

平成24年度 卒業論文

邦文題目

**NTMobileを利用したネットワークモビリティ  
の実現に関する提案**

英文題目

**Proposal for implementation of network  
mobility using NTMobile**

情報工学科

(学籍番号: 090425209)

廣瀬 達也

提出日: 平成25年2月13日

名城大学理工学部



## 内容要旨

公衆無線網や小型端末の普及により，端末が通信中に移動できる移動透過性と接続するネットワークにかかわらず通信を開始できる通信接続性を満たす環境が望まれる．

一方，ネットワーク機器を利用する場面が多様化し，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増加している．このようなネットワークに対して，既存のノード単位で移動透過性を実現している技術を用いるとネットワークに大量の制御情報を流出し，遅延が発生する可能性がある．このような場面では，ネットワークの境目に位置するルーターが，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はそのまま維持される方法が検討されている．このようなプロトコル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．

我々は移動透過性技術と通信接続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．本稿では，NTMobile を用いてネットワーク単位の移動通信を実現できる手法を提案する．

# 目次

第1章	はじめに	1
第2章	既存技術	3
第3章	NTMobile	5
3.1	NTMobileの概要	5
3.2	通信確立手順	6
第4章	提案方式	9
4.1	前提条件	9
4.2	コネクション確立手順	10
4.3	トンネル通信	11
4.4	ハンドオーバー時の動作	11
第5章	実装方法	12
第6章	まとめ	14
	謝辞	15
	参考文献	16
	研究業績	17

# 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TCP/IPで考えられていた想定を越えており、様々な問題が発生している。IPネットワークでは通信端末のインターフェースに割り当てられたIPアドレスを用いて通信を開始している。そのため、端末の移動やインター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ため、移動しながら通信を行うことができる移動透過性技術が要求されている。

また、IPv4グローバルアドレスの枯渇問題に対応するために、家庭内や企業内のネットワークにプライベートアドレスを導入することで延命をはかってきた。しかし、グローバルアドレス側からプライベートアドレス側に通信を開始できないNAT越え問題が発生し、IPv4の汎用性を大きく損なう要因となっている。

一方、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増加している。このようなネットワークに対して、既存のノード単位で移動透過性を実現している技術を用いるとネットワークに対して、大量の制御情報を流出し、遅延が発生する可能性がある。このような場面では、ネットワークの境目に位置するルーターが、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はそのまま維持される方法が提案されている。このようなプロトコル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。

ノード単位で移動透過性を実現できる技術として、Mobile IP [1]、MAT(Mobile IP with Address Translation) [2]、MobilePPC(Mobile Peer to Peer Communication) [3]などが提案されている。また、これらの技術を利用してネットワークモビリティを実現させた技術として、IPv4ネットワーク対応ではNEMOv4(Network Mobility Extensions for Mobile IPv4) [4]やMobileNPC(Mobile Network to Peer Communication) [5]、IPv6ネットワーク対応ではNEMOv6(Network Mobility Basic Support Protocol),MAT-MONET [6]などが提案されている。

前述で述べたNEMOv4では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という前提がある。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のが避けるのが望ましい。

我々は、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]を提案している。NTMobileはNAT越え技術を兼ね備えており、NAT配下のNTMobile端末に対する接続性を確保できる。

そこで、本論文ではNTMobileを拡張することにより、ネットワーク単位の移動透過性を実現する提案を行う。この技術は専用のルーター NTMR(NTMobile Router) が配下の一般端末に代わって、NTMobileの機能を代行することで実現する。

以下、2章で既存技術について、3章でNTMobileについて概要を説明し、4章で提案方式について述べる。そして、5章で実装について述べ、6章でまとめる。

## 第2章 既存技術

ネットワークモビリティを実現する代表技術として、NEMOv4、MAT-MONET、MobileNPCがある。図 2.1 に NEMOv4 の構成および通信を示す。NEMOv4 では、端末単位の移動透過性を実現した MobileIP を利用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。移動するネットワーク内の端末は一般端末であり、MR(Mobile Router) を介して通信を行う。NEMOv4 は、移動ネットワーク内の端末はグローバル IP アドレスでなければならない。そのため IPv4 枯渇問題に対応することができないという課題がある。

MAT-MONET は移動透過通信アーキテクチャ MAT をネットワークモビリティに拡張させた技術である。MAT は、移動端末に対して、移動によって変化しない HoA(Home Address) と移動端末が訪問先のネットワークから取得する MoA(Mobile Address) という 2 種類のアドレスを持つ。アプリケーションでは HoA を用いて通信を行い、IP 層で HoA と MoA がアドレス変換を行うことにより移動透過性を実現する。

MAT-MONET ではアドレス変換を行う場所を端末自身から MR に移してネットワークごとの移動透過性の実現を行う。しかし、MAT-MONET は MR でアドレス変換を行うため、移動透過性を実現するためには通信相手も MAT に対応している必要がある。また、移動端末の通信経路上に NAT が存在しないことを前提としている。IPv4 環境では、NAT が広く普及しており、NAT が存在する通信ができないのは大きな問題である。

MobileNPC は我々の研究グループが提案しているネットワークモビリティを実現する技

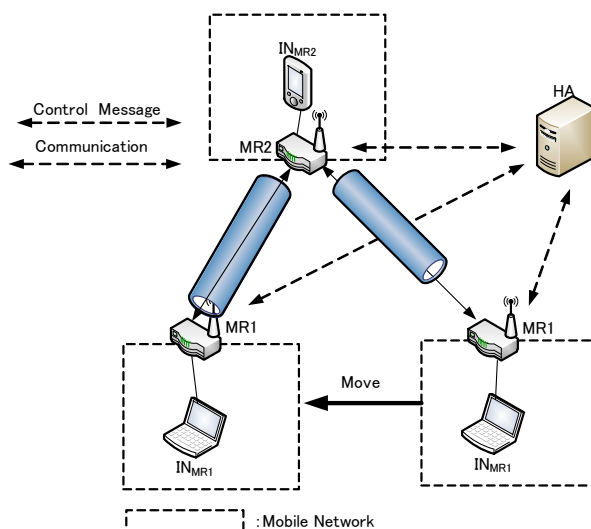


図 2.1 NEMOv4 の通信および構成

術である。専用のルーター MNR(Mobile NPC Router) によってネットワークに接続されている。MobileNPC ではアドレス変換テーブル ECIT(Extend CIT Table) を定義する。ECIT は通信開始時のコネクション ID とアドレス・ポート番号の変換関係を示す情報を記録している。MNR は ECIT から通信端末のアプリケーションが意識する IP アドレス、ポート番号と、実際に通信で使われる IP アドレス、ポート番号の情報の変換を行う。MNR が移動した場合、実際に通信で使われる IP アドレス、ポート番号を通信相手と交換して、ECIT のテーブルを書き換える。そのため、配下の端末が移動前の情報を元に通信相手に対してパケットを送信しても MNR が ECIT テーブルを見て、移動後の情報に基づいてアドレス/ポート変換を行う。MobileNPC は、通信端末同士で移動後のアドレス情報を交換するため、通信相手が MobileNPC に対応していなければ使えないという課題がある。



## 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できるプロトコルとして提案している NTMobile について説明する。

### 3.1 NTMobile の概要

図 3.1 に NTMobile で想定しているネットワークを示す。NTMobile は NTM 端末、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 RS(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による負荷分散を行うことができる。

DC は NTM 端末情報をデータベースに登録している。これらの端末情報は通信接続性の確保のため常に最新の情報を保つように動的に更新される。また、DC は NTM 端末のアドレス管理の他に暗号鍵の生成、配布を行う。NTM 端末の通信開始要求を受けて適切なトン

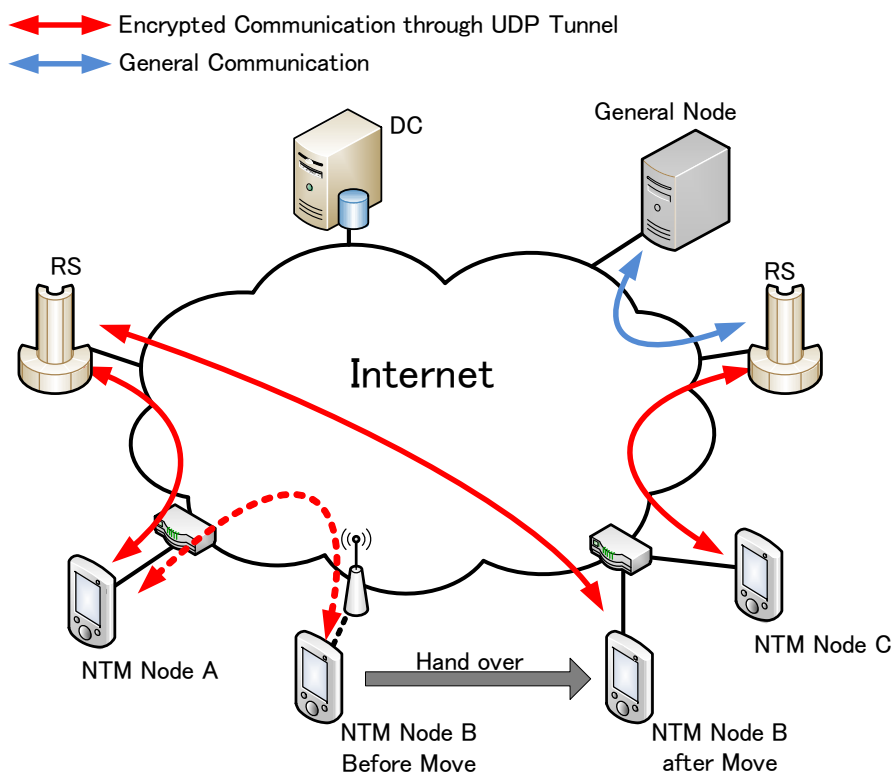


図 3.1 NTMobile の構成

ネル経路を判断し、トンネル構築指示を行う役割も担っている。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割り当てを行う [9]。

RS は通信を行う 2 台の NTM 端末が異なる NAT 配下に存在する場合、NTM 端末間の通信を中継する装置である。また、通信相手が一般端末の場合、IPv4 と IPv6 間の通信を中継にも利用することができる [10]。また、NTM 端末同士がお互いに異なる NAT 配下に接続している場合でも、NAT の種類によっては RS を経由しない通信を行うことができる [11]。

NTM 端末は実ネットワークから配布される実 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 種類のアドレスを持つ。アプリケーションでは仮想 IP アドレスを用いてトンネルによって転送される。そのため、NTM 端末が移動して実 IP アドレスが変化しても、移動を隠蔽することができるため、移動透過性が確保することができる。

## 3.2 通信確立手順

NTM Mobile における通信確立手順を詳述する。以後の説明では、通信開始側の NTM 端末を MN (Mobile Node)、MN の実 IP アドレスを  $RIP_{CN}$ 、MN の仮想 IP アドレスを  $VIP_{MN}$ 、通信相手側の NTM 端末を CN (Correspondent Node)、CN の実 IP アドレスを  $RIP_{CN}$ 、CN の仮想 IP アドレスを  $VIP_{MN}$  とする。

### 3.2.1 前提条件

MN、CN はアドレス情報を登録するために NTM Registration Request/Response をそれぞれ  $DC_{MN}$ 、 $DC_{CN}$  に送信する。登録処理を受け取った DC はその情報をデータベースに登録する。エンド端末が使用する仮想 IP アドレスはそれぞれの DC により割り当てられ、重複がないものとする。

### 3.2.2 通信シーケンス

MN と NAT 配下に CN が存在する場合の例を取り上げ、図 3.2 に通信シーケンスを示す。MN は名前解決処理を検出すると、CN の端末情報を得るため、DC に対して NTM Direction Request を送信し、名前解決処理を依頼する。NTM Direction Request には名前解決依頼の他にトンネル構築指示要求も含まれている。 $DC_{MN}$  は  $DC_{CN}$  に対して端末情報を要求する。 $DC_{MN}$  が端末情報を取得した後、MN と CN の端末情報を元に、NTM Route Direction により、MN と CN 間のエンドエンドでトンネルを構築する。このとき、CN はプライベートネットワークに存在するため、CN から MN に対して、NTM Tunnel Request を送信する。MN は NTM Tunnel Request を受信すると CN に対して、NTM Tunnel Response を送信し、トンネル構築処理を完了する。NTM Tunnel Request をプライベートネットワークから送信するこ

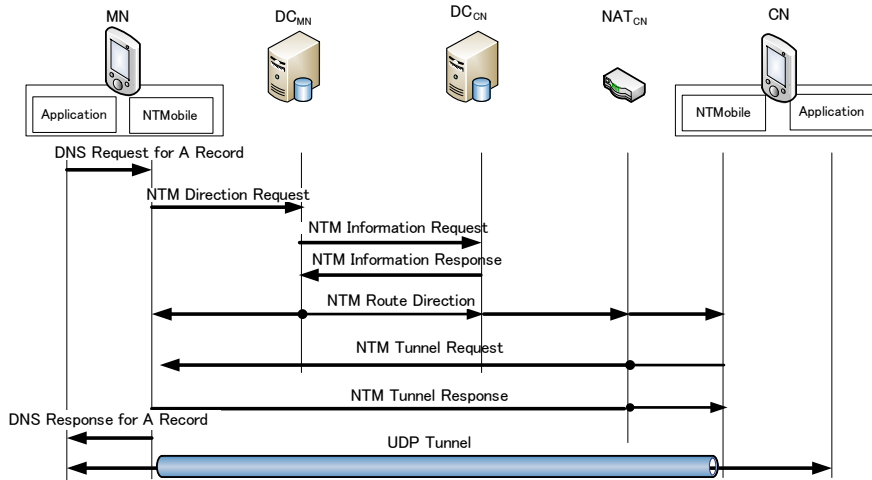


図 3.2 通信シーケンス

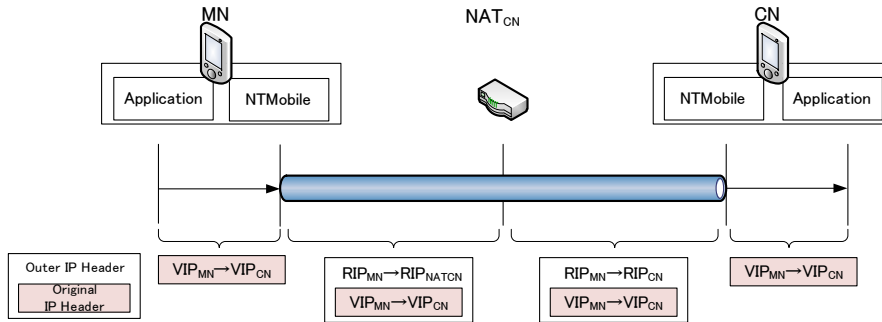


図 3.3 トンネル通信時のアドレス遷移

とにより， $NAT_{CN}$  に MN と CN で通信するためのマッピング情報が生成され，NAT をまたがったトンネルを構築することができる．トンネル構築後，MN は待避していた DNS クエリに含まれる CN の実 IP アドレス  $RIP_{CN}$  を，取得した端末情報を元に，仮想 IP アドレス  $VIP_{CN}$  に書き換えて DNS リゾルバに渡す．

### 3.2.3 トンネル通信

図 3.3 に MN と CN 間のトンネル通信を行う様子を示す．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  $VIP_{CN}$  が記載されている．MN は宛先のアドレスである  $VIP_{CN}$  を NTMobile の機能により実 IP アドレス  $RIP_{CN}$  で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，NTMobile の機能によりデカプセル化を行い，元の宛先アドレスである  $VIP_{CN}$  を取り出す．その後，抽出したアプリケーション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，外側の IP ヘッダと UDP ヘッダがアドレス・ポート変換されるだけである．そのため，内側のヘッダは変化しないため，NAT による影響を受けることなく通信を行うことができる．

#### 3.2.4 ハンドオーバー時の動作

NTM 端末が通信中に移動してネットワークが切り替わった場合，NTM 端末は変化したアドレス情報を DC に送信し，端末情報を更新する．次に，通信開始時と同じトンネル構築処理を行うことによりトンネルの再構築をする．アプリケーションが意識する IP アドレスは変化しないため，通信の継続が可能である．

## 第4章 提案方式

図 4.1 に提案方式の構成図を示す。提案方式ではネットワークモビリティを実現するため、NTM の機能を実装した専用のルーター NTMR を新たに提案する。移動ネットワークは、NTMR によりインターネットと接続されている。移動ネットワーク内は仮想 IP アドレス空間とする。また、ネットワーク内には一般端末 IN(Internal Node) が存在する。IN はインターネット上の NTM 端末 EN(External Node) と通信を行う。

### 4.1 前提条件

NTMR はネットワーク接続時に NTMR を管理する  $DC_{NTMR}$  に対して NTM Registration Request を送信する。 $DC_{NTMR}$  は NTM Registration Request を受信すると、アドレス登録処理を行う。この際、NTMR は自身の移動ネットワークを管理することを知らせる。 $DC_{NTMR}$

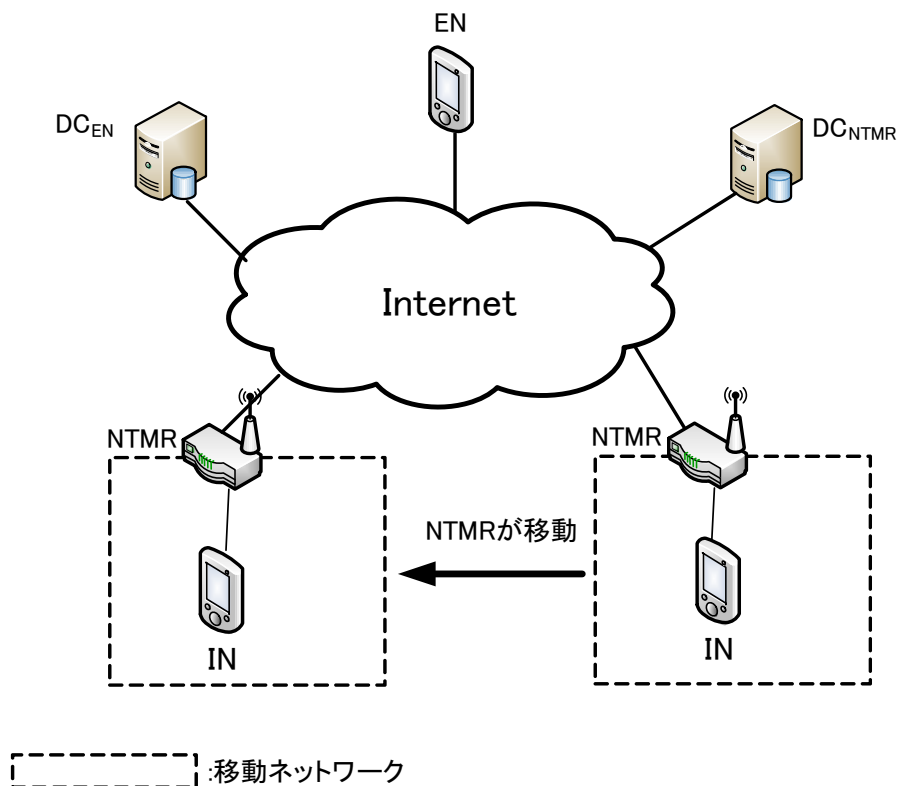


図 4.1 提案方式の構成図

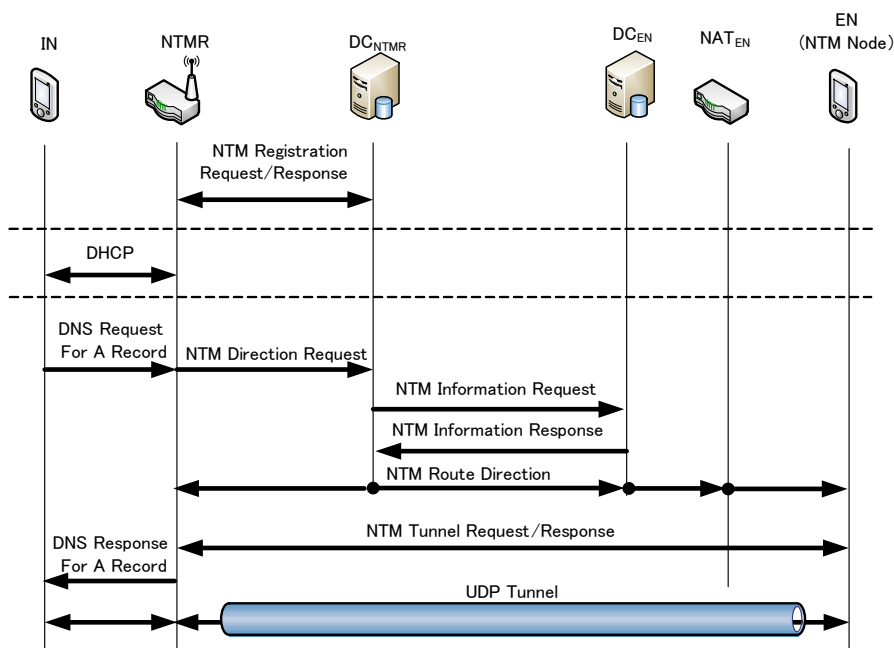


図 4.2 提案方式の通信シーケンス

は NTMR の登録処理を行うとともに，NTMR に対して仮想アドレスプールを割り当てる．IN のデフォルトゲートウェイ，DNS サーバアドレスは NTMR のアドレスとする．

## 4.2 コネクション確立手順

図 4.2 に提案方式におけるコネクション確立手順を示す．IN が起動したタイミングで，NTMR が持っている仮想 IP アドレスプールから IN に配布する仮想 IP アドレスを DHCP を用いて配布する．IN は取得した仮想 IP アドレスを実 IP アドレスと認識して通信を行う．

IN から EN へ通信を開始するとき，IN は名前解決を行う．NTMR は IN からの名前解決処理をフックして，一時的にカーネルに待避する．NTMR は名前解決およびトンネル構築指示を依頼するため，DC<sub>NTMR</sub> に対し NTM Direction Request を送信する．DC<sub>NTMR</sub> が NTM Direction Request を受け取ると名前解決を行うために，DC<sub>EN</sub> との間で端末情報を交換する．DC<sub>NTMR</sub> は名前解決により取得した端末情報を元にトンネル構築を指示する NTM Route Direction を NTMR と EN に対して送信する．NTM Route Direction を受けて NTMR と EN 間で NTM Tunnel Request/Response をやりとりして，トンネルを構築する．その後，NTMR は待避していた DNS クエリの応答として，EN の実 IP アドレス  $RIP_{EN}$  を仮想 IP アドレス  $VIP_{EN}$  に書き換えて IN に渡す．これにより，IN は通信相手の IP アドレスとして  $VIP_{EN}$  を認識する．以上の動作により，NTMR と EN 間に UDP トンネルが構築される．

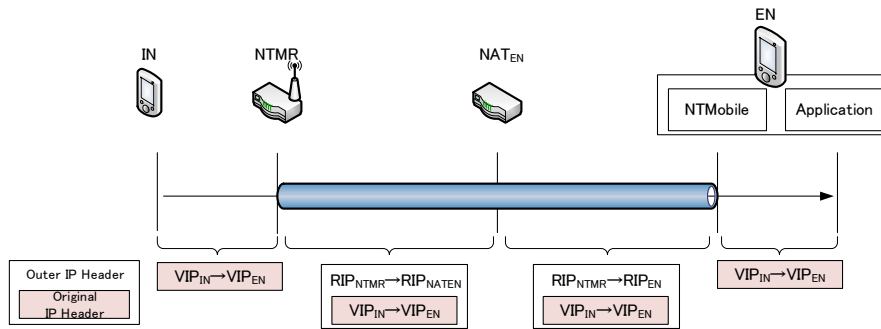


図 4.3 トンネル通信時のアドレス遷移

### 4.3 トンネル通信

図 4.3 に IN と EN 間のトンネル通信を行う様子を示す。IN と EN 間の通信は仮想 IP アドレスによって、通信が行われる。そのため、IN は宛先のアドレスである  $VIP_{EN}$  を NTMR に対して送信する。NTMR では送られてきたパケットを NTMobile の機能により実 IP アドレス  $RIP_{NTMR}$  でカプセル化して送信する。NTMR と EN 間では通常の NTMobile と同様に UDP トンネルが構築されている。EN はカプセル化されたパケットを受信すると、NTMobile の機能によりデカプセル化を行い、元の宛先アドレスである  $VIP_{EN}$  を取り出す。その後、抽出したアプリケーションパケットを上位アプリケーションへ渡す。

逆に、EN から IN に対して通信が行われた場合、EN のアプリケーションで生成された仮想 IP アドレスを実 IP アドレスでカプセル化して NTMR に送信する。NTMR はカプセル化されたパケットを受け取るとデカプセル化して、IN に対してデータを渡す。このように、エンド端末が認識するアドレスは仮想 IP アドレスを利用するので、ネットワークが移動するため、移動を隠蔽することができる。

### 4.4 ハンドオーバー時の動作

NTMR が通信中に移動してネットワークが切り替わった場合、3.2.4 項と同様に NTMR は変化したアドレス情報を  $DC_{NTMR}$  に送信し、端末情報を更新する。次に、通信開始時と同じトンネル構築処理を行うことによりトンネルを再構築する。

## 第5章 実装方法

図 5.1 に提案方式のモジュール構成を示す。NTMR は NTM 端末の機能を元に動作を行うため、NTM 端末のモジュールを一部変更する。NTM 端末はカーネル空間に実装する NTM カーネルモジュールとユーザー空間に実装する NTM デーモンにより動作する。

NTMR は NTM 端末と比べて主に 3 つ変更を行う必要性がある。1 つ目はインターフェースの違いである。NTM 端末では実インターフェースが一枚のみであったが、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 つの実インターフェースが必要となる。

2 つ目はトンネル構築処理を始めるトリガーの違いである。NTM 端末では DNS 問い合わせをトリガーとしてトンネル構築処理を始める。一方、NTMR では配下の端末から受け取った DNS Query の送信を Internal Interface が受信すると、カーネル空間において Netfilter でフックして NTM デーモンへ渡し、トンネル構築処理を実行するように変更を行う。

3 つ目はカプセル化およびでカプセル化されるパケットの送信先の違いである。NTM 端末では Application から送信されたパケットは 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して実インターフェースから送信する。実インターフェースから送られたパケットは Netfilter によってフックされ、NTM カーネルモジュールでデカプセル化し、Application に送られる。一方、NTMR では配下の端末から送信されたパケットを Internal Interface が受信すると、Netfilter によってフックされ、NTM カーネルモジュールでカプセル化処理を実行し、External Interface から送信される。External Interface が受信したパケットは、Netfilter によってフックされ、NTM カーネルモジュールでデカプセル化を実行し、

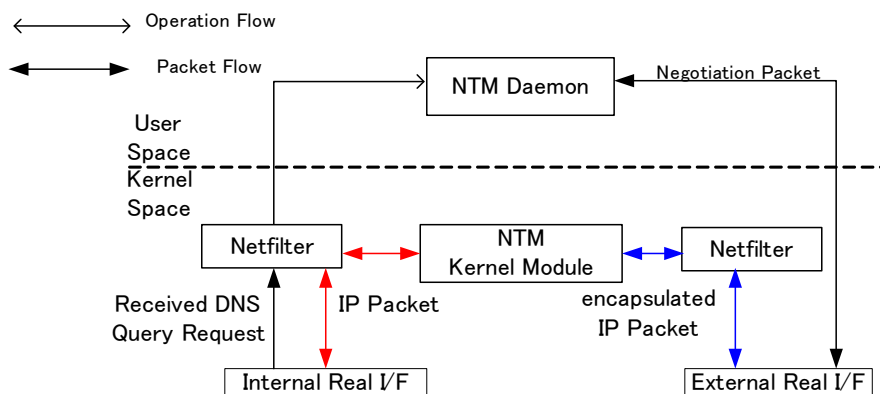


図 5.1 提案方式のモジュール構成



Internal Interface から送信されるように変更を行う .

## 第6章 まとめ

本研究では、通信接続性と移動透過性を実現できる NTMobile を拡張し、専用の NTMR を設置することにより、ネットワーク単位の移動透過性を実現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 の機能を代行する事により実現する。一般端末は仮想 IP アドレスを元に通信を行い、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出来る。

今後は提案方式を実装し、評価を行う予定である。

# 謝辞

本研究にあたり，多大なるご指導とご教授を賜りました，渡邊晃教授に心から感謝いたします．

また，本研究を進めるにあたり，御意見ならびに御助言を受け賜りました，名城大学理工学研究科 鈴木秀和助教，三重大学大学院工学研究科 内藤克浩助教に心より感謝致します．最後に，本研究を進めるにあたり，数々の有益な御助言や御討論を賜りました，渡邊研究室および鈴木研究室の諸氏に感謝します．

## 参考文献

- [1] Perkins,C:IP Mobility Support for IPv4,Revised,RFC5944,IETF(2010).
- [2] 相原玲二,藤田貴大,前田香織,野村嘉洋:アドレス変換方式による移動透過インターネットアーキテクチャ,情報処理学会論文誌,Vol.43, No.12,pp. 3889-3897(2002).
- [3] 竹内元規,鈴木秀和,渡邊 晃:エンドエンドで移動透過性を実現する Mobile PPC の提案と実装,情報処理学会論文誌,Vol.47,No.12,pp. 3244-3257(2006).
- [4] Leung, K., Dommety,G., Narayanan, V. and Petrescu, A.: Network Mobility (NEMO) Extensions for Mobile IPv4,RFC 5177,IETF(2008).
- [5] 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).
- [6] 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 2003 論文集, pp. 105-108(2003).
- [7] 鈴木秀和,上酔尾一真,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,上酔尾一真,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] 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 におけるシームレスな IPv4/IPv6 アドレスの管理手法と実装,マルチメディア,分散,協調とモバイル(DICOMO2012)シンポジウム論文集,Vol.2012, pp. 1180-1186.
- [10] 上酔尾一真,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,マルチメディア,分散,協調とモバイル(DICOMO2012)シンポジウム論文集,Vol.2012, No.1, pp. 1169-1179, Jul.2012.
- [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).
- [12] 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(2011).

# 研究業績

## 研究会・大会等

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, 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”, 情報処理学会第 75 回全国大会講演論文集, Mar.2013 .