

平成25年度 卒業論文

邦文題目

**NTMobileにおける
仮想IPv4アドレスの運用に関する研究**

英文題目

**Researches on Virtual IP Address Operation
in NTMobile**

情報工学科 渡邊研究室
(学籍番号: 100430025)

加古将規

提出日: 平成26年2月12日

名城大学理工学部

内容要旨

公共無線網の普及や携帯端末の発達により、移動しながら通信を行いたいという要求が増加している。このような状況では、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技術（移動透過性技術）が必要である。また、現在のインターネットでは、インターネット側の端末から NAT 配下の端末に対して通信を開始できない通信接続性の課題が存在しており、これを解決する技術が求められている。

移動透過性と通信接続性を同時に実現する技術として、NTMobile (Network Traversal with Mobility) が提案されている [1-5]。NTMobile では、NTMobile の機能を実装した端末に対して、端末の位置に依存しない仮想 IPv4 アドレスを一意に割り当てるが、仮想 IPv4 アドレスとして利用できる範囲がせまいという課題があった。本論文では、NTM 端末内部で仮想 IPv4 アドレスを自律的に生成し、上記課題を解決する手法を提案する。また Linux 上で提案方式の実装を行い、動作の確認ならびに性能評価を行ったため報告する。

目次

第1章	はじめに	2
第2章	関連研究	3
第3章	NTMobile	5
3.1	NTMobile の概要	5
3.2	NTMobile の動作	6
3.3	NTMobile の課題	8
第4章	提案方式	9
4.1	端末登録時の処理	9
4.2	通信開始時の処理	9
4.3	トンネル通信時の処理	10
第5章	実装・性能評価	12
5.1	実装	12
5.2	性能評価	13
第6章	まとめ	15
	謝辞	16
	参考文献	17
	研究業績	18

第1章 はじめに

現在、公共無線網の普及や携帯端末の発達により、移動しながら通信を行いたいという要求が増加している。しかし、現在の IP ネットワークでは通信端末に割り当てられた IP アドレスを用いて通信を識別しているため、ネットワークの切り替えに伴い 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。このような状況では、移動しながら通信できる技術（移動透過性技術）が必要である。一方、現在の IP ネットワークでは IPv4 アドレスの枯渇が問題となっており、短期的な解決策として NAT（Network Address Translation）を導入し、NAT 配下にネットワークにプライベートネットワークを構築することが一般的となっている。NAT が導入された環境では、グローバルネットワーク側の端末からプライベートネットワーク側の端末に対して通信を開始できない NAT 越え問題という通信接続性の課題がある。また、アドレス枯渇問題の長期的な解決策として IPv6 アドレスが導入されたが、IPv6 アドレスは IPv4 アドレスと互換性がないプロトコルとして定義されているため、即座に現在の IPv4 ネットワークを IPv6 ネットワークに移行することができない。そのためしばらくの間、IP ネットワークは IPv4 ネットワークと IPv6 ネットワークが混在した環境が続くものと想定される。

現在までに多くの移動透過性を実現する研究が行われてきたが、その多くは IPv6 ネットワークのみを想定している [6-9]。また IPv4 ネットワークへの適応が考慮されている方式であっても、NAT 越え問題により、移動や通信が制限されることや中継装置の導入による通信経路の冗長化という課題が存在している。

移動透過性と通信接続性を同時に実現する技術として、NTMobile（Network Traversal with Mobility）が提案されている [1-5]。NTMobile では、NTMobile の機能を実装した端末に対して、端末の位置に依存しない仮想 IP アドレスを割り当てる。端末のアプリケーションが仮想 IP アドレスを通信相手の IP アドレスと認識することで、端末の移動に伴う実 IP アドレスの変化を隠蔽する。また仮想 IP アドレスは、実 IP アドレスと重複することを防ぐために実ネットワークで利用されないアドレス領域から生成し、端末に割り当てている。しかし、仮想 IPv4 アドレス領域として利用可能なアドレス領域が小さいため、NTMobile を大規模システムに適用できず、NTMobile の拡張性を損なうという課題があった。

本論文では、IPv4 ネットワークの利用が続くネットワーク環境を想定し、NTM 端末が端末内部で自律的に仮想 IPv4 アドレスを生成・管理を行い、上記課題を解決する手法を提案する。また Linux 上で提案方式の実装を行い、動作の確認ならびに性能評価を行ったため報告する。

第2章 関連研究

本章では、IPv4 ネットワークで移動透過性を実現する Mobile IPv4 [10] の概要と課題について述べる。Mobile IPv4 は、Mobile IPv4 を実装した移動端末 MN (Mobile Node) とホームネットワーク上に存在し、MN 宛のパケットを代理受信して転送を行う HA (Home Agent)、訪問先のネットワーク上に存在し、MN 宛のパケット転送を支援する FA (Foreign Agent) によって構成される。また、Mobile IPv4 では HA から割り当てられる移動によって変化しない IP アドレス HoA (Home Address) と FA から割り当てられる実ネットワークで利用可能な IP アドレス CoA (Care of Address) と呼ばれる 2 種類の IP アドレスを用いて通信を行う。移動端末のアプリケーションが HoA を用いた通信を行うことにより、移動端末の移動に伴う CoA の変化を隠蔽する。

MN はホームネットワークに設置した HA との間にトンネルを構築し、HA を経由して通信相手 CN (Correspondent Node) との通信を行う。MN のアプリケーションが生成したパケットは、トンネルを用いて HA へ送信され、HA にデカプセル化された後、CN へ送信される。これにより、CN は通信相手の IP アドレスとして HoA を認識することになり、MN のアプリケーションと CN 間には HoA に基づいたコネクションが確立される。HoA は端末の移動により変化しないため、通信中に端末が移動した場合でも、アプリケーションや CN に対して IP アドレスの変化を隠蔽し、通信を継続することができる。また、NAT を跨る移動を実現するために、NAT に HA の機能を実装する検討がなされている [12]。

Mobile IPv4 では、MN が訪問先のネットワークに存在する場合、HA によるパケットの中継が必要となり、図 2.1 のような三角経路と呼ばれる冗長な通信経路が形成される。加えて Mobile IPv4 を実装した両端末が訪問先ネットワーク上で通信を行った場合、両端末はそれぞれの HA を経由した通信を行うことになり、三角経路以上に冗長な通信経路が形成される。

上記のように、IPv4 ネットワークで移動透過性を実現する Mobile IPv4 には、冗長経路が発生しやすいという課題が存在する。

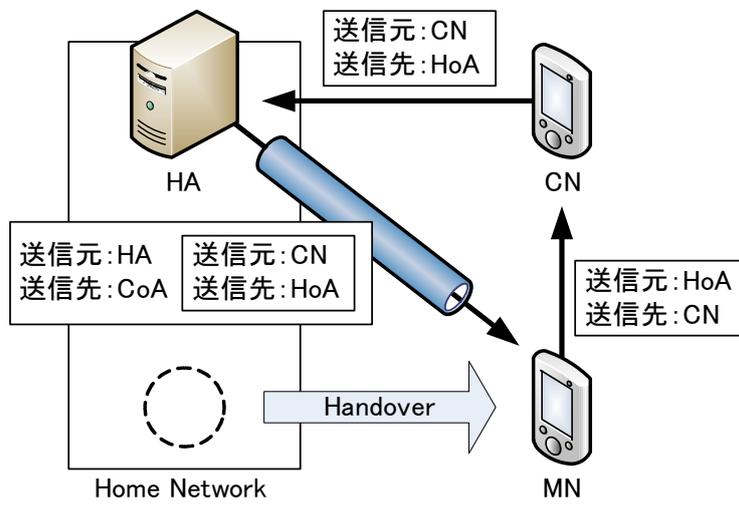


図 2.1 Mobile IPv4 による三角経路

第3章 NTMobile

3.1 NTMobile の概要

本章では、NTMobile (Network Traversal with Mobility) の概要と課題について述べる。

図 3.1 に NTMobile の概要を示す。NTMobile は、NTM 端末、通信経路を指示する DC (Direction Coordinator)、エンドエンドでの通信が行えない場合にパケットの中継を行う RS (Relay Server) によって構成される。DC および RS は、グローバルネットワークに設置し、ネットワークの規模に応じて複数台設置することができる。

NTMobile は、NTM 端末に実ネットワークに依存しない仮想 IP アドレスを割り当て、アプリケーションは仮想 IP アドレスに基づいた通信を行う。仮想 IP アドレスは端末の移動により変化しないため、通信中に端末が移動した場合でも、アプリケーションや CN に対して IP アドレスの変化を隠蔽し、移動透過性を実現する。また、DC が NAT 配下の端末に対して定期的に Keep Alive を行うことで端末との通信経路の確保し、通信接続性を実現する。

仮想 IP アドレスに基づくパケットは、実 IP アドレスでカプセル化を行い、通信相手に送信される。NTM 端末間の通信は基本的にエンドエンドで構築されるため、通信端末は常に最適な通信経路で通信を行うことができる。また、エンドエンドの通信が行えず、RS 経由の通信を行う場合でも、NTMobile では 1 つのコネクションに対して利用する中継装置は 1 台であるため Mobile IPv4 の通信で起こり得る複数台の中継装置を経由する冗長経路は発生しない。

- NTM 端末

NTMobile の機能を実装したエンド端末である。端末起動時に DC から一意な仮想 IP アドレスを割り当てられる。割り当てられた仮想 IP アドレスをアプリケーションが認識することで、移動による実 IP アドレスの変化を隠蔽する。DC からのトンネル構築指示を受けエンドエンドの通信が可能な場合は端末間でトンネル構築を行い、両端末が NAT 配下に存在しエンドエンドの通信が行えない場合は、RS との間でトンネル構築を行う。

- DC (Direction Coordinator)

NTM 端末に対して仮想 IP アドレスの割り当てやトンネル構築の指示を行う装置である。NTM 端末に割り当てる仮想 IP アドレスは一意なアドレスであり、各 DC は自身

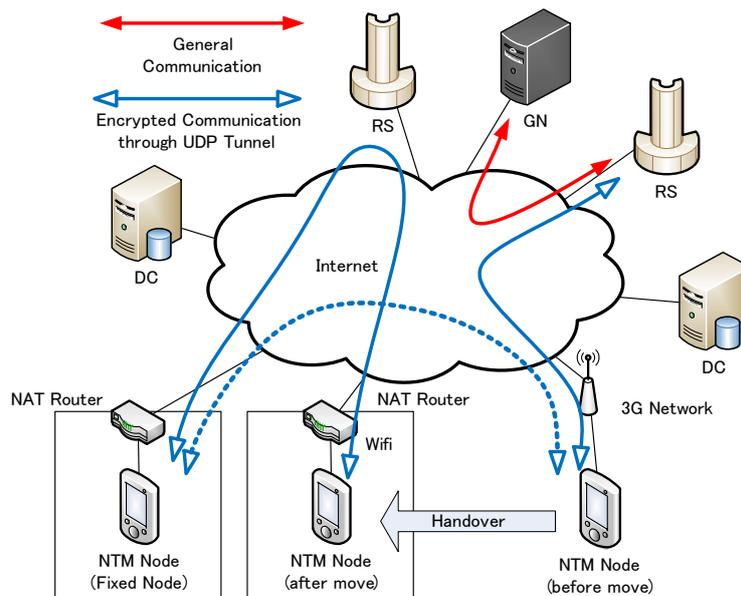


図 3.1 NTMobile の概要

に割り当てられた仮想 IP アドレス領域から重複が起きないように仮想 IP アドレスを NTM 端末に割り当てる。

- RS (Relay Server)
異なる NAT 配下の NTM 端末間による通信や NTM 端末と一般端末 GN (General Node) 間の通信などで、エンドエンドの通信が行えない場合にパケットを中継する装置である。

3.2 NTMobile の動作

以後の説明では、通信開始側の NTM 端末を MN (Mobile Node)、通信相手側の NTM 端末を CN (Correspondent Node) として説明する。また、NTM 端末 N の FQDN を $FQDN_N$ 、実 IPv4 アドレスを $RIP4_N$ 、仮想 IPv4 アドレスを $VIP4_N$ とし、NTM 端末 N を管理する DC を DC_N とする。NTM 端末 N1 と NTM 端末 N2 がトンネル通信時に用いる Path ID を PID_{N1-N2} とする。Path ID は通信開始時に DC が NTM 端末、RS に対して配布する情報であり、NTMobile の通信を一意に識別するための通信識別子である。

3.2.1 端末起動時の処理

MN は端末起動時に $FQDN_{MN}$ および $RIP4_{MN}$ を含む端末情報を DC_{MN} に通知する。 DC_{MN} は自身のデータベースに MN の端末情報を登録し、MN に対して仮想 IP アドレスを配布する。

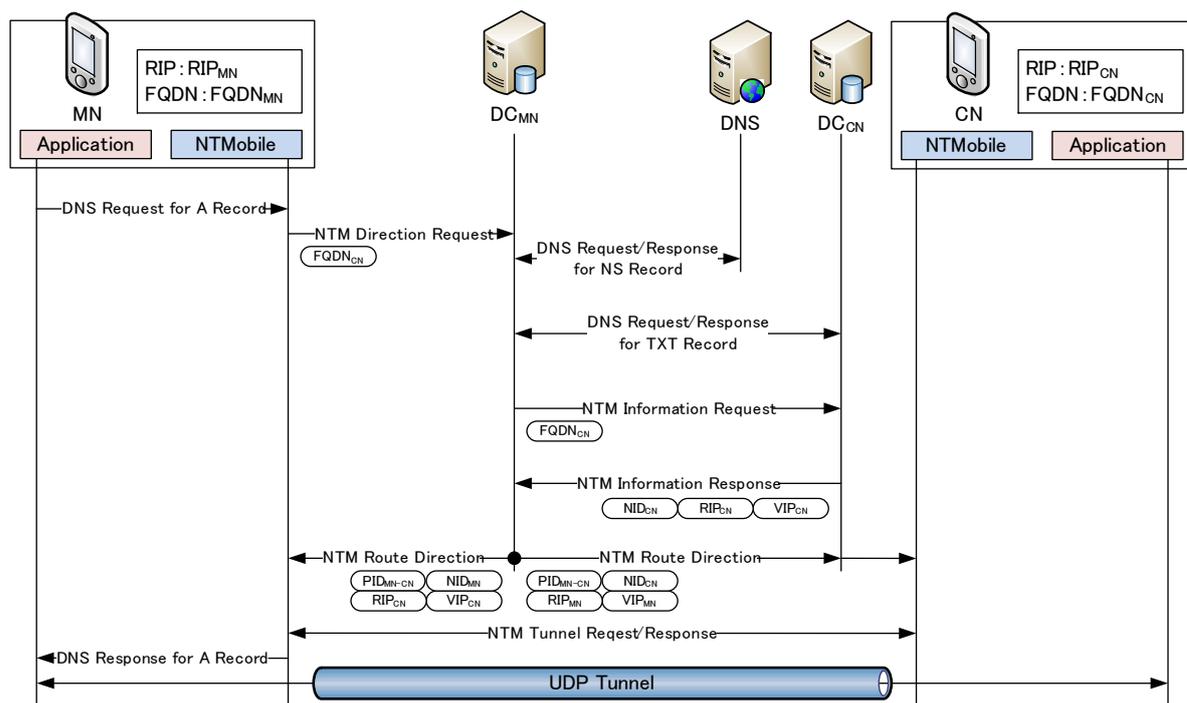


図 3.2 通信開始時の動作

3.2.2 通信開始時の処理

図 3.2 に通信開始時の処理を示す。MN は通信開始時にアプリケーションからの DNS 問い合わせを検出すると、そのパケットから $FQDN_{CN}$ を抽出する。MN は DC_{MN} に対して $FQDN_{CN}$ を記載した NTM Direction Request を送信し、CN の名前解決およびトンネル構築指示を依頼する。 DC_{MN} は NS レコードによる DNS サーバの名前解決を行い、 DC_{CN} を検索する。 DC_{MN} は DC_{CN} の名前解決後、 DC_{CN} に対して TXT レコードによる DNS 問い合わせを行う。 DC_{MN} は、 DC_{CN} からの TXT レコードによる応答を確認し、CN が NTM 端末であるのか一般端末であるのかを判断する。

DC_{MN} は CN が NTM 端末であると判断した場合、NTM Information Request/Response により CN の端末情報の収集を行う。 DC_{MN} は、MN および CN の端末情報を元に適切なトンネル経路を判断し、NTM Route Direction によって MN と CN に対してトンネル構築の指示をする。NTM Route Direction を受信した MN と CN はトンネル構築の指示に従い、NTM Tunnel Request/Response によってトンネル構築を行う。その後、MN は端末内部で CN の仮想 IP アドレスを記載した DNS 応答を生成し、アプリケーションに CN の仮想 IP アドレスを認識させる。

3.3 NTMobile の課題

NTMobile では、仮想 IPv4 アドレスが実 IPv4 アドレスと重複することを避けるため、実ネットワークで利用されないテストネットワーク (198.51.100.0/24) [13] から仮想 IPv4 アドレスを生成している。しかし、この仮想 IPv4 アドレス領域からは仮想 IPv4 アドレスを 254 個までしか生成することができない。また、実ネットワークで利用されない比較的膨大なアドレス領域を持つネットワーク性能試験用のネットワーク (198.18.0.0/15) [14] を用いた場合でも仮想 IPv4 アドレスは約 13 万個しか確保することができない。

このままでは、NTMobile の大規模システムを想定した場合に NTM 端末に割り当てる仮想 IPv4 アドレスが足りず、NTMobile の拡張性を損なうという課題が発生する。

次章において、NTM 端末が仮想 IPv4 アドレスを自律的に生成・管理し、NTMobile の仮想 IPv4 アドレス枯渇に関する課題を解決する手法について述べる。

第4章 提案方式

本章では、NTM 端末が仮想 IPv4 アドレスを自律的に生成し、NTMobile の通信を一意に識別する Path ID を用いて、NTM 端末が通信間の仮想 IPv4 アドレスを端末内部で管理する仮想 IPv4 アドレスの運用手法について提案する。この手法を用いることで、NTMobile のシステム全体で仮想 IPv4 アドレス領域を共有する必要がなくなり、限られた仮想 IPv4 アドレス領域を用いて大規模に NTMobile を運用することが可能となる。

4.1 端末登録時の処理

図 4.1 に MN の端末登録時におけるシーケンスを示す。MN は端末起動時に、 DC_{MN} に対して NTM Registrtrion Request を送信し、MN の端末情報を DC_{MN} に登録する。 DC_{MN} は MN の端末情報を登録した後、MN に NTM Registrtrion Response を送信する。MN は DC_{MN} から NTM Registrtrion Response を受信した際に、静的な仮想 IPv4 アドレス生成し、自端末の IP アドレスとしてアプリケーションに認識させる。

4.2 通信開始時の処理

図 4.2 に MN と CN の通信開始時におけるシーケンスを示す。MN は通信開始時に DC_{MN} に対して CN の名前解決を依頼する。 DC_{MN} は CN の名前解決後、 PID_{MN-CN} を含む通信経路

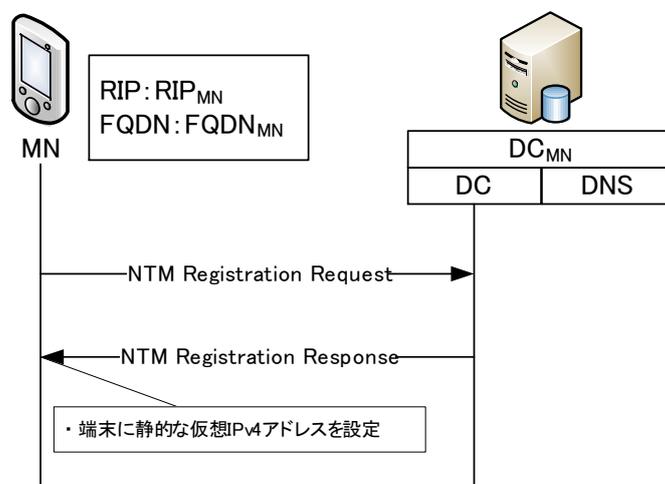


図 4.1 提案方式の端末登録時の処理

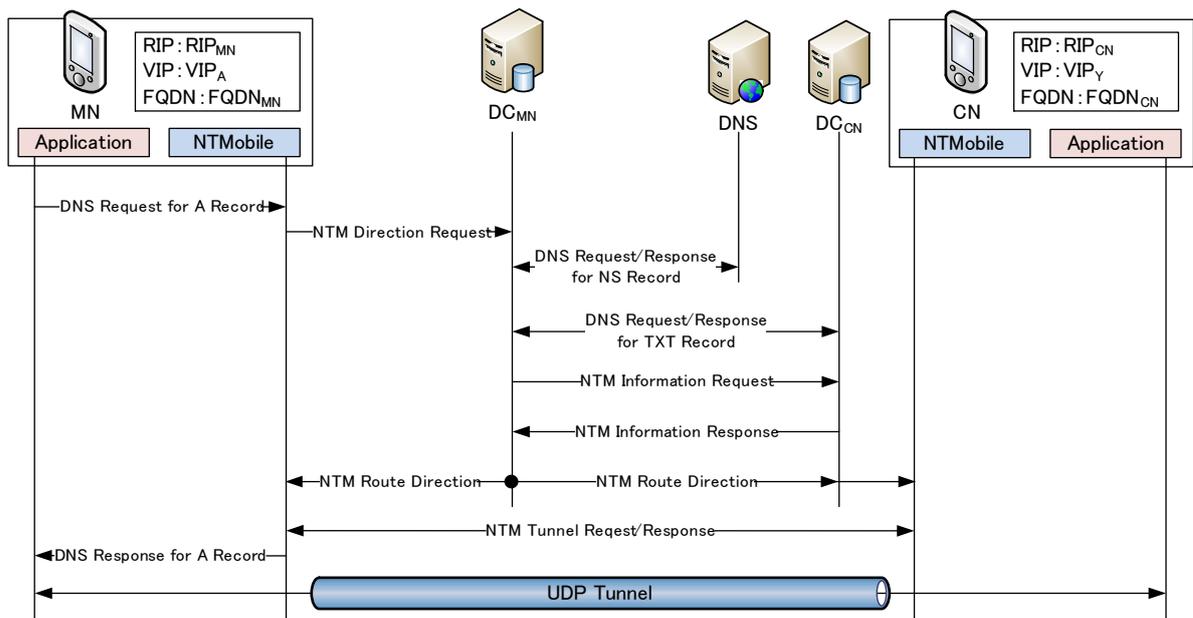


図 4.2 提案方式の通信開始時の処理

の指示を NTM Route Direction に載せて MN および CN に送信する。DC_{MN} から NTM Route Direction を受信した MN は、端末内部で一意となる CN の仮想 IPv4 アドレスとして VIP_B を生成する。VIP_B を生成した MN は、VIP_B を PID_{MN-CN} と関連付けて、トンネル通信の情報を記録するトンネルテーブルに登録する。その後、MN は DNS メッセージ内の通信相手の IP アドレスを VIP_B に変更し、DNS Response for A Record としてアプリケーションに渡す。また同様に、DC_{MN} の NTM Route Direction を DC_{CN} から受信した CN は、端末内部で一意となる MN の仮想 IPv4 アドレスとして VIP_X を生成し、自端末のトンネルテーブルに登録する。

4.3 トンネル通信時の処理

図 4.3 に、NTM 端末間において提案方式によるトンネル通信を行った場合のシーケンスを示す。MN のアプリケーションは、自身の仮想 IPv4 アドレスを VIP_A、CN の仮想 IPv4 アドレスを VIP_B として認識している。また、CN のアプリケーションは、自身の仮想 IPv4 アドレスを VIP_Y、MN の仮想 IPv4 アドレスを VIP_X として認識している。

MN のアプリケーションが CN へパケットを送信する際、送信元アドレスに VIP_A、宛先アドレスに VIP_B が記載された仮想 IP パケットが生成される。仮想 IP パケットは実 IP アドレスでカプセル化された後、CN へ送信される。このとき、カプセル化するパケットには NTMobile の情報を記載した NTM ヘッダを付加する。NTM ヘッダには Path ID が含まれる。CN はカプセル化パケットを受信すると、パケットのデカプセル化を行い仮想 IP パケットを抽出する。その後、CN はパケット内の Path ID を元に自身のトンネルテーブルを検索し、

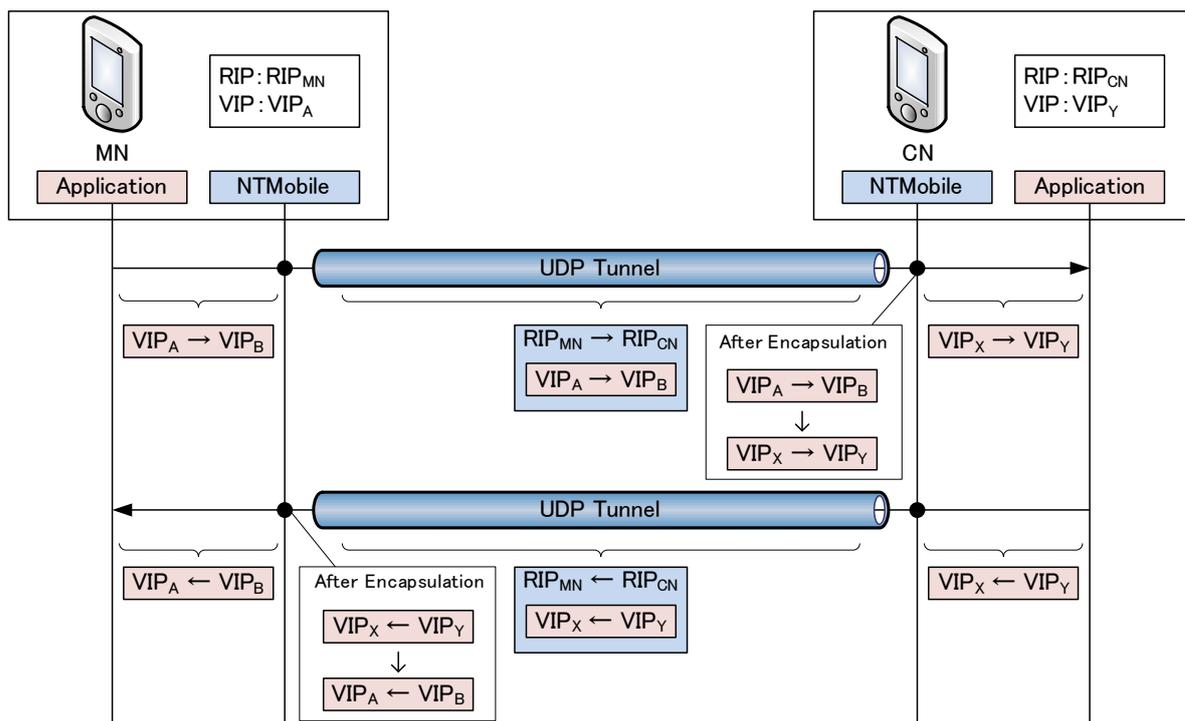


図 4.3 トンネル通信時のアドレス遷移

MN の仮想 IPv4 アドレス VIP_X を取得する。CN はパケット内の送信元アドレスを VIP_A から VIP_X へ、宛先アドレスを VIP_B から VIP_Y へ変換し、CN のアプリケーションへ渡す。

また、CN のアプリケーションが MN へパケットを送信する際は、MN が同様にデカプセル化時にパケット内の仮想 IPv4 アドレスを変換を行う。

以上より、NTM 端末内部で仮想 IPv4 アドレスを管理することにより、限られた仮想 IPv4 アドレス領域を用いて大規模に NTMobile を運用することが可能となる。

第5章 実装・性能評価

NTMobile の基本動作は Linux において既に動作が検証されている。NTM 端末はユーザ空間の NTMobile デーモンと、カーネル空間の NTMobile カーネルモジュールにより動作する。提案方式は NTMobile デーモンと NTMobile カーネルカーネルモジュールを改造することで動作する。

動作検証として、提案方式を実装した NTM 端末においてトンネル通信が正常に行われるかどうか検証した。また、従来方式と提案方式のトンネル通信にともなうスループットを測定し、提案方式のスループット低下率を測定した。

5.1 実装

図 5.1 に NTM 端末のモジュール構成を示す。NTMobile デーモンは DC への NTM 端末情報の登録と仮想 IP アドレスの取得、および DC の指示に従ったトンネル構築を行う。カーネルモジュールはパケットのカプセル化/デカプセル化および暗号化処理を行う。各モジュールに以下のような改造を行った。

5.1.1 NTMobile デーモン

NTM 端末の端末登録時に自端末の仮想インタフェースに静的な仮想 IPv4 アドレスを設定する。また、通信開始時に通信相手の仮想 IPv4 アドレスを端末内部に設定し、トンネルテーブルに登録する。提案方式では、通信相手の仮想 IPv4 アドレスを NTM 端末が一意に生成するが、本実装では仮想 IPv4 アドレス生成処理が未実装であるため通信相手の仮想 IPv4 アドレスは静的に設定している。また、DNS 応答メッセージ内の仮想 IPv4 アドレスを NTM 端末が生成した仮想 IPv4 アドレスに変換する。

5.1.2 NTMobile カーネルモジュール

NTMobile カーネルモジュールが受信パケットをフックし、デカプセル化を行った際に NTM ヘッダ内から Path ID を取得する。Path ID をキーとして、トンネルテーブルから通信相手の仮想 IPv4 アドレスとして設定した IP アドレスを検索する。その後、パケット内の仮想 IPv4 アドレスの送信元および宛先を端末内部で管理する仮想 IPv4 アドレスに変換する。

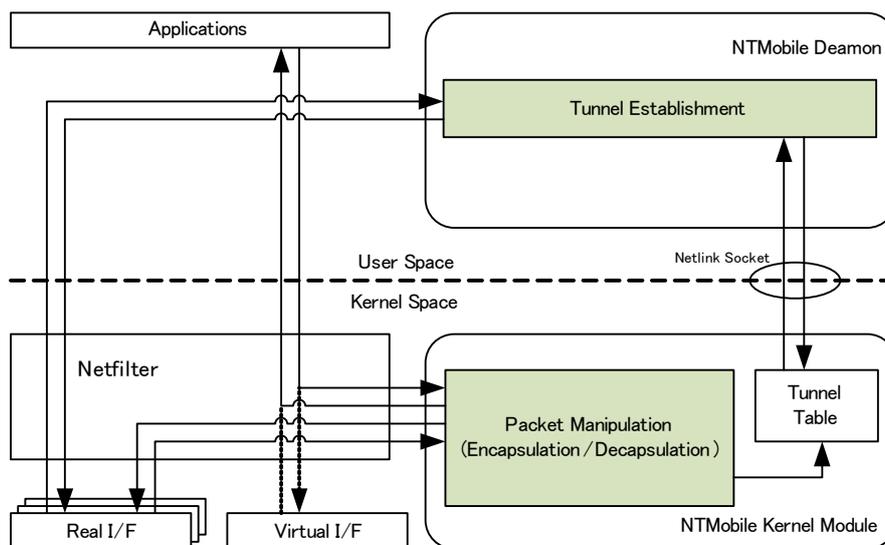


図 5.1 NTM 端末のモジュール構成

5.2 性能評価

図 5.2 と表 5.1, 表 5.2 に試験ネットワークの構成と各装置の仕様を示す. 1 台の実機 PC 上にインストールした VMware Player を利用して, DC を仮想マシンとして構築し, 同一プライベートネットワークへとブリッジ接続した. NTM 端末 MN および CN は Linux をインストールした実機 PC に実装し, プライベートネットワークへと直接接続している. また接続は 1000BASE-T による有線 LAN 接続である. 本来は, NTM 端末で一意な仮想 IP アドレスを生成するが, 今回はアドレス生成処理が未実装であるため, 通信相手の仮想 IP アドレスを静的に設定している.

MN と CN 間で iperf¹ を用いた TCP 通信を行い, スループットの測定を行った. スループットの比較には, 従来の NTMobile によるトンネル通信とトンネル通信時にアドレスの変換処理を加えた提案方式によるトンネル通信を用いる. スループット測定には, 10 秒間のスループット測定を MN, CN 間で 10 回行い, その平均値を算出した.

表 5.3 に NTM 端末間のトンネル通信によるスループットの測定結果を示す. 従来方式に比べて提案方式のスループットは 0.5% 低い値となった. この結果より, 提案方式の通信において, NTM 端末の仮想 IPv4 アドレス変換処理がスループットの低下に大きな影響を及ぼすことがないことがわかった.

¹<http://sourceforge.net/projects/iperf/>

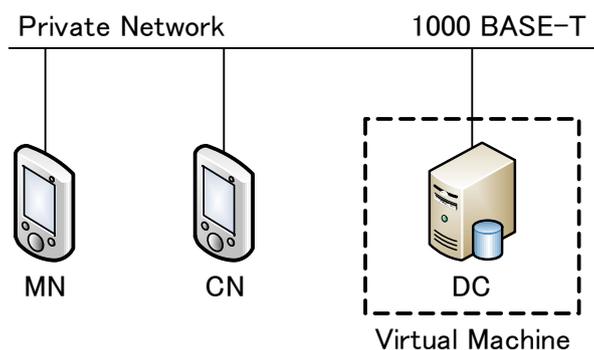


図 5.2 ネットワーク構成

表 5.1 NTM 端末の仕様

	MN	CN
Hardware	Thirdwave Prime	Thirdwave Prime
OS	Ubuntu 10.04	Ubuntu 10.04
Linux Kernel	2.6.32-21-generic	2.6.32-21-generic
CPU	Intel Core i7-860(2.80GHz)	Intel Core i7-930(2.80GHz)
Memory	3GB	3GB

表 5.2 仮想マシン上に実装した DC の仕様

	DC(Virtual Machine)
Hardware	HP h8-1280jp
OS	Ubuntu 10.04
Linux Kernel	2.6.32-21-generic
CPU	Intel Core i7-2600(3.40GHz)
Memory	1GB

表 5.3 トンネル通信時のスループット測定結果

	Conventional	Proposal
Throughput(Mbps)	402.5	400.4

第6章 まとめ

本論文では，NTM 端末内部で仮想 IPv4 アドレスを自律的に生成し，通信する端末間の仮想 IPv4 アドレスを端末内部で管理する手法を提案した．この手法により，NTMobile 全体で仮想 IPv4 アドレス領域を共有する必要がなくなるため，限られた仮想アドレス領域で大規模に NTMobile を運用することが可能となる．また Linux 上で提案方式の実装を行い，動作を検証した．加えて，従来方式と提案方式を用いて NTM 端末間のトンネル通信によるスループットを測定し，提案方式によるスループットの劣化がほとんどないことを確認した．

今後は，通信相手のアドレスを一意に生成する処理の追加および RS を経由した一般端末との通信を可能にする実装を行う．

謝辞

本研究は SCOPE/PREDICT の委託研究に基づく結果である。

本研究を進めるにあたり，多大なる御指導と御教授を頂いた名城大学大学院理工学研究科 渡邊晃教授に心から感謝致します。

本研究を進めるにあたり，御意見ならびに御助言頂いた名城大学大学院理工学研究科 鈴木秀和助教，三重大学大学院工学研究科 内藤克浩助教に感謝致します。

本研究を進めるにあたり，御意見ならびに御助言頂いた名城大学大学院理工学研究科 上 醉尾一真氏に心から感謝致します。

提案方式を実装する上で，多くのご指導を賜った名城大学大学院理工学研究科 土井敏樹氏に心から感謝致します。

本研究を進めるにあたり，数々の有益な御助言を頂いた渡邊研究室および鈴木研究室の諸氏に感謝致します。

最後に，研究を進めていく中，いつも支えていただいた両親に心より感謝いたします。

参考文献

- [1] 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).
- [2] 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).
- [3] 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).
- [4] 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).
- [5] 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. MBL, [モバイルコンピューティングとユビキタス通信研究会研究報告], Vol.2013-MBL-67, No.11, pp. 1-6(2013).
- [6] H. Soliman.: Mobile IPv6 Support for Dual Stack Hosts and Routers, RFC5555, IETF (2009).
- [7] 相原玲二, 藤田貫大, 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).
- [8] M. Ishiyama, M. Kunishi, K. Uehara, H. Esaki and F. Teraoka.: LINA: A New Approach to Mobility Support in Wide Area Networks, IEICE Transactions on Communications, Vol. E84-B, No. 8, pp. 2076—2086 (2001).
- [9] 國司光宣, 石山政浩, 植原啓介, 寺岡文男: 移動体通信プロトコル LIN6 の性能評価, 情報処理学会論文誌, Vol.43, No.2, pp. 398-407 (2002).
- [10] C. Perkins. : IP Mobility Support for IPv4, RFC3344, IETF(2002).
- [11] モバイル・無線-モバイル IP, アドホックネットワーク (2010).
http://www.ieice-hbkb.org/files/04/04gun_05hen_01.pdf
- [12] H. Levkowitz and S. Vaarala. : Mobile IP Traversal of Network Address Translation (NAT) Devices, RFC3519, IETF(2003).
- [13] J. Arkko, M. Cotton and L. Vegoda.: IPv4 Address Blocks Reserved for Documentation, RFC5737, IETF(2010).
- [14] S. Bradner.: Benchmarking Methodology for Network Interconnect Devices, RFC2544, IETF(1999).

研究業績

研究会・大会等

1. 加古将規, 上醉尾一真, 鈴木秀和, 内藤克浩, 渡邊晃, “NTMobile における仮想 IPv4 アドレス運用手法の提案”, 平成 25 年度電気関係学会東海支部連合大会論文集, Sep.2013.
2. 加古将規, 上醉尾一真, 鈴木秀和, 内藤克浩, 渡邊晃, “NTMobile における仮想 IPv4 アドレス運用手法の提案と実装”, 情報処理学会第 76 回全国大会講演論文集, Mar.2014.