

## ISDN 逆多重化装置の特性評価と効率的利用法<sup>1</sup>

山下 高生

小野 諭

yamasita@cactus.ntt.jp

ono@cactus.ntt.jp

NTT ソフトウェア研究所

あらまし 連続メディア通信を広域ネットワークで行なう技術として、必要なときに必要な帯域を確保できる ISDN が有望である。画像通信に必要な帯域を動的に確保する技術として、複数回線の ISDN を束ねて利用する ISDN 逆多重化装置がある。本研究では ISDN 逆多重化装置のうちフレーム型を取り上げ、その基本特性と広域ネットワーク上に組み込む場合に発生する利用上の問題点を明らかにする。特に、ネットワーク環境で重要な複数ユーザでの帯域の共用する場合、および、一部の ISDN チャンネルが衛星を経由するなど、逆多重するチャンネルに大きな遅延時間差がある場合について、TCP プロトコルを用いて評価した。

## Evaluation of ISDN Inverse Multiplexer

Takao Yamashita

Satoshi Ono

yamasita@cactus.ntt.jp

ono@cactus.ntt.jp

NTT Software Laboratories

**Abstract** ISDN is a promising technique for the infra-structure of Wide Area Network supporting Continuous Media, since it can provide high quality digital communication band-width on demand. ISDN Inverse Multiplexer (IMUX) have been introduced for bundling several low-speed B channels into one high-speed channel, which is suitable for video communication.

This paper clarifies problems of one type of ISDN-IMUX, frame-type IMUXs, when they are embedded in the WAN. Especially, band-width sharing effect in multiple TCP connections, as well as the effect of delay time variance among ISDN channels are discussed in details.

<sup>1</sup>この研究の一部は、情報処理振興事業協会 (IPA) が実施している開放型基盤ソフトウェア研究開発評価事業「マルチメディア統合環境基盤ソフトウェア」プロジェクトへの研究協力として行なわれました。本稿に含まれている見解や結論は、著者自身のものであり、IPA 自身の見解や結論を表すものではありません。

## 1 はじめに

ワークステーションやPCの高性能化に伴い、デスクトップテレビ会議やビデオ・オンデマンド・サービスなど、デジタル化された音声や画像などの連続メディアを扱う応用が増えている。連続メディアを送送する場合、帯域の確保や遅延、遅延変動などの制約から、専用線を主体とした従来のWANでは、十分な品質を確保することが困難である。

帯域や遅延などが安定したデータ伝送を行なう手段として、必要な時に、高速・高品質なデジタル通信路を確保できるISDN(Integrated Services Digital Network)が有望である。現在、狭帯域ISDNとして、INS-64およびINS-1500の公衆サービスが提供されている。INS-64は、一回線につき、64 kbpsのBチャンネル2つを利用できる。また、INS-1500では、386kbpsのH0や1.5 MbpsのH1などの高速伝送チャンネルも利用できる。

INS-64は、サービス提供エリアが広い、工期が短い、銅配線の既存配線を流用できるなど、多くのメリットをもつ。しかし、64 kbps帯域の制限から、動画情報の伝送には限界がある。この限界を克服するものとして、ISDN逆多重化装置(Inverse Multiplexer: IMUX)化がある。

多重化装置とは、複数の回線を束ねて、一本の物理回線にして伝送し、相手側でまたもとの回線の束に戻す装置である。これは、低速の回線複数をまとめて、高速の伝送回線1本に集約化し、経済的な伝送を可能とするものである。IMUXは、ちょうどこの逆の操作をするもので、一本の高速回線のデータを複数の低速回線に分割して伝送し、相手側でまた一本の回線に集約する装置である。たとえば、6本のBチャンネルを束ねて384 kbpsの伝送を実現する。

本稿では、ISDN-IMUXのひとつであるフレーム型IMUXをとりあげ、コンピュータネットワーク環境での利用を前提に、代表的なInternet ProtocolであるTCP(Transmission Control Protocol)を用いて、ISDN-IMUXの基本特性と利用上の問題点を明らかにする。

本稿で着目するのは、IMUXにより実現される高速伝送路(以下、IMUXサービス回線とよぶ)の帯域共用の問題、および、IMUX相互を接続する物理チャンネル(以下、IMUX伝送チャンネルと呼ぶ)相互間の伝送遅延時間差の問題である。

まず、帯域共用問題について説明する。従来のスタジオテレビ会議のように、ISDN回線をテレビ会議装置に直接接続して、point-to-pointで利用する場合には、ISDNにより確保される帯域全体を、指定アプリケーションが専有する。しかし、IMUXサービス回線をLAN間接続に用い、その上で連続メディアを送送するな

どの場合などには、必要に応じて帯域を、ネットワーク上の複数アプリケーションで分割・共用できることが望ましい。

この問題は、さらに、複数の同一方向トラヒックの帯域分割の問題と、逆方向トラヒックの干渉の問題とに分けられる。前者は、たとえば、384 kbpsの帯域を、128 kbpsと256 kbpsのふたつの映像伝送に用いることなどに相当する。後者は、たとえば、A地点とB地点間のIMUXサービス回線の利用において、A地点からB地点へのデータ伝送と、逆向きのB地点からA地点へのデータ伝送とが干渉しあうことをさす。もちろん、このような干渉が起きないことが望ましいが、TCPなどでは、ユーザデータとは逆方向に、ackなどの制御データが流れるため、干渉が発生しうる。

次に、チャンネル間遅延差の問題である。TCPなどのプロトコルでは、輻輳の検出とフロー制御にメッセージの往復時間を用いている(文献[1])。したがって、IMUX接続チャンネル相互に大きな遅延時間差があると、問題を引き起こしうる。特に、IMUX接続チャンネルの一部に衛星中継回線がある場合が問題である。

日本国内のINS-64回線では、通常、伝送遅延は、16 ms程度である(文献[2])。しかし、網の混雑により地上回線が確保できない場合、あふれたトラヒックを衛星回線により伝送する措置がとられる(文献[3])。この場合の遅延時間は、325 ms程度にもなる(文献[2])。したがって、地上回線と衛星回線の両者が使われた場合、IMUX接続チャンネル相互間で、2.0倍を越す伝送遅延差が発生することになる。このような遅延差がプロトコルに与える影響を評価する必要がある。

本稿の構成は、次の通りである。まず、章2では、IMUXの特徴と分類を説明する。章3では、ウィンドウ制御を用いた、複数の同一方向トラヒックの帯域分割の実験結果について報告し、その所見をまとめる。この時、チャンネル間で遅延差がない場合とある場合の両者を比較する。

章4では、逆方向トラヒックの干渉について、同様に実験結果と所見を報告する。章5は、まとめである。

## 2 ISDN-IMUXの特徴と分類

### 2.1 ISDN-IMUXのメリット

ISDN-IMUXを使うメリットとしては、

- ・光ファイバ配線なしに、高速データ伝送を実現できる。
- ・ISDN公衆回線のように、回線速度のサービス品目が限られている(64 kbps, 384 kbps, 1.5 Mbps)場合にも、ユーザの必要にあった帯域のIMUXサービス回線(たとえば、768 kbps)を作ることができる。

- ・ファイルのバースト転送など、IMUXサービス回線への負荷がやや長時間(分オーダー)にわたり増減する場合、ISDNの自動ダイヤルアップによりIMUX伝送チャンネルの数を変化させることにより、IMUXサービス回線の帯域を、負荷に対して動的に適応させることができる。
  - ・専用線とISDNを組み合わせるなど、課金方法が異なるサービスを組み合わせさせた伝送路を作ることができる。
- などがある。

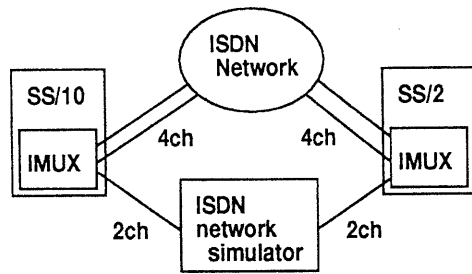


図 1: 測定系

## 2.2 ISDN-IMUXの分類

ISDN-IMUXには、大きく、ビットストリーム型とフレーム型とに大別できる。

**ビットストリーム型** この方式では、入力データをビットストリームとみなし、それを複数のIMUX伝送チャンネルに分割して伝送する。具体的には、IMUXサービス回線の入力側のビットストリームを、ビット/バイトなどのレベルで分解し、それを複数の伝送回線に順次送出する。受信側では、全体を再アSEMBルし、出力側に同一のビットストリームとして再現する。

**フレーム型** この方式では、入力データは可変長のパケットからなる。これをもとにフレームを組み立て、それを複数回線に振り分けて伝送する。具体的には、まず、入力パケットから作られた送信待ちフレームは、一旦送信待ち行列に蓄えられる。IMUX伝送チャンネルに空きがある場合、送信待ち行列に蓄積されたフレームを取り出し、それを空きチャンネルを用いて伝送する。受信側では、使用中のチャンネルから順次フレームを取り出し、それからパケットを取り出し、出力側に送出する。一般に、入力側と出力側では、パケット相互の順序は保存されない。なお、フレームの送信待ち行列は、すべての同一宛先IMUX伝送チャンネルで共有する場合もあるし、それぞれのIMUX伝送チャンネルごとに、あらかじめ振り分ける場合もありうる。当然、前者の方が一般に伝送チャンネルの利用効率が高くなる。

## 2.3 本稿で扱う装置と測定方法の概要

筆者らの一部は、先に、ビットストリーム型のIMUXについて、その特性を簡単に報告した(文献[4, 5])。今回は、もうひとつのタイプであるフレーム型IMUXについて、やや詳細な報告を行なう。

測定システムの概要を図2.3に示す。

ISDN-IMUXとしては、SUN Sparc StationのS-bus用INS-64インタフェースボードであるBM-IS 6.4(中央システム技研社製)を用いた。これを、片側

3枚づつ使用して、最高6BまでのIMUXを構成した。このIMUXはフレーム型で、送信待ち行列は、IMUX伝送チャンネルごとに、あらかじめ振り分ける方式になっている。このボードを制御するWSとしては、SS/10とSS/2をそれぞれ1台づつ使用した。

IMUX伝送チャンネルであるが、4Bチャンネル分は、実際の公衆INS-64回線を利用した。残り2Bチャンネル分は、伝送遅延の制御をするため、INS-64シミュレータを利用した。

テストプログラムとして、TCPのストリームタイプソケットを用いたクライアント・サーバ型のプログラムを作成した。クライアントは、指定されたソケットでコネクションを張り、一定長のストリームデータを指定されたバッファサイズで送出する。サーバは、クライアントからのコネクション要求を受信し、ストリームデータを受信する。そして、複数ストリームデータの到着時間間隔から、瞬間的なデータレートを算出し、順次ファイルに書き込むようになっている。ゆらぎを吸収するため、データレートの算出には、先行する複数(たとえば、7から31程度)ストリームデータ全体のデータ量と到着時間から算出している。なお、帯域共用のため、複数のコネクションを並行して張る時には、別々のソケット番号を指定したクライアント・サーバ対を、複数、それぞれ別プロセスとして実行することで行なっている。

測定を簡単にするため、1ストリームデータが1フレームに対応するよう、送信ストリームデータ長を設定した。この長さ1460バイトは、次のようにして計算した。まず、使用したISDN-IMUXが取り扱い可能なフレームの最大長MTU(Maximum Transfer Unit)は、1500バイトであった。また、今回のTCPコネクションはオプションを持たないので、TCPのヘッダは20バイト、IPヘッダは20バイトである。この装置はフレームヘッダを持たないので、ストリームデータ長=MTU-(TCPヘッダ長+IPヘッダ長)から1460バイトとなる。

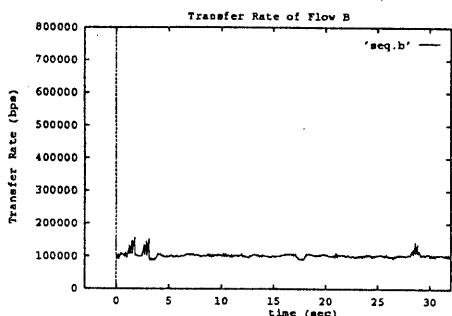
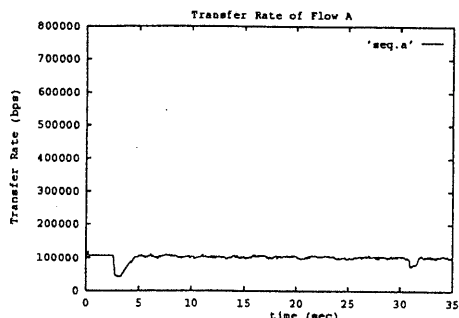


図 2: 遅延差なし (バッファ 3400)

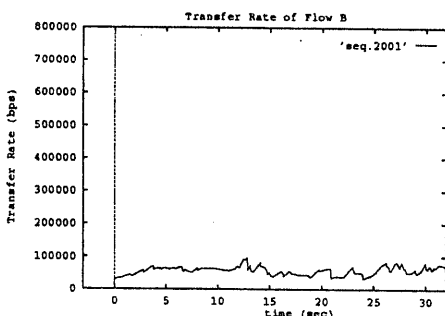
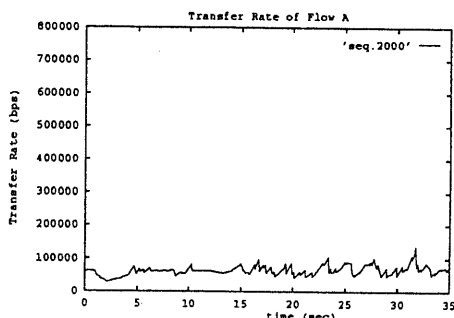


図 3: 遅延差あり (バッファ 3400)

### 3 ウィンドウ制御を用いた帯域分割の測定

測定は2つのストリームをIMUX サービス回線を通して同一方向に流し、各ストリームの伝送レートを測定することで行なった。TCP では遅延時間変動に対してウィンドウ・サイズを変化させるが、このウィンドウ・サイズの最大値はTCP のバッファ・サイズによって決まるものと考えられる。よってウィンドウ・フロー制御を利用するためにTCP のバッファ・サイズを変化させて測定を行なった。

ここで、6チャンネルのIMUX を用いた場合に、最大伝送レートを得るために必要なウィンドウ・サイズについて考える。MTU の値は1500バイト、これを伝送するために必要な時間は約200msecそして、伝送遅延は約20msecであるから、1チャンネルの場合、ウィンドウ・サイズがMTU の2倍程度で最大の伝送レートを得ることができると考えられる。よって、6チャンネルの場合にはMTU の12倍程度のウィンドウ・サイズ(6チャンネル最大レート・バッファ・サイズと呼ぶ)を用いることで最大の伝送レートを得ることができる。MTU の12倍よりもバッファ・サイズが小さい場合にはウィンドウ・フロー制御が機能している状態となる。

測定は

- 6ch が全て通常の遅延をもつ回線に接続された場合 (遅延差なし)
- 6ch のうち1ch だけ衛星回線による遅延 (約325msec)

が挿入された場合 (遅延差あり)

について行なった。

次に遅延差ありおよび遅延差なしの場合についての測定結果を示す。

#### 3.1 遅延差なしの場合

ウィンドウ・フロー制御が機能している状態 (中間伝送レート) における、各ストリームの伝送レートの時間変化の測定結果を図3に示す。ここではストリームAが伝送されている状態にストリームBを3秒後に加えたものである。

この図から判るようにストリームBが加わったときにTCPのスロースタートとウィンドウ・サイズの変化によるものと考えられる変動がある以外は相互に影響を受けずに安定した伝送レートが得られており、ウィンドウ・フロー制御による帯域分割ができていことがわかる。

#### 3.2 遅延差ありの場合

図3と同様の測定を遅延差ありの場合に行なった結果について図3.1に示す。

この図から遅延の大きいチャンネルが存在した場合、各フレームがどのチャンネルを使用するかによってラウンドトリップタイムが変動し、ウィンドウサイズの変更などにより、遅延差なしの場合と比較して短時間では不安定な伝送レートとなる。また、ウィンドウ・サイズを最大

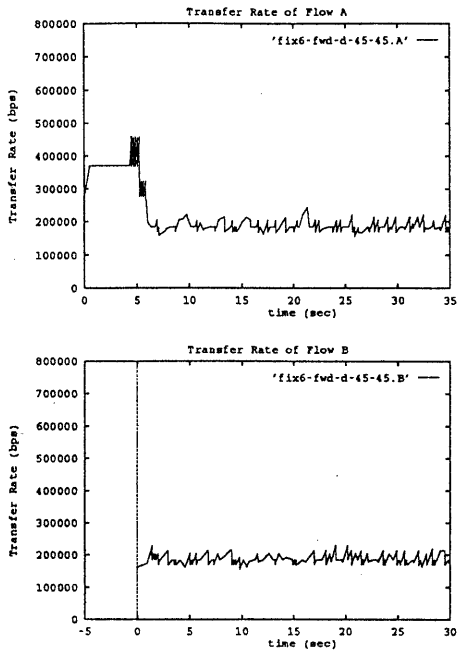


図 4: 遅延差あり (バッファ 45000)

値に上げることができないために伝送レートが低いものとなっている。これは、2つのストリームのバッファの総和が6ch 最大レート・バッファ・サイズを越えていないときのものである。

遅延によって伝送レートが下がることを回避するためには、必要な伝送レートに対して、ある程度大きなバッファを使用する方法が考えられる。このようにしたとき、2つのストリームのバッファ・サイズの総和が6ch 最大伝送レート・バッファ・サイズを越えるような場合が生じる。

このような場合に帯域分割が制御可能であるかどうかということが問題となる。図 3.2に、両ストリームともバッファ 45000 バイトの時の測定結果を示し、図 3.2に2つのストリームのバッファ・サイズ比と伝送レート比の関係

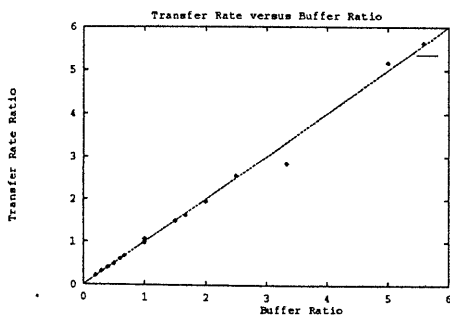


図 5: バッファ比と伝送レート比の関係

を示す。これらの図から短時間では、図 3.1と同程度の不安定な伝送レートとなるが、長時間の平均伝送レート比は、ほぼバッファ・サイズ比で分割できていることが判る。

図 3.2のように長期的には、伝送レートが安定する場合がある一方で、図 3.2に示すように伝送レートが比較的時間に対して緩やかに変動する現象も観測された。この例はストリーム A のバッファが 9000 バイトでストリーム B が 30000 バイトの場合である。これは、一方のストリームが遅延チャネルを使用して、ウィンドウ・サイズを減少させたところに他方のストリームがウィンドウ・サイズを増加させるといったことが原因と考えられる。

以上のことから、ISDN-IMUX の複数チャネルのうち異なる伝送遅延を持つチャネルが入った場合、遅延変動だけで、輻輳制御を行なっているようなプロトコルでは十分に性能を引き出すことができない。

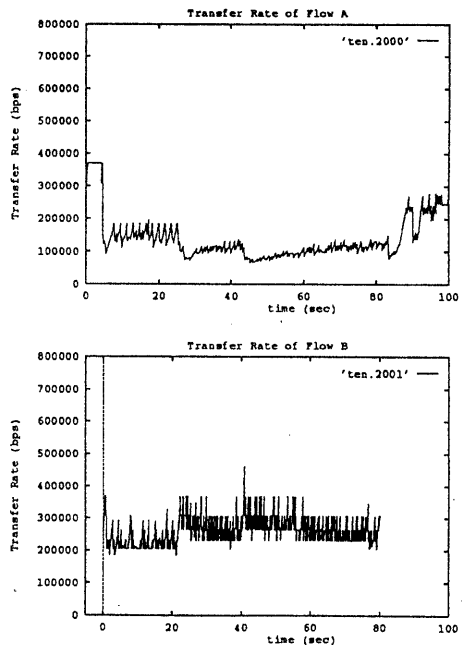


図 6: 遅延差あり (不安定な場合)

## 4 逆方向トラフィック相互の干渉

### 4.1 逆方向トラフィック相互干渉の理由

前章では、同一方向の2つのトラフィックの帯域分割について考察した。本章では、逆方向のトラフィックの干渉について述べる。

一般に、A地点からB地点にデータを流した場合、それが正しく送られたか、などの制御データを受信側が送

信側に通知するため、逆方向のトラフィックも発生している。

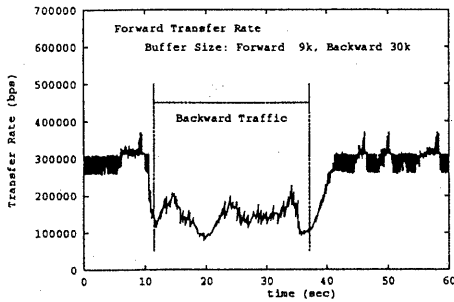


図 7: 逆方向トラフィックによる干渉例 (順方向速度)

たとえば、TCPでは、受信側が、送信データを正しく受信できた場合には、どこまで受信できたか、このあと、どれだけのウィンドウサイズで受けとれるか、などの制御データを、送信側に送り返している。このデータは、送信側では、バッファ管理、ネットワークの輻輳状態の検出、および、データ誤りやフレームロスなどの理由で、送信データが正しく伝送できなかった場合の再送制御などに使用されている。

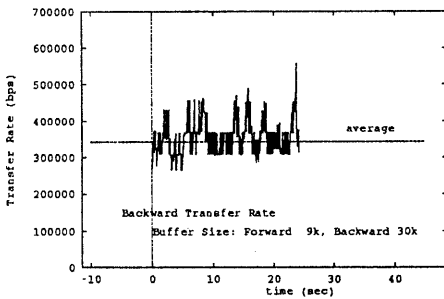


図 8: 逆方向トラフィックによる干渉例 (逆方向速度)

特に、TCPでは、データを送信してから、そのackが送り返されてくるまでの往復時間が重要で、これを監視してネットワークの輻輳を検出し、ウィンドウサイズを半分に減少させるなどの方法で、輻輳の解消を行なうようになっている。したがって、もし、逆方向のトラフィックが多量に存在すると、ackの伝送に関する遅延や遅延変動が非常に大きくなり、伝送速度が低下したり、速度が安定しなくなることが予想される。

これを確認するため、6本のBチャンネルを束ねたIMUXサービス回線を経由して接続されたWS間で、ふたつの反対方向のTCPコネクションを張り、伝送速度を計測する実験を行なった。具体的には、まず順方向トラ

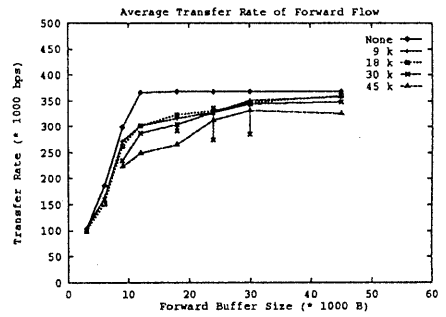


図 9: バッファサイズの変化による順方向速度の変化

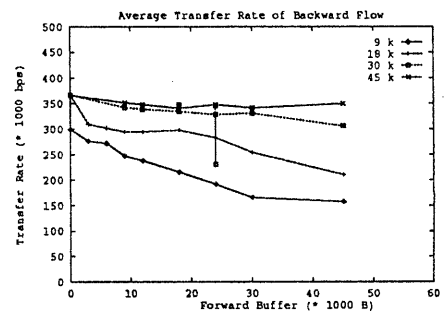


図 10: バッファサイズの変化による逆方向速度の変化

フィックのコネクションを指定されたバッファサイズで張り、それから約10秒後に逆方向のコネクションを同様に張り、両者の伝送速度を調べた。

図7と図8は、順方向/逆方向バッファサイズが、それぞれ9000/30000バイトの場合を示したものである。

## 4.2 バッファサイズの影響

図9と図10に、対抗するふたつのトラフィックのバッファサイズを変化させた場合の、順/逆それぞれのトラフィックの平均速度を示した。ここでは、測定の簡単化のため、途中で逆方向トラフィックに割り込まれる順方向トラフィックも、全体の平均速度をあげている。

図9のバッファサイズ None とは、逆方向トラフィックがない場合をさしている。この時は、バッファ 12,000 バイトまでは、ほぼリニアに伝送速度が増加し、そこで飽和する。逆方向トラフィックがあっても、ほぼ、順方向のバッファが増加すると、伝送速度が増加する傾向がある。また順方向のバッファを一定にすると、逆方向トラフィックが増加するにつれて、順方向伝送速度は減少している。

逆方向トラフィックの伝送速度についても、図10に示すように、同様な結果が得られている。

### 4.3 伝送速度の安定性の問題

連続メディアの伝送を考える場合、単に長期的にみてある幅の帯域がとれているだけでは不十分である。ある程度短期的にみても、つねに安定した伝送速度が確保されており、それが揺らがないことが望ましい。

逆方向トラヒックがある場合の帯域の安定性の面では、次のようなことが観測された。

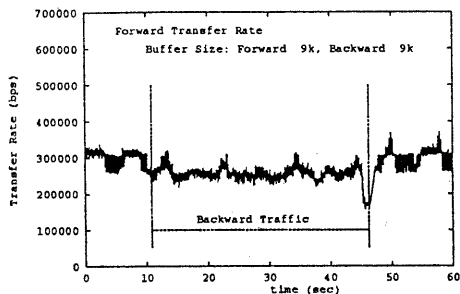


図 11: 比較的ウィンドウサイズが小さい場合（順方向）

- 順／逆双方ともバッファサイズが小さい時（帯域一杯まで利用するほどウィンドウサイズが小さくない時）には、トラヒック相互の干渉は、あまり大きくなく、両方向とも帯域は安定していた。

たとえば、順／逆双方のバッファサイズをともに 9,000 にした場合の様子を、図 11 および 図 12 に示す。

- 順／逆双方ともバッファサイズが十分に大きい時（帯域一杯まで利用する最低限のウィンドウサイズの数倍の時）も、実際の伝送速度がほぼ物理回線で定まる最大速度に近く、トラヒック相互の干渉は、あまり大きくなかった。

たとえば、順／逆双方のバッファサイズをともに 45,000 にした場合の様子を、図 13 および 図 14 に示す。

- それ以外の場合では、どちらかの伝送速度が安定しないものが多かった。たとえば、順方向 24,000、逆方向 30,000 の場合は、やや不安定な動作が見られた。この場合、全く同じバッファサイズで測定を繰り返しても、ある時は、順方向のトラヒックが安定せず、別の時は、逆方向が安定しない時があった。また、双方とも、安定している場合もあった。順方向が妨害された例を、図 15 および 図 16 に、また、逆方向が妨害された例を、図 17 および 図 18 に示す。

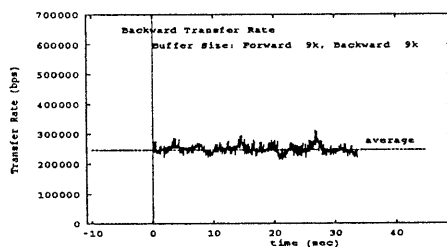


図 12: 比較的ウィンドウサイズが小さい場合（逆方向）

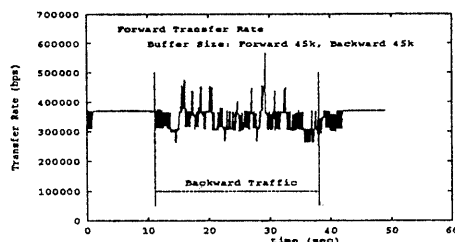


図 13: ウィンドウサイズが十分に大きい場合（順方向）

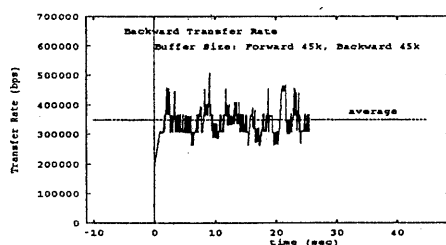


図 14: ウィンドウサイズが十分に大きい場合（逆方向）

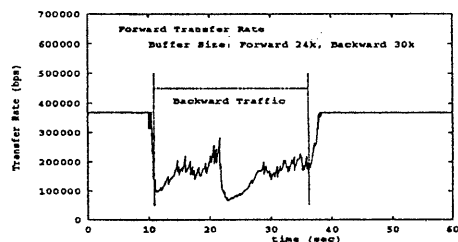


図 15: 順方向トラヒックが妨害された例（順方向）

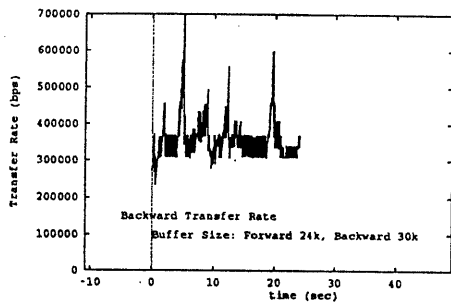


図 16: 順方向トラフィックが妨害された例 (逆方向)

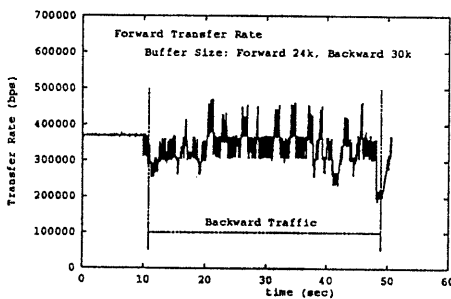


図 17: 逆方向トラフィックが妨害された例 (順方向)

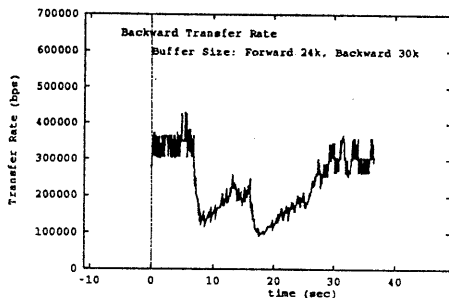


図 18: 逆方向トラフィックが妨害された例 (逆方向)

## 5 おわりに

本稿では ISDN 逆多重化装置のひとつであるフレーム型を取り上げ、その基本特性と広域ネットワーク上に組み込む場合に発生する利用上の問題点を明らかにした。ネットワーク環境では、複数ユーザで同一帯域の共用できることが望ましい。そこで、複数の同一方向トラフィック間の帯域分割、および、逆方向トラフィックが引き起こす干渉について検討した。また、一部の ISDN チャンネルが衛星を経由するなど、逆多重するチャンネルに大きな遅延時間差がある場合についても評価した。なお、プロトコルとしては、TCP を用いた。

## 謝辞

分散連続メディアに関し、日頃よりご指導、ご討論下さる慶應大学環境情報研究所の斎藤信男教授、徳田英幸助教授、萩野達也助教授、および、開放型基盤ソフトウェア研究開発評価事業「マルチメディア統合環境基盤ソフトウェア」プロジェクトの皆様へ感謝します。また、本研究をご支援下さる、NTTソフトウェア研究所の後藤滋樹ソフトウェア基礎技術部長および小川裕グループリーダーに感謝します。

## 参考文献

- [1] Douglas E. Comer: "Internetworking with TCP/IP," Volume 1; Principles, Protocols, and Architecture, Second Edition, Prentice-Hall (1991)
- [2] 飯塚, 林, 長谷川: "INS ネットサービスの普及拡大をねらい、品質を開示 — 技術参考資料「INS ネットサービスのインタフェースから」," NTT 技術ジャーナル, Vol.2, No.4, pp.49-53 (1990.4)
- [3] 森広, 佐藤: "DYANET II の開発とシステム構成," ISDN 中継系・加入者系統合衛星通信方式 - DYANET II - 特集, NTT R & D, Vol.41, No.4, pp.427 - 436 (1992.4)
- [4] 斎藤, 徳田, 萩野 他: "マルチメディア統合環境のテストベッドとその評価," 信学会 コンピュータシステム研究会 CPSY 92-76, 信学技報 Vol.92, No.497, pp.17 - 24 (1993.3)
- [5] 慶応義塾大学環境情報研究所: "開放型基盤ソフトウェア研究開発評価事業に係る「マルチメディア統合環境基盤ソフトウェア研究開発」報告書 (1993.3)