

平成30年度 卒業論文

和文題目

**IPv4クライアントとIPv6サーバの通信を可能にするNTMobileアダプタの検討**

英文題目

**NTMobile adapter that enables communication  
between IPv4 client and IPv6 server**

情報工学科 渡邊研究室  
(学籍番号: 150441104)

成瀬 哲

提出日: 平成31年2月8日

名城大学理工学部



## 概要

IPv4 アドレスは枯渇が大きな問題となっており、早急な IPv6 アドレスへの移行が求められている。しかし、IPv4 アドレスと IPv6 アドレスに互換性がないため、移行のスピードは緩やかなものになると予測される。我々は、NAT 越え問題や IP アドレスの混在下でも通信を実現する技術として、NTMobile (Network Traversal with Mobility) を提案している。NTMobile ではシステムで一意的となる仮想 IP アドレスを各エンド端末に割り当て、すべての通信を実 IP アドレスでカプセル化することにより、上記問題を解決している。NTMobile を実装していない端末との通信は、RS を経由して行われるが、実装にはカーネルの改造が必要になる。カーネルに変更を加える実装は困難であり、またパケットフォーマットの変更が必要となり、その点も実装を困難にしている。そこで本論文では、NTMobile を実装していない IPv6 端末との通信を、RS ではなくトンネル終端装置 (TT) 用いて実現することを提案する

## Abstract

Depletion of IPv4 addresses is a serious problem, and it is required to shift to IPv6 addresses as soon as possible. However, since IPv4 address and IPv6 address are incompatible, the speed of migration is expected to be moderate. We propose NTMobile (Network Traversal with Mobility) as a technology to realize communication even under mixed NAT traversal problems and IP addresses. In NTMobile, the above problem is solved by allocating a virtual IP address that is unique in the system to each end terminal and encapsulating all communication with the real IP address. Communication with terminals not equipped with NTMobile is done via RS, but the implementation requires modification of the kernel. It is difficult to implement the change to the kernel, and it is necessary to change the packet format, which also makes the implementation difficult. In this paper, therefore, we propose to realize communication with IPv6 terminals not implementing NTMobile using tunnel terminating equipment (TT) instead of RS



# 目次

第1章 序論	1
第2章 既存技術	3
2.1 Teredo	3
2.1.1 概要	3
2.1.2 通信シーケンス	3
2.1.3 課題	3
第3章 NTMobile	5
3.1 NTMobile の概要	5
3.2 NTMobile の構成	5
3.3 NTMobile のシーケンス	6
第4章 提案方式	7
4.1 提案方式の概要	7
4.2 提案方式のシーケンス	7
第5章 実装構成	9
5.1 TT の構成図	9
5.2 パケットのフォーマットとアドレス遷移	9
第6章 結論	11
謝辞	13



# 第1章 序論

高速無線通信技術の発展や、スマートフォンなどの携帯端末や IoT デバイスの登場に伴い、ユーザからのインターネット接続への需要は爆発的に高まっている。そのため、現在の主流である IPv4 インターネットの規模は当初想定していた規模を遥かに上回るものとなってしまう、グローバル IPv4 アドレスの枯渇が大きな問題となっている。より大きなアドレス空間を持つ IPv6 アドレスへの移行が急がれるが、IPv4 アドレスと IPv6 アドレスの間に互換性がないため、IPv6 アドレスへの移行を即座に行うことができない。徐々に IPv6 アドレスへの移行が進んでいくと考えられるため、今後しばらくの間は IPv4 アドレスと IPv6 アドレスが入り混じった混在環境が続くと予測される。また、短期的な IPv4 アドレス枯渇問題の解決策として、企業内ネットワークや家庭内のネットワークに NAT (Network Address Translation) を導入し、インターネットとの通信をプライベート IP アドレスを用いて行うことでグローバル IP アドレスの節約を行っている。しかし、現在では 5 つある特定地域内の IP アドレスの割り当て業務を行うレジストリである RIR (Regional Internet Registry) のうち、5 つ全ての RIR が IPv4 アドレスの枯渇を宣言している。また、NAT を導入することにより、グローバルインターネット側から NAT 配下のプライベートインターネット側にアクセスすることが出来なくなる NAT 越え問題が発生し、通信接続性を確保できなくなる。そのため、IPv6 アドレスへの移行は避けられないものとなっており、いずれ IPv4 アドレスを持たず、IPv6 アドレスのみを持つサーバがサービスを提供し始めることが予測される。

著者らは、NAT 越え問題を解決する技術である NTMobile (Network Traversal with Mobility) を提案している。[?, 1] NTMobile は位置に依存しない仮想 IP アドレスを用いて通信を行うことにより、NAT 越えを実現する技術である。NTMobile では、NTMobile を実装した端末 (NTM 端末) に仮想 IP アドレスを割り当てる。NTM 端末上のアプリケーションでは割り当てられた仮想 IP アドレスを用いてパケットの作成を行う。実際の通信では、作成されたパケットを NTMobile の機能を用いて実 IP アドレスでカプセル化を行い、トンネル通信を行う。通信経路の指示を DC が行うことにより、両 NTM 端末は NAT が間に介在する場合でも問題なく通信を行うことが出来る。

NTMobile では、NTM 端末と NTMobile を実装していない端末との通信を行うことも可能である。その際、仮想 IP アドレスを実 IP アドレスに変換する RS (Relay Server) と NTM 端末との間に UDP トンネルを構築することにより通信を実現している。[4] また、一般端末と NTMobile を実装した端末との通信を、RS を改良した RS-N という形で検討が進められてきたが、シグナリングの定義が不明確であった。また、実装にはカーネルに改造を加える必要があった。そこで本論文では、NTMobile を実装していない IPv6 端末との通信を、RS ではなくトンネル終端装置 (TT) 用いて実現することを提案する。シグナリングを明確にし、カーネル改造を伴わないアプリケーションレベルでの実装を検討した。今回は、NTMobile を実装した端末と一般の IPv6 アドレスのみを

持つサーバとの通信を前提として、検討を行った。

以後、2章で既存の IPv4/IPv6 間の相互通信を実現する既存技術について述べ、3章では NTMobile について述べる。4章では提案方式の概要とシーケンスについて説明し、5章で提案方式の実装構成について述べ、6章でまとめる。

## 第2章 既存技術

本章では、IPv4 クライアントから IPv6 サーバへのアクセスを可能にする技術である Teredo について、概要および通信シーケンス、問題点について説明する。

### 2.1 Teredo

#### 2.1.1 概要

Teredo (RFC4380) とは、通信経路上に IPv6 を理解しない通信機器が存在するために、IPv6 ネットワークと直接接続ができないクライアントに対し、IPv6 データを IPv4 User Datagram Protocol (UDP) データ内にカプセル化することにより IPv6 接続を提供するクロスプラットフォームトンネリングプロトコルである。[5] クライアントが NAT 配下であり、グローバルでない IPv4 アドレスのみを割り当てられている場合でも使用することができる。Teredo を実現するためには、Teredo Server と Teredo Relay をデュアルスタックネットワーク上に設置する必要がある。

#### 2.1.2 通信シーケンス

図 1 に Teredo を使用したクライアント（以下 Teredo クライアント）が IPv6 アドレスのみを持つサーバ（以下サーバ）と通信する際のシーケンスを示す。Teredo Server, Teredo Relay は共に Teredo 通信に用いられる装置群であり、Tered Client は Teredo を使用している端末である。通信相手は、IPv6 アドレスのみを持つ GNv6 である。なお、Teredo クライアントは事前に Teredo 専用の IP アドレスを Teredo Server との通信を行って作成する必要があるが、ここでは説明の簡単化のため、既に作成が完了しており、Teredo の使用許可を得ているものとする。

サーバと通信を開始する際、Teredo クライアントは ICMPv6 Echo Request を UDP でカプセル化し、設定済み Teredo Server に送信する。Teredo Server はこれを非カプセル化することにより、サーバに送信する。サーバは ICMPv6 Echo Reply を Teredo Relay 経由でクライアントに返信する。Teredo クライアントは Teredo Relay に向けてホールパンチングを行い IPv6 over IPv4 トンネルを構築した後これを受け取り、通信が開始される。

#### 2.1.3 課題

Teredo は NAT の配下でも使用することができるが、NAT のタイプによっては使用することができないという欠点がある。

NAT には Full Cone NAT, Restricted Cone NAT, Port-restricted Cone NAT, Symmetric NAT の 4 種類が存在する。Full Cone NAT の場合、NAT 外部から特定の IP アドレスとポート番号に送信さ

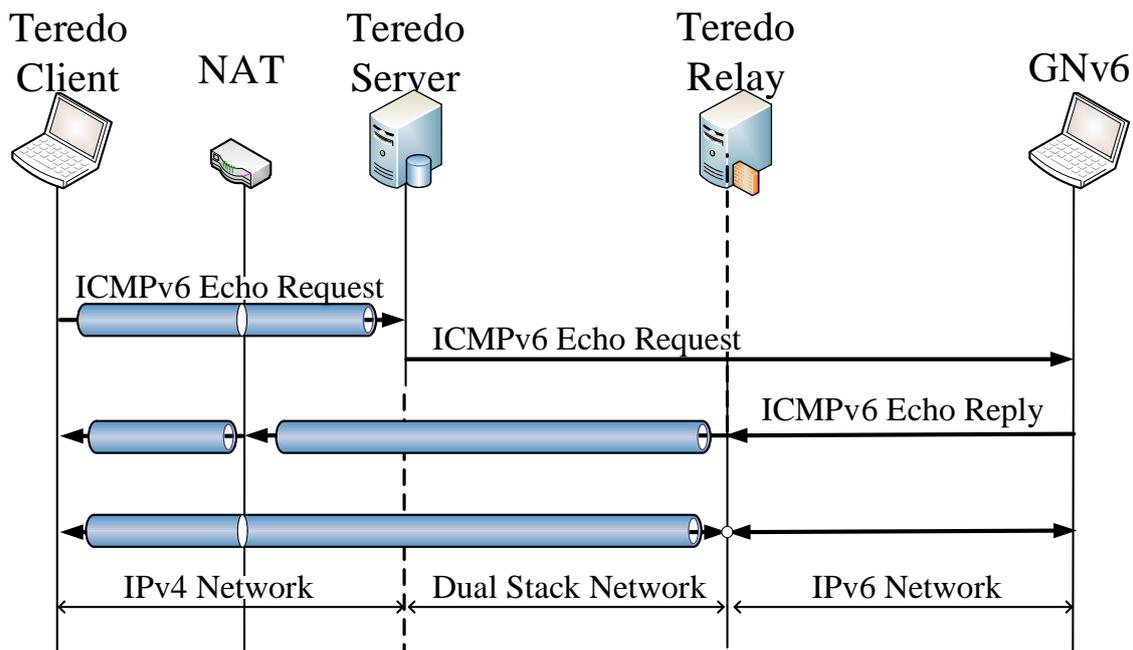


図 1 Teredo のシーケンス

れたパケットは、送信元 IP アドレスによらず NAT 内部に転送される。Restricted Cone NAT は送信元が過去に内部から送信された IP アドレスである場合、Port-restricted Cone NAT は送信元が過去に内部から送信された IP アドレスとポート番号である場合にのみ内部に転送する。Symmetric NAT は Port-restricted Cone NAT と同様に、過去に内部から送信されたことのある IP アドレスおよびポート番号が送信元の場合のみ内部へと転送されるが、通信毎に内部 IP アドレス/ポート番号の組を、特定の外部 IP アドレスとポート番号にマッピングする。この Symmetric NAT は全世界で 2 割ほど使用されている。

この NAT タイプの中で、Symmetric NAT の場合は Teredo を使用することができない。Teredo クライアントと NAT 配下の通信相手（以下 Node）が共に Symmetric NAT を使用していた場合を想定して、シーケンスを図を示す。ここでも Teredo で用いる IP アドレスの作成は既に作成が完了しており、Teredo の使用許可を得ているものとする。また、Teredo クライアントと Node が事前準備時に通信していた Teredo Server は異なるものとする。

通信開始時、Teredo クライアントは ICMPv6 Echo Request を UDP でカプセル化し、設定済み Teredo Server に送信する。Teredo Server はこれを非カプセル化することにより、Node に送信する。Node と Teredo Server は過去に通信を行っていないため、Symmetric NAT はこのパケットを内部に通さず破棄する。Node は ICMPv6 Echo Request を受信していないため ICMPv6 Echo Reply を送信せず、Teredo クライアントも ICMPv6 Echo Reply を受信できないためタイムアウトし、セッションが終了する。

## 第3章 NTMobile

本章では、NAT 越え問題や IPv4/IPv6 混在環境で相互通信を可能にする技術である NTMobile について説明する。

### 3.1 NTMobile の概要

NTMobile (Network Traversal with Mobility) は、IPv4 と IPv6 の混在環境で、IPv4 端末と IPv6 端末間の通信や NAT 配下端末どうしの通信を可能にする技術である。システムで一意となる仮想 IP アドレスを各エンド端末に割り当て、すべての通信を実 IP アドレスでカプセル化する。仮想 IP アドレスは、移動等によりネットワークが切り替わった場合でも変化せず、実 IP アドレスに依存しない NTMobile 独自の IP アドレスである。そのため、通信中にネットワークが切り替わり実 IP アドレスの変化が起こった場合でも、通信相手やアプリケーションにその変化を隠匿し通信を継続することができるため、高い通信接続性と移動透過性を持つ。

### 3.2 NTMobile の構成

図 2 に NTMobile のネットワーク構成図を示す。NTMobile は、専用のアプリケーションを組み込んだ NTM 端末、実 IP アドレスと仮想 IP アドレスの管理、および通信経路を指示する DC (Direction Coordinator)、端末同士がエンドエンドで直接通信を行うことが出来ない際にパケットの中継を行う RS (Relay Server) で構成される。DC および RS はグローバルネットワーク上に設置する必要がある。

NTMobile は、各 NTM 端末に対して FQDN (Fully Qualified Domain Name) 等に依存しない、システムで一意となる仮想 IP アドレスを割り当て、通信を行う。NTM 端末上のアプリケーションでは仮想 IP アドレスを用いたパケット生成が行われ、それらは実 IP アドレスでカプセル化され、通信相手に送信される。ネットワークに切り替え等により実 IP アドレスの変化が発生しても、アプリケーション上で用いている仮想 IP アドレスに変化は起こらないため、通信を継続することが出来る。

端末同士が直接通信を行うことが出来ない場合、RS を経由した通信を行うことになる。直接通信を行うことが出来ない場合とは、NTM 端末が一般端末と通信を行う場合などである。その場合、RS がカプセルパケットの外側のアドレス変換を行うことにより、通信が実現する。

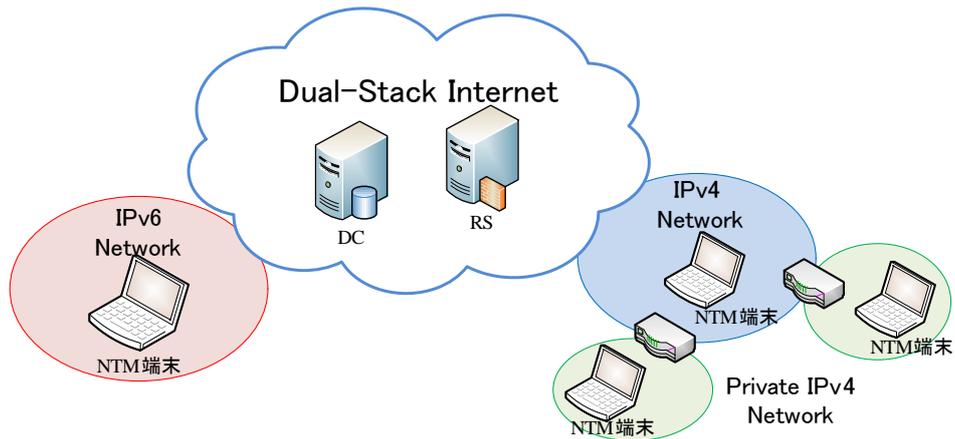


図2 NTMobile 構成図

### 3.3 NTMobile のシーケンス

図3にNTMobileのシーケンスを示す。MN、CNは共にNTMobileを実装した端末である。なお、MNとCNは事前に仮想IPアドレスを取得しているものとし、通信開始はMNとする。

通信開始時、MNは経路指示要求（Direction Request）を送信する。これを受け取ったDCは経路指示をCNに送信する。CNからの応答後、MNにも同様に経路指示を送信する。MNとCNはTunnel Request/Responseを交換することによりトンネル経路を構築する。以降の通信は、作成されたトンネルを用いて行われる。

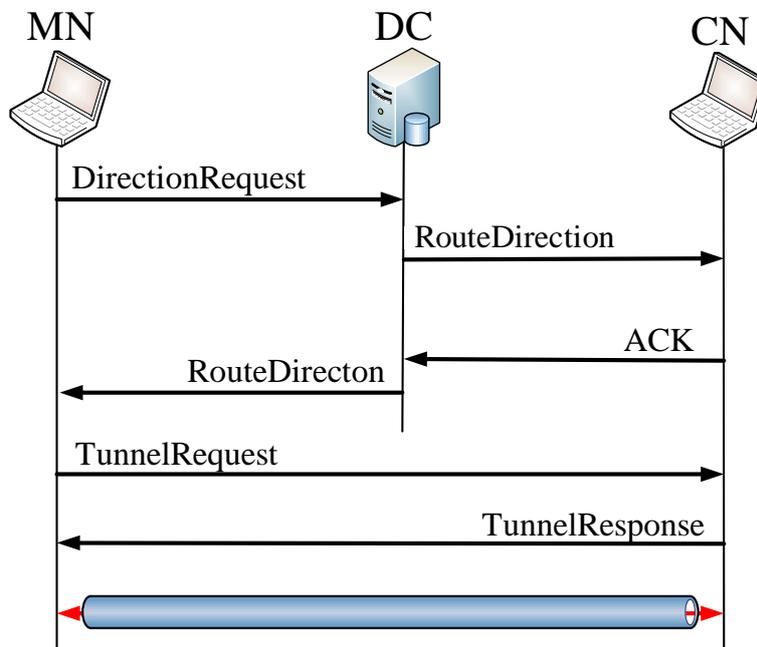


図3 NTMobile シーケンス

## 第4章 提案方式

本章では、提案方式である TT (Tunnel Terminator) の概要について述べる。ここでは、NTMobile を実装した、NAT 配下の IPv4 端末 (以下 MNv4) からインターネット上の一般 IPv6 サーバ (GNv6) に通信を行うことを想定する。

### 4.1 提案方式の概要

本提案では、インターネット上に NTMobile の通信を終端するトンネル終端装置 (TT) を設置することを提案する。TT は従来の NTMobile の通信では、RS に該当する位置に配置される。

TT は、カプセル化されたパケットを受け取った際、パケットをでカプセル化し、元パケットを取り出す。その際、仮想 IP アドレスと実 IP アドレスの変換を行う。ここで行うアドレス変化は、送信元と宛先の両方を変換するものであり、一般の NAT が行うアドレス変換とは異なるものとなっている。

### 4.2 提案方式のシーケンス

図 4 に、提案方式のシーケンスを示す。なお、MNv4 は NTMobile を実装しており、MNv4 は仮想 IPv6 アドレス (MNv6\_VIP) を既に取得しているものとする。

通信開始時、MNv4 は DC に対し経路指示要求 (Direction Request) を送信する。FQDN の内容より、通信相手が一般サーバであることが分かるので、DC は経路指示 (Route Direction) を GNv6 の仮想 IP アドレスと共に TT に送信し、MNv4 と GNv6 の通信を中継するように指示する。TT は DNS サーバと通信を行い、GNv6 の実 IPv6 アドレス (RSv6\_RIP) を取得する。この際、TT は取得した仮想 IP アドレスと実 IPv6 アドレスを用いて IP アドレス変換テーブルを作成する。DC は経路指示 (Route Direction) により、MNv4 に TT とのトンネル構築の指示を行う。MNv4 と TT は Tunnel Request/Response を交換することにより、トンネル経路を構築する。以降の通信パケットは、TT がアドレス変換テーブルに従って仮想アドレスと実アドレスを変換し、GNv6 との通信を行うことができる。

通信パケットのアドレス遷移は図 5 のようになっている。ここでは図の簡単化のために、接続先は WEB サーバ (ポート番号: 80) であるとした。また、XZ はそれぞれ不定なポート番号を示しており、NTMobile の通信で用いられるポート番号は、4330 となっている。

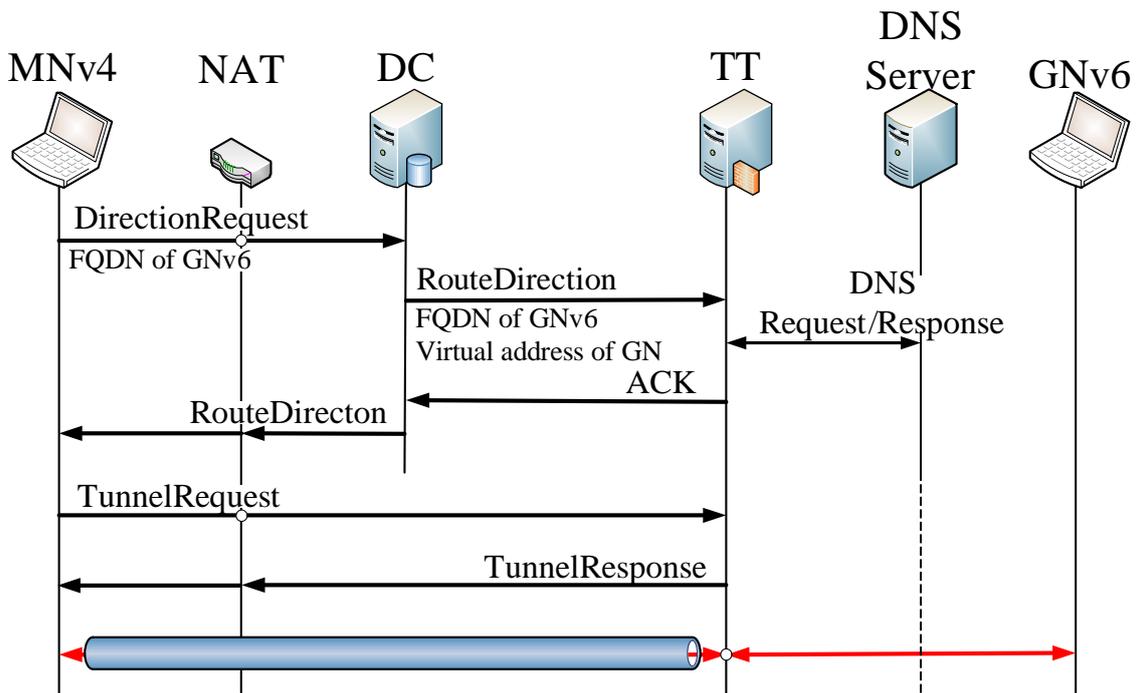


図 4 TT を用いた通信のシーケンス

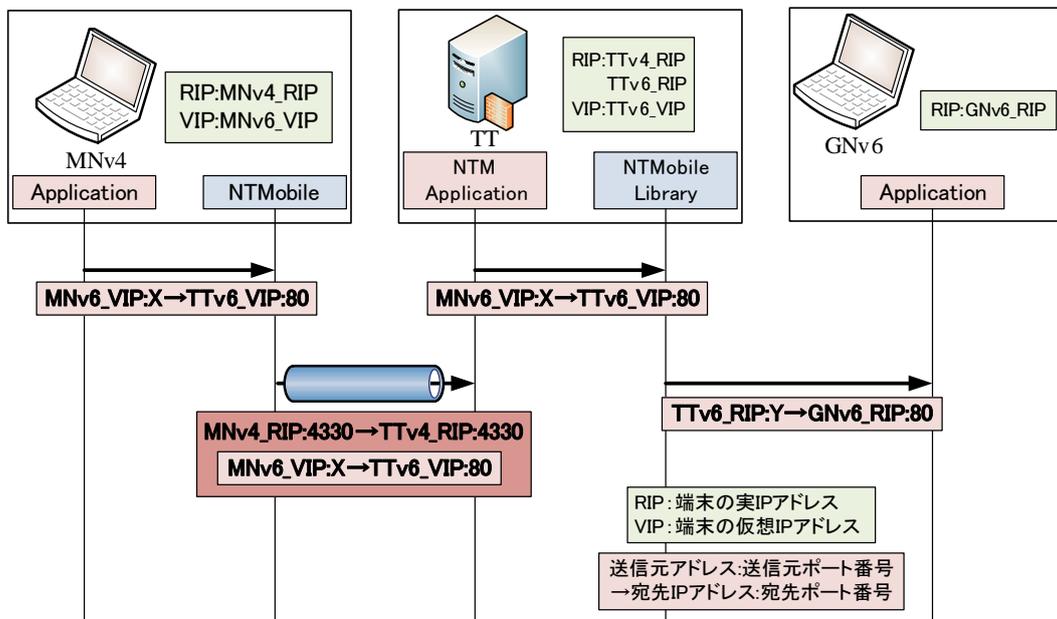


図 5 TT を用いた際のアドレスの遷移

## 第5章 実装構成

本章では、TTの実装構成について述べる。また、MNv4からGNv6への通信を想定して、パケットのアドレス遷移についても述べる。

### 5.1 TTの構成図

TTは、NTMAを流用して実現する。NTMAとは、プログラムを改造が一切行えず、NTMobileを実装出来ない通信装置とネットワークの間にブリッジすることにより、一般端末の通信をNTM通信へと変換する装置である。[6] TTはパケットを中継する際、送信元IPアドレスと宛先IPアドレスの変換を行うが、NTMAにはその機能は実装されていない。そのため、送信元アドレスの変換をLinuxにあるNAT機能を用いて変換し、宛先アドレスの変換をNTMAアプリケーション上に追加機能として実装する。

図6にLinuxを用いたTTの構成図を示す。図中の黒矢印はシグナリングの際に通過する経路であり、赤矢印はパケット中継中に用いる経路である。また、MNv4はNTMobileを実装し、IPv4アドレスのみを持つ端末であり、GNv6はIPv6アドレスのみを持つ一般サーバである。TTは、NTMAアプリケーションとNTMobileライブラリから実現されている。NTMAアプリケーションに宛先アドレス変換モジュールとDNS機能を追加実装する。DNS機能は、DNSの処理とアドレス変換テーブルを作成する。NTMobileライブラリには二つのモジュールが実装されている。ネゴシエーションモジュールでは主に通信開始時のシグナリング処理を行い、パケット操作モジュールではNTMヘッダやMACヘッダの取り外しや付与を行う。また、GN側のソケットにRAWソケットを用いることにより、パケットフォーマットを変化させることなく送受信することを可能にしている。さらに、Linux部では、機能の一部であるNATを使用することにより、送信元アドレスとポート番号の変換を行っている。

### 5.2 パケットのフォーマットとアドレス遷移

図7を用いて、各モジュールでのパケットのフォーマットとアドレス遷移を示す。MNv4からGNv6への通信を想定している。また、IPアドレスの定義は、[端末名]v[IPアドレスのバージョン]-[仮想アドレス(VIP)か実アドレス(RIP)か]、となっている。

MNv4から送信されたパケットは、TTのBSDソケットAPIで受信される。その際、カプセル化に用いられていたIPアドレスなどが取り除かれる。その後、NTMobileライブラリのパケット操作モジュールにて、NTMヘッダとMACヘッダの除去が行われる。NTMAアプリケーションの

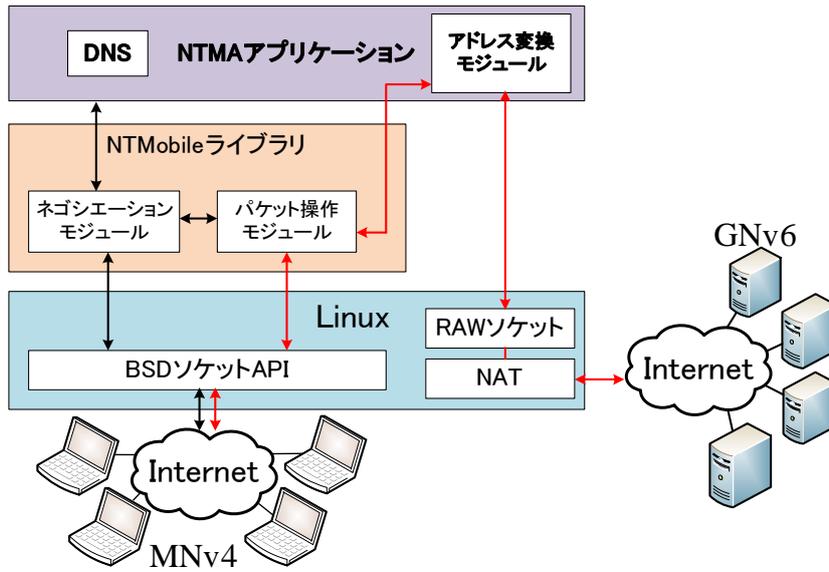


図 6 TT の構成図

アドレス変換モジュールにて宛先 IP アドレスの変換を行った後、これを RAW ソケットから送信し、Linux の NAT により送信元 IP アドレスの変換をし、GNv6 に送信する。

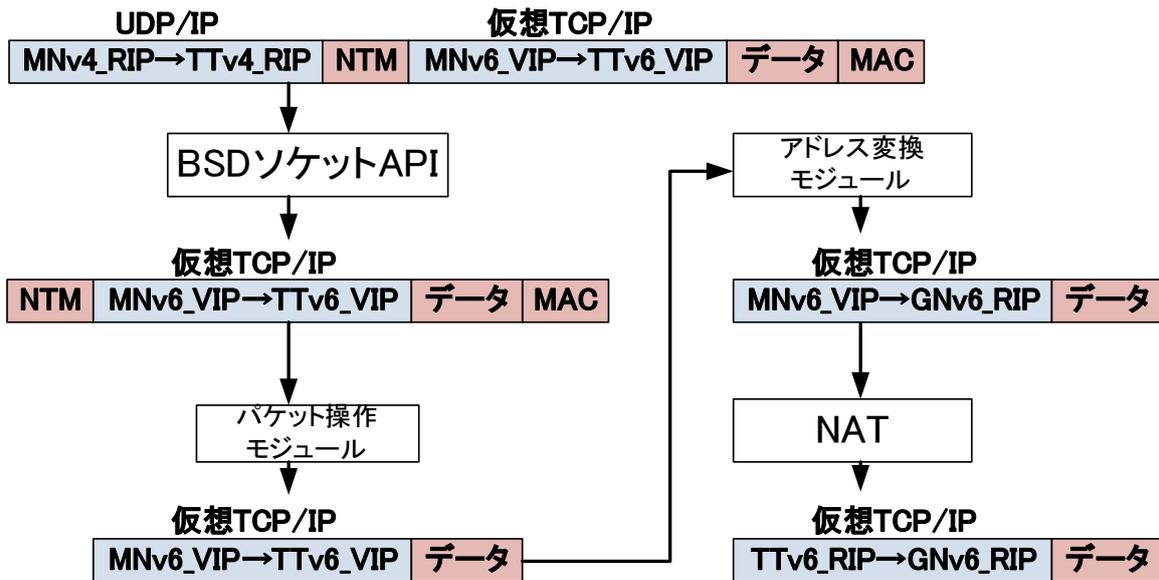


図 7 パケットのフォーマットとアドレス遷移

## 第6章 結論

本論文では，NTMobile を用いた IPv4 クライアントと IPv6 サーバの通信を実現する方法として，RS ではなく TT を用いる方法について提案した．提案方式では，NTMobile を用いるため NAT の種類に関わらず IPv4/IPv6 の相互通信が可能になる．また，RS と比較して作成が容易になっている．  
今後は TT の実装への検討を進めていく予定である．



# 謝辞

本研究を進めるにあたり，終始丁寧かつ熱心なご指導を賜りました，指導教官である名城大学理工学部情報工学科 渡邊晃教授に心から感謝いたします。

本研究を進めるにあたり，様々なご指導を頂きました，名城大学理工学部情報工学科 鈴木秀和准教授に深謝いたします。

本研究を進めるにあたり，ご意見並びにご助言を受け賜りました，愛知工業大学情報科学部情報科学科 内藤克浩准教授に深謝致します。

最後に，本研究を進めるにあたり，多くの討論の場において有益なご意見を賜りました，渡邊研究室及び鈴木研究室の先輩方，そして同期の皆様に感謝いたします。



## 参考文献

- [1] 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. 380-393 (2013).
- [2] 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).
- [3] 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, 情報処理学会論文誌, Vol. 54, No. 10, pp.2288-2299 (2013).
- [4] 土井 敏樹, 鈴木 秀和, 内藤 克浩, 渡邊 晃 : NTMobile におけるア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, 2013-MBL-67(10), pp.1-8, Sep.2013.
- [5] C. Huitema : Teredo: Tunneling IPv6 over UDP through Network Address Translations (NATs) , RFC4380 , IETF(2006)
- [6] Ogyu etc. "Development of an End-to-End Communication Adapter and Implementation", The Tenth International Conference on Mobile Computing and Ubiquitous Networking, Oct.2017.

