

マルチホーム移動ネットワークの実現のための NEMO Basic Support プロトコルの拡張

湧川 隆次[†] 小柴 晋[†] 渡里 雅史[†] 植原 啓介[†] 村井 純[§]

慶應義塾大学 政策・メディア研究科[†] 慶應義塾大学環境情報学部[§]

本論文では、ネットワーク全体に移動体支援を可能とする NEMO Basic Support プロトコルの紹介を行う。本プロトコルを用いることにより、Mobile Router は接続場所にかかわらず、常に一意なネットワークを提供することが出来る。しかし、本プロトコルは、常に双方向トンネルを用いて通信を行うため、従来の経路最適化の手法は適用できない。そこで、双方向トンネルのボトルネックを multihomed Mobile Router を用いて解決する方法を提案する。Multihomed Mobile Router を用いて複数の双方向トンネルを HA 間で確立し、効率的な通信を実現する。

NEMO Basic Support and Extension for Multihomed Mobile Router

Ryuji Wakikawa[†] Susumu Koshiha[†] Masafumi Watari[†] Keisuke Uehara[†] Jun Murai[§]

Graduate School of Media and Governance, Keio University[†]

Faculty of Environmental Information, Keio University[§]

In this paper, we introduce the idea of network mobility named NEMO Basic Support. NEMO Basic Support provides complete transparency to mobility for the networks belonging to Mobile Router. NEMO Basic Support requires all communication between Mobile Network and Correspondent Node to be routed through bi-directional tunnel which Home Agent and Mobile Router manages. Therefore, no Route Optimization used in Mobile IPv6 can be applied to this protocol. In order to mitigate the bottleneck caused by bi-directional tunnel, we propose Multihomed Mobile Router. Multihomed Mobile Router establishes number of bi-directional tunnels to Home Agent and provide efficient communication.

1 はじめに

近年、自動車や電車などの移動体では、ネットワークを内部に敷設し、移動体内部のノードに対してサービスを行なう環境が想定されるようになった。このような複数のノードを内包し、移動体の移動に伴って複数のアクセスポイント間を移動するネットワークを、移動ネットワークと呼ぶ。例えば、自動車は、車両制御用に組み込まれた機器や、搭乗者と共に持ち込まれる PDA やラップトップなどのノードを内包している。こういったすべてのノードに対して Mobile IPv6[5] のような移動体通信プロトコルを搭載するのは、計算機資源およびネットワーク資源の浪費に繋がるため現実的ではない。また、自動車内にはセンサノードのような、簡易な通信スタックや限られた通信インターフェースしか持てないノードが存在する。このような複数のノードが集合体として移動するネットワーク環境においては、ある代表ノードが移動ネットワークに対して移動透過性を提供することが望ましい。

このような状況を踏まえ、2002 年 10 月に IETF 内に NEMO ワーキンググループが設置され、現在も移動ネットワーク技術について活発な議論が行なわれている。NEMO ワーキンググループにおいて移

動ネットワーク技術は、Mobile IPv6 を拡張する形でプロトコルの設計を行なっており、そのメカニズムは Mobile IPv6 に非常に類似している。移動ネットワークは、一つ以上の Mobile Router (MR) と呼ばれる代表ノードを介して外部に接続される。MR は、Home Agent (HA) からの支援を受け、移動ネットワーク内のノードに対して移動透過性を提供する。

2 移動体支援プロトコル

本章では移動体支援プロトコルを Host Mobility と Network Mobility の 2 種類に分類して説明する。本論文で扱う NEMO Basic Support プロトコル [1] は Network Mobility 実現のための技術である。

2.1 Host Mobility とは: Mobile IPv6

Mobile IPv6 は、HA の支援を受け、ネットワーク層においてノードの移動透過性を保証するプロトコルである。Mobile Node (MN) は、ホームリンクのプレフィックスをもとにホームアドレスが割り当てられ、接続先のリンクに関係なく常に一意に識別される。

図 1 に Mobile IPv6 の基本処理を示す。HA は、MN のホームアドレスと移動先で取得する CoA の binding を常に管理している。MN がホームリンク

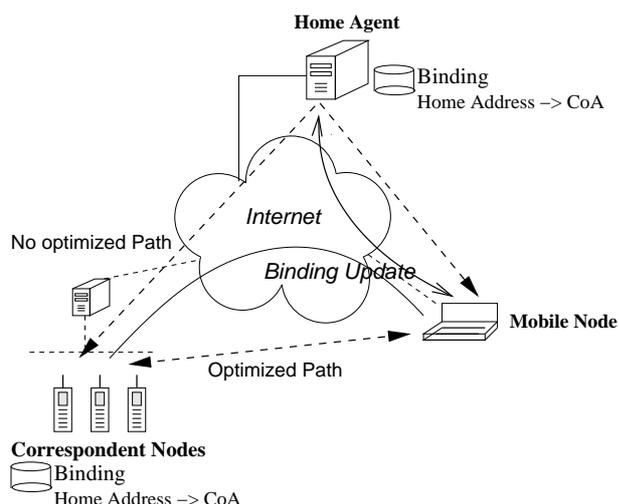


図 1: Mobile IPv6 の基本処理

以外に接続している時は、ホームアドレス宛てのパケットは HA によって CoA に転送される。

Mobile IPv6 では、Correspondent Node (CN) に binding を通知することで経路最適化を実現している。MN は、CN に対して Binding Update を送信することで、CN に binding を保持させる。これにより CN は、パケットの宛先にホームアドレスではなく直接 CoA を指定できるため、HA を介した通知を回避できる。

2.2 Network Mobility とは

Mobile IPv6 はホスト単体の移動を支援する技術であるのに対して、Network Mobility はネットワークの移動を支援する技術である。例えば、PDA やラップトップなどの単一の計算機は、個々の計算機が Mobile IPv6 のプロトコルスタックを持つことが出来るため、単体でも移動透過性が保証される。一方、自動車や電車のような複数のノードを内包するネットワークでは、MR が代表して Network Mobility のプロトコルスタックを持つことで、個々の計算機がコストをかけることなく、移動ネットワーク内のノード全体に移動透過性を保証する。

移動ネットワーク内のノードは、Mobile IPv6 のプロトコルスタックを持つ必要がなく、プロトコルオーバーヘッドを軽減できる。移動ネットワークには、Mobile IPv6 のプロトコルスタックを持つ MN も接続可能であり、移動ネットワーク内に MN が接続された状況を Nested Mobility と呼ぶ。

3 Network Mobility Basic Support Protocol

NEMO ワーキンググループでは、標準化作業を効率的に進めるために、Mobile IPv6 を拡張した双方向トンネル技術を用いたプロトコルの設計を行なっ

ている。これを NEMO Basic Support として位置付けている。一方、経路最適化については、NEMO Extended Support として位置付けられ、NEMO Basic Support 標準化以降に、経路最適化の必要性やプロトコルの拡張を議論する予定である。これは問題を簡略化することで、プロトコルの標準化過程の効率を図るためである。NEMO Basic Support は、複数の NEMO Basic Support のために提案されたプロトコル [6] [15] [12] を基に、NEMO ワーキンググループのデザインチームによって策定されている。なお、NEMO ワーキンググループからは、NEMO Basic Support における要求事項 [2] がまとめられている。

3.1 NEMO の用語

これらの用語は NEMO ワーキンググループから発行された internet-draft [3] [8] に記述されている。

- Mobile Network(移動ネットワーク)
インターネット上で、ネットワークの移動にかかわらず、常に到達可能なネットワーク。
- Mobile Router (MR)
リンクからリンクへ移動するルータで、移動ネットワークに移動透過性を提供する。
- Mobile Network Prefix
移動ネットワークに割り当てられるネットワークアドレス。
- Ingress Interface (内部インタフェース)
MR の移動ネットワーク側の通信インタフェース。
- Egress Interface (外部インタフェース)
MR のインターネット側の通信インタフェース。
- Home address (ホームアドレス)
MR に割り当てられる不変 IP アドレス。MR は、ホームリンクからホームアドレスを取得する方法と、自分の Mobile Network Prefix からホームアドレスを生成する二通りの方法が有る。
- Care-of address (CoA)
MR が移動先リンクで外部インタフェースで取得する IP アドレス。CoA は、どのように取得しても構わない。また、複数の CoA を同時に MN が持っても構わないが、HA に対しては唯一の CoA を登録する。
- Mobile Network Node (MNN)
移動ネットワークに静的に接続されるノード。
- Home agent (HA)
MR の移動を支援するルータ。MN がホームリンクから離れている時、HA は移動ネットワーク宛のパケットを受け取り、MN の CoA に向けて転送する。移動ネットワーク宛のパケットを HA で受け取るために、HA は移動ネットワークの prefix の経路をインターネットに広告しなくてはならない。HA はこれら経路を集約してインターネットに広告しても構わない。

- Binding

MR のホームアドレスと MR の CoA の関係を示すもの。MR のホームアドレスと CoA の関係と有効期間といった情報である。

3.2 プロトコル概要

本章では、NEMO Basic Support における基本概念について述べる。NEMO Basic Support プロトコルの主な特徴としては、Mobile IPv6 の拡張、双方向トンネルによる冗長経路、HA への移動ネットワークの動的及び静的通知、Nested Mobility の実現などがある。

基本となるプロトコル部分については、Mobile IPv6 の binding 管理機構を基に、MobileIPv6 の Binding Update や Binding Acknowledgement 等に拡張を加えて用いる。NEMO Basic Support のために追加あるいは変更された Mobility Header のフォーマットを図 2 に示す。図 2 の上から順に 1. Binding Update、2. Network Prefix sub-option、3. Network Prefix Length sub-option である。Binding Update 内には新たに Router (R) flag が追加され、MR が移動ネットワークの binding 更新時には、必ずこのフラグをセットする。2 と 3 のオプションは、移動ネットワークの情報を Binding Update を用いて通知することを可能にする。

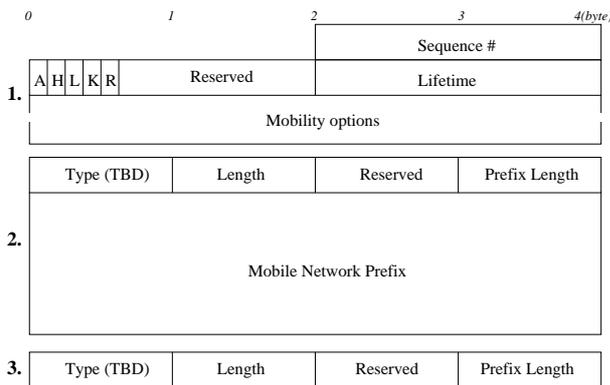


図 2: 追加変更された Mobility Header

一方で、Mobile IPv6 にある通信相手に binding を登録して行う経路最適化は簡略化され、常に HA との IP-in-IP トンネルプロトコルを用いた双方向トンネルによる冗長経路を用いて通信を行う。MR は Binding Update をもちいて MR の HoA を binding として HA に登録し、同時に MR と HA 間で移動ネットワークのために双方向トンネルを確立する。MR は移動により CoA が更新されると、Binding Update を用いて HA の binding と双方向トンネルの終点情報の更新を行う。

移動ネットワークの動的管理とは、MR が Mobile Network Prefix sub-option あるいは Mobile Net-

work Prefix Length sub-option で、移動ネットワークの情報を HA へ明示的に通知する方法である。これにより、MR は動的に割り当てられたプレフィックスアドレスを移動ネットワークに割り当てて利用することができる。HA は常に Binding Update 内のオプションに指定された移動ネットワーク情報を用いて、双方向トンネルを更新する。また、動的管理の別の手法として既存の経路制御プロトコルを用いる方法がある。経路制御プロトコルを双方向トンネルを用いて走らせ、移動ネットワークの情報を経路制御メッセージを用いて HA と交換する方法である。

一方、静的管理では、あらかじめ HA は MR と移動ネットワークの情報のマッピングを持っており、Binding Update には移動ネットワークの情報は含まれない。そのため、MR は常に一意に割り当てられたプレフィックスアドレスを使うこととなる。HA は Binding Update を受け取ると、HA が管理しているマッピングを参照して双方向トンネルを更新する。

図 3 に、双方向トンネルを用いた通信モデルを示す。図中の矢印は、移動ネットワーク内のノードと CN の通信は全て HA、MR 間のトンネルを経由して行われているのを示す。図中の経路は、双方向トンネルが確立された後の経路を示している。

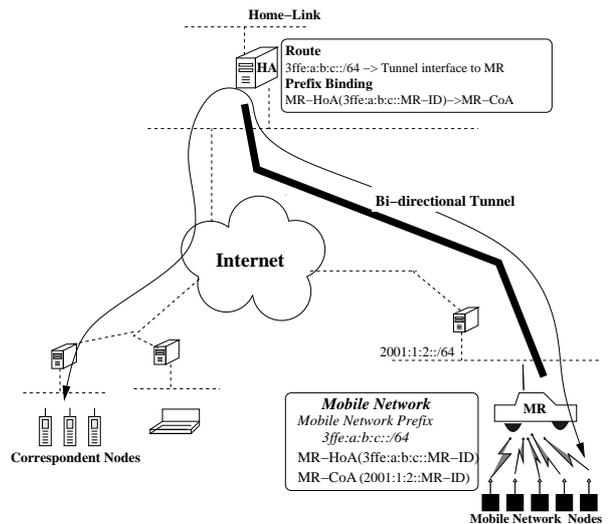


図 3: NEMO Basic Support の基本処理

双方向トンネルの処理では、以下の条件を満たさない限りパケットは破棄される。

- HA を経由してトンネルされてきたパケットの場合、外側の IPv6 ヘッダの送信元アドレスが HA のアドレス、そして宛先が MR の CoA でない場合、そのパケットを破棄する。
- MR からトンネルされたパケットの場合、外側の IPv6 ヘッダの送信元アドレスが MR の CoA、そして宛先が HA のアドレスでない場合、そのパケットを破棄する。

- MR がトンネルするパケットの内側 IPv6 ヘッダは、送信元が移動ネットワークのプレフィックスから生成されたアドレス出ない場合トンネルせずに破棄する。

Nested Mobility については、Basic Support では比較的容易に実現できる。移動ネットワーク自体は常に双方向トンネルで通信するため、たとえ移動ネットワークに他の MR が接続されたとしても、それぞれの MR の双方向トンネルを経由して通信することが可能である。これは、トンネル自体が通信端ノードには認識されないため、冗長経路ではあるが確実に通信は行えるからである。

3.3 NEMO Basic Support の問題点

NEMO Basic Support の問題の 1 つに、全てのパケットが MR と HA 間の双方向トンネルをかいしての送受信がある。トンネル処理にかかる負荷は、通信性能上無視できない。トンネルのオーバーヘッドは、全てのパケットをカプセル化しデカプセル化する処理に起因する。MR と HA では、トンネルするパケットの先頭に新しいメモリ領域を確保し、外側の IP ヘッダを付加する必要がある。また、トンネルされて来たパケットを受け取ると、外側の IP ヘッダを処理し、元のパケットに戻すために外側 IP ヘッダを取り去る処理が必要である。これらの一連の処理は、スループットに対して大きな障害となる。さらに、トンネルするためには外側 IP ヘッダを付加する必要があるため、IPv6 ヘッダ (40 バイト) 分の無駄なパケットサイズが発生する。そのため、無線などの帯域が限られているネットワークでは、帯域の消費を促進してしまう。

また、通信経路の間でのトンネルが発生するため、場合によっては外側 IP ヘッダをパケットに付加するために IP フラグメント処理が必要な場合がある。これは、トンネルする前に既にパケットサイズが Maximum Transfer Unit (MTU) に到達している場合に起きる。フラグメントに起因するオーバーヘッドは、カプセル化デカプセル化のオーバーヘッドと相乗して、スループットに与える影響は無視できないものとなる。これらの問題は、双方向トンネルの一般的な問題でもある。特に移動ネットワークと通信するノード (CN) は、通信前に Path MTU Discovery を適切に行うことで、双方向トンネルでフラグメントが起きないようなパケットサイズで通信を行う必要がある。

NEMO Basic Support が、MR と HA 間の双方向トンネルを常に用いる限り、これらのオーバーヘッドは決して無くならない。そこで、本研究では、これらの負荷を分散させる手法として Multihomed MR を提案する。

4 Multihomed Mobile Router

本論文では、NEMO Basic Support を拡張し、複数の外部インタフェースを用いて、HA と複数の双方向

トンネルを確立できる Multihomed Mobile Router を実現する。Multihomed Mobile Router の基本となる概念は、複数の双方向トンネルを効率的に利用することにより、NEMO Basic Support において以下の事を解決する。

- 通信性能の向上

複数の外部インタフェースを同時に用いる場合、一般にインターネットへの接続帯域は単一の外部インタフェースで通信している場合より増大する。しかし、現在の NEMO Basic Support の仕様では、Mobile IPv6 の binding 登録を継承しており、MR は常に 1 つの CoA しか登録できない。そのため、複数のインタフェースで複数の CoA を取得した場合でも、常にどちらか 1 つの外部インタフェースのみで通信することとなる。

そこで、MR は複数の CoA を同時に HA に登録し、複数の双方向トンネルを確立し効率的な通信を行えるようにする。複数の双方向トンネルを同時に利用するため、MR は、トラフィック種類や外部インタフェースの特性に応じて最適な外部インタフェースを選択しトンネルする。複数の外部インタフェースを同時に利用することにより、利用可能帯域は絶対的に増大する。また、トラフィック間の輻輳についてはトラフィックを適当に振り分けることで避けることができる。また、外部インタフェース毎にトンネルを確立することで、トンネルに起因するパケットサイズなどの負荷を各々のインタフェースに分散させることが出来る。これにより、帯域や遅延などが向上し、通信性能の向上が期待される。

- 効率的な通信

複数の外部インタフェースを同時に利用して通信を行う場合、外部インタフェースの選択をトラフィックと外部インタフェースの特徴を考慮して行うことにより、効率的な通信が実現できる。また、利用者は自分の選択決定アルゴリズムをあらかじめポリシーとして登録することにより、利用者の好みに応じた選択が行われる。外部インタフェースは各々に帯域、遅延、サービスエリア、課金等の特徴が異っており、トラフィックの種別に応じた選択が行えなくてはならない。利用者が、狭帯域かつ課金がある外部インタフェースを利用して頻繁にビデオの送受信をすることは望ましくない。一方で、仕事の秘密通信は、帯域が狭くても媒体共有型でない携帯電話でのダイアルアップ接続等を通して行うべきである。これらの選択ポリシーは利用者があらかじめ設定しておくことが望ましい。

- 耐障害性

Multihomed MR を用いて、耐障害性を保証する。ある外部インタフェースが突然遮断されたとしても、利用可能な外部インタフェースにトラフィックを動的に振り分け直すことにより、通信の完全

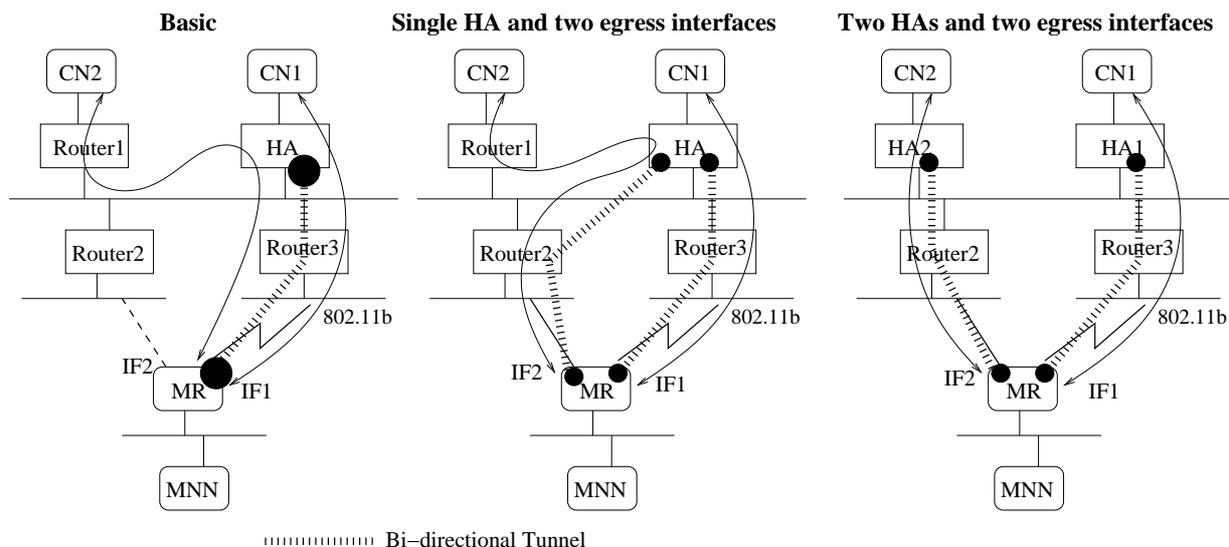


図 4: Multihomed Mobile Router

なる遮断を防ぐことが出来る。

- 常時接続性

現在のところ、地球全土で利用可能な高帯域かつ低遅延な通信インタフェースは存在しない。そのため、利用者はインターネットに接続するために、接続場所に応じて個々に利用する外部インタフェースを切替えている。移動先のネットワーク環境に応じて、複数の外部インタフェースを利用することにより、常時接続性の享受と効率的な通信が可能となる。

図 4 は 3 つの異なる Multihomed MR を示している。1 つ目の MR は、1 つの双方向トンネルを HA と確立する NEMO Basic Support の場合である。2 と 3 の場合では、Multihomed MR は複数の双方向トンネルを確立している。黒い丸はトンネル毎の 캡セル化とデ캡セル化の負荷の大きさを表している。丸が大きい程、負荷が高いことを表している。

2 と 3 の場合では、双方向トンネルを複数確立することにより、1 つのトンネルで処理するパケット数が減少し、発生する負荷を減らすことが出来る。2 の場合、HA と MR は合計すると 1 の場合と同じ負荷を結果として持つことになる。しかし、双方向トンネルを複数確立していることにより、HA と MR 間で利用可能な帯域は増加するため、1 の場合と比較しても通信性能は向上される。一方で 3 の場合では、MR は異なる HA と各々トンネルを確立しているため、HA 側の負荷が複数の HA に分散されている。また、2 の場合と同じく、利用可能な通信帯域は絶対的に増加していることにもよる。結果として通信性能は向上する。

ヘッダに起因する負荷は、トンネルプロトコルを使う限り無くなることは無い。そこで、Mobile

IPv4 [11] で使われている minimal encapsulation [10] や GRE encapsulation [4] を IP-in-IP encapsulation の代わりに用いることで、40 バイトのヘッダサイズを削減することが可能となる。しかし、どの手法をトンネルプロトコルとして採用すべきか否かは本論文では議論しない。

4.1 Multihomed MR の動作概要

4.1.1 複数の外部インタフェースを用いた Multihomed MR

MR は、CoA を各々の外部インタフェースで取得し、1 つの HA に全ての CoA を登録する (図 4 の真中)。トンネルを複数持つことにより、トンネルに起因するパケットサイズの増加による帯域の圧迫を回避することが可能となる。

この場合、HA では同一の MR に対して複数の binding を管理することができなくては成らない。しかし、Mobile IPv6 では複数の異なる Binding Update を同時に受信した場合、binding を上書きするだけで複数登録することは出来ない。そこで、本研究の並行研究である複数 binding 登録の拡張を行う。詳細は、internet draft [14] に記述してある。

図 4 にあるように、MR が外部インタフェース (IF1) と外部インタフェース (IF2) を持っていた場合、MR は各々にランダムに生成される識別子を割り当てる。MR はホームアドレス、IF1 で取得した CoA と IF1 に割り当てられた識別子を binding として HA に登録する。同じく、IF2 に関して、割り当てられた識別子を binding 情報の一部として登録する。本識別子を登録することにより、HA は MR のホームアドレスに対して複数の binding を保持することができる。また、それぞれの binding 毎に双方向トンネルを確立することも可能となる。

4.1.2 複数の外部インタフェース及び HA を用いた Multihomed MR

MR が複数の外部インタフェースの CoA を別々の HA に登録することにより、絶対的な帯域の増加と個々の HA におけるトンネル処理の負荷を削減することが出来る。任意の HA が突然サービス不可能になっても、利用可能な HA と双方向トンネルを確立しているため、トラフィックを利用可能な HA に振り直すことにより耐障害性を高めることができる(図 4 の右側)。

MR は複数の HA との双方向トンネルを利用するために、優先度を各々の HA に割り当て、その優先度とともに HA に binding を登録し双方向トンネルを確立する。各々の HA は同じ Mobile Network Prefix に対する binding 情報を取得するが、異った OSPF6 [9] のコスト (RIPng [7] の場合はメトリック) でその Mobile Network Prefix をインターネットに広告する。インターネットでは経路計算により常に一番近い HA で移動ネットワーク宛のパケットが到達し、MR へトンネルされる。また、MR 側も CN からのパケットを受信時に、トンネルした HA を知ることが出来るため、以後の CN 宛のパケットはその HA にトンネルすることにより最短な経路を通ることが可能となる。複数の HA を用いた手法は、事前研究である [13] に紹介されている。コストやメトリックは、MR から通知された優先度を元に決定される。具体的な設定に関しては実装依存あるいは管理者依存である。MR が優先度を動的に通知するのではなく、予め HA 間で静的に設定することも可能である。

何らかの理由で、HA が MR から Binding Update 通知を受け取れない場合は、双方向トンネルを無効にし、インターネットに広告している Mobile Network Prefix の経路のコストあるいはメトリックを INFINITY 値 (OSPF の場合 LSINFINITY [9]、RIPng の場合 16 [7]) にする。INFINITY に設定することにより、移動ネットワーク宛のトラフィックは決して双方向トンネルを確立していない HA に到達することは無い。この場合、HA の切替えには NEMO Basic Support とは関係なく、HA 間の経路制御で行われるため、MR は特別な処理をしなくて良い。

4.2 Policy Based Routing

MR が、HA と確立した複数の双方向トンネルを、効率良く利用するためには最適な外部インタフェースをトラフィック毎に決定しなくてはならない。MR は外部インタフェース選択ポリシーを保持し、適当なトラフィックを適当な双方向トンネル (外部インタフェース) に振り分ける必要がある。一方で、MR は、保持したポリシーで送信トラフィックは振り分けることができるが、受信トラフィックを制御することはできない。そのため、MR の外部インタフェー

ス選択ポリシーを HA に通知することにより、HA は MR と同様にトラフィックを、MR の適当な外部インタフェースで受信させることが可能となる。

ポリシーの例としては、送信元と送信先のアドレス毎、ポート番号毎、フロー識別子などを用いて定義することが可能である。ポリシーの通知は、Binding Update 等のシグナルに付加して送信する方法 [16] や、ポリシーの管理プログラムを用意して通知することも可能である。

5 まとめ

本論文では、Network Mobility のための NEMO Basic Support の動作概要について述べた。また、Multihomed MR として、NEMO Basic Support の機能拡張、及びボトルネックとなる双方向トンネルの負荷分散により、効率的な通信を可能とした。複数の外部インタフェースの利用、及び双方向トンネルの利用により、通信性能の向上、及び効率的な通信の実現、耐障害性、そして常時接続性が実現できるようになった。

今後の課題としては、双方向トンネルの MR 側の負荷の分散が必要である。そのためには、複数の MR を 1 つの移動ネットワーク内で利用可能にする必要がある。しかし、複数の MR を同時に利用する場合、NEMO Basic Support は変更を加えることなく実現することが可能であると予想される。今後、実装や評価を通して確認する必要がある。

謝辞

本研究は、Julien Charbon (Computer Science, Louis Pasteur University) と Thierry Ernst (Graduate School of Media and Governance, Keio University) との合同で行い、通信学会英文論文誌 B に投稿された論文を元にして行っている。

本研究を進める上で様々な議論や助言を頂いた慶応大学村井研究室、同大学佐藤雅明氏、WIDE プロジェクトの皆様にご感謝の意を表します。

参考文献

- [1] V. Devarapalli, R. Wakikawa, A. Petrescu, and P. Thubert. Nemo Basic Support Protocol (work in progress, draft-ietf-nemo-basic-support-01.txt). Internet Draft, Internet Engineering Task Force, September 2003.
- [2] T. Ernst. Network Mobility Support Requirements (work in progress, draft-ietf-nemo-requirements-00). Internet Draft, Internet Engineering Task Force, February 2003.
- [3] T. Ernst and H. Lach. Network Mobility Support Terminology (work in progress, draft-ietf-nemo-terminology-03). Internet Draft, Internet Engineering Task Force, May 2003.

- [4] S. Hanks, T. Li, D. Farinacci, and P. Traina. Generic Routing Encapsulation (GRE). Request for Comments (Informational) 1701, Internet Engineering Task Force, October 1994.
- [5] D. Johnson, C. Perkins, and J. Arkko. Mobility support in IPv6 (work in progress, draft-ietf-mobileip-ipv6-21). Internet Draft, Internet Engineering Task Force, February 2003.
- [6] T.J. Kniveton, J. Malinen, V. Devarapalli, and C. Perkins. Mobile Router Tunneling protocol (work in progress, draft-kniveton-mobrt-03.txt). Internet Draft, Internet Engineering Task Force, November 2002.
- [7] G. Malkin and R. Minnear. RIPng for IPv6. Request for Comments (Proposed Standard) 2080, Internet Engineering Task Force, January 1997.
- [8] J. Manner and M. Kojo. Mobility related terminology (work in progress, draft-ietf-seamoby-mobility-terminology-02). Internet Draft, Internet Engineering Task Force, March 2003.
- [9] J. Moy. OSPF specification. Request for Comments (Proposed Standard) 1131, Internet Engineering Task Force, October 1989.
- [10] C. Perkins. Minimal Encapsulation within IP. Request for Comments (Proposed Standard) 2004, Internet Engineering Task Force, October 1996.
- [11] C. Perkins. IP Mobility Support for IPv4. Request for Comments (Proposed Standard) 2794, Internet Engineering Task Force, August 2002.
- [12] A. Petrescu, M. Catalina-Gallego, C. Janeteau, H.-Y. Lach, and A. Olivereau. Issues in Designing Mobile IPv6 Network Mobility with the MR-HA Bidirectional Tunnel (MRHA) (work in progress, draft-petrescu-nemo-mrha-02). Internet Draft, Internet Engineering Task Force, March 2003.
- [13] R. Wakikawa., S. Koshiha, K. Uehara, and J. Murai. ORC: Optimized Route Cache Management Protocol for Network Mobility. In *IEEE 10th International Conference on Telecommunication (ICT) 2003*, pages 119–126, February 2003.
- [14] R. Wakikawa, K. Uehara, and T. Ernst. Multiple Care-of Address Registration (work in progress, draft-wakikawa-mobileip-multiplecoa-02.txt). Internet Draft, Internet Engineering Task Force, September 2003.
- [15] R. Wakikawa, K. Uehara, K. Mitsuya, and T. Ernst. Basic Network Mobility Support (work in progress, draft-wakikawa-nemo-basic-00.txt). Internet Draft, Internet Engineering Task Force, February 2003.
- [16] R. Wakikawa, K. Uehara, and J. Murai. Multiple Network Interfaces Support by Policy-Based Routing on Mobile IPv6. In *The 2002 International Conference on Wireless Networks (ICWN) 2002*, page 9, July 2002.