

縮退アドレスモデルに基づく IPv6 上の移動透過プロトコル

石山 政浩^{†1} 植原 啓介^{†2} 國司 光宣^{†3}
江崎 浩^{†4} 寺岡 文男^{†5}

本稿では、次世代インターネットプロトコル IPv6 における新しい移動透過性保証のプロトコルを提案する。IETF では IPv6 用の移動透過性保証方式の標準化が進められている。しかし現在提案されている方式には、Home Agent の準備が困難なことや、通信のオーバーヘッドが大きいなどの問題がある。我々はこのような問題のない新しい IP 層での移動透過性保証の一方式を提案する。提案方式はノード自体の識別子とノードのネットワーク上の位置情報を分離した概念として扱い、ノードの識別子と位置情報を IPv6 のアドレス空間内に縮退させる。本論文で提案する方式により、簡潔でネットワーク負荷の少ない移動透過性の保証が実現される。本方式は、既存の IPv6 アーキテクチャと互換性を持っているため、既存アーキテクチャから本方式への緩やかな移行が可能である。

1. はじめに

携帯端末の性能の向上と、移動通信機器の普及に伴い、移動先から携帯端末を利用したインターネットへのアクセス、いわゆるモバイルコンピューティングが活発に行われるようになってきた。また、インターネットへの接続点および接続方法のさらなる増加が見込まれるため、移動透過性を保証する通信プロトコルへの期待が高まっている。Internet Engineering Task Force (IETF) では、次世代インターネットプロトコルである IPv6¹⁾ において、移動ノードの透過的なインターネットアクセスを提供するためのプロトコルである Mobile IPv6²⁾³⁾ の標準化を行っている。しかし、⁴⁾ で指摘したように、現在の Mobile IPv6 には普及を阻害する根本的な問題があると我々は考える。

本稿では、Mobile IPv6 が抱えている問題を持たない、新しい移動透過性保証のプロトコルを提案する。

まず 2 章で Mobile IPv6 プロトコルの概要を示す。3 章では、現在のインターネットの利用形態を踏まえて、Mobile IPv6 自身のアーキテクチャの問題点について議論する。そして、4 章にて我々の提案方式について述べる。提案方式は、本来ネットワーク層で必要と考えられる位置識別子とノード識別子を、IPv6 アドレス内に縮退させることにより、効率的な移動透過性保証プロトコルを提供する。最後に、5 章にて提案方式の考察を行う。

2. Mobile IPv6 のプロトコル概要

本章では、まず Mobile IPv6 が提供する移動透過性について述べ、続いてプロトコルの概略を示す。

2.1 移動透過性

Mobile IPv6 は、ネットワークの物理的な接続点が変わっても同じ IP アドレスを使用し続けることにより、IP 層による移動透過性 (mobility)⁵⁾ を提供することを目的としている。

移動透過性は、単にノードがあるネットワークから他のネットワークへと移動できる可搬性 (nomadicity)⁵⁾ と呼ばれる能力に比べ、以下の 2 点で優れている。

- 移動時のセッションの保持
移動透過性を有するノードは、ノードの移動に関わらず既存のセッション、サービスをそのまま継続して使用することができる。可搬性のみを持つ移動ノードがネットワーク間の移動すると、IP アドレスが変化するため、セッションの継続が不可能になる。
- 移動によって変化しないノード識別子
移動透過性を有するノードは、ネットワークの位置に依存しない不変の識別子を持つ。このため、移動ノードを IP 層で識別可能である。可搬性のみのノードがネットワーク上を移動する場合、Internet Protocol ではノードの識別子が IP アドレスであるため、移動に従い識別子が変化し、識別はできない。

2.2 Mobile IPv6 の概念

現在の IP アーキテクチャでは、1 つの IP アドレスがネットワーク上の位置を表す情報と、ノードを識別する情報という 2 重の意味を持つ。ゆえに、現状の IP アー

^{†1} (株) 東芝 研究開発センター 通信プラットフォームラボラトリー

^{†2} 慶応義塾大学 政策・メディア研究科

^{†3} 慶応義塾大学理工学部

^{†4} 東京大学 情報基盤センター

^{†5} (株) ソニーコンピュータサイエンス研究所

キテクチャは移動透過性を提供できない。Mobile IPv6 は、この問題を解決するために提案された。

Mobile IPv6 では、ノードは最低 2 つのアドレスを使用する。ノード固有に割当てられた Home Address (Haddr) と、現在接続されているネットワーク上で取得した Care-of-Address (CoA) である。移動ノードと通信するノードは、Haddr を用いて通信する。CoA は移動の度に变化するが、Haddr は変化しないため、移動ノードがネットワーク上の接続点を变化させても通信を継続することができる。

Haddr は、単なる IPv6 アドレスであるので、このアドレスをパケットの配送に使用できる。Mobile IPv6 はこの事実を最大限に活用する。まず、Haddr をノードの識別子ではなく、「移動ノードが本来接続しているべき位置のアドレス」と定義し、Haddr までの経路を利用する。すなわち、Haddr 宛のパケットは、移動ノードが現在接続されている位置ではなく、この Haddr が所属するネットワークへと配送される。Haddr が所属するネットワークには、Home Agent (HA) と呼ばれるルータを配置する。移動ノードは、Haddr と、現在の CoA との対応 (これを binding と呼ぶ) を定期的に HA に通知する。HA は、移動してしまったノードの Haddr 宛のパケットを代理受信し、CoA へと転送する。

また、移動ノードは、現在の通信相手に binding を直接通知してもよい。binding を持つ通信相手は、パケットの宛先は Haddr のまま、IPv6 の始点による経路制御の機能を利用して、HA を介することなくパケットを移動ノードへと最適な経路で配送できる。

2.3 Mobile IPv6 の動作概要

本節では Mobile IPv6 の基本的な動作を示す。詳細については³⁾を参照されたい。

Mobile IP の概略を図 1 に示す。

- 移動ノード (MN) は 1 つの Home Address (Haddr) を持つ。これは MN が、任意のネットワークの接続点において、永続的に使用できる IPv6 アドレスである。
- Care-of-Address (CoA) は、MN が移動先ネットワークで割り当てられるアドレスである。
- Haddr が属する IP サブネット (Home Network) には Home Agent (HA) と呼ばれるルータがある。これは移動ノードから現在位置の登録を受け取って管理し、移動先のノードにパケットをカプセル化転送する役割を果たす。

MN は、ネットワーク上を移動すると、まず移動先のネットワークにおいて CoA を取得する。CoA を取得

した後、HA に対して現在の CoA を通知する。

MN は通信相手 (CN) に対してパケットを送信する場合、パケットの source address には CoA を使用する。同時に、送信パケットに対して必ず Home Address Option (HAO) を付与する。Home Address Option 内には、MN の Haddr が格納されている。このパケットの受信者は、パケットの送信者を CoA として認識するのではなく、HAO 内に埋め込まれている Haddr であると認識する。HAO は、IPv6 の拡張ヘッダである Destination Option のうちの 1 つとして定義されている。

MN は、自分の現在位置を通知するために CN に対して Binding を通知してもよい。通知されたノードは、現在の Binding を一時的に記憶する Binding Cache を生成してもよい。

CN が MN にパケットを送信する場合、パケットの destination address を MN の Haddr としてパケットを送信する。もし Binding Cache を持っていれば、パケットに対して Routing Header (RH)¹⁾ を付与し、CoA 経由で MN へと到達するようにする。RH は、パケットの送信者がパケットの経路点を明示的に指示できる IPv6 の拡張ヘッダである。

RH がパケットに付与されていない場合、パケットは Haddr の属するサブネットワークへと到達する。HA は、このパケットを代理受信し、CoA に向けて転送する。転送には IPv6 in IPv6 のカプセル化による tunneling を使用する。この場合は MN, CN, HA 間での冗長な三角経路が発生する。

一方、RH がパケットに付与されている場合、パケットはまず CoA を持つノードへと到達する。このノードは MN であるので、MN はパケットを直接受信できる。この場合は冗長な経路は発生しない。

3. Mobile IPv6 アーキテクチャの問題点

Mobile IPv6 のアーキテクチャは、現在のインターネットの利用モデルと、これから期待される応用モデルを考えると、問題を多く抱えている。我々は、Mobile IPv6 のアーキテクチャ自身が持つ主な問題は以下の 4 点と考える。

- 三角経路による耐障害性の低下
- ヘッダ長増大によるオーバーヘッド
- HA による耐障害性の低下
- HA 設置の困難さ

以下、これらの問題点について議論する。

3.1 三角経路による耐障害性の低下

通常はノード-ノード間のネットワークが正常であれ

4. 提案方式

4.1 提案方式の方針

提案方式は、3章で述べた Mobile IPv6 における4つの問題を回避する。加えて、提案方式を理解しない既存のノードとも通信可能にするべきである。これは緩やかな移行を可能にし、新しいプロトコルの普及を容易にする。

よって、提案方式は以下の5点を満たすようにすべきと考える。

- ノード間の通信を End-to-End で終端
- 通信パケットのオーバーヘッドの回避
- 通信に不可欠な機能には十分な冗長性が提供可能
- 導入の容易さ
- 既存ノードとの通信が可能

我々は、この5点を満たす、新しい移動透過性保証のプロトコルを提案する。

4.2 提案方式の概念

あるノードがネットワーク上を移動することを考える場合、ネットワーク層は次の2つの情報が必要であると考えられる。

- 位置指示子
ネットワーク上のインターフェイスの位置を一意に定めるもので、経路制御に使用される。位置指示子は、ノードのネットワーク接続点に割当てられる。また、1つのノードは複数の位置指示子をもってもよい。
- ノード識別子
ネットワーク上のノードを一意に定めるもので、ネットワーク上の位置に依存しない。また、ノードが複数のネットワークに接続されている場合でも高々一つでよい。すなわち、ノード識別子はネットワークインターフェイスに与えられるのではなく、ノードそのものに与えられる。

本来、ネットワーク層である IP 層より上位の層は位置指示子を意識する必要はなく、ノード識別子により通信するべきである。これによってノードのネットワーク上の位置に関わらず同じ識別子を使用できるため、移動透過性保証が得られる。ノード識別子の形式は位置指示子の形式から独立にすることも可能である。

これを実現するには、ネットワーク層を位置指示子による経路制御のための層と、ノード間の通信の識別子として使用されるノード識別子の層に分割すればよい。このような手法によって移動透過性を保証するプロトコルに VIP⁶⁾がある。

だが、ネットワーク層の単純な分割には2つの問題点

がある。一つはヘッダ長のオーバーヘッドである。位置指示子とノード識別子の2つの情報をパケットに与えなければならないために従来の Internet Protocol に対してプロトコルオーバーヘッドの増加が避けられない。もう一つは、後方互換性が失われることである。なぜなら、この方式自体が IP アーキテクチャとは完全に異なっており、IP アーキテクチャそのものを変更する必要があるからである。

4.3 縮退アドレスモデル

提案方式は、前節で述べたオーバーヘッドと後方互換性の問題を、IPv6 のアドレス空間の広さを利用することで解決する。

本方式では、ノード識別子として64bit の値を使用する。また、位置指示子としては128bit の IPv6 アドレスを使用する。このままでは、4.2節での述べたように、ネットワーク層にはノード識別子と位置指示子、すなわち192bit 分の情報が必要となる。

現在の IPv6 の Global address の割当てでは、主に Aggregatable Global Unicast Address (AGUA)⁹⁾に従っている。これは、128bit のアドレスのうち上位64bit をネットワークプレフィクスに使用し、下位64bit に EUI-64¹⁰⁾形式のインターフェイス識別子を埋め込む形になっている。

そこで、この64bit のノード識別子を、AGUA のインターフェイス識別子として使用することによって、ノード識別子を位置指示子の中に縮退させる。以下、この方式の IPv6 アドレスを特に縮退アドレスと呼ぶ。縮退アドレスは、従来の AGUA 形式と互換性を持ちながら、128bit の位置指示子と64bit のノード識別子の2つの意味を持っている。すなわち、パケットの受信者は、従来の IPv6 パケットに余分な情報を付加させることなく、ノード識別子と位置指示子を得ることができる。

しかし、従来の IPv6 アプリケーションすべてをこの64bit ノード識別子を使うように変更することは、前節で述べたように互換性の問題から現実的ではない。このため、我々は IPv6 互換プレフィクスという概念を導入する。IPv6 互換プレフィクスは、あらかじめ定められた64bit の固定値であり、本方式のノードは事前知っているものとする。IPv6 互換プレフィクスとノード識別子を結合する。この拡張されたノード識別子は128bit になる。以後この拡張されたノード識別子を IPv6 互換ノード識別子と呼ぶ。IPv6 互換ノード識別子は AGUA のフォーマットに準ずるものとなり、上位層から見るとこのノード識別子は従来の IPv6 アドレスとして扱うことができる。これらのアドレスの関係を図2に示す。

位置指示子である縮退アドレスは、ネットワーク内に

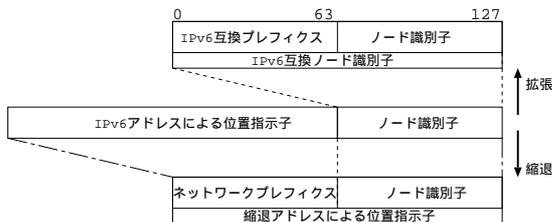


図2 アドレスの縮退と拡張: 本来128bitの位置指示子と64bitのノード識別子である情報を, ネットワークプレフィックスとノード識別子の結合に縮退させて位置指示子とする. またノード識別子をIPv6互換プレフィックスを使用して拡張する. どちらの結果もIPv6のアドレス形式と互換性を持つ.

においてパケットのルーティングに使用される. 一方, IPv6互換ノード識別子はノード内でのみ意味を持つ. 本方式のノードは, パケットの送受信の際, 必要最小限の処理を行った後は縮退/拡張の相互変換を行う. すなわち送信時には, IPv6互換ノード識別子から縮退アドレスへと縮退変換し, パケット内に埋め込む. 受信時には, パケット内の縮退アドレスからIPv6互換ノード識別子に拡張変換して処理を行う.

ノード内のIP層と上位層では, IPv6互換ノード識別子で処理され, これは意味的には完全にノード識別子で処理されることに等しい. また, ノード外では, パケット内の縮退アドレスは正しいネットワークプレフィックスが付与されたIPv6アドレスであるので, 従来のIPv6ネットワーク内を適切に経路制御され, 移動ノードへと到達する.

4.4 ノード識別子からの位置識別子の解決

ここで問題になるのが, あるノード識別子は現在どのような位置指示子を持っているのかという情報である. 以下このノード識別子と位置指示子の関係をbindingと呼ぶ. 本方式では, 移動ノードと通信するためにはIPv6互換ノード識別子と現在のノードの位置指示子の相互変換を行うが, この変換を行うためにはbindingを知る必要がある.

Mobile IPv6やVIPに代表される従来の移動透過性保証は, ノード識別子がIPアドレスと互換であることを利用して, 実際のIPパケットの宛先としてこのアドレスを埋め込み, HA等で転送し, 必要であればbindingを通知するという方式であった. しかし, このようなHAの存在には3章で述べた問題がある.

本方式では, 実際にネットワークを通過するIPパケットの中にはIPv6互換ノード識別子を使用せず, 必ず縮退アドレスを使用する. この方式で考えなければならぬのは, いかにしてbindingを取得するかということである. ノード識別子の空間は64bitと広大であるので, 1つのデータベースで集中管理するのは明

らかに現実的ではない. 類似の情報検索として現在インターネット上で機能しているものにDomain Name System(DNS)がある. あるノード識別子から位置指示子を得るという検索は, IPアドレスに割付けられたFully Qualified Domain Name(FQDN)を知るといって, DNSの機能に近い. DNSは現実的に動作しており, DNSで行っているような分散管理はうまく働くように考えられる. よってbindingの取得の方法として, Dynamic DNS update⁷⁾などを利用し, 動的なbinding情報をDNSサーバに管理させる手法が考えられる. しかし, DNSは変更頻度の少ない静的なデータを扱うように設計されている. この設計ゆえにcache等が効果的に働き, DNSが破綻することなく動作しているとも言える. 一方, bindingは頻繁に変更される情報である. よってDNSで直接扱うには問題がある.

我々はこの問題の解決のため, Binding Agent(BA)を導入する. Binding Agentはノードのbindingを管理する. DNSには, IPv6互換ノード識別子とBAとの対応を登録する. これは, あるIPv6アドレスがどのようなFQDN名を割当てられているかをDNSに問い合わせることができるのと同じように, あるIPv6互換ノード識別子がどのBAと関連付けられているかをDNSに問い合わせることが出来ることを意味する. あるノードとBAとの対応を変更することは稀であると考えられる. よってこの対応情報は静的な情報であり, DNS上でうまく稼働することが予想される. また, ノードとBAの対応をIPv6互換ノード識別子とBAのIPアドレスで表現することによって, 既存のDNSには変更を加えることなく利用できる. ノードのbindingについての問い合わせは, BAに対して直接行なう. すなわち, 静的な情報の関係は従来のDNSのシステムを利用し, 動的な情報についてはBAとの直接の通信で解決する.

よって, あるノードのbindingを得るには, まずDNSを使ってIPv6互換ノード識別子からBAのアドレスの集合を取得し, BAに対してbindingを要求すればよい. 得られたbindingは一時的に記憶される. この記憶領域をbinding tableと呼ぶ. bindingはライフタイムを持ち, ライフタイムの切れたbindingは破棄される.

また, 移動ノードは, 移動したら必ず自ノードに関連づけられているBAに対して, 現在のbindingを登録する.

提案方式の通信機構をまとめたものを図3に示す.

FQDNとは, たとえばfoo.bar.comといった形式で表されるノードに割当てられた名前である. 但し最終のDNSサーバにはBAを表すレコードを理解できるように拡張を施す必要がある.

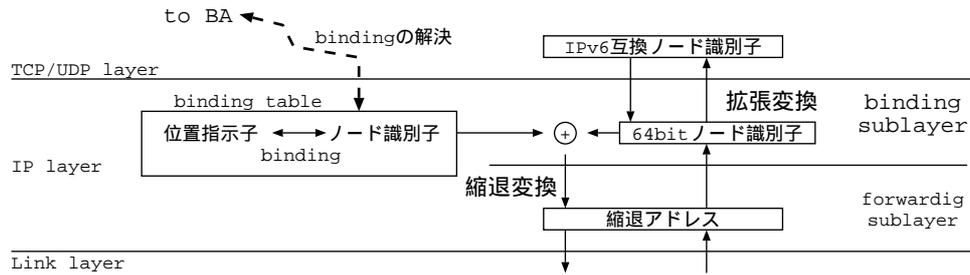


図3 提案方式の通信機構: 位置指示子とIPv6互換ノード識別子はbindingを使用して相互に変換される。上位レイヤはIPv6互換ノード識別子で処理され、経路制御は位置指示子で行われる。bindingはBAに問合わせることで解決される。

4.5 ノードの移動

移動したノードは、自分のBAに現在のbindingを再登録する。また、現在の通信相手に対して、この新しいbinding情報を通知する。現在の通信相手は、ノードが保持している他ノードのbindingを調べることで得られる。bindingが何らかの理由で消えている場合(たとえばbindingの保持のための記憶領域以上に通信相手が存在するなど)や、パケットロスなどでbindingの通知が途中で失われた場合は、通信相手は新しいbindingを得られない。これに対処するために、本方式ではICMP Destination Unreachable Message⁸⁾(dst unreachable)を利用する。dst unreachableは、ノードへの到達性が失われた場合に、経路上のルータからパケットの送信者に対して送られる。本方式の通信者は、移動ノードへのパケットに対してdst unreachableが返された場合、bindingをBAに問合わせる。得られたbindingが変更されていれば新しい位置指示子に対してパケットが送られる。変更がなければ、bindingの内容を変更せず、dst unreachableも上位層に伝えない。bindingのライフタイムが切れたところでもう一度bindingを問合わせる。bindingが新しくなっていれば、新しい位置指示子に対してパケットが送られる。これは、dst unreachableが返ったときは移動中であり、ライフタイムが切れるまでに移動が完了したことを意味する。bindingが変わらない、あるいはBAの持つbindingもライフタイムが切れて失われていた場合には、dst unreachableが返ってきたことを上位層に伝える。これは対象の移動ノードが長時間オフライン状態であると考えられる。

4.6 従来ノードとの通信における互換性

従来ノードとの通信について考える。本方式で、従来ノードと通信をする場合には、bindingを使用したIPv6互換ノード識別子と位置指示子との変換を行わなければならない。パケットの送信の際には、上位層から与えられたアドレスがIPv6互換ノード識別子である場合は本方式を使用し、そうでなければ従来方式を使用する。

パケットの受信の場合は、パケットの送信者が本方式を使用しているかそうでないかを判断する必要がある。しかしパケット自体は従来方式と本方式との間には差はないため、このままでは判断できない。

望ましい解はIPヘッダの中の1bitを取得して、本方式が従来方式かを示すというものである。だがこの方法では、従来ノードすべてがこの1bitを処理するコードをすぐに必要とするために現実的ではない。

そこで我々は、緩やかな移行を行うために64bitのノード識別子の形式をEUI-64に適合させる。EUI-64は、先頭24bitはIEEEによって割当てられるOrganizationally Unique Identifier(OUI)であり、残り40bitはOUIの管理者が値を割付ける形式になっている。本方式では、OUIの割当てを受けて、64bitのノード識別子にこの値を使用し、この値をもって本方式を使用するかどうかを判定する。

パケットの受信者は、パケット内のアドレスがAGUAの形式である場合、インターフェイス識別子の先頭の24bitが割当てられたOUIであれば、本方式を使用した通信であると判断する。そうでなければ、従来方式の通信であるとする。AGUAのインターフェイス識別子はEUI-64を使用することが要求されているため、従来ノードが本方式のOUIから始まるインターフェイス識別子を使うことは考えにくい。

この方式ではノード識別子として使用できる空間は40bitとなる。これは現在のIPv4よりも広い空間であり、この方式が普及するまでの時間であれば十分な空間であると判断する。万が一移行途中において40bitの空間が枯渇した場合でも、新たなOUIを取得すれば良い。

ただし、提案方式では従来ノードとの通信では可搬性のみ保証され、移動透過性は保証されない。

4.7 提案方式の通信例

具体的な通信例をもちいて、本方式の通信手順を説明する。図4のようなネットワークを例にとる。

以下 IPv6 互換プレフィックスを O 、IP パケット内の source address を src 、IP パケット内の destination address を dst と表記する。MN1、MN2 は本方式を実装したノードであり、CN は従来ノードとする。また、各ネットワークで広告されるネットワークプレフィックスを $G1$ 、 $G2$ 、 $G3$ とする。MN1、MN2 が持つ 64bit ノード識別子を $i1$ 、 $i2$ で表し、MN1、MN2、CN が持つ、AGUA のインターフェイス識別子はそれぞれ $e1$ 、 $e2$ 、 c とする。

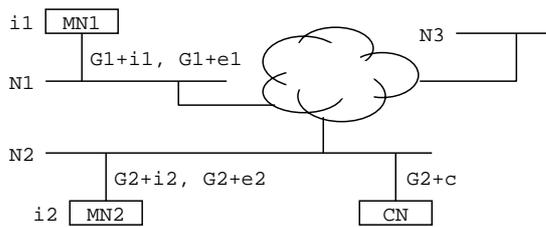


図4 ネットワーク例。

4.8 初期状態

ノード識別子 $i1$ を持つ移動ノード MN1 がネットワーク N1 に接続されることを考える。MN1 は最低でも 2 つの global address を得る。1 つは従来の AGUA ($G1+e1$ とする) であり、もう一つはルータから得たプレフィックスを上位 64bit、ノード識別子を下位 64bit とした縮退アドレス ($G1+i1$ とする) である。

MN1 は、まず自分の BA に現在の binding、すなわち ($i1$, $G1+i1$) を通知する。MN1 は近傍の DNS サーバに $O+i1$ に対応する BA のリストを要求する。これによって MN1 は自分の BA のリストを取得する。仮に BA11、BA12 とする。MN1 は得られた BA のうち、任意の BA に対して binding を登録する。BA は、あるノードに関わる BA のリストを DNS から同様に取得して、BA 間の binding 情報の一貫性を保つ。

4.9 本方式のノードとの通信

ノード識別子 $i2$ を持つ移動ノード MN2 に対する通信を考える。MN2 の BA を BA21 とし、すでに MN2 の binding 情報の登録は終了しているとする。MN2 の縮退アドレスは $G2+i2$ であるとする。MN1 上のアプリケーションは、MN2 に対して通信を行うときは、 $O+i2$ を指定する。するとこれは本方式の通信であることがわかるので、パケットの出力の際の src 、 dst に対して縮退アドレスを使用する。MN2 の binding を持たないため、縮退変換はまだ行えない。MN1 は MN2 の BA を DNS に問い合わせ、BA21 のアドレスを得る。MN1 は BA21 に対して $i2$ の binding を問い合わせる。

MN1 は得られた binding から縮退変換を行い、MN2 の縮退アドレス $G2+i2$ を得る。よって MN1 から MN2 へのパケットの src は $G1+i1$ であり、 dst は $G2+i2$ となる。

MN2 がこのパケットを受け取ると、まず下位 64bit を検査し、OUI が本方式を使用する値であるかどうかを確認する。この場合本方式を使用する値であるので、縮退アドレスは IPv6 互換ノード識別子に拡張変換される。

よって、MN1-MN2 間の通信は、ネットワーク上を流れるパケットは $G1+i1 - G2+i2$ 間の通信に見えるが、MN1 および MN2 の上位層は $O+i1 - O+i2$ の通信として認識することになる (図 5)。

4.10 ノードの移動

MN1 がネットワーク N3 へと移動する場合を考える。MN1 はここでは $G3+e1$ 、 $G3+i1$ のアドレスを得たとする。MN1 は BA21 に対して新しい binding ($i1$, $G3+i1$) を通知する。自分の BA が BA21 であることはキャッシュできるので DNS に問い合わせる必要はない。つぎに、MN1 は自分の持つ binding table を見る。 $(i2, G2+i2)$ が存在するので、 $G2+i2$ に対して現在の binding を通知する。MN2 はこれを受け取ると、 $i1$ についての binding を更新する。よって、MN1 と MN2 の通信は継続できる。

4.11 従来ノードとの通信

IPv6 アドレス $G2+c$ を持つ従来ノード CN に対する通信を考える。MN1 上のアプリケーションは、CN に対して通信を行うときは、 $G2+c$ を指定する。するとこのアドレスは IPv6 互換プレフィックスを持たないことから、従来ノードとの通信であることがわかるので、binding も、縮退アドレスも使用しない。よって、ネットワーク上を流れるパケットは、 $G1+e1 - G2+c$ 間の通信となる。CN からの応答パケットは、下位 64bit である c を検査する。 c の OUI は本方式の OUI ではないため、binding を使用しない従来ノードとの通信であると判断される。

なお、移動ノードと、BA および DNS サーバ間の通信には、この従来方式が使用される。

5. 提案方式についての考察

本章では、4.1 節で述べたプロトコルの設計方針をふまえて、Mobile IPv6 との比較を行いながら提案方式の考察を行う。

5.1 移動ノードとの End-to-End 通信

提案方式は、各ノードがノード識別子と縮退アドレスの変換を各個に行うため、通信は必ず End-to-End で終

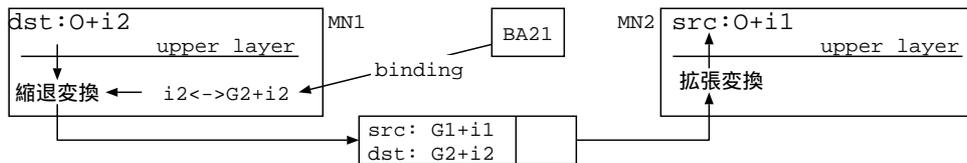


図5 本方式の通信例: MN1とMN2の上位層はIPv6互換識別子であたがいを認識し, ネットワーク上を流れるパケットは縮退アドレスが使用される.

端する. 一方, Mobile IPv6では, 通信相手の binding cacheが存在しない場合および, はじめて移動ノードに対してパケットを送信する場合には, パケットはHAを経由するので三角経路が発生する可能性がある.

5.2 通信に不可欠な機能の冗長性

提案方式では, bindingの解決のためにBAが必要であり, BAが通信に不可欠な存在となっていることは否定できない. 一方, Mobile IPv6では, HAが通信に不可欠な存在となっている. しかし, 提案方式におけるBAは, HAのようにあるアドレスに束縛された位置に配置する必要はない. あるノードのためのBAはネットワーク上の任意の位置に配置することが可能となる. これは, BAによる方式がHAを用いる方式に比べてより高い耐障害性を持つことを意味する.

5.3 導入の容易さ

提案方式ではBAを導入する必要がある. BAの台数や配置場所は, BAが管理するノードの数と, ノードの重要度に応じて, 管理者が自由に設定できる. HAのように, 移動ノードのHaddrが所属するサブネットごとにHAを置く必要はなく, 設置コストは非常に低いといえる. また, 移動ノードは自ノードが登録すべきBAを知っている必要はなく, DNSに問合わせれば良い. これは各ノードの管理コストを引き下げるといふ利点を持つ.

5.4 通信パケットにおけるオーバーヘッドの回避

提案した縮退アドレスアーキテクチャは, 一つのIPv6アドレスに位置指示子とノード識別子の情報が含まれている. このため, 位置指示子とノード識別子の分割というプロトコルデザインをもちながら, ノード間の通信に使われるパケットは従来のIPv6ヘッダのままよい. すなわち, 通信パケットのオーバーヘッドは存在しない. 一方, Mobile IPv6では, 通信パケットにHome Address OptionとRouting Headerを付加する必要があり, 大きなオーバーヘッドを必要とする.

5.5 既存ノードとの通信

提案方式は既存ノードとの通信が可能であるが, 既存ノードとの通信では移動透過性はなく, 可搬性のみ保証となる. 一方, Mobile IPv6は既存ノードとの通信

でも移動透過性が保証される. IPv6のスタックを搭載したOSはすでに販売も行われており, 普及段階にはいりつつあると考えられる. しかし, 現在使用されているIPv6のプロトコルスタックを見ると, Mobile IPv6が要求するHome Address Optionの処理が実装されているものはほとんどない. Mobile IPv6では, HAOを処理できないノードとの通信は困難なため, Mobile IPv6をこれから普及させるにはこれは大きな障害になるのではないかと危惧される. 提案方式にはこのような問題はないため, 緩やかな移行が可能である. ゆえに, 後方互換性という点においても本方式はMobile IPv6に対して優位であると言える.

6. おわりに

本稿では, 現在提唱されているMobile IPv6の問題点を指摘し, これらの問題を持たない新たな移動透過性プロトコルの提案を行った.

本方式では縮退アドレスモデルを提案し, このモデルが移動透過性を保証しながらも, End-to-Endで通信が完結することを示した. 同時に提案方式は後方互換性を持つため, 従来ノードとは可搬性での通信が可能である. よって提案方式は, 緩やかな移行が可能である.

現在我々はNetBSD上で本方式の実装を行っている. 今後は実装を用いた本方式の性能評価と運用実験を行い, 提案方式が現実のインターネット上で動作することを証明していきたい.

謝 辞

本研究を進めるに際して議論に参加していただき, 貴重な助言をいただきましたSonyCSLの西田 佳史様, 竹内 奏吾様に感謝します.

参 考 文 献

- 1) Deering, S., Hinden, R.: Internet Protocol, Version 6 (IPv6) Specification, RFC2460, IETF (1998).
- 2) Perkins, C. and David, J.: Mobility Support in IPv6, Proceedings of MOBICOM '96 (1996).

- 3) Johnson, D. B. and Perkins, C.: Mobility Support in IPv6, draft-ietf-mobileip-ipv6-09.txt, Internet-draft, IETF (1999) (Work in progress).
- 4) 石山 政浩, 井上 淳, 岡本 利男, 寺岡 文男: Mobile IP の現状と問題点に関する一考察, 情報処理学会モバイルコンピューティング研究会 (98-MBL-7) (1998).
- 5) Solomon, J.D.: Mobile IP, Prentice Hall, Reading, New Jersey (1998).
- 6) Teraoka, F., Uehara, K., Hideki, S. and Murai, J.: VIP: A Protocol Providing Host Mobility, Communications of the ACM, Vol. 37, No. 8, pp. 67-75 (1994).
- 7) Vixie, P., Thomson, S., Rekhter, Y., Bound, J.: Dynamic Updates in the Domain Name System, RFC2136, IETF (1997).
- 8) Conta, A. and Deering, S.: Internet Control Message Protocol (ICMPv6) for the Internet Protocol Version 6 (IPv6) Specification, RFC2463, IETF (1998).
- 9) Hinden, R., O'Dell, M. Deering, S.: An IPv6 Aggregatable Global Unicast Address Format, RFC2374, IETF (1998).
- 10) Guidelines for 64-bit Global Identifier (EUI-64) Registration Authority, <http://standards.ieee.org/regauth/oui/tutorials/EUI64.html>, IEEE (1997).