

# プライベートアドレス空間とグローバルアドレス空間を 跨る移動通信の検討

榎本 万人

通信端末の小型化や無線 LAN の普及により、いつでもどこでも通信可能なユビキタスネットワーク環境が構築されつつある。このような環境では、移動により IP アドレスが変化しても、それまでの通信に影響を与えない移動透過性が要求される。この移動透過性を実現するためにいくつかの技術があるが、それらは同一アドレス空間での移動を対象としており、異なるアドレス空間を対象とした移動透過性についての検討はなされていない。そこで本稿では、プライベートアドレス空間とグローバルアドレス空間を跨る移動透過性を実現するための手法を Mobile PPC をベースに検討した。

## Researches on Mobile Communications between Private Address Area and Global Address Area

Kazuto Enomoto

The ubiquitous network that can communicate anytime and anywhere is being constructed because of miniaturizing of mobile node and the spread of wireless LAN environment. In the ubiquitous network, the mobile communication system is demanded to keep the connections during their communications even if the communication terminal moves to another place and IP address of the terminal changes. There are some communication systems. However, these systems target the movement in the same address area, so they cannot achieve the continuance of the communication between different address areas. Then the technique to achieve the communications system intended for different address area was examined in this based on Mobile PPC.

### 1. はじめに

通信端末の小型化・高性能化や無線 LAN の普及により、いつでもどこでも通信が可能なユビキタスネットワーク環境が普及しつつある。このような環境では、通信中に通信端末が自由に移動することが求められるが、通信端末が通信中に別のネットワークへ移動し、IP アドレスが変化すると、それまでの通信が継続できない。これは、通信端末のトランスポート層では IP アドレス、ポート番号などのコネクション識別子が異なると、別の通信と見なされてしまうためである。そこで、ユビキタスネットワークでは、移動により IP アドレスが変化しても、それまでの通信を継続できる移動透過性の研究が盛んに行われている[1]。

この移動透過性を実現するための技術には

Mobile IP[2][3]や LIN6 (Location Independent Networking for IP v 6) [4][5]などがある。しかし、Mobile IP では Home Agent, LIN6 では Mapping Agent と呼ばれる特殊なネットワーク機器が必要となるため、導入するための敷居が高いといった課題がある。

そこで、我々は特殊な装置を必要とせず、エンド端末だけで移動透過性を実現する Mobile PPC (Mobile Peer to Peer) [6]の研究を行っている。Mobile PPC は通信端末が別のネットワークへ移動し、新たな IP アドレスを取得した場合、その後、送受信する通信パケットに対し、IP 層でアドレス変換処理を行う。これによりエンド端末の上位ソフトウェアから IP アドレスの変化を隠蔽することができる。

しかし、現在の Mobile PPC や既存の移動透過性技術は同一アドレス空間内での移動を対

象としており、グローバルアドレス空間とプライベートアドレス空間といった異なるアドレス空間を対象とした移動透過性についての検討はなされていない。そこで、本稿では Mobile PPC をベースに、異なるアドレス空間を跨る移動通信を実現するための手法を検討した。

以下、第 2 章では既存技術として Mobile IP, LIN6 の説明、第 3 章では Mobile PPC, 第 4 章では Mobile PPC の移動通信の限界、第 5 章では Mobile PPC をどのように拡張するか、第 6 章で実装、第 7 章で評価、第 8 章でむすびについて述べる。

## 2. 従来の技術

### 2. 1 Mobile IP

Mobile IP はホームエージェント(以後 HA)と呼ばれる特殊な装置を必要とし、プロキシ方式と呼ばれる手法で移動透過性を実現する。Mobile IP に対応した通信端末は端末自体を認識する情報として利用されるホームアドレス(以後 HoA)と移動先のネットワークで割り当てられる気付アドレス(以後 CoA)の二つの IP アドレスを持っている。CoA は移動端末のインターネットでの接続位置を示し、ネットワークを移動すると新しい CoA を取得する。そのため、移動ごとに CoA は変化していく。一方、HoA は移動によって変化することはなく、移動端末は常に同じ HoA を使い続ける。

次に Mobile IP の動作について説明する。HA は HoA が属するネットワークへ配置する。移動端末が別のネットワークへ移動し、CoA が変化すると、移動端末は HoA と新たな CoA の対応関係を HA へ登録を行う。HA にて HoA と CoA の対応関係の登録が完了すると、HA は通信相手からのパケットを移動端末へ転送する処理を行う。この通信の様子を図 1 に示す。通信相手が移動端末へパケットを送信する場合、宛先を HoA としてパケットを送信し、HoA の属するネットワークへ届く(①)。通信端末が別のネットワークにいるとき、移動端末に代わって HA がパケットを受信する(②)。そして、HA はこのパケットに対して CoA を宛先とした IP ヘッダでカプセル化を行い、移動端末へパケットを送信する(③)。移動端末はこのパケットに対しカプセル開放を行い、パケットを受信する。このような動作により、移動端末が移動しても、通信相手からのパケットを届けることが可能となる。

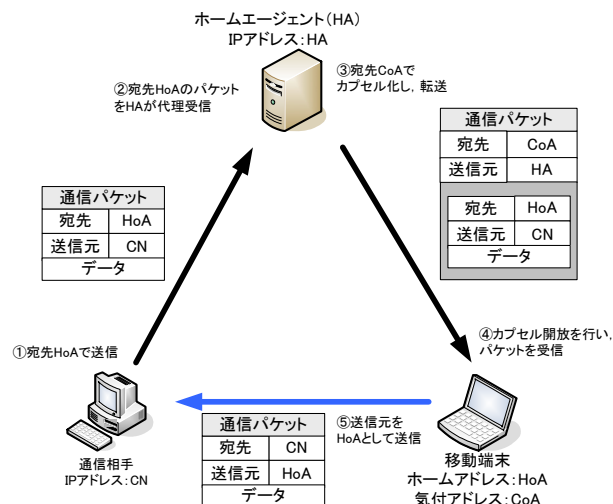


図 1. Mobile IP の通信

移動端末から通信相手への返信パケットは宛先を CN とすることで直接届けられる(⑤)。このとき、パケットの送信元は CN ではなく HoA とする。これは両端末の IP アドレスとポート番号の組によって通信のコネクションが管理されているため、HoA 以外のアドレスを送信元とすると、それまでとは別の通信であるとみなされ、通信の継続が出来なくなるためである。

Mobile IP の課題には以下のようなものがある。まず、通信相手への通信パケットは必ず HA を中継するため、図 1 のように通信経路が冗長的になる。また、HA がパケットを移動端末へ転送する際、カプセル化をおこなうため、オーバーヘッドが発生し、通信効率が低下してしまう。さらに、HA の設置が必須と成るため、導入するための敷居が高い。

### 2. 2 LIN6

LIN6 (Location Independent Networking for IPv6) は、エンドツーエンド方式で移動透過性を実現する IPv6 専用の技術である。LIN6 では IP アドレスを通信端末の位置に関する位置識別子と通信端末自体を識別するノード識別子の 2 つの情報を概念的に分離する。

LIN6 で用いるアドレスモデルを図 2 に示す。移動端末の IPv6 の上位 64 ビットを LIN6 プレフィックスと呼ばれる、あらかじめ定められた固定値と、下位 64 ビットをノード識別子となるネットワーク上で一意な LIN6 ID とし、両者を組み合わせる。このアドレスを LIN6 汎用識別子とよび、通信端末の接続位置や移動に関係なく一定である。このアドレスをトランスポート層以上の上位層で利用することにより、上位ソフトウェアは移動の影響を受けることなく

継続して通信を行うことが可能。

また、上位 64 ビットをネットワークでの位置指示子となるネットワークプレフィックス、下位 64 ビットを LIN6 ID で組み合わせ、このアドレスを LIN6 アドレスと呼ぶ。LIN6 アドレスは端末が移動すると変化する。ネットワーク層以下の下位層で LIN6 アドレスを利用することで、パケットは正しくルーティングされ通信を行うことができる。上位層では LIN6 汎用識別子、下位層では LIN6 アドレスとなるよう変換を行うことで移動透過性を実現できる。

LIN6 の通信の例を図 4 に示す。DNS (Domain Name System) にはあらかじめ移動端末のノード識別子 (LIN6 ID) とそれを管理する Mapping Argent (以後 MA) と呼ばれる位置管理エージェントの IPv6 アドレスの対応情報が登録されている。MN は MA へ現在の位置を登録する (①)。この対応関係を mapping と呼ぶ。MA はノード識別子と移動ノードの現在位置を保持し、位置情報を通知する役割を持つ。通信相手は DNS に MN の mapping を管理している MA を問い合わせ、MN の IPv6 アドレスを取得する (②)。MA の IPv6 アドレスを取得した通信相手は、MA に移動端末の位置情報を要求し、取得する (③)。移動端末の IPv6 アドレスを得た通信相手は、移動端末に対しパケットを送信することが可能となる(④)。移動端末がパケットを返信する際には、通信相手と同様に、通信相手の MA に位置情報を要求し、その返答を受信することにより返信が可能となる(⑤)

LIN6 の課題には以下のようなものがある。LIN6 のアドレスモデルは IPv6 アドレス構造を利用することが前提であり、アドレス領域が足りない IPv4 への適用は困難である。また、LIN6 のアドレスモデルでは利用効率も低下する。さらに、独自のアドレス体系を持つことになると、ノード識別子のグローバルユニークな割り当てとその管理機構が可能になる。MA といった特殊な装置が必要となる。

### 3 Mobile PPC

Mobile PPC は Mobile IP の HA や LIN6 の MA のように特殊な装置を必要とすることなく、エンド端末だけで移動透過性を実現することが出来るプロトコルである。

通信開始時において通信相手の IP アドレスを知ることが「初期 IP アドレスの解決」と呼ぶ。Mobile PPC では初期 IP アドレスの解決に、既に実用的に利用されるダイナミック DNS[7] を利用し、通信相手のホスト名が分かれば通信の開始することができる。ダイナミック

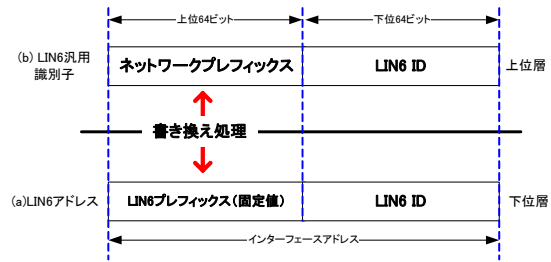


図 2. LIN6 のアドレス構造

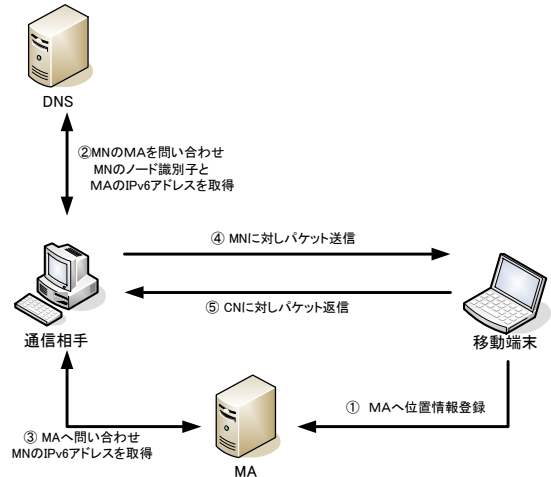


図 3. LIN6 の通信

DNS は通信端末のホスト名と IP アドレスを動的に管理する。移動端末が異なるネットワークへ移動し、IP アドレスが変化すると、その IP アドレスを DNS に登録しておく。そして、通信相手は DNS に移動端末のホスト名で問い合わせることにより、移動端末の IP アドレスをいることができ、通信を開始することが出来る。

一方、通信中において移動端末の新しい IP アドレスを知ることが「継続 IP アドレスの解決」と呼ぶ。継続 IP アドレスの解決は、Mobile PPC 特有の機能により実現する。以下にその機能を説明する。

コネクション識別子には通信を行っている両エンド端末の IP アドレスとポート番号の組、プロトコル番号の 5 つの情報が使われる。Mobile PPC を実装する端末では、移動により変化したコネクション識別子 (IP アドレス) と移動前のコネクション識別子の対応関係を示すテーブル「Connection ID Table (以後 CIT)」を保持している。パケット送受信の際、CIT の対応関係に従って、通信パケットのアドレス変換を行う。この動作により、上位ソフトウェアに対してアドレスの変化を隠蔽し、通信を継続することが出来る。移動端末が移動し、新たな IP アドレスを取得すると、IP アドレスの変化に対応して CIT レコードの書き換えを行う。

図 4 に Mobile PPC による移動通信の例を示す。常に同じ場所に位置する通信端末を CN

(Correspondent Node) , 異なるアドレス空間を移動する端末を MN (Mobile Node) とする. Mobile PPC を実装した CN と MN との間で通信が開始されると, はじめに送受信される通信パケットをもとに CIT レコードが生成される. この時点での CIT テーブルの内容は空であり, パケットのアドレス変換は行われない. その後, MN が移動して IP アドレスが変化すると, その直後に MN から CN に対して移動前と移動後の接続識別子を格納したパケットを送信する. このパケットを「CIT UPDATE (以後 CU)」と呼ぶ.

CU を受信した CN は, CU 内に格納されている MN の移動前の接続識別子に一致する CIT レコードを検索する. 一致するレコードが存在する場合, CU に格納されている MN の移動後の接続識別子をアドレス変換に利用する情報として書き込む.

CIT レコードの更新後, CN は CU 応答パケットを MN へ送信する. MN がこれを受信すると自身の CIT 更新を実行する. 両端末で CIT の更新が完了すると, その後の通信では送受信パケットに対して CIT に従った IP アドレスやポート番号のアドレス変換を IP 層で行う. これにより, 上位ソフトウェアに対して移動によりアドレス変化の影響を与えずに通信を継続することが出来る.

このように, Mobile PPC はエンド端末だけで移動透過性を実現する処理を行っているので, Mobile IP の HA や LIN6 の MA のように特殊な装置をしない. また, P2P (Peer to Peer) 通信のため通信経路の冗長は生じない. そして, エンド端末の通信をコネクション単位で識別するため, TCP/UDP にかかわらず通信の継続が可能である.

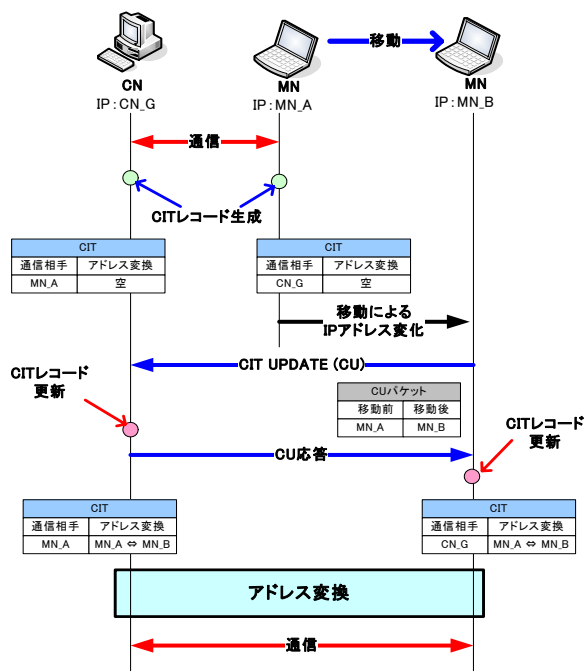


図 4. Mobile PPC による通信

#### 4 Mobile PPC の移動通信の限界

現在の Mobile PPC を含め, 移動透過性技術で実現できる移動透過性の移動範囲は同一アドレス空間内に限定されており, プライベートアドレス (以後 PA) 空間とグローバルアドレス空間 (以後 GA) 空間といった異なるアドレス空間を跨いだ移動透過性については検討されていない.

PA 空間と GA 空間を跨る移動パターンには大きく分けて, 次の4つがある.

- A) CN が GA 空間に属し, MN が PA 空間から GA 空間へ移動
- B) CN が GA 空間に属し, MN が GA 空間から PA 空間へ移動
- C) CN が PA 空間に属し, MN が PA 空間から GA 空間へ移動
- D) CN が PA 空間に属し, MN が GA 空間から PA 空間へ移動

この章では, 現在までに検討した移動パターンAとBについて, Mobile PPC における移動透過性の限界を述べる.

図5に GA 空間と PA 空間の通信の例を示す. 固定端末 CN が GA 空間に, 移動端末 MN が PA 空間に属しているものとする. 異なるアドレス空間での通信では, 両者の間にプライベートアドレスとグローバルアドレスを変換する NAT (Network Address Translator) の機能を持った装置が必ず存在する. この装置を NAT BOX と呼ぶ. NAT BOX が介在する環境では,

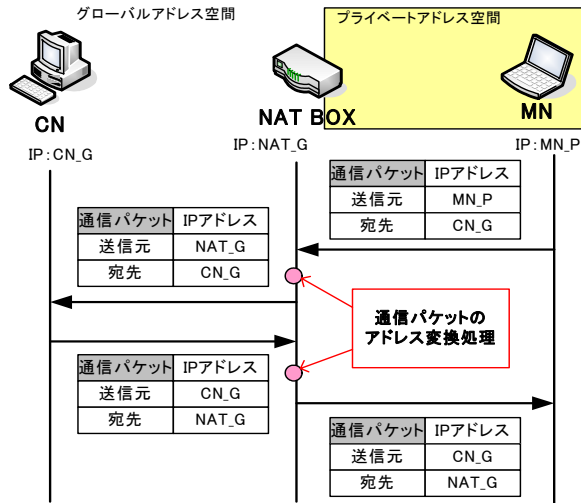


図 5. NAT が介在する通信

GA 空間から通信を開始すると、通信パケットは NAT BOX を通過することが出来ず、PA 空間側の端末まで届かない。このため、通信の開始は PA 空間側の MN から行うものとする。

最初の通信パケットが NAT BOX を通過する際、パケットの送信元は MN のプライベートアドレス MN\_P から NAT BOX のグローバルアドレス NAT\_G へと変換され、CN へ送信される。同時に NAT BOX には MN\_P と NAT\_G を対応付ける NAT テーブルが生成される。

CN から MN へ返信するパケットは、宛先を NAT BOX 宛の NAT\_G とし、送信される。パケットが NAT BOX へ到達すると、NAT テーブルを参照する。そして、テーブルに従い、宛先 NAT\_G を MN\_P へと変換し、MN へ届けられる。

異なるアドレス空間での通信は、このような動作によって通信が行われており、GA 空間側の CN は通信相手を PA 空間にいる MN ではなく、パケットを中継する NAT BOX と見なす。そのため、CN と MN が Mobile PPC 実装端末とすると、CN は通信相手を NAT BOX として CIT レコードを生成する。

このような状況で、図 6 のように MN が PA 空間から GA 空間へ移動した場合を考える。MN が PA 空間から GA 空間へ移動すると、CU が送信される。通知される CU には MN の移動前情報 MN\_P と移動後情報 MN\_G の情報が格納されている。しかし、現状の CIT 更新処理では、CU の移動前情報 MN\_P に一致する CN の CIT レコードが存在しないため、アドレスの変化に対応した CIT の更新が行えない。

次に、MN が GA 空間で通信を行い、通信中に PA 空間へ移動する場合を考える。その様子を図 7 に示す。移動前は GA 空間同士の通信で

あり、CN と MN の間に NAT BOX はいない。従って、CN は通信相手を MN として CIT レコードを生成する。MN が GA 空間から PA 空間へ移動し、IP アドレスが変化すると、移動前情報 MN\_G と移動後情報 MN\_P を格納した CU を CN へ通知する。CN では、この CU の移動前情報に一致する CIT レコードが存在するため、移動後情報 MN\_P をアドレス変換に利用するような CIT 更新を行うことは可能である。しかし、その後、MN から送信されるパケットは NAT BOX を通過する際、送信元が MN\_P から NAT\_G へと変換され、CN へ送られる。このパケットを受信した CN は、NAT BOX で変換されたパケットの送信元に一致する CIT レコードは存在しないため、アドレス変換処理が実行されず、通信の継続ができない。

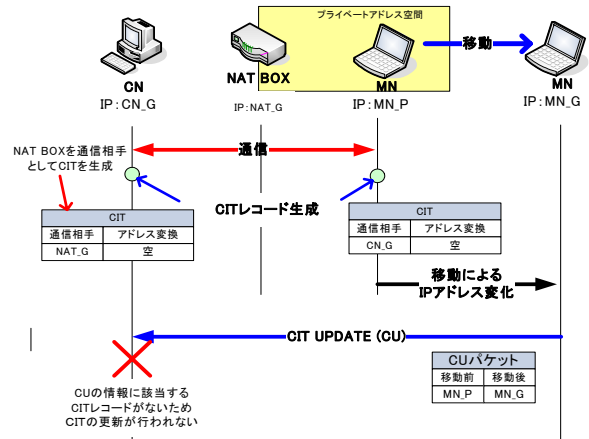


図 6. 移動通信の限界(PA 空間→GA 空間)

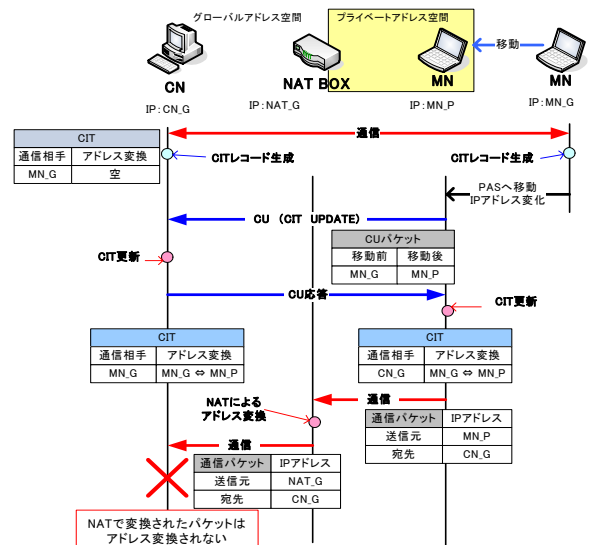


図 7. 移動通信の限界(GA 空間→PA 空間)

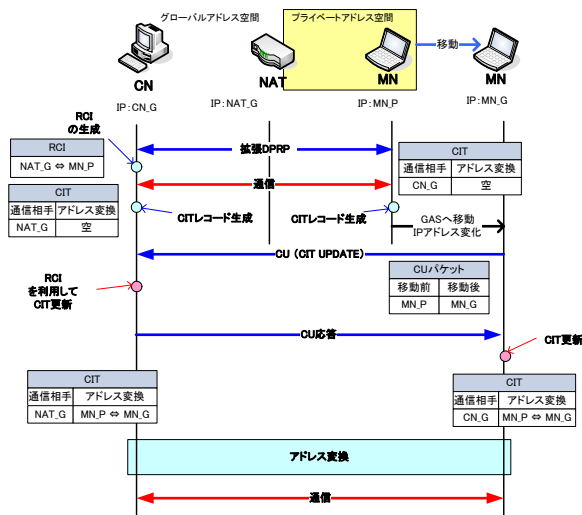


図 8. パターン A への対策 (PA 空間→GA 空間)

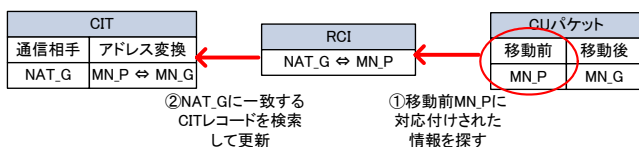


図 9. RCI の利用 (PA 空間→GA 空間)

## 5 Mobile PPC の改良

4 章の移動パターン A と B に対して、下位のような対策を施すことにより、Mobile PC を用いて異なるアドレス空間を跨る移動透過性を実現することが出来る。

### 5. 1 移動パターン A への対策

MN が PA 空間から通信中に GA 空間へ移動した場合の例を図 8 に示す。MN が NAT 配下に位置するとき、通信に先立ち拡張 DPRP (Dynamic Process Resolution Protocol) [8][9] と呼ばれる処理を CN との間で行う。拡張 DPRP とはアドレス空間の違いを意識せず、柔軟なネットワーク構成に対応でき、システム構成の変化を動的に管理するプロトコルであり、別途研究が行われている。拡張 DPRP は端末間の通信に先立ち制御パケットの交換を行う。このパケットの交換により、CN は NAT BOX のグローバルアドレスと MN のグローバルアドレスを獲得する。そして、CN はこれらの情報を対応付けたテーブル「Related Correspondence Information (以後 RCI)」を生成し、保持する。

MN が通信中に GA 空間へ移動すると、MN は従来と同様に、アドレスが変化した直後に CU を通知する。これを受信した CN は CIT 更新の際、RCI を利用する。図 9 に RCI を利用した CIT 更新の方法を示す。

通知された CU の移動前情報 MN\_P に一致す

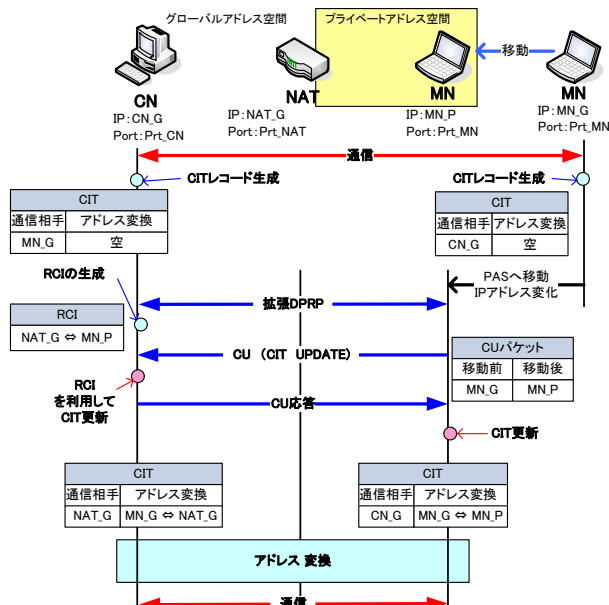


図 10. パターン A への対策 (GA 空間→PA 空間)

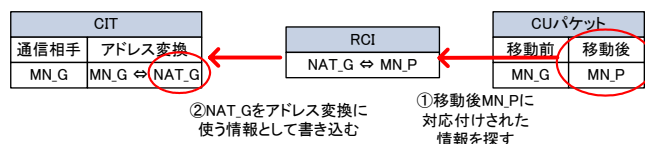


図 11. RCI の利用 (GA 空間→P A 空間)

る RCI から検索する。該当する情報を見つければ、次は RCI で MN\_P に対応付けされている NAT\_G を用いて、CIT レコードの検索を行う。CN の CIT レコードには NAT\_G に一致する情報があるため、CU の移動後情報 MN\_G をアドレス変換に利用するよう設定する CIT 更新処理を実行することが出来る。

### 5. 2 移動パターン B への対策

MN が GA 空間で通信中に PA 空間へ移動する場合の例を図 10 に示す。MN が GA 空間に属するとき、CN との通信には NAT BOX は介在しないので、CN は CIT レコード生成の際、MN を通信相手として生成する。MN が NAT BOX 配下の PA 空間へ移動すると、移動パターン A への対策と同様に、通信に先立ち拡張 DPRP を行い、NAT BOX のグローバルアドレスと MN のプライベートアドレスを対応付けた RCI を生成する。そして、同時に MN から CN へ CU が通知される。

図 11 に RCI を利用した CIT 更新の方法を示す。CU の移動後情報 MN\_G に一致する CIT レコードが CN には存在するため、CIT レコードのアドレス変換を設定する CIT の更新が実行される。このとき、RCI から CU の移動後情

報 MN\_P に一致するレコードを探す。該当するレコードを見つけると、RCI で MN\_P に対応付けされている NAT\_G を、CIT レコードのアドレス変換に利用する情報として設定する。

このような処理をおこなうことで、以後の通信では整合性のとれたアドレス変換を行うことができ、移動透過性を実現できる。

## 6 実装

5章で述べた Mobil PPC の改良は FreeBSD での実装を検討している。既存の Mobile PPC のソースコードを拡張子、CU を受信後、RCI 生成処理を追加する。また、RCI の情報を利用した CIT 更新処理を追加する。

## 7 評価

従来の移動透過性技術は同一アドレス空間のみを対象としているが、本提案方式により、より広い範囲を対象とした移動通信が可能となる。

## 8 むすび

### 8.1 まとめ

Mobile PPC の機能を拡張し、PA 空間と GA 空間での移動を対象とした移動透過性を実現するための検討を行った。

### 8.2 今後について

今後は、提案方式の実装と、その有効性の確認を行う。また、今回未検討である移動パターンについても検討を行う。

4章での移動パターン C と D においては、移動端末の通信相手が NAT 配下のプライベートアドレスに属するため、移動端末から通信開始をすることが出来ない。この問題を解決するために、我々は NATF (NAT Free Protocol) [11], CIPA (Communication between terminals in Independent Private Address) [12] と呼ばれる技術の研究を別途行っている。NATF は GA 空間と PA 空間のそれぞれに属する端末間の通信において、GA 側からの通信開始を可能とする技術である。また、CIPA は NATF を拡張し、異なる PA 空間での通信を可能とする技術である。移動パターン C, D ではこれらの技術を利用し、さらに Mobile PPC を拡張することによって移動透過性を実現することを想定している。

## 参考文献

- [1] 寺岡文男, “インターネットにおけるノード移動透過性プロトコル,” 電子情報通信学会論文誌, Vol.J87-D-I, No.3, pp.308-328, March.2004.
- [2] C. E. Perkins, “IP Mobility Support for IPv4,” RFC 3344, Aug. 2002.
- [3] G. Montenegro : Reverse Tunneling for Mobile IP, revised RFC3024, Jan. 2001.
- [4] M. Kunishi, M. Ishiyama, K. Uehara, H. Esaki, and F.Teraoka, “LIN6: A new approach to mobility support in IPv6”, Third International Symposium on Wireless Personal Multimedia Communications, pp.1079-1084, Nov. 2000.
- [5] 國司光宣, 石山政浩, 植原啓介, 寺岡文男, “移動体通信 プロトコル LIN6 の性能評価,” 情報処理学会論文誌, Vol.43, No.2, pp.398-407, Feb.2002.
- [6] 竹内元規, 鈴木秀和, 渡邊晃: モバイル端末の移動透過性を実現する Mobile PPC の実装, 情報技報, 2005-DPS-122, pp.351-356 (2005)
- [7] Vixie (Ed.) , P., Thomson, S., Rekhter, Y. and J. Bound, : ”Dynamic Updates in the Domain Name System”, RFC2136, April 1997
- [8] 鈴木秀和, 渡邊晃, “フレキシブルプライベートネットワークにおける動的処理解決プロトコル DPRP の実装”, 研究報告「コンピュータセキュリティ」No.2005-CSEC-028 , March 2005
- [9] 後藤裕司, 鈴木秀和, 渡邊晃: グローバルアドレスとプライベートアドレス空間を跨る DPRP の検討, 情報処理学会第 68 回全国大会 講演論文集, March 2006
- [10] 加藤尚樹, 柳沢信成, 鈴木秀和, 渡邊晃, "アドレス空間の違いを意識しない通信方式 NATF の提案と実装", 情報技報, 2005-DPS-122, pp.351-356 (2005)
- [11] 柳沢信成, 渡邊晃, “グローバルアドレスをはさんだプライベートアドレス端末同士の通信の提案と実装”, 研究報告マルチメディア通信と分散処理」No.2005-DPS-122 , March 2005

## 謝辞

本研究を遂行するにあたり、多大なるご指導、ご鞭撻を賜りました渡邊晃教授に心より感謝します。また有益なご助言、ご検討いただきました渡邊研究室の学部生、学院生の皆様に深く感謝いたします。