

5-2 Beyond 3G 無線ネットワークに向けたリアルタイム垂直ハンドオーバーの実験的評価

5-2 Empirical Evaluation of Real-Time Vertical Handover for Beyond 3G Wireless Network

齊藤義仰 黒田正博 石津健太郎 宮本 剛

SAITO Yoshia, KURODA Masahiro, ISHIZU Kentaro, and MIYAMOTO Goh

要旨

ITU-Rで議論されているBeyond 3G無線ネットワークは、3G、WLAN、4Gなどの各種無線システムを統合し、オールIPの無線ソリューションを実現することによって各無線システムの利点を生かしたサービスを提供する。無線システムを統合する現在の手法は、無線に依存する機能を局所化する一方で、モバイルIP技術によってオールIPネットワークに統合するというものである。MAC層技術を用いたオールIP統合無線ネットワークとして、我々はBeyond 3Gの一種であるモバイルイーサネットのアーキテクチャを提唱する。IEEE 802に規定される無線技術の標準化作業と並び、モビリティ、QoS、セキュリティを意識しつつ、無線フレームを効率よく転送できるようイーサネットフォーマットを拡張する議論が幾つか行われている。本稿では、共通シグナリング方式を用いたモバイルイーサネットでのモビリティ管理及びその方式の下で実施される垂直ハンドオーバーについて論じる。共通シグナリングによってW-CDMAとIEEE 802.11bを収容するモバイルイーサネットを考え、屋外のテストベッド環境を用いて垂直ハンドオーバーのパフォーマンス評価を実施する。ハンドオーバーにおけるパケットロスの問題をリンク品質の閾値や端末移動速度と関連付けて論じる。また、標準化に向けた今後の問題を明らかにする。

The Beyond 3G Wireless Network, which is discussed at ITU-R, integrates various radio systems including 3G, WLAN, and 4G. It provides an all IP wireless solution to offer services taking advantage of each radio system. Current approach to integrate wireless systems is to localize wireless dependent functions and to integrate into all IP network using Mobile IP technologies. We proposed the Mobile Ethernet architecture, a Beyond 3G, as all IP integrated wireless network using MAC layer technologies. There are some discussions to extend the Ethernet format to hold wireless frames efficiently caring about Mobility, QoS, and security along with the standardization activities in IEEE802 wireless technologies. In this paper we discuss mobility using common radio signaling scheme on the Mobile Ethernet and the vertical handover on the scheme. We design the Mobile Ethernet having W-CDMA and IEEE802.11b with the common radio signaling and evaluate the vertical handover performance in an outdoor test bed environment. We describe issues on packet loss in relation to link quality threshold for handover and speed of terminal movement. We also clarify remaining issues for the standardization.

[キーワード]

モビリティ, Beyond 3G, 垂直ハンドオーバー, シグナリング, イーサネット
Mobility, Beyond 3G, Vertical handover, Signaling, Ethernet

1 はじめに

3G 移動体システムは現在の市場に既に浸透し

ており、Beyond 3G と呼ばれる次世代無線システムもまもなく登場するといわれている。Beyond 3G システムは、3G、4G、無線 LAN (WLAN) と

いった各種無線システムを統合し、オール IP の無線ソリューションを実現することによって各無線通信の利点を生かした IP サービスを提供する。IP 技術を用いることで異種無線ネットワークを一つのオール IP ネットワークに統合する作業が、現在実施されている [1] - [3]。オール IP ネットワークの基本的な考え方は、無線に依存する機能ができるだけ局所化する一方、モビリティ管理、ネットワークレベル認証、信号制御については共通の IP レイヤを設けて実現するというものである。IP ネットワークのインフラは、Provider Bridge [4] を用いた都市圏及び広域イーサネットにおいて普及しており、通信事業者用ネットワークとしても利用可能になりつつある。

無線アクセスについては 3G をベースにしたシステムが無線ネットワークとして徐々に普及してきているが、一方で費用対効果の高さによって IEEE 802.11 が急速な広がりを見せている。ただし後者の場合、サービス提供範囲は狭いエリアに限定される。IEEE 802.20 MBWA [5] ワーキンググループでは、MAN 環境での高速 IP データ転送と車両移動モビリティに最適な仕様の策定を行っている。IEEE 802 LMSC [6] をベースとする高速で広範囲な無線システムは Beyond 3G システムの重要な要素となっており、多くのシステムが IP レイヤのみならず IEEE 802 MAC 層に収束しようとしている。

端末移動についてはモバイル IP の改良 [7] によって統合無線システムのモビリティ管理を行う議論が数多くなされているが、都市圏における歩行速度でのハンドオーバについてはほとんど議題に上らない。モバイル IP の改良に関しては、階層的なネットワーク管理 [9] による効率的なルート最適化、高速ハンドオーバ [8]、制御パケット数の低減などが議論されている。異種無線システムではこうした改良が有効だが、依然としてカプセル化や多くのメッセージ交換 (例えば、端末がアクセスルータ間を移動するときの Binding Update や、Binding Update 情報の有効性を確認するための Return Routability など) が必要になる。カプセル化は処理負荷を高める上、都市圏では頻繁なハンドオーバが起こるので、上記のメッセージ交換はシグナリング処理の負荷を高める。

このようなモバイル IP によるオーバーヘッド

の問題に対しては MPLS によって解決するという提案がある。端末の移動に伴いラベルを配信することで端末の IP アドレスの変化がみえなくなり、端末・ルータ間の経路が最適化される [10]。このモビリティ制御には QoS 制御機構が使用できるという利点があるが、それでもモバイル IP と同様にパケットをカプセル化するためのオーバーヘッドが存在する。

MAC 層のモビリティ管理は IEEE 802.11 のタスクフォース F で規定されている。IAPP (Inter-Access Point Protocol) [11] では、現在のアクセスポイント (AP) と新たな AP との間での移動端末のセキュリティコンテキスト交換と、ハンドオーバ時のシームレスな転送が可能となるように設計がなされている。その上 IAPP は、モバイル IP によって提供されるモビリティ制御機能を必要としない。これはプロトコル自体にマイクロモビリティの機能が含まれており、レイヤ 2 スイッチ及び AP に登録される端末の MAC アドレスに対応するエントリが高速で更新されるためである。ハンドオーバにおいてはすべてのレイヤ 2 スイッチがトラフィックのアンカーポイントになることができるため、IP アドレスの変更を通知する必要がない。こうした仕組みによって高速なハンドオーバが実現する。一方、IAPP は MAC のブロードキャストアドレスに対してレイヤ 2 の Update フレームを送信するため、端末に関する古い情報が AP に送られる可能性がある。そのため端末の台数や端末移動の頻度によっては制御フレームのトラフィックが増え、レイヤ 2 ネットワークのスケラビリティに影響が出る。

本稿では Beyond 3G の一種であるモバイルイーサネットのアーキテクチャ及び共通シグナリング方式によるネットワーク主導ハンドオーバについて論じる。また、W-CDMA と IEEE 802.11b を備えた実際のモバイルイーサネット実装設備を使ってハンドオーバのパフォーマンス評価を実施する。

2 ではモバイルイーサネットのアーキテクチャとその構成要素について説明し、実験システムの構成要素とインタフェースを示す。続いて共通シグナリング方式とネットワーク主導ハンドオーバについて **3** で説明する。**4** では屋外環境の実験システムを用いてリアルタイム垂直ハンドオーバ

のパフォーマンス評価を実施する。パケットロスの分析を行ったあと、実際のシステムを構築する際の課題について論じる。最後にモバイルイーサネットのまとめと今後の展望について述べる。

2 モバイルイーサネットのアーキテクチャ

モバイルイーサネットはレイヤ 2 をベースとする都市圏ネットワークであり、Provider Bridge[4]などの別技術を用いることでサポートエリアを拡張できる。また、ルータを介してインターネットに接続でき、IP 通信において透過的なサービスが提供される。その様子を図 1 に示す。

モバイルイーサネットではコアネットワークにおいてすべてのメッセージが固有の MAC アドレスを用いて実質的にブロードキャストされ、共通の MAC インタフェースの先にある 3G、4G、WLAN などの各種無線システムに送られる。スケラビリティを確保するため、経路学習キャッシュを備えたレイヤ 2 スイッチをイーサネット中に配置する。あて先 MAC アドレスまでの経路はその経路上にあるすべてのスイッチが学習し、それによって無用なブロードキャストの送信がなくなる [12][13]。

無線ネットワークの移動端末はネットワークとの接続ポイントが移動によって頻繁に変わるため、経路学習キャッシュを頻繁に更新する必要がある。モバイルイーサネットには、レイヤ 2 スイッチアーキテクチャによるリアルタイムハンドオーバー機能と、リアルタイム通信を目的としたシームレスなハンドオーバーを予測する仕組みが備わっている。そのほか、モバイルイーサネットには経路学習キャッシュをスイッチ上で動的に更新するシグナリング機構が備わる。また、ブロードキャストされるシグナリングトラフィックを減らす必要がある。この機構内には、ICMPv6 Neighbor Solicitation (近隣要請) メッセージのような、上位レイヤ通信プロトコルのブロードキャストメッセージが含まれる。

モバイルイーサネットはレイヤ 2 スイッチ、共通シグナリングサーバ (CSS)、バッファリングサーバで構成される。レイヤ 2 スイッチにはゲートウェイスイッチ (GSW)、ブランチスイッチ

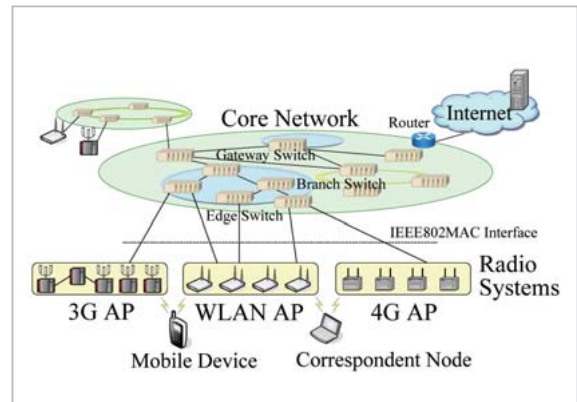


図 1 モバイルイーサネット

(BSW)、エッジスイッチ (ESW) の 3 種類がある。GSW は基本的なモビリティ機能を備える。これには、例えば、レイヤ 2 のモビリティ管理フレームを交換する MAC アドレス学習、フラッディングを不要とする IPv6 マルチキャストトラフィック制御、MAC アドレスの付け替え及び共通シグナリングサーバの MAC アドレステーブル設定に対応したインタフェースなどがある。BSW は GSW と ESW の間に介在する中継スイッチであり、基本的なモビリティ機能を備えている。ESW は MAC フレームの転送を実行する。基本機能以外にも、例えば移動端末 (MD) と CSS の間で共通の無線シグナリングメッセージを中継する。

CSS はメッセージを処理し、移動端末と各種無線システムの制御を行う。CSS は、アクセスポイント検知ができるよう、移動端末に隣接 AP のリストを通知するほか、ハンドオーバー要求などのモビリティ管理指示を与える。一方、移動端末はスリープモード中のモビリティ管理に用いられる Location Area Update メッセージや、ネットワーク主導ハンドオーバーにおいてトリガ時に使用される受信信号長の測定データなど、様々な共通シグナリングメッセージを発信する。バッファリングサーバは、移動端末の呼び出しのためにユーザデータフレームを蓄積する。

我々の実験システムは、W-CDMA (3G) と IEEE 802.11b という二つの無線システムが共通の MAC インタフェースを介してモバイルイーサネットにつながる構成を持つ。W-CDMA システムは 3G 移動体システムの一つであり、GTP スイッチを介して IEEE 802.11b の AP をエミュ

レートするモバイルイーサネットにつながっている。この 3G 移動体システムは以下の機器で構成される。パケットベアラサービス (UL 64 Kbps / DL 384 Kbps) の確認には NTT ドコモの FOMA (Freedom Of Mobile multimedia Access^[14]) 用 CF カードを使用する。

- (1) W-CDMA 基地局
- (2) 周波数変換機
- (3) 無線ベアラサーバ
- (4) GTP スイッチ
- (5) 無線制御サーバ
- (6) GTP スイッチ制御サーバ

モバイルイーサネットの実験装置を図 2 に示す。市販の W-CDMA 移動端末用コンパクトフラッシュ (CF) カードを使用するため、この装置では周波数変換機を用いて 3.35 GHz の周波数を使用する。移動端末には Linux 系のオープンプラットフォームが搭載され、IEEE 802.11b 及び W-CDMA CF カードを差し込むための CF スロットが設けられている。モバイルイーサネットのスイッチにはフリースケール社製のネットワークプロセッサ C-5e を使用する。装置は 2 台のエッジスイッチと 1 台のゲートウェイスイッチとして動作する。ハードウェアには、2 MB の L3 キャッシュメモリを備えた PowerPC™ 7455 (866 MHz) 1 個と、PC133 SDRAM のメインメモリ (512 MB) が搭載されている。C-5e™ は 266 MHz で動作し、バッファメモリとして 128 MB の SDRAM を内蔵する。

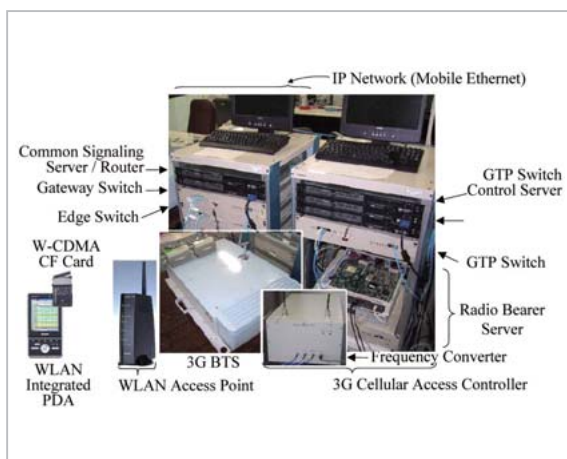


図2 W-CDMAとIEEE 802.11bの実験装置

3 共通シグナリング方式

共通シグナリング方式は、無線アクセス情報及び移動端末の移動情報をすべて用いることによって無線システムとは独立した効率的なネットワーク主導ハンドオーバを可能にする。そのため VoIP などのリアルタイムアプリケーションに対し、シームレスで予測型の無線システム間ハンドオーバを実現する。この方式には、ネットワーク主導ハンドオーバやスリープモード中の呼び出しなどの機能が備わっている。

CSS の下で、各無線システムの AP は 1 台の ESW に接続される。CSS が管理する MD のデータベースには近隣 AP のリストが付属する。MD はそのリストを定期的に更新するほか、近隣 AP のスキャンによって変化を検出したときにも更新を行う。CSS は無線リソース管理 (RRM) 機能と協力しながら受信電波強度 (RSSI) や誤り訂正率などの無線状態情報を収集する。これは移動端末と AP 間において (周期的又はイベント駆動の) 前もったタイミングで行われるフォーマットされたレポート交換によって実現される。IEEE 802.11 の WLAN には 3G とは違って一部の RRM のような仕組みがないため、IEEE 802.11 のタスクフォース K で議論されている測定インタフェース^[15] が RRM として使用される。

モバイルイーサネットのハンドオーバには二つの方式がある。一つは RRM を契機とするネットワーク主導ハンドオーバであり、もう一つは MD 側から要求される端末主導ハンドオーバである。端末主導ハンドオーバは、RSSI の急な劣化などによってネットワーク主導ハンドオーバが行えない場合に備えた予備的な方法であるため、本稿ではネットワーク主導ハンドオーバのみを扱うものとし、3G と WLAN 間のハンドオーバにはこの方式を使用している。

呼び出し処理はスリープモードで動作する。このとき MD はバッテリーの消費を防止するためウェイクアップトリガ信号のみを受信する。CSS は MD のモードとウェイクアップトリガ信号の送出先を管理する。MD がスリープモードに入る前に MD へのパケットはバッファリングサーバに格納される。なお、本稿ではネットワーク主導ハンドオーバのみを扱うものとし、この呼び出し処理

については対象外とする。

3.1 シグナリングモデル

シグナリングモデルではシグナリング領域を無線ネットワークと有線ネットワークの二つに分ける。図3に示すように、CSSはMDとESW間の領域を扱う。ESWとGSWの間ではL2モビリティ管理シグナリング(L2 Mobility Management Signaling)のメッセージが、また、ESWとCSSの間では共通モビリティ制御シグナリング(Common Mobility Control Signaling)のメッセージが使用される。このような分離を行う理由は、L2シグナリングメッセージの送付に適した方法が無線システムに依存するためである。例えばユーザは3Gシグナリングプレーンのプロトコルを変更できないため、共通無線制御シグナリング(Common Radio Control Signaling)のメッセージ送付にはPPP(Point-to-Point Protocol)が一つの選択肢となる。一方、WLANは共通無線制御シグナリングのメッセージを送出できる。このようにL2モビリティ管理シグナリングのメッセージは無線システムに依存するが、共通モビリティ制御シグナリングのメッセージは無線システムに依存しない。

3.2 ネットワーク主導ハンドオーバー

ネットワーク主導ハンドオーバーとは、MDの近隣APスキャンで得られる測定報告に基づいて生成されるトリガを契機として、ネットワークがMDに対して無線システムを現在のものから次のものに切り替えるよう要請する機能である。ハンドオーバーは、モバイルイーサネットがRRMを用いてトリガ信号を発することで、無線システム間で行われる。その手順を図4に示す。

CSSは、MDからの測定報告のほか、ESWがつながる無線システムから報告されるチャンネル/セル使用率に基づいて最良の無線システムないしAPを選択する。CSSは情報付きのHandover RequestメッセージによってMDにハンドオーバーの実行を指示する。

MDは無線システムを起動し、CSSによって指示されたAPにリンクを張る。ESWはMDからLink Upメッセージを受信すると、そのメッセージがトリガとなり、Update Entryメッセージを

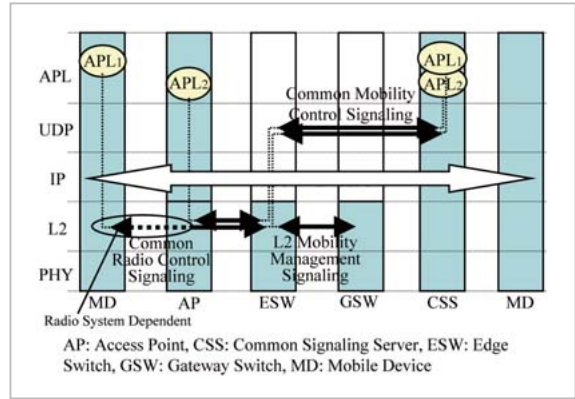


図3 シグナリングモデル

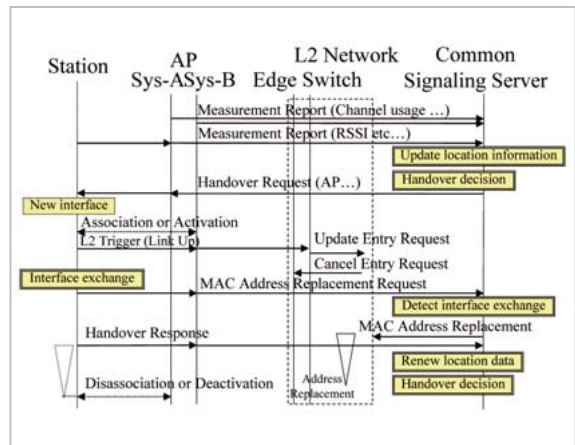


図4 ネットワーク主導ハンドオーバー

GSWまで転送することによってパスを設定する。

続いてMDはインタフェースを無線に切り替え、MAC Address Replacement RequestメッセージをCSSに送信する。これはIPアドレスとMACアドレスの対応を更新するためである。CSSはMAC Address Replacement Requestメッセージを受信すると、古いMACアドレスにあてたフレームを用いて旧MACアドレスを新アドレスに書き換えるようGSWに要請する。

ネットワークアクセス費用が固定だと仮定すると、MDは以前の接続を維持したままインタフェースを切り替える。その場合、MDは接続を切断する必要はなく、Link Upトリガを送って旧インタフェースを新インタフェースに切り替えればよい。この機能を実現するには、通信プロトコルを維持したまま無線システムのリンクのみを切断する必要がある。

ハンドオーバー処理は基本的にネットワーク側から行うものだが、MDとAP間のリンク品質が急に悪化した場合など、ネットワーク主導ハンド

オーバが実行できないときは端末主導ハンドオーバが使用される。MD はハンドオーバの決定、新 AP との接続及び ESW への Link Up トリガの送信を行う。MAC Address Replacement Request メッセージも GSW への経路をたどって CSS に送られる。また、インタフェースの切替えが終わると MD は測定報告を CSS に送信し、ハンドオーバの完了を通知する。この通知はネットワーク主導ハンドオーバのトリガではなく、位置情報更新のための測定報告である。

ネットワーク主導ハンドオーバの場合、ネットワークは MD が使う次の AP を予測できるため、リンクの準備を事前に行うことができる。リアルタイムアプリケーションの場合、これは端末主導ハンドオーバにない利点となる。

4 評価

リアルタイム垂直ハンドオーバのパフォーマンスと、W-CDMA (3G) と IEEE 802.11b (WLAN) の間の遅延について評価を行った。

図 5 に実験環境を示す。3G AP と WLAN AP が屋外に一つずつある。3G AP は建物の屋上にあり、MD が移動する全範囲をカバーする。MD には 802.11 WLAN と 3G の 2 種類のインタフェースが備わるため、利用方針に沿って適切なインタフェースが選択できる。今回の実験において、MD はハンドオーバの指針用として MD と WLAN AP 間のリンク品質を Linux ベースの無線拡張機能を用いて 3 秒ごとに測定する。リンク

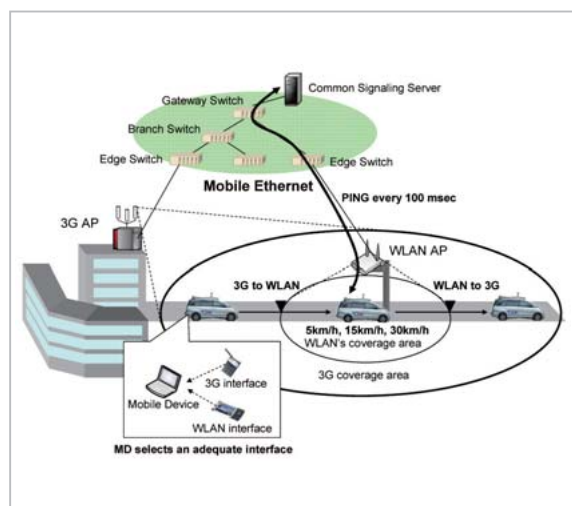


図5 実験環境の概略図

品質が Handover Initiating Threshold (HIT) より高ければ WLAN インタフェースが使用され、低ければ 3G インタフェースが使用される。

我々は垂直ハンドオーバ中のパケットロス数を測定した。パケットロスの測定には、送信間隔 100 ミリ秒の ICMP エコーメッセージを用いた。ハンドオーバを発生させるため、3G のみの領域から WLAN AP の近傍を通過して反対側の 3G のみの領域に移動した。移動には車を用い、移動速度は 5 km/h、15 km/h、30 km/h の 3 種類のいずれかで一定に維持した。また、ハンドオーバの様子を観察する際の HIT パラメータには、20 と 40 の 2 種類を用いた。

表 1 に示すのは、3G から WLAN 及び WLAN から 3G にハンドオーバしたときのパケットロス数である。値は 10 回の測定の平均である。表を見ると、パケットロス数は HIT が 40 のときのほうが少ないことが分かる。これは、WLAN のリンク品質が悪化する前に WLAN から 3G にハンドオーバされたためである。3G のネットワークインタフェースがネットワーク接続を確立するまでには 8 ~ 9 秒かかるため、その間に WLAN のリンク品質が劣化してパケットロスが発生する可能性は十分にある。特に HIT が 20 の場合にその種のケースが起きていると考えられる。

パケットロスを減らすことだけを考えれば HIT は高いほうがよい。しかし、そうすれば WLAN のアクセスエリアが狭まり、ユーザはそれだけ高速ネットワークにアクセスする機会が減る。そのため今回の件では、パケットロスの少ない安定し

表1 ハンドオーバ中のパケットロス数

		(a) From 3G to WLAN		
		Speed (km/h)		
		5	15	30
HIT	20	1	100	26
	40	1	5	-

		(b) From WLAN to 3G		
		Speed (km/h)		
		5	15	30
HIT	20	31	56	86
	40	1	19	-

た品質と、広帯域ネットワークの長時間利用とのいずれを重視するか判断が求められる。

HIT=40 かつ 30 km/h の速度ではハンドオーバーがまったく起きていない。これは高速で移動したために、MD がリンクをスキャンするインターバルの間に HIT 値を超えるリンク品質が発見できなかったためである。スキャンインターバルが短ければ、MD におけるリンク品質精度もそれだけ高くなる。しかし、リンクスキャンの回数が多いと消費電力が増え、限られたバッテリー容量の下では移動端末の動作時間が短縮されてしまう。一方、30 km/h の場合だと MD が WLAN に接続できる時間はわずか 10 ~ 20 秒程度しかないため、アクセス領域の狭い WLAN を高速移動時に使用することは実際には難しいと考えられる。

5 まとめ

本稿では、モバイルイーサネットのアーキテクチャ及び共通シグナリング方式によるネットワーク主導ハンドオーバーについて説明した。また、3G と WLAN の無線システムを備えた実際のモバイ

ルイーサネットを用い、屋外のモバイル環境におけるリアルタイム垂直ハンドオーバーのパフォーマンス評価を行った。ハンドオーバー開始閾値が高く、かつ低速移動の場合には、二つの無線システム間でシームレスなハンドオーバーが実現した。しかし、広い WLAN アクセスエリアの確保とパケットロスの減少は両立しないため、アプリケーションや環境に応じて最良の閾値を動的に設定する方法を見つけることが必要である。

我々はこの課題を近い将来に解決し、呼び出し機能を含めたモバイルイーサネットを、4G と呼ばれる次世代無線システムに使用したいと考えている。また、リンク品質以外にハンドオーバーのトリガとなる情報を見つける必要がある。

謝辞

三菱電機株式会社の方々にはモバイルイーサネット装置を提供していただきました。また、NTT ドコモの方々からは W-CDMA 用 CF カードの使い方について教えていただきました。関係各位に感謝いたします。

参考文献

- 1 H.Lach, C.Janneteau, and A.Petrescu, "Network Mobility in Beyond-3G Systems", IEEE Communication Magazine, pp.52-57, Jul.2003.
- 2 H.Yumiba, K.Imai, and M.Yabusaki, "IP-Based IMT Network Platform", IEEE Personal Communication Magazine, Vol.8, No.5, pp.18-23, Oct.2001.
- 3 T.Otsu, I.Okajima, N.Umeda, and Y.Yamao, "Network Architecture for Mobile Communication Systems Beyond IMT-2000", IEEE Personal Communication Magazine, Vol.8, No.5, pp.31-37, Oct.2001.
- 4 "Virtual Bridge Local Area Networks — Amendment 4 : Provider Bridge", IEEE P802.1ad/D2.0, Dec.2003.
- 5 IEEE 802.20 Mobile Broadband Wireless Access
- 6 IEEE 802 LAN/MAN Standard Committee
- 7 D.Johnson, C.Perkins, and J.Arkko, "Mobility Support in IPv6", Internet-Draft, draft-ietf-mobileip-ipv6-24.txt, Jun.2003.
- 8 R.Koodli, "Fast Handovers for Mobile IPv6", <http://www.ietf.org/internet-drafts/draft-ietf-mobileip-fast-mipv6-06.txt>, Internet-Draft, Mar.2003.
- 9 Hesham Soliman, Claude Castelluccia, Karim El-Malki, and Ludovic Bellier, "Hierarchical Mobile IPv6 mobility management (HMIPv6)", Internet-Draft, draft-ietf-mipshop-hmipv6-00.txt, Jun.2003.

- 10 Fabio M.Chiussi, Denis A.Khotimsky, and Santosh Krishnan, "Mobility Management in Third-Generation All-IP Network", IEEE Communication Magazine, pp.124-135, Sep.2002.
- 11 "Draft Recommended Practice of Multi-Vendor Access Point Interoperability via Inter-Access Point Protocol Across Distribution Systems Supporting IEEE 802.11 Operation", IEEE 802.11f/D5, Jan.2003.
- 12 M.Kuroda, M.Inoue, A.Okubo, T.Sakakura, K.Shimizu, and F.Adachi, "Scalable Mobile Ethernet and Fast Vertical Handover", IEEE Wireless Communications and Networking Conference (WCNC) 2004, Mar.2004.
- 13 A.Okubo, M.Tsuzuki, Y.Hirano, K.Shimizu, and M.Kuroda, "Evaluation of Mobile Ethernet Switch on Network Processor", Workshop on High Performance Switching and Routing (HPSR) 2004, Mar.2004.
- 14 NTT DoCoMo Technical Journal, "Special Article on IMT-2000 Services", Sep.2001.
- 15 "Specification for Radio Resource Measurement", IEEE 802.11k/D0.6, Aug.2003.



さいとうよしあ
齊藤義仰

新世代ワイヤレス研究センターユビキタスマイナルグループ専攻研究員(旧無線通信部門ワイヤレスアプリケーショングループ特別研究員) 博士(情報学)
無線通信ネットワーク



いしづけんたろう
石津健太郎

新世代ワイヤレス研究センターユビキタスマイナルグループ専攻研究員(旧無線通信部門ワイヤレスアプリケーショングループ専攻研究員) 博士(情報科学)
ユビキタスマイナルネットワークのハンドオーバー技術



みやもと 剛

新世代ワイヤレス研究センターユビキタスマイナルグループ研究員(旧無線通信部門ワイヤレスアプリケーショングループ研究員)
無線通信



くろだまさひろ
黒田正博

新世代ワイヤレス研究センターユビキタスマイナルグループ主任研究員(旧無線通信部門ワイヤレスアプリケーショングループリーダー) 工学博士
ユビキタスマイナルネットワークとその無線セキュリティ