

## 独立に管理された Mobile IP ネットワーク間の ローミング手順とその実装

井戸上 彰<sup>†</sup> 久保 健<sup>†</sup> 横田 英俊<sup>†</sup> 長谷川 亨<sup>†</sup> 大橋 正良<sup>†</sup>

近年、広域セルラー網や無線 LAN などをはじめとして、さまざまなモバイルネットワークが構築・提供されている。これらのモバイルネットワークにおいて、移動端末の位置管理・移動管理のためのキープロトコルとして Mobile IP の利用が進んでいる。本論文では、それぞれ異なる管理主体によって運営されているモバイルネットワークにおいて、移動端末に対して互いに独立なプライベートアドレスが割り当てられ、各ネットワーク内で Mobile IP ベースの位置管理が行われている場合を想定して、各ネットワークに GRA (Global Roaming Agent) と呼ばれる機能ノードを導入することにより、移動端末のネットワーク間ローミングを実現する方式を提案する。提案方式の詳細手順とともに、プロトタイプシステムの実装結果についても示す。

Design and Implementation of Roaming Procedure among Mobile IP Networks  
Managed by Different Administrative Domains

Akira Idoue,<sup>†</sup> Takeshi Kubo,<sup>†</sup> Hidetoshi Yokota,<sup>†</sup> Toru Hasegawa<sup>†</sup>  
and Masayoshi Ohashi<sup>†</sup>

Recently, various mobile networks have been provided for mobile Internet services, and Mobile IP has become a key protocol for location/mobility management for mobile nodes. In this paper, we propose an approach to support global roaming among different mobile networks where Mobile IP is used for mobility management of mobile nodes with private addresses in a closed domain. In order to realize global roaming among different Mobile IP networks, we have introduced Global Roaming Agent (GRA) for each mobile network. This paper presents detailed roaming procedures using GRA. Implementation and performance evaluation results of our proposed method are also given.

### 1. はじめに

近年、広域の公衆セルラー網やホットスポット型の無線 LAN など、さまざまな移動体ネットワークが構築され、モバイルインターネットサービスが提供されつつある。これらのモバイルネットワークにおいて、移動端末(MN: Mobile Node)の位置管理と移動時のシームレスな通信をサポートするプロトコルとして Mobile IP [1]の利用が進みつつある[2]。Mobile IP では本来、グローバルアドレスを前提とした IP アドレスのモビリティ(位置透過性)の実現を目的としていたが、グローバルアドレスの枯渇問題と、多数の移動端末に対するアドレス割り当ての必要性から、プライベ

ートアドレスのサポートに対するニーズも無視できない。アドレス枯渇問題を解消し、真にシームレスな通信を実現するためには、IPv6 / Mobile IPv6 [3]の採用が根本的な解決になると考えられる。しかし、既存の IPv4 ベースの通信インフラをすべて IPv6 ベースに置換するためには、多くの時間とコストが必要となると考えられ、当面は IPv4 ベースの解決手段も考慮する必要がある。

Mobile IP においてプライベートアドレスをサポートする手段として、リバーストンネリング(逆方向トンネリング)[4]が知られている。IETF の *mobileip* ワーキンググループでは、リバーストンネリングを用いた場合の移動端末に対するプライベートアドレスのサポートに関するシナリオとガイドラインに関する提案・議論も行われている[5]。リバーストンネリングにより、ホームネッ

---

<sup>†</sup>(株) KDDI 研究所  
KDDI R&D Laboratories Inc.

トワーク上の HA (Home Agent)と外部ネットワーク上の FA (Foreign Agent)がグローバルインターネット経由で接続される場合においても、プライベートアドレスを持つ移動端末がホームネットワーク(プライベートアドレス網)にアクセスすることが可能となる。しかし、このようなリバーストンネリングのみの方式では、移動端末に対する外部からの着信はサポートできない。今後、VoIP (Voice over IP)やビデオ会議、音声/ビデオ・ストリーミングなど、いわゆるピア・ツー・ピア型やプッシュ型のサービスに対するニーズが高まると予想されるが、これらをサポートするためには、モバイル環境における移動端末への着信の実現が重要な課題となる。そこで筆者らは、Mobile IPにおいてリバーストンネリングと NAT (Network Address Translator)を組み合わせることにより、プライベートアドレスを持つ移動端末に対する外部からの着信をサポートする方式を提案している[6][7]。本提案方式は、通信相手ノード(CN: Correspondent Node)が移動端末(MN)の NAI (Network Access Identifier)を指定した DNS Query を送信してアクセスを試みた際に、NAT 機能をサポートする HA が一時的なグローバルアドレスを割り当てるものである。

上述の提案方式により、MN に対する外部からの着信が可能となる。しかし、多様なモバイルネットワークの出現を考慮すると、さらなる課題として、それぞれ独立なプライベートアドレスを持つ、異なるモバイルネットワークの間で、移動端末が自由に移動可能(グローバルローミング)とすることが望まれる。そこで本稿では、異なる管理主体によって運営されている複数のモバイルネットワーク間のローミング方式を提案する[8]。前提条件として、管理主体ごとに、MN に独立にプライベートアドレスを割り当て、各ネットワーク内部で個別に Mobile IP ベースの位置管理を行い、MN はこれらの複数のモバイルネットワーク (Mobile IP 網)に加入している状況を想定する。このような状況において、MN が他の Mobile IP 網や外部のグローバルインターネット上に存在する CN との間で、MN からの発信および MN への着信をサポートする方式と通信手順を示す。また、提案方式をプロトタイプシステムとして実装した結果と性能評価を示す。

## 2. ネットワーク構成と通信シナリオ

### 2.1 ネットワーク構成

Mobile IP 網間ローミングの検討対象とするネットワーク構成を図 1 に示す。ここで、各 Mobile IP 網はそれぞれ異なる管理主体によって運営され、移動端末に対して互いに独立なプライベートアドレスを割り当てるものとする。各 Mobile IP 網では、それぞれ内部の HA および FA により MN の位置管理が行われている。このような状況において、図 1 に示すように、ある MN は Mobile IP 網 1 と Mobile IP 網 2 によって提供されるサービスに同時に加入しており、それぞれ異なる NAI (mn-nai1, mn-nai2)とプライベートアドレス(mn-pa1, mn-pa2)が割り当てられている。MN は、その現在位置や通信コスト、提供サービスなどの条件に応じて、接続先のモバイル網を変更可能とする。なお、MN はモバイルネットワーク間を移動した際に、そのホームアドレス(プライベートアドレス)を変更するため、ネットワーク間ローミング時の TCP コネクションやセッションの維持はサポートしない。

### 2.2 通信シナリオ

図 1 に示したネットワークにおいて、下記のような通信シナリオを実現する。

[シナリオ 1] 他 Mobile IP 網からの着信

MN が Mobile IP 網 2 から Mobile IP 網 1 に移動した後、Mobile IP 網 2 に存在する通信相手ノード CN-2 (Mobile IP 網 2 に存在する他の移動端末に相当)から MN に対して発信する場合。

[シナリオ 2] 他 Mobile IP 網への発信

MN が Mobile IP 網 2 から Mobile IP 網 1 に移

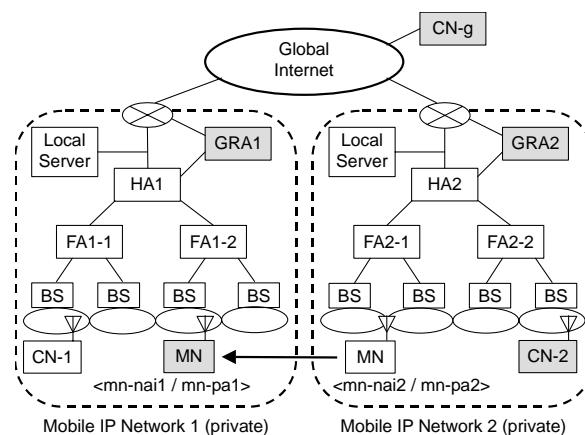


図 1 ネットワーク構成

Fig. 1 Network configuration

動した後、MN から Mobile IP 網 2 に存在する通信相手ノード CN-2 に対して発信する場合。

[シナリオ 1] グローバルインターネットへの発信

Mobile IP 網 1 に存在する MN から、グローバルインターネットを介してグローバルアドレスを持つ通信相手ノード CN-g 宛てに発信する場合。

[シナリオ 1] グローバルインターネットからの着信(ケース A)

グローバルアドレスを持つ外部の CN-g から、Mobile IP 網 1 で割り当てられた MN の NAI (mn-nai1)を指定して MN にアクセスする場合。

[シナリオ 1] グローバルインターネットからの着信(ケース B)

MN が Mobile IP 網 1 に接続している際に、外部の通信相手ノード CN-g が Mobile IP 網 2 で割り当てられた MN の NAI (mn-nai2)を指定してアクセスする場合。

2.3 グローバルローミングエージェント

以上に示した通信シナリオを実現するため、各 Mobile IP 網ごとにグローバルローミングエージェント(GRA: Global Roaming Agent)を導入する。GRA は、MN が現在接続中のネットワークを識別・管理し、必要に応じて、ネットワーク間でパケット転送を行う際のプライベートアドレス間の変換、NAT および DNS と連携した一時的なグローバルアドレスの割り当て、グローバルアドレスとプライベートアドレスの変換、アドレス変換を実行するために必要なセッション情報の管理などの機能をサポートする。標準的な Mobile IP 手順との互換性を維持し、既存の HA や FA などに対する改修などの影響を最小限に抑えるため、GRA を HA とは独立な機能ノードとして定義した。ネットワーク間のローミングを必要としない移動端末に対しては、個々のネットワーク内部において通常の Mobile IP 手順を用いた位置管理 / 通信を提供可能である。

3. 通信手順

本章では、2 章で示した通信シナリオのそれぞれについて GRA を用いた詳細な通信手順を示す。

3.1 MN 登録手順

(1) Mobile IP 登録

MN が Mobile IP 網 1 に移動した直後に行う登

録手順を図 2 に示す。MN は、最初に Mobile IP の RRQ (Registration Request) / RRP (Registration Reply)メッセージにより、Mobile IP 網 1 におけるホームアドレス(mn-pa1)および現在の CoA (care-of address: ここでは FA アドレス fa1x)を HA1 に登録する。この際、新たに定義する拡張パラメータ[9]として、GRA address extension を付加する。本パラメータの使用方法については後述する。

(2) GRA 登録

Mobile IP 登録の後、MN は現在接続している Mobile IP 網 1 の GRA (GRA1)に対して、新たに定義する GRRQ (GRA Registration Request)メッセージにより登録を行う。GRRQ は、そのパラメータとして、現在接続中の Mobile IP 網 1 および移動元である Mobile IP 網 2 において割り当てられた MN の NAI (mn-nai1, mn-nai2)とホームアドレス(mn-pa1, mn-pa2)、各ホームアドレスに対応するサブネットアドレス (subnet-1, subnet-2)、および各網の GRA アドレス(gra1, gra2)を含む。

GRA1 は、GRRQ を受信して処理した後、GRRQ を GRA2 に転送する。GRA2 は、Mobile IP 網 2 の HA2 に対して、MN の CoA を GRA2 アドレス(gra2)とした RRQ を送信し、Mobile IP 網 2 において MN 宛てのパケットをすべて GRA2 が引き取るように登録する。その後、GRA2 は GRRP (GRA Registration Reply)メッセージを GRA1 に返し、GRA 1 が GRRP を MN に返すことによって登録を完了する。

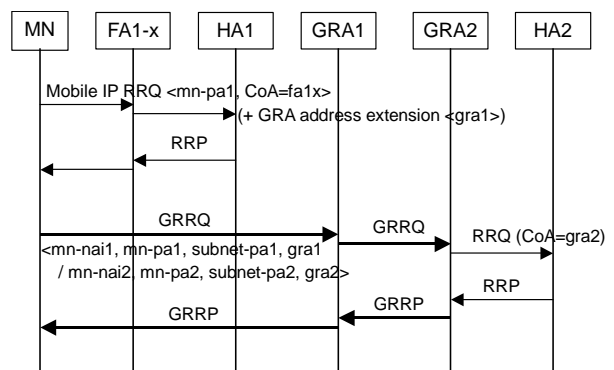


図 2 MN 登録手順  
Fig. 2 MN registration procedure

### 3.2 他 Mobile IP 網からの着信

他 Mobile IP 網上の CN から MN に着信する場合の手順を図 3 に示す。本ケースでは、Mobile IP 網 2 に存在する CN-2 が、現在 Mobile IP 網 1 に接続中の MN に対して、Mobile IP 網 2 における MN のホームアドレス(mn-pa2)を指定してパケットを送信する。このパケットはリバーストンネリングにより HA2 まで転送され、前述の MN 登録手順により HA2 における MN の CoA が GRA2 アドレス gra2 に設定されているため、HA2 から GRA2 に転送される。本パケットを受信した GRA2 は、先の登録手順により、現在 MN が GRA1 配下に存在することを知っているため、パケットをさらに GRA1 に転送する。

GRA2 から MN 宛てパケットを受信した GRA1 は、その宛先アドレス mn-pa2 を Mobile IP 網 1 におけるホームアドレス mnp-pa1 に変換し(必要に応じてヘッダチェックサムの変換等を含む)、HA1 に転送する。その後、通常の Mobile IP 手順に従って、HA1 から MN までパケットが転送される。

ここで、GRA 間のパケット転送とアドレス変換処理をサポートするために、GRA2 から GRA1 にパケットを転送する際、GRE (Generic Routing Encapsulation)カプセル化[10]を行い、GRE ヘッダの"key"フィールド[11]に、MN のホームアドレス(プライベートアドレス)の変換に関して責任を持つ GRA のアドレスを格納する。本シナリオの場合、GRA1 アドレス gra1 を設定する。これにより、他の GRA からトンネリングされた

パケットを受信した GRA は、その転送方向と key フィールドの値によって、ユーザパケットのアドレス変換の必要性を判断することができる。

MN が CN-2 に対するレスポンスとしてパケットを送信した場合、このパケットは HA1 まで転送され、HA1 は宛先の CN-2 が他網のアドレスであるため、さらに GRA1 に転送する。GRA1 は、GRA 間で転送されるユーザパケットのセッションを管理しており、該当するセッション情報を検索して受信パケットの送信元アドレスを mn-pa1 から mn-pa2 に変換し、GRA2 に転送する。GRA2 はそのパケットを HA2 に転送し、HA2 から CN-2 まで通常の Mobile IP 手順により転送される。

### 3.3 他 Mobile IP 網への発信

本ケースは、現在 Mobile IP 網 1 に接続中の MN が、Mobile IP 網 2 に存在する CN-2 に対してパケットを送信する場合に相当する(図 4)。MN が送信するパケットは、HA1 までリバーストンネリングされるが、HA1 は、その宛先が HA1 の配下の網に存在する端末か、外部の端末かを判断する必要がある。しかし、各網において互いに独立なプライベートアドレスを使用しているため、宛先アドレスのサブネットアドレス(サブネットプレフィックス)が自身の管理するサブネットアドレスと一致するかどうかの比較だけでは、HA1 配下の網内の端末宛てに転送すべきかどうかを判断することができない。そこで、他網への発信を希望する MN は Mobile IP による登録時に、3.1 で述べた GRA address extension を設定する。HA1 において、送信元の MN が GRA address

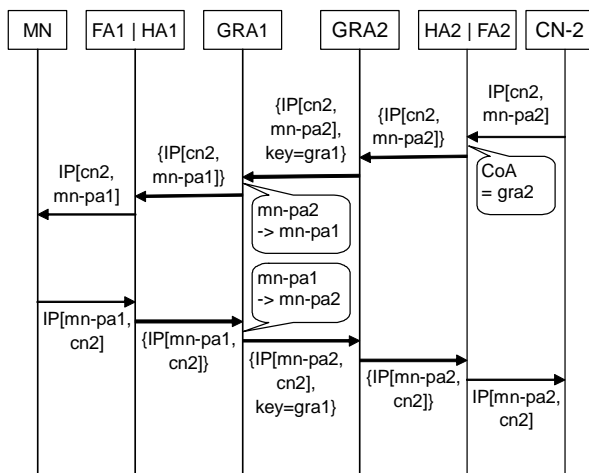


図 3 他 Mobile IP 網からの着信  
Fig. 3 Incoming call from another Mobile IP network

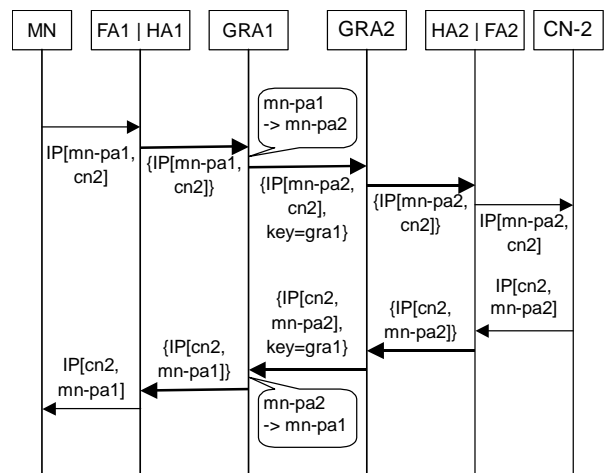


図 4 他 Mobile IP 網への発信  
Fig. 4 Outgoing call to another Mobile IP network

extension を指定していた場合、宛先アドレスによらずに同一ネットワークの GRA1 に該当パケットを転送する。GRA1 は、先の GRRQ によって登録されている Mobile IP 網 2 のサブネットアドレス subnet-pa2 と宛先アドレス cn2 のマッチングにより、宛先が Mobile IP 網 2 であることを認識し、送信元アドレスを mn-pa1 から mn-pa2 に変換して GRA2 にパケットを転送する。CN-2 までは、HA2 経由で通常の Mobile IP 手順により転送される。CN-2 からの応答パケットは、HA2 から GRA2 に転送され、GRA2 からさらに GRA1 に転送されて、GRA1 が宛先アドレスを mn-pa2 から mn-pa1 に変換し、MN まで配送される。

### 3.4 グローバルインターネットへの発信

MN からグローバルインターネット上の CN (CN-g) に対してパケットが送信された場合は、MN が現在接続中の Mobile IP 網の GRA によって処理される。図 5 に示すように、CN-g 宛てのパケットは HA1 から GRA1 に転送され、GRA1 は一時的なグローバルアドレス mn-ga1 を割り当てて送信元アドレスを mn-pa1 から mn-ga1 に変換し、CN-g まで送信する。CN-g からの応答パケットは、GRA1 がセッション情報を参照して、宛先アドレスを mn-ga1 から mn-pa1 に変換する。なお、各 HA は、宛先がグローバルアドレスの場合はすべて同一網上の GRA に転送することにより、MN から外部へのアクセスを実現している。

### 3.5 グローバルインターネットからの着信(ケース A)

本ケースでは、MN が Mobile IP 網 1 に存在する場合に、グローバルアドレスを持つ CN-g が Mobile IP 網 1 で割り当てられた MN の NAI

(mn-nai1)を指定して DNS Query により MN にアクセスする場合を想定する(図 6)。GRA1 は DNS Query を受信すると、一時的なグローバルアドレス mn-ga1 を割り当て、DNS Answer を返す。CN-g は、mn-ga1 を宛先とするパケットを送信し、GRA1 がそのパケットを受信して、宛先を mn-ga1 から mn-pa1 に変換し、HA1 に転送する。HA1 から MN までは通常の Mobile IP 手順により転送される。

### 3.6 グローバルインターネットからの着信(ケース B)

このケースでは、MN が Mobile IP 網 1 に存在する場合に、グローバルアドレスを持つ CN-g が Mobile IP 網 2 で割り当てられた MN の NAI (mn-nai2)を指定して DNS Query を送信し、MN にアクセスする場合を想定する。この場合、図 7 に示すとおり、Mobile IP 網 2 の GRA2 が DNS Query を受信し、一時的なグローバルアドレス mn-ga2 を割り当てて DNS Answer を返す。CN-g から mn-ga2 宛てに送信されたパケットは GRA2 が受信し、宛先を mn-ga2 から mn-pa2 に変換する。GRA2 は MN が現在 GRA1 配下に存在することを把握しているため、パケットをさらに GRA1 に転送する。GRA1 では、MN の登録情報に基づき、宛先を mn-pa2 から mn-pa1 に変換して、HA1 経由でパケットを MN まで転送する。

MN から CN-g 宛ての応答パケットは、HA1 から GRA1 に渡される。GRA1 は、mn-pa1 と CN-g アドレス cng に該当するセッション情報に基づいて送信元を mn-pa1 から mn-pa2 に変換し、GRA2 に転送する。GRA2 においても同様にセッション

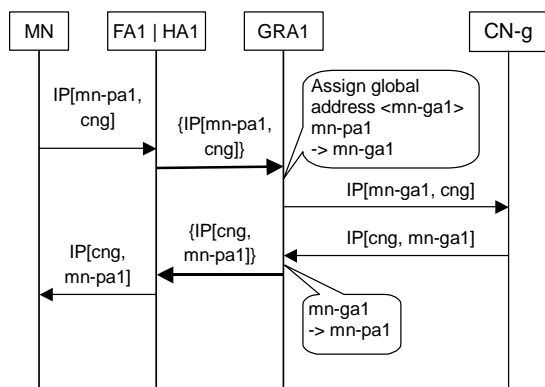


図 5 グローバルインターネットへの発信  
Fig. 5 Outgoing call to global Internet

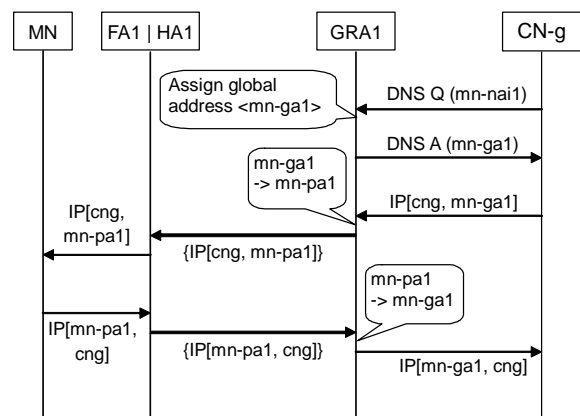


図 6 グローバルインターネットからの着信(A)  
Fig. 6 Incoming call from global Internet (Case A)

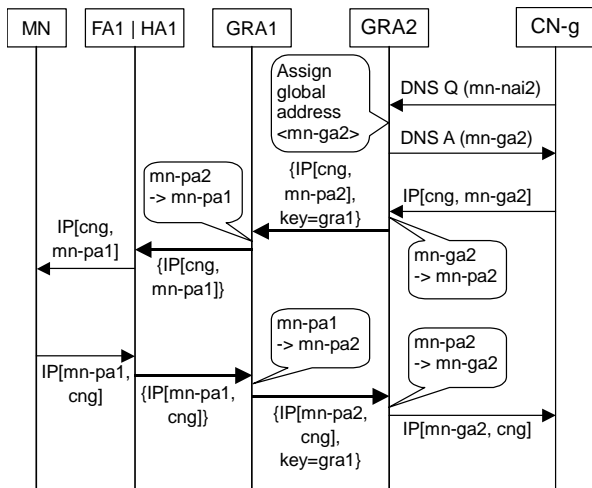


図7 グローバルインターネットからの着信(B)  
Fig. 7 Incoming call from global Internet (Case B)

情報を管理しており、送信元アドレスを mn-pa2 から mn-ga2 に変換してパケットを CN-g 宛てに送信する。

### 3.7 ライフタイムの管理と GRA 間ハンドオフ

提案方式においては、Mobile IP 登録、GRA 登録、セッション管理、および DNS キャッシュに関する 4 種類のライフタイムを設定・管理する必要がある。Mobile IP 登録ライフタイムは、Mobile IP 手順の RRQ / RRP メッセージによる FA および HA に対する登録のライフタイムであり、GRA 登録ライフタイムは、GRRQ / GRRP メッセージによって行われる GRA に対する移動端末の登録ライフタイムである。ネットワーク間ローミングの目的から、一般に GRA 登録ライフタイムは Mobile IP 登録ライフタイムよりも大きな値とする。セッションライフタイムは、各 GRA において管理される移動端末の個々のセッションごとに管理され、そのセッションに該当する移動端末宛て、または移動端末発のパケットを検知すると更新(延長)し、タイムアウトするとセッション情報を消去する。セッションライフタイムの初期値は、GRA 登録ライフタイムの残り時間よりも短い時間とする。また、MN に一時的なグローバルアドレスを割り当てる場合は、グローバルアドレスの有効期間も該当するセッションライフタイムと同一である。最後に、DNS キャッシュに関するライフタイムであるが、グローバルインターネットからの着信をサポートするために、提案方式では、DNS Query メッセージが常に指定され

た NAI を管理する GRA に届く必要がある。そのため、DNS Answer では、途中の DNS サーバで結果がキャッシュされないように、ライフタイムを 0 として応答する。

以上のようなライフタイムの管理を考慮しつつ、グローバルインターネットからの着信などによって移動端末 MN に一時的なグローバルアドレスが割り当てられている場合に、MN が別の Mobile IP 網 2 に移動すること、すなわち GRA 間ハンドオフを実現することができる。GRA 間ハンドオフの例を図 8 に示す。最初に MN が Mobile IP 網 2 に存在し、グローバルインターネット上の CN-g から到着によりグローバルアドレスを割り当てられて通信を開始する。本手順は、3.5 章で示したものと同様である。その後 MN が、CN-g とのセッションライフタイムが有効な間に、Mobile IP 網 1 に移動すると仮定する。MN が GRA1 および GRA2 に登録を行った後、GRA2 は、セッションライフタイムすなわちグローバルアドレス mn-ga2 が有効な場合、CN-g から受信した mn-ga2 宛てのパケットの宛先を mn-pa1 に変換し、HA2 のかわりに GRA1 に転送する。GRA1 がこのパケットを受信すると、宛先アドレスを mn-pa1 に変換して、HA1、FA1-x 経由で MN に転送する。このように、GRA 間ハンドオフ後も、CN-g は同一グローバルアドレス mn-ga2 によって MN 宛てにパケットを送信できる。

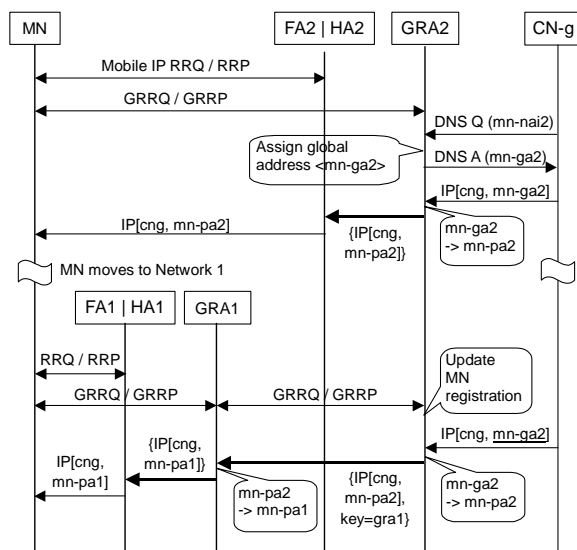


図8 グローバルアドレス使用中の GRA 間ハンドオフ  
Fig. 8 Inter-GRA handoff while global address is assigned

#### 4. 実装と評価

GRA を含む提案方式による Mobile IP 網間のローミング手順について、ライス大学の Monarch プロジェクト [12] によって開発された既存の Mobile IP ソフトウェアをベースとして実装を行った。図 9 に、UNIX (FreeBSD 2.2.8) 上で実装した GRA のソフトウェア構成を示す。

GRA のソフトウェアは、*grad* と呼ぶデーモンプロセスと、カーネル内の関数およびデータ構造から構成される。デーモンプロセス *grad* は、GRRQ および GRRP メッセージを処理し、移動端末の登録エントリを管理する。また、各移動端末の登録やセッションのライフタイムの管理も行う。さらに、*grad* は、DNS Query を受信した際、DNS デーモンプロセスと協調して一時的なグローバルアドレスの割り当てを行う。一方、効率的なパケット転送をサポートするために必要なデータ構造や関数についてはカーネル空間内に実現した。カーネル内のデータとして、GRA 登録テーブル(GRA registration entry table)およびセッション管理テーブル(session mng. table)を持つ。カーネル内の関数 *gra\_rtrequest()* は、GRA 登録テーブルやセッション管理テーブルへの登録・更新を行う。本関数は、RAW ソケットインターフェースを介して *grad* から呼ばれ、この GRA や他の GRA が管理するネットワークで割り当てられた複数のプライベートアドレスや、一時的なグローバルアドレス、通信相手のアドレスなどの情報を登録・更新する。*gra\_input()* は、他の GRA や HA から GRE カプセル化してトン

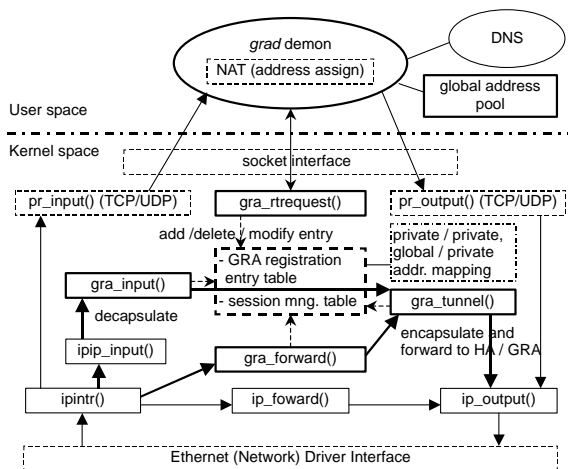


図 9 GRA のソフトウェア構成  
Fig. 9 Software configuration of GRA

ネリングされたパケットを受信した際に呼ばれ、GRA 登録テーブルやセッション管理テーブルを参照して、*gra\_tunnel()* を呼び出す。*gra\_tunnel()* は、これらのテーブルを参照しつつ、宛先または送信元のプライベートアドレス間の変換、またはグローバルアドレスとプライベートアドレスとの間の変換を行い、転送先の GRA や HA を決定して GRE カプセル化を行い、パケットを転送する。*gra\_forward()* は、GRA が、グローバルインターネットからの移動端末宛てのパケットを代理で受信した際に呼ばれる。本関数は、GRA 登録テーブルおよびセッション管理テーブルを参照しつつ、宛先のグローバルアドレスを移動端末のプライベートアドレスに変換し、*gra\_tunnel()* 関数を通して他の GRA や HA に転送する。

実装したローミング手順、特に GRA の性能評価のために、図 10 に示す実験ネットワークを構築した。GRA、HA、FA、MN および CN は、すべて Pentium III (800MHz)、メモリ 128Mbyte のパソコン上で実装し、すべてのノードは、10Mbps のイーサネットリンクで接続した。性能評価として、エンド・ツー・エンドの ping 応答時間と ftp スループットを測定した。表 1 に測定結果を示す。ping 応答時間は、100 回の 64 バイトのエコー要求 / 応答の最小 / 平均 / 最大値を示す。また、ftp スループットは、2Mbyte のファイル転送を 10 回行った際の平均値を示す。表 1 において、CN-g から GRA1 経由の MN 宛ての通信は、3.5 章で示したグローバルインターネットからの着信(ケース A)に相当し、CN-g から GRA2 および GRA1 経由の MN 宛ての通信は、3.6 章で述べたグローバルインターネットからの着信(ケース B)の場合に相当する。前者の場合は、GRA1

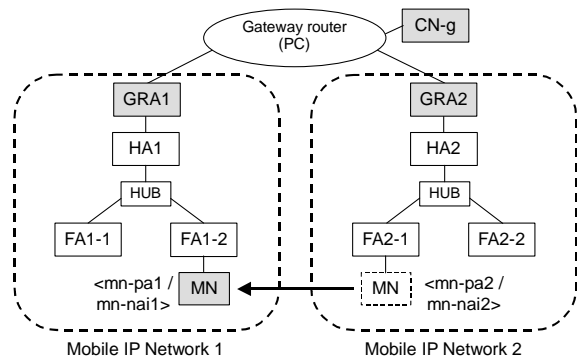


図 10 実験ネットワーク構成  
Fig. 10 Experimental network configuration

表 1 性能測定結果  
Table 1 Performance evaluation results

測定項目	測定結果		
	HA1 から MN	CN-g から MN (GRA1 経由)	CN-g から MN (GRA2 + GRA1 経由)
ping 応答時間 (最小/ 平均/ 最大)	1.221 / 1.266 / 1.484 msec	1.946 / 3.082 / 4.949 msec	3.189 / 3.609 / 4.501 msec
ftp (put) スループット	859.1 Kbit/s	783.6 Kbit/s	782.3 Kbit/s

が MN のために一時的なグローバルアドレスを割り当ててグローバル/プライベートアドレス変換を行い、後者の場合は、GRA2 がグローバルアドレスを割り当ててグローバル/プライベートアドレス変換を行うとともに、GRA1 が MN のプライベートアドレスの変換を行う。また、比較のために、HA1 から MN 宛てに、MN の Mobile IP 網 1 におけるプライベートアドレスを指定して通信した場合の結果も示している。グローバルインターネットからの着信(ケース B)は、GRA1 や GRA2 によるアドレス変換のオーバーヘッドが最も大きいと予想される。しかし、ケース A の場合と比べても性能劣化はそれほど大きくなく、また、HA1 から直接送信した場合と比較しても、応答遅延は若干大きくなるが、スループットの劣化はそれほど大きくないことがわかる。これは、GRA におけるユーザパケットの転送やアドレス変換処理を、カーネル内のデータ構造とカーネル関数によって実現し、カーネル空間とユーザ空間の間のパケット転送を避けていることの効果によるものと考えられる。

## 5. おわりに

本稿では、異なる管理主体によって管理・運営されている Mobile IP ネットワーク間のローミング方式を提案した。移動端末のローミングを実現する上で、移動端末に割り当てられた複数のプライベートアドレス間の変換や、一時的なグローバルアドレスとプライベートアドレスの変換、および Mobile IP ネットワーク間のパケット転送をサポートするために、GRA と呼ばれる新たな機能ノードを導入した。これにより、他の Mobile IP 網からの着信やグローバルインターネットからの着信などを含むさまざまな通信形態を実現し

ている。GRA の導入により、移動端末は、Mobile IP ベースの位置管理を行っている複数の Mobile IP ネットワークに加入し、ネットワーク間をローミングすることが可能となる。また、提案方式をプロトタイプシステムとして実装した結果と性能評価についても示した。GRA は、カーネル内のデータ構造・関数とユーザ空間のデーモンプロセスの協調により、効率的な処理を実現している。

## 参考文献

- [1] C. E. Perkins, "IP Mobility Support," RFC 2002, October 1996.
- [2] 3GPP2 (3<sup>rd</sup> Generation Partnership Project 2),"Wireless IP Network Standard," 3GPP2 P.S001-A, July 2000.
- [3] D. B. Johnson, C. E. Perkins and J. Arkko, "Mobility Support in IPv6," Internet Draft (draft-ietf-mobileip-ipv6-18.txt, work in progress), June 2002.
- [4] G. Montenegro, "Reverse Tunneling for Mobile IP, revised," RFC 3024, January 2001.
- [5] S. Chakrabarti, G. Montenegro and H. Yokota, "Limited Private Address Support: An addendum to Reverse Tunneling for Mobile IP (RFC3024)," Internet Draft (draft-chakrabarti-mobileip-privaddr-00.txt, work in progress), February 2002.
- [6] A. Idoue, H. Yokota and T. Kato, "Mobile IP Network Supporting Private IP Addresses utilizing Regional Registration and NAT Function," Proc. International Conference on Parallel and Distributed Systems (ICPADS) 2001, June 2001.
- [7] A. Idoue, H. Yokota and T. Kato, "Proposal of Hierarchical Mobile IP Supporting Private Addresses Utilizing NAT Function and Its Implementation on UNIX Operating System," IEICE Trans. Commun., Vol. E84-B, No. 12, December 2001.
- [8] 井戸上, 横田, 長谷川, 加藤, "独立したプライベートアドレスを使用するモバイル IP ネットワーク間のローミング手順," 信学総会大会, B-6-111, March 2002.
- [9] G. Dommety and K. Leung, "Mobile IP Verbder/Organization-Specific Extensions," RFC 3115, April 2001.
- [10] D. Farinacci, D., T. Li, S. Hanks, D. Meyer and P. Traina, "Generic Routing Encapsulation (GRE)," RFC 2784, March 2000
- [11] G. Dommety, "Key and Sequence Number Extensions to GRE," RFC 2890, September 2000.
- [12] <http://www.monarch.cs.rice.edu/>