

モバイル IPv6 における階層的位置管理に関する一考察

加藤 聡彦 井戸上 彰 横田 英俊

移動体データ通信の普及に伴い、モバイル IP プロトコルに基づいて移動体通信サービスのバックボーンを構築するための検討が広く行われている。移動体通信においては、端末の数が膨大となることが予想されるため、端末が移動した場合の位置管理を階層化し、狭い範囲での移動と広範囲での移動との管理を独立に行う方式に関する検討が行われている。このような階層的位置管理は、Mobile IPv4 においてはそのドラフトが完成しているが、Mobile IPv6 においてはまだ検討途中である。本稿では、IETF における Mobile IP における階層的位置管理の標準化動向を述べるとともに、移動端末に新規機能を追加することなく階層的位置管理を実現する方法について提案する。

A Study on Hierarchical Location Management in Mobile IPv6

Toshihiko Kato, Akira Idoue and Hidetoshi Yokota

Recently, mobile data communication based on Mobile IP protocols is one of the hottest topics in communication fields. Since it is expected that the number of mobile terminals is large, it is required to introduce the hierarchical location management for mobile terminals. IETF is actively standardizing the hierarchical location management for both Mobile IPv4 and Mobile IPv6. This paper describes the overviews of IETF activities on hierarchical location management. In the method standardized by IETF, mobile terminals need to support protocols for hierarchical location management. This paper proposes a method to support hierarchical location management without any additional functions to mobile terminals.

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。移動体端末に IP ベースのデータ通信を行わせるために、このようなバックボーンネットワークは Mobile IP プロトコルに基づいて構築されると考えられる。移動体通信においては、端末の数

が膨大となるため、端末の移動に伴う位置管理を階層化し、近隣の地域での移動と、広範囲の移動に伴う位置登録を別の管理主体に行わせる階層的位置管理が必要となる。

IETF では Mobile IPv4 [1]および Mobile IPv6 [2]の双方に対して、階層的位置登録の標準化を進めている。Mobile IPv4 については、FA (Foreign Agent)を階層的に導入する方法が提案されており、ドラフトの完成度も上がっている [3]。また Mobile IPv6 ではそれ自身の仕様には FA が存在しないが、階層的位置管理において

は Mobile IPv4 と同様に FA に相当するノードを導入している。現在 2 種類のドラフトが検討されている[4,5]。

IETF の仕様に基づき階層的位置管理を実現するためには、Mobile IP で定義された HA および FA のほかに、新たなネットワークノードを追加するとともに、移動体端末にも新たな機能を追加する必要がある。今後、Mobile IP に基づく移動体通信サービスを早期に実現するためには、既存の端末にこのような新たな機能が実装されるのを待つことができない場合も考えられる。そこで、移動体端末には通常の Mobile IP の手順のみをサポートさせ、ネットワーク側のノードで局所的な移動か広範囲の移動かを判断して、階層的な位置管理を行うという方法が考えられる。

このような背景のもとで、本稿では以下の 2 つについて述べることにする。まず、現在 IETF で行われている階層的な位置管理の標準化動向について、Mobile IPv4 および IPv6 を対象として述べる。次に、Mobile IPv6 を対象として、端末が Mobile IP の手順に従った場合に、ネットワーク側のみで階層的な位置管理を実現する方法について提案する。

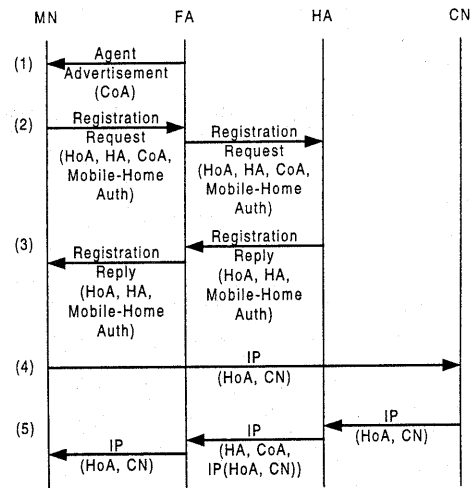
2. Mobile IPv4 に関する階層的な位置管理

2.1 Mobile IPv4 の概要

Mobile IP は、移動体端末が本来接続されるネットワーク(ホームネットワーク)以外のネットワークに移動しても、IP アドレスを変更することなくインターネットに接続可能とすることを目的としている。このためにホームネットワークにおいて端末の位置管理と端末へのデータ転送を行う HA (Home Agent) が、移動先ネットワークにおいて端末を収容する FA (Foreign Agent) が、それぞれ使用される。IPv4 に基づく Mobile IP プロトコルは RFC2002 としすでに標準化が進んでいる。

具体的な通信手順は図 1 に示すようになる。

- (1) 移動体端末(MN: Mobile Node)が移動すると、FA が定期的送信する Agent Advertisement メッセージ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。
- (2) 次に FA を介して HA に対して移動の登録



Note MN: Mobile Node, CN: Correspondent Node, HoA: Home Address, Mobile-Home Auth: Mobile-Home Authentication

図 1 Mobile IPv4 の通信手順

を行し、HA はその応答を行う。

- (3) 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。その際には直接 CN に転送される。
- (4) 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。

2.2 Regional Registration の概要

これに対して、図 2 に示すように移動先ネットワークにおいて FA を階層的に設けることにより、階層的な位置管理を行う手順が検討されている[3]。ここで上位の FA を GFA (Gateway FA) と呼ぶ。移動体端末 MN は同一 GFA の配下の FA を移動した場合は、HA ではなく GFA に対して位置登録を行い、異なる GFA に属する FA 間の移動を行った場合のみ HA への位置登録を行う。このためこの方式を Regional Registration と呼ぶ。局所的な Regional な移動の場合は HA への登録は行わないため、移動体端末の数が膨大となった場合、HA への Registration Request の集中を防ぐとともに、局所的な移動時において登録のための通信遅延を防ぐことができる。局所的な移動時に GFA に CoA を登録する Regional Registration Request と Regional Registration Reply という新たなメッセージを定義している。

Regional Registration の手順を図 3 に示す。

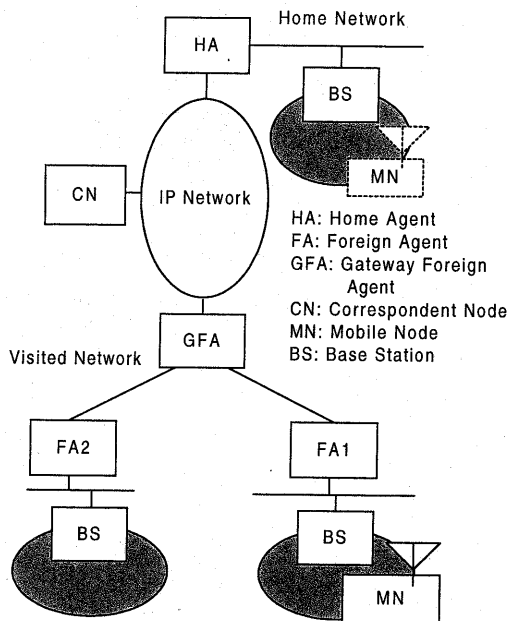
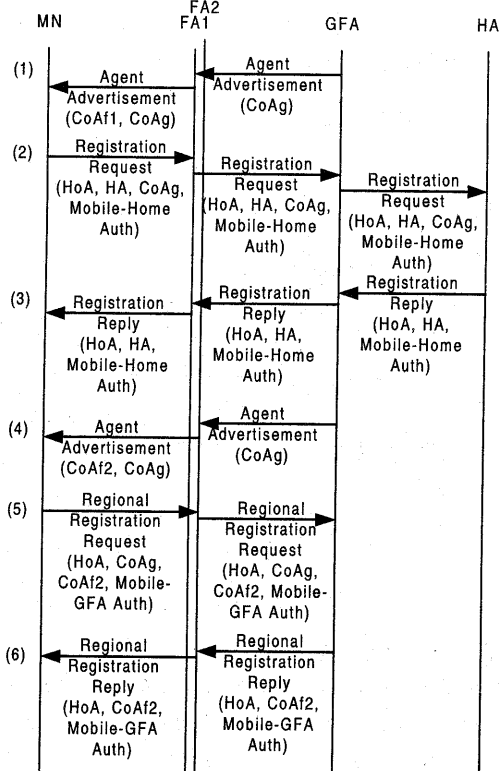


図2 Regional Registration のネットワーク構成



Note CoAg: GFA Care-of Address, CoAf1 or CoAf2: FA1 or FA2 Care-of Address, Mobile-GFA Auth: Mobile-GFA Authentication

図3 Regional Registration の手順

(1) Regional Registration が行われてるネットワークでは、GFA から Agent Advertisement メッセージが送信され FA によりリレーされる。移動体端末 MN が受信するメッセージには GFA と FA の双方の CoA が含まれる。MN が最初に移動先ネットワークに到着すると、双方の CoA を獲得する。

(2) 移動直後には Registration Request メッセージを用いて HA に登録する。その際の CoA は GFA の CoA (CoAg)を用いる。このメッセージは FA を経由して GFA に転送される。その際 GFA は Registration Request メッセージの送信元により対応する FA を識別し、HA に対して転送する。HA は MN に対応する CoA として GFA のアドレスを用いる。

(3) HA から Registration Reply が GFA と FA を経由して MN に転送される。

(4) MN が同一 GFA の配下の別の FA (FA2)に移動した場合も、同様に Agent Advertisement メッセージにより検出する。

(5) GFA に対して FA の移動を登録するために、Regional Registration Request メッセージを転送する。このメッセージは Registration Request と同一のフォーマットを有し、HA アドレスの代わりに GFA のアドレスが、MN-HA の認証上の代わりに MN-GFA 認証情報が設定される。GFA はこのメッセージを受信すると、新たな FA の CoA (CoAf2)を登録する。

(6) 最後に GFA から FA 経由で MN に Regional Registration Reply が転送される。

3. Mobile IPv6 に関する階層的位置管理

3.1 Mobile IPv6 の概要

Mobile IPv6 は、Mobile IPv4 と比較して以下のような違いを持つ[6]。

- Mobile IPv4 ではオプションであった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制御情報(IPv6 拡張ヘッダの Binding Update と Binding Acknowledgement オプション)により実現する。
- 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。

- Binding Update と Binding Acknowledgement は MN と HA または CN との間で直接転送される。またそのメッセージ全体は IPsec の AH (Authentication Header)により認証される。
- 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。
- 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 Mobile IPv6 における階層的位置管理

Mobile IPv6 においても、階層的位置管理に関する検討が進められており、現在[4]と[5]の2つのインターネットドラフトが作成されている。このうち、[4]については Working Group レベルのドラフトとなっているが、[5]は個人提案のレベルとなっている。

[4]の Hierarchical MIPv6 mobility management の概要は以下のとおりである。この方式を用いたネットワークの構成は、図4のようになる。MN を収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4において移動端末 MN がサブネット1に移動した場合の登録手順を図5に示す。

- (1) AR は定期的に Router Advertisement を送信する際に、MAP のアドレスを示すオプションを追加して送信する。これにより MN は特定の MAP の配下に移動したことを検知し、その CoA を獲得する。
- (2) MN はまず MAP に対して Binding Update を

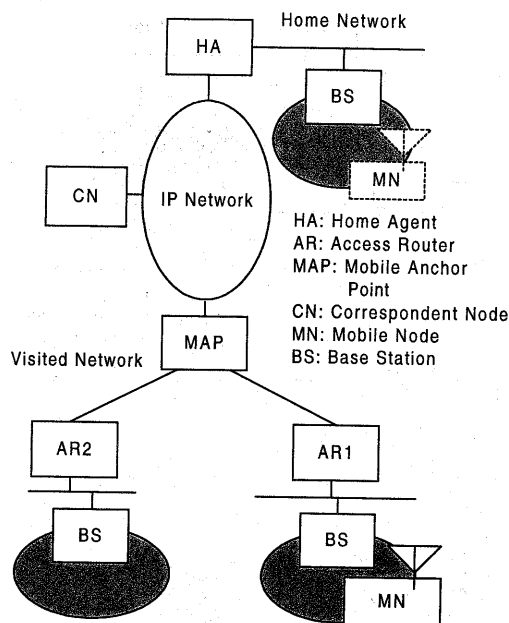


図4 [4]による階層的位管理のネットワーク構成

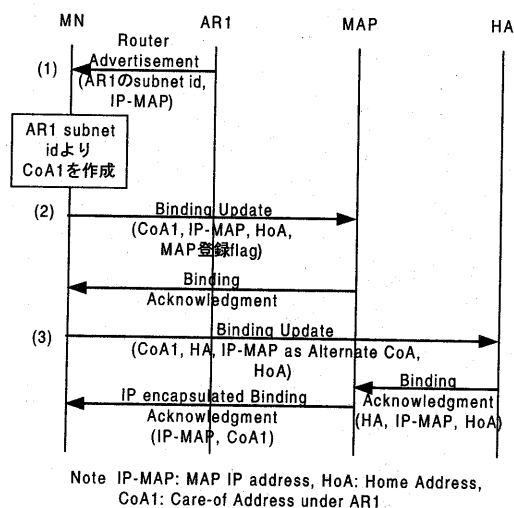


図5 [4]の通信手順

送信して COA を登録する。このために Mobile IPv6 の Binding Update オプションに MAP への登録であるフラグが新たに導入されている。(3) 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 の IP

アドレスを通知する。HA では MAP のアドレスを MN の CoA として使用し、Binding Acknowledgment の返送はこのアドレスに行く。MAP では受信した IP パケットを IP パケットのカプセル化し、MN に通知する。またこの後 CN に対して登録の作業を行う場合は、HA への Binding Update と同様な情報を送信する。

図には記述されていないが、MN が同一 MAP 配下の AR の下に移動した場合は、MAP への登録を行う Binding Update のみが送信される。

またこの手順を Mobile IPv4 の Regional Registration と比較すると、あるネットワークへ移動した直後において、Mobile IPv4 では単一の Registration Request メッセージで GFA と HA の双方に登録可能であったものが、Mobile IPv6 では MAP 用と HA 用の別のパケットを必要としている。これは IPv6 においては IPsec を用いて IP アドレスを含むパケット全体が変更不可能となっているのに対し、IPv4 では Registration Request メッセージの一部のみが認証対象となっているためである。

4. 端末の変更しない階層的位置管理の提案

4.1 基本的検討

上述のように、Mobile IPv6 についてはそれ自身が RFC となっていない状況であり、さらに階層的位置管理については複数の提案がなされている段階であり、標準としてまとめるのは先の状況である。一方移動体データ通信網などでは、端末数の急増や新サービスの導入を背景として、そのバックボーンネットワークを Mobile IPv6 に基づいて構築したいという要求が生じている。その場合は移動体端末に IPv6 の IP アドレスが付与され、Mobile IPv6 の手順に従って、バックボーン内の HA や CN と通信を行うことになる。このようなネットワークでは、端末の局所的な移動をその中で管理する階層的位置登録が重要な機能となると考えられるが、端末にまで標準化されていない機能を実装することは事実上困難であると考えられる。

そこで、移動体通信用のバックボーンネットワークにおいては、端末は Mobile IPv6 の標準的な機能のみを実装し、ネットワーク内の HA および MAP といったノードのみで階層的位

登録を実現する方式が有効であると考えられる。このような方式を考案するに当たり、以下のような検討を行った。

- (1) 前節に述べた MAP による階層的位管理を、Mobile IPv6 のみをサポートする移動体端末を対象として実現する。具体的には、MN は HA への Binding Update を含む IP パケットのみを送信し、MAP がそれを取り込んで、CoA を変更することにより HA へ転送する。
- (2) しかし前述のように、MN と HA では秘密鍵を共有し IP パケット全体に対して認証を行っているため、途中の MAP においてパケットを変更することはできない。
- (3) 移動体通信網のバックボーンを対象とする場合は、移動体端末、HA、MAP はすべて通信網を運営する通信業者の管理課にあると考えられる。このため MN の秘密鍵の情報はこれらの間で相互に共有することができると考えられ、このような仮定の下では、MAP が MN の秘密鍵情報を知った上で Binding Update を変更することが可能となる。
- (4) Mobile IPv6 では、MN は移動時に HA のみでなく通信中の CN に対しても Binding Update を送信し、CN から MN への最適な経路を使用することを試みる。この場合は、MN と CN で取り決めた秘密鍵を用いて、IP パケットの認証情報を作成する。HA の場合と同様に、CN に対する Binding Update に対しても MAP により CoA を書き換えて階層的位管理を行うためには、MAP が MN と CN の間の秘密鍵を知っている必要がある。しかし、CN は移動体通信網の外部のサーバである場合もあるため、このことを仮定することは困難である。
- (5) しかし、一般に CN が一般の移動体端末を認証するために、MN ごとに秘密鍵を管理するということが現実的な仮定ではないと考えられる。移動体通信網のバックボーンを想定すると、CN が通信網外部のサーバである場合は、個々の MN が CN に対して認証されるのではなく、個々の MN の認証は移動体通信網内で行い、その結果

通信する MN が正当である場合は、移動体通信網が CN に対して認証を受けるという手順が現実的ではないかと考えられる。

- (6) このような方法を用いると、外部のサーバである CN の通信においては、各 MN の認証は MAP が行い、また外部のサーバに対しては MAP が、すなわちその移動体通信網の運用する通信業者が、秘密鍵を登録しておくことになる。その場合の具体的な手順は、以下のようになる。

- MN が CN に対して Binding Update を送信する場合は、いかなる CN 宛でも移動体通信網が定めた秘密鍵を用いて認証ヘッダを作成する。
- MAP は CN への Binding Update を取り込み、CoA を書き換えて、CN との間の秘密鍵で認証ヘッダを作りなおして CN に送り出す。

このような方式に従えば、移動体通信網のバックボーンネットワークを対象として、移動体端末は Mobile IPv6 の手順のみをサポートする環境で階層的な位置管理が可能となるとともに、Mobile IPv6 における認証のための秘密鍵の問題を解決できる。

4.2 具体的な通信手順

前節に従って具体的な通信手順を設計した。対象とするネットワーク構成を図 6 に示す。ここでは、ネットワークの各領域(リージョン)は、木構造に階層化された MAP から構成されるものとする。その最上位の MAP を GMAP (Gateway MAP)と呼ぶ。なお GMAP 間は任意のネットワーク構成をとるものとする。各 MAP は Mobile IPv6 の Binding Cache のほかに、Mobile Node の秘密鍵をキャッシュする Key Cache を有する。その生存時間は Binding Cache の生存時間に比べて十分長いものとする。

またこのネットワークを用いた場合の HA または GMAP への登録の通信手順を図 7 に示す。具体的な手順は以下のとおりである。

- (1) MN は AR からの Router Advertisement メッセージを受信すると、通常の Mobile IPv6 と同様に Binding Update を含む IP パケット(図中では BU と略記)を HA に向けて送信する。この

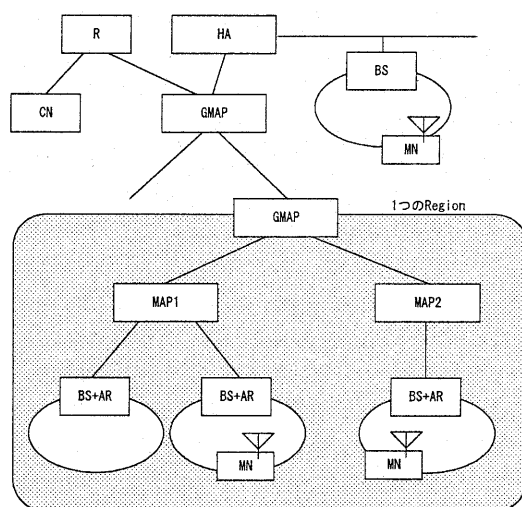


図 6 提案するネットワーク構成

パケットは MAP1 を経由するため MAP1 がそれを取り込み、必要に応じてホームアドレス (HOA) と気付けアドレス (COA (MN)) の対応を取るキャッシュを作成する。

- (2) MAP1 は HA との間で KeyReq および KeyRep のメッセージを HA と交換することにより、MN の秘密鍵を HA に問い合わせ、その結果を Key Cache に登録する。なおこのメッセージは GMAP を経由するため、その時点で GMAP にも Key Cache を作成する。

- (3) MAP1 は COA を自身のアドレスに変更し、Binding Update パケットを再構築する。その際、先ほど入手した秘密鍵を使用する。新たな Binding Update を HA 宛てに送信する。

- (4) その Binding Update を GMAP が取り込み、同様な処理を行い最終的に HA に転送する。

- (5) Binding Acknowledgment は HA から GMAP、MAP1 を経由して MN に返される。

- (6) 次に MN が別の AR の下に移動したとすると、(1)と同様に Router Advertisement メッセージの受信でそれを検出し、Binding Update を HA 宛てに送信する。

- (7) MAP2 は(2)(3)と同様に秘密鍵の検索、Binding Update の転送を行うが、この場合は GMAP に Binding Cache が存在するため、HA まで転送されずに、GMAP から返答が返される。

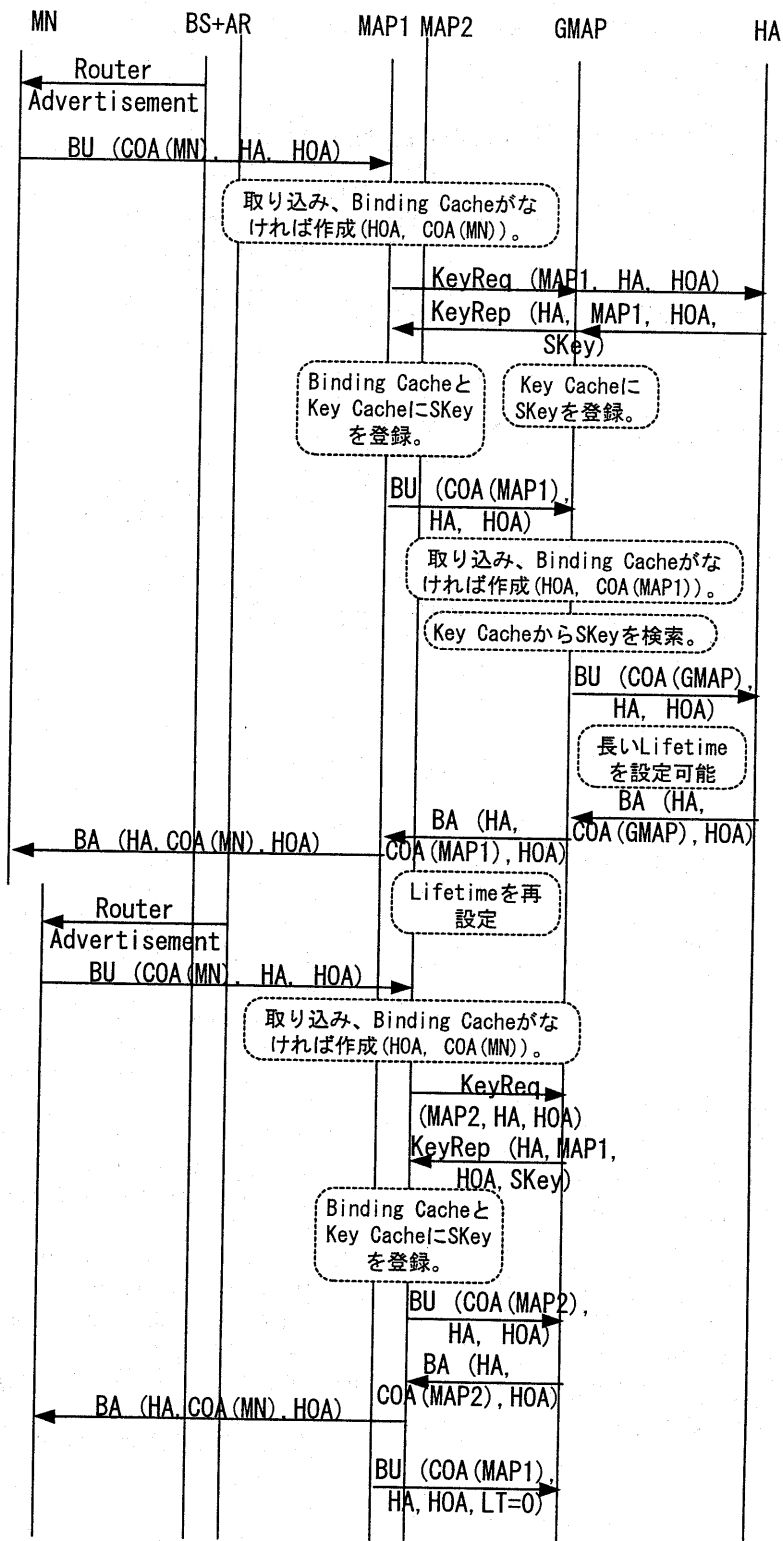


図7 提案する方式のHAおよびGMAPへの登録手順

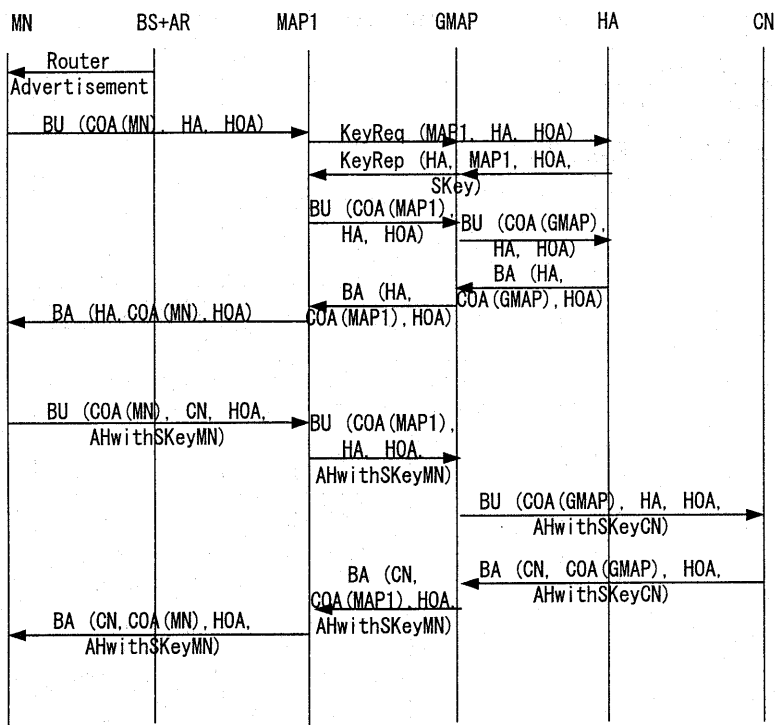


図 8 CN への登録手順

次に CN に対して Binding Update を転送する手順を図 8 に示す。HA への登録が修了した後、同様な手順で登録が行われるが、その場合 AH (Authentication Header) の構成が MN から GMAP までと、GMAP から CN までの間で異なる。

5. おわりに

本稿では、Mobile IP において検討されている階層的位置登録について、Mobile IPv4 および Mobile IPv6 に関する標準化動向について示した。さらに、Mobile IPv6 を対象として、移動体端末に階層的位置登録のための特別な手順を導入することなく、移動体データ通信網のバックボーンのノードのみに機能追加を行うことで、階層的位置登録を実現する方法について提案した。最後に、日頃御指導頂く KDDI 研究所 秋葉所長に感謝する。

参考文献

- [1] C. Perkins, editor, "IP Mobility Support," RFC 2002, Oct. 1996.
- [2] D. Johnson and C. Perkins, "Mobility Support in IPv6," work in progress, available at draft-ietf-mobileip-ipv6-12.txt, April 2000.
- [3] E. Gustafsson, et al., "Mobile IP Regional Registration," work in progress, available at draft-ietf-mobileip-reg-tunnel-04.txt, March 2001.
- [4] H. Soliman, et al., "Hierarchical MIPv6 mobility management," work in progress, available at draft-ietf-mobileip-hmipv6-03.txt, Feb. 2001.
- [5] J. Malinen and C. Perkins, "Mobile IPv6 Regional Registrations," work in progress, available at draft-malinen-mobileip-regreg6-01.txt, Feb. 2001.
- [6] 加藤他, "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," 情報処理学会 MBL 研究会, Nov. 2001.