

# 常に最適経路で通信を行う移動透過アーキテクチャ MAT の性能評価

相原玲二† 藤田貴大† 岸場清悟† 田島浩一† 西村浩二† 前田香織‡  
† 広島大学情報メディア教育研究センター ‡ 広島市立大学情報処理センター

## Performance Evaluation of MAT : A Mobility Support Architecture without Non-Optimal Routing

Reiji Aibara† Takahiro Fujita† Seigo Kishiba† Kouichi Tashima† Kouji Nishimura† Kaori Maeda‡  
† Information Media Center, Hiroshima University  
‡ Information Processing Center, Hiroshima City University

### 概要

既存のネットワーク層での移動透過通信アーキテクチャの多くは、2点間の通信がホームエージェントなど第3のノードを経由する。ホスト単位の移動方式については経路最適化と呼ばれる手法により、通信開始後に中継ノードを経由しないよう経路変更することも可能であるが、ネットワーク単位の移動については経路最適化の議論が頓挫している。本稿では、ホスト単位、ネットワーク単位いずれの移動においても、通信開始時点から常に最適経路で通信を行う移動透過アーキテクチャ MAT について述べ、映像伝送など広帯域アプリケーションにおいて有効であることを示す。また、今後需要が高まるであろうネットワーク単位の移動についてプロトタイプ実装とその性能評価を詳細に述べる。  
キーワード：移動透過アーキテクチャ、IP モビリティサポート、ネットワークモビリティ

### 1 はじめに

携帯端末の普及や無線メディアの多様化により、移動透過通信が必要とされ、IETF ではホスト単位の移動（以下、ホストモビリティ）をネットワーク層で実現するため Mobile IPv6[1]（以下、MIP6）が提案されている。さらに、電車や自動車などの車内ネットワークや、個人が身に付けている機器を繋いで構成された PAN (Personal Area Network) など、ネットワークがその形を維持したまま移動すること（以下、ネットワークモビリティ）に対応する NEMO Basic Support[2]（以下、NEMO）も提案されている。しかし、これらの方式は原則ホームエージェント(HA)と呼ばれる特定の中継ノードを経由することから、通信経路がインターネットプロトコル上の経路制御に従わない。そのため、MIP6 では通信する両端のホストが MIP6 対応の場合、通信開始後に HA を経由しないようにトンネリング手法を用いて経路変更を行う経路最適化が導入された。しかし、HA の障害が通信に影響を及ぼす1点障害問題が残ること、すべての通信にトンネリングオーバーヘッドが付加されてしまうことなどが指摘されている[3]。さらに、MIP6 を基

に拡張された NEMO における経路最適化については議論が頓挫している。

ホストモビリティに関しては、通信開始時から最適経路で通信を行う提案として LIN6[3]や Mobile PPC[4]などがある。LIN6 はアドレスアーキテクチャに特徴がある。ホスト固有のノード識別子 (64 ビット) と、その時点で接続しているネットワーク上のアドレスである位置指示子 (64 ビット) を連結し、IPv6 アドレス (128 ビット) とする。位置指示子部分は、トランスポート層以上では常に一定の値が使用され、ネットワーク層以下でのみルーティング可能なネットワークプレフィックスに置き換えられる。そのため通信はすべて最適経路で行うことができる。LIN6 によりホストモビリティについては MIP6 の問題を解決することができたが、ノード識別子を 64 ビットに制限したことがきわめて大きな制約となり、最適経路通信を維持したネットワークモビリティへの拡張は困難である。事実、LIN6 のネットワークモビリティ拡張である  $\chi$ LIN6-NEMO[5]における通信はマッピングエージェントと呼ばれる中継ノードを経由し、経路最適化されることはない。Mobile PPC は、通信開

始時は Dynamic DNS 機能により最新の IP アドレスを取得し、その後は通信ホスト間で互いにアドレスを通知し、アドレスの変更があった場合はネットワーク層でアドレスを変換することで最適経路通信を行う。DNS 以外のサーバを用いないことが特長であるが、IP アドレスではなくドメイン名による相手ホスト指定が必須であること、安全に通信を継続するには通信ホスト間での認証が必要となるなどの問題がある。

一方、筆者らは MAT (Mobile IP with Address Translation)[6]を提案している。MAT は当初、ホストモビリティのみをサポートしていた（以降、MAT-HOST と呼ぶ）が、その後ネットワークモビリティにも対応する MAT-MONET[7]に拡張された。MAT はホストモビリティ、ネットワークモビリティいずれにおいても、通信開始時点から常に最適経路で通信を行う。トンネリングオーバーヘッドも存在しない。また、ハンドオーバー時に複数のインタフェースを同時に利用することで、パケットロスのないハンドオーバーを実現する。さらに、移動するネットワーク（以降、モバイルネットワークと呼ぶ）内には、移動透過機能を持つモバイルノード(MN)、その機能を持たない従来ノード(LFN)、別のモバイルネットワーク用モバイルルータ(MR)のいずれも接続可能であり、すべて最適経路通信を行う。本稿では、実装したプロトタイプのパフォーマンスを詳細に述べる。

## 2 最適経路通信とネットワークモビリティ

### 2.1 最適経路通信の重要性

移動中であっても動画像伝送など広帯域アプリケーションに対する需要は多い。通信相手までのネットワーク帯域が十分であっても、HA などの中継サーバ経由が必須だと経路が長くなったり帯域が制約されたりして、目的のアプリケーションが動作しない場合も考えられる。中継サーバは1つのストリームに対して入出力同時に処理する必要がある。例えば、図 1 のように 100Mbps のネットワークインタフェースを持つ  $HA_{MN}$  (MN のホームエージェント) は、同一帯域トラフィック双方向通信の場合 50Mbps までの中継が理論的限界となる。また、通信経路が長くなることによる遅延や、ルータ以外の中継サーバを通過することによる遅延増加の影響も大きいと懸念される。

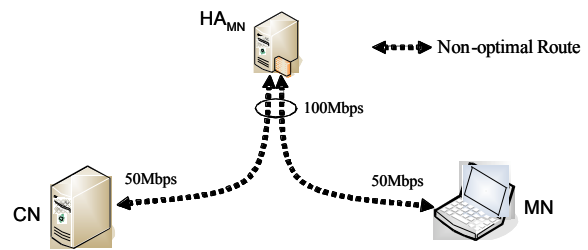


図 1 中継ノードによる帯域限界

一方、最適経路通信の必要性を、一部のホスト間通信としてではなく、インターネット全体の問題として捉えることも忘れてはならない。近年 PC の出荷台数はデスクトップよりノート型の方が多く、さらに PDA や携帯電話など携帯型のネットワーク接続機器は爆発的に増加している。移動透過通信方式が普及すると、潜在的には移動ホストの方が圧倒的に多くなることを意味している。もし、移動ホストが関係するすべてが非最適経路通信となるような方式が普及してしまうと、図 2 に示すようにインターネット上の通信のほとんどが非最適経路通信となる。これは、ネットワーク層(L3)での経路制御に基づく End-to-End 通信モデルという、インターネットの発展を支えてきた基本構造を破壊するものであり、インターネットの今後の発展にとって重大な問題である。

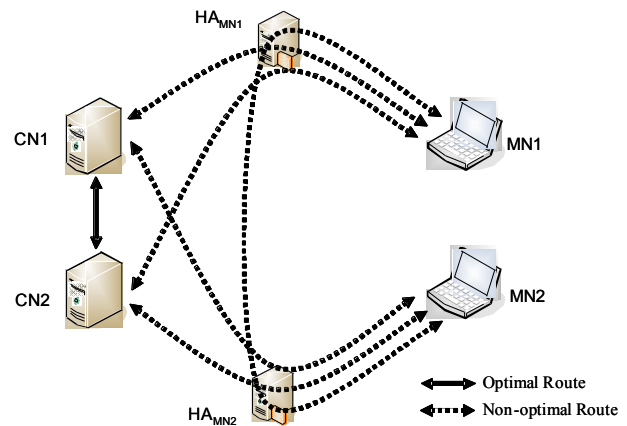


図 2 非最適経路通信のインパクト

### 2.2 ネットワークモビリティによる展開

移動透過通信普及のためにネットワークモビリティが重要な鍵を握る。すべての携帯機器の通信機能にホストモビリティを導入できればよいが、特に小型専用機では資源的な余裕はなく、組み込みは容易でない。また、動作検証コストの増大も問題となる。しかし、移動しながら利用したい機器の多くはそのような小型機器である。そのため、モバイルルータ MR により、既存ノードである LFN が移動透過通信可能とな

るネットワークモビリティは移動透過通信の普及に欠かせない。

MIP6, LIN6, MAT いずれも、最適経路通信を行うには通信相手ノードにも移動透過通信機能の導入が必要である。例えば固定サーバ群とインターネットの間に高性能モバイルルータが設置できれば、サーバの OS を変更することなく最適経路での移動透過通信が可能となる。つまり、モバイルルータは、移動する側のみならず、移動しない通信相手側でも重要な役割を果たす。ただし、MIP6 の拡張である NEMO, LIN6 の拡張である $\chi$ LIN6-NEMO は、いずれも最適経路通信には対応していない。

現在提案されている主なネットワークモビリティ方式の特徴比較を表 1 に示す。「通信相手が非対応」とは、対応する方式(ホストモビリティまたはネットワークモビリティ)を必ずしも通信相手に導入する必要が無いことを示す。MAT-MONET が移動透過通信を行うには相手も MAT に対応している必要がある。この点は NEMO や $\chi$ LIN6-NEMO に比べて劣るが、最適経路通信とのトレードオフである。

表 1 ネットワークモビリティ方式比較

	NEMO Basic Support	$\chi$ LIN6- NEMO	MAT- MONET
最適経路通信	×	×	○
トンネルオーバーヘッド	×	△	○
一点障害問題	×	△	○
通信相手が非対応	○	△	×

△はノードの種類により○×が決定することを示す。

### 3 MAT-MONET

#### 3.1 概要

MAT-MONET の構成を図 3 に示す。MAT は、アドレス変換によって移動透過通信を実現するアーキテクチャである。まず、IP アドレスが持つノード識別子とネットワーク上の位置情報という 2 つの役割を、ホームアドレスとモバイルアドレスとして分離した。そしてそれらをネットワーク層内でアドレス変換することにより、インターネット上を移動するモバイルノード(MN) は、アプリケーションや TCP などトランスポート層以上において同じ IP アドレスで識別される。ネットワークモビリティに対応するため MAT-MONET ではアドレス変換を行う場所を、ノード自身からモバイルネットワークの境界ルータであるモバイルルータ(MR) に移す以外は、MAT-HOST と同一である。これにより、モバイルネットワーク内

部にある移動透過通信機能を持たない従来ノード(LFN)においても移動透過通信が行える。なお、MAT アーキテクチャにおける LFN のホームアドレス(ノード識別子)は LFN が実際に持つアドレスそのものであり、LFN が送受信するパケットのホームアドレスは MR によりモバイルアドレス(ネットワーク上の位置情報)に書き換えられ、モバイルネットワーク外部とやりとりされる。

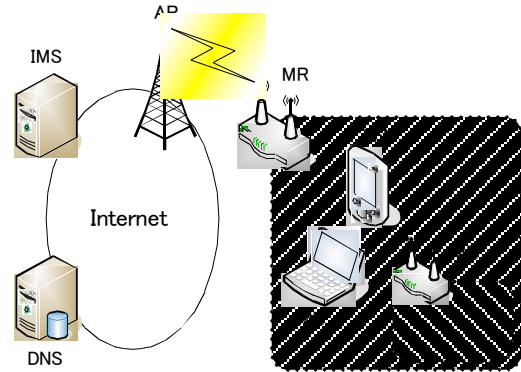


図 3 MAT-MONET の構成

IP アドレスマッピングサーバ(IMS)は、ホームアドレスとモバイルアドレスの対応関係を常に把握し、各ノードの要求に応じてマッピング情報を提供する。IMS は原則として MN または MR ごとに必要であるが、1 つの IMS を複数の MN/MR で共有することもできる。IMS はマッピング情報のみをやりとりし、ホスト間の通信そのものが IMS を経由することはない。ひとつの MN/MR に対し複数の IMS を対応付けることができ、それら IMS 群のうちどれかが動作していれば移動透過通信は行えるため、IMS は 1 点障害問題を引き起こさない。各 MN/MR に対応する IMS のアドレスは、ドメインネームシステム(DNS)を利用して情報提供する。MR が接続する基地局側装置(無線アクセスポイントおよびルータ)をアクセスルータ(AR)と呼ぶ。なお、MAT アーキテクチャでは DNS, IMS, AR は固定ノードと定義されている。

MAT では、通信路の途中で行う処理を極力減らすことを目指している。MR が処理を行うのは、経由するパケットの内、直接接続された LFN に関するものだけである。モバイルネットワークの中に MAT-HOST の機能を持つ MN が接続された場合、移動透過通信の処理は MN において行われるため、MR はパケットを転送する単なるルータとして機能する。ただし、実際に MN が移動透過通信を行うためには、モバイルアドレスを構成するためのプレフィックスなどモバイルネットワークの外部情報が必要である

ため,MR は MN へそれらの情報を渡す機能を持つ.

### 3.2 ホームプレフィックスとモバイルプレフィックス

MAT-HOST では, IP アドレスを持つノード識別子と位置情報を,それぞれホームアドレスとモバイルアドレスに分離した. MAT-MONET では,この考えをそのままネットワークプレフィックスへ適用し,それぞれホームプレフィックスとモバイルプレフィックスと呼ぶ.

ホームプレフィックスは MR に固有のプレフィックスであり,モバイルネットワークの位置に依存せず,MR から LFN へ広告される. ホームプレフィックスを基に LFN で自動生成されたアドレスは MAT-HOST のホームアドレスに相当する. 一方,モバイルプレフィックスは AR から動的に割り当てられる. LFN の IP アドレスのホームプレフィックス部分をモバイルプレフィックスに置き換えたものが, MAT-HOST のモバイルアドレスに相当する. さらに,MR がその配下に MN を接続する場合,上記とは別のプレフィックスを広告する. このプレフィックスは AR から割り当てられたもので, MN がモバイルアドレスを生成するために利用される. つまり,この場合 MR は合計 2 種類のプレフィックスを AR から取得する必要がある.

MAT-HOST では,ホームアドレスとモバイルアドレスの対応情報をマッピング情報と呼び,それらを IMS で管理する. MAT-MONET では,マッピング情報をホームプレフィックスとモバイルプレフィックスの対にも対応できるよう IMS の仕様を拡張した. マッピング情報の登録は MR がプレフィックス単位で行う. ただし,通信相手ノード(CN)の処理は,相手が MR 配下の LFN であっても MN であっても変わらない.

LFN と通信を行いたい CN は,通常,LFN のホームアドレスのみ知っている. よって, CN は LFN のモバイルアドレスを知る必要がある. MAT-HOST では MN のホームアドレスをキーにして, DNS から IMS の IP アドレスを取得している. MAT-MONET においても, LFN のホームアドレスをキーとして IMS の IP アドレスを取得する.

また,IMS への問い合わせも, MAT-HOST と同様にホームアドレスによって行われる. LFN の場合,IMS のデータベースにはホームプレフィックスとモバイルプレフィックスの対としてマッピング情報が格納されているが,IMS では,問い合わせられたホ

ームアドレスとのロングストマッチにより,プレフィックス単位のマッピング情報を検索する. そして,問い合わせられたホームアドレスのホームプレフィックス部分をモバイルプレフィックスで置き換えることでモバイルアドレスを生成し, CN へ返す. 図 4 および図 5 にアドレス変換の概要を示す.

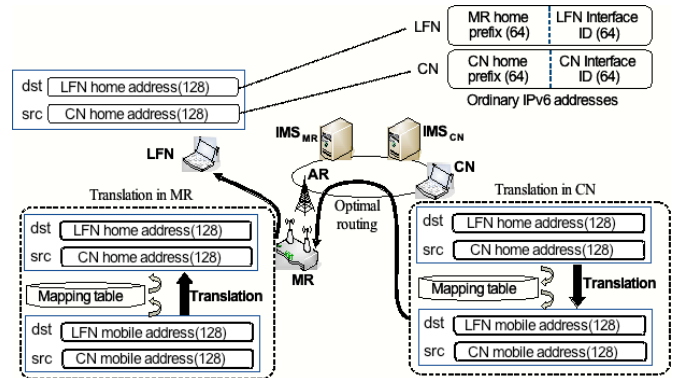


図 4 アドレス変換の概要

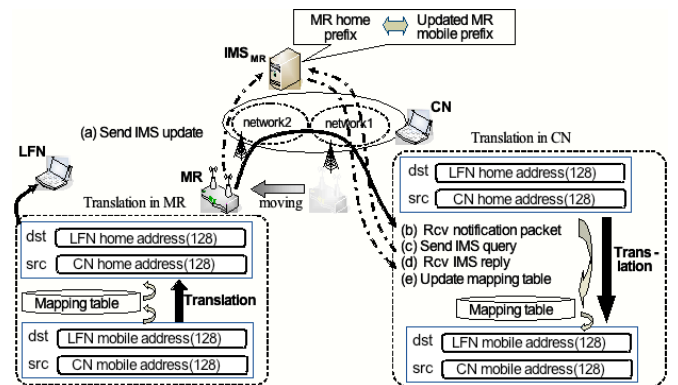


図 5 MR 移動後のアドレス変換

### 3.3 モバイルネットワークのネスト

MAT-MONET では,モバイルネットワークの中にモバイルネットワークが入る,いわゆるネストを許している. モバイルネットワークがネストしている場合,AR に近い方を上位,逆を下位と呼ぶ. モバイルネットワークがネストしていない場合でも,MR は 2 つのプレフィックスを AR から取得する必要があることは前節で述べたが,ネストしている場合は,上位 MR が下位 MR が必要とするプレフィックスを代理で AR から取得し,下位 MR へ割り当てる. プレフィックス割当の概念図を図 6 に示す. プレフィックス割当および接続している AR の接続状態(優先度)等の通知プロトコルの詳細は文献[8]に記載されている. なお,上位 MR は下位の MR または MN で既にアドレス変換されたパケットのアドレス変換処理を行わず,それらに対しては単なるルータとして動作する.



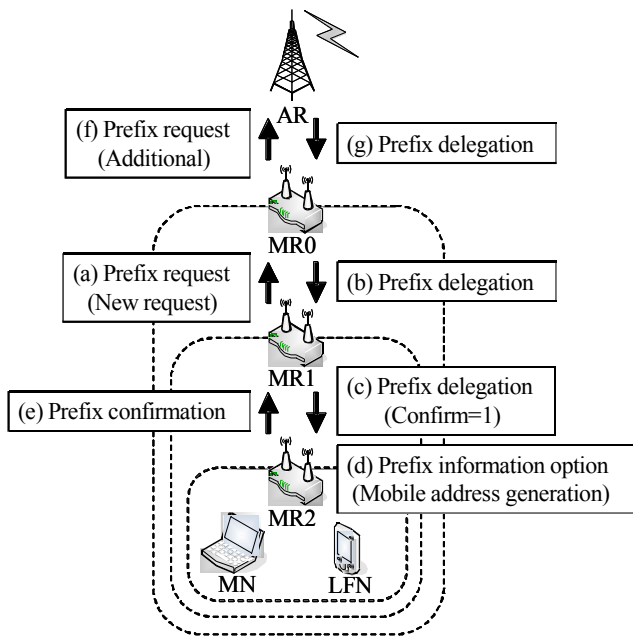


図6 プレフィックス割当

### 3.4 複数インターフェースを用いたハンドオーバ

MATは、MNやMRが唯一のインターフェースでインターネットに接続している場合でもハンドオーバを行うことができるが、複数のインターフェースによってインターネットに接続している場合は通信中断のないシームレスなハンドオーバが可能となる。図7～図9は、2つのAP間をMRがハンドオーバする際の様子を示したものである。複数インターフェースによるハンドオーバ手順は文献[9]に記載されている。

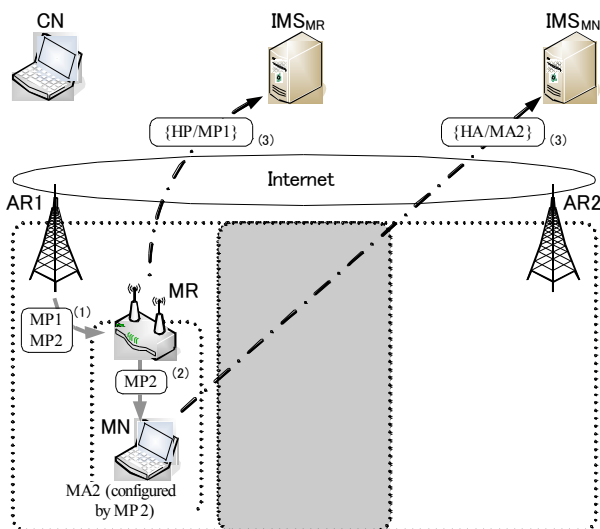


図7 AR1に接続

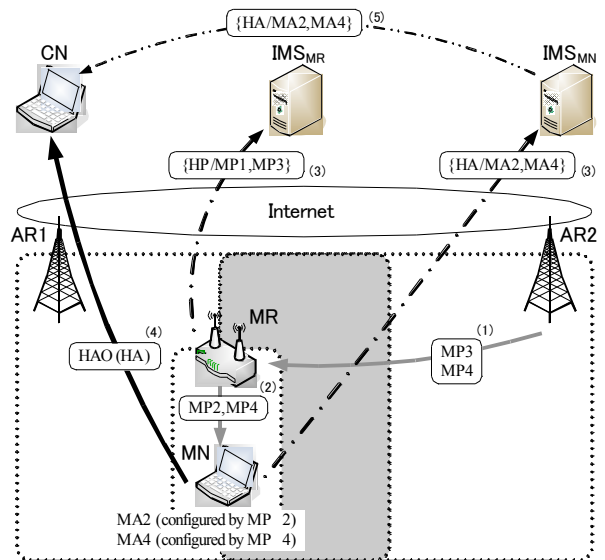


図8 AR1に加えAR2にも接続

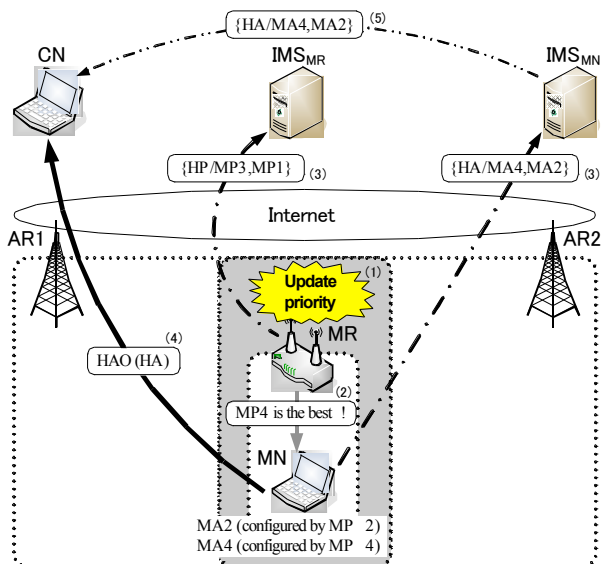


図9 AR2の電波強度が高くなる

## 4 性能評価

### 4.1 通信帯域

MATが想定どおり動作することを確認し、詳細な性能評価を行うためLinux OS上にプロトタイプの実装を行った。まず、アドレス変換機能等をソフトウェア処理で実現することによる影響を定量的に示すため、図10の構成によりLFN1とLFN2間の利用可能通信帯域を測定した。各機器の仕様を表2に示す。ルータにはAllied Telesis CenterCOM AR450Sを使用した。なお、データリンク層以下の特性の影響を極力排除するため、すべてのネットワーク接続は無線ではなく有線LAN (Ethernet, 100Mbps)を用いた。

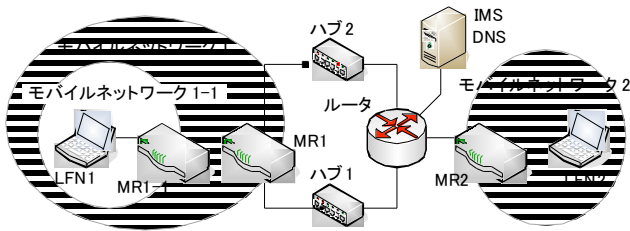


図 10 通信帯域および遅延時間測定構成

表 2 機器 (図 10) の仕様

	CPU	Memory	OS
LFN1	Pentium4 2GHz	128MB	Debian Linux 2.6.8
MR1-1	PentiumD 3GHz	1GB	Debian Linux 2.6.16.5
MR1	VIA Eden 1GHz	512MB	Debian Linux 2.6.16.5
MR2	VIA Eden 667MHz	128MB	Debian Linux 2.6.16.5
LFN2	PentiumD 3GHz	1GB	Debian Linux 2.6.16
IMS	VIA Eden 667MHz	128MB	Debian Linux 2.6.16.5

LFN1 と LFN2 で iperf[10] を使用し、双方向同時に同量のトラフィックを発生させ、それぞれ 60 秒間測定を行った。ペイロードサイズ 100, 500, 1400 バイトについてそれぞれの性能限界付近、すなわちパケットロスが発生し始める前後について測定した。MAT を実装した状態での測定結果を図 11 に示す。また、比較のため同じハードウェア構成で通常の OS、すなわち MAT を実装しない状態でも測定した。各ペイロードサイズで、パケットロスが発生しない最大の帯域を表 3 に示す。

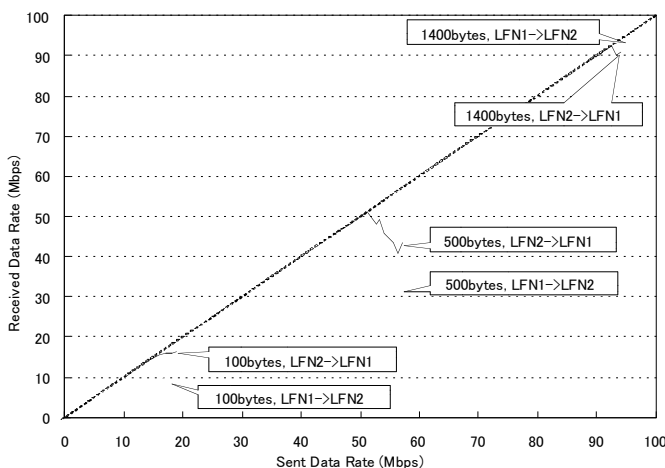


図 11 双方向同時送信時の通信帯域

表 3 ロスが発生しない最大の帯域

ペイロードサイズ	MAT実装	MAT未実装
100バイト	14Mbps	21Mbps
500バイト	51Mbps	64Mbps
1400バイト	92Mbps	92Mbps

図 11 および表 3 より、ペイロードサイズが小さい場合のソフトウェア処理の影響が確認できるが、1400 バイトでは影響が確認できない。なお、表 2 よりも高性能 CPU (PentiumD 3GHz 等) を用いた同様の実験も実施しており、ペイロードサイズが小さい場合でも MAT 実装と MAT 非実装の差が無くなることを確認している。

#### 4.2 MAT 処理による遅延時間

図 10 の構成により、MAT を実装した状態と MAT を実装しない状態それぞれについて LFN 間の応答時間 (RTT) を測定した。ping コマンドを用い 64 バイトペイロードにて、0.1 秒間隔で 10000 回の測定を行った。測定結果の出現頻度分布を図 12 に示す。MAT 実装の場合の平均応答時間は 0.55 ミリ秒、未実装の場合は 0.51 ミリ秒であった。

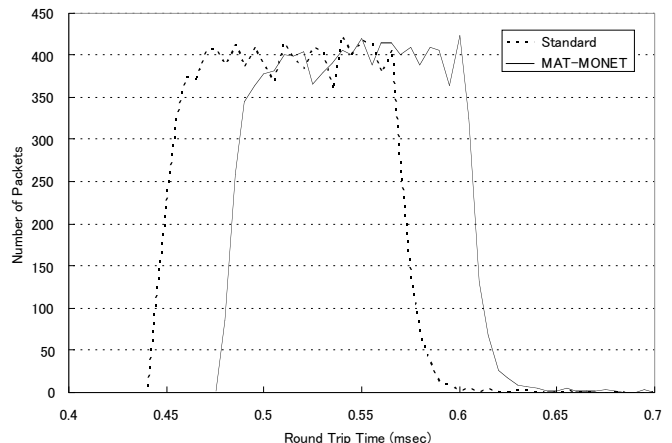


図 12 応答時間の出現頻度分布

#### 4.3 ハンドオーバー時のジッタ

図 10 の構成により、ハンドオーバー時の LFN 間のジッタ (パケット到着遅延ゆらぎ) について測定用アプリケーションソフトを作成して観測した。LFN1 からペイロード長 4 バイトの UDP パケットを毎秒 1024 個、等しい時間間隔で送出し、LFN2 上の測定用アプリケーションが受信した時刻とパケットのシーケンス番号を測定した。なお、ハンドオーバーは有線 LAN のコネクタの抜き差しにより発生させた。結果の一例を図 13 に示す。ハンドオーバーを繰り返し実施したが、いずれも類似の結果となり、今回の測定環境ではハンドオーバーによる到着遅延等はほとんど観測されなかった。

図 10 の「ハブ 2」側のみに伝送遅延要素を挿入した場合についても測定を行った。伝送遅延の発生には、ネットワークエミュレータ Lenet[11]を用い、平均遅

延時間 5 ミリ秒, ジッタ 1 ミリ秒とした. 図 14 が「ハブ 1」から「ハブ 2」へ, 図 15 が「ハブ 2」から「ハブ 1」へ, それぞれハンドオーバーした際の結果である.

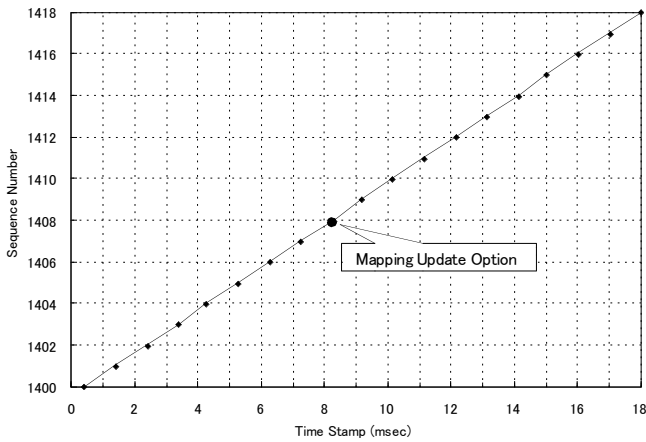


図 13 パケット到着時刻とシーケンス番号

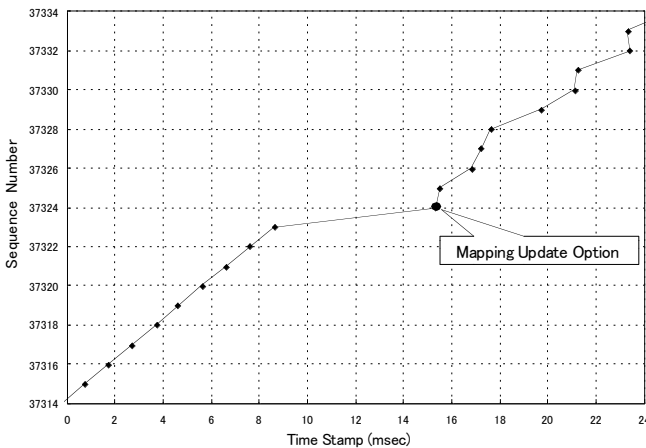


図 14 遅延無から遅延有へのハンドオーバー

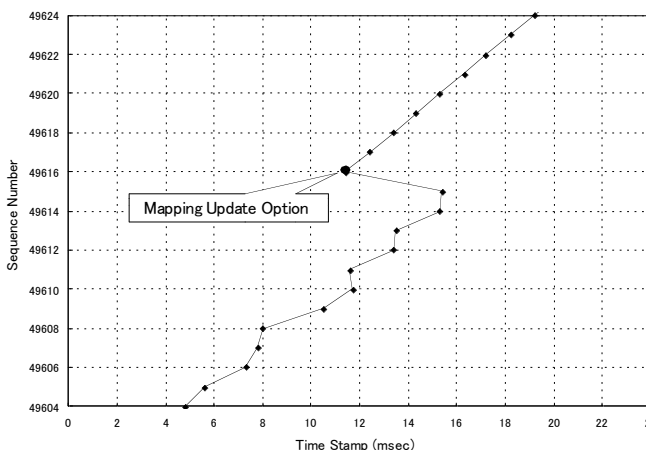


図 15 遅延有から遅延無へのハンドオーバー

いずれの結果とも, パケットロスが発生していないが, 図 14 の状況では, ハンドオーバー時の遅延差を吸収できるだけのバッファリング等が上位層に求めら

れる. また, 図 15 のハンドオーバー時にはパケット到着順序が入れ替わっている. このような状況では, 上位層でのパケット並べ替えが必要となる. これらの問題については文献[12]で検討されている.

#### 4.4 ネット時のハンドオーバー処理時間

図 16 に示す構成で, モバイルネットワークがネストした場合のハンドオーバー処理にかかる時間を測定した. ハンドオーバーは有線 LAN のコネクタの抜き差しにより発生させた. 各機器の仕様を表 4 に示す. なお, ルータ RT には Allied Telesis CenterCOM AR450S を使用した.

測定方法は, 各構成の最上位の MR (構成(a)の場合は MN) が AR 接続の優先度変更を認識した時点で CN に対して ICMPv6 Echo Request を送出する. 一方, MN から CN へ 1 ミリ秒間隔で ICMPv6 Echo Request を送出し続ける. CN 側では tcpdump[13] により, 最上位のノードからの優先度変更を通知するパケット到着と MN からのパケットのうちモバイルアドレスが変更された最初のパケット到着の時間差を測定した. なお, ここでは最上位ノードは AR1 と AR2 へ同時に接続した状態で, 接続優先度のみが変化した場合のハンドオーバーを想定している.

各構成について 20 回測定した平均を表 5 に示す. MR の段数に対し, 処理時間はリニアに増加することが予想されるが, 測定の結果 1 段あたり 1 ミリ秒前後の処理時間増加に留まることが分かった.

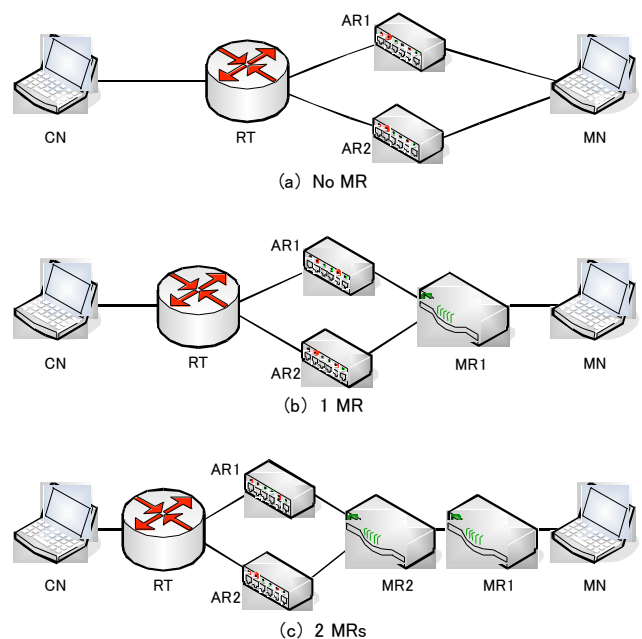


図 16 ハンドオーバー処理時間測定構成

表4 機器 (図16) の仕様

	CPU	Memory	OS
AR1,AR2	VIA Eden 667MHz	128MB	Debian Linux 2.6.14
MN,MR1	Pentium3 860MHz	128MB	Debian Linux 2.6.14
MR2	Pentium3 1GHz	384MB	Debian Linux 2.6.14
CN	PentiumM 1.7GHz	1GB	Debian Linux 2.6.14

表5 ハンドオーバー処理時間

構成	時間(msec)
(a) CN-RT-AR-MN	4.94
(b) CN-RT-AR-MR1-MN	5.64
(c) CN-RT-AR-MR2-MR1-MN	6.86

## 5 まとめ

筆者らが提案している移動透過アーキテクチャ MAT のプロトタイプ実装とその性能評価について述べた。常に最適経路での通信が可能であること、広帯域アプリケーションが使用可能であること、モバイルルータの導入により既存機器(LFN)が一挙に移動透過通信可能となることなどを示した。

MAT で移動透過通信を行うには、通信相手も MAT に対応する必要がある。一方、MIP6 は通信相手が MIP6 に未対応であっても非最適経路で移動透過通信が可能であり、両端が MIP6 対応の場合に限り通信開始後に経路最適化で対応する。この方針選択は、現システムとの互換性を優先した結果と思われるが、この選択がネットワークモビリティへの拡張において大きな足枷となり、NEMO は経路最適化が困難となったのみならず、トンネルオーバーヘッドにも悩む結果となった。

MAT はトンネルオーバーヘッドのない最適経路通信でネットワークモビリティに対応し、手軽に高性能モバイルルータを実現できるため、モバイルルータ導入により非対応ノードを MAT 対応にできる。これは移動ノードの通信相手となるサーバ類についても同様である。したがって、通信相手も MAT 対応でなければならないという制約は、普及の大きな妨げにはならない。むしろ、ルータに機能を追加すれば既存ノードを手軽に MAT 対応できることの方が、移動透過通信の普及を促進させるであろう。現在、MAT のプロトタイプシステムは <http://www.mat6.org/> で公開している。

## 謝辞

本研究に関して多岐に渡り御助力を頂きましたネ

ットワンシステムズ株式会社赤座正樹氏、杉本康則氏、岸田崇志氏に深く感謝致します。本研究の一部は日本学術振興会科学研究費補助金(17300019, 17500037)、広島市立大学平成 17, 18 年度特定研究費(5111) の支援を受けて実施しています。ここに記して感謝の意を示します。

## 参考文献

- [1] D. Johnson, C. Perkins, and J. Arkko, "Mobility Support in IPv6," IETF, RFC 3775, Jun. 2004.
- [2] V. Devarapalli, R. Wakikawa, A. Petrescu, and P. Thubert, "Network Mobility (NEMO) Basic Support Protocol," IETF, RFC 3963, Jan. 2005.
- [3] M. Ishiyama, M. Kunishi, K. Uehara, H. Esaki, and F. Teraoka, "LINA: A new approach to mobility support in wide area networks," IEICE Trans. Commun., Vol.E84-B, No.8, pp.2076-2086, Aug. 2001.
- [4] 竹内, 鈴木, 渡邊, "エンドエンドで移動透過性を実現する Mobile PPC の実装と評価," DICOMO2005, pp.125-128, Jul. 2005.
- [5] A. Banno, T. Oiwa, and F. Teraoka, "χLIN6-NEMO: A network mobility protocol based on LIN6," IEICE Trans. Commun., Vol.E89-B, No.4, pp.1070-1079, Apr. 2006.
- [6] 相原, 藤田, 前田, 野村, "アドレス変換方式による移動透過性インターネットアーキテクチャ," 情報処理学会論文誌, Vol.43, No.12, pp.3889-3897, Dec. 2002.
- [7] 藤田 他, "MAT によるモバイルネットワークの実現," DICOMO2003, pp.105-108, Jun. 2003.
- [8] 梶原 他, "MAT-MONET におけるアドレス割当と移動通知プロトコル," 信学技報 MoMuC2005-72, pp.81-86, Nov. 2005.
- [9] 藤田 他, "複数インターフェースによるスムーズハンドオーバー可能なモバイルネットワーク MAT-MONET," DICOMO2006, pp.961-964, Jul. 2006.
- [10] Iperf: <http://dast.nlanr.net/Projects/Iperf/>
- [11] Lenet: <http://lab.ipc.hiroshima-cu.ac.jp/lenet/>
- [12] 上浦 他, "ネットワーク遅延の変化を制御するシームレスハンドオーバー手法の提案と評価," 情報処理学会論文誌 2006-DSM-40(22), pp.127-132, Mar. 2006.
- [13] tcpdump: <http://www.tcpdump.org/>