

アドレス変換方式による移動透過インターネットアーキテクチャ

相原 玲 二[†] 藤田 貴 大^{††}
前田 香 織^{†††} 野村 嘉 洋^{††}

本論文では、ノードがネットワークを越えて移動しても同一アドレスを使用して通信を開始・継続することができる、インターネット上の新たなアーキテクチャとして、Mobile IP with Address Translation (MAT) を提案する。移動透過性実現のため、MAT ではノードを識別する IP アドレスを、ノード識別子と位置指示子に区別して扱い、両者を IP Address Mapping Server (IMS) により対応づける。通信相手が MAT 対応ノードか否か (アドレス変換の要/不要) の判断および IMS の探索には DNS を用いる。MAT は IPv4, IPv6 いずれにも対応でき、きわめて多数のノードが移動ノードとなる場合にも対応できる。本論文では MAT アーキテクチャについて述べ、プロトタイプ実装および評価などにより、MAT は許容できるオーバーヘッドで移動透過性を実現可能であることを示す。

Mobile Internet Architecture with Address Translation

REIJI AIBARA,[†] TAKAHIRO FUJITA,^{††} KAORI MAEDA^{†††}
and YOSHIHIRO NOMURA^{††}

In this paper, we propose a new architecture providing mobility support in the Internet, called Mobile IP with Address Translation (MAT). Mobility support means that communications to/from a mobile node can be started and continued without changing its IP address whenever the node moves through networks. To realize mobility support, a node supporting MAT has two IP addresses corresponding to a node identifier and a locator of the node. These two addresses are mapped by an IP Address Mapping Server (IMS). We use the Internet DNS to distinguish whether a node is supporting MAT or not, and to search IMSs. MAT can be applied to both IPv4 and IPv6, and has an advantage in the case that there are many mobile nodes. We describe MAT architecture and show mobility support of MAT by implementation of a prototype system and its evaluations.

1. はじめに

モバイルコンピューティング環境や Peer-to-Peer (P2P) アプリケーションの発展により、移動透過性、すなわちノードがネットワークを越えて移動しても同一アドレスを使用して通信を開始・継続することができることが要求されている。インターネット上で移動透過性を満たすためには、

- ノードはインターネット上の接続位置に依存しない固有のノード識別子を持つ、
- ノードがネットワークを移動しても、そのノード

と確立したコネクションが切れない、

という条件が要求されるが、現在の TCP/IP はこの条件を満たしていない¹⁾。TCP/IP におけるノード識別子は IP アドレスであるが、IP アドレスには経路を決定するネットワーク部を含むため、ノードの接続位置を示す位置指示子の役割も含まれている。ネットワークを越えて次々と移動することができるノードを移動ノード (Mobile Node) と呼ぶが、TCP/IP ではネットワークの移動前後で移動ノードには異なる IP アドレスが与えられ、その結果、ノード識別子が変わり、移動ノードは通信を継続することができない。

インターネット上で移動透過性を実現するためのアーキテクチャとして、Mobile IP²⁾、Mobile IPv6³⁾、Location Independent Network Architecture (LINA)⁴⁾ などが提案されている。Mobile IP は IPv4 との互換性を重視した方式で、移動ノードの位置情報を管理するホームエージェントと呼ばれるノード

[†] 広島大学情報メディア教育研究センター
Information Media Center, Hiroshima University

^{††} 広島大学大学院工学研究科
Graduate School of Engineering, Hiroshima University

^{†††} 広島市立大学情報処理センター
Information Processing Center, Hiroshima City University

ドが導入され、移動ノード宛の通信は必ずホームエージェントを経由して行う。したがって、通信が冗長な経路(三角経路)を通ることになり、また、ホームエージェントは複数設置できないため一点障害問題を持つ。さらに移動ノードから送出するパケットの送信元アドレスとしてノード識別子の IP アドレスを使うが、移動ノードがその時点で接続しているネットワークのアドレスとは異なるため、途中のルータでヘッダ偽装と疑われ、パケットが廃棄される可能性も高い。Mobile IPv6 では拡張ヘッダの導入などにより、Mobile IP で問題となった冗長経路や送信元アドレスの問題は解決されたが、ホームエージェントの一点障害問題は残っている。また、ヘッダ長が長くなったことによるオーバーヘッドは、VoIP など短いパケット長による通信が前提のアプリケーションにとっては大きな問題である。

LINA は移動ノードのノード識別子と位置指示子を分離するための縮退アドレスモデルを導入したアーキテクチャで、これを IPv6 に適用したプロトコルが LIN6^(4,5) である。LIN6 の縮退アドレスモデルでは、移動ノードの IPv6 アドレスのうち、上位 64 ビットを位置指示子、下位 64 ビットをノード識別子として扱う。ノード識別子と位置指示子の変換はネットワーク層で行われ、上位 64 ビットを LIN6 プレフィックスという固定値に置き換えることで、上位層では普通の IP アドレスとして扱える。LIN6 では Mobile IP や Mobile IPv6 における問題点は解決されているが、グローバルユニークなノード識別子と位置指示子を、同時に IP アドレス(LIN6 アドレス)に埋め込むため、アドレスフィールドの利用効率が極端に低くなる。そのため、IPv4 に対して現実的には適用不可能であり、IPv6 であっても将来、問題となりうる。また、IP アドレスとは別に、ノード識別子(LIN6 ID)のグローバルユニークな割当て方法を新たに構築する必要が生じるなどの問題もある。

一方、移動ノードが頻繁にネットワークを移動する状況を想定し、接続ポイントを変更するハンドオフ時の接続断絶時間を極力短くするための提案も活発に行われている。特に、無線ネットワークなど特定ドメイン内での移動をマイクロモビリティと呼び、その範囲内の移動に限ってハンドオフ問題を解決しようとする階層化 Mobile IPv6⁽⁶⁾ や Cellular IP⁽⁷⁾ など、多数の方式が提案されている。このうち、Mobile IPv6 を拡張した階層化 Mobile IPv6 は、特定ドメイン内での移動ノードの移動を管理する MAP(Mobile Anchor Point)を導入し、ドメイン内での移動情報はホームエージェントに送付しないことで、ハンドオフ時間を

削減しようとする提案である。しかし、Mobile IPv6 が持つホームエージェントの一点障害問題やヘッダ長オーバーヘッド問題などが解決されることはない。

本論文では、Mobile IPv6 や LINA(LIN6)が持つ、基本的な問題を解決し、IPv4、IPv6 いずれでも移動透過性を実現する新しいアーキテクチャ、Mobile IP with Address Translation(MAT)を提案する。最初に、MAT のプロトコル概要および動作について述べる。次に、Domain Name System(DNS)を用いたアドレス変換の詳細について述べ、プロトタイプの実装状況を示す。プロトタイプを用いたアドレス変換のオーバーヘッドや DNS 利用に関する評価を行い、今後の課題について述べる。

2. Mobile IP with Address Translation (MAT)

2.1 用語の定義

以降の説明において使用する用語を定義する。

- 通信相手ノード(Correspondent Node)とは移動ノード(Mobile Node)が通信する相手のノードを指す。
- ホームアドレス(Home Address)とは移動ノードのノード識別子として使われるグローバル IP アドレスで、トランスポート層以上で使用される。
- モバイルアドレス(Mobile Address)とは移動ノードの位置指示子として使われる IP アドレスで DHCP や IPv6 のルータ通知メッセージによって割り当てられる。
- マッピング(Mapping)とはホームアドレスとモバイルアドレスの対応付けのことを指す。
- ホームネットワーク(Home Network)とは移動ノードのホームアドレスと同じネットワークプレフィックスを持つネットワークを指す。

2.2 基本概念

MAT はトランスポート層以上(以降、上位層と呼ぶ)において、移動透過な通信を保証する。これを実現するために、MAT ではホームアドレスとモバイルアドレスのマッピング情報の管理や配送を行う IP Address Mapping Server(IMS)を導入する。また、MAT に対応したノードは IP Address Mapping Table(IMT)を保持する。図 1 のように通信相手ノードは移動ノードのノード識別子であるホームアドレスを用いてマッピング情報を IMS から取得し、IMT に登録することにより、移動ノードと通信を行う。移動ノードはネットワークを移動した場合、その位置指示子であるモバイルアドレスを IMS に通知する。通信

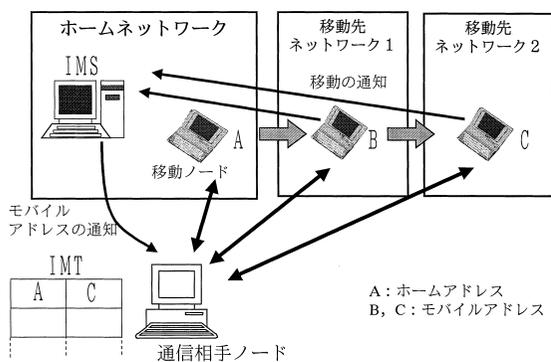


図 1 MAT の基本構成

Fig. 1 Basic concept of MAT.

相手ノードは IMS から取得した情報によって IMT を書き換える。IMT に基づくアドレス変換はネットワーク層の上位部分で行われる。こうして通信相手ノードは常時移動ノードの位置情報を知り、コネクションを切ることなく通信を継続することができる。

IMS はホームアドレスをキーとしてモバイルアドレス、移動ノードの公開鍵などを管理するサーバであり、マッピング情報のリクエストは DNS の query と類似したプロトコルを使用する。IMS 上のモバイルアドレスの更新は、移動ノードの署名付き更新要求メッセージで行い、IMS に事前に登録された公開鍵により認証を行う。移動ノードはそれぞれ対応する IMS を持つが、複数の IMS を指定することができる。これにより、DNS サーバと同様、1 台の IMS が故障した場合でも、他の IMS がバックアップする。一方、複数の移動ノードが同一の IMS を共有することもできるが、いくつかの移動ノードで IMS を共有するかの指定は自由であり、移動ノード数の増加に対するスケラビリティは確保されている。本提案では IMS と DNS サーバは移動しないノードであることを前提としている。移動ノードに対応する IMS の探索方法や悪意のある移動ノードがホームアドレスを詐称するなどのセキュリティに関する説明は後述する。

2.3 特徴

MAT の特徴を以下に示す。

- ノード識別子と位置指示子を分離し、マッピング情報として対応付ける。これは LINA と同じ設計思想である。
- ネットワーク層の上位部分においてモバイルアドレスとホームアドレスの変換を行う。移動ノードと通信相手ノードとの経路決定にはモバイルアドレスを使用するため、通信は最適経路で行え、冗長経路問題などは生じない。

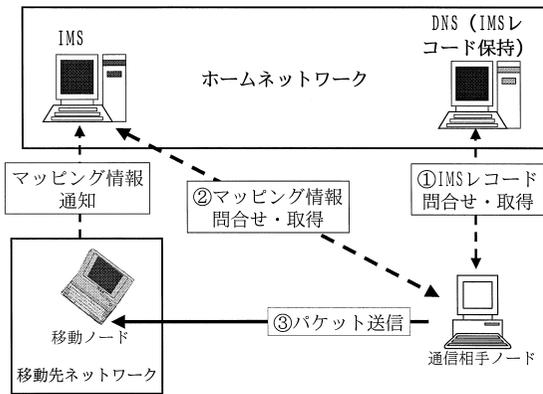
- 通信相手ノードは通信先が MAT 対応ノードか否かの判別を DNS サーバにより行う。同時に、マッピング情報を保持する IMS のアドレスを DNS サーバから取得する。
- 1 つの移動ノードに対し IMS を複数設置可能で、Mobile IP におけるホームエージェントのような一点障害問題は生じない。
- ホームアドレス、モバイルアドレスともに通常の IP アドレスを使用し、アドレスフィールドに関する制約はない。したがって、IPv4 および IPv6 に対応可能である。

LINA はアドレス長に余裕がない IPv4 には現実的には適用できないが、MAT は IPv4 であっても対応可能である。また、ノード識別子として、LINA (LIN6) ではグローバルユニークな LIN6 ID を別途割り当てる必要があるが、MAT は通常のグローバル IP アドレスを用いるため、その割当て方法はすでに確立している。

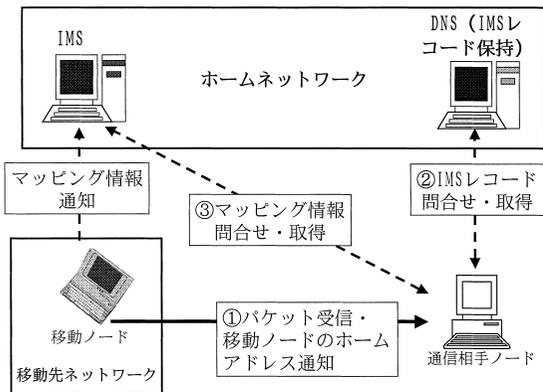
2.4 通信の開始

MAT では通信開始時に、通信相手が MAT 対応か MAT 非対応かの判別および通信相手のマッピング情報を保持する IMS のアドレスを、DNS サーバより取得する。具体的には、移動ノードのホームアドレスの DNS 逆引きゾーンに、通常存在する PTR レコードのほかに IMS レコードを追加する。IMS レコードには、該当する移動ノードに対応する IMS の IP アドレスまたはホスト名を記述する。IMS レコードは複数指定することができ、MAT 対応ノードは稼働中の IMS を選んでマッピング情報を問い合わせる。通信相手のホームアドレスに対する IMS レコードが存在しない場合、相手は MAT 非対応であると判断する。以下では、通信開始までの手順を 2 つの場合に分けて述べる。

- 通信相手ノードの packets 送信により通信開始する場合 (図 2 (a))
- 1) 通信相手ノードは DNS サーバに通信を開始する先のノードのアドレスに対する IMS レコードがあるかどうかを問い合わせる。IMS レコードが登録されていない場合、通常の通信 (アドレス変換なし) を開始する。IMS レコードが登録されている場合、送ろうとしているパケットの宛先アドレスはホームアドレスであると判断する。
 - 2) DNS サーバから得た IMS レコードから IMS の IP アドレスを取得し、該当する IMS からアドレス変換に必要なマッピング情報を取得する。マッピング情報にはホームアドレスとモバ



(a) 通信相手ノードの packets 送信により通信開始



(b) 通信相手ノードの packets 受信により通信開始

図 2 MAT における通信の開始

Fig.2 Start of communication in MAT.

イルアドレスが含まれている。

- 3) 得られたマッピング情報に基づき自身の IMT を書き換え、必要なアドレス変換手順を経て通信を開始する。

 - 通信相手ノードの packets 受信により通信開始する場合 (図 2 (b))

 - 1) MAT 対応移動ノードが通信相手ノードへ packets を送出する際、最初の数 packets に限り、ヘッダオプション (IPv4 では IP ヘッダオプションを追加定義, IPv6 では IP ヘッダの終点オプションを利用) にホームアドレスを含めて送信する。通信相手ノードはヘッダオプションから、移動ノードのホームアドレスを知ることができる。
 - 2) 得られたホームアドレスを基に、DNS サーバに通信相手の IMS レコードを問い合わせる。
 - 3) DNS サーバから得た IMS レコードから IMS の IP アドレスを取得し、該当する IMS からアドレス変換に必要なマッピング情報を取得する。
 - 4) 得られたマッピング情報に基づき自身の IMT

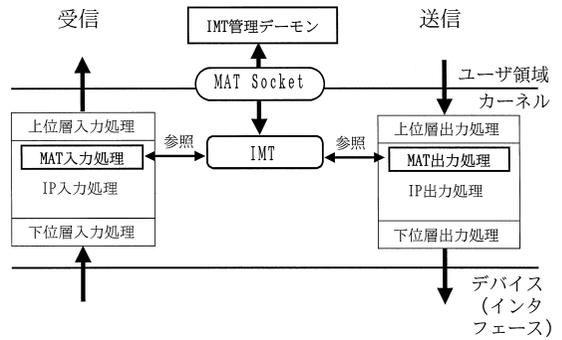


図 3 MAT の IP 層
Fig.3 IP layer in MAT.

を書き換え、必要なアドレス変換手順を経て通信を開始する。なお、マッピング情報より得られたモバイルアドレスと、最初に packets 受信した際の送信元アドレスが一致しない場合、通信を拒否する。

通信開始後、移動ノードは自分がネットワークを移動し、位置指示子であるモバイルアドレスが変更となった場合、そのつど自分のマッピング情報を管理する IMS へ更新情報を送信する。一方、通信相手ノードは移動ノードのマッピング情報を対応する IMS より取得する。マッピング情報が更新された際の再取得方法としては、高速ハンドオフを目指し IMS から通信相手ノードに対し積極的に通知する方法も検討したが、通信相手ノードの状態を管理するため IMS の処理負荷などが高くなることが予想される。そこで、IMS は対応する移動ノードのマッピング情報のみ管理し、通信相手ノードなどからの問合せにそのつど返答する方式とした。

2.5 MAT 対応ノードの動作

ここでは MAT が組み込まれたノードの内部で packets がどのように処理されているかについて述べる。動作の概要を図 3 に示す。

2.5.1 アドレス変換

ネットワーク層におけるアドレス変換のために、図 3 のように IP 処理の前後に MAT 入力処理と MAT 出力処理を追加する。デバイスから入ってきた packets は MAT 入力処理において IMT を参照することで、送信元の IP アドレスをモバイルアドレスからホームアドレスに変換して上位層に渡す。逆に、上位層から渡されたホームアドレスは MAT 出力処理において IMT を参照し、宛先をモバイルアドレスに変換して下位層に渡す。

アドレス変換時にさらに次の 2 つの処理も実行する。

- 1) トランスポート層ヘッダのチェックサム処理

トランスポート層ヘッダのチェックサムは IP アドレスを含めて計算されるが、本提案方式のトランスポート層以上ではすべてホームアドレスが使用される。したがって、IP 層でアドレス変換をすると矛盾が生じる。MAT 対応ノードどうしの通信であればそのままでも問題ないが、MAT 対応ノードと MAT 非対応ノード間の通信では、チェックサムの不一致が発生する。そのため、送信の際ホームアドレスからモバイルアドレスへの変換時にチェックサムをモバイルアドレスに基づくものに、また、受信の際モバイルアドレスからホームアドレスへの変換時にチェックサムをホームアドレスに基づくものに、それぞれ補正する。

2) インタフェースの再選択

トランスポート層ではコネクション生成時に送出インタフェース選択（経路選択）を行うが、トランスポート層に渡される宛先 IP アドレスはホームアドレスなので、ホームアドレスに基づくインタフェース選択が行われる。そこで、MAT ではアドレスの変換後にインタフェースの再選択を行う。選択されたインタフェースの情報は IMT に保持される。

2.5.2 IMT

マッピング情報はカーネル内の IMT にテーブルとして格納される。IMT にはホームアドレス、モバイルアドレス、IMS の IP アドレスなどが格納されている。

2.5.3 MAT Socket

IMS からマッピング情報を取得するのはユーザ領域で動作するアプリケーションデーモン（IMT 管理デーモン）である。そこで、カーネル内にあるテーブル IMT をユーザ領域から操作するためのインタフェースが必要となる。MAT では、可変長データの取扱いを考慮して、MAT 専用の RAW Socket（MAT Socket）を用意する。

3. プロトタイプ

移動ノードが移動透過な通信をするために最低限必要な機能を実現する MAT のプロトタイプを実装した。

3.1 MAT Socket 仕様

MAT Socket でやりとりされるデータはヘッダと複数のアドレス（128 ビットまたは 32 ビット長）からなり、ヘッダとアドレスをあわせてものをメッセージと呼ぶ。メッセージ形式はアプリケーションからカーネルへ渡すときもカーネルからアプリケーションへ返すときも変わらない。ヘッダの詳細は表 1 のとおりで

表 1 ヘッダフィールド
Table 1 Header field.

フィールド名	octet	解説
msg-len	2	ヘッダ先頭からデータ末尾までのオクテット数
version	1	バージョン番号（カーネルとアプリケーションの不整合を防ぐ）
type	1	メッセージの種類
error No.	4*	カーネル内でのエラー種別を表す番号 アプリケーションからのメッセージは 0
proc ID	4*	メッセージを送信したプロセスのプロセス番号
sequence No.	4*	アプリケーションとカーネル間でメッセージの対応をとるための番号
count	4*	ヘッダの後ろに続くアドレスの数
family	4*	ヘッダの後ろに続くアドレスの種類
Home Address	16	ホームアドレス

* : int 型を用いるので、コンパイラによって長さが変わる。

ある。

ヘッダに続くアドレスの数はメッセージタイプ（type）により決まる。プロトタイプとして実装しているメッセージは 6 種類あり、IMT レコードのセット、ホームアドレスに応じたモバイルアドレスの取得、ホームアドレスのセットなどである。

MAT Socket のアドレスファミリ（family）に AF_UNSPEC(0) が入っている場合、ホームアドレスやヘッダの後ろに続くアドレスは長さ 128 ビットで、IPv4 射影 IPv6 アドレスであれば IPv4 アドレス、それ以外であれば IPv6 アドレスと見なす。一方、family に AF_INET が指定された場合、ホームアドレスおよびヘッダの後ろに続くアドレスは IPv4 アドレスと見なし、ヘッダに続くアドレスはすべて 32 ビット長として扱う。IPv6 アドレスのみ扱うことを明示するときには、family に AF_INET6 を指定する。

3.2 アプリケーションデーモン

MAT によって移動透過な通信を行うノードでは、通信中にいくつかのアプリケーションデーモンが必要である。

3.2.1 IMT 監視デーモン

IMT 監視デーモンはマッピング情報を取得するアプリケーションである。MAT Socket を監視し、カーネルからマッピング情報のないアドレスのリストが送られると、ただちに IMS よりマッピング情報を取得する。得られたマッピング情報は、再び MAT Socket を通してカーネルに渡す。

3.2.2 インタフェース監視デーモン

インタフェース監視デーモンは、移動ノードのモバイルアドレスを管理するアプリケーションである。ノードが持つインタフェースを監視し、そのインタフェー

スに与えられるモバイルアドレスを把握する．また，ネットワークを移動したときには移動後のモバイルアドレスが取得できるよう，DHCP クライアントへの通知などの操作を行う．

3.3 実装状況

MAT のプロトタイプは FreeBSD-4.4RELEASE⁸⁾，NetBSD-1.5.2RELEASE⁹⁾，OpenBSD-3.0RELEASE¹⁰⁾ に KAME¹¹⁾ IPv6 スタックを加えた環境と Vine Linux2.1.5 (kernel 2.4.17)²⁾ に USAGI¹³⁾ IPv6 スタックを入れた環境で開発している．現在，アドレス変換部と MAT Socket 部がほぼ終了し，IMS 監視デーモンなどアプリケーションの基本部分が終了しており，DNS サーバに djbdns 1.05¹⁴⁾ を用いて評価を行っている．

4. 実験と考察

プロトタイプによる実験は図 4 に示す構成で行った．移動ノード用 PC の OS は NetBSD で CPU は PetiumIII 600 MHz，通信相手ノード用 PC の OS は OpenBSD で CPU は PetiumIII 550 MHz である．移動ノードの移動前後のネットワークや簡易 IMS のあるネットワークは互いに 10 Mbps の Ethernet で接続されている．

まず，実装したプロトタイプを用い，移動透過性の確認を行った．移動ノードを WWW サーバ，通信相手ノードを WWW クライアントとして両者の間にコネクションを張り，移動ノードがネットワークを変更した場合でも画像のダウンロードが継続することを確認した．

4.1 ネットワーク移動時のオーバーヘッド

ネットワークを移動後に移動ノードは，IPv4 の場合は DHCP で，IPv6 の場合はルータ通知メッセージによって新しい IP アドレスを取得する．その後，IMS に新しいモバイルアドレスを通知する．

IPv4 の場合の移動ノードがネットワーク間を移動した際の処理にかかる時間を測定し，移動時のオーバーヘッドを算出した．10 回の平均時間を表 2 に示す．

ここでマッピング情報伝達時間は，移動ノードが新しいネットワークのアドレスを取得完了時から，通信相手ノードがそのアドレスで送信開始可能となるまでの時間である．移動ノードがネットワークを移動した際の通信シーケンスを図 5 に示す．ただし，通信相手ノードが移動ノードの IMS アドレスを DNS キャッシュに持っていない場合は，マッピング情報取得の前に IMS アドレスの DNS への問合せが加わる．表 2 のマッピング情報伝達時間は図 5 のマッピング情報更

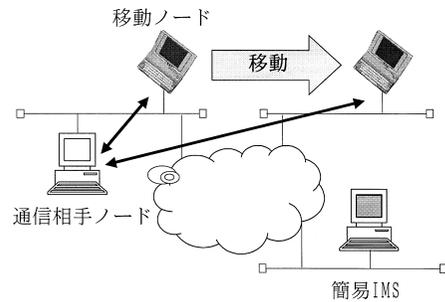


図 4 実験ネットワーク
Fig. 4 Experiment network.

表 2 ネットワーク移動のオーバーヘッド
Table 2 Overhead by moving networks.

	DHCP 取得時間	マッピング情報伝達時間
最大	10.84 [s]	0.147 [s]
最小	6.91 [s]	0.038 [s]
平均	8.65 [s]	0.094 [s]

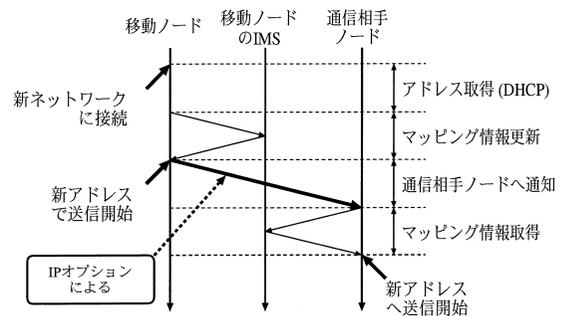


図 5 ネットワーク移動時の通信シーケンス
Fig. 5 Sequence on moving networks.

新，通信相手ノードへ通知，マッピング情報取得にかかる時間で，DNS 問合せ時間は含まれていない．なお，ここではアドレス更新時の認証機能を省略した簡易 IMS を用いた．

本実験の構成において，ネットワークの移動で通信が中断する時間は DHCP 取得時間とマッピング情報伝達時間の和となる．マッピング情報の伝達時間約 0.1 秒に比べ，DHCP による IP アドレスの取得には平均 8.6 秒という時間を要する．通信中断時間を短縮するためには高速な IP アドレス取得手段が必要である．

4.2 1 パケットあたりの送受信オーバーヘッド

アドレス変換機能として，図 3 に示す MAT 入力処理と MAT 出力処理を追加したことによる，IPv4 の 1 パケットあたり処理時間のオーバーヘッド測定結果を表 3 に示す．Pentium プロセッサのクロックカウンタを用いて，MAT を実装した場合としていない場合

表 3 1 パケットあたりの処理時間のオーバーヘッド

Table 3 Overhead by input/output for one packet.

	MAT あり	MAT なし
送信処理	16.21 [μ s]	12.57 [μ s]
受信処理	3.07 [μ s]	2.04 [μ s]

の、ネットワーク層の処理時間を測定した。scp により巨大なファイルを送信または受信し、送受信それぞれ約 10,000 パケットの処理時間の平均を求めた。

送受信ともに、数マイクロ秒程度処理時間が増加している。仮にパケットサイズ 500 バイトのパケットを 100 Mbps の伝送速度で送信した場合、約 40 マイクロ秒の転送間隔であることなどから、実験で得られた MAT のオーバーヘッドはほとんど影響ないと考えられる。

4.3 DNS および IMS 利用のオーバーヘッド

MAT では通信の開始時に、DNS サーバから IMS レコードの取得をし、さらに MAT 対応ノードについては IMS よりマッピング情報を取得する。これらにかかる時間は MAT による通信のオーバーヘッドの 1 つとして見積もっておかなければならないが、IMS レコード登録をしているネームサーバの登録個数や稼働状況に応じて、問合せ時間が大幅に異なり正確なオーバーヘッドを見積もることは困難である。IMS レコード取得の時間の目安を得るために、DNS の PTR レコード取得時間の計測実験を付録に示す。これより MAT の通信開始時のオーバーヘッドとして、DNS のデータがキャッシュされていない場合は、平均 350 ミリ秒程度増加することが予想される。さらに、IMS よりマッピング情報を得るための時間も必要である。これらのオーバーヘッドは、LIN6 など他の方式と比べ特に大きなものとはいえないが、実用上問題となるか否かの検討は今後の課題である。

4.4 MAT 非対応ノードとの通信に関する考察

移動ノードの通信相手が MAT 非対応の場合の通信可能性について考察する。(1) 移動ノードがホームネットワークに存在する(モバイルアドレスがホームアドレスと同じ)場合、MAT 非対応の通信相手ノードとの通信は通常の通信と同様に可能である。(2) 移動ノードがホームネットワークから移動しており、移動ノードから通信を開始する場合は、移動ノードが別のネットワークに移動しない限り、通信が可能である。(3) 移動ノードがホームネットワークから移動しており、MAT 非対応の通信相手ノードから通信を開始する場合は、MAT 非対応ノードは移動ノードのモバイ

表 4 提案方式の比較

Table 4 Comparison of the proposals.

	MAT	LIN6	MIPv6	MIP
送信元アドレス問題				×
HA などの一点障害問題			×	×
冗長経路問題				×
ヘッダオーバーヘッド			×	
アドレスフィールド制約		×		
DNS の逆引き		×		
ノード識別子割当て				

ルアドレスを知ることができないので、通信の開始ができない。したがって、(3) の場合のみ事実上通信ができないが、それ以外は MAT 非対応のノードとも通信可能である。また、いずれの場合もネットワーク上を流れるパケット中の移動ノードを示す IP アドレスはすべてモバイルアドレスであるが、(1) の場合のみ、それはホームアドレスと一致している。なお、途中経由するルータは基本的に MAT 対応である必要はない。

4.5 セキュリティに関する考察

セキュリティの問題として、移動ノードと IMS 間の認証問題および移動ノードから通知されたホームアドレスの詐称問題について考察する。

まず、移動ノードと IMS 間の認証は、初期設定として移動ノードの情報を IMS へ登録する際、移動ノードと IMS で共通鍵を作成し、移動の通知はその鍵による暗号化を使用することで実現する。

次に、ホームアドレス詐称問題について MAT では次のような方針をとる。現在インターネット上のほとんどのアプリケーションは DNS を信用して実行されている。これと同様に MAT でも DNS サーバから取得する IMS レコードは正しいものとする。また、前述の方法により移動ノードは自分の情報を IMS に正しく登録できるものとする。MAT は移動ノードから通知されたホームアドレスを元に、DNS および IMS サーバからマッピング情報を取得し、該当する移動ノードのモバイルアドレスを得る。こうして得られたモバイルアドレスと通信しているパケットの送信元アドレスを比較することで、詐称を検出する。

4.6 他の提案方式との比較

MAT, LINA (LIN6), モバイル IPv6 (MIPv6), モバイル IP (MIP) などに関して、問題点などをまとめたものを表 4 に示す。表から分かるとおり、LINA (LIN6) も Mobile IP や Mobile IPv6 の問題点を解決する有用なアーキテクチャである。

MAT と LINA の共通点は、移動透過性を確保するため、IP アドレスを位置指示子とノード識別子に分離し、それらの対応関係を提供するサーバ (MAT で

は IMS, LINA ではマッピングエージェント: MA) を設置 (複数可) している. このマッピング情報提供サーバの探索は DNS サーバに新たなレコード (MAT では IMS レコード, LINA では MA レコード) を追加登録して実現している. また, この 2 方式では複数インタフェースを同時にアクティブにし, いわゆるマルチホーム的な接続も検討されており, マイクロモビリティ技術や MIPv6 で提案されている Binding Update などを使わずハンドオフ問題を解決できる可能性を持っている.

一方, 相違点は 2 つの識別子の対応付けである. LINA (LIN6) では 2 つの識別子を縮退アドレスという形式で 1 つの IPv6 アドレス内に組み込む. MAT ではホームアドレスとモバイルアドレスに分け, 相互のマッピングは IMS により解決している. この違いにより, LINA は現実的に IPv4 に適用できないだけでなく, IPv6 であってもアドレスフィールドを大幅に制約してしまう. 将来, ほとんどのノードが移動ノードとなることを想定すると, この制約は致命的ともいえる.

現在利用されているアプリケーションの多くは, DNS を使用して IP アドレスからドメイン名を検索 (逆引き) する. LIN6 のノード識別子である LIN6 ID を逆引きゾーンとして登録すれば, LIN6 でも逆引きは不可能でないが, 現在の提案では DNS の逆引きについては考慮されていない.

また, MAT はノード識別子として通常のグローバル IP アドレスを用いているので, その割当てにはすでに確立した IP アドレス割当て方法がそのまま適用できるが, LIN6 では LIN6 ID の割当て方針, 方法, 組織などを新たに構築しなければならない.

5. おわりに

本論文ではインターネット上において移動透過性を保証する新しいアーキテクチャ MAT の設計とプロトタイプ実装について述べた. 現在提案されている他の方式との比較を行い, 基本的なアーキテクチャとして多数の優れた点があることを示した. ハンドオフ時の切断時間短縮のためマイクロモビリティに限定した提案が活発に行われている. MAT についても同様の考え方で拡張することは可能であるが, 我々は MAT が複数インタフェース同時利用可能である点を活かしたハンドオフ問題の解決方式を検討している. MAT は通信開始時に DNS および IMS を参照するため, そのための処理時間はオーバヘッドといえる. これらのオーバヘッドは, LIN6 など他の方式と比べ特に大き

なものとはいえないが, 実用上問題となるか否かの検討は今後の課題である. さらに, IMS および DNS との連携部分の詳細な設計および実装, 耐故障性向上のための複数 IMS 設置とその間の情報更新方法なども今後の課題である.

謝辞 本研究にあたって, DNS サーバ利用などにご協力いただいた広島大学情報メディア教育研究センター岸場清悟助手に感謝します. また, 本研究に関する議論に参加していただいた同センター西村浩二助手, 広島市立大学情報処理センター河野英太郎助手に感謝します.

参考文献

- 1) 寺岡文男: インターネットにおけるモバイル通信プロトコルの標準化動向, 電子情報通信学会論文誌, Vol.J84-B, No.10, pp.1746-1754 (2001).
- 2) Perkins, C.: IP Mobility Support for IPv4, RFC3344, IETF (2002).
- 3) Johnson, D.B. and Perkins, C.: IP Mobility Support in IPv6, Internet-draft, IETF (2002) (work in progress).
- 4) Ishiyama, M., Kunishi, M., Uehara, K., Esaki, H. and Teraoka, F.: LINA: A New Approach to Mobility Support in Wide Area Networks, *IEICE Trans. Commun.*, Vol.E84-B, No.8, pp.2076-2086 (2001).
- 5) Teraoka, F., Ishiyama, M., Uehara, K., Kunishi, M. and Esaki, H.: A Solution to Mobility and Multi-Homing in IPv6, Internet-draft, IETF (2001) (work in progress).
- 6) Soliman, H., et al.: Hierarchical MIPv6 Mobility Management (HMIPv6), Internet-draft, IETF (2001) (work in progress).
- 7) Valko, A.: Cellular IP: A New Approach to Internet Host Mobility, *ACM Computer Commun. Review*, Vol.29, No.1, pp.50-65 (1999).
- 8) The FreeBSD Project.
<http://www.freebsd.org>
- 9) The NetBSD Foundation, Inc.
<http://www.netbsd.org>
- 10) The OpenBSD Project.
<http://www.openbsd.org>
- 11) KAME Project. <http://www.kame.net>
- 12) 日本の Linux 情報. <http://www.linux.or.jp/>
- 13) 吉藤英明, 國武巧一, 関谷勇司, 山本和彦, 江崎浩, 村井 純: Linux における IPv6 標準対応—USAGI Project の取り組み, 信学技法, IA2001-6 (2001).
- 14) Benstein, D.J.: djbdns.
<http://cr.yip.to/djbdns.html>

表 5 PTR レコード取得にかかる時間
Table 5 Response time to get PTR records.

	キャッシュなし	キャッシュあり
平均応答時間	350.7 [ms]	14.88 [ms]
最小応答時間	1.743 [ms]	0.306 [ms]
最大応答時間	9663 [ms]	5012 [ms]

付 録

DNS への問合せ時間の測定

無作為に選んだ IP アドレスに対して、DNS より PTR レコードを取得するまでの時間を調べた。IP アドレス数 6,630 に対して 5 回計測した。キャッシュなしの場合、各測定間隔を 3 時間とし、途中のネームサーバにおけるキャッシュをできるだけ無効となるように考慮した。キャッシュありの場合は、同じ IP アドレスを 50 ミリ秒間隔で 2 度続けて測定した 2 回目の測定値である。測定の結果、実際に PTR レコードが取得できた IP アドレス数は 6,578 で、最大応答時間と最小応答時間、および各測定の平均応答時間の平均を表 5 に示す。

(平成 14 年 3 月 25 日受付)

(平成 14 年 10 月 7 日採録)



相原 玲二 (正会員)

1981 年広島大学工学部第二類(電気系)卒業。1986 年同大学大学院博士課程修了。同大学集積化システム研究センター助教授、同大学総合情報処理センター助教授等を経て、2001 年より同大学情報メディア教育研究センター教授。工学博士。マルチプロセッサシステムの研究、コンピュータネットワークの研究に従事。電子情報通信学会、IEEE Computer Society、IEEE Communications Society 各会員。



藤田 貴大 (学生会員)

2002 年広島市立大学情報科学部情報工学科卒業。現在、広島大学大学院工学研究科情報工学専攻博士前期課程在学。移動体通信の研究に従事。



前田 香織 (正会員)

1982 年広島大学総合科学部卒業。広島大学工学部助手、(財)放射線影響研究所技術員、広島市立大学情報科学部助手を経て、1999 年より広島市立大学情報処理センター助教授。博士(情報工学)。コンピュータネットワーク、マルチメディア情報通信に関する研究に従事。電子情報通信学会、教育システム情報学会各会員。



野村 嘉洋 (学生会員)

2000 年広島大学工学部第 2 類(電気系)卒業。現在、同大学大学院工学研究科情報工学専攻博士前期課程在学。移動体通信の研究に従事。