

Proxy Mobile IPv6 を用いたリアルタイムストリーミングアグリゲーション手法

内田 陽豪* 久松 剛* 朝枝 仁* 村井 純†

慶應義塾大学大学院 政策・メディア研究科*
慶應義塾大学 環境情報学部†

概要: 近年における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してきた. 更に, 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 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同一の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 環境下では, LMA に集中的な高負荷がかかるだけでなく, LMA と MAG 間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 PMIPv6 環境下において, 送受信者間の通信経路が LMA を通る制約を必要に応じて回避する Direct Routing, 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代理受信を行う手法, そして Context Transfer Protocol (CXTF) 拡張によるシームレスハンドオーバー手法を提案し, 提案手法の評価を行った. 本研究により, PMIPv6 環境下におけるリアルタイムストリーミング配信の通信品質問題を解決し, PMIPv6 を効率化するリアルタイムストリーミングアグリゲーション手法が実現した.

キーワード: PMIPv6, リアルタイムストリーミング, トラヒックアグリゲーション, コンテキスト・トランスファ

Real-Time Streaming Aggregation for Proxy Mobile IPv6

Yogo Uchida* Tsuyoshi Hisamatsu* Hitoshi Asaeda* Jun Murai†

Graduate School of Media and Governance, Keio University *
Faculty of Environment and Information Studies, Keio University †

Abstract: 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 has been increasing. In addition, the IETF standards body has provided the specification of Proxy Mobile IPv6 (PMIPv6) by which regular mobile nodes create seamless mobile communications without modification. On the other hand, the current PMIPv6 specification requires establishing routing paths through 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 MAG, and then streaming quality degradation at each mobile node. In this paper, we propose the method to create paths that do not depend on LMA and make MAG proxy receiving real-time streaming contents and forwarding them to mobile nodes. Our proposal includes the extension of Context Transfer Protocol for seamless handover. We evaluate the proposed method by simulation and show that high quality real-time streaming is provided for mobile nodes in a PMIPv6 domain.

Keyword: PMIPv6, Real-time streaming, Traffic aggregation, Context transfer

1. はじめに

近年インターネットの普及と無線モバイル技術の進歩により, スマートフォン, タブレット PC などのモバイル端末からのインターネット接続が一般的となった. それに伴い, TV 会議システムや IPTV などのリアルタイム性の高いコンテンツも普及し始めた. 今後, 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.

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では, 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ため, 移動前に確立していたセッションは IP アドレス変更の度に切断されてしまう. 例えば, 携帯端末を用いてリアルタイムストリーミングの受信を行いながら街の中を移動する

ユーザを想定した場合、ユーザの移動によってアクセスポイントが切り替わると、その都度 IP アドレスが変わってしまい、通信断が起きてしまう。

この問題を解決するために様々なモビリティ支援プロトコルが提案されてきた。代表的なプロトコルである Mobile IPv6 [1] に関しては、移動透過性をサポートするプロトコルとして多くの研究がされてきた。しかし、Mobile IPv6 ではモバイル端末側にソフトウェアの改修が必要となること、その普及の障壁になっている。またランダムに動き回る人間（端末）の移動をあらかじめ予測することは非常に困難であるため、特に移動通信環境におけるリアルタイムストリーミングのようなインタラクティブ性の高いアプリケーションの利用に対し、パケットロスや遅延が通信品質劣化を引き起こしてしまう。

以上より、普及が容易なモビリティ支援プロトコルにおいて、リアルタイムストリーミングのようなアプリケーションにも対応できる、移動透過性を実現する技術が求められる。

2. 既存技術

2.1 Proxy Mobile IPv6

標準化団体である IETF の Network Local Mobility Management (NETLMM) ワーキンググループ [2] はモビリティ支援の新しいプロトコルとして Proxy Mobile IPv6 (PMIPv6) [3] 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サポートするプロトコルである。本章では、PMIPv6 を構成する主な制御機構について説明する。PMIPv6 では主な制御機構として、Local Mobility Anchor (LMA), Mobile Access Gateway (MAG) を用いる。LMA と MAG、そしてモバイル端末 (MN) を収容するネットワークを Proxy Mobile IPv6 ドメイン (PMIPv6 ドメイン) と呼ぶ。

Mobile IPv6 や NEMO [4] のようなモバイル端末とホームエージェントが直接ネゴシーションを行うアプローチと異なり、ネットワーク側の機構が移動に関するネゴシーションを行う PMIPv6 はモバイル端末に IP mobility に関するソフトウェアの修正を要求しない。そのため、既存システムに新たな仕様が必要になった場合や、プロトコルに新規機構の追加や変更が生じた場合においても、モバイル端末に変更を加える必要がない。つまり、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、端末側に求められる実装コストを考慮しなくて良いという利点がある。

2.1.1 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 プリフィックスがバインドされる。LMA は PMIPv6 ドメインのアンカーポイントに位置する。

2.1.2 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、モバイル端末に代わって、LMA との移動に関するネゴシーションを行い、LMA に移動先の情報を通知する。

2.1.3 Home Network Prefix (HNP)

Home Network Prefix (HNP) は、モバイル端末ごとに固有に割り当てられる IPv6 プリフィックスである。HNP は MAG とモバイル端末間のリンクに実際に割り当てられる。モバイル端末が接続している MAG は IPv6 Neighbor Discovery Protocol (NDP) のルータ広告 (Router Advertisement (RA)) を使い、モバイル端末に 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 [5] をすることで、モバイル端末は HNP を取得可能となる。また PMIPv6 はアドレスの自動生成機能だけでなく、DHCP [6] などのアドレス取得もサポートしている。

2.1.4 Mobile Node Identifier (MN ID)

PMIPv6 環境において、モバイル端末は Mobile Node Identifier (MN ID) によって LMA に管理される。MN ID は PMIPv6 ドメイン内において、各々のモバイル端末に割り当てられるユニークな識別子である。

具体的なモバイル端末識別子の候補として、RFC4282 (The Network Access Identifier) [7] で定義されている、ネットワークアドレス識別子 (NAI: Network Access Identifier) [8] や、リンク層アドレス (MAC: Media Access Control) [9] などが利用可能である。PMIPv6 ドメインにおいて、モバイル端末は HNP が LMA のルータ広告によって割り当てられ、ホームアドレスは端末側で自動生成する。そのため、ホームアドレスに代わる識別子としてこの MN ID が利用される。

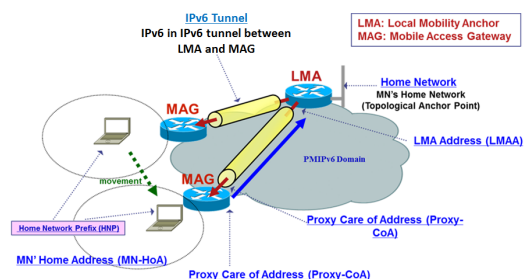


図 1: PMIPv6 概念図

3. Proxy Mobile IPv6 の課題

3.1 ストリーミング配信モデル

IPTV のような同一の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、各々のモバイル端末に送信者が同じコンテ

コンテンツを配信しなくてはならない。これは、PMIPv6 ドメイン内において、LMA と MAG で受信者数分の IPv6 トンネルを張るため、encapsulation コストが高くなり、トラフィック過多や送受信者間の中継器の負荷を引き起こす。現在の PMIPv6 の通信モデルでは、PMIPv6 ドメインにいる各々のモバイル端末がユニークな IPv6 プリフィクスを LMA から割り当てられ、その個別の IPv6 プリフィ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。これは、同一コンテンツを同時に配信する環境においては効率的とは言えず、このため、これらの無駄を排除し、効率的に受信者にリアルタイムストリーミングを配信するための機構が必要となる。

3.2 Local Routing

PMIPv6 では、局所的な経路最適化手法として、Local Routing [10][11] が定義されている。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転送する。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、Local Routing 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。これは時として非常に無駄なトラフィックを発生させることがあり、通信品質の劣化を引き起こす可能性がある。

3.3 CXTP によるコンテキスト・トランスファ

現状の PMIPv6 におけるハンドオーバーではユーザが通信しながら移動する際に、MAG 間で Context Transfer Protocol (CXTP) [12] を使ったコンテキスト・トランスファが可能である。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、適切な仕組みを検討する必要がある。また、PMIPv6 既存のハンドオーバーと CXTP を用いたハンドオーバーの比較検証 (シミュレーション) を行った結果、ジッタ、遅延に関しては CXTP を用いたハンドオーバー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。このため、本論文では、CXTP を拡張し、よりシームレスなハンドオーバーを提案する。

4. 提案手法

本研究では PMIPv6 で構成されるネットワークにおいて、PMIPv6 を効率化するリアルタイムストリーミングアグリゲーション手法を提案する。本提案手法は大きく 1) Direct Routing の実現、2) MAG の代理受信によるストリーミングアグリゲーション、3) CXTP [12] 拡張による Data Pre-Forwarding、に分類される。以下ではこの3つの機能の詳細について述べる。

4.1 Direct Routing の実現

LMA に依存しない経路制御、つまり Direct Routing を実現するため、MAG に MAG External Address (MEA) という IPv6 アドレスを MAG の物理インターフェースに新たに割り当て、LMA にバインドしないアドレスとして経路広報する。この Direct 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り、送信者から受信者までの最短

経路を利用することも可能となる (MEA を用いた Direct Routing を行うか否かの判断は 5.1 章の手順参照)。概念図を図 2 に示す。

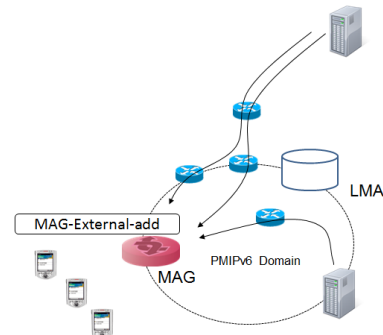


図 2: Direct Routing 概念図

4.2 MAG の代理受信によるストリーミングアグリゲーション

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 自らが持つ Proxy-CoA, あるいは MEA を用いて代理受信し、同一ストリーミングデータをアグリゲーションして、配下の受信者に転送する。これにより多数のユーザが同じライブストリーミングなどを受信している環境において、送信者から MAG までのデータは一本のストリーミング受信だけで済み、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 (MEA を用いた場合は encapsulation コストはゼロ) を実現する。

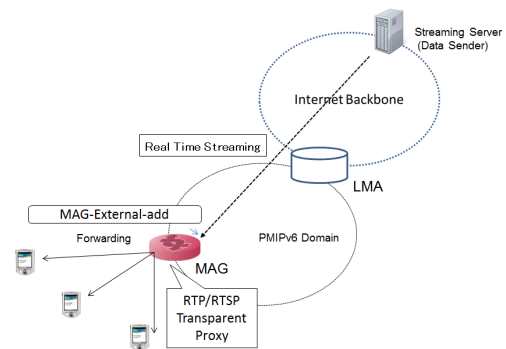


図 3: MAG による MEA 経由のストリーミングアグリゲーション

4.3 CXTP Data Pre-Forwarding

ここでは CXTP Data Pre-Forwarding について述べる。通常の CXTP [12] では、モバイル端末 (MN) が p-MAG から n-MAG にハンドオーバーする際、p-MAG はコンテキスト情報 (MN ID とコンテンツ情報) を n-MAG に送り、コンテキスト・トランスファを実現する。しかし、この CXTP の機能はコンテキスト情報しか転送しないため、ハンドオーバータイミングでのストリーミングデータに対するロスが生じてしまい、結果として MN に対するストリーミ

ング品質維持が出来ない。本提案手法では、標準の CXTP を拡張し、図 4 で示すように、代理受信ストリーミングを受信している MN がハンドオーバーした場合、n-MAG は p-MAG に対して CXTP-Request メッセージを出し、メッセージを受けた p-MAG はコンテキスト情報に加えて、実際のストリーミングデータも事前転送 (Pre-forwarding) する。この Data Pre-Forwarding は MN が n-MAG にハンドオーバーし、送信者の間の接続が確立されるまで行われ、確立された後、または既に n-MAG が同一データを受信している場合は、n-MAG は p-MAG に対して Pre-Forwarding の停止メッセージを出し、n-MAG 自らがストリーミングデータを受信する。

本提案手法により、シームレスハンドオーバーを実現しながら、リアルタイムストリーミングの通信品質維持を可能にする。

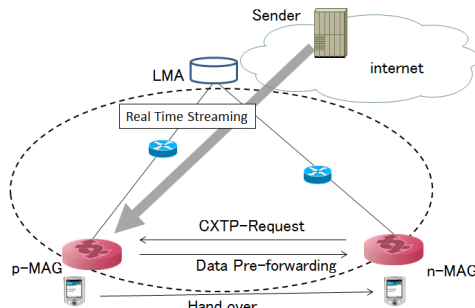


図 4: CXTP 拡張による Handover 支援機構の概念図

5. 設計と実装

5.1 動作概要

図 5 に全体の動作シーケンスを示す。MN は p-MAG に接続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 Proxy Binding Update (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 Proxy Binding Acknowledgement (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 IPv6 プリフィクスを得る。ここまでの動作は RFC5213 [3] に準拠する。ユニークな IPv6 プリフィクスを MN が得た後、p-MAG はコンテンツ情報識別機構である Policy Store に Query を出す。これを受けた Policy Store はコンテンツ情報と MN のプリフィクス情報の照合を行い、各々のコンテンツに応じ、1) MAG がストリーミングアグリゲーションを行って代理受信をするか否か、2) MAG が代理受信を行う際、自らの MEA を用いた Direct Routing を許可するか否かを判断する[‡]。

代理受信を行う p-MAG は、Real Time Streaming Protocol (RTSP) [13] を用いて、送信者と接続の確立を行う。これにより MAG は送信者に p-MAG の代理受信アドレス (Proxy-CoA あるいは MEA) を通知する。送信

[‡]Policy Store は RFC5213 にて定義されているコンテンツ情報や受信者情報を管理しているデータベースであるが、本提案手法では、これらの判断を行うための拡張が含まれていることとする。

者は MAG との接続確立後はストリーミングデータを代理受信アドレス宛てに配信する。仮にストリーミング受信している MN が移動し、p-MAG から n-MAG に対してハンドオーバーする場合、n-MAG は CXTP の要求メッセージを p-MAG に対して送出し、そのメッセージを受けた p-MAG は CXTP による Data Pre-Forwarding 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 に対して転送する。

以下では、MAG の代理受信アドレスには MEA を用いる場合を例として説明する。

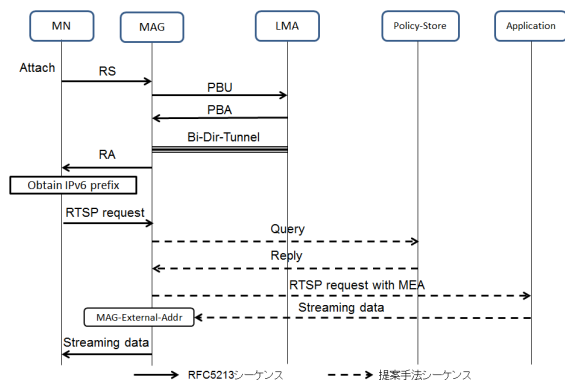


図 5: MEA を用いたストリーミング代理受信動作シーケンス

5.1.1 ストリーミングアグリゲーションモジュール

送信者から配信される複数のストリーミングを一本のデータストリームに集約し MAG が中継して、配下の MN にそれぞれ転送する機能を「ストリーミングアグリゲーションモジュール」として MAG 上に実装する。このモジュールと連携する MEA を静的に割り当て、経路広告し、MEA を用いた受信要求をすることにより、送信者から送られるストリーミングを MEA 経由でアグリゲーション可能にする。ストリーミングを受信した MAG は、同一コンテンツの受信要求をした配下の MN 群に転送する。

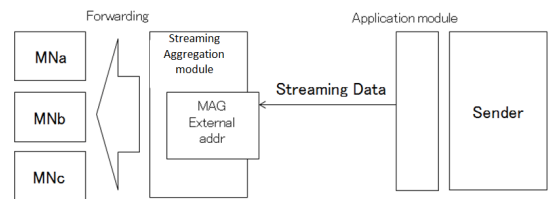


図 6: ストリーミングアグリゲーションモジュール実装イメージ

5.1.2 CXTP Data Pre-Forwarding モジュール

「CXTP Data Pre-Forwarding モジュール」は、ストリーミングを受けている MN がアクセスしている p-MAG からハンドオーバーして n-MAG に移動した場合、この MN に対して通信断のないストリーミングを提供する。本モジュールは標準の CXTP モジュール [12] の拡張機能として実装する。本機能はアグリゲーション中の MN がハンドオーバーした場合の通信の接続維持を支援するものである。

CXTP Data Pre-Forwarding モジュールのシーケンス (図7) を説明する。送信者からストリーミング配信を受けている MN が接続していた p-MAG から離脱すると、p-MAG は MN のハンドオーバーを検出する。MN が n-MAG に接続すると、MN は n-MAG に対してアドレス要求メッセージ (RS) を送出する。それを受けた n-MAG は p-MAG に対して Context Transfer Request (CXTP-Req) を出す。CXTP-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 CXTP 拡張により n-MAG に転送し、n-MAG が送信者とのコネクションを確立するまで、送信者から送られてきたストリーミングデータを n-MAG に対して事前転送 (Pre-Forwarding) する。これによりハンドオーバー処理の間に送られてきたデータは MN が移動しても p-MAG 経由で受信できる。n-MAG はハンドオーバー処理と同時に送信者に対して RTSP を用いたコネクション確立を行い、確立された後は n-MAG の MEA でストリーミングデータを受信し、n-MAG は p-MAG に対して Pre-Forwarding の停止 (Stop) メッセージを出して事前転送を中断する。

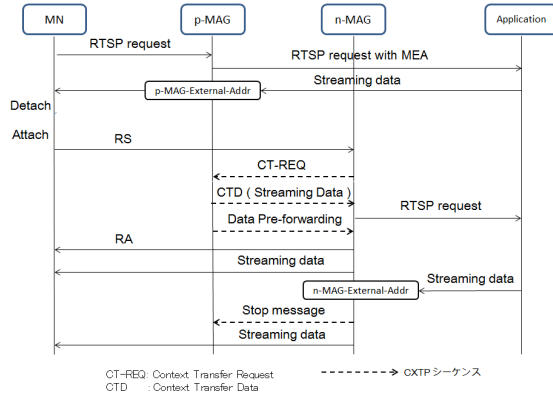


図 7: CXTP Data Pre-Forwarding 動作シーケンス

6. 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 [14] 上でシミュレーション実験を実施した。検証環境は表 1 の通りである。

シミュレーション環境は、MAG 配下の MN 数は計 40 台で、全ての MN が同一のリアルタイムストリーミング (1Mbps UDP ストリーム) を受信している状態を構築した。シミュレーション時間は一時間とした。MN の移動に関しては、1 台の MN が、時速 5km/h で東の方角に直線を描いて移動するパターンと、疑似的にランダムウェイポ

イントで移動するパターン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 8 の通りである。

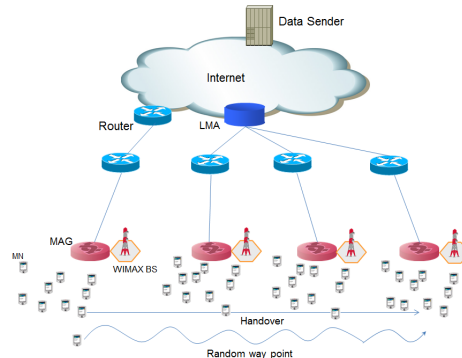


図 8: 評価シミュレーショントポロジー

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 1: シミュレーション環境

6.1 LMA および 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 と 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 と MAG の負荷を示す 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。

図 9, 10 にあるように、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 コストが削減されたためである。本手法適用後に CPU 使用率のゆらぎが大きくなった理由は、MAG がストリーミングを受けてから配下の MN にそれぞれストリーミングをユニキャストで転送するため若干パケットの滞留が起きたためと思われる。

図 11 が示すように、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。

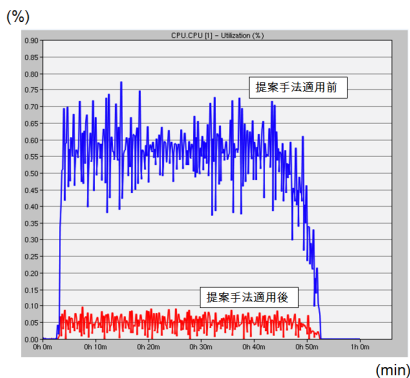


図 9: LMA の CPU 使用率の変化

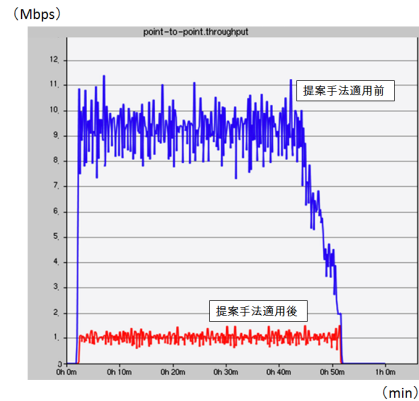


図 11: トラフィック量の変化

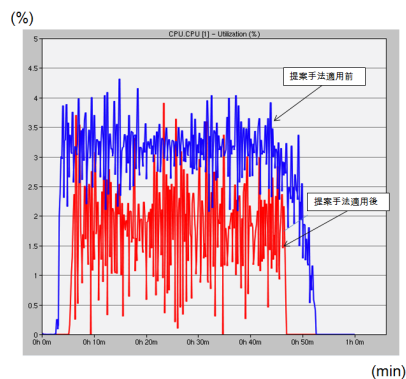


図 10: MAG の CPU 使用率の変化

6.2 CXTP Data Pre-Forwarding の有効性に関する考察

CXTP Data 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ーした場合、CXTP 拡張による Data Pre-Forwarding によるシームレスハンドオーバー支援を行う。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ー支援と今回提案した Data Pre-Forwarding によるハンドオーバー支援との比較検証を実施する。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。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 回ハンドオーバーを行う。

まずジッタに関して考察する。図 12, 15 に示すように、Data Pre-Forwarding 適用前はハンドオーバー時にジッタが観測されたが、適用後にはほとんど発生しなくなった。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場合のジッタの値を示している。

遅延 (図 13, 16) に関しては、Data Pre-Forwarding 適用前はハンドオーバー時に直線移動モデルで最高 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ーの際に

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 (図 14, 17) に関しては、Data Pre-Forwarding 適用前はハンドオーバー時に直線移動モデルで 1 秒あたり約 100 パケットのロス、ランダムウェイポイントモデルで約 150 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約 10 パケットロス程度に削減された。これは、ハンドオーバー時に 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。

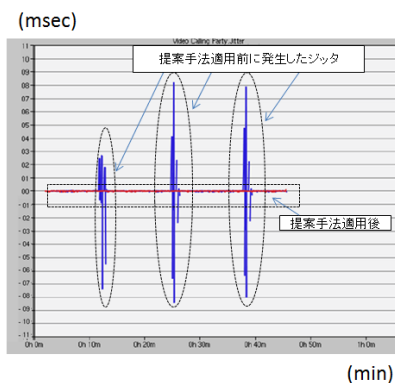


図 12: CXTP Data Pre-Forwarding によるジッタの変化 (MN 直線移動時)

7. 関連研究

現在、IETF の Network-Based Mobility Extensions (NetExt) では Local Routing 関連の提案がされており [10][11], また様々な Direct Routing 関連の論文、及び PMIPv6 関連の論文が投稿されている [15][16][17][18][19][20]。しかし、これらの先行研究では本研究のような具体的なサービス、特に通信品質が左右されやすいストリーミングアプリケーションを想定した PMIPv6 に関する検討はなされていない。さらに、Direct

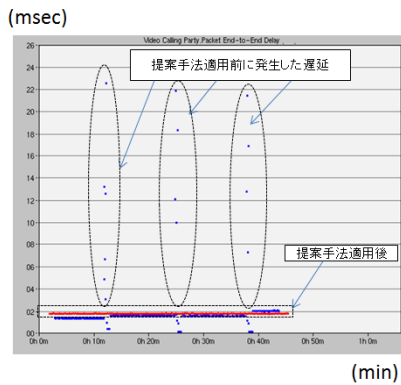


図 13: CXTP Data Pre-Forwarding による遅延の変化 (MN 直線移動時)

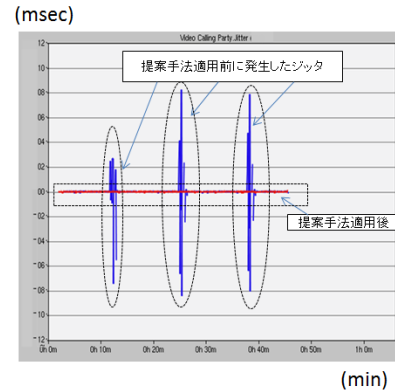


図 15: CXTP Data Pre-Forwarding によるジッタの変化 (MN ランダムウェイポイント時)

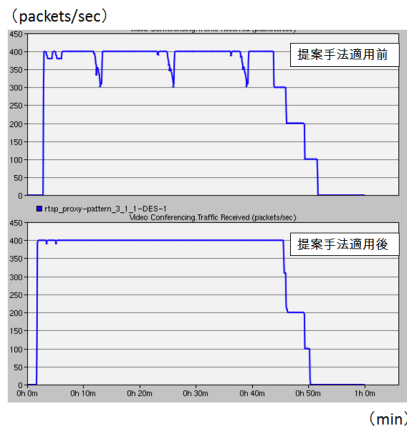


図 14: CXTP Data Pre-Forwarding による MN 全体で発生したパケットロスの変化 (MN 直線移動時)

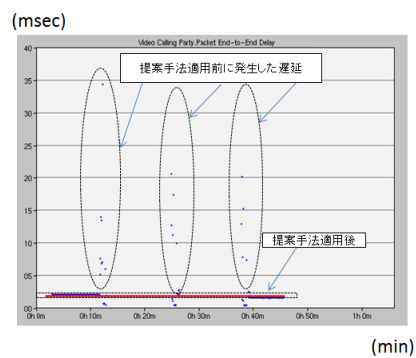


図 16: CXTP Data Pre-Forwarding による遅延の変化 (MN ランダムウェイポイント時)

Routing を適用した場合、アプリケーションに対してどのような影響を受けるかについての定量的評価については言及されていない。本研究が実現した、Direct Routing に代理受信機能などを追加する PMIPv6 のプロトコル拡張が、アプリケーションの品質に対してどのような影響を与えるかを検討することで、将来に向けた現実的なサービス展開が望める。

また PMIPv6 を拡張したファーストハンドオーバー機能 [21] などにより、ハンドオーバーの高速化は可能と考えられるが、このような拡張だけでは、特にアプリケーションレベルの品質を考慮した場合、シームレスなコンテンツ受信の継続は不可能である。本研究の提案手法では、ハンドオーバー完了前にコンテキスト・トランスファ及びストリーミング代理受信とデータ事前転送を行うため、ストリーミング受信品質の向上に有効である。

8. まとめ

本研究では、同一リアルタイムストリーミングコンテンツを PMIPv6 ドメイン内の多数のモバイル端末が受信した

際に、LMA と MAG の負荷や LMA-MAG 間のトラヒック量を軽減させ、さらにモバイル端末が移動しハンドオーバーした際でもストリーミングの通信断を起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。

本手法の有用性を評価するために、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。その結果、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 が受けているトラヒック量についても本手法の適用により大幅にトラヒックが軽減された。

CXTP Data Pre-Forwarding の有効性の検証結果では、MN が MAG の配下を直線の軌道でハンドオーバーした場合と疑似ランダムウェイポイントでハンドオーバーした場合共に、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、ハンドオーバー時に発生していたジッタ及び遅延が、Data Pre-Forwarding 機能の有効時にはそれぞれ約 1msec、約 2msec 程度に軽減された。またパケットロスに関しては、Data Pre-Forwarding 機能により、ハンドオーバー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。

本研究により PMIPv6 を効率化するリアルタイムスト

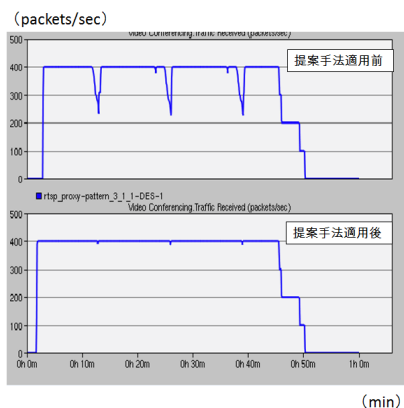


図 17: CXTP Data Pre-Forwarding によるパケットロスの変化 (MN ランダムウェイポイント時)

リーミングアグリゲーション手法が実現した。

参考文献

- [1] D. Johnson, C. Perkins, and J. Arkko. *Mobility Support in IPv6*, June 2004. RFC 3775.
- [2] J. Kempf and Ed. *Goals for Network-Based Localized Mobility Management (NETLMM)*, April 2007. RFC 4831.
- [3] S. Gundavelli, Ed., K. Leung, V. Devarapalli, K. Chowdhury, and B. Patil. *Proxy Mobile IPv6*, August 2008. RFC 5213.
- [4] V. Devarapalli, R. Wakikawa, A. Petrescu, and P. Thubert. *Network Mobility (NEMO) Basic Support Protocol*, January 2005. RFC 3963.
- [5] S. Thomson, T. Narten, and T. Jinmei. *IPv6 Stateless Address Autoconfiguration*, September 2007. RFC 4862.
- [6] R. Droms. *Dynamic Host Configuration Protocol*, March 1997. RFC 2131.
- [7] B. Aboba, M. Beadles, J. Arkko, and P. Eronen. *The Network Access Identifier*, December 2005. RFC 4282.
- [8] B. Aboba and M. Beadles. *The Network Access Identifier*, January 1999. RFC 2486.
- [9] 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.
- [10] S. Krishnan P. Loureiro Q. Wu A. Dutta. “*Localized Routing for Proxy Mobile IPv6 draft-ietf-netext-pmip-lr-04*”, 2011.
- [11] M. Liebsch, S. Jeong, Q. Wu. *M. Liebsch, S. Jeong, Q. Wu, “PMIPv6 Localized Routing Problem Statement”, June 2011, RFC6279*, July 2010.
- [12] J. Loughney, Ed., M. Nakhjiri, C. Perkins, and R. Koodli. *Context Transfer Protocol (CXTP)*, July 2005. RFC 4067.
- [13] H. Schulzrinne, A. Rao, and R. Lanphier. *Real Time Streaming Protocol (RTSP)*, April 1998. RFC 2326.
- [14] Inc OPNET Technologies. *OPNET*, Oct 2010. URL: <http://www.opnet.com/index.html>.
- [15] Jong-Hyouk Lee, Sri Gundavelli, and Tai-Myoung Chung. *Jong-Hyouk Lee, Sri Gundavelli, and Tai-Myoung Chung, “A performance analysis on Route Optimization for Proxy Mobile IPv6” IEEE ICC, 2009.*
- [16] Young-Hyum Choi and Tai-Myoung Chung. *Young-Hyum Choi and Tai-Myoung Chung, “Enhanced Light Weight Route Optimization in Proxy Mobile IPv6”, IEEE INC, 2009.*
- [17] Sang-seok Oh; Hyon-Young Choi; Sung-Gi Min. *Sang-seok Oh; Hyon-Young Choi; Sung-Gi Min, “A Route Optimization Scheme Based on Roaming in PMIPv6(pROR)”, IEEE NCM, 2009.*
- [18] Sangjin Jeong; Myung-Ki Shin; Hyoung-Jun Kim. *Sangjin Jeong; Myung-Ki Shin; Hyoung-Jun Kim, “Implementation of route optimization mechanism supporting IPv4/IPv6 traversal in Proxy Mobile IPv6”, IEEE ICACT, 2009.*
- [19] Seung-Hee Lee; Jae Gwan Kim; Min-Ho Kang. *Seung-Hee Lee; Jae Gwan Kim; Min-Ho Kang, “Route optimization for proxy mobile IPv6 using local customer internetworking in PONs”, IEEE COIN, 2008.*
- [20] Soonghwan Ro; Nguyen Van Hanh. *Soonghwan Ro; Nguyen Van Hanh, “Global Mobility Support in Proxy Mobile IPv6 for Mobility-Unaware Hosts”, IEEE CCNC, 2009.*
- [21] H.Yokota, K.Chowdhury, R.Koodli, B.Patil, and F.Xia. *Fast Handovers for Proxy Mobile IPv6*, September 2010. RFC 5949.