

平成25年度 修士論文

邦文題目

NTMobileにおけるSIP通信方式の提案

英文題目

**Proposal of a SIP Communication Method
using NTMobile**

情報工学専攻

(学籍番号: 123430041)

吉岡 正裕

提出日: 平成26年1月31日

名城大学大学院理工学研究科

内容要旨

近年頻繁に使用されるマルチメディア通信用プロトコルの SIP (Session Initiation Protocol) がセッション制御技術として注目され始めている。SIP は IP ペイロード部分に IP アドレスが記載されているプロトコルであり、単なる NAT 越え技術のみでは対応できない。これらの課題を解決するため、NAT に改造を加えることなく NAT 越え問題の解決と移動透過性を同時に実現する NTMobile (Network Traversal with Mobility) と呼ぶ技術を提案している。NTMobile は、端末に対して仮想 IP アドレスを割り当て、実際の通信を実 IP アドレスによる UDP トンネルを用いることで実現する。しかし、NTMobile においても SIP のような IP ペイロード部分に IP アドレスが含まれているアプリケーションに対しては工夫が必要である。NTMobile を SIP 通信で利用すると、SIP サーバが仮想 IP アドレスを認識できないため、基本的なしくみの見直しが必要である。そこで本論文では、SIP サーバにも NTMobile を導入することで、NTM 端末として扱い仮想 IP アドレスを認識可能にする手法を提案する。また、提案手法の実装を行い、動作検証および評価を行った。この結果、NTMobile を用いて SIP 通信を実現することが可能となった。さらに、既存の SIP アプリケーションをそのまま流用できることを動作検証にて確認した。

目次

第1章	はじめに	1
第2章	既存技術とその課題	3
2.1	SIP	3
2.2	SIPにおけるアドレス不整合問題	3
2.3	既存技術	5
第3章	NTMobile	7
3.1	概要	7
3.2	通信シーケンス	8
第4章	提案方式	11
4.1	提案方式の方針	11
4.2	構成	11
4.3	提案方式の通信シーケンス	12
第5章	動作検証	16
5.1	実装	16
5.2	動作確認	17
第6章	評価	19
6.1	既存技術との比較	19
6.2	処理時間の予測	20
第7章	まとめ	21
	謝辞	22
	参考文献	23
	研究業績	25

第1章 はじめに

IPv4 ネットワークでは IP アドレスの枯渇を回避するため、家庭内や企業のネットワークはプライベートアドレスで構築するのが一般的である。それらのネットワークとインターネットの間には NAT (Network Address Translator) が導入されている。このような環境ではインターネット側からは NAT しか見えなくなるため、NAT 外側の端末から内側の端末へ通信を開始することができないという制約がある。これは NAT 越え問題と呼ばれている。これまでのインターネットの利用形態は WWW の閲覧やメールの利用など、一般にグローバルアドレス空間に設置されたサーバに対してプライベートアドレス空間に存在する端末側から通信を開始していた。ファイアウォールでもこのような通信形態のみを許可するのが一般的であったため、NAT の制約が表面化することはなかった。しかし、家庭にもネットワークが導入され始めており、外出先から家庭内の端末に自由にアクセスしたいというニーズが増加していくものと考えられる。また、CGN (Carrier Grade NAT) [1,2] のようにインターネットプロバイダ自身のネットワークをプライベートアドレスで実現するような状況も想定される。このため IPv4 ネットワークにおいて NAT 越え問題を解決することは有益である。

NAT 越え問題を解決する技術としては、現存する NAT をそのまま使えることを目的としたアプリケーションレベル改造方式 (UPnP [3]), 既存のアプリケーションをそのまま使用することを目的としたネットワークレイヤ改造方式 (4+4 [4], NAT-f [5], MIPNAT [6]), 端末の改造を不要とすることを目的とした端末非依存方式 (AVES [7], NTSS [8]) がある。

一方、近年頻繁に使用されるマルチメディア通信用プロトコルの SIP (Session Initiation Protocol) [9] がセッション制御技術として注目され始めている。SIP を NAT が存在する環境で使用する場合、以下の2つの課題がある。1つは、通常の NAT 越え問題に関わるもので、NAT の外側から内側方向に向けてシグナリングを開始することができない問題がある。もう1つは、SIP の IP ペイロード内に IP アドレス/ポート番号が埋め込まれるため、NAT を通過すると IP ヘッダ内の IP アドレスとの間で IP アドレスの不整合が生じる問題である。本論文では、この問題をアドレス不整合問題と呼ぶ。SIP は IP ペイロード部分に IP アドレスが記載されているプロトコルであり、単なる NAT 越え技術のみでは対応できない。SIP では、SIP URI (Uniform Resource Identifier) と呼ばれる識別子を持っており、メールアドレスのように用いて SIP 通信を行っている。SIP URI だけでは IP アドレスがわからないため、SIP 端末の SIP URI と IP アドレスを対応付けて管理する SIP サーバがある。SIP サーバはグローバルネットワークに設置しているため、登録する IP アドレスがプライベートアドレスである場合、プライベートアドレスを認識できず通信を行うことができない。SIP が NAT を

通過できる手段としては、NATにおいてSIPメッセージ中のIPアドレス/ポート番号を書き換えるSIP-ALG (Application Level Gateway) [10]が挙げられる。これにより、SIPがNATを通過することは可能であるが、NATに改造が必要であるため、端末が一般のNAT配下に移動できないという課題がある。また、NATを改造せずアプリケーションレベルで対応するSTUN [11], TURN [12]も同様に利用されている。これらは、SIP通信を行う前にNATの外側IPアドレスもしくは中継サーバのIPアドレスを取得し、SIPメッセージに取得したIPアドレスを記載する方法である。あらかじめIPアドレスを取得することで、SIPパケットを書き換えることなく通信を行うことができるが、SIPアプリケーションがこれらの技術を実装する必要がある。

これらの課題を解決するため、NATに改造を加えることなくNAT越え問題の解決と移動透過性を同時に実現するNTMobile (Network Traversal with Mobility) と呼ぶ技術を提案している [13–16]。NTMobileは、端末に対して仮想IPアドレスを割り当て、実際の通信を実際のIPアドレスによるUDPトンネルを用いることで実現する。しかし、NTMobileにおいてもSIPのようなIPペイロード部分にIPアドレスが含まれているアプリケーションに対しては工夫が必要である。NTMobile上で動作するアプリケーションは、仮想IPアドレスを自身のIPアドレスとして認識する。そのため、IPペイロード部分に含まれるIPアドレスは仮想IPアドレスとなる。NTMobileをSIP通信で利用すると、SIPサーバが仮想IPアドレスを認識できないため、基本的なしくみの見直しが必要である。

そこで、本論文ではSIPサーバにもNTMobileを導入し、NTMobileの機能だけの拡張を行うことにより、既存のSIPアプリケーションおよび既存のNATに一切の手を加えることなくSIPプロトコルを使用することができる手法を提案する。この手法により、既存のSIPクライアントやSIPサーバのアプリケーションをそのまま流用することが可能になる。また、NTMobileにより移動通信にも対応できるようになる。提案方式の実装を行い、既存のSIPアプリケーションを用いて動作検証を行った。

以下、2章でSIPについて説明し、3章でNTMobileとNTMobileを用いた場合のSIP通信の課題について述べる。4章で提案方式について説明し、5章で提案方式の動作検証を行い、6章で評価、7章でまとめる。

第2章 既存技術とその課題

SIPの概要およびNATを跨るSIP通信時に発生するアドレス不整合問題と、それを解決する既存技術について説明する。

2.1 SIP

SIPはセッション制御プロトコルとして開発されており、セッションの開始・変更・終了のみを行う。主な用途としてIP電話やインターネット上のweb会議などの制御で使用されている。本章では、SIPのセッション確立方法と、SIPとNATの関係について述べる。

2.1.1 セッション確立

図 2.1 に SIP の基本シーケンスを示す。UA (User Agent) 1 と UA2 は、それぞれ SIP Server A と B に対して、REGISTER により自身の URI (Uniform Resource Identifier) と自身の IP アドレス G1 および G2 を登録しておく。

通信開始時、UA1 は INVITE により UA2 とのセッションの確立を要求する。INVITE には、UA1 が使用する IP アドレス G1 とポート番号 s1 が記載されている。SIP Server A は URI2 に対応する SIP サーバの名前解決を行い、SIP Server B に転送する。SIP Server B は、URI2 の名前解決を行い、INVITE を UA2 へ転送する。INVITE を受信した UA2 は、200 OK を返答する。200 OK には、UA2 が使用する IP アドレス G2 とポート番号 d2 が記載されており、INVITE と同様の経路を通り UA1 まで転送される。UA1 は ACK を返答した後、交換した IP アドレスとポート番号を用いて、UA2 と直接メディアセッションを確立する。以後の通信は、RTP (Real-time Transport Protocol) などにより、UA1 と UA2 間で直接実行される。

2.2 SIPにおけるアドレス不整合問題

図 2.2 にアドレス不整合問題の例を示す。図 2.2 では、UA2 が NAT 配下であり、プライベートアドレスを持っている。プライベートネットワークにある UA2 からグローバルネットワークにある UA1 に通信を開始したとする。SIP メッセージに基づき、UA1 は受信した INVITE に記載されている IP アドレスとポート番号に基づき、セッションを確立しようとする。しかし、記載されている IP アドレスがプライベート IP アドレスであるため、宛先不明でパケットが UA2 に届かず、セッションを確立することはできない。

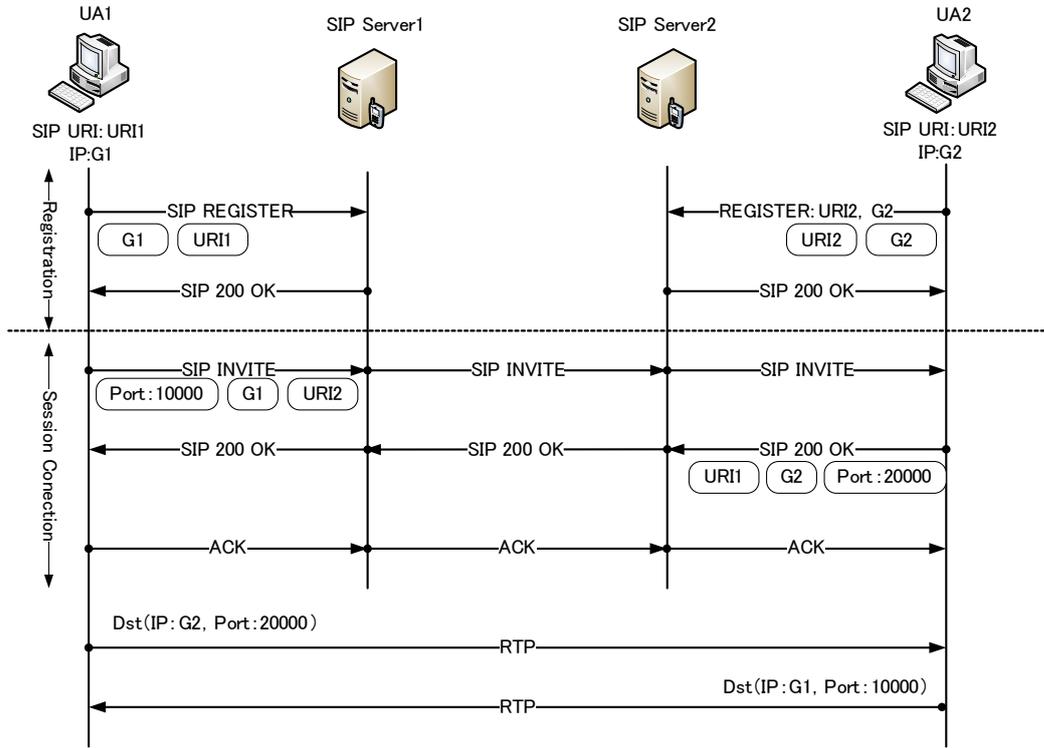


図 2.1 SIP のセッション確立

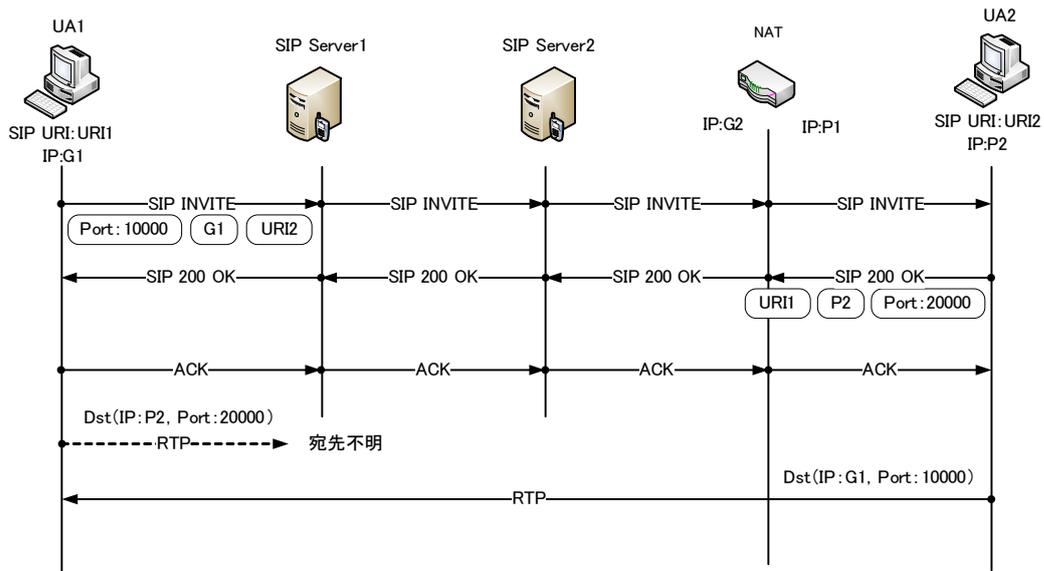


図 2.2 SIP 通信で発生するアドレス不整合問題

2.3 既存技術

2.2 項で示した課題を解決する技術として、アプリケーションレベルで対応する STUN (Session Traversal Utilities for NAT) と TURN (Traversal Using Relays around NAT) を挙げる。ここでは、SIP クライアントを使用するエンド端末を UA (User Agent) と呼称する。

2.3.1 STUN

図 2.3 に STUN の動作概要を示す。UA に機能の実装が必要であるとともに、第 3 の端末として STUN サーバが必要となる。

SIP メッセージの送信に先立ち、UA は SIP メッセージを送信する際に使用するのと同じポート番号を使用し、STUN サーバに対して Binding Request を送信する。これにより、NAT 上に NAT テーブルを生成する。STUN サーバは、STUN サーバ側から見た送信元の IP アドレスとポート番号を Binding Response として UA に返答する。そして、UA は、Binding Response に記載されている IP アドレスおよびポート番号を SIP メッセージに埋め込み送信する。

STUN は、いくつかの制約がある。1 つは、通信が UDP に限定されることである。もう 1 つは、Symmetric NAT には使用できないことである。Symmetric NAT は通信相手毎にポート番号が変わる。そのため、宛先が SIP サーバから UA に切り替わる際、NAT でポート番号の不一致が発生する。

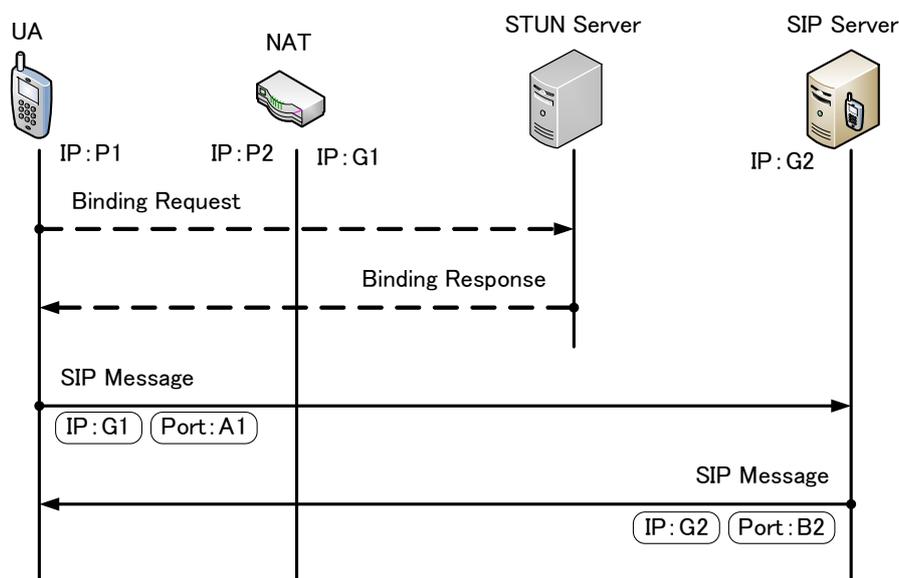


図 2.3 STUN の動作概要

2.3.2 TURN

図 2.4 に TURN の動作概要を示す。UA に機能の実装が必要でありかつ第 3 の端末として TURN サーバが必要になる。

UA は通信開始に先立ち、TURN サーバに対して Allocate Request を行う。これに対して、TURN サーバは、自身のポートを割り当て、Allocate Response により UA に通知する。この後、UA は TURN サーバとの間でセッションを維持し続ける。UA は、TURN サーバ上に割り当てられた IP アドレスとポート番号を SIP メッセージに埋め込み、パケットをカプセル化して TURN サーバに送信する。TURN サーバが受信した SIP メッセージについては、カプセル化を行い、UA まで転送する。

TURN は NAT の種類に依存せず、アドレス不整合問題が解決可能である。しかし、TURN サーバは全ての通信を中継するため、TURN サーバに対する負荷が大きいことと、セッションのスループットが低下するという課題がある。

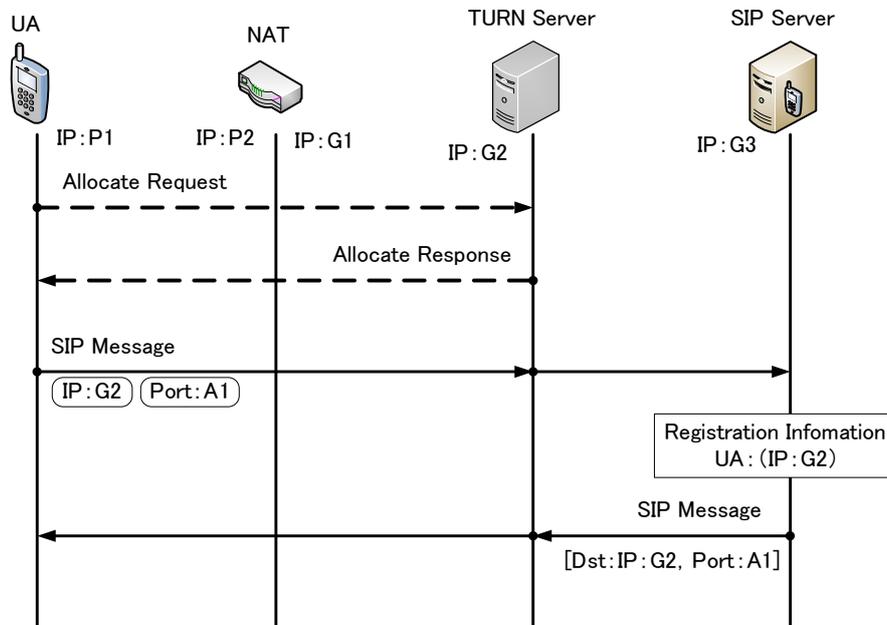


図 2.4 TURN の動作概要

第3章 NTMobile

3.1 概要

図 3.1 に、本提案方式の基礎となる NTMobile の構成を示す。NTMobile の構成要素として、NTMobile の機能を実装した端末（以下 NTM 端末）の他に、NTM 端末のアドレス情報を管理する DC（Direction Coordinator）、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 RS（Relay Server）が存在する。DC は、NTM 端末に仮想 IP アドレスを配布する他、NTM 端末に対してトンネル経路を指示する装置であり、NTM 端末の情報をデータベースで管理している。NTM 端末は、DC から端末を一意に識別できる仮想 IP アドレスを与えられ、NTM 端末同士の通信の識別に使用する。アプリケーションは、割り当てられた仮想 IP アドレスを自分のアドレスとして認識する。

実際の通信は、仮想 IP アドレスのパケットを実 IP アドレスによる UDP でカプセル化をすることにより実現する。DC はエンド端末が存在するネットワーク上の位置から適切な通信経路を決定し、NTM 端末にトンネル経路を指示する。NAT が存在する場合は、NAT の内

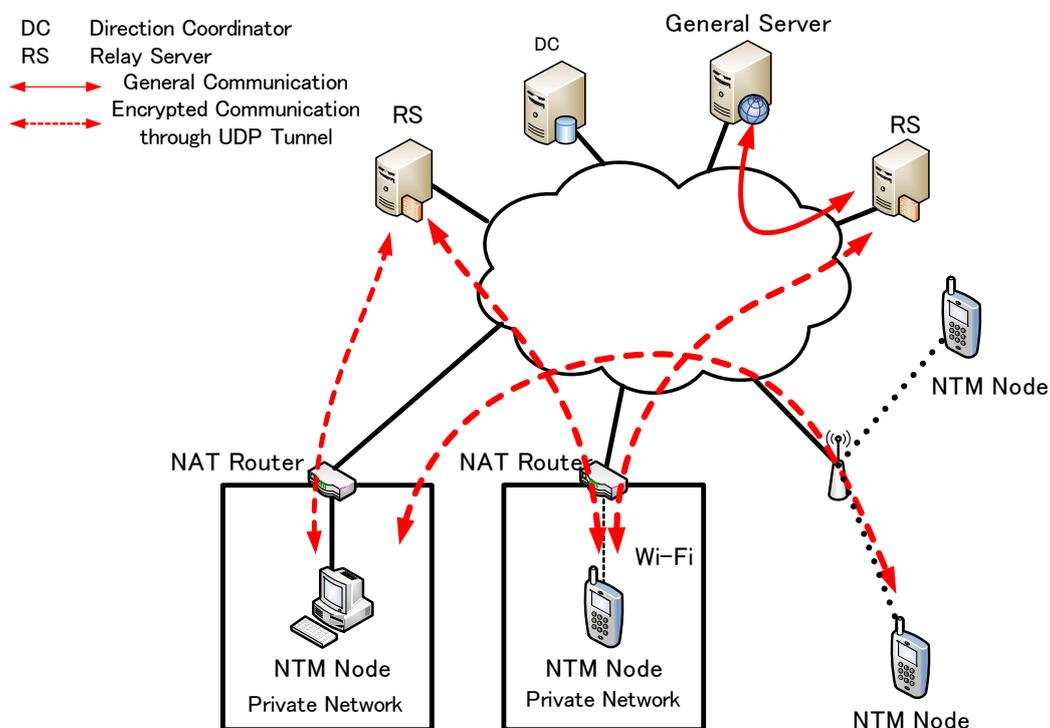


図 3.1 NTMobile の概要

側からトンネルを構築するように指示するため、NAT 越え問題を回避することができる。両エンド端末が異なる NAT 配下に存在するなど、エンドエンド通信が行えない場合には RS を経由したトンネル経路を構築する。この手法によって、アプリケーションに対して、NAT の存在や移動に伴う実 IP アドレスの変化を隠蔽することができる。

DC どうし、DC と RS、DC と NTM 端末間には信頼関係があることを前提としており、NTM Mobile で使用される制御メッセージは、全て暗号化される。また、NTM 端末間や NTM 端末と RS の間で行われるトンネル通信は、トンネル構築時に DC より配布される共通鍵と NTM 端末が一時的に構築する共通鍵を合成した鍵を用いて暗号化される。

3.2 通信シーケンス

以後の説明では、通信開始側の NTM 端末を MN (Mobile Node)、受信側の NTM 端末を CN (Correspondent Node) として説明する、また、端末 N の FQDN を $FQDN_N$ 、Node ID を NID_N 、実 IPv4 アドレスを RIP_{4N} 、仮想 IPv4 アドレスを VIP_{4N} 、端末 N が NAT 配下に接続している場合の NAT の実 IP アドレスを RIP_{NAT_N} とし、アドレス情報を管理している DC を DC_N 、その実 IPv4 アドレスを RIP_{DC_N} とする。N1 と N2 がトンネル通信時に用いる Path ID を PID_{N1-N2} と表す。Path ID は NTM 端末間の通信を一意に識別するための識別子である。

3.2.1 登録処理

図 3.2 に登録処理シーケンスを示す。DC は NTM 端末の情報をデータベースで管理する。データベースには DC に登録を行っている NTM 端末の情報を記録し、NTM Mobile における経路判断およびトンネル構築に利用する。

NTM 端末は通信接続性の確保のために、端末起動時に DC に対して実 IP アドレスなどの端末情報を登録する。MN は、 $FQDN_{MN}$ 、 NID_{MN} 、 RIP_{MN} などを記載した NTM Registration Request を DC_{MN} に送信する。 DC_{MN} は NTM Registration Request をによって受け取った端末情報をデータベースに登録しておく。

3.2.2 名前解決処理

図 3.3 に NTM Mobile の通信シーケンスを示す。MN は、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 $FQDN_{CN}$ を抽出して独自のネゴシエーションを開始する。トリガーとなった DNS 問い合わせのパケットはそのまま DNS サーバに向けて送出させ、その応答パケットは待避しておく。

MN は、NTM Direction Request に $FQDN_{MN}$ と $FQDN_{CN}$ を記載して DC_{MN} へ送り、名前解決およびトンネル構築指示を依頼する。 DC_{MN} は NTM Direction Request に記載している $FQDN_{MN}$ でデータベースを検索することにより MN の端末情報を取得する。さらに、 DC_{MN}

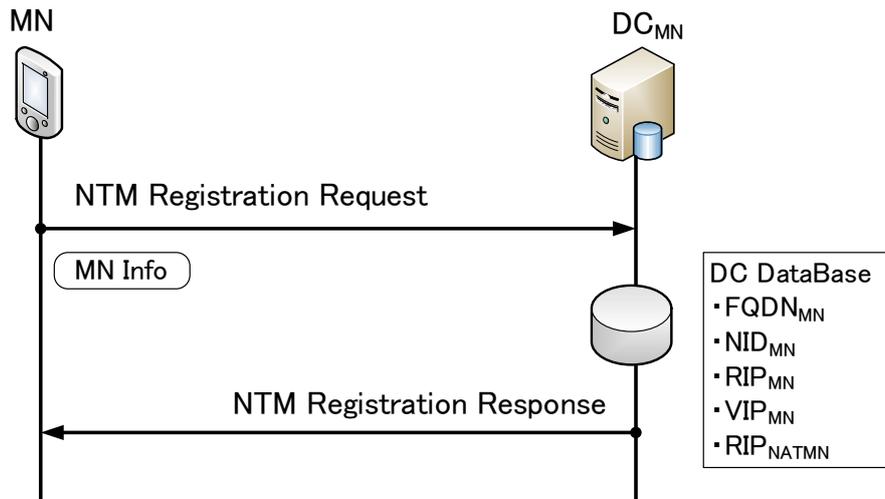


図 3.2 NTMobile の名前解決処理シーケンス

は $FQDN_{CN}$ の NS レコードを DNS クエリにより問い合わせる。DNS からの NS レコードの応答には DNS サーバの名前だけが含まれ、IP アドレスが含まれていない場合がある。その場合には、DNS サーバの名前から DNS クエリにより再度 IP アドレスを問い合わせる。

特定した DNS サーバが DC であった場合、 DC_{MN} は NTM Information Request/Response により NTM 端末情報の収集を行う。NTM Information Request に $FQDN_{CN}$ を載せ、 DC_{CN} の端末情報を要求する。 DC_{CN} は、 $FQDN_{CN}$ が示す CN の端末情報をデータベースから検索し、Node Information Response に載せて DC_{MN} へ送り返す。これにより DC_{MN} は CN の端末情報の取得を完了する。

3.2.3 トンネル構築処理

DC_{MN} は、3.2.2 によって得た両端末の情報から最適なトンネル経路を判断する。 DC_{MN} は、経路判断を元にトンネル構築に必要な情報を載せた NTM Route Direction を MN と CN に送信する。NTM 端末が NAT 配下にいる場合、NTM Tunnel Request を NAT 配下の NTM 端末から送信することによってトンネル通信の経路を確保する。

アプリケーションは通信相手として仮想 IP アドレスを認識しているため、アプリケーションが生成したパケットは仮想 IP アドレスが記載される。これをカプセル化し、CN へ転送する。CN はカプセル化されたパケットをデカプセル化し、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。

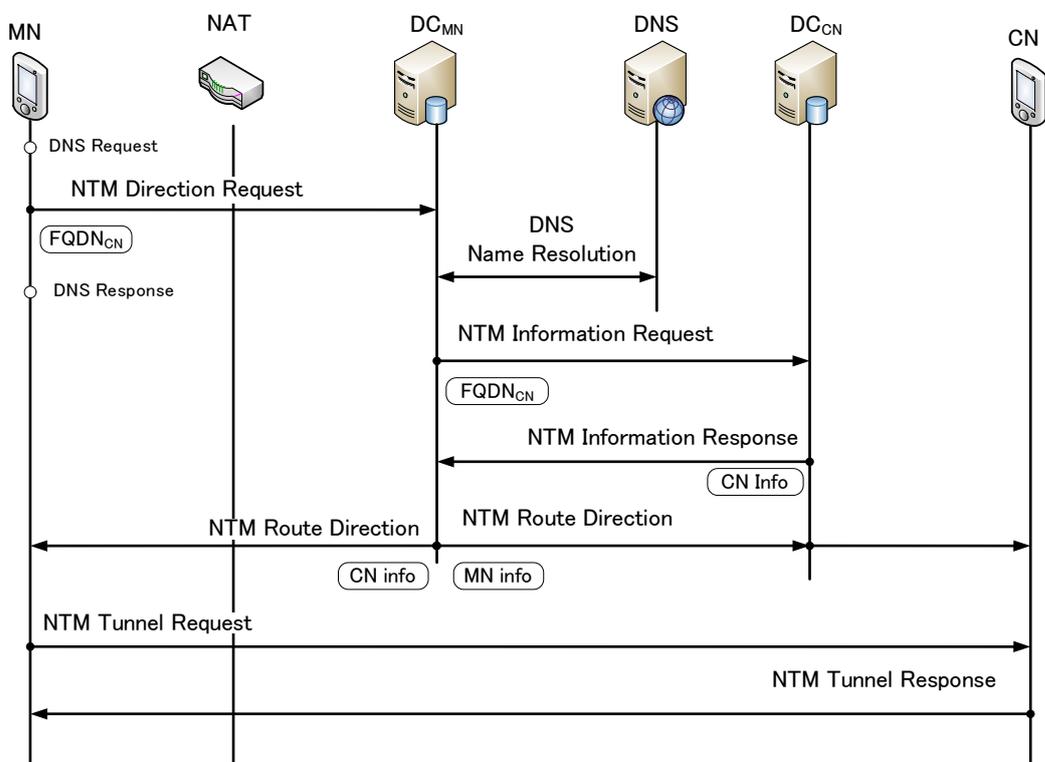


図 3.3 NTMobile のトンネル構築シーケンス

第4章 提案方式

4.1 提案方式の方針

仮想 IP アドレスを使用するためには、SIP サーバが仮想 IP アドレスを認識できなければならない。NTMobile で用いる仮想 IP アドレスは、NTMobile に関連する機器以外では認識することができない。また、SIP 通信ではグローバル上に存在する SIP サーバを必ず経由する必要がある、この課題を解決しなければならない。SIP サーバのアプリケーションに手を加える手法も考えられるが、SIP アプリケーションが限定されるため望ましくない。次に、仮想 IP アドレスを実 IP アドレスに変換し、SIP サーバに登録を行う手法も考えられるが、変換を行う装置をグローバルネットワーク上に設置する必要がある、経路が冗長化する。そこで、SIP サーバのアプリケーションに手を加えず、NTMobile を SIP サーバに導入する方式を採用する。この方法により、SIP サーバを NTM 端末として扱うことができるため、仮想 IP アドレスの認識が可能になる。

NTM 端末間にてメディアセッションの直接通信を行うためには、SIP 通信中にトンネル構築を行う必要がある。SIP 通信前にトンネル構築を行う方法も考えられるが、通信相手が応答しないという場合も考えられる。そのため、通信相手が応答したことが確定した後にトンネル構築を行うことが望ましい。SIP 通信において、メディアセッションに応じることを確認できるタイミングは、通信相手の SIP 200 OK の送信である。そこで、通信開始側の NTM 端末は、SIP 200 OK を受信をトリガとして、NTMobile ネゴシエーションを開始し、NTM 端末間でトンネル構築を行う。トンネル構築が完了するまでは、SIP 200 OK をアプリケーションに返さず保持する。これにより、メディアセッションをトンネル経路にて直接通信することができる。

4.2 構成

提案方式のネットワーク構成を図 4.1 に示す。本提案のネットワーク構成として、DC (DC_{MN} , DC_{CN}) と SIP サーバ (SIP_{MN} , SIP_{CN}) をグローバル上に設置する。NTM 端末の MN は NAT 配下に、CN はグローバル上に存在する。SIP サーバには、NTMobile を導入する。SIP サーバのアプリケーションと SIP クライアント、NAT には一切の変更を加えない。MN と CN は、それぞれ SIP_{MN} と SIP_{CN} へユーザ認証が完了し、SIP URI と認証パスワードが発行されているものとする。MN と CN は互いの SIP URI を保持しているものとする。

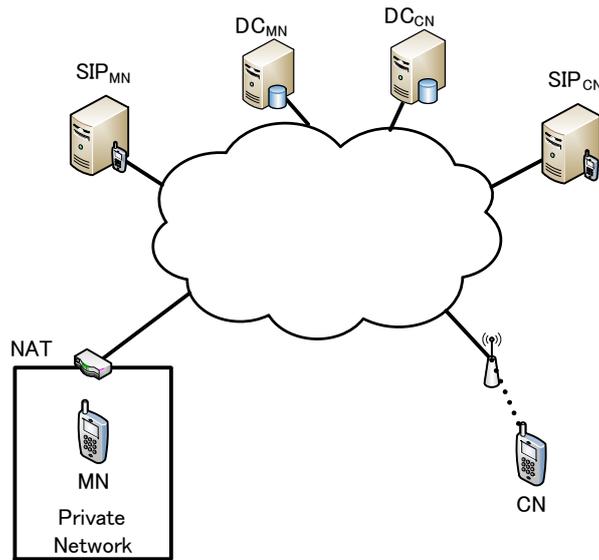


図 4.1 提案方式のネットワーク構成

提案方式では、NTM 端末が異なる NAT 配下に存在したネットワーク構成においても、NTMobile の仕組みにより RS を介して SIP 通信は実現できるが、本論文では簡単のため MN のみが NAT 配下に存在するものとする。

4.3 提案方式の通信シーケンス

4.3.1 SIP 登録処理

図 4.2 に SIP 登録処理シーケンスを示す。MN と SIP_{MN} は DC_{MN} への NTMobile の登録処理が完了しているものとする。SIP クライアントは、起動時に SIP サーバへ登録処理を行う。MN は SIP サーバに自身の位置情報である VIP_{MN} を登録するため、 $SIPURI_{MN}$ の名前解決を行う。名前解決により、NTMobile のネゴシエーションが開始される。今回は、NTMobile が導入された SIP サーバが通信相手であるため、MN と SIP_{MN} の間でトンネルが構築される。トンネル構築後、MN は SIP_{MN} に SIP 登録メッセージである SIP REGISTER を送信する。SIP REGISTER には IP アドレスが含まれており、今回は VIP_{MN} となる。SIP_{MN} は MN からの SIP REGISTER を受信後、認証を行うため SIP 401 Unauthorized を MN に返す。MN は、SIP REGISTER に認証パスワードのハッシュを付与し、再度 SIP_{MN} に SIP REGISTER を送信する。SIP_{MN} は認証パスワードのハッシュを参照し、正しいものであれば VIP_{MN} を登録する。正常に登録処理が完了すると、SIP_{MN} は MN に SIP 200 OK 返しリクエストが成功したことを通知する。SIP クライアントは起動中、SIP サーバに対して定期的にパケットを送信し経路確保を行う。このため、SIP クライアントが起動している間は MN と SIP_{MN} で構築されたトンネルは維持される。

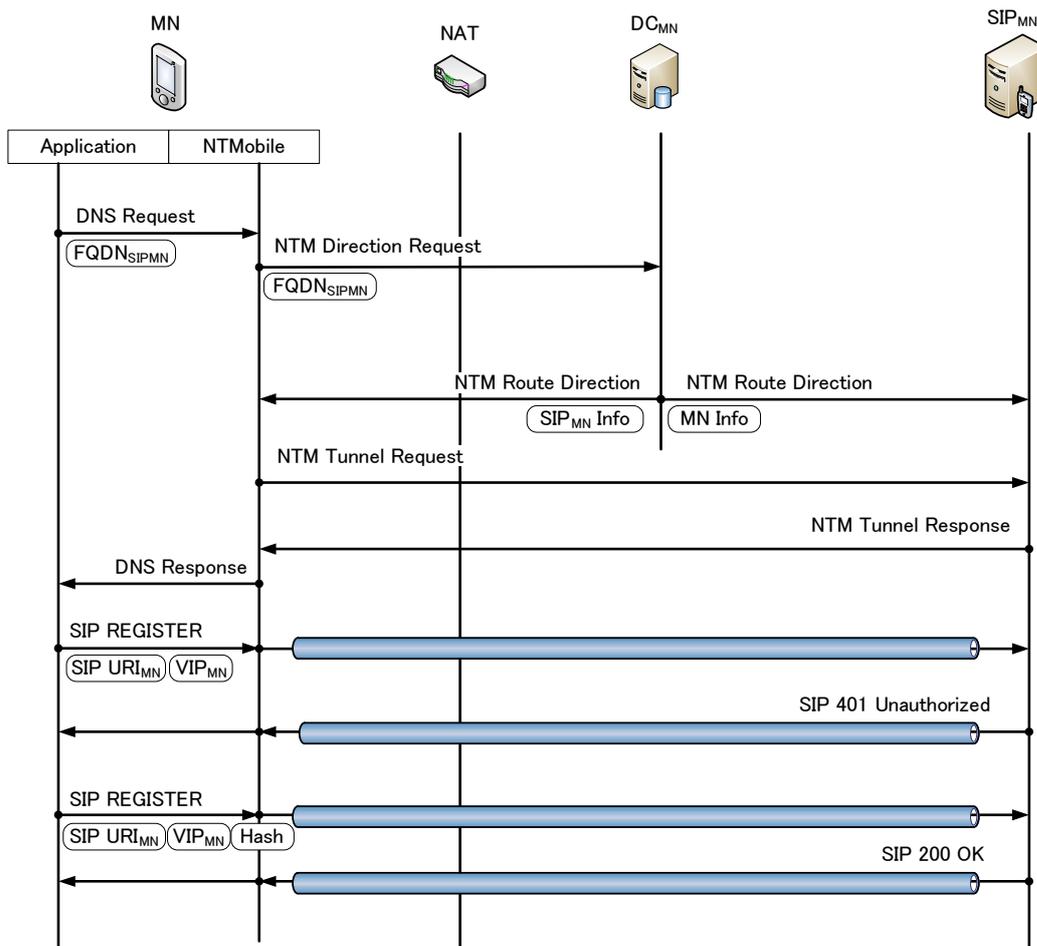


図 4.2 提案方式の SIP 登録シーケンス

4.3.2 SIP 通信処理

提案方式の SIP 通信シーケンスを図 4.3 に示す。MN が CN に対して SIP 通信を開始する。MN は、CN の SIP URI を用いて通信を始める。SIP URI は、SIP のみで使われる識別子であり、メールアドレスのように扱われる。MN は宛先の情報である $SIPURI_{CN}$ と自身の仮想 IP アドレス VIP_{MN} を記載した SIP INVITE を、すでに生成済みのトンネルを介して SIP_{MN} に送信する。 SIP_{MN} と SIP_{CN} は NTM 端末として動作しているため、両者の間にトンネルが構築される。その後、SIP INVITE は SIP_{CN} を経由し CN に送信される。SIP INVITE を受信した CN は、SIP INVITE と同様の経路で自身の仮想 IP アドレス VIP_{CN} と $SIPURI_{CN}$ を SIP 200 OK に記載し、MN に送信する。ここまではトンネル通信であることを除き、通常の SIP 通信と同様である。

図中の A から D は提案方式固有の動作である。

A において、MN は SIP 200 OK を受信すると、NTMobile の機能によりパケットをフックする。このパケットは、D までの間保持する。NTMobile は SIP 200 OK に含まれている VIP_{CN} を取得する。取得した VIP_{CN} を NTM Direction Request に記載し、 DC_{MN} に送信する。

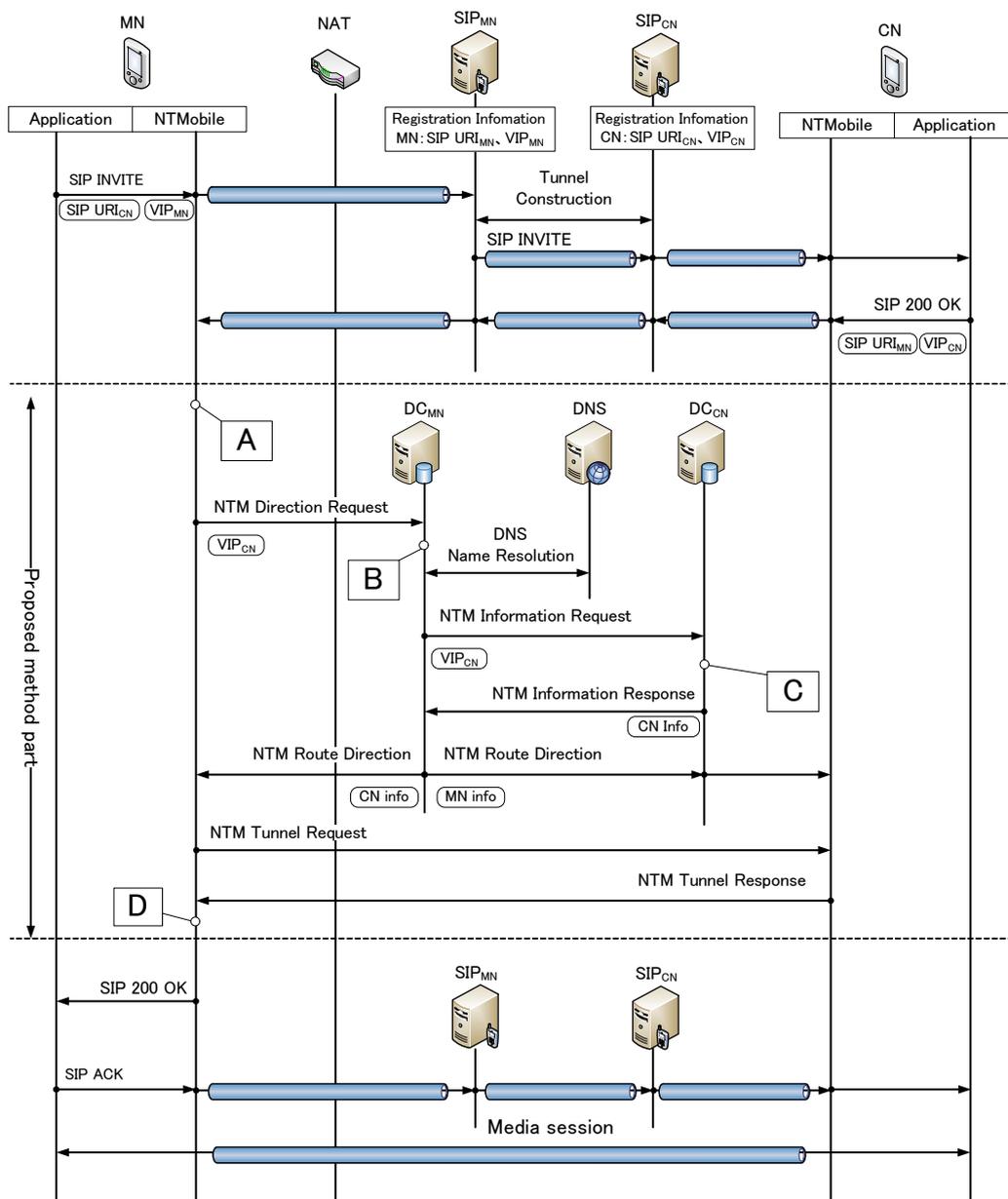


図 4.3 提案方式の SIP シーケンス

NTMobile では通常、通信相手の FQDN から端末を管理している DC の IP アドレスを取得を行う。しかし、SIP メッセージには FQDN が含まれていないため、上記の処理を行うことができない。本提案では、仮想 IP アドレスから DC の位置情報を取得するよう DC の拡張を行う。図中 B において DNS 逆引きの仕組みを利用し、 VIP_{CN} から DC_{CN} の FQDN を取得する。続けて DNS 正引きを行い、 DC_{CN} の IP アドレスを取得する。

NTM Information Request を受信した DC_{CN} は、C においてメッセージに記載されている情報をキーとしてデータベースを検索する。通常の NTMobile では、FQDN をキーとしてデータベースの検索を行っている。本提案では、仮想 IP アドレスから端末情報を取得できるよう

DCの拡張を行う。VIP_{CN}をキーとしてCNの端末情報を取得する。その後、NTM Information Responseに取得した情報を記載しDC_{MN}へ応答する。

CからDまでの間は通常のNTMobileの動作と同様である。トンネルに必要な情報を交換し、トンネルを構築する。

Dにおいて、トンネル構築が正常に動作したかどうか確認を行う。構築できていたならば、NTMobileで保持していたSIP 200 OKをアプリケーションに返す。

以降はSIP通信の処理に戻る。MNはSIP ACKをSIP INVITEと同様の経路でCNに送信する。以後は、NTMobileのトンネルによりエンドエンドのメディアセッションが可能になる。

第5章 動作検証

5.1 実装

提案方式をLinuxに実装を行った。ディストリビューションはUbuntu10.04, カーネルバージョン2.6.32-24-genericを使用した。実装はNTM端末とDCについて行った。

図5.1にNTM端末のモジュール構成を示す。提案方式を実現するため、NTMobile独自のデーモンにSIP通信のみで使用するモジュールの追加を行った。SIP通信はUDP上で動作し、デフォルトポートは5060番となっている。そこで、カーネルモジュールに受信したパケットのUDPポートが5060番の時にフックする処理を追加した。カーネルモジュールでフックしたSIPパケットを新規に作成したSIP通信専用のモジュールに渡す。ここで、解析を行いパケットがSIP 200 OKかつメディアセッションの情報が含まれていた場合、メッセージに含まれている仮想IPアドレスを抽出する。抽出した通信相手の仮想IPアドレスをNTM Direction Requestの拡張ヘッダに記載する。NTM Direction Requestには通信開始側と受信側のFQDNが記載されているが、これに仮想IPアドレスの情報を付加できるようにNTMobile独自のヘッダを追加した。

図5.2にDCのモジュール構成を示す。これまでのDCでは、NTM Direction Requestに含まれている通信相手のFQDNから、トンネルに必要な情報の取得に使用していた。提案方式では、FQDNを取り扱わないため、DCのNTMobileデーモンにSIP通信のみで使用するモジュールを新規に作成し追加した。NTM Direction RequestにSIP専用のフラグを立てることで処理を分岐し、仮想IPアドレスをFQDNの代わりに用いることでトンネル構築に必要な情報を取得する。また、NTM Information Requestの宛て先を見つけるため、仮想IPアドレスをDNS逆引きおよび正引きする処理を追加した。これにより、仮想IPアドレスを管理しているDCのIPアドレスを取得できる。

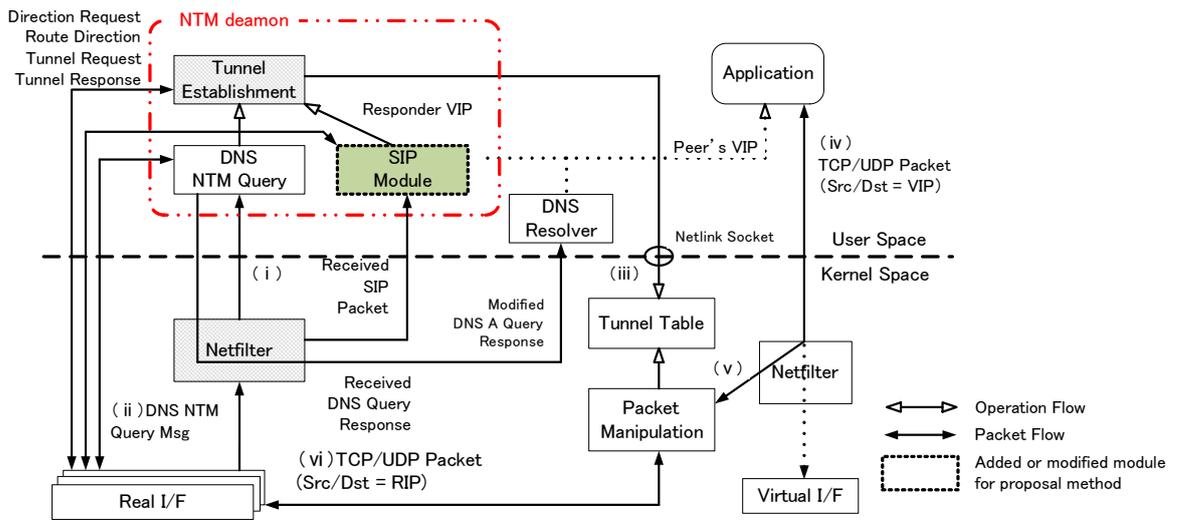


図 5.1 NTM 端末のモジュール構成

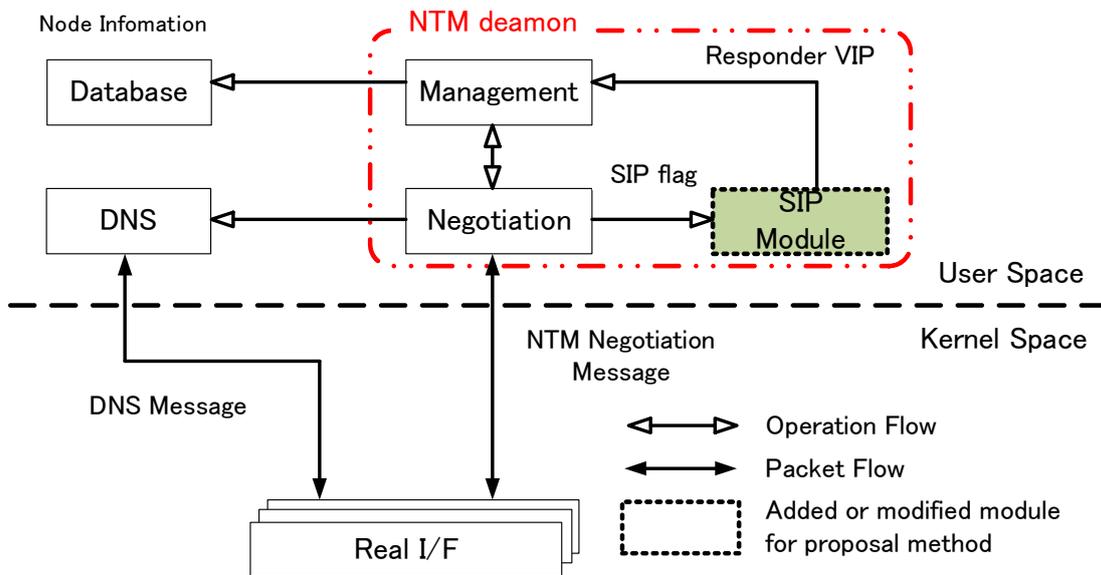


図 5.2 DC のモジュール構成

5.2 動作確認

提案方式がアドレス不整合問題を解決できていることを確認するため、既存の SIP アプリケーションを用いて NAT を含めたネットワークを構築し動作検証を行った。図 5.3 に試験ネットワークの構成を示す。1 台の実機 PC 上にインストールした VMware6.0 を利用して、NTM 端末 3 台および DC2 台、NAT を仮想マシンとして構築した。NTM 端末 1 台に SIP サーバアプリケーションをインストールし、SIP サーバとして扱う。NTM 端末 1 台と DC2 台、SIP サーバと NAT を同一ネットワークに接続し、NTM 端末 1 台を NAT 配下へ接続した。MN と CN は同じ SIP サーバを使用する。NTM 端末の MN から NAT 配下に存在する NTM

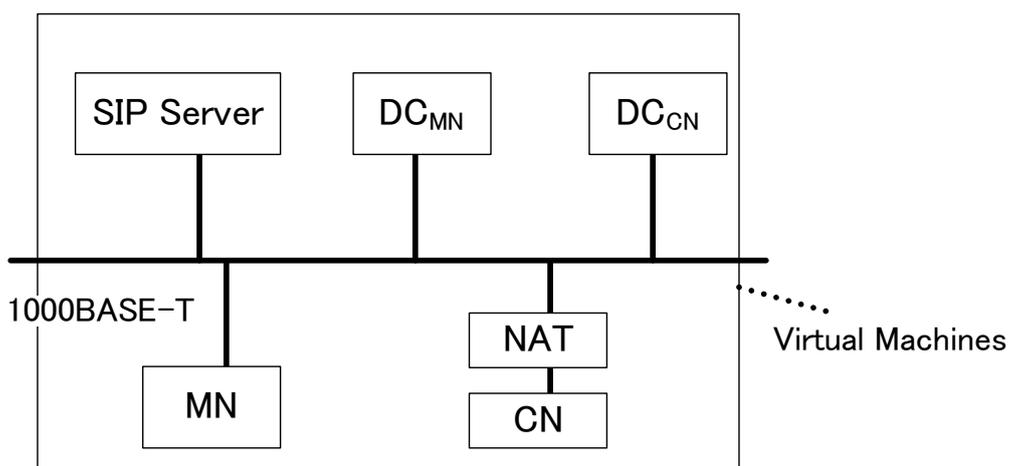


図 5.3 試験ネットワークの構成

端末 CN へ通信を開始する。

SIP クライアントは Linux で動作するフリーソフト Jitsi [21] を使用した。SIP サーバアプリケーションには一般に使用されているフリーソフトの Asterisk [22] を選択した。上記の環境にて、SIP で開始する IP 電話を実行した。Wireshark [20] を用いてパケットをキャプチャし、IP 電話が NAT を越えて通信できたことを確認した。また、マイクおよびヘッドホンを用いて正常に音声通話を開始できることを確認した。

第6章 評価

6.1 既存技術との比較

STUN と TURN を既存技術の代表としてとりあげ、提案方式との比較を行った結果を表 6.1 に示す。

- アドレス不整合問題の解決
STUN は、NAT が Symmetric NAT の場合は使用することができない。TURN は中継装置を用い、提案方式は仮想 IP アドレスを使用することで、それぞれ NAT の種類に依存せず通信を行うことができる。
- SIP アプリケーションの改造
STUN および TURN は、SIP クライアントを改造する必要がある。また、ユーザは使用する STUN や TURN のサーバを各々設定する必要がある。ユーザがこれらの技術を意識しなければならない。提案方式では、SIP クライアントは NTMobile を意識する必要がなく、既存のものをそのまま流用することができる。
- 移動通信への対応
STUN および TURN は、端末の移動を想定していないため、端末の IP アドレスが変化すると再度 IP アドレスを取得しなければならず、メディアセッションを継続することができない。提案方式では、NTMobile の移動透過性をそのまま活かすことができ、端末の IP アドレスが変化した場合は再度トンネル構築処理を行い、通信を継続させることができる。
- SIP サーバの改造
STUN および TURN は、既存の SIP サーバをそのまま使用できる。提案方式では、NTMobile を導入する必要がある。しかし、SIP サーバのアプリケーションは手を加える必要がないため、NTMobile の導入のみで実現できる。

表 6.1 既存技術と提案方式の比較

	STUN	TURN	提案方式
アドレス不整合問題の解決	△	○	○
SIP アプリケーションの改造	×	×	○
移動通信への対応	×	×	○
SIP サーバの改造	○	○	△

6.2 処理時間の予測

提案方式では、通常の SIP 通信の合間をぬって NTMobile のネゴシエーションを NTM 端末間と SIP サーバ間で 2 回行う。NTMobile のネゴシエーション時間合計は文献 [18] と [19] より、3G と Wi-Fi ネットワーク間において約 650ms と推測されている。しかし、SIP サーバは有線によりグローバルネットワーク上に設置することを想定しているため、SIP サーバ間の NTMobile のネゴシエーションは上記の値より大幅に短いことが推測される。以上のことから、提案方式によるオーバーヘッドは実用上問題ないと言える。

第7章 まとめ

本論文では，NAT に改造を加えることなく通信接続性と移動透過性を同時に実現する NTMobile において，NTMobile で拡張を行うことにより，既存の SIP アプリケーションや NAT に一切の手を加えずに SIP 通信を行う方式について提案を行った．提案方式では，NTMobile で SIP 通信を行う際に起きる課題を NTMobile の拡張により解決を行った．SIP サーバに NTMobile を導入し，仮想 IP アドレスを識別可能とした．加えて，メディアセッションを NTM 端末間で行うために SIP パケットをフックする処理を NTMobile に追加を行い，SIP 通信中に NTMobile のネゴシエーションを行うよう拡張した．また，提案方式を実装し，現在使われている SIP アプリケーションを用いて動作確認を行った．

今後は，実ネットワーク上環境において実装したシステムの詳細な性能評価を行う．NTM 端末が異なる NAT 配下に存在する場合および，ハンドオーバー時の動作検証も進めていく．また，NTMobile 非対応端末との SIP 通信について検討を進めていく予定である．

謝辞

本研究に関して、研究の方向や進め方など終始御熱心な御指導とご教示を賜りました、名城大学大学院理工学研究科情報工学専攻 渡邊晃教授に心より厚く御礼申し上げます。

本論文を作成するにあたり、快く査読を引き受けてくださり、熱心にご指導を頂きました、名城大学大学院理工学研究科情報工学専攻 柳田康幸教授に心より厚く御礼申し上げます。

本論文を作成するにあたり、快く査読を引き受けてくださり、熱心にご指導を頂きました、名城大学大学院理工学研究科情報工学専攻 宇佐見庄五准教授に心より厚く御礼申し上げます。

本論文を作成するにあたり、快く査読を引き受けてくださり、熱心にご指導を頂きました、名城大学大学院理工学研究科情報工学専攻 鈴木秀和助教に心より厚く御礼申し上げます。

また、本研究を進めるにあたり、常日頃から御意見ならびに御助言を受け賜りました、三重大学大学院工学研究科 内藤克浩助教に深謝いたします。

最後に、本研究を行うにあたり、適切な御意見および御助言を頂いた、名城大学名城大学大学院理工学研究科情報工学専攻渡邊研究室並びに鈴木研究室の皆様心より感謝いたします。

参考文献

- [1] J.Livingood : Considerations for Transitioning Content to IPv6, RFC6589, IETF (2012).
- [2] I.Yamagata, S.Miyakawa, A.Nakagawa, H.Ashida : Common Requirements for Carrier-Grade NATs (CGNs), RFC6888, IETF (2013).
- [3] Forum, U. : Internet Gateway Device (IGD) Standardized Device Control Protocol V 1.0 (2001) .
- [4] Turanyi, Z., Valko, A. and Campbell, A. : 4+4 : An Architecture for Evolving the Internet Address Space Back Toward Transparency, *ACM SIGCOMM Computer Communication Review*, Vol.33, No.5, pp.43-54 (2003) .
- [5] 鈴木秀和, 宇佐見庄五, 渡邊 晃 : 外部動的マッピングにより NAT 越え通信を実現する NAT-f の提案と実装, *情報処理学会論文誌*, Vol.48, No.12, pp.3949-3961 (2007) .
- [6] Levkowitz, H., and Vaarala, S. : Mobile IP Traversal of Network Address Translation (NAT) Devices, RFC 3519, IETF (2003) .
- [7] Ng, T., Stoica, I., and Zhang, H. : A Waypoint Service Approach to Connect Heterogeneous Internet Address Spaces, *Proc. USENIX Annual Technical Conference*, pp.319-332 (2001) .
- [8] 宮崎 悠, 鈴木秀和, 渡邊 晃 : 端末の改造が不要な NAT 越え通信システム NTSS の提案と評価, *情報処理学会論文誌*, Vol.51, pp.1234-1241 (2010) .
- [9] Rosenberg, J., Schulzrinne, G., Camarillo, G., Johnston, A., Peterson, J., Sparks, R., Handley, M. and Schooler, E. : SIP : Session Initiation Protocol, RFC 3261, IETF (2002).
- [10] Johnston, A., Donovan, S., Sparks, R., Cunningham, C., and Summers, K. : Session Initiation Protocol (SIP) Basic Call Flow Examples, RFC 3665, IETF (2003).
- [11] Rosenberg, J., Mahy, R., Matthews, P., and Wing, D. : Session Traversal Utilities for NAT (STUN), RFC 5389, IETF (2008).
- [12] Mahy, R., Matthews, P., and Rosenberg, J. : Traversal Using Relays around NAT (TURN), RFC 5766, IETF (2010).
- [13] 鈴木秀和, 水谷智大, 西尾拓也, 内藤克浩, 渡邊 晃 : NTMobile における相互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).
- [14] 内藤克浩, 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).

- [15] 西尾拓也, 内藤克浩, 水谷智大, 鈴木秀和, 渡辺 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, No.1, pp.1139-1145 (2011).
- [16] 上醉尾一真, 鈴木秀和, 内藤克浩, 渡辺 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, Vol.2012, No.1, pp.1169-1179, Jul.2012.
- [17] 納堂博史, 鈴木秀和, 内藤克浩, 渡辺 晃: NTMobile の経路最適化の検討, 情報処理
学会研究報告, Vol.2011-MBL-61, No.33, pp1-8 (2011) .
- [18] 上醉尾一真, 鈴木秀和, 内藤克浩, 渡辺 晃: IPv4/IPv6 混在環境における NTMobile
の検討, 情報処理学会第 74 回全国大会論文集, pp.3-221-3-222 (2011).
- [19] 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, Vol.2012-MBL-64 (2012) .
- [20] Wireshark. <http://www.wireshark.org>.
- [21] <http://www.jitsi.org>
- [22] Asterisk IP PBX,VOIP Gateway,IVR & Open Source Communications. <http://www.asterisk.org>

研究業績

学術論文

なし

研究会・大会等

1. 吉岡正裕, 鈴木秀和, 内藤克浩, 渡邊晃, “NTMobile における SIP 通信の実現手法”, 平成 24 年度電気関係学会東海支部連合大会論文集, Sep.2011.
2. 吉岡正裕, 鈴木秀和, 内藤克浩, 渡邊晃, “NTMobile における SIP 通信の実現手法”, 情報処理学会第 74 回全国大会講演論文集, Mar.2012.
3. 吉岡正裕, 鈴木秀和, 内藤克浩, 旭健作, 渡邊晃, “NTMobile における一般 SIP 端末との通信確立手法”, 情報処理学会 MBL 第 64 回, Nov.2012.
4. 吉岡正裕, 鈴木秀和, 内藤克浩, 渡邊晃, “NTMobile における SIP 通信方式の提案と実装”, 情報処理学会 MBL 第 70 回, Mar.2014.