

# IPv6 Mobile ネットワークにおける複数ホームエージェント

史 虹波 後藤 滋樹 早稲田大学理工学部情報学科  
shi@goto.info.waseda.ac.jp, goto@goto.info.waseda.ac.jp

## I. 概要

本論文では IPv6 Mobile ネットワークにおける複数ホームエージェントを提案する。従来の IPv6 Mobile の仕様では、Mobile ネットワークにおける移動ノード (mobile node) が同時にサポートを受けられるホームエージェントは1台である。ホームエージェントの役割は、移動ノードがホームリンク (home link) 上に接続している時と、外部リンク (foreign link) 上に接続している時では異なる。もしホームエージェントに支障が生じた場合には、何らかの手段で新たなホームエージェントを確立しなければならない。従来の方法では、ホームエージェントが1台しかないから、新しいホームエージェントが確立されるまでは、外部から移動ノードへの新たな通信コネクションが確立できない。さらに、ホームエージェントを経由して移動ノード宛に転送するパケットの転送ができないから、パケットロスが生じる。本論文は、上述したホームエージェントの役割の区別を考慮して、複数のホームエージェントを持つ構造を提案する。本提案では、各々の移動ノードが2つ以上のホームエージェントを持つ。その内の1つのホームエージェントに障害が生じた場合でも、他の正常なホームエージェントを経由して移動ノード宛のパケットが無事に届くことになる。

## II. 背景: MOBILE IP プロトコル

Mobile IP とはインターネット上を移動するノートパソコンや端末に、IP データグラムを転送できるようにするプロトコルである。この機能を用いて IP データグラムが移動中の端末に正しく届くためには、ある固定の IP アドレスが必要となる。この固定の IP アドレスをホームアドレス (Home Address) という。実際に、ノートパソコンや端末などが移動する時には IP アドレスを変化させる必要がある。それに対応するために、気付アドレス (Care-of Address) と呼ばれる IP アドレスを使う。Mobile IP は現存する IPv4 と IPv6 プロトコルにモビリティ機能をもたせたプロトコルである。Mobile IPv4[1] は既に標準化されたが、経路の冗長などの理由のためか、あまり広く使用されていない。Mobile IPv6[2] では Mobile IPv4 の冗長な経路問題の解決をはじめ多くの機能が追加されたが、いまだに幾つかの課題が残っていて、標準化に至っていない。

### A. Mobile IPv6 と IPv4 の違い

Mobile IPv6 と Mobile IPv4 とのもっとも大きな違いは、Mobile IPv6 プロトコルには外部エージェント (Foreign Agent) が存在しないことである。外部リンク上にあるルータには、Mobile IPv6 をサポートするような特殊な装

備がなくてもよい。さらに、Mobile IPv4 で問題となった三角経路のような冗長な経路も改良された。Mobile IPv6 では、通信相手は移動ノードについての有効な情報を持ってさえいれば、直接に移動ノード宛にパケットを送ることができるようになった。

この他に Mobile IPv6 に導入された機能には、Mobile IP プロトコルのためのタイプ2 ルーティングヘッダー (Type 2 Routing Header) や動的ホームエージェントアドレス検索構造 (Dynamic Home Agent Address Discovery Mechanism) などがある。

### B. Dynamic Home Agent Address Discovery Mechanism

Dynamic Home Agent Address Discovery は、Mobile IPv6 に備わった機能である。移動ノードがホームリンクを離れた時に、この Dynamic Home Agent Address Discovery 機能を用いて、ホームリンク上に存在する1台以上のホームエージェント機能を提供するルータを発見する。移動ノードは ICMP Home Agent Address Discovery Request Message を使って、Mobile IPv6 Home-Agents の anycast address に送り出す。この anycast address は、移動ノードのホームネットワークの subnet prefix に対するものである。ホームエージェントとして機能するルータがこのメッセージを受け取ると、リクエストの送信先である移動ノードの気付けアドレスに ICMP Home Agent Address Discovery Reply というメッセージを送り返す。リプライメッセージには Home Agents List が入っている。

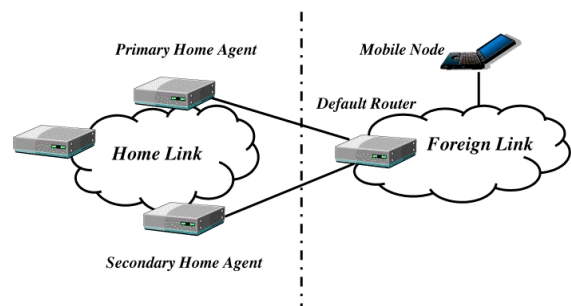


Fig. 1. Multiple Home Agent

## III. 複数ホームエージェントの仕組み

本提案の特徴を Fig. 1 に示す。従来の Mobile IP ルーティングと違って、移動ノードが外部リンク上にある場合は、1

台以上の複数ホームエージェントが存在することを許す。従来の MobileIP では、移動ノードが外部リンク上にある時にホームエージェントに障害が発生した場合には、通信相手との接続に支障が生じ、通信中のパケットロスが発生したり、既存の接続が途中で切れたりすることがある。

本提案では、複数ホームエージェントが存在し、もしホームエージェントに障害が発生した場合でも、移動ノード宛の通信経路を他の正常なホームエージェントに素早く経路変更ができる。(Fig. 2)

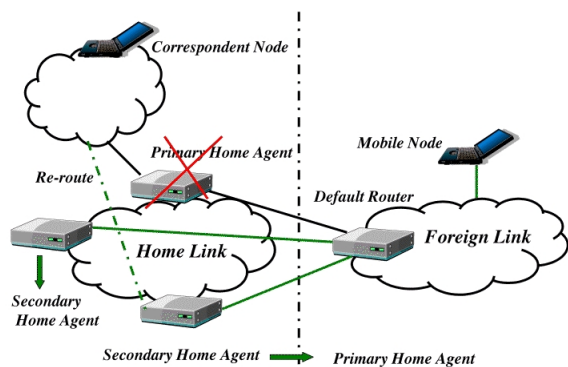


Fig. 2. 他のホームエージェントへの経路変更

移動ノードがホームリンク上にある場合には、デフォルトルータとして動作するので、従来の方法と同じく Single Home Agent Mode にする。一方、移動ノードがホームリンクから外部リンク上に移動した場合は、ホームエージェントが移動ノードの通信ルート上の 1 ホップ (hop) となるので、Multiple Home Agent Mode に切替える。移動ノードが外部リンクからホームリンクに再び戻ったら、既存の移動発見機能 (Movement Detection) を使って、ホームエージェントを Single Home Agent Mode に戻す。

本論文では、1 つの移動ノードに対応する複数のホームエージェントをプライマリとセカンダリと呼んでいる。それは単に元来のホームエージェントと新たに生成したホームエージェントを区別する用語なので、実際にはプライマリホームエージェントとセカンダリホームエージェントとの機能的な差異はない。移動ノードからの Binding Update は同時に複数のホームエージェントに送る。したがって、移動ノードのホームエージェントは移動ノードと同じ binding 情報を持つ。

複数ホームエージェントの間には優先順位を設けない。その理由は、移動ノードは頻繁に接続リンクを変える。そのような状況でも経路情報を正確に保つためには、移動ノードがすべてのホームエージェントに対して一斉に情報を送るべきであるからである。

#### A. 従来のルーティングの欠点

従来の Mobile IP ルーティングには、同時に動作するホームエージェントが 1 台しかない。そのホームエージェントに障害が発生した場合には、新たなホームエージェントを見つけるまでの間に、通信中の移動ノードと通信相手間にパケッ

トロスが生じる。場合によっては、新しいホームエージェントが確立されるまでに、接続が切れてしまう恐れもある。ホームエージェントの役割は、移動ノードがホームリンク上にある場合と、外部リンク上にある場合とで違う。ホームリンクにある場合にはデフォルトルータとして働き、外部リンクでは経路上の 1 つのホップとなる。従来の Mobile IP では、外部リンク上にある移動ノードの通信は、その通信経路上の 1 つのルータの障害によって大きく影響を受けてしまう。つまり、パケットロスが多量発生したり、接続が切れることもある。

Mobile IPv6 の場合は、ホームエージェントに障害が発生した場合に II.B 節で説明したように Dynamic Home Agent Address Discovery メカニズムを使って新たなホームエージェントを見つけ出す。ただし、新たなホームエージェントを検索するのは、移動ノードが出す Binding Update Message に対して、ホームエージェントからの Bind Acknowledgement Message がタイムアウトになっても返されない場合である。そのような場合には、前述した Home Agent Address List を使って新しいホームエージェントを検索する。タイムアウトは Mobile IPv6 で指定されている。これは MAX\_BINDACK\_TIMEOUT と呼ばれ、256 秒である。したがって、動作は次のようになる。もしホームエージェントが正常ならば、Binding Update Message をもらいとすぐに Binding Acknowledgement Message を移動ノードに返す。もしホームエージェントに障害が発生して、Binding Acknowledgement Message を返せない場合には、移動ノードはこのホームエージェントに、TIMEOUT になるまで Binding Update Message を送り続ける。既に通信中のパケットはホームエージェントの障害によって移動ノードもしくは Correspondent Node に送ることができなくなっているから、パケットロスとなる。

通常の隣接探索 (IPv6 Neighbor Discovery [3]) には隣接到達不能探知 (Neighbor Unreachability Detection) があり、それを使用することによって、隣のノード (ルータもしくはホスト) に障害があるかどうかを判別できる。ホストはルータに対してルータ要請 (Neighbor Solicitation) をして Advertisement を求めることができるが、もしルータに障害がある場合には、他のルータに切替えるのに必要な時間はタイムアウトに依存する。タイムアウトが長ければ切替えに必要な時間が延びる。頻繁にルータ要請を行うと余分なトラフィックを生成することになる。あるルータが到達不能に陥ると、他のルータへの切替えには通常 38 秒もかかる。

#### B. 複数ホームエージェントの経路制御

これまでの Mobile IP プロトコルの場合は、移動ノード (厳密にはノードというよりもインターフェース) に対するホームエージェントが 1 台しかない。ホームエージェントを経由する経路制御はデフォルト経路となっている。

本論文で提案した複数のホームエージェントを使用する場合には、ある移動ノードに対して同じホームリンク (サブネット) 上に複数のホームエージェントが存在する。複数ホームエージェントの考えは Virtual Router Redundancy Protocol (VRRP) [5] に類似している。VRRP とは、同じサブネット上に複数のデフォルトルータを存在させて、デフォルトルータの負荷分散をはかる技術である。本提案の複数ホームエージェントもホームエージェントの負荷分散を目

的とする仕組みである。ところで VRRP プロトコルには、ルータ間の優先順位が存在する。MobileIP における経路制御の情報は随時変更される。もし VRRP プロトコルのバックアップ機能を模倣して、経路制御情報をマスタールータ (Virtual Router Master) からバックアップする方法を採用すると、バックアップルータ (Virtual Router Backup) の側には、正確な経路情報が記述されていることを保証できない。

そこで、本提案は移動ノードからの経路情報更新については複数のホームエージェント間に優先順位を設けない。ただし通信経路については、VRRP プロトコルのように優先順位を設ける。移動ノードが接続先のリンクを変えるに行う Binding Update は、ホームリンク上にある自分の複数ホームエージェントに対して、同時に送る仕組みとする。また複数のホームエージェントが存在しても、プライマリルータが正常に動作している限りは、移動ノード宛のホームエージェント経由の packets はプライマリルータによって転送を行う。

既に III 節と A 節で述べたように、経路変更をする通常 38 秒間がかかる。Mobile IP の場合は、ホームエージェントが移動ノードの通信に使用されるケースは以下ようになる。

- **Case 1:** 移動ノードがホームリンク上にある。この場合はデフォルトルータとして働く。
- **Case 2:** 通信相手が移動ノードの Binding 情報を持っていない場合には、移動ノードのホームアドレス宛に packets を送る。この場合にはトンネリングをする。
- **Case 3:** 通信相手が移動ノードの Binding 情報を持っていない場合に、移動ノードが通信相手に packets を送る。逆トンネリングを行う。

Case 1 の場合には、本提案でもシングルホームエージェントモードである。

Case 2 の場合は、使用するルーティングプロトコルによって経路変更にかかる時間が異なるが、例えば通常 38 秒かかる。

Case 3 の場合には、複数のホームエージェントが存在するから、あるホームエージェントに支障が発生した場合、素早く正常なホームエージェントから移動ノードに知らせることができる。したがって、トンネリング packets に必要な宛先アドレスとして正常に動作するホームエージェントの IP アドレスを使うことができる。38 秒もの時間ロスを回避することができる。

### C. Home Agent Unreachability Detection

Mobile IP のホームエージェント間には、Home Agents List を管理するために、Neighbor Unreachability Detection 機能が使われている。

複数のホームエージェントの場合は、従来の Neighbor Unreachability Detection 機能を用いて、自分と同じ移動ノードをサポートしている他のホームエージェントが正常に動作しているかどうかを監視することができる。もし自分と同一の移動ノードをサポートする他のホームエージェントの到達不可を感知したら、ICMP メッセージ (Fig. 3) に到達不可となったホームエージェントの IP アドレスを入れて、迅速に移動ノード宛に知らせなければならない。

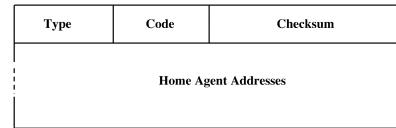


Fig. 3. ICMP Home Agent Unreachable Error Message

移動ノードは、上記の ICMP メッセージを受け取ったら、新たなホームエージェントを確立することになる。

Mobile IPv6 には、Home Agent Address Discovery Request, Home Agent Address Discovery Reply, Mobile Prefix Solicitation と Mobile Prefix Advertisement の 4 つの新しい ICMP メッセージが提案されている。本論文は Home Agent Unreachability Detection のための新たな ICMP メッセージを使用する。Home Agent Addresses フィールドには到達不可となったホームエージェントの IP アドレスを入れる。ここでは Type の値は 154 と仮定する<sup>1</sup>。

### D. Binding Update

Mobile IPv6 プロトコルでは、移動ノードが接続先のリンクを変えると同時に新しい IP アドレスを気付けアドレスとして取得する。その新しく取得した IP アドレスをホームエージェントや通信相手の Binding Cache に最新の気付けアドレスとしてアップデートする必要がある。

既に A 節と B 節で説明したように、移動ノードの気付けアドレスに関する正確な情報を保つために、移動ノードに対応するすべてのホームエージェントに対して、Binding Update を行う。

Mobile IP プロトコルでは、通信ノード間に Security Association というセキュリティ関係が結ばれている。移動ノードが Binding Update を行う前に、ホームエージェントにある自分の情報を更新する権限を知らせる binding authorization を行う必要がある。複数のホームエージェントの場合も、従来と同じように、移動ノードが複数ホームエージェントに Binding Update を行う前に、各ホームエージェントに対して、情報更新の権限を知らせる必要がある。

新しいホームエージェントを確立する際には、Binding Update メッセージが使用される。Fig. 4 には、複数ホームエージェントモードを知らせるために、新しい M ビット (Multiple Home Agents) を追加した。M ビットが立っ

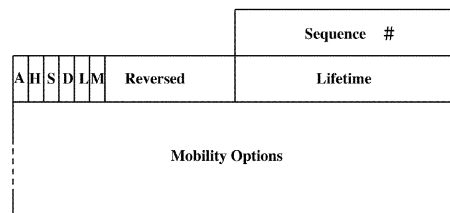


Fig. 4. 変更後の Binding Update Message

いと、移動ノードは複数ホームエージェントモードに入っているということを表す。

<sup>1</sup>これは ICANN によって設定されるべき値である

また M ビットが立っている場合には、Binding Update Message に新しいオプションの Multiple Home Agents Option (Fig. 5) を付加する。これは移動ノードの複数ホームエージェントの IP アドレスがリストされているものである。

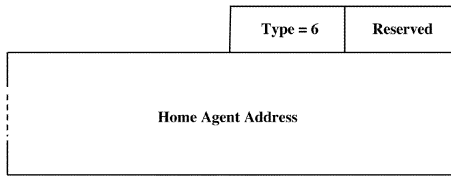


Fig. 5. Multiple Home Agents Option

### E. 状態遷移

本論文は、移動ノードが外部リンク上にある場合にはホームエージェントの数を増やし、移動ノードがホームリンク上に戻った場合はホームエージェントを 1 つに戻すという仕組みを提案する。移動ノードの移動状態には以下の 3 種類がある。

- **移動状態 1:** 移動ノードがホームリンクから外部リンクへ移動する
- **移動状態 2:** 移動ノードが外部リンク間で移動する
- **移動状態 3:** 移動ノードが外部リンクからホームリンクへ移動する

複数ホームエージェントモードとシングルホームエージェントモードを切替えるのは、移動状態の判断による。

移動状態の判断には、従来の Mobile IP プロトコル機能である移動検知 (Movement Detection) という機能を使用する。移動探索機能は、近隣探知 (IPv6 Neighbor Discovery), ルータ探索 (Router Discovery), 近隣到達不能検知 (Neighbor Unreachability Detection) などの機能によって構成される。また、取得した気付けアドレスの subnet prefix を判別することによって、接続状態の変化がわかる。

移動ノードが移動状態 1 となった場合は、移動ノードが新しい気付けアドレスを取得し、ホームエージェントに Binding Update Message を送る。本提案では、移動ノードはこの作業を行うだけでなく、それと同時に、移動ノードが新たなホームエージェントを検索する作業を行う。

新たなホームエージェントの検索には II.B.節で説明した Dynamic Home Agent Address Discovery 機能を使用する。移動ノードは ICMP Home Agent Address Discovery Request Message を送る。ホームリンク上の既知のホームエージェントから返されてきた ICMP Home Agent Discovery Reply Message にはホームリンク上にある全てのホームエージェントのユニキャストアドレスのリストが含まれている。そのリストの中から、既知のホームエージェントのアドレスと異なる任意の 1 つを選び、Binding Update を送り、新たなホームエージェントからの Binding Acknowledgement を待つ。

移動ノードは送ったすべての Binding Update 先の情報を Binding Update List で管理する。複数ホームエージェントの場合は、そのリストのエントリには既知のホームエージェントの情報の他に、新しく確立したホームエージェントに関する情報もリストされる。

移動ノードは新たなホームエージェントの確立ができたら、自分のホームエージェントに Multiple Home Agent Option が付加されている Binding Update メッセージを送る。

移動ノードが移動状態 2 となった場合は、移動ノードが新しい気付けアドレスを取得し、ホームリンク上にある複数のホームエージェントに Binding Update を行う。

移動ノードが移動状態 3 となった場合は、移動ノードが複数ホームエージェントモードからシングルホームエージェントモードに切替える必要がある。シングルホームエージェントモードに切替えるには、Mobile IPv6 プロトコルの既存機能を利用して、Home Registration (H) bit というビットを立てずに Binding Update を行うことによって、このメッセージを受け取ったホームエージェントは自分の Binding Cache の中から、該当する binding を削除する。

## IV. 結論

従来の Mobile IP では、移動ノードのホームエージェントに障害が発生した場合に、移動ノードが外部リンク上にあり、通信相手との通信のデフォルトルータがホームエージェントではない場合でも通信に支障が生じる。本提案は、ホームエージェントが Mobile IP において果たす役割を区別する。移動ノードが外部リンク上にある時には、ホームエージェントは移動ノードのバインディング情報を管理するデータベースを保持する 1 つのルータである。移動ノードが外部リンク上にある場合は、ホームエージェントに障害があっても通信に影響を及ぼさないように、複数のホームエージェントを提案した。複数のホームエージェントの仕組みを使用することにより、1 つのホームエージェントに支障が生じても、他のホームエージェントでも常に移動ノードの最新の気付けアドレスを管理しているため、移動ノードの通信経路を迅速に復旧し、パケットロスを最小限に食い止めることができる。複数ホームエージェントを使うと、ホームエージェント間の移動ノードに関するバインディング情報の交換によるトラフィックが増加する。これが短所である。またホームエージェントと移動ノードの認証過程もやや複雑になる。

## REFERENCES

- [1] C. Perkins, IP Mobility Support for IPv4, RFC 3220, January 2002.
- [2] David B. Johnson, Charles E. Perkins, Mobility Support in IPv6, draft-ietf-mobileip-ipv6-19, October 29, 2002.
- [3] T. Narten et al., Neighbor Discovery for IP Version 6 (IPv6), RFC 2461, December 1998.
- [4] C. Perkins, IP Encapsulation within IP, RFC 2003, October, 1996.
- [5] S. Knight et al., Virtual Router Redundancy Protocol, RFC 2338, April, 1998.
- [6] S. Deering, ICMP Router Discovery Messages, RFC 1256, September 1991.