マルチキャストネットワーク構築時における配送経路の管理に関する研究

慶応義塾大学環境情報学部 4 年 臼井健

平成 14 年 2 月 19 日

概 要

インターネットの普及にともないインターネット放送や、遠隔授業など様々な種類のアプリケーションが登場してきた。こうした種類のアプリケーションは、通常 1 対多で通信をおこなうので、ユニキャストによって配信するよりも、マルチキャストによって配信した方が効率的である。

しかし、マルチキャストは、ネットワークを運用する管理者にとっては、ルータ間で利用するマルチキャスト経路制御プロトコルが複雑である。具体的には、以下の二つが存在する。(1) マルチキャストは、配送木を構築して、送信者から複数の受信への最適な配送をおこなうが、この配送木をたどるのが困難。(2) マルチキャストパケットを転送するルータは、様々なステートを持っているが、一元的にその状態を把握するのが困難である。

本研究では、こうした問題を解決するため、新たにマルチキャスト配送経路を図示できるシステムを設計、実装した。具体的には、マルチキャストグループに加入している複数のルータにおける経路情報、ステートを収集し、それを解析し、図示することによって、配送経路を図示することができる。本研究で、開発したシステムを、テストベッドネットワークにおいて評価し、その有効性を確認することができた。

キーワード

1.IP マルチキャスト,2. ネットワーク管理,3. マルチキャスト経路制御プロトコル
4. 配送経路,5. 配送木

概 要

Brand new applications ,such as Internet Broadcasting and Distance Learning are now in fashion as the grow of the Internet and the bandwidth. This kind of applications usually transmits 1 x multi-users session and so it can say it is effective to use multicast (1 x multi) rather than unicast (1 x 1) .

However, for network operators , it is hard to operate multicast network because multicast routing protocols are complicated. It can point out 2 major reasons of multicast routing difficulties. (1) In multicast, multicast routers constract delivery tree and it's hard to follow its delivery tree. (2) Multicast routers have various states and also hard to grasp all of its states from all routers at a glance.

To overcome these problems, this paper describes countermeasure approach. Definitely, monitor collects routing information and states from the routers that join multicast group , analyzes its information and display it.

And this research applies its system to the Testbed Network and evaluated its perfomance. In this results , it can gain lots of perfomance.

keyword
1.IPmulticast,2.NetworkManagement,3.Multicast Routing Protocol
4.Delivery Route,5.Delivery Tree

目 次

第 1 章　序論 **1**

1.1　はじめに 1

1.2　本研究の目的 1

1.3　本論文の構成 2

第 2 章　IP マルチキャスト **3**

2.1　インターネットの通信形態 3

2.2　マルチキャストグループ管理 4

2.3　マルチキャスト転送 5

2.3.1　マルチキャスト経路表 5

2.3.2　配送木 6

2.3.3　マルチキャスト経路制御プロトコル 7

2.4　経路制御プロトコルの分類 8

第 3 章　マルチキャストネットワークの運用 **10**

3.1　マルチキャストネットワーク運用に関わる設定 10

3.1.1　TTL 閾値の設定 10

3.1.2　帯域制御 10

3.1.3　設定に関する考察 10

3.2　既存の運用支援システム 11

3.2.1　mrouted パッケージのツール 11

3.2.2　mrouted パッケージ以外のツール 12

3.2.3　既存ツールの限界 13

第 4 章　本研究における提案 **15**

4.1　本研究での注目点 15

4.1.1　配送経路の特徴 15

4.1.2　マルチキャストネットワーク運用に関する注目点 15

4.2　システムの提案 16

4.2.1　配送木を視覚化 16

4.2.2　ネットワークの一元的な管理 16

4.2.3　配送木を時系列表示 16

4.2.4　多くの経路制御プロトコルに対応した汎用的な機構の実現 17

4.3　システムの機能 17

第 5 章　システムの設計 **19**
5.1 設計目標 . . . 19
5.2 システム構成 . . . 19
5.3 通信メッセージ . . . 19
5.3.1 命令メッセージ . . . 20
5.3.2 更新メッセージ . . . 20
5.4 ルータ内部情報収集モジュール . . . 21
5.4.1 マルチキャストルータの監視 . . . 22
5.4.2 収集方法 . . . 23
5.5 配送経路データベースモジュール . . . 24
5.5.1 経路情報データベース . . . 25
5.5.2 配送経路図データベース . . . 25
5.6 配送経路表示モジュール . . . 26
5.6.1 表示内容 . . . 26
5.6.2 表示方法 . . . 27
5.7 設計のまとめ . . . 28

第 6 章　システムの実装 **29**
6.1 概要 . . . 29
6.2 通信メッセージの実装 . . . 29
6.3 mlog . . . 31
6.3.1 起動方法 . . . 31
6.3.2 マルチキャスト経路表の監視 . . . 31
6.3.3 PIM-SM 内部情報の取得方法 . . . 32
6.4 mdraw . . . 33
6.4.1 mdraw 実装概要 . . . 33
6.4.2 設定ファイル . . . 33
6.4.3 配送経路表示モジュールの実装 . . . 34
6.4.4 表示インターフェイスの実装 . . . 35

第 7 章　システムの評価 **37**
7.1 評価環境 . . . 37
7.1.1 ネットワーク環境 . . . 37
7.1.2 ソフトウェア環境 . . . 38
7.1.3 評価方法 . . . 41
7.2 評価 . . . 41
7.2.1 R1 を RP に設定したケース . . . 41
7.2.2 R3 を RP に設定したケース . . . 44
7.2.3 tcpdump による評価のまとめ . . . 49
7.2.4 tcpdump による評価に対する考察 . . . 49
7.2.5 異なる経路制御プロトコルの使用 . . . 50
7.3 まとめ . . . 51

第 8 章　結論 **52**
8.1　結論 52
8.2　今後の課題 52
8.2.1　ユニキャスト経路制御技術との関わり 52
8.2.2　SNMP への対応 53
8.2.3　実ネットワークでの利用 53
8.3　本システムの将来的な展望 53
8.3.1　マルチキャスト経路制御プロトコルの実証実験 53
8.3.2　マルチキャストネットワーク運用技術の習熟 54

図 目 次

2.1 IP ユニキャストと IP マルチキャストの比較 4
2.2 送信元配送木の例 6
2.3 共有木の例 7
2.4 木の方式と参加の方式による分類表 9

3.1 mtrace 実行例 11
3.2 mtrace 実行結果例 12
3.3 Mantra の例 13

4.1 配送経路の変遷を表示 17

5.1 命令メッセージ 20
5.2 更新メッセージ 21
5.3 PIM-SM での Register メッセージの例 23
5.4 システム概要その 1 24
5.5 配送経路データベースモジュール 25

6.1 命令メッセージ構造体 30
6.2 更新メッセージ構造体 30
6.3 BSD Unix のマルチキャスト経路表 31
6.4 dump_reg 関数 32
6.5 実際の設定ファイル 34
6.6 表示インターフェイス 1 35
6.7 表示インターフェイス 2 36

7.1 実験トポロジー図 37
7.2 箱庭設定ファイル 40
7.3 配送経路表示 1-1 42
7.4 配送経路表示 1-2 43
7.5 配送経路表示 1-3 43
7.6 配送経路表示 1-4 44
7.7 配送経路表示 1-5 44
7.8 配送経路表示 2-1 45
7.9 配送経路表示 2-2 46
7.10 配送経路表示 2-3 46
7.11 配送経路表示 2-4 47

7.12 配送経路表示 2-5 47
7.13 配送経路表示 2-6 48
7.14 配送経路表示 2-7 48
7.15 pim6dd による配送経路 50

表 目 次

2.1 ユニキャスト経路表 5
2.2 マルチキャスト経路表 5

3.1 mrouted 付随ツール 11
3.2 マルチキャストツール機能比較表 14

6.1 全体概要 29
6.2 設定ファイルに必要な項目 33

7.1 実験ネットワークアドレス割り当て表 38
7.2 ソフトウェア環境 39
7.3 箱庭操作項目 39
7.4 tcpdump ログの収集 1 42
7.5 tcpdump ログの収集 2 45
7.6 配送経路図からの状態変遷まとめ 49
7.7 配送経路図からの状態変遷まとめ 49

第1章　序論

1.1　はじめに

近年、インターネットの利用者数が爆発的に増大している。また、インターネットを構成するネットワークの数も膨大になり、これらのネットワークを相互接続するルータの数も急増してきた。インターネット基盤の発展にともない、今までにない革新的なアプリケーションが急増してきた。例としては、ビデオ会議、遠隔授業、インターネット放送などがある。これらは一対多、多対多のユーザを想定したアプリケーションである。これらのアプリケーションでは、複数ノード間で互いに同報通信する。例えば、遠隔授業の画像と音声は、要求に応じて同時に複数のクライアントに配送される。これらのアプリケーションを現在のインターネットで効率良く利用するためには、マルチキャスト通信を用いるのが一般的である。マルチキャスト通信は、かつては限られたエリアや一部のインターネット上で利用されていた。その後、実験的にバックボーンを横断するネットワークである Mbone [1] を構築するなど、段階的に発展してきた。今後は、遠隔教育での音声画像配信、遠隔店舗への情報配信などビジネスに活用されること期待される。

マルチキャストネットワークの構築や問題解決は、管理コストのためのコストが高い。管理コストを低減するためには、運用を支援する仕組みが必要である。しかし、現状では、マルチキャストネットワークの運用を支援する仕組みで有効なものはない。

1.2　本研究の目的

本研究では、単一ドメイン内に構築したマルチキャストネットワークでの配送経路の管理を支援するシステムを構築する。

マルチキャストネットワークの運用には、配送木全体を監視する仕組みが必要となる。その理由は、マルチキャストの経路は、経路の断絶・迂回や、グループへの参加・離脱などの理由により、動的に変動するからである。またマルチキャストで利用されるアプリケーションは使用する帯域が広いことが多く、経路制御上のトラブルがネットワークに及ぼす影響が大きい。また、マルチキャストパケットの終点はひとつのホストではない。ネットワーク内に散らばる全てのメンバにパケットが配送される必要がある。マルチキャストネットワーク運用する際、本システムでネットワーク内の配送木、ならびにその変遷を表示する。また、マルチキャストネットワークを運用、導入しやすい環境を作り出し、インターネットの利便性を向上させることを目指す。

1.3 本論文の構成

2 章で、IP マルチキャストの基礎技術を述べる。3 章で、IP マルチキャストを支援する既存のシステムについて述べる。4 章で、本研究での提案を述べる。5 章で本機構の設計を述べる。6 章で本機構の実装について述べる。7 章では、本機構の評価を行い、結果を述べる。8 章で結論と今後の展望を述べる。

第2章　IPマルチキャスト

本研究では、マルチキャストネットワークの運用で、マルチキャストルータで形成される配送木に注目する。本章では、その配送木の形成方法ならびに、その配送木を形成するマルチキャスト経路制御プロトコルについて述べる。

2.1　インターネットの通信形態

インターネットの通信形態は、以下の４種類に分類される。

- ユニキャスト通信
- ブロードキャスト通信
- マルチキャスト通信
- エニ-キャスト通信

ユニキャスト通信は一対一型の通信である。一方、ブロードキャスト通信とマルチキャスト通信は一対多、多対多型通信である。エニ-キャスト通信は、あるネットワークで最も近い１台のコンピュータを識別する通信である。エニ-キャスト通信に関して、現在、プロトコル詳細ならびに実装はまだ煮詰まってない。ブロードキャスト通信とマルチキャスト通信の違いは、ブロードキャスト通信では存在するすべてのホストにデータが配送されるのに対して、マルチキャスト通信では、特定のホストの集合にデータが配送されることである。また、ブロードキャスト通信は、同一リンク内のノード間における通信である。一方、マルチキャスト通信は、一対多、多対多型の通信をインターネット全体で効率的に行なう技術である。マルチキャスト通信は、以下の利点を持つ。

- 多数のクライアントと通信するサーバの負荷を軽減する。
- 通信に使用する帯域を削減する

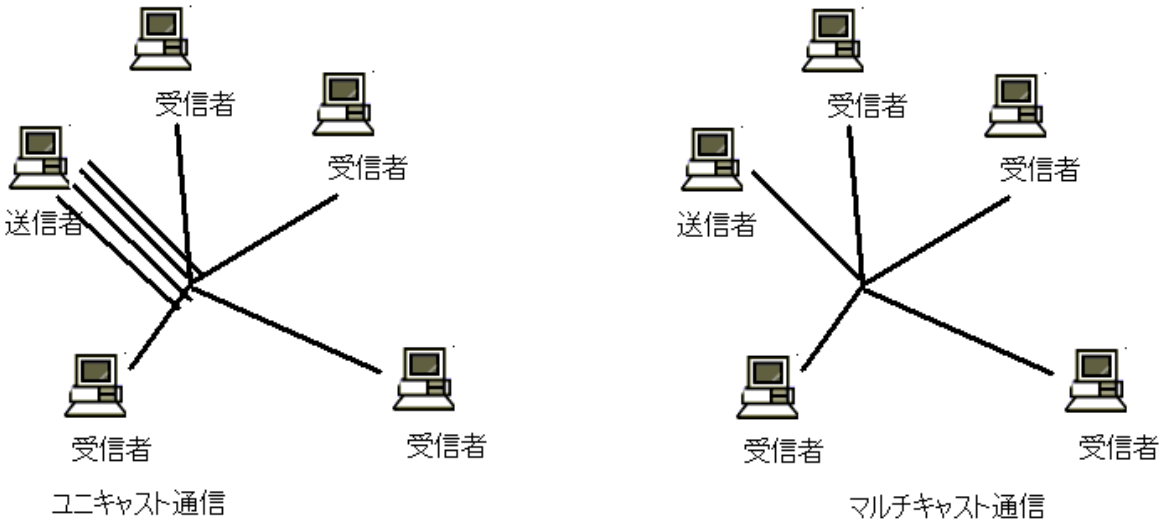


図 2.1: IP ユニキャストと IP マルチキャストの比較

あるサーバから複数のホストに対してデータを配送する場合を考える。ユニキャスト、マルチキャストそれぞれを用いた場合の例を図 2.1 に示す。ユニキャストの場合では、サーバが 4 つの同じデータを受信者が存在するルータに送信する。このため、複数の同一データが送信者とルータを結ぶネットワーク上を流れている。これに対して、マルチキャスト通信の場合では、ルータがデータを複製して配送するため、サーバとルータを結ぶネットワーク上には重複したデータが流れない。

2.2 マルチキャストグループ管理

IP マルチキャストでは、ホストの集合を 「マルチキャストグループ」と定義する。各ホストはマルチキャストグループへ参加や離脱を表明することで、そのマルチキャストグループを宛先とするデータを受信できるようになる。マルチキャストルータは各ホストの参加や離脱の表明によって配送経路を確立する。ホストは、任意の場所、時間に、任意のマルチキャストグループへ参加、離脱できる。

マルチキャストルータがマルチキャストパケットを転送するかどうかを判断するためには、ローカルネットワークにどのマルチキャストグループのメンバーが存在しているか知る必要がある。この情報を取得するために、IGMP [2] が利用される。ルータは IGMP のクエリーメッセージを利用し、ローカル ・ネットワーク上のホストにメンバーシップ情報を要求し、ホストは要求に対して IGMP レポートメッセージでメンバシップ情報を報告する。また、ホストはマルチキャスト ・グループから離脱する時にも、IGMP を用いてルータに報告する。ルータはローカル ・ネットワークのマルチキャストグループメンバーシップ情報を保持する。そしてマルチキャストルータは定期的にメンバシップ要求をローカルネットワークに送信し、最新のメンバシップ情報を保持する。

2.3 マルチキャスト転送

マルチキャストでは、グループ全体にパケットが行きわたるように転送する必要がある。そのため、マルチキャストでは、ルータがパケットを複製する必要がある。この時、ループを防ぐために木構造の経路を生成する。以下にマルチキャスト転送はどのような条件を満たし、パケット転送されるのかを述べる。

- すべてのグループのメンバにデータグラムが転送されること
- ホストが動的にグループへ参加 ・離脱が行えること
- パケットがループしないこと
- パケットが重複して流れないこと

これらの条件を満たすために、マルチキャスト ・ルータはユニキャスト ・ルータとは異なったメカニズムでパケットの転送を行う。ユニキャストでは、パケットを終点に向けて転送するのに対して、マルチキャストでは配送木をつくり、始点から離れる方向に転送される。

2.3.1 マルチキャスト経路表

パケットは経路表に従い、転送される。以下にユニキャスト経路表と比較して、マルチキャスト経路表の仕組みを述べる。ユニキャストでは、ルータは送信元から、IP パケットの宛先アドレスに従って宛先ホストへ転送される。パス上の各ルータは、パケットの宛先アドレスを参照し、該当するユニキャスト経路表の宛先アドレスを探し、宛先への指定インターフェイスを介してパケットを次のルータに転送する。ユニキャスト経路表の項目を、表 2.1 に示す。

表 2.1: ユニキャスト経路表

送信先アドレス	ネクストホップ	送信インターフェイス

マルチキャストグループアドレスで示されたホストグループにパケットを送信する。マルチキャストパケットは受信インターフェイス以外のインターフェイスから送信される。マルチキャストパケットが、送信者の方向に転送されることがあれば、転送ループが生じる。マルチキャストルータはマルチキャストパケットがグループに参加する全受信者に届くよう複数のインターフェイスに転送する必要がある。マルチキャストの経路表の項目を表 2.2 に示す。

表 2.2: マルチキャスト経路表

送信元アドレス (S)	グループアドレス (G)	受信インターフェイス	送信インターフェイス

マルチキャスト送信元、マルチキャストグループ毎に経路表の項目が生成される。マルチキャスト経路表は、受信インターフェイスはひとつであるが、送信インターフェイスは複数になる。

2.3.2 配送木

以下に、マルチキャスト経路制御プロトコルが作成する配送木の種類とその特徴を述べる。

送信元配送木

送信ホストを根として形成される配送木である。マルチキャストパケット送信ホストからマルチキャストグループに参加する各ホストまでの最短経路で構成される。図 2.2 で、送信元配送木の例を示す。矢印がトラフィックの流れを表し、各 Receiver への、配送経路が送信元配送経路である。送信元配送木は、送信ホストを根とした配送木であるため送信ホストごとに存在する。

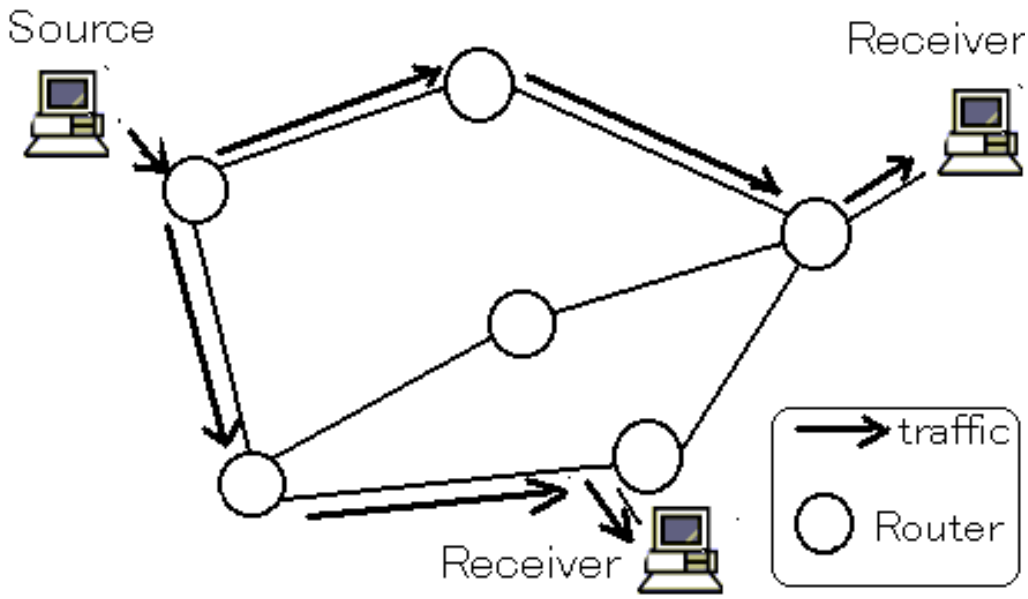


図 2.2: 送信元配送木の例

共有木

共有木ではネットワーク上のある一つのルータを根として選択し、そこから受信者への最短経路で結ばれた木がつくられる。すべての送信ホストは根であるルータにデータを送信し、根となるルータからすべての受信ホストに対してパケットを配送する。そのため、すべての送信ホストがひとつの配送木を共有する。また、この根となるルータは経路制御プロトコル毎に異なった呼び方があり、ランデブーポイント (本論文では、以下 RP[RendezvousPoint] と呼ぶ。)

やコアと呼ぶ。RP は、共有木はマルチキャストグループに対してひとつだけ作成される。

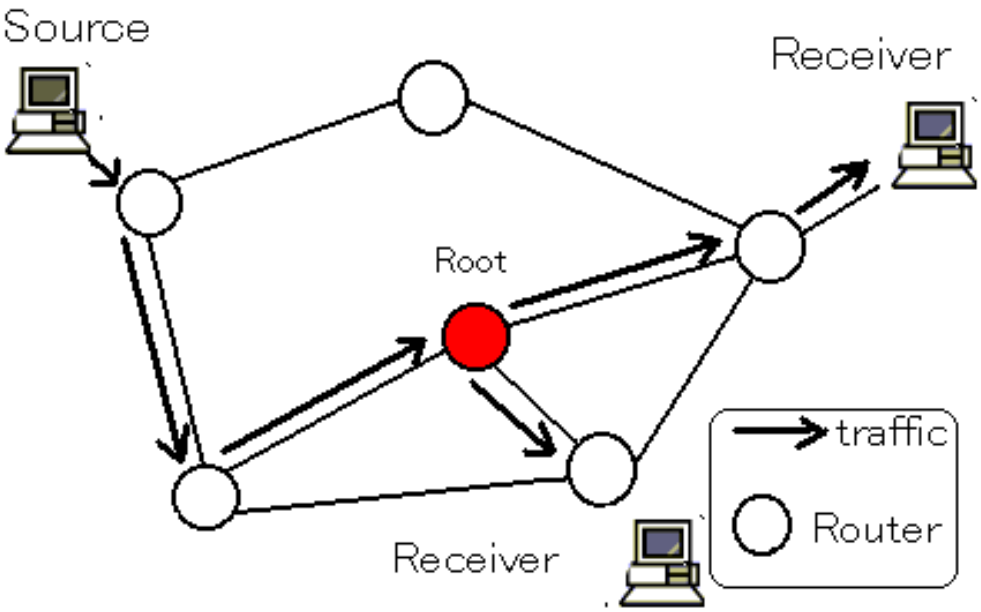


図 2.3: 共有木の例

図 2.3 に共有木の例を示す。図 2.3 において、Root と示されたルータが共有木の根であり、矢印はトラフィックの流れを表している。共有木では、送信ホストはデータを配送するために、まずトラフィックを根となるルータに送信する。そして、根となっているルータからトラフィックがすべての受信ホストに対して配送される。

2.3.3 マルチキャスト経路制御プロトコル

マルチキャスト経路制御プロトコルは次のように分類できる。以下で、概要を述べる。

- 暗黙の参加型プロトコル
- 明示的な参加型プロトコル

暗黙の参加型プロトコル

暗黙の参加型プロトコルとしては、DVMRP(Distance Vector Multicast Routing Protocol) [3] や PIM-DM(Protocol Independent Multicast-Dense Mode) [4] などが挙げられる。これらのプロトコルを動作させたルータは、マルチキャストパケットを受信した場合、受信インターフェイス以外からパケットをフラッディングする。ネットワーク内のすべてのルータでは、そのマルチキャストグループ宛の経路がまず生成される。その経路は送信元への最短経路以外は、ルータが枝狩りメッセージにより、経路表から削除される。また、マルチキャストグループに参加するホストが存在しない経路も枝刈りされる。この結果、送信元配送木が構築され

る。暗黙型のプロトコルは、マルチキャストパケットの転送が始まった場合、ルータは受信インターフェイス以外のインターフェイスからパケットを送信する。密集して多くの受信者が存在する場合、受信者に対して効率良くパケットを転送することができるので有効なプロトコルと考えられている。一方でトラフィックをネットワーク全体に一時的にフラッディングし、受信ホストのいないネットワークでは枝刈りされるまで、無駄なトラフィックが流れてしまうという問題がある。

明示的な参加型プロトコル

明示的な参加型プロトコルにはは、PIM-SM(Protocol Independent Multicast Sparse Mode) [5] や CBT(Core Base Tree) [6] などが挙げられる。

明示的な参加型プロトコルは、共有木を構築し、受信ホストが存在するネットワークにのみトラフィックが配送される。受信ホストは配送木に対して、明示的にグループ参加するメッセージを送信し、グループに参加する。参加者がネットワーク内に散在する場合、無駄なトラフィックが流れることがなく、有効なプロトコルであると考えられている。トラフィックのフラッディングという形で無駄な帯域が消費されることはないので、密集型プロトコルより規模適応性に優れている。しかし、散在型プロトコルで構築される共有木は、その根の位置によって配送経路が最短経路にならず、重複したデータが同一ネットワーク上を流れてしまい、通信帯域を圧迫してしまう問題がある。また、根をインターネット全体でマルチキャストグループの集合に対して、ただ一つしか存在できないために、その根の位置を最適に決定することは難しい。

2.4 経路制御プロトコルの分類

以下に、本章で述べた経路制御プロトコルを、配送木の種類、ならびに参加の方式で分類した。これを表 2.4 に示す。

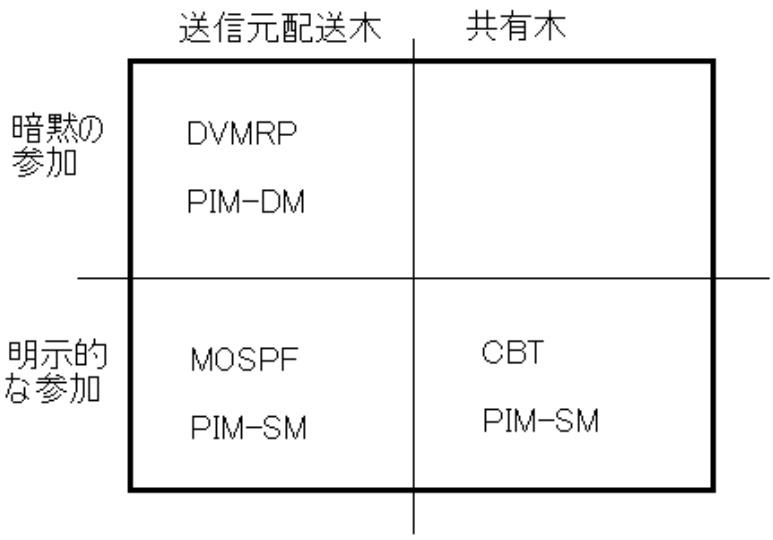


図 2.4: 木の方式と参加の方式による分類表

PIM-SM では、共有木を用いる。トラフィックが設定した閾値を越えた場合、送信元配送木に配送木の構造が変化する。このようにマルチキャスト経路制御プロトコルは、多くの種類存在し、配送木の形態、グループへの参加の形式など異なる。

ネットワーク管理者はマルチキャストネットワークを運用していくためには、使用するプロトコルが、どのような配送木の形態をとるのか、暗黙型もしくは明示型どちらのプロトコルであるかなど詳細に把握しておく必要がある。

第3章　マルチキャストネットワークの運用

本章では、マルチキャストネットワークの運用を支援するために、現在利用されている技術ならびにシステムについて述べる。また、それらの技術で、マルチキャストネットワークを運用していくうえでの限界について議論する。

3.1　マルチキャストネットワーク運用に関わる設定

マルチキャストアプリケーションは一般的に、帯域を大きく消費する。既存のネットワークに、マルチキャストを導入する際には、既存のサービスへの影響を考慮する必要がある。そのため、以下のような項目を設定し、ネットワークを運用するのが一般的である。

3.1.1　TTL 閾値の設定

マルチキャストルータはマルチキャストパケットを転送する度に、ユニキャストと同様に IP ヘッダの TTL を 1 ずつ減らす。パケットの TTL がゼロになった場合、ルータはパケットを破棄する。マルチキャストルータは減らす TTL 値を 1 より大きく設定できる。TTL 閾値は,TTL 閾値より小さい TTL 値を持つマルチキャストパケットが転送されることを防ぐために、マルチキャストルータの個々のインタフェースに適用する。ルータに TTL 閾値の設定をすることで、サイトや領域の境界を越えてマルチキャストトラフィックが転送されてしまうのを防げる。

3.1.2　帯域制御

マルチキャストによりパケットの複製が行なわれ、ネットワーク帯域を節約できる。しかし、マルチキャストトラッフィクが管理者の予期しない動作を行い、回線の帯域を大幅に占めてしまうことがある。

これを防ぐため、ルータでマルチキャストパケットの帯域制御を行う。ポート番号、またアドレスなどで帯域制御を行なう既存の帯域制御機構をそのままマルチキャストに対しても利用できる。

3.1.3　設定に関する考察

TTL 閾値を設定したり、ルータで帯域制御を行なうことにより、マルチキャストが管理者が想定していない動作をした場合、ネットワーク内の他のサービスに与える悪影響をある程度抑制できる。しかし、マルチキャストは任意の送信者、受信者を想定するプロトコルであり、受信者、送信者の規模を知ってネットワークを設計することは困難である。

3.2 既存の運用支援システム

マルチキャストネットワークには、支援するツールが少ないのが現状である。既存のマルチキャスト運用支援ツールは、mrouted/DVMRP [7] ルータソフトウェアのためのパッケージに含まれているものがある。mrouted とは、UNIX でのマルチキャスト経路制御プロトコルの実装である。また、その他にも数種類が開発、配布されている。本節でそれらのシステムの概要を述べる。

3.2.1 mrouted パッケージのツール

mrouted 付随のツールを表 3.1 にまとめた。これらのツールは、Mbone [1] の運用に有効に使われてきた。それぞれ、mrouted を改変することにより、実装されている。

表 3.1: mrouted 付随ツール

ツール名	機能
mrinfo	IGMP メッセージを用いて、リモートのルータの設定を表示する 。
mtrace	IGMP メッセージの拡張を用いて、あるマルチキャストパケットの受信者から その送信者までの経路を表示する。
map-mbone	mrouted が動作しているルータを隣接するものから順に辿っていき、表示していく。

以下に mtrace の実行例を示す。あるマルチキャストグループに参加しているホストで実行する。

図 3.1: mtrace 実行例

```
%mtrace 192.168.1.1
```

mtrace の実行には、マルチキャスト送信元アドレスを指定する必要がある。そのホストが参加しているマルチキャストグループの配送経路を見ることができる。

図 3.2: mtrace 実行結果例

```
Mtrace from 192.168.1.1 to 192.168.3.2 via group 224.2.0.1
Querying full reverse path...
  0  gios4-fxp0.hakoniwa.soi.wide.ad.jp (192.168.3.2)
 -1  gios2-fxp0.hakoniwa.soi.wide.ad.jp (192.168.3.1)  DVMRP  thresh^ 1
 -2  gios1.hakoniwa.soi.wide.ad.jp (192.168.1.1)
Round trip time 0 ms

Waiting to accumulate statistics... Results after 10 seconds:

  Source        Response Dest    Packet Statistics For   Only For Traffic
192.168.1.1     192.168.3.2      All Multicast Traffic   From 192.168.1.1
     v       __/  rtt    0 ms    Lost/Sent = Pct  Rate       To 224.2.0.1
192.168.1.2
192.168.3.1     gios2-fxp0.hakoniwa.soi.wide.ad.jp
     v      \__   ttl    1          1       0 pps       0            0 pps
192.168.3.2     192.168.3.2
  Receiver      Query Source
```

上記のように、マルチキャスト送信元から、マルチキャストグループに参加しているある受信者への配送経路を辿ることができる。しかし、ネットワーク全体の配送経路を把握することはできない。また、特定の受信者から、送信元への配送経路のみしかわからない。

3.2.2 mrouted パッケージ以外のツール

以下に、mrouted パッケージ付随のツール以外で、現在使用できるツールについて述べる。

MultiMON

アプリケーションのタイプ別に、マルチキャストトラフィックを分類して視覚的に表示する。また、個々のセッションについての情報を表示する。

MantaRay

mtrace,mrinfo の出力結果をグラフィカルに表現する。Mbone でのルータの設定誤りや、障害を見つけることを目的としている。

Mantra(Monitor and Analysis of Traffic in Multicast Routers)

マルチキャストトラフィックやマルチキャストルータのプロトコルメッセージを監視するシステムである。具体的には、MBGP [8],MSDP [9] のプロトコルメッセージ、セッション毎のマルチキャストトラフィックを監視する。一週間、一月、一日と異なったスケールでデータを見られる。

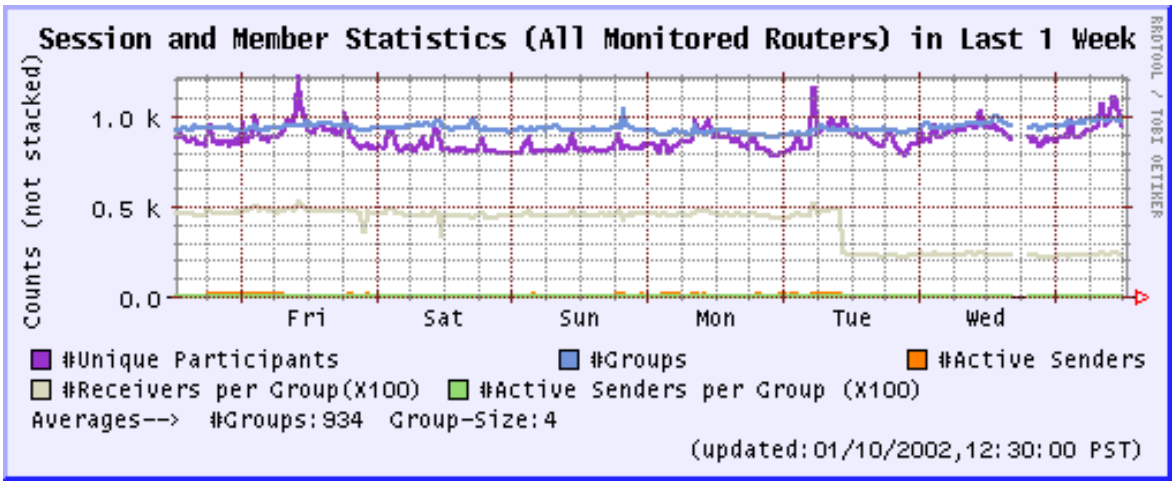


図 3.3: Mantra の例

Mlisten(Mbone Collection Tool)

RTCP [13] データやセッションアナウンスのメッセージを解析して、マルチキャストネットワークのメンバーシップ情報を収集および処理する。グループへの参加や離脱の統計情報や、コネクション時間、マルチキャストツリーの規模に関する情報を得られる。

RM(Route Monitor)

DVMRP ルータで、Route Update メッセージを監視して、それを一箇所に集め解析する。これにより、ネットワーク内で経路制御による経路のエントリーの追加、削除の推移や経路情報の安定性を見られる。

3.2.3 既存ツールの限界

本節で述べたツールの機能を表 3.2 にまとめる。

表 3.2: マルチキャストツール機能比較表

Tool	データ対象	監視対象	監視時間	出力方法
MantaRay	他のツール	トラフィック量	online	GUI
Mantra	ルータ	トラフィック量 プロトコルメッセージ セッション	online historic	ファイル GUI
Mlisten	アプリケーション	セッション	online historic	ファイル GUI
Mtrace	ルータ	送信者からある受信者への 配送経路	online	テキスト
Mrinfo	ルータ SNMP	ルータの設定	oneline	テキスト
MultiMon	ルータ アプリケーション	トラフィック量	online historic	GUI
RM	ルータ 他のツール	トラフィック量	online historic	ファイル

マルチキャストネットワークの運用には、配送木全体を監視する仕組みが必要となる。その理由は、ネットワーク内の経路が、経路の迂回・断絶のみならず、グループへの参加・離脱などによって生じるからである。表 3.2 に挙げたツールはネットワークの一部を監視するものが主である。これらのツールを使用しても、ネットワークの局所的な問題しか発見できず、ネットワーク全体の障害に対して、適切な処理を行なえない。障害に適切に対処するためには、これらのツールに加えて、マルチキャスト経路制御プロトコルの動作に注目し、ネットワーク全体でのトラフィックの配送経路を把握できるシステムが必要となる。マルチキャストルータは一つのインターフェイスからパケットを受信し、複数のインターフェイスからパケットを送信する。そのため、一般に管理対象となる経路は複数になる。

また、これらのツールは、mrouted/DVMRP のみに対応したものが多く、現在主流になりつつある PIM-SM などの新しい経路制御プロトコルにに対して適用できない。現在のところ、IPv6 のマルチキャストを支援するシステムは存在しない。

第4章　本研究における提案

本章では、マルチキャストネットワークの運用に関して、本研究で注目した点を述べる。その注目点の特徴を述べる。本研究での注目点を踏まえて、マルチキャストネットワークの運用を支援するシステムの提案を行なう。

4.1　本研究での注目点

本研究では、マルチキャストネットワークを導入、運用していくうえで配送経路の管理に注目した。本節では、配送経路の特徴を述べ、マルチキャストネットワーク運用に関して注目した点について述べる。

4.1.1　配送経路の特徴

マルチキャストネットワーク運用上重要であると本研究で考えた、配送経路には以下のような特徴がある。

- ユニキャスト経路制御プロトコルでは、各ルータには同じ経路表が作成される。しかし、マルチキャストネットワークでは、どの経路制御プロトコルを用いた場合も、各ルータでは異なる経路表が作成され、配送経路も異なる。
- ネットワークトポロジーの変化だけでなく、グループに参加・離脱するメンバーにより、配送経路が頻繁に変化する。またとくに、PIM-SM の場合では、初期状態では、RP を定めた共有木の形態をとるが、トラフィックがある閾値を越えた場合、送信元配送木に変化するという特徴がある。配送木の種類が変化すると、当然配送経路も変化する。
- マルチキャストでは、ルータでパケットが複製されて、複数の経路へ転送される。ひとつのマルチキャストパケットの配送経路はネットワーク内の複数の経路となる。そのため、監視対象が複数となる。
- 共有木を形成する経路制御プロトコルを用いた場合、根の位置により、同一の経路に重複したトラフィックが配送され、帯域を無駄に消費してしまう場合がある。しかし、ネットワーク設計の段階で、最適な根を決定するのは不可能である。定常的にマルチキャストの配送経路を監視しておき、共有木の根を把握しておく必要がある。

4.1.2　マルチキャストネットワーク運用に関する注目点

マルチキャストパケットの配送は、マルチキャスト経路制御プロトコルにより、ネットワーク内に形成された配送木の沿って行なわれる。そこで、本研究では、マルチキャストネット

ワーク運用で、アプリケーション、マルチキャストグループの推移などより、パケットを配送する経路に注目する。アプリケーション、マルチキャストグループを監視していても、マルチキャストパケットが受信できなくなった等の障害が起きた場合、適切に問題を発見、解決できない。配送経路を把握することにより、障害の発見、マルチキャストネットワークの監視を適切に行える。

ルータは、マルチキャストパケットを複数のインターフェイスから同時に送信する。そのため、監視する対象は複数となる。また、配送木はネットワーク全体に渡って形成されるので、管理するネットワーク全体を監視する必要がある。

4.2 システムの提案

上記注目点を踏まえて、本研究では、以下の項目を備えたシステム提案し、マルチキャストネットワークにおいて配送経路を管理できるようにする。以下に、提案する機能とその理由を述べる。

- 配送木を視覚化
- ネットワークの一元的な管理を実現
- 配送木を時系列表示
- 多くの経路制御プロトコルに対応した汎用的な機構の実現

4.2.1 配送木を視覚化

マルチキャストルータにより、作られる配送木を視覚化する。配送木は、ネットワーク全体に渡り、ルータにより形成されるので、管理しているネットワークの配送木全体を視覚し、配送木の形態をわかりやすく明示する。これにより、ネットワーク全体でマルチキャストパケットがどこまで流れているか、また流れてないかも把握することを可能とする。

4.2.2 ネットワークの一元的な管理

マルチキャストネットワークでは、あるルータが持つ一部の情報からだけでは、ネットワークの状態ならびに、経路制御の不具合を発見することはできない。そこで、本研究では、ネットワーク内のすべてのマルチキャストルータを監視する。トラフィックの配送はルータで経路表のエントリが生成されて始めて転送され、エントリが消滅すると配送されなくなる。そこで、本研究では、ネットワーク内の全ルータの経路情報を監視する。

4.2.3 配送木を時系列表示

配送木を視覚化し、配送経路図を作成し、その配送経路図を後々辿れるようにする。配送木の変遷を辿ることで、マルチキャストトラフィックの転送開始、停止を辿ることができる。また、配送木を形成する経路制御プロトコルの動作ならびに、実装がプロトコル通り動作しているかを確認できる。

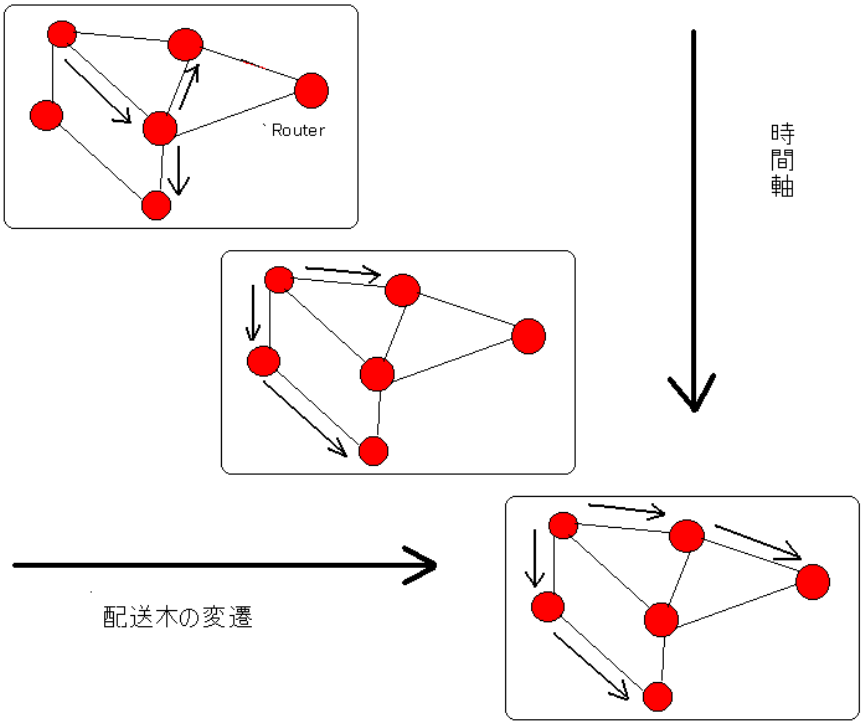


図 4.1: 配送経路の変遷を表示

図 4.1 は、提案するシステムで、配送木を時系列で表示する概観を示している。配送木を時系列に表示されると、経路制御プロトコル、参加するメンバーなどの多くのマルチキャストネットワーク管理にとって重要な情報を確認することができる。

4.2.4 多くの経路制御プロトコルに対応した汎用的な機構の実現

マルチキャスト経路制御プロトコルの基本機能に注目し、IPv4,IPv6 問わず、多くのマルチキャスト経路制御プロトコルに対応した運用・導入を支援するシステムを提案する。また、新しいプロトコルに対して用いる場合、そのプロトコル用のモジュールを追加できるシステムを実現する。これにより、本システムは将来的な拡張性を備え、ネットワーク管理者は運用に常に同じシステムを利用することができ、マルチキャストネットワークの管理コストを低減できる。

4.3 システムの機能

本研究で提案するシステムの機能を以下にまとめる。

- マルチキャストトラフィックの経路を確認できる

—-配送木が視覚されているため、配送木の構造を把握し、マルチキャストトラフィックの経路を確認できる。

- 各マルチキャスト経路制御の動作、ならびに実装を評価できる
  —-マルチキャストルータの動作ならびにプロトコルの流れはルータで形成される配送木の構造に注目することにより確認できる。時系列に配送木の変遷を把握することにより、ネットワーク内の経路制御プロトコルならびに、実装の動作を確認できる。また、使用するネットワークでの、各マルチキャスト経路制御の動作を比較検証することができる。

- 汎用的なマルチキャスト運用システムを構築する
  —-IPv6 の実装ならび、現在、IETF で議論されている SSM(Source Specific Multicast) [14] など新しいプロトコル、また多くの経路制御プロトコルが動作したネットワークで使用することができる。

第5章　システムの設計

本システムでは、マルチキャストネットワークにおける配送木の構造を把握し、マルチキャストパケットの配送経路を表示する。これにより、ネットワーク管理者が、マルチキャストルータの設定、動作の確認や検討をすることができる。本章では、システムの設計について述べる。

5.1　設計目標

本システムは経路制御プロトコルにより作られた配送木の構造を把握し、マルチキャストパケットの配送経路を表示する。そのために、以下の機能が必要である。

- ルータの情報収集
- 配送経路の表示
- 描画した配送経路図の管理

5.2　システム構成

本システムにより、ルータの情報を収集し、配送経路を表示し、また描画した配送経路図を管理するために、以下のモジュールが必要であると考える。これらのモジュールを使い、ルータ内部情報を収集し、配送経路図を生成する。

- ルータ内部情報収集モジュール
- 配送経路データベースモジュール
- 配送経路表示モジュール

また、各モジュール間でやり取りするメッセージを、通信メッセージとする。通信メッセージにより、各モジュールのパラメータを送信し合う。以下の節で各モジュールの設計を述べる。

5.3　通信メッセージ

ルータ内部情報収集モジュールは、利用者より命令メッセージを受信することにより、マルチキャストルータ内部の情報の収集を行なう。また、ルータ内部情報収集モジュールは、更新メッセージを使い、収集したデータを配送経路データベースモジュールに送信する。

5.3.1 命令メッセージ

命令メッセージのフォーマットを、図 5.1 に示す。命令メッセージはシステム起動時に、ルータ内部情報収集モジュールに送信される。命令メッセージは、ルータ内部情報収集モジュールにパラメータを送信する。ルータ内部情報収集モジュールは、パラメータに従い、ルータの監視を行い、異常があった場合、更新メッセージを送信する。

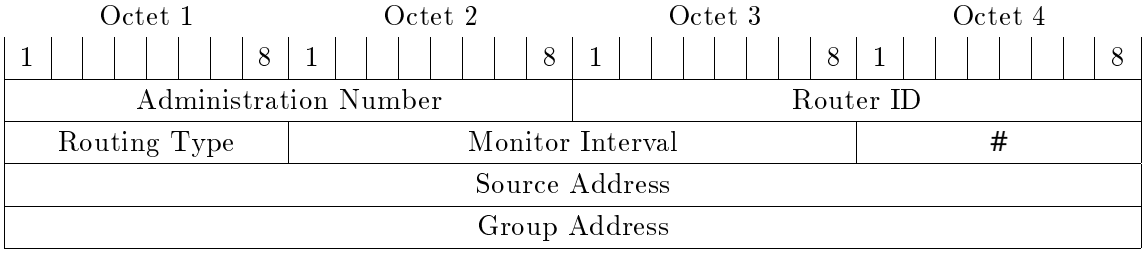


図 5.1: 命令メッセージ

- 管理番号 (Administrator Number)
  —配送経路図を管理するための番号
- ルータ ID(Router ID)
  —監視するルータの識別番号
- ルーティングタイプ (Routing Type)
  —監視するマルチキャストルーティンデーモンの種類。
- インターバル (Monitor Interval)
  —ルータを監視する間隔
- マルチキャスト送信元アドレス (Source Address)
  —マルチキャストを送信するホストの IP アドレス。送信元アドレスとは、監視するルータの経路表の Source Address のエントリを指す。
- グループアドレス (Group Address)
  —監視するマルチキャスト経路表のグループアドレス

5.3.2 更新メッセージ

ルータ内部情報収集モジュールは命令メッセージによりルータの監視を行い、状態の変化があった場合、更新メッセージを送信する。更新メッセージを配送経路表示モジュールに送信し、配送経路表示モジュールはそれに従い、配送経路図を描き、配送経路図を管理する。図 5.2 に更新メッセージのパケットフォーマットを示す。

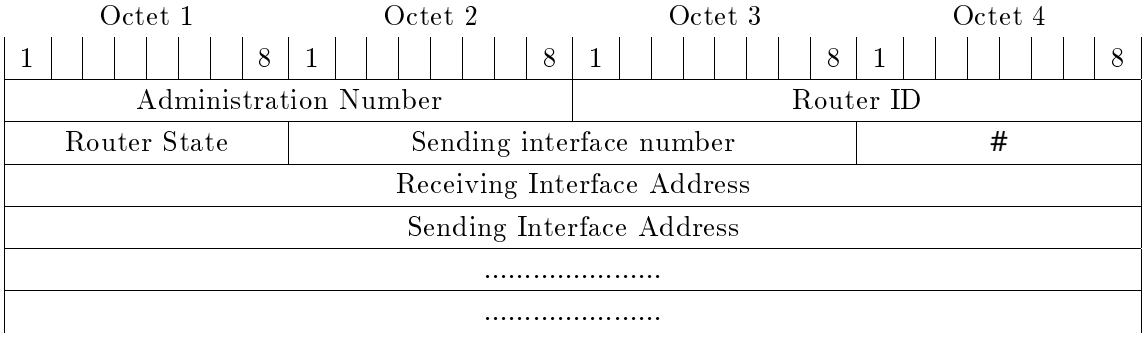


図 5.2: 更新メッセージ

- 管理番号 (Administrator Number)
  —配送経路図を管理するための番号
- ルータ ID(Router ID)
  —更新メッセージを送ってきたルータを識別するための番号
- ステータス (Router State)
  —マルチキャストルータの状態。通常は 1 で、マルチキャストルーティングデーモンに異常があった場合、0 となる。また、RP となっている場合、2、DR となっている場合は 3 を示す。
  (Register メッセージを受信している場合、RP のルータとする。Register メッセージを送信ルータを DR とする。)
- 受信インターフェイスアドレス (Receiving Interface Address)
  —マルチキャストパケットを受信したインターフェイス
- 送信インターフェイス数 (Sending Interface Address number)
  —マルチキャストルータがパケットを転送するインターフェイス数。
- 送信インターフェイスアドレス (Sending Interface Address)
  —マルチキャストパケットを転送しているインターフェイスのアドレスリスト。

更新メッセージにより、配送経路データベースで管理している。ルータの経路が変更される。

5.4 ルータ内部情報収集モジュール

本節で、ルータ内部情報収集モジュールの設計について述べる。ルータ内部情報収集モジュールの機能として、以下のものがある。

- マルチキャストルータの監視
- 配送経路データベースへのルータ情報の格納

以下の節で詳細を述べる。

5.4.1 マルチキャストルータの監視

経路情報収集モジュールはマルチキャストルータから以下の情報を監視する。

- マルチキャストルータの経路情報
- ルーティングデーモンの状態
- PIM-SM 内部情報

マルチキャストルータの経路情報

本システムでは、ルータの経路表でグループアドレスと送信元アドレスをキーとして受信インターフェイス、送信インターフェイスを調べる。配送経路表示部には、マルチキャストパケットの受信インターフェイスアドレス、送信インターフェイスアドレスを送信する。これにより、送信者、グループ毎に作られる送信元配送木、グループ毎に作られる共有木の配送木の構造を把握する。

ルーティングデーモンの状態

ルーティングデーモンが起動していないと、マルチキャストパケットは転送されない。そこで、ルーティングデーモンが動作していなかったという障害をすばやく発見するために、監視対象に指定したルータで、ルーティングデーモンが停止している場合、更新メッセージを使い、配送経路表示部に知らせる。

PIM-SM 内部情報

本研究では、PIM Register メッセージの流れを表示する。具体的には、PIM-SM ルータの内部情報を取得し、Register メッセージを送信・受信しているインターフェイスの IP アドレスを明示化する。Register メッセージとは、マルチキャスト送信者に接続するルータ (DR) がマルチキャストパケットを RP までユニキャストでカプセル化して送信するメッセージである。

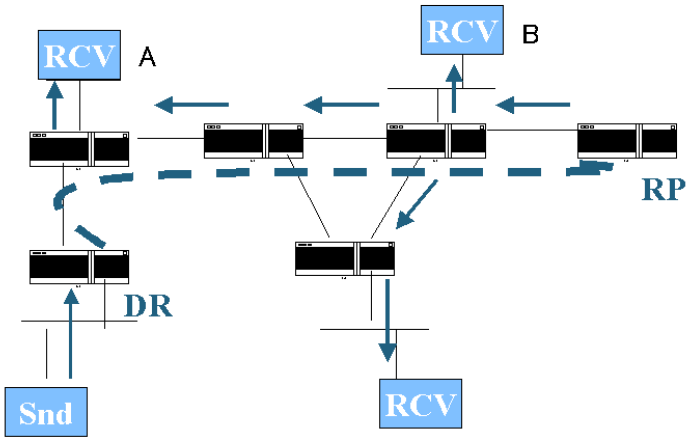


図 5.3: PIM-SM での Register メッセージの例

図 5.3 は Register メッセージの流れの例である。矢印はマルチキャストパケットの流れを示す。点線は DR から RP へ転送される Register メッセージを意味する。

PIM-SM では、PIM Register メッセージをユニキャストで送信しているので、マルチキャストパケットの転送経路を図示しただけではネットワーク上でのマルチキャストパケットの転送経路や、経路制御プロトコルの動作全てを表すことはできない。PIM Register メッセージにより、ユニキャストにカプセル化されるマルチキャストパケットも実質的には、マルチキャストパケットである。マルチキャストの配送経路をすべて把握するためには、Register メッセージの経路も把握する必要がある。

5.4.2 収集方法

本節では、ルータ内部情報収集モジュールが情報収集する方法を述べる。

使用者はまず、管理するルータとセッション (グループアドレス)、管理番号、ルーティングデーモンなどのパラメータを指定する。使用者が指定したパラメータは、図 5.1 のパケットフォーマットの命令メッセージに埋め込まれる。マルチキャストルータの内部情報収集モジュールに接続し、命令メッセージを送信する。図 5.4 は、マルチキャストネットワークで各ルータへ命令メッセージが送信されている様子を示す。命令メッセージは、管理する経路制御ドメインのすべてのルータに対して転送される。ルータ内部情報収集モジュールでは以降、その命令メッセージの内容より、ルータを監視するようになる。

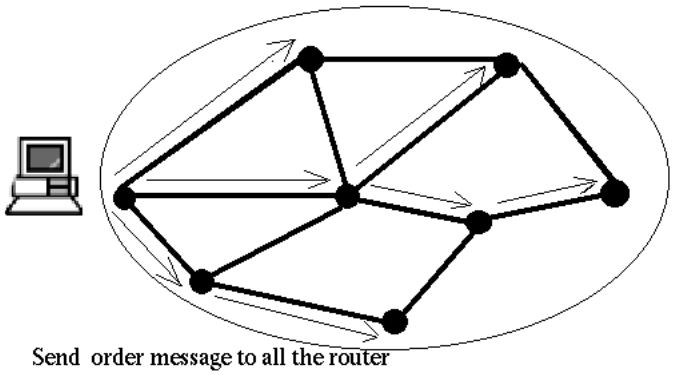


図 5.4: システム概要その 1

命令を受けたルータ内部情報収集モジュールは、経路表を定期的に監視し、指定されたマルチキャスト経路表のエントリーを定期的に検索する。そこで、ルータ内部情報収集モジュールはセッションの経路に変化があった場合のみ、配送経路データベースモジュールに接続し、更新メッセージを送信する。

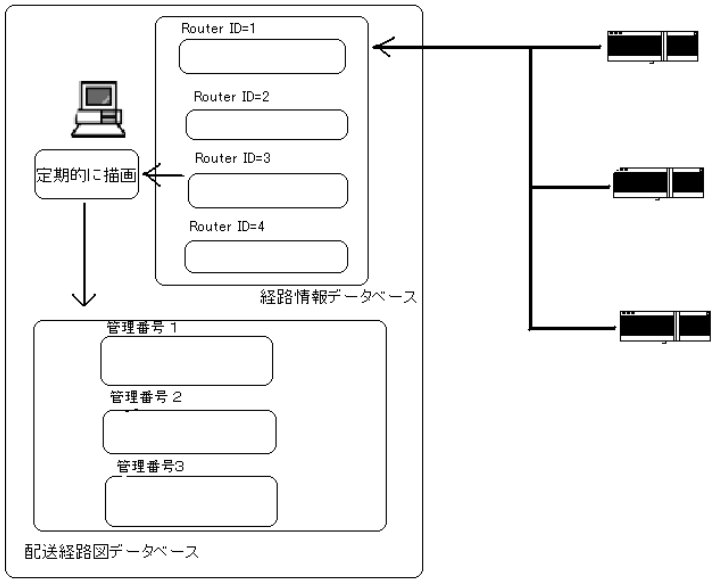
5.5 配送経路データベースモジュール

経路情報データベースモジュールは以下の二つのデータベースの管理を行う。ルータからの更新メッセージは、配送経路図データベースモジュールの経路情報データベースに送信され、ルータ経路情報が格納される。また、描かれた配送経路図は配送経路図データベースに格納される。

- 経路情報データベース
  —-最新の経路情報
- 配送経路図データベース
  —- 過去に描いた配送経路図

以下に、システム全体における配送経路データベースモジュールの概観を示す。

図 5.5: 配送経路データベースモジュール



5.5.1 経路情報データベース

経路情報データベースには、管理するルータの最新の経路情報が記録される。経路情報とは、送信インターフェイスアドレスと受信インターフェイスアドレスである。各ルータで監視するセッションの経路に変化があった場合、ルータ内部情報収集モジュールが更新メッセージを送信する。更新メッセージにより、データベースの経路情報が更新される。経路情報データベースは、更新メッセージの管理番号を調べ、該当する ID を持つルータの送信、受信のインターフェイスアドレスを変更する。データベースには、各ルータの最新の経路情報のみが存在する。

5.5.2 配送経路図データベース

経路情報データベースの情報を用いて、配送経路図表示モジュールが配送経路図を描く。配送経路図データベースでは、配送経路図が管理番号で管理されている。配送経路図データベースにより、利用者は管理番号を指定することで、配送経路図を閲覧できる。

更新メッセージが経路情報データベースに送信されると、その後に描く配送経路図にフラグ

を立てる。フラグがたてられた配送経路図は、配送木に変化があったことを意味する。利用者は、配送経路図データベースに納められた、フラグがたてられた配送経路図を辿ることで、配送木の変遷を辿ることができる。

5.6 配送経路表示モジュール

本節では、配送経路表示モジュールの設計について述べる。

5.6.1 表示内容

配送経路表示モジュールでは以下のものを表示する。

- マルチキャストルータの経路の表示
- PIM-SM 内部情報の表示
- ルーティングデーモンの状態
- 時刻

マルチキャストルータの表示

全てのマルチキャスト経路制御プロトコルは、RPF(Reverse Path Forwarding) チェックにより、送られてくるマルチキャストパケットを転送するかどうかを決定する。マルチキャストパケットがルータに届いた場合、ルータはパケットの RPF チェックを行う。RPF チェックにより、マルチキャスト転送エントリーの受信インターフェイスがそのエントリの送信インターフェイスになることは禁止される。これにより、ネットワーク内でマルチキャストパケットがループされて配送されるのを防ぐ。

ルータでマルチキャストパケットを転送する場合、マルチキャストパケットを受信するインターフェイスはひとつだが、送信するインターフェイスは複数となる。本システムでは、ルータの機能を 「四角」で抽象化し、受信するインターフェイスと送信するインターフェイスを 「矢印」で図示する。これにより、配送経路を視覚化する。 「矢印」はパケットが受信されるインターフェイスの場合、ルータの方向を指しており、パケットが送信される場合はルータから外部を指す。

PIM-SM の内部情報の表示

PIM-SM のルータより Register メッセージを送信・受信しているインターフェイスのアドレスを取得し、PIM Register メッセージの流れを、マルチキャストパケットの転送と同様に、 「矢印」で表示する。また、Register メッセージを送信しているルータを DR と表示する。Register メッセージを受信しているルータは RP と表示する。

ルーティングデーモンの状態

ルーティングデーモンが正常に起動しているか確認するため、監視しているルーティングデーモンが起動していない場合のみ、" down" と表示する。

時刻

配送経路表示モジュールが配送経路図を作成する時刻を配送経路図に書きこむ。また、実際、配送経路図を作成した時刻は記憶され、後々その時刻をキーにして、配送経路図を辿ることができる。

5.6.2 表示方法

配送経路表示モジュールの表示方法の設計について述べる。以下の要素の表示方法の設計について述べる。

- トポロジーの表示
- 表示インターフェイス
- 時系列に表示
- 配送経路の変遷を明確に表示

トポロジーの表示

本システムでは、ネットワークトポロジ図は動的には生成しない。あらかじめネットワークトポロジ図は与えられるものとする。与えられたトポロジ図に対して配送経路を書き込む。

表示インターフェイス

生成された配送経路図は WEB インターフェイスから CGI(Common Gateway Interface) よりアクセスできることにする。また、配送経路図は管理番号、時刻等により選択することができる。

時系列表示

トラフィックの配送経路図を時系列に表示することにより、ネットワーク内のマルチキャストパケットの流れを表示する。一定間隔で、マルチキャストグループの配送木を表示する。表示する際、時刻を書き込む。

配送経路の変遷の表示

一定間隔で配送経路を表示した場合、膨大な量の図が生成される。その場合、配送経路の変遷を正確にたどるのは困難である。本システムでは更新メッセージが来た時に、配送経路図表

示データベースにフラグを設定する機能をつけた。フラグが設定された配送経路図はネットワーク内のルータで指定された経路が変化した場合の図である。フラグが設定された配送経路図を見ると、配送経路の変遷を後々たどることができる。経路制御プロトコルの動作、受信者の参加 ・離脱を容易に確認、検証することができる。

5.7 設計のまとめ

本節で、本章で述べた設計をまとめる。
本システムで監視するものを以下にまとめる。

- マルチキャスト経路表
- PIM-SM 内部情報
- マルチキャストルーティングデーモンの存在

本システムで、表示している配送経路図には以下の情報がある。

- マルチキャストパケットを送信、受信しているインターフェイス
- Register メッセージの流れ
- DR,RP の位置
- 時刻

あらかじめトポロジ図は与えられたものを使用する。配送経路図は、定期的に描画され、WEB インターフェイスから時系列に辿ることができる。また、管理ネットワークで、マルチキャストグループの経路に変化があった場合の配送経路図のみを時系列に辿ることもできる。

第6章　システムの実装

6.1　概要

本システムは、PC ルータ上で実装を行なった。今回は、IPv6 のマルチキャストルーティングデーモンに対応した実装のみを行った。また全体のプログラムは、ルータ部、配送経路表示部 (サーバ) に分かれる。システムの概要を表 6.2 に示す。

表 6.1: 全体概要

プログラム名	機能	動作するマシン	実装環境
mdraw	配送経路表示 経路情報データベース	サーバ	FreeBSD4.3Release
mlog	ルータ監視 更新メッセージ送信	ルータ	NetBSD1.5.2Release

6.2　通信メッセージの実装

mdraw は起動すると、mlog に命令メッセージを送信する。mlog は mdraw からの命令メッセージをパラメータとして、動作を開始する。mlog はルータの内部情報に異常があった場合、更新メッセージを mdraw に対して送信する。

以下に、命令メッセージ、更新メッセージの実装を示す。

図 6.1: 命令メッセージ構造体

```
 struct morder {
u_short num;
u_short router_id;
u_char mrouter_type;
u_short interval;
struct in6_addr source;
struct in6_addr group;
};

#define PIM6SD 0x11
#define PIM6DD 0x12
.............
.............
```

構造体の要素は、図 5.1 で示した。定義したマクロは、ルーティングデーモンの種類を表す。

図 6.2: 更新メッセージ構造体

```
struct mupdate{
u_short num;
u_shot router_id;
u_char mstate;
u_short outnum;
struct in6_addr in;
struct in6_addr out[1];
};

#define DEAD 0
#define NORMAL 1
#define RP 2
#define DR 3
```

構造体の要素は、図 5.2 で示した。定義したマクロは、ルータの現在の状況を示す。ルーティングデーモンが動作していない場合、更新メッセージに DEAD を使用する。通常に起動していれば、NORMAL を使用する。また、PIM-SM で経路制御を行なっており、ルータが DR、RP になった場合に、更新メッセージに DR、RP を使用する。

6.3 mlog

mlog は、mdraw から送信された命令メッセージに従い、グループアドレスの経路表や、マルチキャストルーティングデーモンのプロセスを監視する。経路表が変わった場合や、プロセスに異常が発生した場合、mdraw に更新メッセージを送信する。

6.3.1 起動方法

利用者が mdraw を起動することにより、ルータの inetd に登録されている mlog にコネクションを張る。mlog は、inetd デーモンプログラムから呼び出される。

mlog は mdraw から受け取ったメッセージをパラメーターとして、デーモンプロセスとして、指定されたセッションの経路、マルチキャストルーティングソフトウェアのプロセスを監視する。

6.3.2 マルチキャスト経路表の監視

BSD Unix では以下のようなマルチキャスト経路表が構成される。

```
Virtual Interface Table
 Vif  Thresh  Limit  Local-Address    Remote-Address   Pkt_in  Pkt_out
   0       1      0  192.168.3.1                            0        0
   1       1      0  192.168.1.2                            0        0

Multicast Forwarding Cache is empty


IPv6 Multicast Interface Table
 Mif   Rate   PhyIF   Pkts-In   Pkts-Out
   0      0    fxp0         0        371
   1      0    fxp1       372          0
   3      0    reg0         0        286

IPv6 Multicast Forwarding Cache
 Origin                          Group        Packets Waits In-Mif  Out-Mifs
 3ffe:501:100c:b001::1000        ff05::1      371     0       1       0 3
```

図 6.3: BSD Unix のマルチキャスト経路表

本研究では、ルータのカーネル内の経路情報を netstat コマンドより取得する。これより、すべてのマルチキャスト経路制御プロトコルに対して使用可能なシステムを実装した。

6.3.3 PIM-SM 内部情報の取得方法

PIM-SM 内部情報として、Register メッセージを送信 ･受信するインターフェイスを明示する。本システムでは、pim6sd に内部情報を取得する関数を追加した。pim6sd に SIGUSR2 を送ると、Register メッセージを送信 ･受信しているインターフェイスのアドレスを表示するようにした。図 6.4 が追加した関数である。

図 6.4: dump_reg 関数

```
void dump_reg(fp)
FILE *fp;
{
vifi_t vifi;
register struct uvif *v;
struct phaddr *pa;
char *cp;
for(vifi=0,v=uvifs;vifi< numbifs; ++vifi,++v)
{
for(pa=v->uv_addrs;pa;pa=pa->pa_next)
{
if(v->uv_flags & MIFF_REGISTER){
  inet_ntop(AF_INET6,&pa->pa_addr.sin6_addr,cp,INET6_ADDRSTRLEN);
  fprintf(fp,"%s",cp);
}
}
}
fclose(fp);
}
```

構造体 uvif は,pim6sd の実装では、仮想インターフェイスの情報をリスト構造で保持している。また、構造体 phaddr は、物理的なインターフェイスの情報をリスト構造で保持している。Register メッセージを送信または、受信しているインターフェイスでは、MIFF_REGISTER フラグが立てられる。ルータで生成されている全ての仮想インターフェイスの情報リストを探索し、その中で MIFF_REGISTER フラグがたっているインターフェイスの物理的アドレスを線形探索する。これにより、Register メッセージを送信、または受信しているインターフェイスのアドレスを取得する。

mlog では、マルチキャストパケットの転送がインターフェイスが reg インターフェイスになっていた場合、pim6sd にシグナル USR2 を送り、reg インターフェイスの物理的なアドレスを取得する。

6.4 mdraw

mdraw は、命令メッセージの送信、配送経路図を作成、更新メッセージの受信、作成した配送経路図の管理を行なう。

6.4.1 mdraw 実装概要

コマンドラインから起動される。起動すると、設定ファイルを読む。設定ファイルのデータを図 5.1 の構造体に従って、各ルータに命令メッセージを送信する。以降、親プロセスは指定された間隔で配送経路図を描く。子プロセスは、ルータからの更新メッセージを待つ。ルータから更新メッセージを受信した場合、管理番号で管理されているデータファイルの中で、ルータ ID で指定されたルータの経路情報を更新する。その経路情報をもとに、与えられたトポロジ図に、配送経路を書き込む。

6.4.2 設定ファイル

設定ファイルには、以下表 6.2, 図 6.4.2 のようになる。

表 6.2: 設定ファイルに必要な項目

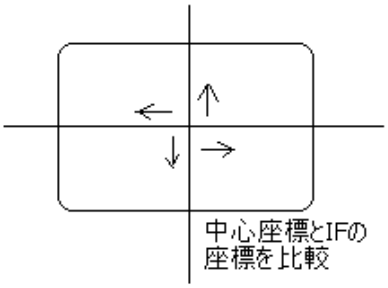
識別番号
トポロジー図
配送経路図を保存するディレクトリ
グループアドレス
送信元アドレス
ルータを監視するインターバル
ルーティングデーモン
ルータ名 :ルータ中心座標 インターフェイスアドレス :インターフェイスの中心座標
……

```
id=100
drawing /usr/home/takeshi/public_html/hoge.png
save /usr/home/takeshi/public_html/new
group ff05::1
source 3ffe:501:100c:b006::1
interval 20
mrouter pim6sd

router,R3,306,236
3ffe:501:100c:b003::2,303,257
3ffe:501:100c:b002::2,303,215

router,R1,97,141
3ffe:501:100c:b002::1,103,163
3ffe:501:100c:b001::1,105,121

router,R2,303,139
3ffe:501:100c:b003::1,303,164
3ffe:501:100c:b001::1,299,118
```

図 6.5: 実際の設定ファイル

6.4.3 配送経路表示モジュールの実装

配送経路表示は、設定ファイルで指定されたトポロジー図に対して、書き込みを行なう。マルチキャストパケットの流れは、赤い矢印で描く。黒い矢印は、Register メッセージの流れを意味する。ただし、Register メッセージはユニキャストであるので、本システムでは途中経路までは表示しない。Register メッセージを送信しているインターフェイス、受信しているインターフェイスのみを視覚化する。図 6.4.3 のように、設定ファイルに書かれた各インターフェイスの座標と、ルータの中心座標を比較して矢印を書く。送信の場合、インターフェイスの座標より、ルータの中心から外へ矢印を表示する。受信の場合、インターフェイスの座標より、ルータの中心に向かって矢印を書く。



描画ライブラリには、gd-1.8.4 ライブラリ [16] を利用した。本システムでは、gd ライブラリを使用して、与えられたトポロジ図にマルチキャストルータの情報を書き込む。

6.4.4 表示インターフェイスの実装

WEB の CGI を通して、過去に描画した図、ならびにネットワークの配送木の変遷を示した図を見ることができる。配送経路図は、管理番号、ならびに時間で管理されている。利用者はまず管理番号を指定し、見たいセッションの配送経路図を指定する。また、図 6.6 にあるように、”from” と”to” の項目に時間範囲を指定することで、時刻指定して配送経路を見ることができる。また、ネットワーク内の配送経路に変化があった場合のみの配送経路図を辿ることができる。

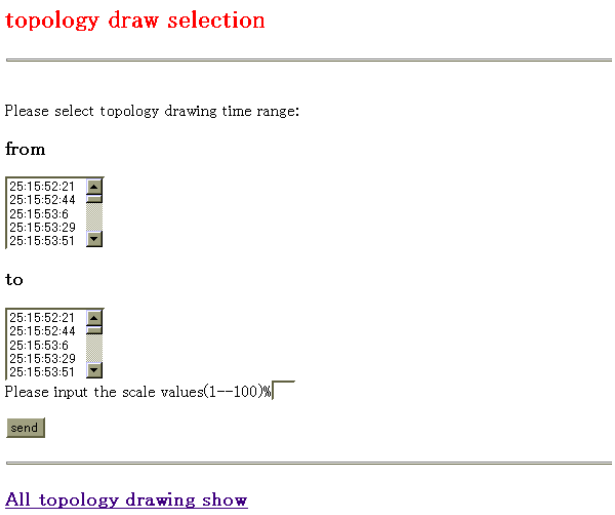


図 6.6: 表示インターフェイス 1

図 6.7 は、配送木の変遷を示した WEB ページである。ネットワーク内で、指定されたマルチキャストグループの経路が変わった場合のみの配送経路図を表示している。本システムでは、WEB ページを介して見ていくことで、配送経路の変遷を時系列に見ることができる。これにより、時系列に配送木の変化、マルチキャストグループの変化、マルチキャスト経路制御プロトコルの動作を確認することができる。

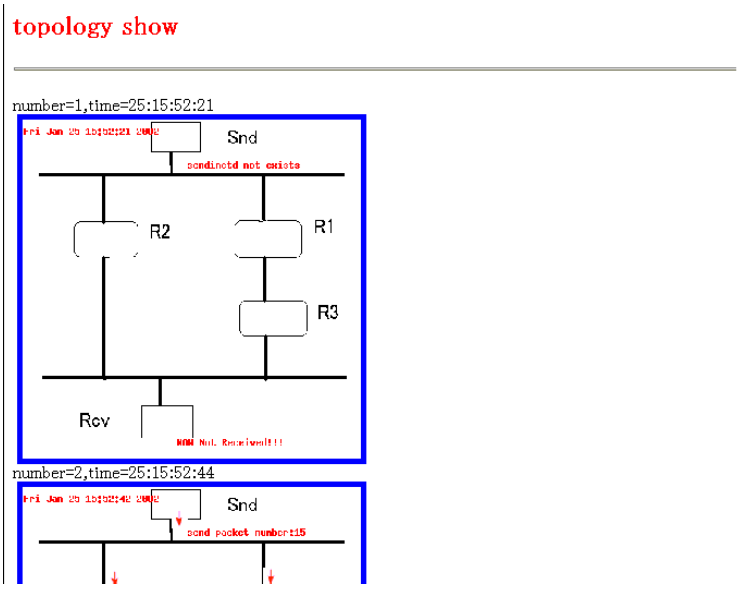


図 6.7: 表示インターフェイス 2

第7章　システムの評価

本章では、本システムの性能評価を行なう。評価はテストベッド上で行った。実装したシステムをテストベット上で評価を行い、システムの有効性を述べる。また、構築したテストベッドの詳細についても述べる。

7.1　評価環境

7.1.1　ネットワーク環境

PC をルータとして、以下のトポロジのネットワークを構築した。この上で、本システムの評価を行なった。

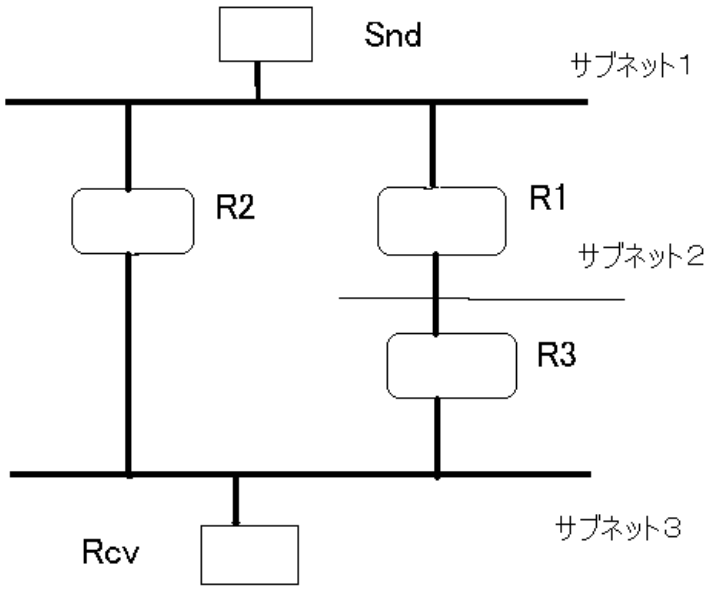


図 7.1: 実験トポロジー図

表 7.1: 実験ネットワークアドレス割り当て表

サブネット 1	3ffe:501:100c:b001::/64
Sender	3ffe:501:100c:b001::1000
R1(fxp1)	3ffe:501:100c:b001::1
R2(fxp1)	3ffe:501:100c:b001::2
サブネット 2	3ffe:501:100c:b002::/64
R1(fxp0)	3ffe:501:100c:b002::1
R3(fxp1)	3ffe:501:100c:b002::2
サブネット 3	3ffe:501:100c:b003::/64
Receiver	3ffe:501:100c:b003::3
R2(fxp0)	3ffe:501:100c:b003::1
R3(fxp0)	3ffe:501:100c:b003::2

このネットワークは以下のように設計した。

- マルチキャストの送信者と受信者がそれぞれ一つずつ存在する。
- IPv6 のネットワークで、ユニキャストは Ripng で経路制御を行う。
- 送信者、受信者が位置するサブネットワークは複数のルータが存在するブロードキャスト型のリンクである。
- PIM-SM でマルチキャスト経路制御を行う。

このような特徴を有するネットワーク環境を構築した理由を述べる。

- 受信者が存在するサブネット 3、送信者が存在するサブネット 1 はともに、ブロードキャスト型なネットワークであり、二つのマルチキャストルータが存在する。ブロードキャスト型なネットワークでは、管理者がどちらのルータがパケットを受信し、送信するのかを容易に判別できない。経路制御プロトコルにより、DR が決定されて、それぞれのサブネットで送信、受信するルータが決まる。どちらのルータがマルチキャストパケットを送信、または受信しているのかを本システムより配送経路を表示することにより、本システムの機能の動作を確認する。
- 本研究では、既存の経路制御プロトコル全てに対して、マルチキャストルータ上の配送経路を表示するが、特に PIM-SM のルータに対しては、Register メッセージの転送も表示する。このため、マルチキャスト経路制御プロトコルとして、IPv6 の上の、PIM-SM を採用した。
- IPv6 のネットワークで本システムの定性的な評価するため構築した。

7.1.2 ソフトウェア環境

評価を行なうために、テストベットで既存のソフトウェアを使用した。これを、表 7.2 に示す。

表 7.2: ソフトウェア環境

ルータオペレーティングシステム	NetBSD1.5.2 release
ユニキャストルーティングソフトウェア	ripngd(zebra-0.92a)
マルチキャストルーティングソフトウェア	pim6sd-20010602a(NetBSD package)
システム動作環境	FreeBSD 4.3release
DNS サーバ	bind-9.11rc7

さらに、慶応義塾大学政策メディア研究科の長橋健吾氏と共同で製作した。「箱庭」モジュールを使用した。箱庭モジュールは、PC の/etc/service,/etc/inetd.conf に登録され、使用される。

箱庭の機能

- NTP(Network Time Protocol) による時刻同期
- ネットワーク内のマルチキャスト送信者、受信者、マルチキャストルータに設定を与え、一元的に設定できる。
- 時間的な経過を含めて、マルチキャストパケットの送信・受信、およびマルチキャストルータの設定、起動が再現的にシミュレーションできる。

表 7.3: 箱庭操作項目

マルチキャスト送信	マルチキャスト受信	ルータ
送信インターフェイス	受信インターフェイス	起動開始時間
グループアドレス	グループアドレス	終了時間
送信を始めるまでの時間	Join を出すまでの時間	設定ファイル
パケット (ペイロード) サイズ	終了時間	
送信間隔時間	グループに参加 or 離脱	
送信パケット数		

箱庭の実装

設定ファイルは例を図 7.2 に示す。

```
invoke_pim (R1, 0, forever, conf/r.conf) ;
invoke_pim (R2, 0, forever, conf/r.conf) ;
invoke_pim  (R3, 0, forever, conf/rp.conf) ;
snd_group (fxp1, Snd, 2, ff05::1, 700, 100, 800, 1);
rcv_group (fxp1, Rcv, 0, forever, ff05::1, 1);
```

図 7.2: 箱庭設定ファイル

図 7.2 で示した設定での箱庭の動作は次の通りである。

R1、R2,R3 で PIM-SM が起動する。R3 では、RP と設定される。

ホスト Snd は、２秒後に fxp1 インターフェイスから、ff05::1 に向かって、700byte のパケットを一秒間隔で、800 回送信する。

ホスト Rcv は、グループアドレス ff05::1 に参加する。また、マルチキャストパケットの受信は fxp1 インターフェイスから行なう。

終了時間、開始時間は、プログラム実行時からの相対時間を表す。終了時間に、"forever" と指定すれば、永久に起動しつづけることを指定できる。ルータに設定ファイルを送ると、ルータは再起動させられる。

マルチキャスト送信モジュールは、パケットのペイロードにシークエンス番号を埋め込んで一秒間隔で送信する。また現在の状態をログに記録する。パケットを送信している場合、送信したパケットシークエンス番号をログに記録する。指定されたパケットを数を送信し終わった場合、ログに"sendinetd not exist!" と記録する。

マルチキャスト受信モジュールもまた現在の状態をログに記録する。マルチキャストパケットを受信した場合、マルチキャストパケットのペイロードに書かれたシークエンス番号を読み取り、ログに記録する。マルチアクセスなネットワークを想定した場合、複数のルータから同じシークエンス番号のパケットを受信する可能性が考えられる。もしくは、経路制御により配送木の形態が変化するとき、重複したパケットを受信することは考えられる。こららのことを推測するために、ログに記録する際、そのひとつ前に記したパケットと同じシークエンス番号であった場合、同じパケットを重複して受信しているとして、" シークエンス番号 Duplicated!" とログに記録する。

また、動的な配送木の変遷とともに、受信モジュールが定期的にマルチキャストパケットの受信できなくなる場合が考えられる。そのため、パケットを受信してから次の 3 秒間マルチキャストパケットが受信できない場合、なんらかの原因よりマルチキャストパケットを受信できなくなっていると判断し、ログに"NOW not received!" と記録する。

箱庭を作成した理由

評価を行なう場合、ホスト、またはルータにログインし、設定を変え、マルチキャストパケットを送信開始、または受信開始させるのは作業量が多くなる。箱庭により、一元的に表 7.3 の項目にあるように、ルータ、マルチキャスト受信者、送信者を操作できる。また後々でもネットワークの状態を再現でき、評価できる。受信者、送信者は現在パケットを送信しているのか、受信しているのか、重複したパケットは受信していないのかという現在の状態をログに記録し

ている。箱庭では、送信者、受信者の状態も評価項目として利用することもできる。以上の理由より、評価環境として，「箱庭」環境を作成した。

7.1.3 評価方法

箱庭より、本システムの定性的評価、定量的評価を行なう。マルチキャストパケットの配送経路が正しく表示されているか確認する。そのため、評価方法として、実験ネットワーク上の３つのサブネットで流れるパケットをダンプして、本ツールでの配送経路を検証する。

具体的には、R1 の fxp1 インターフェイス、R2 の fxp0 インターフェイス、R3 の fxp1 インターフェイスでそれぞれ tcpdump を行う。また、マルチキャストパケットの送信者、受信者ともにログに現在の送信・受信の状態を書き込んだ情報を収集し、図に書き込む。

箱庭ネットワークでは、NTP により時刻同期を行っており、３つのサブネットで tcpdump で得られた情報は完全に時刻同期している。各サブネットの tcpdump のログを収集し、シークエンス番号が埋め込まれたマルチキャストパケットの流れを見る。tcpdump のログでマルチキャストパケットのイーサネットフレームの送信元アドレスと各ルータの MAC アドレスを見ると、マルチアクセスなサブネット内でもマルチキャストパケットを転送、受信しているルータがわかる。Register メッセージに対しても、送信元と宛先がわかる。ログ収集することで、配送木を推定し、本システムが実際に正しく配送経路を表示できているか確認する。本研究で視覚化した配送経路の変遷と比べることにより、評価を行う。

7.2 評価

R1 を RP に設定した場合、R3 を RP に設定した場合、2 通りの場合に対して本システムを適用した。２つの場合に対して、tcpdump のログと比較し、配送経路を正しく表示できているか、また、表示した配送経路図はどの程度時間的に正確であるかで、定性的な評価、定量的な評価を行った。さらに、同じトポロジで、PIM-DM のプロトコルを利用した場合でも、本システムが利用できるかどうかを確認した。また、システム全体の評価として、最後に評価のまとめを行なった。

- tcpdump のログとの定性的な評価
- tcpdump のログとの定量的な評価
- 異なるマルチキャスト経路制御プロトコルの使用

7.2.1 R1 を RP に設定したケース

箱庭により、R1 に RP の設定を与え、ルータを再起動した。マルチキャストセンダ-は一秒間隔で、900 回マルチキャストパケットを転送する。トラフィックの転送開始から転送が停止されるまでの経過を検証した。

tcpdump のログの収集と検証

表 7.4: tcpdump ログの収集 1

		R1-fxp0	R1-fxp1	R2-fxp0	R2-fxp1	R3-fxp0	R3-fxp1
マルチキャスト パケット	転送開始時間	01:27:03	-	01:26:35	-	-	-
	転送停止時間	01:39:57	-	01:39:57	-	-	-
Regisster メッセージ	送信/受信 開始時間	01:27:03 (受信)	-	01:26:58 (送信)	-	-	-
	送信/受信 停止時間	01:39:57 (受信)	-	01:39:57 (送信)	-	-	-

監視は、1 時 24 分 29 秒から行った。表の数字は時刻を表す。tcpdump のログで、マルチキャストパケットのイーサネットフレームの送信元アドレスがルータのインターフェイスの mac アドレスになっていた場合、マルチキャストパケットの転送を行っていると認定した。図 7.4 は、マルチキャストパケットの転送開始時間、停止時間、Register メッセージの送信開始、停止時間を、実験ネットワーク上のルータのインターフェイス毎に tcpdump のログからとりまとめたものである。

本システムによる配送経路の表示

本システムにより、配送経路が変化した時だけの図を表示する。配送経路図は 13 秒間隔で描かれるようにした。監視は 1 時 24 分 29 秒から同じく行った。

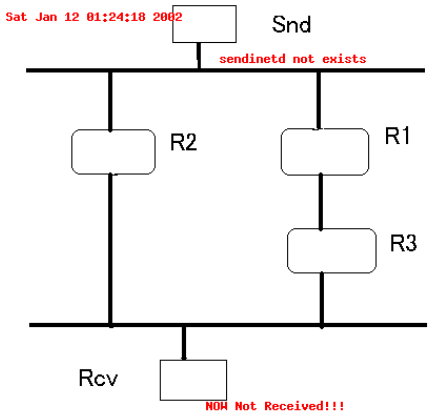


図 7.3: 配送経路表示 1-1

これは mdraw により、起動時に描かれる初期の配送経路図である。本論文の表示では、灰色の矢印 (実際の色は赤色) がマルチキャストパケットの流れを、黒色の矢印が Register メッセージの流れを意味する。また、この配送経路図では、”sendinetd not exist” と描かれていることから、トラフィックは流れてない。

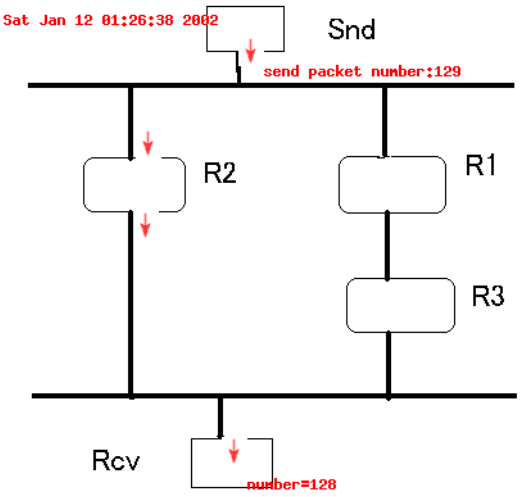


図 7.4: 配送経路表示 1-2

図 7.4 を見ると、R2、Rcv に灰色の矢印が表示された。これは、R2 を介して、受信者にマルチキャストパケットが流れ出したことを示す。受信者のログは、シークエン番号 128 番のパケットを受信していることを意味する。

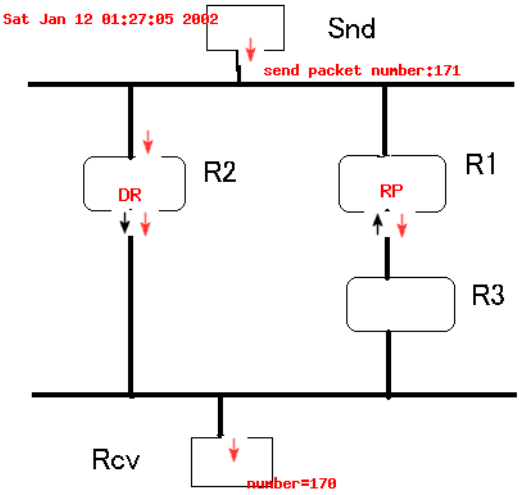


図 7.5: 配送経路表示 1-3

図 7.5 は、R2 が DR になり、Register メッセージを R1 に送信を開始し、また R1 は同一インターフェイスよりマルチキャストパケットの送信を開始したが、R3 はマルチキャストパケット転送していないことを示す。マルチキャストパケットの配送は、Snd から R2 を介し、Rcv に流れている様子を示す。また、受信者 Rcv のログを見ると、マルチキャストパケットを正常に受信していることを示す。

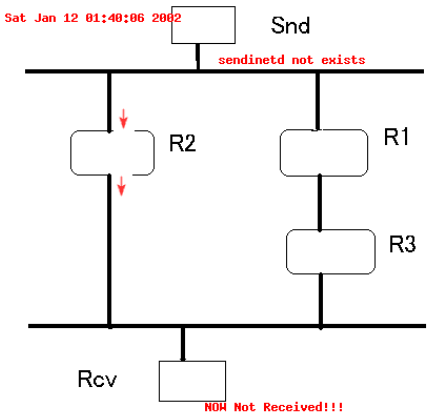


図 7.6: 配送経路表示 1-4

図 7.6 では、" sendinetd not exist"、" Now not Receiveed" と出ている。これは、送信が終わり、受信者もマルチキャストパケットが受信できなくなったことを示す。まだ、R2 の経路表には、エントリが存在する。

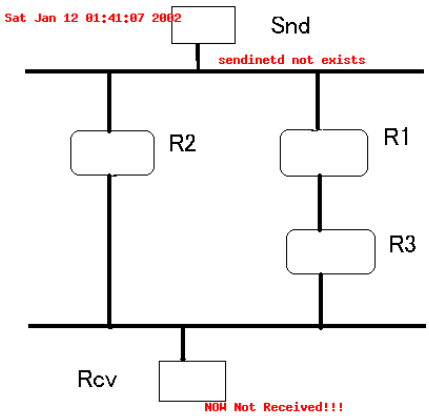


図 7.7: 配送経路表示 1-5

図 7.7 は、R2 の経路表にもエントリーが存在しなくなったことを示す。

マルチキャスト受信者のログでは、最後のマルチキャストパケットの受信が行われたのは、01:39:57 であった。また、マルチキャスト受信者が残したログには重複したマルチキャストパケットの受信はなかった。

7.2.2 R3 を RP に設定したケース

箱庭より、R3 に RP の設定を与え、すべてのルータを再起動してた。監視は 19 時 53 分 06 秒より行った。マルチキャスト送信側は一秒間隔で、900 回パケットを転送する。パケットが

転送されてから、転送が停止されるまでの流れを表示した。

**tcpdump のログの収集と検証 **

表 7.5: tcpdump ログの収集 2

		R1-fxp0	R1-fxp1	R2-fxp0	R2-fxp1	R3-fxp0	R3-fxp1
マルチキャスト パケット	転送開始時間	19:56:13	-	19:55:30	-	19:55:44	-
	転送停止時間	20:01:47	-	19:58:49	-	20:08:30	-
Regisster メッセージ	送信/受信 開始時間	-	-	19:55:43 (送信)	-	19:55:43 (受信)	-
	送信/受信 停止時間	-	-	20:08:30 (送信)	-	20:08:30 (受信)	-

tcpdump のログで、マルチキャストパケットのイーサネットフレームの送信元アドレスがルータのインターフェイスの MAC アドレスになっていた場合、マルチキャストパケットの転送を行なっているとし、表 7.4 と同様の表を作成した。

本システムによる配送経路の表示

本システムにより、配送木が変化した時だけの図を表示する。ルータ内のマルチキャスト経路表を 13 秒間隔でチェックするようにした。

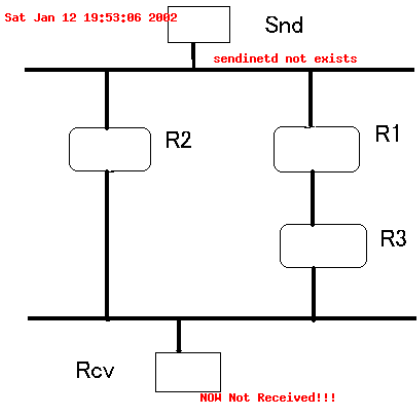


図 7.8: 配送経路表示 2-1

図 7.8 は、コマンド実行時の配送経路図である。”sendinetd not exit” と表示されており、まだマルチキャスト送信者 Snd はマルチキャストパケットの送信を開始していない。

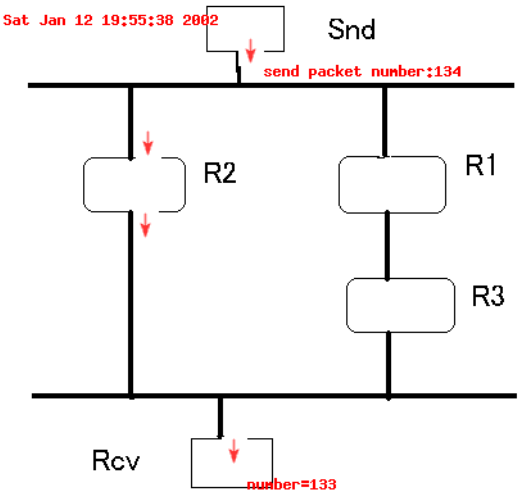


図 7.9: 配送経路表示 2-2

図 7.9 は、R2 がマルチキャストパケットを転送しはじめたことを示す。また、Rcv は、シークエンス番号 133 のマルチキャストパケットを受信している。

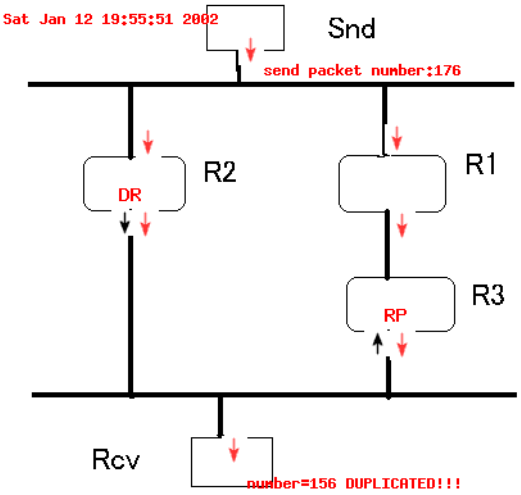


図 7.10: 配送経路表示 2-3

図 7.10 は、R2 が DR になり、R3 に Register メッセージを送信しはじめたことを示す。また、R1、R3 もマルチキャストパケットを転送しはじめた。受信者のログには、”DUPLICATED” と表示されている。これはシークエンス番号 156 番のマルチキャストパケットを重複して、受信していることを意味している。

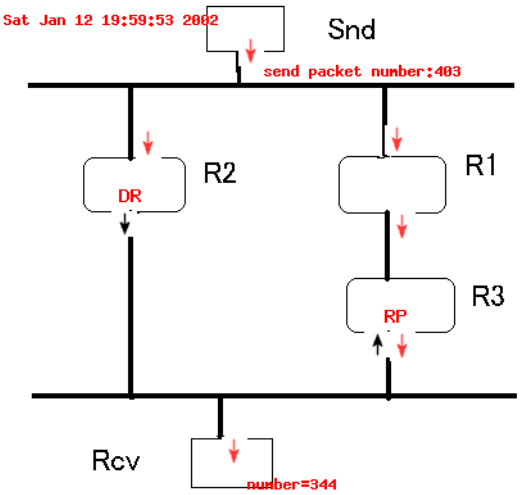


図 7.11: 配送経路表示 2-4

図 7.11 では、R2 からマルチキャストパケットの送信を示す矢印が消滅した。R2 は、マルチキャストパケットを転送しなくなった。受信者には、重複したマルチキャストパケットは見られなくなったことを示す。

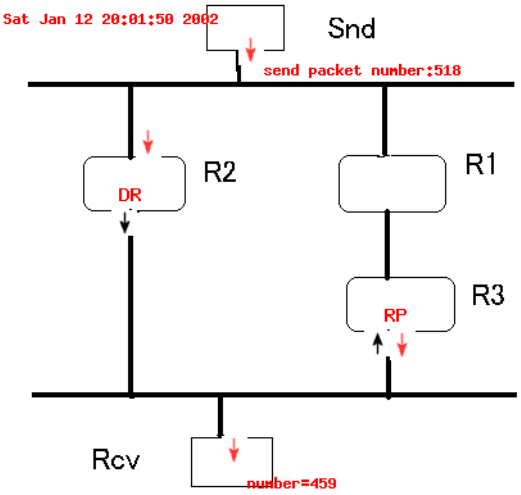


図 7.12: 配送経路表示 2-5

図 7.12 は、R1 では矢印が表示されなくなった。R1 はマルチキャストパケットを転送しなくなったことを示す。現在のマルチキャストパケットの流れは、R2 を介して Register メッセージが R3 に配送され、R3 はマルチキャストパケットを送信し、Rcv がマルチキャストパケットを受信していることを示す。

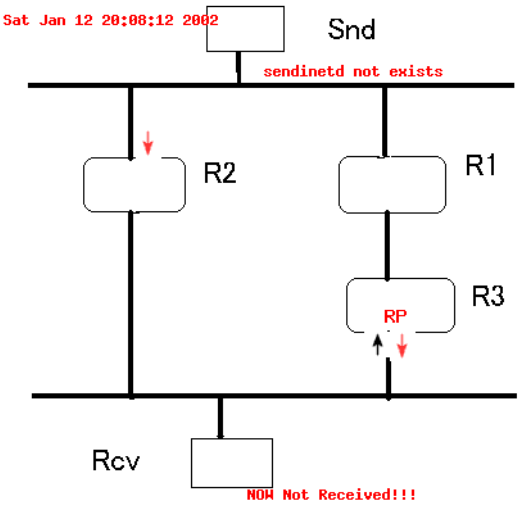


図 7.13: 配送経路表示 2-6

図 7.13 では、”sendinetd not exist”、” Now not Received” と表示されいる。これは送信が終わり、受信者もマルチキャストパケットが受信できなくなったことを示す。しかし、まだ R2、R3 の経路表にはエントリが存在する。

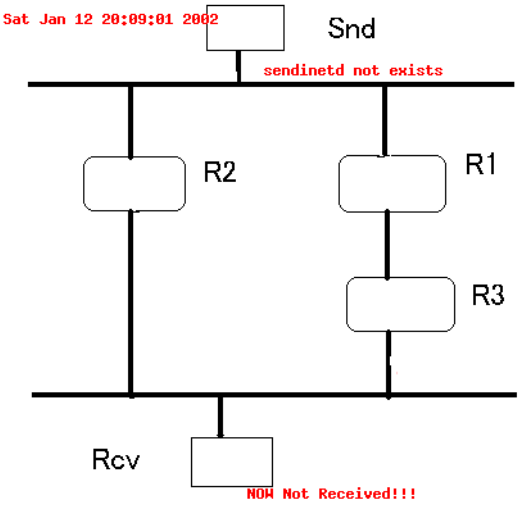


図 7.14: 配送経路表示 2-7

図 7.14 では、矢印が全く描かれない。完全に各ルータの経路表からエントリがなくなったことを示す。

受信者のログより、19:55:44 から 19:57:37 まで重複したマルチキャストパケットを受信していたことがわかった。

7.2.3 tcpdump による評価のまとめ

本システムにより表示した配送経路の変遷図はルータの経路情報から描いたものである。そこで、評価を行なうため、その変遷図から、経路表のエントリ生成、消滅、Register メッセージの受信、停止の時間を記した表を、二つのケースに対してまとめて作成した。時刻とともに実際どの図の情報かということを記した。次の表が R1 を RP にしたケースの配送経路図より、各ルータのインターフェイスの変遷をまとめたものである。

表 7.6: 配送経路図の状態変遷まとめ

		R1-fxp0	R1-fxp1	R2-fxp0	R2-fxp1	R3-fxp0	R3-fxp1
マルチキャスト経路表	生成時間	01:27:05 図 7-3	-	01:26:38 図 7-2	-	-	-
	消滅時間	01:40:06 図 7-4	-	01:41:07 図 7-5	-	-	-
Register メッセージ	送信/受信開始時間	01:27:05 (受信) 図 7-3	-	01:27:05 (送信) 図 7-3	-	-	-
	送信/受信停止時間	01:40:06 (受信) 図 7-4	-	01:40:06 (送信) 図 7-4	-	-	-

次の表が R3 を RP にしたケースの配送経路図よりまとめたものである。

表 7.7: 配送経路図からの状態変遷まとめ

		R1-fxp0	R1-fxp1	R2-fxp0	R2-fxp1	R3-fxp0	R3-fxp1
マルチキャスト経路表	生成時間	19:55:51 図 7-9	-	19:55:38 図 7-8	-	19:55:51 図 7-9	-
	消滅時間	20:01:50 図 7-11	-	19:59:53 図 7-10	-	20:09:01 図 7-13	-
Register メッセージ	送信/受信開始時間	-	-	19:55:51 (送信) 図 7-9	-	19:55:51 (受信) 図 7-9	-
	送信/受信停止時間	-	-	19:55:51 (送信) 図 7-12	-	20:09:01 (受信) 図 7-13	-

二つのケースに対して、配送経路の変遷をまとめた表 7.7,7.6 と tcpdump のログをまとめた表 7.4,7.5 の項目を比較すると、同じルータのインターフェイスからほぼ同時刻にマルチキャストパケットの転送と停止が行なわれていることがわかる。これにより、本システムが配送木を特定することにより、ネットワーク内でマルチキャストパケットの転送開始から転送停止までで、正しくマルチキャストパケット配送経路の変遷を表示していることが分かる。

7.2.4 tcpdump による評価に対する考察

tcpdump によりネットワークインターフェイスでマルチキャストパケットが検地された時刻と、ルータからの経路情報更新メッセージが届いて配送経路図が描かれた時刻差は 10 秒以内であり、実際それほど時間差がないことが、表 7.7,7.6,7.4,7.5 をそれぞれ見比べることによりわかる。しかし、マルチキャストパケットが転送されなくなった時刻とルータの経路表のエン

トリが消滅した時間には 1 分から 2 分の時間差が見て取れる。これは、パケットを転送する場合、経路表にエントリーが生成されてから送信が始まる。これにより、ルータ内でもパケットを転送開始時間と経路表のエントリーが生成された時間は一致する。一方で、PIM-SM では、経路表のエントリーは 3 分間維持されて、追加、削除の更新が行なわれている。実際のマルチキャストパケットの転送が停止しても、数秒もしくは数分、経路表にはエントリーが存在することになる。本システムは、ルータの経路情報より、配送経路図を描くため新たな経路の生成とトラフィックの転送開始時間に関しては、ある程度同期している。一方で、経路の消滅とトラフィックの転送停止に関しては、多少の時刻差がでることがわかる

7.2.5 異なる経路制御プロトコルの使用

実験ネットワークで pim6dd を動かし、評価を行なった。

先ほどと同じネットワーク環境で、PIM-DM を動かした。送信者・受信者が存在ひとつづつ存在する。配送経路には、受信が始まってから変化がなく、送信者がトラフィックを転送している間は、図 7.15 のようになっていた。

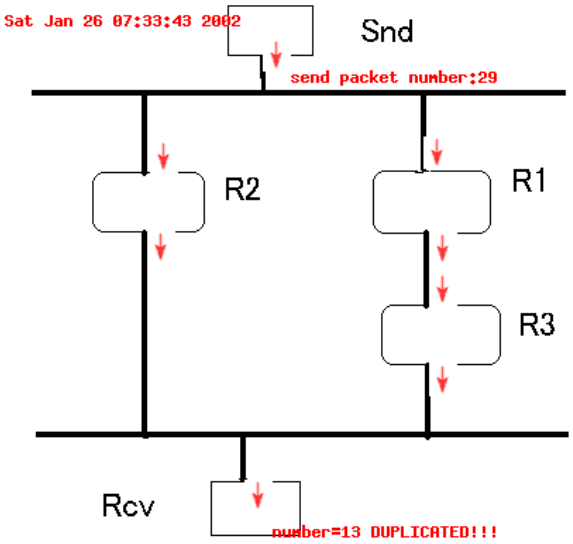


図 7.15: pim6dd による配送経路

受信者のログを見ると、同じシークエンス番号のマルチキャストパケットを受信している。また、同じく収集したサブネット 3 での tcpdump のログを見ると、マルチキャストパケットは、R2、R3 から受信していることがわかった。これにより、pim6sd で経路制御されたマルチキャストネットワークに比べて、ネットワーク全体を見ると、無駄にトラフィックが流れていることがわかる。これは、PIM－ DD はトラフィックをフラッディングするプロトコルであることを示している。受信者のログを見ると、受信者は同じシークエンス番号のパケットを受信しており、無駄に重複したパケットを受信していることがわかる。このように、本システムは、このように多くのマルチキャスト経路制御プロトコルに対して適用できる。

7.3 まとめ

本システムにより、指定されたグループアドレスのマルチキャストパケットの配送経路の変遷を動的に生成する。ネットワークでどのルータがマルチキャストパケット転送し、もしくは転送していないかということは正確に知るためには、各セグメントでパケットをモニターするか、もしくはルータにログインして経路表を確認する必要がある。しかし、ネットワークの規模が大きくなるほど、これは現実的な作業でなくなってくる。本システムにより、配送経路の変遷をたどることにより、完全には時刻同期はしていないが、各ルータのマルチキャストパケットの転送開始、停止もたどることができる。時刻差は、実際のネットワーク管理には問題にならないぐらいである。

本システムはマルチキャストルータの経路情報を収集するという方法をとっている。この方法より、多くの経路制御プロトコルに対応して、配送経路を表示することができる。これらの特徴は、3 章で紹介した既存のシステムにはない機能である。マルチキャストネットワーク運用し、配送経路を管理する場合、本システムが有効であるのは明らかである。

第8章　結論

本章では、本研究の結論を述べ、その後に今後の課題と本研究の将来的な展望を述べる。

8.1　結論

本研究では、マルチキャストネットワークを運用・導入していく際、重要な要素である配送経路に注目して、トラフィックの配送経路の表示するシステムを実装した。本システムを使用して、ネットワーク内のルータの設定や、帯域制御の設定などを検討することにより、配送経路を管理することができる。ネットワークを適切に運用していくためには、ネットワークの現状を把握する必要がある。それが新しいネットワークプロトコルであるのなら、なおさらである。しかし、現状のマルチキャストネットワークに関連したシステムでは、一部のトラフィックの流量に注目したものが多く、ネットワーク全体を把握することは難しい。マルチキャストプロトコル自体、広域で利用されることが考えられており、監視対象も広範囲となる。また、現在、マルチキャスト経路制御プロトコル自体は研究開発途上であり、多くプロトコルが存在し、また性能評価指標もはっきりとさだまってない。利用者にはそれぞれの経路制御プロトコルに関して深い知識も要求される。そこで、本研究では、全てのマルチキャスト経路制御の基本要素である配送木の形成に注目し、マルチキャストルータの経路情報を採取することにより、多くのマルチキャスト経路制御プロトコルにより作られたネットワークの配送経路を把握するシステムを実装した。また、本システムは、SSM(Source Specific Multicast) など新しいプロトコルにも使用できる。7章で示した評価より、以下のことが本研究で実現できたと結論づける。

- マルチキャストトラフィックの経路を確認できる
- 各マルチキャスト経路制御の動作、ならびに実装を評価できる
- 実用的なマルチキャスト運用システムを構築する

8.2　今後の課題

今後の課題には、以下のようなものが挙げられる。

8.2.1　ユニキャスト経路制御技術との関わり

現在、主流となりつつある PIM(Protocl Independent Multicast) の動作では、ルータ内にユニキャストの経路表が存在することを仮定している。PIM では、ユニキャスト経路表を利用して、ネットワーク内に配送木を形成する。本システムでは、ユニキャスト経路制御は正常

に行なわれていると仮定している。本システムより、ユニキャスト経路制御の異常、バグを見つけることはできない。本システムは、マルチキャストルータの情報のみを収集している。ユニキャスト経路制御のバグ、異常により、作成された配送木の問題を本システムにより、特定することはできない。マルチキャストネットワークで、配送経路を完全に監視するには、今後ユニキャスト経路制御の関わりを考える必要がある。

8.2.2 SNMP への対応

SNMP(Simple Network Management Protocol) は、ネットワークの情報管理プロトコルである。ネットワーク機器、インターネットプロトコルが MIB(Management Information Base) という形で定義されている。SNMP を使用すると、分散した各ネットワーク機器が保持するデータを、管理者が一元的に収集することで、情報の収集、解析を行なうことができる。一元的な管理を行う点で、SNMP と本システムのプロトコルは親和性が高いと言える。また、多くのベンダー機器のルータは SNMP に対応しているのが一般的である。一般的なマルチキャストネットワークの運用を考えた場合、本システムは、経路情報を MIB という形で SNMP で収集する機能を付加する必要がある。

8.2.3 実ネットワークでの利用

今回、本システムの評価は、「箱庭」を利用した比較的規模の小さい実験ネットワークで行った。今後、様々な経路制御プロトコルが動作した、実際のマルチキャストネットワークへ導入し、本システムの有効性をさらに証明する必要がある。特に、本システムの規模性を深く検証する必要がある。

8.3 本システムの将来的な展望

本システムにより、マルチキャスト経路制御プロトコルにより、ネットワーク内で、形成される配送木をたどることができる。配送木の形成はマルチキャストプロトコルの基礎要素であり、これにより、以下のことをさらに推し進めていくことができる。

- マルチキャスト経路制御プロトコルの実証実験
- マルチキャストネットワーク運用技術の習熟

8.3.1 マルチキャスト経路制御プロトコルの実証実験

インターネットの技術開発には、実証実験が重要な意味を持つ。実用に供しながら、プロトコルを見直したり、実装を見直すことにより、研究・開発を進めていく。しかし、研究・開発途上のものを実際のネットワークで導入するのは、既存のサービスへの影響などを考えると、マイナス面が大きく、現実的でない。そこで、実験環境として作成した「箱庭」を合わせて使用することより、マルチキャスト経路制御の実装ならびに、プロトコルの実証実験を行うことができる。本システムは、マルチキャストネットワーク運用以外にも使用することができる。

8.3.2　マルチキャストネットワーク運用技術の習熟

ネットワークの運用はなかなか机上の勉強だけでは、習得できない。実際のネットワークで、体験し、自分で問題解決していくことにより、習熟していく。それには、問題を的確に発見さしてくれるシステムが必要となる。また、マルチキャストネットワークの運用を技術を深く身につけた技術者は現在少ないと言える。本システムにより、トラフィックの配送経路を辿ることができ、マルチキャストネットワークでの障害の切り分け ･問題の発見を支援することができる。これにより、運用技術の習熟を支援することができる。

謝辞

本研究を進めるにあたり御指導を請け賜りました慶応義塾大学環境情報学部教授村井純博士に感謝します。また、絶えず貴重な御助言と御指導を頂きました慶応義塾大学環境情報学部助教授楠本博之博士、中村修博士、同専任講師南政樹修士に、心よりお礼を申しあげます。

本研究を進める多くの段階で、終始貴重な御助言を頂きました (株) 日本サテライトシステムズの泉山英孝氏、慶応義塾大学政策メディア研究科長橋健吾氏に感謝します。

研究会に所属当時より、私を厳しく叱咤激励をしてくださった、慶応義塾大学政策メディア研究科西田視磨氏に深く感謝いたします。また、徳田 ・村井 ・楠本 ・中村 ・南合同研究会の諸氏に感謝します。

関連図書

[1] Mbone ホームページ、http://www.mbone.com/

[2] S.E. Deering, "Host extensions for IP multicasting",RFC988,jul,1986

[3] D.Waitzman and C. Partridge and S.E. Deering, "Distance Vector Multicast Routing Protocol",RFC1075,nov,1988

[4] Andrew Adams and Jonathan Nicholas "Protocol Independent Multicast - Dense Mode Protocol Specification",draft-ietf-pim-dm-new-v2-00.txt,nov,2001

[5] Bill Fenner and Mark Handley "Protocol Independent Multicast - Sparse Mode Protocol Specification",draft-ietf-pim-sm-v2-new-04.txt,nov,2001

[6] A.Ballardie "Core Based Trees (CBT version 2) Multicast Routing",RFC2189,sep,1997

[7] Steve Deering "Multicast Routing in Internetworks and Extended Lans"

[8] T.Bates "Multiprotocol Extensions for BGP-4"

[9] David Meyer draft-ietf-msdp-spec-13.txt,nov,2001

[10] G.S. Malkin, "RIP Version2 Carrying Additional Information",RFC1388,jan,1983

[11] J.Moy, "The OSPF Version2",RFC2328,april,1988

[12] "Session Announcement Protocol",draft-ietf-mmusic-sap-v2-05.txt

[13] H.Schulzrinne and S. Casner "RTP:A Transport Protocol for Real-Time Applications",RFC1889,jan,1996

[14] H.Holbrook "Source Specific Multicast for IP",draft-ietf-ssm-arch-00.txt

[15] Kame プロジェクトホームページ、http://www.kame.net

[16] GD グラフィックライブリ、http://www.boutell.com/gd/