

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

林 直樹[†] 前田 香織[†] 大石 恭弘[†] 浮田 悠太[‡] 近堂 徹[§] 相原玲二[§]

[†] 広島市立大学大学院情報科学研究科 [‡]広島市立大学情報科学部

[§]広島大学情報メディア教育研究センター

公衆無線 LAN の普及と国内外の通信事業者間の無線 LAN の相互利用（ローミング）などにより、無線 LAN において異なる通信事業者間を渡り歩いても IP 通信の継続性が維持できる移動透過通信（IP モビリティ）が必要な場面が増えている。移動端末の移動透過通信機能の支援技術として既にいくつかの提案があるが、本論文では移動端末のプロトコルスタックの変更がないようにゲートウェイ設置型の支援方法の提案とその実装について述べる。提案では IP モビリティ支援ゲートウェイにおいて、移動端末に IP モビリティ機能を提供する方法として著者らの開発している MAT（Mobility Support Architecture and Technologies）を用いる。これにより、MAT のもつ特徴の 1 つであるゲートウェイと移動端末の通信相手との直接通信が可能である。本論文ではまず、既に提案されている移動端末へのモビリティ支援の方法と比較し、提案方法の有用性を示す。また、提案するモビリティ支援ゲートウェイの構成等を詳述し、プロトタイプシステムを開発して、ゲートウェイのオーバヘッドを評価する。これにより、移動端末が大きなオーバヘッドをもつことなく移動透过通信が可能になることを示す。

A Proposal and Implementation of a Mobility Support Gateway for Legacy Nodes

Naoki Hayashi[†] Kaori Maeda[†] Yasuhiro Ohishi[†] Yuta Ukida[‡]
Tohru Kondo[§] Reiji Aibara[§]

[†]Graduate School of Information Sciences, Hiroshima City University

[‡]Faculty of Information Sciences, Hiroshima City University

[§]Information Media Center, Hiroshima University

We require mobile devices including IP mobility functions of migration between independent networks due to deployment of public wireless LANs and carriers' Wi-Fi supporting roaming functions for global carriers. Some approaches have already been proposed to provide IP mobility to legacy mobile nodes. In this paper, we propose a new approach using a mobility support gateway to provide the IP mobility function for legacy nodes. This proposal does not require any change of IP protocol stack in the mobile terminal. The mobility support gateway uses MAT (Mobility Support Architecture and Technologies), which has been proposed by the authors. By this approach using one of features of MAT, a gateway can directly communicate a legacy node without any intermediate server for IP mobility management. The paper firstly compares our proposed approach with the existing ones. Next, we describe the detail of the gateway and implementation of its prototype system. Finally, we show that legacy nodes can communicate with their correspondent nodes with small overhead on the gateway by some experimental evaluations.

1. はじめに

スマートフォンやタブレット PC などの普及により、移動通信トラヒックは増加し続け、携帯電話事業者は無線 LAN へのオフロードの取り組みを加速している[1]。公衆無線 LAN サービスの利用者数も年間 400 万人前後のペースで増加するという報告も出ており[2]、公衆無線 LAN の普及はさらに進んでいくと予想される。このように無線 LAN の広域化や通信事業者間での相互サービス利用（ローミング）が進むと、無線 LAN であっても異なる LAN を渡り歩く場面が増えてくる、そのため、異なるネットワーク間を通信が途切れることなくシームレスにハンドオーバーし、IP 通信が継続できる移動透過通信（IP モビリティ）の必要性が高まる。これに対して、既に移動端末に IP モビリティを支援する提案があり、移動端末そのものに IP モビリティ機能を搭載する端末搭載型、移動端末には手を加えることなく IP モビリティを提供するゲートウェイ型を用いる方法などがある。端末搭載型は移動端末のプロトコルスタックにモビリティ機能を搭載する必要があり利用の難易度が高い。ここで、IP スタックに変更を加えていない端末のことを以降、従来端末と呼ぶこととする。

ゲートウェイ型のうち、ゲートウェイが移動するものとして、NEMO[3]や MAT (Mobility support Architecture and Technologies) [4]を使った移動ゲートウェイ[5]があり、ゲートウェイが移動しないものとして PMIPv6 (Proxy-Mobile IPv6) [6] や MAT-PortGuard[7]がある。これらはいずれも移動する従来端末には手を加えることなく、ゲートウェイに IP モビリティ機能をもたせる。ゲートウェイが移動する場合、端末搭載型と同様に IP モビリティ機能の搭載装置をエンドユーザに近いところで利用することになり、装置の保守運用の煩雑さの課題をもつ。

一方、移動しないゲートウェイの場合、IP モビリティ機能をユーザ側に委ねずに提供できる。既に NFV (Network Function Virtualization) では EPC や無線 LAN のアクセスポイントなどのネットワーク機器を仮想化し、機器導入や維持のコストを低減し、機能の柔軟な着脱や拡張、連携が可能になる利点をもつことが示されてお

り、プロバイダ側が IP モビリティ機能をネットワーク機能の 1 つとして提供することが可能になっている。そこで、本研究では 移動しない IP モビリティ支援ゲートウェイを新たに提案することとした。この研究の目標は、PMIPv6 などゲートウェイによる IP モビリティ提供方法と同様、エンドユーザ側の運用保守のコスト軽減ができる IP モビリティの提供方法を提案することである。ただし、提案ゲートウェイを利用する従来端末はシグナリングを行うアプリケーションを導入することや MIPv6[8]以外の IP モビリティ方式を採用することで、PMIPv6 がもつ様々な問題[9][10][11]を解決する。

本提案では、IP モビリティアーキテクチャのひとつである MAT [4]を用いて、従来端末に IP モビリティを提供するゲートウェイを示す。MAT はアドレスマッピングの際に PMIPv6 の Local Mobility Anchor (LMA) のような特定の中継サーバを必要としないため、一点障害の問題が発生せず、移動端末 (Mobile Node : MN) が接続されたゲートウェイと通信相手端末 (Correspondent Node : CN) 間の経路最適化が可能である。提案するゲートウェイと CN の間で MAT を利用し、従来端末の IP スタックにモビリティ機能を搭載することなく CN との移動透过通信を提供する。

本稿は以降で、2 章で IP モビリティ機能を提供するゲートウェイ型の既存研究について述べる。3 章ではシステムの提案とプロトタイプシステムの実装について述べる。4 章ではプロトタイプシステムのオーバヘッドについて評価とその考察について述べる。最後に 5 章でまとめ、今後の展開について述べる。

2. 関連研究

2.1. PMIPv6

PMIPv6[6]は携帯電話網を念頭に設計されており、従来端末に何の変更を行うことなく異なるネットワーク間の移動透过通信を行うことができる。PMIPv6 では、MIPv6[8]のホームエージェントのようなはたらきを持つ Local Mobility Anchor (LMA) と、MN のデフォルトゲートウェイである Mobile Access Gateway (MAG) が双方向の IPv6-in-IPv6 トンネルを形成する。こ

のトンネルによって従来端末の送受信する全てのパケットは LMA を経由して転送される。

しかし、PMIPv6 はローカルルーティングの問題点[9]があり、全通信が LMA を通過するという一点障害の問題もある。この課題に関して PMIPv6 ではホームエージェントの冗長化などの解決案が提案されているが、運用上の問題が指摘されている[10]。マルチキャストでは、トンネル経路によって通信の処理効率が悪くなる問題がある[11]。MAG は配下の端末全てと双方向トンネルを形成するため、移動端末数が多い場合、MAG 配下に同じマルチキャストを受信する端末が存在したとしても、それぞれの端末、トンネルにユニキャストのように配信してしまい、マルチキャストの利点であるリソースの共有ができない。この問題点を解決する研究もあるが[11][12]、それぞれ追加の改良を要している。本提案は PMIPv6 と同様の目的であるが、トンネル経路を用いない MAT を使用している点で異なる。

また、PMIPv6 は端末の検知に RS 及び RA を用いる。そのため、偽装 RS による通信の傍受などの危険性がある。本提案では端末の検知に独自のセキュアなシグナリングを用いるためこの危険性は無い。

2.2. MAT 及び MAT-PORTGUARD

MAT は端末単位のモビリティやネットワーク単位のモビリティを提供する IP モビリティーキテクチャである[4]。MAT の特徴として、MN と CN が MIPv6 のホームエージェントのような中継サーバを介すことなく直接通信を行う点が挙げられる。MAT では端末を識別するアドレスであるホームアドレス (HoA) と、端末の位置を識別するアドレスであるモバイルアドレス (MoA) の相互変換によりモビリティを確保するが、この変換を MN と CN がそれぞれ自身で行う。このマッピングのため、MN 及び CN はアドレス変換テーブル (IMT) というテーブルを持つ。MN と CN は自身の IMT を、アドレス変換サーバ (IMS) から MN のマッピング情報を呼び出し、自身の IMT を更新する。MN はマッピングの更新を IMS に送信することで、MoA を IMS に反映し続ける。MN の IMT を IMS に

更新するタイミングは、MN が異なるネットワークへ移動したときである。また、CN はマッピングエントリの生存時間超過か、MN からのシグナリングをトリガーに IMS へ自身の IMT を更新するためのクエリを送信する。IMS は MN の MoA を更新するためだけに存在し、MN と CN 間の全ての通信は IMS を介さないという点がホームエージェントと大きく異なる。また、IMS は DNS と同様に分散配置が可能である。

MAT のモビリティ機能は通信する全ての端末に MAT の搭載が必要なため、MN と CN 間のゲートウェイとして MAT-PortGuard[7]が提案された。MAT-PortGuard は、従来端末固有のアドレスを MoA に変換するマッピング機能を持つ。従来端末固有のアドレスは、全ての MAT-PortGuard 下で用いる通常の IP アドレスと、従来端末の MAC アドレスから成る。MAT-PortGuard が CN と直接通信を行うためこの手法では三角経路のようなルーティングの問題はない。しかし、MAT-PortGuard の認証機構を通さなければならないため、従来端末の移動は同一組織の管理下ドメイン間の移動に限られる。そのため、MAT-PortGuard は広域なネットワーク移動には適さない。

3. 提案するモビリティ支援ゲートウェイ

我々が提案するゲートウェイは、移動端末が無線 LAN を使用して異なるネットワーク間を移動する従来端末に IP モビリティ機能を提供する。従来端末は通信アプリケーションで利用する IP アドレスを変更することなく、ネットワークの移動が可能になる。

3.1. ネットワーク構成

提案するネットワーク構成を図 1 に示す。提案するモビリティ支援ゲートウェイ (Mobility Support Gateway : MSG) は ISP によって提供される無線アクセスポイントや P2P 接続の終端など、ルーティングの直前の位置に設置する。MSG は MAT を導入することで IP モビリティ機能を提供する。従来端末 (Legacy Node : LN) はある MSG から他の MSG への移動の際、最寄りの MSG を用いることでシームレスハンドオーバを行う。ただし、LN は常に同一の無線インタ

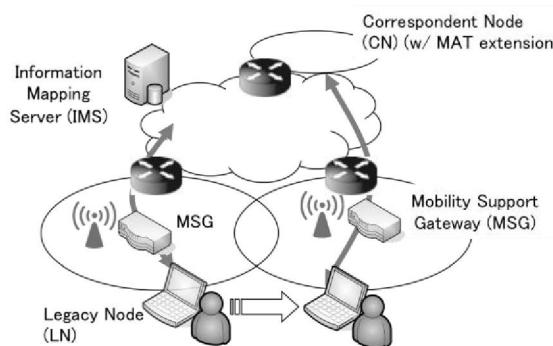


図 1：ネットワーク構成

フェースを使用して通信するものとする。LN の通信相手である CN は MAT の IP モビリティ機能を持つ必要がある。ここで、移動端末のほとんどの通信はサーバ・クライアント型であるため、CN は Web サービスのようなサーバであることを想定している。サーバ側への MAT の搭載は、移動端末全てへの搭載に比べ難しくないと想定するが、必要に応じて MAT 未搭載のサーバのデフォルトゲートウェイとして MSG を配置することでサーバも改変なく使うことが可能である。

IMS はそれぞれの LN の HoA と現在の MoA のマッピングテーブルを持つアドレスマッピングサーバである。LN が異なるネットワークへ移動する際、MSG によって IMS のマッピングテーブルが更新される。

3.2. 構成要素の識別とアドレス変換

図 2 にアーキテクチャの構成要素で用いられる識別子（アドレス）と互いのアドレス変換を示す。図 2 では IMS は 1 台であるが、DNS のような分散配置も可能である。アドレスは 3 種類存在する。

1 つ目は LN が MSG を通じて CN と通信するために用いる Unique Local Address (ULA) である。ULA が変更されるのを防ぐため、すべての MSG はすべての LN に対して共通の ULA プレフィックスを使用する。ULA は RFC4193[13] 準拠で作成されることとする。本提案では全ての MSG が 1 つの ISP で共有されることを想定しているので、ULA を使用することとし、共通の ULA プレフィックスを使用したが、同様の方針で運用できるプレフィックスがあれば ULA に

こだわる必要はない。MSG が異なる ISP 間で共有して運用する場合は、使用する ULA プレフィックス等の様々な取り決めが必要になる。

2 つめのアドレスは、トランスポート層とアプリケーション層での識別子として使用される HoA である。HoA は実際の通信では使用されない。HoA は前もってそれぞれのノードに割り当てられる。LN は従来端末であるため、LN が MSG に接続するときには単に ULA を用いる。その際、新しい MSG に ULA 及び HoA を知らせる。一方で、CN はトランスポート層やその上位層での通信の識別のために HoA を使用する。

3 つめは、実際の通信で位置の判断に用いられる MoA である。MSG は、MSG のアドレスプールからそれぞれの LN に MoA を割り当てる。MSG は前もって ISP から提供された MoA プレフィックスを持つはずである。LN はその MoA を知らないが、MSG と CN はネットワーク層の通信のための LN の MoA を知っている。CN もまた MAT を搭載しているため HoA と MoA の組を持つ。HoA と対応する MoA 間のアドレス変換は、次の節で記述する MAT によって行われる。

LN は 3 つのアドレスを変換しながら CN と通信するが、CN には LN のアドレスは常に HoA のみが見えており、それを用いて通信するので、移動透過程が保たれる。

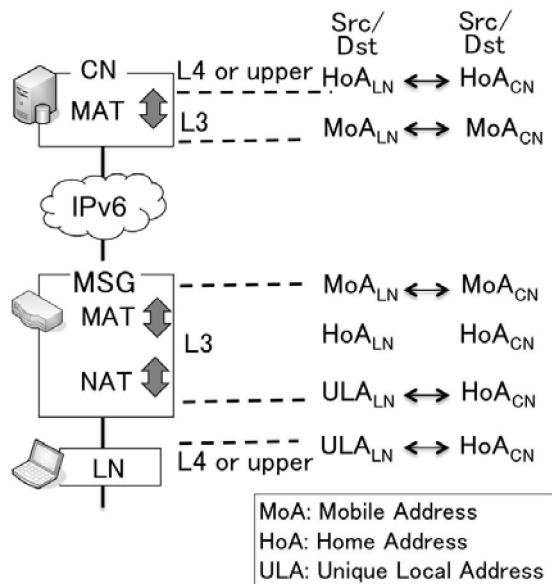


図 2：構成要素のアドレスとアドレス変換

3.3. MSG の機能

MSG には主に 2 つの機能がある。1 つは ULA と HoA の変換で、もうひとつは HoA と MoA の変換である。

(1) NAT 機能

1 つ目の機能は、各 LN に対して、LN の全てのパケットにおける ULA と HoA を変換する NAT 機能である。MSG が LN から移動通知メッセージを受け取ると、MSG はその ULA と LN の HoA を自身の NAT テーブルに反映し、更新する。

(2) LN にモビリティ機能を提供するプロキシ機能

2 つ目の機能は、LN に IP モビリティを与るために使われる、LN の HoA と MoA のマッピング機能である。これは MAT によるアドレスマッピング機能そのものである。MSG が LN から移動通知メッセージを受け取ると、MSG は LN の HoA に対応する MoA をマッピングする。同時に IMS の IMT を更新する。これらの更新の後に、MSG は LN に通信確立メッセージを送信する。このプロキシ機能によって、LN は CN と通信することができる。

3.4. LN でのシグナリング機能

各 LN は MSG に提供される IP モビリティを利用するために、3 種類のシグナリングを行う必要がある。ひとつは LN が移動し、新しい MSG を検知したときに移動を通知するメッセージ（移動通知メッセージ）である。移動通知メッセージのフォーマットを図 3 (a) に示す。通知メッセージは LN の HoA と IMS の IMT をアップデートするための認証鍵で構成される。尚、これらのパラメータは全て MAT の利用に用いられる。LN の HoA と認証鍵は任意の IMS から前もって届けられるはずである。

2 つ目のメッセージは LN と MSG のコネクション確立のために用いられる。MSG が MAT のハンドオーバ処理を終えると、MSG はコネクション確立メッセージを LN に送り、LN はそれに対する Ack を MSG に送信する。

3 つめはコネクションが LN と MSG の間で有効であるかを確認するものである。LN はこのメ

0	7 8	15 16	23 24	31
ID 0000 000 / AU = 1	MTYPE = 1		RCODE = 0	
NUM = 0 LENGTH = 24 + SIGLEN				
Home Address [128]				
0	PLEN of HoA (8)		0	
TIMESTAMP [32]				
SIGNATURE (128 bits in the case of MD5)				

(a) 移動通知メッセージ
(Movement notification message)

0	16	31
MTYPE = \$var	Message Length = 8	LN_ID
Movement notification ACK	\$var = 2	
Connection establishment	\$var = 3	
Connection establishment ACK	\$var = 4	
Connection active	\$var = 5	
Connection active ACK	\$var = 6	
LN_ID : LN's identification assigned MSG		

(b) その他のメッセージ
図 3：メッセージフォーマット

セージを MSG に対して定期的に送信し、MSG はこのメッセージを一定時間受け取らなかった場合、NAT テーブルの LN のエントリを削除する。移動通知メッセージを除くメッセージのフォーマットを図 3 (b) に示す。例えば、MTYPE が 2 のときは移動通知メッセージに対する Ack のメッセージを表す。

LN は常に自身のリンク状態を監視している。LN が現在の MSG と異なる MSG に接続するとき、LN は移動通知メッセージを MSG に送信する。

このシグナリングのため、各 LN にはシグナリングを行うアプリケーションの導入が必要である。導入にはコストが必要だが、PMIPv6 の RS および RA を用いた処理に比べ、鍵交換などの拡張が行えるため、セキュリティ面での問題点を解消している。

また、今回は LN の移動検知に上記シグナリングを用いているが、携帯網など端末の識別機能がネットワーク側に存在する場合はシグナリングを行う必要はなく、別の手法で LN を検知する必要がある。

3.5. 通信フロー

LN が現在の MSG から異なる MSG に移動したとき、LN が通信確立にいたるまでのメッセージフローを図 4 に示す。LN が新たな接続先の MSG に移動通知メッセージを送信すると、

MSG はそれを受信し、 ULA と LN の HoA のマッピングを更新する。更新が終わると MSG は移動通知メッセージに対しての Ack を返信する。

MSG が LN に新しい MoA を割り当てた後、 MSG は IMS Update メッセージを送信し、 LN の MoA を IMS に通知し、 LN の HoA と MoA のマッピングを更新する。次に、 MSG は CN のマッピング情報を更新させるため Mapping Update メッセージを CN に送信する。 CN は Mapping Update Ack メッセージを返した後、 IMS request メッセージを用いて、 MSG に更新された新しい IMS のマッピング情報を取得する。問題がなければ、 IMS は reply を返す。これらの流れは元々の MAT と同様である。

最後に、 MSG は通信確立メッセージを LN に通知する。 MSG に Ack メッセージを返した後、 LN は新しい通信を開始することができる。

3.6. プロトタイプ実装

MSG のプロトタイプ実装には C 言語を用いた。 LN のシグナリングアプリケーションは Linux (linux-2.6.32.16) に実装し、新たな MSG を発見し、接続を行うアプリケーションには、 Linux, BSD, Mac OS X での無線通信用常駐アプリケーションである wpa_supplicant を用いた。今回の実装では MSG の検索は 0.1 秒ごとに行い、 LN の移動検知には wpa_supplicant による接続 AP の BSSID 照会を用いている。

MSG では、 LN とのシグナリング及び NAT テーブルの更新機能は、 LN のアプリケーションと同じ環境に実装を行った。また、一般的な NAT66 (NPTv6) [14] は IPv6 プレフィックスのみをステートレス変換するのに対し、 MSG の実装では、 1 対 1 に対応した ULA と HoA を、前者をローカル側、後者をグローバル側のアドレスとして 128bit 全ての変換を行う。

4. 評価・考察

LN におけるシグナリングアプリケーション及び MSG の実用性を示すため、このアプリケーションの常駐 CPU 負荷と、 MSG を用いての通信確立処理時間オーバヘッドの測定を行った。

4.1. オーバヘッド評価

(1) LN におけるシグナリングアプリケーションの負荷

LN におけるシグナリングアプリケーションは常駐型プログラムである。このプログラムの負荷を評価するため、 top コマンドを用いて CPU 使用率を計測した。計測は 5 秒に 1 回、計 10 分間行った。表 1 に LN と MSG の諸元を示す。全 120 回の計測の平均値は 0.39% であった。比較対象として、 Linux の X Window System の GUI プロセスである Xorg も同様に測定を行い、その結果は 1.98% となった。

この実験では周囲の MSG の検索を 100ms 間隔で行っており、この間隔を狭めると CPU 使用率は上昇する。実際に、検索間隔を 10ms, 1ms に設定した場合、 CPU 使用率はそれぞれ 2~3%, 4~5% まで上昇した。

(2) 通信確立時間

次に、 LN と CN との通信確立処理にかかる時間を評価する。 LN と MSG 間の処理を図 4 の LN process とし、 MSG, IMS, CN 間の処理 MAT process とし、各時間を測定した。 LN 及び MSG の諸元は表 1 である。各プロセスを 10 回計測した結果の平均値を表 2 に示す。 LN と MSG との通信媒体には Wi-Fi (IEEE802.11g) を用いた。今回の実験では MSG を用いた通信確

表 1：機器の諸元

	CPU	Memory	OS
LN	Core2Duo2.0GHz	2GB	Fedora 14
MSG	Core2Duo2.4GHz	2GB	Fedora 14

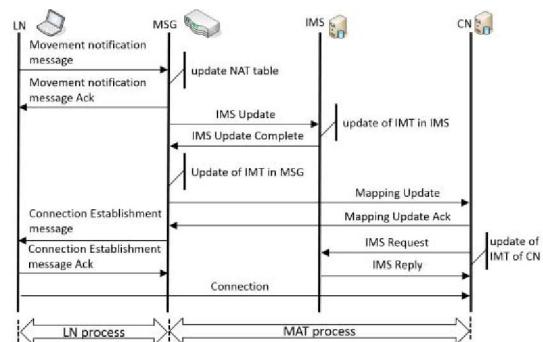


図 4：通信確立までのメッセージフロー

表 2 : 測定結果

プロセス	処理時間
LN process	19.9ms
MAT process	1.95ms
合計	21.85ms

立には LN process での経過時間と MAT process での処理時間を合計した、約 22ms がオーバヘッドとなる。LN process の処理時間には wpa_supplicant での処理時間 7.3ms(平均)や LN と MSG 間の RTT 6.5ms (平均) も含まれている。

4.2. 考察

LN のシグナリングアプリケーションの CPU 負荷測定結果から、このシグナリングアプリケーションは LN の他プロセスに影響を与えることなく使用できることがわかり、現行のスマートフォンなどで運用しても問題が無いと推測できる。

通信確立処理時間の測定では、理想的な環境の場合、通信確立処理時間のうち LN process そのものの処理時間は 10ms 以下と十分に短いことがわかった。ただし、実際の通信確立処理時間は 2 つの要因によって大きく変化する。ひとつは LN アプリケーションの新規 MSG 検索間隔である。計測した時間は移動通知メッセージを送信した直後からのものであり、実際の通信再開まではそれ以前の MSG の検索や MSG との接続再開までの処理時間が存在する。もうひとつは、MSG と IMS や CN 間の距離によるシグナリングの往来時間の増減である。

Wi-Fi は最初の通信確立まで時間がかかる。IEEE802.11ai FILS (Fast Initial Link Setup) [15] ではコネクションの確立に 100ms 未満の時間を要する[16]。前述の測定及び考察で、シグナリングアプリケーションの MSG 検索間隔を 100ms に設定したのは、FILS が十分に普及することを想定したためである。検索間隔を狭めるとシグナリングアプリケーションの CPU 占有率が上昇することを確認しており、FILS を想定しても 100ms 以下に設定したとしても新規 MSG を発見するまでの時間に大きな改善は見られな

いため、検索間隔として 100ms は妥当であるといえる。

現在、プロトタイプの実装中で、完成後は以下のようない点について評価や検討をしていく予定である。

1 つは MSG におけるアドレス変換によるオーバヘッドである。MSG では 2 回のアドレス変換を行う。1 回は NAT による ULA/HoA の変換で、もう 1 回は MAT による HoA/MoA 変換である。1 台の MSG 配下の LN の数によるこれらの処理負荷の増減についても考察が必要である。これらについては実装が全て完了した後で評価を行う。

もうひとつは通信のセキュリティに関してである。現在の実装では、LN は MSG を信頼して暗号化などのセキュリティ処理を行わず認証鍵を送信する。鍵情報の盗聴などを避けるため、SSH などの既存の暗号化処理の導入が必要である。

5.おわりに

本研究では 無線 LAN の普及の増加を対象にし、無線 LAN において、異なる LAN を渡り歩く場合に移動端末の通信が継続できるためのシステムの提案と実装をした。プロバイダ側が IP モビリティをネットワーク機能の 1 つとして提供することを想定し、移動しない IP モビリティ支援ゲートウェイを提案し、プロトタイプシステムを実装した。提案したゲートウェイは MAT を用いて従来端末に IP モビリティ機能を提供する。オーバヘッドの評価では、提案ゲートウェイが従来端末に IP モビリティ機能の提供が可能であることを示した。提案ゲートウェイは、MIPv6 以外の IP モビリティ方式を採用し、ゲートウェイを利用する従来端末に専用のシグナリングアプリケーションを導入することで、同じ目標を持つ既存技術の PMIPv6 のルーティング面、セキュリティ面での問題点を解決している。ただし、CN も MAT 対応でなければならない。

従来端末は無線 LAN や LTE など複数のインターフェースをもつことが多いが、今回の提案では従来端末で使用する IP アドレスはインターフェースに依らずユニークなものを使うが、今回のシグナリングアプリケーションの設計では端末

内で異なるメディアを切り替えた場合のハンドオーバは対象としていない。従来端末のシグナリングアプリケーションの変更でそれも可能となるので、今後はそれも検討していく。また、プロトタイプでは未実装であるセキュアなシグナリングへの拡張についても検討する。

今回は提案したゲートウェイの機能を無線 LAN のアクセスポイントや P2P 接続の終端点などルーティングポイント以前の実装置に導入することを想定してプロトタイプシステムを開発したが、冒頭に記述した通り、こうしたネットワーク機能は VNF (Virtualized Network Function) としてネットワーク側で仮想的に動作させることも可能である。今後は VNF として実装することを検討している。

謝辞

本研究にあたって、システムの設計について意見交換して頂いた MAT プロジェクトメンバーの皆様に感謝します。なお、本研究の一部は日本学術振興会科学研究費助成金 24300027, 24500083 の支援を受けて実施しています。

参考文献

- [1] 総務省無線 LAN ビジネス研究会報告書, Jul. 2013.
http://www.soumu.go.jp/main_content/000168906.pdf
- [2] ICT 総研, 2013 年度公衆無線 LAN サービス利用者動向調査, Dec. 2013.
- [3] V.Devarapalli, R. Wakikawa, A. Petrescu, and P. Thubert, "Network Mobility (NEMO) Basic Support Protocol," Internet Engineering Task Force (IETF), RFC 3963, Jan. 2005.
- [4] 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.
- [5] 関頤生, 岩田裕貴, 森廣勇人, 前田香織, 近堂徹, 岸場清悟, 西村浩二, 相原玲二 "IPv4 拡張した移動透過通信アーキテクチャ MAT の設計と性能評価," 情報処理学会論文誌, Vol.52, No.3, pp.1323-1333, Mar. 2011.
- [6] S. Gundavelli, K. Leung, V. Devarapalli, K. Chowdhury, B. Patil, "Proxy Mobile IPv6," Internet Engineering Task Force (IETF), RFC5213, Aug. 2008.
- [7] Kouji Nishimura, Akio Seki, Hajime Masaoka, Tohru Kondo, Koichi Tashima, Seigo Kishiba, Reiji Aibara, "Realizing Policy Roaming by Cooperating Edge-Mobility and Authentication Systems," IEEE/IPSJ 12th International Symposium on Applications and the Internet, pp. 285-288, Aug. 2008.
- [8] D.B.Johnson, C.E. Perkins, and Jarkko, "Mobility Support in IPv6, "Internet Engineering Task Force (IETF) , RFC3775, June 2004.
- [9] M.Liebsch Ed., S.Jeong, Q.Wu, "Proxy Mobile IPv6 (PMIPv6) Localized Routing Problem Statement," Internet Engineering Task Force (IETF), RFC6279, June 2011.
- [10] 広渕崇宏他, "仮想マシンに対して透過的な Client Mobile IPv6 トンネリング機構," 電子情報通信学会論文誌 B, Vol.J95-B, No.10, pp.1239-1252, Oct. 2012.
- [11] H. Asaeda, P. Seite, "Multicast Routing Optimization by PIM-SM with PMIPv6," Internet-Draft , draft-asaeda-multimob-pmip6-extension-11, Oct.2012. (Expires: Apr. 2013)
- [12] Schmidt, T., Waehlisch, M., and S. Krishnan, "Base Deployment for Multicast Listener Support in Proxy Mobile IPv6 (PMIPv6) Domains," Internet Engineering Task Force (IETF) , RFC 6224, Apr. 2011.
- [13] R. Hinden, B. Haberman, "Unique Local IPv6 Unicast Addresses," Internet Engineering Task Force (IETF), RFC4193, Aug. 2005.
- [14] M. Wassernan, F. Baker, "IPv6-to-IPv6 Network Prefix Translation," Internet Engineering Task Force (IETF), RFC6296, Aug. 2011.
- [15] "Status of Project IEEE802.11ai" Hope page,
http://www.ieee802.org/11/Reports/tgai_up_date.htm, 2014.
- [16] Eng Hwee Ong, "Performance analysis of fast initial link setup for IEEE 802.11ai WLANs," Proc. of 23rd IEEE International Symposium on Personal, Indoor and Mobile Radio Communications(PIMRC), pp.1279-1284, Sept. 2012.