

# NAPT を利用した移動透過通信アーキテクチャ MAT4 におけるモバイルルータの設計

関 顕 生<sup>†1</sup> 相 原 玲 二<sup>†2</sup>

本稿では、IPv4 ネットワークにおいて移動透過通信を実現するアーキテクチャMAT4 に NAPT を組み合わせることでモバイルネットワークを実現する手法を提案する。近年では Wi-Fi や 3G, WiMAX などの多様な無線ネットワークが利用できるようになり、複数の異種メディアを搭載する機器が増えてきている。こうした端末を MAT4 対応のモバイルルータとして利用することで、移動透過通信機能を持たない端末でもモバイルルータのワイヤレス WAN 等を利用して移動透過通信することが可能となる。本稿では、MAT4 の実装の一つである Linux を基に、NAPT 利用による MAT4 モバイルルータを設計し、その構成と実装方針について述べる。

## A Design of NAPT Combined MAT4 Mobile Router: Network Mobility Support for IPv4

AKIO SEKI<sup>†1</sup> and REIJI AIBARA<sup>†2</sup>

In this paper, we propose a design of IP mobility support mobile router which consists of NAPT with MAT4 mobile node. Recently, various wireless communication technologies such as Wi-Fi, 3G, and WiMAX are becoming familiar, and we can obtain the computer equipped with two or more different kinds of wireless interfaces. Therefore we suggest to use such a computer as a MAT4 mobile router providing the IP mobility to non-MAT4 nodes. We describe the design and implementation policy about MAT4 mobile router based on Linux.

### 1. はじめに

近年、Wi-Fiをはじめ3GやWiMAXなどの多彩な無線ネットワークが利用可能になりつつあり、ラップトップPC以外にもスマートフォンのようなIP対応端末が爆発的に増加しつつある。これらの端末のうち、複数の通信メディアを持つものは用途や場所に依ってメディアを切り替えて使うようになってきている。また、WAN側に3GとWi-Fiを搭載するモバイルWi-Fiルータの登場もIP対応機器のモバイル利用を後押ししている。このような状況下では、通信中にユーザが移動したり、メディアを切り替えたりしても通信を維持できる移動透過通信機能が求められる。インターネットでは、IPアドレスがノードの識別子としての役割だけでなく、IPアドレスのネットワーク部が間接的に位置情報も表しているため、端末が別のネットワークへ移動すると、異なるIPアドレスが割り当てられる。しかし、トランスポート層では、IPア

ドレスが通信識別子の一部に用いられているため、IPアドレスの変更により別の通信とみなされ通信を維持することができない。このような背景から、IP層における移動透過通信アーキテクチャの研究が行われている。IPv4用の技術として、MIP<sup>1)</sup>、Mobile PPC<sup>2)</sup>などが提案されている。IPv6ではMIP6<sup>3)</sup>、LIN6<sup>4)</sup>、MAT6<sup>5)</sup>など、さらにネットワークレベルで移動透過通信を支援する仕組みとしてNEMO<sup>6)</sup>が標準化されている。一方で、IPv4においてネットワークの移動透過通信を支援する研究はほとんど行われていない。トランスポート層で移動透過性を実現する研究<sup>7)</sup>も多く存在するが、IP層で移動透過性を実現する意義は、特定のトランスポート層プロトコルに依らず、上位プロトコルに移動透過性をもたらす点にある。

筆者らは、IP層における移動透過通信アーキテクチャMAT4(Mobility support Architecture and Technologies for IPv4)を提案<sup>8)9)</sup>し、開発を行っている。MAT4はエンドツーエンドで移動透過通信を実現するアーキテクチャであり、同種・異種メディア間のハンドオーバをサポートしている。MAT4は移動ノードが移動透過通信を実現することを目標としていることから、通信のエンドノードにMAT4の実装が求められる。しかし、リソースの乏しい携帯端末等への実装

†1 広島大学大学院総合科学研究科  
Graduate School of Integrated Arts and Sciences,  
Hiroshima University

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

は困難であるため、ネットワーク側で MAT4 の機能を実現する仕組みも必要である。本稿では、複数インターフェースを持つ MAT4 ノードに NAPT<sup>10)</sup> を組み合わせることで、非 MAT4 ノードにモバイルネットワークを提供するモバイルルータ (以降、MR) を提案する。この手法により、非 MAT4 ノードにおいても移動透過通信が可能になり、MR 化する MAT4 ノードが 3G や WiMAX 等のワイヤレス WAN に対応していれば、モバイルネットワーク内のノードがそれらを利用して通信ができるようになる。MR の移動透過通信の支援機能は、モバイル Wi-Fi ルータとしての利用や複数キャリア間のハンドオーバを目標としている。そのため、MR が持つネットワークインターフェースを、用途、場所、通信料金等に応じて切り替えて使用することが可能になると考えている。例えば、MR が Wi-Fi を利用可能なエリアから外れる前に通信を維持したまま WiMAX 等のワイヤレス WAN に切り替えるなど、ネットワークのディペンダビリティを高める利用方法も考えられる。

MAT4 の MR は MAT4 の移動ノード (MN: Mobile Node) の拡張である。NAPT を利用してモバイルネットワークを構築する背景には、IPv4 アドレスの枯渇問題がある。近年では、新規に割当て可能な IPv4 アドレスが枯渇しつつあり、爆発的に増えつつあるスマートフォンなどの IP 対応携帯機器に対して潤沢にグローバル IP アドレスを割り振ることが困難になってきている。NAPT を利用すれば移動端末が利用するグローバル IP アドレスを節約することが可能になる。本稿では、MAT4 の実装対象の 1 つである Linux を基に、NAPT を利用した MAT4 モバイルルータの設計と実装の方針を述べていく。

## 2. 関連技術

### 2.1 モバイル Wi-Fi ルータ

近年ラップトップ PC のみならず、スマートフォンや電子書籍ビューワ等の機器にも Wi-Fi が搭載され、無線 LAN を利用して写真のアップロードや電子書籍のダウンロードが行われるようになってきている。このような機器をワイヤレス WAN を利用して広域データ通信できるようにするために、LAN 側を Wi-Fi で接続し WAN 側に Wi-Fi と 3G を提供するルータが登場してきている。これらは一般的にモバイル Wi-Fi ルータと呼ばれ、利用する場所や電波状況に応じて Wi-Fi と 3G を切り替えて使用できるようになっている。

ネットワークの切り替えに伴うアドレス変更のユーザーへの影響はアプリケーションによって異なる。例えば、メールチェックや写真のアップロードなどサーバとの通信時間が比較的短く、ネットワークの切替時に通信を行う確率が小さいもの、あるいは自動的・定期的に再接続を試みるものはユーザーへの負担は小さいと思わ

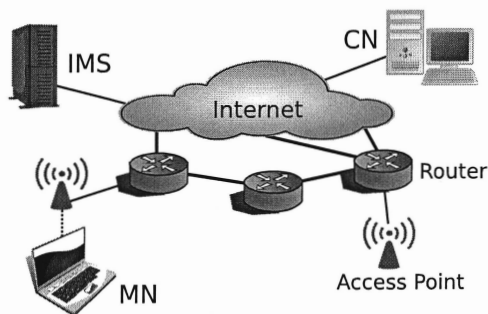


図 1 MAT4 のノード構成

れる。しかし、連続的にデータを送受信する VoIP アプリケーションや動画のストリーム受信等は通信の途絶が起こると、ユーザが再接続やページの再読み込みをしなければならない。この問題を解決する方法として、先述したような移動透過通信技術を応用することが考えられる。本研究の目標は、複数の無線メディア・キャリア間のハンドオーバに対しても移動透過通信を支援するモバイルルータを実現することである。

### 2.2 Mobile NPC

Mobile NPC (Mobile Network to Peer Communication)<sup>11)</sup> は、IPv4 においてネットワークモビリティを実現する手法の一つである。この手法は、エンドノードだけで移動透過性を実現する Mobile PPC<sup>2)</sup> と、エンドノードとルータに機能追加することにより NAT 越えを実現することができる NAT-f (NAT-free protocol)<sup>12)</sup> を組み合わせた技術である。Mobile NPC は IPv4 アドレスの枯渇問題を意識しており、モバイルネットワーク内のノードはプライベートアドレスを使用できる特徴がある。アーキテクチャ上の性質は基礎技術となる Mobile PPC の性質を引き継いでおり、DNS 以外の特別なノードを必要としない一方で、IP アドレスではなくドメイン名による通信相手指定が必須となっている。Mobile NPC は、筆者らが目指しているネットワークモビリティの形態と似ているが、ネットワーク層で移動透過性を実現する MAT4 と設計思想が異なる。

### 2.3 MAT4

MAT4 は筆者らが提案し実装を行ってきたエンドツーエンド方式による移動透過通信アーキテクチャである。図 1 にノードの構成例を示す。MAT4 は MAT6 と同様に 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識別子の性質を 2 つのアドレスに分離し、前者をホームアドレス (HoA: Home Address)、後者をモバイルアドレス (MoA: Mobile Address) と呼ぶ。HoA は MN のアプリケーションが使用する IP アドレスである。一方、MoA はネットワークから一時的に割り当てられるものであり、HoA と異なりグローバルルーティングが可能な IP アドレスである。HoA

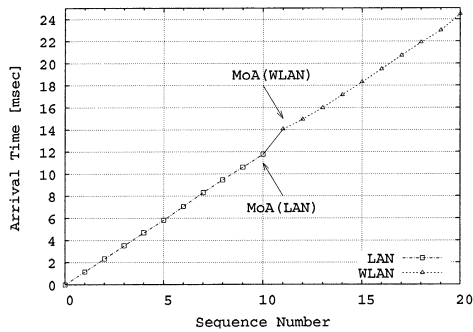


図2 有線から無線へのハンドオーバー (UDP 10Mbps)

と MoA の対応関係をマッピング情報と呼び、IMS(IP address Mapping Server) で管理している。例えば、MN は通信相手 (CN:Correspondent Node) の HoA をキーにして IMS に問合せ (MA Query) をすることで現在 CN が使用している MoA を取得することができる。MN と CN は、マッピング情報に基づいて各ノードの IP 層でアドレス変換することにより、アプリケーションに対して移動に伴う IP アドレスの変更を隠蔽できるため、継続的な通信が可能となる。

MAT4 は、Wi-Fi から Wi-Fi といった同種メディア間のハンドオーバーのほか、Wi-Fi と有線 LAN といった異種メディア間のハンドオーバーも行うことができる。図 2 の例は、MN が有線 LAN から無線 LAN へハンドオーバーした前後に CN へ到着したパケットをシーケンス番号順にプロットしたものである。有線 LAN は 100BASE-TX Full Duplex、無線 LAN は IEEE802.11g を使用し、MN が 10Mbps の UDP トラフィックをかけながら有線 LAN から無線 LAN へハンドオーバーを行っている。図 2 中では、シーケンス番号が 10 までは有線 LAN 側の MoA、11 番以降は無線 LAN 側の MoA が送信元アドレスとなっている。10 番と 11 番の間でジッタが発生しているが、これは MN と CN 間の RTT がハンドオーバー前後のネットワークで異なるためである。このように MAT4 は異種メディア間のハンドオーバーにおいてもパケットを損失することなく行うことができる。

MAT4 は IPv4 用の移動透過通信アーキテクチャであり、基本機能は MAT6 と同じであるが、IPv4 環境では IPv6 に比べて利用できるアドレス空間は限られている。MAT6 でモバイルネットワークを形成する場合<sup>13)</sup> には、その広大なアドレス空間を活かして、モバイルネットワーク内の各エンドノードはグローバルルーティング可能な IP アドレスを使用することができる。しかし、MAT4 ではアドレス空間の制約により MAT6 と同様のモバイルネットワークを形成することは実用的に困難である。ゆえに、モバイルネットワーク内でのノード通信にはプライベート (ローカル) IP

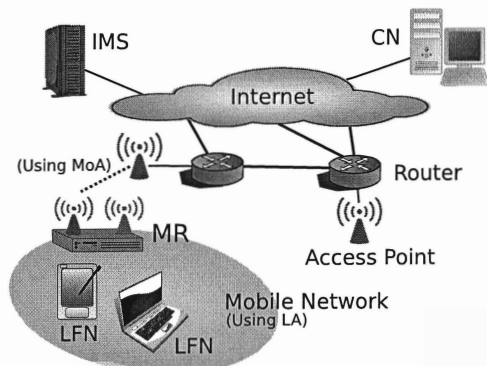


図3 モバイルネットワークの構成

アドレスを使用することとする。ただし、想定しているアドレス空間は RFC1918<sup>14)</sup> のプライベートアドレスに限定しないため、MR のモバイルネットワーク側インターフェースに属するサブネットの IP アドレスをローカルアドレス (LA) と定義する。

## 2.4 NAPT と iptables

NAPT(Network Address Port Translation) とは、ネットワークアドレス変換 (NAT:Network Address Translation)<sup>10)</sup> の技術のうち、複数のノードが一つの IP アドレスを共有できるように、IP アドレスに加えてポート番号の変換を行うものである。Linux における NAPT の実装は IP マスカレードと呼ばれている。今日では新規に割当て可能な IPv4 アドレスは枯渇しつつあるため、モバイルネットワーク全体で使用するグローバル IP アドレスを節約する必要がある。本稿におけるモバイルルータの設計では NAPT を利用することでグローバル IP アドレスの節約を実現する。

iptables は Linux カーネルの IP パケットフィルタと NAT のルールテーブルを設定・管理・検査するために使われるコマンドである。MAT4 ノードで NAPT を実現するにはこの iptables を操作する必要がある。次章ではモバイルネットワークの構成について説明し、モバイルネットワーク内のノードから外部ネットワークのノードへパケットを送信する場合、あるいはその逆の場合においてパケットの IP アドレスとポートの変換過程について述べる。さらに、MR を設計する上でポイントとなる NAPT との連携について概要を述べる。

## 3. ネットワーク構成とアドレス変換

### 3.1 モバイルネットワーク概要

モバイルネットワークの構成を図 3 に示す。MAT4 の機能として使用するノードは図 1 で示したものと同一であり、使用するプロトコルも同一である。図 3 の MR が今回提案する MAT4 に対応したモバイル

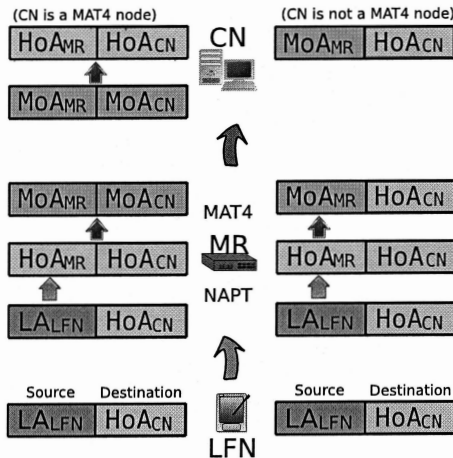


図 4 LFN から CN へのパケット

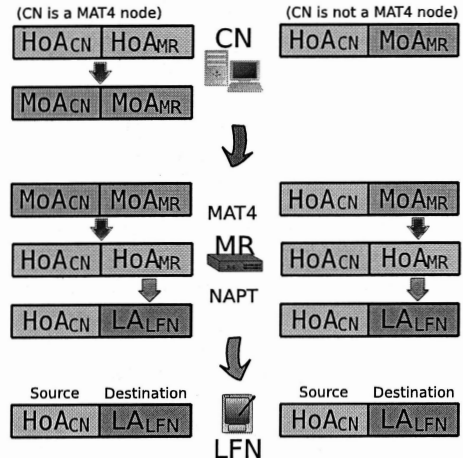


図 5 CN から LFN へのパケット

ルータである。このモバイルネットワーク内のノードは MAT4 を実装しておらず、ノード単体では移動透過通信に対応していないのでローカル固定ノード (LFN:Local Fixed Node) と表記する。MR と LFN は Wi-Fi や有線 LAN 等で接続することを想定している。また、LFN への IP アドレスの設定は手動でローカルアドレス (図中 LA) を設定するか、MR 上の DHCP サーバを利用して設定する。次節では、LFN から外部ネットワークの CN へパケットを送信する場合、あるいはその逆の場合においてパケットの IP アドレスの変換過程について述べる。

### 3.2 パケットのアドレス変換過程

ここでは説明のためパケットの送信元アドレスと宛先アドレスを (*src*, *dst*) と表記する。なお、MAT4 非対応ノードの IP アドレスの扱いは特殊であり、ノードの固有識別子であるため HoA 相当としている。

#### 3.2.1 LFN から CN へのパケット

図 4 にモバイルネットワーク内の LFN から外部の CN へパケットを送信する際のアドレス変換の例を示す。MR は LFN から ( $LA_{LFN}$ ,  $Ho_{ACN}$ ) のパケットを受け取ると、通常の NAPT 動作によりトランスポート層のポート番号を含めて、送信元アドレスを HoA に書き換えて ( $Ho_{AMR}$ ,  $Ho_{ACN}$ ) とする。その後、MAT4 の動作により送信元アドレスをさらに MoA に書き換えて、宛先アドレスも IMS から取得したマッピング情報を基に CN の MoA に書き換えて、同図左側の ( $Mo_{AMR}$ ,  $Mo_{ACN}$ ) とする。もし CN が非 MAT4 ノードならばマッピング情報が存在しないので、同図右側のように宛先アドレスの変換は行わない。

MR からのパケットを受け取った CN (MAT4 ノード) は、MAT4 の動作により送信元アドレスと宛先アドレスを HoA に書き換えて ( $Ho_{AMR}$ ,  $Ho_{ACN}$ ) とし、CN のアプリケーション層にパケットを渡す。

### 3.2.2 CN から LFN へのパケット

図 5 に外部の CN からモバイルネットワーク内の LFN へパケットを送信する際のアドレス変換の例を示す。アドレス変換は図 4 とは逆のプロセスをたどる。まず、CN (MAT4 ノード) から LFN へ送信する際にアプリケーション層が作成したパケットは ( $Ho_{ACN}$ ,  $Ho_{AMR}$ ) となっている。そのため、MAT4 の動作により送信元アドレスと宛先アドレスを MoA に書き換えて ( $Mo_{ACN}$ ,  $Mo_{AMR}$ ) とする。一方、CN (非 MAT4 ノード) は ( $Ho_{ACN}$ ,  $Mo_{AMR}$ ) となっている。MN が CN からパケットを受け取ると、まず MAT4 の動作で送信元アドレスと宛先アドレスを HoA に書き換えて ( $Ho_{ACN}$ ,  $Ho_{AMR}$ ) とする。次に NAPT の動作によりトランスポート層のポート番号も含めて宛先アドレスを PA に書き換える。最終的に MN のノード内で ( $Ho_{ACN}$ ,  $LA_{LFN}$ ) までアドレス変換した後に LFN へ転送される。

### 3.3 NAPT と HoA の関係

今日では新規に割当て可能な IPv4 アドレスは枯渇しつつあり、ローカルネットワーク内のノードにはプライベート IP アドレスを割当て、インターネットに接続するには NAT (NAPT) を利用してグローバル IP アドレスを使用することが一般的になっている。MAT4 において HoA はノードの固有識別子であり、ノードが移動しても IP アドレスは変化しない。一方で、MoA は接続するネットワークから一時的に割り当てられるものである。そのため、MAT4 でモバイルネットワークを形成する際には、NAPT で HoA をアドレス変換すべきグローバル IP アドレスと見立てて、モバイルネットワーク内ではプライベート IP アドレスを使用する方法が、モバイルネットワークが移動しても NAPT のアドレス・ポート番号の対応関係を維持できるという点で都合がよい。図 4, 5 に示してい

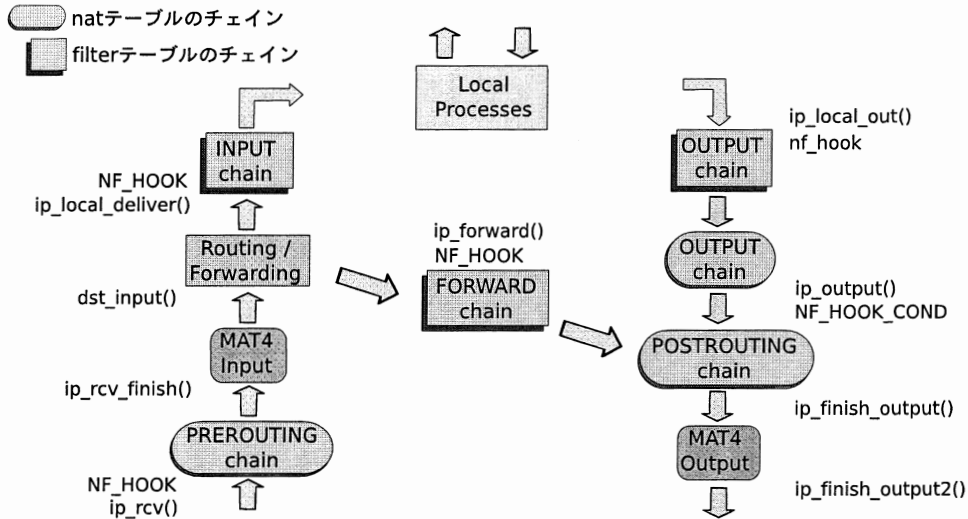


図 6 IP 層における MAT4 と netfilter/iptables の位置関係

るように、MR の内部では MAT4 の動作と NATP の動作は完全に分離しているため、MR は MN の拡張であると言える。ゆえに、モバイルネットワークで使用する HoA と MoA の個数は MN 1 台の場合と同じである。

#### 4. カーネル内の構成

ここでは MR の IP 層について、MAT4 の機能とネイティブ Linux カーネルにおける netfilter/iptables 実装の位置関係について概要を説明する。

##### 4.1 MAT4 と iptables の関係

図 6 に Linux カーネルの IPv4 スタックの概要を示す。ただし、netfilter/iptables 実装と MAT4 の位置関係を強調するために他の機能は省略して表現している。まず、それぞれの機能について説明する。

MAT4 Input/Output は、パケットの入出力時に HoA と MoA の相互変換を行うものである。nat テーブルには 3 つのチェーンがあり、それぞれ担当する NAT の動作がそれぞれ異なっている。POSTROUTING チェーンは SNAT であり、送信元アドレスの変換を行う部分である。また、PREROUTING チェーンは、DNAT を実現するものであり宛先アドレスの書き換えを行う部分である。一方、OUTPUT チェーンはローカルで生成されたパケットに対して DNAT を行う部分である。

filter テーブルについては、本稿の MR の実装において直接の関係は無い。しかし、filter テーブルには INPUT/OUTPUT/FORWARD の 3 つのチェーンがあり、MAT4 モジュールや nat テーブルと独立している。そのため、MR の運用時にセキュリティ対策と

して一般のノードと同じようにパケットフィルタを設定することが可能である。

カーネルの設計方針として、NAPT の実装と MAT4 カーネルのパケットの受渡しはホームアドレス (HoA) で行うものとする。これは先述した通り、MoA より HoA を使用した方が NAPT のアドレス・ポート番号の対応関係を維持する上で都合がよいためである。MAT4 の MR が MN と大きく異なる箇所は、パケットのフォワーディングを行う点である。これはルータとしての基本動作であるが、MAT4 のアドレス変換ルールと NAPT のアドレス変換ルールに対して矛盾無く転送処理を実現する必要がある。幸い、Linux カーネルでは netfilter/iptables 実装 (FORWARD/POSTROUTING chain 等) や MAT4 カーネルのアドレス変換部 (MAT4 Input/Output が相当) は機能毎に実装がまとまっているので、既に存在している機能 (カーネル関数) を組み合わせることは比較的容易である。モバイルルータの動作時には、MAT4 ノードとしての機能を制御する従来のユーザランドプログラムその他、NAPT 機能は iptables コマンドによって制御することを検討している。

##### 4.2 実装状況

Linux における MAT4 は MN として利用できる状況であり、Debian GNU/Linux 5 と CentOS 5.5 において動作確認がとれている。有線 LAN と Wi-Fi において目標の移動透過通信ができており、同種・異種メディア間のハンドオーバーも可能である。現在、E-Mobile や 3G, WiMAX 等の様々な無線メディアへの対応を進めているが、これらのメディアに合わせて MAT4 の実装を修正・変更する箇所はほとんど無く、むしろネイティブ Linux カーネルおよびデバイスド

ライバの対応状況に大きく依存している。本稿では、MAT4のモバイルノードにNAPTを組み合わせたことでモバイルルータを実現する方法を述べた。MAT4のMN実装はすでに機能しており、NAPTはLinuxで既に実装されて枯れた技術となっている。あとは、MAT4のカーネルモジュールとの連携を実装することで実現できる見通しである。現在、MAT4カーネルモジュールとNAPTと連携できるようにカーネルを構築している段階である。

## 5. 考 察

### 5.1 インフラによる制限

MAT4モバイルルータが使用するMoAはグローバルIPアドレスであることを想定している。現在のMAT4プロトコルは、MNとCN間さらにIMSまでの経路上にNAT<sup>\*1</sup>が存在しないことを前提に設計されており、MAT4のMNをベースに設計するMRもこの制約を受ける。一方で、MRを含めてMAT4の構成ノードが全てプライベートネットワーク内に収まる運用をすれば、MoAにプライベートアドレスを使用することができる。しかし、この場合は運用規模がかなり限られたものになるであろう。

現在、ISPなどが提供する無線系サービスでは端末にグローバルIPアドレスが割当てられることが多い。しかし、IPアドレス枯渇問題が顕在化する以前から、国内のケーブルテレビ(CATV)系のISPでは、ケーブルテレビ局にNATを導入し、加入者にはプライベートIPアドレスを割り当ててインターネットへ接続するサービスが広く行われている。今後、IPv4アドレスの枯渇問題が深刻化すれば、その他のISPでもラージスケールNAT(LSN)が導入される動きもある。そのため、モバイル環境でもグローバルIPアドレスが割り当てられるケースは減少してくると予想される。このような問題を解決するアプローチとして、1つはMAT4がNAT越えに対応することが考えられる。また、IPv6では既にNEMOやMAT6といった手法が提案されているので、今後のIPv6環境の普及にも期待したい。

### 5.2 NAPTによる制限事項

NAPTは複数のプライベートIPアドレスを持ったノードが1つのグローバルIPアドレスを共有して使用する技術であるため、ローカルネットワークには実用的な接続可能台数がある。近年では、マルチタスクでネットワークアプリケーションを使用したり、Ajaxを用いたWebサイトの登場などにより、ノードが使用するポート数は増加傾向にある。それでもLFNのアプリケーションによってMRに接続可能な台数がある程度見積もることは可能である。MRのモバイルネットワークに接続可能な端末数は、固定ネットワークで

NAPTを使用する場合と理論的に同じである。しかし、モバイルの用途で固定ネットワークと同数の端末を接続する機会は実用的に少ないと思われるため、接続台数の制限が問題になる可能性は低いと考えられる。

NAPTのアドレス・ポート番号の変換テーブルの性質上、外部ネットワークからモバイルネットワーク内のノードへのパケットの到達性は良いとは言えない。なぜならNAPTのアドレス・ポート番号の変換ルールは、モバイルネットワークから外部のネットワークへパケットが送信される時に作成されるものであり、外部から到達したパケットはNAPTの変換ルールに存在する場合においてのみ、モバイルネットワーク内のノードに転送されるからである。ゆえに変換ルールが存在しなければパケットは破棄されてしまう。もし、動的なNAPTの変換ルールに依存せずに特定のLFN宛にパケットを到達させたい場合には、ポートフォワーディング機能を利用する。そのため、WebサーバであるならTCP:80番を割り当てるといったように、目的のアプリケーションごとに静的なアドレス・ポート番号の設定が必要とされる。ローカルネットワーク側からNAPTを操作する技術にUPnP<sup>\*2</sup>があり、MRをUPnPに対応させることでLFN側からNAPTのポートマッピングを操作して外部からの到達性を確保することができる。

### 5.3 IPv4での実現の意義

1章でも述べたが、IPv6環境下でモバイルネットワークを実現する手法にはNEMOやMAT6などがある一方、IPv4環境で実現する研究はほとんど行われていない。また現在、ISPなどが提供する無線系サービスはIPv4が主流であり、IPv6でのサービスはほぼ皆無と言える状況である。このような背景から、筆者らは先行研究のMIP<sup>1</sup>が持つ、経路上の単一障害点、冗長な経路、トンネリングオーバーヘッドの存在といった問題を克服するMAT4を提案し、開発を行ってきた。

さらに、IPv4環境はIPアドレスの枯渇問題に直面しており、多数の移動ノードが形成するモバイルネットワークにおいてもグローバルIPアドレスを節約する必要がある。本稿のMR設計ではこうした事情を考慮し、MAT4のMN1台が必要とするグローバルIPアドレス(HoAとMoA)と同数のアドレスでモバイルネットワークを実現できるようにしている。

## 6. おわりに

本稿では、移動透過通信アーキテクチャであるMAT4のモバイルノードにNAPTを組み合わせたモバイルルータの設計を述べた。現在、Wi-Fiと3GをWAN側に持つモバイルWi-Fiルータが登場してきているが、後は使用する場所や電波状況、通信料

\*1 ここではあらゆるアドレス変換技術の総称として使用している

\*2 UPnP Forum: <http://www.upnp.org/>

金に応じてネットワークを切り替えて使うことが多くなると考えられる。提案手法では、ネットワークの切り替え時においても通信の継続性を提供することができ、モバイルネットワーク内のノードは移動透過通信の実装を必要としないメリットがある。ただし、移動透過通信を実現するためには通信相手が MAT4 に対応している必要がある。MAT4 のモバイルルータの実装には技術的な課題が残っているが、実現への道筋を示すことができた。今後は実装を進めてモバイルルータの通信性能を評価していく予定である。

謝辞 本研究に関して、日頃より MAT に関する議論にご参加いただいている広島大学情報メディア教育研究センター情報基盤研究部門、広島市立大学情報科学研究科インターネット工学研究室、株式会社ディアイティ、ネットワンシステムズの関係各位に心より感謝いたします。なお、本研究の一部は、日本学術振興会科学研究費補助金(20300029)の支援を受けて実施しています。ここに記して謝意を表します。

#### 参 考 文 献

- 1) Perkins, C. and Ed.: IP Mobility Support for IPv4, RFC 3344, IETF (2002).
- 2) 竹内元規, 鈴木秀和, 渡邊 晃: エンドエンドで移動透過性を実現する Mobile PPC の提案と実装, 情報処理学会論文誌, Vol.47, No.12, pp.3244-3257 (2006).
- 3) Johnson, D., Perkins, C. and Arkko, J.: Mobility Support in IPv6, RFC 3775, IETF (2004).
- 4) Ishiyama, M., Kunishi, M., Uehara, K., Esaki, H. and Teraoka, F.: LINA: A New Approach to Mobility Support in Wide Area Networks, *IE-ICE Transaction on Communication*, Vol.E84-B, No.8, pp.2076-2086 (2001).
- 5) 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).
- 6) Devarapalli, V., Wakikawa, R., Petrescu, A. and Thubert, P.: Network Mobility (NEMO) Basic Support Protocol, RFC 3963, IETF (2005).
- 7) Atiquzzaman, M. and Reaz, A. S.: Survey and Classification of Transport Layer Mobility Management Schemes, *IEEE 16th International Symposium on Personal, Indoor and Mobile Radio Communications*, Vol.4, pp.2109-2115 (2005).
- 8) 岩田裕貴, 森廣勇人, 関 顕生, 前田香織, 井上博之, 相原玲二, 岸場清悟: 移動透過アーキテクチャ MAT の IPv4 対応とその性能評価, 電子情報通信学会技術研究報告. IA, インターネットアーキテクチャ, Vol.109, No.299, pp.7-12 (2009).
- 9) 関 顕生, 岩田裕貴, 森廣勇人, 前田香織, 岸場清悟, 相原玲二: IPv4 拡張した移動透過アーキテクチャ MAT の設計と実装, 情報処理学会研究報告. IOT, インターネットと運用技術研究会, Vol.2010-IOT10-8 (2010).
- 10) Egevang, K. and Francis, P.: The IP Network Address Translator (NAT), RFC 1631, IETF (1994).
- 11) 坂本順一, 鈴木秀和, 伊藤将志, 宇佐見庄五, 渡邊 晃: プライベートアドレスによるネットワークモビリティを実現する Mobile NPC の提案, 情報処理学会論文誌, Vol.50, No.10, pp.2543-2555 (2009).
- 12) 鈴木秀和, 宇佐見庄五, 渡邊 晃: 外部動的マッピングにより NAT 越え通信を実現する NAT-f の提案と実装, 情報処理学会論文誌, Vol.48, No.12, pp.3949-3961 (2007).
- 13) 相原玲二, 藤田貴大, 岸場清悟, 田島浩一, 西村浩二, 前田香織: 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, インターネットカンファレンス 2006 論文集, Vol.2006, 日本ソフトウェア科学会, pp.13-20 (2006).
- 14) Rekhter, Y., Moskowitz, B., Karrenberg, D., de Groot, G. and Lear, E.: Address Allocation for Private Internets, RFC 1918, IETF (1996).