

ATM上に構築したインターネットにおける 高速通信に関する課題について

籠 浩昭(早稲田大学) 若原 俊彦(NTT 通信網研究所)
由比藤光宏(NTT 通信網研究所) 村岡 洋一(早稲田大学)

概要

大規模 ATM ネットワーク上で、TCP/IP プロトコルで記述されたアプリケーションを、ネットワークが本来持つ高速大容量通信能力を活かして利用するために考慮すべきスループットの因子を、実測結果から分析・評価する。

A Study of High Performance Communication for Internet over ATM Network

Hiroaki Kago(Waseda University) Toshihiko Wakahara(NTT Telecommunication Networks Laboratories)
Mitsuhiro Yuitou(NTT Telecommunication Networks Laboratories) Yoichi Muraoka(Waseda University)

abstract

To achieve higher performance for TCP/IP based application over ATM networks, we need to adjust some parameters. We analyze and evaluate these parameters by experiment.

1 はじめに

大容量のデータを高速に伝送することを可能とするネットワーク技術に ATM(Asynchronous Transfer Mode) 技術がある。ATM 技術を利用することにより、LAN と WAN とを共通技術で相互接続することが可能になる。

OLU プロジェクトでは、ATM 技術を利用した大規模ネットワーク上で各種の研究を行なっている。その研究テーマの一つとして、従来のインターネットでの技術を ATM ネットワーク上で利用するための研究がある。

本論文では、広域 ATM ネットワーク(以下、OLU ネット)上で TCP/IP 通信を実現する場合の問題点のうち、(1)広域ネットワークであることに起因する伝送遅延の影響と(2)TCP/IP パケットと ATM セルとのマッピングに起因するスループットの変化に関して実測結果に基づいて述べる。また、大規模な ATM ネットワークにおいて TCP/IP ベースのアプリケーションを利用する際に、高パフォーマンスを得るための各種要件を指摘する。

2 広域ネットワークでの伝送遅延

2.1 実験環境

OLU ネットは、全国 22 機関を NTT マルチメディア共同利用実験回線をバックボーンにして接続した ATM ネットワークである。

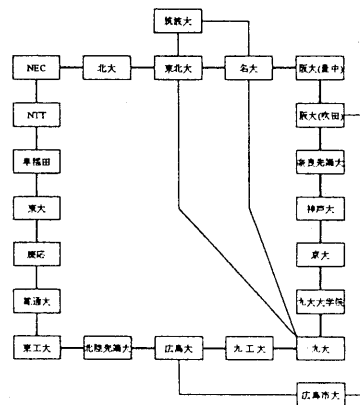


図 1: OLU ネットの構成

OLU ネットでは、端末間はバックボーンを含めて

155Mbits/sec の回線で結ばれている。長距離の超高速回線 (Long,Fat Pipe) においては、メッセージ転送の光ファイバ内での伝送遅延時間は以下のように表現することができる [1]。

$$T = \frac{L}{c} + \frac{8N}{B}$$

- T : 伝送遅延時間 (sec)
 L : 光ファイバの距離 (m)
 c : ファイバ中の光の伝送速度
 : (2.1 × 10⁸m/s)
 N : メッセージ長 (byte)
 B : 帯域 (bit/s)

OLU ネットのように回線の総延長が数千 km におよぶ広域ネットワークでは、第一項による遅延が数十～百 msec のオーダーになる。一方、155Mbit/sec の帯域の際には、第二項による遅延が第一項と同程度になるのは、メッセージ長が数 Mbyte の場合である。

実際には、上記の計算式に回線上の ATM スイッチにおける処理のオーバーヘッドを加えたものが伝送遅延となるが、OLU ネットのような広域ネットワークで問題となる遅延は伝送遅延であるということができる。

2.2 測定

早稲田から OLU ネットを経た別サイトにおいて折り返しの VC (Virtual Channel) を設定し、早稲田にある二台のワークステーション間で ping による遅延時間を測定した。

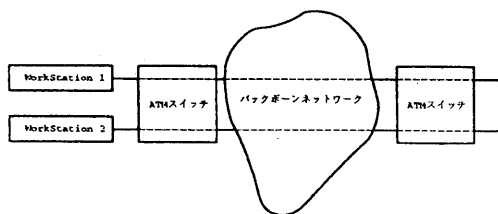


図 2: 伝送遅延測定環境

図 2 の構成の場合、ping の応答時間は 2 往復分の伝送遅延を含むため、片道の伝送遅延は表 1 のようになると思われる。

表 1: OLU ネットの伝送遅延

折り返しサイト	ping の応答時間 (msec)	伝送遅延 (msec)
NTT 通信網研究所	5	1
日本電気	11	3
北海道大学	45	11
東北大学	81	20
名古屋大学	111	28
大阪大学 (豊中)	149	37

3 TCP/IP スループット特性

ATM ネットワークを用いてワークステーション間で TCP/IP 通信を行う場合、必ずしも十分なスループット特性が出ない (TCP timing Abnormality) ことが指摘されている [2]。

TCP/IP プロトコルの転送特性を、ATM ネットワーク上で実際に測定評価し、転送効率を低下させずに使用するためのパラメータを明らかにする。

3.1 実験環境

表 2 に示す実験環境でスループットを測定した。測定に用いたマシンは UNIX マシン (OS は Solaris2.3/2.4) であり、この内部バスである Sbus を介して ATM カードを接続している。このマシンを 2 台、ATM スイッチを介して point-to-point の PVC 接続をしてスループットなどの性能を測定する。

3.2 測定結果

表 2 における実験環境において、netperf を用いて測定したスループット特性の一例を図 6 に示す。

測定条件は、転送するデータのメッセージ長が 100 バイトから 6000 バイトまで、UNIX マシンの送受信バッファサイズを 2000 バイトから 18000 バイトまで変化させた。なお、メッセージ転送ユニット (MTU) は 9180 バイトである。

同種ボード間と異種ボード間でスループットの特異性が異なることが分かる。また、異種ボード間にお

表 2: 実験環境

項目	環境条件
使用マシン	UNIX マシン (SS20 相当) クロック速度:71MHz OS : Solaris 2.3
ATM カード	FORE 社製 SBA200 Classical IP PVC モード AAL 5
ATM スイッチ	FORE 社製 ASX-200
使用マシン	UNIX マシン (SS20) UNIX マシン (SS5) OS : Solaris 2.4
ATM カード	ENI 社製 ENI-155s-MF Sun 社製 SunATM-155
光ファイバ	マルチモードファイバ
通信形態	point-to-point
測定ソフト	netperf tcpdump

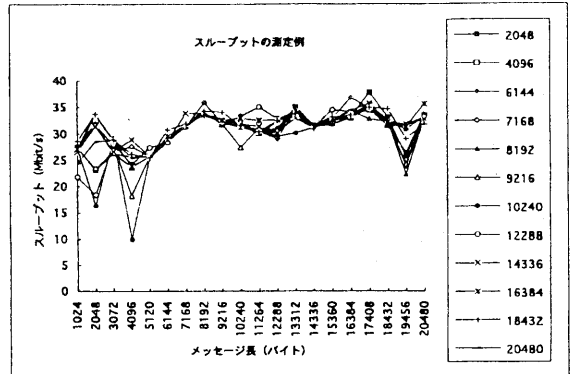


図 4: スループット特性の例 (ENI → SUN)

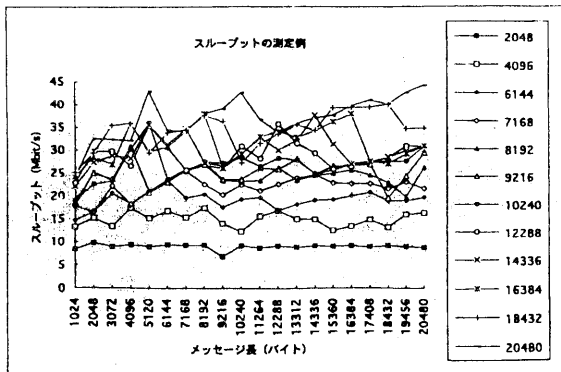


図 3: スループット特性の例 (ENI → ENI)

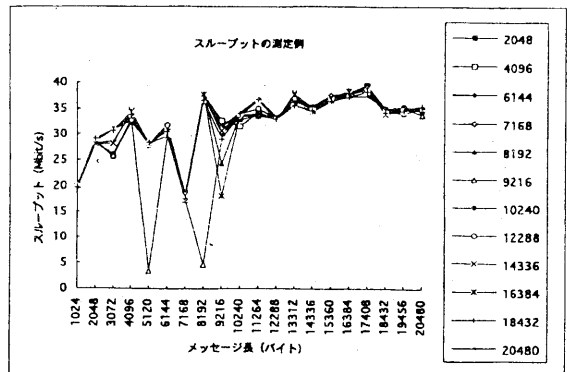


図 5: スループット特性の例 (SUN → ENI)

いても通信の方向によってスループットが異なる場合があることが分かる。

同図で、端末 A から B へメッセージ長が 4400 バイトと 4600 バイトで転送する場合を示す。TCP プロトコルは累積確認応答方式であるので、通常時は Ack は適宜 (約 1.5ms 以内) 端末 B から返送されている。しかし、スループットが低下する場合は端末 B からの Ack の間隔 (約 40ms) が異常に長くなり、次のデータを端末 A から転送するまでの転送間隔が長くなってスループットが低下している。

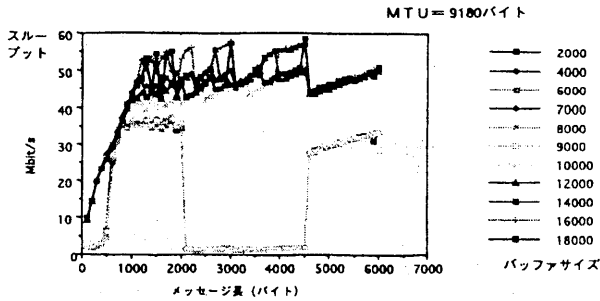


図 6: スループット特性の例

図 6 に示すように、メッセージ長が 1000 バイト以上であれば一般には 40Mbps 以上のスループットが得られる。ただし、メッセージ長が最大セグメント長 (MSS=MTU-ヘッダ長) より大きくなると、複数のセグメントに分割され転送されるので、スループットは MSS の倍数になった時が、最も効率がよく転送でき、鋸歯状の特性になる。

また、バッファサイズが 2000 バイトから 9000 バイト (MTU) までの範囲で、メッセージ長が 2000 バイトから 4500 バイト (MTU/2) までの範囲ではスループットが 1.4-2.1Mbps 程度まで低下する。このスループットが低下する時のシーケンスの例を、通常のスループットの時と対比して図 7 に示す。

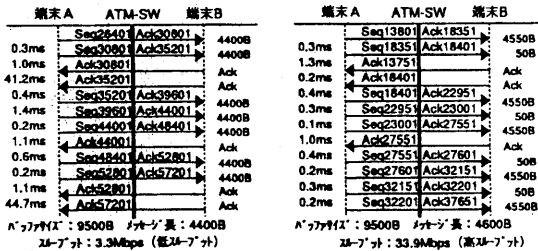


図 7: 転送シーケンスの例

3.3 スループットに寄与するパラメータ

前節に述べたように転送するメッセージ長の値によっては、Ack の処理遅延により極端にスループットが低下するので、これを避ける必要がある。以下では、このためのパラメータ選定法について述べる。メッセージ長およびバッファ長を変化させてスループットを測定し、その値が低下 (10Mbps 以下) する領域をプロットしたのが、図 8 である。同図を見ると、MTU の値にもよるが、メッセージ長は MTU 以下、バッファ長は 2k-9k バイト (必ずしも 4k の倍数ではない) の範囲で低下する。したがって、図 8 からこの領域を避けるようなメッセージ長およびバッファ長を選択する必要がある。

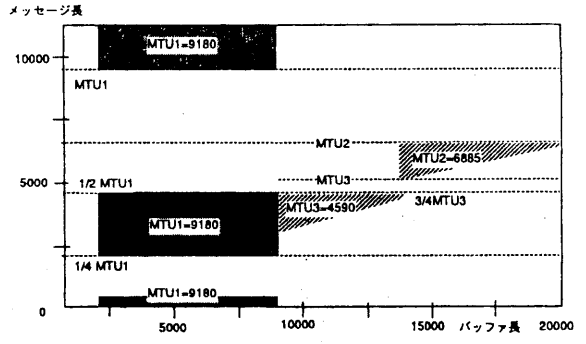


図 8: スループットが低下 (10Mbps 以下) する領域

4 複数トラヒックが混在する際の振舞い

ATM ネットワークを用いた遠隔講演サービス実験の結果から、複数トラヒックが混在する際の振舞い

に関して述べる。

遠隔講演サービス実験では、NTT 武蔵野研究開発センタから早稲田大学、京都大学、大阪大学を結んで映像・音声のリアルタイム伝送による遠隔講演サービス実験を行った。

4.1 ネットワーク構成

NTT のマルチメディア共同利用実験の ATM ネットワークは表 3 に示す実験環境であり、OLU ネットを用いて NTT 武蔵野研究開発センタ、早稲田大学、京都大学、大阪大学を接続した。なお、遠隔講演サービスとしては、NTT 武蔵野研究開発センタの講演者の映像や音声を、他の 3 大学に実況中継しつつ、質疑応答を行った。

表 3: 実験環境

項目	概要
バックボーンネットワーク	ATM ネットワーク (NTT マルチメディア共同実験回線)
接続形態	PVC
インタフェース速度	155.52Mbps
最大情報速度	67.815Mbps
OfficeMermaid	映像解像度:480X360 ドット フレーム数:最大 30 フレーム/秒 画像圧縮方式:Motion-JPEG 音声標本化:16kHz 量子化ビット数:16 映像合成表示 (4 分割縮小) 音声ミキシング AAL5
高品質映像伝送	映像系:MPEG-2 MP@ML 解像度:720X480 ドット 音声系:MPEG-1 レイヤ 2 AAL1

NTT 武蔵野研究開発センタから他の 3 大学へは、NEC 社製の OfficeMermaid を用いて分配するとともに、

早稲田大学から NTT 武蔵野研究開発センタへは NTT・HI 研開発の MPEG-2 CODEC を用い高品質映像伝送を行なった。なお、OfficeMermaid のサーバは早稲田大学に設置し、他のマシンと ATM 回線によりスター形式で接続した。図 9 に、実験に用いた ATM 接続構成とチャンネルの割り当てを示す。回線 1 は、早稲田大学から NTT 武蔵野研究開発センタまで映像と音声を多重化して 1 本の片方向の ATM 回線であり、MPEG-2 の映像・音声信号を伝送する。回線 2、3 および 4 は、OfficeMermaid のサーバと端末間のメディア毎の ATM 双方向回線である。

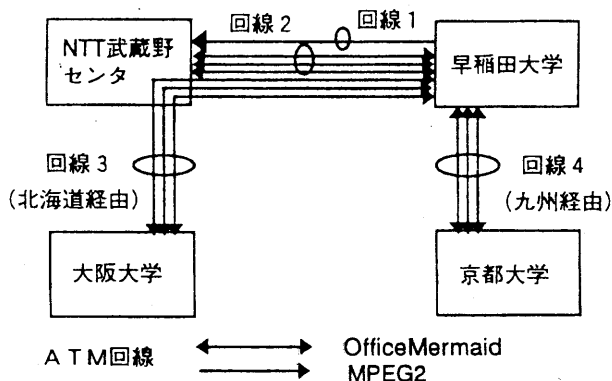


図 9: 実験に用いた ATM 回線

4.2 遠隔講演サービス

NTT 武蔵野研究開発センタに講師がおり、他の 3 大学に遠隔講演サービスを行なった。基本的には、多地点間通信のため OfficeMermaid のサーバ機能により映像・音声信号の分配 (AAL5) を行なったが、早稲田大学からはもう一回線を用いて MPEG-2 による高品質映像伝送 (AAL1) を行ない、ATM の多重化伝送を行った。

4.3 映像・音声伝送

以上に述べた実験環境で遠隔講演サービスを行った時の ATM トラフィックデータの例を図 10 および図 11 に示す。同図 10 で、15 時 48 分までは MPEG-2 の画像が平均約 7.1Mbps (ビデオ 5.5Mbps、オーディオ 0.38Mbps) であるが、セル廃棄対策インタリーブ

およびセル化処理による)で流れた。本講演サービス中に、頻度は低かったがモザイク状のひずみや動きのひずみが発生した。一方、OfficeMermaidの映像は、1画面表示(講演者またはスライドの表示など)の場合は約2.1-5.5Mbps、4画面表示(各大学の合成表示)の時は、約0.4-1.7Mbpsで変化しており、若干のコマ落ちがあったが、ほぼ良好に通信できたと考えられる。一方、音声は、約300kbpsの固定速度であり、講師が一時的に話をしている場合は問題はなかったが、質問時に話頭切断が発生していた。また、データ信号は、画面切り替えなどの制御データだけであったので、ほとんど0Mbpsであった。なお、音声については、中味が無音であっても固定速度で伝送した。また、早稲田大からNTT武蔵野方向の合計のATMトラフィックは約8.7-13Mbpsであり、逆方向のNTT武蔵野から早稲田大方向は約0.4-2.3Mbpsであった。このように、ピーク時でも最大13Mbps程度であったので、セル廃棄による品質への影響は少なかったと思われる。ただし、今後はトラフィックが増大するものと思われるので、バックボーンネットワークの使用量パラメータ制御(UPC)によるセル廃棄について考慮する必要がある。

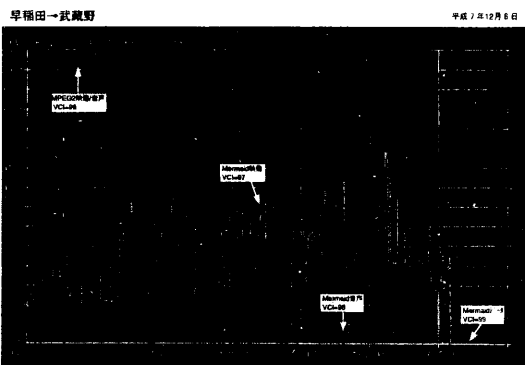


図 10: 早稲田→NTT武蔵野方向 ATM トラフィック

5 まとめと今後の課題

本論文では、ATM ネットワーク上での実験結果に関して以下の内容について述べた。

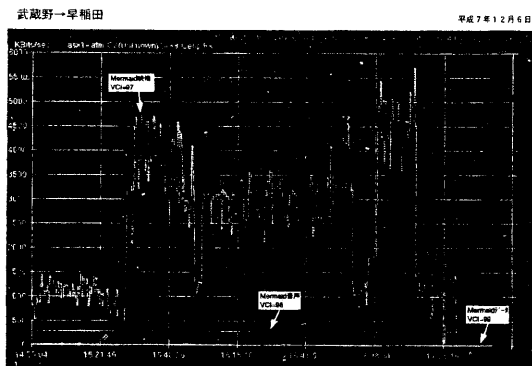


図 11: NTT武蔵野→早稲田方向 ATM トラフィック

- 広域 ATM ネットワークでは、回線距離に起因する伝送遅延の影響が帯域よりも大きい。
- TCP/IP プロトコルを用いたスループット特性は、転送するメッセージ長の値によって、極端にスループットが変化する。
- 遠隔講演サービスによるマルチメディア伝送実験で、トラフィックが少ない場合にはセル廃棄の影響が少なくほぼ良好な特性が得られる。トラフィックが大幅に増加した場合には、セル廃棄特性や複数のメディアを考慮したセル多重化法、伝送路の遅延時間に基づく転送特性などの評価を引き続き行う必要がある。

謝辞

本実験を行うに際し、奈良先端大の岡村氏、広島大の西村氏、NTT マルチメディア推進本部の平原、大野両氏、NTT HI 研画像部の八島氏をはじめとする OLU プロジェクト参加機関の皆様にも多大な協力をいただいた。厚く感謝する。

参考文献

- [1] 村上他:「高速インターネット-Long,Fat Pipe- Analysis of Stream Behavior in a High-speed Internet」
- [2] M.Lin, J.Hsieh, D.C.Du, J.P.Thomas and J.A.MacDonald: 「Distributed Network Computing over Local ATM Networks」, IEEE Journal on Selected Areas in Communications, Vol.13, No.4, May 1995 pp733-748.