

平成28年度 卒業論文

和文題目

NTMobileアダプタの実現方式の検討

英文題目

**Proposal for the Realization
Method of NTMobile Adaptor**

情報工学科 渡邊研究室
(学籍番号: 130441034)

尾久 史弥

提出日: 平成29年2月10日

名城大学理工学部

概要

現状の IPv4 ネットワークでは、NAT を利用してプライベートネットワークを構築することが一般的である。しかし、ネットワークに NAT を導入することでグローバル側端末からプライベート側端末へ通信を開始できない NAT 越え問題があり、この問題の解決が望まれている。

我々は、この問題を解決する 1 つの技術として NTMobile(Network Traversal with Mobility) を提案している。NTMobile 通信を実現するには、エンド端末に NTMobile framework(NTMfw) と呼ばれるアプリケーションを組み込む必要がある。しかし、組み込み型家電や安定性を重視するサーバのように NTMobile の実装が困難な通信装置が存在する。そこで、本論文では NTMobile 機能を有するアダプター (NTMA) をこれらの通信装置に隣接することにより、NTMfw を実装できない通信装置で NTMobile 通信を実現する方式を提案する。

Abstract

In the current IPv4 network, it is common to construct a private network using NAT. However, there is a NAT traversal problem that communication can not be started from the global side terminal to the private side terminal by introducing NAT in the network, and it is desirable to solve this problem.

We have proposed NTMobile (Network Traversal with Mobility) as one technique to solve this problem. In order to realize NTMobile communication, it is necessary to incorporate an application called NTM mobile framework (NTMfw) in the end terminal. However, there are communication devices that are difficult to install NTMobile like built-in home appliances and servers that place importance on stability. Therefore, in this paper, we propose a method to realize NTMobile communication with a communication device that can not implement NTMfw by adjoining an adapter (NTMA) with NTMobile function to these communication devices.

目次

| | | |
|-------|----------------------------|----|
| 第1章 | はじめに | 1 |
| 第2章 | NTMobile | 2 |
| 2.1 | NTMobile の概要 | 2 |
| 2.2 | NTMobile アダプタの開発 | 2 |
| 第3章 | NTMfw | 4 |
| 3.1 | NTMfw の概要 | 4 |
| 3.2 | 通信経路の確立手法 | 4 |
| 3.2.1 | NTMobile 端末起動時の処理と通信開始時の動作 | 4 |
| 3.2.2 | トンネル通信時の動作 | 5 |
| 第4章 | NTMA の動作 | 7 |
| 4.0.1 | ネットワーク構成と前提条件 | 7 |
| 4.1 | NTMfw の通信シーケンス | 7 |
| 第5章 | 実装 | 9 |
| 5.1 | NTMA のモジュール構成 | 9 |
| 5.2 | R-NTMfw | 9 |
| 5.3 | 動作検証 | 10 |
| 第6章 | 評価 | 11 |
| 6.1 | 評価構成と前提条件 | 11 |
| 6.2 | 評価結果 | 12 |
| 第7章 | まとめ | 14 |
| | 謝辞 | 15 |
| | 参考文献 | 17 |
| | 研究業績 | 19 |

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、現在の主流である IPv4 ネットワークでは、IPv4 ネットワークを設計した当初を遥かに超えるネットワーク規模となっており、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。この問題を解決するために IPv6 ネットワークに移行することが必須であるが、IPv4 アドレスと IPv6 アドレスには互換性がないため、即座に IPv6 ネットワークに移行することができない。そのため、徐々に IPv6 ネットワークに移行していくことが考えられるため、しばらくの間は IPv4 と IPv6 アドレスの混在環境が続くと想定されている。一方、この問題の一時的な解決策として、インターネットと家庭内や企業内のネットワークとの間に NAT(Network Address Translation) を導入し、プライベートアドレスを利用して通信を行うことでグローバル IP アドレスの割り当てを節約している。しかし、ネットワークに NAT を導入することでグローバル側の端末から NAT 配下の端末に対して通信を開始できない NAT 越え問題が発生し、通信接続性を確保できない課題がある。

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 [1-3]。NTMobile はアプリケーション上で位置に依存しない仮想 IP アドレスを用いて通信することにより、NAT 越えを実現する技術である。NTMobile では、NTMobile の機能を実装した端末 (NTM 端末) に対して、仮想 IP アドレスを割り当てる。端末のアプリケーション上では仮想 IP アドレスに基づいて通信を行う。実際の通信では、仮想 IP パケットを NTMobile の機能により実 IP アドレスでカプセル化してトンネル通信を行う。両 NTM 端末は、DC からの指示の基で適切に通信経路を構築することで、NAT の存在を意識することがなく常に相互通信を可能とする。

通信装置に NTMobile の機能を付与するためには、NTMobile framework(NTMfw) と呼ばれるアプリケーションを組み込む必要がある。NTMfw は、アプリケーション層で動作する通信ライブラリであり、上位アプリケーションに対して、NTMobile 通信用の API(Application Programming Interface) を提供する。しかし、組み込み型の家電や安定性を重視するサーバなどは、NTMfw を新たに組み込むことができない場合がある。これらの通信装置に対して、内部のプログラムに手を加えることがなく NTMobile の機能を付与することは、NTMobile の普及に向けて有用である。

そこで本論文では、これらの通信装置に隣接設置することで、一般通信を NTMobile 通信に変換するアダプタを実現する手法を提案する。また、Linux 上で提案方式の実装を行い、動作の確認並びに性能評価を行ったため報告する。

以後、2 章で NTMobile について述べ、3 章では、提案システムで使用する NTMfw の通信動作について説明する。3 章では、提案方式について説明し、4 章で提案方式の動作を説明し、5 章で実装と動作検証について述べる。6 章で提案方式の評価を行い、最後に 7 章でまとめる。

第2章 NTMobile

本章では、NAT 越え問題を解決する技術である NTMobile について説明する。

2.1 NTMobile の概要

図 1 に NTMobile の構成を示す。NTMobile は、NTMobile framework(NTMfw) と呼ばれる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)、エンドツーエンド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 及び RS は、グローバルネットワーク上に設置する。また、ネットワークの規模に応じて複数台設置することが可能で、複数台設置による負荷分散が可能である。

NTMobile は、NTM 端末に対して FQDN(Fully Qualified Domain Name) と位置に依存しない仮想 IP アドレスを割り当て、アプリケーション上では仮想 IP アドレスに基づいた通信を行う。DC は DNS サーバの機能を有し、NTM 端末に対して最適な通信経路の指示を行う。NTM 端末は、DC に対して定期的に Keep Alive を行っており、DC からの通信経路の指示をいつでも受信できる。DC が NTM 端末に対して適切な経路を指示することにより、NAT 越えを実現することが出来る。

アプリケーションによって生成された仮想 IP アドレスに基づくパケットは、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。通信中に端末がネットワークを切り替えると実 IP アドレスが変化するが、仮想 IP アドレスは変化しないので通信を継続できる。

端末同士が直接通信できない場合は、RS 経由の通信を行う。直接通信が行えない場合とは、NTM 端末が一般端末 GN と通信を行う場合、および両 NTM 端末がいずれも Symmetric NAT 配下に存在する場合である。RS を経由する場合であっても、複数の RS の中から 1 つを選択し、冗長の少ない経路を生成できる。

2.2 NTMobile アダプタの開発

NTMobile 通信は、NTMfw をエンド端末に組み込むことで実現する。しかし、NTMfw を実装できない通信装置の場合は、NTMobile の機能を利用することができない。NTMfw を実装できない通信装置の例として、組み込み型家電およびサーバが挙げられる。

組み込み型家電では、プログラムの書き込みに使用するメモリがマスク ROM であった場合、工場での製造後に新たに NTMfw を組み込むことができない [4]。また、一般端末に NTMfw を組み

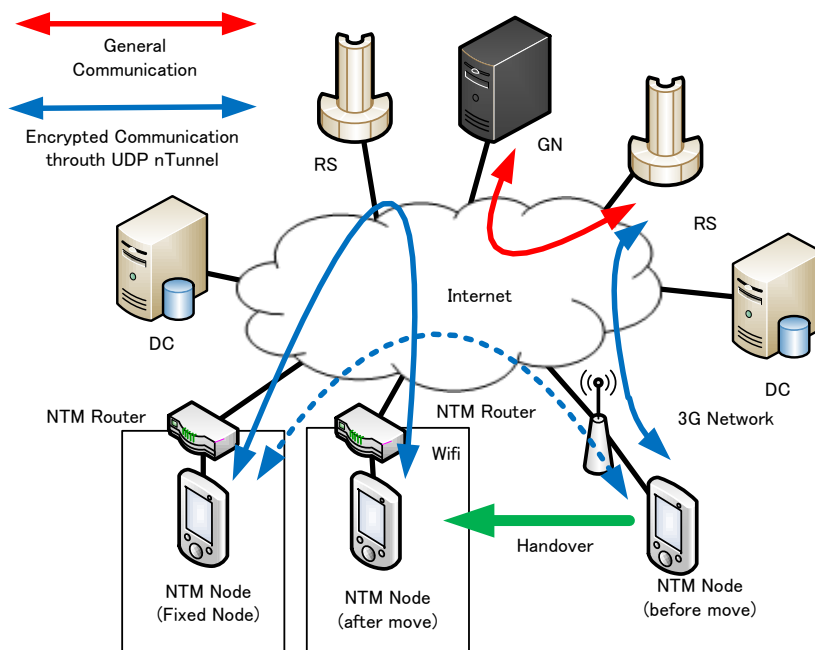


図1 NTMobileのネットワーク構成

込むためには、既存のアプリケーションを改造する必要があるが、サーバのように安定性を重視する通信装置では新たに NTMfw を組み込むことが出来ない場合が考えられる。

これらの NTMfw を実装できない通信装置に対して、内部のプログラムに手を加えることなく NTMobile 通信を行う仕組みを実現することは、NTMobile の普及に向けて有用である。

第3章 NTMfw

本章では、提案システムで NTMobile の機能を使用するために組み込む通信ライブラリである NTMfw について説明する。

3.1 NTMfw の概要

NTMfw は、アプリケーション層で動作する通信ライブラリであり、上位アプリケーションに対して、NTMobile 通信用の API を提供する。

図 2 に NTMfw のモジュール構成を示す。NTMfw は、仮想 IP スタックに lwIP(A Lightweight TCP/IP stack) を用い、NTM ソケット API は基本的に lwIP に接続される [5]。lwIP の仮想ネットワークインターフェースには仮想 IPv4/v6 アドレスを登録する。このため、アプリケーションが送信するパケットは lwIP により仮想 IP アドレスを用いて TCP/IP または UDP/IP ヘッダが付与され、コールバック関数によって lwIP からパケット操作モジュール (PMM) に処理が移る。PMM はこのパケットに対して暗号化及び MAC 付与を行った後、C 言語標準ソケット API(BSD ソケット API) を用い、通信相手端末の実 IP アドレス宛に送信する。また、PMM は、カプセル化パケットを BSD ソケット API を用いて受信し、当該パケットを MAC 検証及び復号し、lwIP に処理を渡すことで、lwIP に仮想 IP アドレスによるパケットがプッシュされる [6]。アプリケーションは、NTM ソケット API の `recv` 関数等によりこのパケットをポップし、データを受信する。以上の処理により、アプリケーションは仮想 IP アドレスを用いてパケットの送受信を行うことが出来る。

以下では、提案方式に関連する NTMfw の動作を示す。

3.2 通信経路の確立手法

以降の説明では、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、端末 N の FQDN を $FQDN_N$ 、実 IP アドレスを RIP_N 、仮想 IP アドレスを VIP_N と表記する。

3.2.1 NTMobile 端末起動時の処理と通信開始時の動作

端末起動時に MN は自身を管理する DC に対して RIP_{MN} などの端末情報の登録を行う。DC は MN の端末情報をデータベースに登録した後、MN に対して VIP_{MN} を配布する。

通信開始時に MN は自身を管理する DC に対して、通信相手の $FQDN_{CN}$ で名前解決およびトンネル構築の指示を依頼する。DC は、DNS サーバの仕組みを利用し、CN の端末情報を取得する。

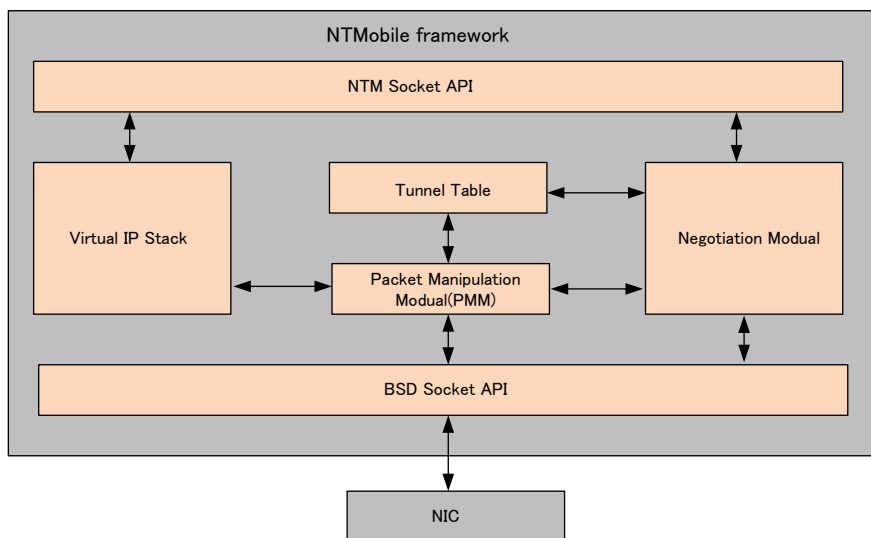


図2 NTMfw のモジュール構成

その後、DCはMNおよびCNの端末情報を基にトンネル経路を判断し、MNとCNに対してトンネル構築の指示を行う。MNとCNはDCによる通信経路の指示に従い、トンネル構築する。

3.2.2 トンネル通信時の動作

図3にトンネル通信時のパケットを中心とした動作を示す。MNのアプリケーションは、仮想IPアドレスを用いてパケット(送信元: VIP_{MN} , 宛先: VIP_{CN})を生成する。その後、仮想IPアドレスに基づくパケットはNTM Mobileの機能により実IPアドレス(送信元: RIP_{MN} , 宛先: RIP_{CN})でカプセル化してCNへ送信する。MNから送信されたパケットを受け取ったCNは、NTM Mobileの機能によりパケットのデカプセル化を行い、仮想IPアドレスに基づくパケットを取り出す。その後、CNのアプリケーションに仮想IPアドレスに基づくパケットを送ることにより通信を行う。

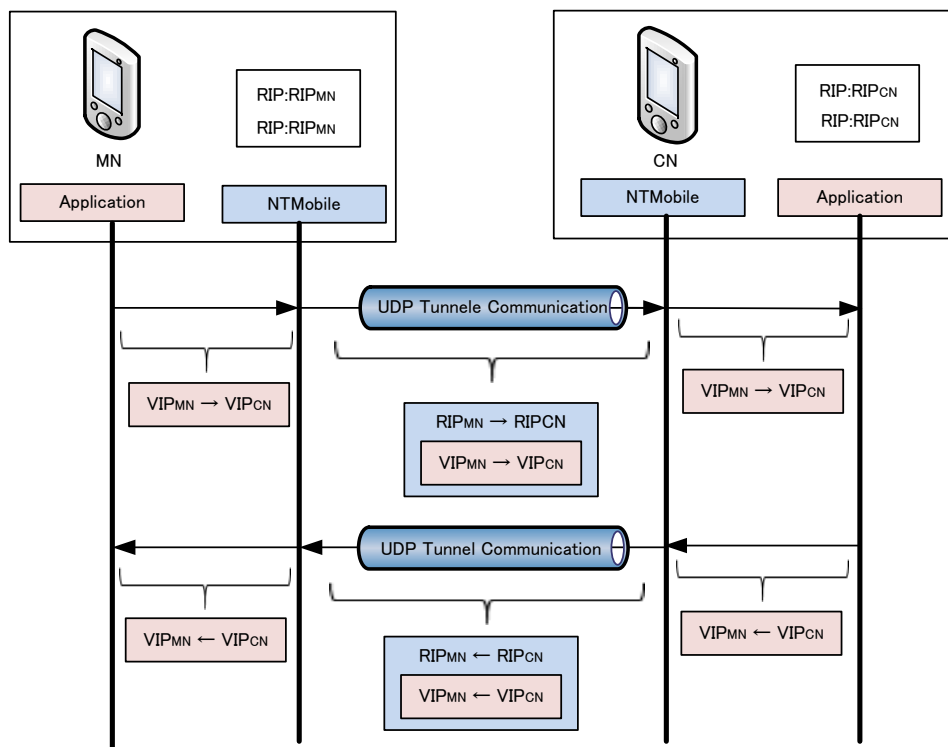


図3 NTMobile 通信のパケット遷移

第4章 NTMAの動作

本章では、提案システムである NTMA の動作について述べる。

NTMA は、NTMfw を実装できない一般の通信装置にブリッジ接続することで、一般通信を NTMobile 通信に変換する。NTMA は、イニシエータ/レスポнда側の両方で利用することが可能である。本論文では、NTMA をイニシエータ側の一般端末 GN(General Node) に設置した場合の動作について確認したので、NTMA をイニシエータ側の GN へ接続した場合の記述をする。

4.0.1 ネットワーク構成と前提条件

図4に提案方式のネットワーク構成を示す。NTMA は物理 NIC を2枚用意して、一方は NAT 配下の一般端末 GN とブリッジ接続し、他方はインターネット側とブリッジ接続する。DC と GN の通信相手の NTM 端末は、インターネット上に設置する。

NTM 端末と NTMA は、起動時に DC に対して実 IP アドレスの登録および仮想 IP アドレスの割り当てを受ける。NTM 端末と NTMA は、DC に対して定期的に Keep Alive を行い、いつでも DC からの通信経路の指示を受けることが出来る。GN の IP アドレスには、NTMA が DC から割り当てられた仮想 IP アドレスを設定する。

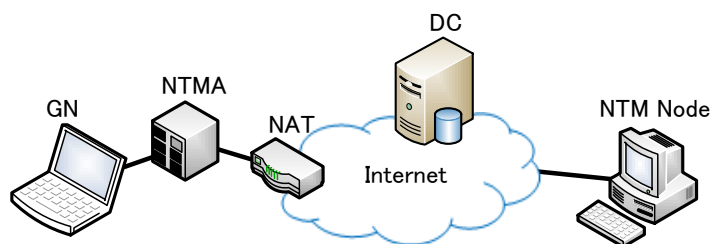


図4 提案方式のネットワーク構成

4.1 NTMfwの通信シーケンス

図5に提案システムの通信シーケンスを示す。通信開始時に、GN は相手 NTM 端末の $FQDN_{CN}$ を指定して DNS クエリを送信する。DNS クエリを受け取った NTMA は、NTMfw の機能を利用して、NTMobile シグナリング処理により、DC の通信経路の指示に従って NTMA と NTM 端末との

間でトンネル構築を行う。トンネル構築終了後、NTMA は、相手 NTM 端末の仮想 IP アドレスを取得するので、このアドレスを DNS レスポンスに乗せて GN へ送信する。次に GN は、相手 NTM 端末の仮想 IP アドレス宛にパケットを送信する。このパケットを受信した NTMA は、NTMfw の機能を利用して NTMA と相手 NTM 端末の実 IP アドレスでカプセル化して送信する。相手 NTM 端末からパケットが返信されてきた場合は、NTMA が NTMfw によりカプセル化を行い、一般通信のパケットに変換してから、GN へ送信する。

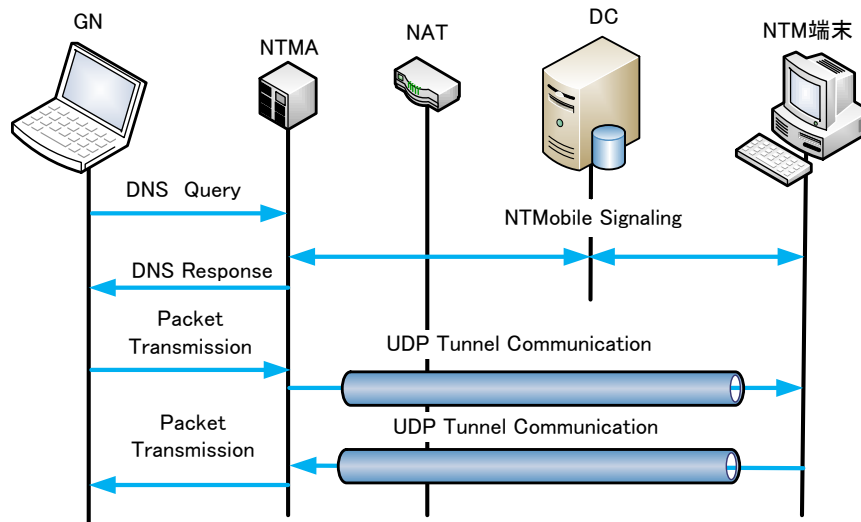


図 5 NTMA の通信シーケンス

第5章 実装

本章では、提案方式の実装とその動作検証について述べる。NTMobileはLinux環境での実装が行われており、動作が確認されている。NTMAは、NTMobile機能としてNTMfwを使用するためLinux環境での実装を行った。

5.1 NTMAのモジュール構成

図6にNTMAのイニシエータ部のモジュール構成図を示す。NTMAと相手NTM端末との間の通信は、R-NTMfw(Remodeled-NTMfw)が提供するNTMobile通信で実現する。また、NTMAとGNとの間の通信は、RAWソケットで実現する。Initモジュールは、GNの通信開始時にR-NTMfwでDCに対してGNをNTM端末としてログイン処理をする。また、InitモジュールはDHCPサーバの機能を包含し、GNからのIPアドレス要求に対して、DCから取得した仮想IPアドレスを割り当てる。イニシエータモジュールは、GNから送信されたパケットをRAWソケットで受信する。受信したパケットがDNSクエリであった場合、NTMobileシグナリングにより、トンネル構築処理を行う。また、トンネル構築終了後に、DNSクエリの返信GNに送信する。GN側から受信したパケットがUDP/TCPのパケットであった場合は、改造したNTMfw (R-NTMfw:Remodeled-NTMfw)のAPIを介してトンネル通信でパケットを送信する。GNは、NTM端末の仮想IPアドレスをターゲットとするARPリクエストを送信する事があるので、NTMAは自らのMACアドレスでARPリプライを返信する。受信したパケットがDHCPパケットであった場合、処理をInitモジュールに渡す。

5.2 R-NTMfw

NTMfwはlwIPによりユーザデータから仮想IPアドレスによるパケットを生成する機能があるが、NTMAはGNが送信するIPパケットをRAWソケットでそのまま受信する。そのため、NTMfw内部で仮想IPパケットを生成する必要がない。また、相手NTM端末から受信したパケットは、仮想IPアドレスのパケットを抽出した後、IPヘッダを除去せずに、そのままGNへ中継すればよい。IPパケットの生成と除去は、NTMfw内のlwIPで行われていたため、R-NTMfwではlwIPの処理をスキップするように改造した。また、NTMfwは、カーネルが認識する全てのNICに対してNTMobileの処理を行うように実装されているため、R-NTMfwではNTMobile通信を行わないNICを認識しないように変更した。

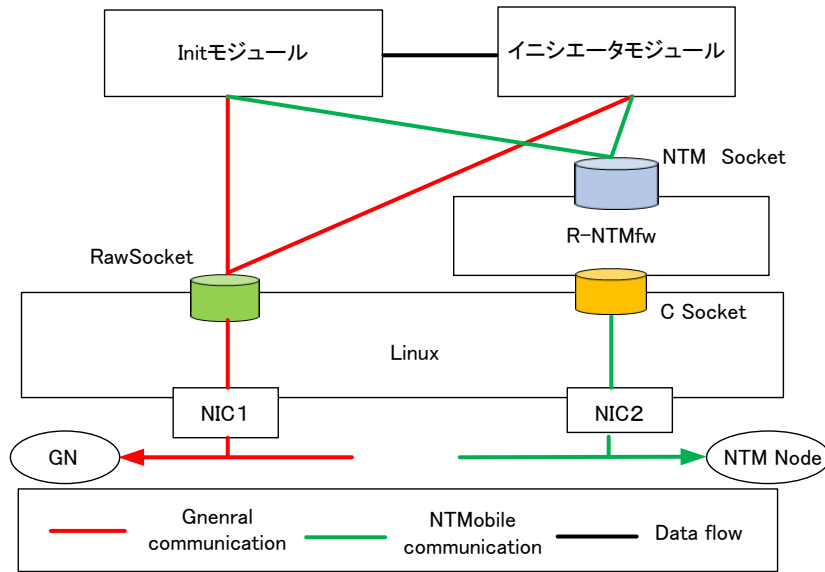


図 6 NTMA のモジュール構成

5.3 動作検証

提案方式の動作検証を行うにあたって、Init モジュールとイニシエータモジュールの中継処理部を C 言語で作成した。検証方法は、NTMA と NTM 端末間でのトンネル構築処理はあらかじめ終了させた。また、GN の IP アドレスとして NTMA が DC から割り当てられた仮想 IP アドレスを静的に設定した。この状態で GN から NTM 端末の仮想 IP アドレス宛にパケットを送信した。NTMA は、このパケットを NTMobile 通信に変換して送信し、NTM 端末で受信することを確認した。

第6章 評価

本章では、5章のモジュールを実装した NTMA の性能評価を行う。

6.1 評価構成と前提条件

図7, 8に評価に用いるネットワーク構成と評価構成のNICを中心とした図を示す。表1に仮想マシン上に実装した NTMA 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、NTMA, DC, AS, NTM 端末を仮想マシンとして構築した。また、NTMA には、仮想NICを2枚用意して一枚を仮想スイッチ1に接続した。他方の仮想NICは、仮想スイッチ0と接続するようにする。NTMA 以外の仮想マシンの全仮想NICは、仮想スイッチ0に接続する。GNはWindowsがインストールされている実機を使用して、ホストマシンのNIC1にブリッジ接続した。

評価手順は、NTMA と NTM 端末間でのトンネル構築処理はあらかじめ終了させる。また、GNのIPアドレスとしてNTMAがDCから割り当てられた仮想IPアドレスを静的に設定する。この状態でGNからNTM端末の仮想IPアドレス宛に「ABCDE」の文字列を送信する。この手順を10回繰り返して、NTMAの処理に要した平均時間をNTMAの評価結果とした。

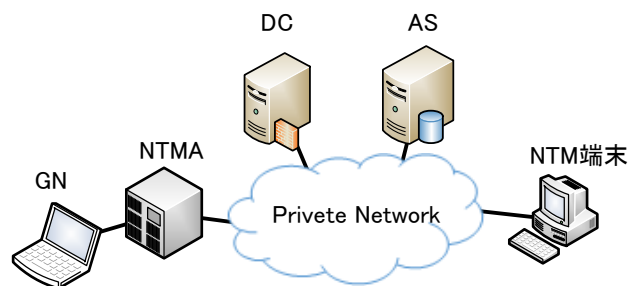


図7 評価構成

表1 仮想マシン上に実装した NTMA の仕様

| | NTMA(Virtual Machine) |
|--------|---------------------------|
| OS | Ubuntu 14.04 |
| CPU | Intel Corei7-930(2.80GHz) |
| Memory | 2GB |

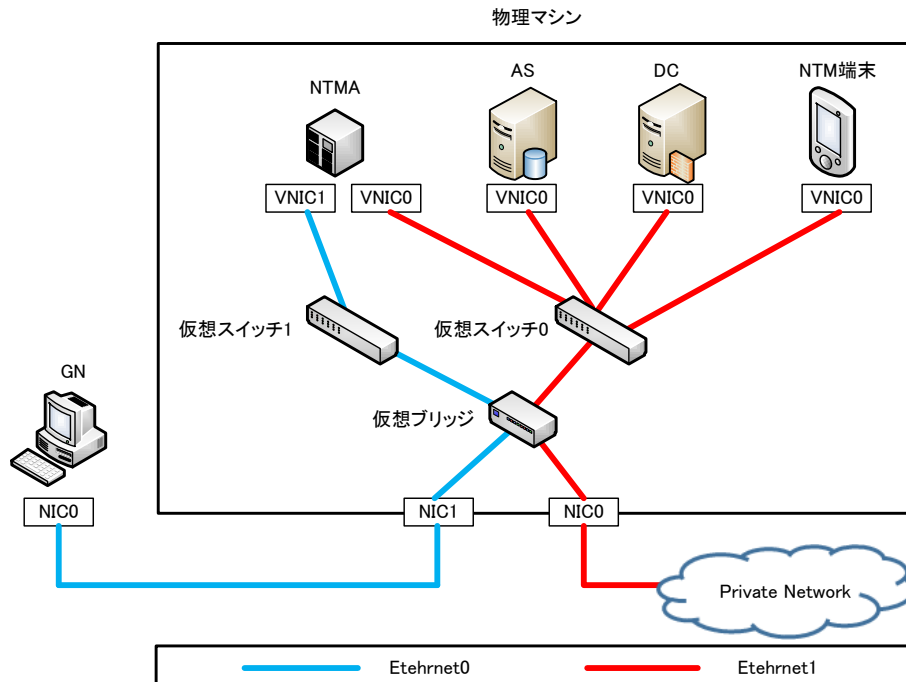


図 8 NIC を中心とした評価構成

表 2 NTMA の評価結果

| ARP 処理時間 | R-NTMfw 処理時間 | パケット処理時間 |
|----------|--------------|----------|
| 485.7ns | 408.7ns | 15.5ns |

6.2 評価結果

図9に評価する項目の通信シーケンス図, 表2に表結果を示す. ARP 処理時間は, GN が送信する ARP リクエストを NTMA が受信して, そのリプライを送信するまでに要する時間である. パケット処理時間は, NTMA がパケットを受信して処理するまでに要する時間である. R-NTMfw 処理時間は, R-NTMfw で送信するのに要する時間である. この結果により, 提案方式の通信において NTMA のパケット中継処理に要する時間は僅かであることが分かった.

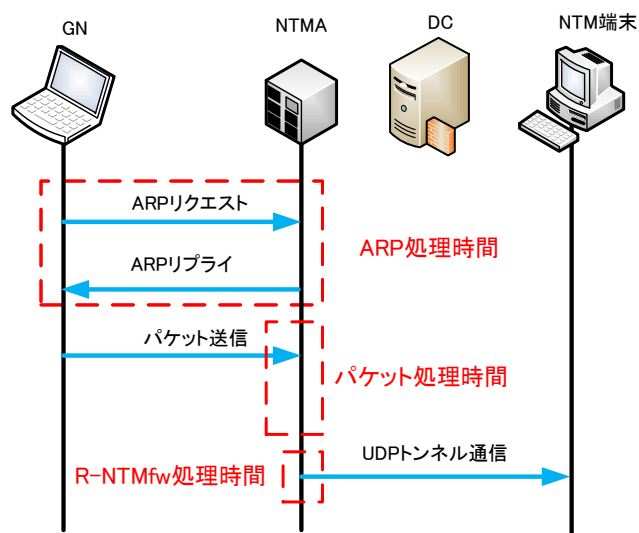


図9 評価構成

第7章 まとめ

本論文では，NTMfwの実装できない一般端末のために，一般端末に隣接設置して NTMobile 通信を代行する NTMA を提案した．この手法により，一般端末に手を加えることがなく，NTMobile の機能を付与することができる．また，Linux 上での提案方式の試作により NTMA が動作できることを確認した．加えて提案方式の性能評価を行い，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，イニシエータ側の NTMA の実装の完了および，NTMA をレスポンド側の一般端末に設置した場合の機能について検討していく．

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).
- [2] 納堂博史, 鈴木秀和, 内藤克浩, 渡邊晃: NTMobile における自律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).
- [3] 納堂博史, 杉原史人, 鈴木秀和, 内藤克浩, 渡邊晃: NTMobile の実用化に向けた多王号的枠組みの検討, 第 77 回 MBL・第 63 回 ITS 合同研究発表会, pp. 1–8 (2015).
- [4] : マスク ROM とは. <http://e-words.jp/w/%E3%83%9E%E3%82%B9%E3%82%AFROM.html>.
- [5] : lwIP - A Lightweight TCP/IP stack - Summary. <http://savannah.nongnu.org/projects/lwip/>.
- [6] : BSD Socket API. <http://web.mit.edu/macdev/Development/MITSupportLib/SocketLib/Documentation/sockets.html>.

研究業績

研究会・大会等（査読なし）

- (1) 尾久史弥, 納堂博史, 鈴木秀和, 内藤克浩, 渡邊晃 : NTMobile アダプタの実現方式の検討, 平成 28 年度電気関係学会東海支部連合大会論文集, Vol. 2016, 講演番号 B1-3, Sep. 2016.

