

# アドレス変換によるモバイルネットワークとその評価

藤田 貴大† 西村 浩二†† 相原 玲二††

† 広島大学大学院工学研究科 †† 広島大学情報メディア教育研究センター

MAT-MONET は筆者らが提案をしているモバイルネットワークアーキテクチャである。アドレス変換による移動透過通信アーキテクチャMAT を、モバイルネットワークに対応させたものであり、MAT の特性を引き継ぎトラフィックオーバーヘッドがない。また、一つのノードに処理が集中しないように設計を行っている。本論文では、ハンドオーバーとトラフィックについて解析し、Mobile IPv6 を基にしたモバイルネットワークアーキテクチャNEMO と比較して評価を行った。

## The Mobile Network Based on the Address Translation and Its Evaluation

Takahiro Fujita† Kouji Nishimura†† Reiji Aibara††

†Graduate School of Engineering, Hiroshima University

††Information Media Center, Hiroshima University

MAT-MONET is a mobile network architecture proposed by authors. The proposed method is extended for the mobile network from the MAT which is the mobility communication architecture based on the address translation. Because of inheriting the MAT's feature, MAT-MONET does not have traffic overhead. Moreover it is designed to avoid traffic congestion on a specific node. In this paper, we analyze the behavior of handover and the traffic in MAT-MONET and NEMO which is a mobile network architecture based on Mobile IPv6, and compare between these architectures.

### 1 はじめに

ラップトップ PC や PDA など移動可能な IPv6[1] ノードをモバイルノード (Mobile Node) と呼ぶ。モバイルノードは、移動する度にその移動先のネットワークに接続し、新たな IP アドレスを得て通信をする。しかし、与えられるアドレスはモバイルノードの移動先によって異なる。これは、モバイルノードが移動すれば、そのアドレスは変わってしまうということを意味する。すなわち、現在の IPv6 ではアドレスは物理的位置に束縛されている。IPv6 の仕様ではこの問題を解決する手段について述べられていない。よって、IPv6 ノードが移動する度にトランスポート層以上 (以下、上位層) の通信コネクションは切断される。

上記問題を解決し、モバイルノードが移動しても、上位層における通信コネクションを維持するような通信を移動透過通信と呼ぶ。IPv6 上での移動透過通信を実現するプロトコルとして、Mobile IPv6[2]、LIN6[3] などが提案されている。筆者らは、アドレス変換に基づく移動透過通信プロトコルとして、Mobile IP with Address Translation(MAT)[4]

を提案し、ハンドオーバー時の性能評価 [5] などを行っている。

しかし、移動透過通信を実現するためには、ホスト単位のアークテクチャでは不十分であると考えられる。

電車や自動車といった交通機関で複数のノードがまとまって移動する場合など、ネットワークに対する移動透過通信が求められる。

移動透過通信を行うネットワーク、すなわち、インターネット上を移動するネットワークをモバイルネットワークと呼ぶ。モバイルネットワークでは、インターネットとの接続点である境界ルータをモバイルルータとして定義し、モバイルルータの働きにより、モバイルネットワーク内部のノードの移動透過通信を実現する。

ネットワークに対する移動透過通信プロトコルは、Mobile IPv6 を発展させた NEMO[6]、そして、MAT を発展させた MAT-MONET[7] がある。

本論文では、MAT-MONET と NEMO それぞれのアークテクチャについて、ハンドオーバーの時と、トラフィックオーバーヘッドの解析を行った。

## 2 ネットワーク層における移動透過通信

本論文では、IPv6、すなわちネットワーク層における移動透過通信を対象とし、データリンク層やトランスポート層、アプリケーションプログラムによる移動透過通信は考慮外とする。

ネットワーク層で移動透過通信を実現することにより、多くの既存アプリケーションを改造なしに使い続けることが可能となる。また、ネットワーク層での移動透過通信は、通信メディアの変更に對しても有効である。現在、ユビキタス社会に向け数多くの無線通信メディアの実用化が進められている。将来は多くの機器が複数の異なる通信メディアを状況に応じて使い分けることが考えられる。よって、異なる通信メディアの切替えに對しても透過的な通信を提供することは非常に重要である。通信メディアの変更は、IPv6 ネットワークから見れば「移動」となる場合が多く、移動透過通信プロトコルの機能をそのまま適用すれば、モバイルノードが通信メディアの切替えても、それに関係なく通信を続けることができる。

## 3 MAT

### 3.1 MAT の概要

MAT は、上位層における移動透過通信を実現するため、ネットワーク層である IPv6 の機能を拡張する。

MAT が動作するモバイルノードは、アプリケーションプログラムや TCP コネクションなどのノード識別子として固有のアドレス、“ホームアドレス”を持つ。

一方、モバイルノードには、接続しているリンクからルータ広告などの手段によってアドレスが割り当てられる。割り当てられたアドレスはモバイルノードまで到達可能なものである。すなわち、そのアドレスはモバイルノードの位置を示すものといえる。この IP アドレスを“モバイルアドレス”と呼ぶ。モバイルノードは、通常の IPv6 アドレスと同様に、複数のモバイルアドレスを持つことができる。

ホームアドレスとモバイルアドレスはネットワーク層において変換される。ネットワーク層でアドレスを変換することにより、上位層でのノードの識別にはホームアドレスを、経路決定にはモバイルアドレスをそれぞれ使う。

### 3.2 マッピング情報の伝達

先に述べたように、MAT ではネットワーク層でホームアドレスとモバイルアドレスを変換する。そのため、モバイルノードからパケットを受け取った、あるいはモバイルノードへパケットを送ろうとする通信相手ノードは、アドレスを変換するために、モバイルノードのホームアドレスとモバイルアドレスの対応(マッピング)情報が必要となる。

まず、ホームアドレスからモバイルアドレスへ変換する方法を説明する。この変換は、パケットを送信するときに発

生する。モバイルノードへパケットを送信したい通信相手ノードが、モバイルノードのマッピング情報を持っていない場合、通信相手ノードはモバイルノードのマッピング情報を、ホームアドレスを手がかりとして取得する必要がある。これを可能にするため、MAT では、IP Address Mapping Server(以下 IMS) と呼ばれるサーバを導入する。IMS はひとつあるいは複数のモバイルノードを管理するサーバであり、各モバイルノードの最新のマッピング情報を保持している。通信相手ノードは通信したいモバイルノードのホームアドレスをクエリとして IMS に問い合わせることで、通信したいモバイルノードのマッピング情報を知る。マッピング情報を問い合わせるべき IMS のアドレスは、DNS によって与えられる。MAT では DNS の PTR レコードと同じドメインに、IMS レコードを追加する。ホームアドレスをクエリとして IMS レコードを問い合わせると、IMS の IP アドレスを取得することができる(図 1)。

次に、通信相手ノードがモバイルノードから初めてパケットを受信したとき必要となる、モバイルアドレスからホームアドレスへの変換手順について説明する。MAT では、モバイルアドレスを手がかりとしてマッピング情報を取得する手段を提供しない。したがって、通信相手ノードはモバイルアドレスしか判らないモバイルノードのマッピング情報を取得することができない。そこで MAT では、モバイルノードは送信開始時などのパケットにホームアドレスを付加して送信する。ホームアドレスは、IPv4 では IP オプション、IPv6 では拡張ヘッダの宛先オプションを利用して伝えられる。また、ホームアドレスがパケットに付加されるタイミングは次の通りである。

- ある通信相手ノードへ初めてパケットを送るとき
- モバイルノードがハンドオーバーした後初めてパケットを送るとき

ホームアドレスを付与するか否かは宛先通信相手ノードごとに制御され、通信相手ノードからパケットを受け取るまで付加され続ける。特にハンドオーバー後は、通信相手ノードがモバイルノードの移動を検知し、新しいモバイルアドレスへパケットが送っていることが確認できるまで、ホームアドレスを付与し続ける。

## 4 モバイルネットワーク

モバイルネットワークとは、移動するネットワークである。これまで述べてきた MAT、あるいは Mobile IPv6 などのプロトコルは、ノードが個々に移動することを想定しており、ネットワーク単位での移動については触れられていない。しかし、接続メディアの制限などから、ネットワーク単位での移動は必要である。その例として、交通機関におけるインターネット接続サービスがある。

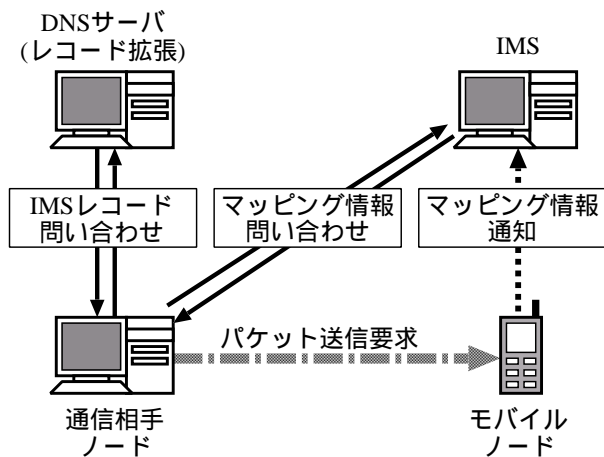


図 1: ホームアドレスからモバイルアドレス取得.

自動車や電車といった交通機関でインターネットへの接続サービスを提供する場合、車内のノードはまず車内ネットワークに接続し、そこからインターネットへとアクセスすることになる。

次に、個人がもつネットワーク、すなわちパーソナルエリアネットワーク (PAN) もモバイルネットワークの代表的な例といえる。将来は個人が持つ PDA やポータブルオーディオ、デジタルカメラなどもインターネットへ接続することが予想される。その場合、それぞれの機器は、個別にインターネットへ接続するのではなく、個人が持つ携帯電話やラップトップ PC などを経由してインターネットへ接続すると考えられる。つまり、携帯電話などをルータとした個人ネットワークである。

このようなモバイルネットワークは、ノード単位の移動を想定した移動透過通信プロトコルでは対応しきれないため、モバイルネットワークに対応したプロトコルを設計する必要がある。

筆者らは、先に提案を行っていた MAT を拡張したモバイルネットワーク対応の移動透過通信プロトコル、MAT-MONET[7] を提案している。また、IETF でも、Mobile IPv6 をモバイルネットワークに適応させたプロトコル、NEMO[6] が提案されている。

## 4.1 NEMO

NEMO は、Mobile IPv6 をモバイルネットワークのために拡張したものである。よって、基本的なパケットの流れは Mobile IPv6 の時と同様に、ホームエージェントを経由することにより移動透過通信が実現される。

ただし、NEMO では経路最適化が問題となる。モバイルネットワークがネストしない場合、それは難しい問題ではない。モバイルネットワークがネストしないということ

は、モバイルネットワークの内部には、ルータも、モバイルノードもなく、移動透過通信機能を持たないホスト (Local Fixed Node:LFN) のみが存在するというのである。この場合 NEMO では、Mobile IPv6 と同様にリターンルータビリティ手順を用いて経路最適化を行うことができる。

リターンルータビリティ手順 (RR) とは、Mobile IPv6 における経路最適化実現のための手順である。RR では、モバイルノードと通信相手ノードとの間で、ホームエージェントを介した通信と介さない最適経路の通信を同時に行い、モバイルノードのホームアドレスと気付けアドレスの対、バインディングキャッシュを通信相手ノードに渡す。バインディングキャッシュを取得した通信相手ノードは気付けアドレスを用いて、モバイルノードと最適経路で通信することが可能となる。

NEMO では、モバイルルータと通信相手ノードの間で RR を行う。ただし、Mobile IPv6 と異なり、通信相手ノードが保持するバインディングキャッシュの内容は、LFN のアドレスとモバイルルータの気付けアドレスの対になっており、最適経路でモバイルルータと通信を行うことができる。しかし、モバイルネットワークのネストが可能であるとした場合、問題は急に複雑になる。モバイルネットワーク内部のモバイルルータが経路最適化を行っても、より外側にあるモバイルルータで経路最適化していなければ、結局最適経路で通信できない。最適経路で通信するためには途中にあるモバイルルータ一つずつと経路最適化を行わなければならない。これは極めて非効率である。

NEMO は、その最低要求としてモバイルネットワークがネストすることを許しているため、効率のよい経路最適化アルゴリズムが必要とされている。

### 4.1.1 NEMO における経路最適化

現在提案されているものとしては、Reverse Routing Header(RRH)[8] と Access Router Option(ARO)[9] という 2 つがある。どちらの提案も基本のアイデアは同じである。それは、できるかぎり速やかに最上位のモバイルルータの気付けアドレスを取得する手段の提供である。

#### Reverse Routing Header

通常のルーティングヘッダと逆の動きをする。モバイルルータは、RRH のあるパケットに、自分の気付けアドレスを次々と追加してゆく。通信相手ノードは、RRH のアドレスリストをそのままルーティングヘッダのアドレスリストとすることができる。

#### Access Router Option

この方式では、モバイルルータが内側のモバイルルータにアドレスを配布する際、モバイルネットワークの最上

位ルータ (Top Level Router:TLR) のホームアドレスも同時に配布する。モバイルネットワーク内部にあるモバイルルータ/ホストは、TLR のホームアドレスも含めた情報をバインディングアップデートとしてホームエージェントや通信相手ノードへと送る。

本論文では、これらの内ヘッダオーバーヘッドが少ない ARO を NEMO の経路最適化手法と仮定して比較を行う。以下、ARO を用いた経路最適化について説明する。

#### 4.1.2 ARO を用いた経路最適化

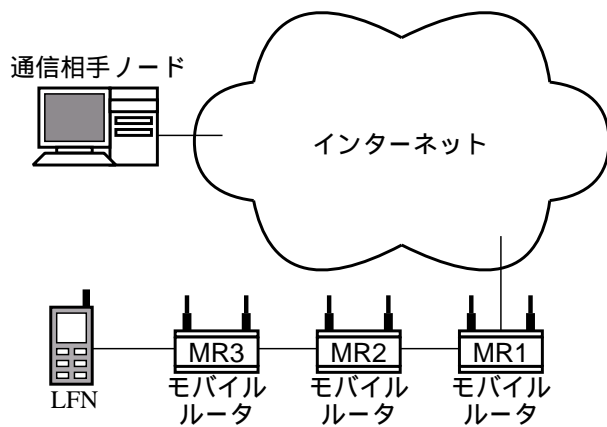


図 2: Access Router Option.

図 2 のようなネットワークの場合、LFN の通信相手ノードが持つバインディングキャッシュは、下記ようになる。

表 1: ARO がある時のバインディングキャッシュ

	ホームアドレス	気付けアドレス	ARO
1	LFN's Address	MR3's CoA	MR1's HoA
2	MR1's HoA	MR1's CoA	-

通信相手ノードは、まず MR3 と RR を実行し、LFN についてのバインディングキャッシュ(表 1 の 1 行目)を取得する。取得したバインディングキャッシュには ARO が付いており、そこには MR1 のホームアドレスが入っている。そこで、MR1 ついても RR を行い MR1 のバインディングキャッシュ(表 1 の 2 行目)を取得する。よって、この方式では、一つのノードと通信を行うために複数回の RR を行わなければならない可能性がある。

次に、通信相手ノードが LFN へパケットを送信する場合について説明する。

表 1 の 1 行目のバインディングキャッシュにより、IPv6 ヘッダの宛先アドレス、送信元アドレス、そして拡張ヘッ

ダである Type2 ルーティングヘッダ (RH2) は図 3 のようになる。

DSR=MR3's CoA SRC=CN's Addr	IPv6基本ヘッダ
RH2[0]=LFN's Address	IPv6拡張ヘッダ
	データ

図 3: IPv6 ヘッダ (1).

そしてさらに、MR1 まで最適経路で到達できるように MR1 の CoA が宛先アドレスになる。元々宛先アドレスに入っていた MR3 の CoA は RH2 のスタックに積まれる(図 4)。

DSR=MR1's CoA SRC=CN's Addr	IPv6基本ヘッダ
RH2[1]=MR3's CoA RH2[0]=LFN's Address	IPv6拡張ヘッダ
	データ

図 4: IPv6 ヘッダ (2).

図 4 の場合、RH2 の大きさは 40byte である。通信相手ノードから図 4 のようなヘッダを持って送信されたパケットは、最適経路で MR1 へと到達する。MR1 はルーティングヘッダの処理を行い、パケットのヘッダを図 3 のようにし、MR3 へ向けて転送する。パケットを受け取った MR3 もまたルーティングヘッダの処理を行い、宛先を LFN のアドレスにして、LFN へパケットを転送する。このような処理により、通信相手ノードからモバイルネットワーク内部のノードへ、最短経路でパケットは送信される。

## 5 MAT-MONET

### 5.1 MAT-MONET で使用する用語

#### モバイルルータ

モバイルルータは、モバイルネットワーク内にある LFN に対し、移動透過通信機能を与える。MAT の時、モバイルノードはホームアドレスとモバイルアドレスの変換として、IP アドレス 128 ビットを変換していたが、MAT-MONET では、モバイルルータはホームプレフィックスとモバイルプレフィックスの変換として、IP アドレスの上位 64 ビットを変換する。これに伴い、モバイルルータ内部の IMT や IMS のマッピング情報管理テーブルには、64 ビットのホームプレフィックスとモバイルプレフィックスの対が保持される。

## ホームプレフィックス

MAT のホームアドレスにあたるものであり、モバイルルータに固有のプレフィックスである。プレフィックス長は 64 ビット固定である。

## モバイルプレフィックス

MAT のモバイルアドレスにあたるネットワークプレフィックス。アクセスルータからモバイルルータに割り当てられる。プレフィックス長は 64 ビット固定である。

## 5.2 MAT-MONET による通信の概要

モバイルルータが新たにネットワークへ接続した場合、モバイルネットワークは、アクセスルータに対し、モバイルネットワーク用のプレフィックスとして、64 ビット長プレフィックスを 2 つ以上を要求し (図 5(a))、プレフィックス (MP1::

アクセスルータから割り当てられるプレフィックスは、不連続な複数のプレフィックスか、あるいは MP0::

モバイルルータは、アクセスルータから割り当てられたプレフィックスの内 1 つを、自身のホームプレフィックスのモバイルプレフィックスとする。そうしてできた新しいマッピング情報を IMS へ登録する (図 5(c))。

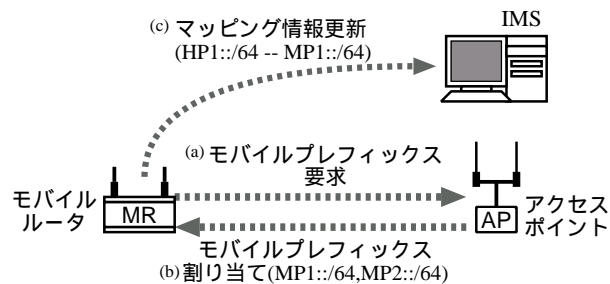


図 5: ネットワークへの接続。

## 5.3 アドレスの割り当て

MAT-MONET における、モバイルネットワーク内のアドレス割り当てについて述べる。アドレス自動設定によるプレフィックスの配布では、受け取るノードがモバイルノードか否かで異なるプレフィックスを配布する。

LFN にはホームプレフィックス (HP1::

ドレスに当たる。ここで割り当てたホームプレフィックスと、モバイルルータが取得したプレフィックスの内の 1 つ (MP1::

モバイルノードには、ホームプレフィックスとマッピングされていないプレフィックス (MP2::

モバイルノードはそれを基にモバイルアドレスを生成する (図 6(d))。ここで生成されたモバイルアドレスは、アクセスルータから配布されたプレフィックスを基にしているため、生成されたモバイルアドレス宛の packets は直接モバイルノードへ届く。よって、モバイルノードが行う処理は MAT の時と全く同じである。

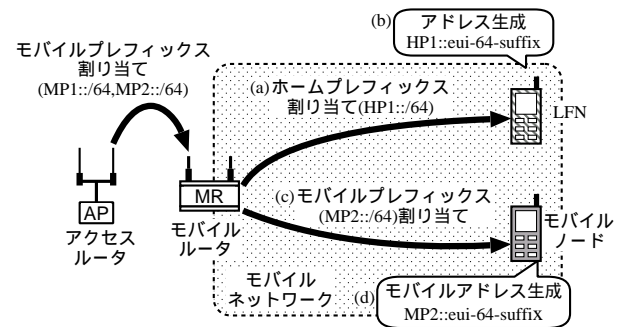


図 6: アドレスの割り当て。

## 5.4 ネストした場合のプレフィックス割り当て

次に、モバイルネットワークがネストしている場合、モバイルネットワークの中にモバイルルータが入った時のプレフィックス割り当てについて述べる。モバイルネットワークの中に入ったモバイルルータは、5.2 で述べたように、上位のモバイルルータに対し、少なくとも 2 つのプレフィックスを要求する。

要求を受けた上位のモバイルルータは、割り当てられるプレフィックスがあればそれを割り当てる。もしなければアクセスルータ、あるいは更に上位のモバイルルータにプレフィックスを要求する。

プレフィックスを受け取ったモバイルルータは、IMS へマッピング情報の登録を行った後、5.3 で示したように内部のノードへプレフィックスを配布する。

モバイルルータが上位のモバイルルータへプレフィックスを要求する際、再帰的な上位へのプレフィックス要求が発生することを防ぐため、モバイルルータはあらかじめ配布用のプレフィックスを用意しておくような運用が望まれる。



## 5.5 通信パケットの処理

ここからは、通信相手ノードとモバイルネットワーク内部のノードとの間でやりとりされるパケットが、どこで、どのような処理を受けるかについて述べる。

### 5.5.1 通信相手ノードからの送信

#### 通信相手ノードにおける送信処理

まず、通信相手ノードがモバイルネットワーク内部のノードへパケットを送る場合の処理について述べる。

通信相手ノードは、MAT と同様に 128 ビットのホームアドレスを基にしてマッピング情報の取得を行う。IMS は、それがモバイルノードであるか LFN であるかに関わらず 128 ビットのホームアドレスとモバイルアドレスからなるマッピング情報を返す。通信相手ノードの処理は、パケットの送信先がモバイルノードでも LFN でも同じであるが、IMS の処理は異なる。

通信相手ノードがパケットを送りたいノードが、モバイルネットワーク内のモバイルノードであった場合、IMS にあるマッピング情報は、128 ビットのホームアドレスとモバイルアドレスの対であるため、それをただ通信相手ノードへ渡せばよい。

一方、通信相手ノードがパケットを送りたいノードが、モバイルネットワーク内の LFN であった場合、IMS にあるマッピング情報は 64 ビットのホームプレフィックスとモバイルプレフィックスである。IMS は、通信相手からこのようなマッピング情報の問い合わせがあった場合、各プレフィックスの下位 64 ビットに、通信相手ノードが要求して来たホームアドレスの下位 64 ビットをそのままコピーし、128 ビットのホームアドレスとモバイルアドレスの対にする。

以上のように IMS が動作することにより、通信相手ノードは、パケットの送信先がモバイルノードであるか LFN を気にすること無くマッピング情報の要求、取得をおこない、アドレス変換処理をしてパケットを送信する。

#### モバイルノードにおける受信処理

モバイルノードにおける受信処理は、MAT の時と全く同じである。受け取ったパケットを、モバイルアドレスからホームアドレスへアドレス変換し、上位層へ渡す。

#### LFN における受信処理

LFN 宛のパケットは、直上のモバイルルータにおいて、アドレス変換した後で LFN へと転送する。アドレス変換を行うパケットは、5.2 章で自身のホームプレフィックスとマッピングしたモバイルプレフィックスへ宛てられたパケットのみである。

ネストしている場合

モバイルネットワークがネストしている場合、受け取ったパケットが、自身のホームプレフィックスとマッピングしたモバイルプレフィックス宛てではなければ、途中のモバイルルータはアドレス変換などは全くせず、単なるルータとして動作する。

## 6 解析

### 6.1 ハンドオーバー

MAT-MONET と NEMO が、ハンドオーバーする時の遅延時間について、解析を行う。

#### 6.1.1 シナリオ

解析をするハンドオーバーは、図 7 に示すようなシナリオで動く。

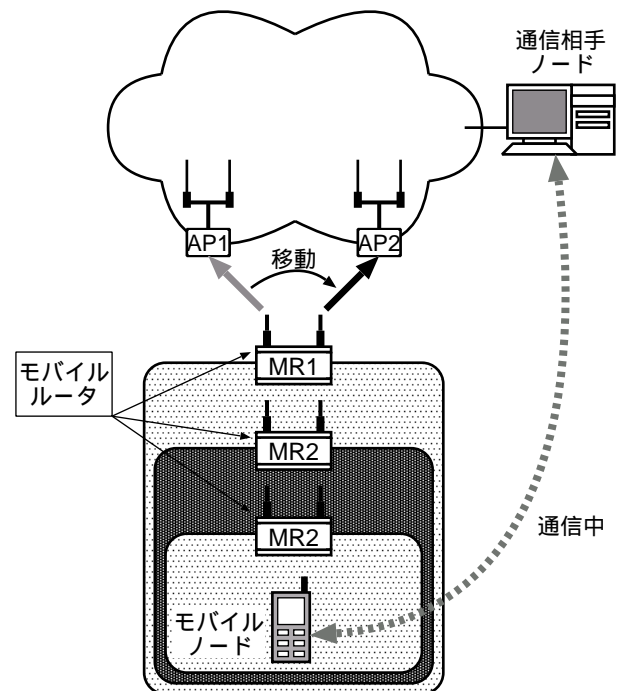


図 7: ハンドオーバーのシナリオ。

まず、通信しているのは LFN と通信相手ノードである。LFN は、3 段のモバイルルータのさらに下にある。このような状況を 3 段のネストと呼ぶ。そして、モバイルルータ MR1 はアクセスポイント AP1 と接続している。

ハンドオーバーの解析は、MR1 が AP1 から AP2 へのデータリンク層のレベルの移動を完了させた時から、通信相手ノードが LFN へ最適経路でパケットを送信できるように

なるまでの間で行う。

### 6.1.2 MAT-MONET

MAT-MONET において、モバイルルータが新しいネットワークに接続した場合、動作は次のような流れで行われる。

1. 新しいネットワークに接続
2. モバイルプレフィックスの取得
3. IMS へマッピング情報の更新
4. 通信相手ノードへ、マッピング情報が更新されたことを通知

モバイルネットワークがネストしている場合、2,3 の処理はモバイルルータ毎に必要なとなる (図 8)。

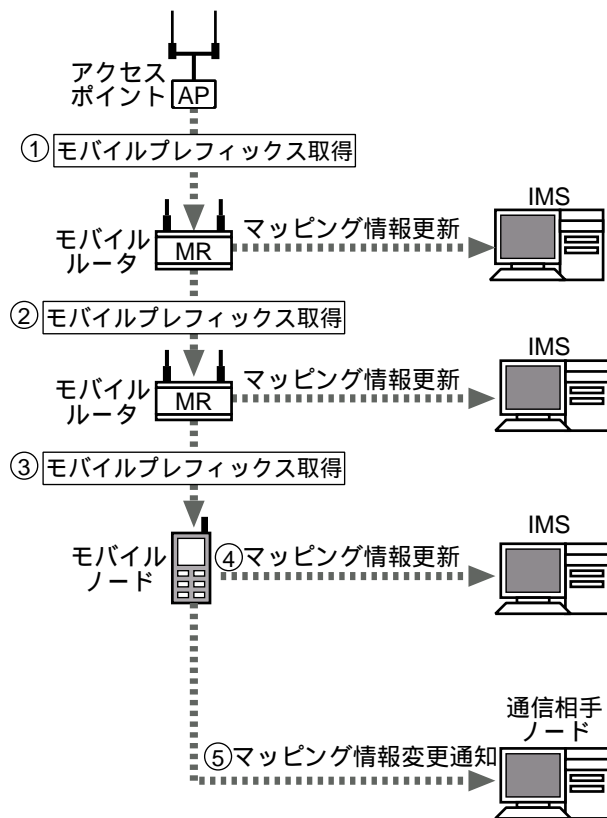


図 8: ネストしている場合の更新処理 (MAT).

$n$  段のネストをしているモバイルネットワークがあった場合、最上位のモバイルルータが新しいネットワークに接続してから、モバイルネットワークのもっとも内側にあるモバイルノードが、通信相手ノードにハンドオーバーの通知を行い、通信相手ノードがモバイルノードへパケットを最適経路で送ることができるようになるまでの時間  $t_{mat-monet}$  は、モバイルプレフィックス/アドレスの取得時間を  $tp$ 、

IMS への更新処理時間を  $t_u$ 、通信相手ノードへの通知時間を  $t_n$  とした場合、

$$t_{mat-monet} = \sum_{i=1}^n (tp_i) + tp_{mn} + t_{u_{mn}} + t_{n_{mn}} \quad (1)$$

となる。上式において、

$$\sum_{i=1}^n (tp_i) \quad (2)$$

は、モバイルルータでの処理時間、

$$tp_{mn} + t_{u_{mn}} + t_{n_{mn}} \quad (3)$$

は、モバイルノードでの処理時間である。モバイルノードにおける処理時間は MAT の時とほぼ同じである。ネスト数が深くなるとホップ数が増加するため、 $t_{u_{mn}}$  と  $t_{n_{mn}}$  はネスト数に影響を受けるが、無視できる程度だと考えられる。

ところで、式 (2) の中には、 $t_u$  や  $t_n$  が出現しない。 $t_n$  は、通信相手ノードへの通知時間であるから、途中のモバイルルータで処理する必要が無いことは容易に分かる。また、MAT-MONET では、モバイルルータは下位のモバイルルータ/ノードに対して、パケットのルーティング以外の処理を全く行わないため、下位のモバイルルータ/ノードは上位のモバイルルータのマッピング情報の更新を待つ必要が無い。よって、式 (2) には、 $tp$  のみが出現する。

ここで、 $tp, t_u, t_n$  の大きさについて述べる。 $tp$  は、同一サブネットにあるノード同士での通信である。 $t_u, t_n$  は、それぞれ、いくつかのルータを経由した先のノードとの通信である。また、 $t_u$  は、モバイルルータ/ノードと IMS における公開鍵暗号の暗号化復号化処理が含まれる。 $t_n$  は、通信相手ノードが IMS へ問い合わせる時間も含む。よって、 $tp$  は  $t_u, t_n$  より小さいと考えられる。

### 6.1.3 NEMO

NEMO[6] において、モバイルルータが新しいネットワークに接続した場合、動作は次のような流れで行われる。

1. 新しいネットワークに接続
2. 気付けアドレスの取得
3. ホームエージェントへバインディングキャッシュの更新
4. 通信相手ノードに対し、新たに RR を行いバインディングキャッシュ更新

経路最適化は ARO[9] によるものと仮定する。

ハンドオーバーの処理は最上位のモバイルルータのみが行う。

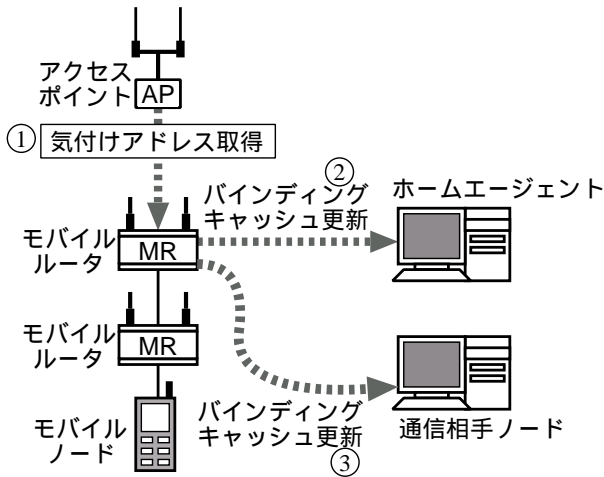


図 9: ネストしている場合の更新処理 (NEMO).

よって、NEMO においてモバイルルータがハンドオーバを行う場合、通信相手ノードのバインディングキャッシュが更新されるまでにかかる時間  $t_{nemo}$  は、気付けアドレスの取得時間を  $t_c$ 、モバイルノードのホームエージェントへのバインディングキャッシュ更新処理時間を  $t_h$ 、通信相手ノードへのバインディングキャッシュ更新時間を  $t_r$  とした場合、

$$t_{nemo} = t_c + t_h + t_r \quad (4)$$

となる。

$t_c, t_h, t_r$  それぞれの大きさであるが、 $t_c$  は同一セグメントにあるノード同士の通信、 $t_h$  はホームエージェントとの通信、 $t_r$  は、RR であり、ホームエージェントを経由した通信相手ノードとの通信、となるので、下記のように考えると考えられる。

$$t_c \leq t_h \leq t_r \quad (5)$$

#### 6.1.4 比較

MAT-MONET と、NEMO それぞれのハンドオーバにおける遅延時間を分解してゆくと、MAT-MONET は、モバイルネットワークがネストしている深さに影響を受けることが分かる。

式 (1) において、ネストの深さの影響を受ける項は、

$$\sum_{i=1}^n (tp_i) \quad (6)$$

である。

よって、MAT-MONET のハンドオーバ時間はモバイルネットワークのネストの深さに影響を受ける。

このことから、NEMO のハンドオーバ時間はネストの深さに影響を受けないことが分かる。しかし、NEMO のハンドオーバとネストの深さに全く関係がないとは言えない。

NEMO のハンドオーバ時間の解析 (式 (4)) では、 $t_r$  は、最上位モバイルルータと、モバイルノードの通信相手ノードの間で行われるバインディングキャッシュ更新の処理時間である。つまり、最上位モバイルルータは、下位にある全てのノードの通信相手ノードに対し、バインディングキャッシュの更新に行かなければならない。それ故、ネストが深くなればノード数が増加し、モバイルルータの負荷もまた増加すると考えられる。

## 6.2 ヘッダオーバヘッド

次に、ヘッダオーバヘッドによるトラフィック増加の観点から、NEMO と MAT-MONET について比較を行う。

ペイロードサイズによって、ペイロードの転送効率などの程度影響を受けるか、各アーキテクチャについて計算した。ペイロードの転送効率は次の式で求めた。

$$\text{ペイロードの転送効率} = \frac{\text{ペイロードサイズ}}{\text{パケットサイズ}} \quad (7)$$

パケットサイズは、ペイロードサイズ、データリンク層ヘッダ/トレーラ、IPv6 基本ヘッダ、そして IPv6 拡張ヘッダからなるものである。

ネットワーク構成は、図 7 のネットワークとする。

### 6.2.1 NEMO

まず、NEMO であるが、ここでは ARO による経路最適化を仮定する。

ARO による経路最適化では、通信相手ノードからモバイルノードへのパケットには Type2 ルーティングヘッダ (RH2) が、モバイルノードから通信相手ノードへのパケットにはホームアドレスオプション (HoAO) が含まれる。

RH2 の方が HoAO より大きいいため、通信相手ノードからモバイルノードへのパケットについて考えると、式 (7) は次のように書くことができる。

$$R_{nemo} = \frac{L}{L + l_{link} + l_{basic} + l_{RH2}} \quad (8)$$

$R_{nemo}$ : NEMO における、ペイロードの転送効率

$L$ : パケットのペイロードサイズ

$l_{link}$ : データリンク層ヘッダ/トレーラ

$l_{basic}$ : IPv6 基本ヘッダのヘッダ長 = 40[byte]

$l_{RH2}$ : RH2 のヘッダ長 = 40[byte]



## 6.2.2 MAT-MONET

一方、MAT-MONETでは、通信に際して拡張ヘッダなどを必要としないため、パケット中のペイロードの転送効率は、次式のようになる。

$$R_{mat-monet} = \frac{L}{L + l_{link} + l_{basic}} \quad (9)$$

## 6.2.3 比較

式(8)と式(9)から、ペイロードサイズを横軸にしたグラフを図10に示す。

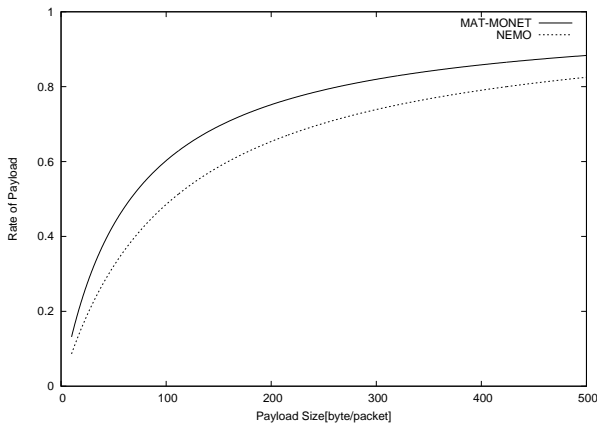


図10: ペイロードの転送効率.

なおここでは、データリンク層プロトコルをイーサネットとし、 $l_{link} = 26[\text{byte}]$ と仮定している。

図10において、MAT-MONETはペイロードサイズが264バイト未満で転送効率が80%を下回るのに対し、NEMOでは424バイト未満で80%を下回ることが分かった。転送効率が50%を下回るのは、MAT-MONETで66バイト未満、NEMOで106バイト未満である。NEMOがMAT-MONETと同程度転送効率を実現するためには、より大きいパケットである必要がある。

## 7 まとめ

MAT-MONETは、ハンドオーバー時に、モバイルネットワークのネストの深さに依存したオーバーヘッドが存在する。しかし、現実にはモバイルネットワークはそれほど深くネストすることはないと考えられる。また、ネストの深さに依存して増えてゆくのは、同一セグメント内のノード間通信であるから、それ自体が大きな値ではないと考えられる。一方、NEMOは、ネストの深さにはあまり影響されないものの、モバイルルータが自身のモバイルネットワークの中にある全てのノードの通信相手ノードとRRを行わなけ

ればならないというのは、モバイルルータにとって大きな負荷であると考えられる。

ハンドオーバーの際発生する制御トラフィック量に関して言えば、MAT-MONETがNEMOに比べて特に有利であるとは言えない。MAT-MONETも、ハンドオーバー時、モバイルネットワーク内の全てのモバイルルータおよびモバイルノードは、それぞれのIMSに対しマッピング情報の更新する必要があるためである。しかし、ハンドオーバーの処理に関して、NEMOでは、ハンドオーバーを行った1台のモバイルルータに処理が集中するのに対し、MAT-MONETでは、モバイルネットワークに含まれるモバイルルータとモバイルノードが個々に行い、処理が分散するという点で大きく異なる。

また、定常的なトラフィックに関しては、NEMOにおけるヘッダオーバーヘッドによるトラフィックの増加は、VoIPなどペイロードサイズが64~128byte程度と小さいアプリケーションで大きな問題になると考えられる。

本論文では、NEMOとMAT-MONETのそれぞれについて、ハンドオフ時の遅延時間とトラフィックオーバーヘッドについての解析と評価を行った。

これら以外の評価として、通信相手ノードが、移動透過通信機能を持っていない場合というものが考えられる。NEMOは、Mobile IPv6の性質を継承しており、経路最適化できないものの、ホームエージェントを介しての移動透過通信は可能である。一方、MAT-MONETでは、通信相手にMAT-MONETやMATの機能が無い場合、移動透過通信機能が全て無効になった状態での通信のみ可能である。通信の両端にMAT-MONETやMATの実装がある場合のみをサポートすることで、MAT-MONETはトラフィックを増加させずに移動透過通信を実現している。

また、耐障害性の観点からも評価することができる。MAT-MONETとNEMOは共に、通信の両端以外のノードを必要とする。MAT-MONETのIMSとNEMOのホームエージェントは共にセカンダリを設置することができるが、NEMOのホームエージェントは設置箇所に制限がある。

MAT-MONETのIMSは、DNSを利用することでインターネット上のあらゆる場所に設置することが可能であるのに対し、ホームエージェントは特定のリンクにしか設置することができない。そのため、ルータの故障などによりホームエージェントを設置しているリンクがインターネットから切り離された場合、セカンダリを含めてホームエージェントへの接続性が絶たれる。よってNEMOは、ある特定リンクの故障率の影響を直接受けることになり、MAT-MONETのIMSに比べ故障率を低減させることが困難であると考えられる。

本論文では、MAT-MONETとNEMOについて定性的な評価を行った。今後は、IMS問い合わせやRRなど各ブ

ロトコル固有のボトルネックや, IMS/ホームエージェントの配置による通信遅延, 耐故障性などをの定量的評価をシミュレーションによってより詳細に解析を行う。

draft-ng-nemo-access-router-option-01.txt, Internet-draft(Work in progress) (2004).

## 謝辞

本研究に関して数多くの御助言を頂きました, 広島市立大学情報処理センター前田香織助教授に深く感謝致します。

## 参考文献

- [1] Deering, S. and Hinden, R.: *Internet Protocol, Version 6 (IPv6) Specification*, RFC 2460 (1998).
- [2] D. B. Johnson, C. P. and Arkko, J.: *Mobility Support in IPv6*, IETF, RFC 3775 (2004).
- [3] Ishiyama, M., Kunishi, M., Uehara, K., Esaki, H. and Teraoka, F.: LINA: A New Approach to Mobility Support in Wide Area Networks, *IEICE Transaction on Communication*, Vol. E84-B, No. 8, pp. 2076–2086 (2001).
- [4] 相原玲二, 藤田貴大, 前田香織, 野村嘉洋: 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 (2002).
- [5] Inayat, R., Aibara, R., Nishimura, K., Fujita, T. and Maeda, K.: 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).
- [6] Devarapalli, V., Wakikawa, R., Petrescu, A. and Thubert, P.: *Network Mobility (NEMO) Basic Support Protocol*, IETF, draft-ietf-nemo-basic-support-03.txt, Internet-draft(Work in progress) (2004).
- [7] 藤田貴大, 野村嘉洋, 西村浩二, 前田香織, 相原玲二: MAT によるモバイルネットワークの実現, *DI-COMO2003*, pp. 105–108 (2003).
- [8] Thubert, P. and Molteni, M.: *IPv6 Reverse Routing Header and its application to Mobile Networks*, IETF, draft-thubert-nemo-reverse-routing-header-05.txt, Internet-draft(Work in progress) (2004).
- [9] Ng, C. and Hirano, J.: *Securing Nested Tunnels Optimization with Access Router Option*, IETF,