

移動体からの実時間データ配信に適した マルチキャスト経路制御機構の提案

佛圓 裕一† 垣内 正年†† 中村 豊††

藤川 和利†† 砂原 秀樹††

ネットワークインフラの高度化に伴い、マルチキャストを利用した様々なマルチメディアアプリケーションの可能性が広がっている。このひとつとして、移動体から多地点へ映像配信を行う際にマルチキャストを用いるものが挙げられる。しかしながら、移動体で用いられる無線ネットワークのような不安定なリンク上でのデータ配信や移動体がネットワークセグメント間を移動することによる送信アドレスの変化への対応については十分な議論がなされていない。これらの問題を解決するため、本稿では、PIM-SM を隣接ルータ間で冗長経路が生成できるように拡張することにより、複数経路を有するマルチキャストルーティングを可能とするプロトコル Protocol Independent Multicast-Sparse Mode/MultiPath support extension (PIM-SM/MP) を提案する。

Design of multicast routing mechanism for real-time data transmission from a mobile node

Yuichi Butsuen† Masatoshi Kakiuchi†† Yutaka Nakamura††

Kazutoshi Fujikawa†† Hideki Sunahara††

With the improvement of Internet technologies, we may use various multimedia applications which send data by multicast. A multicast video streaming that deliver live video data to multiple receivers from a mobile node is one of such applications. However, there is not a suitable mechanism for a multicast data delivery on unstable network links such as wireless links. Also, we have to consider the movement of a mobile node among network segments, because the IP address of the mobile node may change. In this paper, to solve the above problems, we propose a new multicast protocol called *Protocol Independent Multicast-Sparse Mode/MultiPath support extension (PIM-SM/MP)* which enables multicast routing using multiple path. The proposed multicast protocol is an enhancement PIM-SM by having some redundant path between neighbor routers.

1 はじめに

マルチキャストとは、計算機およびネットワーク資源の有効利用を可能とする技術である。近年、ネットワークインフラの高度化に伴い、マルチキャストのための土壌が広く整いつつある。このような背景を受け、バーチャルドライブナビゲーションシステム [5] のように、移動体から多地点への映像配信を行うアプリケーションからのマルチキャストへの要求が高まっている。しかし、このようなアプリケーションでマルチキャストを利用するためには、移動

体通信とマルチキャストの両技術について考慮する必要がある。以下、各々について現状を述べる。

Mobile IP[7] は、端末が移動先のネットワークでも継続した通信を可能とする技術である。ほぼ標準化が完了し、既に多数の実装が存在し、実際に利用できる環境が整いつつある。また、Hierarchical Mobile IPv6 mobility management[12]、Fast Handovers for Mobile IPv6[8] では、移動中に複数のネットワークへの接続を効率よく切り替えることにより、連続したデータ通信を継続するハンドオーバ技術が提案され、その標準化作業が進められている。ただし、これらはユニキャストにおける受信ノードの移動を対象としている。

Protocol Independent Multicast-Sparse Mode (PIM-SM)[2] は、ネットワーク上で広範囲に存在するノー

† 奈良先端科学技術大学院大学 情報科学研究科
Nara Institute of Science and Technology, Graduate School of Information Science

†† 奈良先端科学技術大学院大学 情報科学センター
Nara Institute of Science and Technology, Information Science Center

ドへのデータ配信に用いられるマルチキャストルーティングプロトコルである。標準化後も継続して検討が行われており、現在では、送信ノードを根とする配送木をプロトコルの初期段階の動作で形成する Source Specific Multicast (SSM) も、PIM-SM の枠組みの中に組み込まれている。

以上のように、個々の技術については成熟したものと日々進化している。しかし、移動体通信技術とマルチキャスト技術を組み合わせて使用する場合、解決すべき問題が多い。特に、データ送信ノードがネットワークセグメント間の移動中にマルチキャスト配信する場合については、十分な議論がなされていない。具体的には以下のような問題がある。

第一に、不安定なリンク上でデータの到達性を高めるため、複数のネットワークから同時にデータ配信を行う bi-casting 動作を用いる場合がある。しかし、各々のネットワークを経由するデータが末端のノードまで到着しており、重複パケットの廃棄、適切な順序へのパケットの並べ替えなど、アプリケーションで行う処理が多い。

第二に、移動透過性の確保として、受信ノードが移動する送信ノードの同一性を識別できること、送信ノードの移動に伴いネットワーク内のデータ配送プロセスに不整合が生じないようにすること、ハンドオーバー時に受信ノードへのデータの到達性を高めることが重要である。しかし、既存研究ではアプリケーションあるいはネットワークに対し、移動体サポートに特化した多大な変更が必要となる。また、ネットワークトポロジに大きな制約を与えている。

そのため、既存の仕組みに調和しつつ、かつ効率の良い配信を可能とする手法が必要である。また、送信ノードが移動中にマルチキャスト配信を行うことを想定したアプリケーションは、今後ますます増大すると考えられる。

そこで、マルチキャストルーティングプロトコル、Protocol Independent Multicast-Sparse Mode/MultiPath support extension (PIM-SM/MP) を提案する。PIM-SM/MP では、安定したデータ配信を可能とするため、マルチキャスト配送木の経路上にデータの集約点が存在することを許可する。この方法により、既存研究における bi-casting では末端のアプリケーションに生じていた負荷を排除することが可能となる。

本稿では、2 節にて提案プロトコルの背景にある既存技術について述べ、3 節において送信ノードが移動する場合のマルチキャスト配信の問題点につい

て述べる。4 節では提案プロトコルについて述べ、5 節では提案プロトコルの今後の拡張方針について述べる。6 節では、5 節で述べる提案プロトコルの拡張に関わる既存研究についてまとめる。7 節にて本稿をまとめる。

2 Mobile IP と PIM-SM の概要

本節では、提案プロトコルの背景にある既存技術である Mobile IP 及び PIM-SM について述べる。

2.1 Mobile IP

図 1 は Mobile IP の動作を表す。R0 から R4 はルータである。Mobile Node (MN) は、移動に伴い次々に接続するネットワークを変更するノードである。一方、Home Agent (HA) は固定されたネットワーク内に存在し、MN に対して一意な固定アドレスである Home Address (HoA) を持っている。MN は、セグメント間の移動に伴い、接続先のネットワークにおいて新しい IP アドレスである Care-of-Address (CoA) が割り当てられ、その CoA を HA へ通知する。

ここで MN が Corresponding Node (CN) と通信を行う場合を考える。MN はパケットの送信元アドレスとして HoA を利用し、CN へ送信する。このパケットを受け取った CN は、宛先アドレスとして HoA を指定するため、CN が送信するパケットは HA へと向かう。HA は、HoA と MN の現在の CoA を対応づけるマッピングテーブルを持っているため、これを参照することで宛先アドレスを CoA へ書き換え、MN へ転送する。以上により、CN は MN を一意に識別し、MN が接続先ネットワークを変更した後も通信を継続できる。

2.2 PIM-SM

図 2 は PIM-SM の SSM 動作を表す。Srv はアドレス S を持つデータ配信サーバであり、C1 と C2 は受信ノード、R0 から R6 は PIM ルータである。各 PIM ルータは、PIM-Hello メッセージにより隣接 PIM ルータの検出を行う。

ここで、Srv がグループアドレス G を用いてマルチキャスト配信を行う場合を考える。C1 は、Srv の配信するデータを受信するため、グループ G への参加要求である (S,G)IGMP Membership Report を同

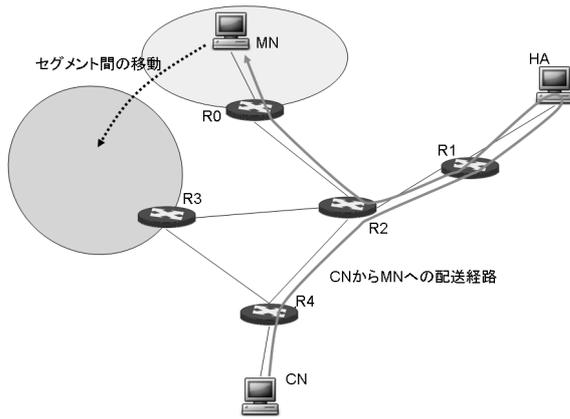


図 1: Mobile IP の基本的な動作

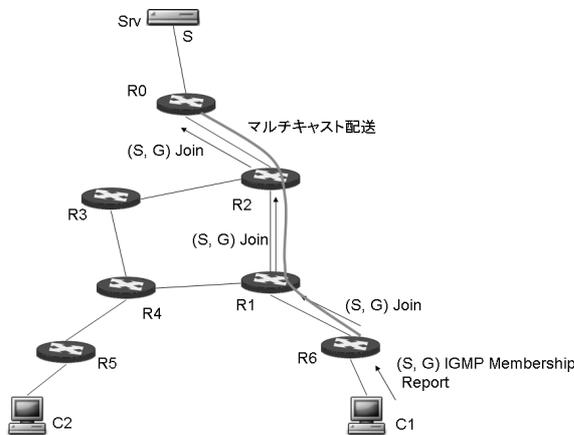


図 2: PIM-SM の SSM 動作

一セグメント上の PIM ルータ R6 へ送信する。このメッセージを受け取った R6 は、ユニキャストルーティングテーブルを参照し、S を宛先としたときの出力インタフェースから隣接 PIM ルータである R1 へ、配送木の枝を生成するメッセージである PIM-Join を送信する。この動作は、Srv と同一セグメント上にある PIM ルータ R0 へ PIM-Join が到達するまで hop-by-hop で行われる。以上のようにして形成された配送木は、Source Point Tree (SPT) と呼ばれている。データ配送時には、形成時とは逆向きに配送木に沿って受信ノードへと転送される。

図 3 は PIM-SM の Any Source Multicast (ASM) 動作を表す。ASM 動作の場合は、配送木の形成前に配送木の根となる PIM ルータである Rendezvous Point (RP) を決定し、マルチキャスト配信の対象としているネットワーク上の全 PIM ルータへ、RP のアドレスを通知しておく必要がある。

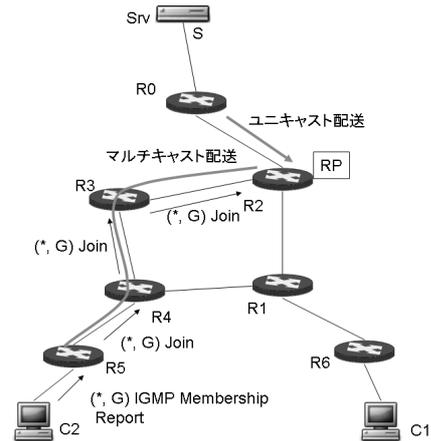


図 3: PIM-SM の ASM 動作

ここで、SSM 動作の場合と同様に、Srv がグループアドレス G を用いてマルチキャスト配信を行うとする。また、RP は R2 であるとする。受信ノード C2 がグループ G へ参加するには、(*,G)IGMP Membership Report を同一セグメント上の PIM ルータ R5 へ送信する。以降は SSM 動作の場合と同様に Join を繰り返す。ただし、宛先は Srv ではなく RP である。Join メッセージが RP まで到着することで、配送木の構築は完了する。以上のようにして形成された配送木は Rendezvous Point Tree (RPT) と呼ばれる。データ配信時には、Srv から送信されるパケットは同一セグメント上の PIM ルータ R0 により、RP 宛でのユニキャストパケットにカプセル化される。RP はカプセルを解除し、RPT に沿って受信ノードまで配送する。

3 送信元が移動する場合のマルチキャスト配信の問題点

送信ノードが移動中にマルチキャスト配信する場合の問題点として、大きく以下の 2 つが挙げられる。

- 不安定なリンクの存在
- 移動透過性の確保

以下、これらの詳細について述べる。

3.1 不安定なリンクの存在

マルチキャストは一般に信頼性のないデータ通信であり、パケットロスが生じた場合、必要に応じて

上位層による回復が行われる。本稿で対象としている実時間データ配信の場合にも回復が行われる場合がある。しかし、無線ネットワークのように極めてパケットロス率の高いリンク、あるいは有線ネットワークでも輻輳の生じる頻度が高いリンクが配信経路上に存在した場合、上位層による回復のみでは不十分な場合がある。この問題に対し、複数の冗長経路を利用することで、安定したデータ配信を行う試みが行われている。たとえば既存研究 [6][11][15] では、bi-casting により配信サーバを根とした複数の配送木を作成することで、安定したデータ配信を実現している。個々の配送木の形成には、既存のマルチキャストルーティングプロトコルをそのまま利用するため、状態管理などのマルチキャストルーティングに伴う複雑さは、採用するプロトコルに依存する。

既存研究の問題点として、無線アクセスネットワークのように、不安定なリンクが送信ノードから 1 ホップ目に存在する環境を仮定している点が挙げられる。今日、NEtwork MObility (NEMO)[9] のように車内のノードが車外のノードと通信を行う環境、あるいは衛星を経由する通信環境など、ネットワーク構成は多種多様なものとなっている。この現状を考慮すると、上記の仮定は必ずしも妥当なものとはいえない。

もうひとつの問題点として、複数経路を通るデータの集約ポイントが受信ノードとなる点も挙げられる。ネットワーク側は bi-casting 時に不要な帯域を消費し、受信アプリケーション側には重複パケットの検出・廃棄といった処理が必要となる。

3.2 移動透過性の確保

送信ノードが異なるネットワークセグメント間を移動する場合、以下の点で受信ノードに対する移動透過性の確保が難しい。

第一に、送信ノードのアドレス変化に伴い、受信ノードが送信ノードの同一性を認識できない点が挙げられる。送信ノードは、あるセグメントから別のセグメントへ移動すると、移動先のセグメントにおいて新しい IP アドレスである CoA が割り当てられる。その後、ハンドオーバーが完了すると、移動前の IP アドレスは利用不可能となり、受信ノードは送信ノードを識別できず、通信不能となる。ユニキャストの場合には、この問題の解決法として Mobile IP を利用できる。しかし、マルチキャストの場合には、

形成される配送木が MN-HA 間のトンネル通信後、HA を根とする木となり、最適配送木 SPT とは大きく異なるため、無駄な遅延が生じる。バルクデータ転送など、伝送遅延が重要でない通信の場合には、大きな問題とはならない。しかし、実時間性の強いライブ配信および多地点会議アプリケーションの場合には無駄な遅延は避けなければならない。また、マルチキャスト配信システムの頑健性が HA の安定性に依存するため、HA が安定して運用されていることが必要となる。

第二に、Reverse Path Forwarding (RPF) チェックの扱いが挙げられる。HoA を利用する場合でも、配送木の根を HA とするのではなく、HoA を送信元アドレスとして利用し、実際の配信は移動先のネットワークから直接行う方法が考えられる。この場合、Mobile IP を利用するマルチキャストと比べ、伝送遅延は小さくなる。しかし、送信ノードが存在する方向のインタフェースと実際に配送されるデータの入力インタフェースが同一であることを検証するため、既存のマルチキャストルーティングプロトコルで利用されている RPF チェックにより、ルータはデータ転送を行わず、到着したデータは破棄されてしまう。

第三に、ハンドオーバー時の配送木の再構築が挙げられる。送信ノードがネットワークセグメント間を移動すると、配送木の再構築が必要である。再構築処理中はデータ配信が不可能となる。特に、Sparse-Mode マルチキャストの場合、配送処理を行う前に配送木の再構築過程が必要となるため、この過程に要する時間を短くしなければならない。

4 移動体通信に適したマルチキャスト経路制御機構の提案

本節では、3.1 で述べた不安定なリンクが存在する環境において安定したデータ配信を行う手法として、既存のマルチキャストルーティングプロトコルである Protocol Independent Multicast-Sparse Mode (PIM-SM)[2] を拡張した Protocol Independent Multicast-Sparse Mode/MultiPath support extension (PIM-SM/MP) を提案する。3.2 で述べた移動透過性の確保については 5 節で考察する。

本提案のアーキテクチャを図 4 に示す。

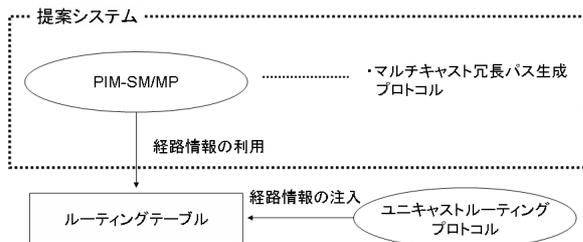


図 4: システムアーキテクチャ

4.1 PIM-SM/MP の概要

前節では、パケットロスを抑えるための既存の手法として bi-casting が用いられており、その手法では多様な環境に適応できないことを示した。この問題点は、bi-casting がアプリケーション層での解決法であることに由来する。

そこで、提案プロトコル PIM-SM/MP では、ネットワーク層での解決法として、同一データの複数経路を有するマルチキャストルーティングを実現する。送信ノードから配信されるデータは複数の経路を通り、あるルータにて集約されると、そのルータはいずれか 1 つの入力データのみ下流へ転送し、それ以外は廃棄する。

この手法は、以下の点で優れている。

- データ配送をネットワーク層で実現することにより、アプリケーションが配信先を複数指定する必要がなくなり、配信サーバのプログラムが簡潔になる。
- NEMO 環境のように、移動体ネットワーク内部に配信サーバがあるような環境にも対応できる。

これらに加え、提案プロトコルの設計段階で、既存のマルチキャストシステムとの互換性を重視し、かつ新しいプロトコルを提案することによるネットワークデザインへの制限が生じないようにする。

なお、集約点となるルータの選択方法は、目的に応じて変更することができる。本提案では、移動体通信に適したルータの選択法が必要である。この点については、5 節にて議論する。

4.2 PIM-SM/MP の設計方針

提案プロトコルの設計方針として以下の 3 点を考慮した。

- 既存の送受信アプリケーションの拡張は行わない。

送信ノードは既存の配信アプリケーションをそのまま利用できる。受信ノードは、マルチキャストグループに参加するための既存の仕組みである Internet Group Membership Protocol version 3[1] / Multicast Listener Discovery version 2[14] (IGMPv3/MLDv2) をサポートすればよい。

- PIM-SM との相互運用を可能とする。

拡張ルータの隣接ルータが PIM-SM のみ実装するルータである場合、拡張ルータは PIM-SM ルータとしても動作する。そのため、拡張ルータを既存のネットワークへ容易に導入できる。

- ネットワークデザインに制限を与えない。

提案プロトコルを実装するルータは、マルチキャストをサポートするネットワーク上に少なくともひとつ存在すればよい。それ以上の数を配置することにより、より柔軟な経路でのデータ配送が可能となる。また、その配置場所について、アクセスネットワークごとにひとつ必須というトポロジへの厳しい制約はない。

以上を実現するため、配信サーバにも提案プロトコルをサポートするための、既存の配信アプリケーションとは独立したプログラムを別途必要とする。

4.3 PIM-SM/MP の動作

本項では PIM-SM/MP の動作について述べる。以下は前提条件および用語の定義である。

- 対象とするネットワーク上のルータはすべて PIM-SM をサポートしているものとし、これを単にルータと呼ぶ。また、PIM-SM/MP をサポートするルータを拡張ルータと呼ぶ。
- 受信ノードによる IGMP/MLD Membership Report は、グループ参加（もしくは離脱）要求と呼ぶ。
- 複数の拡張ルータが同一セグメント上に存在する場合、PIM-MP-Hello メッセージにより、お互いが拡張ルータであることを認識できる。

4.3.1 Source Specific Multicast (SSM) 動作

図5から図7は、PIM-SM/MPの動作を表す図である。Sは配信サーバ、C1とC2は受信ノード、R0からR4は拡張ルータであり、それ以外はルータを表している。

PIM-SM/MPの動作前にあらかじめ、Session Announcement Protocol[4] / Session Description Protocol[3] (SAP/SDP)などの既存のセッション内容広告機構により、受信ノードは参加したいマルチキャストチャンネルのソースアドレスSとグループアドレスGの組(S,G)を知っているものとする。

グループへの参加と配送木の構築

受信ノードC1が(S,G)へのグループ参加要求を同一セグメント上のルータへ送信することで、ルータはS方向へのJoinをhop-by-hopで行っていく。ここで、配信サーバまでの経路上に拡張ルータが存在し、かつその経路上に存在しない隣接ルータが拡張ルータだった場合(条件1とする)、経路上の拡張ルータは、自身と隣接ルータが「隣接しており、かつ配送経路上にない」関係にあることを示すPIM-MP-Registerメッセージを配信サーバに対してユニキャストで送信する。この操作により、配信サーバは受信ノード-配信サーバ間の冗長経路候補ルータのリストを作成する(図5)。以降の図では、候補リスト中、PIM-MP-Registerによって配信サーバへ通知したルータの名前に印をつけている。以上の動作により、配送木が1つ完成する。なお、配送木に組み込まれた拡張ルータは定期的に隣接拡張ルータの存在を確認し、条件1が真だった場合には、PIM-MP-Registerを配信サーバへ送信することで、トポロジの変化に対応する。

C2からもC1と同様に(S,G)へのグループ参加要求を送信することで、配信サーバ上の候補リスト管理プログラムは、隣接しており、かつ配送木に組み込まれていない拡張ルータ対[R1-R4]の存在を発見する。この段階で、PIM-SM/MPによるマルチパス作成準備が整う(図6)。なお、図2で存在した[R2-R3]は、その上に配送木が構築されたため、R2からのPIM-MP-Registerが送信されなくなり、タイムアウトして候補ルータリストから除かれている。

新規経路の作成

実際にマルチパスを作成する際の候補リストからの経路選択アルゴリズムについてはPIM-SM/MPで

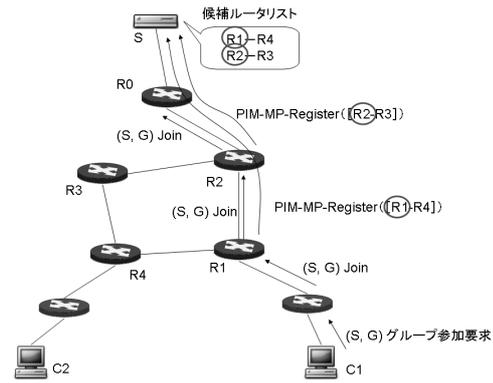


図5: PIM-SM/MPの動作: グループへの参加と配送木の構築(1)

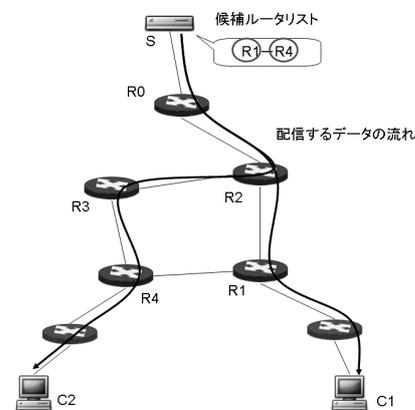


図6: PIM-SM/MPの動作: グループへの参加と配送木の構築(2)

は規定しない。これは、PIM-SM/MPを利用する場合の用途、適用するネットワークポロジにより、適応する経路選択アルゴリズムが異なると考えられるためである。以降では、何らかの経路選択アルゴリズムが新規経路の選択を行い、その結果を受けてサーバ上に存在する候補ルータリスト管理プログラムが経路作成要求PIM-MP-Solicitationメッセージを発行する。続いて、そのメッセージを拡張ルータが受け取ったときの動作について示す(図7)。

PIM-MP-Solicitationは、新しい経路が作成されることで、その経路を通じてデータを受信する拡張ルータ側(図7ではR1)に対して発行される。

PIM-MP-Solicitationを受け取った拡張ルータは、要求先の隣接拡張ルータ(図7ではR4)に対してPIM-MP-Joinメッセージを送信する。これを受け取った拡張ルータは、自身のマルチキャスト転送テー

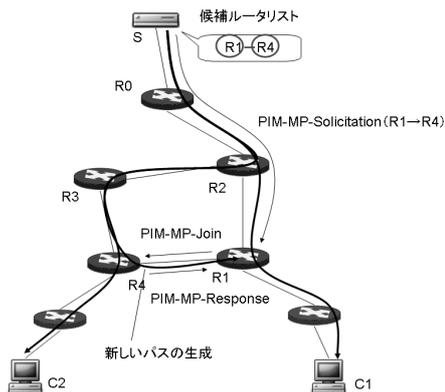


図 7: PIM-SM/MP の動作：新規経路の作成

ブルに新しい出カインタフェースを加え、PIM-MP-Response メッセージを PIM-MP-Join の送信元へ送信する。PIM-MP-Join の送信側は、PIM-MP-Response を受け取ると、自身のマルチキャスト転送テーブルに入カインタフェースを加える。以上によりマルチパス転送が有効となる。なお、PIM-MP-Join、PIM-MP-Response メッセージ交換により作成された経路は、RPF チェックの対象外とする。

マルチパス集約点となる拡張ルータは、複数のインタフェースからの入力データのうち、いずれかひとつを選択し、そのデータのみを下流へ転送する。入力データの選択法については PIM-SM/MP では規定しない。

4.3.2 Any Source Multicast (ASM) 動作

Rendezvous Point (RP) が拡張ルータリストを保持する役目を持っている。RP 自身も拡張ルータである点を除けば、SSM の場合と同様の動作をする。

4.4 考察

提案プロトコル PIM-SM/MP を用いることで、4.1 にて述べた利点が得られる。一方、既存のプロトコルに対して 4.3 にて述べた新しい動作を組み込むことにより、オーバーヘッドなどの懸念材料が生じると考えられる。配信サーバ上あるいは RP 上に存在する、候補ルータリストと候補リスト管理プログラムはオーバーヘッドとなり得る。一般に、信頼性を向上したマルチキャストプロトコル [13] では、通常の IP マルチキャストと比較し、より多くの状態を管理する必要があるため、スケーラビリティの点で

制限が生じる。PIM-SM/MP では、拡張ルータとその隣接ルータの間のみ扱い、状態情報を簡易なものとするすることで、スケーラビリティを確保している。

ただし、この制限を完全に取り除くには、候補リスト管理プログラムの管理範囲の階層化などの手法が必要となる。適切な手法については今後の検討課題である。

5 提案方式の拡張

PIM-SM/MP により、任意の拡張ルータ間に新規経路の設定が可能となり安定したデータ配信が実現できる。しかし、ネットワークセグメント間の移動を伴うマルチキャスト配信を実現するためには、3.2 で述べた移動透過性についても考慮する必要がある。移動透過性を確保するには、以下の機能が必要である。

- 送信ノードの識別子を管理する機能

送信ノードのアドレス変化をネットワーク内で吸収し、受信ノードからは常に同一のサーバからデータを受信していることと同様にする必要はある。この時、各拡張ルータは RPF チェックについても整合性がとれる仕組みをもつ必要がある。

- 新規経路を設定するルータを選択するアルゴリズム

PIM-SM/MP が収集したマルチパス候補ルータリストから、ハンドオーバーに伴うパケットロス、非効率な配送木の形成を抑制できるよう、新規経路を設定するルータを選択するアルゴリズムが必要となる。

このような機能を持つプロトコル Protocol Independent Multicast-Location Independent support extension (PIM-LI) を現在検討中である。

検討中のプロトコルを含めたアーキテクチャを図 8 に示す。

6 関連研究

本節では、移動体からのマルチキャスト配信に関する既存研究について述べる。

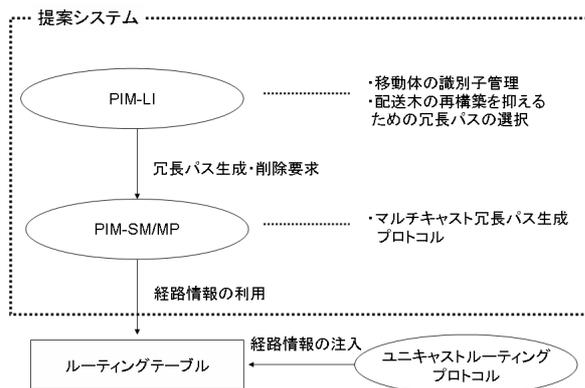


図 8: 検討中のプロトコルを含めたシステムアーキテクチャ

RFC3775[7] の 11.3.4 では、送信ノードが移動する場合のマルチキャストについて、Mobile IP を利用する以下の 2 つの方法とそれらの問題点を指摘している。

- 送信ノードは常に HoA を使い続け、MN は HA との双方向トンネルを通じてマルチキャスト配信をする方法
- 移動先のネットワークから、CoA を送信元アドレスとして利用し、外部ネットワークへ直接マルチキャスト配信する方法

前者の場合、移動透過性は確保できる。しかし、移動に伴い MN-HA 間の伝送遅延・ネットワーク利用効率が変動する。後者の場合、送受信ノード間の伝送遅延は最も少なく、ネットワーク利用効率は最大である。しかし、移動に伴い配送木の再構築が必要となる。

M-HMIPv6[15] では、Hierarchical Mobile IPv6 (HMIPv6)[12] を拡張し、Mobile Anchor Point (MAP) を根とする配送木を構築する。また、送信ノードの識別子として IPv6 Home Address Option を、配送パケットの送信元アドレスとして Regional CoA (RCoA) を用いる。この手法には以下の利点がある。

- 送信ノードの MAP-domain 内の移動については受信ノードに対して完全に隠蔽することができる。
- MAP-domain 間の移動についても隠蔽することができる。ただし、受信ノードは移動先 MAP への再 Join が必要である。

- ハンドオーバー時に移動先 MAP を根とした配送木の構築を行い、移動元 MAP も併用した両 MAP から配信を行う bi-casting で、パケットロスを最小限に抑えることができる。
- 特定のマルチキャストルーティングプロトコルを想定しない。

一方、欠点としては以下の点が挙げられる。

- 移動先ネットワークに M-HMIPv6 対応 MAP が必要であり、トポロジに制限が生じる。
- ハンドオーバー中は bi-casting となる場合があるため、受信側アプリケーションで大量の重複フレームを廃棄しなければならない。
- 送信ノードの移動に伴い、受信ノードは再 Join が必要であり、その仕組みが別途必要となる。

MSSMSv6[6] では、IPv6 かつ Source Specific Multicast (SSM) が利用できる環境において、以下の提案をしている。送信元アドレスに CoA を用い、ハンドオーバー時には送信ノードが新しい CoA を受信ノードに対して通知する。この通知には、新しく定義した IPv6 SSM-Source Handover Notification sub-option を利用する。この通知を受け取った受信ノードが Join し直すことで bi-casting 状態が生じ、受信ノードはデータを連続して受信することが可能となる。この手法は、送受信ノードのアプリケーションおよび IP 層実装を変更するのみで実現できる。しかし、送信ノードの移動に伴い配送木をすべて再構築しなければならない。

Mobility Management and IP Multicast [10] の 6.4 では、IPv6 RPF Redirect Option を定義し、RPF チェックを回避しつつ、ハンドオーバー時の配送木の変化を極力抑えるための方法について述べている。主に Sparse-Mode プロトコルに対する拡張であり、既存のマルチキャストルータがすべてこの拡張を受け入れる必要がある点で高価である。

SMM[11] では、アクセスネットワークに Cellular IP を利用し、Source Point Tree (SPT) と Rendezvous Point Tree (RPT) を併用した配送木を、また、コアネットワークには通常の IP を用い、PIM-SM の配送木をそれぞれ構築する。ハンドオーバー中は bi-casting することで、アクセスポイントの切り替えに伴うデータの不連続を抑えている。利点として、以下の点が挙げられる。

- アクセスネットワーク内では完全に移動透過性を確保できる。
- SPT と RPT を併用することで、送信ノードの移動に伴う配送木の再構築を抑えつつ、ひとつのリンク上にある同一配送木の枝数を示すリンクストレスの増大を抑えることができる。

欠点としては、以下の点が挙げられる。

- Cellular IP 用のアクセスネットワークを構築する必要があるという点で高価であり、またトポロジに対する制限が生じる。

7 おわりに

本稿では、送信ノードが移動する場合のマルチキャスト配信についてその問題点を指摘し、既存研究における問題解決のアプローチとその不十分な点を指摘した。続いて、新しいマルチキャストルーティングプロトコル PIM-SM/MP を提案することにより、その問題点を解決した。このプロトコルは、複数経路を有するマルチキャストルーティングを可能とする機能を提供する。また、PIM-SM に対して施した拡張の妥当性と既知の問題点について指摘した。最後に、今後の展開を念頭に置き、関連研究についてまとめた。

参考文献

- [1] B. Cain, S. Deering, I. Kouvelas, B. Fenner, A. Thyagarajan. "Internet Group Management Protocol Version 3," RFC 3376, Oct. 2002.
- [2] B. Fenner, M. Handley, H. Holbrook, I. Kouvelas. "Protocol Independent Multicast-Sparse Mode (PIM-SM): Protocol Specification," draft-ietf-pim-sm-v2-new-10.txt, Jul. 2004.
- [3] M. Handley, V. Jacobson. "SDP: Session Description Protocol," RFC 2327, Apr. 1998.
- [4] M. Handley, C. Perkins, E. Whelan. "Session Announcement Protocol," RFC 2974, Oct. 2000.
- [5] 石川 智也, 山澤 一誠, 佐藤 智和, 池田 聖, 中村 豊, 藤川 和利, 砂原 秀樹, 横矢 直和. "Web ブラウザと全方位動画像を用いたテレプレゼンスシステム—車載全方位カメラや全方位型マルチカメラシステムを用いた実装—," 画像の認識・理解シンポジウム (MIRU2004) 講演論文集, Vol.I, pp.127–132, Jul. 2004.
- [6] C. Jelger, T. Noel. "Supporting Mobile SSM Sources for IPv6 (MSSMSv6)," draft-jelger-mssmsv6-00.txt, Jan. 2002.
- [7] D. Johnson, C. Perkins, J. Arkko. "Mobility Support in IPv6," RFC 3775, May 2004 .
- [8] R. Koodli. "Fast Handovers for Mobile IPv6," ietf-mipshop-fast-mipv6-01.txt, Jan. 2004.
- [9] NEMO WG. "Network Mobility (nemo)," <<http://www.ietf.org/html.charters/nemo-charter.html>>
- [10] A. O'Neill. "Mobility Management and IP Multicast," draft-oneill-mip-multicast-00.txt, Jul. 2002.
- [11] K. Sato, M. Katsumoto, T. Miki. "Source Mobility Support Multicast (SMM)," IPSJ Journal, Vol.45, No.2, pp.412–425, Feb. 2004.
- [12] H. Soliman, C. Catelluccia, K. El Malki, L. Bellier. "Hierarchical Mobile IPv6 mobility management (HMIPv6)," draft-ietf-mipshop-hmipv6-02.txt, Jun. 2004.
- [13] T. Speakman, J. Crowcroft, J. Gemmell, D. Fari-nacci, S. Lin, D. Leshchiner, M. Luby, T. Montgomery, L. Rizzo, A. Tweedly, N. Bhaskar , R. Edmonstone, R. Sumanasekera, L. Vicisano. "PGM Reliable Transport Protocol Specification," RFC 3208, Dec. 2001.
- [14] R. Vida, L. Costa. "Multicast Listener Discovery Version 2 (MLDv2) for IPv6," RFC 3810, Jun. 2004.
- [15] M. Waehlich. "Seamless Multicast Handover in a Hierarchical Mobile IPv6 Environment (M-HMIPv6)," draft-schmidt-waehlich-mhmipv6-01.txt, Feb. 2004.