

実環境における Voice over IP(VoIP)のためのハンドオーバー管理手法の研究

梶 原 茂 奈良先端科学技術大学院大学情報科学研究科助教

1 はじめに

ネットワーク技術の発展に伴い、安価で容易にインターネットへ接続可能な環境が拡大している。特に IEEE802.11 技術を用いた無線 LAN の利用が顕著となっている。無線 LAN はケーブルの敷設が不要なため、家庭内や企業内等のプライベートな空間だけでなく、公共の場においてもホットスポットサービスとして広く利用されている。今後さらに無線 LAN を用いたネットワークが拡大することで、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ユビキタスネットワークが実現すると考えられる。

ユビキタスネットワークが拡大する一方で、コミュニケーションツールとして音声通信 (Voice over IP:VoIP) の利用が増加している。しかし、VoIP のようなリアルタイム通信はネットワークの通信品質の影響を受けやすい。特に無線ネットワークでは、ユーザは移動しながら通信を行うため、無線区間で発生する遅延やパケットロスの影響を受けやすく、移動時の通信品質の劣化が懸念される。このようなユビキタスネットワークにおける移動時の問題点として、まず第一に、ハンドオーバー時の IP アドレス変更に伴う通信の切断があげられる。この問題を解決する手法として、Mobile IP (MIP) [1, 2]、mobile Stream Control Transmission Protocol (mSCTP) [3]、Media Optimization Network Architecture (MONA) [4] が提案されている。

現在、モバイル端末の移動をサポートする方法としては、MIP が最も有力視されている。しかし、MIP はネットワーク中に新たなサーバを設置・管理する必要があり、かつ異なる IP サブネットの無線 LAN 間をハンドオーバーする際には、レイヤ 2 およびレイヤ 3 によるハンドオーバー処理により通信が行えない期間が発生する。この間、VoIP の通信品質は劣化してしまう。

mSCTP においては、複数の IP アドレスを使用することで、レイヤ 2、3 による通信品質の劣化を防ぐことが可能となる。しかし、mSCTP ではパケットロスが発生後、使用する End-to-End の経路 (パス) を切り替えるため、切り替える前のパス上の通信品質の劣化を防ぐことができない。また、mSCTP はノンリアルタイム通信を対象としており、VoIP のようなリアルタイム通信には対応していない。

一方、MONA は SCTP [5] の利点である複数の IP アドレスを管理する機構を応用した方式である。MONA ではネットワークレイヤとトランスポートレイヤの間に設けたアソシエーションレイヤにおいて、IP アドレスの変更を管理することで、通信中に使用する IP アドレスの追加・削除・複数利用が可能である。しかし、この方式では、無線リンクの品質を考慮したハンドオーバーは行われないため、ハンドオーバー時には通信品質が劣化してしまう。

これまで我々は、異なる IP サブネットの無線 LAN 間のハンドオーバーにおいて、VoIP の通信品質を維持するために、無線リンクの通信品質を考慮したハンドオーバー管理手法の提案を行った [6]。提案方式では、モバイル端末に複数の無線 LAN インタフェースを搭載することで、1 つの無線 LAN インタフェースの使用中に、もう一つの無線 LAN インタフェースを用いて新たなアクセスポイントへの接続を可能とする。このように、ハンドオーバー時に複数の無線 LAN を使用可能にすることで、レイヤ 2、3 のハンドオーバー処理に伴う通信の切断時間の削減を行った。更に、無線リンクの通信品質劣化を検知する指標に MAC レイヤにおけるデータ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ハンドオーバーを開始することが可能となる。先行研究ではシミュレーションにより提案方式の有効性を示したが、実環境における評価は行われていない。そこで、本研究では、先行研究の提案方式のプロトタイプシステムを実装する。また、本プロトタイプシステムの実装方法について説明し、実環境においてプロトタイプシステムの有効性を評価する。

2 データフレーム再送回数を用いたハンドオーバー制御

先行研究における提案方式 [6] では、異なる IP サブネット間においてシームレスなハンドオーバーを実現するために、マルチホーミング機構とクロスレイヤ機構を用いている。図 1 に示すようにモバイル端末は複数の無線 LAN インタフェースを搭載しているため、通信中のアクセスポイント (AP) との通信が切断される前に、

予めもう一方の無線 LAN インタフェースを用いて別の AP と接続しておくことが可能となる。したがって、モバイル端末はハンドオーバー時に 2 つの無線 LAN を使用可能となる。次に、ハンドオーバー開始の判断が重要となるが、提案方式ではハンドオーバーを開始するための新たな指標として MAC レイヤにおけるデータフレームの再送回数を用いている [7]。MAC レイヤにおけるデータフレームの再送はアプリケーションの通信品質が劣化するより前に発生するので、アプリケーションの品質が低下する前に無線リンクの品質低下を判断する指標として使用可能である。よって、図 1 に示すように、トランスポートレイヤ上の Handover Manager (HM) は MAC レイヤから再送回数情報を取得することで、無線リンクの通信品質を判断することができ、通信品質が劣化する前にハンドオーバーを開始することができる。以下に、再送回数を用いたハンドオーバー制御について説明する。

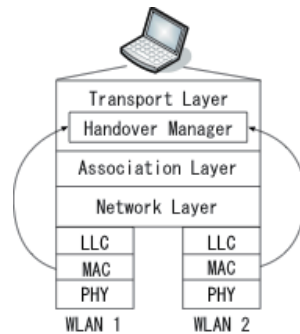


図 1 アーキテクチャ概略図

HM は通信中の無線 LAN インタフェースの MAC レイヤからデータフレームの再送回数を取得し、その値をもとに無線リンクの通信品質を判断する。再送回数が増加すると、HM が使用中の無線 LAN の通信品質が劣化していると判断しハンドオーバー処理を開始する。このとき、使用中の無線 LAN の再送回数のみでハンドオーバー処理の開始を判断しているため、ハンドオーバーで切り替える先の無線 LAN の通信品質が悪い場合が考えられる。そのため、提案方式では、使用する無線 LAN を切り替える前に 2 つの無線 LAN に対して同じパケットを重複して転送(マルチパス転送)を行い、両方の無線リンクの通信品質を調査する。なお、マルチパス転送に対し、片方の無線 LAN のみに対してパケットを送信する状態をシングルパス転送と呼ぶ。

次にマルチパス/シングルパス転送の切り替え方法について説明する。シングルパス転送中において、データフレームの再送回数が予め設定しておいた閾値 (Multi-Path Threshold:MPT) 以上となった場合、HM は使用している無線リンクが不安定であると判断し、マルチパス転送に切り替える。マルチパス転送中においては、HM は無線リンクの通信品質の安定度を測るためのパラメータとして各無線 LAN インタフェースに対して Stability Counter (SC) を用いる。SC はデータフレームの再送回数が Stability Counter Threshold (SCT) 以下で送信できたとき 1 増加し、再送回数が SCT 以上であったときには 0 にリセットされる。そして、どちらか一方の SC の値が予め設定しておいた Single-Path Threshold (SPT) 以上となった場合、その無線リンクは安定したと判断し、シングルパス転送に切り替える。以上の処理により、モバイル端末は無線リンクの通信品質を判断しながらハンドオーバーを実行する。

3 実装

先行研究ではシミュレーションによる評価のみで、実環境での評価は行われていない。そこで、本節では、実装での評価を行うためにプロトタイプシステムの実装を行う。以下に、実装方法について説明する。

3-1 実装環境

提案方式では両端の端末間のみでハンドオーバーを可能にするため、実装は端末(モバイル端末と相手端末 (Corresponding Node:CN))のみに対して行う。しかし、モバイル端末と相手端末は同じ実装になるため、本節ではモバイル端末に着目して説明する。

モバイル端末には ThinkPad X40 を用い、無線 LAN インタフェースとして内蔵型 (P/N:31P9702) と PC カード型 (ORiNOCO 802.11a/b/g combo card) を用いる。これらの無線 LAN インタフェースはいずれも Atheros のチップセットを搭載したものである。オペレーティングシステムは Red Hat Linux 9 のカーネルバージョン 2.4.27 を用い、無線 LAN ドライバには madwifi [8] を用いている。

3-2 MAC レイヤ/HM 間のインタフェース

提案方式は既存手法とは異なり、トランスポートレイヤ上の HM が MAC レイヤの情報を取得するためのクロスレイヤ構造の実現が重要となる。そこで、本節では、Atheros のドライバと HM 間での情報を受け渡し手法について述べる。

Atheros のドライバと HM 間での情報の受け渡しには、インタフェース毎で独立し、起動時に static に確保した共有メモリを使用する。図 2 に確保する共有メモリのデータ構造を示す。共有メモリは hm_tx_shortretry_idx、hm_tx_shortretry[0]～[99]、reserved、hm_tx_xretries、hm_txack_rssi からなる。hm_tx_shortretry[0]～[99]は MAC レイヤでの再送回数を書き込む領域で、unsigned int の 100 個の配列とし、リングバッファ構成で用いる。hm_tx_shortretry_idx は、hm_tx_shortretry[X] に書き込みを行った場合に書き込んだ配列番号 X を記録する領域である。つまり、新たに再送回数を書き込む場合、hm_tx_shortretry[hm_tx_shortretry_idx+1]に書き込む。また、hm_tx_xretries は MAC レイヤの再送回数が IEEE802.11 で規定されている回数以上となりフレームが破棄された数、hm_txack_rssi は最後に ack を受け取った際の信号強度、reserved は予約ビットを示している。なお、この共有メモリへの書き込みはパケットの送信完了または破棄される毎に行い、パケットを 1 つ処理する度にリングバッファを 1 ずつ移動していくことになる。

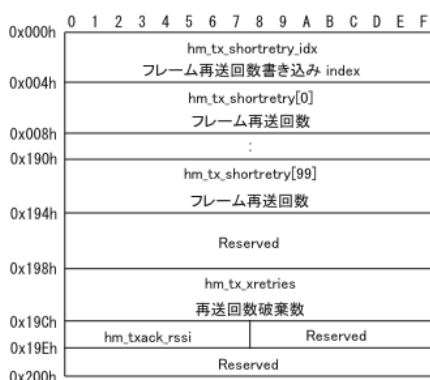


図 2 データ構造

3-3 シングルパス/マルチパスの切り替え機構

提案手法では、シングルパス転送とマルチパス転送を用いてシームレスなハンドオーバを実現する。本節では、シングルパスからマルチパスへ、マルチパスからシングルパスへの切り替え機構の実装について説明する。なお、複数の IP アドレスの管理については MONA[4]を使用した。

(1) シングルパスからマルチパス

シングルパスからマルチパスへの切り替えの決定処理のフローチャートを図 3、フローチャート中で使用している変数を表 1 に示す。図 3 に示す処理は、シングルパス転送においてパケットの送信毎に実行される。処理内容は、パケット送信に使用しているインタフェースの特定 (処理 A)、共有メモリから再送回数の取得回数の決定 (処理 B)、マルチパスへの切り替え判断 (処理 C) の 3 つに分けられる。

表 1 変数一覧

変数名	説明
hm_tx_inf	シングルパス/マルチパスの状態及び、切り替えビットを含む制御用変数
MPT	シングルパスからマルチパスへ切り替える際の再送回数の閾値
hm_NIC_IF_NUM	シングルパス転送でパケット送信に使用しているインタフェース番号
hm_RetGet[hm_NIC_IF_NUM]	hm_NIC_IF_NUM に対応するインタフェースの共有メモリから MAC レイヤの再送回数を取り出す回数
hm_shortretry	データフレームの再送回数を格納するバッファ
hm_Ret_Start_Index[hm_NIC_IF_NUM]	共有メモリから再送回数を取得する際の次回スタート位置
hm_Ret_End_Index[hm_NIC_IF_NUM]	共有メモリから再送回数を取得する際の取得終了位置

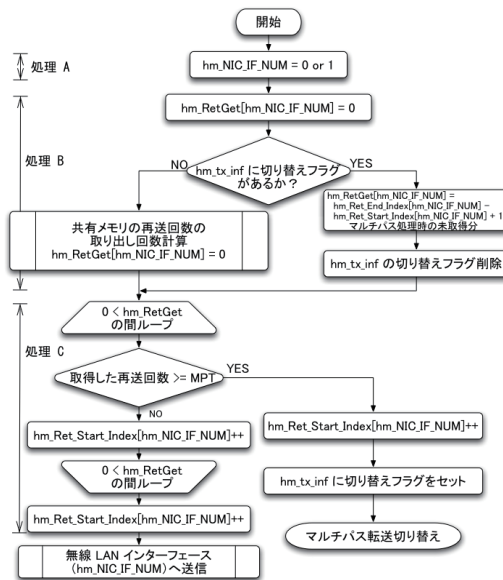


図3 シングルパスからマルチパスへの切り替え処理

インタフェースの特定処理では、hm_NIC_IF_NUM に通信に使用しているインタフェース番号を代入する。次に再送回数の取得回数の決定処理では、hm_tx_inf のフラグによって処理を分岐する。この変数は主に判断処理途中のシングルパス/マルチパス転送に関わるフラグが設定されている。シングルパス転送を継続している状態では、NO が選択される。次に、共有メモリから再送回数を取り出す回数の計算を行う (図4 参照)。図4 では、リングバッファに記録されている再送回数の数(hm_RetGet)を調査する。一方、YES と判断する場合は、マルチパスからシングルパス転送への切り替えた際に実行され、hm_RetGet にリングバッファ中の未処理のデータ数を設定する。

そして、マルチパスへの切り替え判断処理では、共有メモリから再送回数を取得するためのループを実行する。このループ中で共有メモリから取得した再送回数と MPT を比較し、再送回数が MPT 以上の場合、hm_tx_inf にマルチパス切り替えフラグを立て、共有メモリからの再送回数の取得を終了する。つまり、再送回数の取得回数が hm_RetGet より少ない場合でも共有メモリからの再送回数取得を停止する。なお、パケットは非同期で並列に送信されているが、シングルパス/マルチパスへの実際の切り替えは、切り替えの判定が行われてすぐに切り替わるのではなく、HM から下位層へパケットを渡す際に行われる。

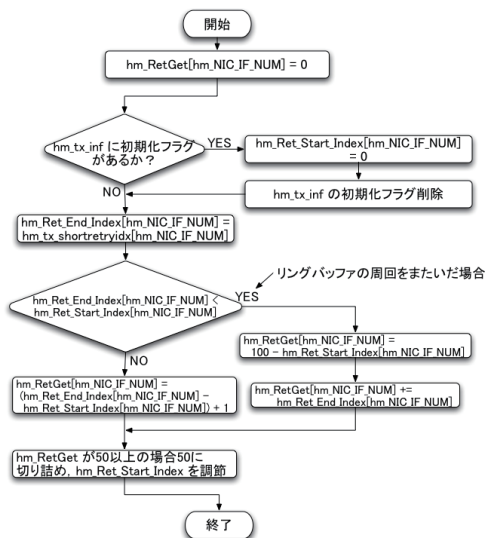


図4 再送回数の取得回数決定処理

(2) マルチパスからシングルパスへの切り替え

マルチパスからシングルパスへの切り替えの決定処理のフローチャートを図 5、フローチャート中で使用している変数を表 2 に示す。ただし、表 2 に示す変数は表 1 で示していない変数のみとする。

図 5 の処理は、再送回数を取得する回数の決定 (処理 A)、取得した再送回数によるシングルパスへの切り替え判定 (処理 B) の 2 つの処理に分けられる。再送回数を取得する回数の決定処理では、マルチパスへの切り替え判定 (図 3) と同様に、hm_tx_inf の値によって処理を分岐する。NO の場合は、マルチパス転送を継続している状態に実行され、両方のインタフェースについて、バッファから再送回数を取り出す回数を計算する (図 4)。一方、YES の場合は、シングルパスからマルチパス転送へ切り替えた際に実行され、hm_RetGet にリングバッファの未処理のデータ数を設定する。

シングルパスへの切り替え判定処理では、hm_RetGet 回、共有メモリから再送回数を取得するループを実行し、この中で再送回数が hm_SC_TH 以下のフレームが連続する数をカウントし、hm_SC_IF に代入する。このループをインタフェース毎に実行し SPT と比較する。ここで hm_SC_IF が SPT より大きい場合、条件を満たした無線リンクの通信品質は良いと判断し、条件を満たしたインタフェースでのシングルパス転送に切り替える。

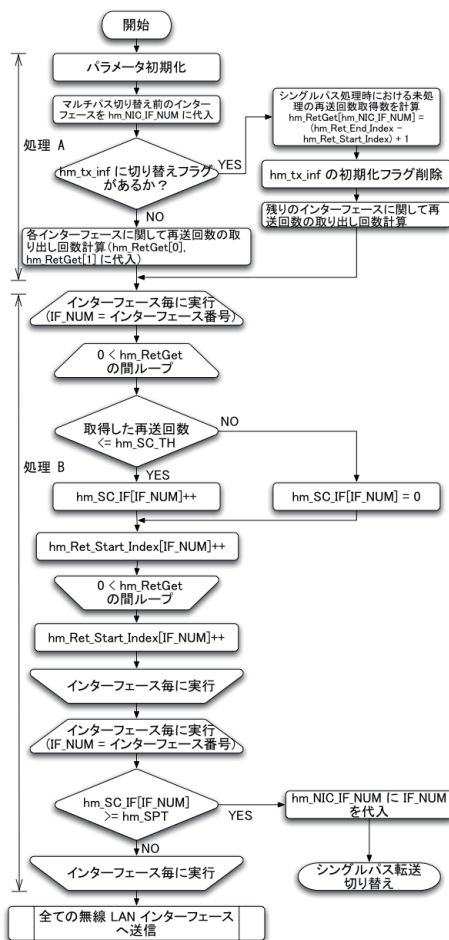


図 5 マルチパスからシングルパスへの切り替え決定処理

表 2 変数一覧

変数名	説明
hm_SC_TH	hm_SC_IF をインクリメントする再送回数の閾値
hm_SC_IF	再送回数が hm_SC_TH 以下で連続した数のカウンタ値
hm_SPT	シングルパスへの切り替えを判断する hm_SC_IF の閾値

4 実験評価

3 節で述べたプロトタイプシステムを用いて、実環境において実験評価を行い、提案方式の有効性の評価を行った。以下では、実験環境および実験結果について説明する。

4-1 実験環境

評価を行うための実験環境と使用したソフトウェアの詳細について説明する。実験トポロジを図 6 に示す。図 6 に示すように、モバイル端末(MN)は相手端末(CN)と VoIP 通信を行いながら、異なる IP サブネットである AP1、AP2 の間を移動する。AP1 と AP2 の間の距離は 30m とする。AP1、AP2 には Linux PC 上において hostap[9] を用い、モバイル端末が AP1 から AP2 へハンドオーバーしやすくなるよう、AP1 の電波強度を弱めている。また、モバイル端末と相手端末では、VoIP アプリケーションとして Xten X-Lite[10] を使用した。

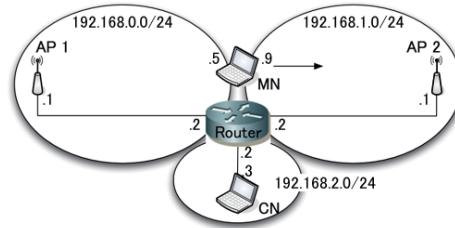


図 6 実験トポロジ

次に計測方法について説明する。モバイル端末は 2 つの無線 LAN インタフェースを搭載し、モバイル端末の無線 LAN インタフェース(ath0、ath1)は予め AP1 と AP2 とそれぞれ接続している状態にする。そして、モバイル端末と相手端末は、最初 AP1 を経由してお互いに VoIP で音声データを送受信し、モバイル端末が AP1 にいる状態から計測を始める。モバイル端末は AP1 から AP2 へ歩いて移動し、AP2 に辿り着いた時点で計測を終了する。使用した VoIP アプリケーションはコーデックとして G.711 使用しているため、20 ms 毎にパケットを送信している。また、使用するパラメタとして MPT を 3、hm_SPT を 2、hm_SC_IF を 1 として計測を行った。

4-2 実験結果

本節では、上記の環境において実験を行い、その結果から考察を述べる。図 7 にモバイル端末での受信パケット数の累積グラフを、図 8 に相手端末での受信パケット数の累積グラフをそれぞれ使用した無線リンク毎に示す。いずれのグラフも ath0 が接続する無線リンク(AP1)を通してパケット転送が始まり、開始後 36 秒前後でパケットロスが発生すること無く、使用する無線リンクを ath1 (AP2) に切り替えていることがわかる。

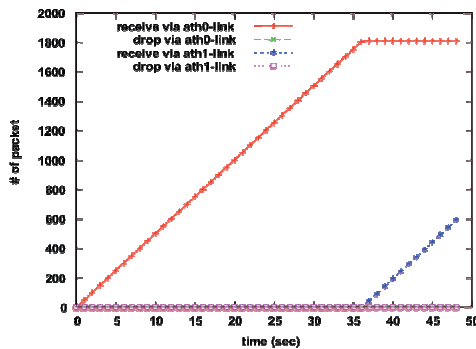


図 7 モバイル端末での受信パケット数

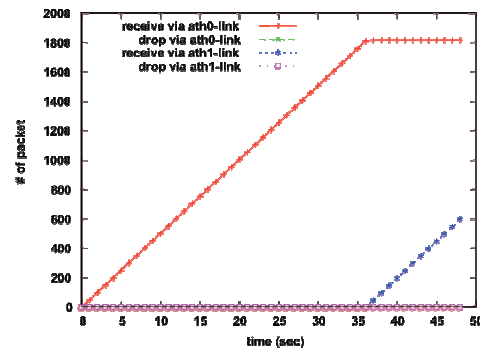


図 8 相手端末での受信パケット数

図 9、10 において、無線 LAN インタフェース ath0、ath1 の MAC レイヤにおけるデータフレームの再送回数の累積グラフを示す。今回の実験では、MPT を 3 として実験を行っているため、再送回数が 3 回以上になった時点でマルチパス転送が開始されることになる。図 9 において、35-36 秒の間に再送回数 4 回が 2 回発生していることから、この時点でマルチパス転送が開始したことがわかる。一方、図 10 において、35 秒以降から ath1 を使用した通信が開始されているが、再送回数 1 回しか発生していないことがわかる。ここで、本実験では、hm_SC_IF を 1 に、hm_SPT を 3 に設定していることから、マルチパス時において、ath0 の hm_SC_IF

は0にリセットされる可能性が高いが、ath1ではリセットされることは無い。よって、これらの結果から、マルチパス転送時において、ath1はath0よりも先にhm_SC_IFの値がhm_SPT以上になり、その結果ath1を使ったシングルパス転送に切り替わることになる。

以上の結果より、提案方式は実環境においてハンドオーバー時のハンドオーバー処理に伴うパケットロスを防ぎ、マルチパス転送を用いることで、通信状態のよい無線リンクへのシームレスな切り替えを実現できることを示した。

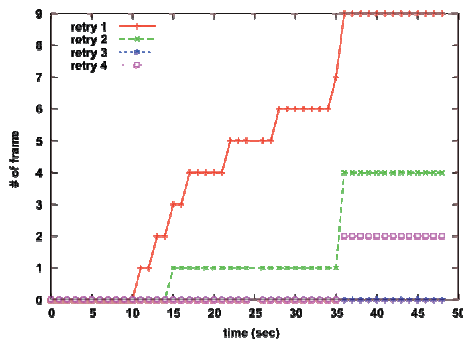


図9 ath0における再送回数

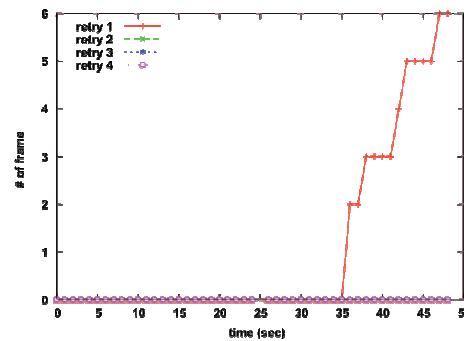


図10 ath1における再送回数

5 まとめ

本論文では、先行研究の提案方式の実装を行い、クロスレイヤ機構の設計について説明を行った。また、実装を用いて実験を行い、実環境においてVoIPの通信品質を維持したシームレスなハンドオーバーの実現が可能であることを確認した。

また、今回の実験では基礎評価にとどまっているため、今後の課題としてより詳細な評価を行う必要があると考えられる。特に、ハンドオーバー時におけるVoIP通信の品質の定量的評価やオーバーラップエリア内の移動によるピンポン効果による影響を詳細に評価する必要があると考えられる。

【参考文献】

1. C. Perkins (Ed.), "IP Mobility Support for IPv4," IETF RFC3344, August 2002.
2. D. Johnson et al., "IP Mobility Support in IPv6," IETF RFC3775, June 2004.
3. W. Xing, et al., "M-SCTP: Design and Prototypical Implementation of an End-to-End Mobility Concept," Proceedings of 5th International Workshop The Internet Challenge: Technology and Applications, October 2002.
4. H. Koga, et al., "A Framework for Network Media Optimization in Multihomed QoS Networks," Proceedings of ACM First International Workshop on Dynamic Interconnection of Networks (DIN2005) in conjunction with MobiCom2005, pp.38-42, September 2005.
5. R. Stewart et al., "Stream Control Transmission Protocol," draft-ietf-tsvwg-2960bis-02.txt, June 2006.
6. S. Kashiwara and Y. Oie, "Handover Management based on the Number of Retries for VoIP on 無線 LANs," Proceedings of IEEE 61st Semiannual Vehicular Technology Conference (VTC2005-spring), May 2005.
7. S. Kashiwara, et al., "A simple heuristic for handover decisions in 無線 LANs," IETF Internet Draft, draft-shigeru-simple-heuristic-無線 LAN-handover-01.txt, August 2006.
8. madwifi.org, <http://madwifi.org>
9. Host AP driver for Intersil Prism2/2.5/3, hostapd, and WPA Supplicant, <http://hostap.epitest.fi/>.
10. CounterPath, <http://www.xten.com/>.

〈 発 表 資 料 〉

題 名	掲載誌・学会名等	発表年月
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 (IEEE MHWMN' 07)	2007 年 10 月
Terminal-Centric AP selection algorithm based on frame retransmissions	Proceedings of The 2 nd ACM International Workshop on Performance Monitoring, Measurement, and Evaluation of Heterogeneous Wireless and Wired Networks (PM ² HW ² N 2007)	2007 年 10 月
フレーム再送回数を用いたプロアクティブ型アクセスポイント選択手法の提案と実装	電子情報通信学会研究報告 NS2007-80 ~ 93, pp. 27-32	2007 年 10 月
VoWLANsにおけるAPのキュー長を考慮したハンドオーバー制御機構の提案	電子情報通信学会研究報告 IN2007-171, pp. 73-78	2008 年 3 月
Handover management scheme for different IP WLAN subnets	IETF Internet draft, draft-shigeru-wlan-handover-management-00.txt	2007 年 11 月