

平成26年度 修士論文

和文題目

**NTMobileを用いたネットワークモビリティの
提案と実装**

英文題目

**Proposal of Network Mobility using NTMobile and
its Implementation**

情報工学専攻 渡邊研究室
(学籍番号: 133430014)

廣瀬 達也

提出日: 平成27年1月29日

名城大学大学院理工学研究科

概要

モバイルネットワークの普及により、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シーンが多様化し、バスや電車でネットワークに接続する場面が考えられる。このようなシーン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、本研究では 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し、実装方針を立てた。

目次

第 1 章	はじめに	1
第 2 章	既存技術	3
2.1	MIPv4 の概要	3
2.2	NEMOv4 の概要	3
第 3 章	NTMobile	5
3.1	概要	5
3.2	接続方法	6
3.2.1	端末情報の登録	6
3.2.2	名前解決	6
3.2.3	トンネル構築	6
3.3	トンネル通信	7
3.3.1	NTM 端末がハンドオーバーした時の動作	8
第 4 章	提案手法	9
4.1	トンネル構築手順	9
4.1.1	NTMR の配下が一般端末の場合	9
4.1.2	NTMR の配下が NTM 端末の場合	10
4.2	NTMR がハンドオーバーした時の動作	11
4.3	移動ネットワークの中と外の移動	12
第 5 章	実装	14
5.1	実装方針	14
5.1.1	変更内容	14
第 6 章	評価	17
6.1	既存技術との比較	17
第 7 章	まとめ	18
	謝辞	19
	参考文献	20
	研究業績	21

第1章 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。JPNIC [1] によると、2011 年 4 月をもって JPNIC が管理する IPv4 アドレスの割り振りは終了している。このため、解決策として IPv6 への移行が必須であると言われているが、IPv4 と IPv6 は互換性がないため、IPv6 への移行が進んでいない。そのため、IPv4 アドレスは今後も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、今後も IPv4 ネットワークが利用し続けられると考え、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。

今日、スマートフォンやタブレットと言った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。そのため、携帯網におけるトラフィックが増大し、Wi-Fi フリースポットなどを利用しインターネットへ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 [2]。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。そのため、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できない。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と考えられる。

一方、ユーザが様々な場所でネットワークを利用するシチュエーションが多くなっている。利用シチュエーションの一つとして、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一般的である。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できない。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。電車やバスなどの公共交通機関は常に同じルートを通って運行するため、道路上に Wi-Fi のアクセスポイントを設置し、モバイルルータが Wi-Fi に接続することで回線容量を確保することができる。しかし、先述の 3G や LTE と異なり、Wi-Fi はルータをまたがる移動で IP アドレスが変化するため、移動透過性が必須である。他にも、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。また、電車内などでユーザが通信する場合、動画サイトなど通信相手が一般のサーバであると考えられる。そのため、本論文では通信相手が一般端末の場合に関して述べる。

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) [3] を拡張した Network

Mobility Extensions for Mobile IPv4（以後 NEMOv4）[4] 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、グローバル IP アドレスを大量に消費することは可能な限り避けるのが望ましい。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 [5]、Mobile NPC [6] 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という課題がある。

現在、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）[7-11] を提案されている。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。端末のアプリケーションは仮想 IP アドレスを通信相手の IP アドレスと認識して通信を行う。アプリケーションで生成した仮想 IP アドレスを NTMobile の機能により実 IP アドレスでカプセル化し、通信相手に送信する。仮想 IP アドレスはネットワークの切り替えや実ネットワークアドレスの変化による影響を受けないため、アプリケーションは実ネットワークの制約を気にする必要が無い。

現在の NTMobile は、端末単位の移動透過性を実現しており、動作検証もしているが、ネットワーク単位の移動透過性は実現できていない。そこで、本論文では 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。新たにネットワークの境界に専用のルータ NTMobile Router（以後 NTMR）を導入する。NTMR が生成するネットワーク内はプライベート IP アドレスを配布し、NTMR 内の一般端末に代わって、NTMobile の機能を代行する。NTMR が通信相手と NTMobile に基づく通信を行うことで、一般端末に代わってパケットのカプセル化、デカプセル化処理を実行する。また、NTMR は NAT としての機能を持つため、アドレス変換機能を新たに追加する。NTMR 内の一般端末が通信しているときに NTMR が移動した場合、通信相手は NTMR の仮想 IP アドレスを通信相手として認識しているため、移動による影響を受けない。そのため、NTMR 内の一般端末は通信を継続することができる。NTMR 内の端末が NTMobile の機能を実装した NTM 端末の場合は NTMR はただの NAT（Network Address Translation）として動作することで NTM 端末の動作を阻害することなく移動透過性を実現することができる。他に、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できる。

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 章で実装を述べ、6 章で評価、7 章でまとめる。

第2章 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。そこで、MIPv4 の概要を説明した後 NEMOv4 について述べる。

2.1 MIPv4 の概要

図 1 に MIPv4 における通信の様子を示す。MIPv4 の機能を実装した移動端末 MN (Mobile Node) は端末識別子として移動によって変化しないホームアドレス HoA (Home Address) と位置識別子として移動先ネットワークから割り当てられる気付けアドレス CoA (Care of Address) を持つ。管理装置として、移動端末の IP アドレスや IP アドレスの変化を管理する HA (Home Agent) がある。通信相手端末 CN (Correspondent Node) は MN の IP アドレスとして HoA を認識して通信を行う。MN が通信中に移動したとき、MN は移動先ネットワークから CoA を取得し、HA に対して新しい CoA の登録をする Registration Request を送信する。MN からのパケットは送信元アドレスを HoA として、CN へ送信する。しかし、通信経路上のルータが Ingress Filtering [12] を行っている場合、HoA はネットワークの位置を正しく示していないため、送信元 IP アドレスを HoA に偽装した MN から CN 宛のパケットが破棄される恐れがある。そこで、MN が CN へパケットを送信するとき、MN と HA 間でトンネルを構築して送信し、一度 HA が代理受信した後、HA から CN へ転送する手法が標準化されている [13]。そのため、MN が HA に送信するパケットは送信元アドレスが MN の CoA となり、宛先が HA となる。CN から送られるパケットは HA で代理受信し、パケットを MN の CoA 宛の IP ヘッダでカプセル化して MN に転送する。

MIPv4 では先述の通信の流れにより必ず HA を介した通信をする経路冗長化問題や、HoA を IPv4 グローバルアドレスにする必要があるため、IPv4 枯渇問題に逆行する課題がある。また、HA が端末の位置管理やパケットの中継機能を行っているため、HA で障害が発生すると、MIPv4 の機能を提供することが出来なくなる、一点障害が発生する課題がある。

2.2 NEMOv4 の概要

図 2 に NEMOv4 における通信の様子を示す。NEMOv4 は MIPv4 のエンドノードの機能を特殊なルータである MR (Mobile Router) が代行して MIPv4 で実行するトンネル構築処理などを行う。NEMOv4 では MR が HA に対して MR の HoA, CoA, MR が管理する移動ネットワークの Prefix 情報を通知する。通知を受け取った HA は MR の HoA と CoA の対応関係を管理する。MR の移動により CoA のアドレスが変わった場合、HA に対して更新を通知し、HA は MR の HoA と CoA の対応表を更新する。MR は MIPv4 と同様に MR と HA 間でトンネル通信を行う。MR の配下端末の GN (General Node) が通信中に MR が移動したとき、MR は HA に対して移動後のアドレス情報を通知し、移動先ネットワークから新しい CoA を取得す

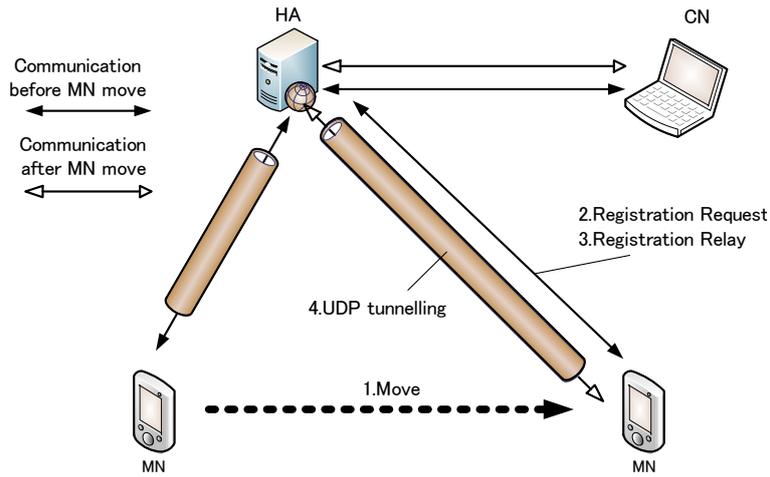


図1 MIPv4の概要

る。HAはMRが移動した後の情報をHAに通知し、HAは自身のデータベースからMRのHoAとCoAの対応表を更新する。CNが送信するパケットをHAはMIPv4と同様に自身の持っている対応表を元に、MRに対してカプセル化して転送する。MRはカプセル化したパケットをデカプセル化しGNへ転送する。

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の課題が引き継がれる課題がある。

また、NEMOv4ではHAを経由しない方法が提案されている[14]。ただし、通信開始側、通信相手側両方が同一のHAで管理されている場合しか経路最適化が行われない課題がある。

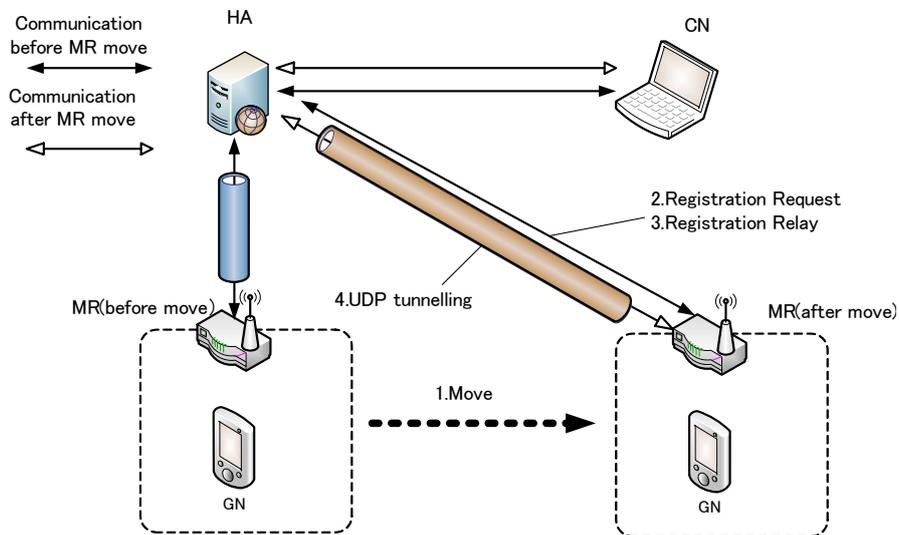


図2 NEMOv4の概要

第3章 NTMobile

本章では、ノード単位で通信接続性と移動透過性を実現する NTMobile について説明する。

3.1 概要

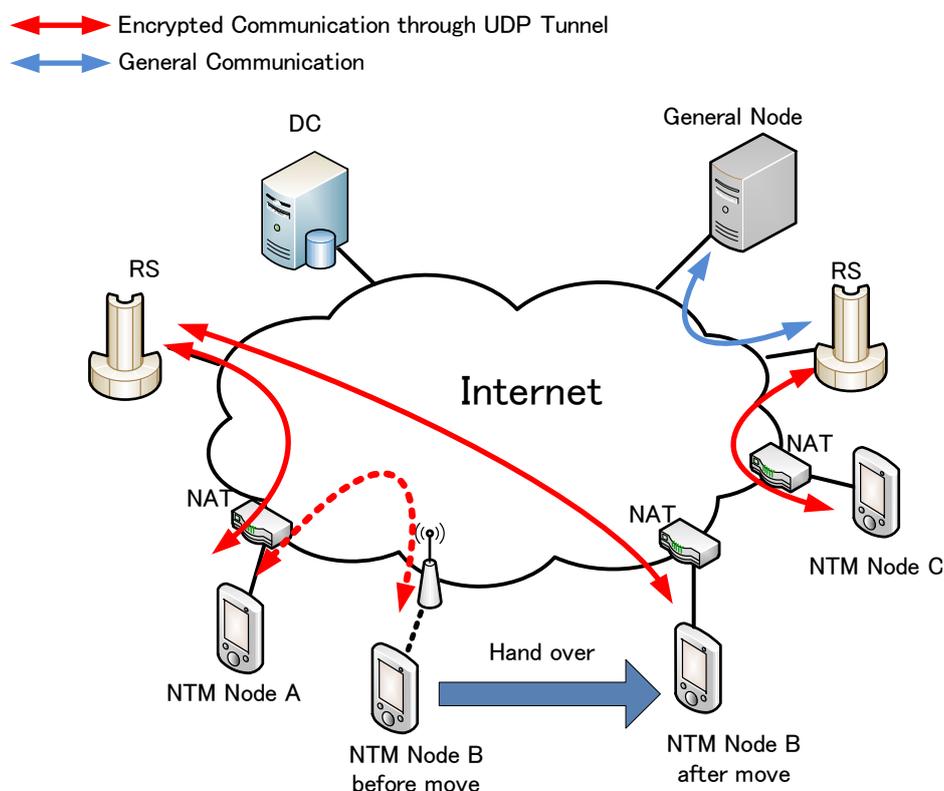


図3 NTMobile の概要

図3に NTMobile の構成を示す。NTMobile では、構成する要素として、NTMobile 機能を実装した端末である NTM 端末、NTM 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、トンネル構築時において、DC が複数の RS の中から通信経路や通信負荷を指標として最適な RS を選択できるように設計されている [15, 16]。

DC は DNS の機能を含んでおり、NTM 端末に対する仮想 IP アドレスの割り当てやトンネル構築指示を行う。DC が各 NTM 端末に割り当てる仮想 IP アドレスは一意であり、各 DC に割り当てられた仮想 IP アドレスプールから重複が起きないように割り当てる [17]。

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 つの IP アドレスを保持する。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通信相手端末の IP 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 端末間で構築された UDP トンネルによって転送される。このとき、NTM 端末間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、必ず直接通信のトンネル経路が生成される。

NTM 端末は基本的に直接通信を行うが、直接通信ができない場合は RS を経由して通信を行う。RS は NTM 端末が異なる NAT 配下に存在する場合や、NTMobile を実装していない一般端末と行う場合、通信の中継として機能する。DC と各端末は信頼関係があることを前提としており、NTMobile で用いる制御メッセージは、あらかじめ各端末間で共有している共通鍵を用いて暗号化される。また、NTM 端末間、NTM 端末と RS 間でやりとりされるメッセージは、トンネル構築時に DC から配布される共通鍵を利用し暗号化される。

3.2 接続方法

NTM 端末 MN (Mobile Node) と NTMobile を実装していない一般端末 GN (General Node) のトンネル構築手順を図 4 に示す。以後の説明では、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 とする。また、端末 X のアドレス情報を管理している DC を DC_X 、端末 X の FQDN を $FQDN_X$ 、GN の FQDN と IP アドレスの関係を管理する DNS サーバを DNS_{GN} とする。

3.2.1 端末情報の登録

NTM 端末はネットワーク接続時に自身のアドレス情報を DC に対して登録する。DC は自身のデータベースに NTM 端末の情報を登録するとともに、NTM 端末に対して仮想 IP アドレスを割り当てる。

3.2.2 名前解決

MN は GN の名前解決をトリガーとして DC_{MN} にむけて $FQDN_{GN}$ を載せた NTM Direction Request を送信し、GN の名前解決を行う。MN から NTM Direction Request を受信した DC_{MN} は、DNS の仕組みにより DNS_{GN} の NS レコードを取得する。その後、通信相手の端末が NTM 端末か一般端末か判断するために DNS_{GN} へ TXT レコード問い合わせを行う。 DNS_{GN} には DC であることを示す TXT レコードが登録されていないため、 DC_{MN} は通信相手が GN であると判断する。その後、 DC_{MN} は DNS_{GN} に A レコード問い合わせを行い、GN のアドレスを取得する。

3.2.3 トンネル構築

DC_{MN} は名前解決処理によって取得したアドレスを載せた NTM Relay Direction を RS に対して送信し、中継指示をすると共に RS は転送情報を登録する。NTM Relay Response を受信した DC_{MN} は MN に対して NTM Route Direction を送信する。その後、MN と RS 間で NTM Tunnel Request/Response を交換することでトンネル構築を完了する。

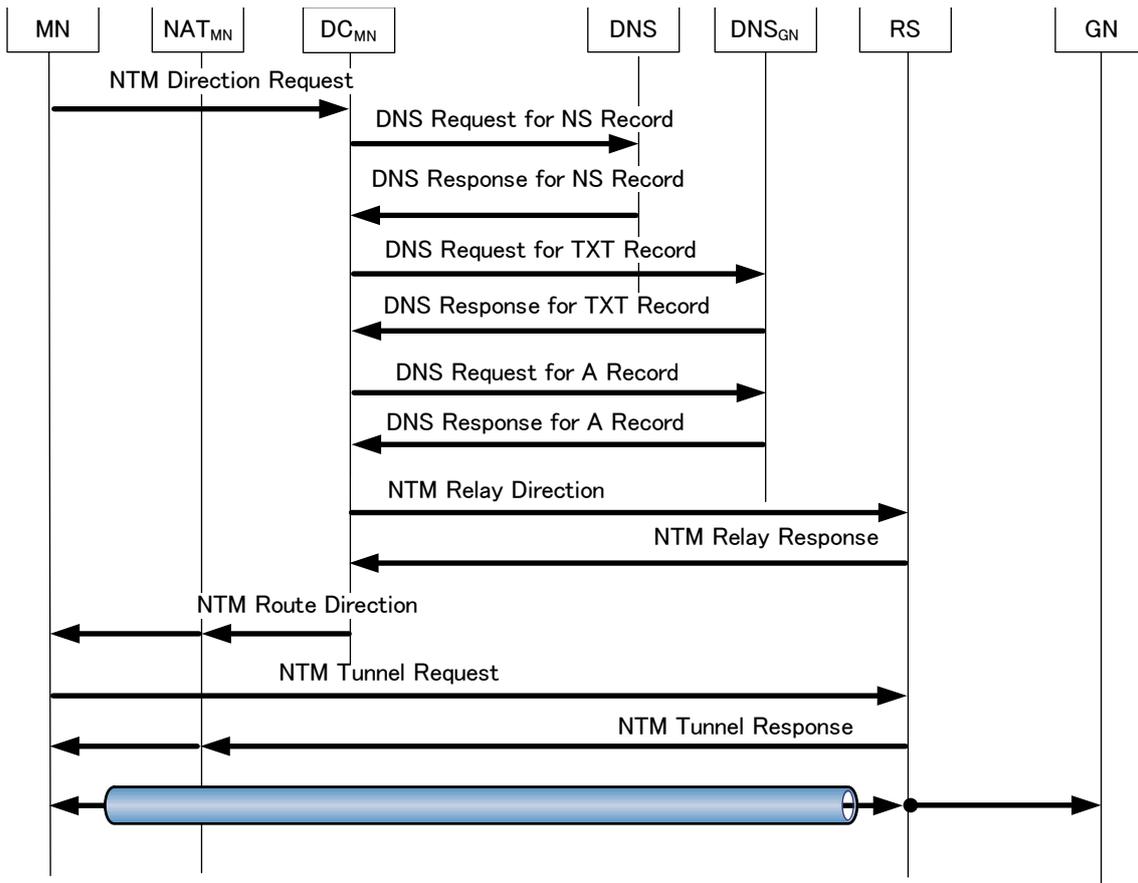


図4 トンネル構築手順

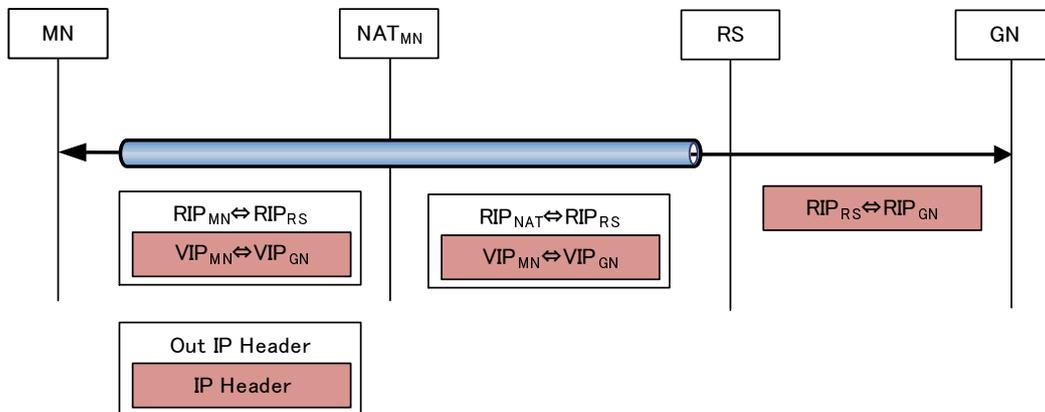


図5 トンネル通信時におけるアドレス遷移

3.3 トンネル通信

図5にパケットのアドレス遷移を示す。

MNは仮想IPアドレスに基づいて生成されたパケットを、実IPアドレスでカプセル化してRSへ送信する。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。RSはカプセル化パケットを受信するとデカプセル化し、パケットを取り出し、仮想IPアドレスを実IPアドレスへと変換する。このとき、アドレス変換は送信元、宛先の両方を変換する点が一般のNAT処理と異なる。

RS はアドレス変換したパケットを GN へと送信する。GN から RS へ送信するパケットも同様に、GN から受信したパケットを RS がアドレス変換し、カプセル化した後 MN へ送信する。GN は通信相手を RS と認識する。NTM Mobile では、NTM 端末は仮想 IP アドレスを自身及び通信相手の IP アドレスとして認識をするため、NTM 端末が GN と通信をする場合、DC が GN に対応する仮想 IP アドレスを用意する。NTM 端末は DC が生成した VIP_{GN} を通信相手と認識する。

3.3.1 NTM 端末がハンドオーバーした時の動作

MN が通信中にネットワークを切り替えたとき、変化したアドレス情報を載せた NTM Registration Request を DC_{MN} へ送信する。 DC_{MN} は自身のデータベース情報を更新する。その後、MN がトンネル構築を実行し、MN と RS との間でトンネルを再構築する。

第4章 提案手法

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 NTMR (NTMobile Router) を導入する。

NTMR は配下の端末が一般端末の場合、NTM 端末の機能にあるカプセル化、デカプセル化処理を行う。NTMR が作成するネットワーク内はプライベートアドレスが配布されている。また、NTMR は NAT の機能を有しているのでアドレス変換を行う。トンネル構築手順は 3.2 節と同様に NTMobile のトンネル構築手順を行う。そのため、通信相手端末が一般端末、NTM 端末どちらとも通信を行うことができる。

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 端末かにより NTMR の動作が異なる。以下に、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 NTMR の配下が一般端末の場合

図 6 に NTMR の配下にいる一般端末 GN と外部ネットワーク上の一般端末 CN 間のトンネル構築手順を示す。NTMR は GN が送信する DNS クエリをトリガーとして、CN の名前解決処理およびトンネル構築依頼を行うために DC_{NTMR} に NTM Direction Request を送信する。 DC_{NTMR} は 3.2.2 項で示した名前解決処理を行い CN のアドレス情報を取得する。その後、 DC_{NTMR} は取得したアドレス情報を載せた NTM Relay Direction を RS に対して送信し、中継指示を依頼する。RS から NTM Relay Response を受信した DC_{NTMR} は NTMR に対して NTM Route Direction を送信し、NTMR と RS 間で NTM Tunnel Request/Response を交換することでトンネル構築を完了する。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。これにより、GN は VIP_{CN} を通信相手として認識する。NTMR がネットワークを切り替えた場合、NTMR と RS 間でトンネルを再構築することにより、GN は NTMR のアドレスが変わった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 7 に GN と CN 間のパケットのアドレス遷移を示す。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} に変換する。その後、NTMR の実 IP アドレスでカプセル化処理を行い、RS に送信する。RS はパケットを受信するとデカプセル化処理を行い、宛先を RIP_{CN} へ変換し CN へ送信する。

また、CN が GN 宛にパケットを送信した場合、RS でアドレス変換した後、カプセル化し NTMR へ転送する。NTMR はカプセル化されたパケットを受信すると、デカプセル化処理を行い、宛先を VIP_{NTMR} から GN の実 IP アドレス RIP_{GN} に書き換えてパケットを GN へ送信する。

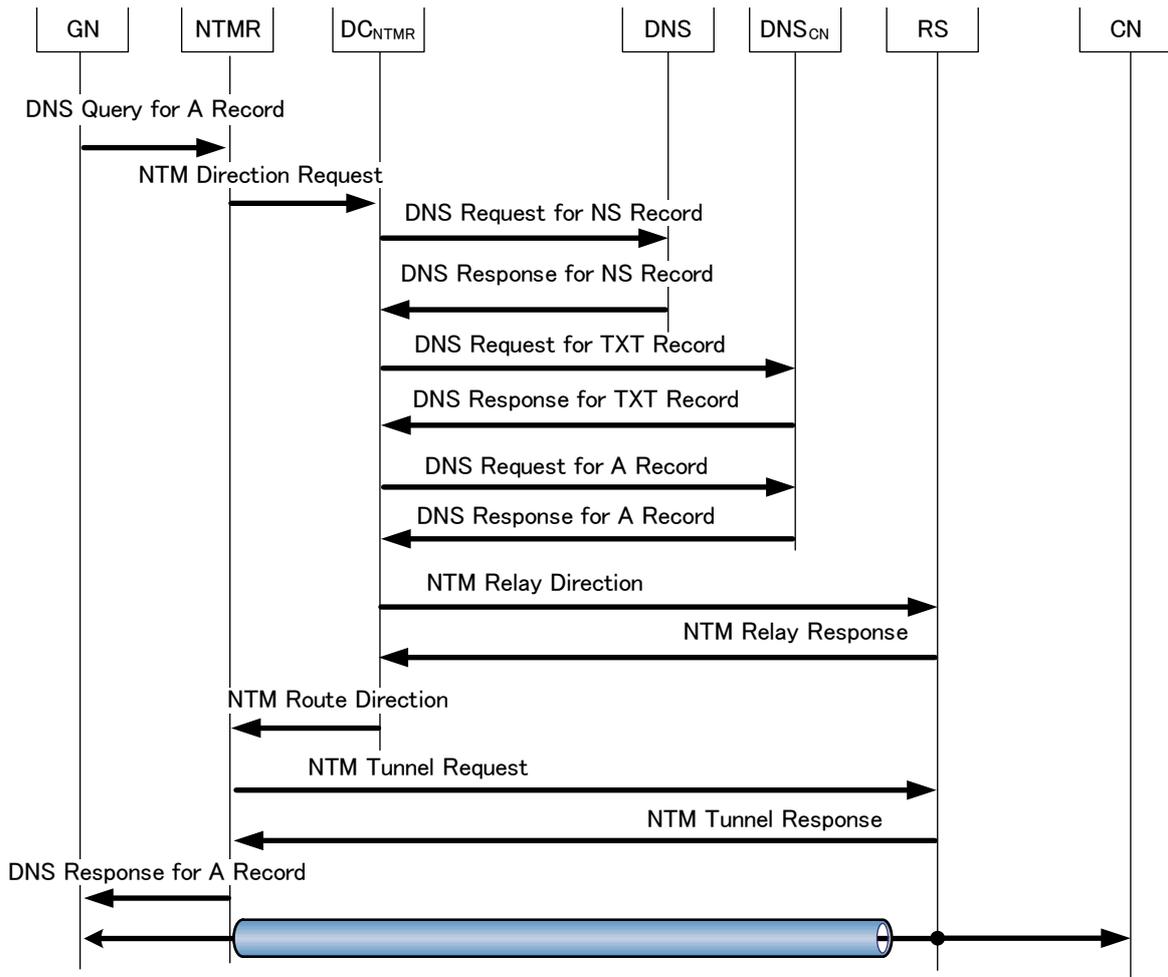


図 6 NTMR の配下にいる GN と外部ネットワーク上の一般端末 CN 間のトンネル構築手順

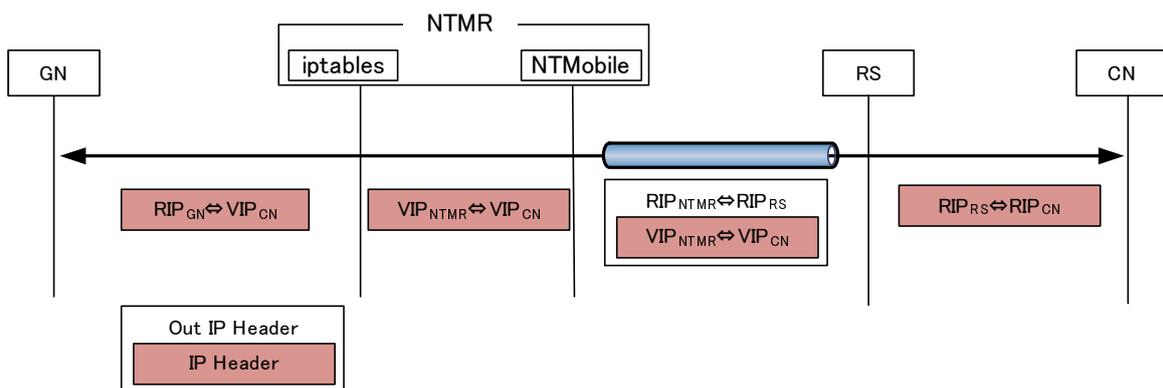


図 7 トンネル通信時におけるアドレス遷移

4.1.2 NTMR の配下が NTM 端末の場合

図 8 に NTMR 配下にいる NTM 端末 MN と一般端末 CN 間のトンネル構築手順を示す。MN は 3.2 節で述べたトンネル構築手順により MN と RS 間でトンネルを構築する。この場合、NTMR は単なる NAT として動作をするため、MN のトンネル構築手順は通常の NTMobile と全く同様である。

図 9 にネットワーク内の端末が NTM 端末の時のアドレス遷移を示す。MN のアプリケーションが生成し

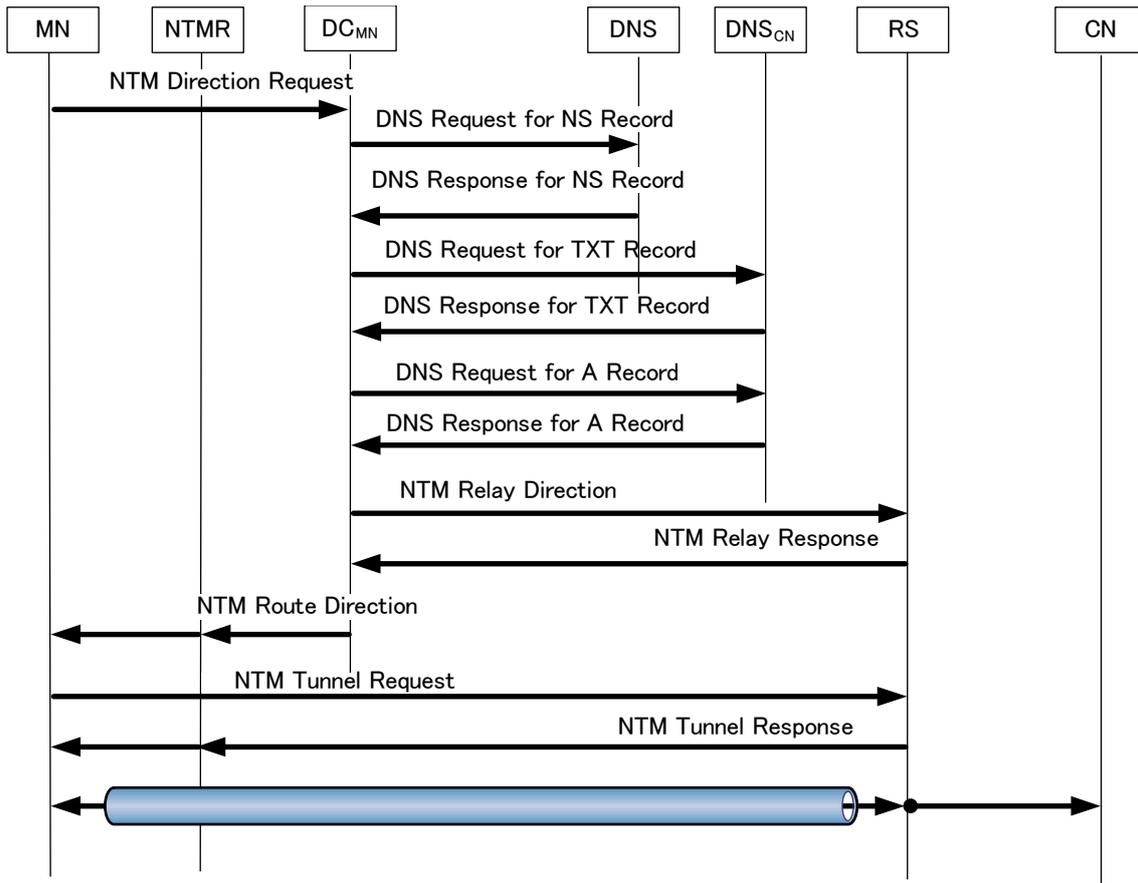


図 8 NTMR 配下にいる NTM 端末 MN と一般端末 CN 間のトンネル構築手順

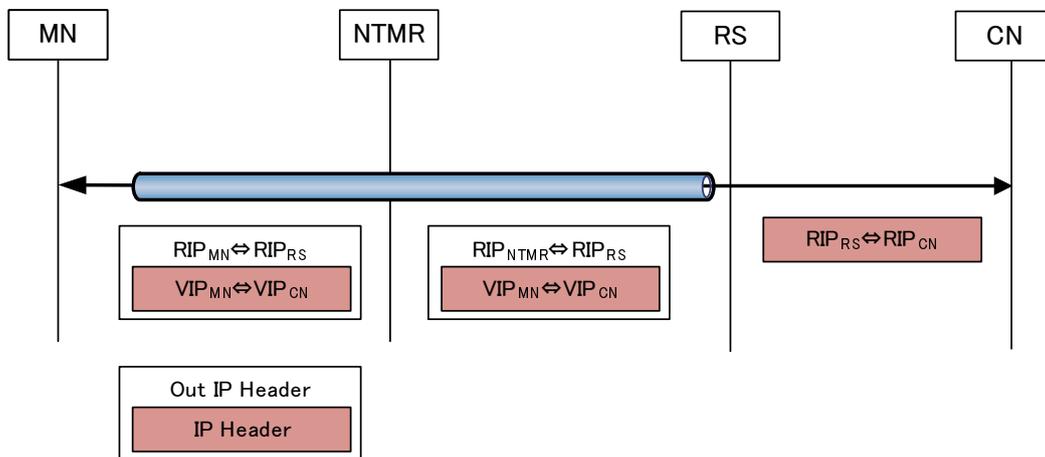


図 9 トンネル通信時におけるアドレス遷移

たパケットを実 IP アドレスでカプセル化して CN へ送信する。

4.2 NTMR がハンドーオーバーした時の動作

図 10 に NTMR が移動した場合のトンネルの再構築手順を示す。NTMR が移動した場合、移動ネットワーク内の端末は NTMR が移動したかどうかは判断することができない。一般端末 GN は NTMR がトンネルを

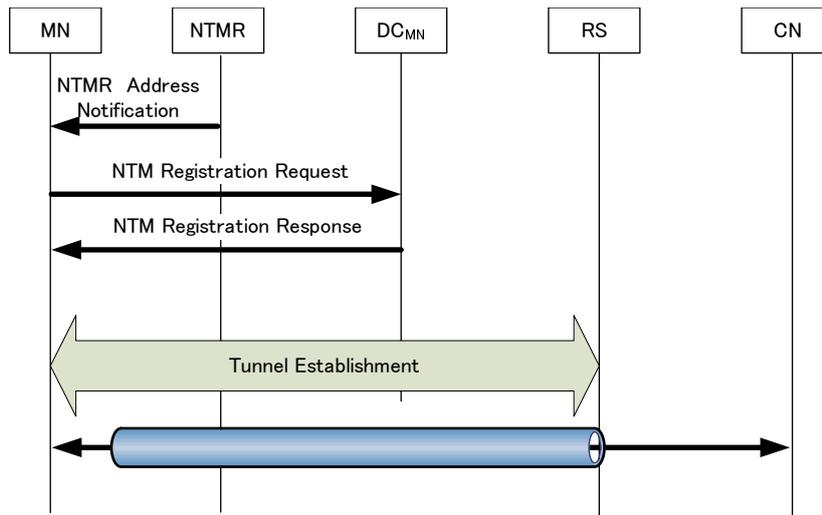


図 10 NTMR が移動した場合のトンネル再構築

構築しているため、GN は NTMR が移動したかどうかは知る必要がない。そのため、NTMR がハンドオーバーしたとき、再度 NTMR がトンネルを再構築することで GN がネットワークの移動を意識することなく通信を継続できる。

一方、NTM 端末 MN は自身がトンネルを構築しているため、NTMR の移動をトリガーとして MN が再度トンネルを構築する必要がある。そのため、NTMR が移動したことをネットワーク内の端末に通知する必要がある、NTMR は移動を通知するために新しい移動先の情報を載せた NTMR Address Notification をネットワーク内にブロードキャストする。MN はこのメッセージを受信すると、端末情報を DC_{MN} へ登録した後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

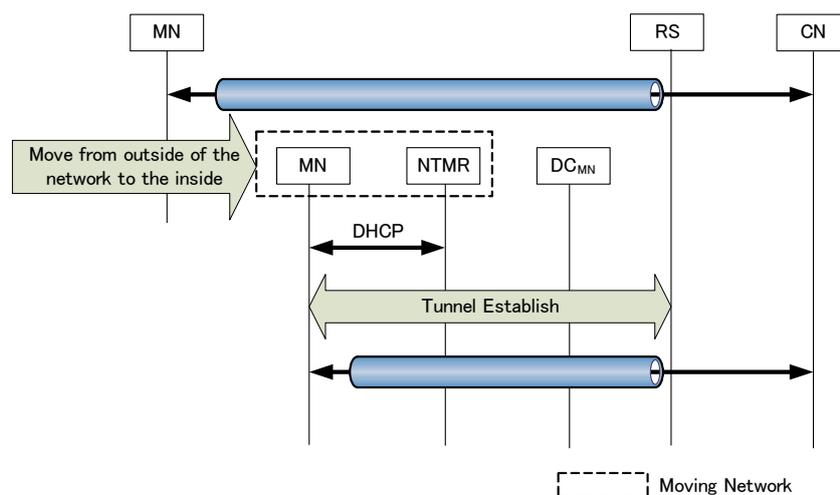


図 11 移動ネットワークの外から中へ NTM 端末が移動するときのトンネル再構築シーケンス

図 11 に NTM 端末 MN が移動ネットワークの外から中に移動した場合のトンネル構築手順を示す。MN

と一般端末 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 3.2 節のトンネルの再構築処理を行うことにより通信を継続することができる。このとき、NTMR は NAT として動作をする。

MN が移動ネットワーク内の内から外へ移動した場合においても同様にトンネルの再構築を行うことで、通信を継続しながら NTM 端末はネットワークの内外を移動することができる。

第5章 実装

5.1 実装方針

NTMR は NTM 端末とトンネル構築処理、カプセル化、デカプセル化処理などで類似する点があるため、NTMR の実装方針について NTM 端末とそれに対する変更点に基づいて説明する。図 12 と図 13 にそれぞれ NTM 端末のモジュール構成図と NTMR のモジュール構成図を示す。NTM 端末ではトンネル構築処理を行う NTM デーモンとカプセル化およびデカプセル化処理を行う NTM カーネルモジュールに分かれる。提案方式を実現するため、NTM 端末のカーネルモジュールを拡張することにより実装を行った。表 1 に NTM 端末と NTMR の実装に関する変更点を示す。現在、トンネル構築処理トリガーの変更及びカプセル化、デカプセル化処理の実装が完了している。ただし、デカプセル化処理後のアドレス変換機能のみ未実装である。

5.1.1 変更内容

(1) トンネル構築処理トリガーの変更

NTM 端末では端末が通信を開始するときの名前解決処理をトリガーとして、トンネル構築処理を開始する。名前解決処理が終わったときにはアプリケーションに対して通信相手の仮想 IP アドレスが通知されている。

提案方式では、NTMR は NAT として動作するため、自身が名前解決処理を行わない。そのため、名前解決処理を配下のネットワークから NTMR が受信するとトンネル構築処理を開始するようにトリガーの変更を行った。NTMR は名前解決処理終了後、通信相手の仮想 IP アドレスを配下の一般端末に通知する流れに変更した。

(2) カプセル化、デカプセル化処理フローの変更

NTM カーネルモジュールではアプリケーションが仮想デバイス宛に送信するパケットを Netfilter [18] でフックしカプセル化処理して通信相手に送信する。カプセル化パケットも Netfilter でフックし、デカプセル化処理をしてアプリケーションに渡す処理を行う。

NTMR では、カプセル化、デカプセル化処理を行う流れが NTM 端末と異なる。加えて、NTMR は NAT として機能するためアドレス変換処理を新たに追加する。NTMR は GN から受信したパケットを MASQUERADE^{*1} の設定を行い、NTMR の内側インタフェースで受信したパケットを NTMR の仮想デバイス宛に変換を行う。この設定により、GN から受信したパケットの送信元アドレスは RIP_{GN} から VIP_{NTMR} に変換される。このアドレス変換されたパケットを Netfilter でフックして NTM カーネルモジュールへ渡してカプセル化処理を実行する。一方、カプセル化処理されたパケットを受信したときは、Netfilter でパケットをフックしてデカ

^{*1}設定内容：iptables -t nat -A POSTROUTING -s 移動ネットワーク内のアドレス -o NTMR の仮想デバイス -j MASQUERADE

プセル化処理を行う。デカプセル化処理されたパケットはアドレス変換テーブルに従って、宛先が RIP_{GN} へ変換され、NTMR の内側インタフェースから GN へと送信される。

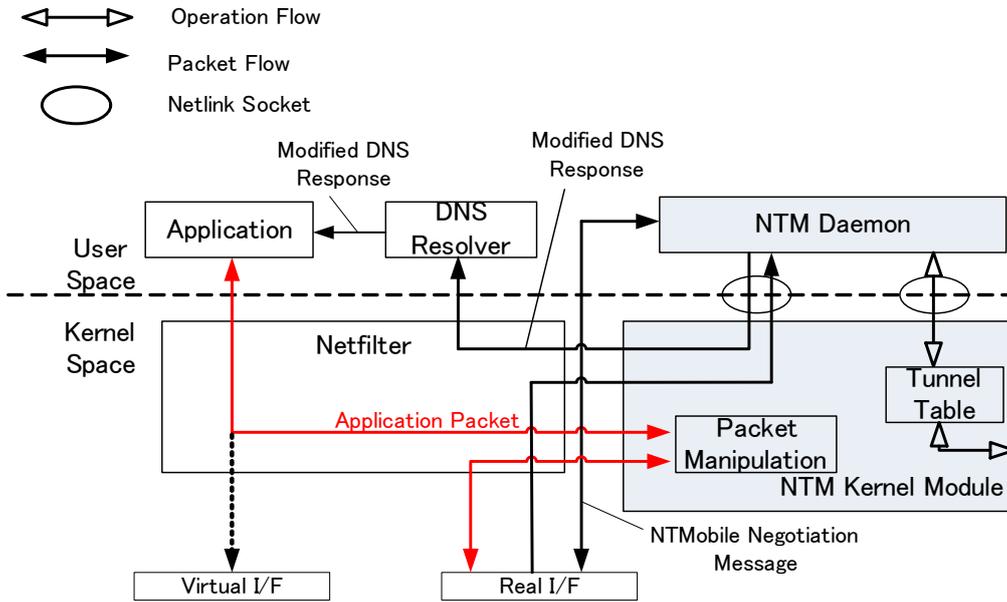


図 12 NTM のモジュール構成図

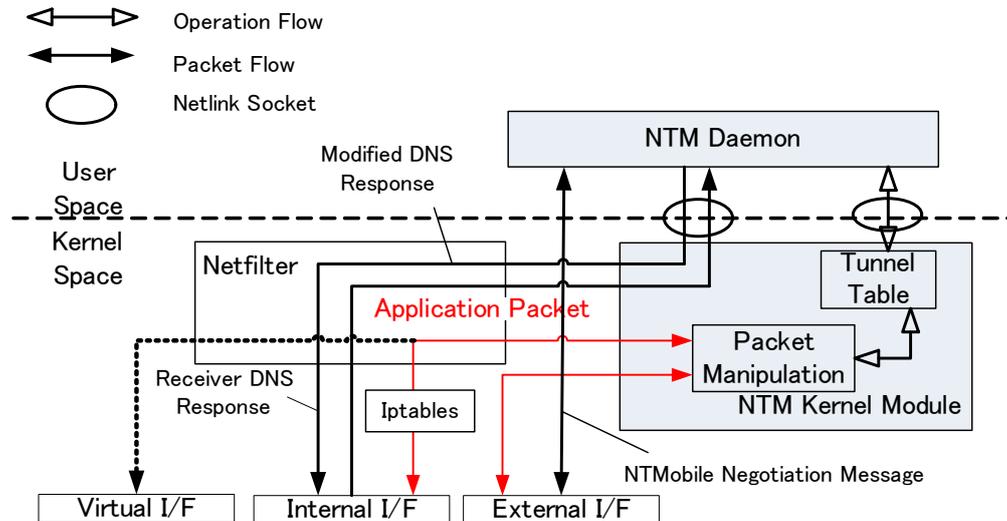


図 13 NTMR のモジュール構成図

表 1 NTM 端末と NTMR の実装比較

	NTM 端末	NTMR
トンネル構築処理トリガー	名前解決処理時	配下端末から名前解決処理を受信したとき
名前解決結果	アプリケーションに通知	配下端末に通知
カプセル化处理	アプリケーションから送信されたパケットをカプセル化	配下端末から送られたパケットをアドレス変換してカプセル化
デカプセル化处理	デカプセル化处理後アプリケーションに送信	デカプセル化处理後アドレス変換して配下端末に送信

第6章 評価

6.1 既存技術との比較

既存技術の代表として NEMOv4 をとりあげ、表 2 に提案方式との比較を行った結果を示す。

- アドレス管理

NEMOv4 では MR のネットワーク内のアドレスは HA が生成したアドレスを利用するため、HA と同じネットワークであるグローバルアドレスでなければならない。そのため、IPv4 枯渇問題に逆行する課題がある。

提案方式では、ネットワーク内のアドレスはプライベートアドレスを利用し NTMR がアドレス変換することで通信を行うことができる。

- 管理装置の耐障害性

NEMOv4 では通信を行うときに MIPv4 と同様に HA を経由して通信を行うことが大半である。そのため、HA で障害が発生した場合通信を継続できない課題がある。

提案方式では、DC や RS といった管理装置は分散設置することが可能で有り、負荷を分散して管理をすることができる。

- ネットワーク内外の移動

NEMOv4 では MIP 端末であれば、他の MR のネットワークの中に通信を継続して移動することが可能である。しかし、MIP 端末と MR のそれぞれの HA を経由して通信をしなければならずスループットの低下が考えられる。

提案方式では、NTMR がただの NAT として動作をするため、他の NTMR のネットワークの中に NTM 端末が移動した場合、基本的に直接通信を行うことができる。

表 2 NEMOv4 と提案方式の比較

	NEMOv4	提案方式
アドレス管理	×	○
管理装置の耐障害性	×	○
ネットワーク内外の移動	△	○

第7章 まとめ

本論文では、NTMobile を拡張したネットワークモビリティの提案を行った。NTMobile の機能を搭載した NTMR を利用し、配下の一般端末に代わって NTMobile の処理を代行する事でネットワーク全体の移動透過性を確保することができる。また、配下のネットワーク内の端末が NTM 端末の場合でも、NTMR がただの NAT として動作することで、NTM 端末の動作を阻害させることなく動作することができる。NTM 端末がネットワークの外部から内部、内部から外部といった、移動ネットワークの出入りをしても通常の NTMobile の機能を実行することで通信を継続することができる。また、提案方式における配下端末が一般端末の場合における提案方式の実装方針を立て、カプセル化、デカプセル化処理まで実装を終えた。

今後は、残りのアドレス変換部分の実装、NTMR の上位ネットワークが Wi-Fi から LTE 網へ切り替えた場合における、スループット、パケットロス率の評価や内部端末が NTM 端末の場合の実装を進めていく予定である。

謝辞

本研究を遂行するにあたり，多大なる御指導と御教授を賜りました，名城大学大学院理工学研究科 渡邊晃教授には心から感謝致します。

本研究を制作するにあたり，快く副査を引き受けて頂きました，名城大学大学院理工学研究科 柳田康幸教授，旭健作助教に心より厚く御礼申し上げます。

本研究を遂行するにあたり，常日頃からの御意見ならびに御助言を受け賜りました，名城大学大学院理工学研究科 鈴木秀和助教に深謝致します。

本研究を遂行するにあたり，多くの貴重な御意見を頂きました，愛知工業大学大学院経営情報科学研究科 内藤克浩准教授に心より感謝致します。

本研究を遂行するにあたり，数々の有益な御助言や御討論を賜りました，渡邊研究室及び鈴木研究室の諸氏に感謝致します。

参考文献

- [1] JPNIC: IPv4 アドレスの在庫枯渇に関して. <https://www.nic.ad.jp/ja/ip/ipv4pool/>.
- [2] CISCO: Cisco Visual Networking Index: Global Mobile Data Traffic Forecast Update, 2013-2018. http://www.cisco.com/c/en/us/solutions/collateral/service-provider/visual-networking-index-vni/white_paper_c11-520862.html.
- [3] Perkins, C.: IP Mobility Support for IPv4, Revised, RFC 5944, IETF (2010).
- [4] Leung, K., Dommety, G., Narayanan, V. and Petrescu, A.: Network Mobility (NEMO) Extensions for Mobile IPv4, RFC 5177, IETF (2008).
- [5] 藤田貴大, 野村嘉洋, 西村浩二, 前田香織, 相原玲二: MAT によるモバイルネットワークの実現, マルチメディア, 分散, 協調とモバイル (DICOMO2003) シンポジウム論文集, Vol. 2003, pp. 105–108 (2003).
- [6] 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).
- [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] 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).
- [9] 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).
- [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).
- [11] 細尾幸宏, 鈴木秀和, 内藤克浩, 旭 健作, 渡邊 晃: NTMobile における DNS 実装の変更が不要なデータベース型端末情報管理手法の検討, 情報処理学会研究報告, Vol. 2012-MBL-64, No. 6, pp. 1–8 (2012).
- [12] Ferguson, P. and Senie, D.: Network Ingress Filtering: Defeating Denial of Service Attacks which employ IP Source Address Spoofing, RFC 2827, IETF (2010).
- [13] Montenegro, G.: Reverse Tunneling for Mobile IP, revised, RFC 3024, IETF (2001).
- [14] A. Makela, J. K.: Home Agent-Assisted Route Optimization between Mobile IPv4 Networks, RFC 6521, IETF (2012).
- [15] 三宅佑佳, 廣瀬達也, 鈴木秀和, 内藤克浩, 渡邊 晃: NTMobile における最適なリレーサーバ選択手法の提案, 平成 26 年度電気・電子・情報関係学会東海支部連合大会講演論文集, No. P4-1 (2014).
- [16] 井貝友哉, 土井敏樹, 上醉尾一真, 鈴木秀和, 内藤克浩, 渡邊 晃: NTMobile における RS-N の二重化と状態管理手法の提案, 第 76 回情報処理学会全国大会講演論文集, Vol. 2014, No. 1, pp. 257–258 (2014).
- [17] 西尾拓也, 内藤克浩, 水谷智大, 鈴木秀和, 渡邊 晃, 森香津夫, 小林英雄: NTMobile における端末アドレスの移動管理と実装, マルチメディア, 分散, 協調とモバイル (DICOMO2011) シンポジウム論文集, Vol. 2011, pp. 1139–1145 (2011).
- [18] : netfilter. <http://www.netfilter.org/>.

研究業績

国際会議（査読あり）

- (1) Hidekazu Suzuki, Katsuhiro Naito, Kazuma Kamiyano, Tatsuya Hirose, Akira Watanabe, "NTMobile: New End-to-End Communication Architecture in IPv4 and IPv6 Networks", Proceedings of the 19th Annual International Conference on Mobile Computing & Networking (MobiCom 2013), pp.171–174, Oct.2013.
- (2) Katsuhiro Naito, Fumihito Sugihara, Hiroshi Noda, Masanori Kako, Tatsuya Hirose, Hidekazu Suzuki, Akira Watanabe, "Implementation of smartphone applications supporting end-to-end communication", 11th International Conference on Mobile and Ubiquitous Systems: Computing, Networking and Services (MobiQuitous2014), pp.393–394, Dec.2014.

研究会・大会等（査読なし）

- (1) 廣瀬達也, 鈴木秀和, 内藤克浩, 渡邊晃, :NTMobile によるネットワークモビリティの実現に関する提案, 平成 24 年度電気関係学会東海支部連合大会論文集, Vol.2012, No.P3-5, Sep.2012.
- (2) 廣瀬達也, 鈴木秀和, 内藤克浩, 渡邊晃, :NTMobile を用いたネットワークモビリティの実現に関する提案, 情報処理学会全国大会講演論文集, Vol.75, No.1, pp.357–358, Mar. 2013.
- (3) 廣瀬達也, 鈴木秀和, 内藤克浩, 渡邊晃, :NTMobile を拡張したネットワークモビリティの提案と実装, 情報処理学会研究報告モバイルコンピューティングとユビキタス通信 (MBL), Vol.2013–MBL–66, No.29, pp.1–6, May.2013.
- (4) 廣瀬達也, 鈴木秀和, 内藤克浩, 渡邊晃, "NTMobile を用いたネットワークモビリティの提案", 情報処理学会研究報告モバイルコンピューティングとユビキタス通信 (MBL), Vol.2013–MBL–69, No.8, pp.1–5, Dec.2013.
- (5) 三宅佑佳, 廣瀬達也, 鈴木秀和, 内藤克浩, 渡邊晃, :NTMobile における最適なりレサーバ選択手法の提案, 平成 26 年度電気・電子・情報関係学会東海支部連合大会講演論文集, No.P4-1, Sep.2014
- (6) 李丹薇, 廣瀬達也, 鈴木秀和, 内藤克浩, 渡邊晃, :プライベート空間のサーバにアクセス可能なアダプタ型 NTMobile 装置の提案, 平成 26 年度電気・電子・情報関係学会東海支部連合大会講演論文集, No.P3-1, Sep.2014.