

平成 22 年 4 月 10 日現在

研究種目：若手研究（B）  
 研究期間：2008～2009  
 課題番号：20700064  
 研究課題名（和文）  
 大規模複合無線環境におけるシームレスハンドオーバー管理手法に関する研究  
 研究課題名（英文）  
 Research of Seamless Handover Management Methods in Heterogeneous Networks  
 研究代表者  
 榎原 茂（KASHIHARA SHIGERU）  
 奈良先端科学技術大学院大学・情報科学研究科・助教  
 研究者番号：60380739

## 研究成果の概要（和文）：

様々な無線アクセスネットワーク技術が急速に発展・普及し、ユーザはいつでもどこでもインターネットに接続可能な複合無線環境が実現しつつある。本研究では、無線 LAN と WiMAX を対象とした大規模複合無線環境において、移動端末がこれらの無線ネットワーク間をシームレスに移動（ハンドオーバー）するためのハンドオーバー管理手法の提案を行い、シミュレーション及び実機を用いて提案方式の有効性を示した。

## 研究成果の概要（英文）：

With the development and wide spread of diverse wireless network technologies, such as wireless local area network (WLAN) and WiMAX, they will be the underlying basis of heterogeneous networks. In the heterogeneous networks, mobile stations can access the Internet at anytime and anywhere, but they cannot seamlessly move between the individual wireless networks. In this study, we proposed handover management methods to maintain communication quality during their movement, and showed the effectiveness of our proposed methods through simulation and experimental results.

## 交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2008年度	2,200,000	660,000	2,860,000
2009年度	1,200,000	360,000	1,560,000
年度			
年度			
年度			
総計	3,400,000	1,020,000	4,420,000

## 研究分野：総合領域

科研費の分科・細目：情報学・計算機システム・ネットワーク

キーワード：ハンドオーバー、ハンドオーバトリガー、無線 LAN、WiMAX、フレーム再送、キュー長、RTT

## 1. 研究開始当初の背景

様々な無線アクセスネットワーク技術が急速に発展・普及し、それらが互いにサービスエリアを補い合うことで、図1に示すよう

な、いつでも、どこでもインターネットに接続可能な複合無線環境が実現しつつある。そして、複合無線環境を実現する上で、IEEE802.11 技術を用いた無線 LAN と

IEEE802.16技術を用いたWiMAXは主流の無線ネットワークとなることが期待されている。しかし、移動端末（ユーザ）がこれらのネットワーク間をシームレスに移動（ハンドオーバ）する技術は十分に確立されていない。これらの無線ネットワークはサービスエリア、通信帯域、遅延等といった性能特性が異なり、また、異なる管理者間のネットワークを移動する際にはIPアドレスの変更も必要とされる。現状では、ユーザは移動中にアプリケーションの通信品質が劣化、あるいは通信自体が切断した際には、手でアクセスネットワークを切り替える必要がある。そのため、いつでも無線ネットワークに接続できる環境であったとしても、アプリケーションの通信品質を維持するために自律的に無線ネットワークを切替えながらハンドオーバすることはできない。そこで、本研究では、大規模複合無線環境におけるシームレスハンドオーバ管理手法についての調査研究を行った。

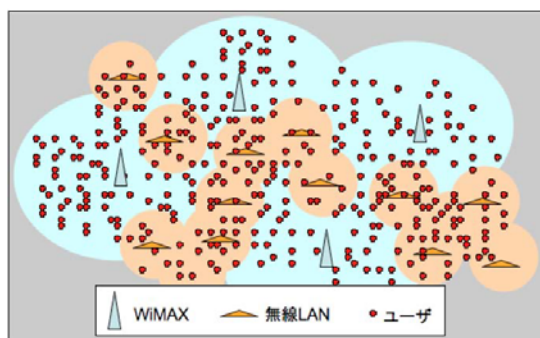


図1: 複合無線環境

## 2. 研究の目的

端末の移動中のアプリケーションの通信品質を維持するために、これまで様々なハンドオーバ方式が提案されている。しかし、使用する通信メディアの特性を詳細に調査・分析した上で、アプリケーションの通信品質の劣化を防ぐハンドオーバ手法は提案されていない。また、大規模複合無線環境での有効性に関する十分な評価も行われていない。

ハンドオーバに関する研究としては、これまでモバイルIP[文献1]をベースとした研究が数多く行われている。しかし、モバイルIPは端末の移動を管理するためにネットワーク中に特別な機器を必要とする。さらに、端末のシームレスな移動を実現するためには、ネットワークを階層的に設計・構築する必要がある。しかし、複数の管理者による無線ネットワーク間で階層的に設計・構築することは事実上困難である。例えば、都市部では既に様々な管理者の公衆無線LANが設置されており、今後、それらを統一して、モバイルIPを用いたネットワークを構築することは不可能であろう。したがって、今後の複合無線環境では、様々な管理者及び異なる特性の無

線ネットワークによって構築されるため、それらの特性を理解した上で、End-to-End制御に基づいたハンドオーバ技術を提案する必要がある。

これまでの研究において、我々はEnd-to-End制御において端末のシームレスな移動を実現するために、異なるIPサブネットの無線LAN間のハンドオーバを対象とした研究を行ってきた[文献2]。アプリケーションの通信品質を維持したハンドオーバを実現するためには、図2に示すように端末の移動時に次の3つの要求を満たす必要がある。(1)無線リンクの通信品質劣化を迅速かつ確実に検知可能なハンドオーバトリガー、(2)ハンドオーバ処理による通信不能時間の削減、(3)最適な無線LANの選択。

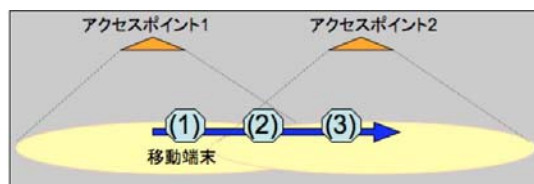


図2: ハンドオーバ処理

まず、(1)においては、移動中のアプリケーションの通信品質を維持するためには、アプリケーションの通信品質が劣化する前に端末はハンドオーバを開始する必要がある。そこで、文献[3]では、受信電波強度とフレーム再送回数とアプリケーションの通信品質の関係を調査・分析した。その結果より、ハンドオーバトリガーとして、受信電波強度ではなく、無線フレームの再送回数を用いることで、アプリケーションの通信品質が劣化する前により的確かつ迅速に無線リンクの通信品質劣化を検知できることを示した。

次に、(2)においては、異なるIPサブネットの無線LAN間を移動する際には、レイヤ2、3のハンドオーバ処理中は通信不能期間となるため、アプリケーションの通信品質は劣化してしまう。この通信品質の劣化を防ぐために、我々は端末に2つの無線LANインタフェースを搭載し、端末のマルチホーミング化を行った。これにより、ひとつのインタフェースで通信している間に、もう片方のインタフェースで次の無線LANとの接続処理を完了することが可能となり、無線ネットワークの切替えによる通信不能時間が削減される。

さらに、(3)においては、マルチホーミング化された端末は、複数のアクセスポイント（AP）への同時通信が可能であるため、ハンドオーバ中にシングル/マルチパス転送に適切に切り替えることで、アプリケーションの通信品質劣化の削減、及び良好な無線LANの選択が可能となる。また、提案方式では、ハンドオーバ制御をEnd-to-Endで行うため、ハンドオーバを制御/管理するハンドオーバマネージャをトランスポート層に実装して

いる。

本研究では、上記で述べた研究成果をさらに発展させていく。これまで、上記の提案方式の有効性を示すために、シミュレーションによる評価[文献 4]、及び実機による実現可能性を示した[文献 5]。しかし、これらは 1 台の端末の移動時における通信品質に着目した評価結果であり、実環境を想定した大規模複合無線環境における問題点の分析・有効性の評価については不十分である。また、提案方式では、端末数の増加によるアプリケーションの通信品質の劣化を適切に検知できない。また、本研究では、図 1 に示すように、無線 LAN 間の移動だけではなく、WiMAX と無線 LAN を含んだ複合無線環境を対象としているため、WiMAX の通信性能に関する基礎調査・分析を行い、その結果をもとに、異なる無線ネットワーク間での最適なハンドオーバートリガーの提案、及びハンドオーバー管理手法の提案を行い、大規模複合無線環境において有効性を評価する。

文献 [1]: C. Perkins (Ed.), "IP Mobility Support for IPv4," IETF RFC3344, Aug. 2002.

文献 [2]: S. Kashihara, K. Tsukamoto, and Y. Oie, "Service-oriented mobility management architecture for seamless handover in ubiquitous networks," IEEE Wireless Communications, Vol. 14, No. 2, pp. 28-34, April 2007.

文献 [3]: K. Tsukamoto, T. Yamaguchi, S. Kashihara, and Y. Oie, "Experimental Evaluation of Decision Criteria for WLAN handover: Signal Strength and Frame Retransmission," IEICE Transactions on Communications, Vol. E90-B, No. 12, pp. 3579-3590, December 2007.

文献 [4]: S. Kashihara and Y. Oie, "Handover Management based on the Number of Data Frame Retransmissions for VoWLANs," Elsevier Computer Communications, Volume 30, Issue 17, pp. 3257-3269, 30th November 2007.

文献 [5]: Y. Taenaka, S. Kashihara, K. Tsukamoto, Y. Kadobayashi, and Y. Oie, "Design and Implementation of Cross-layer Architecture for Seamless VoIP Handover," Proceedings of The Third IEEE International Workshop on Heterogeneous Multi-Hop Wireless and Mobile Networks 2007 (IEEE MHWMN'07), CD-ROM, October 2007.

### 3. 研究の方法

本研究では、以下に示す 3 つの点に着目し、実環境を想定した複合無線環境でのハンドオーバー管理手法の提案を行う。

#### (1) 既存の提案方式による大規模無線LAN環境における適応性の限界と既存手法の改善

既存の提案方式では端末の移動によって発生するフレーム再送回数をもとに無線リンクの通信品質劣化を検知してハンドオーバーを開始するが、大規模無線 LAN 環境では端末の増加による通信品質の劣化も発生する。しかし、既存方式では端末数の増加による通信品質の劣化を検知できないため、アプリケーションの通信品質を維持することが困難であると予想される。そこで、既存方式の大規模無線 LAN 環境での適応性の限界を調査・分析する。その結果をもとに、移動時だけではなく、通信端末の増加時におけるアプリケーションの通信品質の劣化も考慮したハンドオーバー方式の提案を行い、有効性を評価する。

#### (2) WiMAXと無線LAN間のハンドオーバートリガーの調査・検討

無線 LAN と WiMAX による複合無線環境においては、これらの無線技術はサービスエリアや通信帯域等の特性が全く異なるため、アプリケーションの通信品質を維持したハンドオーバーを開始するためのタイミングも異なる。そこで、無線 LAN と WiMAX の通信性能を下位層から上位層まで総合的に評価・比較することで、異なる無線ネットワーク間での最適なハンドオーバートリガーの提案を行う。

#### (3) 無線LAN/WiMAXによる大規模複合無線環境におけるハンドオーバー管理方式の提案

(2) で提案したハンドオーバートリガーを用いて、大規模複合無線環境に適したハンドオーバー管理方式の提案を行う。また、実環境に近い環境をシミュレーション上で作成し、大規模複合無線環境での有効性の評価を行う。

### 4. 研究成果

本研究では上記の 3 つに焦点を当て、研究を行った。まず、1 つ目に対する成果において述べる。我々が想定する大規模無線 LAN 環境において、シームレスハンドオーバーを実現するためには、AP 選択手法とハンドオーバー管理手法が必要となる。まず、最初に、文献 [3] で提案したハンドオーバー管理手法の実環境での有効性を示すために、実機を作成し、実環境において実験を行った[学会発表④⑦]。これらの結果から、文献 [3] において提案した方式は、実環境においても、有効であることを示した。

また、大規模無線 LAN 環境において、通信品質を維持したハンドオーバーを実現するためには、ハンドオーバー前に通信品質の良い AP を選択することが重要である。通信品質が良い AP を選択する際には、通常、電波強度が用いられるが、多数の AP が設置され、多くの端末が存在する環境では、互いの電波干渉やコリジョンによる通信品質劣化も考慮す

る必要がある。そこで、我々は電波強度とフレーム再送回数を用いた AP 選択手法を提案した[雑誌論文①インターネットドラフト①]。本方式では、電波強度の強い AP から順に調査パケットを送信し、フレーム再送率を調査する。そして、フレーム再送率が設定した閾値よりも低いときは、その AP の通信品質は良好であると判断し、接続を行う。なお、提案した AP 選択手法は、上記で提案しているようなマルチホーミング端末のハンドオーバー方式に適用可能である。また、AP 選択手法の有効性を示すために、実環境において実験を行い、本方式により通信品質の良い AP を適切に選択できることを示した。

しかし、これまでの我々の研究では、AP は固定レートでの通信のみを提供することを前提としていたため、フレーム再送回数を用いて無線リンクの通信品質の劣化を迅速かつ的確に検知することができた。しかし、実環境においては、ほとんどの AP がマルチレートでの通信を提供しており、さらに 1 つの AP 内には複数の端末が存在する。マルチレート機能は、無線リンクの通信品質が劣化したとき、AP と端末はパケットロスを削減するために、データレートを下げ、パケットロスにロバストな通信方式を用いる。そのため、フレーム再送回数だけでは、無線リンクの通信品質の劣化を適切に検知することが困難となる。

そこで、これまでの提案方式を実環境に適用できるように、フレーム再送回数に加え、AP と端末間の RTT、及びデータレートをハンドオーバートリガーとして加えた。無線 LAN では AP と端末の送信権の獲得率は同じであるため、音声通信のような双方向通信が増加した際、AP がボトルネックとなり、端末宛へのパケットに対してパケットロスや遅延が増加する。そこで、AP 内の輻輳状態を検知するための指標を調査するため、基礎実験を行い、端末と AP のワイヤレス間の W-RTT(Wireless RTT)を測定することで、AP のキュー長の増加を検知できることを明らかにした。また、一方で、低データレートはより多くの無線資源を使用する。そのため、輻輳時には、低データレートの端末は更なる輻輳を引き起こす可能性が高まる。そこで、本方式では、低データレートの端末は自主的に他の空いている AP にハンドオーバーを行う機構を組み込み、大規模無線 LAN 環境においても、各端末が自律的に通信品質の良好な AP にハンドオーバー可能な機構の提案を行った[雑誌論文②学会発表⑥インターネットドラフト②]。また、シミュレーションを用いて本方式の性能評価を行い、輻輳状態の無線 LAN から自律的に各端末がハンドオーバーを行い、各端末のアプリケーションの通信品質が維持されることを示した。

次に、2 つ目の成果について述べる。異なる無線ネットワーク間の移動時において、アプリケーションの通信品質を維持するためには、各無線ネットワークにおいて適切なハンドオーバートリガーを使用する必要がある。そこで、WiMAX において端末が移動した際のアプリケーションの通信品質の劣化と無線リンクの通信品質の劣化等を詳細に調査した。その結果、Carrier to Interference plus Noise Ratio (CINR) を用いることで距離による無線リンクの通信品質の劣化が検知可能であり、端末のインタフェースのキュー長から、ネットワーク内の輻輳状態を検知することが可能であることが分かった[学会発表③⑤]。

3 つ目の成果においては、1 で提案した無線 LAN 環境でのハンドオーバー機構に、2 で明らかになった WiMAX のハンドオーバートリガーを用いたハンドオーバー管理機能を追加し、これらの無線ネットワーク間をシームレスに移動するためのハンドオーバー管理機構の提案を行った[学会発表①②]。本方式により、端末は異なる無線ネットワーク間をシームレスに移動することが可能であることをシミュレーションにより示した。

## 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 2 件)

- ① Y. Taenaka, S. Kashihara, K. Tsukamoto, S. Yamaguchi, and Y. Oie, "Proactive AP Selection Method Considering the Radio Interference Environment," IEICE Transactions on Information and System, Vol. E92-D, No. 10, pp. 1867-1876, October 2009. (査読有り)
- ② M. Niswar, S. Kashihara, K. Tsukamoto, Y. Kadobayashi, and S. Yamaguchi, "Handover Management for VoWLAN based on Estimation of AP Queue Length and Frame Retries," IEICE Transactions on Information and System, Vol. E92-D, No. 10, pp. 1847-1856, October 2009. (査読有り)

[学会発表] (計 7 件)

- ① M. Niswar, S. Kashihara, Y. Taenaka, K. Tsukamoto, Y. Kadobayashi, and S. Yamaguchi, "Seamless Vertical Handover Management for VoIP over Intermingled IEEE 802.11g and IEEE 802.16e," Proceedings of 8th Asia-Pacific Symposium on Information and Telecommunication Technologies (APSITT2010), Kuching, Sarawak,

- Malaysia, June 2010. (採録決定) (査読有り)
- ② M. Niswar, 榎原茂, 妙中雄三, 塚本和也, 門林雄基, 山口英, “複合無線ネットワークを対象としたVoIPのためのハンドオーバー管理手法,” 電子情報通信学会技術研究報告, MoMuC2010-84, pp. 59-64, 神奈川県横須賀リサーチパーク (YRP), 2010年3月. (査読無し)
  - ③ M. Niswar, S. Kashihara, Y. Taenaka, K. Tsukamoto, Y. Kadobayashi, and S. Yamaguchi, “MS-initiated Handover Decision Criteria for VoIP over IEEE 802.16e,” Proceedings of IEEE Pacific Rim Conference on Communications, Computers and Signal Processing (PACRIM'09), CD-ROM, University of Victoria, Victoria, B.C., Canada, August 2009. (査読有り)
  - ④ S. Bang, Y. Taenaka, S. Kashihara, K. Tsukamoto, S. Yamaguchi, and Y. Oie, “Practical Performance Evaluation of VoWLAN Handover Based on Frame Retries,” Proceedings of IEEE Pacific Rim Conference on Communications, Computers and Signal Processing (PACRIM'09), CD-ROM, University of Victoria, Victoria, B.C., Canada, August 2009. (査読有り)
  - ⑤ Muhammad Niswar, 榎原茂, 妙中雄三, 塚本和也, 門林雄基, 山口英, “IEEE802.16eにおけるVoIPのためのモバイル端末主導のハンドオーバー決定指標,” 電子情報通信学会技術研究報告, MoMuC2009-22, 第109巻, pp. 65-70, 北海道小樽市民会館, 2009年7月. (査読無し)
  - ⑥ M. Niswar, E. Horiuchi, S. Kashihara, T. Kazuya, Y. Kadobayashi, and S. Yamaguchi, “Seamless VoWLAN Handoff Management Based on Estimation of AP Queue Length and Frame Retries,” Proceedings of Fifth IEEE PerCom Workshop on Pervasive Wireless Networking (PWN2009), pp. 695-700, Galveston, Texas, USA, March 2009. (査読有り)
  - ⑦ 房聖恵, 妙中雄三, 榎原茂, 塚本和也, 山口英, 尾家祐二, “実環境におけるフレーム再送を考慮したVoWLANハンドオーバーの評価,” 電子情報通信学会技術研究報告, NS2008-211, pp. 385-390, 沖縄県沖縄残波岬ロイヤルホテル, 2009年3月. (査読無し)

[その他]

インターネットドラフト (計2件)

- ① Y. Taenaka, S. Kashihara, K. Tsukamoto, S. Yamaguchi, and Y. Oie, “AP selection method considering WLAN condition,” IETF Internet Draft, draft-yuzo-ap-selection-considering-wlan-condition-00.txt, February 2010.
- ② M. Niswar, S. Kashihara, K. Tsukamoto, Y. Kadobayashi, and S. Yamaguchi, “Inter-domain WLAN handover management for Multi-homed Mobile Node,” IETF Internet Draft, draft-niswar-wlan-multihomed-handover-00.txt, December 2009.

ホームページ

<http://iplab.naist.jp/member/shigeru/index.html>

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

榎原 茂 (KASHIHARA SHIGERU)

奈良先端科学技術大学院大学・情報科学研究科・助教

研究者番号 : 6 0 3 8 0 7 3 9

### (2) 研究分担者

### (3) 連携研究者