場合は、先ほどと同様に Path Message の送信ノードに対して Reservation Request Message を転送する。

3. 送信者が Reservation Request Message を受けた場合も同様の処理を行い、確認応答を返す。

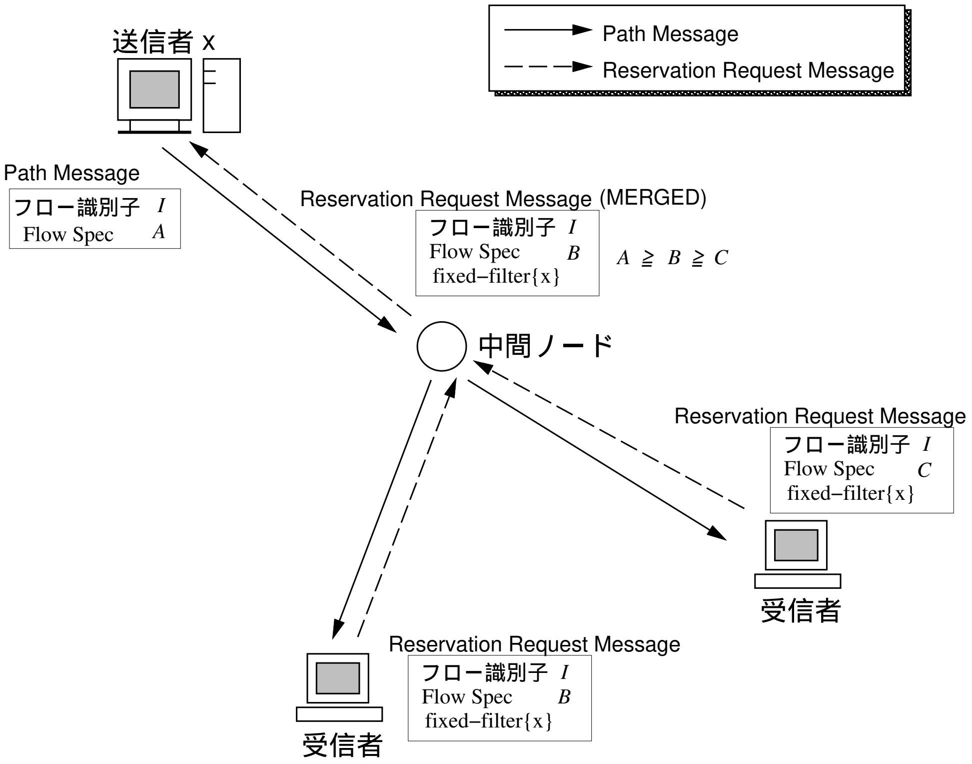


図 2.7: RSVP のコネクション設立の手順

4. 確認応答を受けた中間ノードは、そのフローの下位ノードリストを作成し、必要な資源を予約し、確認応答を転送する。

5. 確認応答が受信者に届いた時点で、コネクション設立は完了する。

またフローの設定に関して、RSVP では Merging 機構と Soft-State 機構を用いている。

- **Merging 機構**
  同じフローに対するの複数の Reservation Request Message を受信したとき、中間ノードはこれを 1 つのメッセージにまとめて転送する (図 2.7)。このときの FlowSpec は、そのノードに到着するメッセージの中で最も高い FlowSpec となる。これにより、送信者に多数の Reservation Request Message が届くことを防いでいる。

- **Soft-State 機構**
  フロー情報及びコネクション情報は、タイムアウトにより消失する。従って送信者は定期的に Path Message を送信し、受信者は Path Message が来る度に Reservation Request Message によってコネクション設立を繰り返し、コネクションを維持する。

よってコネクションの解放や障害などによる経路の変更に対して、明示的な操作は行われない。

2.4.3 検討

ここでは、ST–II、RSVP それぞれの資源予約プロトコルを比較・検討する。RSVP は受信者からのコネクション設立、Merging 機構、Soft-State 機構の導入により、ST–II に比べて以下の点で優れている [12, 11]。

- 規模拡張性
  ST–II では、送信者はそれぞれ固有の配送コネクションを持つため、送信者が増えると資源予約の量は膨大になる。一方、RSVP ではフィルタの導入により、コネクションを複数の送信者で共有することもできるため、資源の消費を抑えることが可能である。また ST–II は、コネクションの設立要求を送信者に対して行う必要があり、同時に多数のコネクションを追加する場合、各受信者からの ACCEPT(もしくは REFUSE) メッセージがすべて送信者に集中することになる。RSVP では、Merging 機構により受信者からの Reservation Request Message を中間ノードでまとめ、この問題を解消している。

- 柔軟性
  ST–II では、すべての受信者に対して一律の FlowSpec(各受信者の希望する FlowSpec うちで最も低いものに合わせる) のフローしか提供できない。しかし RSVP では、受信者からコネクションの設立を行うことにより、受信者までの経路及び受信者の処理能力に応じた FlowSpec を指定できる。また Soft-State 機構の導入により、動的なメンバシップや障害による変更に対して柔軟に対応することができる。

また表 2.1から、マルチメディア アプリケーションは、受信者からマルチキャストグループの参加・脱退を行うものが多い。またグループの構成もしばしば変更される可能性がある。従って、受信者指向である RSVP のような資源予約プロトコルがマルチメディア アプリケーションにはふさわしいと考えられる。

ここで取り上げた資源予約プロトコルは、物理的なネットワークメディアが資源予約可能であることを前提としている。そこで 3章では、資源予約可能な ATM ネットワークにおけるマルチキャスト通信と、これら既存のマルチキャスト資源予約プロトコルの実現可能性について述べる。

第 3 章

ATM におけるマルチキャスト通信

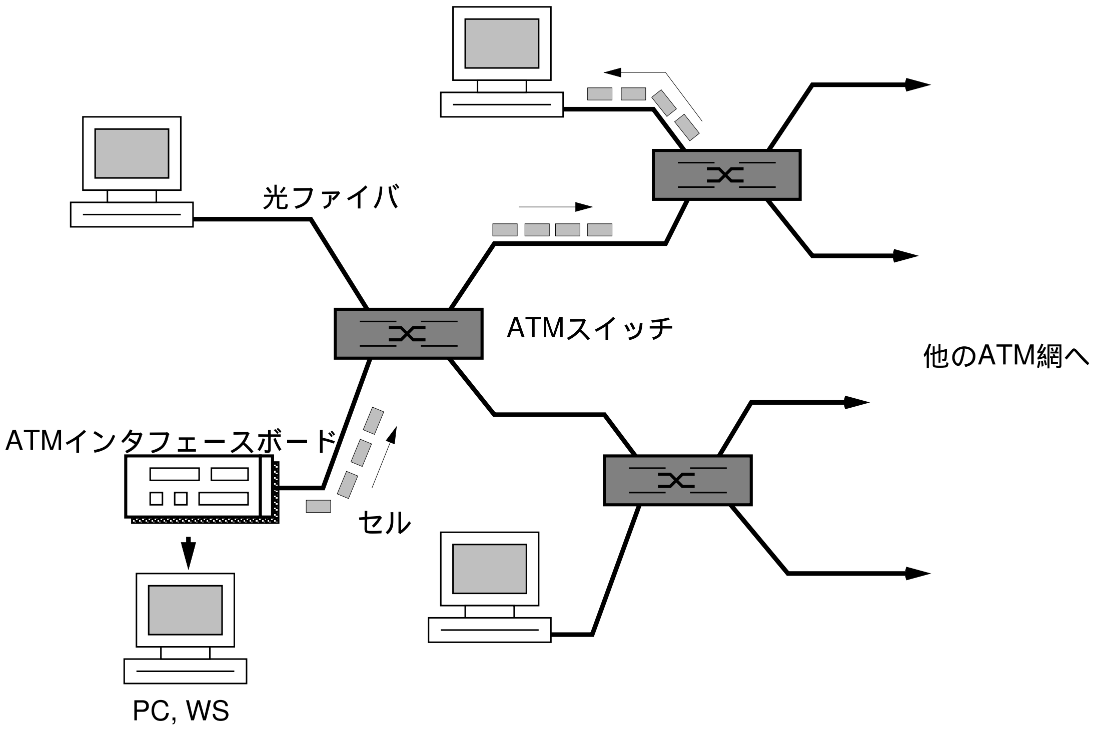


図3.1: ATMネットワークの構成

本章では、ATMとATMにおけるマルチキャスト通信を概説し、既存のマルチキャスト資源予約プロトコルの実現可能性について述べる。

3.1 ATM

ATM(非同期転送モード)とは、CCITTが次世代のISDNとして標準化したB-ISDNのための基盤伝送システムで、“セル”と呼ばれる小さな固定長のパケットを転送単位とするセルネットワークの一つである。ATMではデータを送信する際に、予め受信者に対してコネクションを設立し、予約した帯域幅を仮想的な一つの回線として利用することができる。ATMネットワークは、ATMインタフェースボード、光ファイバ、ATMスイッチの3つから構成される(図3.1)。データは送信側でセルに分割して送信される。中間のATMスイッチでは、セルヘッダに基づいてハードウェアで経路選択が行われる。受信側に到達したセルは再びデータに再構成される。ATMでは、固定長の小さなセルをハードウェアで制御することにより、より高速なネットワークの実現を可能としている。

表 3.1: ATM 階層モデル

ATM アダプテーション層	コンバージェンス副層
	SAR(セル分割・再構成) 副層
ATM 層	CFG(一般フロー制御)
	セルヘッダ生成・抽出
	VCI/VPI 書き換え機能
	セル多重化・逆多重化機能
物理層	伝送コンバージェンス副層
	物理媒体

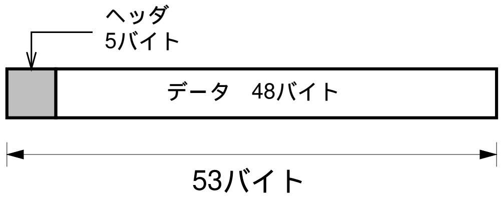


図 3.2: ATM セルの構成

ATM の階層モデル

ATM の階層モデルを表 3.1に示した。ここでは各層について説明する。

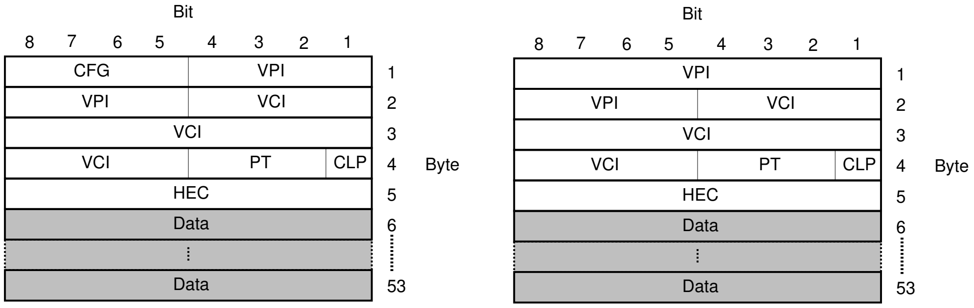
物理層

ATM の伝送媒体としては光ファイバを用いるのが一般的である。伝送速度は 155.52Mbps (SDH[‡] STM-1) のものが普及しているが、622.08Mbps (SDH STM-4)、2488.32Mbps (SDH STM-16) のものも使用されている。

ATM 層

ATM ではすべてのデータを "セル" にして転送する。ATM 層ではこのセルを取り扱う。セルは 48 バイトのペイロードと 5 バイトのヘッダを合わせた 53 バイトを単位として構成されている (図 3.2)。セルヘッダの構成は図 3.3に示した通りである。

[‡] 同期デジタルハイアラキー (SDH: Syncronous Digital Hierarchy) というデジタル伝送速度の階層構造のことで、物理インタフェースの国際標準となっている。



(a) ユーザネットワークインタフェース (UNI)

(b) ネットワークネットワークインタフェース(NNI)

図 3.3: セルヘッダの構成

- CFG

  CFG はユーザネットワークインタフェース (UNI) で使われる。この 4 ビットのフィールドは、ATM を DQDB(Distributed Queue Dual Bus) リングのような共有アクセスネットワークで使用する際の多重化方法を調整するために確保されている。現在、このフィールドは使われていない。

- VPI

  VPI は 8 ビットもしくは 12 ビットの仮想パス識別子である。この識別子は、コネクションの集合で形成された仮想的なパスの識別に用いる。

- VCI

  VCI は 16 ビットの仮想チャネル識別子である。これは同じ VPI で表現される仮想パスの中で、異なるコネクションを識別するために用いる。

- PT

  PT(ペイロードタイプ) はセル情報を示す。最初のビットが 0 ならユーザデータセル、1 なら管理用セルである。

- CLP

  CLP はセルの優先度を示す。ATM スイッチなどでバッファがあふれた場合、この優先度に従ってセルを破棄する。

- HEC

  HEC は 8 ビットのヘッダエラーチェックフィールドで、5 バイトのセルヘッダに対する CRC 値が入る。ヘッダは各ホップで変化するので、各ホップ毎にチェックされ再計算される。

<table>
<tr><td colspan="2">ストリーム配送</td><td colspan="2">パケット配送</td></tr>
<tr><td>固定ビットレート</td><td colspan="3">可変ビットレート</td></tr>
<tr><td colspan="3">コネクション指向</td><td>コネクションレス</td></tr>
<tr><td>クラス A</td><td>クラス B</td><td>クラス C</td><td>クラス D</td></tr>
</table>

図 3.4: サービスクラスの分類

ATM 層では異なるコネクションのセルを 1 つの光ファイバ上へ送信するために、セルの多重化・逆多重化を行う。このときそれぞれのコネクションのセルを識別するために、VPI(仮想パス識別子) と VCI(仮想チャネル識別子) を用いる。

ATM アダプテーション層

ATM アダプテーション層 (AAL) は、データのセルへの分割・セルからの再構成を取り扱う。AAL の目的は、受信側でセルを適切にデータに再構成できるように、効率良くセルにデータを格納することである。上位層が扱うデータの種類に応じてクラス A から D までのサービスクラスが考えられ (図 3.4)、それぞれのクラスに応じた AAL が規定されている。

- AAL1
  AAL1 は、映像や音声などの実時間性のある固定ビットレートのコネクション指向サービス (クラス A) を提供することを目的としている。

- AAL2
  AAL2 は、実時間性のある可変ビットレートのコネクション指向サービス (クラス B) を提供することを目的としている。最適化アルゴリズムにより圧縮された映像や音声などがこれにあたる。現在、標準化は行われていない。

- AAL3/4
  AAL3 では X.25 のようなコネクション指向データプロトコル通信サービス (クラス C) を、また AAL4 で IP のようなコネクションレスデータプロトコル通信サービス (クラス D) を提供しようとしていた。しかし提案されたフレームはほとんど差異がなかったため、AAL3/4 として 1 つにまとめられた。

- AAL5
  AAL5 は、可変ビットレートのコネクション指向サービスを提供する。IP を用い

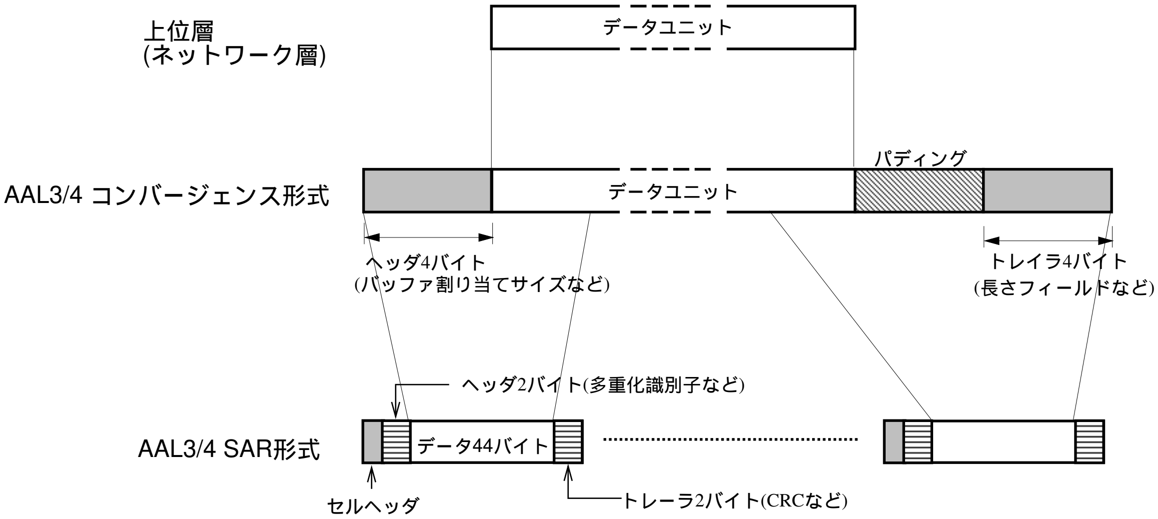


図 3.5: AAL3/4

たコンピュータネットワークでは、当初 AAL3/4 を使うことが想定されていた。しかし AAL3/4 では、送受信においてセル毎の処理が必要であり、またセルのペイロード部 48 バイトのうち 44 バイトしかユーザデータを格納することができない (図 3.5)。従ってよりオーバヘッドの少ない AAL を求める意見から、以下のような要求を満たす AAL5 が設計された。

- ペイロード部 48 バイトは全てユーザデータで占める
- セルに対する計算機の処理は最小限に止める
- イーサネットや FDDI のような既存のデータ通信インタフェースと同じような振る舞いをする

現在、ATM におけるデータ通信のほとんどが AAL5 を用いて行われている。本研究でも AAL5 を用いることを前提とする。そこで AAL5 についてのみ詳説することにする。

AAL5 の構成

AAL は表 3.1にあるように 2 つの副層から成る。データのセルへの分割、セルからデータの再構成を行う SAR 副層と、SAR 層と上位層の間でデータの流れを管理するコンバージェンス副層がある。図 3.6に AAL5 SAR 形式と AAL5 コンバージェンス形式を示す。

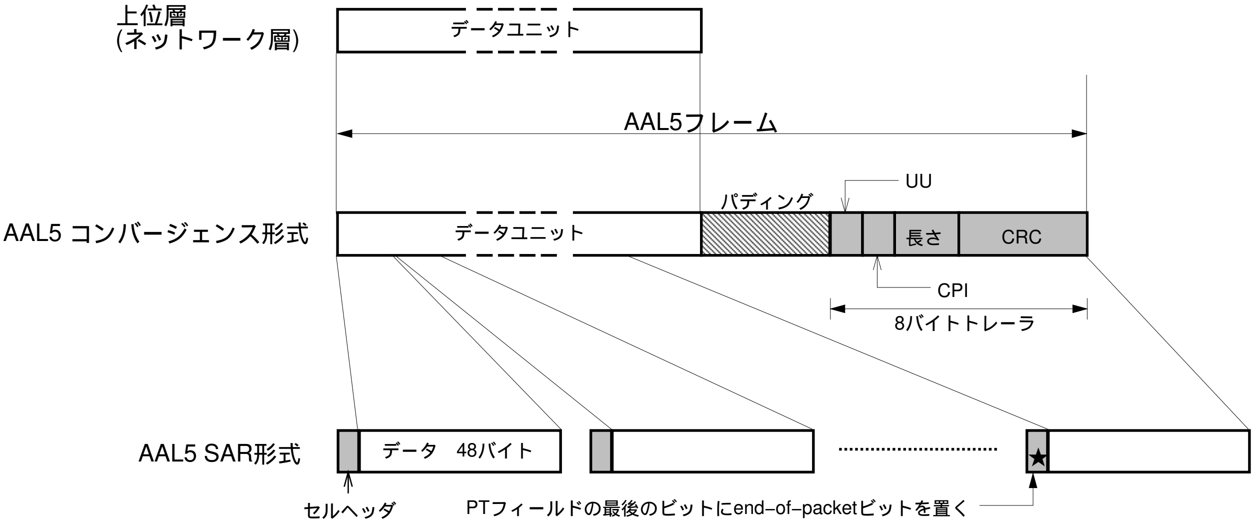


図 3.6: AAL5

- コンバージェンス層

  コンバージェンス層では、上位層 (ネットワーク層) で扱うデータユニットと、AAL5 で扱うデータユニット (AAL5 フレーム) の変換を行う。上位層から渡されたデータは、パディング (48 バイトのセルペイロードに収めるため) と 8 バイトのにコンバージェンス層トレーラが付加されて、AAL5 フレームになる。また逆に SAR 層から渡された AAL5 フレームは、パディング、トレーラが取り除かれ、パケット長及び CRC チェックの後に上位層へ渡される。トレーラはユーザ–ユーザ (UU) 指示フィールド、共通パート指示子 (CPI) フィールド、長さフィールド、CRC から成る。この中で UU と CPI は現在使われていない。

- SAR 層

  SAR 層では、AAL5 フレームからセルへの分割・セルから AAL5 フレームへの再構成を行う。AAL5 の SAR 形式では、セルのペイロード部分 48 バイトはすべてデータ領域である。これによりヘッダ・トレーラによるオーバヘッドを最小に抑えることができる。また SAR 層では、セルヘッダのペイロードタイプフィールドの 1 ビットのみを使用する。AAL5 フレームからセルに分割した際、最後にあたるセルのセルヘッダの部分に end-of-packet ビットをセットして、そのセルがパケットの最後のセルであることを示す。これにより受信側では end-of-packet ビットがセットされたセルが来るまで、単にセルを受信バッファに溜めるだけでよいことになり、大幅な性能向上が図れる。最後のセルが到着すると、バッファにあるセルの

ペイロード部を繋ぎ合わせてパケットを再構成する。

3.2 ATM におけるコネクション設定

ATM のコネクションは [14] において以下の 3 つの形態が規定されている。

- 一対一単方向コネクション
- 一対一双方向コネクション
- 一対多単方向コネクション

コネクションはシグナリングプロトコルにより設立される。コネクションの識別には、VPI と VCI を組み合わせた 24 もしくは 28 ビットの識別子が用いられる。これらの識別子は、コネクション設立時に中間にある ATM スイッチが容易に経路選択できるようにホップ毎に選ばれる。コネクション設立後、セルが ATM スイッチに到着すると、ATM スイッチはコネクション設立時に決めたテーブルに従ってセルヘッダの VPI と VCI を書き換え、その後セルヘッダを用いてハードウェアによる経路選択を行う (図 3.7)。これを繰り返して、セルが送信者から受信者へと転送されることになる。

ATM のシグナリングプロトコルは ITU-T 勧告による Q.2931[4] を基本としており、現在も開発中である。ここではユーザ ネットワーク間のコネクション設定手順を示す。

一対一単方向コネクション

一対一の単方向コネクションの設立手順は以下の通りである (図 3.8)。

1. 送信者はネットワークに対し、FlowSpec、受信者のアドレス、使用する AAL タイプを含んだ SETUP メッセージを送信する。
2. ネットワークは CALL PROCEEDING メッセージを使って、SETUP メッセージの確認応答を送信者に伝える。同時に、このコネクションで使われる VPI/VCI が割り当てられる。
3. ネットワークは受信者に対し SETUP メッセージを送り、コネクション設立要求を伝える。
4. 受信者は同じく CALL PROCEEDING を送り、SETUP メッセージに含まれる内容によってコネクションを受け入れるかどうかを決める。

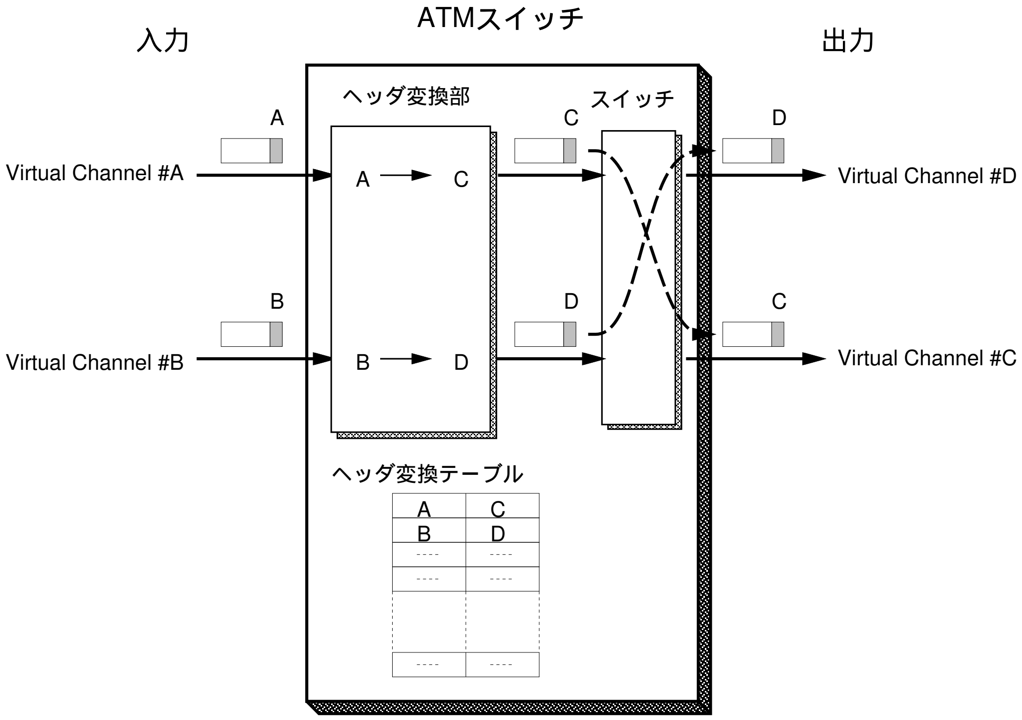


図 3.7: ATM スイッチにおけるセル交換

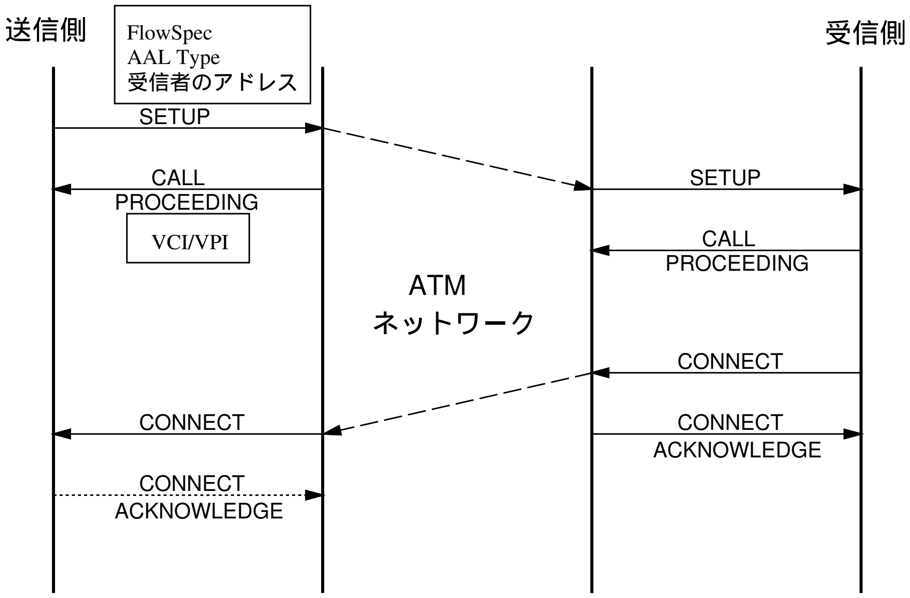


図 3.8: ATM のコネクション設立の手順

5. 受け入れる場合には、受信者はネットワークに対し CONNECT メッセージを送る。
6. ネットワークは CONNECT ACKNOWLEDGE を使って CONNECT メッセージの確認応答を受信者に伝える。
7. ネットワークは送信者に対して CONNECT メッセージを送り、コネクション設立が完了する。このとき発信者が CONNECT ACKNOWLEDGE を返すこともある。

もしコネクションが受け入れられない場合は RELEASE COMPLETE メッセージを返す。メッセージを受け取った送信者及び中間のスイッチは、このコネクションに関するすべての情報を破棄する。

一対多単方向コネクション

ATM のコネクション設立に使われる ATM アドレスは、基本的に一つの ATM インタフェースを示すユニキャストアドレスであり、特定の集合を表現するようなマルチキャストアドレスは提供されていない。このため一対多の単方向コネクションを設立する場合には、まず送信者が受信者の 1 つと前述した手順で一対一の単方向コネクションを設立する。そして残りの受信者に対して、送信者は ADD PARTY というメッセージを用いて、最初のコネクションに枝を追加していく形で行われる。また受信者のコネクションからの解放は DROP PARTY メッセージで行われる。

注目すべき点は、このマルチキャストコネクションの設立・解放を行えるのは送信者のみである。つまり受信者が新たに参加したり、脱退したりする場合は、すべて送信者に依頼しなければいけないことになる。

3.3 ATM 上のマルチキャスト通信

3.3.1 コネクション形態

3.2節で示したように、ATM のシグナリングプロトコルにおいて、現在提供されているマルチキャストコネクションは、一対多の単方向コネクションのみである。従って、多対多の双方向通信を行う場合は、前述した 3 つのコネクションタイプを組み合わせて実現する。[14] では VC mesh を用いる方法と MCS(Multicast server) を用いる方法の 2 つが示されている。

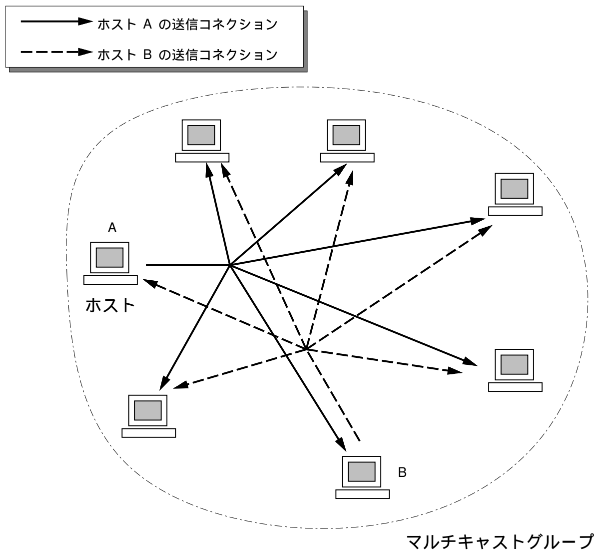


図 3.9: VC mesh

VC mesh

VC mesh とは、マルチキャストグループに対してデータの送信を希望するホストが、自分のホストを除くすべてのグループの参加者に対して、一対多の単方向コネクションを設立する方法である (図 3.9)。

MCS(Multicast Server)

MCS(Multicast Server) とは、“マルチキャストサーバ” を配置してマルチキャスト通信を行う方法である (図 3.10)。マルチキャストグループ内の各送信者は、マルチキャストサーバに対して一対一の単方向コネクションを設立し、データを送信する。マルチキャストサーバは、マルチキャストグループに参加するすべてのホストに対して、一対多の単方向コネクションを設立する。そして各ホストから受信するデータを一対多の単方向コネクションに送信することにより、マルチキャストグループに対するデータの送信を代行する。

3.3.2 IP over ATM による IP マルチキャスト

ATM 上で、IP マルチキャストのようなネットワーク層のマルチキャストプロトコルを実現するためには、ネットワーク層のマルチキャストアドレスと ATM のアドレスの対応づけを行う必要がある。そこでアドレス解決を行うサーバを配置することで実現する [6, 5]。

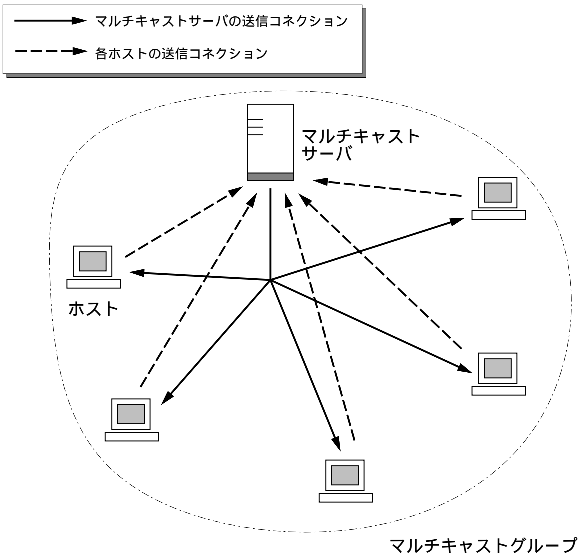


図 3.10: MCS(Multicast Server)

マルチキャストアドレス解決サーバ — **MARS**

MARS(Multicast Address Resolution Server) とは、“Classical IP over ATM”[18] で提案された ATM ARP の拡張であり、ネットワーク層のマルチキャストアドレスと ATM アドレスを対応付けたテーブルを管理・提供するサーバである。MARS は、先ほど示した VC mesh、MCS のいずれの方法によるマルチキャスト通信もサポートしている。MARS が持つ ATM ARP テーブルは以下のようなものである。

- Host map

  {`layer3 address, ATM address 1, ATM address 2, ... , ATM address n`}

  Host map は、ネットワーク層のマルチキャストアドレスと、そのアドレスで表現されるマルチキャストグループに参加しているホスト (ここでは ATM クラスタと呼ばれる) の ATM アドレスを示したリストである。

- MCS map

  {`layer3 address, MCS 1, MCS 2, ... , MCS n`}

  MCS map はネットワーク層のマルチキャストアドレスと、そのアドレスで表現されるマルチキャストグループを取り扱うマルチキャストサーバの ATM アドレスを示したリストである。

ネットワーク層のマルチキャストアドレスに対するコネクションの設定

MARS を用いたネットワーク層のマルチキャストアドレスに対するコネクション設立の手順を以下に示す。

VC mesh の場合

- 受信コネクションの設定
  1. あるマルチキャストグループに参加する場合、まずホストはMARS に対して一対一の双方向コネクションを設立し、ホストを登録するのためのMARS_JOIN メッセージを送る。
  2. これに対しMARS は、確認応答としてホストに割り当てたCMI(クラスタメンバ識別子) を含んだMARS_JOIN メッセージを送り返す。続いてMARS は、クラスタ制御用VC(一対多の単方向コネクション) にそのホストを加える (図3.11)。
  3. 次にホストは、参加したいマルチキャストアドレスと自分のATM アドレスを含んだMARS_JOIN メッセージをMARS に送る。
  4. MARS はARP テーブルを検索し、そのマルチキャストアドレスのHost map にMARS_JOIN メッセージに示されたATM アドレスを追加する。
     同時に、クラスタ制御VC にそのMARS_JOIN メッセージを送る。
  5. クラスタ制御VC からMARS_JOIN メッセージを受信した各参加者は、メッセージに示されたマルチキャストアドレスに新しい参加者が加わったことを知る。そのマルチキャストグループに参加しているホストは、自分のデータ送信用のコネクションにメッセージに示されたホストへのコネクションを追加する (図3.12)。
- 送信コネクションの設定
  1. 新たにマルチキャストグループに対してデータを送信する場合、ホストは送信したいマルチキャストアドレスを含んだMARS_REQUEST メッセージをMARS に送る。
  2. MARS はARP テーブルを検索し、そのマルチキャストアドレスのHost map をMARS_MULTI メッセージとしてホストに返す。

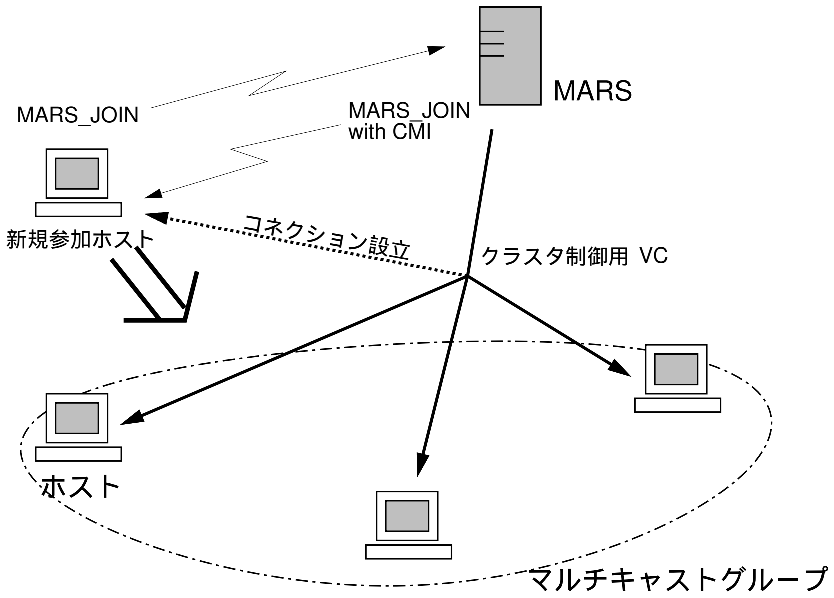


図 3.11: MARS を用いたコネクション設定 — VC mesh(1)

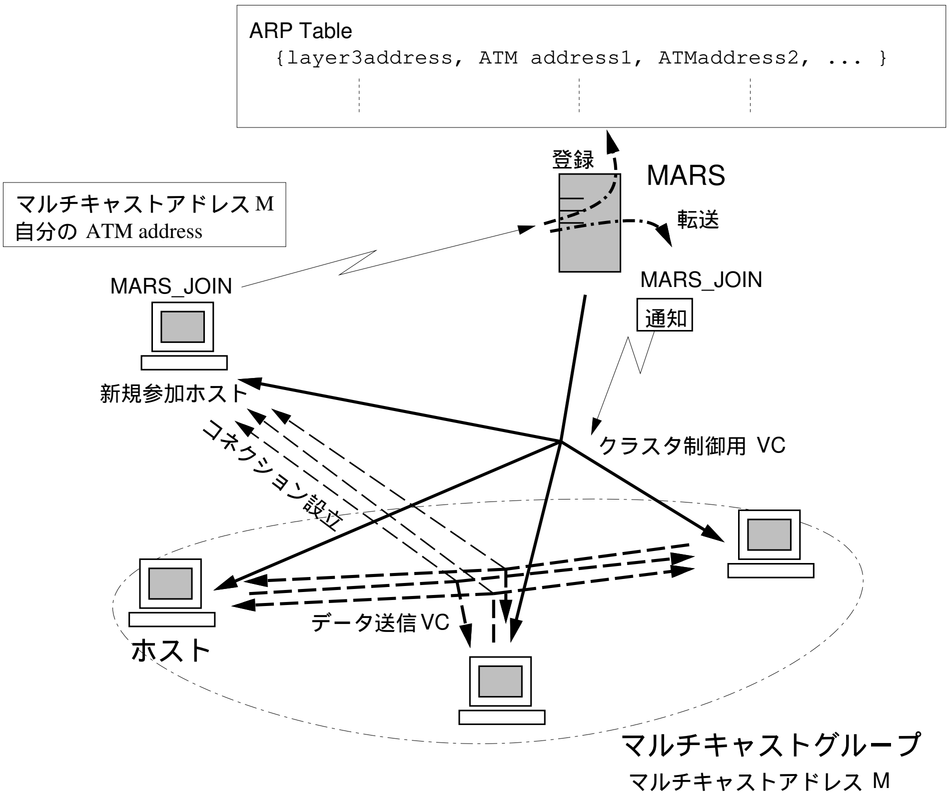


図 3.12: MARS を用いたコネクション設定 — VC mesh(2)

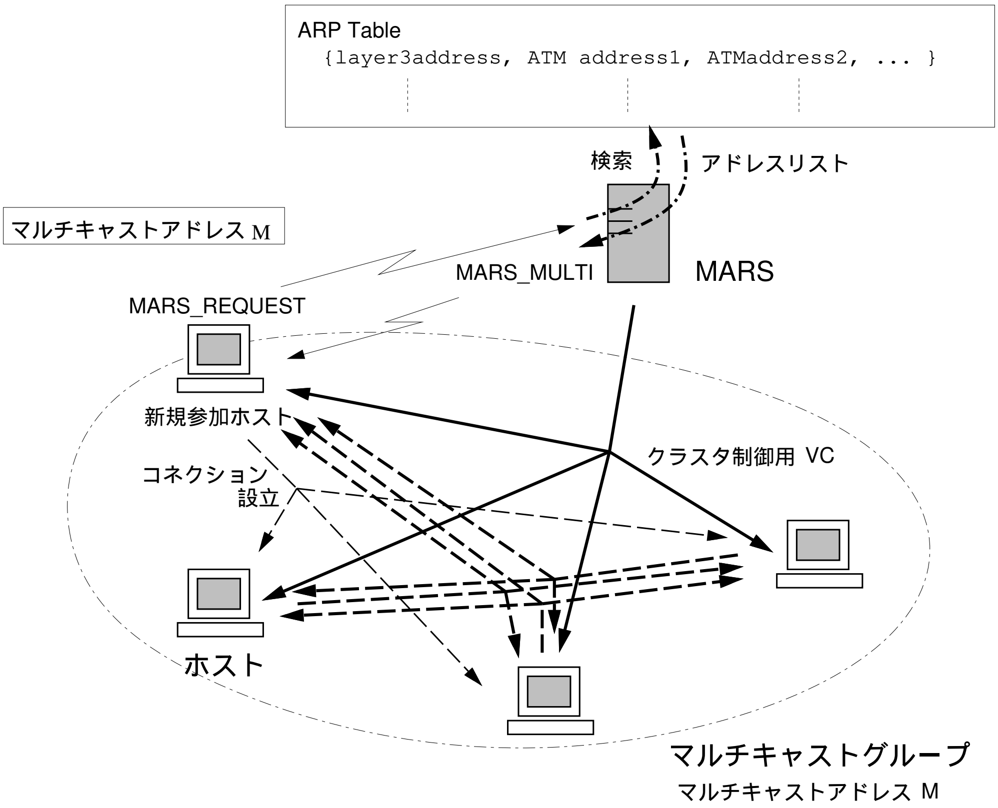


図 3.13: MARS を用いたコネクション設定 — VC mesh(3)

3. MARS_MULTI メッセージを受け取ったホストは、そのメッセージに含まれる ATM アドレスリストに基いて、データ送信のための一対多の単方向コネクションを設立する (図 3.13)。

MCS の場合

- マルチキャストサーバの登録

  1. マルチキャストサーバは、まず MARS に対して一対一の双方向コネクションを設立し、サーバを登録するのための MARS_MSERV メッセージを送る。
  2. これに対し MARS は、確認応答として MARS_MSERV を送り返す。続いて MARS は、サーバ制御用 VC(一対多の単方向コネクション) にそのマルチキャストサーバを加える (図 3.14)。
  3. 次にマルチキャストサーバは、サービスを提供するマルチキャストアドレスと自分の ATM アドレスを含んだ MARS_MSERV メッセージを MARS に送る。

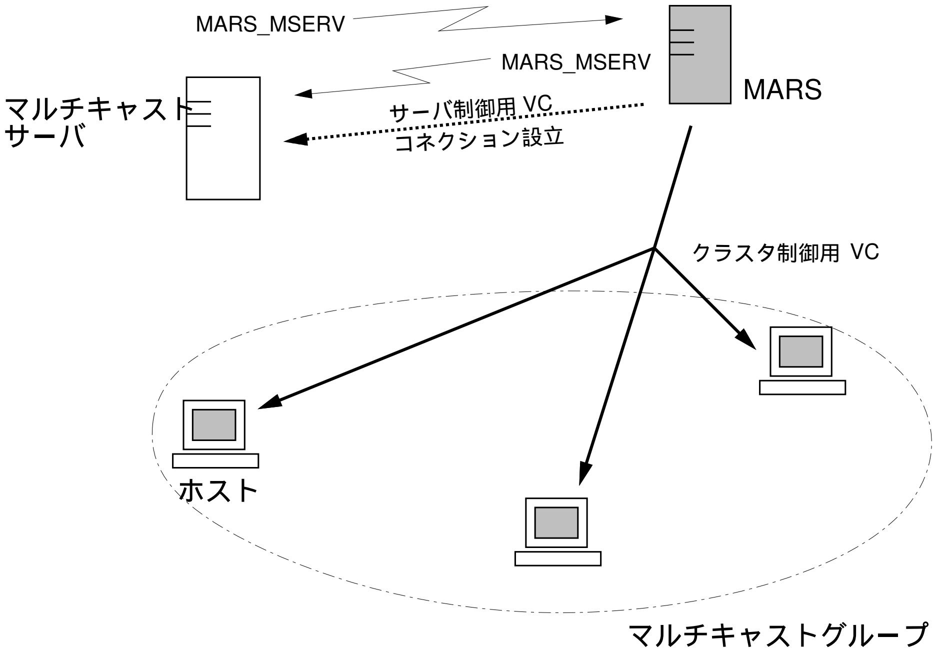


図 3.14: MARS を用いたコネクション設定 — MCS(1)

4. MARS は ARP テーブルを検索し、そのマルチキャストアドレスの MCS map に MARS_MSERV メッセージに示された ATM アドレスを追加する。
   同時に、その MARS_MSERV メッセージをサーバ制御 VC に送る。またクラスタ制御 VC には MARS_JOIN メッセージに変換して送信する。
5. メッセージを受信したマルチキャストサーバ及び各ホストは、メッセージに示されたマルチキャストグループに新しくマルチキャストサーバが参加したことを知る。そのグループに参加しているホストは、メッセージに示されたマルチキャストサーバに対して一対一の単方向コネクションを設立する (図 3.15)。

- グループ参加者へのサービス提供
  - マルチキャストサーバが新たにマルチキャストグループに対してデータを送信する場合は、VC mesh のときと同様に MARS に MARS_REQUEST メッセージを送り、そのグループの ATM アドレスリストを MARS_MULTI メッセージで受け取る。そしてこれに基づいて一対多の単方向コネクションを設立する (図 3.16)。
  - マルチキャストグループに新たにホストが参加した場合には、MARS からサーバ制御用 VC に MARS_SJOIN メッセージが送信される。そのマルチキャス

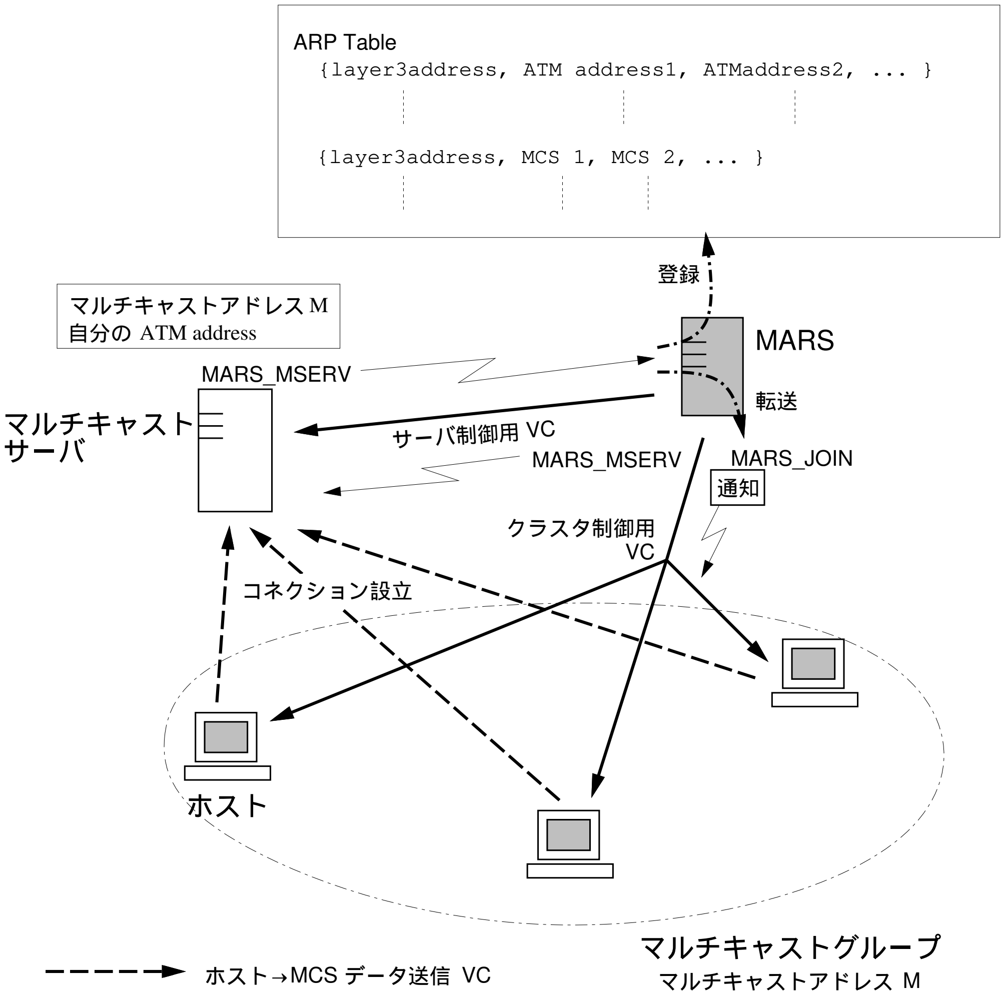


図 3.15: MARS を用いたコネクション設定 — MCS(2)

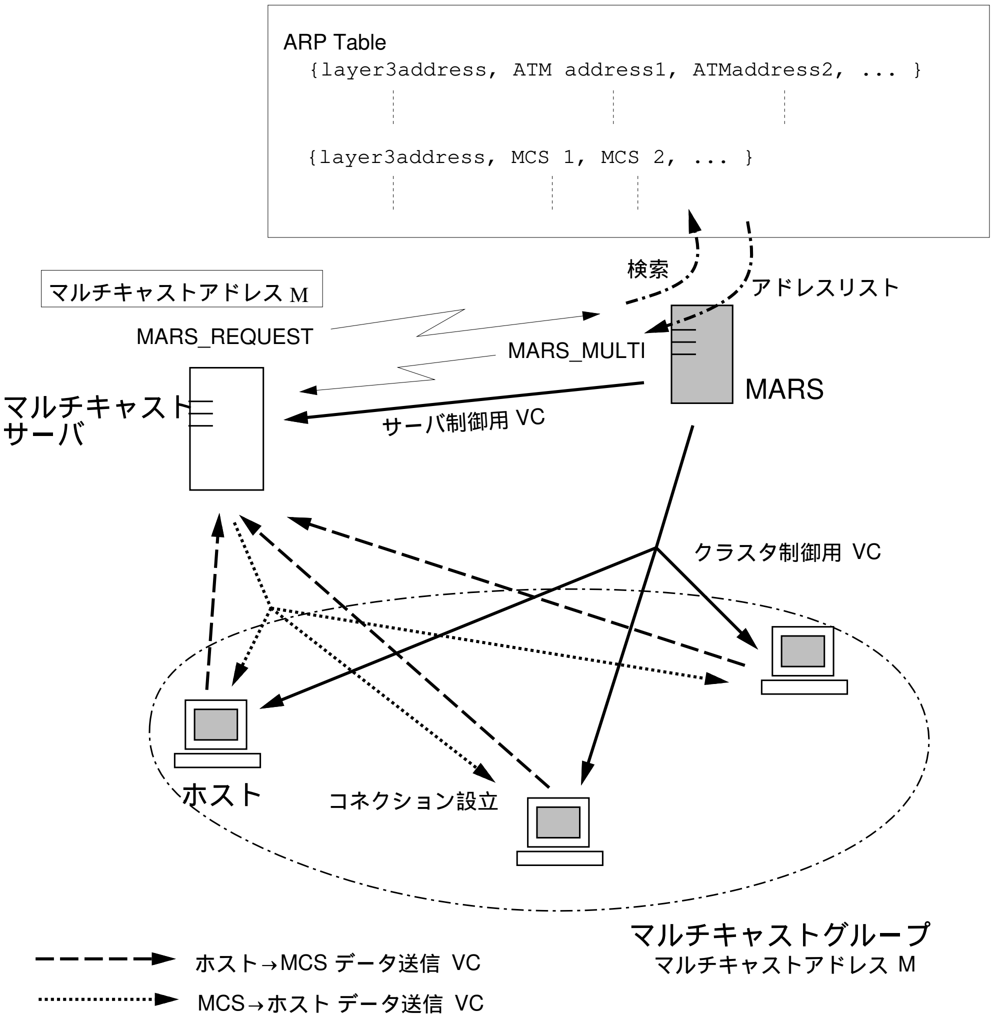


図 3.16: MARS を用いたコネクション設定 — MCS(3)

トグループにサービスを提供しているマルチキャストサーバは、データ送信のコネクションにメッセージに示されたホストへのコネクションを追加する。

検討

2.3節で述べたイーサネット上での IP マルチキャストと、ATM における IP マルチキャストを比較してみると、イーサネットの方がはるかに簡単な手順で済むことがわかる。これはイーサネットが、バス結合型のネットワークであることが大きな要因となっている。これに対して ATM では、マルチキャストに参加するすべてのホストとコネクションを設立する必要がある。また単方向のコネクションであるため、参加者は送信コネクションを設立すると同時に、受信コネクションの設立要求を各送信者に対してしなくて

表 3.2: ST–II、RSVP、ATM シグナリングプロトコル (UNI3.1) の比較

	ST–II	RSVP	ATM(UNI3.1)
コネクション形態	一対多単方向	多対多単方向	一対多単方向
コネクション設立方向	送信者→受信者	受信者→送信者	送信者→受信者
コネクション状態の更新	明示的	定期的に自動更新 (Soft-State)	明示的
FlowSpec の決定	送信者と受信者で交渉 (全受信者に対して一様)	受信者が決定 (受信者により異なる)	送信者が決定 (全受信者に対して一様)
FlowSpec の変更	動的	動的	静的 (コネクション設立時に固定)

はいけない。また物理アドレスとしてマルチキャストアドレスを持たないので、IP マルチキャストアドレスと ATM アドレスを対応付けるため、MARS のようなアドレス解決サーバが必要となることも、手順を複雑にしている要因と言える。

3.4　マルチキャスト資源予約プロトコルと ATM

2.4節においてマルチキャスト資源予約プロトコルについて述べたが、それらはネットワークが資源予約可能であることを前提としていた。ATM はシグナリングプロトコルによりコネクションを設立し、同時に資源予約を行う。従って ATM のようなネットワークにおいて、これらのプロトコルは実現可能であると考えられる [21]。ここでは資源予約プロトコルと ATM の関係について述べ、その実現可能性について考察する。

比較・検討

ST-II や RSVP と同じく、ATM のシグナリングプロトコルもマルチキャストに対応した資源予約プロトコルとみることができる。それぞれのプロトコルの特性を表 3.2に示し、ATM 上での実現に対する問題点を検討する。

- ST–II

  ST-II のコネクション形態、設立の方向、状態の更新は ATM と同じである。実際に [23] では、ATM 上で ST–II プロトコルを実現する方法について述べている。ここでは ATM ネットワークを単なるリンクとして捉えている。ATM ネットワークを介した 2 つの端末に ST Agent を配置し、この間に一対一単方向コネクションを設立することによって、ST–II のコネクション設立を行う。この方法では、送信者からのフロー配送グラフは全て受信者への一対一のコネクションで行うことにな

り、効率が悪い。もし仮に一対多のコネクションと用いるとしても、ATM の ST Agent によるフローの管理や FlowSpec の交渉の機構は、現在の ATM スイッチでは実現できない。

- RSVP
  2.4節の検討でも述べたように、RSVP は受信者からコネクションを設立すること、Merging 機構や SoftState 機構を取り入れることにより、ST-II に比べて優れた資源予約プロトコルとなっていた。しかし、ATM における実現は以下の点で難しい。
  - ATM では、コネクションはすべて送信者から設立する。また一対多の単方向コネクションにおいて、受信者毎の FlowSpec の設定はできない。
  - ATM ではコネクションの設立・開放を明示的に行う必要がある。
  - フィルタ機構を実現するような機能が ATM スイッチにはない。

以上からわかるように、ATM と既存の資源予約プロトコルの相性はよくない。それはいずれの資源予約プロトコルも、送信者と受信者の中間にルータが存在することを仮定しているからである。この仮定はデータ送信前にコネクションを設立し、セルをスイッチでハードウェア的に経路選択する ATM の通信形態とは大きく異なる。

本研究では、規模拡張性があり、動的なメンバシップの変更に対応可能な柔軟な資源予約を ATM 上で実現するため、従来の ATM におけるマルチキャスト通信形態を拡張する。4章でマルチキャスト通信を 3 つのサービス形態に分類し、それぞれのサービス形態のコネクション設立方法について述べる。そして、その実現に必要なマルチキャストサーバの機構について検討する。

第 4 章

マルチキャストサービス形態

本章ではマルチキャストサービス形態と、ATM におけるマルチキャストサービス形態の実現について提案を行う。一口にマルチキャスト通信と言っても、アプリケーションの種類やユーザの利用形態によって、様々な形態を取ることができる。RSVP ではフィルタという機構を導入することで、マルチキャスト通信の形態に合わせた資源予約を行い、その有効性が示されている [12, 11]。ここでは、本研究で取り扱うマルチキャストサービス形態について分類・提案し、実際に ATM においてそれを実現するためのコネクション設立の形態、及びマルチキャストサーバの機構について検討する。

4.1　マルチキャストサービス形態の分類

本研究では、マルチキャスト通信を行う際のサービス形態について、General Service、Shared Service、Channel Selection の 3 つの分類を提案する。

4.1.1　General Service

General Service は、多対多の完全な双方向コネクションを提供する (図 4.1)。小規模のビデオ会議や分散データベース、分散ファイルシステムなどがこれを利用する。マルチキャストグループの参加者は、他のすべての参加者からデータを受信し、また他のすべての参加者に対してデータを送信する。この場合、各参加者は自分以外のすべての参加者と双方向のコネクションを持つことになる。General Service は一般的なマルチキャスト通信の形態であるが、必要とされるコネクションは $O(n^2)$ で増加するため、規模拡張性はよくない。

4.1.2　Shared Service

Shared Service は、マルチキャストグループで共有可能な多対多の双方向コネクションを提供する (図 4.2)。音声会議のように、あるマルチキャストグループにおいて 2 つ以上の参加者から同時にデータの送信が行われない (あるいは行うことに意味がない) ような場合、参加者の間でコネクションの共有が可能となる。共有するコネクションに必要な帯域幅は、1 つの送信者が送信するデータの帯域幅となるので、General Service よりも少ない資源でマルチキャスト通信が可能となる。

4.1.3　Channel Selection

Channel Selection は、各マルチキャストグループの参加者が、グループ内の任意のチャネル (参加者) を選択可能なようなコネクションを提供する (図 4.3)。CATV の場合、受

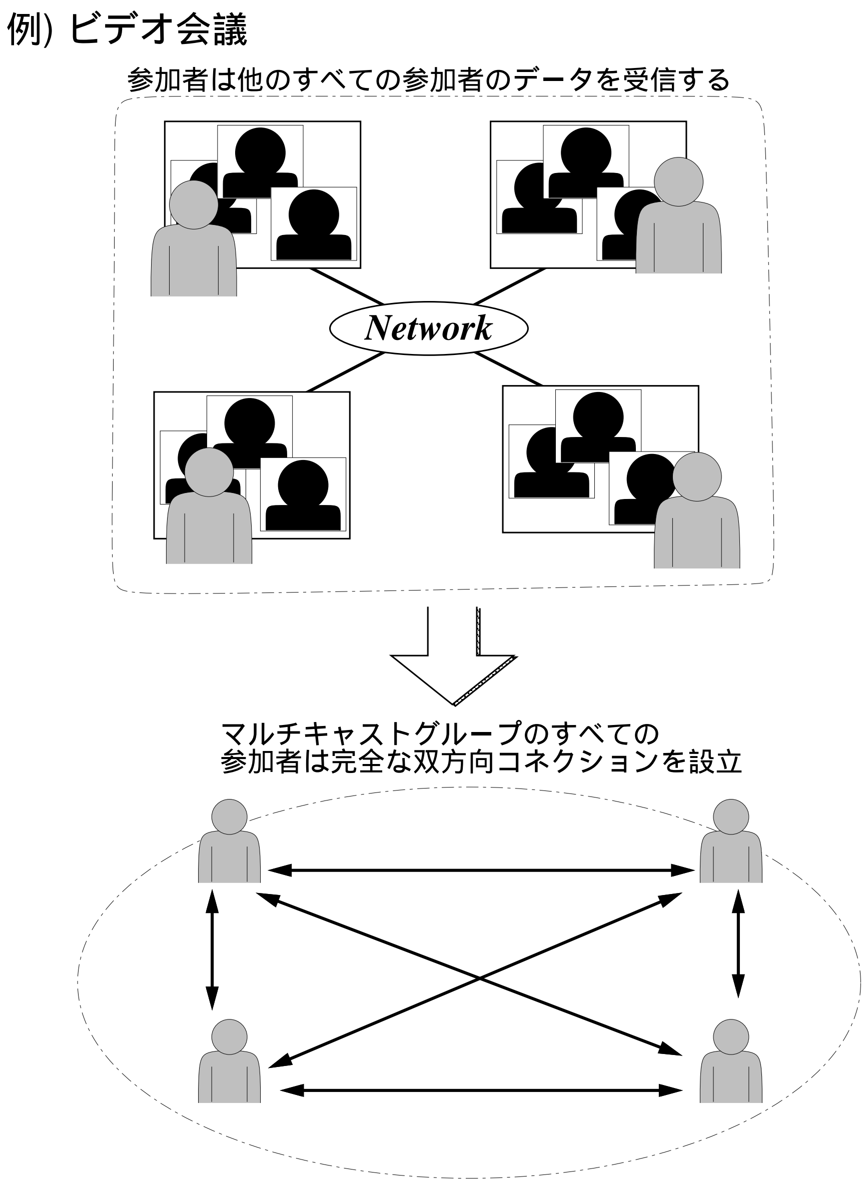


図 4.1: General Service の例 — ビデオ会議

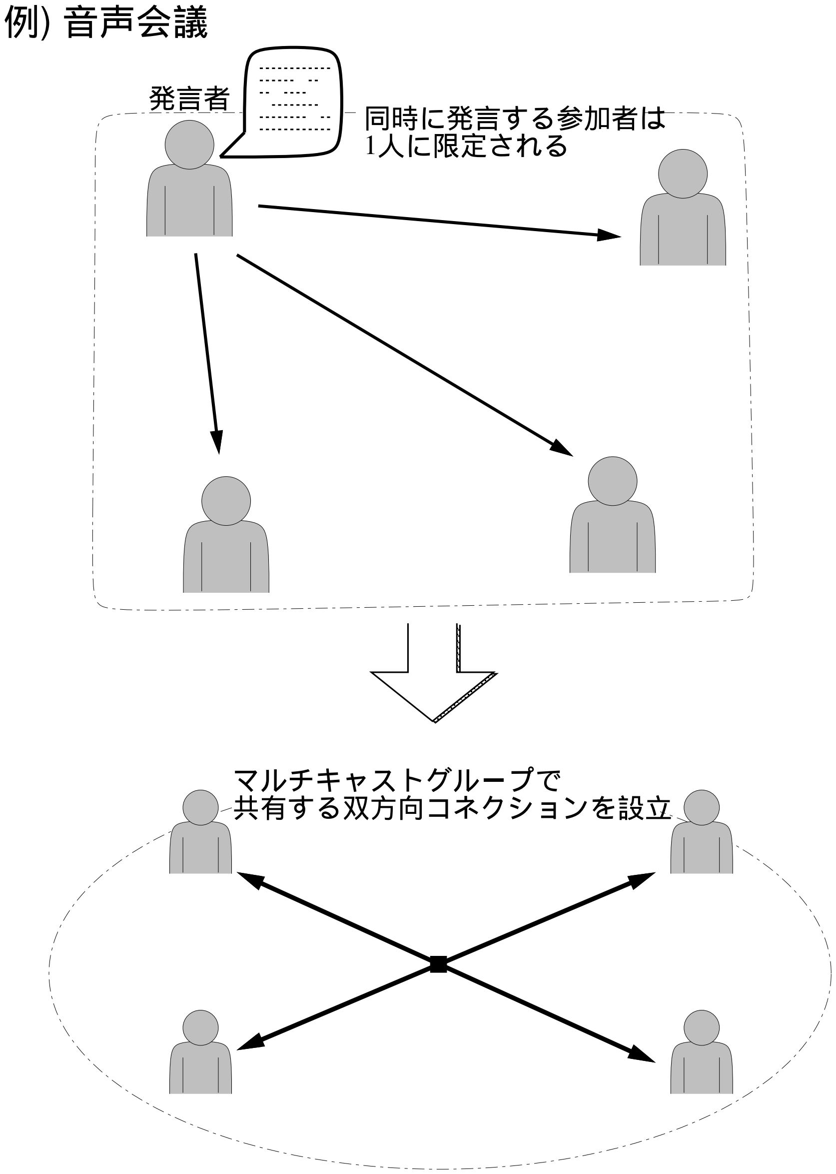


図 4.2: Shared Service の例 — 音声会議

信者は送信者からのデータをすべて必要とするわけではなく、受信者が希望する任意のチャネルのみのデータを受信できればよい。また大規模なビデオ会議においても、参加者すべてが発言する状況は起きないと考えられるので、ある特定の参加者からのデータを選択的に受信すればよいことになる。この場合の通信形態としては、General Service と同じように他のすべての参加者からのデータを受信し、受信側で任意に必要なデータの取捨選択を行う方法もあるが、効率は悪くなる。そこでマルチキャストグループの送信者が受信者からの要求に応じて、動的にコネクションを構成するようなサービス形態を取れば、必要に応じた資源予約での実現が可能となる。

4.2 ATM におけるマルチキャストサービス形態の実現

ATM でのマルチキャスト通信は、3.3節で挙げたように VC mesh と MCS の 2 つの方法がある。ここでは、それぞれの方法においてマルチキャストサービス形態を実現する方法を検討する。

4.2.1 General Service

General Service では、3.2節で概説した従来のネットワーク層のマルチキャストプロトコルと同じコネクション形態を構成することになる。

VC mesh の場合

各参加者は自分以外のすべての参加者と一対多の単方向コネクションを設立する (図 4.4)。マルチキャストグループの参加者が n ホストで構成されているとすると、n 本の 1 対 $(n-1)$ の単方向コネクションを設立することになる。

MCS の場合

MCS では、マルチキャストグループにサービスを提供する MCS が 1 つとすると、各参加者はマルチキャストサーバに対して一対一の単方向コネクションを設立する (図 4.5)。マルチキャストサーバは、すべての参加者に対して参加者毎の一対多の単方向コネクションを設立する。従って、参加者が n ホストで構成されている場合、参加者からマルチキャストサーバへの 1 対 1 の単方向コネクションを n 本、マルチキャストサーバから参加者への 1 対 n の単方向コネクションをを n 本設立することになる。

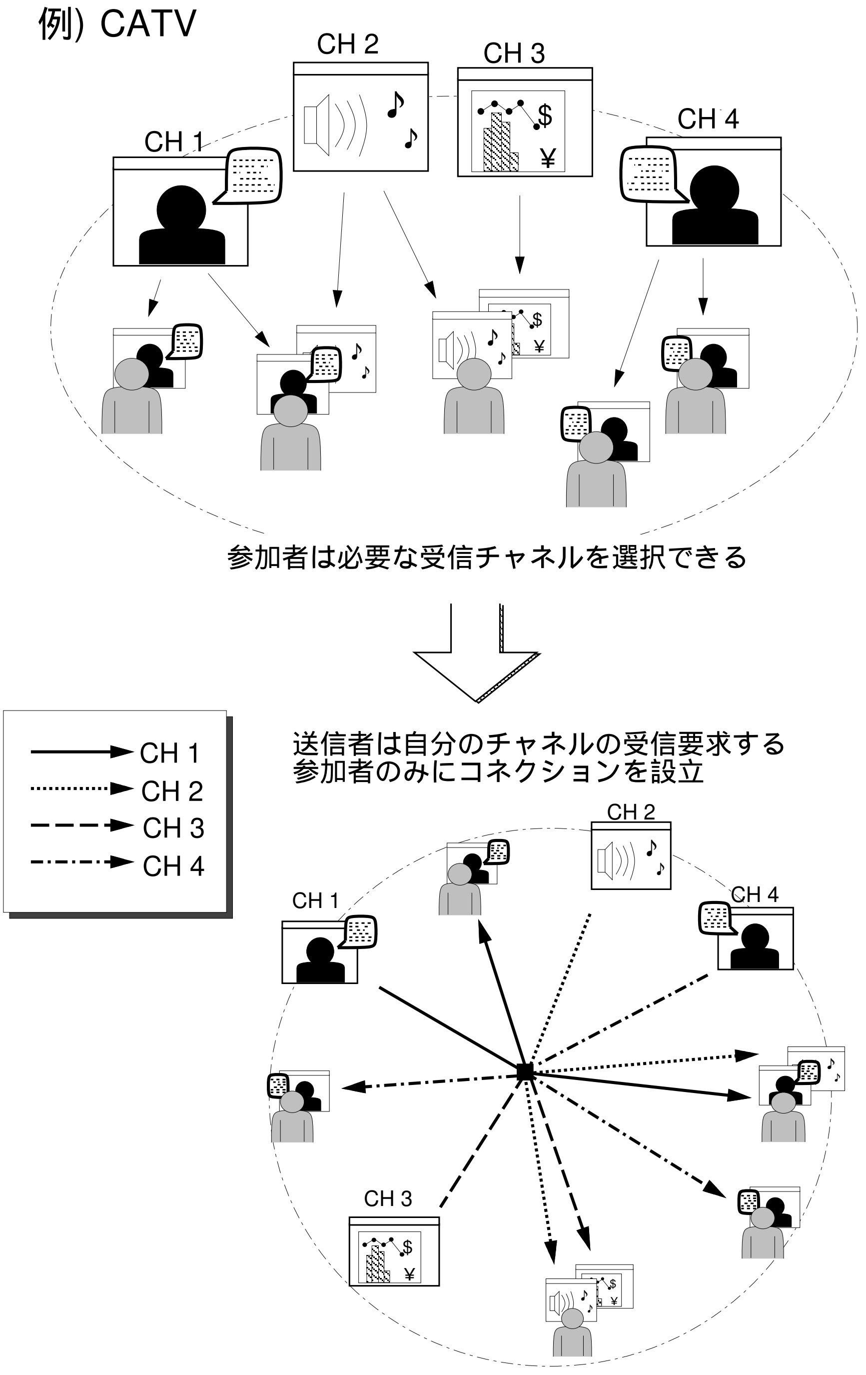


図 4.3: Channel Selection の例 — CATV

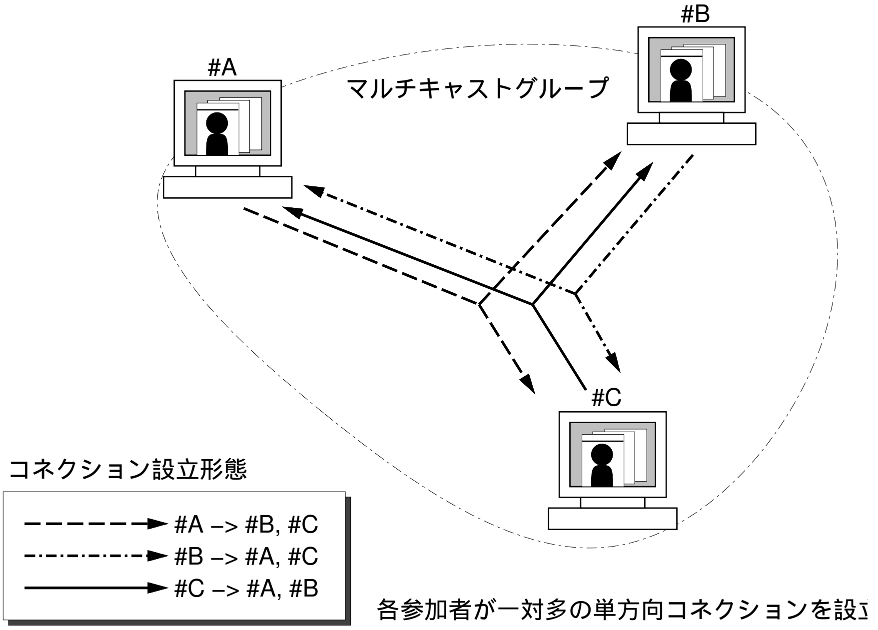


図 4.4: VC mesh による General Service のコネクション形態

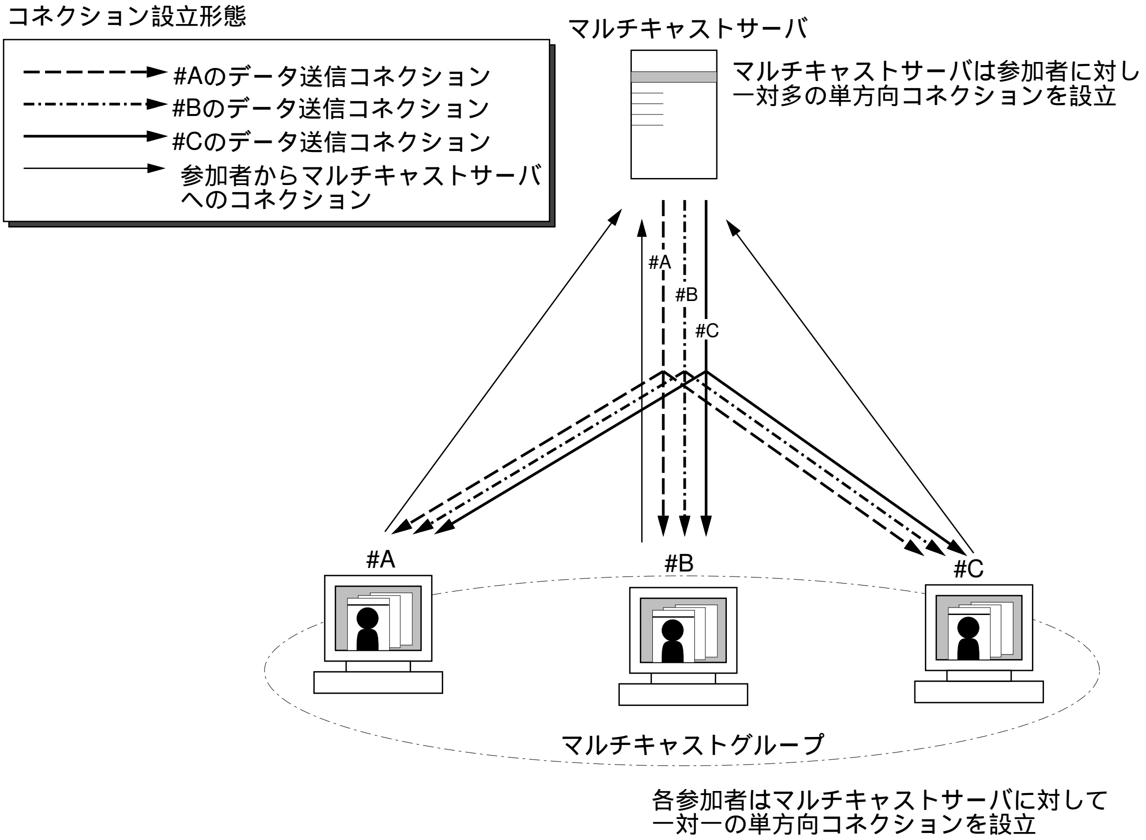


図 4.5: MCS による General Service のコネクション形態

4.2.2 Shared Service

Shared Service では、複数の参加者の間で共有可能なコネクション形態を構成することが必要となる。

VC mesh の場合

ATM では多対多の双方向コネクションの形態は現在規定されておらず、送信者固有の一対多単方向コネクションでは、コネクションの共有はできない。従って VC mesh でこのサービスを提供することはできない (General Service と同じコネクション形態になる)。

MCS の場合

マルチキャストサーバを用いる MCS では、マルチキャストグループに対するデータの送信はすべてマルチキャストサーバが行う。つまりどの参加者から送信されたデータも、一旦マルチキャストサーバを経由して送信されるので、参加者の間でこのコネクションを共有することが可能となる (図 4.6)。各参加者は、マルチキャストサーバに対して一対一の単方向コネクションを設立する。マルチキャストサーバはすべての参加者に対して一対多の単方向コネクションを設立する。このコネクションはマルチキャストグループに対して 1 つあればよい。マルチキャストサーバは、このコネクションにマルチキャストグループの複数の参加者から送信されるデータを適切に多重化することで、参加者間のコネクションの共有を提供することができる。

4.2.3 Channel Selection

Channel Selection では、受信者のチャネル要求に応じてコネクション設立を動的に変化することが必要となる。

VC mesh の場合

各参加者はマルチキャストグループ内の自分のデータの受信を希望する参加者に対してのみ、一対多の単方向コネクションを設立する (図 4.7)。各参加者は受信を希望するチャネルを変更する度に、関係するチャネルの送信者に対してコネクションの設立・解放を依頼する。依頼を受けた送信者は自分のデータを送信する一対多の単方向コネクションに、受信を希望する参加者へのコネクションを追加する。逆に受信を希望しない参加者に対するコネクションは削除されることになる。

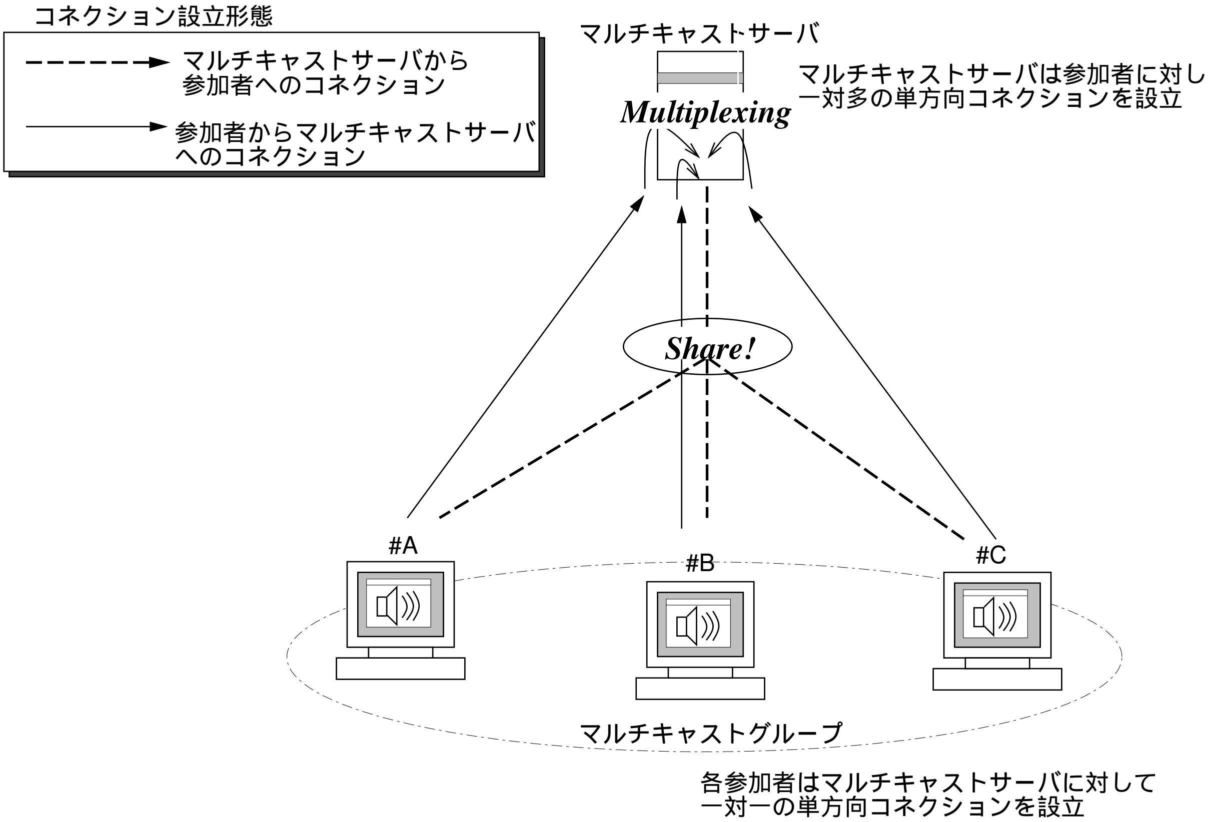


図 4.6: MCS による Shared Service のコネクション形態

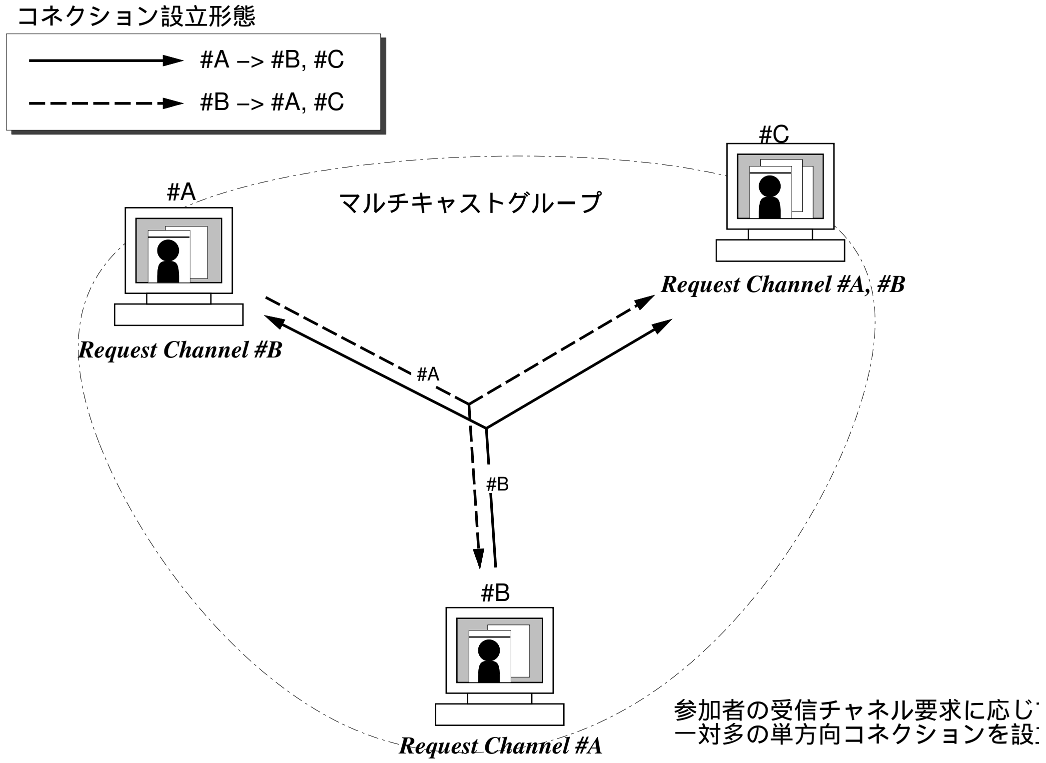


図 4.7: VC mesh による Channel Selection のコネクション形態

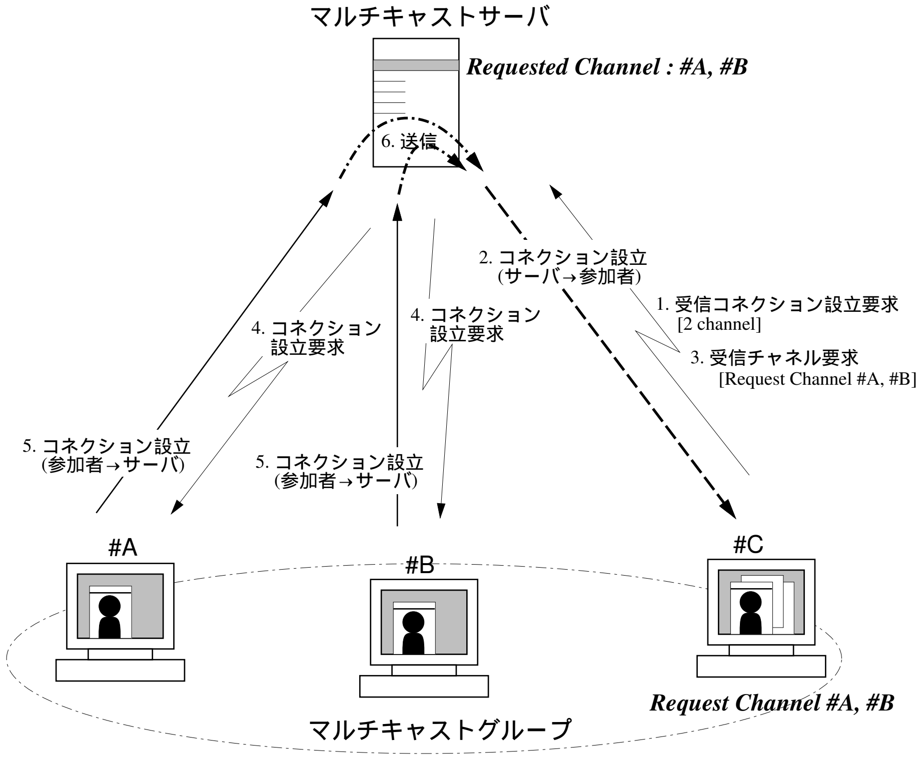


図 4.8: MCS による Channel Selection のコネクション設立手順

この場合、動的にコネクションを設立することになるので、チャネル変更時に必ず希望するチャネルのデータが受信できるという保証はできない。もし予め資源を予約してチャネル切り替えの保証をするとすれば、各参加者はチャネルを切り替える可能性のある参加者、つまり自分以外のマルチキャストグループのすべての参加者との間で資源予約をする必要がある。つまり自分以外のすべての参加者とコネクションを設立すること等しいことになり、General Service と全く同じ形態を取らざるを得ないことになる。

MCS の場合

MCS では、マルチキャストサーバにデータの選択を行わせることで、より柔軟なコネクション設立が可能となる。このコネクション設立の手順を図 4.8に示す。

1. まず参加者は自分がいくつのチャネルを受信するかを決定し、マルチキャストサーバに対して受信コネクションの設立要求を出す。
2. マルチキャストサーバは各参加者に対して、要求する受信チャネル数に応じた帯域幅の一対一単方向コネクションを設立する。

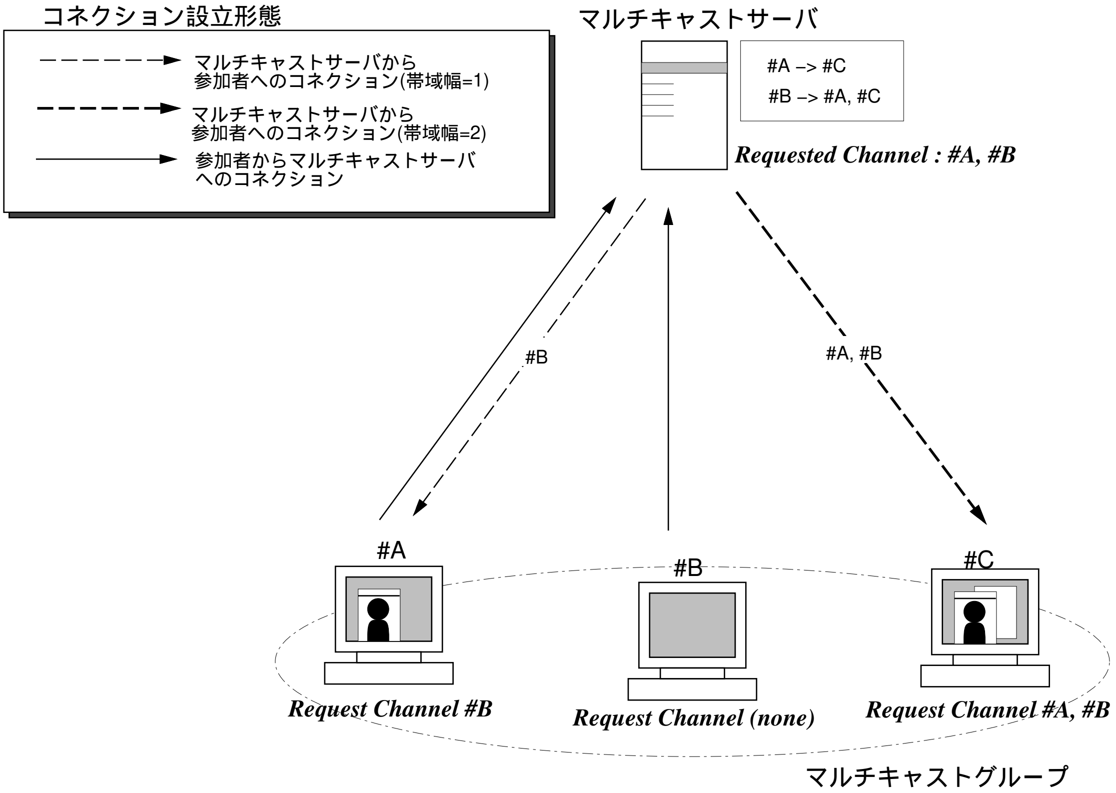


図 4.9: MCS による Channel Selection のコネクション形態

3. 次に参加者は受信を希望するチャネルをマルチキャストサーバに伝える。
4. これに基づき、マルチキャストサーバは受信希望のあるチャネルの参加者に対して、コネクション設立要求を出す。
5. この要求を受けた参加者は、マルチキャストサーバに対して、一対一の単方向コネクションを設立しデータを送信する。
6. 最終的にマルチキャストサーバは、参加者から送られてくるデータを各々の参加者へのコネクションに “選択的に” データを送信することになる (図 4.9)。

チャネルを変更する場合、参加者はマルチキャストサーバに対して、チャネル変更の要求を出す。これに対してマルチキャストサーバは、チャネル変更要求を出した参加者への送信コネクションに送信するデータを変更するだけである。つまりチャネルの変更に対してコネクションを変更する必要はない。従って MCS による Channel Selection では、参加者からマルチキャストサーバへの送信コネクションが設立されているチャネルに関しては、チャネル変更に対する保証ができることになる。

4.2.4 検討

それぞれのマルチキャストサービス形態において、VC mesh、MCS の 2 つの方法を用いた場合のコネクション設立について検討を行った。VC mesh に比べて MCS の方が、マルチキャストサーバに多重化やデータの選択を行わせることで、Shared Service や Channel Selection のサービス形態を効率よく提供できることがわかる。そこで 4.3節では、これらのサービス形態を実現するためのマルチキャストサーバの機構について詳説する。

4.3 マルチキャストサーバ

ここでは、マルチキャストサーバに求められる機構及び必要なモジュールについて述べる。

4.3.1 機構

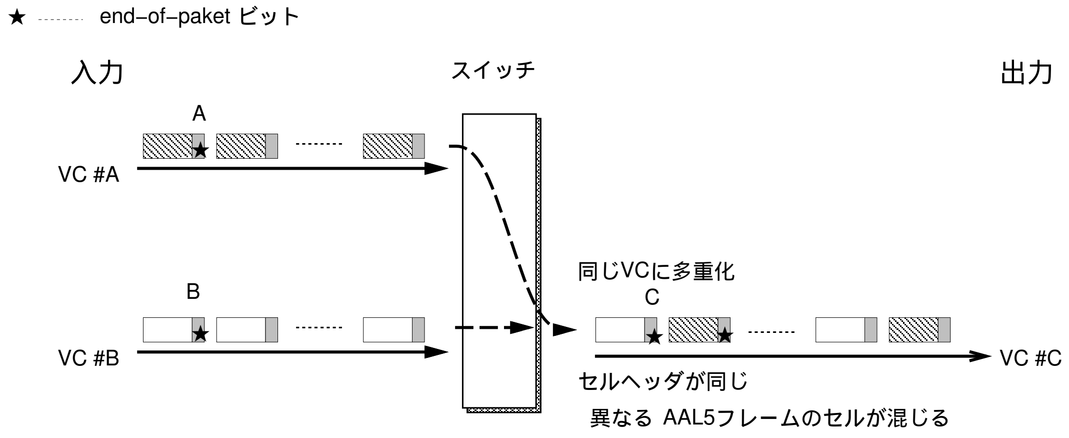
4.2節でのそれぞれのサービス形態に対する実現法の検討から、マルチキャストサーバに必要な機構として、VC の多重化機構、VC の接続機構の 2 つが挙げられる。

VC の多重化機構

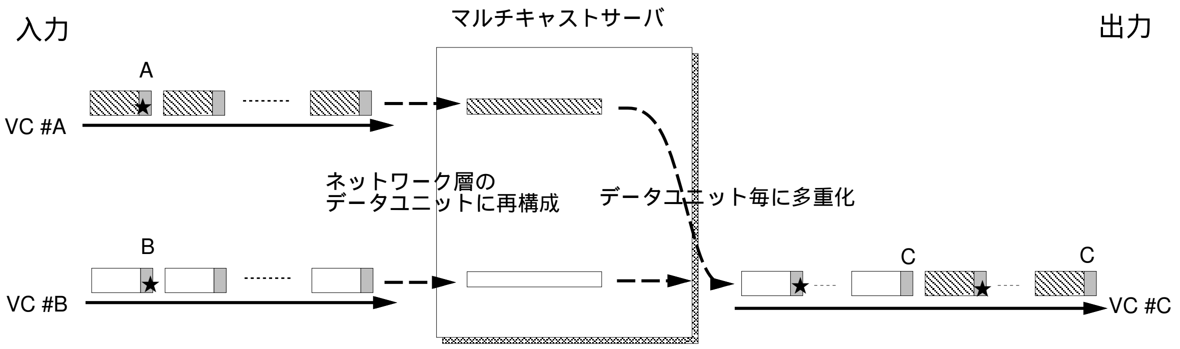
VC の多重化機構は、MCS に到着する複数のコネクションのデータを一つのコネクションに多重化して送信する機能を提供する。例えば Shared Service の場合、参加者からマルチキャストサーバへの複数のコネクションに到着するデータは、参加者で共有する 1 つのコネクションに送信する。このときに多重化機構を用いる。

AAL5 フレームの問題　複数のコネクションから 1 つのコネクションにデータを多重化する場合、ATM スイッチにおいてセルレベルでの多重化を行うと、AAL5 フレームの再構成する場合に問題が生じる。AAL5 SAR 形式では、AAL5 フレームをセルに分割した際に、一番最後にあたるセルにそのフレームの最後であることを示す end-of-packet ビットがセットされる。受信側では、到着するセルをバッファに格納する。そして end-of-packet ビットがセットされるセルが到着した時点で、それまでにバッファに格納されたセルまでが 1 つの AAL5 フレームだと判断し、フレームを再構成する。

仮に図 4.10に示すように、ATM スイッチで 2 つのコネクションの AAL5 のセルを 1 つのコネクションにセルレベルでの多重化を行うとする。このとき多重化されたコネクションには、別々のフレームから分割されたセルが交互に送信される。同じコネクショ



セルレベルでの多重化



マルチキャストサーバによる多重化機能

図 4.10: マルチキャストサーバの VC 多重化機構

ンのセルヘッダは全く同じであるので、2 つのフレームから生成されたセルを識別することができない。また end-of-packet ビットがセットされたセルが到着して、AAL5 フレームに再構成としても、そのフレームは全く意味のないものになる。そこでマルチキャストサーバにおいて、到着するデータを一旦 AAL5 フレームより上層のデータユニットに再構成する。そしてそのデータユニット単位で多重化を行い、その後もう 1 度セルに分割して送信することで、この問題を回避することが可能となる。

VC の接続機構

VC の接続機構は、マルチキャストサーバで経路制御を行う機構である。Channel Selection を行う場合、マルチキャストサーバは、受信者が選択したチャネル (送信者) のデータを到着するデータの中から選択し、それぞれの受信者へのコネクションに送信す

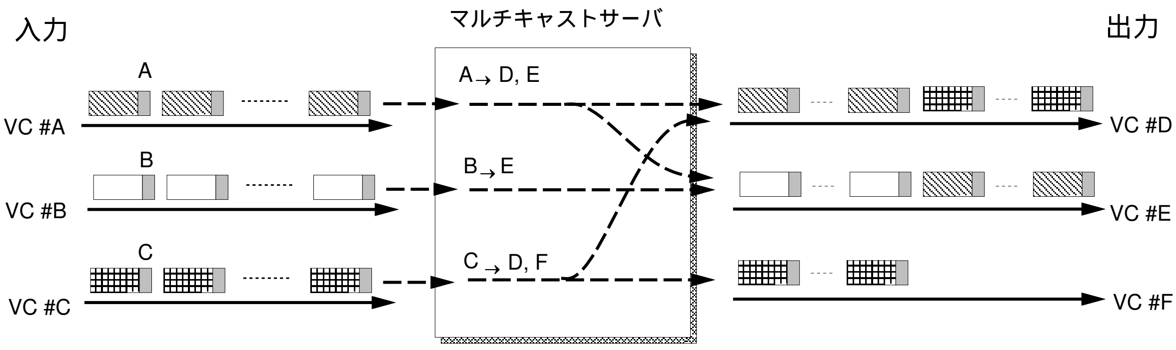


図 4.11: マルチキャストサーバの VC 接続機構

ることが必要である。つまりマルチキャストサーバは、各送信者からマルチキャストサーバへのコネクションと、マルチキャストサーバから各受信者へのコネクションとを接続し中継する役割を持つことになる (図 4.11)。

4.3.2 モジュール

マルチキャストサーバが、あるコネクションからデータを受信し、適切なコネクションへデータを送信するまでの動作は、以下の段階に分けられる。

1. 到着するセルを AAL5 フレームに戻す
2. AAL5 フレームからネットワーク層のデータユニットに戻す
3. ネットワーク層のアドレスから送信コネクションを決定する
4. 送信コネクション毎のバッファのキューに入れる
5. バッファにあるデータユニットから AAL5 フレームを生成する
6. AAL5 フレームをセルに分割し、送信する

1. 2. 5. 6. は主に ATM インタフェースボード上のハードウェア、及びデバイスドライバの役割であるので、マルチキャストサーバは 3. 4. を行う。これに必要なモジュールを以下に示す。

- バッファ管理モジュール
  送信コネクション毎のバッファの管理を行う。コネクション設立時に、使用帯域幅

に合わせてバッファを確保する。またバッファがオーバーフローした際に、破棄するフレームを決定する。

- 経路選択モジュール
  ネットワーク層の宛先アドレス、発信アドレスから適切な送信コネクションを決定する。ここでは、ネットワーク層のマルチキャストアドレスによってマルチキャストサービス形態が判断できるとして、マルチキャストアドレスと送信コネクションの対応付けを行うためのテーブルを考える。

  - * General Service
    {`layer 3 address(multicast address), layer 3 address(source), OutgoingVC`}
    宛先アドレス、発信アドレスから送信コネクションを決定する。この送信コネクションは、マルチキャストアドレスで表現されたグループの参加者に対する一対多の単方向コネクションである。
  - * Shared Service
    {`layer 3 address(multicast address), *, OutgoingVC`}
    宛先アドレスのみから送信コネクションを決定する。この送信コネクションは、マルチキャストアドレスで表現されたグループの参加者に対する一対多の単方向コネクションである。発信アドレスを指定していないので、すべての参加者からのデータがこのコネクションを利用する。
  - * Channel Selection
    {`layer 3 address(multicast address), layer 3 address(source), OutgoingVC1, OutgoingVC2, ..., OutgoingVCn`}
    宛先アドレス、発信アドレスから送信コネクションを決定する。この送信コネクションは、それぞれの参加者との一対一単方向コネクションである。発信アドレスを指定することで、マルチキャストアドレスに対して送信されたデータのうち、希望するチャネル (送信者) のデータだけを受信することができる (フィルタリング)。

- スケジューリングモジュール
  バッファを監視し、オーバーフローが起きないように送信フレームのスケジューリングを行う。

- シグナリングモジュール
  参加者の要求、または2.3節で述べたMARSのようなアドレス解決サーバの要求に

応じて、マルチキャストグループの参加者に対するコネクションの設立・解放を行う。また逆に必要な参加者に対して、マルチキャストサーバへのコネクション設立の要求を行う。このとき同時に、経路制御モジュールで用いるテーブルの登録・更新を行う。マルチキャストグループのメンバシップ管理は、ネットワーク層のアドレス解決サーバが行うものであるので、マルチキャストサーバ自身では行わない。

第 5 章

評価

本研究で提案するそれぞれのマルチキャストサービス形態について、4.2節で、VC mesh、MCS の 2 つの方法で実現する方法について検討した。本章では、ATM ネットワークトポロジモデルを想定し、それぞれの方法を用いてマルチキャストサービス形態を実現した場合についての比較を行う。

5.1 評価項目

まずマルチキャスト通信で取り上げられる問題点について、以下にまとめた。

- 資源消費量
  マルチキャスト通信において大きな問題となるのが、通常の一対一 (ユニキャスト) 通信に比べて多くの資源を必要とすることである。通信資源の効率的な利用をはかるために、より少ない資源消費量のコネクション形態が望まれる。

- 通信遅延時間
  ATM においても ATM スイッチを通過する際に、経路選択のコストによる遅延が生じる。またマルチキャストサーバを用いる場合は、マルチキャストサーバにおいても遅延が生じる。会議のような双方向の相互作用を行うアプリケーションの場合、遅延時間が大きくなると進行に支障をきたすことが考えられる。またマルチキャスト通信では、各参加者間でのリンク距離はまちまちであるが、各参加者に対する遅延時間のばらつきが少なくなるコネクション形態の方がよいと考えられる。

- コネクションの集中
  マルチキャスト通信では、同時に多数の参加者から他の参加者に向けてデータが送信される。ATM では、コネクション設立の際に資源予約を行うので、輻輳状態に陥ることはない。しかし、参加者のコネクションが集中するようなリンクがあると、そのリンクに資源予約の要求が集中することになり、使用できる帯域幅を使い切ってしまう。その結果、新規の参加者が加わることができなくなる。この場合、各参加者が使用する帯域幅を少なく設定し直す必要が生じるが、再度コネクションを設立することは非常に大きなコストを伴う。このため、できるだけコネクションの集中を避けることが重要である。

- グループ構成の動的変更に関するコスト
  アプリケーションの種類によっては、グループのメンバシップが動的に変化するものがある。ATM では、コネクションの変更でこれに対応する必要がある。コネクションの設立・解放は送信者と受信者の間でスイッチ毎に行われるため、コストは

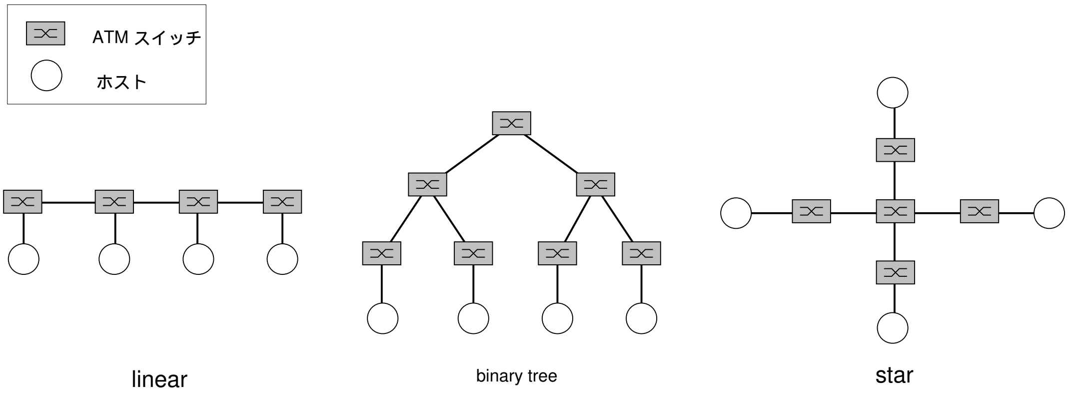


図 5.1: ATM ネットワークトポロジモデル

設立・解放するコネクションの数、関連する ATM スイッチの数によって決まる。メンバシップの変更を頻繁に行うようなアプリケーションにとって、このコストが大きいと、コネクション変更にかかる時間が増加することになる。

5.2 評価方法

5.2.1 ATM ネットワークトポロジモデル

評価の方法として、ATM ネットワークトポロジの簡単なモデルを構成する。以下にその 3 つのモデルを図 5.1に示す。このうち規模拡張の点から star 型は除外し、linear 型と binary-tree 型を評価の対象とする。

5.2.2 設定

上記の ATM トポロジモデルに対して、以下の設定を行いシミュレーションプログラムを作成し、その結果を評価とする。

- コネクション設立に必要な帯域幅
  各々の送信者がコネクションを設立する際に必要な帯域幅は、各受信者に対して一様であるとする。これは ATM で一対多のコネクションを設立するときに、受信者毎に予約帯域幅を設定することができないためである。

- リンクの帯域幅
  ATM ネットワークのすべてのリンクの帯域幅は無制限であると仮定する。つまり

リンクに対する資源予約の量を制限しない。評価では、マルチキャスト通信の規模を制限することで、リンクに対する無制限な資源予約が起きないようにする。

- マルチキャスト通信の規模 (ホスト数)
  マルチキャスト通信の規模はアプリケーションによって左右される。ビデオ会議のようなアプリケーションの場合には、最大でも十数ホストが限界であるが、CATVのようなアプリケーションの場合には、数千ホストにもなる大規模なものも想定される。本研究では双方向の多対多のマルチキャスト通信を想定していることと、前述したリンクの帯域幅の関係から、数百ホスト程度までの中規模のマルチキャスト通信までをその評価の対象とする。

- マルチキャストサーバの配置
  マルチキャストサーバの配置数及び配置場所は、MCSの方法でマルチキャスト通信を行う場合の様々な評価に大きく影響する。ここではVC meshとの比較を行うため、マルチキャストサーバの配置数、配置場所の問題を切り離すことにした。そこで、マルチキャストサーバはマルチキャストグループに1つとし、配置場所は偏りのないようにネットワークトポロジの中央に配置するようにする。

5.2.3 評価値の算出

以下のような方法で評価値を算出する。

- 資源消費量
  本研究では、リンクに対する資源予約の量を資源消費量とする。ある1つのリンクに対して1つのコネクションが設立される場合を1として、ネットワーク全体のリンクにおける総数を資源消費量とする。

- シグナリングコスト
  新規参加者や脱退者などによりマルチキャストグループが動的に変化する場合、新たにコネクション設立したり、コネクションの追加・削除を行う必要がある。またChannel Selectionの場合には、チャネルの切替えにおいてもコネクションの変更が必要になる場合がある。ここではコネクションの変化に伴うシグナリングのコストの目安として、リンク毎のコネクションの設立・開放をそれぞれ1として算出し、ネットワーク全体における総数をシグナリングコストとする。

5.3 評価内容 ·結果

4.1節で提案したそれぞれのマルチキャストサービス形態について、VC mesh、MCSをそれぞれを用いた場合の比較を行う。

5.3.1 General Service

マルチキャストサービス形態をGeneral Serviceとし、一般的なマルチキャスト通信形態におけるVC meshとMCSの基本的な特徴を明らかにする。評価の項目としては、

- ネットワーク全体における資源消費量
- 各参加者間の平均距離
- 最も資源予約の多いリンク (コネクションの集中点) の資源消費量
- 新規参加者に対するシグナリングコスト

である。nホストによりトポロジモデルを構成した場合について、各項目の評価式を表5.1、表5.2に示し、その一部を図5.2、図5.3としてグラフに示した。

Shared Service

マルチキャストサービス形態をShared Serviceとし、VC mesh、MCSを用いた場合について行う。評価の項目は以下の通りである。

- 規模 (参加者数) と資源消費量
  資源消費量から規模拡張性を比較する。
- 送信者の数と資源消費量
  規模 (参加者数) を一定に固定し、マルチキャストグループの送信者と受信者の構成の変化と資源消費量について比較する。
- 同時に送信できる送信者の数と資源消費量
  MCSを用いる場合、マルチキャストサーバに到着するデータは、各参加者への一対多の単方向コネクションに多重化して送信される。このコネクションの帯域幅によって、同時にデータを送信できる参加者の数が制限される。この帯域幅を変化させたときの資源消費量とVC meshの資源消費量を比較する。

上記3つの評価を図5.4、図5.5、図5.6としてグラフに示した。

Channel Selection

Channel Selection では、受信者は任意のチャネル数を選択することができる。しかし多くのチャネル数を要求する場合、コネクションの形態は General Service と大差がない。そこで受信者が要求するチャネル数を 2 つまでに限定し、評価を行う。チャネルの選択は各参加者がランダムに設定し、コネクションを設立する。それに基づき資源消費量を算出した。各々100 回試行したときの平均値を求める値とする。

- 規模 (参加者数) と資源消費量
  資源消費量から規模拡張性を比較する。
- 送信者数と資源消費量
  規模 (参加者数) を一定に固定し、マルチキャストグループの送信者と受信者の構成の変化と資源消費量について比較する。

次に、参加者がチャネル (送信者) を任意に切り替えた場合のコネクション設立の変化から、チャネルの動的切り替え時のシグナリングコストを算出する。先ほどと同様に、ランダムにチャネルを切り替えるように設定し、コネクションを設立する。100 回試行したときのシグナリングコストの平均値を求める値とする。

- 規模 (参加者数) とシグナリングコスト
  シグナリングコストから規模拡張性を比較する。
- 送信者数とシグナリングコスト
  規模 (参加者数) を一定に固定し、マルチキャストグループの送信者と受信者の構成の変化とシグナリングコストについて比較する。
- チャネル切り替えの割合とシグナリングコスト
  規模 (参加者数) を一定に固定し、そのうちチャネル切り替えを行う参加者の数を変化させた場合について比較する。

上記 5 つの結果を図 5.7、図 5.8、図 5.9、図 5.10、図 5.11としてグラフに示した。

表 5.1: General Service の評価式 (1)

トポロジ		資源消費量	平均距離	コネクションの集中点
linear	VC mesh	$n(n-1)$	$\frac{n+1}{3}+2$	n
	MCS	$n(n-1)+\frac{(n+1)(n-1)}{4}$	$\frac{n+1}{2}+4$	$2n$
binary tree	VC mesh	$2n(n-1)$	$\frac{2[n\log_2 n-(n-1)]}{n-1}+2$	n
	MCS	$2n(n-1)+n\log_2 n$	$2\log_2 n+4$	$2n$

表 5.2: General Service の評価式 (2)

トポロジ		新規参加者のシグナリングメッセージ数	ネットワーク全体のシグナリングコスト
linear	VC mesh	$3n$	$2n$
	MCS	$2n+1$	$2n+n/2+1$
binary tree	VC mesh	$3n$	$2(n-1)+n$
	MCS	$2n+1$	$2(n-1)+n+\log_2 n$

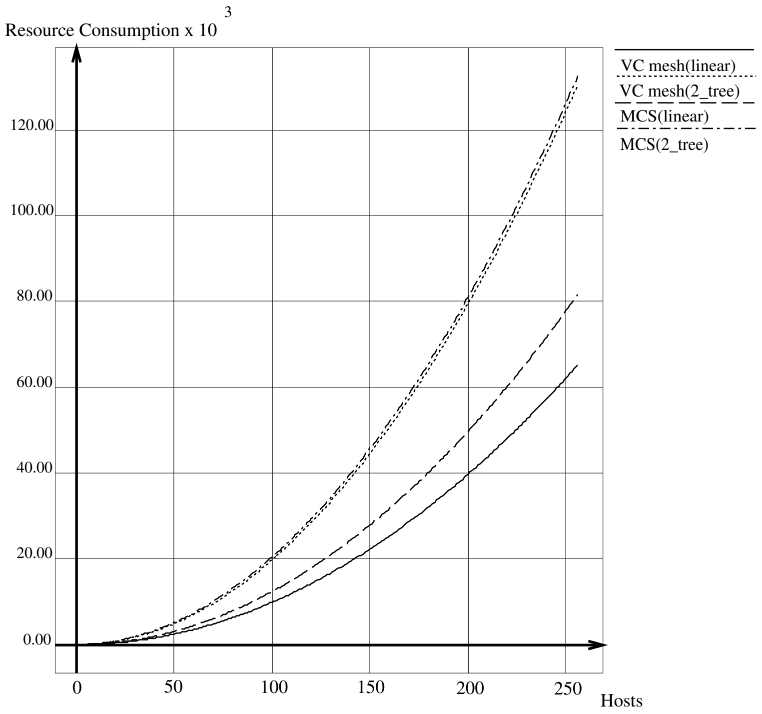


図 5.2: General Service — 規模 (ホスト数) と資源消費量

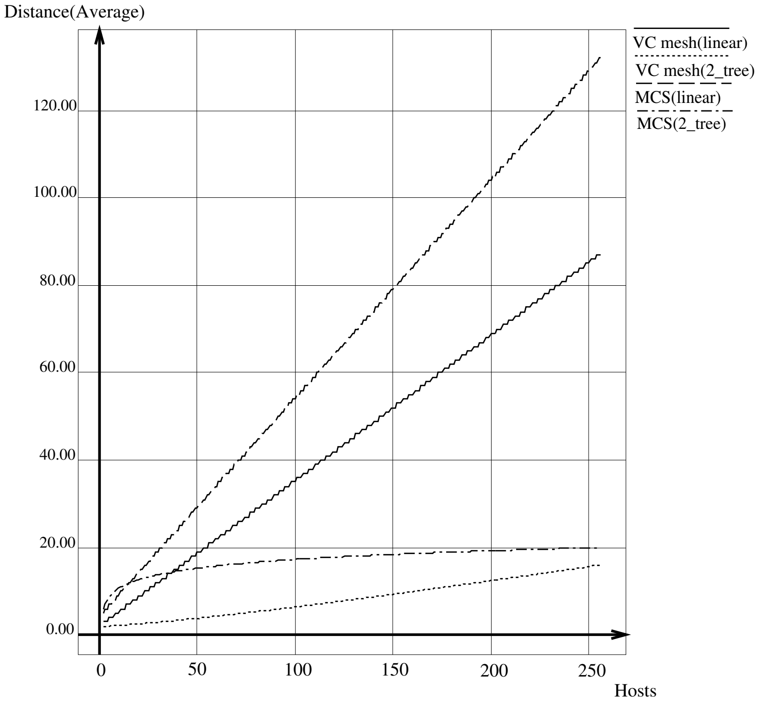


図 5.3: General Service — 規模 (ホスト数) と平均距離

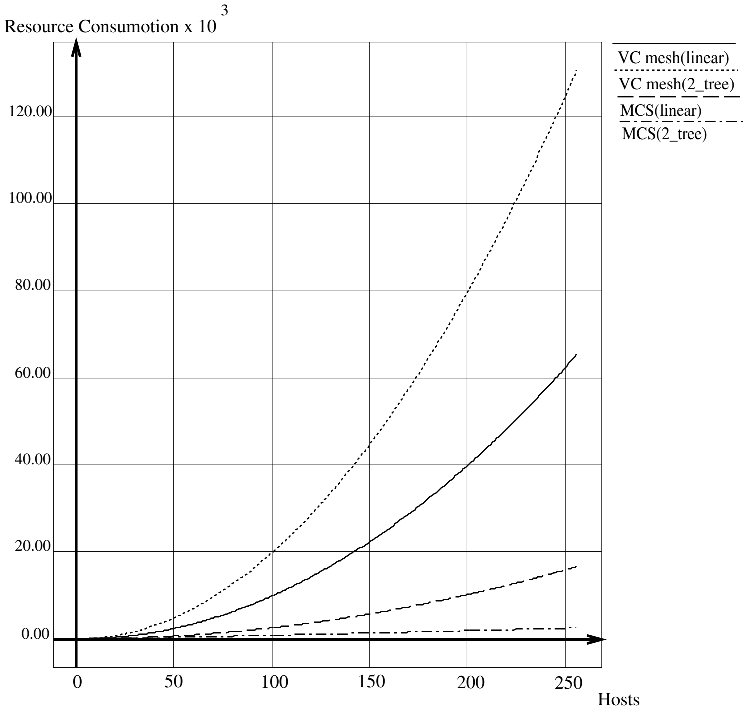


図 5.4: Shared Service — 規模 (ホスト数) と資源消費量

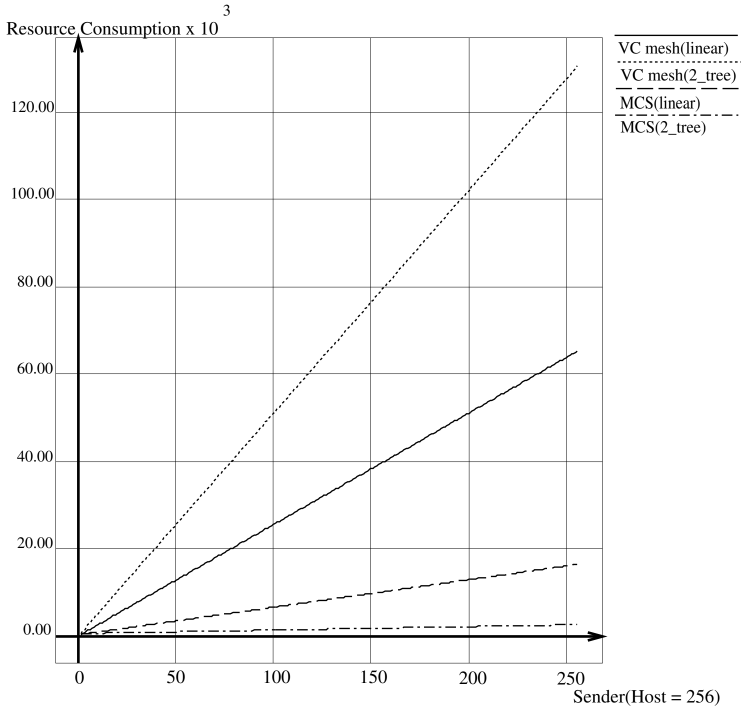


図 5.5: Shared Service — 送信者数と資源消費量

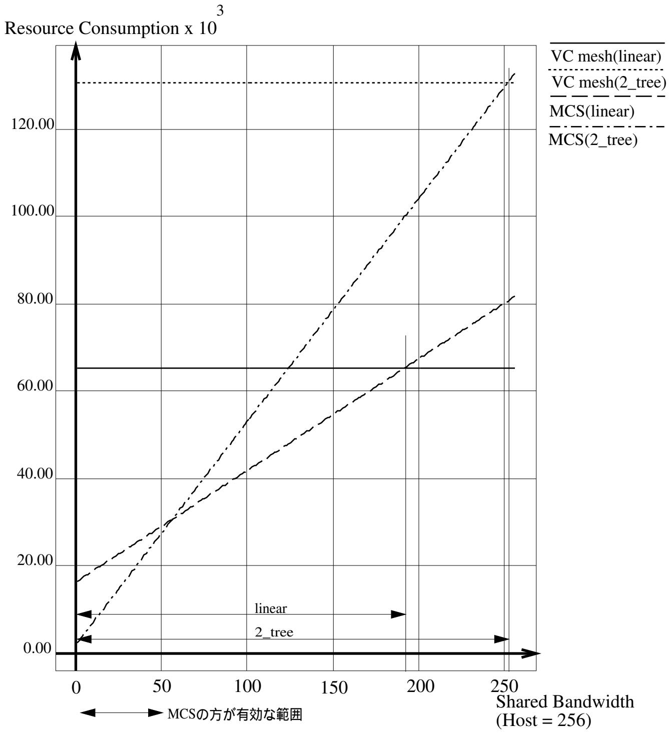


図 5.6: Shared Service — 同時に送信できる送信者数と資源消費量

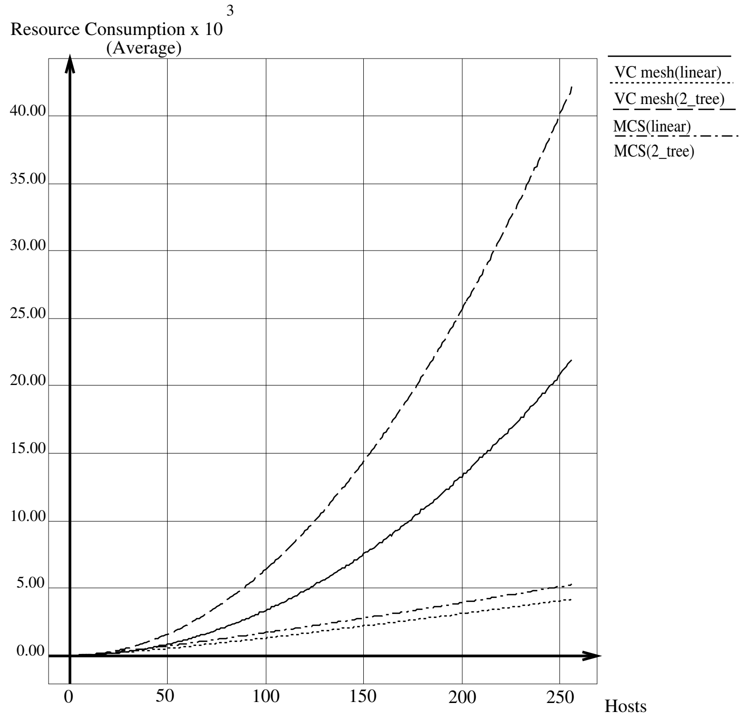


図 5.7: Channel Selection — 規模 (ホスト数) と資源消費量

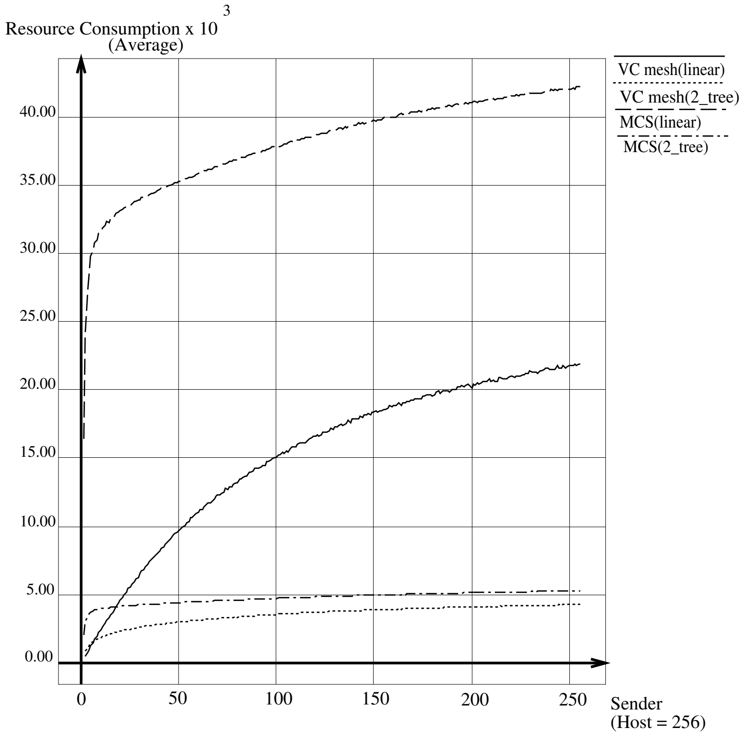


図 5.8: Channel Selection — 送信者数と資源消費量

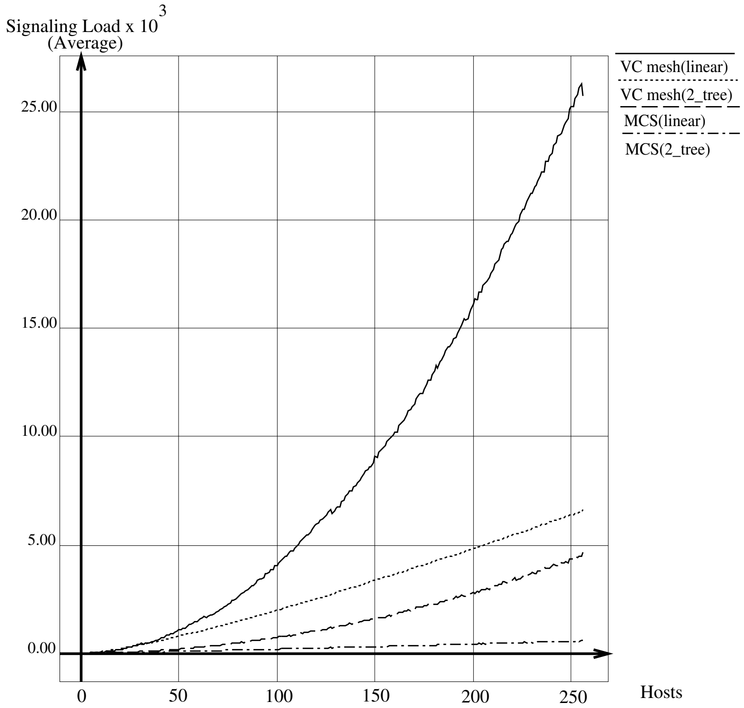


図 5.9: Channel Selection — 規模 (ホスト数) とシグナリングコスト

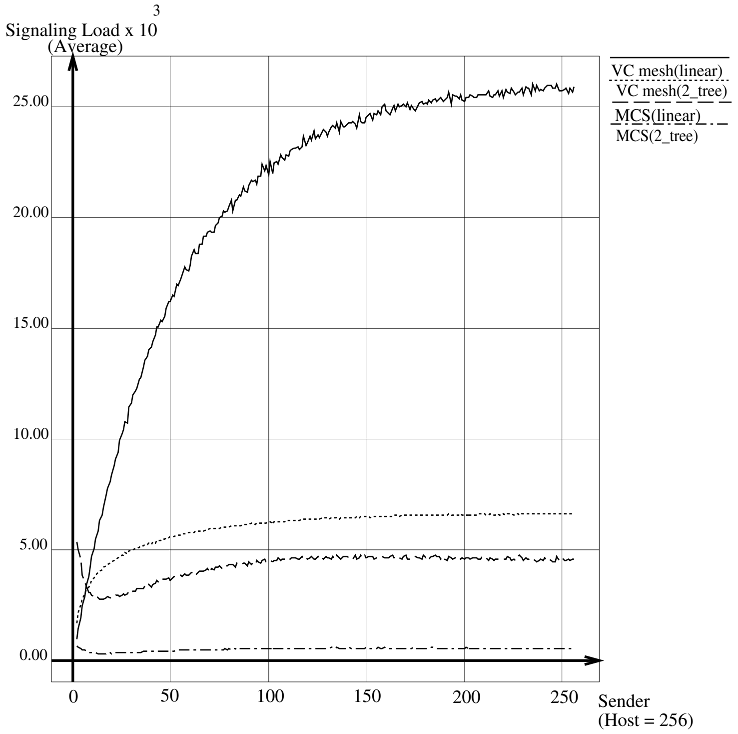


図 5.10: Channel Selection — 送信者数とシグナリングコスト

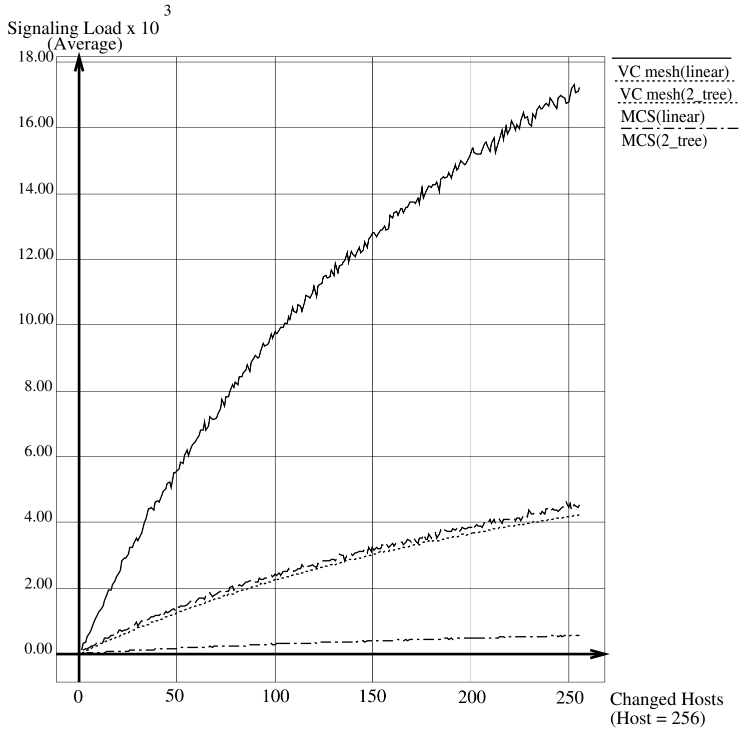


図 5.11: Channel Selection — チャネル切替えの割合とシグナリングコスト

第 6 章

議論・今後の課題

本章では5章で行った評価について検討を加え、提案するマルチキャストサービス形態の有効性及び問題点を示し、今後の課題を述べる。

6.1 各サービス形態に対する有効性

6.1.1 General Service

General Service の評価結果から、5.1節で挙げたマルチキャスト通信に関する問題点について議論する。

資源消費量

図5.2をみると、資源消費量はlinear トポロジではVC mesh の方がより少なく、binary tree トポロジでもわずかにVC mesh の方が少ない。MCS の場合、近隣の参加者同士のコネクションも、参加者同士で直接コネクションを設立するのではなく、マルチキャストサーバを介してコネクションを設立して通信を行うことになる。このためマルチキャストサーバを経由する分、多くの資源を消費することになる。

通信遅延時間

図5.3みると、linear トポロジ、binary tree トポロジいずれの場合もVC mesh の方が平均距離が短い。つまりVC mesh の方が通信の際の遅延も少ないと考えられる。これも資源消費量と同じ理由で、マルチキャストサーバを経由することによるものである。また MCS では、マルチキャストサーバにおける経路選択の遅延を考慮しなくてはいけないので、さらに遅延が生じることになる。しかし任意の2つの参加者間のコネクションの距離のばらつきに注目すると、binary tree トポロジではマルチキャストサーバはすべての参加者に対してほぼ等距離の位置にあるので、ある参加者から送信されたデータはすべての参加者に対してほぼ一様な遅延時間で到着すると考えられる。ビデオ会議のような相互作用を行うアプリケーションにおいては、遅延時間が少ないことが重要であるが、複数の参加者が存在する場合には遅延時間の平均化も無視できない点である。

コネクションの集中

MCS では、マルチキャストサーバ付近で送受信のコネクションが集中する。表5.1をみると、MCS はVC mesh の2倍になっており、リンクの帯域幅が同じとすると、MCS ではVC mesh の1/2しかマルチキャストグループに参加できないことになる。これに

対して MCS では、複数のマルチキャストサーバを設けることでコネクションを分散化することができる。複数のマルチキャストサーバによるサービス提供については6.2節で詳しく述べる。

シグナリングコスト

評価では、新規参加者に対するネットワーク全体のシグナリングコストの他に、新規参加者のシグナリングメッセージ数を示した (表 5.2)。設立するコネクションは VC mesh より MCS の方が多いので、シグナリングコストも大きくなる。しかし新規参加者のシグナリングのメッセージ数をみると、MCS ではマルチキャストサーバへの一対一コネクションを設立するだけであるのに対し、VC mesh では全ての参加者に対してコネクション設立を行わなくてはいけない。また既存の参加者に注目すると、MCS では何ら新たなコネクションを設立する必要はない。これに対して VC mesh では既存の参加者は新たな参加者が加わる度に、コネクション設立を行う必要がある。つまりマルチキャストサーバを用いることで、メンバシップの変更に対する新規参加者及び既存の参加者のシグナリングの負担を軽減することができる。

全体的な評価

General Service のようなマルチキャスト通信形態においては、マルチキャストサーバを途中に介さない VC mesh の方が概ね優れていると言える。もともと ATM は、送信側から受信側までコネクションを設立し、その後は ATM スイッチのみで高速にセルの経路選択をすることにより、より高速で遅延時間の少ないネットワークを目指したものである。その点からも、マルチキャストサーバを介するコネクション設立方法は、特徴を活かしていないと言える。従って MCS の利点は少ない。

しかし、シグナリングコストのような動的なメンバシップの構成に関する点からみると、一概に VC mesh が有利とは言えない。VC mesh では規模が大きくなるにつれて、新規参加者のコネクション設立の負荷は増大する。また既存の参加者についても、メンバシップが変更するたびにコネクションの追加・削除を強いられる。これは、ATM では送信者からしかコネクションが設立できないことによるものである。MCS ではメンバシップの変更に関して、すべてマルチキャストサーバがコネクションの追加・削除を行うので、参加者はメンバシップの変更に関して何ら関わる必要がない。従って、マルチキャストサーバに十分な能力があればよく、個々の参加者の負担は極めて低く抑えることができる。

6.1.2 Shared Service

規模及び送信者数と資源消費量

まず規模 (参加者数) に対する資源消費量の増加は VC mesh に比べて MCS の方が大幅に少なく抑えることができ (図 5.4)、MCS を用いた場合の規模拡張性は格段に改善されていると言える。また図 5.5を見ると、送信者の割合が少ないときは VC mesh と MCS の違いが比較的少ないのに対し、送信者の割合が増加するにつれてその差は大きくなっている。VC mesh ではコネクションの共有ができないので、それぞれの送信者が参加者に対して個別のコネクションを設立しなければいけない。しかし MCS では、送信者の割合が増加しても、マルチキャストサーバから各参加者へのデータ送信のコネクションを送信者の間で共有するので、資源消費量の増加を抑えることができる。

同時に送信できる送信者の数と資源消費量

図 5.4と図 5.5の結果は、音声会議のように同時に 1 つの送信者しかいないことを仮定し、共有するコネクションは 1 つの参加者が送信するデータの帯域幅としていた。しかしこの帯域幅を増やすことで、同時に複数の送信者がいても多重化して送信することができる。図 5.6を見ると、linear トポロジで全参加者の 8 割程度まで、binary tree トポロジではほぼすべての範囲で、MCS の方が VC mesh より資源消費量が少ないことがわかる。従って、同時に送信を行う参加者数が限定されるようなマルチキャスト通信では、かなりの範囲において、MCS を用いた Shared Service によるコネクションの共有が有効と言える。

多重化の問題点

多重化の際に問題となるのは、多重化による遅延と輻輳である。マルチキャストサーバに共有コネクションの予約帯域幅以上のデータが到着した場合、送信できない分のデータはバッファに入れられるため、バッファに留まっている時間だけ遅延が生じてしまう。また複数の送信者からデータがバースト送信されると、最悪の場合はバッファが溢れることになる。これらマルチキャストサーバの問題点にについては 6.2節で考察する。

6.1.3 Channel Selection

資源消費量

図 5.7、図 5.8から、資源消費量は VC mesh より MCS の方が多い。図 4.9のように MCS では、マルチキャストサーバから受信者へはすべて一対一コネクションである。このため、各受信者に対して同じ送信者からのデータを送る場合も、受信者の数だけ個別のコネクションが必要になり、資源消費量が増加してしまう。

シグナリングコスト

一方、シグナリングコストは MCS の方が極めて低く抑えることができる (図 5.9、図 5.10、図 5.11)。VC mesh では、参加者がチャネルを切り替える場合、受信を希望しなくなった送信者に対してコネクションの削除を依頼し、新たに受信を希望する送信者に対してコネクションの追加を依頼しなければならない。しかし MCS では、マルチキャストサーバが、参加者の受信チャネル変更の要求に応じて経路選択のテーブル書き換えるだけで、コネクションは変更しない。MCS でコネクションの変更が必要なのは、

- 参加者が受信チャネル数を変更する場合
- マルチキャストサーバに対して新たにデータを送信する (送信を止める) 場合

である。通常の ATM のコネクションは、設立した送信者のデータのみが送信される。しかしマルチキャストサーバを経由することで、マルチキャストサーバから受信者へのコネクションには、任意の送信者のデータを送信することが可能となる。これによりチャネル切替えによるシグナリングコストのコストを最小限に抑えている。

Channel Selection を利用するアプリケーション

マルチキャストサーバを用いた Channel Selection では、送信者、受信者とも一対一通信のコネクション設立手順で、マルチキャスト通信を行うことが可能である。またチャネル切替えによるコネクションの変更がないので、頻繁にチャネルを切替えることも容易である。Channel Selection を利用するアプリケーションとして、ネットワークを通じたテレビ放送やラジオ放送、また画像によるチャットシステムなどが考えられる。これらのアプリケーションでは、参加者の数が大規模になると考えられるが、マルチキャストサーバを複数配置することで、さらに効率のよいマルチキャスト通信を行うことができる。これについては 6.2節で述べる。

6.1.4 まとめ

以上の結果から、マルチキャストサーバはShared Service、Channel Selectionそれぞれにおいて有効であることがわかった。Shared Serviceはマルチキャストサーバの多重化機構を、Channel Selection assured serviceはVCの接続機構をうまく利用したものであるといえる。

ATMはコネクション指向であり、またコネクション毎に資源予約が可能であるという特徴をもっているが、コネクションの形態に制限があったり、AAL5フレームの問題によりセルレベルでの多重化ができない。このため、予約された資源を共有したり、転用したりすることは困難である。しかし、マルチキャストサーバを用いることによりこれらの機能を補完し、ATMの柔軟性を高めこれを取り扱いやすくすることが可能になるのである。

6.2 マルチキャストサーバの問題点

6.2.1 通信遅延時間

マルチキャストサーバを用いることの最大の欠点は、通信遅延時間を生じることである。特にマルチメディアアプリケーションのように実時間性のあるデータを取り扱うものは、遅延時間や遅延時間のばらつきによるジッタはサービスの質を悪化させるものである。マルチキャストサーバを経由する際の遅延時間は、以下の3つに分けられる(図6.1)。

1. セルをネットワーク層のデータユニットに再構成する時間
2. 経路制御に要する時間
3. 再びセルに分割し、送信する時間

1. は、主にデータユニットのサイズに依存する。ATMインタフェースボードの受信バッファにある程度セルが溜ると、それをホストのメモリ空間へ受渡すことが必要になる。この時に生じる割り込みが、遅延時間を発生させる主な要因である。データユニットのサイズが大きいと、セルからデータユニットへ再構成されるまでの割り込み回数が増加し、遅延が大きくなると考えられる。

2. 及び3. は待ち行列の問題である。2. の経路制御に要する時間は、複数のコネクションから到着するデータユニットがバッファで待つ待ち時間と、プロセッサが経路制御テーブルを検索して、送信コネクションのバッファに入れるまでのサービス時間の和である。

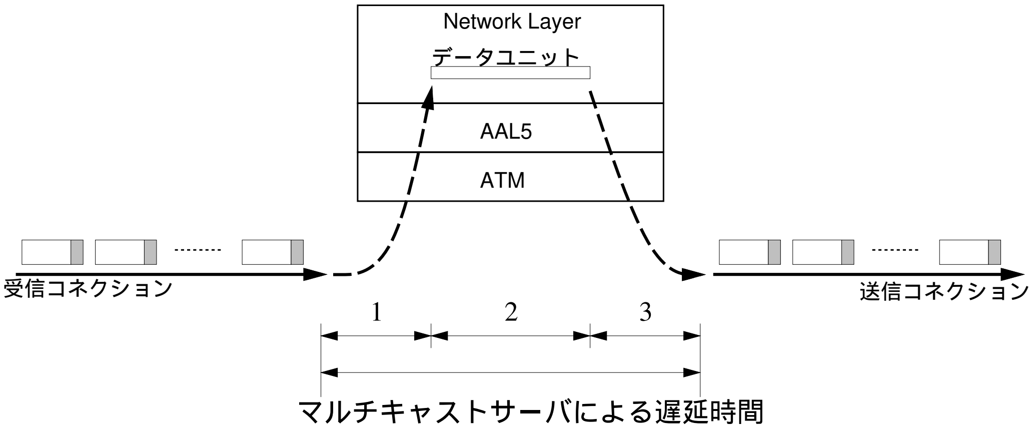


図 6.1: マルチキャストサーバによる遅延時間

同様に、3. のセルに分割し送信する時間も、送信コネクションのバッファで待つ待ち時間と、データユニットがセルに分割され、送信を終えるまでのサービス時間の和である。データユニットの到着間隔がポアソン分布、経路制御テーブルの検索時間が一定であると仮定すると、2. は $M/D/1$ で表される待ち行列システムとなる。また 3. においても、データユニットの送出時間を考えると、1. と同様にデータユニットのサイズに依存するため、データユニットのサイズが一定であるとすると、送出時間も一定となる。従って 2. と同様に $M/D/1$ で表される待ち行列システムと考えられる。待ち行列システムにおいて、システムへの平均到着率 (到着間隔の逆数) をλ、システムでの平均サービス時間を$\overline{x}$として、利用率ρは、

$$\rho \equiv \lambda\overline{x}$$

と定義される。この場合、$M/D/1$ システム内で費される平均時間 (システム時間) t は、

$$t = \left(\frac{\rho}{2(1-\rho)}\right)\left(\frac{1}{\lambda}\right)$$

となる。従って、2. 及び 3. におけるシステム時間は上式から導ける。ここでマルチキャストサーバにおける平均遅延時間 Tは、1. での遅延時間をαとすると、

$$T = \alpha + t\ (2.\ \text{のシステム時間}) + t\ (3.\ \text{のシステム時間})$$

と概算することができる。t は利用率ρに左右され、ρが 1 に近付くにつれて、無限大に発散する。

6.2.2 分散配置

評価では、マルチキャストサーバの能力に制限を設けずに、1つのマルチキャストサーバがマルチキャストグループの全ての参加者を受け持つような設定を行った。しかし実際には、マルチキャストサーバの能力には限界があるため、マルチキャストグループの規模を大きくする場合には、複数のマルチキャストサーバによって対応することになる。ここでは複数のマルチキャストサーバを用いた場合のコネクション形態及び問題点について述べる。

Shared Service

Shared Shervice では、マルチキャストサーバは図6.2のように階層的にコネクションを設立することにより、基本的な機能の変更なしに規模拡張が可能である。各参加者からマルチキャストサーバに送信されたデータは、共有コネクションに多重化されて上位のマルチキャストサーバに送信される。上位のマルチキャストサーバは、下位のマルチキャストサーバから送信されたデータを多重化し、さらに上位のマルチキャストサーバへと送信する。そして最上位のマルチキャストサーバは、各参加者に対して一対多のコネクションを設立し、すべての参加者からのデータを配送することになる。

追試として、ネットワークトポロジがbinary tree、参加者が256である場合、マルチキャストサーバを複数配置したときの資源消費量を算出した(図6.3)。縦軸は資源消費量、横軸は1つのマルチキャストサーバが受け持つ参加者数(=マルチキャストサーバの処理能力)である。よって左に行くにつれて多くのマルチキャストサーバでサービスをすることを意味する。結果から、マルチキャストサーバで受け持つ参加者の数は小規模に止め、なるべく多くのマルチキャストサーバを配置した方が資源消費量は少なく抑えられることがわかる。しかし、多数のマルチキャストサーバによる階層化を行うと、マルチキャスサーバでの伝達遅延時間が累積していくという問題がある。

Channel Selection

Channel Selection でも、基本的な機能の変更は必要としない。マルチキャストサーバは、自分の受け持つ受信者の要求に応じて、必要な参加者にコネクション設立要求を出す(図6.4)。参加者は要求に応じて、複数のマルチキャストサーバに対して一対多のコネクションを設立する。

これもShared Service同様に、同じ条件による追試を行った。図6.5はマルチキャストサーバの配置数に対する資源消費量、図6.6は配置数に対するネットワーク全体のシグナ

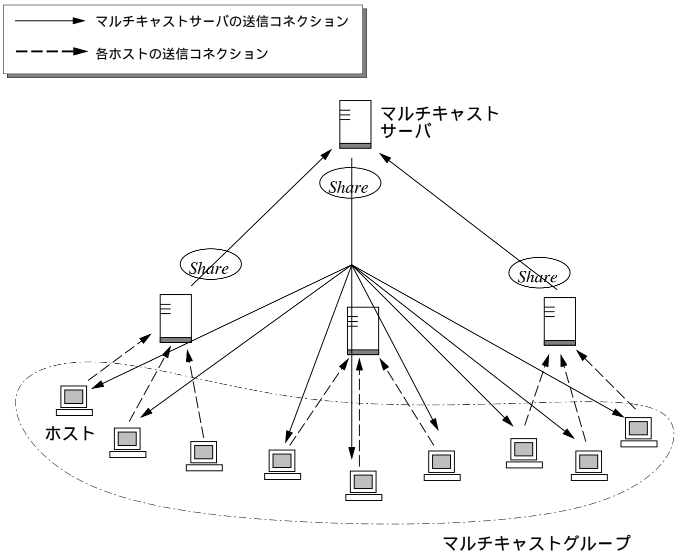


図 6.2: 複数のマルチキャストサーバによる Shared Service

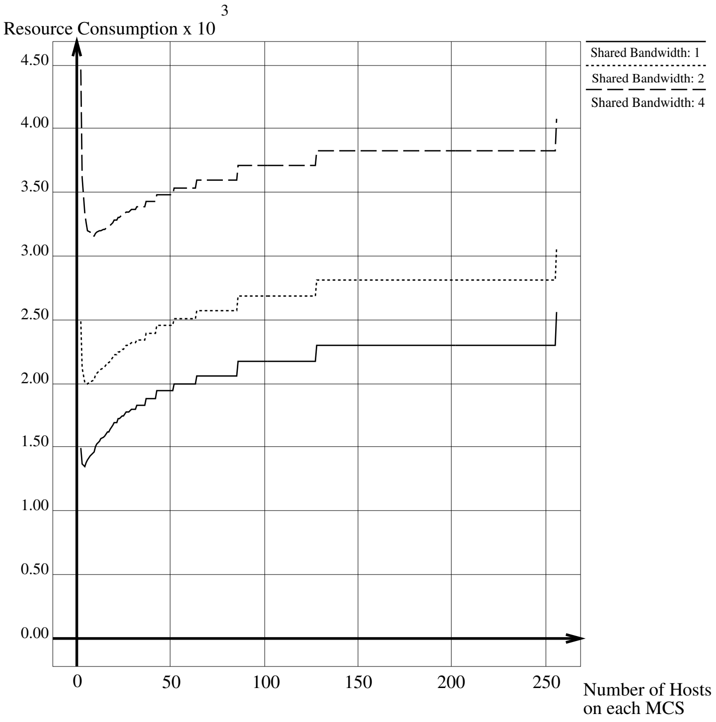


図 6.3: 複数のマルチキャストサーバによる Shared Service の資源消費量

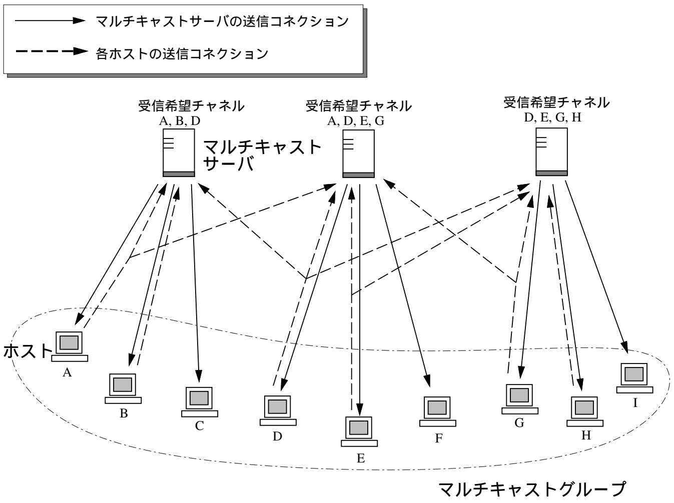


図 6.4: 複数のマルチキャストサーバによる Channel Selection

リングコストを示している。マルチキャストサーバを多数配置するほど、ある程度までは資源消費量は低下傾向を示すが、シグナリングコストは急激に増加する。これは参加者が、多数のマルチキャストサーバに対して送信コネクションを設立する必要が生じることによるものであると考えられる。従って、不必要に多数のマルチキャストサーバを配置することは、好ましくない。

まとめ

Shared Service と Channel Selection のいずれの場合も、マルチキャストサーバの配置数を増加させると資源消費量は抑えることができるが、遅延時間の累積やシグナリングコストの増加といったオーバヘッドを伴うことになる。従って、複数のマルチキャストサーバによってマルチキャストサービス形態を提供する場合、そのトレードオフを十分に考慮して配置することが重要である。

6.3 今後の課題

トポロジモデルについて

今回は linear トポロジと binary tree トポロジという簡単なトポロジモデルでの評価を行ったが、実際の ATM ネットワークのトポロジモデルは、より複雑である。また各々のリンクの帯域幅は一様ではない。参加者が多数存在し、かつ動的に変更するようなマルチキャスト通信において、どういうトポロジモデルを与えるのがより実際的か、とい

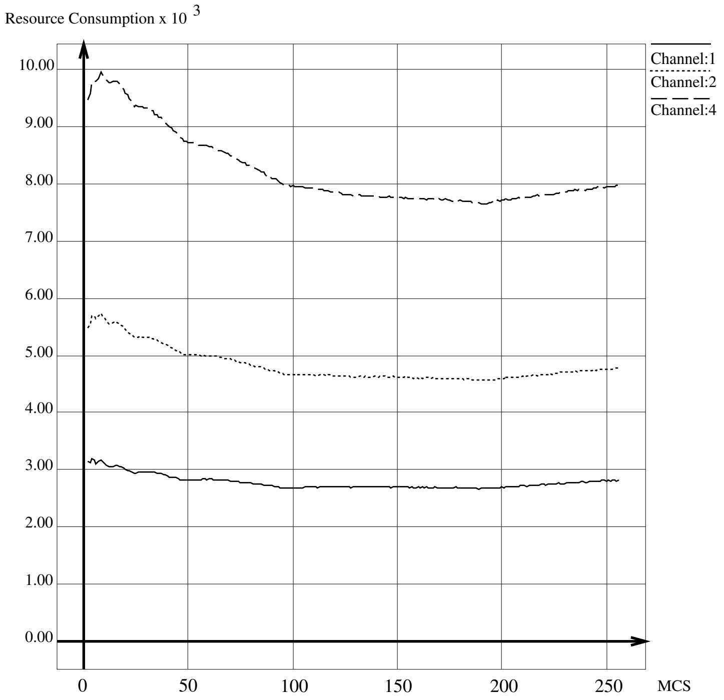


図 6.5: 複数のマルチキャストサーバによる Channel Selection の資源消費量

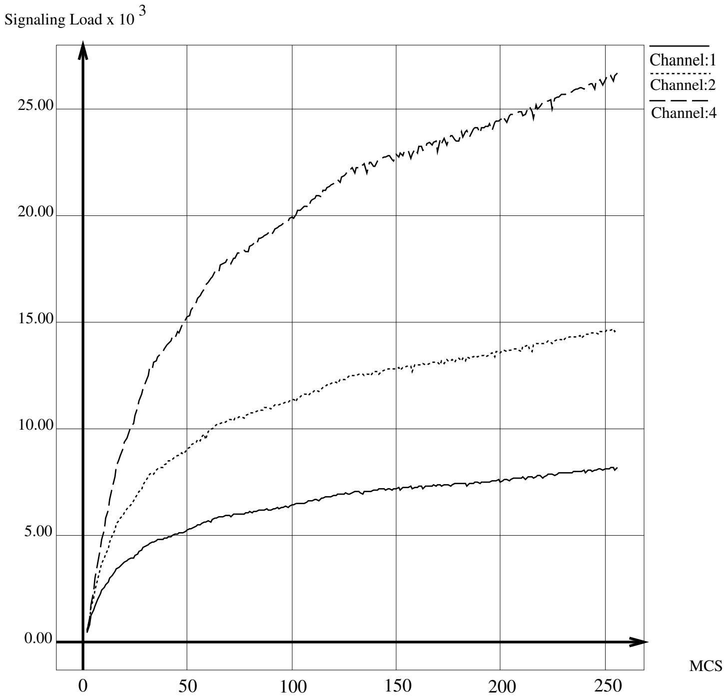


図 6.6: 複数のマルチキャストサーバによる Channel Selection のシグナリングコスト

うのは非常に難しい。また複数のマルチキャストサーバを配置する場合、これをどのように配置するかも大きな問題である。しかし広域な ATM ネットワークではなく、大学内や企業内での ATM LAN の規模であれば、具体的な使用アプリケーションを想定した上での評価は、十分に意味を持つものと考えられる。今後はネットワークトポロジを限定した上で、5.1節に挙げた問題点に対する詳細な検討が必要である。

資源予約プロトコルについて

2.4節で取り上げた資源予約プロトコルは、ネットワークの形態として、ゲートウェイで相互に接続されたサブネットの集合を想定していた。しかし、ATM ネットワークではサブネットは存在せず、全体として 1 つの透過的なネットワークとして見ることができる。そのため、既存の資源予約プロトコルを適用するのは難しく、またシグナリングプロトコルによるコネクション形態は柔軟性に欠けていた (3.2節)。そこで本研究では、マルチキャストサーバを配置しこれを介して通信を行うことにより、Shared Service や Channel Selection といった柔軟なマルチキャストサービス形態の提供を可能とした。マルチメディアアプリケーションにおいて、広範囲なマルチキャスト通信を行う上では、これらのサービス形態は効率的な資源利用からも重要なものになると考えられる。従って、ATM などの具体的に資源予約可能なものを想定した上で、マルチキャストサーバの利用に特化したような資源予約プロトコルの検討・提案を行う必要がある。特に複数のマルチキャストサーバを配置した場合の連携や、コネクションの多重化によって生じる輻輳の回避は重要な点であると考えられる。

実装と評価について

今回は、マルチキャストサーバの提案とその有効性の評価を行った。評価は、主に ATM 上のコネクションの設立の状態やシグナリングなどの側面から行ったが、6.2節に述べたような伝達遅延時間に関しては、バッファの管理やフレームのスケジューリングなど、マルチキャストサーバの実装が大きく関わってくる。音声や映像などの実時間性のあるデータを扱う場合、RT-Mach などの実時間性を考慮に入れたスレッドスケジューリングが行える OS 上への実装が適切であると考えられる。また、実際のデータユニットのサイズはアプリケーションによって異なり、到着間隔もポアソン分布として言えるかどうかは難しい。よって実際の運用面においての評価を詳細に検討する必要がある。

第 7 章

結論

本論文では ATM におけるマルチキャスト通信形態について提案を行った。マルチメディアアプリケーションにおけるマルチキャスト通信では、特に以下の点に考慮を要する。

- アプリケーションの特徴に応じた効率的な資源予約
- 利用者の利用形態に応じた資源予約

本研究では上記の問題点に対する解決方法として、以下の 3 つのマルチキャストサービス形態を提案した。

- General Service
- Shared Service
- Channel Selection

またこれらを ATM で実現する方法として、マルチキャストサーバの機構の検討を行った。マルチキャストサーバは、

- Virtual Connection の多重化機構
- Virtual Connection の接続機構

を提供することが必要である。これらの機構により、ATM においても柔軟性のあるマルチキャスト通信のコネクション設立を行うことが可能となる。マルチキャストサーバを用いたマルチキャスト通信は、コネクションの共有が必要な Shared Service、選択的に受信が可能な Channel Selection において有効である。また複数のマルチキャストサーバを分散配置することによって、マルチキャストグループの規模拡張が可能である。

今後の課題としては、

- より実際的なトポロジモデルに対する評価
- マルチキャストサーバを用いるための資源予約プロトコルの設計
- マルチキャストサーバを実装した上での通信遅延時間を含めた評価

等が挙げられる。

謝辞

本研究の機会を与えて下さり、日頃から懇切な御指導を頂きました慶應義塾大学理工学部電気工学科教授 所 眞理雄 博士に心から感謝致します。

また本研究の全般に渡り、有意義な御示唆や御指導、討論など、幾多の貴重な時間を割いて頂きました慶應義塾大学理工学研究科博士課程 細川 達己 氏に深く感謝致します。

研究の方向性を決める上で多大な助言を頂きました本研究室修士課程 福田 健介 氏、ATM 関係についての御教授を頂きました本研究室修士課程 内海 秀介氏、お忙しいところを御査読頂きました本研究室博士課程 伊藤 純一郎 氏、修士課程 佐藤 直之 氏、成田 多良 氏、そして 1 年間共に研究した 4 年生をはじめ、本研究室の皆様に感謝の意を表する次第です。また幾度も英文要約の校正をして頂いた鈴木 宏枝 様に感謝致します。

最後に、ふるさとで見守ってくれた家族、そして公私に渡り苦楽をわかちあった多くの仲間たちに感謝の気持ちを捧げます。

平成 8 年 2 月

参考文献

[1] 石川　宏　富永　英義．*ATM*標準教科書．アスキー，1995．

[2] 泉谷　健司．~*LAN*技術詳説~ *Ethernet*と*FDDI*．ソフト・リサーチ・センター，1993．

[3] インターネットでテレビ放送が始まる．日経エレクトロニクス，no.653:p67–95，Jan. 1996．

[4] *B-ISDN User-Network Interface Layer 3 Specification for Basic Call/Bearer Control.* ITU-T draft Recommendation Q.2931, ITU-T, Mar. 1994.

[5] G. Armitage. Multicast and Multiprotocol support for ATM based Internets. *ACM SIGCOMM Computer Communication Review*, vol.25, Apr. 1995.

[6] G. Armitage. *Support for Multicast over UNI 3.1 based ATM Networks.* Internet-Draft draft-ietf-ipatm-ipmc-07.txt, Sep. 1995.

[7] G. Ventre C. Szyperski. Efficient Group Communication with Guaranteed Quality of Service. In *Proceedings of the 4th IEEE Workshop on Future Trends in Distributed Computing Systems*, Sep. 1993.

[8] G. Ventre C. Szyperski. *Efficient Multicasting for Interactive Multimedia Applications.* Technical Report, University of California at Berkeley and International Computer Science Institute, Mar. 1993.

[9] S. Casner. *Frequently Asked Questions(FAQ) on the Multicast Backbone(MBONE).* 1993.

[10] D. Comer. *Internetworking with TCP/IP vol.I: Principals, Protocols, and Architecture 2nd Ed.* Printice Hall, 1991.

[11] S. Shenker D. J. Mitzel. Asymptonic Resource Consumption in Multicast Reservation Styles. In *Proceedings of SIGCOMM '94*, 1994.

[12] S. Shenker Lixia Zhang D. J. Mitzel, D. Estrin. An Archtectural Comparison of ST-II and RSVP. In *Proceedings of IEEE Infocom '94*, Jun. 1994.

[13] S. Deering. *Host Extensions for IP Multicasting.* Internet RFC1112, Aug. 1989.

[14] The ATM Forum. *User-Network Interface (UNI) Specifications Version 3.1.* Prentice Hall PTR, 1995.

[15] L. Kleinrock. *QUEUEING SYSTEMS, Volume I: THEORY.* John Wiley & Sons, 1975.

[16] C. Vogt L. Wolf L. Delgrossi, R. Herrwitch. Reservation Protocols for Internetworks: A Comparison of ST-II and RSVP. In *Proceedings of the 4th International Workshop on Network and Operating System Support for Digital Audio and Video*, 1993.

[17] S. Shenker D. Zappala L. Zhang, S. Deering D. Estrin. RSVP:A New Resource ReSerVation Protocol. *IEEE NETWORK MAGAZINE*, Sep. 1993.

[18] M. Laubach. *Classical IP and ARP over ATM.* Internet RFC1577, Jan. 1994.

[19] J. Lockwood. *Proposed Mbone/Xunet Extensions Revision 1.7.7.* Technical Report, AT&T Bell Labs, Oct. 1993.

[20] J. Lockwood. *SMAX: Simple Multicast ATM for Xunet A Scalable, Modular Framework to Support ATM Multicast Applications.* Technical Report, AT&T Bell Labs, Jul. 1994.

[21] B. Davie S. Batsell M. Borden, E. Crawley. *Integration of Real-Time Services in an IP-ATM Network Architecture.* Internet RFC1821, Aug. 1995.

[22] J. Mathhew. *Multicast in the Asynchronous Transfer Mode Environment.* PhD thesis, University of Cambridge, Jan. 1993.

[23] S. Pink O. Hagsand. ATM as a Link in an ST-2 Internet. In *Proceedings of the 4th International Workshop on Network and Operating System Support for Digital Audio and Video*, 1993.

[24] C. Partridge. *Gigabit Networking.* Addison-Wesley, 1994.

[25] D. Estrin S. Herzog S. Jamin R. Braden, L. Zhang. *Resource ReSerVation Protocol(RSVP) Version 1 Functional Specification.* Internet-Draft draft-ietf-rsvp-spec-08.txt, Nov. 1995.

[26] S. Schroder R. Handel, M. Huber. *Second Editionm ATM Networks, Concepts, Protocols, Applications.* Addison-Wesley, 1994.

[27] S. Deering S. Casner. First IETF Internet Audiocast. *ACM SIGCOMM Computer Communication Review*, vol.22, Jul. 1993.

[28] C. Topolcic. *Experimental Internet Stream Protocol, Version 2 (ST-II).* Internet RFC1190, Oct. 1990.