

第10部

マルチキャスト通信

第1章 マルチキャストワーキンググループ

マルチキャストワーキンググループは、インターネットにおけるマルチキャスト通信に関する研究に取り組んでいる。本章では、1999年度の成果報告として、JP-MBone と JB における活動について述べる。

1.1 JP MBone の現状

1.1.1 現在の JP-MBone

MBone は全世界をまたぐマルチキャストネットワークであり、日本は JP-MBone と呼ぶサブネットワークとして参加している。

表 1.1 JP-MBone におけるドメイン別マルチキャストサーバの分布

	ac.jp	ad.jp	co.jp	go.jp	or.jp	notJP	NG	TOTAL
設定された組織数	26	12	9	5	2	1	-	56
設定されたルータ数	118	23	10	5	2	1	37	196
反応した組織数	14	8	3	4	2	1	1	33
反応したルータ数	87	16	3	4	2	1	7	120

JP-MBone は国内約 33 の組織 (第 2 レベルドメイン名の数で換算) をつなぐマルチキャストネットワークである。IGMP を用いて DVMRP の ASK_NEIGHBOURS2 により接続ノードを順に調査していくことによって調査した結果を述べる。まず、国内のドメイン別の接続ルータ数を表 1.1 に示す。また表 1.2 に、海外および国内で使用されているルーティングソフトウェアのバージョンの分布を示す。バージョン番号が、10.2, 10.3, 11.*, 12.* と表示されているものは CISCO IOS のバージョン、3.8 および 3.255 と出ているものは mrouter のバージョンを示しているものと考えられる。また、NG は IGMP によるバージョン番号の取得が不可能であったルータの数である。国内に関していえば、以前はほぼ mrouter で運用されていた状況があったが、現在では、その 60% が CISCO によって運用されていることが推察される。MBone 全域では、CISCO が 90%、mrouter は 10% を占める形となっている。

ドメイン毎の接続数調査を MBone 全域に対して調査を行なった結果を表 1.3 に示す。トップドメイン別で見ると net, com, edu など、主として米国のものが上位を占め、ついで se (スウェーデン)、その次が日本という順であることがわかる。ルータ数の比率では、日本は MBone 全体の 2.77% を占めている。

表 1.2 ルーティングソフトウェアのバージョン別ルータ数

バージョン番号	JP-MBone	MBone
0.0G	0	1
10.2	0	5
10.3	0	3
11.0M	0	2
11.0PM	1	27
11.1PM	18	753
11.2PM	32	517
11.3PM	9	260
11.4PM	0	18
12.0PM	12	2235
2.0PG	0	1
2.1	0	1
3.255PGM	31	275
3.38PGM	0	5
3.6PGM	0	3
3.8PGM	17	177
8.8PM	0	4
NG	76	2317

表 1.3 MBone におけるドメイン毎のルータ数 (上位 10 ドメイン)

ドメイン名	ルータ数
*.net	2060
*.com	517
*.edu	383
*.se	180
*.jp	119
*.no	89
*.gr	74
*.fi	73
*.es	71
*.uk	66
その他	394
不明	261
合計	4287

1.1.2 JP-MBone のトラフィックの現状

JP-MBone に入ってくるトラフィックの量は放送や会議などといったイベントがあるごとに増減があるが、1 年を平均すると約 1~1.5Mbps 程度である。また、経路テーブルのエントリの数 ((S,G) の対) に関しても、やはり 1 年を通じて単調増加ではなく、いくらかの増減が見られるが、ここ 1 年の平均では 3400 経路となっている。DVMRP の場合、一度データを全域に氾濫させ、受信者がいない枝を刈り取っていく方式 (flood and prune 方式とよばれる) であり、トラフィックは受信者が下流にいない限り発生しない種類のものである。しかしながら、「経路のフラッピング」と呼ばれる現象により経路テーブルにおけるタイマがクリアされ、再度データの氾濫が行なわれるため、長期的に平均した場合に、下流に受信者がいるかのようにして、データがやりとりされる場合があり、大きな問題となっている。フラッピングが行なわれているかどうかは、自動監視の結果が公開されており Web ページ (a) で確認できる。

(a) <http://ganef.cs.ucla.edu/masseyd/Route/>

また、JP-MBone の主要な部所におけるトラフィック量は、Web ページ (b) で公開している。また、経路テーブル数の変化に関しては Web ページ (c) にて公開している。

(b) <http://mbone.otemachi.wide.ad.jp/stat/>

(c) <http://mbone.otemachi.wide.ad.jp/stat/dvmrproutes/>

1.1.3 マルチキャスト IX

JP-MBone では、KDD 大手町 NOC にてイーサネットセグメントを一つ設け、そこにネイティブマルチキャストを流すことでマルチキャスト IX を構成してきた。これは第一段階と考えられており次のステップとして、ドメイン間経路交換プロトコルの導入が考えられている。海外の IX では、すでに MBGP(d) や MSDP(e) を用いた経路交換が行われている箇所もある。(例: FIX-West(NASA AMES)、NY-NAP など)

(d) Internet-Draft “draft-ietf-idmr-bgp-mcast-attr-00.txt” を参照

(e) Internet-Draft “draft-farinacci-msdp-00.txt” を参照

マルチプロトコル化にあたっては、従来の JP-MBone のトポロジからの変更を要する可能性や、各ルータでの設定ファイルレベルまでの協調的運用が必要となることが想定され、具体的方針の決定には慎重を要する。そこで JP-MBone BOF にて、議論を行ない、発展させていきたいと考えている。

1.2 JB 上でのマルチキャスト実験と考察

近年、インターネットの普及にともない、インターネット上で、さまざまなサービスが行なわれてきている。また、ネットワーク基盤の急速な発達によって、高速通信が可能となり、従来のテキスト形式のデータ通信から動画のような大容量の連続マルチメディアデータ通信も行なわれるようになってきた。例としては、ビデオ会議システム、VoD(Video on Demand) などがある。これらは、従来の 1 対 1 通信ではなく、1 対多または多対多通信によって実現される。インターネット上では、このような通信は、IP マルチキャストと呼ばれる技術によって実現できる。

しかし、IP マルチキャストは、その設計段階からスケーラビリティの問題が指摘されており、世界規模のインターネット上で IP マルチキャスト通信を行なうことは困難であった。このスケーラビリティの問題は、データを配送する経路を決定するための経路制御プロトコルに依存していた。既存の経路制御プロトコルでは、ルータが保持しておく情報が膨大な量となるため、世界規模のインターネット上では実用的でなかった。

近年、この問題を解決するために、さまざまなマルチキャスト経路制御プロトコルが提案されてきた。その中でも、PIM-SM(Protocol Independent Multicast-Sparse Mode)[81] は、ルータで保持しておく情報を減少させ、スケーラビリティの向上をはかっている。また、PIM-SM を実装したルータも市場に流通し始めており、PIM-SM は次世代の経路制御プロトコルとして有望である。しかし、PIM-SM を用いた大容量の連続マルチメディアデータ通信の実証実験はあまり実施されておらず、PIM-SM の問題点がすべて明らかになっていない。

そこで、マルチキャストの経路制御プロトコルと

して PIM-SM を採用し、高速通信が可能である JB ネットワーク [82] 上で大容量の連続マルチメディアデータ通信実験を行なった。JB ネットワークは、既存のインターネットとは異なり、ATM(Asynchronous Transfer Mode) によって構築され、IP として次世代インターネットプロトコル IPv6 を採用している。なお、連続マルチメディアデータとして、約 30Mbps の通信帯域を必要とする DV データを選択した。

本報告では、PIM-SM の問題点を明確にし、大容量マルチメディア通信を IP マルチキャストで実現する際の課題を提示する。

1.2.1 DV Multicast 実験

JB ネットワークでは、データリンクとして ATM、IP として IPv6、マルチキャストの経路制御プロトコルとして PIM-SM を採用している。

また、IPv6 のプロトコルスタックとしては、FreeBSD 上の IPv6 処理系である KAME を用い、PIM-SM の実装は、KAME に附属しているものを用いた。なお、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。

本実験の目的は、マルチキャスト経路制御プロトコルである PIM-SM の性能を評価することである。本実験では、マルチキャスト通信の性能評価の対象として、パケットの転送処理と帯域の浪費に注目する。

まず、パケットのカプセル化による転送処理の低下を測定した。ここでは、パケットの転送処理性能を正確に測定するために、必要最小限のネットワーク構成で実験を行なった。また、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、測定用の UDP パケットを送出するアプリケーションを作成し測定を行なった。測定した項目は、遅延時間、パケット損失率、および、ジッタの 3 つである。これらの値を、PIM-SM と PIM-DM の両者の比較することにより、パケットのカプセル化によるオーバーヘッドを測定した。

次に、DV データを用いて、RP の位置による帯域の浪費によって通信品質が低下することを示すために、送信ホストと RP の経路上に受信ホストを配置して、受信ホストでの画像を定性的に評価した。小規模なネットワーク構成では、最適な RP の位置を決定することが比較的容易である。しかし、広域ネットワーク上では受信ホストと送信ホストが散在しているために最適な RP の位置を決定することは

困難であるため、ここでは比較的広域なネットワークにおいて実験を行なった。

1.2.2 パケットのカプセル化によるオーバーヘッドの測定

PIM-SM では、マルチキャストパケットはカプセル化されて配送されることが多い。パケットをカプセル化することによって、パケットの転送処理が複雑になってしまう。そこで、小規模ネットワーク上で、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した。

実験では、マルチキャスト通信におけるパケットの遅延時間、パケット損失率、及び、ジッタを PIM-SM と PIM-DM(PIM-Dense Mode) の 2 つのマルチキャスト経路制御プロトコルを用いて測定し比較した。

PIM-DM とは、カプセル化せずにマルチキャストパケットの配送を行なうマルチキャスト経路制御プロトコルである。PIM-SM と PIM-DM を比較することによって、パケットのカプセル化によるオーバーヘッドを測定できる。

オーバーヘッドの測定環境

図 1.1 に示すネットワーク構成で実験を行なった。ルータ R_A 、 R_B 間の通信帯域は 40Mbps、MTU は、9180 バイトであり、ルータとホストは、Fast Ether で接続されている。各 PC のスペックを表 1.4 に示す。

表 1.4 各 PC のスペック

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

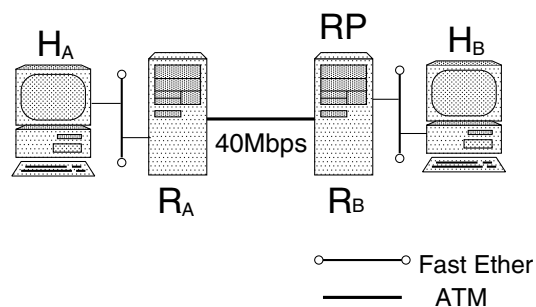


図 1.1 カプセル化の測定を行なうネットワーク構成

表 1.5 測定結果

送出レート (Mbps)	PIM-DM			PIM-SM		
	パケット 損失率 (%)	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(+0.007)	7.151(+4.068)
20	0.000	1.781	2.269	0.0169	1.787(+0.006)	4.159(+1.832)
30	0.000	1.791	2.012	0.0462	1.809(+0.008)	3.334(+1.124)
35	0.000	1.808	1.946	0.0777	1.819(+0.011)	3.018(+1.234)
40	0.000	1.833	1.913	5.1410	6.106(+4.273)	30.90(+28.98)

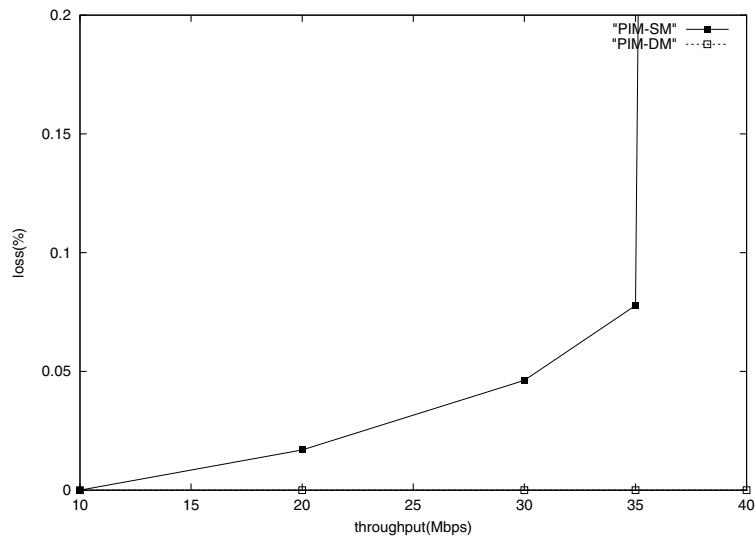


図 1.2 パケット損失率

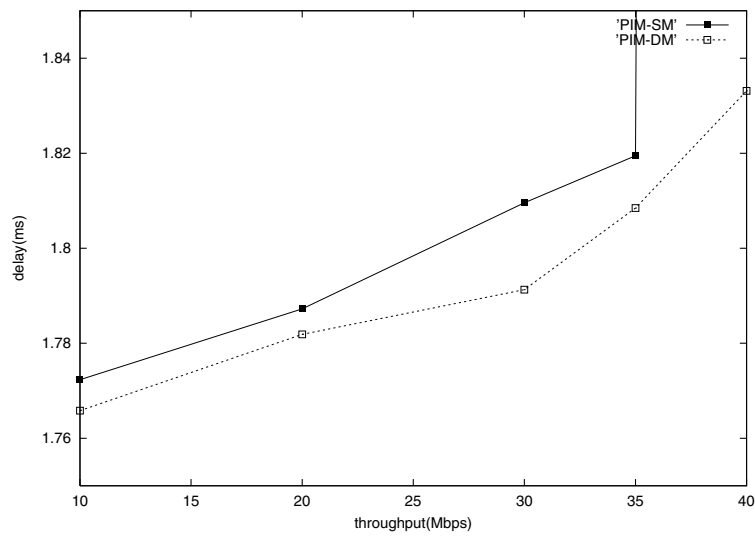


図 1.3 遅延時間

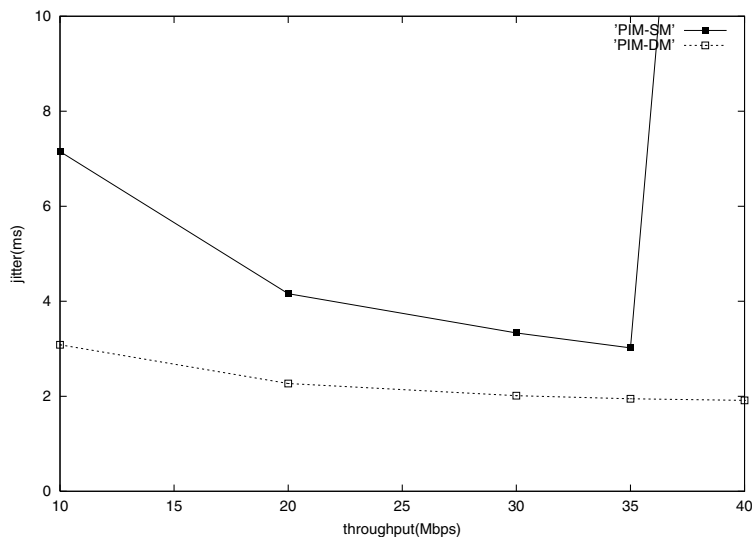


図 1.4 ジッタ

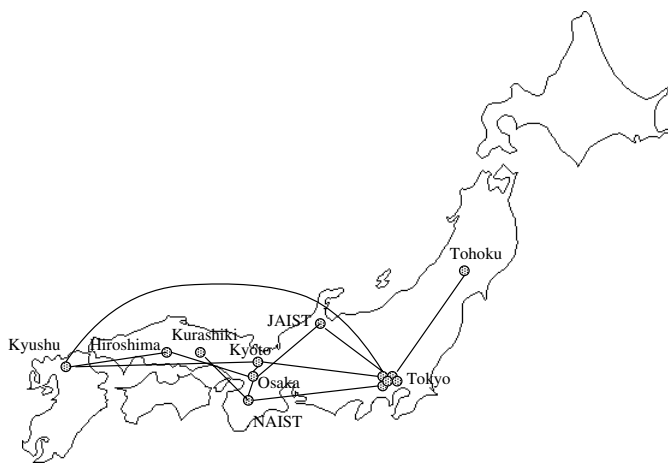


図 1.5 JB ネットワーク

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 RP 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を行なった。パケット長は、1000 バイトの固定長であり、パケット内にシーケンス番号と時間情報をパケット内に埋め込むことによって、パケット損失率、遅延時間、及び、ジッタの測定を行なった。

本報告では、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

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。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、以下のように表せる。

$$L = \frac{P_{loss}}{P_{total}}$$

● 遅延時間

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。時刻 t_1 に送信されたパケットが時刻 t_2 に受信された時、遅延時間 D は、

$$D = t_2 - t_1$$

と表せる。

● ジッタ

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。

マルチキャストでは、ラウンドトリップによる遅延時間の測定が難しいため本実験では、次のような方法で、送信ホストと受信ホストのシステムの時間を設定し、遅延時間の測定を行なった。

1. ホスト H_B が自身のシステムの時間を含んだパケットをホスト H_A にユニキャストで送信する。
2. パケットを受けとったホスト H_A は、パケットに含まれている時間データを取り出し、その時間にシステムの時間を設定する。

これを、1ms ごとに行ない、ホスト H_A 、 H_B のシステムの時間の設定を行なった。

ここで、ホスト H_A とホスト H_B 間のユニキャストの遅延時間を D_U とし、マルチキャストの遅延時間を D_M とする。このとき、ある瞬間での、ホスト H_A 、 H_B のシステムの時間をそれぞれ、 T_{H_A} 、 T_{H_B} とすると、2つのホストのシステムの時間のずれは、

$$D_U = T_{H_A} - T_{H_B}$$

と表せる。

また、このとき本実験で得られた遅延時間 D は、次のように表せる。

$$D = D_M - D_U$$

このことから、本実験で得られた遅延時間 D は、マルチキャストの遅延時間とユニキャストの遅延時間との差であることがわかる。

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のカプセル化を行わないが、本実験では、しきい値を大きな値に設定し、常にカプセル化を行うようにして測定を行なった。

オーバーヘッドの測定結果

実験結果を表 1.5、図 1.2~図 1.4 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、パケット損失率が増大していた(図 1.2)。

1.2.3 広域ネットワーク上での実験

実験は、図 1.5 で示す JB ネットワーク上で行なった。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(Internet Technology Research Committee) Project、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。

PIM-SMは、スケーラビリティを向上させるために、構築されるマルチキャスト木が一方向であるという特徴を持つ。このため、ある条件では、帯域の浪費が生じてしまう。そこで、この帯域の浪費がマルチキャスト通信に与える影響を明らかにするため、送信するデータとして、約 30Mbps の帯域を必要とする DV データを選択し、実験を行なった。

JB ネットワークのネットワーク環境

送信ホストと RP の経路上に受信ホストが存在したときの帯域の浪費の問題を明らかにするために、図 1.6 に示すネットワーク構成で実験を行なった。各 PC のスペックを表 1.6 に示す。

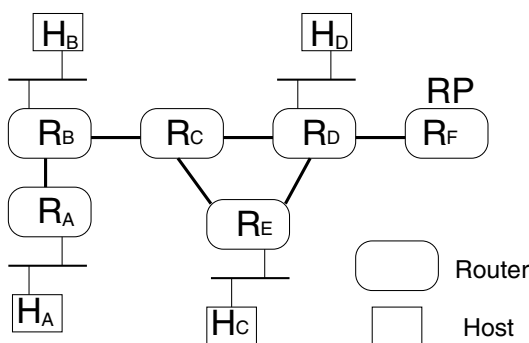


図 1.6 JB ネットワークのネットワーク構成

表 1.6 JB ネットワーク上の各 PC のスペック

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
R_C	Pentium III 500MHz(64M)	FreeBSD 3.2
R_D	Pentium III 600MHz(128M)	FreeBSD 2.2.8
R_E	Pentium III 450MHz(128M)	FreeBSD 2.2.8
R_F	Pentium III × 2 (256M)	FreeBSD 3.3
H_A	Pentium III 500MHz(64M)	FreeBSD 3.1
H_B	Pentium III 500MHz(64M)	FreeBSD 3.1
H_C	Pentium II 450MHz(128M)	FreeBSD 3.2
H_D	Pentium II	FreeBSD 3.2

JB ネットワーク上での実験方法

PIM-SM では、パケットは主に RP から各受信ホストに配送されるために、 RP と送信ホストの経路上に受信ホストがいた場合には、帯域の浪費をしてしまうという欠点を持っている。

この欠点の影響を調べるために、ホスト H_A からマルチキャストで DV データの送信を行い、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 通りの実験を行ない、DV データの流れを確認した。この実験により、 RP の位置により生じる帯域の浪費がマルチキャスト通信に与える影響を明らかにする。

なお、DV データのパケットサイズは 500 バイトであり、約 30Mbps の通信帯域を必要とする。

JB ネットワークでの実験の結果

計測結果から DV データは、ホスト H_B が受信していたかどうかに関わらず、以下のように RPT により配送されていたことがわかった。

1. ホスト H_A がルータ R_A に DV データをマルチキャストパケットで配送する。
2. ルータ R_A は、受け取ったマルチキャストパケットを Register Message として、カプセル化し、ユニキャストで RP (Rendezvous Point) へ配送する。
3. RP は、カプセル化されたパケット (Register Message) 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 (RP -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 H_B 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 H_B が受信していない場合

計測結果から DV データ配送経路は以下のようになっていた (図 1.7)。ホスト H_C とホスト H_D では、高品質な画像と音声を得られた。

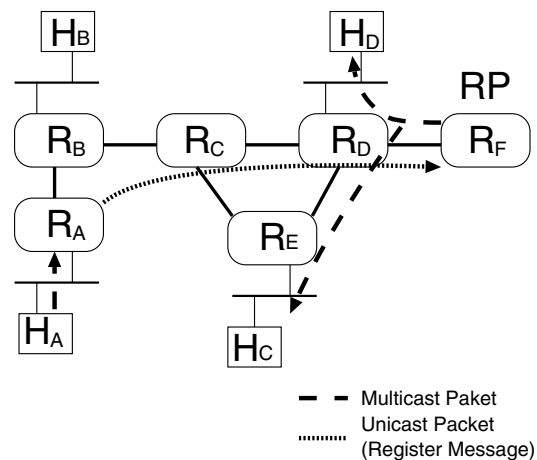


図 1.7 DV データの流れ (1)

- ホスト H_B が受信していた場合

ホスト H_C とホスト H_D では、高品質な画像と音声を得ることができたが、ホスト H_B 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 1.8 のようになっていた。

図 1.7、1.8 のように、各受信ホストが RP から配送されたマルチキャストパケットを受け取るようなマルチキャスト木は、RPT (RP -Tree) と呼ばれる。

1.2.4 実験結果に対する考察

本節では、本実験で得られた結果について考察する。

パケットのカプセル化によるオーバーヘッド

PIM-SM と PIM-DM において、パケットのカプ

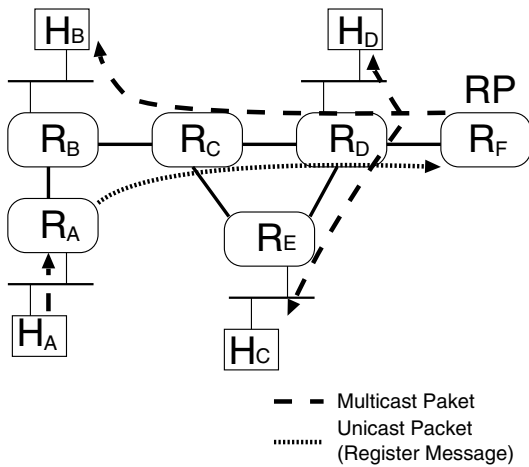


図 1.8 DV データの流れ (2)

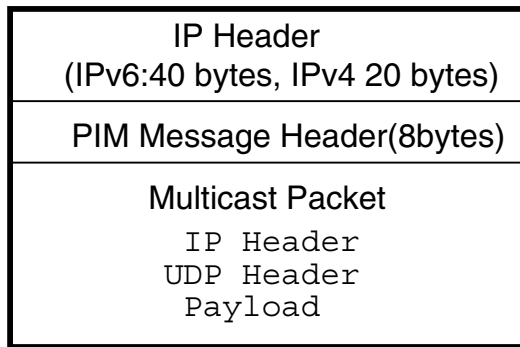


図 1.9 PIM-SM の Register Message

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を行なう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わかる。

また、パケットのカプセル化を行なうと、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 (図 1.9)。このため、送信ホストの送出レートよりも、実際の通信で使用している帯域は、大きくなる。これに加え、本実験においては、ルータ R_A 、 R_B の通信帯域が 40Mbps で 40Mbps でパケットを送出していた場合には、ATM で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通信帯域の浪費について考察する。

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、

$$N_P = T \cdot 10^6 / 8 / S_P$$

$$= 1.25 \cdot 10^3 \cdot \frac{T}{S_P}$$

となる。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、以下のように表せる。

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

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

この式から、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の送出を行っていたことがわかる。また、この式から求められるパケットのカプセル化による浪費されている通信帯域を図 1.10 に示す。図 1.10 は、IPv4、IPv6 の両方で、パケットサイズが 1000 バイト、500 バイト、250 バイトであった時に浪費される通信帯域を表している。

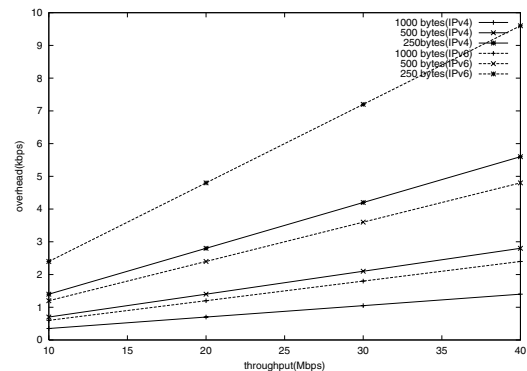


図 1.10 カプセル化による通信帯域の浪費

図 1.10 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留意しなければならないことがわかる。

JB ネットワーク上で行なった実験について

図 1.8 から、本実験では、 R_B と RP 間で、同じ DV データを含んだ 2 つのフローが流れており、無駄な帯域を使用していたことがわかる。これは、本

表 1.7 ルータの経路情報と制御パケット

配送木	経路情報	制御パケット量
SPT	$O(g \cdot s)$	$O(g)$
RPT	$O(g)$	$O(g)$

実験のように広帯域が必要なマルチキャスト通信において大きな問題となる。

この帯域の浪費は、すべての受信ホストに対して RP がマルチキャストパケットを配送するために生じる。これを解決するため、送信ホストから受信ホストへマルチキャストパケットの配送を行なう双方向の RPT を構築する方法も提案されている [83]。

例えば、文献 [83] の方法では、Router Alert Option Header ([84][85]) と呼ばれる IP オプションヘッダを利用して、双方向の RPT を実現しているが、ルータでの処理が複雑になり、ルータの負荷が大きなものとなる。

また、PIM-SM では、広帯域を必要とするトラヒックに対して上で述べた問題を解決するために、 RP からではなく送信ホストを根とする配送木を構築することも考えられている。この配送木は、SPT(Shortest Path Tree) と呼ばれ、SPT による配送では、上で述べた RPT の配送での問題点を解決することができる。本実験のネットワーク構成において、予想された SPT による配送経路を図 1.11 に示す。しかし、SPT を構築するためには、ルータで保持しておく経路情報と構築するために必要となる制御パケットの数が RPT に比べ増大することが知られている。ここで、グループの数を g 、送信ホストの数を s とすると、ルータが保持しなければならない情報量は、表 1.7 のようになる。

このことから、SPT では、ルータが保持しなければならない情報量が膨大となり、SPT が広域ネットワークには適していないことがわかる。そのため、広域ネットワーク上においては RPT の方が適している。しかし、本実験からもわかるように RP の位置によっては、帯域の浪費が生じるため、 RP の位置を送信ホストと受信ホストの存在する位置によって適切に決定することが重要である。

1.2.5 PIM-SM のプロトコルに関する考察

本節では、PIM-SM のプロトコルについての考察

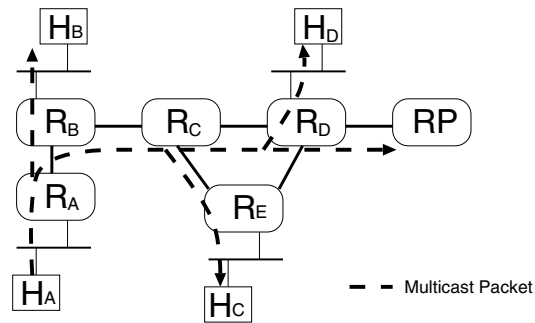


図 1.11 SPT によるマルチキャストパケットの配送

を行なう。

RP の決定

前節でも述べた通り、PIM-SM では、 RP の決定が重要な課題である。 RP と送信ホストの経路上に受信ホストが存在していた場合には、本実験のように帯域を浪費してしまい、ルータの負荷も増加してしまう。

RPT で最も効率的にパケットの配送を行なうためには、送信ホストになるべく近いルータを RP として決定することである。これによって、 RP と送信ホストの経路上に受信ホストが存在しにくくなり、帯域の浪費を防げる。

しかし、送信ホストが複数存在していた場合には、 RP にするルータを決定するのが困難になってしまう。この問題の抜本的な解決方法は未だ提案されておらず、PIM-SM の大きな課題の 1 つである。

SPT への移行

PIM-SM では、SPT に移行するまで、ある程度 RPT によってパケットが配送される。各受信ホストに直接つながっているルータが、パケットをカウントしていき、そのパケット到着レートがあるしきい値を越えた時点で、RPT から SPT への移行が始まる。この RPT から SPT への移行は瞬時に行なわれるものではなく、 RP が SPT に切り替わって初めてすべてのルータの SPT への移行が完了する。ここで、 RP が SPT に切り替わるとは、本実験のネットワーク構成を例にとると、ルータ RA が Register Message の送信をしなくなり、マルチキャストパケットのみを送信するようになることを指す。 RP が SPT に切り替わるまでは、ルータ RA から RP に Register Message が配送され続ける。本実験のようなネット

ワークの構成では、RPT から SPT に完全に移行するまでの間に、無駄なトラフィックが一時的に生じてしまう。この無駄なトラフィックは、特に広帯域を必要とする通信の場合には、大きな問題となる。

このように、広帯域を必要とするような通信に対しては、パケット到着レートに頼らない SPT への移行も必要である。

スケーラビリティ

PIM-SM では、RPT を一方向にすることによって、ルータが保持する情報を減少させ、スケーラビリティを向上している。しかし、1つのグループ・プレフィックスに対して、存在できる RP が 1 つだけであるために、世界規模のインターネット上で PIM-SM を用いてマルチキャスト通信行なうことは困難である。

また、送信ホストが複数存在していた場合には、1つの RP に Register Message が送られる。このとき、1つの RP が Register Message からマルチキャストパケットを取り出す処理を行なうことになり、1つの RP へ負荷が集中してしまう。

そこで、これらの問題を解決するために、RP をドメインごとに配置し、各ドメイン間で RP が相互にグループの情報などを交換するための方法も提案されている [86]。

マルチキャスト経路制御プロトコルの相互運用

PIM-SM は、受信ホストが比較的広域に分散しているようなネットワークを対象にして設計されているため、受信ホストが密に存在している場合には、本実験のように同じデータが重複して同一リンク上を流れてしまい、帯域を浪費してしまうことがある。それに対して、送信ホストに基づいてマルチキャストの配送木を形成する経路制御プロトコルでは、ルータで保持する情報は増大してしまうが、受信ホストが密に存在している場合には、同一のデータが重複して流れることはない。また、PIM-SM では、1つのグループに対して RP は、1つしか存在することができないために、世界規模のインターネットには適していない。

このことから、ユニキャストの場合と同様にネットワークポロジに適したマルチキャストの経路制御プロトコル採用することが必要であることがわかる。

しかし、異なる 2 つの経路制御プロトコルのポー

ダールータにとって、相互運用に関しては多くの課題がある。現在、提案されているプロトコルでは、相互運用のためにポーダールータは、送信ホストとグループに関連する情報をすべて保持しておく必要がある。さらに、受信ホストが存在しなくとも、ポーダールータは、すべてのマルチキャストパケットを受信しなければならず、これは帯域の浪費となる。

今後、各マルチキャスト経路制御プロトコルの相互運用をより効率的に行なうための方法を確立することが、マルチキャスト通信の課題である。

1.3 おわりに

本報告では、JB ネットワーク上で大容量マルチメディアデータの 1 つである DV データをマルチキャストで配送する実験について述べた。本実験により、パケットのカプセル化によるオーバーヘッドが、パケットサイズが小さくなるにつれ増大し、RP の位置によっては、同一のデータが往復してしまい、帯域の浪費を生じてしまうことがわかった。

また、PIM-SM のプロトコルに関しても考察し、PIM-SM だけでは、世界規模のインターネット上でマルチキャスト通信を実現することが困難であることを示し、その解決策について考察した。

本稿で論じた PIM-SM の問題点については、IETF (Internet Engineering Task Force) において議論され始めており、いくつかの解決策が提案されてきている。将来、PIM-SM の問題点が完全に克服され、世界規模でのマルチキャスト通信が可能になることを期待したい。