

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 5 月 13 日現在

機関番号：25403

研究種目：基盤研究(B)

研究期間：2012～2014

課題番号：24300027

研究課題名(和文) IPモビリティにおけるポリシーベースマルチキャストハンドオーバーに関する研究

研究課題名(英文) A study on policy-based multicast handover for IP mobility

## 研究代表者

前田 香織 (Maeda, Kaori)

広島市立大学・情報科学研究科・教授

研究者番号：00264953

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 13,000,000円

研究成果の概要(和文)：移動端末が複数のIPネットワークを渡り歩いても途絶なく通信が継続できるIPモビリティにおいて、移動端末の通信状態や利用者の要望を反映しつつハンドオーバーすることは重要である。本研究では移動端末がユニキャストだけでなくマルチキャスト通信をしている場合でも、利用者やアプリケーションの要求を反映するポリシー制御を用いた新たなハンドオーバー技術を開発した。この技術を組み込んだストリーム伝送のプロトタイプシステムを実装し、評価した。

研究成果の概要(英文)：Smooth handover across networks without communication interruption is important considering communication status of a mobile node and various requirements of users in mobile communications. In this study, we have developed a policy based handover technique not only in unicast communications but also in multicast communications considering requirements of users and applications. We have developed a streaming platform including the proposed multicast handover mechanism and show its efficiency by some evaluations.

研究分野：情報工学

キーワード：モバイル通信 マルチキャスト ストリーム配信品質

### 1. 研究開始当初の背景

移動端末が複数の IP ネットワークを渡り歩いて途絶なく通信が継続できるための移動透過通信アーキテクチャの研究や標準化が進んでいた。研究代表者らも独自に移動透過通信アーキテクチャ MAT(Mobility Architecture Technology [1])を開発している。移動端末がネットワークの移動時にどのタイミングでどのネットワークに切り替えるか(ハンドオーバーするか)の決定には、移動端末の通信状態、利用者やアプリケーションの要求など様々な要因があり、これらを考慮したハンドオーバー制御が必要である。

一方、無線網の広帯域化や小型携帯端末の高性能化により、無線網において移動しながらストリーム伝送やテレビ会議などのマルチメディアアプリケーションが使用されるようになってきている。これらのアプリケーションには緊急地震速報の配信など送信端末から特定の複数受信端末に向けて同じデータを送信する IP マルチキャスト(以下、「マルチキャスト」と記す。)伝送を用いているものも多々あることを考えると、IP モビリティにおいてマルチキャストハンドオーバーも実現しなければならない重要な技術である。標準化会議 IETF においては MIP[2]の双方向トンネルモード(MIP-BT)や最適経路を登録するモード(MIP-RS)などの提案があり、研究代表者らも MAT によるマルチキャストハンドオーバーの機構を設計、プロトタイプシステムの実装を行っている[3]。

しかし、これらはいずれもハンドオーバーすることが決定したときにハンドオーバー時のマルチキャストパケットの受信の仕方やマルチキャストツリーの再構成方法を議論するもので、マルチキャスト通信においてどのタイミングで、何を要因にハンドオーバーをすればよいかには言及していない。

### 2. 研究の目的

本研究では移動端末がユニキャスト通信だけでなく、マルチキャスト通信をしている場合でも、移動端末の利用者やアプリケーションの要求を反映することができるポリシー制御を用いた新たなハンドオーバー技術を開発し、プロトタイプシステムの実装と性能評価を目的とする。マルチキャスト通信のハンドオーバーにポリシーベース制御機能を組み込むことにより、マルチキャストに最適な経路選択、端末の置かれた環境に応じてマルチキャストとユニキャストを使い分けるなど、多様な要求に対応でき利便性が向上する。

### 3. 研究の方法

#### (1) IP モビリティ機能の拡張

既に開発している MAT の移動透過通信支援を様々な形でできるようにする。すなわち、従来、移動端末がもつ移動透過通信機能をゲートウェイにもたせるアーキテクチャとし、移動端末のカーネルを改変することなく移

動透過通信が可能となるようにする。この実現のためゲートウェイに移動透過通信機能を実装し、従来端末の移動透過通信が可能となるようにした。このとき、仮想マシンの移動(マイグレーション)の場合でも使えるようなシステムを構築し、その評価を行った。(2) マルチキャストハンドオーバー制御機構の実装

従来のユニキャスト通信時のハンドオーバーだけでなく、マルチキャスト通信のハンドオーバーにも適用できるように、ネットワークの選択の方式の提案を行った。また、従来開発していたポリシーベースハンドオーバー制御の機構に提案のマルチキャスト通信時のハンドオーバーの機構を追加した。この機構の有用性を評価するためにシミュレーションによる評価と機構を組み込んだストリーム配信システムのプロトタイプシステムを図1のように構築し、実験的評価を行った。

#### (3) ストリーム配信プラットフォームの構築

前述のストリーム伝送のシステムは移動端末の状態により動的にストリームの配信方法を変化させる。こうした動的な変更やポリシーベースハンドオーバーの要求に応じて柔軟にストリーム伝送をするためのプラットフォームを構築する。

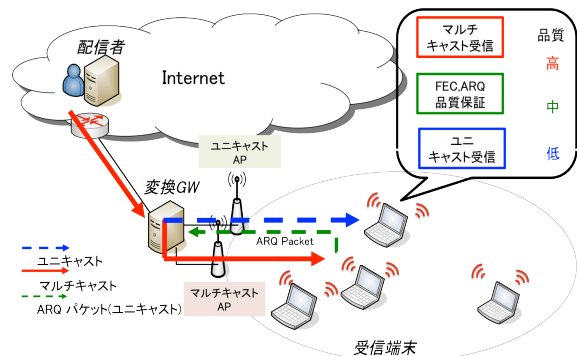


図1 品質保証機構付きストリーム伝送システム

### 4. 研究成果

#### (1) IPモビリティ機能の拡張

移動透過通信の機能をゲートウェイに組み込んだシステムのプロトタイプを開発し、移動する実端末や仮想マシンのカーネルに改変を加えず、移動透過通信が可能になった。その際に、通信時に通過するゲートウェイのオーバーヘッドが問題となるが、実験により異なるネットワークに移動する際のゲートウェイでの処理時間は15.42 $\mu$ sで、既存技術であるPMIPv6を同実験環境で測定した結果(41 $\mu$ s)[4]に比べても小さく、ゲートウェイ通過が通信に大きな影響を与えないことを示すことができた。

#### (2) ポリシーベースハンドオーバー制御

提案したマルチキャストハンドオーバー方

式により、マルチキャスト通信時に端末が移動する場合、現ネットワークや移動候補ネットワークのネットワーク状態を収集し、遅延、ジッタ、パケット損失などの品質指標の重要性を考慮して、ハンドオーバーするネットワークを判断することができるようになった。また、通信の途絶をさせない IP モビリティの機能だけでなく、ストリーム配信の品質をできるだけ維持するために再送やエラー訂正の機能をストリームの送信側に通知する機構も加えてプロトタイプシステムを開発した。この機構の有用性を示すため、シミュレータを開発し、無線 LAN を渡り歩く際のストリーム受信の品質を機構の有無によって評価した。その結果、図 2 のようにネットワーク状態に応じて品質保証の機構を組み込んだ場合 (図 2 の E) が効果があることを示した。

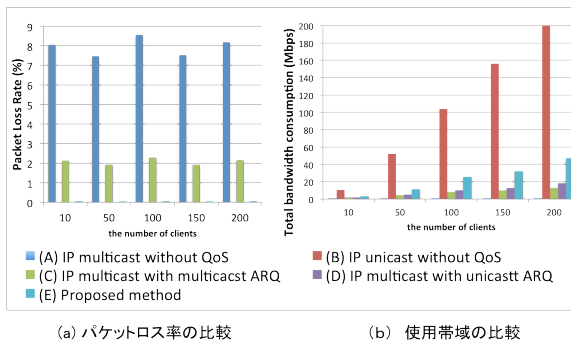


図 2 シミュレーション結果

図 1 のように構築したハンドオーバー機構を組み込んだストリーム配信システムのプロトタイプシステムにおいて、この機構の有用性を示した。図 3 の実験環境において、機構の有無のストリームの品質の変化について比較を行った。まず、ハンドオーバー機構がない場合は受信端末が NW1 から NW2 に移動する場合の通信途絶時間が 4.491s だが、機構により 0.013s におさえられることを示した。次に受信端末が NW1 と NW2 の両方が受信できるところにいた際に、機構の有無でネットワークの選択が変わるかとそれによるストリームの品質の比較を行った。NW1 と NW2 では図 3 のような受信状態でそれぞれストリーム A と B を受信している。表 1 のとおり、機構のない場合は NW1 を選択し、NW1 においてストリーム A と B の両方を受信することになる

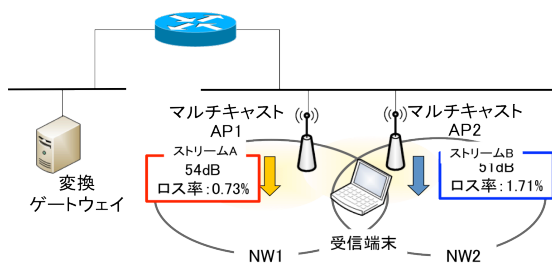


図 3 実験環境

表 1 ストリーム品質の比較

判断機構 (指標)	選択ネットワーク	フレーム損失率	パケットロス率	
機構あり	NW2	0.71%	0.66%	
機構なし	電波強度	NW1	8.09%	8.26%
	ロス率	NW1	8.09%	8.26%

ため、その結果ロス率が高くなっている。一方、機構ありの提案手法では NW2 を選ぶので、品質が維持できていることがわかる。また、図 4 の NW1 と NW2 で映像受信した際の PSNR の比較で、NW2 を選んだ方が PSNR が高いことを示せた。

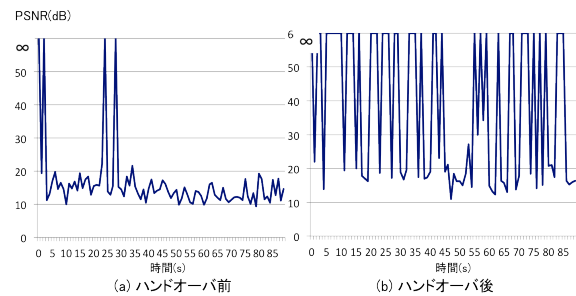


図 4 PSNR の変化

### (3) ストリーム配信プラットフォームの構築

動的な変化に対応するストリーム配信プラットフォームのプロトタイプシステムの開発を図 5 のようにネットワーク仮想化 (NFV) の概念を用いて行った。このプラットフォームでは図 5 の VNF (仮想ネットワーク機能)、すなわち、ストリームの合成やトランスコード、配信プロトコル変換などの機能を仮想マシン (VM) で行い、それを組み合わせることで、ユーザの要望やユーザの通信状況に応じて柔軟にストリーム加工をすることができる。加工の 1 つとして前述のマルチキャストハンドオーバー機構で採用した FEC や再送も組み込むことができるものである。1 つの機能を 1 つの VM で処理するので、そのオーバーヘッドが問題になる。

まず、ストリームを受信して送信するという単純な処理で、VM のオーバーヘッドを測定し

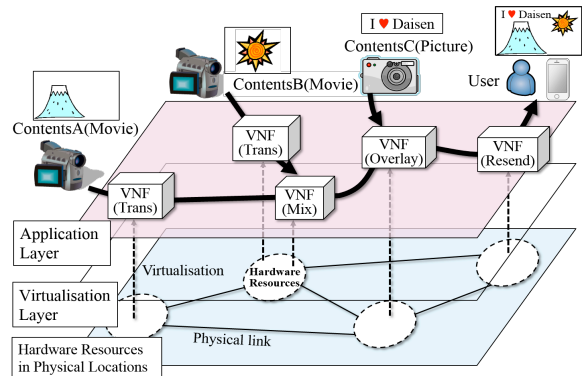


図 5 NFV によるストリーム伝送プラットフォーム

たところ、ホスト内にゲスト OS として VM を起動し、所定の処理に要す時間は 5.46s かかる。これを同一ホストの 1 つのアプリケーション内で行うと 1ms 以下となり、明らかにオーバーヘッドがあることを定量的に示した。しかし、Ustream など現行の動画配信サービスにおいても動画配信まで数秒から数十秒を要している。また、5.46 秒のうち約 5 秒が VM の起動に要する時間なので、事前に VM を立ち上げておくことで所要時間を短縮することもでき、VM による処理は実用可能な範囲と考える。

次に VM を連結することによる処理遅延時間もオーバーヘッドとなるので、その実験的評価を行った。ストリームの送信と受信の機能を VM で処理し、それを 2 個ずつ最大 32 まで増やしたときの連結による処理時間を測定したところ、連結数が増える事による処理遅延はほとんどなく、1 連結あたりの処理時間は 0.26ms で、提案した VM の連結、組み合わせによるストリーム配信は要望に動的に応じる柔軟な加工が可能で、ストリーム配信プラットフォームの仕組みとして使える可能性を示すことができた。

以上の研究成果により、当初の研究目標にある、マルチキャスト通信時のスムーズなハンドオーバーを支援する技術の開発、プロトタイプシステムの実装やその性能評価を達成することができた。

#### <引用文献>

- [1] R. Inayat, R. Aibara, K. Nishimura, T. Fujita, and K. Maeda, "An End-to-End Network Architecture for Supporting Mobility in Wide Area Wireless Network," *IEICE Transactions on Communications*, vol. E87-B, no. 6, pp. 1584-1593, 2004.
- [2] D. Johnson, C. Perkins, and J. Arkko, "Mobility Support in IPv6", *IETF RFC 3775*, 2004.
- [3] 鎌田, 近堂, 相原, "ユニキャストを併用する移動透過 IP マルチキャストの設計," *信学技報 IEICE-IA-304*, pp.13-18, Nov. 2010.
- [4] Mathieu Poulain, Fumio "TeraokImplementation and Evaluation of PMIPv6 on Linux Environnement," *信学技報*, vol. 108, no. 460, IA2008-69, pp. 13-18, Feb. 2009.

#### 5. 主な発表論文等

(研究代表者, 研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 9 件)

- ① Tohru Kondo, Kazufumi Suga, Kaori Maeda, Reiji Aibara, A Mobility Management System for the Global Live Migration of Virtual Machine across Multiple

Sites , 2014 IEEE 38th Annual International Computers, Software and Applications Conference Workshops, 査読有, 2014, pp.73-77

DOI : 10.1109/COMPSACW.2014.16

- ② 林直樹, 大石恭弘, 前田香織, 近堂徹, 相原玲二, 従来端末の IP モビリティを支援するゲートウェイの提案と実装, *インターネットコンファレンス 2014(IC2014) 論文集*, 査読有, 2014, pp.134-135

<http://www.internetconference.org/ic2014/PDF/ic2014-paper01.pdf>

- ③ 松下知佳生, 田中克哉, 近堂徹, 前田香織, 無線 LAN におけるマルチキャストストリーム配信の動的な品質保証機構の切り替えによる QoS 向上とその評価, *インターネットコンファレンス 2014(IC2014) 論文集*, 査読有, 2014, pp.141-142

<http://www.internetconference.org/ic2014/PDF/ic2014-poster9.pdf>

- ④ 藤本大地, 大石恭弘, 林直樹, 前田香織, 近堂徹, 相原玲二, OpenFlow による移動透過通信支援システムの提案, *インターネットコンファレンス 2014(IC2014) 論文集*, 査読有, 2014, pp.134-135

<http://www.internetconference.org/ic2014/PDF/ic2014-poster05.pdf>

- ⑤ 新谷隆文, 大石恭弘, 前田香織, パッシブ計測による無線 LAN の利用状況推定システムの基礎検討, *インターネットコンファレンス 2014(IC2014) 論文集*, 査読有, 2014, pp.137-138

<http://www.internetconference.org/ic2014/PDF/ic2014-poster07.pdf>

- ⑥ 浮田悠太, 大石恭弘, 林直樹, 前田香織, 近堂徹, 相原玲二, 移動透過通信支援機能のユーザランドにおける実装, *インターネットコンファレンス 2014(IC2014) 論文集*, 査読有, 2014, pp.141-142

<http://www.internetconference.org/ic2014/PDF/ic2014-poster08.pdf>

- ⑦ Tohru Kondo, Akiyuki Yokoyama, Kaori Maeda, An Implementation and Evaluation of a Selective QoS-aware Mobile Multicasting on Multiple Wireless Networks, *Proc.of 2014 Seventh International Conference on Mobile Computing and Ubiquitous Networking(ICMU)*, 査読有, 2014, pp.188-193

DOI:10.1109/ICMU.2014.6799093

- ⑧ Yasuhiro Ohishi, Kaori Maeda, Takemi Sahara, Naoki Hayashi, Reiji Aibara, Consideration of Network Selection Criteria on IP Mobility Communications Quality by Real-time Status, *Proc.of 2013 IEEE 37<sup>th</sup> Annual Computer Software and Applications*

Conference Workshops, 査読有, 2013, pp. 569-574

DOI : 10.1109/COMPSACW.2013.76

- ⑨ Takuya Hourai, Kaori Maeda, Yasuhiro Ohishi, Hayato Morihito, Tomoki Harase, Vertical Handover Control Considering End-to-End Communication Quality in IP Mobility, Proc. of 2012 IEEE/IPSJ 12th International Symposium on Applications and the Internet, 査読有, 2012, pp. 332-337  
DOI: 10.1109/SAINT.2012.60

[学会発表] (計 7 件)

- ① 田中克哉, 近堂徹, 前田香織, 柔軟なサービス構成を可能にするパーソナライズドストリーム配信フレームワークの設計, 電子情報通信学会技術報告, Vol. 114, No. 335, pp. 7-12, 2014 年 11 月 27 日鳥取県倉吉市
- ② 坂口和也, 田中克哉, 前田香織, 近堂徹, WebRTC による 4K 映像ストリーミング伝送の試行, 電子情報通信学会技術報告, 査読無, Vol. 114, No. 335, pp. 29-30, 2014 年 11 月 27 日鳥取県倉吉市
- ③ 須賀万史, 林直樹, 前田香織, 近堂徹, 相原玲二, 第 4 回地域インターネットクラウドワークショップ, 2014 年 3 月 27 日, 沖縄県那覇市
- ④ 林直樹, 近堂徹, 前田香織, 相原玲二, IP モビリティ機能を持たない端末のためのモビリティ支援ルータの開発, 電子情報通信学会技術報, 査読無, Vol. IA2013-55, 2013 年 11 月 1 日, 広島県広島市
- ⑤ 田中克哉, 松下知佳生, 横山彰之, 近堂徹, 前田香織, パーソナライズド視聴空間を創るクラウド型ライブストリーミングシステムの開発, 電子情報通信学会技術報, 査読無, Vol. IA2013-552, 2013 年 11 月 1 日, 広島県広島市
- ⑥ 横山彰之, 近堂徹, 前田香織, 無線 LAN 環境におけるマルチキャスト・ユニキャスト併用型映像伝送システムの開発, 電子情報通信学会技術報告書, 査読無, Vol. MoMuC2012-6, pp. 27-32, 2012 年 5 月 21 日沖縄県那覇市
- ⑦ 大石恭弘, 佐原壮海, 横山彰之, 前田香織, IP モビリティと QoS を考慮したマルチホーム移動端末のインタフェース選択手法の提案と実装, 情報処理学会研究報告, 査読無, Vol. 2012-IOT-19, pp. 1-6, 2012 年 9 月 28 日, 島根県松江市

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

前田香織 (MAEDA KAORI)

広島市立大学大学院・情報科学研究科・教授

研究者番号 : 00264953

### (2) 研究分担者

近堂 徹 (KONDO TOHRU)

広島大学・情報メディア教育研究センター・准教授

研究者番号 : 90437575

### (3) 連携研究者

相原玲二 (AIBARA REIJI)

広島大学・情報メディア教育研究センター・教授

研究者番号 : 50184023

正岡元 (MASAOKA HAJIME)

愛知東邦大学・人間学部・助教

研究者番号 : 20598924