

マルチメディア通信の TCP/IP-WAN 構築手法の検討*

水沼 信治 篠田 晃 桑名 栄二†

NTT ソフトウェア研究所‡

概要

近年、マルチキャストを用いてインターネット上でリアルタイムにマルチメディアコミュニケーションを実現するツールが利用可能になってきた。しかしながら、これらのツールは音声や画像データを交信するため、ネットワークのトラフィックを増加させ他のネットワークアプリケーションの性能低下を引き起こす原因ともなっている。一方、広域ネットワークの構築は専用回線や公衆回線を用いた LAN 間接続が一般的な方法となっている。専用回線は比較的高速であるが、高価であり設置等に時間を要するケースが多いため容易に利用しにくい。それに対し公衆回線は設置等は簡単であるが、低速であるためにリアルタイム型の通信の実現には適していない。本稿ではこのような背景において、既存のネットワークでマルチメディア通信を行なう場合の問題点を述べる。また、デジタル公衆網を用いて既存のネットワークを広域ネットワークへと拡張する方法とその実験例を報告する。

1 はじめに

従来、ネットワークを利用したアプリケーションは TCP や UDP を用いた 1 対 1 もしくは 1 対多の通信という形で実現されてきたが。これに加えて、最近では multicast を用いて複数対複数での通信を実現したアプリケーションが他数出現してきている [1]。これらのアプリケーションは音声や画像等を複数人でリアルタイムに交信することを特徴とする。しかし、膨大な音声や画像データをリアルタイムで通信するため、ネットワークに流れるデータのトラフィックは従来のネットワークアプリケーションの比ではない。この様な一般的なマルチメディアアプリケーションのトラフィック特性に対し、LAN セグメントでは Ethernet や FDDI を活用した高速な計算機ネットワーク環境

が実現されているのが主流であるため、音声 / 画像データの送受信が他のネットワークアプリケーションに及ぼす影響はそれほど大きなものではない [2]。

一方、分散した LAN セグメントの接続には専用回線もしくは公衆回線が利用されるのが一般的であるが、専用回線を利用している場合でも高速な回線 (1.5Mbps 等) はコストがかかるため比較的低速な回線 (64kbps 等) を利用するケースが多い。このような低速な回線を用いて実現されている LAN 間接続では、音声 / 画像データの送受信によるトラフィックの増加は他のネットワークアプリケーションに影響を及ぼすだけではなく、自身の通信にも応答性能の低下といったような悪影響を及ぼす原因となると考える。本稿では、このような背景でマルチメディアコミュニケーションを実現する上で問題点を明かにし、これを解決するために ISDN を用いて既存のネットワークを $n \times B$ チャネルのネットワークへと拡張する方式、およびその実現例について報告する。

*A case study of TCP/IP based WAN development for the MultiMedia communication.

†Nobuharu Mizunuma Akira Shinoda Eiji Kuwana

‡NTT Software Laboratories

2 マルチメディア通信

IP multicast は従来の unicast や broadcast を補う通信形態であり、以下の特徴によって、ネットワークトラフィックの軽減に役立つ [3]。

- 同一の情報を同時に複数のホストへ送信できる。
- broadcast と異なり必要なホストへしかデータを転送しない。

この特徴を利用して複数対複数でリアルタイムなマルチメディアコミュニケーションを実現したアプリケーションが利用できるようになってきている。これらのアプリケーションはワークステーションの audio interface を利用したり、Video interface を拡張することで音声や画像を送受信することができる。このため、これまでは特別な設備を設置しなければ実現できなかったことが既存の設備 (ワークステーション) を利用し、最小限の拡張をするだけで容易に実現することが可能である。

TV 会議を例に考えてみる。これまで TV 会議を実現するためには特別な装置 (Video CODEC 等) を必要とした。最近ではデスクサイド型の CODEC も出てきてはいるが、一般には TV 会議装置を設置するための部屋を設け、会議をする際にはその部屋まで移動するということが必要である。この特別な装置、設置する場所、および通信回線といった設備を整えるためには数百万円という費用を必要とする。一方、既存のワークステーションの audio interface を利用し、Video interface を拡張するには数十万円の費用で済む。また、既存のワークステーションを利用するので特別に部屋を用意する必要もなければ、会議に出席するために部屋を移動する必要もない。利用者は自席を立つことなく、会議に参加することができるし、会議がつまらなければ通常の業務¹を行なうこともできる。 :-)

¹ 自席にいるのだから必要なものは何でも揃っている。

表 1: LAN 間接続形態の比較

	従来 サービス (telnet, etc.)	マルチ メディア (vat[4], nr[6])	通信 コスト
高速 WAN	OK	OK	高い
低速 WAN	OK	要改善	普通

3 LAN 間接続の形態と通信の変化に伴う問題

広域ネットワークは地域的に分散する LAN セグメントを相互接続することによって構築されてきた。この LAN 間接続の手段として専用回線や公衆回線が一般的に利用されている。大規模な LAN 同士の接続では、高速な専用回線を利用するメリットが大きい。中規模もしくは小規模な LAN を接続する場合、高速な専用回線ではなく比較的低速な専用回線を利用するか、公衆回線を利用する方が通信コストの面などからメリットが大きい場合が多い。表 1 に高速な LAN 間接続と低速な LAN 間接続の特徴を示す。

4 ISDN による WAN の拡張

4.1 事例

武蔵野にある NTT 研究開発センタと品川にある NTT ソフトウェア研究所における LAN 間接続での事例をもとに、具体的な問題点とその対処方法を述べる。

マルチメディア通信が行なわれる以前は、武蔵野の研究開発センタと品川のソフトウェア研究所の間は 48kbps の専用線による LAN 間接続 (図 1) を行なっていた。

当初、武蔵野と品川の間トラフィックは電子メールや電子ニュースの送受信等が主なトラフィックであったため、48kbps の専用線による LAN 間接続で十分な通信品質を確保することができた。本年前半期から、武蔵野品川間での IP multicast によるマルチメディア通信の実験を始めたことによって、テキスト以外に音声 / 画像データの送受信が行なわれるようになった。この結果、48kbps の回線では送受信するデータに通信速度が追い付かず、マルチメディア

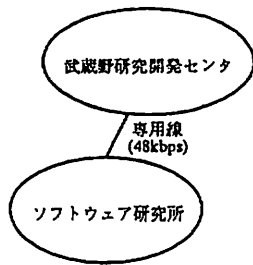


図 1: 以前の LAN 間接続

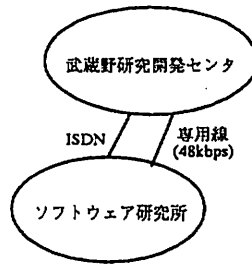


図 2: LAN 間接続の再構築

通信のデータ送受信に遅延が生じるだけでなく他のネットワークアプリケーションにまで影響を及ぼすこととなった。しかし、マルチメディア通信は今後一層需要が増してくることは容易に想像できるため、マルチメディア通信を行わないことで通信品質を確保することはできない。

このような障害を解消すべく現状の LAN 間接続を見直し、再構築をすることとした。この見直しにあたっては次の 2 つの方法が考えられた。

- 高速な専用回線 (1.5Mbps 程度) にアップグレードする。
- デジタル公衆回線 (ISDN $n \times 64\text{kbps}$) を利用する。

専用線は高速な回線を確保できるためトラフィック増加に対する対処としては望ましいが、高速になるほどより多くの経費²がかかる。また、設置までに時間がかかる上に特別な装置を必要とする。一方、ISDN は比較的高速な回線を確保できるだけでなく特別な装置を必要としない上、通信時間に応じた費用しかかからない。また、64kbps の ISDN は 2 心ワイヤーケーブルを使用しているため、既存のアナログ公衆回線 (電話回線) をわずかな工事費用で ISDN へと変更することができる。

このような背景から、ISDN 回線を使用したほうが経済的であり、武蔵野品川の両地点で既に ISDN 回線を保有していたためすぐに実現が可能である等の理由で ISDN

²例えば武蔵野品川間 (約 40km) にデジタル専用回線を引いた場合、64kbps で 17 万円 / 月、1.5Mbps で 1320,000 円 / 月ほどの経費がかかる。

を利用した LAN 間接続へと再構築することとした。また、テキスト主体の通信は 48kbps の回線で充分利用可能なため、従来のテキスト主体の通信には既存の 48kbps 専用線を利用し、マルチメディア通信だけを ISDN 経由で行なうという方向で実現することとなった。(図 2)

4.2 ISDN ボードの利用

4.2.1 ボードの仕様

今回使用した ISDN interface board は以下の機能を持つ。

- (1) ISDN 基本インターフェイスを内蔵しているため、直接 INSnet64 に接続できる。
- (2) IP パケットのトラフィックにより自動的に ISDN 回線を接続する。また、一定時間アイドル状態が続いた場合には自動的に回線を切断する。
- (3) IP パケットのトラフィックに応じて接続する B チャンネルの数を自動的に増減する。
- (4) CLI (Calling Line Identification) によるアクセス制御により不正アクセスを防止できる。
- (5) レイヤ 2 プロトコルとして PPP をサポートし、他社製品との相互接続が可能。
- (6) コールバック機能により着呼側への課金が可能。
- (7) ボードにヘッドセットを接続することで電話としても利用することができる。

実際には、中央システム技研製の BM-IS64 を用いた³。

4.2.2 選択理由

(1) 2つのBチャンネルの多重化

他の製品は ISDN 基本インターフェイスである 2B+D のうち D チャンネルを制御通信に使用し、2つの B チャンネルを独立した回線として使用する。従って、同時に2つのホストと通信することが可能ではあるが B チャンネルを単独で使用するため 64kbps の回線速度しか確保できない。一方、BM-IS64 は D チャンネルを制御通信に使用し、2つの B チャンネルを独立した回線として使用するとともに、1つの B チャンネルしか使用していない(単一のホストとのみ通信している)状態ではトラフィックに応じて使用している B チャンネルと空いているもうひとつの B チャンネルを多重化して使用することができる。これによってボード1枚あたり 128kbps の通信速度を確保することができる。

この2つの B チャンネルを多重化して使用できるという特徴はこの製品を選択した大きな理由である。

(2) n枚のボードでの回線の多重化

二つめは、複数の ISDN 回線と複数のボードを利用することで $n \times 128\text{kbps}$ のラインへと拡張できる点である。ターミナルアダプタ等でも複数の ISDN 回線を多重化して使用できるものが存在する。しかしながら、調査した段階では最高3回線までしか多重化できる製品がなかった。また、ターミナルアダプタは単体では使用できないため、同時に IP router も購入する必要があった。

4.3 WAN 再構築の実現

LAN 間接続の再構築は 2本の ISDN 回線による 256kbps ライン + 既存の 48kbps 専

³ BM-IS64 の開発にあたっては中央システム技研が発売していた ISDN interface board である LT-IS64 を利用する上で生じた問題点や要求条件をもとに、中央システム技研とソフトウェア研究所が共同で仕様を検討し実現した。

表 2: 装置の構成

装置	数量	新規 / 既存
SparcStation2	2 台	既存
BM-IS64	4 枚	既存
INSnet64	4 回線	既存

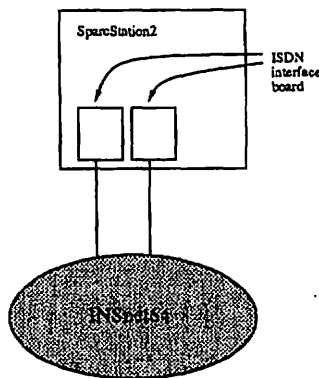


図 3: 装置の構成

用線を利用して実現した。

LAN 間接続のために必要とした装置の構成は表 2 の通りである。

図 3 のように SparcStation2 の 3 つの SBus slot のうち使用していない 2 つの slot に BM-IS64 を装着したものを、各々武蔵野側と品川側に設置し、マルチメディア通信のバケットを送受信するホストの間を静的にルーティングする IP ルーターとして機能させた。

そして、multicast のルーティングを行なう mrouter のルーティング設定と、IP ルータとして機能させたワークステーションにホスト単位⁴の静的なルートを設定することとした。(図 4)

これにより、通常の通信は従来の専用線を経由し、マルチメディア通信は ISDN を経由して行なうことが容易に実現できた。

このような設定をするに当たっても、IP ルータとして機能するワークステーションと multicast のルーティングを行なうホストの設定を変更するだけで、その他の両 LAN セグメントに接続されたホストは何の設定

⁴ この場合は直接 multicast の送受信 (トンネリング) を行なうホスト

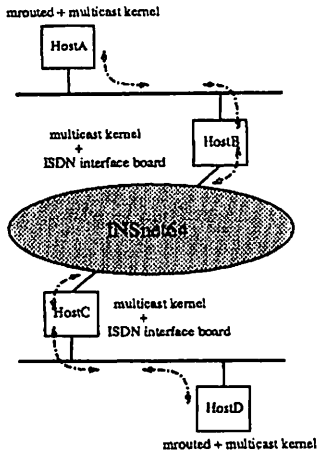


図 4: 拡張後のルーティング

の変更も要していない。また、全て既存の設備を用いて行なっているためこれらの再構築に要した時間もほんの数十分にとどまっている。

4.4 ISDN ボードの設定

BM-IS64 は、4本のBチャンネルを多重化して256kbpsとして使用するだけでなく、3本のBチャンネルを多重化した192kbps + 1本のBチャンネル64kbpsというように分割して使用することも可能である。もちろん、4本のBチャンネルを1本ずつ別々に64kbps + 64kbps + 64kbps + 64kbpsとして同時に4つのホストと通信することもできる。この場合図5のように、2枚のボードで1つのIPアドレスを使用する。

BM-IS64の設定には /etc/cards.is, /etc/networks.is, /etc/hosts.is そして /etc/hosts の4つのファイルを修正する。各ファイルの設定例を以下に示す。

• /etc/cards.is

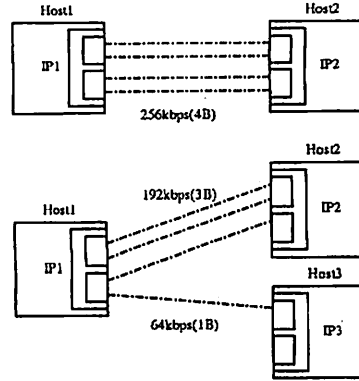


図 5: 4×B(256kbps) の使用

```
#
# cards.is
#
default phone null \
network null

card0 phone null \
network 03-xxxx-7264
card1 phone 03-xxxx-7265 \
network 03-xxxx-7265
```

• /etc/networks.is

```
#
# networks.is
#
default point-point off \
broadcast on \
filter-broadcast on
is0
```

• /etc/hosts.is

```

#
# hosts.is
#
default \
  address null \
  channels 2 \
  timeout 60 \
  protocol org \
  direction off \
  display action charge cause \
  callback off \
  wildcard off
Host1 \
  address 03-xxxx-xx64 \
    03-xxxx-xx65 \
  channels 4 \
  timeout 180 \
  direction connect accept
Host2 \
  address 0422-xx-xx26 \
    0422-xx-xx14 \
  channels 4 \
  direction connect accept
Host3 \
  address 03-xxxx-7261 \
  direction connect accept

```

• /etc/hosts

```

#
# Host Database
#
127.0.0.1 localhost
#
IP1      Host1 loghost
IP2      Host2
IP3      Host3

```

4.5 multicast ルーターの設定

ワークステーションを multicast ルーターとして機能させるために /etc/mrouted.conf を修正するとともに、route コマンドによって multicast のルーティングを行なうホストとの経路情報を設定する。

• /etc/mrouted.conf

```

#
# HostA /etc/mrouted.conf
#
tunnel HostA HostD metric 1 threshold 1

```

• multicast ルーターホストの経路情報

```

Routing tables
Destination Gateway  Flags Refcmt Use  Interface
localhost localhost UH  3   14008 lo0
default 48K-router UG  0   949200 lo0
HostD    HostB    U   57  4140060 lo0

```

4.6 IP ルーターワークステーションの設定

IP ルーターとして機能するワークステーションは、4.4の例のように ISDN ボードの設定を行なう。そして multicast ルーターホストへの経路情報を設定する。

• IP ルーターワークステーションの経路情報

```

Routing tables
Destination Gateway  Flags Refcmt Use  Interface
localhost localhost UH  3   245 lo0
default 48K-router UG  0   211297 lo0
HostD    HostC    U   57  8026  is0
%

```

4.7 その他の拡張 (ISDN ルーターの利用)

4.3でのワークステーション用 ISDN ボードによる拡張の後にも、ftp や gopher⁵ [6] 等の需要は益々高まっていた。このため、マルチメディア通信以外の通信トラフィックでさえも 48kbps のラインでは十分な品質を維持できないほどの通信需要が生まれてきている。そこで、ISDN ルーターを購入して ISDN interface board を用いた事例とともに試験的な運用を開始している。ISDN ルーターには CISCO 社製の 3103 を利用している。

この製品を利用してマルチメディア通信の転送を行なっても良かったのだが、2本の B チャンネルを束ねて 128kbps に多重化する機能がないため、マルチメディア通信は現在でもワークステーションを経由してデータ転送している。

既存の 48kbps 専用線の接続には CISCO 社製の AGS を利用していた。このため、ISDN の接続を行なう CISCO 3103 と専用線の接続を行なう AGS の間で IGRP を用いたダイナミックルーティングをすることができ

⁵ ミネソタ大学で開発された情報配送プロトコル。ローカル情報の提供、他の gopher server からの情報取得等をワールドワイドに行うことが可能。

る。現在では、IGRP のダイナミックルーティングによって、通信負荷に応じて 48kbps の専用線、または ISDN 回線へと動的に経路を変更しトラフィックの分散を実現している。このおかげで従来のネットワークアプリケーションも常にトラフィックの少ない回線を經由して通信を行なえるようになってきている。

5 拡張後の通信品質

ISDN2 回線を利用した 256kbps の通信ラインへ拡張した後の通信品質は極めて良好である。

拡張後に測定した ISDN 回線の通信トラフィックを、音声データだけの場合、画像データだけの場合、音声データと画像データの両方の場合にかけて示す。

5.1 音声データ

vat⁶ [4] による 1 対 1 の音声データ送受信は GSM の場合 3kbps ~ 16kbps の通信トラフィックで、使用チャンネル数は B チャンネル 1 本のみである。また、PCM の場合は 60kbps ~ 120kbps の通信トラフィックで、使用するチャンネル数は B チャンネル 1 本または 2 本である。

音声の場合、何かを喋っている状態でない時、つまりアイドル(沈黙)時にはほとんどトラフィックのない状態となる。

音声データの送受信では通信回線にまだまだ余裕があるため、快適な会話を行なうことができる。ただし、どちらかの LAN セグメントでネットワークが輻輳している場合や、通信相手の LAN セグメントとの間に別の LAN セグメントを介している場合などは、ISDN 回線の通信品質によらず、断続的な再生になり聞き取りが非常に困難な場合があることも確認された。

⁶ 音声会議を主たる目的としてカリフォルニア大学パークレイ校 LBL で開発されたツール。PCM, DVI, GSM, LPC4 等の audio encoding 方式に対応している。

5.2 画像データ

nv⁷[5] による 4 地点(送信 2/ 受信 4)での画像データの送受信は 96kbps ~ 216kbps の通信トラフィックで、使用チャンネル数は B チャンネル 2 本から 4 本となる。nv では差分データの転送をするため、動きの少ない時には転送量は少ないが、大きな動きのあった時には非常に大きな転送がある。人間を対象としている以上全く動きがないことは稀であるため、画像データの送受信をしている時は、常に 4 チャンネルを使用しているという状態である。

また、測定した状況では画像データを送信できる装置が 2ヶ所しかなかったため、256kbps の回線容量いっぱいまでのデータ送受信は行なわれていなかったが、画像データを送信するポイントが増えれば 256kbps の回線容量をフルに使用することは容易に想像することができる。

5.3 音声データ + 画像データ

vat および nv による 4 地点(画像送信 2/ 画像受信 4/ 音声送受信 2)での音声データと画像データを同時に送受信した場合⁸ 180 kbps ~ 256kbps の通信トラフィックで、使用チャンネル数は B チャンネル 3 本から 4 本であり、回線容量をフルに使用したものとなる。

音声データと画像データを同時に扱っているため、予想通り回線容量をフルに使用してのデータ送受信となった。この場合であっても、音声データの送受信には大きな影響はないように感じられる。

6 考察

音声データの送受信では、エンコーディングフォーマットによる聴覚レベルでの品質の差はほとんどないように感じられる。今回は PCM フォーマットと GSM フォーマットについて測定を行なったが GSM フォーマットの方が通信トラフィックが格段に少

⁷ XEROX PARC で開発された X Window 上のビデオ会議ツール。Video 画像の送信には Video capture ボードを必要とするが、受信だけならば X Window System のみがあれば可能で、特別なハードウェアを必要としない。

⁸ 音声データのエンコーディングフォーマットは PCM

なく 256kbps のラインを有益に使用できるというメリットがあると思える。また、音声データの送受信をする上では、喋り方が再生の際の聴覚レベルでの品質に大きく影響を及ぼすように思える。間合いをとった喋り方をすると断続的な再生になりやすいようである。具体的には、「... だからあ〜...」「... できあ〜...」「... みないなあ〜...」と言ったように、単語と単語、単語と接続詞といったところに“間”があると再生時に断続化しやすいようである。また音声通信の場合、マイクやスピーカの設置場所も再生時の品質を大きく左右すると思われる。マイクは口元に近付ければ近付けるほど、回りの雑音を拾いにくくなるため再生時に明瞭な音声に復元されやすく、スピーカをマイクから遠ざけることで一層その効果を発揮するようである。さらに、スピーカではなくヘッドセットを使用することで、再生された音声をより確実に聞き取ることが可能になると思える。

画像データの送受信に関しては、送信 2/受信 4 の環境における nv での測定しか行なえなかったが、単に画像データを送受信するだけであれば 2 回線の ISDN を利用した 256kbps のラインで充分な通信が行なえるように感じられる。単に相手の顔を見ながらということであれば、リアルタイムで画像データを送信する必要はなく、一定間隔もしくは不定期に新しい画像を送信しておけば良い。画像の送受信を行っていない間は通信トラフィックがない状態に等しいので他のデータを送受信するために回線を空けることができる。このようにして回線を空けた状態で音声データの送受信をすれば、充分な品質を保った音声通信をすることができると思われる。また、音声および画像データを同時に送受信している状況では回線容量をフルに使用しているが、画像データのみの場合には 96kbps ~ 216kbps のデータ転送量であり、GSM フォーマットの音声データの場合 3kbps ~ 16kbps のデータ転送量である。したがって、理論的には、GSM フォーマットの音声データと nv による画像データを同時に転送しても回線容量は充分に間に合うことになる。

再構築後の通信品質は格段に向上したが、複数対複数での音声データや画像データ等

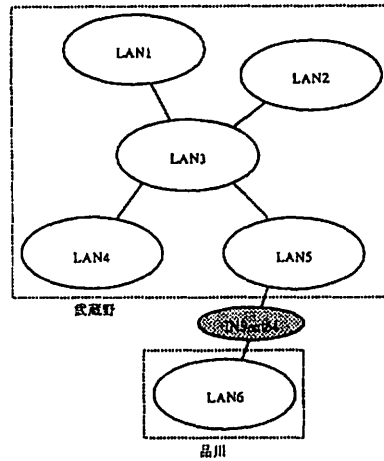


図 6: LAN 間接続の形態

のマルチメディア通信は LAN 間接続のラインだけでなく、お互いの LAN セグメントのネットワークトラフィックに大きく左右される。

今回実現した LAN 間接続のイメージは、図 6 のような形態になっている。この場合、LAN1 と LAN6 の間にしか通信がない場合にも LAN3 および LAN5 を介さなくては通信ができないため、LAN3 や LAN5 のネットワークトラフィックが LAN1 と LAN6 における通信の品質に影響する。

特に、すべての LAN セグメントの間で複数対複数でのマルチメディア通信を行なうとすると、LAN3 および LAN5 のトラフィックは増大する。

この回避策として、図 7 のような接続形態が考えられる。この形態ならば、図 6 の場合と異なり全ての LAN セグメント間でマルチメディア通信を行なっても LAN3 のネットワークトラフィックのみ⁹が通信品質を左右する。

したがって、LAN3 以外の LAN セグメントが Ethernet で構成されるとすれば、LAN3 を Ethernet よりも高速なネットワークに置き換えることで全体的な通信の品質を向上させることができると思われる。

⁹ただし、個々の LAN セグメントでネットワークが輻輳していれば LAN3 のトラフィックによらず、全体の通信品質に影響を及ぼすことはいうまでもない。

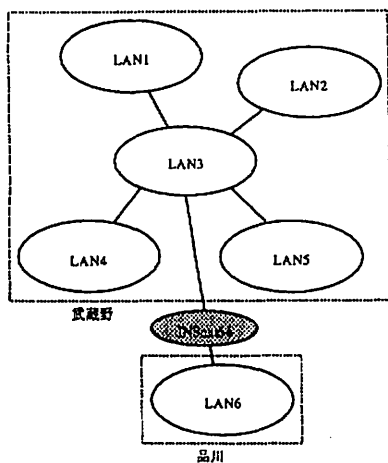


図 7: LAN 間接続の形態

LANにしてもWANにしてもベースとなるセグメントがあり、その回りを取り囲むようにスター上に接続されたネットワークの場合は一様に前述したような問題を内に秘めているのではないだろうか。

通信コストの面から見ると、仮に武蔵野品川間で64kbpsの専用回線を利用したとすると、約17万円/月の通信コストがかかるのに対し、今回実現した256kbpsでは約15万円/月¹⁰の通信コストしかかからない。このことから、ISDNは非常に経済的であることがわかる。

今回の再構築で特記すべきことは、再構築に関わる作業がネットワークを利用するユーザーがまったく気づかない間に行なわれた点である。そればかりでなく、今まで輻輳していた通信がいつの間にか快適に利用できるようになっていることに気づいてびっくりすることだろう。

7 おわりに

LAN間接続の一形態としてWANを構築する場合の問題点とその拡張方法について述べてきたが、今回の事例からLAN間接続の通信回線を高速化することは、高品質なWANを構築する極めて有効な手段の一

¹⁰専用線の場合は64bps1回線での通信コストであり、ISDNは武蔵野側2回線、品川側2回線、合計4回線の通信コストである。

つであると言えるだろう。

しかし、今日の計算機ネットワークはftpのように相手ホストにある情報をファイル転送して利用するだけでなく、gopherに見られるように相手ホストの持っている情報をネットワーク経由でリアルタイムに利用するような形態へと変化してきている。

これは、これまでは特定のホストとしか通信していなかった計算機環境が不特定のホストと通信する必要性が生じてきていることを意味している。

LANの構築は、FDDIやCDDIといったものを利用することで高速なネットワーク環境が構築できる。また、最近ではATMによって高速なLAN環境を実現する製品も販売されるようになってきている。

しかしながら、前述したような今後のネットワークの特性を考慮すると、LAN内のトラフィックだけを考えた設計ではすぐに輻輳をおこしてしまうことが十分に考えられる。したがって、相互接続した相手とのトラフィックまでを考慮したLAN再構築、迂回ルートをもったWANの形態、通信負荷によってダイナミックにルートを切替える形態等の検討が必要になる。今後LANの構築そのものが一層WANの構築に深く関わってくることであろう。

謝辞

本検討および実現にあたり、貴重なコメントおよび御指導を頂いたNTTソフトウェア研究所ソフトウェア開発技術研究部 中村雄三主幹研究員、および関係諸氏に感謝する。

再構築後のISDN回線の品質測定に御協力頂いた、NTT交換システム研究所 坂本仁明氏、NTTソフトウェア研究所ソフトウェア開発技術研究部 清水奨氏に感謝する。特に坂本仁明氏には、LAN間接続の再構築に不可欠である武蔵野側の機器調達や設置等、多大な御協力を頂いた。

参考文献

- [1] Thierry Turletti. "*H.261 Software codec for videoconferencing over the Internet*", Institut National de Recherche en Informatique et en Automatique, January 1993.
- [2] 坂本泰久, 桑名栄二. "TCP/IP 上でのマルチメディア通信とその性能", 情報処理学会研究報告 92-DPS-61 No9, July 1993.
- [3] Steve Deering. "*Host Extensions for IP Multicasting, RFC1112*", Stanford University, August 1989.
- [4] Van Jacobson, Steven McCanne. "*vat*", Lawrence Berkeley Laboratory, University of California, Berkeley, February 1992.
- [5] Ron Frederick, "*nv*", XEROX PARC, March 1993.
- [6] F. Anklesaria, M. McCahill, P. Lindner, D. Johnson, D. John, D. Torrey, B. Alberti, "*The Internet Gopher Protocol (a distributed document search and retrieval protocol), RFC1436*", University of Minnesota, March 1993.