修士論文　　2011年度 (平成23年度)

Proxy Mobile IPv6を効率化するストリーミングアグリゲーション手法

慶應義塾大学大学院 政策・メディア研究科

内田 陽豪

修士論文要旨 2011 年度 (平成 23 年度)

Proxy Mobile IPv6 を効率化するストリーミングアグリゲーション手法

近年の WiMAX や 3G などの高速無線通信技術の普及，携帯電話やラップトップ PC などのモバイル端末の高性能化などにより，モバイル端末向け IPTV サービスや高品質ストリーミングサービスに対する要求が増大している．

しかし, モバイル端末を利用した移動を行いながらのインターネット通信は，その通信品質の劣化や通信切断が起きてしまう可能性がある．この理由は、1) アクセスポイントが変わるとノード自体の識別子 (IP アドレス) が変化し, 今まで通信していた通信相手から自分のノードが認識できなくなる，あるいは，2) 移動前に確立していた TCP コネクション (セッション) は IP アドレスの変更のために切断されてしまうためである．このため, 今後はモバイル端末を持ったユーザが IP アドレスの付け替え無しにスムースに移動を可能にする移動透過性を実現する技術が求められる．

既存のモバイル端末に移動支援を提供するプロトコルとして，標準化団体の IETF により Proxy Mobile IPv6 (PMIPv6) が標準化された．しかし、現在の PMIPv6 の通信モデルでは，インターネットなどの外部ネットワークから PMIPv6 ドメイン内のモバイル端末のアンカーポイントである Local Mobility Anchor (LMA) を経由してモバイル端末へと通信経路が形成される．このため，多数のモバイル端末が高品質リアルタイムストリーミングコンテンツを受信する PMIPv6 環境では，LMA に集中的な高負荷がかかるだけでなく，LMA と接続された Mobile Access Gateway (MAG) へのトラヒック過多も生じ，その結果，各モバイル端末への通信品質の低下につながる．

本研究では通信経路が LMA を通る経路を必要に応じて回避するルーティング, 及び MAG がリアルタイムストリーミングを複数のモバイル端末の代わりに受信を行う手法, そして CXTP 拡張によるシームレスハンドオーバ手法を提案し，提案手法の評価を行った。本研究により、既存技術である PMIPv6 が抱える通信品質問題を解決し、モバイル端末が移動した際もシームレスな移動性を実現可能とした。

キーワード
1．リアルタイムストリーミング, 2．PMIPv6, 3．アグリゲーション

慶應義塾大学大学院 政策・メディア研究科

内田 陽豪

Abstract of Master's Thesis

Academic Year 2011

Streaming Aggregation for Efficient Usage of Proxy Mobile IPv6

Due to the dissemination of wireless mobile technologies and high-spec cellphone and lap top PC, the demand for mobile IPTV services and high quality streaming services for mobile users.

However,the weak point of Internet communications on the moile terminal is the possible deteriotation of communication quality or network disconnections.

The reasons are the following; 1) The sender can not recoganize the reciever when IP address is changed. 2) TCP session established before moving is disconnected by changing IP address. So, seamless mobility technics are required in the future.

To address these problems, the IETF standards body has provided the specification of Proxy Mobile IPv6 (PMIPv6) by which regular mobile nodes create seamless mobile communications without node modification.

On the other hand, the current PMIPv6 specification requires establishing routing paths through Local Mobility Anchor (LMA) for communications between the Internet servers and all mobile nodes in a PMIPv6 domain. Especially for high quality real-time streaming, this condition leads high CPU load at LMA, traffic concentration between LMA and Mobile Access Gateway (MAG), and then streaming quality degradation at each mobile node.

In this thesis, we propose the method to create paths that do not depend on LMA (if appropriate) and make MAG proxy receiving real-time streaming contents and forwarding to mobile nodes in order to provide high quality real-time streaming to mobile nodes. We finally conclude this study with the evaluation of the proposed method by simulation.

Keywords :
1. Real-Time-Streaming, 2. PMIPv6, 3. Aggregation

Keio University Graduate School of Media and Governance

Yogo Uchida

目 次

第 1 章　序論 **1**
1.1 はじめに 1
1.2 Host based mobility と Network based mobility 1
1.3 本研究の目的 2
1.4 まとめ 3

第 2 章　PMIPv6 における要素技術 **4**
2.1 PMIPv6 の主な機能と動作概要 4
2.1.1 Proxy Mobile IPv6 ドメイン　(PMIPv6 ドメイン) 4
2.1.2 Local Mobility Anchor (LMA) 4
2.1.3 Mobile Access Gateway (MAG) 4
2.1.4 Local Mobility Anchor Address (LMAA) 5
2.1.5 Proxy-Care of Address (Proxy-CoA) 5
2.1.6 Home Network Prefix (HNP) 5
2.1.7 Mobile Node Identifer (MN ID) 5
2.2 Policy Profile 6
2.2.1 PMIPv6 動作概要 6
2.2.2 PMIPv6 ハンドオーバ動作概要 7
2.3 まとめ 9

第 3 章　関連研究 **10**
3.1 PMIPv6 の関連研究について 10
3.2 Local Routing 10
3.3 まとめ 12

第 4 章　課題 **13**
4.1 ストリーミング配信モデルにおける課題 13
4.2 Local Routing における課題 14
4.3 課金システムにおける課題 15
4.4 PMIP 環境での CXTP ハンドオーバにおける課題 15
4.5 既存 PMIPv6 ハンドオーバと CXTP によるハンドオーバの検証 16
4.6 まとめ 20

第 5 章　提案手法 **21**
5.1 Policy Store による課金情報識別機構 22
5.2 RTSP-Proxy によるコネクション制御の確立 22
5.3 Local Routing(経路最適化) の実現 24
5.4 MAG によるストリーミングアグリゲーション 25
5.5 CXTP 拡張による Data pre-forwarding 26
5.6 まとめ 27

第 6 章　提案手法の設計・実装 **28**
6.1 実装概要 28
6.2 実装詳細 29
6.2.1 課金情報識別モジュール 29
6.2.2 RTSP-Proxy モジュール 30
6.3 Streaming Aggregation モジュール 30
6.4 CXTP Data pre-forwarding モジュール 32
6.5 まとめ 35

第 7 章　評価 **36**
7.1 LMA，MAG の負荷とトラフィック量に関する考察 37
7.2 CXTP Data Pre-forwarding の有効性に関する考察 40
7.3 評価のまとめ 44

第 8 章　結論 **45**
8.1 まとめ 45
8.2 今後の課題 46

謝辞 **47**

図 目 次

1.1 Host based mobility and Network based mobility 2

2.1 PMIPv6 概念図 6
2.2 PMIPv6 動作シーケンス 7
2.3 PMIPv6 ハンドオーバ動作シーケンス 8

3.1 同一ドメイン内の Local Routing 概念図 11
3.2 Intra-LMA Local Routing 概念図 11
3.3 Inter-LMA Local Routing 概念図 12

4.1 現状の PMIPv6 におけるストリーミング配信 13
4.2 PMIPv6 における LMA に依存する経路 14
4.3 PMIPv6 における CXTP 動作シーケンス 15
4.4 シュミュレーショントポロジー図 16
4.5 PMIPv6 既存ハンドオーバにより発生したジッタ 17
4.6 PMIPv6 既存ハンドオーバにより発生した遅延 17
4.7 PMIPv6 既存ハンドオーバにより発生したパケットロス 18
4.8 PMIPv6 における CXTP ハンドオーバにより発生したジッタ 18
4.9 PMIPv6 における CXTP ハンドオーバにより発生した遅延 19
4.10 PMIPv6 における CXTP ハンドオーバにより発生したパケットロス 19

5.1 提案手法の 概念図 21
5.2 MAG による RTSP-Proxy データフロー 23
5.3 Local Routing 概念図 24
5.4 MAG によるストリーミングアグリゲーション 概念図 25
5.5 CXTP 拡張による Handover 支援機構 概念図 26

6.1 実装動作シーケンス 29
6.2 課金情報識別モジュール実装イメージ 30
6.3 Streaming Aggregation モジュール実装イメージ 31
6.4 Streaming Aggregation 動作フロー 33
6.5 CXTP Data pre-forwarding 動作シーケンス 34

7.1 評価シミュレーショントポロジ 36
7.2 LMA の CPU 使用率の変化 38

7.3 MAG の CPU 使用率の変化 38
7.4 トラフィック量の変化 39
7.5 CXTP Data Pre-forwarding によるジッタの変化 (MN 直線移動時) 41
7.6 CXTP Data Pre-forwarding による遅延の変化 (MN 直線移動時) 41
7.7 CXTP Data Pre-forwarding による MN 全体で発生したパケットロスの変化 (MN 直線移動時) 42
7.8 CXTP Data Pre-forwarding によるジッタの変化 (MN ランダムウェイポイント時) 42
7.9 CXTP Data Pre-forwarding による遅延の変化 (MN ランダムウェイポイント時) 43
7.10 CXTP Data Pre-forwarding によるパケットロスの変化 (MN ランダムウェイポイント時) 43

表 目 次

6.1 シミュレーション環境 28
7.1 無線環境，MN の移動モデル 37

第1章　序論

1.1　はじめに

近年インターネットの普及，及び，無線モバイル技術の進歩により，携帯電話，PDA，ラップトップ PC などのモバイル端末のインターネット接続が実現可能となった．今後，WiMAX などの次世代無線 LAN の登場や，高速無線通信技術の需要の拡大により，外出先でモバイル端末を利用してリアルタイムストリーミングの受信を行うユーザが更に増加することが予想される．このモバイル端末の移動透過性を実現するプロトコルとして，IETF の Network Local Mobility Management (NETLMM) ワーキンググループ [1] は PMIPv6[2] を標準化した．PMIPv6 はモバイル端末のネットワーク上での移動に関する処理をネットワーク側の機構で完全にサポートするプロトコルである．

しかし，現在の PMIPv6 のモデルにおいて，多数の受信者がインターネット上にいる送信者から IPTV [3] のようなリアルタイムストリーミングを受信する想定では，PMIPv6 ドメインとインターネットとの接続点に位置する LMA に依存する経路を通らねばならない．そのため送受信者間の最適経路を確立することが困難である．PMIPv6 ドメインと LMA の詳細に関しては後述する．さらに，一つの IPTV コンテンツを多数の受信者が受信するような前提では，各々のノードに送信者が同じコンテンツを送信するような非効率な通信しか実現できず，PMIPv6 ドメイン内のトラフィック過多や無駄なトンネリングの重複，中継器の負荷の増大に繋がる．

本研究では，PMIPv6 環境下においてユーザがモバイル端末で IPTV のようなリアルタイムストリーミングを受信した際の送受信者間の最適経路を保ち，受信者に対し効率的にストリーミングを配信可能なプロトコル拡張を提案する．本手法により PMIPv6 ネットワーク資源の有効利用を実現し，受信者に対する高品質なリアルタイムストリーミングを提供することが可能となる．

1.2　Host based mobility と Network based mobility

Mobile IPv6 や Network Mobility (NEMO) [4] では，移動端末やモバイルルータが，自分のロケータを常にホームエージェントに通知する必要がある．
しかし，PMIPv6 では移動端末に代わってネットワーク側の機構が, 移動端末のロケータをホームエージェントに通知する．PMIPv6 は 3GPP/3GPP2[5][6][7] における携帯電話システムのオール IP 化の議論の中で登場したプロトコルである．このオール IP 化に伴い移動支援を可能にするモビリティ技術として開発された．

この際に，Mobile IP [8] を選択することも可能であったが，携帯電話においてモバイル IP 機能をすべて実装する際のオーバヘッドや無線区間で送受信される制御シグナリングのオーバヘッドなどが懸念された．
しかし，PMIPv6 においては上記のネットワーク上での移動支援機能や端末とホームエージェント間で終端する制御シグナリングを全てネットワーク側の機構でサポート可能である。Mobile IP や NEMO のような Host-based mobility アプローチと違い PMIPv6 のような Network-based mobility アプローチは MN に IP mobility に関するソフトウェアの修正が要求されない．
そのため, システムに新たな仕様が必要になった場合においても, ユーザは既存のモバイル端末をそのまま利用することが可能である．また，モバイル端末においてプロトコルスタックの修正やオペレーティングシステムへの実装が必要ないため, 端末側の機能を軽くできるという利点がある．
以上の理由により，本研究では PMIPv6 の環境下を想定し議論を行う。

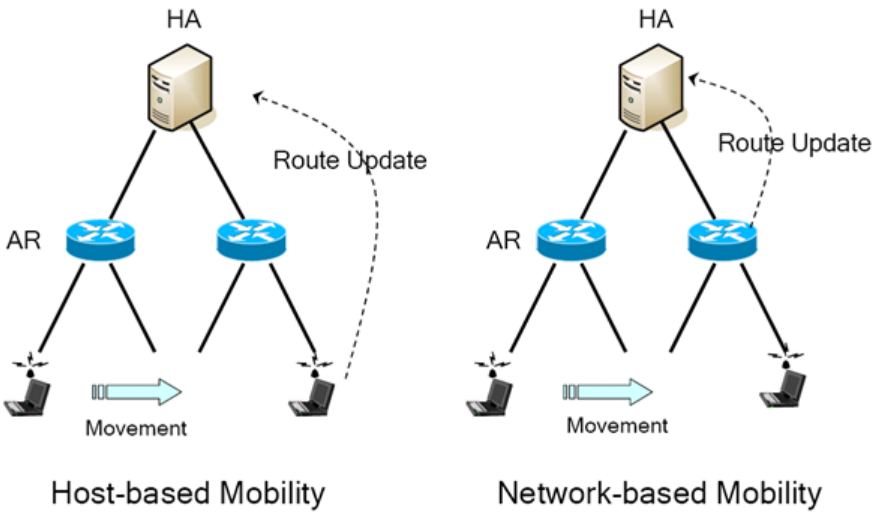

図 1.1: Host based mobility and Network based mobility

1.3 本研究の目的

PMIPv6 環境下において、多数の受信者がシームレスかつ安定して高品質なリアルタイムストリーミングを受信するためには、，1) ストリーミングを配信する経路においてのトラフィック量の削減と中継器の負荷軽減，また，2) ストリーミングを受けながら通信断を起こすことなく移動可能なシームレスモビリティを実現することが必要不可欠である。．
本研究では，PMIPv6 環境において受信者がリアルタイムストリーミングを受ける際，送受信者間の通信経路において最短パスを実現する経路最適化手法，また配信経路における

中継器の負担を軽減するストリーミング配信アーキテクチャ，そして，ストリーミングで通信断を伴うことなくハンドオーバ可能なデータ引き渡し手法を実現し，高品質なリアルタイムストリーミング配信手法を確立することを目的とする．

1.4 まとめ

本章では本研究における背景，また本研究の環境として想定する PMIPv6 の従来の移動支援プロトコルと比べての優位性について述べた．
そして，本研究の目的として PMIPv6 環境において高品質なリアルタイムストリーミングの配信手法を確立することを明確にした．
次章では PMIPv6 関連の研究と要素技術に関して述べる．

第2章　PMIPv6における要素技術

2.1　PMIPv6の主な機能と動作概要

本章では，PMIPv6 における主な機能と動作シーケンスについて述べる． PMIPv6 では主な制御機構として，Local Mobility Anchor (LMA)，Mobile Access Gateway (MAG)，Proxy Mobile IPv6 ドメイン　(PMIPv6 ドメイン) で構成される．2.1 章で PMIPv6 におけるコンポーネントの用語定義及び説明を行い、2.2 章で PMIPv6 の動作概要を述べる．

2.1.1　Proxy Mobile IPv6 ドメイン　(PMIPv6 ドメイン)

PMIPv6 はネットワーク側で移動を管理するプロトコルである．この移動制御を管理する機構である LMA と MAG で PMIPv6 のネットワークは構成される．このネットワークを PMIPv6 ドメインと呼ぶ.
PMIPv6 によって移動制御されるモバイル端末はこの PMIPv6 ドメインの中でしか，移動することが出来ない．以下 LMA と MAG について述べる．

2.1.2　Local Mobility Anchor (LMA)

LMA は PMIPv6 において，ホームエージェントの機能を持つ．モバイル端末が利用する固定アドレス向けのパケットは全てこの LMA に転送される．LMA は PMIPv6 のネットワークにおけるモバイル端末の IPv6 プリフィックスの割り当てと管理を行い，インターネットの経路的には LMA にモバイル端末の IPv6 プリフィックスが bind される．LMA は PMIPv6 ネットワークのアンカーポイントに位置し，LMA の先にインターネットが接続される．

2.1.3　Mobile Access Gateway (MAG)

MAG はモバイル端末から見たデフォルトゲートウェイである．MAG はモバイル端末の接続と移動を検知し，モバイル端末に変わって，LMA との移動に関するネゴシエーションを行い，LMA に移動先の情報を通知する．

2.1.4 Local Mobility Anchor Address (LMAA)

LMAA は LMA の MAG 向けインタフェースに割り当てられるグローバルな IPv6 アドレスである．MAG から出される Proxy binding update メッセージなどは全てこの LMAA 宛てに送られる．
また LMA から MAG に向けて送信される Proxy binding Ack メッセージや受信者向けに配信されるパケットなどもこの LMAA から送られる．
この LMAA は MAG との双方向トンネルのトンネルエンドポイントでもあり，MAG は LMA とのネゴシエーション後，LMAA とセキュアなトンネルを確立する．

2.1.5 Proxy-Care of Address (Proxy-CoA)

Proxy-Care of Address (Proxy-CoA) は，MAG の LMA 向けインタフェースに割り当てられるグローバルな IPv6 アドレスである．
MAG から送られる制御メッセージは全てこの Proxy-CoA から送信される．MAG は Proxy-CoA から LMAA に対して双方向トンネルを張る．

2.1.6 Home Network Prefix (HNP)

Home Network Prefix(HNP) は，移動端末ごとに固有に割り当てられる IPv6prefix である．HNP は MAG と移動端末間のリンクに実際に割り当てられる．移動端末が接続している MAG は IPv6 ネイバーディスカバリプロトコルのルータ広告を使い，移動端末に HNP を広告する．この HNP の発信元は LMA である．
このルータ広告メッセージを使ってアドレスの自動生成　(Address Autoconfiguration)[9] をすることで，移動端末は HNP を取得可能となる．また PMIPv6 は Address Autoconfiguration 機能だけでなく，DHCP [10] などのアドレス取得もサポートしている．
また，移動端末には複数の HNP を移動端末と MAG 間に割り当てる事も可能である．また移動端末が複数インタフェースを使用し，PMIPv6 ドメインに同時に接続しているようなマルチプルインタフェースのような想定では，一つの HNP をそれらの複数インタフェースに各々割り当てる事は出来ない．そのような場合は，一つのインタフェースごとに固有の HNP を割り当てる必要がある．

2.1.7 Mobile Node Identifer (MN ID)

PMIPv6 環境においては，移動端末は Mobile Node Identifer(MN ID) によって管理される．PMIPv6 ドメイン内における，固定のユニークな識別子である．
具体的な移動端末識別子の候補として，RFC4282 (The Network Access Identifer)[11] で定義されている，ネットワークアドレス識別子 (NAI:Network Access Identifer)[12] や，リンク層アドレス (MAC:Media Access Control)[13] などが利用可能である．PMIPv6 ドメ

インにおいては，移動端末は HNP が割り当てられ，Home Address は端末側で自動生成する．そのため，Home Address に代わる識別子としてこの MN ID が利用される．

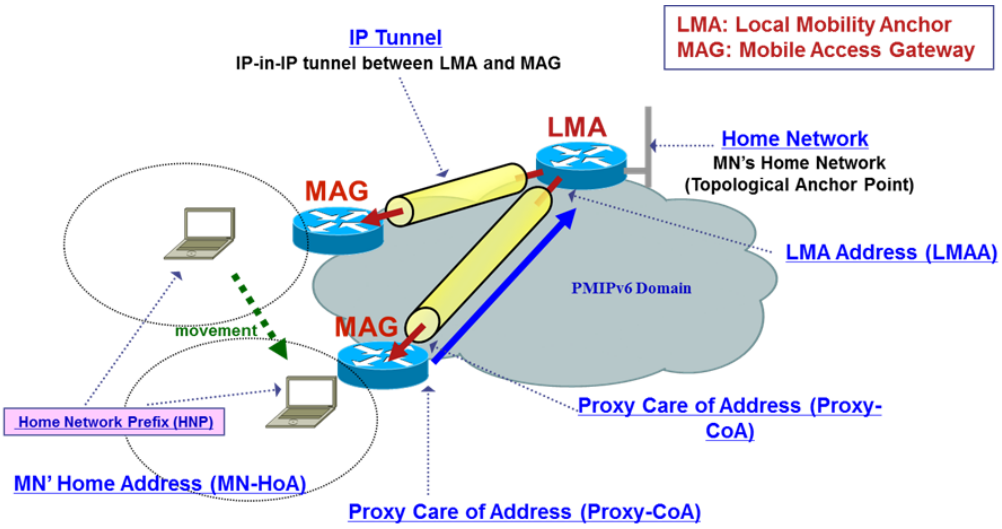

図 2.1: PMIPv6 概念図

2.2 Policy Profile

PMIPv6 における要素技術として RFC5213[2] では Policy Profile が定義されている．Policy Profile の詳細に関しては RFC では詳しく定義されていないが，Policy Profile の機能としての位置づけは移動端末用に設定された PMIPv6 で必要な設定パラメータのセットを総称したものである．
PMIPv6 では PMIPv6 ドメイン内の移動端末の移動を支援するために，様々なパラメータを用いこれらを必要に応じて取得する必要がある．
これらのパラメータをデータベースとして保管しておき必要に応じて LMA や MAG とネゴシエーションを行うエージェントのような役目を担う．
PMIPv6 環境においていろいろなサプリケーションやサービスを提供する際にこの Policy Store にどのような機能を組み込むべきかについて詰める必要がある．

2.2.1 PMIPv6 動作概要

RFC5213[2] で標準化されている内容をもとに本提案手法のベースとなる PMIPv6 の基本動作概要を図 2.2 に示す．

PMIPv6 の動作概要として，モバイル端末が MAG に Attach すると，モバイル端末は MAG に Router Solicitation Messages (Rtr Sol) [14] を出し，Home Network Prefix (HNP) を要求する．これを受けた MAG は LMA に対して，Proxy Binding Update (PBU) を出す．

PBU を受けた LMA は Proxy Binding Acknowledgement (PBA) を返す．その後，MAG は LMA との間に双方向の IP トンネルを張り，LMA は MAG 経由でユニークな HNP をルート広告によりモバイル端末に割り当てる．

これにより，モバイル端末は PMIPv6 ドメイン内にいる間はユニークな IPv6prefix を保持することが可能となる．

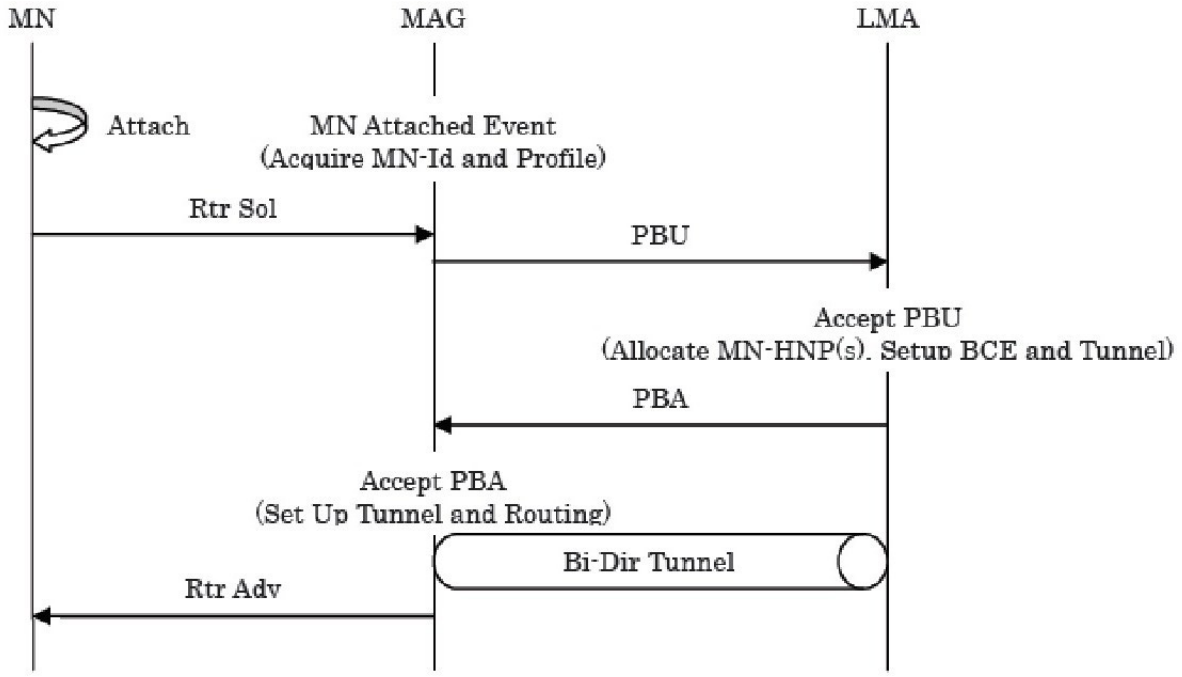

図 2.2: PMIPv6 動作シーケンス

2.2.2 PMIPv6 ハンドオーバ動作概要

PMIPv6 においてモバイル端末がハンドオーバした場合の動作概要について述べる．動作シーケンスを図 2.3 に示す．

モバイル端末が既に通信していた p-MAG を離れ Detach した場合，p-MAG は LMA に bind されていた MN のの登録情報を消してもらうために，De-Reg PBU メッセージを出す．PBU メッセージを受け取った LMA は MN の登録情報の削除を行い，その後削除を済ませた事を PBA メッセージにて p-MAG に通知する．この動作が完了した時に MN は完全に p-MAG との通信を切断したことになる．そして，また n-MAG に Attach した後は通常の PMIPv6 の動作シーケンスを得て，新たな prefix を LMA から付与される．

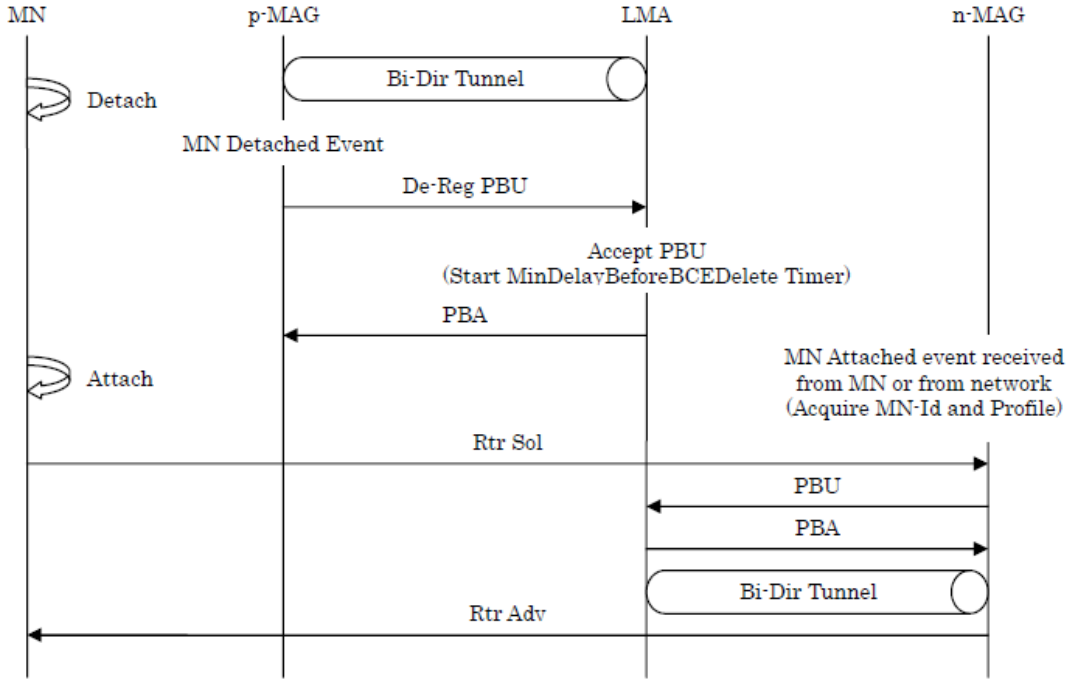

図 2.3: PMIPv6 ハンドオーバ動作シーケンス

2.3 まとめ

本章では，PMIPv6 における要素技術として PMIPv6 を構成する主要な機能，また動作概要，シーケンスについて述べた．次章では本章で述べた PMIPv6 を用いた関連研究について述べる．

第3章　関連研究

3.1　PMIPv6の関連研究について

PMIPv6における要素技術としてモバイルIPv6よりLocal Routingが定義されている..詳細に関しては後で述べる. 現在，IETFのNetwork-Based Mobility Extensions (NetExt)ではLocal Routing関連の様々なインターネットドラフトが提案されており， [15] [16].

またドラフトだけでなく，様々なLocal Routing関連の論文も提案されている[17][18][19][20][21][22] .

しかし，提案されている手法では図3.1に示すような送受信者が同じPMIPv6ドメインにいる想定でのLocal Routing手法の提案のみであったり，本研究の想定のような，PMIPv6環境下における具体的なアプリケーションに特化したLocal Routingに関しては言及されていない.

また，IETF Multicast Mobility (Multimob) Working Groupでは，PMIPv6のマルチキャストサポート[23]の議論も始まっており，関連研究も出されている[24]が，広域網におけるマルチキャストの普及という観点から，サービスの展開には時間がかかると思われ，そのため，本研究がターゲットとしているユニキャストでのストリーミング配信技術の研究は先駆けて行われるべきだと考える.

3.2　Local Routing

ここではLocal Routingの詳細と関連研究について述べる.

Local Routingをenableにすると送受信者間の経路がLMAに依存する必要がなくなる.これにより送受信者間の通信において無駄な三角形路を通る通信が解消される.

しかし，現在でのPMIPv6の標準では移動端末と送信者が同じMAGに接続している場合にのみ，利用可能である.

PMIPv6の標準ではMAGは移動端末からのパケットを必ず双方向トンネルを通してLMAまでフォワードする．例え，同じMAGに送受信者がいたとしても送信者が出したパケットは必ず一旦LMAまで運ばれ，また同じMAGに戻ってくるよう設計されている．このMAGから受け取ってパケットの宛先が同一のMAGに接続されていることがわかると，パケットをわざわざLMAまでフォワードする必要がなくなる．この仕組みがLocal Routingである.

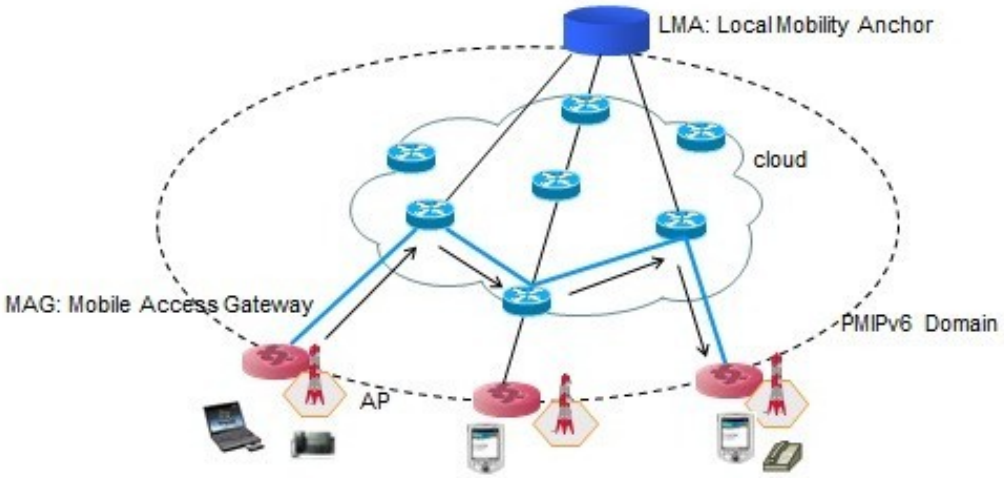

図 3.1: 同一ドメイン内の Local Routing 概念図

現在 IETF で議論されている関連研究では，別の MAG に通信相手がいた場合の Intra-LMA Local Routing や別ドメイン (異なる LMA に通信相手がいる場合) にまたがる Inter-LMA Local Routing などが関連研究としてあがっている [19]．概念図を図 3.2 図 3.3 に示す．

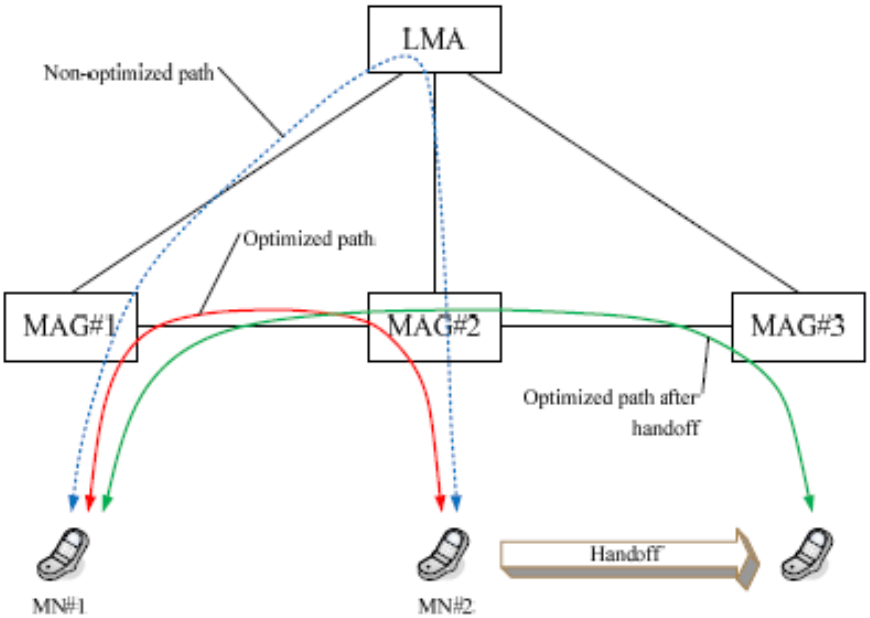

図 3.2: Intra-LMA Local Routing 概念図

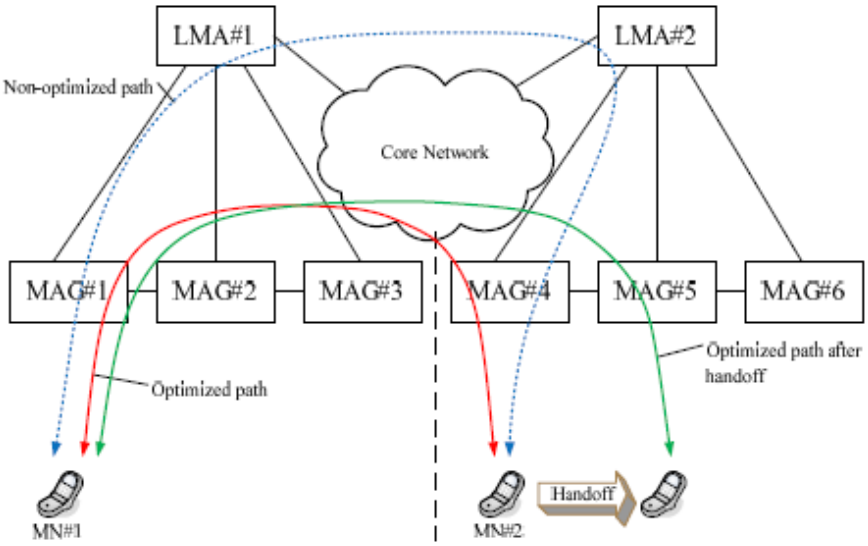

図 3.3: Inter-LMA Local Routing 概念図

3.3 まとめ

本章では，PMIPv6 における要素技術やそれに関する関連研究などについての詳細を述べた．次章では本章で述べた技術を PMIPv6 環境におけるリアルタイムストリーミング配信で行うにあたり，考慮すべき課題について述べる．

第4章　課題

4.1　ストリーミング配信モデルにおける課題

一つの IPTV のようなリアルタイムストリーミングを MAG 配下にいる複数の受信者がモバイル端末で受信している環境では，おのおののモバイル端末に送信者が同じリアルタイムストリーミングを配信しなくてはならない．そのため PMIPv6 ドメイン内において encapusulation の重複を引き起こし，トラヒック過多や送受信者間の中継器の負荷の要因となる．
その要因としては，現在のモデルでは PMIPv6 ドメインにいるおのおののモバイル端末がユニークな IPv6 プリフィックスを LMA から割り当てられ，その個別の IPv6 プリフィックス宛てに送信者がリアルタイムストリーミングをそれぞれ配信しなくてはならないためである．従って，送信者が効率的に受信者にリアルタイムストリーミングを配信可能な機構が必要となる．概念図を図 4.1 に示す．

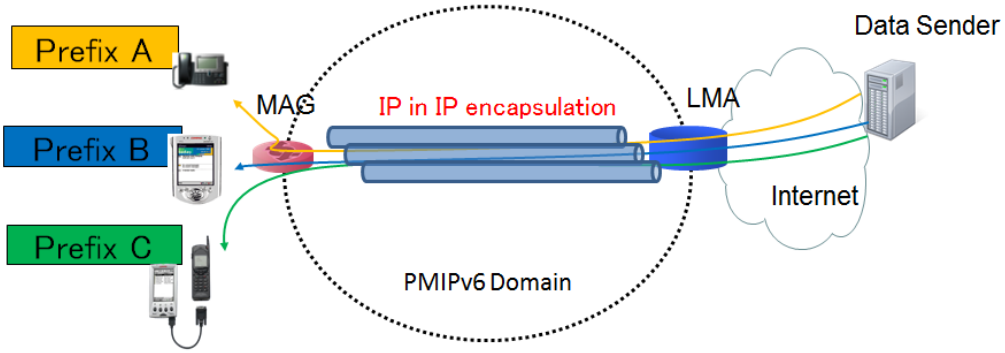

図 4.1: 現状の PMIPv6 におけるストリーミング配信

4.2 Local Routing における課題

PMIPv6 では，局所的な経路最適化手法として，Local Routing が定義されている．
現状の機能では送信者と受信者が同じ MAG の配下にいる場合においてのみ利用することが可能である．通常の PMIPv6 のモデルにおいては，MAG は送信者から受けたパケットを必ず LMA を経由して受信者にフォワードする．Local Routing を利用すれば，同一 MAG 配下に送受信者がいる場合はわざわざ LMA にパケットをフォワードする必要がなくなり，三角経路問題を克服することが可能となる．

しかし，現状の機能だけでは本研究で想定している送信者がインターネットの先にいる場合は，LMA に依存する経路を通らねばならない．
その要因としては現在の標準では図 4.2 に示すように，受信者のおのおののモバイル端末に割り当てられている IPv6 プリフィックスは LMA に bind されているため送信者からは LMA の先から受信者の IPv6 プリフィックスが経路としてインターネット上に広報されているように見えるためである．
そのため，リアルタイムストリーミングのようなリアルタイム性の要求されるコンテンツにおいては送受信者間のデータ配送遅延につながる．

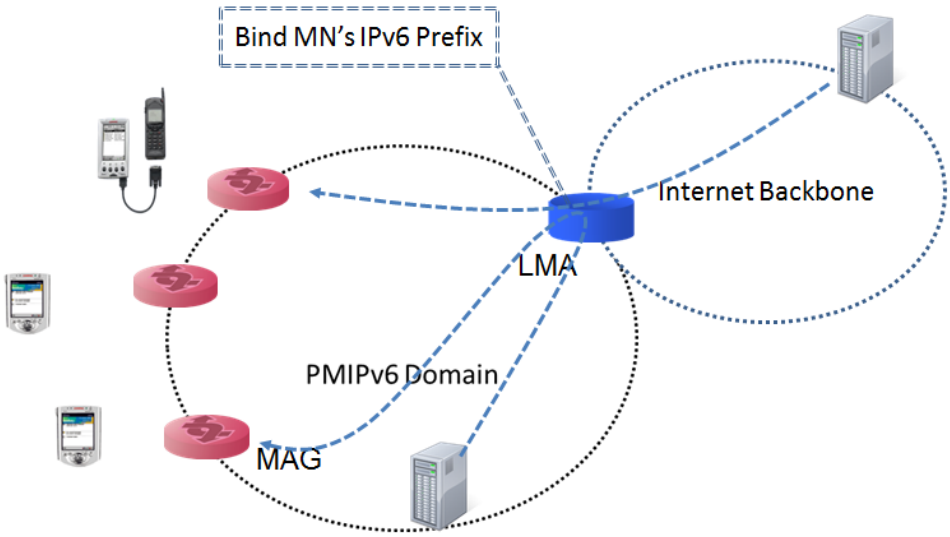

図 4.2: PMIPv6 における LMA に依存する経路

4.3 課金システムにおける課題

上記で述べた Local Routing は外部ネットワークとの接続点である LMA を通る必要のない定量課金のようなユーザに対して有効である。そのため、従量課金のユーザのように外部インターネットとの接続を行う際,LMA を通る経路に依存しなければいけないユーザとの識別を行う必要がある．RFC5213 ではユーザの管理情報把握機構として Policy-Store と呼ばれる機構を推奨しているが，その細かい機能に関しては言及されていない．
そのため，Local Routing を定量課金のユーザに対して効率よく行うため Policy-Store にてユーザの課金情報を管理する仕組みを導入する必要がある．

4.4 PMIP 環境での CXTP ハンドオーバにおける課題

現状の PMIPv6 におけるハンドオーバではリアルタイムストリーミングをユーザが受信しながら移動するような想定において，MAG 間で CXTP [25] を使いコンテキスト・トランスファが可能である．
現状の CXTP のモデルではまずモバイル端末がハンドオーバし，nMAG に Attach した際，nMAG は pMAG に対して，モバイル端末の情報を求める Context Transfer Request(CT-Req) を要請する．ここでのモバイル端末の情報は IPv6prefix や通信していた Sender の IP アドレスや port 番号などである．CT-Req を受けた pMAG はモバイル端末の情報を Context Transfer Data(CTD) によって nMAG にコンテキストトランスファする．
概念図を図 4.3 に示す．
しかし,PMIPv6 環境のストリーミング通信における CXTP に関しての具体的な仕様に関しては RFC5213 では言及されておらず，リアルタイムストリーミング配信におけるシームレスハンドオーバのための細かい仕組みを検討する必要性がある．

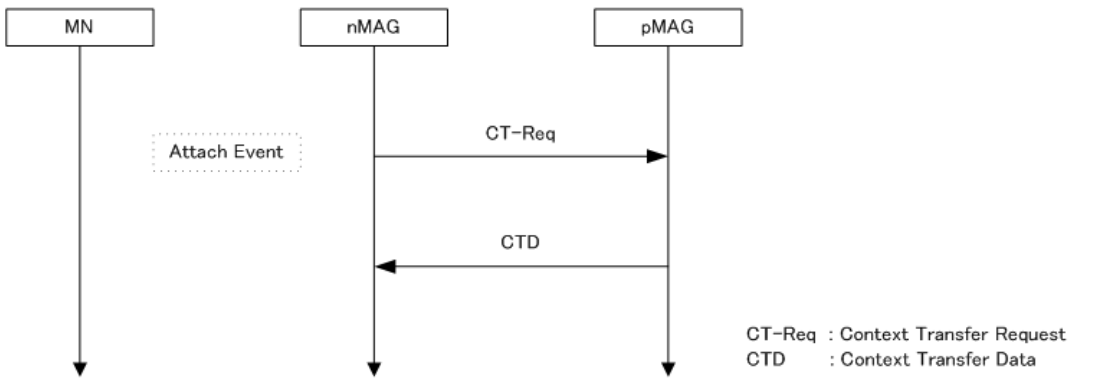

図 4.3: PMIPv6 における CXTP 動作シーケンス

4.5 既存PMIPv6ハンドオーバとCXTPによるハンドオーバの検証

現状の PMIPv6 における既存ハンドオーバ及び，CXTP ハンドオーバがリアルタイムストリーミングに与える影響度をクリアにするために予備検証を行った．ここでの影響度の定義は受信者が受けているリアルタイムストリーミングの品質に大きく影響するジッタ，遅延及びパケットロスである．
ネットワークシュミレーションソフトウェア OPNET [26] の上でシミュレーションを実施し評価実験を行った．送信者から受信者 5 台まで配信 30frames/sec, 1Mbps で UDP リアルタイムストリーミングの配信を行った．受信者の移動速度は既存の接続している MAG から別の MAG まで 5km/h で移動する．シミュレーションの時間は 1 時間とした．ジッタ，遅延のグラフに関して縦軸は sec，横軸はデュレーションである．パケットロスのグラフに関しては，縦軸は packet/sec，横軸はデュレーションである．グラフの点線の赤丸で囲っている部分において，ハンドオーバが発生している．検証の結果，既存の PMIPv6 ハンドオーバ，及び CXTP によるハンドオーバに関してジッタ, 遅延，そしてパケットロスがハンドオーバ時に顕著に発生することが確認できた．既存の PMIPv6 ハンドオーバと CXTP のハンドオーバを比較した際，ジッタ，遅延に関しては CXTP によるハンドオーバにより若干改善されたものの，パケットロスに関しては，依然として発生してしまうことが確認できた．シミュレーショントポロジーは図 4.4 に示す通りである．
評価結果を以下図 4.5 4.6 4.7 4.8 4.9 4.10 にその結果を示す．

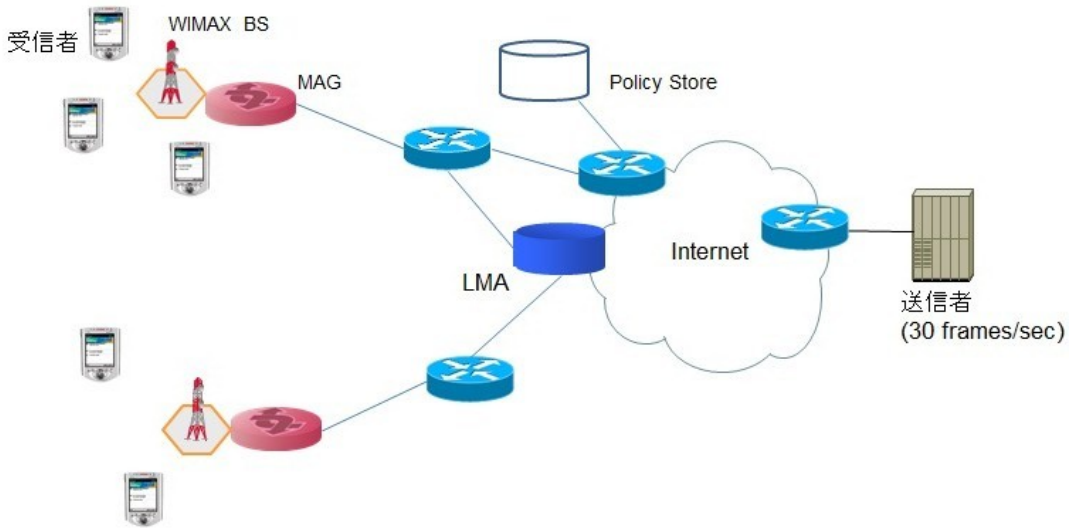

図 4.4: シュミュレーショントポロジー図

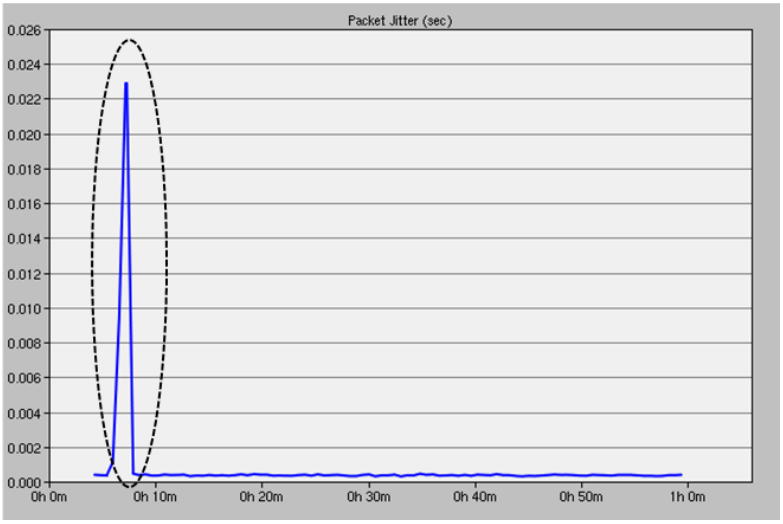

図 4.5: PMIPv6 既存ハンドオーバにより発生したジッタ

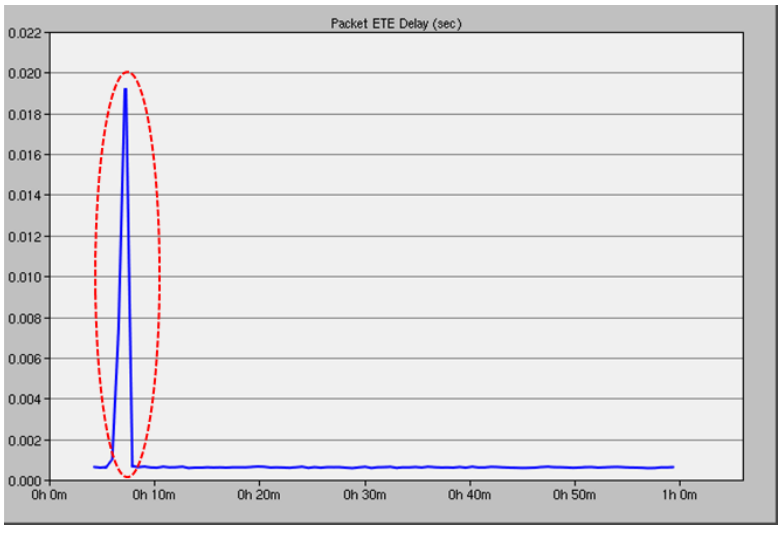

図 4.6: PMIPv6 既存ハンドオーバにより発生した遅延

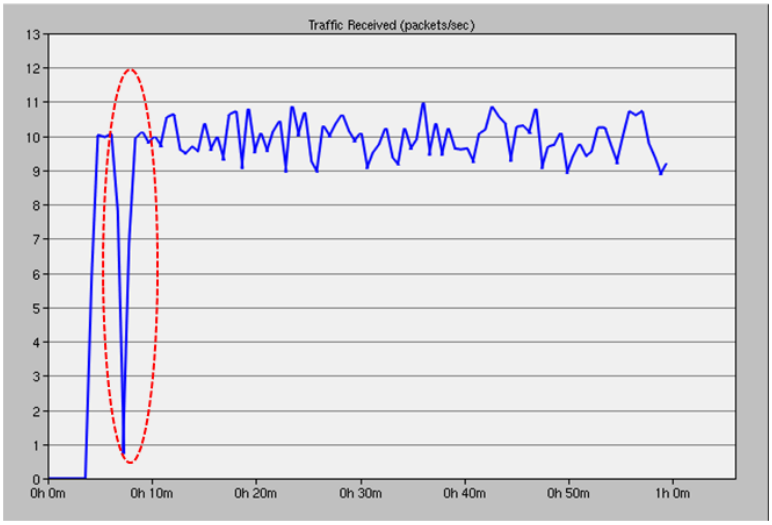

図 4.7: PMIPv6 既存ハンドオーバにより発生したパケットロス

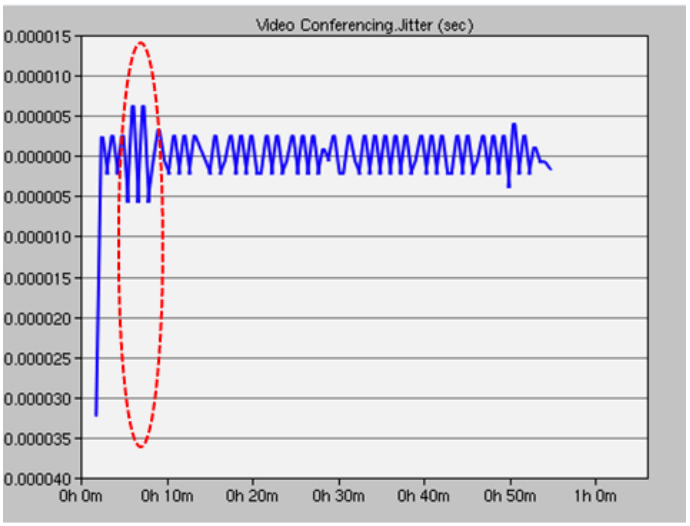

図 4.8: PMIPv6 における CXTP ハンドオーバにより発生したジッタ

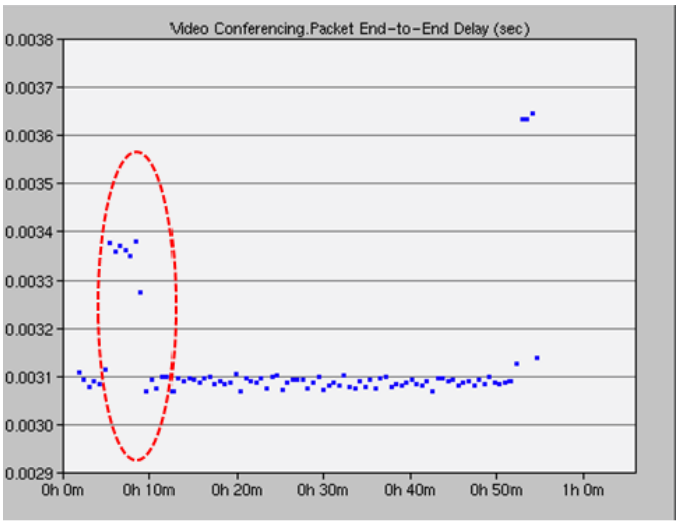

図 4.9: PMIPv6 における CXTP ハンドオーバにより発生した遅延

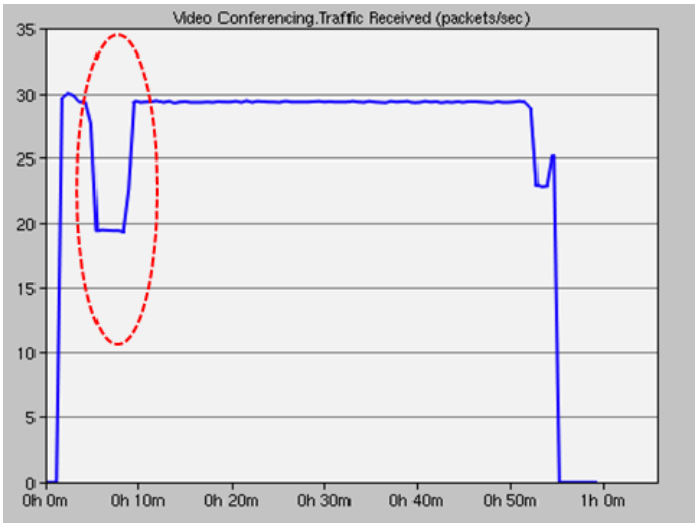

図 4.10: PMIPv6 における CXTP ハンドオーバにより発生したパケットロス

4.6 まとめ

本章では PMIPv6 における既存技術における課題について述べた.
大きく分けて送信者 (ストリーミングサーバ) と MAG のコネクション制御，リアルタイムストリーミングの配信手法，Local Routing，課金システム，既存 PMIP ハンドオーバ及び，CXTP ハンドオーバについての課題について述べた.
ハンドオーバの検証に関してはシミュレーション実験による発生したストリーミングのジッタ，遅延，パケットロスの検証を行った．現状の PMIPv6 ハンドオーバ，CXTP ハンドオーバに関しては特にジッタ，遅延，パケットロスが大きく発生してしまうことがわかった.
次章ではこの既存技術の課題及び，検証結果を踏まえて，具体的なアプローチの詳細について述べる.

第5章　提案手法

本研究の提案手法について述べる．アプローチにおいては，送受信者間がLMAに依存しない最適経路を保ち，一つのコンテンツを多数の受信者がモバイル端末で受信した想定でもPMIPv6ドメインと中継器の負荷を軽減させ，さらにモバイル端末が移動しアクセスポイントが切り替わった際でもストリーミングの通信断を起こさずに継続して通信可能なアーキテクチャを提案する．

本提案手法は大きく分けて，Policy Storeによる課金情報識別機構，RTSP-Proxyによる MAGと送信者とのコネクション制御の確立，Local Routingの実現，MAGによるストリーミングアグリゲーション，CXTP [25] 拡張による Data pre-forwarding，に分類される．本項ではこの5つの機能の詳細について述べる．本提案手法の前提として，MAGは MAG-External-Address (MEA) という論理的なアドレスを新たに持つ．このアドレスを新たに作る目的としては，LMAに bindしないアドレスが必要な点と送信者からのリアルタイムストリーミングをアグリゲーションするためである．詳細に関しては後述する．

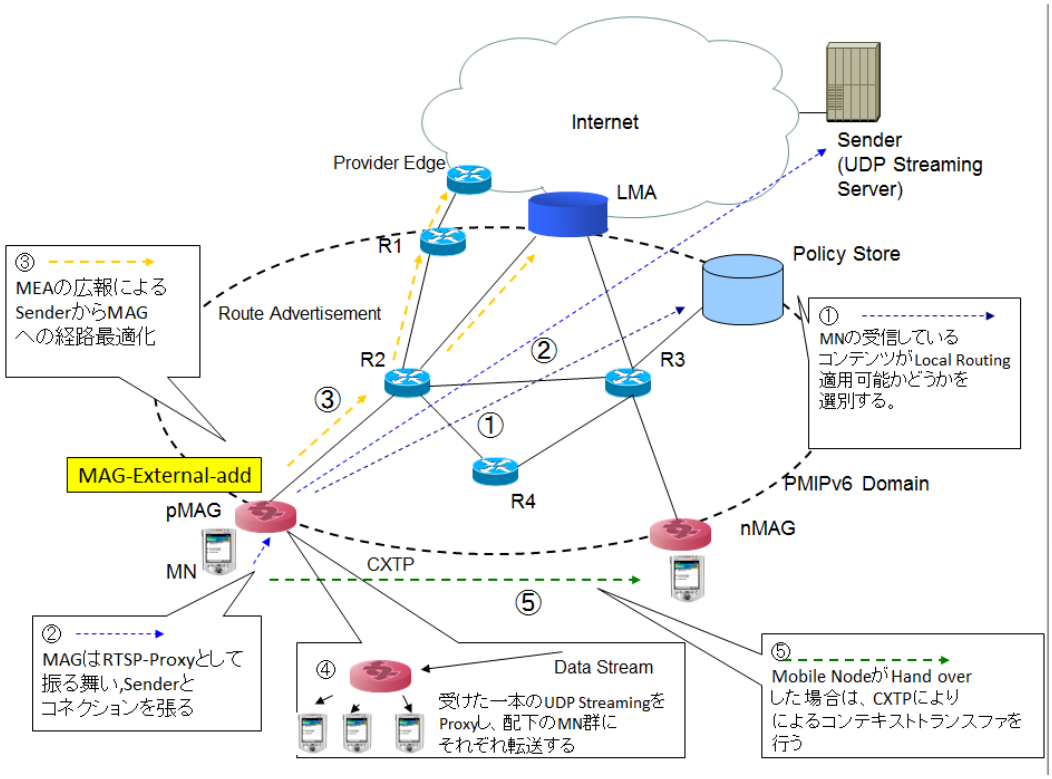

図 5.1: 提案手法の 概念図

5.1 Policy Storeによる課金情報識別機構

Policy Storeによる受信者識別機構の詳細について述べる．提案手法であるMAG-Orientedストリーミングアーキテクチャはワンセグのような定量課金の受信者を対象としている．その理由として,送信者から従量課金の受信者までの経路はLMAに依存するためである．本手法を定量課金の受信者にだけ提供できるよう，従量課金受信者か定量課金受信者かを識別する機構を提案する．

そのため，PMIPv6ドメインの中にPolicy Storeと呼ばれる定量課金者のIPv6プリフィックスと各コンテンツのリストを保持したサーバを置く．MAGにモバイル端末がAttachしたらMAGはこのモバイル端末がPolicy Storeのリストにマッチするユーザかどうかを投げる．もし，マッチした場合は本手法を適用可能なモバイル端末と認識し，MAGにResponseを返す．

5.2 RTSP-Proxyによるコネクション制御の確立

RTSP (Rreal Time Streaming Protocol) [27]によるコネクション制御の確立詳細について述べる．

本研究のアプリケーションとしては，リアルタイムストリーミングを前提としているため，送信者になんらかの方法で宛先のアドレスであるMEAを通知する必要がある．そのため通知する手段として，RTSPを使うことによって送信者にMEAを通知する．RTSPはIETFによって標準化されているプロトコルで，本研究で想定するようなリアルタイム性のあるデータ配布を制御するプロトコルである．

RTSPをを用いることにより，オーディオ，ビデオなどのマルチメディアコンテンツを扱うサーバを遠隔操作することが可能になる．

このRTSPをMAGがMNの代わりにプロキシし，送信者とのコネクションを張ることによって，送信者はMEAを通信相手として認識することが出来る．

動作概要としては，モバイル端末がMAGにjoinした場合，MAGはそれを受けモバイル端末の代わりに送信者に対して使用可能な機能の交換であるOPTIONS，コンテンツの情報取得としてのDESCRIBE，伝送方法決定のSETUPというネゴシエーションのやりとりを行う．これにより送信者はリアルタイムストリーミングを送信するための宛先アドレスであるMEAを通知しMAGは送信者とコネクションを張ることが可能となる．通信フローを図5.2に示す．

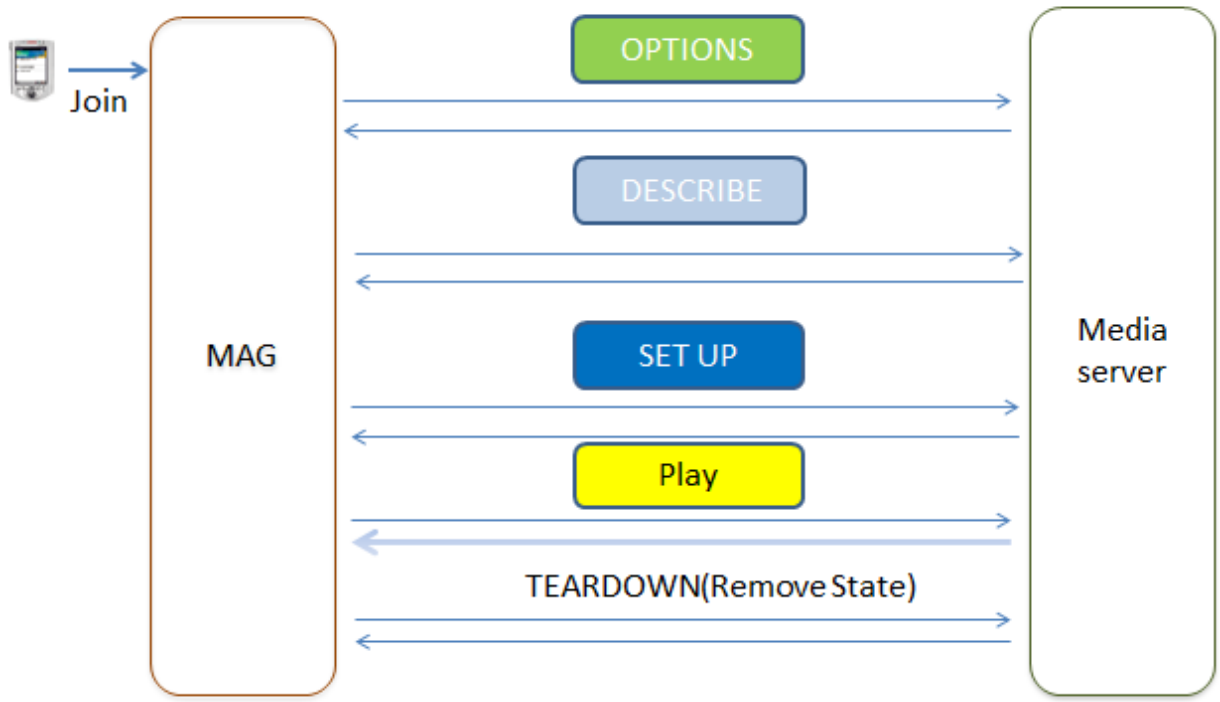

図 5.2: MAG による RTSP-Proxy データフロー

5.3 Local Routing(経路最適化) の実現

現在の PMIPv6 のモデルで Local Routing が出来ない理由は MN の付与された IPv6prefix は全て LMA に bind されているためである．そのため外部ドメインから MAG までの通信は LMA に依存せざるおえないという問題がある．

本研究の提案手法で定義した MEA は LMA に bind されていないアドレスである．そのため，PMIPv6 ドメイン全体に MEA を経路広報することによって PMIPv6 ドメイン内の各中継器に MEA を伝播させる必要がある．ここでは，OSPF や iBGP などの IGP によって MEA を経路広報する．
これにより，MEA は LMA に bind される必要がないアドレスであるため，送信者から受信者までの経路は LMA に依存しない経路を確立することが可能となる．
この Local Routing により既存のモデルで LMA に依存する経路を通らねばならないという制約からの解放が実現可能となる．概念図を図 5.3 に示す．

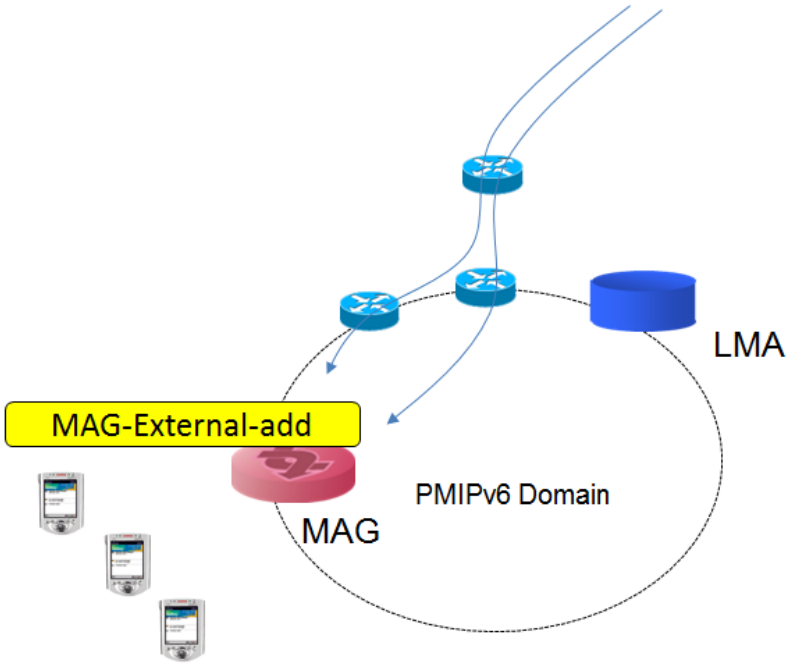

図 5.3: Local Routing 概念図

5.4 MAGによるストリーミングアグリゲーション

本研究の想定するアプリケーションとしてリアルタイムストリーミングを想定している．
現在の PMIPv6 のモデルではおのおののモバイル端末が LMA から付与された IPv6 プリフィックスを持ち，送信者はその IPv6 プリフィックス宛にそれぞれ同じリアルタイムストリーミングを配信しなくてはならない．そのため，一つの IPTV のようなコンテンツを MAG 配下の多数の受信者が閲覧しているような想定では，おのおのの受信者に対して同じコンテンツを逐次配信するような非効率な通信が必要がある．
ここでは MAG によるストリーミングアグリゲーションを提案し，送信者から受けた一つのリアルタイムストリーミングを MAG が MEA で受けてアグリゲーションし，配下の受信者にフォワードする．これにより多数のユーザが同じコンテンツを見ている想定でも，送信者から MAG までのデータは一本のリアルタイムストリーミングだけで済む．これによりストリーミング配信によるトラフィック量や encapsulation コストの削減が見込める．

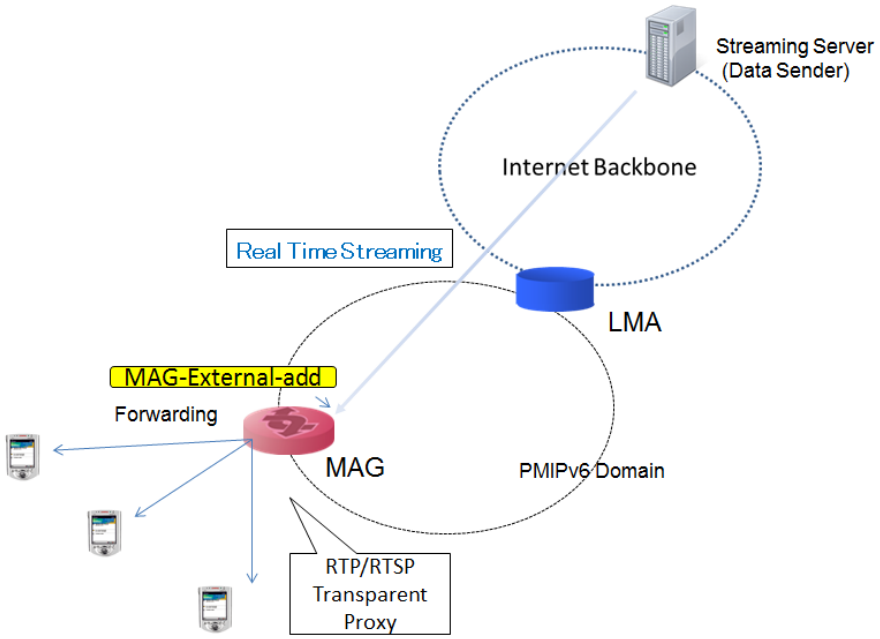

図 5.4: MAG によるストリーミングアグリゲーション 概念図

5.5 CXTP 拡張による Data pre-forwarding

アグリゲーション中の CXTP 拡張によるによる Data pre-forwarding 詳細について述べる．

MEA で通信している MN が別の MAG にハンドオーバした場合，図 5.5 で示すように，MAG1 が MAG2 に CXTP によりハンドオーバする MN の Policy Profile と受けていたストリーミングデータをフォワードすることにより，通信断を防ぐ．Policy Profile は MN のインターフェース毎に端末側で自動生成される識別子である MN-ID と MAG によるアグリゲーションで通信していた，MN のコンテンツチャネルリストを保持する．CXTP により Policy Profile と pre-forwarding されたストリーミングデータを受け取った MAG2 はハンドオーバしたモバイル端末のチャネルリストを MAG2 の MEA に登録し，pre-forwarding されたデータをハンドオーバが完了した MN に引き渡すことにより，シームレスハンドオーバを実現しリアルタイムストリーミングの通信維持を可能にする．

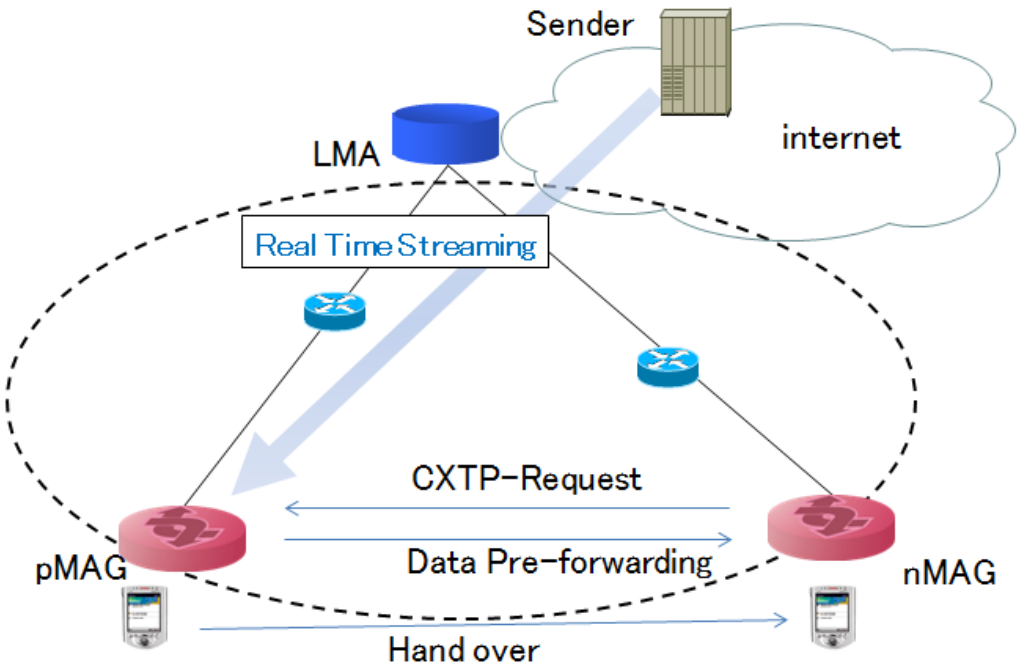

図 5.5: CXTP 拡張による Handover 支援機構 概念図

5.6 まとめ

本章では本研究における提案手法について述べた．
アプローチは Policy Store による課金情報識別機構，RTSP による送信者へのアドレス通知，Local Routing の実現，MAG によるストリーミングアグリゲーション，CXTP [25] 拡張によるハンドオーバ支援機構，の５つの機能から構成されている．
ストリーミングのアグリゲーション手法では現在の PMIPv6 のモデルで定義されている，おのおのの受信者に対して同じコンテンツを配信しなくてはならないという非効率な配信モデルからの脱却である．また Local Routing の実現は外部ドメインに送信者がいる想定において，LMA を介した通信をしなくてはならないという制約からの解放である．
またこの二つの機能の提供において，考慮すべき点として Local Routing の実現に際し従来の課金モデルを壊さないという前提がある．そのため，Local Routing が適用出来ない従量課金のような受信者と定量課金のような受信者を識別する機構が必要である．
RTSP による MAG と送信者とのコネクション制御の確立は送信者に本アプローチの前提である MEA を送信者に通知する仕組みを提供する上で必要である．さらに，アグリゲーション中のシームレスハンドオーバを実現するために CXTP 拡張によるハンドオーバ支援機構を提案する．
次章では提案手法を元に本手法の実現について述べる．

第6章　提案手法の設計・実装

本章では，第5章で述べた提案手法にしたがって実装を行う．提案手法をネットワークシュミュレーションソフトウェアOPNET [26] 上に実装した．環境は表7.1の通りである．

シミュレーションソフト	OPNET ver15.0A
動作環境	Debian GNU/Linux 2.6.18
言語	C/C++
コンパイラ	gcc-4.3.2

表 6.1: シミュレーション環境

6.1　実装概要

実装概要について述べる．MNはp-MAGにAttachするとアドレス要求メッセージとして，Router Solicitation(RS)をp-MAGに対して要求する．これを受けたp-MAGはLMAに対してPBUを出し，これを受けたLMAはこのPBUが登録されているMNからのものであることを判断した場合はp-MAGに対してPBAを返す．この一連のネゴシエーション後にMNはユニークなIPv6prefixを得る．ここまでの動作はRFC5213 [2] に準拠する．ユニークはIPv6prefixをMNが得ることが出来た場合，p-MAGは課金情報識別機構であるPolicy StoreにQueryを出す．これを受けたPolicy Storeは自分の持つデータベースを情報とMNのprefixの情報の照合を行い，定量課金の受信者と判断した場合はMEAでのリアルタイムストリーミング通信が可能なMNと認識し，Replyを返す．それを受けたp-MAGはRTSPにより，Senderとコネクションの確立を行う．これによりSenderはMEAを知ることが出来る．SenderはMAGとのコネクション確立後はストリーミングデータをMEA宛てに配信する．
仮にMNが移動し，p-MAGからn-MAGに対してハンドオーバする場合，MNがp-MAGからDetachし，n-MAGにAttachした際にn-MAGはCXTPの要求メッセージをn-MAGに対してだし，そのメッセージを受けたp-MAGはCXTPによるPre-forwordingを行い，今までMNが受けていたストリーミングデータをn-MAGに対してコンテキストトランスファする．
全体の動作シーケンスについては図6.1に示す．

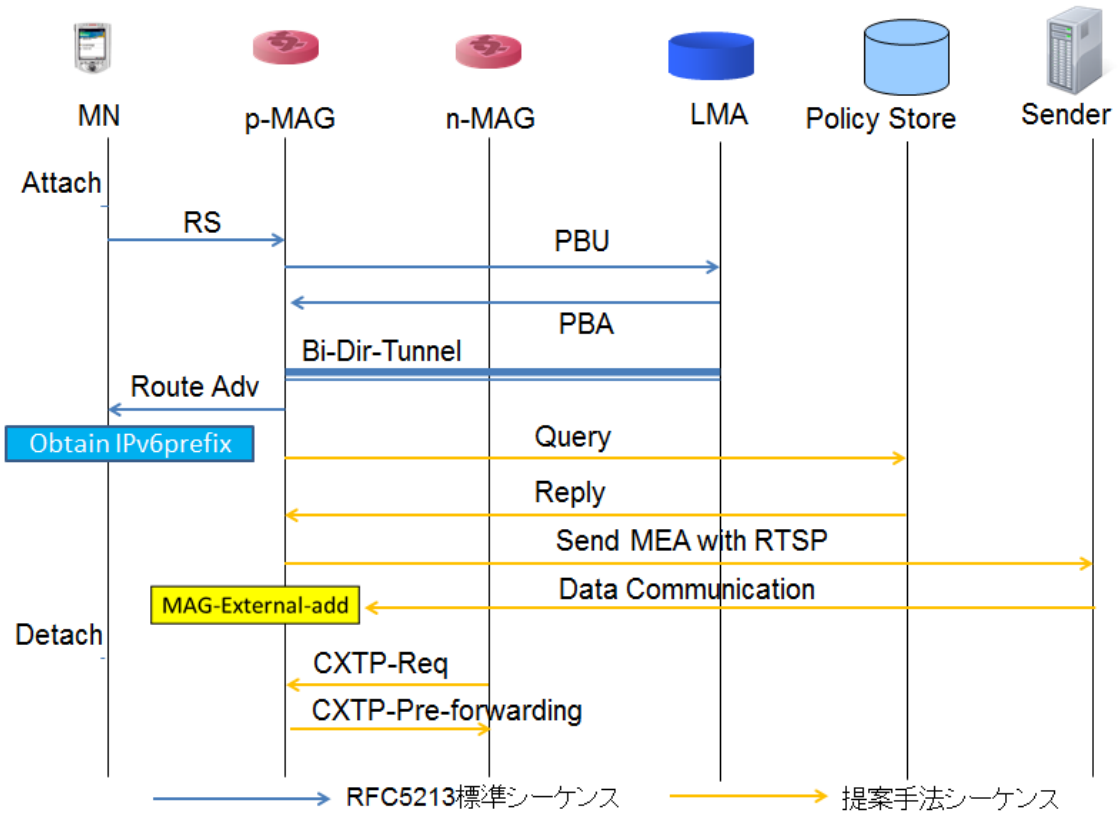

図 6.1: 実装動作シーケンス

6.2 実装詳細

実装モジュールを構成する各モジュールの詳細について述べる．

6.2.1 課金情報識別モジュール

課金情報識別モジュールの詳細について述べる．本モジュールは OPNET 上のユーティリティノードとして実装する．
課金サーバノードプロセスでは定量課金対象者の MN リストとそのサーバへのアクセス遅延が静的に設定可能である．ここで設定されてパラメータは共有メモリに渡され，この値を MAG ノードは参照する．MAG ノードはこの値を参照し，リストに合致した MN のみ本手法の対象者としてみなす．また課金サーバノードで設定された遅延の時間分全体の通信に要したシミュレーション時間に加味される．実装イメージを図 6.2 に示す．

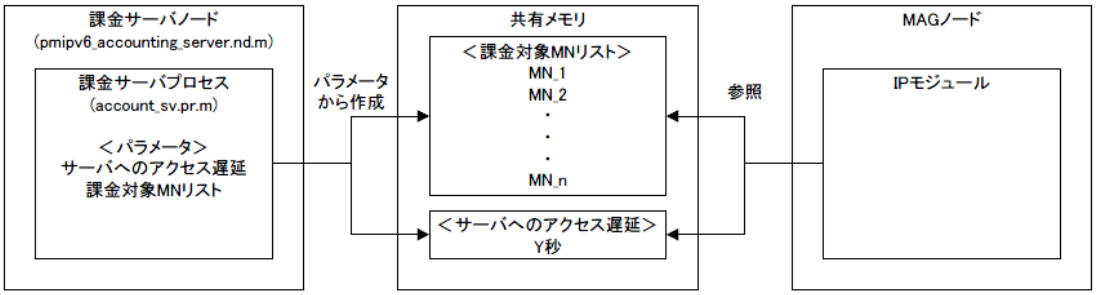

図 6.2: 課金情報識別モジュール実装イメージ

6.2.2 RTSP-Proxy モジュール

RTSP-Proxy モジュールについて述べる．本モジュールは OPNET 上の通信モジュールとして実装する．
本モジュールは OPNET 既存モジュールの L2 リンクモジュールと IP モジュールの間で動作するモジュールである．L2 リンクモジュールは主にレイヤ 2 の階層で動作するモジュールで，IP モジュールは L3 で動くプロトコルなどのプロセスを管理するモジュールである．RTSP の基本動作として，Sender とのコネクションを張るにあたり，使用可能な機能の交換としての OPTIONS，コンテンツの情報取得としての Describe，また伝送方法決定のための SET UP というシグナリングをやりとりしてコネクションを確立する．
今回はこのシグナリングのエミュレーションを OPNET 上にモジュールとして実装し，このシグナリング完了後に Sender に MEA が通知される仕組みになっている．
動作概要について述べる．まず L2link モジュールで定量課金の MN の接続を検知した場合，イベントが発生し，RTSP-proxy モジュールに検出プロセスを発生させる．これを受けた RTSP-proxy モジュールはこの検出プロセスを受けて RTSP にシグナリングイベントを発生させるよう IP モジュールにメッセージを送信する．
これを受けて IP モジュールは RTSP-proxy モジュールに OPTIONS リクエストメッセージを出す．RTSP-proxy モジュールはリクエストメッセージを出した IP モジュールに対して OPTIONS メッセージを送信する．その後 OPTIONS メッセージを受けた IP モジュールは IP パケットを Sender に対して送信する．このリクエストを受けた RTSP-proxy モジュールが IP モジュールに対してメッセージを送るという動作を Describe メッセージと Set UP メッセージも同じように繰り返す．この一連の動作が完了すると，Sender と MAG とのコネクションが確立する仕組みとなっている．

6.3 Streaming Aggregation モジュール

Streaming Aggregation モジュールについて述べる．本モジュールは OPNET 上の通信モジュールとして存在せず，MAG モジュールにストリーミングをアグリゲーションする

ための MEA アドレスを実装することにより，Sender から送られるストリーミングをアグリゲーションする機能を実現する．
また，MAG モジュールと課金情報識別モジュールはネゴシエーションを行い課金情報識別モジュールが保持する MN の prefix リストをチェックし，定量課金の MN のみこの Aggregation 機能を適用させる．
実装仕様としては，この Streaming Aggregation モジュールが enable に設定されている MAG-module は Sender から受けるストリームを MEA で Aggregation して受け，これを配下の MN 群に転送する．
この一連のイベントは課金情報識別機構が保持する定量課金者の prefix リストの照合を通過した MN が MAG に Attach した際発生する．さらにこの Sender から MEA までの通信経路は LMA に依存しない．実装イメージを図 6.3 に，動作フローを 6.4 に示す．

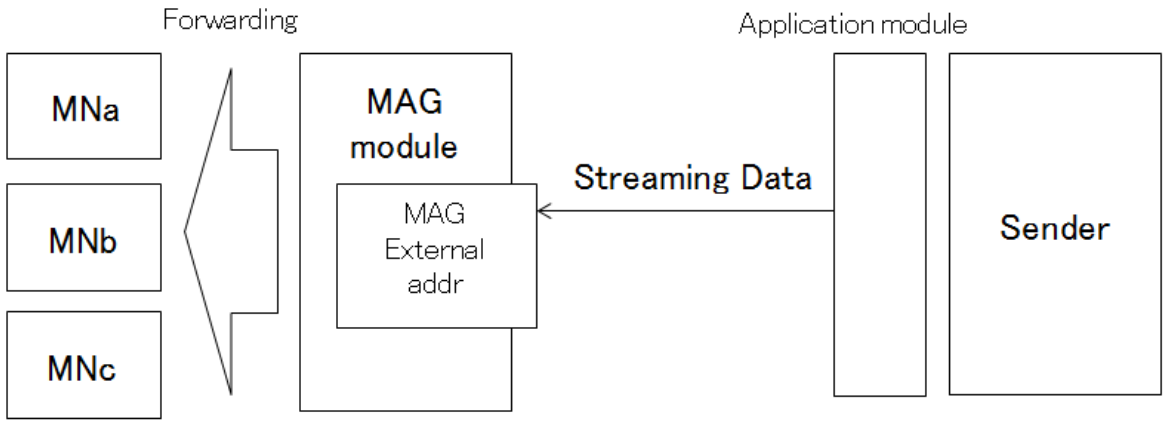

図 6.3: Streaming Aggregation モジュール実装イメージ

6.4 CXTP Data pre-forwarding モジュール

CXTP Data pre-forwarding モジュールについて述べる．本モジュールは標準の CXTP モジュール [25] の拡張機能として実装する．
本機能は Aggregation 中の MN がハンドオーバした場合の通信の接続維持を支援するものである．Sender からストリーミング配信を受けている MN が移動し，その時接続していた p-MAG を離れた場合，p-MAG は Detach を検出する．
MN が n-MAG に Attach した場合，MN は N-MAG に対して RS でアドレス要求メッセージを出す．それを受けた n-MAG は p-MAG に対して Context Transfer Request (CT-REQ) を出す．CT-REQ を受け取った p-MAG は受けていたストリーミングのデータを Context Transfer により n-MAG に転送する．また，n-MAG が Sender とのコネクションを確立するまでは，Sender から送られてきたデータは p-MAG が n-MAG に対して Pre-forwarding する．これによりハンドオーバ処理の間に送られてきたデータは移動しても MN に送られる．n-MAG と Sender の間のコネクションが確立された後は，n-MAG は p-MAG に対して Pre-forwarding の停止メッセージを出し，n-MAG の MEA でストリーミングデータを受信する．
シーケンスを図 6.5 に示す．

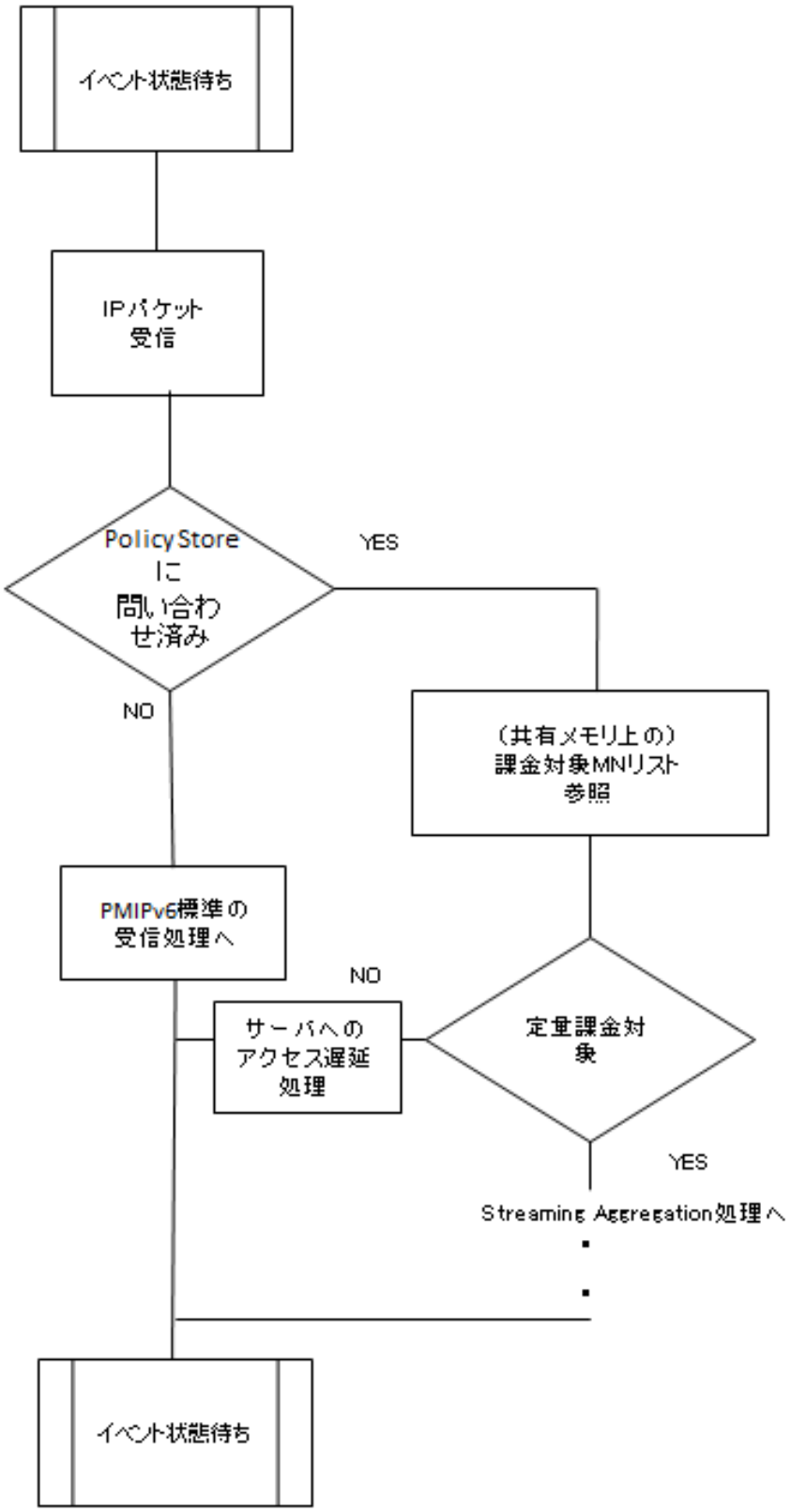

図 6.4: Streaming Aggregation 動作フロー

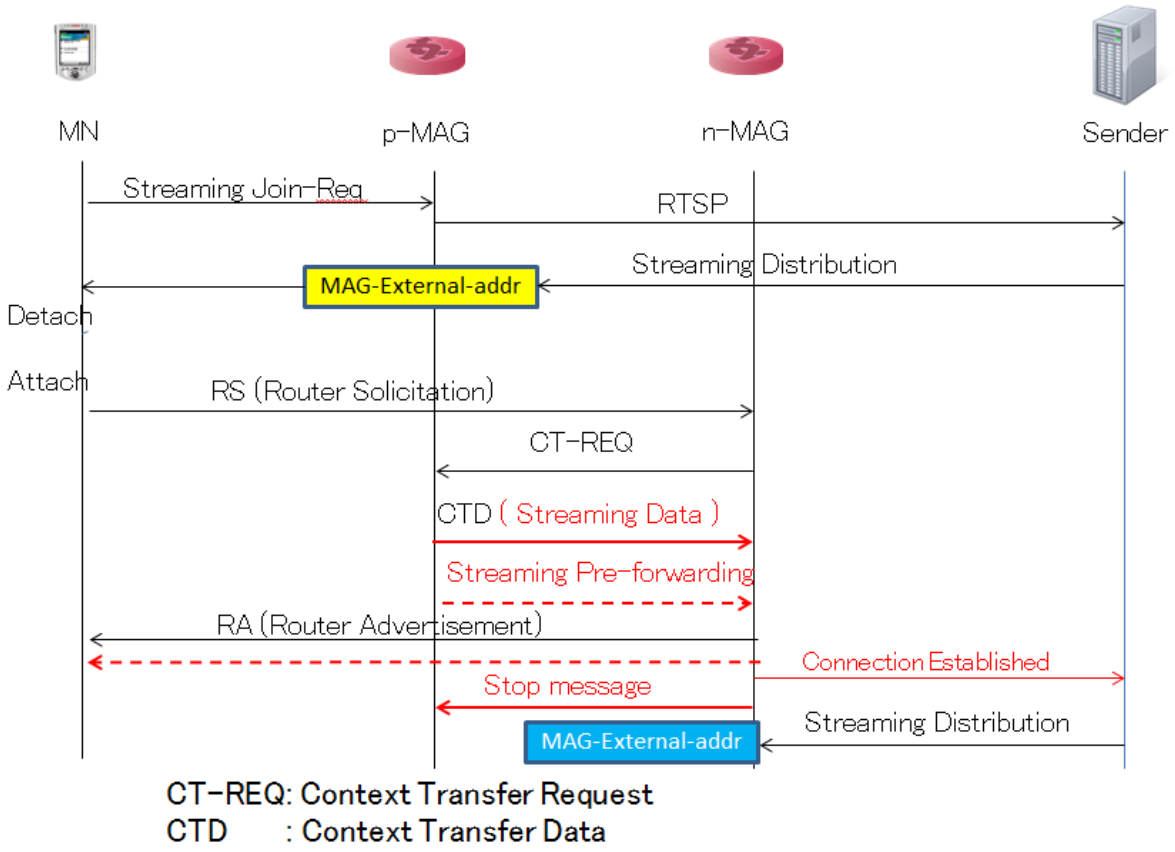

図 6.5: CXTP Data pre-forwarding 動作シーケンス

6.5 まとめ

本章では，第 5 章における提案手法に基づいて実装した機能の概要について述べた．また実装された機能は課金情報識別モジュール，RTSP-Proxy モジュール，Streaming Aggregation モジュール，CXTP Data pre-forwarding モジュールより構成されており，各モジュールの実装詳細、動作概要について説明した．
次章では，本提案手法の有用性を証明するために，シュミュレーションに基づいた評価を行う．

第7章　評価

本章では，本研究で実装したシステムの評価について述べる．
評価環境はネットワークシミュレーションソフトウェア OPNET 上でシミュレーション実験を実施した．7.1 MAG 配下 MN 数は計 40 台，リアルタイムストリーミングは配信 30frames/sec，1Mbps で行った．シミュレーションのデュレーションは一時間で行った．移動する MN に関しては時速 5km/h で東の方角に直線を描いて移動する MN とランダムウェイポイントで移動する MN との二つのモデルを用いた．L2 リンクの無線環境においては OPNET 既存モジュールの WIMAX モジュールを使用している．シミュレーショントポロジーは図 7.1 の通りである．

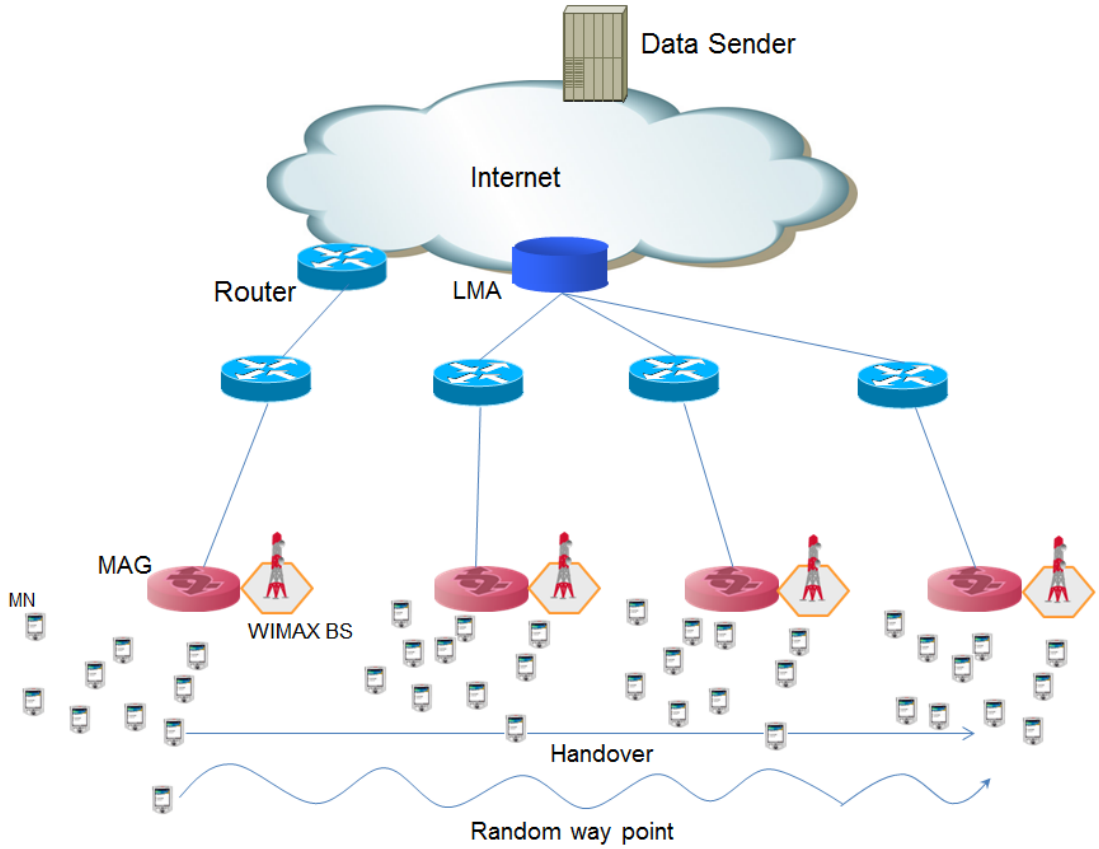

図 7.1: 評価シミュレーショントポロジ

MN の移動モデル	直線移動，ランダムウェイポイント
移動速度	5km/h
L2 リンク	WIMAX
Modulation and Coding	QPSK1/2

表 7.1: 無線環境，MN の移動モデル

7.1 LMA，MAG の負荷とトラフィック量に関する考察

本手法の有効性の評価として，LMA，MAG の負荷とパケット量の変化に関する考察について述べる．評価実験の実施内容として本手法の適用前後における比較評価を実施した．評価したパラメータはストリーミング配信における中継器である LMA，MAG の負荷として CPU 使用率，そして MAG が受けるトラフィック量の変化について着目した．
LMA と MAG の負荷の検証では，LMA の CPU 使用率は本手法適用前は約 0.38〜0.77 %であったが，本手法適用後は 0.01〜0.1 %，MAG の CPU 使用率は本手法適用前は 2.2 %〜4.3 %であったが，本手法適用後は 0.10 %〜3.8 %に減少した．
これはストリーミングアグリゲーションにより，本来各々の MN に配信する必要があるストリーミングが集約された事と，MAG と LMA の間に張られる encapsulation コストが削減されるためである．
MAG が受けているトラフィック量に関しては，本来 MAG 配下の MN10 台に配信する必要がある，ストリーミングが 1 台分のストリーミングに集約されたため，本手法適用前のトラフィック量は約 8Mbps〜11.5Mbps から約 1Mbps に減少した．
評価結果は以下に示す通りである．グラフの X 軸に関してはいずれもデュレーション，Y 軸に関しては CPU 使用率が (%)，トラフィック量が (Mbps) である．青線のグラフが本手法適用前，赤線が適用後の結果である．

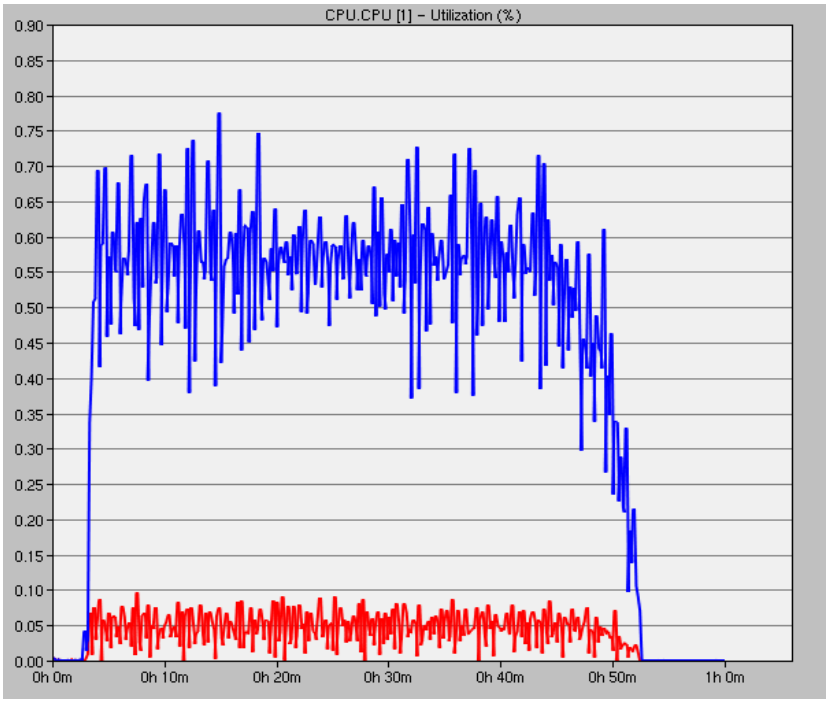

図 7.2: LMA の CPU 使用率の変化

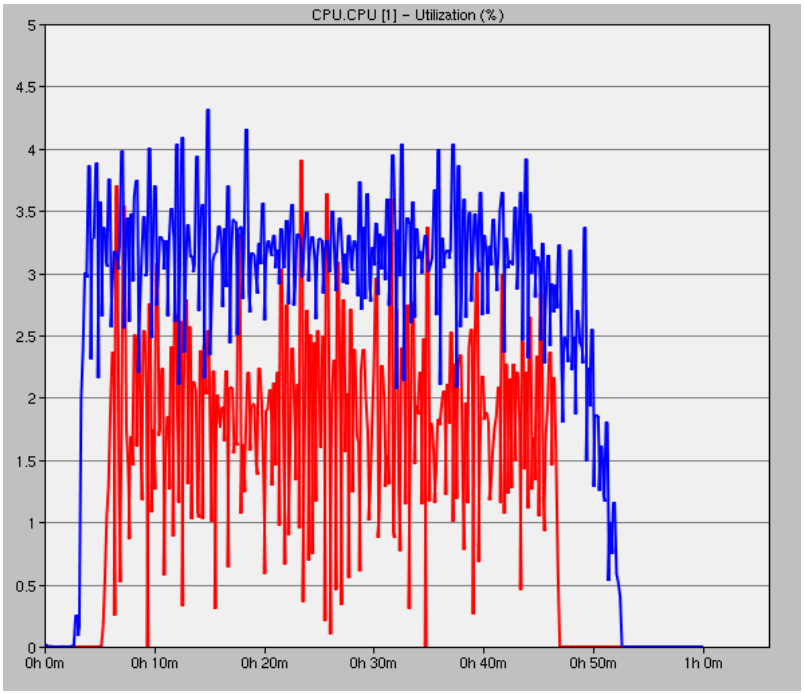

図 7.3: MAG の CPU 使用率の変化

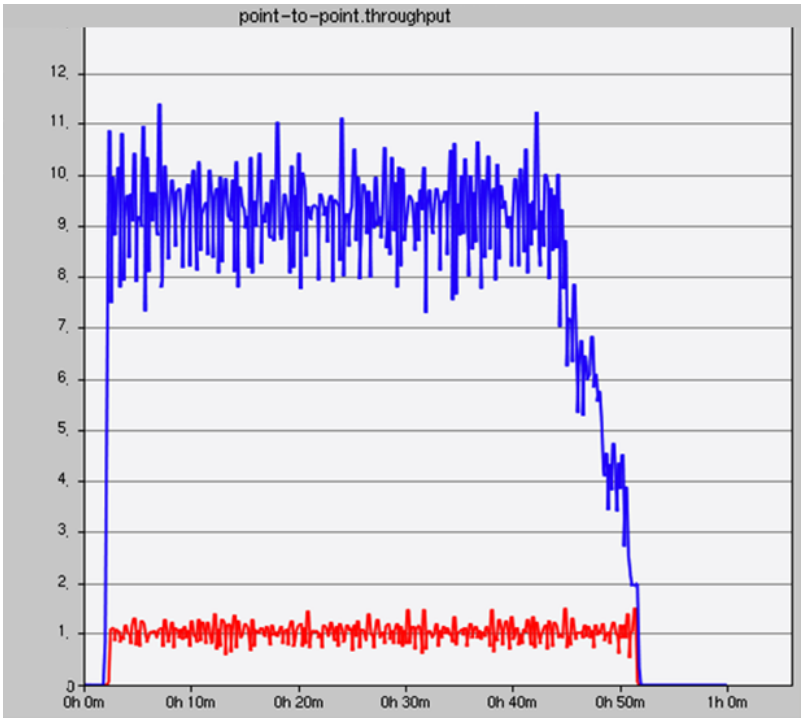

図 7.4: トラフィック量の変化

7.2 CXTP Data Pre-forwarding の有効性に関する考察

CXTP Pre-forwarding の有効性に関して述べる．本提案手法では受信者が移動しハンドオーバした場合，CXTP 拡張による Data Pre-forwarding によるシームレスハンドオーバ支援を行う．

評価実験の実施内容として，既存の CXTP によるハンドオーバ支援と今回提案した Data Pre-forwarding によるハンドオーバ支援との比較検証を実施する．着目するパラメータとして，ジッタ，遅延，パケットロスに着目し評価実験を行った．評価実験の項目として，本手法適用前後の西から東へ直線に 5km/h で移動する MN とランダムウェイポイントで移動する MN の二つのモデルのパラメータの変化を検証した．MN は計 4 台の MAG を通過するモデルとなっているため，最初に接続している MAG から移動し，3 回ハンドオーバを行う．ジッタに関しては，両モデル共に Data Pre-forwarding 適用前はハンドオーバ時にジッタが観測されたが，適用後には発生しなくなった．2 回目以降に発生するジッタの値が 1 回目より大きい値となっているのは，移動によって最初に接続していた MAG から距離が離れていくためである．複数回の検証でも同様の値が見られた．

適用前のジッタでマイナスの値が出ている部分は，前回フレームはキャリアセンスに失敗し再生機会を得るのに時間がかかったが，次のフレームはスムーズにキャリアセンスされたようなジッタの値を示している．遅延に関しては，Data Pre-forwarding 適用前はハンドオーバ時に直線移動モデルで 23msec，ランダムウェイポイントモデルで 35msec の遅延が観測されたが，Data Pre-forwarding 適用後はハンドオーバの際に大きな遅延は観測されず，約 2msec の一定の遅延に留まる事を確認した．パケットロスに関しては，Data Pre-forwarding 適用前はハンドオーバ時に直線移動モデルで約 80〜90 パケットのロス，ランダムウェイポイントモデルで約 100 パケットのロスが発生していたが，Data Pre-forwarding 適用後はパケットロスはほぼ観測されなくなった．これは，ハンドオーバ時に Data Pre-forwarding によりストリーミングのデータを MN に送り続けているためである．以下に評価結果を示す．X 軸に関してはいずれもデュレーション，Y 軸に関してはジッタ，遅延のグラフが (msec)，パケットロスのグラフが (packets/sec) である．ジッタ，遅延のグラフに関しては青線が本手法適用前，赤線が本手法適用後の結果である．パケットロスの結果に関しては上図のグラフが本手法適用前，下図が適用後の結果である．

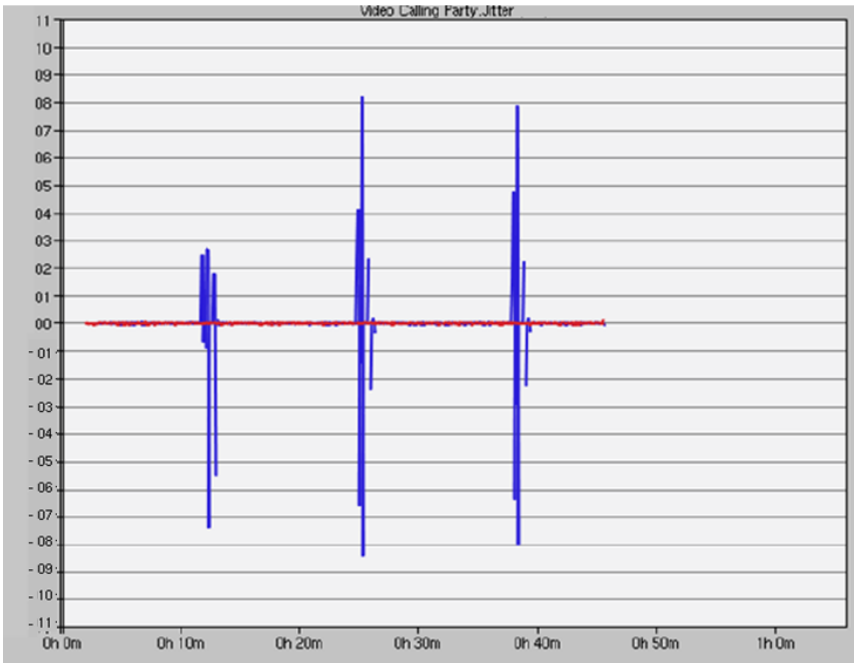

図 7.5: CXTP Data Pre-forwarding によるジッタの変化 (MN 直線移動時)

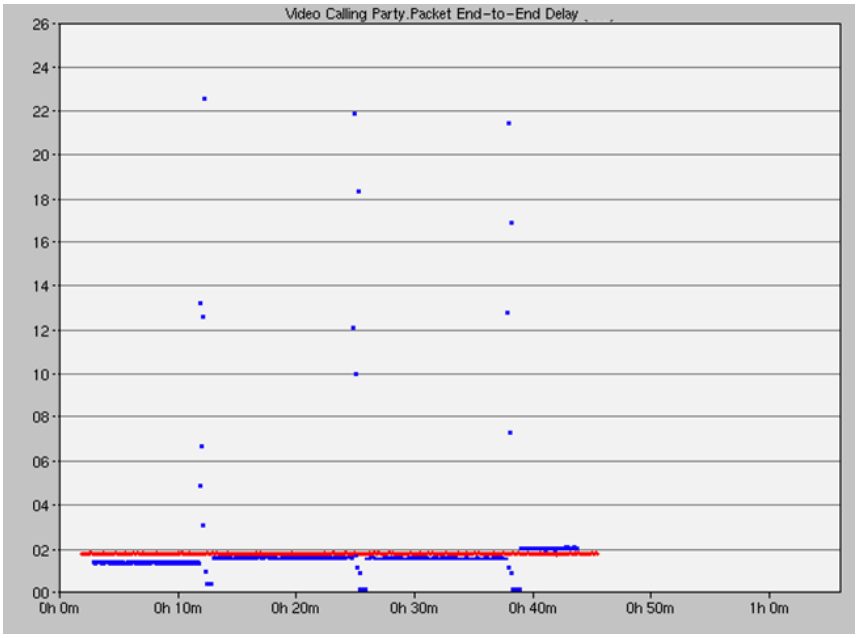

図 7.6: CXTP Data Pre-forwarding による遅延の変化 (MN 直線移動時)

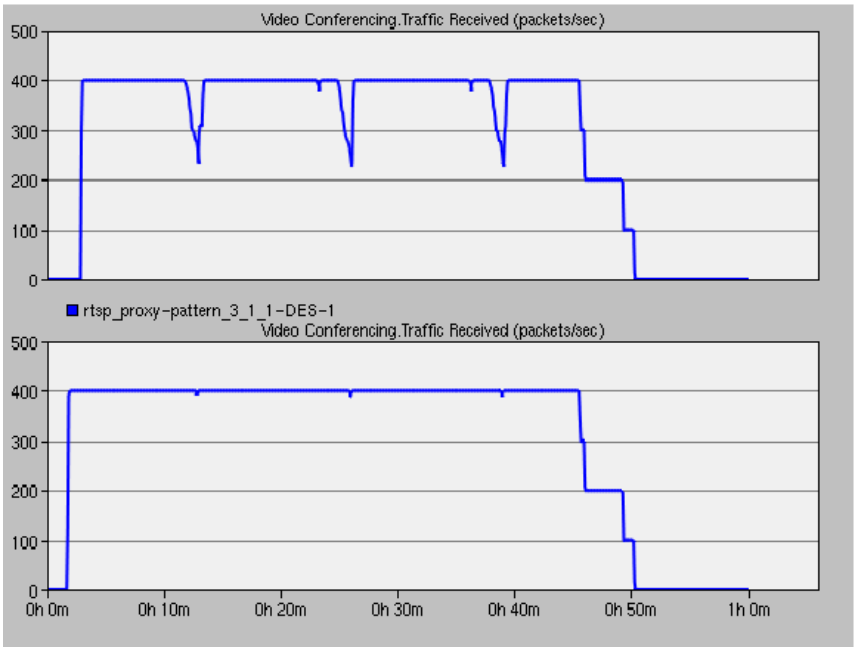

図 7.7: CXTP Data Pre-forwarding による MN 全体で発生したパケットロスの変化 (MN 直線移動時)

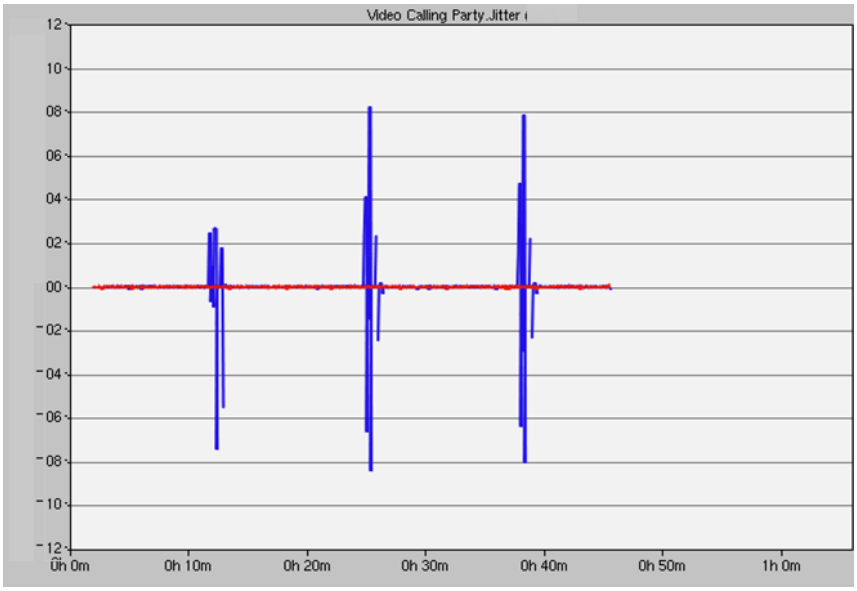

図 7.8: CXTP Data Pre-forwarding によるジッタの変化 (MN ランダムウェイポイント時)

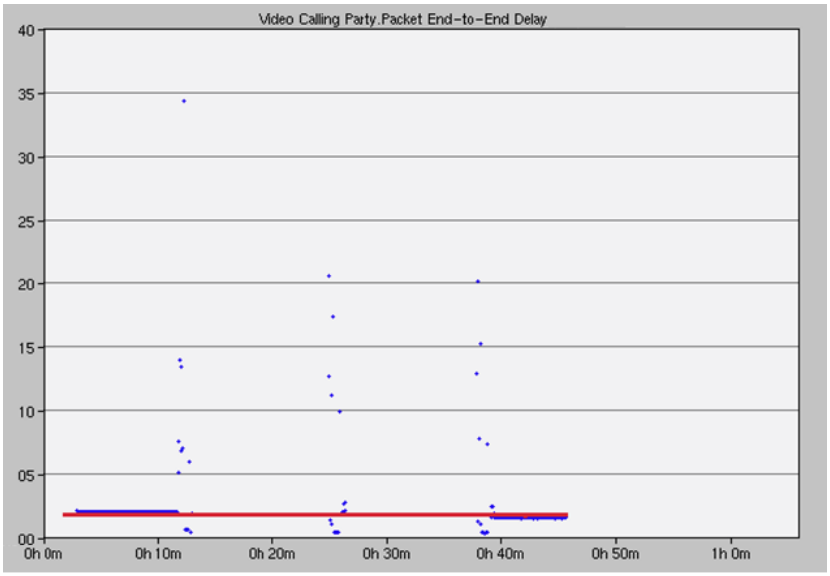

図 7.9: CXTP Data Pre-forwarding による遅延の変化 (MN ランダムウェイポイント時)

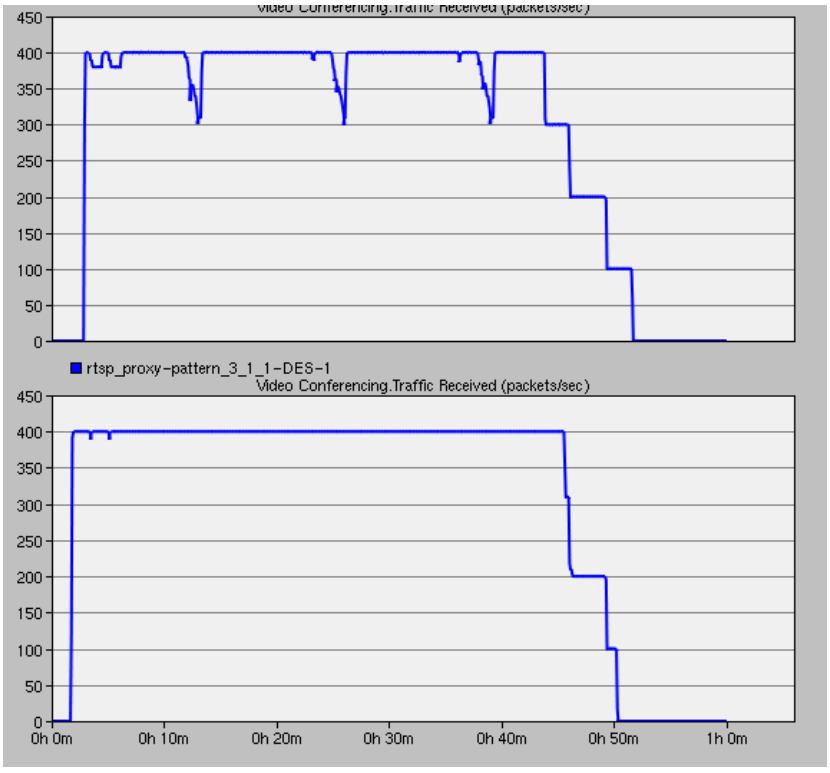

図 7.10: CXTP Data Pre-forwarding によるパケットロスの変化 (MN ランダムウェイポイント時)

7.3 評価のまとめ

本章では，本提案システムで実現した機能であるストリーミングアグリゲーションとCXTP Data Pre-forwardingについて，その有用性を検証するためにシミュレーションソフトを使用した評価を行った．LMAとMAGの負荷の検証では，LMA，及びMAGのCPU使用率は本手法の適用後は減少した．
またMAGが受けているトラフィック量に関しても本手法の適用により大幅に余分なトラフィックが削減された．
また，CXTP Data Pre-forwardingの有効性の検証結果では，Data Pre-forwarding機能がMNが直線の軌道でハンドオーバした場合また，ランダムウェイポイントでハンドオーバした場合共に，ジッタ，遅延，パケットロスを軽減させることを確認した．
ジッタに関しては，ハンドオーバ時に発生していたジッタ及び遅延がData Pre-forwarding機能が有効時には発生しなくなった．またパケットロスに関しては，Data Pre-forwarding機能により，ハンドオーバ時のパケットロスを極力抑えることが可能なことを確認した．
以上により，本提案手法がPMIPv6ネットワークにおけるLMA，MAGの負荷及び，トラフィック量を軽減し，さらにMNがハンドオーバした際もジッタ，遅延，パケットロスを抑えてシームレスなハンドオーバを実現可能なことを示した．

第8章　結論

本章では，本研究の成果をまとめ，今後の課題と展望を述べる．

8.1　まとめ

本研究では，送受信者間がLMAに依存しない経路を保ち，一つのコンテンツを多数の受信者がモバイル端末で受信した想定でもPMIPv6ドメインと中継器の負荷を軽減させ，さらにモバイル端末が移動しハンドオーバした際でもストリーミングの通信断を起こさずに継続して通信可能なアーキテクチャの実現を行った．
既存のPMIPv6のモデルにおいては，一つのIPTVのようなリアルタイムストリーミングをMAG配下にいる複数の受信者がモバイル端末で受信している環境では，おのおののモバイル端末に送信者が同じリアルタイムストリーミングを配信しなくてはならない．そのためPMIPv6ドメイン内においてencapusulationの重複を引き起こすという問題点がある．
また，現状のモデルではMAGは送信者から受けたパケットを必ずLMAを経由して受信者にフォワードしなくてはならない．そして，リアルタイムストリーミングの通信維持を継続させるためにシームレスハンドオーバの実現が必要不可欠である．
以上の課題を解決するために，ストリーミングアグリゲーション，ローカルルーティング，CXTP拡張によるData Pre-forwardingの３つの手法を提案した．
本手法の有用性を評価するために，ネットワークシミュレーションソフトウェアOPNETに本提案手法を実装し，評価実験を実施した．
評価においては，LMA，MAGの負荷とMNの受信パケット総数に関する考察においてはMAG,LMAのCPU使用率と，MAGが受けるストリームのトラフィック量の変化に関して本手法の適用により，軽減されたことを証明した．
CXTP拡張によるData Pre-forwardingの評価においては，MNが直線に移動する場合及び，ランダムウェイポイントで移動する両方のモデルにおいて，ジッタ，遅延，パケットロスの値が本手法の適用により軽減されたことを証明した．
本研究により，PMIPv6環境において受信者がリアルタイムストリーミングを受ける際，ストリーミングの応答性に影響する送受信者間の遅延，またencapsulationコストを軽減する経路最適化手法，また配信経路における中継器の負担，及びトラフィック量を軽減するストリーミング配信アーキテクチャ，そして，ハンドオーバ時にリアルタイムストリーミングのジッタ，遅延，パケットロスを軽減するハンドオーバ支援手法を実現した．よってPMIPv6を効率化するストリーミングアグリゲーション手法が実現した．

8.2 今後の課題

本研究の今後の課題に関して述べる．

本研究ではPMIPv6 環境下においてのユニキャストストリーミングを想定している．今後，本研究で提案したユニキャストストリーミングの配信技術の研究と PMIPv6 環境下でのマルチキャストの配信技術を色々なモデルの上で比較評価し，各々の配信技術の持つ優位性や特性などを明らかにする必要がある．
さらに，その応用技術としてPMIPv6 環境の品質状況に応じてマルチキャストとユニキャストの配信をダイナミックに切り替える技術などが必要になる．また，MN の移動予測 (プレディクション) などの研究も今後の課題として進めるべきである．

謝辞

本研究を進めるにあたり，主査である慶應義塾大学環境情報学部教授村井純博士に感謝致します．また，副査である慶應義塾大学環境情報学部教授中村修博士，慶應義塾大学大学院政策・メディア研究科准教授朝枝仁博士に感謝致します．

ご指導とご助言を頂きました，慶應義塾大学 SFC 研究所上席所員 小川晃通博士に感謝致します．そして，研究会にて様々なご指導とご助力を頂きました，慶應義塾大学村井研究会の教員の方々に感謝致します．

朝枝仁博士に重ねて感謝致します．博士には私が研究室に入室した当初より研究計画書，研究会の論文提出や修士の研究など様々なご指導とご助力を頂きました．小川晃通博士に重ねて感謝致します．博士には研究においてのご相談，ご指導また人生相談など色々なサポートをして頂きました．また，慶應義塾大学大学院政策・メディア研究科後期博士課程久松剛氏，松園和久氏，三島和宏氏，Achmad Basuki 氏，元前期博士課程現 KDDI(株)の峯木厳氏に感謝致します．久松剛氏に重ねて感謝いたします．氏は私の研究計画書の赤入れや日頃の研究相談などにも度々のって頂き，大変助かりました．松園和久氏に重ねて感謝いたします．氏は私の研究室での生活において，技術的な面や精神的な面までいろいろとサポートして頂きました．大変助かりました．三島和宏氏に重ねて感謝いたします．氏は研究計画書での面接のご指導や技術的な知識のご指導などして頂きました．ありがとうございました．Achmad Basuki 氏に重ねて感謝致します．氏は私の修士の研究の相談や，英語のご指導をして頂きました．ありがとうございました．峯木厳氏に重ねて感謝致します．氏は修士生活を共にしたかけがえのない友でした．ありがとうございました．また，同大学総合政策学部山中俊樹氏，同大学環境情報学部佐藤淳哉氏，小野山裕己氏, 数井翔氏と徳田・村井・楠本・中村・高汐・バンミーター・植原・三次・中澤・武田合同研究プロジェクトの皆様に感謝致します．

天国の野良猫，社長氏に感謝致します。氏はいつも辛い時私を癒して下さりました．

最後に，研究生活で，私を支え続けてくれた家族に心から感謝致します．以上を持って，謝辞と致します．

参考文献

[1] J. Kempf and Ed. *Goals for Network-Based Localized Mobility Management (NETLMM)*, April 2007. RFC 4831.

[2] S. Gundavelli, Ed., K. Leung, V. Devarapalli, K. Chowdhury, and B. Patil. *Proxy Mobile IPv6*, August 2008. RFC 5213.

[3] sophia it. *IPTV*, Oct 2010. URL: http://www.sophia-it.com/content/IPTV.

[4] V. Devarapalli, R. Wakikawa, A. Petrescu, and P. Thubert. *Network Mobility (NEMO) Basic Support Protocol*, January 2005. RFC 3963.

[5] K. Rosenbrock, R. Sanmugam, S. Bradner, and J. Klensin. *3GPP-IETF Standardization Collaboration*, June 2001. RFC 3113.

[6] J. Soininen and Ed. *Transition Scenarios for 3GPP Networks*, August 2003. RFC 3574.

[7] S. Bradner, P. Calhoun, H. Cuschieri, S. Dennett, G. Flynn, M. Lipford, and M. McPheters. *3GPP2-IETF Standardization Collaboration*, June 2001. RFC 3131.

[8] D. Johnson, C. Perkins, and J. Arkko. *Mobility Support in IPv6*, June 2004. RFC 3775.

[9] S. Thomson, T. Narten, and T. Jinmei. *IPv6 Stateless Address Autoconfiguration*, September 2007. RFC 4862.

[10] R. Droms. *Dynamic Host Configuration Protocol*, March 1997. RFC 2131.

[11] B. Aboba, M. Beadles, J. Arkko, and P. Eronen. *The Network Access Identifier*, December 2005. RFC 4282.

[12] B. Aboba and M. Beadles. *The Network Access Identifier*, January 1999. RFC 2486.

[13] O. Okamoto, M. Maruyama, and T. Sajima. *Forwarding Media Access Control (MAC) Frames over Multiple Access Protocol over Synchronous Optical Network/Synchronous Digital Hierarchy (MAPOS)*, November 2002. RFC 3422.

[14] T. Narten, E. Nordmark, and W. Simpson. *Neighbor Discovery for IP Version 6 (IPv6)*, December 1998. RFC 2461.

[15] S. Krishnan P. Loureiro Q. Wu A. Dutta. *"Localized Routing for Proxy Mobile IPv6 draft-ietf-netext-pmip-lr-00"*, September 2010.

[16] M. Liebsch,S. Jeong,Q. Wu. *"PMIPv6 Localized Routing Problem Statement draft-ietf-netext-pmip6-lr-ps-03"*, July 2010.

[17] Jong-Hyouk Lee, Sri Gundavelli, and Tai-Myoung Chung. "A performance analysis on Route Optimization for Proxy Mobile IPv6". *IEEE ICC* , 2009.

[18] Young-Hyum Choi and Tai-Myoung Chung. "Enhanced Light Weight Route Optimization in Proxy Mobile IPv6". *IEEE INC* , 2009.

[19] Tsunehiko Chiba,Hidetoshi Yokota,Ashutosh Dutta,Dana Chee,Henning Schulzrinne. "Route Optimization for Proxy Mobile IPv6 in IMS Network". *IEEE ICSPCS* , 2008.

[20] Sang-seok Oh; Hyon-Young Choi; Sung-Gi Min. "A Route Optimization Scheme Based on Roaming in PMIPv6(pROR)". *IEEE NCM* , 2009.

[21] Sangjin Jeong; Myung-Ki Shin; Hyoung-Jun Kim. "Implementation of route optimization mechanism supporting IPv4/IPv6 traversal in Proxy Mobile IPv6". *IEEE ICACT* , 2009.

[22] Seung-Hee Lee; Jae Gwan Kim; Min-Ho Kang. "Route optimization for proxy mobile IPv6 using local customer internetworking in PONs". *IEEE COIN* , 2008.

[23] H. Asaeda, P. Seite, J. Xia. "PMIPv6 Extensions for Multicast". *,IETF Internet-Draft (work in progress),draft-asaeda-multimob-pmip6-extension-04* , Sep,2010.

[24] Jianfeng Guan, Huachun Zhou, Hongke Zhang, Hongbin Luo. Multicast Extension Support for Proxy MIPv6. *IEEE CCNC* , 2010.

[25] J. Loughney, Ed., M. Nakhjiri, C. Perkins, and R. Koodli. *Context Transfer Protocol (CXTP)*, July 2005. RFC 4067.

[26] Inc OPNET Technologies. *OPNET*, Oct 2010. URL: http://www.opnet.com/index.html.

[27] H. Schulzrinne, A. Rao, and R. Lanphier. *Real Time Streaming Protocol (RTSP)*, April 1998. RFC 2326.