

NTMobileを拡張したネットワークモビリティの 提案と実装

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

概要: 公衆無線網や小型端末の普及により、ネットワーク環境に依存せず通信開始を保証する通信接続性と、端末が通信中にネットワークを切り替えても、通信を継続できる移動透過性を満たす技術が望まれている。一方、ネットワーク環境の発展により、電車内や自動車内などにネットワークを構築し、ネットワーク自体が移動する場面が想定されている。我々は接続性の保証と移動透過性をノード単位で実現できる技術として NTMobile (Network Traversal with Mobility) を提案しているが、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。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: 移動透過性, ネットワークモビリティ

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形態が大きく変化している。近年のネットワークが要求する条件は IPv4 が設計された当時の想定を遙かに越えており、様々な問題が発生している。現在、IPv4 アドレスの枯渇をみこして、IPv6 への移行が進みつつあるが、IPv6 は IPv4 と互換性がなく、即座に IPv6 ネットワークへ移行することはできない。そのため、当分の間 IPv4 ネットワークが引き続き利用されることが考えられる。このような背景から、本稿では IPv4 が今後も継続して使われることを想定し、IPv4 ネットワークを対象として議論する。

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 アドレスを用いて通信を管理している。そのため、端末の移動やインタフェースの切り替えによって IP アドレスが変化すると通信が継続できない。このような問題を解決する技術を移動透過性技術と呼び、現在までに様々な移動透過性技術が提案されてきた [1]。

一方、ユーザがネットワークを利用する場面は多様化している。ネットワークを利用する場面として、電車内や自

動車内に IP 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場面が考えられる。このような場面では、ネットワークの境界に位置するルータが、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 [2], [3], [4]。このような技術はネットワークモビリティと呼ばれ、移動に関わる制御情報を減らすことができる。

ネットワークモビリティでは移動透過性を有さない一般端末でも移動通信の恩恵にあずかることができる。このとき、ユーザが通信をしながら移動ネットワークの中に入ったり、外に出る場合も考えられる。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が移動ネットワーク内と外を意識することなく通信を継続できるので有用である。

ネットワーク単位の移動透過性を実現する技術として、Mobile IPv4 (以後 MIPv4) [5] を拡張した Network Mobility Extensions for Mobile IPv4 (以後 NEMOv4) [6] が提案されている。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、できる限りグローバル IP アドレスを大量に消費することは避けることが望ましい。

我々は、ノード単位で通信接続性と移動透過性を同時に実現できる技術として NTMobile (Network Traversal with Mobility) [7], [8], [9] を提案している。NTMobile では、NTMobile 対応端末 (以後 NTM 端末) に対して移動

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

によって変化しない仮想 IP アドレスを提供する。実際の通信では実 IP アドレスでカプセル化し、トンネル通信を行う。アプリケーションは仮想 IP アドレスのみ意識するため、実 IP アドレスの変化を隠蔽することができる。

NTMobile では、IPv4 環境において、NAT を改造しないまま移動透過性を実現できるなど利点を有するが、ネットワーク単位の移動透過性技術は実現できていなかった。そこで、本稿では NTMobile の機能を拡張し、ネットワーク単位の移動透過性を実現する手法を提案する。具体的にはネットワークの境界に専用のルータ NTMobile Router (以後 NTMR) を新たに設置し、配下の一般端末に代わって NTMobile の機能を代行する。提案方式では、移動端末が通信中に移動ネットワークの内外を移動することも可能である。

以下、2 章に既存技術について、3 章で NTMobile について述べる。そして、4 章で提案方式について、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した 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 Mobile Node (MN) の IP アドレスの変化を管理する Home Agent (HA) が必要となる。MN が移動した時、MN は 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 Correspondent Node (CN) 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。また、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。さらに、NAT が存在する環境において、ネットワーク切り替えを行うためには HoA をグローバル IP アドレスとするか、NAT に改造する必要があるという様々な課題がある。

NEMOv4 は MIPv4 のエンドノードの機能を MR (Mobile Router) が代行してネットワーク単位の移動透過性を実現する。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、端末がネットワーク内外を移動するという場面を想定すると、経路冗長化や HA の一点障害など MIPv4 の課題が引き継がれてしまう。

3. NTMobile

3.1 NTMobile の構成

NTMobile は仮想 IP アドレスと UDP トンネルを用いて通信接続性と移動透過性を同時に実現する技術である。図 1 に NTMobile の構成を示す。以後の説明では、通信開始側の NTM 端末を MN、MN の実 IP アドレスを RIP_{MN} 、

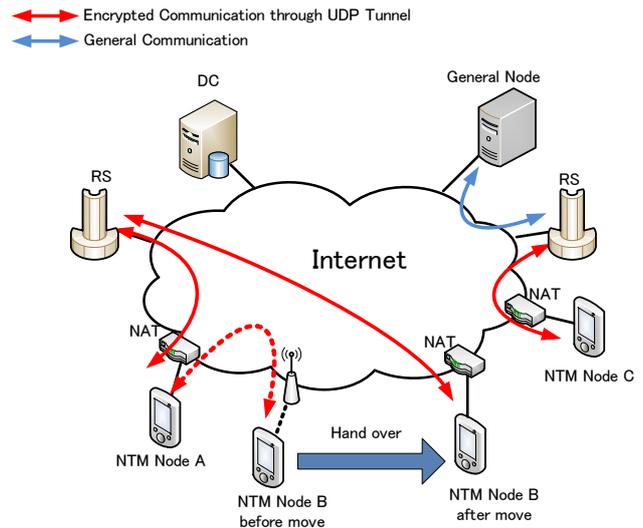


図 1 NTMobile の概要

Fig. 1 Overview of NTMobile.

MN の仮想 IP アドレスを VIP_{MN} 、通信相手側の NTM 端末を CN、CN の実 IP アドレスを RIP_{CN} 、CN の仮想 IP アドレスを VIP_{CN} とする。NTMobile は NTM 端末の他に、NTM 端末の端末情報を管理する DC (Direction Coordinator)、一般端末と NTM 端末の通信を中継する (Relay Server) で構成される。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複数台設置することにより負荷分散を行うことができる。

DC は仮想 IP アドレスの割り当て管理や NTM 端末のアドレス管理の他に暗号鍵の生成、配布を行う。DC が各 NTM 端末に配布する仮想 IP アドレスは一意的なアドレスであり、各 DC は自身に割り当てられたアドレス空間から重複が起きないように NTM 端末に対して仮想 IP アドレス割り当てを行う [10]。

NTM 端末は移動先から取得する実 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、自身および相手のアドレスを仮想 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 [11]。

3.2 トンネル構築手順

NTMobile におけるトンネル構築手順は以下の通りである。MN、CN は自身を管理している DC に対し、事前に実 IP アドレスを登録し、DC から仮想 IP アドレスが割り

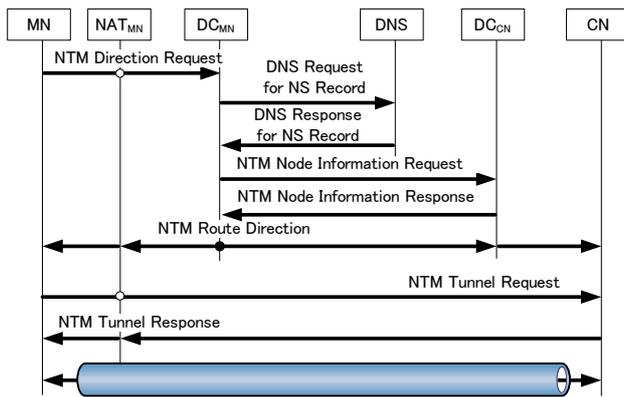


図 2 NTMobile のトンネル構築手順

Fig. 2 Tunnel establishment procedure of NTMobile.

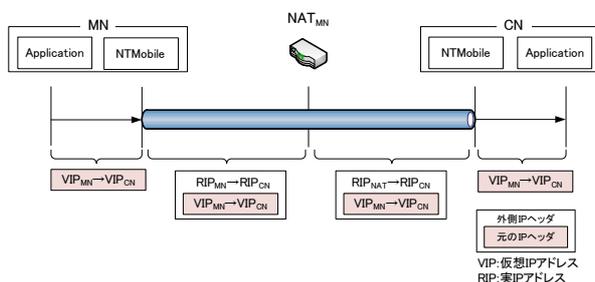


図 3 トンネル通信時のアドレス遷移

Fig. 3 Address translation of the tunnel communication.

当てられているものとする。

図 2 に NAT 配下に存在する MN とグローバル空間に存在する CN との通信を例とした場合のトンネル構築手順を示す。MN は通信に先立ち、自身の DC_{MN} に対して CN の FQDN を記述した NTM Direction Request を送信し、名前解決処理とトンネル構築指示を要求する。 DC_{MN} は DNS の仕組みを用いて NS レコードにより DC_{CN} を発見し、さらに端末情報を得るために NTM Information Request を DC_{MN} 宛に送信する。 DC_{CN} は NTM Information Response により CN の端末情報を DC_{MN} に対して返信する。

DC_{MN} が端末情報を取得した後、 DC_{MN} は MN と CN の端末情報を元にトンネル経路を決定し、NTM Route Direction により、MN と CN に対して指示する。図 2 では MN がプライベートネットワークに存在するため、MN 側から CN に対して、NTM Tunnel Request を送信する。CN はこれに対して、NTM Tunnel Response を応答することにより、トンネル構築処理を完了する。NTM Tunnel Request を MN 側から送信する理由は、 NAT_{MN} にマッピング情報を生成し、NAT をまたがるトンネルを構築するためである。

3.3 トンネル通信

図 3 に MN と CN 間のトンネル通信時のアドレス遷移を

示す。アプリケーションレベルでは仮想 IP アドレスによって、通信が行われる。そのため、アプリケーションが生成したパケットには仮想 IP アドレス (VIP_{MN} , VIP_{CN}) が記載されている。MN は IP 層において実 IP アドレスにより RIP_{MN} で仮想 IP パケットをカプセル化して送信する。カプセル化を行う際には、IP ヘッダ、UDP ヘッダの他に 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 層においてデカプセル化を行い、抽出したパケットを上位アプリケーションへ渡す。通信経路上に NAT が存在する場合でも、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

NTMobile では通信中に移動してネットワークが切りかわったことにより IP アドレスが変化した場合、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。このとき、MN は通信開始時に CN の端末情報を取得済みであるため、名前解決処理は省略される。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

NTMobile にネットワークモビリティの機能を追加定義する。このために新たに NTMR (NTMobile Router) を導入する。NTMR が移動ネットワークに接続する一般端末に代わって NTMobile に基づくトンネル構築を通信相手との間で行う。

4.1 NTMR の初期登録

NTMR はネットワーク接続時に NTMR を管理する DC_{NTMR} に対して NTMR の実 IP アドレス登録を行う。このとき、NTMR は自身が移動ネットワークを管理していることを知らせる。 DC_{NTMR} は NTMR の登録処理を行うとともに、NTMR に対して仮想 IP アドレスのプールを割り当てる。NTMR は配下の移動ネットワークに端末が参入したとき、DHCP を用いて自身の仮想 IP アドレスプールの中からアドレスを配布する。

4.2 トンネル構築シーケンス

4.2.1 一般端末が移動ネットワーク内にいる場合

図 4 に移動ネットワーク内の一般端末 General Node (GN) と CN 間のトンネル構築手順を示す。GN が送信する DNS の名前解決処理 (DNS Query for A Record) をトリガとして、NTMR は CN に対して NTMobile に基づくトンネル構築処理を実行する。NTMR は名前解決処理お

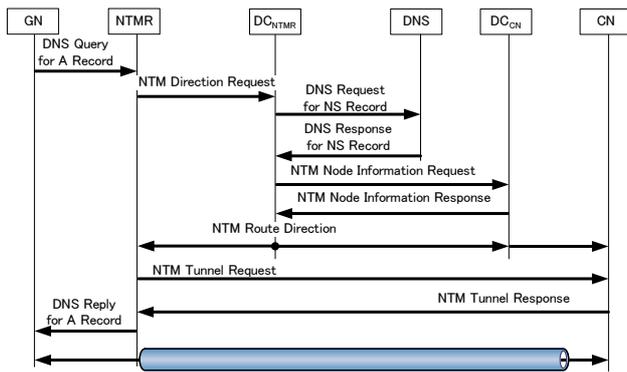


図 4 一般端末のトンネル構築手順

Fig. 4 Tunnel establishment procedure of General Node.

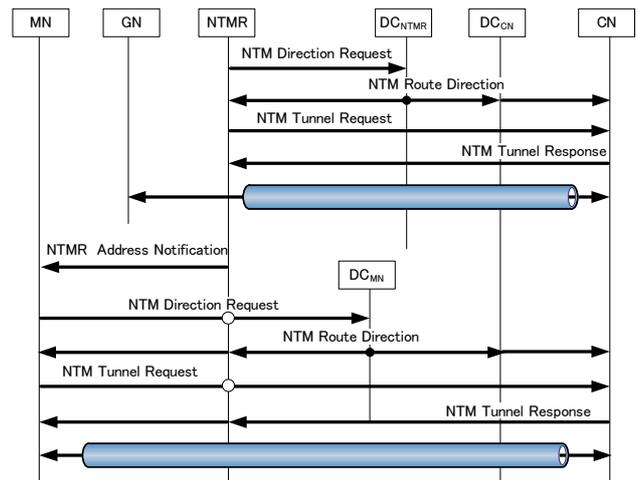


図 6 NTMR 移動時のトンネル構築手順

Fig. 6 Tunnel establishment procedure when NTMR moves.

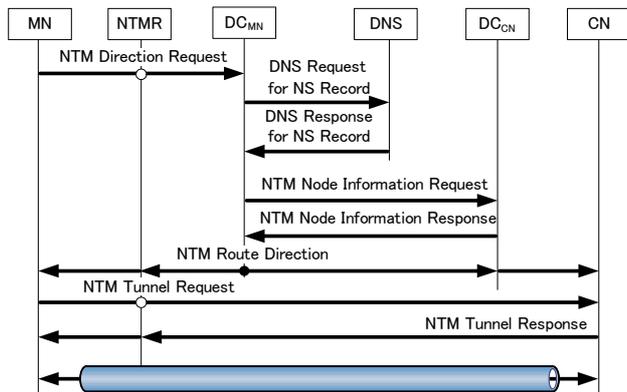


図 5 NTM 端末のトンネル構築手順

Fig. 5 Tunnel establishment procedure of NTM Node.

よびトンネル構築指示を依頼するため、 DC_{NTMR} に対し NTM Direction Request を送信する。 DC_{NTMR} は図 2 と同様の処理により DC_{CN} から CN の端末情報を取得する。 DC_{NTMR} は取得した端末情報を元にトンネル経路を決定し、NTM Route Direction を NTMR と CN に対して送信する。NTMR と CN は NTM Tunnel Request/Response を交換して、トンネルを構築する。その後、NTMR は DNS クエリの応答に含まれるアドレスとして、CN の仮想 IP アドレス VIP_{CN} を MN に渡す。これにより、MN は通信相手の IP アドレスとして VIP_{CN} を認識する。以上の動作により、NTMR と CN 間に UDP トンネルが構築される。

4.2.2 NTM 端末が移動ネットワーク内にいる場合

図 5 に移動ネットワーク内の NTM 端末 MN と CN 間のトンネル構築手順を示す。MN は NTMobile によるトンネル構築を行う。この場合 NTMR は単なる NAT として動作する。そのため、トンネル構築手順は図 2 と全く同一である。

4.2.3 NTMR が移動した場合

図 6 に移動ネットワーク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 が移動したかどうか分からない。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、移動を知る必要性はない。一方、MN は CN と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。このため、一般端末と NTM 端末かの違いにより処理が異なる。

移動ネットワーク内の端末が一般端末 GN の場合、NTMR は変化した自らのアドレス情報などを載せた NTM Direction Request を DC_{NTMR} に送りトンネル構築指示を要求する。 DC_{NTMR} は NTM Route Direction によって NTMR と CN に対してトンネル構築を指示する。トンネル構築の指示を受けて、NTMR と CN は NTM Tunnel Request/Response を交換することによりトンネルを再構築する。

移動ネットワーク内の端末が NTM 端末 MN のとき、NTMR が移動した後の情報が必要になる。そのため、移動後の NTMR の情報を載せた NTMR Address Notification を新たに定義し、ネットワーク配下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 NTMobile に基づくトンネルの再構築処理を行う。このとき NTMR は単なる NAT として動作する。

4.2.4 移動ネットワークの外を NTM 端末が移動した場合

図 7 に NTM 端末が移動ネットワークの外から中に入るときのトンネル構築手順を示す。MN は既に CN とトンネル通信を開始しているものとする。MN がネットワーク内に移動すると、NTMR から DHCP を用いて NTMR がプールしていた仮想 IP アドレスの 1 つが配布される。MN はこのアドレスを実 IP アドレスとして認識する。MN と CN は NTMobile の手順に基づいてトンネルを再構築する。NTMR は単なる NAT として動作する。これは一般的な NTMobile の動作そのものであり、移動透過性を問題なく実現できる。

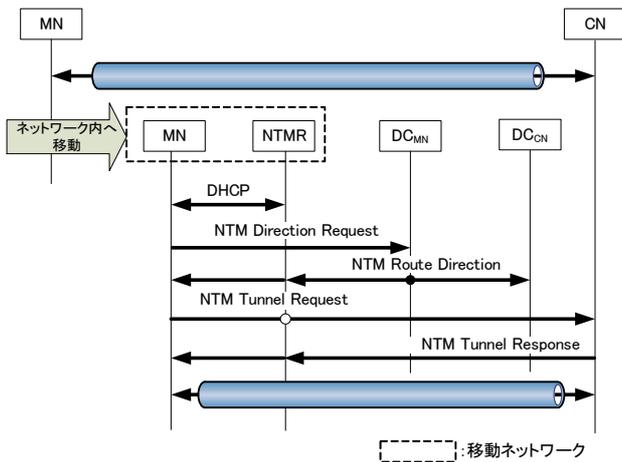


図 7 移動ネットワークの外から中へ移動する時のトンネル構築手順
 Fig. 7 Tunnel establishment procedure when MN moves from the outside of the network to the inside.

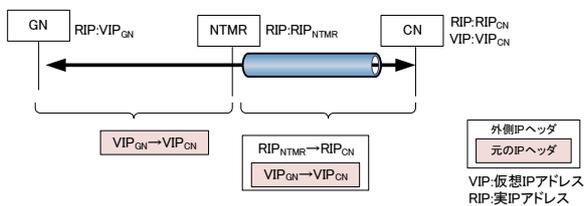


図 8 GN と CN 間アドレス遷移の様子
 Fig. 8 Address transration between GN and CN.

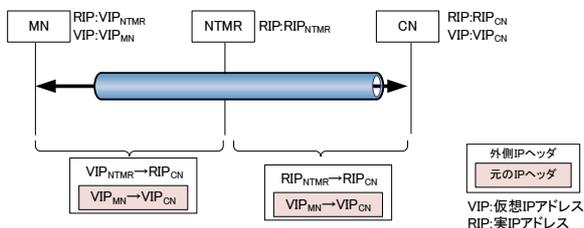


図 9 MN と CN 間アドレス遷移の様子
 Fig. 9 Address transration between MN and CN.

一方、NTM 端末が移動ネットワーク内から外に出る場合、MN は移動後のアドレスを取得すると、NTM Mobile に基づくトンネル構築処理を実行する。この処理は NTM 端末が NAT 配下からグローバルネットワーク上に移動したときと全く同じ処理であり、やはり問題なく実現できる。

4.3 トンネル通信

図 8 に GN と CN が通信を行う場合の packets のアドレス遷移の様子を示す。GN は NTMR から配布された仮想 IP アドレスを実 IP アドレスと認識して通常の通信を行う。GN が生成した packets には宛先の仮想 IP アドレス VIP_{CN} が記載されており、NTMR はこの packets を、実 IP アドレスでカプセル化して CN へ転送する。また、NTMR が CN からカプセル化された packets を受信する

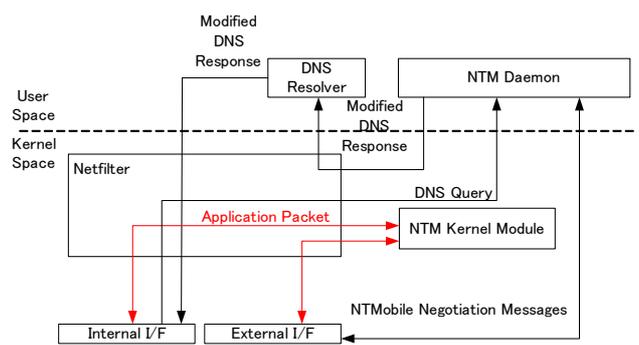


図 10 モジュール構成
 Fig. 10 Module configuration.

と、デカプセル化して GN へそのまま転送する。このとき、ネットワークが移動した場合でも、NTMR と CN 間では外側の IP ヘッダの IP アドレスが変化するのみであり、内側の packets は変更されない。

図 9 にネットワーク内の端末が NTM 端末のときの通信 packets 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 packets には送信元アドレス VIP_{MN} 、宛先アドレス VIP_{CN} が記載されている。MN はこの packets を IP 層でフックし、NTMR から配布された仮想 IP アドレス VIP_{NTMR} でカプセル化を行い、CN へ向けて送信する。このとき NTMR は単なる NAT として動作を行う。そのため、カプセル化 packets の外側が VIP_{NTMR} から RIP_{NTMR} にアドレス変換が行われ、CN に到達する。

5. 実装方針

提案方式に基づき、実装方法の検討を行った。NTMR は NTM 端末を拡張することにより実装を行う。NTM 端末はトンネル構築処理などを行う 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。図 10 に提案方式のモジュール構成を示す。NTM 端末と NTMR で異なる点は以下の通りである。

- インタフェースの違い
 NTM 端末は実インタフェースが 1 枚のみであったが、NTMR は配下の端末と通信を行う Internal Interface とインターネット側と通信を行う External Interface の 2 つの実インタフェースが必要となる。通信 packets は以下に示すカプセル化/デカプセル化処理により実インタフェース間を中継させる。
- カプセル化/デカプセル化処理の流れ
 NTM 端末ではアプリケーションから送信される packets を Netfilter によってフックし、NTM カーネルモジュールでカプセル化処理を行い、実インタフェースから送信される。
 NTMR はネットワーク内の端末から送られてくる packets を Netfilter によってフックし、NTM カーネルモジュールでカプセル化処理を行い、実インタフェー

スから送信されるように変更を行う。逆に、カプセル化されたパケットを受信すると、Netfilter でフックし、デカプセル化処理を行った後、ネットワーク内の端末にパケットを転送する。

- トンネル構築トリガの変更

NTM 端末はアプリケーションからの DNS 問い合わせを行うと、トンネル構築処理を開始する。

NTMR は配下の端末が送信する DNS 問い合わせを NTM デーモンに渡してトンネル構築処理を開始する。

6. まとめ

NTMobile にネットワーク単位の移動透過性を実現するため、専用の NTMR を導入し、NTMobile を拡張する手法を提案した。提案方式では NTMR がネットワーク内の一般端末に代わり、NTMobile の機能を代行する。一般端末は仮想 IP アドレスにより通信を行い、NTMR が一般端末から送られたパケットを自身の実 IP アドレスでカプセル化して通信相手と通信をすることにより、ネットワークの移動を隠蔽することができる。また、NTM 端末が移動ネットワークを出入りした場合でも NTMR が単なる NAT として振る舞うことにより、移動透過性を実現できる。

参考文献

- [1] Le, D., F. X. and Hogrefe, D.: A Review of Mobility Support Paradigms for the Internet, *IEEE Communications Surveys*, Vol. 8, No. 1, pp. 38–51 (2006).
- [2] 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).
- [3] 坂野あゆみ, 大岩拓馬, 國司光宣, 寺岡文男: LIN6 に基づくネットワークモビリティプロトコルの設計と実装, 情報処理学会論文誌, Vol. 45, pp. 2546–2556 (2004).
- [4] 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).
- [5] Perkins, C.: IP Mobility Support for IPv4, Revised, RFC 5944, IETF (2010).
- [6] Leung, K., Dommety, G., Narayanan, V. and Petrescu, A.: Network Mobility (NEMO) Extensions for Mobile IPv4, RFC 5177, IETF (2008).
- [7] 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).
- [8] 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).
- [9] 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).
- [10] 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).

- [11] 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).