

修士論文 2005年度 (平成17年度)

広域ネットワークにおける
マルチキャスト運用支援の研究

慶應義塾大学大学院 政策・メディア研究科

熊木 美世子

広域ネットワークにおけるマルチキャスト運用支援の研究

本研究では、広域ネットワークにおけるマルチキャスト運用支援のためのネットワーク監視環境を提案し、設計実装した。

本研究では、広域マルチキャストネットワークの運用における問題を解決するために、マルチキャストネットワーク監視環境を提案し、本環境におけるマルチキャスト運用情報を定義した。また、本環境で実現する機能のプロトタイプとして、少数のマルチキャストルータを監視対象することでネットワーク全体でマルチキャスト運用情報を把握し、視覚化する機構を設計し実装した。本機構は、ユニキャストの経路情報を元に監視対象のネットワークトポロジを把握する一方で、マルチキャストフローごとに伝送経路や帯域などの情報を取得する。これらの情報を視覚化し、ネットワークトポロジに適用する。本機構により、トラフィックの伝送経路や使用帯域といったマルチキャストネットワークの状況がネットワーク全体の視点から把握でき、障害検知や設定の最適化といった運用へのフィードバックが可能となる。

本研究で設計実装した機構を既存のシステムと比較した結果、対応プロトコルやシステムが前提とする監視ルータ数などの点で、本機構が有用であることを示した。本研究により、インターネットにおけるマルチキャスト運用を支援し、マルチキャストサービスをより一般的に利用できるインフラストラクチャの実現に寄与できたといえる。

キーワード

1. マルチキャスト, 2. 経路制御, 3. モニタリング, 4. 運用支援, 5. 視覚化

慶應義塾大学大学院 政策・メディア研究科

熊木 美世子

Wide Area Multicast Network Monitoring

This thesis proposes a monitoring system for supporting multicast operation in a wide area network. The main objective of this research is to provide a multicast state visualization in a certain network, such as bandwidth consumption and multicast routing status.

Operating multicast networks is more complex than operating unicast networks, because routers duplicate multicast packets when necessary to reach all receivers, and there is no congestion control. Besides that, multicast traffic paths can change according to the multicast routing state, such as from RPT (Rendezvous Point Tree) to SPT (Shortest Path Tree) on PIM-SM routing protocol. Therefore, monitoring multicast states and paths is essential for network operation.

This system focuses on networks using PIM-SM and OSPF as the multicast and unicast routing protocols. This system retrieves the PIM-SM multicast routing information from routers, and infers the multicast path from the source to the router using the network topology information obtained from OSPF. The system then visualizes the results using WWW. Inferring multicast paths from the available information means that we can monitor the multicast states of a network by monitoring certain routers only, i.e. Rendezvous Point of Receiver side router.

The results of this research will contribute to a better multicast network operation, enabling to realize network infrastructure for multicast-enabled services, which are expected as the key issues in the rich communication in the future Internet.

Keywords :

1. Multicast, 2. Routing, 3. Monitoring,
4. Operational Support, 5. Visualization

Keio University Graduate School of Media and Governance

Miyoko KUMAKI

目次

| | | |
|-------|-------------------------|----|
| 第1章 | はじめに | 1 |
| 1.1 | 背景 | 1 |
| 1.2 | 本研究の目的 | 1 |
| 1.3 | 本論文の構成 | 2 |
| 第2章 | マルチキャストの概要と運用における問題点 | 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 | マルチキャストの種類 | 5 |
| 2.3.1 | ASMの特徴 | 5 |
| 2.3.2 | SSMの特徴 | 6 |
| 2.4 | マルチキャスト転送の概要 | 6 |
| 2.4.1 | マルチキャスト経路表 | 7 |
| 2.4.2 | Reverse Path Forwarding | 8 |
| 2.4.3 | 配送木 | 9 |
| 2.5 | マルチキャスト経路制御プロトコル | 10 |
| 2.5.1 | DVMRP | 10 |
| 2.5.2 | PIM-SM | 11 |
| 2.6 | マルチキャストネットワークの運用 | 12 |
| 2.6.1 | TTL 閾値 | 12 |
| 2.6.2 | 帯域制御 | 12 |
| 2.6.3 | 設定に関する考察 | 13 |
| 2.7 | マルチキャスト運用における問題点 | 13 |
| 第3章 | 関連研究 | 15 |
| 3.1 | 経路制御デーモン付随ツール | 15 |
| 3.1.1 | mrouted 付随ツール | 15 |
| 3.1.2 | pimspd、pim6spd 付随ツール | 17 |
| 3.2 | 独立した運用支援ツール | 17 |
| 3.3 | 関連研究のまとめ | 19 |
| 第4章 | 解決手法 | 22 |
| 4.1 | 運用支援環境における要求事項 | 22 |

| | | |
|------------|-------------------------------------|-----------|
| 4.2 | マルチキャスト運用支援のためのネットワーク監視環境 | 22 |
| 4.3 | 本提案のまとめ | 26 |
| 第5章 | 設計 | 28 |
| 5.1 | 本システムの概要 | 28 |
| 5.2 | システムが前提とする環境 | 29 |
| 5.3 | モジュール構成 | 29 |
| 5.4 | トポロジ描画モジュール | 29 |
| 5.4.1 | モジュールの構成 | 29 |
| 5.4.2 | 取得する情報 | 30 |
| 5.4.3 | 情報の取得方法 | 30 |
| 5.4.4 | トポロジ生成方法 | 30 |
| 5.5 | マルチキャスト情報収集モジュール | 31 |
| 5.5.1 | モジュールの構成 | 31 |
| 5.5.2 | 収集するデータ | 31 |
| 5.5.3 | データの取得方法 | 32 |
| 5.6 | 情報統合モジュール | 32 |
| 5.6.1 | モジュールの構成 | 32 |
| 5.6.2 | 情報統合の手法 | 32 |
| 5.7 | 描画モジュール | 33 |
| 5.7.1 | モジュールの構成 | 33 |
| 5.7.2 | 描画方法 | 34 |
| 5.7.3 | ユーザインターフェース | 34 |
| 第6章 | 実装 | 35 |
| 6.1 | 実装環境 | 35 |
| 6.2 | 実装の概要 | 35 |
| 6.3 | トポロジ描画モジュール | 37 |
| 6.3.1 | Netpicture の概要 | 37 |
| 6.3.2 | Graphviz の概要 | 38 |
| 6.3.3 | 本モジュールの生成物 | 39 |
| 6.4 | マルチキャスト情報収集モジュール | 39 |
| 6.5 | 情報統合モジュール | 39 |
| 6.6 | 描画モジュール | 40 |
| 第7章 | 評価 | 42 |
| 7.1 | 評価環境 | 42 |
| 7.1.1 | 評価ネットワークの概要 | 42 |
| 7.1.2 | 評価に用いたマシン、ソフトウェアの仕様 | 42 |
| 7.2 | 評価項目 | 42 |
| 7.3 | 評価 | 44 |

| | | |
|------------|-------------|-----------|
| 7.3.1 | 動作の検証 | 44 |
| 7.3.2 | 既存のツールとの比較 | 46 |
| 7.4 | 評価のまとめ | 48 |
| 第8章 | おわりに | 49 |
| 8.1 | まとめ | 49 |
| 8.2 | 今後の課題 | 50 |
| | 謝辞 | 51 |

目次

| | | |
|-----|-------------------------------------|----|
| 2.1 | ユニキャストの概要 | 3 |
| 2.2 | マルチキャストの概要 | 4 |
| 2.3 | ユニキャスト経路表の例 | 7 |
| 2.4 | マルチキャスト経路表の例 | 8 |
| 2.5 | SPT を用いた配送木の例 | 9 |
| 2.6 | RPT を用いた配送木の例 | 10 |
| 2.7 | RPT から SPT への切り替えの例 | 12 |
| | | |
| 3.1 | mrinfo 実行結果例 | 16 |
| 3.2 | mtrace 実行結果例 | 16 |
| 3.3 | pim6stat 実行結果例 | 18 |
| 3.4 | Mantra の表示例 | 19 |
| | | |
| 4.1 | SPT と RPT でのパスの違い | 24 |
| 4.2 | 各フロー毎の情報から全体を把握するための情報 | 25 |
| 4.3 | ネットワークの細分化 | 26 |
| | | |
| 5.1 | 設計の概要 | 28 |
| 5.2 | トポロジ描画モジュールの概要 | 30 |
| 5.3 | マルチキャスト情報収集モジュールの概要 | 31 |
| 5.4 | 情報統合モジュールの概要 | 32 |
| 5.5 | 描画モジュールの概要 | 33 |
| | | |
| 6.1 | 実装の概要 | 36 |
| 6.2 | smux と SNMP のやりとり | 37 |
| 6.3 | OSPF-MIB::ospfLsdbAreaId 取得例 | 38 |
| 6.4 | OSPF-MIB::ospfLsdbAdvertisement 取得例 | 38 |
| 6.5 | OSPF-MIB::ospfLsdbAreaId 取得例 | 39 |
| 6.6 | 本モジュールで生成した XML ファイルの例 | 40 |
| 6.7 | SVG の記述例 | 41 |
| | | |
| 7.1 | AI ³ ネットワークトポロジ | 43 |
| 7.2 | 生成したトポロジ図 | 46 |
| 7.3 | 視覚化された結果 | 47 |

表 目 次

| | | |
|-----|-----------------------------|----|
| 3.1 | マルチキャスト監視ツール機能比較表 | 20 |
| 6.1 | 本機構の実装環境 | 35 |
| 7.1 | 評価に使用した各マシンの仕様 | 43 |
| 7.2 | マルチキャスト監視ツール機能比較表 | 45 |

第1章 はじめに

1.1 背景

近年、インターネットサービスは多様化し、映像や音声などを組み合わせたマルチメディアのデータをやりとりするアプリケーションが一般的になりつつある。ビデオ会議や遠隔授業、TVコンテンツの配信などのような、1対1の通信だけでなく1対多、多対多の通信を行うアプリケーションでは、複数の参加者に対して個別にデータを配送したり、サービスの参加者間でマルチメディアデータを共有するため、ネットワークの帯域消費を増大させる大きな要因のひとつとなっている。

インターネット上の多数のノード同士でデータをなるべく小さい帯域消費で共有するための手法として、マルチキャストが挙げられる。しかし、マルチキャストはユニキャストとは異なる通信形態であり、経路制御プロトコルの運用やルータにかかる負荷、通信回線における帯域消費の割合など、ネットワーク全体としての運用手法を確立するには依然として課題がある。経路の断絶・迂回やグループの参加・離脱などの理由により、マルチキャストの経路が動的に変動するのに加え、マルチキャストで利用されるアプリケーションは帯域消費が大きいことが多く、マルチキャスト経路制御上のトラブルがネットワーク全体に及ぼす影響が大きい。このため、マルチキャストの運用においては、帯域消費やトラフィックの伝送経路など、マルチキャストに特有の情報を監視する必要がある。しかし、マルチキャストネットワーク全体を監視する際に、全てのマルチキャストルータを監視するにはコストが大きい。このため、管理コストを低減してネットワーク全体の状況を把握するには、ネットワーク上で監視対象となるノードをなるべく少なくしながら、運用に必要な十分な情報を取得する必要がある。しかし、現状ではこれらの要求で満たしたマルチキャストネットワークの運用支援システムは実現されていない。

1.2 本研究の目的

本研究の目的は、広域ネットワークにおけるマルチキャスト運用を支援する基盤環境として、ネットワークの状態を全体的な視点から把握するための枠組を確立することである。本研究ではこの目的を実現するため、マルチキャストネットワークの運用に必要な情報を整理し、新しいマルチキャストネットワーク監視機構を提案する。本機構は、マルチキャストの情報を取得して視覚化し、ユニキャストの経路情報を元に作成した監視対象のネットワークトポロジに適用する。本機構により、トラフィックの伝送経路や使用帯域といったマルチキャストネットワークの状況を監視するだけでなく、回線の帯域制限などと

いった運用ポリシーの適用について、その効果やネットワークに与える影響を検証にも応用可能な情報をオペレータにフィードバックできる環境を構築できる。本研究により、マルチキャストネットワーク運用の効率化・最適化と、インターネットにおけるマルチキャストサービスの普及に寄与する。

1.3 本論文の構成

本論文は8章から成る。第2章では、マルチキャストの概要と経路制御、マルチキャスト運用上の問題点について述べる。第3章では、関連研究とその問題点を述べる。第4章では、本研究の解決手法を述べる。第5章では、本機構の設計を述べる。第6章では、本機構の実装について述べる。第7章では、本機構の評価を述べる。第8章では、本研究のまとめと今後の課題を述べる。

第2章 マルチキャストの概要と運用における問題点

本章では、インターネットの通信形態とその特徴について述べ、マルチキャストにおける基盤技術について述べる。そして、マルチキャスト運用における問題点を分析する。

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、次の3つに大別できる。

- ユニキャスト
- ブロードキャスト
- マルチキャスト

ユニキャストは1対1型の通信形態である。ユニキャストを用いて同じデータを複数の受信者に送信する場合、図2.1のように送信者は受信者が接続するルータにの同じデータを重複して送信する。送信者と各受信者が1対1の関係にあるために、受信者が増加するに応じて送信者からデータ送信にかかる帯域消費も増大する。このため、ユニキャストは小数メンバ内での通信や、ある限定されたネットワーク内で同報型にデータを送信したい場合に有効である。しかし、同じデータをインターネット上で分散して存在する多数の受信者に送信する場合には、データを重複して送信するため適さない。

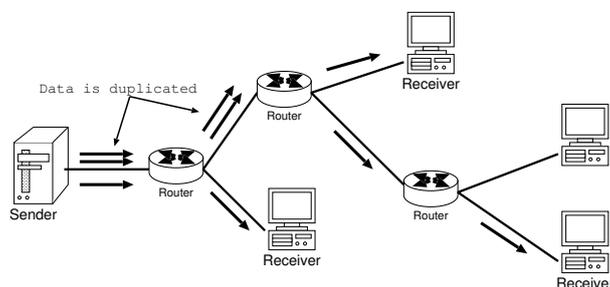


図 2.1: ユニキャストの概要

ブロードキャストは1対多型の通信形態である。ブロードキャストでは、図同一リンク上の全ノードへ対してデータを同報するが、通信範囲は同一リンク上に限られる。このた

2.2. マルチキャストグループ管理

め、ブロードキャストは、ある限定されたリンク上でデータを同報したい場合にのみ有効であり、受信者がインターネット上で分散して存在する場合には適さない。

マルチキャストは1対多型の通信形態であり、マルチキャストルータが受信者の存在するリンクにデータを複製して伝送する。このため、送信者は一度の送信によってデータが複数の受信者まで伝送される。マルチキャストでは、図2.2のようにルータがデータを複製して各リンクに転送するため、送信者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。

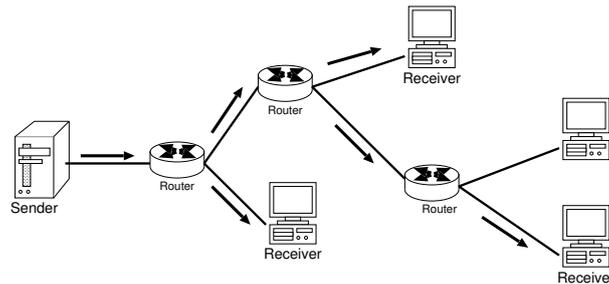


図 2.2: マルチキャストの概要

このため、マルチキャストは以下の利点を持つ。

- 送信者が多数の受信者にデータを送信する際の負荷を軽減する
- データ伝送における帯域消費を削減する

マルチキャストは当初、それぞれ独立した AS 内部や一部の LAN など、限られた範囲でのみ導入されていた。その後、1992年にバックボーンを横断する実験ネットワークとして Mbone[1] が構築されるなど、段階的に発展、普及してきた [2]。今後は SOI-Asia プロジェクト [3] のような複数の遠隔地点間での授業配信をはじめ、グループコミュニケーションを前提としたサービスでの応用が期待されている。

2.2 マルチキャストグループ管理

マルチキャストでは、同一データの受信者の集合を「マルチキャストグループ」と定義する。一つのマルチキャストグループには、対応する一つのマルチキャストアドレスが付与され、送信者はマルチキャストグループアドレスを宛先としてデータを送信する。受信者は任意の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のメンバとなり、マルチキャストグループアドレスを宛先とするデータを受信できるようになる。受信者はマルチキャストグループへ参加するためデータを受信するインタフェース、目的のマルチキャストグループアドレス宛に参加のメッセージを送信する。

マルチキャストルータは、受信者の参加や離脱の表明によってリンク上での受信者の有無を確認し、対象のマルチキャストトラフィックを転送するか判断する。受信者とマ

マルチキャストルータ間でマルチキャストグループを管理するプロトコルとして、IGMP (Internet Group Management Protocol)[4] が用いられる。

IGMP メッセージには以下の 2 つがある。

- メンバシップクエリ
マルチキャストルータが直接接続するネットワーク上に送信するメッセージである。定期的に送信し、マルチキャストグループのメンバの存在を問い合わせる。
- メンバシップレポート
マルチキャストルータからのメンバシップクエリへの応答として、受信者が送信するメッセージである。受信者がマルチキャストグループへ参加、離脱するため送信する。

マルチキャストルータは定期的にメンバシップクエリメッセージを直接接続するネットワーク上の全マルチキャストグループアドレスに送信し、最新のメンバシップ情報を保持する。メンバシップクエリを受信しない場合であっても、受信者はメンバシップレポートを任意に送信し、マルチキャストルータにグループへの参加・離脱を通知できる。

また、IPv6 におけるマルチキャストではマルチキャストグループ管理に MLD (Multicast Listener Discovery) [5] を用いる。MLD は IGMP の仕組みを元に IPv6 での利用環境に適合させたものであり、プロトコルは同じ動作をする。

2.3 マルチキャストの種類

また、マルチキャストは受信者がデータの送信者を指定するか否かによって、ASM (Any Source Multicast) [4] と SSM (Source Specific Multicast) [6] の 2 種類に分別でき、それぞれの特徴を述べる。

2.3.1 ASM の特徴

マルチキャストでは、送信者はマルチキャストグループアドレスを宛先としてマルチキャストパケットを送信する。このとき、ASM では受信者は送信者を選択せず、参加しているマルチキャストグループ宛に送信されるマルチキャストパケットはすべて受信する。

終点のグループアドレスの割り当てが始点アドレスとは独立しており、識別子は (*, G) の形で表記する。*(アスタリスク) は、すべての送信者を示し、G は宛先のマルチキャストグループを示す。

マルチキャスト経路制御プロトコルは、送信者からマルチキャストグループに至るマルチキャスト経路表を自動生成する事が主な動作である。ASM による経路制御、およびマルチキャストグループ管理では、受信者がマルチキャストルータに対して参加するマルチキャストグループアドレスのみを通知するため、ルータは送信者が誰なのかを知ることができない。このため、送信者からマルチキャストグループに至るマルチキャスト経路表は

2.4. マルチキャスト転送の概要

自動生成されない特徴がある。不特定多数の送信者からマルチキャストグループ宛てにパケットが伝送される場合は、マルチキャストグループの受信者やサービス提供者の意図しないトラフィックが発生し得るため、ネットワークの性能やサービスの品質に影響を及ぼすことも考えられる。

2.3.2 SSMの特徴

SSMでは受信者が送信者を指定した上でマルチキャストグループに参加する。始点アドレスと終点のグループアドレスの組で参加するグループを指定し、(S, G)の形で表記する。Sは指定された送信者を示し、Gは宛先のマルチキャストグループを示す。

SSMは、ASMと比較して配送木の構成プロセスが単純化できる、受信者へのセキュリティが向上するといった特徴を持つ。まず、ルータとホスト間のやりとりにより、マルチキャストパケットの送信者が受信者からネットワークに通知される。このため、送信者から受信者に至るマルチキャスト経路表構築が非常に簡単である。また、SSMにおける受信者は、ルータとホスト間のやりとりで送信者を指定し、それ以外からのマルチキャストパケットを受信しない。そのため、不正な送信者からの経路が作成されず、ルータは不正な送信者からのマルチキャストパケットを転送しない。このため、誰かがマルチキャストストリームの受信者にDoS攻撃を仕掛ける目的でマルチキャストを不正に乗っ取るような行為からは基本的に保護され、本来のマルチキャスト通信が阻害されなくなる。

2.4 マルチキャスト転送の概要

マルチキャストでは、送信者から送信されたデータが受信者の集合であるマルチキャストグループ全体に行きわたるように転送する必要がある。転送する際、マルチキャストルータにおいて送信者から転送されてきたマルチキャストパケットを複製し、マルチキャストグループの存在する側のインタフェースから送出する。マルチキャストグループが存在する方向を決めるためには、ユニキャストにおける転送と同じく、経路を決める必要がある。マルチキャストではユニキャストと異なり、送信者から各受信者への経路を木構造で構成し、これを配送木と呼ぶ。マルチキャストルータで配送木を構築するには、以下の3つの条件が存在する。

- パケットがループしないこと
- すべてのグループのメンバにパケットが転送されること
- 受信者が動的にグループへ参加・離脱が行えること

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経路表を作成し、パケットの転送を行う。ユニキャストでは、受信者へデータを転送する際、中間ルータは順次ネクストホップルータに向けて転送する。これに対し、マルチキャストでは配送木に従って始点から離れる複数の方向へ転送される。

2.4.1 マルチキャスト経路表

マルチキャストとユニキャストでは同様に経路表に従い、パケットを転送する。マルチキャスト経路表の仕組みを、ユニキャスト経路表と比較して述べる。

ユニキャストでは、ルータはパケットの宛先アドレスに従い、送信元から宛先ホストへ転送していく。各ルータは経路表を参照し、転送されてきたパケットの宛先アドレスに該当するエントリを探す。そのエントリで指定されているインタフェースを介してパケットをネクストホップルータに転送する。ユニキャスト経路表は、宛先プレフィクス、ネクストホップルータ、送信インタフェースを主要な構成要素として持ち、その例を図 2.3 に示す。これは、`netstat` コマンドにより閲覧することができる。

```
> netstat -rnf inet
Routing tables

Internet:
Destination      Gateway          Flags    Refs      Use  Netif  Expire
default          202.249.25.1    UGSc     17    699142  fxp0
127.0.0.1        127.0.0.1       UH        1      7846   lo0
172.16/24        link#2           UC        0         0    fxp1
202.249.25/27    link#1           UC        9         0    fxp0
202.249.25.1     00:07:e9:05:ba:6f UHLW     18       652   fxp0  1187
202.249.25.3     00:e0:81:03:2a:53 UHLW     0    47746  fxp0  1184
202.249.25.6     00:80:c8:b9:44:91 UHLW     0         84   fxp0  1112
202.249.25.8     00:04:5a:a4:d6:b7 UHLW     0   7368198 fxp0  1198
202.249.25.11    00:e0:81:20:9b:d2 UHLW     0   201372  fxp0   854
202.249.25.18    00:02:b3:96:45:31 UHLW     0    15228  fxp0  1082
202.249.25.19    link#1           UHLW     1         390   fxp0
202.249.25.22    00:0a:48:08:40:6c UHLW     1    14054  fxp0   974
202.249.25.30    00:06:29:8f:b4:23 UHLW     2   107744  fxp0  1185
```

図 2.3: ユニキャスト経路表の例

一方、マルチキャストでは、マルチキャストルータはマルチキャストグループアドレスで示された受信者の集合を宛先としてパケットを転送する。マルチキャストルータは、マルチキャストパケットを受信インタフェース以外のインタフェースから送信する。これは、マルチキャストパケットが送信者の方向に転送されると転送ループが生じるためである。また、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に、受信者が存在するとわかっているすべてのリンクに対してパケットを転送する必要がある。マルチキャスト経路表は、送信元アドレス (S)、グループアドレス (G)、受信インタフェース、送信インタフェースを主要な構成要素として持ち、その例を図 2.4 に示す。

2.4. マルチキャスト転送の概要

```
> netstat -g

Virtual Interface Table
Vif  Thresh  Rate  Local-Address  Remote-Address  Pkts-In  Pkts-Out
0    1        0    202.249.25.234      77233          14462
1    1        0    202.249.25.193      0              43624
2    1        0    202.249.25.234      23433          25742

Multicast Routing Table is empty

IPv6 Multicast Interface Table
Mif  Rate  PhyIF  Pkts-In  Pkts-Out
0    0     fxp0  18606222 2302168
1    0     fxp1  653665   17380877
2    0     reg0  2220264  48637

IPv6 Multicast Forwarding Cache
Origin                               Group                Packets Waits In-Mif  Out-Mifs
2001:d30:101:2::501:238             ff05::1151          23242   0      0
2001:d30:101:2::501:253             ff38:0:2001:d30:    660807  0      0      1
```

図 2.4: マルチキャスト経路表の例

マルチキャスト経路表のエントリは、マルチキャスト送信元、マルチキャストグループが異なる毎に生成される。マルチキャスト経路表では、受信インタフェースは1つであるが、送信インタフェースは複数になる。

2.4.2 Reverse Path Forwarding

RPF(Reverse Path Forwarding) は、マルチキャストを送受信するインタフェースを特定するためのアルゴリズムである。RPF は次のように動作する。

マルチキャストデータの送信者は、マルチキャストグループ宛てにマルチキャストパケットを送信する。マルチキャストパケットを受信したマルチキャストルータは、ユニキャスト経路表を参照し、マルチキャストパケットを受信したインタフェースが送信者へのベストパスの送信インタフェースとなっていることを確認する。そしてそのインタフェースをマルチキャストを受け取るインタフェースとみなす。次に、マルチキャストルータは、マルチキャストパケットを受信したインタフェース以外のインタフェースから送信する。このとき、同ルータにて再びマルチキャストパケットを受信した場合には、そのマルチキャストパケットを破棄し、マルチキャストパケットを受信したインタフェースからは再びマルチキャストパケットを受信しないと共に、送信しないように設定する。

RPF を利用することにより、マルチキャストルータは送信側であるアップストリームのインタフェースと受信者側であるダウンストリームのインタフェースを判別する。マ

マルチキャストルータは、アップストリームからのマルチキャストパケットを受信/破棄し、ダウンストリームへ転送するよう設定する。

2.4.3 配送木

マルチキャストルータにおいて、マルチキャストパケットを送信者から受信者へ配送する際、配送する経路である配送木を構成する。配送木の作成方法として、RPT(Rendezvous Point Tree) と SPT(Shortest Path Tree) の 2 つがある。

SPT

SPT では、送信者から受信者まで図 2.5 のように最短経路を基準にパケットの転送を行う。基本的には、各マルチキャストルータはパケットを受信したインタフェース以外の全てのインタフェースにパケットを転送する。また、常に送信元から遠ざかる方向にパケットを送ることにより、パケットを転送する。

しかし SPT を使用した転送方式では、送信者・受信者が多数になった場合に問題点が生じる。

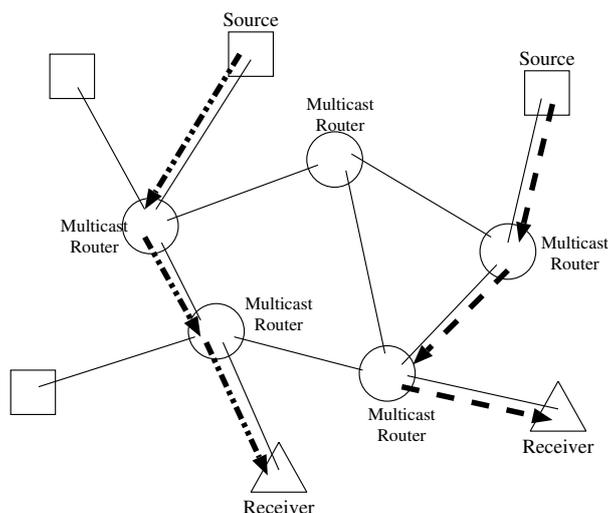


図 2.5: SPT を用いた配送木の例

RPT

RPT では、送信元に関係なく同じルータを経由してパケットの転送を行う。マルチキャストグループアドレス毎にコアルータ (以下 RP と記す : Rendezvous Point) を設定し、図 2.6 のように RP を中心に各送受信端末へ最短経路で配送木を形成する。マルチキャストグループに参加するすべての受信者が共有する 1 つの配送木を形成し、マルチキャストグ

2.5. マルチキャスト経路制御プロトコル

ループアドレスが同じ場合はどの端末からパケットが送信された場合にも、同じ配送木に沿って転送される。

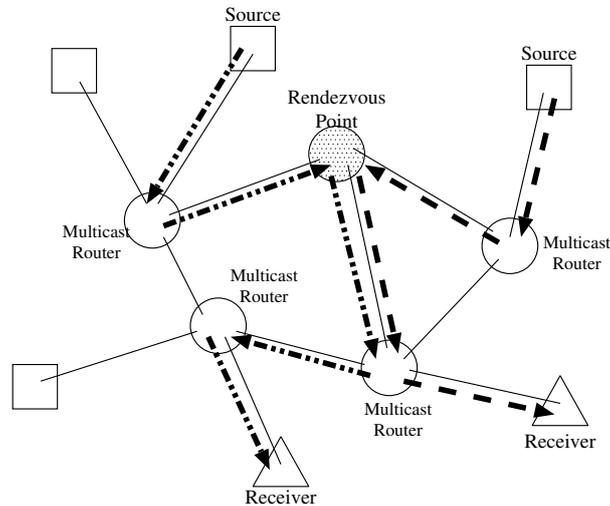


図 2.6: RPT を用いた配送木の例

2.5 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、配送木を構築しマルチキャストを経路制御するプロトコルである。

数年前は、マルチキャストネットワークにおいて利用されるマルチキャスト経路制御プロトコルとして Distance Vector Multicast Routing Protocol (DVMRP) [7] が主であった。近年では Protocol Independent Multicast Sparse Mode (PIM-SM) [8] が主として用いられるようになり、Multicast Extensions to OSPF (MOSPF) [9] や Protocol Independent Multicast-Dense Mode (PIM-DM) [10]、Core Based Trees (CBT) [11] といったマルチキャスト経路制御プロトコルも一部のネットワークで利用されている。

本論文では、受信者が密集している場合に利用される DVMRP と受信者が散在している場合に利用される PIM-SM に注目し、それぞれの特徴を述べる。

2.5.1 DVMRP

DVMRP は、受信者が密集している場合を想定した、距離ベクトル型経路制御プロトコルである。DVMRP は次の順序で動作する。

マルチキャストルータは、マルチキャストパケットを受信した場合にマルチキャストパケットを複製し、受信インタフェース以外のすべてのインタフェースからマルチキャストパケットを送信する。この動作により、ネットワーク内のすべてのマルチキャストルータ

でマルチキャストグループ宛の経路が生成される。次に、マルチキャストルータにおいて、マルチキャストグループがその先に存在しないインタフェースと経路を経路表から削除する。これを枝刈りと呼ぶ。また、送信元への最短経路以外は経路表から削除され、送信元配送木 (SPT) が構築される。この後、マルチキャストグループ宛でのマルチキャストパケットを送信する。

DVMRP は、多くの受信者が密集して存在する場合に効率良くパケット転送するのに適した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流すため、受信者のいないネットワーク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。

2.5.2 PIM-SM

PIM-SM は、マルチキャストグループの受信者が分散して存在するときの通信を効率的に行うための経路制御プロトコルであり、特定のユニキャスト経路制御プロトコルに依存しない特徴がある。マルチキャスト配信は、基本的に配送木として RPT を構築し使用する。

PIM-SM では、RP (Rendezvous Point) と呼ばれる RPT のコアルータが設定される。RP は、送受信者がマルチキャストグループに参加するために参加メッセージを送信するマルチキャストルータである。RP はマルチキャストパケットの送信者に接続されているルータと、受信者に接続されているルータを繋げる役割を果たす。

送信者は RP に参加するためのメッセージを送信するが、この時点ではマルチキャストパケットは送信されない。受信者は、RP へマルチキャストグループに参加するためのメッセージを送信する。RP は受信者までの経路を作成する。このとき、送信者がマルチキャストパケットを送信すると RP 経由で受信者まで到達するようになり、参加を明示した受信者のみに対して配送木を作成する。また、マルチキャスト経路表を作成する際には、RP からそれぞれ送受信者に対するユニキャスト経路を用いて経路表を作成する。

PIM-SM は、参加者がネットワーク内に散在する場合に無駄なトラフィックが流れることが無いプロトコルである。参加表明をしていない受信者に対してマルチキャストパケットが送信されることはないため、無駄な帯域消費がなく、DVMRP よりも規模性に優れている。しかし RPT は、RP の位置によっては必ずしも配送経路が最短経路にならず、同一ネットワーク上を重複したデータが流れてしまい、通信帯域を圧迫してしまう問題がある。また、RP をマルチキャストネットワーク一つに対して一つしか設定できないため、RP の位置を最適に決定することは難しい。

また、PIM-SM は通常では RPT を使用するが、SPT への切り替えを選択できる。この切り替えは、送信者からのデータ転送速度があらかじめ決めた閾値を越えた場合に起こる。切り替えは、最も受信者に近いルータが送信者にメッセージを送信することで行われ、SPT に切り替わった後に、RPT から不要なルータが削除される。RP に対する送信者の相対的位置によっては、SPT へ切り替えることにより図 2.7 のように大幅なネットワークの遅延時間の短縮、余分に通過した伝送経路の帯域消費となる。

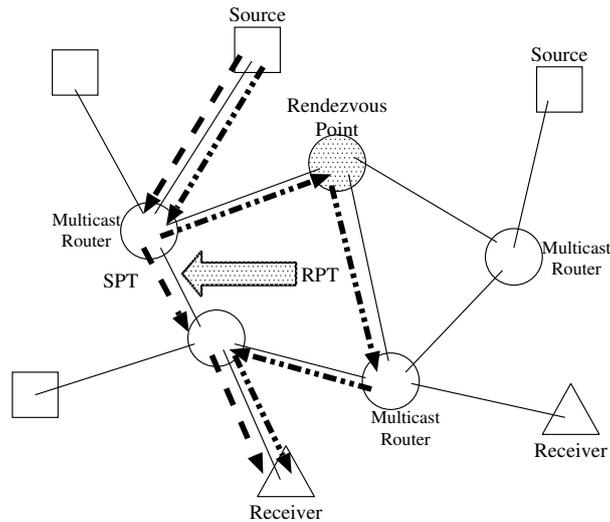


図 2.7: RPT から SPT への切り替えの例

2.6 マルチキャストネットワークの運用

マルチキャストアプリケーションは、画像の同時配信などを主に取り扱うため、基本的に多くの帯域を必要とする。既存のネットワークへ新たにマルチキャストを導入する場合、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、マルチキャストネットワークを運用するには以下のような項目を設定することが多い。

2.6.1 TTL 閾値

マルチキャストルータはユニキャストルータと同様に、マルチキャストパケットを転送する度に IP ヘッダの TTL を 1 つずつ減らす。ルータは、TTL が 0 になったパケットが転送されてきた場合にパケットを破棄する。マルチキャストルータはユニキャストルータと異なり、パケットが転送されてきた場合に TTL を減らす値を 1 以上に設定できる。この設定できる値を TTL 閾値と呼ぶ。TTL 閾値を設定してあるマルチキャストルータでは、設定してある値より小さい値の TTL 値を持つマルチキャストパケットがきた場合、そのパケットを破棄する。TTL 閾値は、マルチキャストトラフィックを決めた領域内にのみ転送するために設定され、境界ルータで設定されることが多い。

2.6.2 帯域制御

マルチキャストは元来、帯域を節約する技術である。しかし、マルチキャストルータでの設定の誤りや誤作動によりマルチキャストトラフィックが管理者の予期しない場所へ流れた場合、帯域を大幅に占めてしまう恐れがある。これを防ぐため、マルチキャストルー

タではマルチキャストトラフィックの帯域制御を行うことが多い。マルチキャストでは既存の帯域制御機構と同様に、ポート番号やアドレスレンジなどでポリシーを設定する。

2.6.3 設定に関する考察

TTL 閾値の設定や帯域制御を行うことにより、マルチキャストトラフィックが予期しない動作をした場合の被害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と受信者を想定するプロトコルであり、受信者、送信者の規模を想定してネットワークを設計することは困難である。

2.7 マルチキャスト運用における問題点

マルチキャストでは、トラフィックは配送木を構成するマルチキャストルータによって複数のリンクに複製・転送され、トラフィックの受信者の有無によって経路が頻繁に変化するなど、ユニキャストトラフィックの伝送とは異なる特性を持つ。このため、トラフィックの伝送経路が単一であることを前提とするユニキャストのみを対象とする運用手法は、マルチキャストネットワークの運用には適用できない。

ユニキャストは1対1の通信であるため、データの複製や複数リンクへの転送は生じない。このため、ASの境界ルータやネットワークの基幹ルータなど、トラフィックの集中する箇所で効率的にトラフィックの状態を監視できる。しかしマルチキャストではASM、SSMに関わらず、受信者は任意のマルチキャストグループに参加・離脱してトラフィックを受信できるため、受信者がネットワーク内に散在している場合には、ネットワーク全体をトラフィックの伝搬範囲として考える必要がある。その一方で、例えばPIM-SMの経路がRPTからSPTに状態が変化した場合やユニキャストの経路に変化が起きた場合には、あるルータを通過していたトラフィックが、それまでとは別のルータを経由するようになる。このため、ネットワークでマルチキャストの状態を把握するには、使用する経路制御プロトコルによっては全てのルータを監視対象とする必要がある。受信者のマルチキャストグループへの参加・離脱や経路制御によって伝送経路が変動する一方で、ネットワーク全体で伝送経路の配送木の構成を把握するには管理コストの面で困難である。

マルチキャストではトランスポートプロトコルにUDPを用いるのが一般的であり、ネットワークの混雑状況に応じた輻輳制御が行えない。その一方で、ASMでは送信者は任意のマルチキャストグループ宛にデータを送信できるため、サービスやオペレータが想定しないトラフィックが生じる場合がある。このため、トラフィックの発生場所や混雑箇所の変動に対応するのが困難であると言える。例えば、ASMにおいて複数のトラフィックが伝送されている場合を想定する。このとき、一つのトラフィックのみが膨大な帯域を消費し、一部のリンクを圧迫していた場合でも、リンクを圧迫しているトラフィックがどれか判別できず解決できない。このため、多数のトラフィックが特定のリンクに集中したり、ルータやその他の機器の誤った設定によって意図しないリンクにトラフィックが漏洩した場合には、ネットワークの品質を著しく低下させる場合がある。しかし、マルチキャスト

2.7. マルチキャスト運用における問題点

によるリンクの輻輳などの障害検知や、トラフィック毎の帯域消費や伝送経路の状態などと言った情報をネットワーク全体の視点から統一的に把握できるシステムが実現されていない。このため、障害の原因となっているトラフィックの特定や、マルチキャスト経路制御の設定変更や帯域の制限といった運用上の対処が難しい問題がある。

また、既存のマルチキャスト監視ツールは、対象とするネットワーク、データ、ユーザインタフェース、汎用性といった点で問題がある。一部のネットワークもしくはある特定のデータのみを監視しているため、ネットワーク全体の障害に対して適切な処理を行うことができない。ユーザインタフェースに関しては、実行するホストが限られる、要求する情報が一目でわからないといった問題がある。汎用性に関しては、作成者の運用するネットワークに条件が左右されるため、機能を拡張するにはマルチキャストの専門知識を要するものが多い。また、多くのツールはMBoneの運用・問題解決を目的として作成されたものが多い。このため、MBoneで使用されている経路制御プロトコルであるDVMRPのみに対応しているものが多く、現在主に使用されている経路制御プロトコルに対応するツールは少ない。

第3章 関連研究

マルチキャストは、一般的に広まっている経路制御プロトコルは存在するが、十分な理解と専門知識が広く浸透しておらず、利用する経路制御プロトコルは統一されていない。そのため、固定した堅実な運用方法が確立していない。

また、既存のマルチキャスト運用支援ツールの多くは、固有のマルチキャスト経路制御プロトコルのみ、ツールの作成者が管理するマルチキャストネットワークの経路制御プロトコルだけに焦点を当てて作られている。つまり、既存のマルチキャスト運用支援ツールの多くは DVMRP のために実装されたものであり、一部は 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 `mrouted` に付随しているツールである。

本章では、関連研究として、既存のマルチキャストネットワーク監視ツールの概要および問題点について述べる。

3.1 経路制御デーモン付随ツール

既存のツールの一部として、経路制御デーモンに付随のものが存在する。ツールが付随する経路制御デーモンとして、`mrouted`、`pimspd`、`pim6sd` を例に挙げる。

3.1.1 `mrouted` 付随ツール

`mrouted` 付随のツールを以下に挙げる。これらのツールは、Mbone の運用に有効に使われてきた。それぞれは `mrouted` を改変することにより実装されている。

Mrinfo

Mrinfo は、指定したルータの隣接ルータを IGMP メッセージを用いて表示、照会する [12]。Mrinfo により、指定したルータの経路情報が把握でき、マルチキャストルータの構成がわかる。Mrinfo の実行結果例を図 3.1 に示す。

まず、Mrinfo コマンドであるマルチキャストルータを指定する。実行結果として、指定したマルチキャストルータおよび、接続する個々のルータが表示される。それぞれのルータ毎に、IP アドレス、接続するルータの IP アドレスと名前、メトリック（接続コスト）、閾値（マルチキャストパケット生存時間）が表示される。マルチキャストルータのバージョンが新しい場合には、接続タイプ（`tunnel`、`srert`）および接続状態（`disabled`、`down`）も表示される。

3.1. 経路制御デーモン付随ツール

```
> mrinto mbone.phony.dom.net
127.148.176.10 (mbone.phony.dom.net) [version 3.3]:
127.148.176.10 -> 0.0.0.0 (?) [1/1/querier]
127.148.176.10 -> 127.0.8.4 (mbone2.phony.dom.net) [1/45/tunnel]
127.148.176.10 -> 105.1.41.9 (momoney.com) [1/32/tunnel/down]
127.148.176.10 -> 143.192.152.119 (mbone.dipu.edu) [1/32/tunnel]
```

図 3.1: mrinto 実行結果例

Mtrace

Mtrace は、拡張された IGMP メッセージを用いてあるマルチキャストパケットの送信者から受信者までの経路を表示する [13]。受信ホストから送信ホストへの到達性、経路上のホップのアドレス、パケット数、ルーティングのエラー状況の情報が得られる。

Mtrace の実行結果例 [14] を図 3.2 に示す。受信者ホストで実行し、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。

```
% mtrace 192.168.1.1

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
```

図 3.2: mtrace 実行結果例

このように、Mtrace ではマルチキャスト送信元から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。

3.1.2 pimspd、pim6sd 付随ツール

pimspd と pim6sd は PIM-SM や PIM-DM の実装である。pim6sd 付随のツールである pimstat、pim6stat について述べる。これらは pim6sd の標準の実装に付随している。

pimstat では、PIM におけるデーモンの状態や統計情報を把握できる。マルチキャストインタフェースの状態、接続 PIM ルータの情報、Join メッセージのリスト、マルチキャスト経路表の情報が表示される。ただし、PIM の実装は pimspd、pim6sd の他にも存在し、他の実装では pimstat は利用不可能である。pim6stat の出力例を図 3.3 に示す。

3.2 独立した運用支援ツール

マルチキャスト経路制御デーモン付随のパッケージ以外のツールは多数存在する。多くのものは MBone 運用のために作成、利用されているものである [15] が、現在利用可能なツールの代表的なものの概要を以下に述べる。

- Multimon
Multimon は、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 [16]。
- Route Monitor
Route Monitor は、DVMPRP ルータにおいて Route Update メッセージを監視し、それを一箇所に集め解析する [17]。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。また、解析したデータはプロトコル実装上の問題発見にも利用される。
- Sdr-monitor
Sdr-monitor は、ドメインを越える受信者から送信者への到達性を監視する [18][19]。マルチキャスト参加者間で定期的に送信されるマルチキャスト接続情報である、sdr メッセージ [20] を監視する。これをリアルタイムに WEB ページにてレポートする。
- Mantra
Mantra は、マルチキャストトラフィックやマルチキャストルータ間のプロトコルメッセージを監視、分析するシステムである [21]。Mantra の表示例を図 3.4 に示す。Mantra では、MBGP (Multicast BGP) [22]、MSDP (Multicast Source Discovery Protocol) [23] 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。

3.2. 独立した運用支援ツール

```
Multicast Routing Table
Source          Group          RP-addr        Flags
-----
IN6ADDR_ANY     ff1e::4321     3ffe:501:2400:0:2c0:4fff:fe68:4188 WC RP
Joined oifs: .....
Pruned oifs: .....
Leaves oifs: l.....
Asserted oifs: .....
Outgoing oifs: o.....
Incoming      : .....I.
Upstream nbr: fe80::220:eaff:fe00:1432

TIMERS:  Entry  JP  RS Assert MIFS:  0  1  2  3  4  5  6  7  8  9
          0    60  0   0      0  0  0  0  0  0  0  0  0  0

-----
3ffe:501:2c24:2100:200:e2ff:fe12:3cb7 ff1e::4321     3ffe:501:2400:0:2c0:4fff
:fe68:4188 SPT CACHE SG
Joined oifs: .....j
Pruned oifs: .....
Leaves oifs: .....
Asserted oifs: .....
Outgoing oifs: .....o
Incoming      : I.....
Upstream nbr: NONE

TIMERS:  Entry  JP  RS Assert MIFS:  0  1  2  3  4  5  6  7  8  9
          210  60  0   0      0  0  0  0  0  0  0  0  0  0

-----
Number of Groups: 1
Number of Cache MIRRORs: 1

-----RP-Set-----
Current BSR address: 3ffe:501:2409:180:2c0:4fff:fe68:418f
RP-address          Incoming  Group prefix  Priority  Holdtime
3ffe:501:2400:0:2c0:4fff:fe68:4188  8        ff1e::4321/128  0         135
pc3.nezu.wide.ad.jp  8        ff00::/8       10        135
```

図 3.3: pim6stat 実行結果例

- MantaRay
MantaRay は、CAIDA(Cooperative Association for Internet Data Analysis)[24] が開発した MBone におけるインタラクティブな視覚化ツールである [25]。マルチキャストルータの接続状態を書くマルチキャストルータに問い合わせることでデータグラムが配送される経路を表示し、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。
- MRM

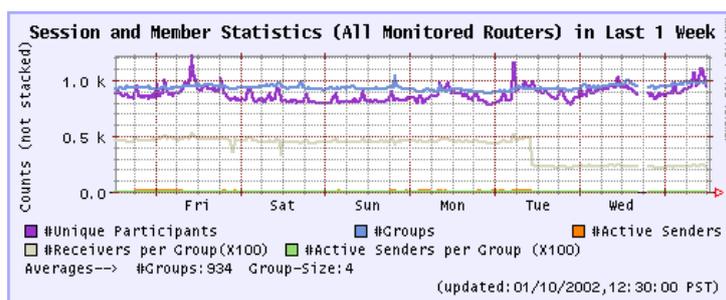


図 3.4: Mantra の表示例

MRM (Multicast Reachability Monitor protocol) は、大規模なマルチキャストネットワークにおいて自動的な障害発見を容易にするツールである [26] [27] [28]。特に、経路制御や到達性の異常などのトラフィック伝送に関する問題解決に貢献する。

- Mview

Mview は、MBone において他のアプリケーションで取得したデータを視覚化する [29]。Mstat [30] などの、トポロジやルータに関する情報を取得するツールを用いて情報を収集し、利用、視覚化する。また、SNMP [31] を用いて取得した情報も利用可能である。

- Mmon

Mmon は、Hewlett-Packard 研究所が開発した商用のツールであり [32]、SNMP を利用している。自動的にマルチキャストやトポロジを探り、トポロジにおけるトラフィックの負荷を監視、視覚化する。

- Mlisten (Mbone Collection Tool)

RTCP (Real Time Transport Control Protocol) [33] 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 [34][35]。マルチキャストグループへの受信者の参加・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が得られる。

3.3 関連研究のまとめ

本章で述べたツールの機能を表 3.1 にまとめた。

マルチキャストネットワークの運用には、ネットワークを全体で監視する仕組みが必要となる。理由として、マルチキャストネットワーク内の経路は、迂回・断絶のみならず、受信者のマルチキャストグループへの参加・離脱などによって頻繁な変更が生じるからである。

本章で挙げたツールには限界があり、次のことが言える。

表 3.1: マルチキャスト監視ツール機能比較表

| ツール名 | 取得パラメータ | 表示する情報 | 監視するルータ | user I/F | 対象プロトコル |
|---------------|---|--------------------------------|------------|----------------------|---------------|
| Mrinfo | IGMP messages | 隣接ルータの経路情報 | 任意の1台 | CUI | DVMRP |
| Mtrace | IGMP extension messages | 送信者から1受信者への配送経路 | 任意の1台 | CUI | DVMRP |
| Multimon | host/port number incoming byte count session type | アプリケーション別の マルチキャストトラフィック | ルータ以外 | GUI | DVMRP |
| Route Monitor | route updates | 経路の統計情報 | 全ルータ | CUI | DVMRP |
| Sdr-monitor | information from the sdr-cache | 到達性 (RTT, Jitter, Packet loss) | ルータ以外 | Html (text/image) | DVMRP |
| Mantra | Information from router-tables | トポロジ、トラフィック、 統計、プロトコルの動作 | 必要なルータすべて | Html (text/image) | DVMRP MBGP |
| MantaRay | mtrace + mrinfo | 配送経路 | 必要なルータすべて | Html (text/image) | DVMRP |
| MRM | traffic | 到達性、配送経路 | フローの両端のルータ | CUI | DVMRP |
| Mview | mstat | 視覚化のみ | なし | GUI | DVMRP |
| Mmon | mrinfo | トラフィックの負荷 by SNMP | 必要なルータすべて | GUI | DVMRP |
| Mlisten | RTCP-data | マルチキャストグループの統計情報 | 任意の1台 | CUI | RTCP |
| pimstat | daemon status | デーモンが保持する情報 | 任意の1台 | CUI | PIM-SM |

- 対象とする監視範囲

これらのツールは、ネットワークの一部もしくは一部のデータを監視するものが主であり、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うことができない。この一部のデータに関しても、RTCP などのプロトコルに依存したものが存在し、ツールの拡張ができないといった問題が発生する。また、対象とするネットワークとしてローカルドメインを対称にしたものが主であり、広域なネットワークに対応するものは少ない。監視するネットワークが広域かつ、ルータの多いような複雑な構成であった場合、これらのツールでは全体を監視できない。また Mview をはじめとする一部のツールは可視化するだけの機能を持つ。

- ユーザインタフェース

これらのツールは、ユーザインタフェースとして CUI、GUI、Html(text/image) のいずれかで提供する。ユーザインタフェースが CUI で提供された場合には、ツールを実行するホストへログインしなくてはならず、ツールの簡易性に欠ける。ユーザインタフェースが GUI で提供された場合には、ツールを実行するホストの環境がそのツールへ対応している必要があり、実行するホストの制限される。ユーザインタフェースが Html(text/image) で提供されているものであっても、文字だけで提供される、情報を見るに当たり専門知識が必要とされ要求する情報が見難い、といった問題が存在する。

- ツールの汎用性

これらの一部のツールでは、作成する際にマルチキャストの動作に関する専門知識を元に作成された。マルチキャストに関する専門知識は難しいものが多く、このようなツールは拡張性に欠ける。一部のツールは SNMP を利用している。SNMP を利用することにより、ネットワーク基幹部で実装、実行する必要性がなくなる。また、SNMP を利用するツールが増えたことにより、マルチキャストに関連する MIB[36] も整理されつつある。

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消費帯域やトラフィックの伝送経路など、マルチキャストに特有の情報を監視するシステムが必要となる。マルチキャストルータは、一つのインタフェースからパケットを受信し、複数のインタフェースからパケットを送信する。このため、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、主に Mbone の監視、問題解決を目的として作成、使用されたものが主である。Mbone は経路制御プロトコルとして DVMRP を使用している。このため主なツールは Mbone で使用されている DVMRP のみに対応しており、現在主流である PIM-SM といった新しい経路制御プロトコルに対して適用できない。PIM-SM に対応しているツールも存在したが、固有の実装のみに対応しており、汎用性がない。

第4章 解決手法

マルチキャストネットワークの運用支援において最も重要なのは、オペレータがマルチキャストネットワークの状態を全体として把握し、定常運用におけるネットワーク監視や障害検知、設定の最適化のためのフィードバックが可能な環境を構築することである。本章では、これまで論じた問題点を踏まえ、マルチキャストネットワークの状態をオペレータに提示するという視点から運用支援環境を定義する。

4.1 運用支援環境における要求事項

本研究では、前章までに論じた問題点を踏まえ、構築すべきマルチキャストネットワークの運用支援環境に対する要求事項を挙げる。

監視範囲

本環境では、マルチキャストネットワーク全体を監視できる必要がある。このとき、マルチキャストネットワーク内の全てのノードを監視対象とするのではなく、必要最低限のノードを監視する上での、適切なノード選択のための指針が必要である。

可視化

マルチキャストネットワークを構成するネットワーク上のノードから運用情報を取得し、オペレータに提示できる必要がある。このとき、マルチキャストネットワークにおける運用情報としてオペレータにどのような情報を提示するかを整理する必要がある。

対応プロトコル

現在、多くのマルチキャストネットワークで広く利用されているプロトコルが扱える必要がある。また、マルチキャストトラフィックの送信元が指定できないASM、および送信元を指定するSSMの両方に対応する必要がある。

4.2 マルチキャスト運用支援のためのネットワーク監視環境

本研究では、前述の要求事項を満足する、マルチキャストネットワークの監視環境を提案する。本環境では、マルチキャストネットワークの状態変化や検知した障害をオペレータが視覚的に参照できる。本環境により、マルチキャストネットワークの監視、障害への対処、および設定や動作の検証といった運用サイクルのうち、前節で論じた要求事項を満足するネットワーク監視を実現する。

想定するネットワーク環境と着目点

本研究では、提案するネットワーク監視環境を構築する際に、次に示すようなネットワークを想定する。

- ネットワーク
本研究が対象とするネットワークの範囲を単一の AS 内とする。このとき、AS を構成するルータの数は限定せず、各ルータはユニキャスト経路制御プロトコルに OSPF を使用することとする。
- マルチキャストグループ管理手法・経路制御プロトコル
本環境では、ASM、SSM の両方に対応する一方で、マルチキャスト経路制御プロトコルとして PIM-SM を想定する。

本研究では、ユニキャスト経路制御プロトコルとマルチキャスト経路制御プロトコルに OSPF、および PIM-SM を想定している。この理由として、現在の多くのネットワークで OSPF と PIM-SM が普及しており、本機構の適用範囲もっとも広げられると考えられる。

OSPF では、ルータは隣接する他のルータと LSA を交換することにより、ネットワーク全体のユニキャスト経路表を計算するための Link State Database を生成する。従って、OSPF が動作するルータはそれぞれ Link State Database を持ち、単一ルータの Link State Database を参照することで、そのネットワークの全トポロジが把握できるという特徴がある。また、PIM-SM においてトラフィックのパスが RPT の状態である場合にはトラフィックは RP を経由するが、パスが SPT の状態である場合にはトラフィックは送信者から受信者までの最短経路を使用することとなる。

このため、マルチキャストトラフィックの送信者、および受信者が AS 内に存在する場合には、RP として機能するルータとマルチキャストの受信者に隣接したルータを監視するだけで、それらのルータを通過するマルチキャストトラフィックのパスをネットワーク全体の視点から把握できる。本研究では、この特性に着目し、監視対象となるマルチキャストルータを低減しながら、ネットワーク全体の視点からマルチキャストの運用情報を監視する。

マルチキャスト運用情報の定義

本環境では、マルチキャスト運用情報をマルチキャストルータの状態と、マルチキャストトラフィックの状態に大別し、ネットワーク全体の視点から可視化する。それぞれの分類は、次に示すような個々のパラメータを持つ。

- マルチキャストルータの状態
 - Rendezvous Point
 - リーフルータ
 - その他の中間ルータ

- マルチキャストトラフィックの状態
 - 送信元 IP アドレス
 - 宛先マルチキャストグループアドレス
 - パスの経路
 - パスの状態 (SPT、RPT)
 - トラフィックによる帯域消費

マルチキャストルータの状態とは、監視対象となっているマルチキャストルータがどのような状態で機能しているかを示し、PIM-SMにおける機能の分類から Rendezvous Point、リーフルータ、そしてその他の中間ルータに分類される。マルチキャストルータの状態は、ネットワークトポロジにおいてルータの機能を示すための情報であり、個々のルータの機能に応じて異なる形態で可視化する。このとき、リーフルータとはマルチキャストトラフィックの受信者に直接接続しているルータを示す。また、その他の中間ルータとは、Rendezvous Point やリーフルータとしては機能せず、ネットワークにおける中間ルータとして機能するマルチキャストルータを示す。

マルチキャストトラフィックの状態とは、あるマルチキャストトラフィックがネットワーク上のどのノードからどのマルチキャストグループ宛に送信されているか、そのときのパスはネットワークのどの経路を使用しているかといった、個々のマルチキャストトラフィックの詳細なパラメータを示す。

図 4.1 に示すように、マルチキャストトラフィックは、同一の送信者から同一の宛先マルチキャストグループアドレスに対して伝送されている場合にも、パスの状態が SPT の場合と RPT の場合とでは配送経路が異なる。このため、マルチキャストルータにおける PIM-SM の状態を監視し、パスの状態が RPT か SPT かを明らかにすることで、マルチキャストトラフィックのパスが変化するか否かが予測可能となる。

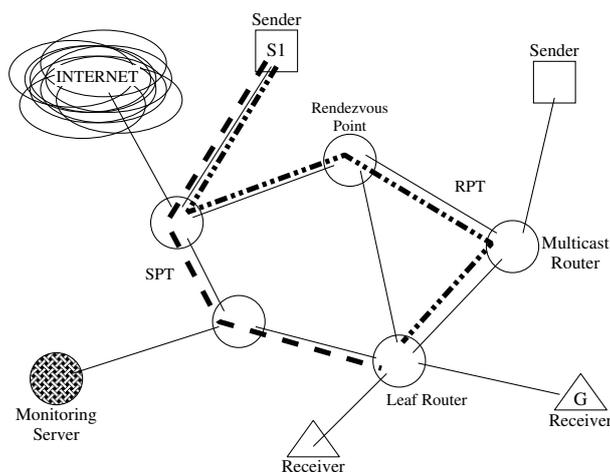


図 4.1: SPT と RPT でのパスの違い

図 4.2 のように、あるマルチキャストネットワークにて複数のマルチキャストトラフィックが伝送されている場合を考える。あるルータ間で 2 つのマルチキャストトラフィックが伝送されている。このとき、ルータ間のマルチキャストトラフィックの合計量は、マルチキャストルータの Multicast Forwarding Cache (MFC) から各トラフィックの使用帯域を取得し、合計することで知ることができる。

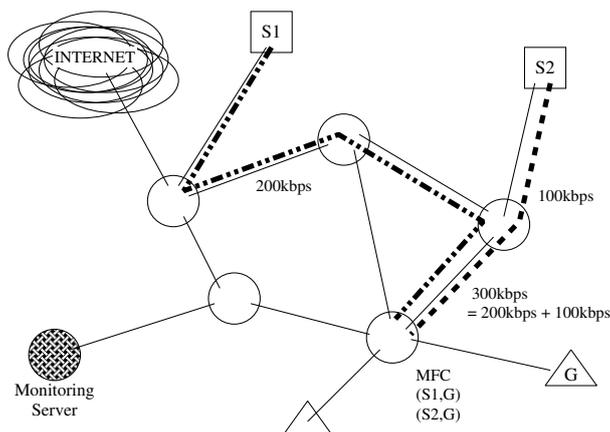


図 4.2: 各フロー毎の情報から全体を把握するための情報

ネットワークにおける監視対象の選別

マルチキャストネットワーク全体の状態を把握するには、どのくらいの数のルータを、またどのルータを、監視すべきかの議論が必要である。

本環境では、マルチキャストネットワークにおけるトポロジは OSPF の Link State Database を参照することでその全体を提示することができる。しかし、マルチキャストの受信者はマルチキャストネットワークにおいて常に特定の場所から固定的にマルチキャストグループに参加するとは考えにくい。

本研究では、マルチキャストの受信者がネットワークのどの部分からマルチキャストグループに参加するかを、ネットワークの運用上一般的に構成されるトポロジの階層構造を例に考察する。

次の図 4.3 に示すように、大規模なネットワークはコアネットワーク、ディストリビューションネットワーク、リーフネットワークというように、ネットワークの末端に近づくに従って細分化される。このとき、ISP 等のネットワークにおいてユーザがリーフネットワークに属してマルチキャストサービスに参加するように、マルチキャストの受信者はリーフネットワークに接続している場合が一般的であると考えられる。

従って、本環境において監視対象とすべきルータとしては、ネットワークにおいてリーフルータとして機能するルータ、および Rendezvous Point としてネットワークの運用ポリシーから指定されたルータを選別するのが適切である。

4.3. 本提案のまとめ

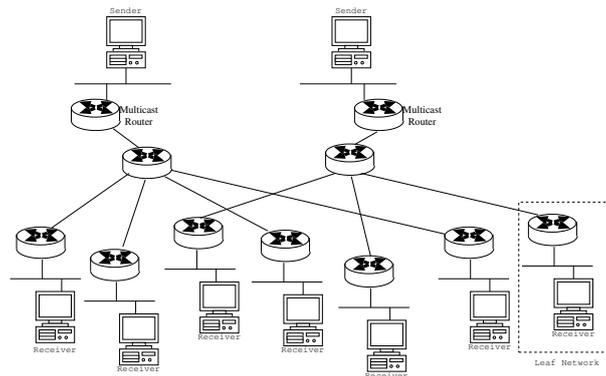


図 4.3: ネットワークの細分化

ただし、リーフルータの数は各ネットワークのデザインによって大きく異なる。このため、実ネットワークにおいて多くのリーフルータを含むトポロジが採用されている場合には、本研究で着目した監視対象のルータ数が大きくなり、ネットワーク監視のコストが低減できないが場合も考えられる。

4.3 本提案のまとめ

本章では、マルチキャスト運用支援のためのネットワーク監視環境を提案した。本研究では、前章までに論じた問題点に対する解決手法として、提案環境に求められる要求事項を整理した。本研究における問題点と提案した環境の要求事項をそれぞれ示す。

本研究における問題点

1. ネットワーク全体を可視化するために全ルータを監視するのは管理コストが高い
2. マルチキャストネットワーク全体を可視化した上で、運用情報を提示する環境が無いために、障害検知や設定最適化へのフィードバックが困難である
3. 個々の運用環境への依存性が高く、経路制御プロトコルが限られていたり、対応していない場合が多い

提案した環境の要求事項

1. マルチキャストネットワーク全体を監視範囲とできること
2. マルチキャストネットワークの運用情報を可視化できること
3. ASM と SSM のマルチキャストグループ管理手法と現状で広く普及しているマルチキャスト経路制御プロトコルに対応していること

本研究では、提案する環境が動作するネットワークを AS、使用する経路制御プロトコルとして OSPF と PIM-SM をそれぞれ前提条件とし、本環境におけるマルチキャスト運用情報を定義した。本環境における着目として、OSPF のプロトコル上の特性により、1 つのルータの Link State Database を参照することで監視対象のネットワークの全トポロジが把握できることを述べ、ネットワーク内の全てのルータを監視対象とせずに済む手法を示した。そして、マルチキャスト運用情報をルータから取得する際には、一般的な階層構造を持つネットワークにおける受信者の接続地点を考慮し、Rendezvous Point とリーフネットワークへの接続性を提供するリーフルータを監視対象とすることで、なるべく少ない監視ルータでマルチキャストネットワークの状態が可視化できることを述べた。

第5章 設計

本章では、第4章で提案した環境の設計を述べる。

5.1 本システムの概要

本機構は、ユニキャストの経路情報を元に監視対象のネットワークトポロジを把握する一方で、ユニキャストフロー毎に伝送経路や帯域などの情報を取得する。これらの情報を数値や図形として視覚化し、ネットワークトポロジに適用する。集約した情報を可視化し、ユーザに提供する。

本システムの概要を図5.1に示す。

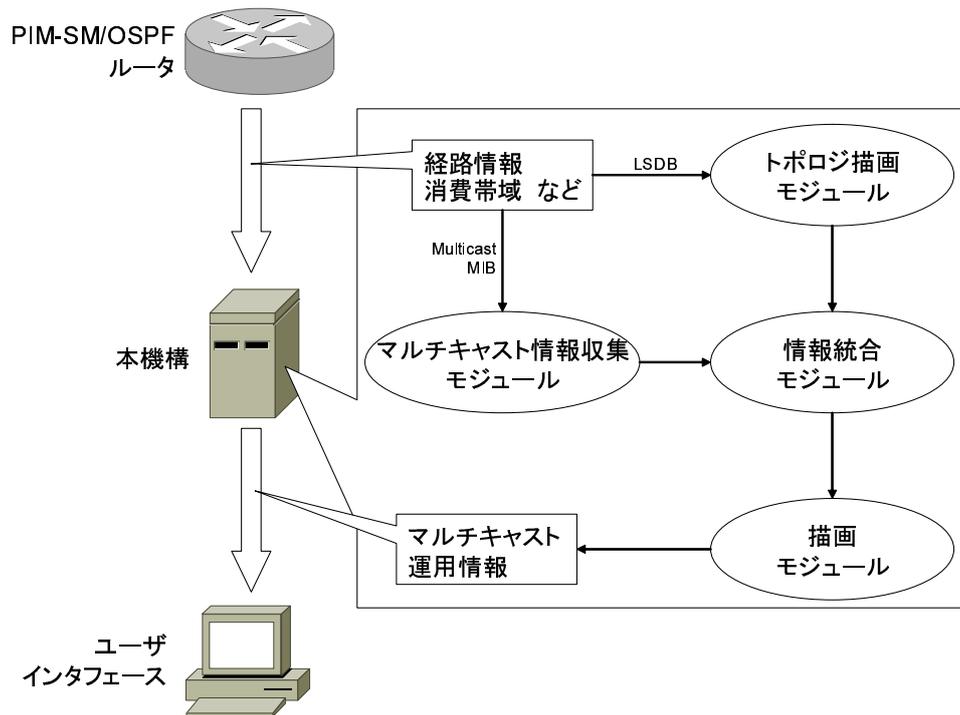


図 5.1: 設計の概要

5.2 システムが前提とする環境

本研究では次に示す環境を前提として、第 4 章で提案した環境を設計する。

- 対象とするネットワークの範囲
- ユニ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
- 取得する情報の定義
- 監視サーバの設置

5.3 モジュール構成

本機構は、次の 4 つのモジュールにより構成される。

- トポロジ描画モジュール
ユニキャスト経路情報を取得し、トポロジを生成する
- マルチキャスト情報収集モジュール
マルチキャストに関する情報を取得する
- 情報統合モジュール
トポロジとマルチキャスト情報を統合する
- 描画モジュール
情報を可視化し、ユーザインタフェースを提供する

5.4 トポロジ描画モジュール

本モジュールは、ユニキャスト経路情報を取得し、その情報を元に論理トポロジを生成する。

5.4.1 モジュールの構成

本モジュールではユニキャスト経路制御プロトコルである OSPF から論理トポロジの把握に必要な情報を取得する。次に、取得した情報をネットワーク全体の経路表が生成可能な形へ統合し、テキストファイルへ書き出す。これを情報統合モジュールへ渡す。

本モジュールの流れを図 5.2 に示す。

5.4. トポロジ描画モジュール

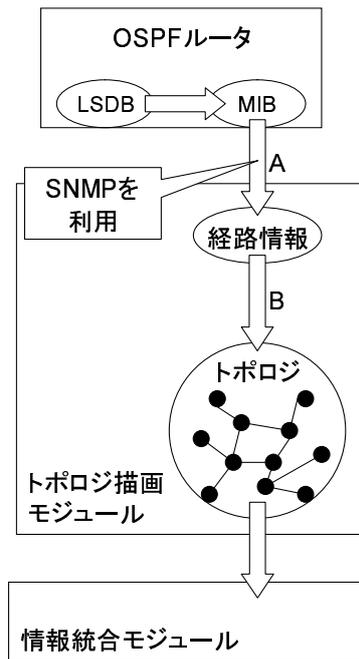


図 5.2: トポロジ描画モジュールの概要

5.4.2 取得する情報

本モジュールでは、論理トポロジを生成するために OSPF ルータよりリンクステートデータベース (LSDB) を取得する。LSDB は、OSPF ルータ同士が LSA を交換、収集することによって生成される、経路表の元となるデータベースである。LSA には、ネットワークの情報やインタフェースのコストなどの情報が含まれている。

LSDB に関する情報は、OSPF MIB において定義されている。本モジュールでは、経路に関する情報だけでなく、OSPF のコストなどの情報も取得、利用する。

5.4.3 情報の取得方法

LSDB に関する情報は、OSPF MIB において定義されている。このため、図中 A のように SNMP を利用して OSPF ルータから必要な情報を取得する。

5.4.4 トポロジ生成方法

OSPF ルータから取得した情報を、図中 B のようにある規則に従ったテキストで記述し、ファイルへ保存する。このテキストファイルからは画像を生成するアプリケーションを用いてトポロジ図へと変換可能であるが、後に情報を書き加えるなど、編集する必要があるため、編集しやすいテキストファイルとして保存し、後述する情報統合モジュールへ渡す。

5.5 マルチキャスト情報収集モジュール

本モジュールでは、マルチキャストルータからマルチキャストネットワークの運用に必要な情報を収集し、後述する情報統合モジュールへデータを渡す。

5.5.1 モジュールの構成

本モジュールでは、PIM-SM ルータ内の 2 箇所より情報を取得する。マルチキャスト経路制御プロトコルである PIM-SM ルータより、PIM State を取得する。Kernel 内部より、Multicast Forwarding Cache (MFC) を取得する。

本モジュールの流れを図 5.3 に示す。

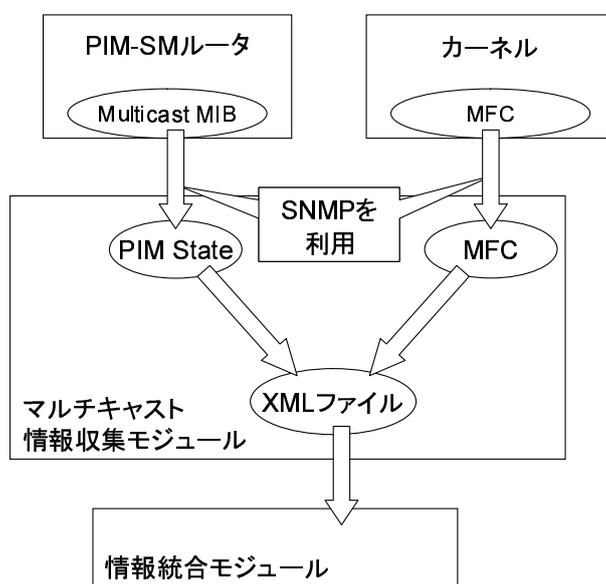


図 5.3: マルチキャスト情報収集モジュールの概要

5.5.2 収集するデータ

マルチキャスト経路制御プロトコルである PIM-SM ルータから取得できる PIM State を監視する。PIM State を監視することにより、各フローごとに使用している配送木の種類がわかる。

また、Kernel 内部から取得できる MFC を監視する。MFC を監視することにより、各フローごとの送信者アドレス、マルチキャストグループアドレス、消費帯域などの情報が取得可能である。

5.5.3 データの取得方法

PIM State は PIM-STD-MIB において定義されており、SNMP を用いることで取得可能である。MFC は、IPMROUTE-STD-MIB において定義されており、SNMP を用いることで取得可能である。

5.6 情報統合モジュール

本モジュールでは、マルチキャスト収集モジュールが取得した情報を統合し、後述する描画モジュールへ結果が記述されているファイルを渡す。

5.6.1 モジュールの構成

本モジュールでは、マルチキャスト情報収集モジュールで取得した情報を使用する。この情報を統合し、トポロジ描画モジュールで生成した XML 形式のテキストファイルへ書き加える。そして、描画モジュールへ渡す。

本モジュールの流れを図 5.4 に示す。

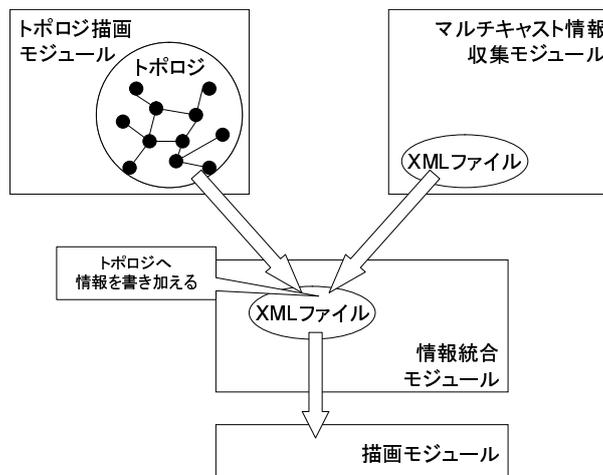


図 5.4: 情報統合モジュールの概要

5.6.2 情報統合の手法

マルチキャスト収集モジュールから受け取った情報は、本モジュールで整理される。PIM State や MFC、OSPF の LSDB といった情報を利用し、伝送経路と消費帯域を導き出す。MFC からはフローの消費帯域と、(S, G) という形で送信者、マルチキャストグループの組がわかる。PIM State からは、SPT もしくは RPT といったフローの配送木の形態がわ

かる。LSDB からは、SPT の場合には送信者から受信者までの経路がわかり、RPT の場合には送信者・受信者から RP までの経路がわかる。このようにして、フローの伝送経路とその経路で利用されている帯域がわかる。

これらの情報をトポロジ描画モジュールで作成したトポロジへ書き加えられる形に編集し、トポロジ描画モジュールから受け取ったテキストファイルへ書き加える。

5.7 描画モジュール

本モジュールでは、情報統合モジュールから取得した情報とを利用し、画像へ変換する。また、ユーザインタフェースを提供する。

5.7.1 モジュールの構成

本モジュールでは、情報統合モジュールから取得した情報を使用する。このテキストファイルを画像へと変換することで可視化される。ユーザインタフェースでこれを提供する。

本モジュールの流れを図 5.5 に示す。

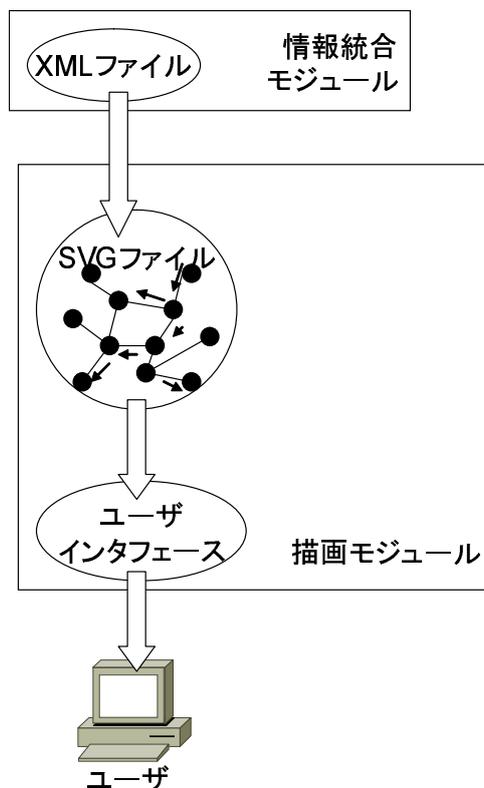


図 5.5: 描画モジュールの概要

5.7.2 描画方法

情報統合モジュールから取得した XML 形式のテキストファイルは、トポロジ描画モジュールで用いた描画方法と同様に、ある規則性に従ったテキストを記述されている。このテキストファイルを画像へと変換するアプリケーションを用いて、画像へと変換する。

5.7.3 ユーザインターフェース

ユーザインタフェースとして、結果を WEB から参照できるものを構築する。WEB から参照できるようにすることにより、ユーザが直観的に把握できる画像やテキストで表示することができるだけでなく、インタラクティブな効果や、ユーザによる情報の選択が可能となる。

第6章 実装

本章では、5章で述べた機構の実装について述べる。

6.1 実装環境

本機構の実装環境を表 6.1 に示す。

表 6.1: 本機構の実装環境

| | |
|------------------|--------------------------------------|
| Operating System | FreeBSD 4.11-RELEASE-p13 |
| CPU | Pentium III 1.0GHz |
| Memory | 1024MByte |
| Hard Disk | 40GByte |
| gcc version | 2.95.4 |
| Routing Daemon | zebra 0.95[37] xorp 1.1[38] |
| Visualization | Graphviz 2.2[39] Netpicture 0.0.1 |
| User Interface | SVG 形式の画像 |

本機構では、マルチキャスト経路制御プロトコルの実装として、xorp を用いる。マルチキャスト経路制御プロトコルの実装は複数存在するが、xorp は数ある実装のうち唯一、PIM をいち早く RFC に基づいた実装を行ったものである。

6.2 実装の概要

本機構の実装概要を図 6.1 に示し、以下に本機構のにおける処理の流れを述べる。

1. OSPF ルータから LSDB を取得し、XML 形式で記述したものを保存
2. PIM-SM ルータを監視し、マルチキャスト MIB と MFC を取得、XML 形式で記述したものを保存
3. 1. と 2. を統合し、SVG 形式で記述

6.2. 実装の概要

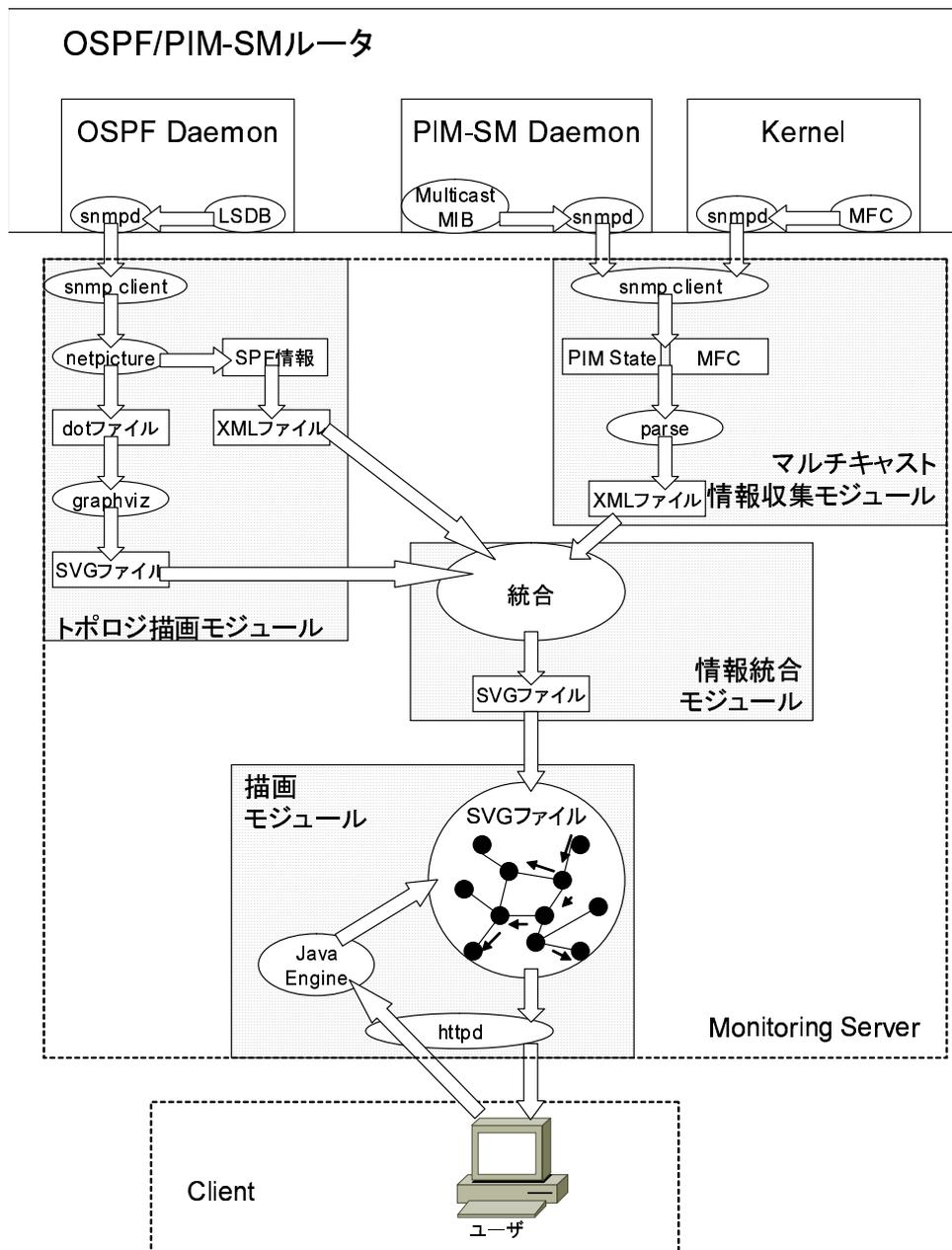


図 6.1: 実装の概要

4. 3. をインタラクティブなページとして編集
5. 4. を Web ページとして公開
6. ユーザからの要求に応じて表示する情報を変更

6.3 トポロジ描画モジュール

本モジュールでは、OSPF ルータから LSDB を取得し、XML 形式で記述し保存する。トポロジを把握するツールとして、Netpicture を利用する。Netpicture は OSPF ルータから LSDB を取得し、dot 言語で記述されたテキストファイルとして保存する。このテキストファイルを可視化するためには、Graphviz を利用する。

本モジュールで利用する Netpicture、dot 言語、および Graphviz について、以下に述べる。

6.3.1 Netpicture の概要

Netpicture は、OSPF Daemon である ospfd からトポロジ把握に必要な MIB を SNMP を用いて取得し、dot 言語で記述されたテキストファイルとして保存する。ospfd に SNMP で接続するためには、smux を用いる必要がある。smux は、同一ホスト内において sub-agent を定義し SNMP の情報をやりとりできるようにする。これを図 6.2 に示す。

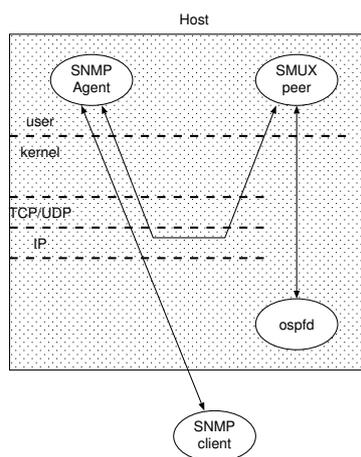


図 6.2: smux と SNMP のやりとり

また、MIB において次の 2 つの OID を取得する。

- OSPF-MIB::ospfLsdbAreaId
- OSPF-MIB::ospfLsdbAdvertisement

これらの取得例を図 6.3、図 6.4 に示す。

6.3. トポロジ描画モジュール

```
OSPF-MIB::ospfLsdbAreaId.0.0.0.0.routerLink.202.249.24.2.202.249.2
4.2 = IpAddress: 0.0.0.0
OSPF-MIB::ospfLsdbAreaId.0.0.0.0.routerLink.202.249.24.5.202.249.2
4.5 = IpAddress: 0.0.0.0
OSPF-MIB::ospfLsdbAreaId.0.0.0.0.routerLink.202.249.24.39.202.249.
24.39 = IpAddress: 0.0.0.0
OSPF-MIB::ospfLsdbAreaId.0.0.0.0.routerLink.202.249.24.42.202.249.
24.42 = IpAddress: 0.0.0.0
OSPF-MIB::ospfLsdbAreaId.0.0.0.0.routerLink.202.249.24.43.202.249.
24.43 = IpAddress: 0.0.0.0
OSPF-MIB::ospfLsdbAreaId.0.0.0.0.routerLink.202.249.24.50.202.249.
24.50 = IpAddress: 0.0.0.0
OSPF-MIB::ospfLsdbAreaId.0.0.0.0.routerLink.202.249.24.226.202.249
.24.226 = IpAddress: 0.0.0.0
OSPF-MIB::ospfLsdbAreaId.0.0.0.0.routerLink.202.249.24.253.202.249
.24.253 = IpAddress: 0.0.0.0
```

図 6.3: OSPF-MIB::ospfLsdbAreaId 取得例

```
OSPF-MIB::ospfLsdbAdvertisement.0.0.0.0.routerLink.202.249.24.2.20
2.249.24.2 = Hex-STRING: 00 04 02 01 CA F9 18 02 CA F9 18 02 80 00
0D E9
59 BC 00 30 00 00 02 CA F9 18 C0 FF FF FF F0
03 00 00 0A CA F9 18 1C CA F9 18 02 02 00 00 0A

OSPF-MIB::ospfLsdbAdvertisement.0.0.0.0.routerLink.202.249.24.5.20
2.249.24.5 = Hex-STRING: 00 03 02 01 CA F9 18 05 CA F9 18 05 80 00
02 AA
7C 56 00 3C 00 00 03 CA F9 18 1C CA F9 18 05
02 00 03 E8 CA F9 18 FC CA F9 18 FB 02 00 00 64
CA F9 18 2E FF FF FF FF 03 00 00 0A

OSPF-MIB::ospfLsdbAdvertisement.0.0.0.0.routerLink.202.249.24.39.2
02.249.24.39 = Hex-STRING: 00 02 02 01 CA F9 18 27 CA F9 18 27 80
00 0B 31
```

図 6.4: OSPF-MIB::ospfLsdbAdvertisement 取得例

6.3.2 Graphviz の概要

Graphviz は、トポロジを生成するツールである。dot 言語を用いて書かれたグラフ表現を、GIF や PNG、JPG などの様々な画像ファイルフォーマットに変換できる。

dot 言語とは、主に Graphviz で使われ、文字や範囲、矢印の各オブジェクトに対して、大きさや色、ラベル、形などが容易に指定できる。dot 言語の例を図 6.5 に示す。

```
digraph "ospf-net" {
    graph [clusterrank=none, label="2006/01/06 00:00:09 ai3.net"];
    node [color=black, shape=box];
    edge [arrowhead=none];
    "202.249.24.252/29 " -> "n6-gate.ai3.net" [style=invis];
    "202.249.25.3/27 " -> "sfc-gate.ai3.net" [style=invis];
    "202.249.25.244/27 " -> "pim-rp.ai3.net" [style=invis];
}
```

図 6.5: OSPF-MIB::ospfLsdbAreaId 取得例

6.3.3 本モジュールの生成物

本モジュールでは LSDB を取得し、トポロジの構成要素を記述した dot ファイルを生成した。これを情報統合モジュールへ渡すため、さらに XML へと変換する。この際にも Graphviz が利用でき、dot ファイルから XML ファイルを生成、情報統合モジュールへ渡す。

6.4 マルチキャスト情報収集モジュール

本モジュールでは PIM-SM ルータを監視し、マルチキャスト MIB と MFC を取得する。これを XML 形式で記述し、ファイルへ保存する。

PIM-SM Daemon からは PIM State を取得する。この情報は PIM-STD-MIB において定義されており、SNMP を用いて取得する。

Kernel からは MFC、インタフェースの情報を取得する。この情報は、IPMROUTE-MIB において定義されており、PIM State と同様に SNMP を用いて取得する。

本モジュールによって取得したデータを元に生成された XML ファイルの例を図 6.6 示す。

6.5 情報統合 モジュール

本モジュールでは、トポロジ描画モジュール、マルチキャスト情報収集モジュールの結果を統合し、SVG 形式で記述する。

SVG 形式については、後述する。

```
<router id="202.249.26.1">
  <mfc groupAddr="234.1.1.1" sourceAddr="202.249.24.241">
    <rp addr="202.249.25.225" pimState="StarG"/>
    <!-- pimState: StarG|SG|SGrpt -->
    <traffic>
<old byte="1062" second="1136783916"/>
<cur byte="3062" second="1136783976"/>
    </traffic>
    <incoming net="202.249.25.192/27" addr="202.249.25.194"/>
    <outgoing>
    <out net="202.249.26.0/29" addr="202.249.26.1"/>
    </outgoing>
  </mfc>
</router>
```

図 6.6: 本モジュールで生成した XML ファイルの例

6.6 描画モジュール

本モジュールでは、情報統合モジュールの結果をインタラクティブなページとなるよう編集する。このとき、本モジュールは次のポリシーにしたがって運用情報を描画する。

- 各フローごとに色を分別
- 初期画面ではすべてのフローを表示
- 目的のフローのみを表示
- 送信者を選択するとそのフローの詳細情報を表示

これを Web ページとして公開する。インタラクティブなページを記述するにあたり、SVG を利用する。

SVG とは、XML を基とした二次元ベクタ画像を記述する言語である。ベクタ画像は見る環境に応じて最適な表示が可能となる。また、SVG では JavaScript などと組み合わせることにより、アニメーション機能などのインタラクティブコンテンツの作成が容易に行える。

SVG の記述例を図 6.7 に示す。

```
<?xml version="1.0" encoding="UTF-8" standalone="no"?>
<!DOCTYPE svg PUBLIC "-//W3C//DTD SVG 1.0//EN"
  "http://www.w3.org/TR/2001/REC-SVG-20010904/DTD/svg10.dtd">
<svg width="852pt" height="720pt"
  viewBox = "-1 -1 851 719"
  xmlns="http://www.w3.org/2000/svg">

<g id="graph0" class="graph" style="font-family:Times-Roman;font-size:14.00;">
<title>ospf&#45;net</title>
<text text-anchor="middle" x="425" y="705">2006/01/07 11:26:05
wide.ad.jp</text>
<g id="node1" class="node"><title>202.249.24.28/27</title>

<ellipse onclick="this_click(evt);" cx="213" cy="22" rx="62" ry
="18" style="fill:none;stroke:blue;"/>
<text text-anchor="middle" x="213" y="27">202.249.24.28/27</text>
</g>
</g>
</svg>
```

図 6.7: SVG の記述例

第7章 評価

広域マルチキャストテストベッドとして運用されている AI^3 ネットワーク [40] 上で運用し、評価を行った。本章では、本機構の性能評価を行う。

実装したシステムをテストベッド上で評価を行い、システムの有効性を述べる。また、テストベッドである AI^3 ネットワークについても述べる。

7.1 評価環境

7.1.1 評価ネットワークの概要

本研究では、日本とアジア十数カ国を衛星回線で接続しているトランジット AS である AI^3 ネットワークを対象としてシステムを構築する。 AI^3 プロジェクトでは、 AI^3 ネットワークをテストベッドにアジア各地の大学と衛星回線を用いたインターネットに関して共同研究を行っている。現在では、SOI-Asia プロジェクト [3] で授業配信を行う際にも利用されている。

AI^3 ネットワークはトランジット AS であるため、端末ルータをすべて監視するにはコストが大きい。このため、監視対象として選択されたなるべく小数のルータにおける状態監視によって、マルチキャストネットワーク全体の状態分析を可能とする。 AI^3 ネットワークのトポロジを図 7.1 に示す。

7.1.2 評価に用いたマシン、ソフトウェアの仕様

評価に用いたマシン、ソフトウェアの仕様を表 7.1 に示す。

7.2 評価項目

評価として以下のことを行った。

- 各モジュールごとの動作の検証
 - － トポロジの描画
 - － ルータからの情報収集
 - － 情報収集の統合

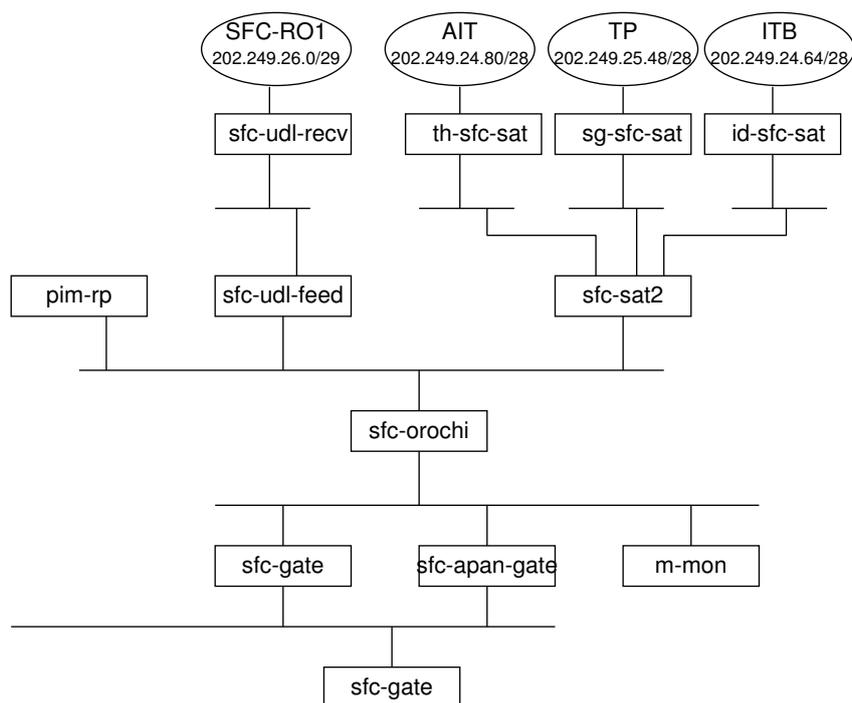
図 7.1: AI³ ネットワークトポロジ

表 7.1: 評価に使用した各マシンの仕様

| | |
|------------------|--------------------------------------|
| Operating System | FreeBSD 4.11-RELEASE-p13 |
| CPU | Pentium III 1.0GHz |
| Memory | 1024MByte |
| Hard Disk | 40GByte |
| gcc version | 2.95.4 |
| Routing Daemon | zebra 0.95[37] xorp 1.1[38] |
| Visualization | Graphviz 2.2[39] Netpicture 0.0.1 |
| User Interface | SVG |

– ユーザインタフェースからの閲覧

- 既存のツールとの比較

7.3 評価

評価は、AI³ ネットワークにて行った。図 7.1 のトポロジに示す全てのルータで、ospfd、pim-sm が動作している。

7.3.1 動作の検証

測定項目として、各モジュール毎と全体を通しての動作検証を行った。

トポロジの描画

本機構が動作する過程でトポロジ図が生成されることを確認した。これを図 7.2 に示す。図中の四角で囲まれた文字は、ルータを示す。楕円で囲まれたネットワークアドレスは、各ルータに接続されているネットワークを示す。

ルータからの情報収集

ルータから、本機構で必要とする情報である LSDB、PIM State、MFC の全てが取得できることを確認した。また、これらの情報が編集され生成された XML ファイルを閲覧することにより、確認した。このファイルの例は、第 6.4 節に示した。

情報収集の統合

ルータから取得した情報が、本機構で利用しやすい形へ統合されることを確認した。また、これらの情報が編集され生成された XML ファイルを閲覧することにより、確認した。

ユーザインタフェースからの閲覧

情報が統合されたファイルが視覚化され、必要な情報が閲覧可能なこと、選択できることを確認した。視覚化されたものを図 7.3 に示す。

この図でのトポロジは、図 7.2 と同じものである。図中では、トポロジの他にマルチキャストフロー、マルチキャストフローの詳細情報、送信者、Rendezvous Point を表示している。マルチキャストフローは 3 本表示されており、各フロー毎に赤、緑、紫と色が分けられている。各フローの送信者は、各色の丸が表示されているルータである。この丸をマウスカーソルを合わせると、各フローの送信者のアドレス、マルチキャストグループアドレス、Rendezvous Point、使用している配送木、消費帯域といった詳細情報が表示される。この丸をクリックすることにより、各フローの表示・非表示が選択できる。

表 7.2: マルチキャスト監視ツール機能比較表

| ツール名 | 取得パラメータ | 表示する情報 | 監視するルータ | user I/F | 対象プロトコル |
|---------------|--|--------------------------------|-----------------------------------|----------------------|----------------|
| Mrinfo | IGMP messages | 隣接ルータの経路情報 | 任意の 1 台 | CUI | DVMRP |
| Mtrace | IGMP extension messages host/port number incoming byte count session type | 送信者から 1 受信者への配送経路 | 任意の 1 台 | CUI | DVMRP |
| Multimon | route updates | アプリケーション別のマルチキャストトラフィック経路の統計情報 | ルータ以外 全ルータ | GUI | DVMRP |
| Route Monitor | information from the sdr-cache | 到達性 (RTT, Jitter, Packet loss) | ルータ以外 | Html (text/image) | DVMRP |
| Sdr-monitor | Information from router-tables | トポロジ、トラフィック、統計、プロトコルの動作 | 必要なルータすべて | Html (text/image) | DVMRP MBGP |
| Mantra | mtrace + mrinfo | 配送経路 | 必要なルータすべて | Html (text/image) | DVMRP |
| MRM | traffic | 到達性、配送経路 | フローの両端のルータ | CUI | DVMRP |
| Mview | mstat | 視覚化のみ | なし | GUI | DVMRP |
| Mmon | mrinfo | トラフィックの負荷 by SNMP | 必要なルータすべて | GUI | DVMRP |
| Mlisten | RTCP-data | マルチキャストグループの統計情報 | 任意の 1 台 | CUI | RTCP |
| pimstat | daemon status | デーモンが保持する情報 | 任意の 1 台 | CUI | PIM-SM |
| 本機構 | MFC, PIM state | トポロジ、パス マルチキャストトラフィック | Rendezvous Point Access Router | SVG | PIM-SM OSPF |

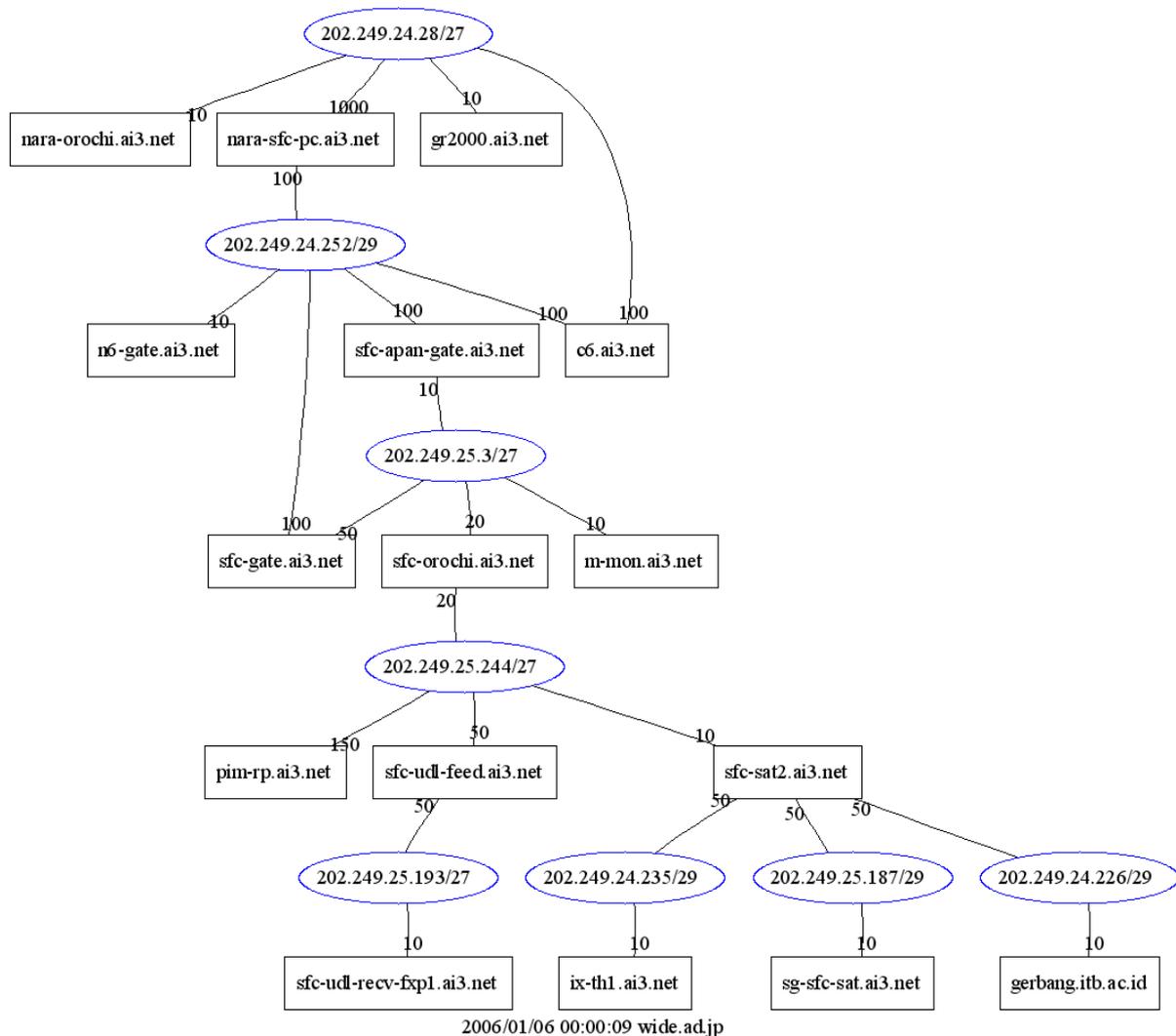


図 7.2: 生成したトポロジ図

7.3.2 既存のツールとの比較

既存のツールと本機構の機能の比較を行った。これを表 7.2 にまとめた。本機構を既存のツールと比較した結果、次のことが言える。

- 取得パラメータ

既存のツールでは、作成者のマルチキャストに対する専門知識に基づき、専用の取得機構を構築することにより情報を取得するものが多い。本機構では、SNMP で取得可能な情報を利用したため、他の情報が必要となった場合にも拡張しやすい。このため、本機構の方が汎用性があると言える。

- 表示する情報

既存のツールでは、一つの情報にのみ注目、監視するものが多い。本機構ではマル

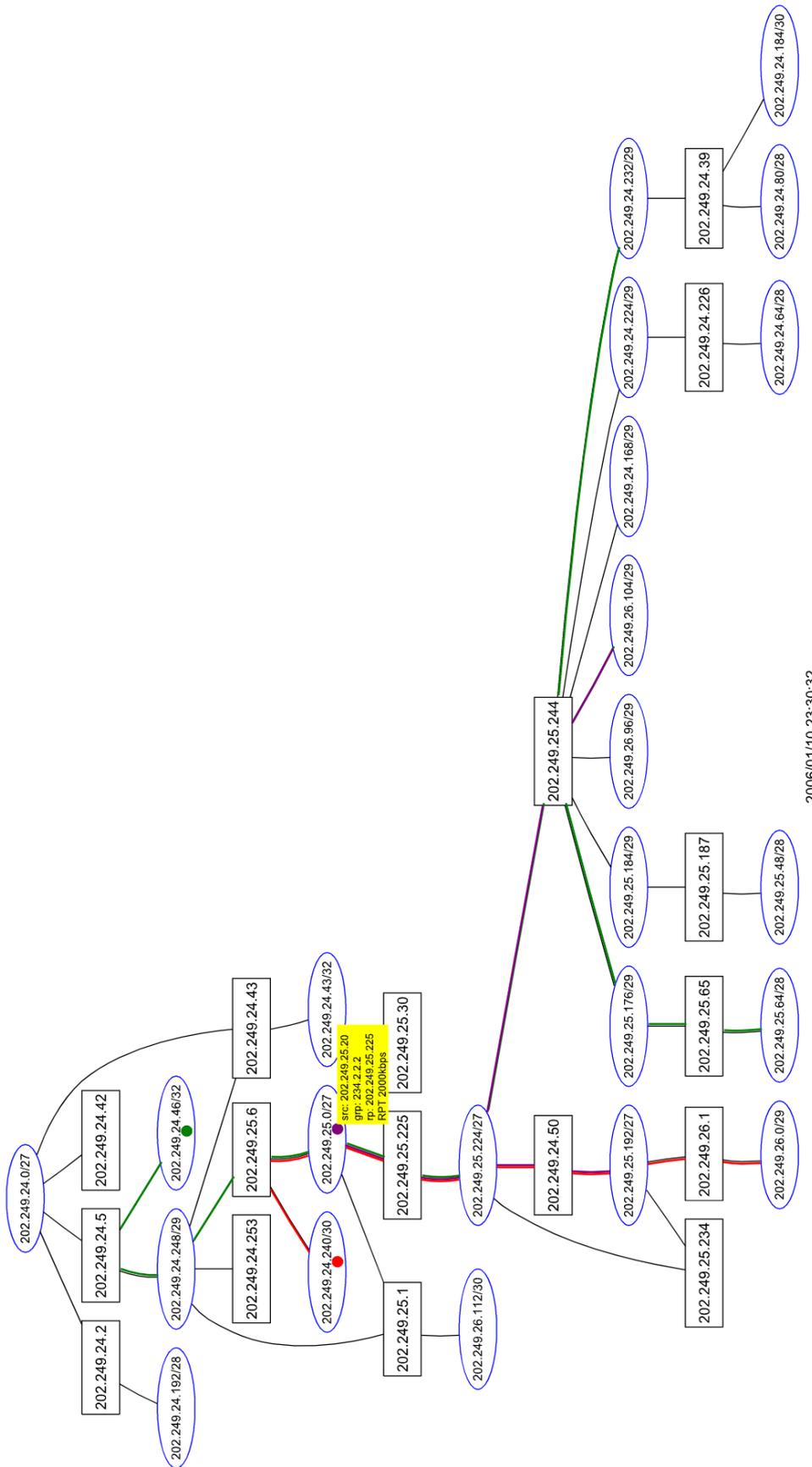


図 7.3: 視覚化された結果

7.4. 評価のまとめ

マルチキャスト全体を把握できる情報を監視し、視覚化した。このため、全体を網羅することを目的とする場合、本機構の方が有効であると言える。

- 監視するルータ

既存のツールでは、必要とするサーバの情報をそのサーバを監視する、もしくは全マルチキャストルータを監視する必要があった。本機構では、2つのルータのみを監視することにより、マルチキャストネットワーク全体を監視することを可能とした。このため、監視する枠組として本機構は規模性に優れると言える。

- user I/F

本機構では、既存のツールでは不可能であったインタラクティブなユーザインタフェースを提供した。また Web で提供することにより、ユーザの環境にとらわれない。

- 対象プロトコル

本機構では、既存のツールでは監視不可能であった PIM-SM をターゲットとし、構築した。

7.4 評価のまとめ

本機構を設置することにより、現在のネットワークトポロジおよび、マルチキャスト伝送経路の視覚化を実現した。本機構により、マルチキャストネットワークにおける運用情報を把握しオペレータに提示できる環境が構築できると言える。

本章では、本機構が各モジュールごとに動作すること、全体を通して動作することを確認した。また、既存のマルチキャスト監視ツールと比較し、本機構の有効性を示した。

第8章 おわりに

本章では、本研究のまとめと今後の課題を述べる。

8.1 まとめ

本研究では、広域ネットワークにおけるマルチキャスト運用を支援するため、現在広く用いられている PIM-SM に対応し、ネットワーク全体のマルチキャスト運用情報を少数のマルチキャストルータから効率的に取得し、オペレータに提示する環境を提案した。そして、本研究で提案した環境をマルチキャストネットワーク監視機構として設計し実装した。

マルチキャストではネットワークの複数経路でトラフィックが伝播し、マルチキャスト経路制御の状態によってトラフィックの伝送経路が切り替わるなど、ユニキャストとは異なる特性を持つ。このため、マルチキャストネットワークにおける障害検知やオペレータへの運用情報のフィードバックを行うには、ネットワーク全体という視点からマルチキャストの状態を監視する必要があった。

しかし、マルチキャストネットワーク全体を監視するのに多数のルータ監視対象をすることは管理コストが高く、困難であった。このため、ASM や経路制御の状態遷移などによるトラフィックの配送経路の変動や一部のリンクにトラフィックが集中することで発生した輻輳等といったネットワークの振舞いについて、その現象の確認や原因の特定が困難であるという問題があった。また、ネットワークトポロジやパスなどの運用情報を可視化することへの要求や、現状で広く使われているマルチキャスト経路制御プロトコルへの対応状況を考えると、既存のマルチキャスト監視機構では効率的なマルチキャスト運用情報の監視ができなかった。

本研究では、これらの問題点を解決するために可視化、対応プロトコル、監視範囲の点から要求事項を整理し、マルチキャスト運用支援のためのネットワーク監視環境を提案した。そして、ユニキャストおよびマルチキャスト経路制御プロトコルに OSPF と PIM-SM をそれぞれ用いる AS 内を前提に、本環境で要求事項として位置付けた機能をプロトタイプとして設計実装し、問題を解決した。

本機構を、アジアをカバーした広域なネットワークであり実運用中の AI³ ネットワークに適用した結果、当該ネットワークにおけるマルチキャストの運用情報が正しく可視化できることを実証的に確認できた。また、本機構を既存のシステムと比較した結果、対応プロトコルやシステムが前提とする監視ルータの数などの点で、本機構が有用であることを示した。

従って本研究により、マルチキャストネットワークにおける運用情報を把握しオペレータに提示できる環境が構築でき、マルチキャストサービスをより一般的に利用できるインフラストラクチャの実現に寄与できるといえる。

8.2 今後の課題

本機構は単一の AS 内に特化して設計し実装した。しかし、グローバルなマルチキャストサービスを考えるときには、AS をまたいでマルチキャストトラフィックが伝送されることを考慮する必要がある。この場合、AS 間のルーティングプロトコルである BGP に本機構が対応する必要がある。本機構がインターネットマルチキャストに対応できれば、ISP のようなトランジット AS でもマルチキャスト運用情報が効率的に監視できるようになるため、その実現方法の検討を今後の課題とする。

謝辞

本研究を進めるにあたり、御指導をいただきました、慶應義塾大学環境情報学部教授の徳田英幸博士、並びに村井純博士に深く感謝いたします。また、絶えず御助言と御指導をいただきました、同学部助教授の楠本博之博士、並びに中村修博士、高汐一紀博士、同学部専任講師の南政樹氏、重近範行博士に深く感謝いたします。

本研究の全般に渡り、終始惜しみない御助言と叱咤激励をしていただきました、慶應義塾大学政策メディア研究科の Achmad Husni Thamrin 博士、並びに片岡広太郎氏に深く感謝いたします。また、本論文の執筆に際して、常に励ましと御協力をいただきました、慶應義塾大学政策メディア研究科の渡辺陽仁氏、小原泰弘氏をはじめとする、慶應義塾大学環境情報学部の徳田・村井・楠本・中村・南研究会の諸先輩、同輩に深く感謝いたします。

参考文献

- [1] Mbone home page. <http://mbone.com/>, January 2006.
- [2] Maufer Thomas A., 楠本博之 訳. IP マルチキャスト入門. 共立出版, November 2001.
- [3] SOI-Asia project home page. <http://www.soi.wide.ad.jp/soi-asia/>, January 2006.
- [4] S.E. Deering. *Host extensions for IP multicasting*, August 1989. RFC 1112.
- [5] R. Vida, Ed., L. Costa, and Ed. *Multicast Listener Discovery Version 2 (MLDv2) for IPv6*, June 2004. RFC 3810.
- [6] S. Bhattacharyya and Ed. *An Overview of Source-Specific Multicast (SSM)*, July 2003. RFC 3569.
- [7] D. Waitzman, C. Partridge, and S.E. Deering. *Distance Vector Multicast Routing Protocol*, November 1988. RFC 1075.
- [8] D. Estrin, D. Farinacci, A. Helmy, D. Thaler, S. Deering, M. Handley, V. Jacobson, C. Liu, P. Sharma, and L. Wei. *Protocol Independent Multicast-Sparse Mode (PIM-SM): Protocol Specification*, June 1998. RFC 2362.
- [9] J. Moy. *MOSPF: Analysis and Experience*, March 1994. RFC 1585.
- [10] A. Adams, J. Nicholas, and W. Siadak. *Protocol Independent Multicast - Dense Mode (PIM-DM): Protocol Specification (Revised)*, January 2005. RFC 3973.
- [11] A. Ballardie. *Core Based Trees (CBT) Multicast Routing Architecture*, September 1997. RFC 2201.
- [12] B. Fenner and et al. mrouted, mrinfo, and other tools. *Available from ftp://ftp.parc.xerox.com/pub/net-research/ipmulti/*, March 1998.
- [13] Fenner, W., and S. Casner. A "traceroute" facility for IP Multicast. *Internet Engineering Task Force (IETF) Internet Draft*, pages draft-ietf-idmr-traceroute-ipm-*.txt, August 1998.
- [14] 臼井 健. 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. 平成 13 年度学士学位論文, pages -, February 2002.

-
- [15] Kamil Sarac and Kevin C. Almeroth. Supporting Multicast Deployment Efforts: A Survey of Tools for Multicast Monitoring. *Journal of High Speed Networks*, vol. 9, num. 3,4, pages 191–211, October 2000.
- [16] J. Robinson and J. Stewart. MultiMON 2.0 - Multicast Network Monitor. Available from <http://www.merci.crc.ca/mbone/MultiMON/>, August 1998.
- [17] D. Massey and B. Fenner. Fault Detection in Routing Protocols. *Proceedings of the IEEE International Conference on Network Protocols (ICNP)*, pages 31–, November 1999.
- [18] Kamil Sarac, and Kevin Almeroth. Monitoring Reachability in the Global Multicast Infrastructure. *ICNP '00: Proceedings of the 2000 International Conference on Network Protocols*, 141 2000.
- [19] K. Sarac and K. Almeroth. Supporting the Need for Inter-Domain Multicast Reachability. *Network and Operating System Support for Digital Audio and Video (NOSS-DAV)*, Chapel Hill, North Carolina, USA, June 2000.
- [20] M. Handley. SDR: Session Directory Tool. *University College London Avail from* <http://www-mice.cs.ucl.ac.uk/multimedia/software/sdr/>, January 2006.
- [21] Prashant Rajvaidya and Kevin C. Almeroth and Kimberly C. Claffy. A Scalable Architecture for Monitoring and Visualizing Multicast Statistics. *DSOM '00: Proceedings of the 11th IFIP/IEEE International Workshop on Distributed Systems: Operations and Management*, pages 1–12, February 2000.
- [22] T. Bates, Y. Rekhter, R. Chandra, and D. Katz. *Multiprotocol Extensions for BGP-4*, June 2000. RFC 2858.
- [23] B. Fenner, Ed., D. Meyer, and Ed. *Multicast Source Discovery Protocol (MSDP)*, October 2003. RFC 3618.
- [24] The CAIDA Web Site. <http://www.caida.org/>, January 2006.
- [25] Tamara Munzner and Eric Hoffman and K. Claffy and Bill Fenner. Visualizing the Global Topology of the Mbone. *1996 IEEE Symposium on Information Visualization, (San Francisco, California, USA)*, pages 85–92, October 1996.
- [26] K. Almeroth, L. Wei. Justification for and use of the Multicast Reachability Monitor (MRM) Protocol. *Internet Engineering Task Force (IETF) Internet Draft*, pages draft-ietf-mboned-mrm-use-*.txt, March 1999.
- [27] K. Almeroth, L. Wei and D. Farinacci. Multicast Reachability Monitor (MRM). *Internet Engineering Task Force (IETF) Internet Draft*, pages draft-ietf-mboned-mrm-*.txt, July 2000.

8.2. 今後の課題

- [28] K. Almeroth, K. Sarac and L. Wei. Supporting Multicast Management Using the Multicast Reachability Monitor (MRM) Protocol. *UCSB CS Technical Report*, pages –, May 2000.
- [29] A. Rubens, C. Ravishankar, D. Thaler, A. Adams, B. Norton, and J. Digiuseppe. Mview: Merit SNMP-Based MBONE Management Project. *Available from <http://www.merit.edu/mbone/mviewdoc/Welcome.html>*, January 2006.
- [30] A. Rubens, C. Ravishankar, D. Thaler, A. Adams, B. Norton, and J. Digiuseppe. Mstat: Merit SNMP-Based MBONE Management Project. *Available from <http://ftp.flirble.org/network/merit/mbone/.mstat.html>*, January 2006.
- [31] D. Harrington, R. Presuhn, and B. Wijnen. *An Architecture for Describing Simple Network Management Protocol (SNMP) Management Frameworks*, December 2002. RFC 3411.
- [32] R. Malpani and E. Perry. Mmon: A multicast management tool using HP Open View. *Available from <http://www.hpl.hp.com/research/mmon/>*, January 2006.
- [33] T. Friedman, Ed., R. Caceres, Ed., A. Clark, and Ed. *RTP Control Protocol Extended Reports (RTCP XR)*, November 2003. RFC 3611.
- [34] K. Almeroth, M. Ammar. Multicast group behavior in the Internet's Multicast Backbone (MBone). *IEEE Communications*, vol.35, pages 224–229, June 1997.
- [35] Kevin C. Almeroth. A Long-Term Analysis of Growth and Usage Patterns in the Multicast Backbone (MBone). *IEEE Infocom*, pages 824–833, March 2000.
- [36] R. Presuhn and Ed. *Management Information Base (MIB) for the Simple Network Management Protocol (SNMP)*, December 2002. RFC 3418.
- [37] ZEBRA home page. <http://www.zebra.org/>, January 2006.
- [38] XORP home page. <http://www.xorp.org/>, January 2006.
- [39] Emden R. Gansner, Stephen C. North. An Open Graph Visualization System and Its Applications to Software Engineering. *Softw. Pract. Exper. vol.30 No.11,*, pages –, 1203-1233 2000.
- [40] AI³ project home page. <http://www.ai3.net/>, January 2006.