

Network-based Local Mobility Management に基づく 移動ネットワークプロトコルの実装と評価

有田 哲也^{†2} 寺岡 文男^{†1}

ノードの集合であるネットワークがインターネット内を移動するネットワークモビリティが注目を集めている。我々は、ネットワークモビリティを使用した大容量通信可能な列車インターネットの研究の過程で、ハンドオーバー直後の無線リンクの品質がハンドオーバー時間に大きな影響を与えることが分かった。この課題を解決するために、本稿は Network-based Local Mobility Management に基づいた移動ネットワークプロトコルを提案・実装した。本提案手法の基本性能を測定し、既存モビリティプロトコルと比較することで、本提案手法は許容できる処理時間でネットワークに移動透過性を提供することが可能であることが分かった。また、無線リンクの品質に関わらず安定したハンドオーバーが可能であることも示すことができた。

An Implementation and evaluation of Network Mobility Protocol based on Network-based Mobility Management

TETSUYA ARITA^{†4} and FUMIO TERAOKA^{†3}

In recent years, Network Mobility becomes one of popular topics of research, which a network consisted of some nodes moves in the Internet. We develop Broadband Communication system for the High-speed Train with Network Mobility Support Protocol. immediately after handover, the infrared link has a bad case. So signaling messages in NEMO BS occurred loss. it badly affect handovers. We propose and implement a new Network Mobility Protocol, which is based on Network-based Local Mobility Management. We evaluate a basic performance of our proposal, and we compare our proposal with existing mobility protocols. As a result, our proposal has no problem to provide mobility to mobile networks. And our proposal can execute stable handover even if the wireless link is a bad state.

1. はじめに

近年、列車や航空機などの乗客にインターネットの接続サービスを提供することができる Network mobility に関する注目が高まっている。我々は赤外線通信装置を用いた大容量通信可能な列車インターネットに関する研究を行っており、リンク層情報を利用した高速ハンドオーバー方式を提案している¹⁾²⁾ この研究では、モビリティサポートプロトコルに Network Mobility Basic Support Protocol³⁾ (NEMO BS) を利用し、列車内の乗客へ IPv6 インターネット接続を提供する。高速ハンドオーバー方式を適用した NEMO BS を NEMO fast handover method (NEMO fhm) と呼ぶ。この研究の有用性を実証するために、2010年1~2月に JR 西日本管内の東海道線において 130 km/h で走行する列車を用いた通信実験を行った。実験の結果、ハンドオーバー直後に赤外線リンクの状態が不安定になり、NEMO fhm のシグナリングメッセージが損失する可能性があることがわかった。その結果、シグナリングメッセージの再送が行われ、秒単位のハンドオーバー遅延が発生する結果となった。また、NEMO fhm はデータ配送時の冗長経路の問題や移動ネットワークが階層化した際のトンネリングによるヘッダオーバーヘッドの問題を持つ。

Internet Engineering Task Force (IETF) では Proxy Mobile IPv6⁴⁾ (PMIPv6) を標準化している。PMIPv6 は Network-based Local Mobility Management に基づくモビリティプロトコルであり、PMIPv6 ドメインと呼ばれるアクセスネットワーク内の移動透過性を保証する。PMIPv6 のシグナリングメッセージは有線側ネットワークで交換されるため、無線リンク状態に関わらず安定したハンドオーバーが可能である。また最適経路で通信が可能であるという特徴を持つ。しかし、PMIPv6 は移動ネットワークには対応していない。

そこで、本論文では有線ネットワーク側でシグナリングを実行することができる Network-based Local Mobility Management に基づいた移動ネットワークプロトコルである Proxy Network Mobility Protocol (PNEMO) を提案・実装する。また PNEMO の基本性能を測定し、既存モビリティプロトコルである NEMO BS・NEMO fhm・PMIPv6 と比較する。

^{†1} 慶應義塾大学理工学部

^{†2} 慶應義塾大学大学院理工学研究科

^{†3} Keio University

^{†4} Graduate School of Keio University

2. 関連研究

本章では、PNEMO と同様の Network-based Local Mobility Management に基づく移動ネットワークプロトコルである NEMO-enabled PMIPv6⁽⁵⁾ (NPMIPv6) と Network Mobility Support in PMIPv6 Network⁽⁶⁾ (N-NEMO) を説明し、PNEMO を設計する上で解決すべき問題を明らかにする。

2.1 NEMO-enabled PMIPv6 (NPMIPv6)

現在までに PMIPv6 を NEMO に拡張する、または PMIPv6 を NEMO BS と同時に使用する方式は提案されている⁽⁷⁾。しかし、Mobile Node (MN) が Mobile Router (MR) と Mobile Access Gateway (MAG) 間を移動した場合の移動透過性の提供などが問題となってきた。

NPMIPv6 は移動ネットワークをサポートできるように PMIPv6 を拡張したプロトコルである。図 1 は NPMIPv6 の概要を表している。NPMIPv6 を構成するエンティティは、Local Mobility Anchor (LMA)、fixed MAG (MAG)、moving MAG (mMAG)、Mobile Network Node (MNN) である。mMAG は PMIPv6 ドメインを拡張するノードであり、mMAG に接続する MNN のデフォルトゲートウェイとなる。mMAG が MNN の代わりに LMA とシグナリングメッセージを交換する。LMA と mMAG の間に双方向トンネルを確立することによって、MNN へ移動透過性を提供している。

NPMIPv6 における MNN へのパケット配送は次のように行われる。パケットを受信した LMA は MNN へパケットを配送するために Binding Cache (BC) を lookup する。LMA はパケットの終点アドレスのプレフィックスから MNN の Binding Cache Entry (BCE) を取得する。取得した BCE から mMAG のアドレスと M フラグを取得し、受信したパケットを mMAG のアドレスを終点アドレスとした IPv6 ヘッダでカプセル化する。M フラグが設定されている場合は mMAG のアドレスを検索キーとして再度 BC を lookup する。mMAG の BCE から fixed MAG のアドレスを取得する。LMA はカプセル化したパケットを fixed MAG のアドレスを終点アドレスとして IPv6 ヘッダで再度カプセル化し、パケットを送信する。fixed MAG は LMA が送信したパケットを受信するとカプセル化の IPv6 ヘッダを取り除く。その後パケットを配送する。mMAG は fixed MAG が送信したパケットを受信するとカプセル化の IPv6 ヘッダを取り除く。その後、mMAG に接続している MNN へパケットを配送する。

NPMIPv6 は上記のように移動ネットワークへ移動透過性を提供する。しかし、移動ネッ

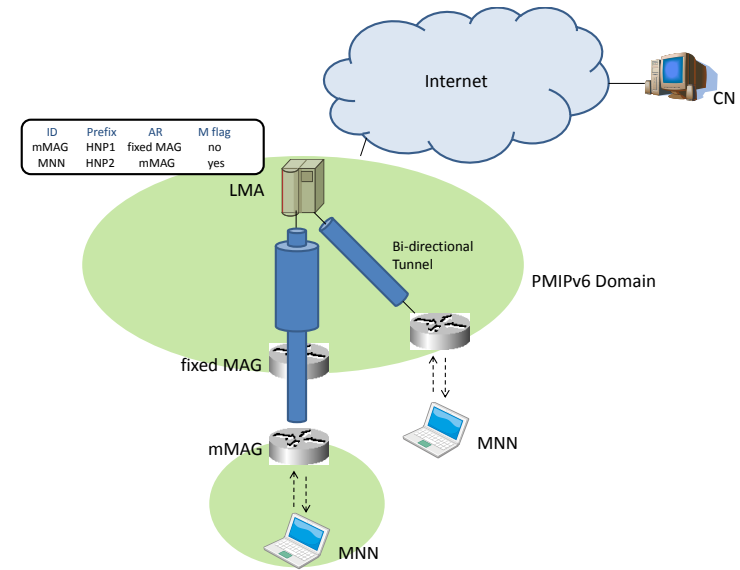


図 1 NPMIPv6 の概要

トワークが階層化する場合、再帰的なトンネリングによってヘッダオーバーヘッドが増大するという問題を抱える。

2.2 Network Mobility Support in PMIPv6 Network (N-NEMO)

N-NEMO は NPMIPv6 を改良したプロトコルであり、トンネリングによるヘッダオーバーヘッドを抑制するアーキテクチャとなっている。図 2 は N-NEMO の概要を表している。N-NEMO を構成するエンティティは、LMA、MAG、MR、MNN である。MNN には 2 つのタイプが存在する。Local Fixed Node (LFN) は移動ネットワークに接続するノードであり、移動ネットワークから移動しないノードである。また、Visited Mobile Node (VMN) は移動ネットワークに接続するノードであり、自由に MR と MAG の間を移動することができるノードである。

N-NEMO では Tunnel Splitting Model を採用しており、トンネリングによるヘッダオーバーヘッドを抑制している。図 2 に示すように、N-NEMO では MNN に移動透過性を提供する。N-NEMO は MAG と MR の間で双方向トンネルを確立し、LMA-MAG 間と MAG-MR 間でトンネルを分離するアーキテクチャとなっている。N-NEMO において、MR に MNN

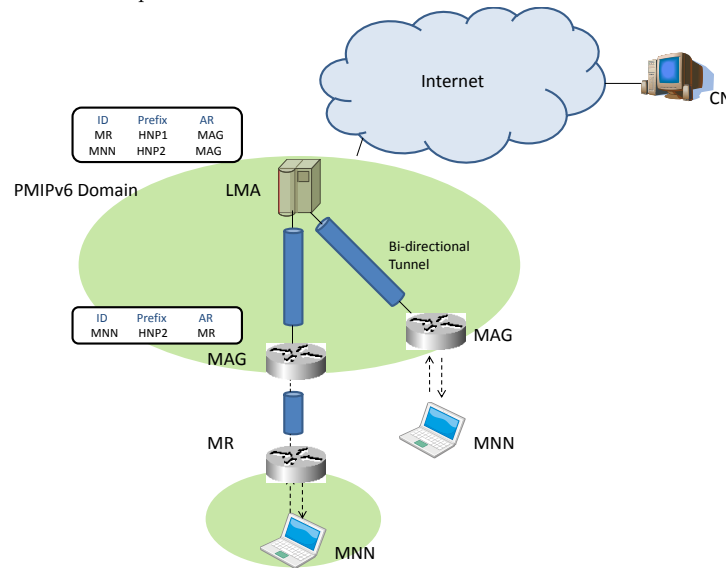


図2 N-NEMOの概要

が接続する場合の登録手順について説明する。MRはMNNの接続を検知するとMAGへLocalized Proxy Binding Update (LPBU)と呼ばれるメッセージを送信する。MAGはLPBUを受信し、自身のBinding Update List (BUL)を検索する。もしMNNに関するBinding Update List Entry (BULE)が存在しなければ、MAGはLMAにProxy Binding Update (PBU)を送信し、MNNをLMAに登録する。LMAはMNNのBCEを作成するとProxy Binding Acknowledgement (PBA)をMAGに送信し、MAGとの間に双方向トンネルを確立する。MAGはPBAを受信すると、MNNのBULEを作成し、Localized Proxy Binding Acknowledgement (LPBA)をMRに送信する。このとき、MAGはMRとの間に双方向トンネルを確立する。

N-NEMOにおけるMNNへのパケット配送は次のように行われる。パケットを受信したLMAはMNNへパケットを配送するためにBinding Cache (BC)をlookupする。LMAはパケットの終点アドレスのプレフィックスからMNNのBinding Cache Entry (BCE)を取得する。MNNのBCEから取得したMAGを終点アドレスとしたIPv6ヘッダで受信パケットをカプセル化する。MAGはLMAが送信したパケットを受信するとカプセル化の

IPv6ヘッダを取り除く。そして受信したパケットの送信アドレスのプレフィックスをキーとしてBULを検索し、MNNのBULEを取得する。MNNのBULEから取得したMRを終点アドレスとしたIPv6ヘッダでパケットをカプセル化し、送信する。MRはMAGが送信したパケットを受信するとカプセル化のIPv6ヘッダを取り除き、そのパケットをMNNへ配送する。

N-NEMOは上記のように移動ネットワークへ移動透過性を提供することが可能となった。しかし、移動ネットワークが階層化する場合、再帰的なトンネリングによってヘッダオーバーヘッドが増大するという問題を抱える。

2.3 まとめ

関連研究では共通してトンネリングによるヘッダオーバーヘッドの問題を抱えていることが分かる。NPMIPv6, N-NEMOはトンネリング区間に無線区間が含まれているため、低帯域である無線区間の帯域を効率的に使用する妨げとなる。またNPMIPv6, N-NEMOともネットワークが階層化するとトンネリングが多重化しヘッダオーバーヘッドが著しく増加するという問題がある。本研究ではトンネリングによるヘッダオーバーヘッドを抑制するプロトコルとしてPNEMOを設計する。

3. Proxy Network Mobility Protocol

本章では、Network-based Local Mobility Managementに基づく移動ネットワークプロトコルであるProxy Network Mobility Protocol (PNEMO)を提案する。

3.1 概要

図3はPNEMOの概要を示している。PNEMOはNPMIPv6やN-NEMOと同じようにNetwork-based Local Mobility Management Protocolに基づく移動ネットワークプロトコルである。PNEMOはPacket Forwarding Modelを採用しているため、LMAとMAGの間以外で双方向トンネルを確立しない設計となっている。そのため、関連研究のトンネリングによるヘッダオーバーヘッドの問題を解決している。

PNEMOを構成するエンティティはLMA, MAG, MR, MNNである。MNNにはVMN, LFNの2つのタイプが存在する。PNEMOではネットワークの移動をサポートするためにMNNが接続するMRの情報をBC, BULに保持できるようにLMA, MAGを拡張する。

LMAはMR・VMNにHome Network Prefix(HNP)・Mobile Network Prefix(MNP)を割り当てる。またMR・MNNのIdentifier(MN-ID)をキーとしたBCEを作成し、移動ノードやトンネルを管理する。PNEMOではVMNが接続しているMRに関する情報を保

持できるように BC を拡張する .

PMIPv6 と同様に MAG は MR・VMN の移動を検知する機能を持つと仮定する . また MR・VMN の代わりに PBU を LMA に送信し , HNP・MNP の割り当てを要求する . MAG は PBA を受信すると BULE を作成し , LMA との間で双方向トンネルを確立する . さらにパケット配送のために MR・VMN の経路設定を行う .

移動ネットワークが階層化した場合 , 下位の移動ネットワークの MR を subMR と呼ぶ . MR は subMR・VMN のデフォルトルータであり , 接続する subMR・VMN の代わりにシグナリングメッセージを MAG と交換する . subMR は階層化ネットワークのデフォルトルータである . MR が MAG と交換するシグナリングメッセージは Nested Binding Update (NBU)・Nested Binding Acknowledgement (NBA) と呼ばれ , subMR・VMN の情報を PMIPv6 ドメインに通知する役割を持つ . MR は NEMO State Table (NST) と呼ばれるテーブルに接続する VMN , subMR の情報を保持する . また LFN に対しては LMA から割り当てた MNP を広告する役割を持つ . MR は MAG や他の subMR と同じリンクローカルアドレスを使用する . これによって , subMR・VMN は MAG と MR の間を自由に移動することが可能となる .

PNEMO では NBU・NBA を用いて MR - MAG 間で移動ネットワークの情報を交換することができる . これによって MAG・MR は移動ネットワーク内のノードへの経路を設定することが可能となり , パケット配送のためのトンネリングは必要ない .

3.2 登録処理

PNEMO において MNN が通信可能となるためには , MNN が初めて PMIPv6 ドメインに接続したときに LMA にシグナリングメッセージを交換し , MNN を登録する必要がある . この登録処理について説明する .

PNEMO では以下の登録処理が発生すると想定される .

- Registration1 VMN が MAG に接続する
- Registration2 VMN が MR に接続する
- Registration3 VMN が subMR に接続する
- Registration4 MR が MAG に接続する
- Registration5 MR が MR に接続する
- Registration6 MR が subMR に接続する

Registration4~6 は Registration1~3 と基本的には同じ登録処理になるため , Registration1~4 のみ説明する . 図 4 に登録処理時のメッセージシーケンスを示す .

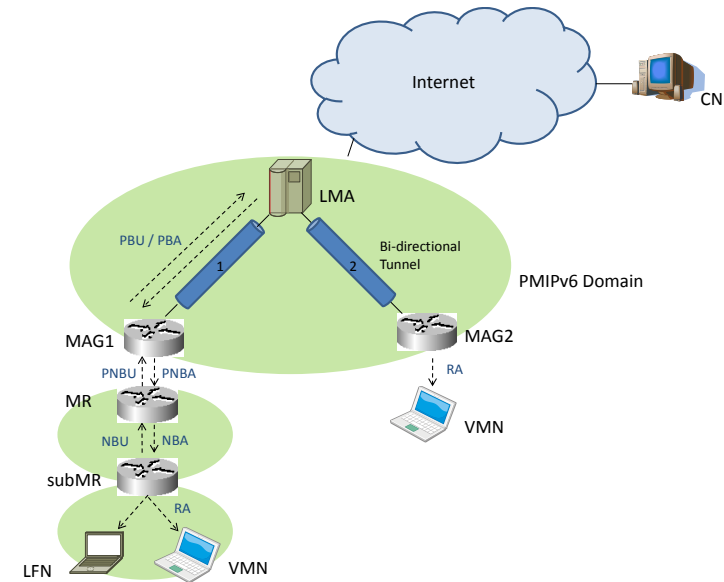


図 3 PNEMO の概要

3.2.1 登録処理: Registration1

図 4 中 (1)~(3) は VMN が MAG に接続する場合の登録処理のメッセージシーケンスを示している . メッセージシーケンスは PMIPv6 と同じとなる .

- (1) MAG は VMN の接続を検知すると MN-ID を取得し , MN-ID を含んだ PBU を LMA に送信する .
- (2) LMA は PBU を受信すると BCE を生成する . また HNP を割り当て , 双方向トンネルを確立する . その後 , MAG に PBA を送信する .
- (3) MAG は PBA を受信すると , VMN に HNP を広告するため Router Advertisement (RA) を送信する .

3.2.2 登録処理: Registration2

図 4 中 (4)~(8) は VMN が MR に接続する場合の登録処理のメッセージシーケンスを示している . MR は接続した VMN の情報を PMIPv6 ドメインに通知するため , 新たに定義した NBU・NBA を交換する .

- (4) MR は VMN の接続を検知すると MN-ID を取得する . MR は自身の MN-ID を Up-

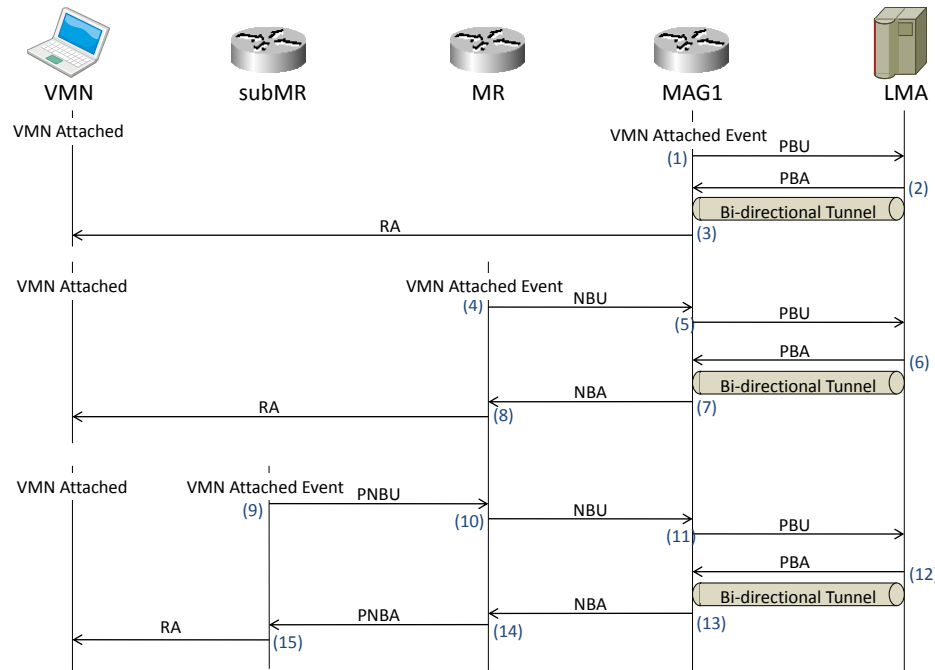


図 4 登録処理時のメッセージシーケンス

per Router Identifier option に格納する。さらに VMN の MN-ID を格納した NBU を MAG に送信する。

- (5) MAG は NBU を受信すると、VMN の BULE を生成する。このとき BULE の Upper Router Identifier field に MR の MN-ID を登録する。その後、PBU を LMA に送信する。
- (6) LMA は PBU を受信すると VMN の BCE を生成する。VMN の BCE の Upper Router Identifier field には MR の MN-ID を格納する。LMA は HNP を割り当て、双方向トンネルを確立する。その後、MAG に PBA を送信する。
- (7) MAG は PBA を受信すると VMN への経路を MR に設定する。その後、MR に NBA を送信する。

- (8) MR は NBA を受信すると NST に VMN を登録する。HNP を VMN に広告するため RA を送信する。

3.2.3 登録処理: Registration3

図 4 中 (9) ~ (15) は VMN が subMR に接続する場合の登録処理のメッセージシーケンスを示している。MR は NBU を受信すると、その情報をより上流の MR もしくは MAG に通知するために、NBU の P フラグをセットした Proxy Nested Binding Update (PNBU) を送信する。

- (9) subMR は VMN の接続を検知すると MN-ID を取得し、subMR 自身の MN-ID と VMN の MN-ID を含む NBU を MR に送信する。
- (10) MR は NBU を受信すると VMN を NST に登録する。MR 自身の MN-ID、subMR の MN-ID、VMN の MN-ID を含む PNBU を MAG に送信する。
- (11) MAG は PNBU を受信すると、VMN の BULE を生成する。このとき BULE の Upper Router Identifier field に MR と subMR の MN-ID を登録する。その後、PBU を LMA に送信する。
- (12) LMA は PBU を受信すると VMN の BCE を生成する。VMN の BCE の Upper Router Identifier field には MR と subMR の MN-ID を格納する。LMA は HNP を割り当て、双方向トンネルを確立する。その後、MAG に PBA を送信する。
- (13) MAG は PBA を受信すると VMN への経路を MR に設定する。その後、MR に Proxy Nested Binding Acknowledgement (PNBA) を送信する。
- (14) MR は PNBA を受信すると VMN への経路を subMR に設定する。その後、subMR に NBA を送信する。
- (15) subMR は NBU を受信すると NST に VMN を登録する。その後、HNP を VMN に広告するため RA を送信する。

3.2.4 登録処理: Registration4

図 4 中 (1) ~ (3) は VMN が MAG に接続する場合の登録処理のメッセージシーケンスを示しているが、MR が接続した場合も基本的な処理は同じとなる。VMN が接続した場合との違いは LMA で HNP だけでなく MNP も割り当てられることである。

3.3 ハンドオーバー処理

PNEMO におけるハンドオーバー処理について説明する。

以下のハンドオーバー処理について説明する

Handover1 VMN のハンドオーバー

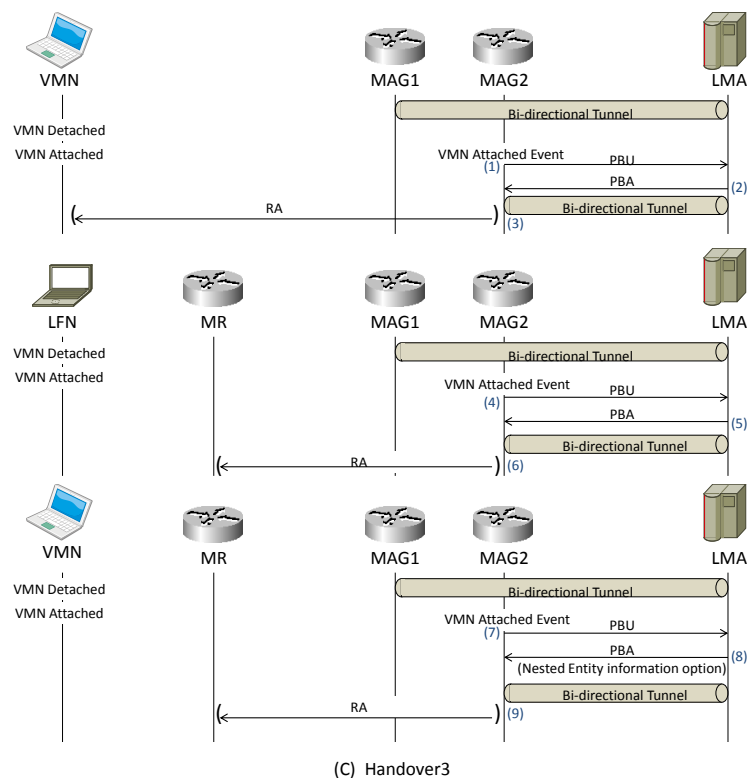


図 5 ハンドオーバー時のメッセージシーケンス

Handover2 MR と LFN が構成するネットワークのハンドオーバー

Handover3 MR と VMN が構成するネットワークのハンドオーバー

図 5 は PNEMO のハンドオーバー時のメッセージシーケンスを表している。また VMN, MR の IP アドレスはハンドオーバー前後で変化しないため、図中 (3) (6) (9) で広告する RA は損失してもハンドオーバーに影響はない。ハンドオーバー時のシグナリングメッセージはすべて MAG と LMA 間の有線ネットワーク上で交換されるため、ハンドオーバー後のリンク状態が不安定であっても安定したハンドオーバー処理が期待できる。

3.3.1 ハンドオーバー処理: Handover1

VMN 単独のハンドオーバー処理は PMIPv6 と同じ処理となる。また図では MAG 間を移動しているが、MR - MAG 間、MR-MR 間のハンドオーバー処理の場合も登録処理と同様の手順となる。

3.3.2 ハンドオーバー処理: Handover2

MR と LFN が構成するネットワークのハンドオーバー処理は PMIPv6 のハンドオーバーと基本的には同じとなる。しかし、(5) で LMA は LFN に広告している MNP を再度割り当てる必要がある。また (6) においても MAG は RA に HNP・MNP の両方を格納して RA を送信する。

3.3.3 ハンドオーバー処理: Handover3

MR と VMN が構成するネットワークのハンドオーバー処理において、(8) で LMA は MR の MN-ID を持つ PBU を受信する。LMA は MR の BCE を更新した後、MR の MN-ID をキーとして BC の Upper Router Identifier field を検索する。その結果、Upper Router Identifier field に MR の MN-ID を持つ VMN の BCE が発見される。LMA はこの VMN の情報を Nested Entity Information option に格納した PBA を MAG に送信する。(9) で MAG は PBA を受信すると、Nested Entity Information option から VMN の BULE を生成し、MR に経路を設定する。これによって、MR と VMN ので構成されたネットワークのハンドオーバー処理が完了する。

4. 実 装

PNEMO は本研究室が開発した PMIPv6⁸⁾ をベースに実装した。PMIPv6 を実現するユーザデーモンプログラムである mip6d を拡張し、Linux2.6.29.5 上に PNEMO を実装した。図 6 に PNEMO のモジュールを示す。

5. 評 価

5.1 基本性能

PNEMO における登録処理・ハンドオーバー処理に時間を測定した。測定は各処理を 10 回測定し、平均値を測定値とした。図 1 に登録処理時間、図 2 にハンドオーバー処理時間を示す。ハンドオーバー処理時間は MAG が MR・VMN に移動を検知してから、RA を送信するまでの時間とする。Registration3 は NBU・NBA, PNBU・PNBA の交換が発生するため、登録処理時間も長くなっている。これより、ネットワークの階層化が深くなるにつれて登録

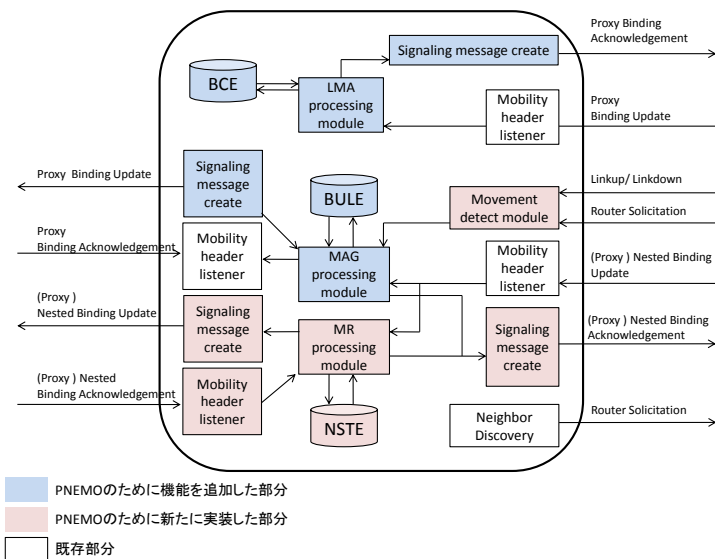


図 6 実装モジュール

表 1 PNEMO の基本性能: 登録処理

	Registration1	Registration2	Registration3	Registration4
処理時間	2.50 msec	3.26 msec	4.19 msec	2.83 msec

表 2 PNEMO の基本性能: ハンドオーバー処理

	Handover1	Handover2	handover3
処理時間	2.44 msec	2.56 msec	2.80 msec

処理時間も長くなっていくと考えられる。

また Registration1 と Registration2 は同じメッセージシーケンスとなるが, Registration4 の処理時間が 0.3 msec 程長くなっている。これは LMA において MNP を割り当てるための処理が発生しているためである。

図 3 既存と既存モビリティプロトコルとの比較である PMIPv6, NEMO BS・NEMO fhm の基本性能を比較した。PNEMO は PMIPv6 と同じ移動をサポートすることができ、また NEMO

表 3 PNEMO と PMIPv6 の処理時間の比較

	PNEMO	PMIPv6
登録処理時間	2.50 msec	2.19 msec
ハンドオーバー処理時間	2.44 msec	2.00 msec

表 4 PNEMO と NEMO BS・NEMO fhm の処理時間の比較

	PNEMO	NEMO BS	NEMO fhm
登録処理時間	2.83 msec	2605.25 msec	2.90 msec
ハンドオーバー処理時間	2.56 msec	1839.69 msec	2.59 msec

BS・NEMO fhm がサポートする移動もサポートすることができる。

図 3 に PNEMO と PMIPv6 の処理時間の比較結果を示す。PNEMO に比べ、PMIPv6 の方が短時間で登録・ハンドオーバーが可能であることが分かるこの原因として、PNEMO はネットワークモビリティを実現するための処理を実装しているからであると考えられる。

次に図 4 に PNEMO と NEMO BS・NEMO fhm の処理時間の比較結果を示す。NEMO BS は DAD 処理を行うため、秒単位の時間が必要となる。NEMO fhm は NEMO BS を高速化したものであり、この DAD 処理を回避している。そのため、PNEMO と NEMO fhm は同程度の処理時間となっている。

以上から PNEMO は許容できる程度の処理時間で移動透過性を提供することができていることが分かる。

5.3 不安定な無線リンクにおけるハンドオーバー

無線リンク状態が不安定な場合の PNEMO と NEMO fhm のハンドオーバー遅延を比較した。無線環境エミュレータ⁹⁾と呼ばれる無線環境をエミュレートできるマシンを用いて、無線区間に 10 % のフレームエラー率を設定した。測定は各処理を 100 回測定し、全ての値をプロットした。図 7 にその結果を示す。

図 7 の横軸は PNEMO・NEMO fhm が受信したシグナリングメッセージを表しており、縦軸は MR の接続を検知した時間を 0 とした時間を表している。NEMO fhm の場合、AR が RS を受信する時間、BU を送信する時間、BA を受信する時間をプロットしている。PNEMO の場合、MAG が PBU を送信する時間と PBA を受信する時間をプロットしている。NEMO fhm は BA を受信したとき、PNEMO は PBA を受信したときをハンドオーバー完了とする。

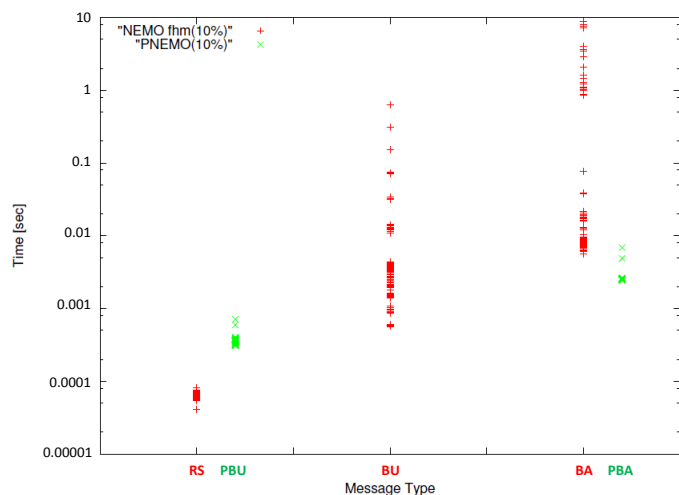


図7 ハンドオーバーの安定性の比較 (フレームエラー率 10%)

NEMO fhm において RS・RA・BU・BA は無線区間を通るため、ハンドオーバー直後の無線状態によってはこれらのメッセージが損失する可能性がある。フレームエラー率 10% においても、ハンドオーバー完了までに秒単位の時間を要することが分かる。

一方 PNEMO は有線区間でのみシグナリングメッセージを交換するので、フレームエラー率に関係なく一定の時間でハンドオーバーすることが可能であることが分かる。

6. おわりに

本研究では Network-based Local Mobility Management に基づく移動ネットワークプロトコルである Proxy Network Mobility Protocol (PNEMO) を提案した。PNEMO は LMA-MAG 間でのみトンネルを確立するプロトコルであるため、関連研究と比較してトンネリングによるヘッダオーバーヘッドを抑制することが可能となる。また有線側でシグナリングメッセージを交換するため、安定したハンドオーバーが可能となる。PNEMO を Linux 2.6.29.5 上に実装し、基本性能を測定した。また既存のモビリティプロトコルである NEMO BS・NEMO fhm・PMIPv6 と比較した。その結果、PNEMO の登録処理時間は 2.5 ~ 4.2msec

程度、ハンドオーバー処理時間は 2.4 ~ 2.8msec 程度であり、無視できるほどの時間であることが分かった。また、無線リンクが不安定な状況において NEMO fhm と PNEMO を比較した。NEMO fhm はパケットロスにより、秒単位のハンドオーバー遅延を発生する場合もあったが、PNEMO は安定したハンドオーバーが可能であった。

我々は PNEMO を IETF に Internet Draft として提案しており、現在も進行中である¹⁰⁾。

参考文献

- 1) Tetsuya Arita and Fumio Teraoka. Providing a High-Speed Train with a Broad-band NEMO Environment. In *Proceedings of AINTEC 2010*, November 2010.
- 2) Shinichiro Haruyama, Hideki Urabe, Tomohiro Shogenji, Shoichi Ishikawa, Masato Hiruta, Fumio Teraoka, Tetsuya Arita, Hiroshi Matsubara, and Shingo Nakagawa. New Ground-to-Train High-Speed Free-Space Optical Communication System with Fast Handover Mechanism. In *Optical Fiber Communication Conference, 2011 and the 2011 National Fiber Optic Engineers Conference*.
- 3) V. Devarapalli, R. Wakikawa, A. Petrescu, and P. Thubert. Network Mobility (NEMO) Basic Support Protocol. RFC3963, *IETF*, Jan. 2005.
- 4) S.Gundavelli, K.Leung, V.Devarapalli, K.Chowdfury, and B.Patil. Proxy Mobile IPv6. RFC5213, *IETF*, Jun. 2008.
- 5) Ignacio Soto, CarlosJ. Bernardos, Maria Calderon, Albert Banchs, and Arturo Azcorra. Nemo-enabled localized mobility support for internet access in automotive scenarios. *Comm. Mag.*, Vol.47, No.5, pp. 152-159, 2009.
- 6) Zhiwei Yan, Sidong Zhang, Huachun Zhou, Hongke Zhang, and Ilsun You. Network mobility support in pmipv6 network. In *IWCMC '10: Proceedings of the 6th International Wireless Communications and Mobile Computing Conference*, pp. 890-894, New York, NY, USA, 2010. ACM.
- 7) CJ. Bernardos, M.Calderon, and I.Soto. PMIPv6 and Network Mobility Problem Statement. Internet-Draft draft-bernardos-netext-pmipv6-nemo-ps-01, Internet Engineering Task Force, October 2009. Informational.
- 8) Mathieu Poulain, 寺岡文男. Linux 環境への PMIPv6 の実装と評価. 信学技報, March 2009.
- 9) 神谷弘樹, 渋井理恵, 寺岡文男. IP モビリティ実験のための無線環境エミュレータの試作. 情報処理学会 マルチメディア通信と分散処理 研究報告 No.118, pp. 19-24, June 2004.
- 10) T.Arita and F.Teraoka. Proxy Network Mobility Protocol. Internet-Draft draft-arita-netext-pnemo-00, Internet Engineering Task Force, October 2010.