

NTMobileを用いたネットワークモビリティの提案

廣瀬 達也^{1,a)} 鈴木 秀和¹ 内藤 克浩² 渡邊 晃^{1,b)}

概要: 公衆無線網の発達により、自由に通信が開始できる通信接続性と移動しながら通信ができる移動透過性が求められている。一方、スマートフォンなどの小型端末の普及により、ネットワークを利用する場面が多様化し、バスや電車内でネットワークに接続する場面が考えられる。このような場面ではネットワーク自体が移動するため、上位のネットワークが切り替わることによって通信が継続できなくなる。我々は通信接続性と移動透過性を端末単位で実現できる技術としてNTMobile (Network Traversal with Mobility)を提案している。しかし、NTMobileではネットワーク単位の移動についてはまだ実現できていなかった。そこで、本稿ではNTMobileを拡張して、ネットワーク単位の移動通信を実現する手法を提案する。

キーワード: ネットワークモビリティ, 移動透過性

1. はじめに

高速無線技術の発展やスマートフォンをはじめとする携帯端末の普及により、ユーザがインターネットを利用する機会が飛躍的に増加している。そのため、IPv4 ネットワークを設計した当初の想定をはるかに越えるネットワーク環境となっており、グローバル IP アドレスの枯渇が大きな問題となっている。今後 IPv6 への移行が必須であると言われているが、IPv4 と IPv6 はお互いに互換性がないため、IPv6 への移行が進んでいない。そのため、IPv4 アドレスは半永久的に利用され続けると考えられる。このような背景から、本論文では IPv4 ネットワークを中心に議論することとする。

ところで、移動端末の普及によりユーザが移動しながら通信を行う場面が増加している。また、携帯網におけるトラフィックの増大により、Wi-Fi フリースポットなどを利用し Wi-Fi にトラフィックを逃す Wi-Fi オフロードの要求が高まっている。しかし、IP ネットワークでは通信端末のインタフェースに割り当てられる IP アドレスを端末の識別情報と位置情報の両方に使用している。端末の移動やネットワークの切り替えによって IP アドレスが変化すると通信を継続することが出来ない。このことから、通信中

にネットワークを切り替えることができる移動透過性技術は今後も重要な技術である。

一方、ユーザがネットワークを利用する場面が多様化している。利用場面の一つとして、電車内やバスなどの公共交通機関にネットワークを構築し、そのネットワーク自体が移動するという状況が考えられる。このような場面ではネットワークの境界に位置するモバイルルータが、配下の複数の端末に代わって移動透過性を提供しネットワーク内のアドレスをそのまま維持させる方法が提案されている。このような技術はネットワークモビリティと呼ばれている。

モバイルルータが接続する上位のネットワークが 3G や LTE などの場合、IP アドレスが変化しないためルータが移動しても通信を継続することができる。しかし、携帯網は一般に回線容量が少ないため、ユーザに十分な速度を提供することが出来ない。また、現在の LTE では通信量が 7GB を超過すると通信速度が制限されるキャリアが多い。そのため、モバイルルータが接続する上位のネットワークは、可能な限り Wi-Fi などで接続する方法が望まれる。

ユーザが通信中に移動ネットワークの中と外を移動するという場面も考えられる。このような場面においても移動透過性を実現できると、ユーザは移動ネットワークを意識せずに通信を継続することができるため有用である。

IPv4 ネットワーク単位の移動透過性技術として、Mobile IPv4 (以後、MIPv4) [1] を拡張した Network Mobility Extensions for Mobile IPv4 (以後 NEMOv4) [2] が標準化されている。しかし、NEMOv4 では移動ネットワーク内に存在する端末に対してグローバル IP アドレスを配布する必要がある。IPv4 ではアドレス枯渇問題があるため、グ

¹ 名城大学理工学研究科
Graduate School of Science and Technology, Meijo University

² 三重大学大学院工学研究科
Graduate School of Engineering, Mie University

a) tatsuya.hirose@wata-lab.meijo-u.ac.jp

b) wtnbakr@meijo-u.ac.jp

ローカル IP アドレスを大量に消費することは可能な限り避けることが望ましい。

また、NEMOv4 以外のネットワーク単位の移動透過性技術として MAT-MONET[3], Mobile NPC[4] が挙げられる。これらの提案は通信相手が一般端末の場合、移動透過性を実現できない課題がある。

我々は端末単位で通信接続性と移動透過性を実現する技術として NTMobile(Network Traversal with Mobility)[5], [6], [7], [8] を提案している。NTMobile では、NTMobile を実装した端末上のアプリケーションに移動によって変化しない仮想 IP アドレスを提供する。実際の通信は実 IP アドレスでカプセル化して通信を行うことにより、通信接続性と移動透過性を同時に実現する。

NTMobile は、端末単位の機能を実現している利点があるが、ネットワークモビリティは実現できていない。そこで、本稿では NTMobile を拡張し、ネットワークモビリティを実現する手法を提案する。ネットワークの境界に専用のルータ NTMobile Router(以後 NTMR) を新たに導入し、配下の端末に変わって NTMobile の機能を代行する。本提案方式では NTM 端末が移動ネットワークの中と外を移動した場合でも通信を継続することが出来る。

以下、2 章に既存技術、3 章に NTMobile の概要を説明する。そして、4 章で提案方式を、5 章で実装方針を述べ、6 章でまとめる。

2. 既存技術

NEMOv4 は端末単位の移動透過性を実現する MIPv4 を拡張して、ネットワーク単位の移動透過性を実現する技術である。MIPv4 は移動端末の IP アドレスの変化を管理する Home Agent(HA) が必要になる。端末が移動したとき、HA に対して移動後の情報を通知する。HA は移動後の情報を元に、通信相手から送られてくるパケットを MN に対しカプセル化して転送することにより、移動透過性を実現している。しかし、MIPv4 では必ず HA を介した通信をするため通信経路が冗長になる。HA の二重化が検討されておらず、HA が障害を起こすと、配下の端末がすべて通信できなくなる。NEMOv4 は MIPv4 のエンドノードの機能を MR (Mobile Router) が代行してトンネル構築処理などを行う。しかし、NEMOv4 ではネットワーク内のアドレスがグローバルアドレスである必要がある。また、HA の一点障害など MIPv4 の課題を引き継がれてしまう。

MIPv4 に対応した端末の場合、通信を継続しながら MR のネットワークの内外を移動することができる。しかし、端末が作成するトンネルに対して MR が更にトンネルを作成する状態になる。そのため、HA を複数経由することで経路が冗長となりスループットが低下する課題がある。NEMOv4 では経路最適化が定義されている [9]。しかし、通信開始側、通信相手側の MR が共にプライベートネット

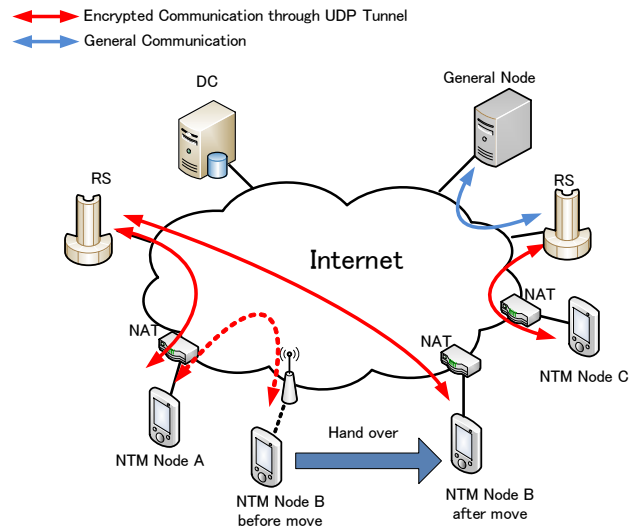


図 1 NTMobile の概要

Fig. 1 Overview of NTMobile.

ワークに属している場合、経路最適化が行えないという課題がある。

3. NTMobile

図 1 に NTMobile の構成を示す。NTMobile では、構成要素として、NTMobile 機能を実装した端末、NTM 端末の端末情報の管理とトンネルの経路指示を出す DC (Direction Coordinator), NTM 端末と一般端末を中継する RS (Relay Server) がある。DC や RS はグローバルネットワーク上に設置し、ネットワークの規模に応じて任意の場所に複数設置することができる。以後の説明では、NTM 端末 X の実 IP アドレスと仮想 IP アドレスをそれぞれ RIP_X , VIP_X , アドレス情報を管理する DC を DC_X とする。また、通信開始側の端末を MN (Mobile Node), 通信相手端末を CN (Correspondent Node), 一般端末を GN (General Node) とする。

3.1 NTMobile の概要

NTM 端末はネットワークから取得する実 IP アドレスと DC から割り当てられる仮想 IP アドレスの 2 つを保持する。NTM 端末のアプリケーションは、仮想 IP アドレスを自身および相手のアドレスとして認識する。仮想 IP アドレスで生成されたパケットは、NTM 端末間で構築した UDP トンネルによって転送される。このとき、NTM 端末のどちらか一方がグローバルネットワークに接続されていれば必ずエンドツーエンドのトンネル経路が生成される。MN と CN が異なる NAT 配下にある場合は RS を介したトンネル経路が生成される。ただし、この場合でも、NAT の種類によってはエンドツーエンドの通信に切り替えることが可能である [10]。

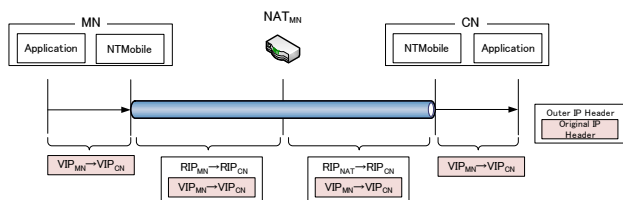


図 2 トンネル通信時のアドレス遷移

Fig. 2 Address translation of the tunnel communication.

3.2 NTMobile のトンネル構築手順

MN は通信に先立ち、自身の DC_{MN} に対して、名前解決処理依頼とトンネル構築指示を要求する。 DC_{MN} はトンネル構築指示を受信すると、MN と CN に対してトンネル構築を指示する。 MN と CN は指示に従ってトンネル構築を完了する。

3.3 トンネル通信

図 2 にパケットのアドレス遷移を示す。 MN は実 IP アドレスにより、アプリケーションが生成した仮想 IP パケットをカプセル化して送信する。 カプセル化した際に、IP ヘッダ、UDP ヘッダに加えて NTMobile 特有の NTM ヘッダが付加される。 CN はカプセル化されたパケットを受信すると、IP 層でデカプセル化処理を行い、抽出したパケットを上位アプリケーションに渡す。 NAT では外側の IP ヘッダと UDP ヘッダの部分がアドレス、ポート変換されるだけであり、アプリケーションは NAT を意識することなく通信を行うことができる。

3.4 ハンドオーバー時の動作

MN が通信中にネットワークを切り替えた場合、MN と CN の間で通信開始時と同じトンネル構築処理を行う。 MN と CN のアプリケーションは、仮想 IP アドレスによりパケットを生成しているため、実 IP アドレスが変化してもトンネル経路が切り替わるだけで通信を継続することができる。

4. 提案方式

提案方式では移動ネットワーク内の一般端末に代わって NTM 端末の処理を実行するモバイルルータ NTMR を導入する。 NTMR は配下の端末が一般端末の場合、NTM 端末に代わってカプセル化/デカプセル化処理およびアドレス変換処理を行う。 トンネル構築手順は NTMobile のトンネル構築手順と同じである。 そのため、通信相手が一般端末の場合、RS 経由で通信を継続することができる。 一方、配下の端末が NTM 端末の場合、NTM 端末が移動透過性技術を有するため NTMR は単なる NAT として動作する。 このように、移動ネットワーク内の端末が一般端末か NTM 端末かによって NTMR の動作が異なる。 以下に

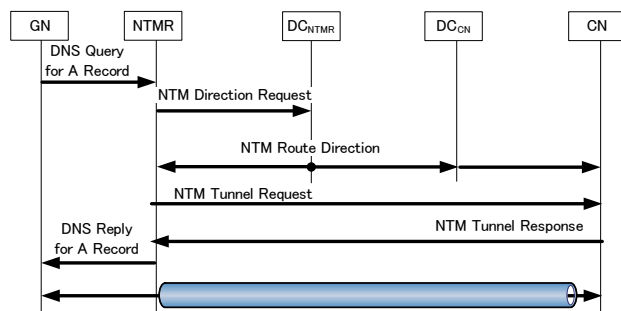


図 3 ネットワーク内が一般端末の場合のトンネル構築手順

Fig. 3 Tunnel establishment procedure when General Node is under NTMR.

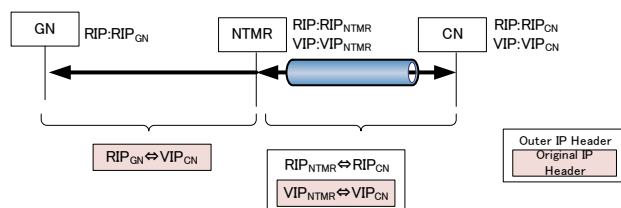


図 4 GN と CN 間のアドレス遷移の様子

Fig. 4 Address translation between GN and CN.

それぞれの場合についてトンネル構築手順を述べる。

4.1 トンネル構築手順

4.1.1 一般端末の場合

図 3 に NTMR 配下にいる一般端末 GN と外部ネットワーク上の CN 間のトンネル構築手順を示す。 NTMR は GN が送信する DNS クエリをトリガとして、CN の名前解決処理およびトンネル構築依頼をするため、 DC_{NTMR} に対し NTM Direction Request を送信する。 DC_{NTMR} はこれを受信すると、トンネル構築に必要な情報を載せた NTM Route Direction を MN と CN に送信する。 NTMR と CN はこれを受けて NTM Tunnel Request/NTM Tunnel Response をお互いに交換し、トンネルを構築する。 その後、NTMR は DNS クエリの応答として、CN の仮想 IP アドレス VIP_{CN} を GN に通知する。 これによって、GN は VIP_{CN} を通信相手の仮想 IP アドレスとして認識する。 以上の動作により NTMR と CN 間でトンネルを構築することができる。 NTMR がネットワークを切り替えた場合は、NTMR と CN 間でトンネルを再構築することにより、GN はそのことに気がつくことなく通信を継続することができる。

図 4 に GN と CN 間のパケットのアドレス遷移を示す。 GN は VIP_{CN} 宛のパケットを送信する。 NTMR は GN から送られたパケットを受信すると、送信元を自身の仮想 IP アドレス VIP_{NTMR} に書き換える。 その後、NTMR の実 IP アドレスでカプセル化処理を行い、CN へ送信する。 また、NTMR が CN からパケットを受信すると、デカプセル

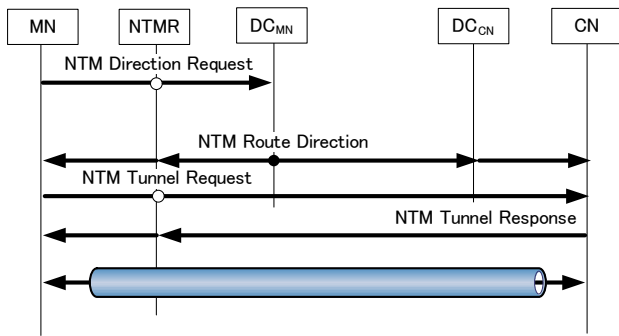


図 5 ネットワーク内が NTM 端末の場合のトンネル構築手順
Fig. 5 Tunnel establishment procedure of NTM Node inside NTM node.

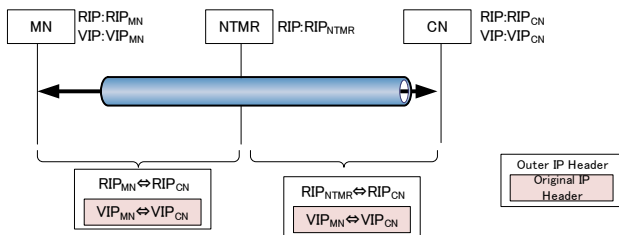


図 6 MN と CN 間のアドレス遷移
Fig. 6 Address transration between MN and CN.

化処理を行った後、宛先を VIP_{NTMR} から GN の実 IP アドレス RIP_{CN} に書き換えてパケットを送信する。NTMR と CN 間では NAT ルータなどにより IP アドレスが変化した場合でも、外側の IP アドレスだけ変化するため、内側の仮想 IP アドレスを基にした通信には影響を与えない。

4.1.2 NTM 端末の場合

図 5 に NTMR 配下にいる MN と CN 間のトンネル構築手順を示す。MN は NTMobile によるトンネルを構築する。この場合 NTMR は単なる NAT として動作する。そのため、トンネル構築シーケンスは通常の NTMobile と全く同様である。

図 6 にネットワーク内の端末が NTM 端末のときのアドレス遷移の様子を示す。MN のアプリケーションが生成したパケットを実 IP アドレスでカプセル化を行い、CN へ向けて送信する。

4.2 NTMR が移動した場合

図 7 に NTMR が移動した場合のトンネル構築手順を示す。このとき、移動ネットワーク内の端末は NTMR が移動したことを判断することができない。しかし、GN は CN と直接トンネルを構築しているのではなく、NTMR が GN の代わりにトンネルを構築しているので、移動を知る必要はない。

一方、MN と CN はトンネルを再構築する必要があるため、NTMR の移動を知る必要がある。そのため、移動後の NTMR の情報を載せた NTMR Address Notification

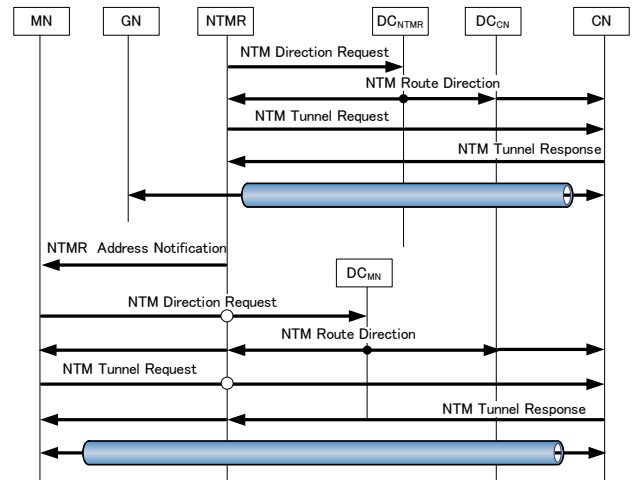


図 7 NTMR が移動した時のトンネル構築手順
Fig. 7 Tunnel establishment procedure when NTMR moves.

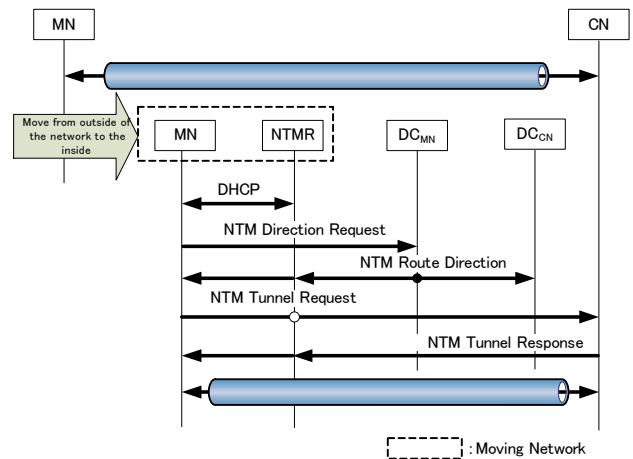


図 8 移動ネットワークの外から中に移動するときのトンネル構築手順

Fig. 8 Tunnel establishment procedure when MN moves from the outside of the network to the inside.

をネットワーク内にブロードキャストする。NTM 端末はこのメッセージを受け取ると MN と CN 間でトンネルの再構築処理を行う。

4.3 移動ネットワークの中と外の移動

図 8 に NTM 端末が移動ネットワークの外から中に移動したときのトンネル構築手順を示す。MN と CN は既に通信を開始しているものとする。MN が移動ネットワーク内に移動すると、MN は NTMobile の動作に基づきトンネルの再構築処理を行う。このとき、NTMR は NAT として動作する。MN が移動ネットワーク内から移動ネットワーク外に移動した場合においては NTMobile の通常の動作に基づき、通信が継続される。

5. 実装

提案方式に基づき NTMR の実装方法の検討を行った。

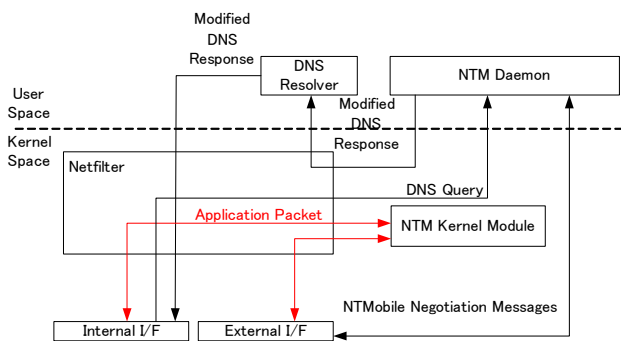


図 9 NTMR のモジュール構成
Fig. 9 Module configuration in NTMR.

NTMR では NTM 端末を拡張することによって実装を行う。NTM 端末にはトンネル構築処理を行う NTM デーモンとカプセル化/デカプセル化処理を行う NTM カーネルモジュールで構成される。ただし、NTMR ではカプセル化/デカプセル化処理のフローが NTM 端末と異なる。図 9 に NTMR のモジュール構成図を示す。

カプセル化/デカプセル化処理の流れ

配下端末が送信したパケットを Netfilter でフックし、NTM カーネルモジュールでカプセル化処理を行った後、CN に対して送信する。NTMR でアドレス変換を行うとき、Linux の Netfilter を利用する。この仕組みによって送信するパケットのアドレス、ポート変換を行うことが出来る。使用していないポートを自動的に選択することが出来る。

トンネル構築トリガー

配下端末が送信する DNS クエリを NTM デーモンに渡すことによりトンネル構築処理を開始する。

6. まとめ

NTMobile を拡張したネットワークモビリティを実現するため、ネットワークモビリティを提供する NTMR を新たに導入した。NTMR の配下の端末が一般端末の場合、端末が変わって NTMobile の機能を代行することにより移動透過性を提供する。NTMR が一般端末から送られるパケットをアドレス変換し、NTMobile に基づいたトンネル通信によって通信相手と通信する。NTMR が移動した場合、NTMR の実 IP アドレスが変化するので NTMR と CN が NTMobile 処理を実行することにより通信を継続することができる。また、NTMR の配下端末が NTM 端末の場合、NTMR は単なる NAT として動作する。NTM 端末は通常の NTMobile に基づくトンネルを通信相手との間に構築して通信を行うことにより移動透過性を確保できる。NTM 端末では移動ネットワークの中と外を移動した場合でも、エンド端末間で NTMobile によるトンネルの再構築を行うことによって通信を継続することが可能である。

参考文献

- [1] Perkins, C.: IP Mobility Support for IPv4, Revised, RFC 5944, IETF (2010).
- [2] Leung, K., Dommety, G., Narayanan, V. and Petrescu, A.: Network Mobility (NEMO) Extensions for Mobile IPv4, RFC 5177, IETF (2008).
- [3] 相原玲二, 藤田貴大, 岸場清悟: 常に最適経路で通信を行う移動透過アーキテクチャ MAT の性能評価, インターネットコンファレンス論文集, Vol. 2006, pp. 13-20 (2006).
- [4] 坂本順一, 鈴木秀和, 伊藤将志, 宇佐見庄五, 渡邊 晃: プライベートアドレスによるネットワークモビリティを実現する Mobile NPC の提案, 情報処理学会論文誌, Vol. 50, No. 10, pp. 2543-2555 (2009).
- [5] 鈴木秀和, 上醉尾一真, 水谷智大, 西尾拓也, 内藤克浩, 渡邊 晃: NTMobile における通信接続性の確立手法と実装, 情報処理学会論文誌, Vol. 54, No. 1, pp. 367-379 (2013).
- [6] 内藤克浩, 上醉尾一真, 西尾拓也, 水谷智大, 鈴木秀和, 渡邊 晃, 森香津夫, 小林英雄: NTMobile における移動透過性の実現と実装, 情報処理学会論文誌, Vol. 54, No. 1, pp. 380-393 (2013).
- [7] 上醉尾一真, 鈴木秀和, 内藤克浩, 渡邊 晃: IPv4/IPv6 混在環境で移動透過性を実現する NTMobile の実装と評価, 情報処理学会論文誌, Vol. 54, No. 10, pp. 2288-2299 (2013).
- [8] 土井敏樹, 鈴木秀和, 内藤克浩, 渡邊 晃: NTMobile におけるドレス変換型リレーサーバの実装と動作検証, 情報処理学会研究報告, Vol. 2013-MBL-67, No. 11, pp. 1-6 (2013).
- [9] A. Makela, J. K.: Home Agent-Assisted Route Optimization between Mobile IPv4 Networks, RFC 6521, IETF (2012).
- [10] 納堂博史, 鈴木秀和, 内藤克浩, 渡邊 晃: NTMobile における自立的経路最適化の提案, 情報処理学会論文誌, Vol. 54, No. 1, pp. 394-403 (2013).