

# 次世代インターネット上での マルチキャスト通信実験と その考察

## 5

近年のネットワーク技術の発達に伴い、インターネット上において、超高速通信が実現されつつあるが、大容量のマルチメディアデータを多地点に配送する実験は十分には行われていない。そこで、我々は、超高速ネットワークである郵政省の「研究開発用ギガビットネットワーク (JGN)」上で、PIM-SM (Protocol Independent Multicast-Sparse Mode) を用いてマルチキャストネットワークを構築し、DV (Digital Video) データを複数地域に配送する実験を行った。ここで、DVデータとは、高品質な動画像と音声とからなる大容量マルチメディアデータである。本稿では、実験結果に基づきインターネット上で大容量マルチメディアデータ通信を実現するために必要となる技術について考察する。

大森 幹之

九州大学大学院システム情報科学府  
ohmori@dontaku.csce.kyushu-u.ac.jp

岡村 耕二

九州大学大学院システム情報科学研究所  
oka@ec.kyushu-u.ac.jp

荒木 啓二郎

九州大学情報基盤センター  
araki@dontaku.csce.kyushu-u.ac.jp

### ○ 次世代インターネット上での マルチキャスト通信実験 ○

現在までにインターネット上で動画や音声を多地点に配送する実験も数多く行われてきたが、現在のケーブルテレビなどのテレビ放送の品質に比べ、それらの品質は低いものであった。これは、実験当時インターネットがそれほど高速でなかったことに起因しているが、近年のネットワーク技術の発達に伴い、インターネット上において、超高速通信が可能となりつつある。そして、このような超高速通信が可能インターネットにおいては、高品質な動画や音声といった大容量のマルチメディアデータを配送する機会が増加し、IP/TVのようなサービスも普及するであろう。しかし、インターネット上で大容量のマルチメディアデータを多地点に配送する実験は、十分には行われておらず、明らかになっていない問題点もあると考えられる。

そこで、我々は、超高速ネットワークである郵政省の「研究開発用ギガビットネットワーク (JGN)」上で、PIM-SM (Protocol Independent Multicast-Sparse Mode) を用いてマルチキャストネットワークを構築し、DV (Digital Video) データを複数地域に配送する実験を行った。

ここで、PIM-SMとは、マルチキャスト経路制御プロトコルとして広く利用されているプロトコルであり、DVデータとは、高品質な動画像と音声とからなる連続マルチメディアデータである。なお、本実験では、すべての実験において、IPとしてIPv6 (Internet Protocol version 6) を使い、IPv6のプロトコルスタックとしては、KAME Project<sup>1)</sup> で開発されているFreeBSD上のIPv6処理系であるKAMEを用いた。また、PIM-SMの実装は、KAME上で開発されているものを用いた。

そして、PIM-SMではパケットがカプセル化されることと、最短経路木でない配送木が構築されることに注目し、以下の2点について、評価を行った。

- パケットのカプセル化によるパケット転送処理の低下
- 最短経路木でない配送経路による通信帯域の増加によるマルチキャスト通信への影響

### ○ パケットのカプセル化による オーバーヘッドの測定 ○

#### オーバーヘッドの測定環境と測定方法

マルチキャストパケットのカプセル化によるオーバーヘッドを測定するために、図-1のような必要最小限の

ネットワーク構成で実験を行った。なお、この測定ではDVデータの処理による測定結果への影響をなくすために、UDP (User Datagram Protocol) パケットを送出するアプリケーションを作成して、測定を行った。実験では、PIM-SMとPIM-DMの2つのIPマルチキャスト経路制御プロトコルを用いてパケットの遅延時間、パケット損失率、および、ジッタを測定した。また、ネットワーク上のすべてのルータは、PCルータであり、OSはFreeBSDである。各PCのスペックを表-1に示す。

### オーバーヘッドの測定方法

ホスト  $H_A$  からマルチキャストパケットを送信し、ホスト  $H_B$  で受信した。なお、PIM-SMによるマルチキャストパケットの配送では、ルータ  $R_B$  をランデブーポイントとして設定した。

パケットの送出レートを指定できるアプリケーションを作成し、10Mbps, 20Mbps, 30Mbps, 35Mbps, 40Mbpsの5種類の送出レートで計測した。なお、パケット長は、1000バイトの固定長に設定した。

本稿では、パケット損失率、遅延時間、ジッタを次のように定義する。

#### • パケット損失率

パケット損失率とは、送信ホストから受信ホストへ配送する過程でパケットが失われる確率のことである。一定期間内に送信されたパケット数を  $P_{total}$ 、失われたパケット数を  $P_{loss}$  とすると、パケット損失率  $L$  は、

式 (1) のように表せる。

$$L = \frac{P_{loss}}{P_{total}} \quad (1)$$

#### • 遅延時間

遅延時間とは、送信されたパケットが受信ホストに到着するまでに要した時間のことである。

#### • ジッタ

ジッタとは、ある単位時間に受信されたパケットの到着間隔が最小であったものと最大であったものの差のことである。

なお、PIM-SMでは、設定されたしきい値以上のトラフィックが生じた場合にはパケットはカプセル化されないが、本実験では、しきい値を大きな値に設定し、常にパケットをカプセル化するようにして測定を行った。

### オーバーヘッドの測定結果

実験結果を表-2、図-2～図-4に示す。

パケット損失率、遅延時間、ジッタのすべてにおいて、PIM-SMの方がPIM-DMに比べ大きな値をとっていた。

PIM-SMでは、PIM-DMに比べ、ホスト  $H_A$  から送出レートが高くなるにつれ、遅延時間、ジッタ、および、パケット損失率が增大していた (図-2)。

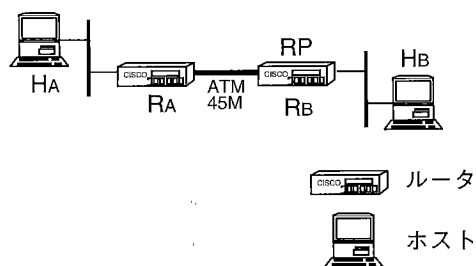


図-1 オーバヘッドを測定するためのネットワーク構成

PC	CPU (メモリ)	OS
$R_A$	Pentium III 500MHz (192M)	FreeBSD 2.2.8
$R_B$	Pentium III 500MHz (64M)	FreeBSD 2.2.8
$H_A$	Pentium III 500MHz (64M)	FreeBSD 3.1
$H_B$	Pentium III 500MHz (64M)	FreeBSD 3.1

表-1 オーバヘッドの測定を行った各PCのスペック

使用帯域 (Mbps)	パケット損失率 (%)	PIM-DM		PIM-SM		
		遅延時間 (msec)	ジッタ (msec)	パケット損失率 (%)	遅延時間 (msec)	ジッタ (msec)
10	0.000	1.765	3.083	0.0000	1.772	7.151
20	0.000	1.781	2.269	0.0169	1.787	4.159
30	0.000	1.791	2.012	0.0462	1.809	3.334
35	0.000	1.808	1.946	0.0777	1.819	3.018
40	0.000	1.833	1.913	5.1410	6.106	30.90

表-2 カプセル化によるオーバーヘッド

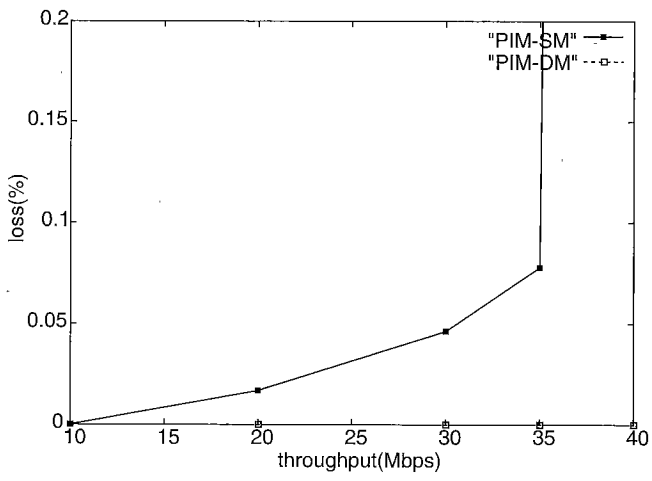


図-2 パケット損失率

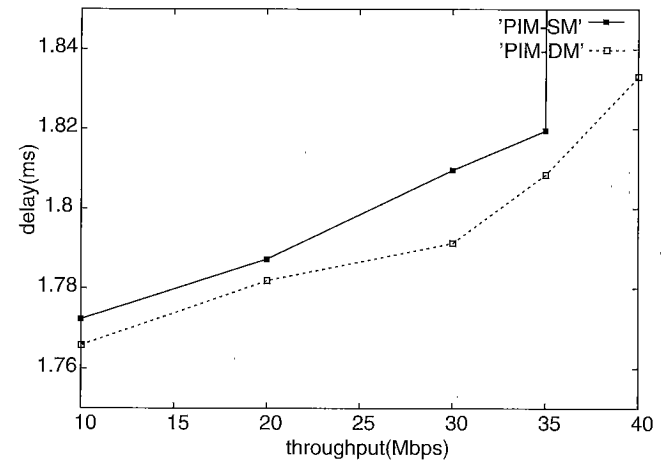


図-3 遅延時間

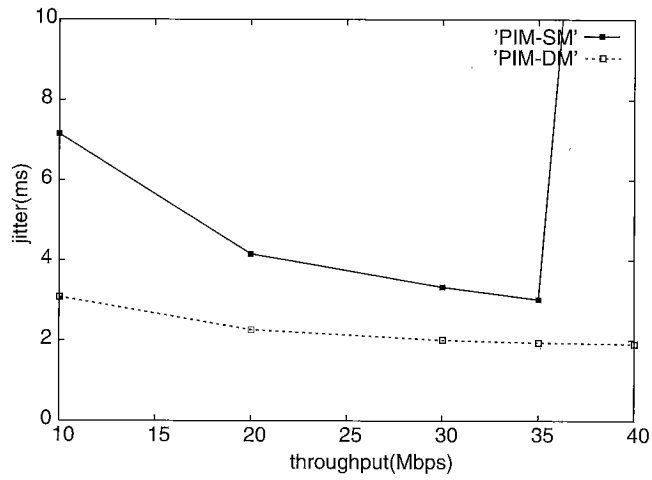


図-4 ジッタ

### ○DVマルチキャスト実験○

#### DVマルチキャスト実験環境

JBプロジェクト<sup>2)</sup>がJGN上に構築しているJBネットワーク上でDVデータを配送する実験を行った(図-5)。なお、JBネットワークは、JBプロジェクトがATMベースの超高速通信が可能であるJGN上に構築しているネットワークであり、WIDE Project, ITRC (インターネット技術委員会)、および、CKP (Cyber Kansai Project) に参加している組織によって運用されている。送信ホストとランデブーポイントの経路上に受信ホストが存在したときに使用帯域が増大することによって、マルチキャスト通信に与える問題を明らかにするために、図-6に示すネットワーク構成で実験を行った。各PCのスペックを表-3に示す。

#### 実験方法

ホスト  $H_A$  からマルチキャストでDVデータを送信し、各受信ホスト ( $H_B$ ,  $H_C$ , および、 $H_D$ ) での画像、音声の品質を定性的に評価した。このとき、ホスト  $H_B$  が受信していた場合とそうでない場合の2通りの実験を行い、DVデータの流れた経路を確認した。なお、DVデータの packetsize は500バイトであり、約35Mbpsの通信帯域を必要とする。

#### DVマルチキャスト実験の結果

DVデータは、ホスト  $H_B$  が受信していたかどうかにかかわらず、以下のように配送されていたことが分かった。

- (1) ホスト  $H_A$  がルーター  $R_A$  にDVデータを

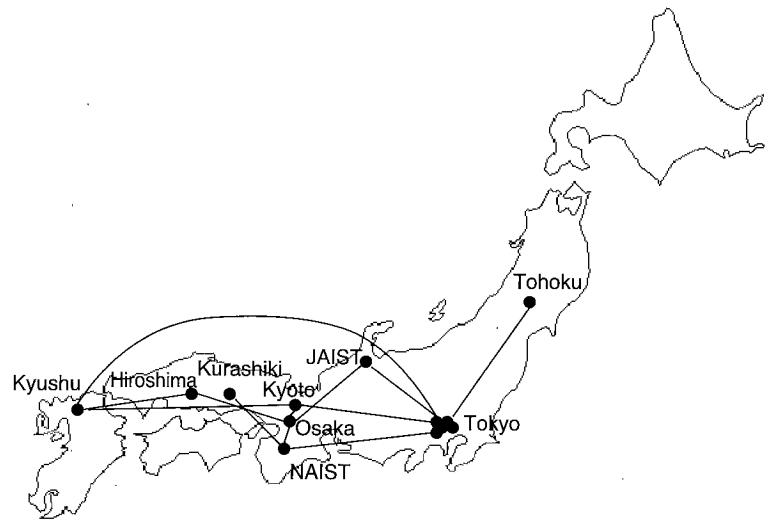


図-5 JBネットワーク

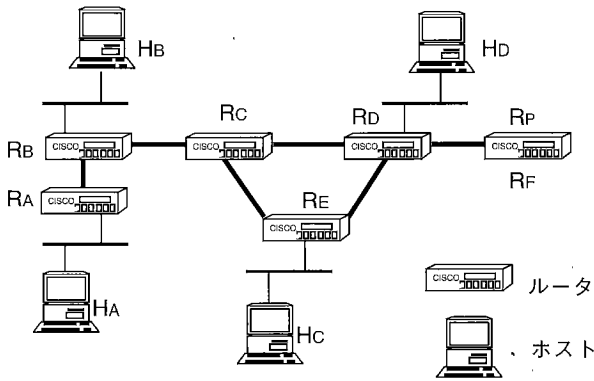


図-6 JBネットワークのネットワーク構成

PC	CPU (メモリ)	OS
RA	Pentium III 500MHz (192M)	FreeBSD 2.2.8
RB	Pentium III 500MHz (64M)	FreeBSD 2.2.8
Rc	Pentium III 500MHz (64M)	FreeBSD 3.2
Rd	Pentium III 600MHz (128M)	FreeBSD 2.2.8
RE	Pentium III 450MHz (128M)	FreeBSD 2.2.8
RF	Pentium III × 2 (256M)	FreeBSD 3.3
HA	Pentium III 500MHz (64M)	FreeBSD 3.1
HB	Pentium III 500MHz (64M)	FreeBSD 3.1
Hc	Pentium II 450MHz (128M)	FreeBSD 3.2
Hd	Pentium II	FreeBSD 3.2

表-3 JBネットワーク上の各PCのスペック

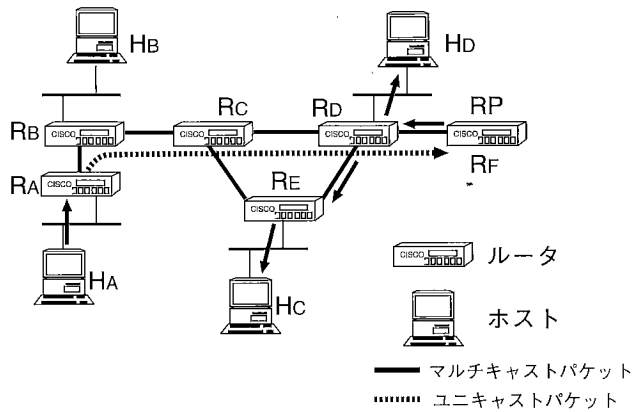


図-7 DVデータの流れ (1)

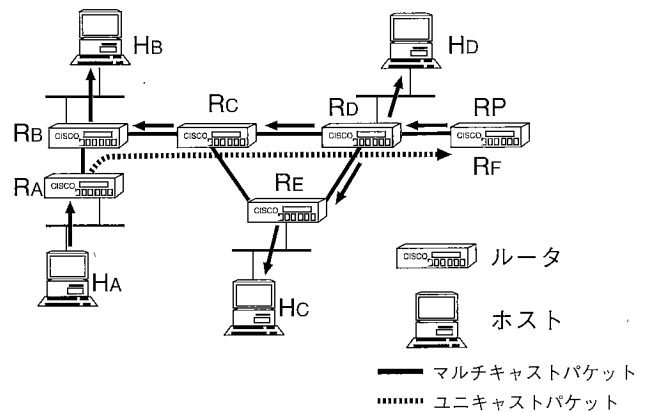


図-8 DVデータの流れ (2)

マルチキャストパケットで配送する。

- (2) ルータ RAは、受け取ったマルチキャストパケットを登録メッセージ (Register Message) として、カプセル化し、ユニキャストでランデブーポイント (Rendezvous Point) へ配送する。
- (3) ランデブーポイントは、カプセル化されたパケット (登録メッセージ) からマルチキャストパケットを取り出し、各ルータへ配送する。

このようなマルチキャストの配送木は、RPT (Rendezvous Point-Tree) と呼ばれ、PIM-SMでは、通常RPTによってマルチキャストパケットは配送される。

次に、ホスト Hbが受信していない場合と受信していた場合について述べる。

● ホスト Hbが受信していない場合

計測結果からDVデータの配送経路は以下ようになっていた (図-7)。ホスト Hcとホスト Hdでは、パケットロスが少ない高品質な画像と音声を得られた。

● ホスト Hbが受信していた場合

ホスト Hcとホスト Hdでは、高品質な画像と音声を得ることができたが、ホスト Hbにおいては、パケット

損失率が高く、画像や音声の品質も低かった。また、計測結果からDVデータ配送経路は図-8のようになっていた。

○ **実験結果に対する考察** ○

**パケットのカプセル化によるオーバーヘッドについて**

PIM-SMとPIM-DMにおいて、パケットのカプセル化による遅延の差は、約0.01msec程度しか見られなかった。しかし、送出レートを大きくするにつれ、遅延時間の差が大きくなっていったことから、単位時間あたりにカプセル化されるパケットの数に比例して遅延時間が増加すると予想される。このことから、同一の送出レートでは、パケットサイズが小さくなるにつれ、カプセル化の処理の回数が増加し、遅延時間も増加することが分かる。これは、マルチメディア通信の中でも実時間性を必要とするような通信にとっては、好ましくない。

また、パケットをカプセル化すると、IPヘッダとPIMのメッセージヘッダのために、IPv4で28バイト、IPv6で48バイトだけパケットサイズが大きくなる。このため、

送信ホストの送出レートよりも、実際の通信で使われている帯域は大きくなる。さらに、本実験においては、ルータ  $R_A$  と  $R_B$  間での通信帯域が40Mbpsであったため、スループットが40Mbps以上となるトラフィックが生じていた場合には、ATMのシェイパによりパケットが損失されていた。

次に、パケットのカプセル化による使用帯域の増加について考察する。通信帯域を  $T$  (Mbps)、パケットサイズを  $S_P$  (byte) とすると、1秒間に送出するパケットの数  $N_P$  は、式 (2) のように表せる。

$$N_P = \frac{T \cdot 10^6}{8 \cdot S_P} = 1.25 \cdot 10^3 \cdot \frac{T}{S_P} \quad (2)$$

このことから、パケットがカプセル化されたことによって増加する使用帯域  $T_U$  は、IPv4の場合式 (3)、IPv6の場合式 (4) のように表せる。

$$T_U = N_P \cdot (20+8) \quad (\text{IPv4}) \quad (3)$$

$$T_U = N_P \cdot (40+8) \quad (\text{IPv6}) \quad (4)$$

式 (4) から算出すると、40Mbpsの送出レートでは、実際には、2.4kbpsだけ多くの通信帯域を使用してパケットを送出していたことが分かる。また、この式から求められるパケットのカプセル化によって増加する通信帯域を図-9に示す。図-9は、IPv4、IPv6の両者で、パケットサイズが1000バイト、500バイト、250バイトであったときにパケットにカプセル化によって増加する通信帯域を表している。

図-9から、パケットサイズが小さくなるにつれ、マルチキャストパケットの送出レートよりも実際の通信帯域が増大することが分かる。これらのことから、PIM-SMを用いたマルチキャスト通信においては、送出するパケットのサイズに注意する必要があることが分かる。

### DVマルチキャスト実験に関する考察

図-8から、本実験では、 $R_B$  とランデブーポイント間で同一のDVデータが重複して流れており、 $R_B$  とランデブーポイント間のリンクの通信帯域を圧迫していたことが分かる。

これは、PIM-SMにおいて、送信ホストから送信されたマルチキャストパケットがユニキャストパケットにカプセル化されてランデブーポイントに配送され、ランデブーポイントを根としてマルチキャストパケットがすべての受信ホストに対して配送されるために生じる。さらに、RPTによる配送では、ランデブーポイントの位置によって効率的にデータを配送できない場合があるため、送信ホストと受信ホストの位置によって適切にランデブーポイントの位置を決定することが重要

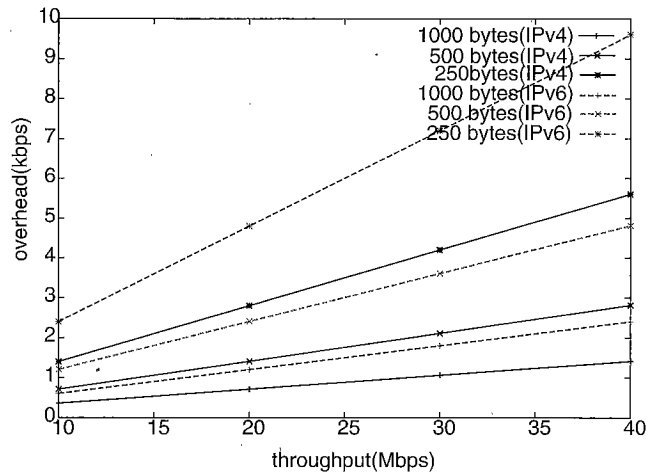


図-9 カプセル化による通信帯域の増加

であることが分かる。

## ○ 次世代インターネット上におけるマルチキャスト通信の展望 ○

PIM-SMでは、パケットのカプセル化によるオーバーヘッドがあるため、実時間性を必要とするような通信には向かないといえる。また、現在までのIPマルチキャストの基本的なモデルでは、受信ホストと送信ホストがインターネットの任意の場所に存在し得るため、PIM-SMのランデブーポイントを最適な位置に配置することが非常に困難である。

一方、最近では、SSM (Source Specific Multicast)<sup>3)</sup> と呼ばれるIPマルチキャストのモデルが提案されている。このモデルでは、主に1対多通信を対象としているため、ランデブーポイントも必要なく、パケットのカプセル化を行うこともない。そのため、SSMは大容量のマルチメディア通信に向いているといえ、将来のマルチキャスト通信ではSSMのモデルに基づいたIPマルチキャスト経路制御プロトコルが用いられるようになるであろう。なお、現在でもすでに、PIM-SMをSSMのモデルに適用した、PIM-SSMも提案されており、IETFで議論されている。

#### 参考文献

- 1) KAME Project, <http://www.kame.net/>, KAME Project Homepage.
- 2) Minami, M., Oe, M., Ogawa, A., Nagahashi, K., Okamura, K., Kadobayashi, Y., Esaki, H. and Kato, A.: JB: Design and Architecture of Next Generation Internet Infrastructure in Japan, In Proceedings of International Conference on Computer Communication (ICCC'99) (Sep. 1999).
- 3) Holbrook, H. and Cain, B.: Source-Specific Multicast for IP (2001).

(平成13年6月25日受付)

