

AODV の機能を活用したアドホックネットワーク上での Mobile IP 通信方式の検討

有本 俊礼[†] 加藤 聡彦[†] 伊藤 秀一[†]

[†]電気通信大学 大学院 情報システム学研究所 〒182-8585 東京都調布市調布ヶ丘 1-5-1

E-mail: [†]{arimoto,kato,itoh}@net.is.uec.ac.jp

あらまし 近年、その場に集まったノードが一時的なネットワークを構成するアドホックネットワークが注目されている。その中で、通常インターネットに接続されているノードが、ホームのネットワークを離れアドホックネットワークに接続した場合のインターネットとの相互接続に関する検討も行われている。従来の検討では、このような状況に Mobile IP を適用する場合、アドホックネットワークにおけるゲートウェイがフォーリンエージェントとして機能し、Agent Advertisement メッセージをマルチホップに広告するという方式がとられていた。しかし、この方法では、アドホックネットワーク上に過度のメッセージのフラッディングが行われるという問題点があった。これに対して筆者らは、アドホックルーティング自身が移動管理の機能を有していることに着目し、AODV (Ad hoc On-demand Distance Vector)ルーティングを対象として、Mobile IP と AODV の機能を融合させたインターワーク方式について検討している。本稿では、その詳細について述べる。

キーワード Mobile IP, アドホックネットワーク, AODV

A Study on Mobile IP Procedure over Ad hoc Network Combined with AODV Functions

Toshinori ARIMOTO[†] Toshihiko KATO[†] and Shuichi ITOH[†]

[†]University of Electro-Communications 1-5-1 Chofugaoka, Chofu-shi, Tokyo, 182-8585 Japan

E-mail: [†]{arimoto,kato,itoh}@net.is.uec.ac.jp

Abstract Recently, ad hoc networks are widely studied, which provide dynamic and multihop routing among mobile nodes getting together by change. Such a study includes the interconnection between the Internet and ad hoc networks. When a node used to connected with its home network joins an ad hoc network with the same IP address as that in the home network, the node wants to communicate with other nodes in the Internet as well as those in the ad hoc network. In the previous studies, the Mobile IP is applied to this situation as it is. In this scheme, the gateway between the Internet and the ad hoc network works as the Foreign Agent, and Agent Advertisement messages are periodically flooded into the ad hoc network using multihop mechanism among the nodes in the network. This scheme has a serious problem that the messages introduce heavy overhead in the network. On the other hand, we are proposing a scheme that, focusing on AODV (Ad hoc On-demand Distance Vector) routing as a ad hoc routing protocol, combines the functions of Mobile IP and AODV, based on the consideration that ad hoc routing protocol includes the function coping with the node mobility. This paper describe the details of our scheme.

Keyword Mobile IP, Ad hoc Network, AODV

1. はじめに

その場に集まったノードが一時的なネットワークを構成するアドホックネットワークに関する検討が広く行われている [1]。ここでは特に、アドホックネットワーク内のルーティングプロトコルに関する検討が行われている。アドホックネットワークを形成するノードが、そのネットワーク内の他のノードと通信を行う場合は、これらのアドホックルーティングプロトコルを用

いることになる。

しかし、アドホックネットワークから外部のインターネットに位置するノードと通信を行う場合は、別の仕組みが必要となる。まず、インターネットと接続されているノードが、ゲートウェイの働きをする必要がある。また、アドホックネットワークを構成するノードは、もともと接続されていたホームネットワークを離れているため、そのノード宛の IP パケットは、インターネット内でのルーティングにより、アドホックネッ

トワークのためのゲートウェイには到達することはできない。この問題を解決する仕組みとしては、以下の2つが考えられる。1つは、ゲートウェイにおいてインターネットのアドレスに変換する NAT (Network Address Translator) 処理[2]を行う方法である。しかしこの方法では、アドホックネットワークに存在するノードからの発呼は可能であるが、着呼には対応できない。

もう1つは、アドホックネットワーク環境に Mobile IP[3]を適用する方法である。すなわち、ゲートウェイが Mobile IP の Foreign Agent (FA)の機能を提供し、ノードのホームネットワークに存在する Home Agent (HA)の間で登録手順を行い、インターネットのノードからの IP パケットを HA から FA (ゲートウェイ)までカプセル化して転送する。この方式については過去にも研究が行われており[4,5]、FA からマルチホップで Agent Advertisement を送信し、アドホックネットワークを構成するノードにその機能を提供する方式が提案されている。

これらの研究では、Mobile IP の手順の変更を最小限に行うことを、基本方針としている。しかし、アドホックルーティングプロトコルも移動を考慮に入れた機能を実現しており、Mobile IP の機能とオーバラップするものも存在する。

これに対して筆者らは、AODV[6]によりルーティングを行うアドホックネットワークを対象とし、通常のネットワークを離れた端末が、IP アドレスを変更せずにアドホックネットワークに参加するという場合について、AODV の機能を積極的に活用した Mobile IP 通信方式を提案している[7,8]。具体的には、AODV の経路発見と同様な方法および Hello メッセージによる FA の発見、AODV の経路エラーの伝播による移動の検出などを含んでいる。本稿では筆者らの提案する方式の詳細について述べる。

2. 設計方針

本方式を設計するに当たり、図1に示すようなネットワーク環境を想定する。すなわち、移動ノード(MN: Mobile Node)は、通常それぞれのホームネットワークに存在し、一時的に移動した場合に、同一の IP アドレスを用いて、アドホックネットワークに参加する。各ホームネットワークには HA が設置されている。一方アドホックネットワークでは、MN は AODV に従いマルチホップ通信を行い、インターネットとの相互接続を行う FA が用意されている。

本方式を設計するために、以下の方針を立てた。

- (1) Mobile IP においては、MN は、FA または HA からの Agent Advertisement を受信することにより、ホームネットワークから離れているかどうかを検出

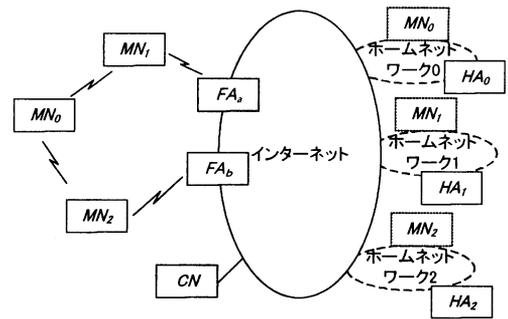


図1 ネットワーク構成

する。これに対しアドホックネットワークの場合は、MN がアドホックネットワーク用のプロトコルスタックを使用している場合は通常のインターネットに接続されていないため、ホームネットワークを離れていると判断させることとする。

- (2) Mobile IP では移動の検出と同時に、移動先の気付けアドレス (Care-of Address: CoA) を入手する。これに対して、アドホックネットワークでは、MN は起動されるとすぐに FA を検索させることとする。これは、従来の Mobile IP における Agent Solicitation の送信に相当するが、AODV を用いた場合は、FA までの経路の検出をあわせて行う必要がある。このため、AODV の経路要求 (Route Request: RREQ) メッセージに類似した FA 要求 (FA Request: FREQ) メッセージを導入し、このパケットをフラッドングすることにより、FA 自身とそれへの経路の探索を行う。
- (3) さらに、FA 自身または FA への経路を知っている MN は、FREQ メッセージに対して、経路応答 (Route Reply: RREP) メッセージに類似した FA 応答 (FA Reply: FREP) メッセージにより、FA への経路および CoA を MN に通知する。また途中の MN が FREP メッセージを返信した場合は、その MN から FA に対して、根拠のない (Gratuitous) RREP メッセージを送信し、途中の MN から FA の間で、FREQ を送信した MN への経路を設定させることとする。これらにより、Agent Advertisement に相当する手順を実現する。
- (4) 一方、起動直後に通信可能範囲に他の MN が存在しない場合は、FA を検出することができない。その後移動して他の MN と通信可能となった場合には、その MN が送信する FA へのアクティブ経路を保持するための Hello メッセージにより、FA への情報を入手することとする。
- (5) FA を検出すると MN は、FA を介して自分の HA に対して Registration Request を送信する。HA は

MN の正当性を確認すると、FA を介して Registration Reply を返送する。このとき、MN と FA 間は AODV に従った IP 転送が、FA と HA 間は通常のインターネットにおける IP 転送が、それぞれ行われる。

- (6) その後、MN がインターネット内の CN (Correspondent Node) と通信する場合は、MN は CN 宛の IP パケットを、AODV による経路情報に基づいて FA まで転送し、FA はインターネット内を経由して CN までその IP パケットを転送する。逆に CN が MN 宛に送信した IP パケットは、ホームネットワークの HA により取り込まれ、FA まで IP カプセル化されて転送され、FA によりアドホックネットワーク内を MN に向けて送信される。MN が CN 宛の通信を開始する場合、宛先の CN がインターネット内に存在するかアドホックネットワーク内に存在するかは不明である。このため、双方の可能性に対応する必要がある。
- (7) MN がさらに移動した場合や、FA までのノードが移動して FA までのパスが切断された場合は、別の FA とのパスを確立する必要がある。これは Mobile IP においては新たな FA からの Agent Advertisement により検出される。AODV では FA へのパスが切断された場合は、Hello メッセージが受信されないことまたは経路エラー(Route Error: RERR)メッセージが通知されることにより検出される。このため、FA への経路が切断された場合に、新たに FREQ メッセージを送出することにより、移動の処理を行うという方法を採用する。

3. メッセージフォーマット

FREQ メッセージのフォーマットを図 2 に示す。このフォーマットは AODV の RREQ (Route Request) メッセージから宛先に関する情報を取り除いたような形式である。ホップ数はこのメッセージが転送されたホップ数であり、FREQ ID は無駄なフラッディングを防止するために用いられ、オリジネータ IP アドレスとオリジネータシーケンス番号は FREQ を送信したノードへのリバース経路を確立するための情報である。

FREP メッセージのフォーマットを図 3 に示す。このメッセージは、FA に関する情報を通知するとともに、FA へのフォワード経路を確立することを目的としており、フォーマットは、RREP メッセージに Agent Advertisement の FA に関する情報 (Mobility Agent Advertisement Extension) を付加した形式となっている。ホップ数はこのメッセージの転送回数を示す。FA アドレスは FA となるノードのアドホックネットワーク内のアドレスであり、FA シーケンス番号とともに、FA

へのフォワード経路を確立するために用いられる。オリジネータ IP アドレスは対応する FREQ を送信したノードのアドレスであり、Lifetime は FA への経路情報の生存時間を示す。Registration Lifetime はその FA が許可する最大の登録の有効期間である。M と G のフラグはそれぞれ FA が Minimal または GRE カプセル化をサポートすることを示し、T フラグは逆方向トンネリングを行うことを示す。その後複数の気付けアドレスを格納している。FA アドレスと気付けアドレスは必ずしも同一でなくてもよい。

Hello メッセージのフォーマットを図 4 に示す。FA へのアクティブな経路を保持するノードは、通常の Hello メッセージ(TTL = 1 でブロードキャストされる



図 2 FREQ メッセージフォーマット

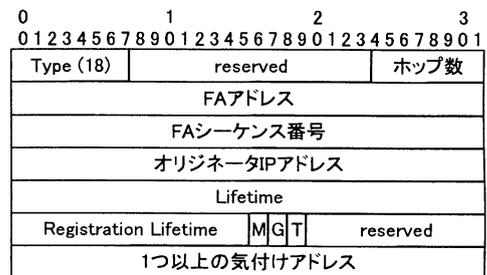


図 3 FREP メッセージフォーマット

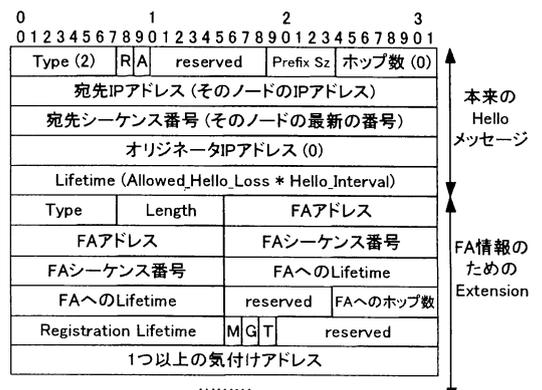


図 4 Hello メッセージフォーマット

RREPメッセージ)にFA用のExtensionを付加して送信する。この情報にはFREPメッセージと同様に、FAへの経路の情報と気付けアドレスを含むFAの情報を含む。これにより、起動時にFAを発見できなかったMNも、FAを利用可能な地点に移動した時点でFA情報を取得することができる。

4. 通信シーケンス

4.1. 基本シーケンス

以上の設計方針に従って通信シーケンスの検討を行った。図1において移動ノード MN_0 がアドホックネットワークにおいて起動されて、 MN_1 を経由してイン

ターネット上に接続されているCNと通信を行い、さらに MN_2 の近傍に移動した場合のシーケンスを図5に示す。ここで各MNはHelloメッセージを定期的に周囲に送信してお互いの接続性を確認しているものとする。

まず MN_0 が起動されると、FREQメッセージを周囲にブロードキャストする。隣接する MN_1 はその近傍のFAである FA_a のCoAなどの情報と経路情報を取得しているため、FREPメッセージにより、 MN_0 に通知するとともに FA_a に向けてGratuitous RREPメッセージを送信し、 FA_a から MN_0 への経路情報を設定する。このような手順により、 MN_0 は起動直後に、近傍のFA情

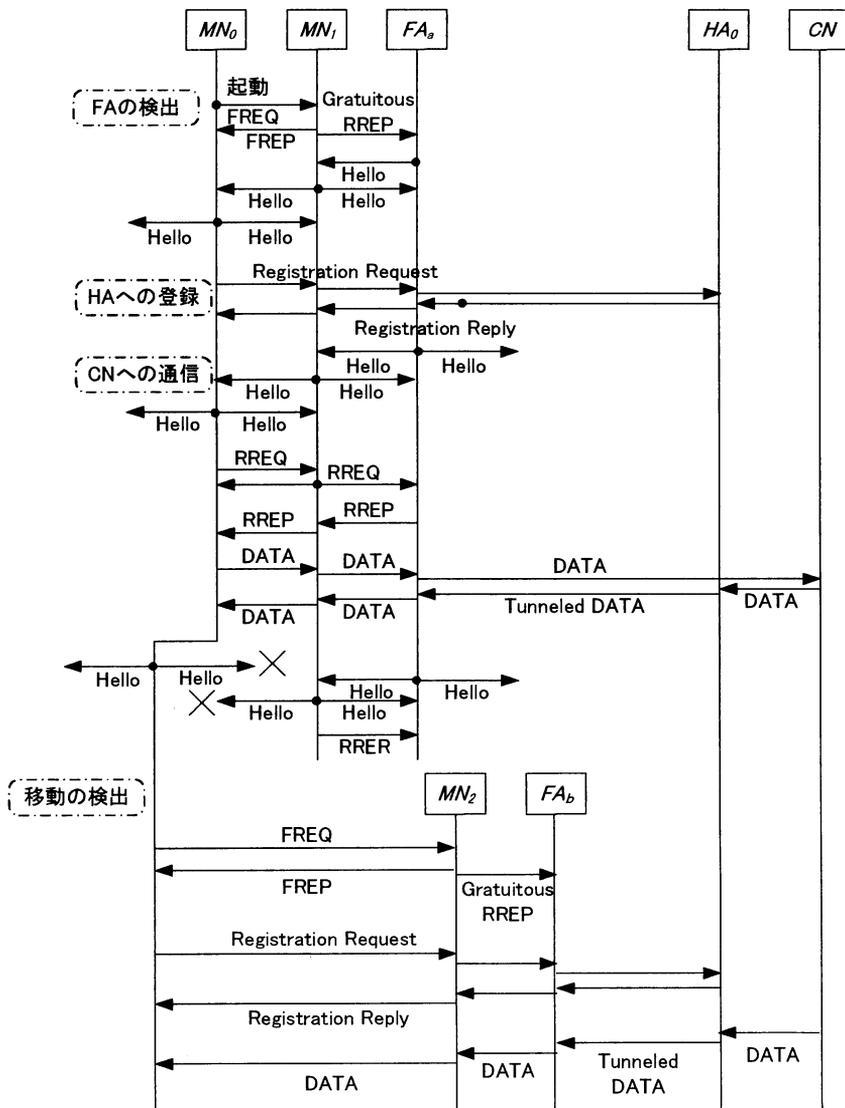


図5 基本的なシーケンス例

報とその FA との間の双方向の経路を設定する。

FA の検出が終了すると、 MN_0 は FA_a に対して Registration Request を送信する。このメッセージは Mobile IP で使用される通常の形式を持つ。このメッセージを受信した FA_a は、対応する HA である HA_0 に転送し、MN の登録を要求する。 HA_0 は登録を確認すると FA_a 経由で MN_0 に対して Registration Reply を返す。

次に MN_0 が CN に対して通信を開始すると、まずその IP アドレスに対して AODV の RREQ メッセージが送信される。この場合は CN がアドホックネットワーク内に存在しないため、該当ノードからの RREP メッセージは返らない。このような場合に対応するために、ゲートウェイ機能を有する FA はすべての RREQ メッセージに対して、許される最大ホップ数(35)をホップ数として RREP メッセージを返す。これにより、アドホックネットワークに存在しないノードに対しては FA を経由する経路を用いることになる。 MN_0 は MN_1 を介して FA_a にデータを送り、 FA_a がインターネットを経由して CN にデータを送る。 CN が MN_0 宛にデータを送ると、それはホームネットワークに転送され、 HA_0 が取り込み FA_a に IP カプセル化して転送する。さらに FA_a は AODV の経路制御に従って MN_0 までデータを転送する。

次に、 MN_0 が FA へのアクティブルートの中間ノードである MN_1 との無線伝播範囲外に移動し通信不能となると、定期的に交換していた Hello メッセージが受信できなくなり、 MN_0 は現在の FA へのアクティブルートを失ったことを検知する。そこで、 MN_0 は FREQ メッセージを新たに送出し FA を再検索する。この例では MN_2 から FA_b の情報を入手し、その結果 HA への登録を行い、その後 CN との通信が再開される。

4.2. 起動時の FREQ メッセージが失敗した場合

次に、 MN_0 が起動時に FREQ メッセージを送信したにもかかわらず、隣接のノードから FA の情報が入手できなかった場合の通信シーケンス例を図 6 に示す。ここでは、 MN_1 がアドホックネットワークに参加して FA へのアクティブな経路を既に獲得していると想定し、Hello メッセージにより接続性を周囲と確認している。次に MN_0 が起動され、FA の検出を試みたが失敗し、その後 MN_1 の近くに移動し、 MN_1 からの Hello メッセージにより FA の情報を獲得し CN との通信を開始している。

まず、 MN_0 がアドホックネットワークにおいて起動される。 MN_0 はアドホックネットワーク用のプロトコルにより FREQ メッセージをブロードキャストするが、他のノードが無線伝播範囲に存在していないため、FREQ メッセージを受信できずにリトライアウトして

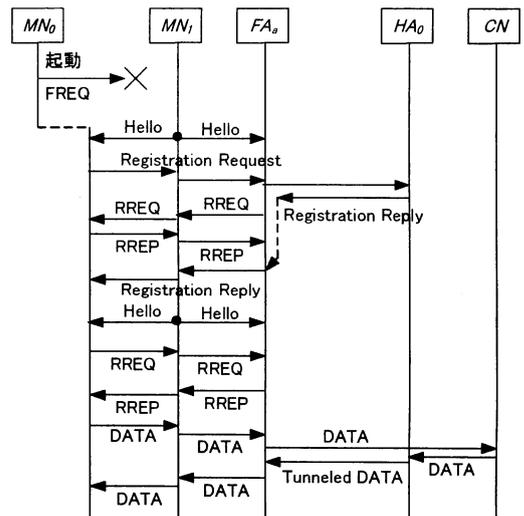


図 6 起動時の FREQ 失敗のシーケンス例

FA の検出に失敗する。その後、 MN_0 は MN_1 の近くに移り、 MN_1 の送出す Hello メッセージを受信する。 MN_0 はそこから CoA を含む FA の情報を取得する。その後 Registration Request を FA_a 経由で HA_0 に向けて送信する。 FA_a にこのメッセージを送信するために MN_1 を経由する。 MN_1 は FA_a へのフォワード経路を保持しているため、このメッセージは FA_a に転送され、さらに HA_0 に到達する。

続いて、 HA_0 がその応答として Registration Reply を FA_a 宛に送信する。 FA_a はさらにこのメッセージを MN_0 に送信しようとするが、 MN_0 への経路情報は有していない。そこで FA_a から RREQ メッセージがフラッディングされ、 MN_0 がそれを RREP で応答した後に Registration Reply がアドホックネットワーク内を MN_0 まで転送される。

次に MN_0 が CN との通信を開始する。この時、 CN への経路を確認するために、まず MN_0 は CN を宛先 IP アドレスとして持つ RREQ メッセージをアドホックネットワーク内にフラッディングする。 FA_a はすべての RREQ メッセージに対して常に、許される最大値(35)ホップ数として RREP を返す。この場合は、 CN がこのアドホックネットワーク内には存在しないため、その RREP が有効となり、 FA_a に向けてデータが送信され通信が開始される。

4.3. 途中ノードの移動があった場合

さらに、中継するノードが移動し経路が切断された場合のシーケンス例を示す。ここでは、 MN_0 と MN_1 は FA_a への経路を獲得し通信を行っているものとし、その後、 MN_1 が移動して FA_a との接続を失う場合を想定

する。Hello メッセージの紛失による移動の検出と RRER メッセージの通知により、 MN_0 と MN_1 共に FA を再検索して登録を行う手順を図 7 に示す。

まず、 MN_0 と MN_1 は共に FA_a へのアクティブな経路を獲得しているの、Hello メッセージの交換によってお互いの接続性を確認している。ここで MN_1 が移動し、 FA_a からの Hello メッセージが到達しなくなると、 FA_a へのアクティブな経路を失ったことを検出する。 MN_1 は AODV の手順に従い、RRER メッセージを隣接ノードへ送信する。 MN_0 は RRER メッセージを受信して、自身が FA_a へのアクティブな経路を失ったことを検出し、FREQ メッセージを周囲にフラッディングする。 MN_2 はその近傍の FA である FA_b の CoA などの情報と経路情報を取得しているの、それらを FREP メッセージにより MN_0 に向けて通知し、 FA_b に向けて Gratuitous RREP メッセージを送信して FA_b から MN_0 への経路情報を設定する。このようにして MN_0 は MN_1 の移動によって失った FA の情報とその FA との間の双方向の経路を設定する。図ではその後、 MN_1 が FA_a へのアクティブな経路を失ったので、FREQ メッセージをフラッディングしている。この時点では MN_0 が既に FA_b の情報と経路情報を取得しているの、 MN_1 はそれらを MN_0 からの FREP メッセージにより通知される。また MN_0 は FA_b に向けて Gratuitous RREP メッセージを送信して FA_b から MN_1 への双方向経路情報を設定する。その後、 MN_0 と MN_1 は FA_b 経由で、それぞれ、 HA_0 と HA_1 に Registration Request を送信して、登録情報を更新して、Registration Reply を受信してデータ通信の準備を完了する。

5. おわりに

本稿では、Mobile IP と AODV の機能を融合させたインターワーク方式について、詳細な手順と用いられるメッセージフォーマットの検討を行った結果について報告した。本方式では、AODV の有する移動管理に関する機能を積極的に用いることにより、移動に伴う位置登録のメッセージのオーバーヘッドを削減することが期待できる。

文 献

[1]: “Mobile Ad Hoc Networking (MANet),” http://protean.itd.nrl.navy.mil/manet/manet_home.html .
 [2]: K. Egevang and P. Francis, “The IP Network Address Translator (NAT),” RFC 1631, May 1994.
 [3]: C. Perkins, Ed., “IP Mobility Support for IPv4,” RFC 3220, Jan. 2002.
 [4]: H. Lei and C. Perkins, “Ad Hoc Networking with Mobile IP,” in Proc. of European Personal Mobile Communications Conference, Sep. 1997.

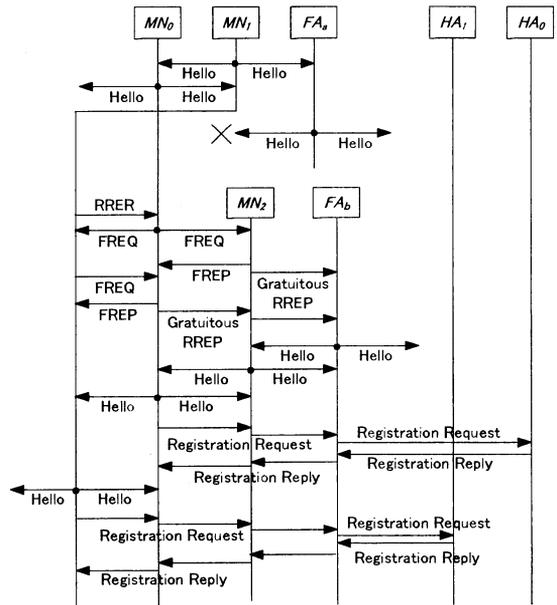


図 7 途中ノードの移動のシーケンス例

[5]: Y. Tseng, et al., “Mobile IP and Ad Hoc Networks: An Integration and Implementation Experience,” IEEE Computer, Vol. 36, No.5, May 2003.
 [6]: C. Perkins, E. Belding-Royer and S. Das, “Ad hoc On-Demand Distance Vector (AODV) Routing,” RFC3561, Jul. 2003.
 [7]: 加藤, 伊藤, “モバイル IP を用いたアドホックネットワークとインターネットの相互接続方式,” FIT 2003, M-082, Sep. 2003.
 [8]: 有本, 加藤, 伊藤, “モバイル IP と AODV を組み合わせたアドホックネットワークとインターネットのそうと接続方式に関する一考察,” 情処第 66 回全大, 1H-06, Mar. 2004.