

## IPv6 を用いたモバイル IP バックボーンの構成に関する一考察

加藤 聰彦 井戸上 彰 横田 英俊

移動体データ通信の普及に伴い、移動体通信サービスのバックボーンネットワークの構築に関する検討が広く行われている。移動体通信においては、端末の数が莫大に増加することが予想されるため、IPv6 の導入が有望視されている。現在 IETF において、IPv6 に基づく Mobile IP プロトコル (Mobile IPv6) の検討が精力的に行われている。さらに Mobile IP によるマイクロモビリティの実現を目的として、Mobile IPv6 に対する Regional Registration や高速ハンドオフ機能の検討も行われている。本稿では、これらの動向について述べるとともに、筆者らの IPv6 ベースバックボーン構築に対するアプローチについても言及する。

## A Study on IPv6 Based Mobile IP Backbone Network

Toshihiko Kato, Akira Idoue and Hidetoshi Yokota

Recently, mobile data communication is one of the hottest topics in communication fields. Since it is expected that the number of mobile terminals grow very quickly, the use of IP Version 6 (IPv6) are widely considered. Currently, IETF is very active in standardizing Mobile IP protocol using IPv6 (Mobile IPv6). Mobile IPv6 has many advanced characteristics such as the route optimization is realized as a fundamental part in a seamless way with registration. Moreover, in order to overcome the weakness of Mobile IP in a micro mobility, the regional registration and the fast handoff mechanisms for Mobile IPv6 are also discussed actively. This paper describes the overviews of IPv6, Mobile IPv6 and their extensions. It also shows the direction of our implementation of IPv6 based mobile backbone network.

### 1. はじめに

移動体データ通信の普及に伴い、移動体通信サービスのバックボーンネットワークの構築に関する検討が広く行われている。移動体通信においては、端末の数が莫大に増加することが予想されるため、端末に割り当てる IP アドレス空間を拡大することを目的として、IPv6 [1]

KDD 研究所  
KDD R&D Laboratories, Inc.

の導入が有望視されている。現在 IETF において、IPv6 に基づく Mobile IP プロトコル (Mobile IPv6) [2] の検討が精力的に行われている。IPv6 に基づく Mobile IP では、IPv4 に基づく Mobile IP プロトコル (Mobile IPv4) [3] の検討において追加的な機能となっている経路最適化 (Route Optimization) などが、基本的な機能として具備されている。この意味では Mobile IPv6 は Mobile IPv4 を高度化したプロトコルである

といえる。

一方、Mobile IP 自身は隣り合う無線セルの間での移動などのマイクロモビリティの管理には不相当であると考えられる。このため、Mobile IPv4 の検討においても、近隣の地域での移動の位置登録を階層的に行う Regional Registration や、移動に伴う通信停止時間を短くする高速ハンドオフ (Fast Handoff や Smooth Handoff などと呼ばれる) の検討が行われている。これらの検討は Mobile IPv6 においても行われており、現在多数の Internet Draft が提案されている。

本稿では、Mobile IPv6 およびその拡張機能である Regional Registration と高速ハンドオフの標準化動向について述べる。また筆者らも現在 IPv6 を用いたモバイルバックボーンネットワークに関する検討を進めており、その方針についても合わせて述べる。

## 2. IPv6 の概要

### 2.1 IPv6 のヘッダ構成

IPv6 では、IPv4 の問題点をもとに、16 バイトの IP アドレス形式の使用、ヘッダフォーマットの単純化、オプション情報の効率的なサポート、フローラベルの導入などが行われている。図 1 に IPv6 のパケットヘッダの構成例を示す。先頭部分が IPv6 本来のヘッダであり、それに複数拡張ヘッダが続く場合がある。IPv6 ヘッダは、バージョン、パケットの優先度を示すトラフィッククラス、フローラベル、送信元および宛て先アドレスなどの情報を含む。IPv4 のヘッダに比べて、チェックサムが無いなど簡単な構成となっていることがわかる。また次ヘッダ値が次のヘッダの種別を示すもので、IPv6 拡張ヘッダまたは TCP/UDP などの上位プロトコルのヘッダに合わせて、ヘッダ番号が与えられている。TCP や UDP に対しては IPv4 のプロトコルフィールドで使用された値 (TCP は 6、UDP は 17) が使用される。

IPv6 拡張ヘッダとしては、以下のものが定義されている。

- ・ ホップバイホップオプションヘッダ：パケットの転送経路の各ノードで処理されるヘッダ。次ヘッダ値は 0。

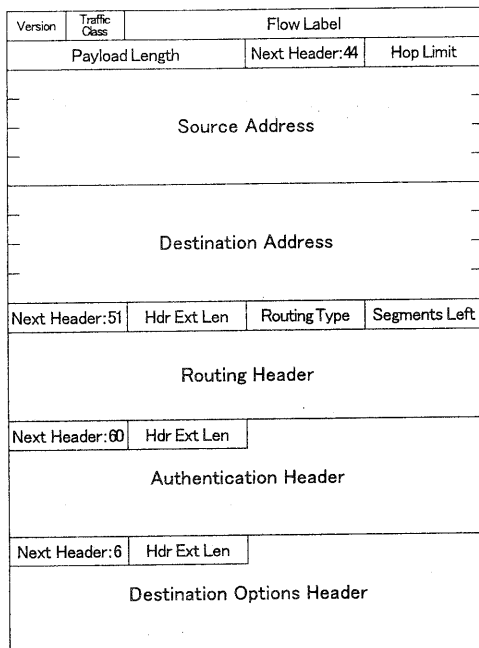


図 1 IPv6 のヘッダ構成

- ・ ルーティングヘッダ：IPv4 の Loose Source and Record Route option と同様の機能を提供し、途中で経由するノードを規定する。次ヘッダ値は 43。
- ・ フラグメントヘッダ：送信元ノードでパケットを分割するために使用され、オフセットや識別子を運ぶ (IPv6 では分割は送信元ノードのみで行われる)。次ヘッダ値は 44。
- ・ 認証ヘッダ：送信者を認証するための情報を含む [4]。次ヘッダ値は 51。
- ・ 宛て先オプションヘッダ：パケットの宛て先ノードで処理されるオプションの情報を運ぶ。次ヘッダ値は 60。後述のように Mobile IPv6 ではこの拡張ヘッダを活用する。

### 2.2 Neighbor Discovery

IPv4 においては、ノードはネットワークに接続されて通信を行うために、ARP (Address Resolution Protocol) を用いたアドレス解決、ICMP (Internet Control Message Protocol) を用いた各種エラーメッセージの送受信などを行う必要があった。IPv6 においてはこれらの機能をすべて ICMP (ICMPv6) として規定してい

る[5,6]。

IPv6 では各ノードに IP アドレスを割り当てる方法として、状態レスアドレス自動設定(Stateless Address Autoconfiguration)と状態付きアドレス設定(Stateful Address Configuration)の2種類が用意されている。前者を用いた場合、ノードはネットワークに接続されると、そのネットワークのサブネットアドレス(10 バイト)と自分自身の MAC アドレス(6 バイト)から IP アドレスを構成する。

ネットワークのサブネットアドレスを入手するために、ノードはルータから定期的に送信される、ICMPv6 で定める Router Advertisement Message を使用する。このメッセージは、サブネットアドレスやその生存期間などの情報を含んでいる。

また ICMPv6 では通信相手の IP アドレスから、MAC アドレスを知る必要がある場合に使用する、Neighbor Solicitation Message と Neighbor Advertisement Message を定義している。これらは IPv4 の ARP に対応する機能を実現する。

### 3. Mobile IPv6 の概要

#### 3.1 Mobile IPv4 との比較

Mobile IPv4 では、移動ノード(MN: Mobile Node)が IP アドレスを変えずに移動することを可能とするために、端末のホームネットワークに位置する HA (Home Agent)と、移動先の各ネットワークに位置する FA (Foreign Agent)というモバイルエージェントを導入していた。MN が移動すると、FA が定期的に送信する Agent Advertisement Message の受信により移動を検出し移動先の気付けアドレス(COA: Care-of Address)を獲得する。次に FA を介して HA に対して移動の登録を行し、HA はその応答を行う。その後、MN は通信相手のノード(CN: Correspondent Node)に対して直接データを送る。一方 CN から MN 宛てのデータは、ホームネットワークの HA で取り込まれ、HA から FA まで IP in IP カプセル化されて送られる。HA が CN に対して Binding Update Message を転送して COA を通知すると、CN は直接 COA 宛てにカプセル化して IP パケットを転送する(経

路最適化)。

このような Mobile IPv4 に対して、Mobile IPv6 では以下のような違いを持つ。

- ・ 経路最適化を基本的な機能としてサポートする。さらに、移動の登録と経路最適化を同一のプロトコルでサポートする。
- ・ 転送方向の問題により IP パケットがルータで破棄されるという事態を回避するために、移動ノード(MN)から送信される IP パケットの送信元アドレスはホームアドレスではなく COA とする。さらにホームアドレスは別の IPv6 拡張ヘッダで転送可能とする。
- ・ FA は使用せず、COA は Neighbor Discovery と状態レスアドレス自動設定により決定される。
- ・ 制御情報はすべて IPv6 拡張ヘッダとして転送されるため、TCP や UDP の情報を運ぶパケットの一部として転送可能である。

#### 3.2 機能概要と制御情報の種別

MN が他のネットワークに移動すると、ホームネットワーク上の HA に対して、ホームアドレスと COA の対応を登録することためには、Binding Update 宛て先オプションを含むパケットを使用する。このオプションにはこのバインディングの生存期間が含まれている。また、この登録を受け付けた HA は Binding Acknowledgment 宛て先オプションを含むパケットを返送する。このオプションには登録の結果、保証された生存期間などが含まれる。前述のように MN から送信されるパケットの送信元 IP アドレスとしては COA が使用されるため、Binding Update 宛て先オプションにはその COA を含むフィールドは無い。逆に MN のホームアドレスは、Home Address 宛て先オプションという別の IPv6 拡張ヘッダにより転送される。

MN は他のネットワークへの移動に伴い、その時点で通信中の CN に対して新たなバインディングを通知する。すなわち、MN は Binding Update 宛て先オプションを含むパケットを CN に対しても転送し、CN から Binding Acknowledgment を返答として受ける。これにより CN に対しては常に経路最適化を要求す

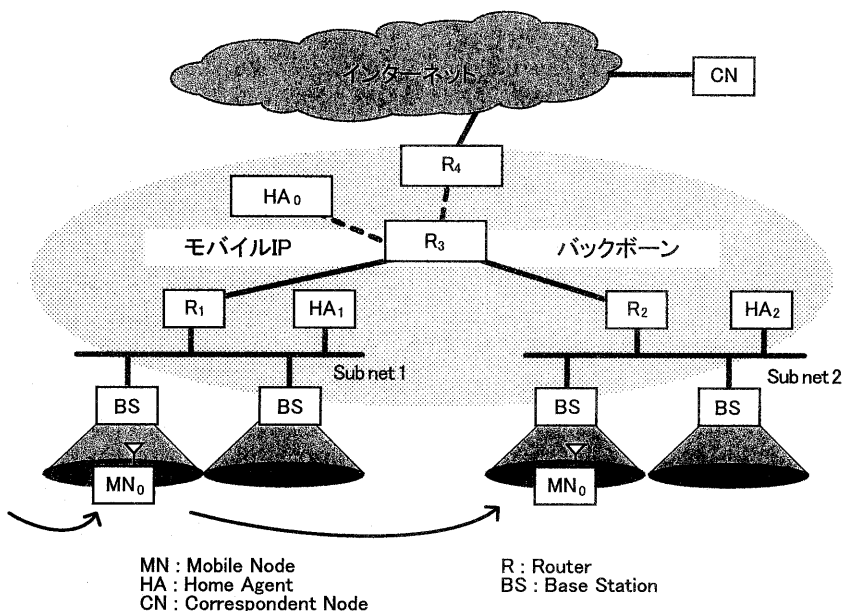


図2 Mobile IPv6 によるバックボーンネットワークの構成例

ることができる。

また、MN と CN のデータ転送は以下のようなになる。MN から CN に対しては、上述の Binding Update と同様に以下のようなになる。

- ・ IPv6 ヘッダの送信元アドレス: MN の COA。
- ・ IPv6 ヘッダの宛て先アドレス: CN のアドレス。
- ・ Home Address 宛て先オプションを含む。

一方、CN が IPv6 の宛て先にパケットを転送する場合は、それに対する Mobile IPv6 の経路最適化の情報を持っているかを調べる。持っている場合は、宛て先は以下のようなになる。

- ・ IPv6 ヘッダの送信元アドレス: CN のアドレス。
- ・ IPv6 ヘッダの宛て先アドレス: COA。
- ・ MN のホームアドレスをルーティングヘッダとして含む。

一方、宛て先への経路最適化情報を持っていない場合は、CN はそのアドレス (MN のホームアドレス) で送出し、そのパケットは HA により取り込まれる。HA は登録情報をもとにそのパケットを IP in IP カプセル化により MN に転送する。MN では受信データがルーティングヘッダかカプセル化のいずれを使用しているか

により、経路最適化が行われているかを知ることができる。

また Mobile IPv6 を実現するためのデータ構造としては以下のような 3 種類が必要となる。

- ・ バインディングキャッシュ: 各 IPv6 ノードで管理される情報で、通信している MN のホームアドレスと COA の対応とその生存期間を保持する。
- ・ バインディングアップデートリスト: MN において、どこに Binding Update を送信したかを保持するための情報。
- ・ HA リスト: HA と MN で保持される HA に関する情報。

### 3.3 ネットワーク構成と通信シーケンス例

Mobile IPv6 を用いて、モバイル用の IP バックボーンを構成した例を図 2 に示す。ここでは端末は移動体通信サービスを提供する通信事業者に属するものとする。この場合、HA はモバイル IP バックボーンネットワークのあるサブネットに存在すると考えられる。その結果、バックボーン網は無線基地局と HA を含むサブネットをルータで相互に接続した構成となる。ここで MN、HA、ルータはいずれも IPv6 および Mobile IPv6 をサポートする。

ホームエージェントが  $HA_0$  である移動端末  $MN_0$  が、サブネット 1 とサブネット 2 へ移動した場合の通信シーケンスの例を図 3 に示す。

サブネット 1 に移動した場合は、ルータ  $R_1$  からの Router Advertisement Message によりサブネット 1 での気付けアドレス  $COA1$  を作成する。その後  $HA_0$  に対して Binding Update を転送しそれに対する Acknowledgment を受ける。その際の送信元・宛て先アドレスなどは前述の通りである。

次に  $MN_0$  が  $CN$  に対する TCP による通信を開始した場合は、 $CN$  に対する Binding Update が転送される。またそれに対する Binding Acknowledgment は SYN+ACK セグメントの IP ヘッダで転送可能である。これらにより Mobile IP 用のメッセージ転送のオーバーヘ

ッドなしで  $CN$  に対する経路最適化の要求を行うことが可能となる。

次に、通信の途中で  $MN_0$  がサブネット 2 へ移動したとする。 $MN_0$  は  $R_2$  からの Router Advertisement Message により新たに  $COA2$  を作成し、 $HA_0$  に対して Binding Update を送る。またこの時点では  $MN_0$  のバインディングアップデートリストには  $CN$  が含まれている。そこで  $MN_0$  はこのリストに含まれる IP アドレスに対しても Binding Update を送信する。これにより移動を検出した場合に、それまで通信を行っていたノードに対して新たな Binding Update を送信し、気付けアドレスの変更を通知することができる。ただし、 $CN$  が連続的にデータを転送している場合は、サブネット間の移動処理の中で、データが正しく移動ノードに転送されず、紛失する場合がある。

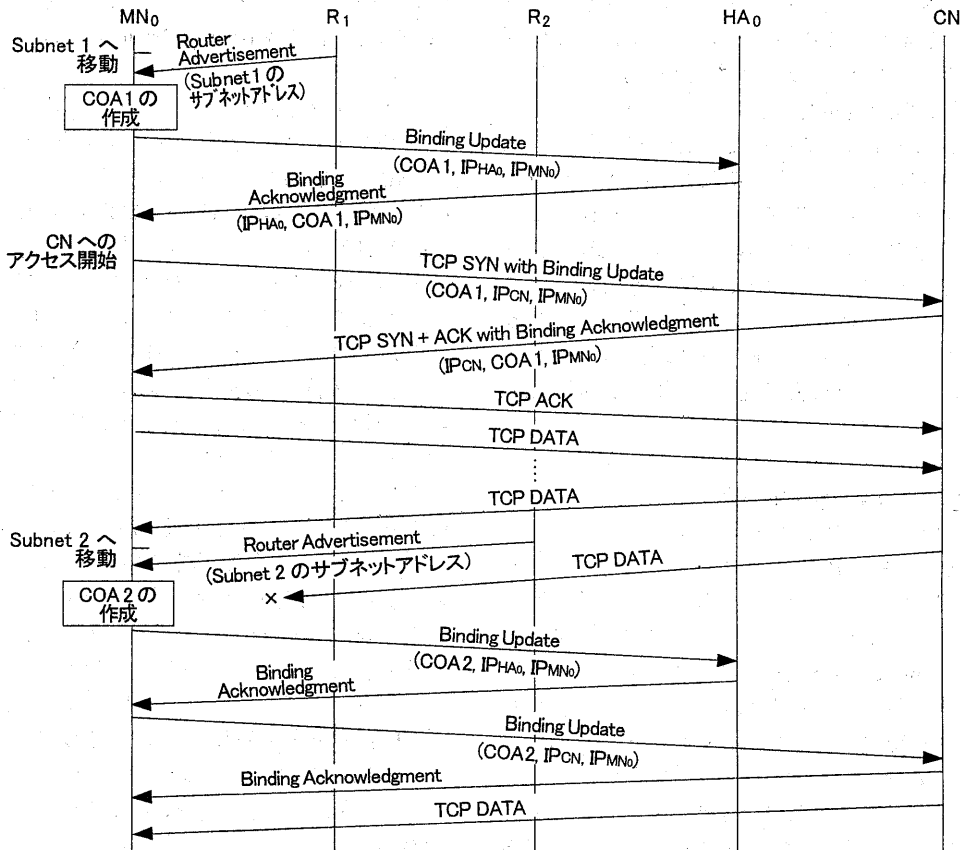


図 3 Mobile IPv6 の通信シーケンス例 (MN からの発呼)

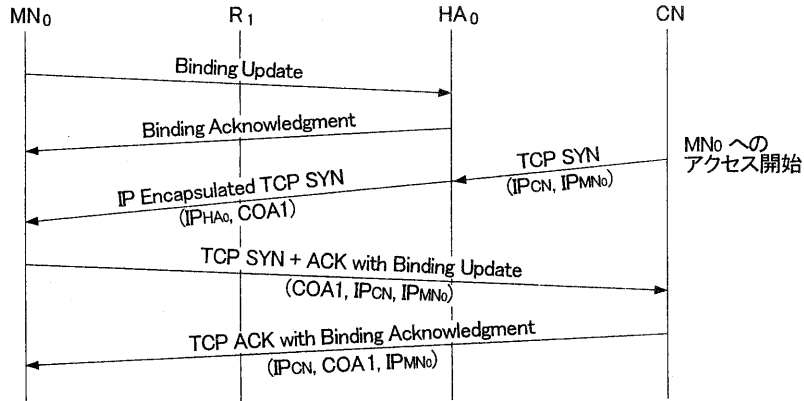


図4 Mobile IPv6 の通信シーケンス例 (MN への着呼)

次に MN<sub>0</sub> がサブネット 1 に移動した直後に、CN が MN<sub>0</sub> に対して TCP 通信を開始した場合の通信シーケンスの例を図 4 に示す。

CN が MN<sub>0</sub> に対して TCP の SYN セグメントを送信すると、その IP パケットは HA<sub>0</sub> へ転送され、HA<sub>0</sub> から MN<sub>0</sub> へ IP カプセル化して転送される。その IP パケットを受信した MN<sub>0</sub> は、HA 経由の通信が行われたことを感知し、その送信元に対して Binding Update を送信する。これは、SYN セグメントの応答である SYN+ACK セグメントに対する IP ヘッダ中で転送可能である。その応答は図に示すように ACK セグメントを含む IP ヘッダ中で転送可能である。このように、移動ノードへの着信の場合も、最初のパケットのみを HA 経由で転送させ、それに続くパケットは経路最適化により転送可能である。

#### 4. Mobile IPv6 の拡張機能

##### 4.1 Regional Registration

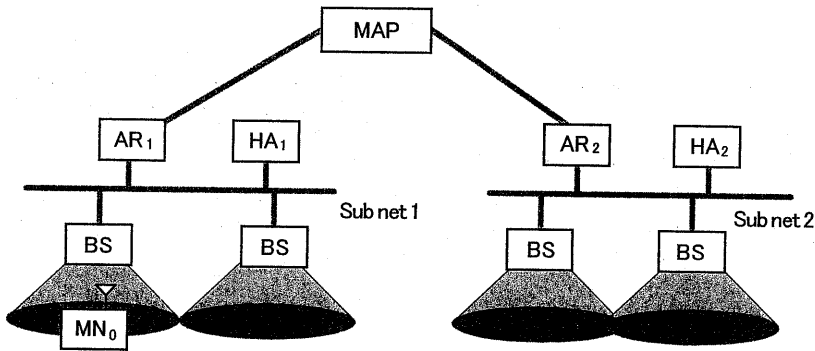
Mobile IPv6 においては、MN がネットワークを移動すると、対応する HA およびその時点で通信中の CN に対して新たな COA を通知する Binding Update を転送し、COA とホームアドレスの対応関係を登録する。しかし、移動端末数や移動体データ通信トラフィックの増加に伴い、HA やモバイルデータ通信サーバへの登録要求が増大することが予想される。このため、モバイルバックボーンネットワークに階層的な構造を導入し、MN が隣接のサブネットに

移動した場合は、移動に伴う登録手順をその地域に隠蔽し、遠隔の HA や CN はその移動を感知しない方式の検討が行われている。

具体的には現在 IETF において文献[7]から[10]の提案が行われている。この内、文献[7]は Mobile IP の Working Group レベルのドラフトとなっている。

この方式を用いたバックボーンネットワークの構成を図 5 に示す。無線基地局(BS)を介して MN を收容するルータをアクセスルータ(AR)と呼び、複数の AR は MAP (Mobile Anchor Point) と呼ばれる上位のルータに接続される。MAP は HA に対しては移動端末として振る舞い、MAP のアドレスを COA として HA に登録する。これにより 1 つの MAP が管理するサブネットの範囲で MN が移動している間は、HA に再登録する必要は無い。一方 MN に対しては、MAP はホームエージェントとして振る舞い、MN からの登録を受け付け、また HA や CN からのデータを正しく MN 宛てに配送する。

図 5 において移動端末 MN<sub>0</sub> がサブネット 1 に移動した場合の登録手順を図 6 に示す。MAP は定期的に Router Advertisement Message を送信する。これに対して AR は自分自身のサブネットアドレスを追加して MN に転送する。MN は MAP の配下に移動したことを検知すると、まず MAP に対して Binding Update を送信して COA を登録する。その後 HA に対しても登録を行う。HA に対する登録においては、Binding Update の alternate COA サブオプションにより



MAP : Mobile Anchor Point  
AR : Access Router

図5 Regional Registration を用いたネットワーク構成例

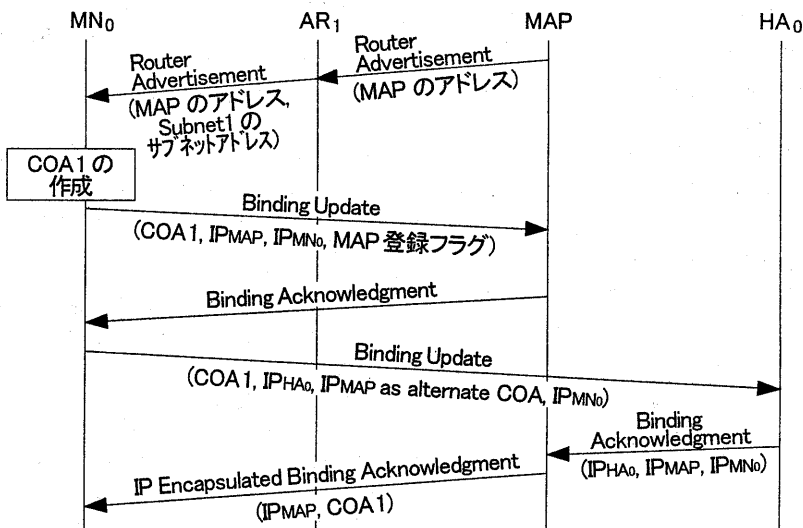


図6 Mobile IPv6 の Regional Registration の通信シーケンス例

MAPのIPアドレスを通知する。HAではMAPのアドレスをMN<sub>0</sub>の気付けアドレスとして使用する。

#### 4.2 高速ハンドオフ

図4のシーケンス例にも示したように、Mobile IPではサブネットの移動による登録手順の間に、CNから転送されるデータを受信し損ねる場合がある。このようなハンドオフ時のデータの損失を最小限にするために高速ハンドオフ方式が提案されている[11-13]。しかしこれらの方法はいずれも提案者レベルのドラフ

トであり、今後の検討が期待される。これらの方式の概要は以下に示すとおりである。

文献[11]に示される方法では、MNが次のサブネットに移動する直前に、レイヤ2の機能を用いてそれを検出し、途中のルータから、現在のルータと移動先のルータの双方に対してMN宛てのデータを配信し(バイキャスト)、MNの受信データの損失を防ぐというものである。一方文献[12]や[13]では、移動元のルータが移動先のルータに対して、バッファ管理などの要求を転送するための手順を定めている。

## 5. 筆者らのアプローチ

筆者らはこれまでに、IPv4 を用いたモバイル IP バックボーンの構成方法[14]と、移動時におけるレイヤ 2 のリンク確立手順を活用した高速ハンドオフの方法[15]をそれぞれ検討している。IPv4 によるバックボーンの構築では、IP アドレスの枯渇に対応するために、移動端末にプライベート IP アドレスを割り当て、Mobile IPv4 と NAT (Network Address Translator) の手順を組み合わせる方法を提案している。またこの検討では Regional Registration を用いた階層的なネットワーク構成を導入している。一方、レイヤ 2 機能を利用した高速ハンドオフにおいては、無線リンクの確立の時点で、移動先のネットワークに MN へのトラヒックをバイキャストさせ、Mobile IP の登録を行う前にデータの送受信を可能としている。

現在これらの検討をベースとして、Mobile IPv6 を用いたモバイルバックボーンネットワークの構築に関する検討を進めている。IPv6 を用いたネットワークにおいても、Regional Registration は必要であると考えている。ただし、IETF で提案されている方式は若干複雑であるため、それを簡易化した方式を検討する必要がある。一方、高速ハンドオフについては、IPv6 においてもレイヤ 2 機能を用いた方式について検討してゆきたいと考えている。

## 6. おわりに

本稿では、Mobile IPv6 を用いてモバイル IP バックボーンネットワークを構築するために必要となる、IPv6、Mobile IPv6 などの技術内容および Mobile IPv6 における Regional Registration や高速ハンドオフに関する技術動向について述べた。最後に、日頃御指導頂く KDD 研究所 秋葉所長に感謝する。

### 参考文献

- [1] S. Deering and R. Hinden, "Internet Protocol, Version 6 (IPv6) Specification," RFC 2460, Dec. 1998.
- [2] D. Johnson and C. Perkins, "Mobility Support in IPv6," work in progress, available at draft-ietf-mobileip-ipv6-12.txt, April 2000.
- [3] C. Perkins, editor, "IP Mobility Support," RFC 2002, Oct. 1996.
- [4] S. Kent and R. Atkinson, "Security Architecture for the Internet Protocol," RFC 2401, Nov.
- [5] T. Narten, et. al., "Neighbor Discovery for IP version 6 (IPv6)," RFC 2461, Dec. 1998.
- [6] A. Conta and S. Deering, "ICMP for the Internet Protocol Version 6 (IPv6)," RFC 2463, Dec. 1998.
- [7] H. Soliman, et. al., "Hierarchical MIPv6 Mobility Management," work in progress, available at draft-ietf-mobileip-hmipv6-00.txt, Oct. 2000.
- [8] C. Castelluccia and L. Bellier, "Hierarchical Mobile IPv6," work in progress, available at draft-castelluccia-mobileip-hmipv6-00.txt, July 2000.
- [9] G. Dommety, et. al., "Local Mobility Agents in IPv6," work in progress, available at draft-dommety-mobileip-lma-ipv6-02.txt, July 2000.
- [10] J. Malinen and C. Perkins, "Mobile IPv6 Regional Registrations," work in progress, available at draft-malinen-mobileip-regreg6-00.txt, July 2000.
- [11] K. El-Malki and H. Soliman, "Fast Handoffs in MIPv6," work in progress, available at draft-elmalki-handoffsv6-01.txt, Nov. 2000.
- [12] R. Koodli and C. Perkins, "A Framework for Smooth Handovers with Mobile IPv6," work in progress, available at draft-koodli-mobileip-smoothv6-00.txt, July 2000.
- [13] P. McCann and T. Hiller, "Low Interruption Mobile IP Handoff," work in progress, available at draft-mccann-mobileip-limiph-00.txt, Aug. 2000.
- [14] 横田他, "移動体通信用 IP バックボーンにおけるモバイル IP の適用に関する一検討," 情処 モバイルコンピューティングとワイヤレス通信研究会, MBL14-10, Sept. 2000.
- [15] 廣瀬他, "モバイル IP バックボーンにおけるレイヤ 2 機能を用いた高速ハンドオーバー方式の検討," 信学コミュニケーションクオリティ技報, CQ2000-45, Oct. 2000.