

ATOMLAN(ATM Oriented Multimedia LAN)における アドレッシング方式

森 直樹 岩田 淳 鈴木 洋
NEC C&C システム研究所
川崎市宮前区宮崎4丁目1-1

筆者らは、既に次世代高速マルチメディアLANとして、ATMスイッチをスター/メッシュ状に配置し、各ユーザに100Mbpsオーダの広帯域性を提供できるATM Oriented Multimedia LAN (ATOMLAN)の提案を行っている。本稿では、ATOMLANプロトコルの中核となるアドレス体系の検討内容を報告する。まず、現在ATM Forum等の標準化団体で議論されている二つのATM-LANアドレスモデルについてのべ、それらの持つ問題点を整理する。次にATOMLANの構造とそこで用いるアドレス方式の提案を行うとともに、従来方式との定量的な比較評価を行う。本稿において、既存のコンピュータネットワークプロトコルとの整合性をできるだけ保ちつつATM網の高速性を生かすために、ネットワークアドレスとスイッチ/ポートアドレスを階層的に組み合わせたアドレス構造を提案する。

Addressing Scheme for ATOMLAN (ATM Oriented Multimedia LAN)

Naoki Mori, Atsushi Iwata and Hiroshi Suzuki
C&C Systems Research Laboratories, NEC Corporation
1-1, Miyazaki 4-chome, Miyamaeku, Kawasaki,
Kanagawa 213, Japan

In this paper, a new addressing scheme is proposed for ATM Oriented Multimedia LAN (ATOMLAN), which the authors already proposed as a next generation high-speed multimedia LAN. At first, we describe the network model regarding addressing scheme for ATM-LAN, which have been discussed in ATM Forum (Industrial standardization body), and indicate the problems of conventional schemes. Then, we propose a new network model and addressing scheme for ATOMLAN. In the proposed scheme, network protocol address and switch/port address are used for VC routing simplicity and efficiency, while maintaining the compatibility with the conventional LAN protocols. The performance evaluation of the proposed scheme, compared with the conventional ones is also presented.

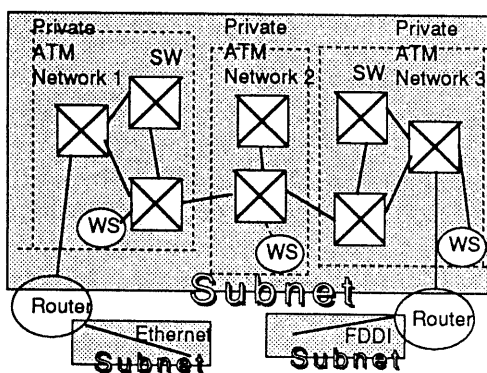


図 2-1 サブネットモデル

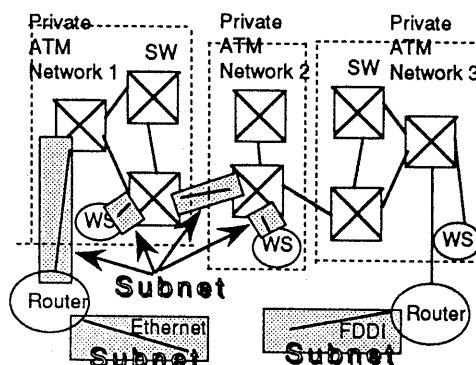


図 2-2 ピアネットモデル

をベースにしたデータ転送方式を適用すると、スイッチにおいて不要なパケットのコピー動作が生じる可能性があり、帯域の効率利用の点で問題となる。従ってATM-LANではスイッチを用いたスター／メッシュトポロジに適したデータ転送方式の検討と、その実現のための階層構造を持ったアドレスが必要と考えられる。

2-2 ATM-LANアドレス方式：サブネットモデルとピアモデル

2-1で述べたデータ転送方式の問題点と、インターネットワークに関する問題点の解決手段は、アドレス方式に強く依存する。ATMでは、コネクション設定時にルーティングを行い、コネクションが一旦設定できれば、ルータレスでATMLAN間でデータ転送ができるという特長をもっている。従ってATMLAN間を効率的にルーティングできるアドレス構造をどのように選ぶかが重要なポイントとなる。これに対し、ATM LANの業界標準化作業をすすめているATM Forum[Forum]では、プライベートATM網のアドレス方式に関して集中的な議論が行われている。現在、ATMLANを、既存のLANプロトコルと整合するように導入する方法として、サブネットモデルとピアモデルと我々のATOLANモデルの3種類のシナリオが提案されている[McCloghrie][Lyon][Suzuki]。それぞれの特徴を以下に述べる。モデルの違いを図2-1, 2, 3に示す。

(1) サブネットモデル

ATMネットワークを、IPから見たときに、1つのサブネットとみなす方式である。アドレスとしては、フラットなMACアドレスだけでは階層的なATMネットワーク間の接続が効率的に実現できないので、MACアドレスと階層的な識別子を組み合

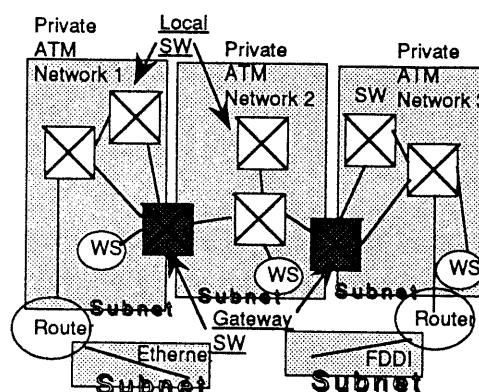


図 2-3 ATOMLAN

わせたアドレスを用いる。具体的には端末IDとしてMACを使用し、これにエリア（複数の端末からなる）番号とドメイン（複数のエリアからなる）番号を付加して階層化したNSAPアドレスを用いる（図3）。送信端末は目的地の端末のネットワークアドレスしか知らないで、サブネットモデルでは、ATMのコネクションを設定するためには、目的地のネットワークアドレスから、MACベースのNSAPアドレスを求めるAddress Resolution (AR)を、従来のLAN同様に行う必要がある。例えば図2-1の

AFI	IDI	DFI	AA	RSV	RD	AREA	ID	SEL
1	2	1	3	2	2	2	6	1

length (byte)

RD : Routing Domain Identifier

AREA : Area Identifier ID : System identifier

図 3 NSAPアドレス

Private ATM 網 1 にある端末が、ARによってPrivate ATM 網 3 にある端末のNSAPアドレスを獲得する。次にそのアドレスで、コネクション設定のためのシグナリングを行う。

長所：ATM網は、ネットワーク層プロトコルからは独立した、サブネット内に閉じたデータ転送手段となる。同一サブネットにある端末はATM層を介して直接通信でき、またルータを介することで既存のLANとの接続が可能である。

欠点：複数のATM網を接続しても、ネットワーク層ではそれらを1サブネットとみなさねばならないので、以下のような問題点が生じる。すなわちサブネットモデルでは、前述したようにAddress Resolution (AR)を行う必要があるが、ATM網のようにスター/メッシュトポロジの網ではブロードキャストを用いたARは不適であり、ARサーバーを階層的に配置して実現する必要がある。しかし、このアプローチはATM網サイズが大きくなると、図4-1に示すようにARにかかる遅延が大きくなり、コネクションの設定時間が長くなる。また、1サブネットであるATM網の規模が大きくなると、他のサブネットとの接続点であるルータの数も増し、その中から目的端末に接続するための次ホップルータを見つけるのは困難になる。またATMサブネットサイズを拡張する際、ネットワークアドレスの再割当が起きる可能性があり、その管理が複雑となる。

(2) ピアモデル

図2-2にあるように、全ての交換機をルータとみなし、スイッチの一つのポートからの各物理リンクそれぞれを、ネットワーク層でのサブネットとする方式である。この方法では、サブネット内の端末は最大でも1台であるので、全ての通信は、ネットワークプロトコルを介して行われる。スイッチ

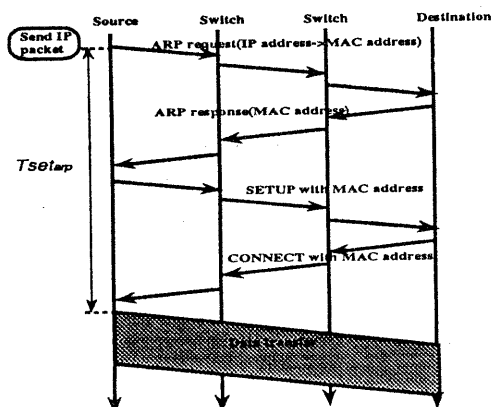


図4-1 サブネットモデルにおけるVC設定手順

は、シグナリングパケットに対してのルータであり、シグナリングパケットは、スイッチでネットワークプロトコルによって、次ステップのスイッチに配送される。すなわち、シグナリング手順の中でネットワーク層プロトコルを用いてATMでのVCを確立するわけである。ひとたびVCを確立すれば、データはネットワーク層を介さずにATM層で送られる。アドレスにはNSAPアドレス(図3)を用いるが、サブネットモデルと異なり、ネットワークプロトコルアドレスをベースとする。ネットワークアドレスは階層性をもっているのもので、その上位部をドメイン、エリアに、下位部をシステムIDにマッピングする。

長所：図4-2に示すように、ARを行わずに直接ネットワークアドレスでコネクション設定手順が行えるので、コネクション設定時間の短縮が可能となる。また端末にとって、ATM網側のネットワーク層での次ホップは直結されているスイッチだけで、端末のルーティング処理の負荷が軽くなる。さらに、交換機が既存のルータと同等になるので、非ATMのネットワークとの相互接続の場合でもネットワーク層によってできる。

欠点：全てのスイッチが、ネットワーク層のプロトコルを理解せねばならない。一般には網の中に様々なネットワークプロトコルが存在するため、スイッチはシグナリングパケットに対してマルチプロトコルルータとして振る舞わねばならない。このことはスイッチのコストの上昇を招くことになる。またサブネットサイズが小さいために、ルーティングの点からみると、ルーティングテーブルサイズの増大、ルーティング情報の増加など、効率は悪くなる。

2-3 コネクションの確立と切断タイミング

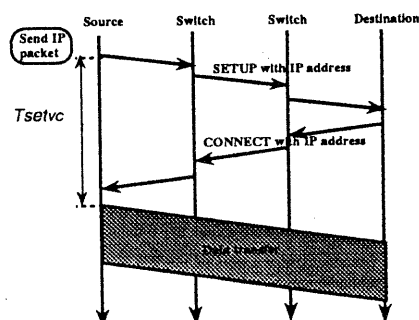


図4-2 Peerモデル/ATOMLANにおけるVC設定手順

ATM網では、シグナリングを行い、end-to-endでコネクションを確立してから通信を行う。通信が終わったら、再度シグナリングを行ってコネクションを切断する。それに対してデータ端末のネットワーク層プロトコルの多くは、コネクションレスの通信を行う。コネクションの確立・切断という概念はなく、送信すべきパケットがきたらすぐに相手に送る。そのために、ネットワーク層のパケット送信要求に対して、いつATM層でのコネクションを張り、またいつそのコネクションを切断するかが大きな課題となる。特に、音声のような連続データでなく、インタラクティブなデータ通信のような離散的なデータに対して問題となる。

3 ATOMLANで提案する方式

2章で述べた問題点に対し、提案するATOMLANでは以下のネットワークモデル、アドレス方式、コネクション管理方式を用いる。IPを基にしてネットワークを構築する場合を述べる。

3-1 ネットワークモデル

全体の構成を図2-3に示す。ATOMLANはネットワーク層とデータリンク層の2階層からなる。ネットワーク層のプロトコルとしてIP等の既存のネットワークプロトコルを用い、データリンク層のプロトコルとして独自の方式を用いる。

ATOMLANでのサブネットを、IP層から見たサブネットとして定義し、その規模はサブネットモデルとピアモデルの中間（現在のLAN程度）にする。既存のIPネットワークとの対応付けてATOMLANをレイヤに分けると、サブネット間にVCを設定するのがネットワーク層のプロトコルであり、サブネット内のVC設定するのがデータリンク層のプロトコルになる。ATOMLANでは、ネットワーク層とデータリンク層をこの意味で用いる。

ATOMLAN全体は、複数の端末と交換機を有するサブネットの集合である。この点はATM網を1つのサブネットモデルとするサブネットモデルとの違いであり、また各物理リンクを一つのサブネットとしているピアモデルとも違うところである。

データリンクプロトコルでサブネット内レベルでのシグナリングを行う機能を有するものをローカルスイッチ、ネットワークプロトコルでサブネットワーク間レベルでのルーティングを行う機能を有するものをゲートウェイスイッチと呼ぶ。

ゲートウェイスイッチと通常のルータとの違いは、ルータが全データパケットをネットワーク層で処理するのに対し、ゲートウェイスイッチは、VC設定のシグナリングパケットに対してのみ、ネット

ワーク層プロトコルを用いることである。

3-2 アドレス方式

3-1で記述したネットワーク構造を実現するためのアドレス体系について述べる。ATOMLANで用いられるアドレスは、2階層モデルのため、2つある。ネットワーク層では、ネットワークプロトコルアドレス(eg. IPアドレス)を、データリンク層ではスイッチポートアドレスを用いる。

1 ネットワーク層のアドレス

既存のネットワークプロトコルが用いるアドレスを基本にする。各種のネットワークプロトコル(IP, IPX, AppleTalk等)が扱うアドレスに対応するため、それらの識別子としてアドレスタイプを付与する。すなわち図5に示すように、

アドレスタイプ+ネットワークアドレス

をATOMLANでのネットワークアドレスと呼ぶことにする。このアドレスを用いることにより、これまでに構築されたサブネット間の構造を継承でき、また既存の非ATMネットワークとの相互接続も可能になる。

2 データリンク層のアドレス

従来用いられたフラットなMACアドレスでなく、図5に示すように

交換機番号+ポート番号

からなるスイッチ/ポートアドレスを用いる。

この階層的なアドレスを用いることにより、サブネット内でのルーティングを効率化することができる。またネットワークプロトコルとは無関係なアドレスであるので、マルチネットワークプロトコルの環境でも、ローカル交換機は単一のスイッチ/ポートアドレスを認識すればよい。

次にこれらのアドレスを、端末側とネットワーク側に見せるかを示す。ネットワーク側においては、前述したように2階層モデルのため、図6のゲートウェイ交換機間ではネットワークプロトコルアドレスを、ローカル交換機間ではスイッチポートアドレスを認識する。一方端末に対しては端末のプロトコル処理を軽減させるため、ネットワー

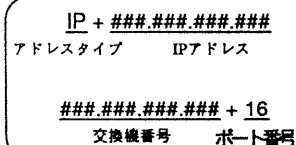


図5
ATOMLANでの
ネットワークアドレス（上）と
スイッチ/ポートアドレス（下）の例

クプロトコルアドレスのみを認識させる。データリンクレベルでのネットワーク構造は、端末に対してはブラックボックス化し、サブネット内でのルーティングや、ネットワークアドレスからスイッチポートアドレスへの変換などは次に述べるようにネットワーク側が行う。

3-3 ネットワークアドレス→スイッチポートアドレス変換

前述のようにATOMLANでは、ネットワークアドレスからスイッチポートアドレスへの変換をネットワークが行う。これは、アドレス変換テーブルを各スイッチに設け、端末から送られてきた通信先のネットワークプロトコルアドレスを、スイッチポートアドレスに変換することによって実現する。図6に実現例を示す。端末が立ち上がる時に、直接接続されたスイッチへ自分のネットワークアドレスを知らせるパケットを送る。そのスイッチは、自分のポートアドレスと受けたネットワークアドレスの組をテーブルに登録する。他のスイッチに接続されている端末のアドレスに関しては、スイッチ間で分散的に変換テーブルの内容を交換するか、アドレス変換サーバを介して得る。アドレス変換サーバを用いる場合は、サブネット内の全ての変換テーブルをサーバが管理し、ローカルスイッチは、その全てあるいは一部をキャッシュする。

3-4 コネクション設定手順

シグナリングは、ATM Forumで標準化されるQ.93B [Forum]に従ったメッセージを使用する。送信端末は、目的地のネットワークアドレスをCalled party numberとしてシグナリングパケットをローカ

Address type	+ Network layer address	Switch/port address (Switch number+port number)
IP	+ 133.207.11.1	SW2-2
IP	+ 133.207.11.11	SW3-2
Apple Talk	+ 3.67	SW3-1
else		SW1 (Other subnets)

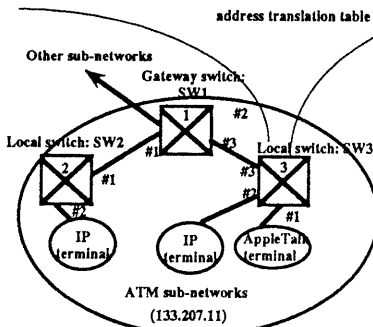


図6 アドレス変換動作例

ルスイッチへ送る。ローカルスイッチはネットワークアドレスをスイッチ/ポートアドレスに変換する。その目的ネットワークアドレスがサブネット内にある場合は対応するスイッチ/ポートアドレスに変換し、サブネット外の場合は、デフォルトのゲートウェイスイッチのポートアドレスとする。ローカルスイッチはそのポートアドレスをシグナリングパケットのCalled party numberに、目的地のネットワークアドレスをCalled party Subaddressに入れて、次のスイッチに送る。それを受けた各スイッチは、ポートアドレス(Called party number)でルーティングをしていく。そのシグナリングパケットが目的端末のあるスイッチに到着したら、Called party subaddressにあるネットワークアドレスをCalled party numberに戻して、destination端末に送る。

通信先がサブネット外である場合、シグナリングパケットはゲートウェイスイッチに到着する。ここでは、パケット中のネットワークアドレスを見て、次に送るべきサブネットのゲートウェイスイッチを決め、シグナリングパケットを、目的端末のあるサブネットに送る。また、ゲートウェイスイッチには、網間アクセスに関するセキュリティ制御が必要となるため、発着アドレスと、上位サービス識別子を用いたコネクション設定のスクリーニングを行う。以上のような手順でシグナリングパケットを目的地へ送り、end-to-endでATMコネクションを設定する。

3-5 VCキャッシュ

2-4で述べたように、コネクションレスパケットの送信のたびにコネクションを張るのは効率的でない。そこでATOMLANではVC (Virtual Connection) キャッシュと呼ぶ手法を行う。これは、上位レイヤからパケットを受けて、ATM層でコネクションを確立したら、転送すべきパケットがなくなっても、タイムアウト時間までコネクションを切らずにキャッシュし、再び転送すべきパケットを上位層から受けたら、そのコネクションを利用する方法である。VCの帯域を予約したまま保持しておくのは、帯域利用率の低下を招くので、このVCキャッシュ法は帯域予約を必要としないトラフィッククラスに適用する[岩田]。タイムアウト時間を長くすると、ヒット率は高くなるが、VC数は無駄になるので、適正な時間の設定が必要である。基本的に、パケットが比較的連続的に送信されるセッション期間中はVCを保持し、セッションがオフの期間はVCを切断するようにタイムアウト時間を設定するのが効率的と考えられる。この点を考慮してタイムアウト時

間とVCキャッシュのヒット率の関係を4章で評価する。

4 性能評価

4-1 アドレス方式の評価

まずサブネットモデルにおいて、コネクション設定を行う前にAddress Resolutionを行う場合と、ピアモデルあるいはATOMLANにおいて端末がネットワークアドレスで直接コネクション設定を行う場合の、シグナリングプロトコルのオーバーヘッドを定量的に評価する。

ソースの端末が転送すべきデータを有し、デスティネーションの端末へコネクション設定のためのシグナリングを起動するときを考える。 D_s を1回のコネクション設定によって送られるデータのサイズ、コネクション保持時間 T を $T=D_s/\text{Peak}$ (Peakはそのコネクションのピークレート) と定義する。ソースとデスティネーションの間のノード数を N 、 T_{set} をVCを設定するのに要する時間とする。図4-1/2からわかるように、 T_{set} は、各ノードでのVC設定遅延とノード間での伝搬遅延の和である。 D_n を各ノードでのVC設定遅延、 D_p をノード間での往復伝搬遅延時間とすると、

$$T_{\text{set}}=(D_n+D_p)\times N$$

とかける。

ATMのUNIでMACアドレスが用いられるときには図4-1からわかるように、さらにアドレスレゾリューションが必要である。このときのVC設定時間 $T_{\text{set}}(\text{AR})$ は、各ノードでのAR手順遅延を D_a とすると、 $T_{\text{set}}(\text{AR})=(D_a+D_n+D_p)\times N$ と表せる。

ネットワークアドレスを用いる方式でさらに3章で示したVCキャッシュを用いると、キャッシュがヒットした場合は $T_{\text{set}}(\text{cache})$ は0となる。対応するキャッシュがないときは、 $T_{\text{set}}(\text{cache})$ は、 $(D_n+D_p)\times N$ となる。従って $T_{\text{set}}(\text{cache})$ の平均時間は、VCキャッシュのヒット率を H_r として

$$T_{\text{set}}(\text{cache})=(1-H_r)\times(D_n+D_p)$$

と表せる。定量評価の基準として、コネクションあたりの正規化最大スループット G をつぎのように定義する。

ARを行ってからコネクション設定する場合(サブネットモデル)

$$G=T/(T+T_{\text{set}}(\text{AR}))$$

ARなしでコネクション設定する場合(ピアモデルor ATOMLAN)

$$G=T/(T+T_{\text{set}})$$

ARなしでかつVCキャッシュを用いる網(ピアモデルor ATOMLAN + VC Cache)

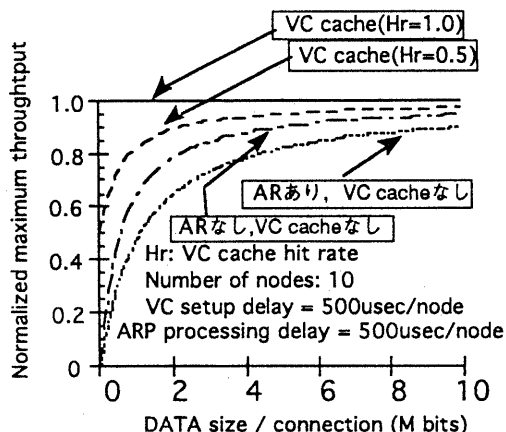


図7 各方式での最大スループット

$$G=T/(T+T_{\text{set}}(\text{cache}))$$

図7は、コネクション毎の G の計算値を、横軸を D_s として比較したものである。 D_n と D_a を500 μ sec、 D_p を5msec、 N を10としている。これは規模として、1都市レベルのネットワークを想定している。 H_r は0.5と1を用いている。

この図から、ARPを行う場合と不要な網との最大スループットの違いが読み取れる。特にコネクション毎のデータ長が小さいときに、ARPを行わない網は相対的に高いスループットを示す。VCキャッシュに関しても、コネクション毎のデータ長が小さいと、その効果が顕著に現れている。LANでは、短いパケット長のデータが離散的に送られることが多いため、ARの不要なアドレス体系とVCキャッシュのヒット率を高める必要があることが本評価からわかる。

4-2 VCキャッシュのタイムアウト時間とヒット率の関係

次に、VCキャッシュのヒット率 H_r を上げるための、キャッシュ保持時間 T_{out} をどのように選択すべきかを考える。単に H_r を上げるためだけなら T_{out} を長くすればよいが、そうすると使用されていないVCが多数残留し、VC数不足が起こることも考えられる。そこで最適な T_{out} を決める必要がある。この評価を行うために、LAN内のトラフィックを以下のようにモデル化する。一般に、ある宛先へのパケットの送信は、パケットが比較的連続的に送信されるActiveなオンセッション期間とまったくパケット送信が起きないInactiveなオフセッション期間に分けられる。そこで、以下の近似トラフィックモデルを考える。

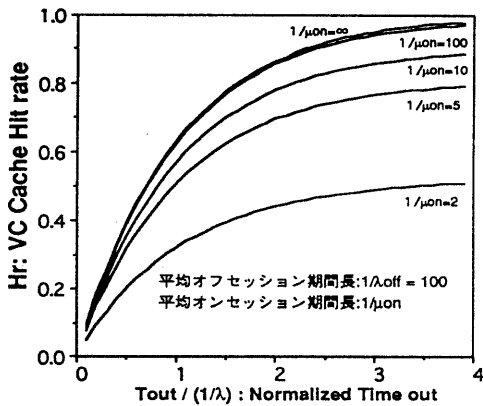


図8 キャッシュ保持時間とヒット率

オンセッション期間長とオフセッション期間長のそれぞれは平均 $1/\mu_{on}$, $1/\lambda_{off}$ の指数分布に従うものとする。オンセッションでは、1つ以上のパケット送信が発生し、パケットとパケットの送信間隔は平均 $1/\lambda$ の指数分布に従うものとする。

各パケットの送信終了時点で、次のパケットの到着までの時間間隔が、VCキャッシュのタイムアウト時間 T_{out} より小さい場合にキャッシュがヒットするので、その確率は、オンセッション期間中であるならば、 $1 - \exp(-\lambda \times T_{out})$ で与えられる。オフセッションへ状態が遷移していれば、 $1 - \exp(-\lambda_{off} \times T_{out})$ で与えられる。オンセッションが終了する確率は μ_{on} で与えられるので、トータルのキャッシュのヒット率 Hr は、

$$Hr = (1 - \mu_{on}) \times (1 - \exp(-\lambda \times T_{out})) + \mu_{on} \times (1 - \exp(-\lambda_{off} \times T_{out}))$$

となる。この式をもとに、次のような場合の数値例を考える。

ここでは平均のパケット送信時間を1とし、オンセッション期間中のパケット送信間隔 $1/\lambda$ も1とする。オンセッションの平均期間長を、 $1/\mu_{on} = 2, 5, 10, 100, \infty$ とし、オフセッション平均期間長を $1/\lambda_{off} = 100$ とする。図8に、オン期間のパケット送信間隔 $1/\lambda$ で正規化した T_{out} に対するVCヒット率特性を示す。

オンセッション期間が長い場合には、タイムアウト時間 T_{out} が約2.3くらいで十分高いヒット率が得られることがわかる。この傾向は、オンセッション期間長が十分長ければ、オフ期間長を大きくしてもかわらない。つまり、VCタイムアウト時間 T_{out} をオンセッション期間中におけるパケット送信間隔の約2倍に設定しておけば、オフセッション期間長が長くても十分な特性が得られることを意味している。これに対して、オンセッション期間長が短い場

合には ($1/\mu_{on} = 2$)、オフセッション期間長の影響を大きくうけて、タイムアウト時間を $1/\lambda$ に比べてかなり大きくしなければ高いヒット率は得られない。つまり、キャッシュをヒットさせるためには、オフセッションを経て次のオンセッションまでVCを保持しなければならないのである。この場合、常にVCが設定されていることになり、効率的ではない。以上のことから、VCキャッシュのタイムアウト時間をパケットの到着過程に応じて適応的に制御することにより、より効率的なコネクション制御が実現できると考えられる。また、VCキャッシュだけでは不十分で、VC設定そのものを高速化する方法[岩田]と組み合わせる必要がある。

5 まとめ

本稿では、ATMスイッチを用いた、高速でかつマルチメディアデータを扱えるATOMLANのプロトコルから見た構造と、そこで用いるアドレス体系を述べた。その特徴として、

(1) ネットワークアドレスを用いることにより、ARの手順を不要とし、また既成のネットワークとの整合性、相互接続性をよくすること

(2) スイッチポートアドレスを使用することにより、サブネット内でのルーティングを効率化し、かつネットワーク層からは独立したコネクション制御を行うこと

があげられる。また網利用率の向上を定量的に評価し、ARを必要としないこのアドレス体系の有用性と、VCキャッシュの効果を示した。今後はこの評価もとにして、キャッシュ時間の動的な制御を考えていく。最後に日頃御指導頂く、山本所長、阪田部長、竹内課長に深謝致します。

参考文献

- [日経Com] "ATM LAN, 次世代LANの有力候補へ、日経コミュニケーション No. 147, 4月, 1993
- [鈴木] H. Suzuki, "Addressing and Routing for Private and Public ATM Networks". ATM-Forum 92-302, Dec., 1992
- [岩田] 岩田他, "ATM-LANプロトコルアーキテクチャ". 信学技法, IN92-109, 2月, 1993
- [池田] 池田他, "ATOM LANにおけるトラフィック制御方式の検討". 信学技法, SSE92-189, IN92-153, 3月, 1993
- [McCloghrie] Keith McCloghrie etc., "Proposed Unified Addressing Scheme". ATM-Forum 92-301, Dec., 1992
- [Lyon] Tom Lyon etc., "Network Layer Architecture of ATM Networks", ATM Forum 92-119, July, 1992
- [Colella] Richard Colella etc., "Guidelines for OSI NSAP Allocation in the Internet", RFC 1237, 1991
- [Forum] ATM UNI Specification Draft, Ver1.4, April. 1992.