

平成25年度 修士論文

邦文題目

NTMobileを用いた  
直接通信と携帯網の切り替え方式の提案

英文題目

Prposal of a Switching Method between  
Direct Communication and Cellular Networks  
using NTMobile

情報工学専攻

(学籍番号: 123430022)

鈴木 一弘

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

無線 LAN におけるアドホックモードはインフラがない環境において、端末間で直接通信ができる手段として有用である。しかし、端末が移動しながらアドホックモードで通信する場合、端末の距離が離れると電波が届かなくなり、通信が途切れてしまうなど、常に安定した通信は困難である。一方、すでにインフラが整備された携帯網は、いつでもどこでも通信が可能であるが、通信帯域が狭いため高トラフィックに対応できない。そのため、移動通信において端末が近距離の場合はアドホックモードを利用し、アドホックモードによる通信が困難な場面では携帯網に切り替えて通信ができると有用である。しかし、現在の IP ネットワークでは、通信中にネットワークを切り替えると、IP アドレスが変化することにより、通信が一度途切れてしまう。

渡邊・鈴木研究室では、NAT 越えと移動透過性を同時に実現する NTMobile ( Network Traversal with Mobility ) を提案している。本論文では NTMobile を用いて無線 LAN のアドホックモードと携帯網の間をパケットロスなく切り替える方式を提案する。この方式は車車間通信などに利用でき、移動しながらテレビ電話のような通信を行う場合も、通信が途切れることはない。

# 目次

第1章	はじめに	1
第2章	NTMobile	3
2.1	概要	3
2.2	通信経路確立方法	4
2.3	ハンドオーバ時の動作	6
2.4	課題	7
第3章	提案方式	8
3.1	提案方式の概要	8
3.2	通信経路確立方法	9
3.3	ハンドオーバ	11
3.4	提案方式の利点	11
第4章	実装	13
第5章	まとめ	15
	謝辞	17
	参考文献	18
	研究業績	19

# 第1章 はじめに

無線通信技術の進歩や端末の小型化などにより、スマートフォンをはじめとする高性能な携帯端末が一般に広く普及している。ユーザの増加とともにトラフィックが増加し、通信の高速化や大容量化、そして移動しながら通信をしたいという要求が高まっている。

また、無線 LAN の通信方式の一つであるアドホックモードを利用した直接通信は、インフラを必要とせずエンド端末同士で通信を行う方式であり、端末がパケットを中継することで、直接電波が届かない端末との通信を可能とする。インフラが不要であるため、簡易にあらゆる場所でネットワークを構築することができるという点で注目されている [8]。アドホックモードを利用した移動通信を想定した場合、端末間の距離が離れてしまうことなどにより、通信が途切れてしまう問題が発生する。一方、携帯網はインフラが整備されており、いつでもどこでも通信が可能である。しかし携帯網は無線 LAN と比較すると低速であり、通信帯域が狭いためトラフィックの集中により通信効率が低下してしまう。そこで、車車間通信などを想定し、端末同士でアドホックモードによりネットワークを構築して移動しながら通信を行うとき、距離が離れるなどして通信が困難になった場合に携帯網での通信へ、そしてアドホックモードでの通信が可能になれば再びアドホックモードによる通信へ戻すことで、継続した通信を実現することができると有用である。

現在の IP ネットワークにおいてこのように異なるネットワーク間のハンドオーバーを行うと、IP アドレスが変化してしまうため、セッションが一度途切れてしまう。そのため、移動通信が一般に普及している現在、IP アドレスが変化するような場合でも通信を継続して行うことを可能とする移動透過性技術が必要となっている。

渡邊・鈴木研究室では、移動透過性を実現する技術として NTMobile ( Network Traversal with Mobility ) [1-3] を提案している。NTMobile では端末に仮想 IP アドレスを割り当て、通信相手端末との間に実 IP アドレスによる UDP トンネル経路を構築する。仮想 IP アドレスを用いたパケットを、実 IP アドレスでカプセル化することにより上位アプリケーションに対して IP アドレスの変化を隠す。現状の NTMobile では、サーバとの通信を行った後に相手端末との通信経路を構築するため、アドホックモードを利用して移動通信を行うときのような、サーバの設置が困難な環境では利用できない。

本論文では NTMobile を用いてアドホックモードを利用した直接通信と携帯網をシームレスにハンドオーバーする方式を提案する。通常の NTMobile による携帯網のトンネル経路に加え、アドホックモードによる直接通信には、端末側の判断でトンネル経路を構築する機能を追加する。端末がネットワークの状態を判断することでアドホックモードが利用可能な場合

はアドホックモードを利用し、アドホックモードが利用できない場合は携帯網を利用して通信する。

以下、2章でNTMobileについて説明し、インフラのない環境での問題について述べる。3章で提案方式について説明し、4章で提案方式を実現するシステムの実装の方法について述べ、5章でまとめる。

## 第2章 NTMobile

### 2.1 概要

図 2.1 に NTMobile の概要を示す。NTMobile は NTMobile の機能を有する NTM 端末、DNS (Domain Name Server) の機能を有し経路生成の指示を行う DC (Direction Coordinator)、特定の通信においてパケットを中継する RS (Relay Server) によって構成される。DC と 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による負荷分散を行うことができる。NTMobile で使用される制御メッセージは各端末間で共有している暗号鍵を用いて暗号化される。

NTM 端末には DC から FQDN (Fully Qualified Domain Name)、仮想 IP アドレスが割り当てられ、通信開始時に構築した UDP トンネル経路を利用し、仮想 IP アドレスを用いて通信を行う。各エンド端末は、仮想 IP アドレスによるパケットを実 IP アドレスでカプセル化することにより、ネットワーク上の実 IP アドレスの変化を上位アプリケーションに対して隠ぺいすることができる。RS は通信端末が 2 つとも NAT 配下である場合や、一方が一般端末

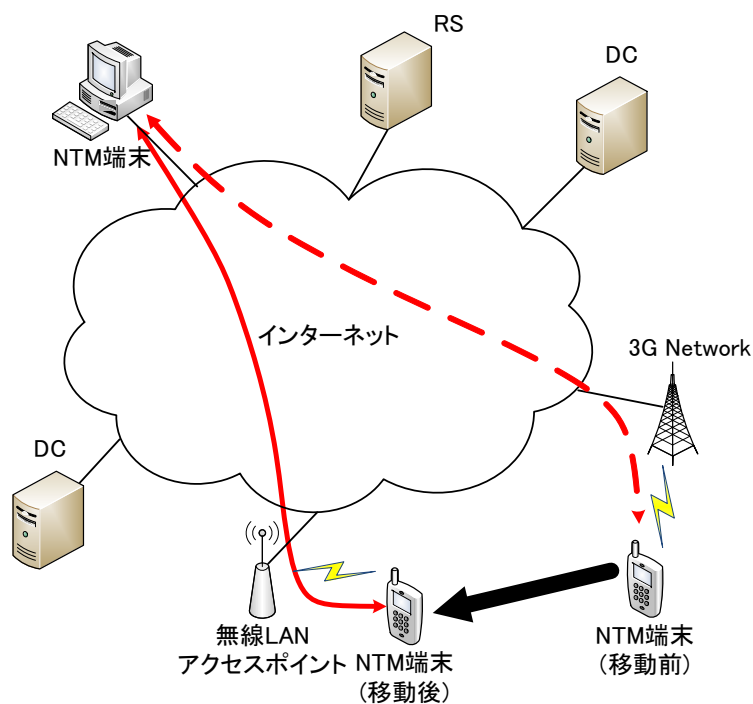


図 2.1 NTMobile の概要

である場合にパケットの中継に利用され、それ以外は端末間の直接通信が可能である。

また、NTMobile は IPv4 と IPv6 が混在する環境にも対応する。IPv4 ネットワークの端末と IPv6 ネットワークの間に RS を設置し、RS が両ネットワークの仲介を行うことで IPv4 と IPv6 の混在環境において移動透過性の機能を実現する。以下では特に断りのない限り、IPv4 ネットワークでの通信について説明する。

## 2.2 通信経路確立方法

NTMobile では、通信するそれぞれの端末が接続するネットワークによって異なる通信経路構築パターンがあるが、端末が直接通信を行うパターンと、RS がパケットの中継を行うパターンを一つずつ説明する。以降では、通信開始側の NTM 端末を MN ( Mobile Node )、通信相手側を 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。

### 2.2.1 登録処理

各端末は端末を起動し、通信が可能となった時点で DC に対し自身の実 IP アドレスなどの端末情報を送信する。 $DC_{MN}$  は端末情報の更新を行い、MN に対し  $FQDN_{MN}$ 、 $VIP_{MN}$  を割り当てる。その後、DC と NTM 端末は定期的に Keep Alive のメッセージをやり取りすることで NTMobile の制御メッセージ用の通信経路を確保する。

### 2.2.2 名前解決処理

図 2.2 に直接通信を行う場合の通信開始時のトンネル構築シーケンスを示す。MN は CN の名前解決を行う DNS クエリをトリガとして、 $DC_{MN}$  に対して  $FQDN_{CN}$  をのせた経路指示要求 ( NTM Direction Request ) を送信する。DC は DNS クエリにより  $FQDN_{CN}$  の NS レコードを問い合わせる。DC には一般の DNS ではなく DC であることを示す TXT レコードを保持している。CN が NTM 端末かどうか確かめるため、NS レコードを受け取るとさらに DNS クエリによって  $DC_{CN}$  の TXT レコードを問い合わせる。CN が NTM 端末と判断した場合、さらに  $DC_{CN}$  に対し CN の情報を要求し ( NTM Information Request )、 $RIP_{CN}$  と  $VIP_{CN}$  を取得する。

### 2.2.3 直接通信を行う場合

$DC_{MN}$  は名前解決処理によって得た MN と CN の情報を元に、MN と CN に対して経路構築指示 ( NTM Route Direction ) を送信する。図 2.2 では MN が NAT 配下に接続しており、CN がグローバルに接続している。このような構成において DC は NAT 配下に接続してい



る MN から経路生成を行うように指示する。MN と CN は DC の指示に従ってメッセージ (NTM Tunnel Request/Response) をやり取りすることで実 IP アドレスによる UDP トンネル経路が構築される。

## 2.2.4 RS でパケットを中継する場合

図 2.3 にエンド端末が RS にトンネル経路を構築し、RS の中継による通信を開始するときのシーケンスを示す。図 2.2 と異なるのは MN、CN とともに NAT 配下に接続している点である。RS は機能により、以下の 2 つに分類されている [7]。

- RS-N (Relay Server NAT Type): アドレス変換型 RS
- RS-S (Relay Server Switch Type): トンネル切替型 RS

図 2.3 の構成では RS-S が使用される。DC<sub>MN</sub> は名前解決処理によって得た MN と CN の情報を元に、MN と CN へ NTM Route Direction を送信するとともに、RS-S に対して中継指示である NTM Relay Direction を送信する。MN と CN は DC<sub>MN</sub> の指示に従って、それぞれ RS-S に対し、NTM Tunnel Request を送信する。RS-S は DC<sub>MN</sub> の中継指示に従い、MN と CN に NTM Tunnel Response を返信することで RS-S を経由したトンネル経路が構築される。なお、RS-N は、NTM 端末と一般端末が通信を行うとき、NTM 端末が移動しながら通信を行うような場合に使用される。

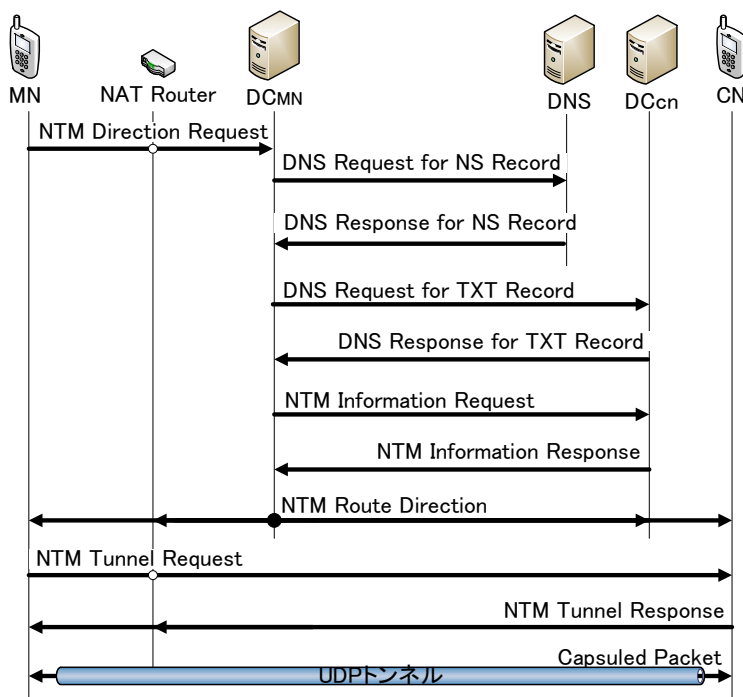


図 2.2 トンネル構築シーケンス

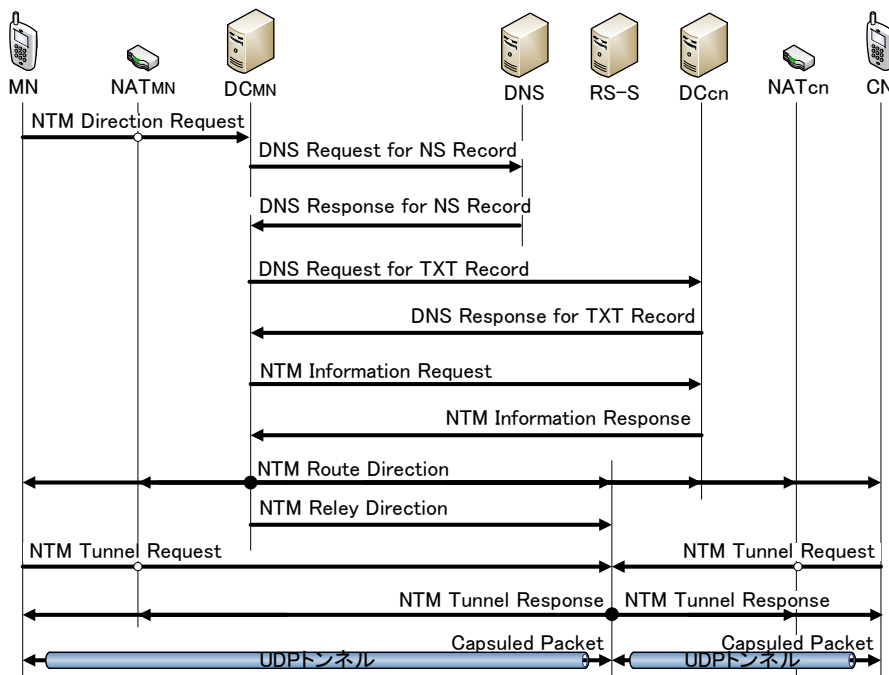


図 2.3 RS を経由するトンネル構築シーケンス

## 2.3 ハンドオーバー時の動作

図 2.4 に MN がグローバル空間へとネットワークを切り替えた場合の通信経路再構築のシーケンスを示す。MN は変化したアドレス情報などを載せた NTM Direction Request を  $DC_{MN}$  に送り、 $DC_{MN}$  は MN の端末情報を更新する。以降は 2.2 節で説明した処理と同様の処理を行う。ただし、この時  $DC_{MN}$  は、CN が NTM 端末であるという情報を保持しているため、

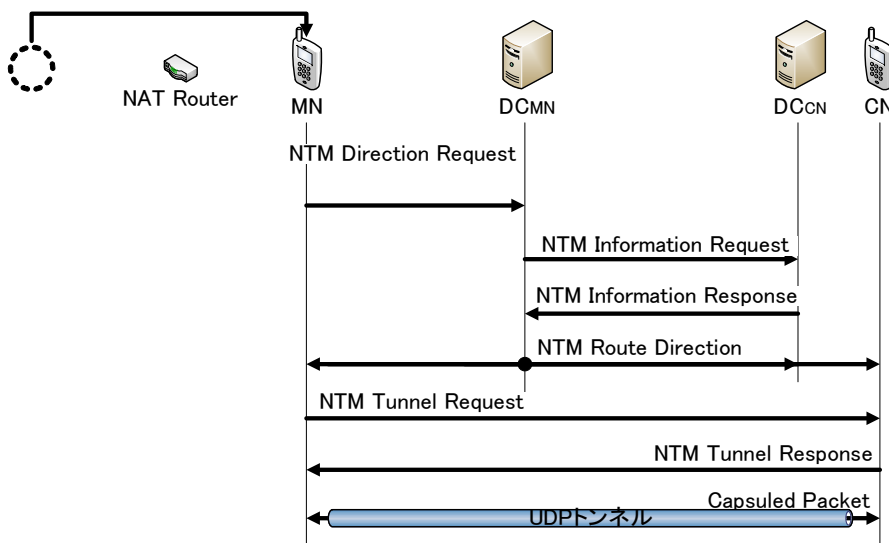


図 2.4 ハンドオーバーによるトンネル再構築時のシーケンス

DNS クエリは省略でき，NTM Information Request/Response をやり取りすることができる．これによって  $DC_{MN}$  は MN と CN の更新された端末情報を収集し，新たなトンネル経路構築の指示を行う．

## 2.4 課題

NTMobile は，グローバルネットワーク上に設置された DNS サーバや DC などとの通信を行うことにより，エンド端末の情報を収集し，さらに DC の指示に従ってトンネル経路を構築する．また，仮想 IP アドレスによるパケットを実 IP アドレスによってカプセル化することにより，上位アプリケーションに対して実 IP アドレスの変化を隠ぺいしている．

このように，NTMobile はアドホックモードで端末が直接通信することを全く想定していない．アドホックモードにおいて，NTMobile を利用して通信開始しようとする時，DC が端末の近くにいない限り，経路要求をはじめとする制御メッセージのやりとりを行うことが出来ない．そのためトンネル経路を構築することができなくなり，通信を開始することが出来ない．そのため，無線 LAN のアドホックモードと携帯網のシームレスなハンドオーバを行いたい場合，アドホックモード側の通信方式を新たに検討しなおす必要がある．

# 第3章 提案方式

## 3.1 提案方式の概要

図 3.1 に提案方式の概要を示す．提案方式は NTM 端末 MN と CN，NTM 端末を管理する DC，および DNS サーバによって構成される．また携帯網と無線 LAN のインタフェースを持つ端末としてスマートフォンを想定し，無線 LAN インタフェースはアドホックモードで使用する．また，アドホックモードでは移動しながらの通信において固定式のサーバを持つことができない．そこで一意の IP アドレスの生成には AutoIP [4]，名前解決には Multicast DNS ( MDNS ) [5] を使用する．

本研究の目的は無線 LAN のアドホックネットワークモードによる通信と携帯網のシームレスなハンドオーバーであるが，以下では 2 台の端末がアドホックモードによる直接通信を行う場合について検討を行う．

MN と CN は無線 LAN インタフェース側の通信と 3G インタフェース側の通信それぞれにトンネルを経路を構築する．アドホックモードによる直接通信の方が比較的高速で大容量の

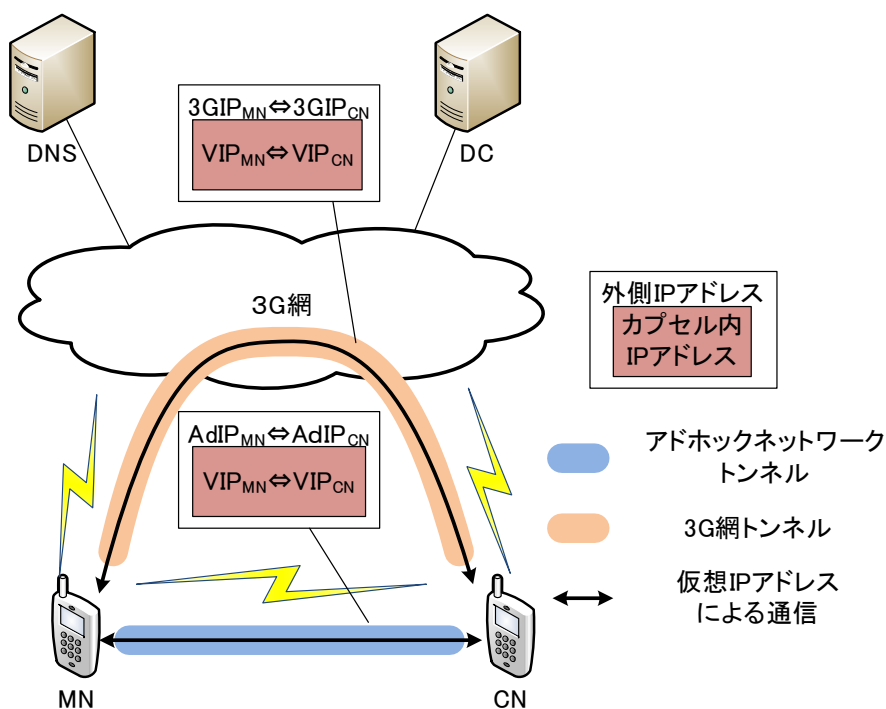


図 3.1 提案方式の概要

通信が可能であるため、通信相手が近隣にいる場合は直接通信を行い、直接通信が困難な場合に携帯網を介して通信を行う。携帯網はトラフィックが飽和しやすいため、その意味でも直接通信は有用である。

提案方式では車車間通信のように、移動しながら通信を行う場合への利用を想定している。3G よりも高速で大容量な通信として LTE があるが、利用可能なエリアが限定されており、いつでもどこでも利用可能ではないため不十分である [9]。

## 3.2 通信経路確立方法

MN が CN に対して通信を開始するときの処理について説明する。以降では、端末 N に対する 3G インタフェース側実 IP アドレスを  $3GIP_N$ 、アドホックネットワーク側実 IP アドレスを  $AdIP_N$  と表記する。

### 3.2.1 端末起動時

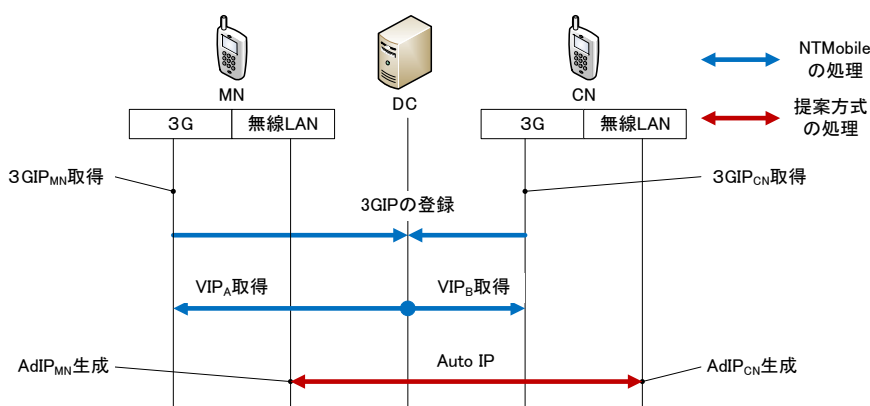


図 3.2 端末起動時の動作

図 3.2 に端末起動時の動作シーケンスを示す。MN, CN は端末を起動すると、3G インタフェース側で 3GIP を取得する。NTMobile の機能により、自身を管理する DC との間で登録処理を行い、自身の 3GIP アドレス情報などを DC に登録するとともに、仮想 IP アドレス VIP を取得する。提案方式ではここで、無線 LAN インタフェース側で AutoIP により、アドホックモード用の実 IP アドレス AdIP を生成しておく。

### 3.2.2 通信開始時

図 3.3 に通信開始時のシーケンスを示す。3G インタフェース側では第 2 章で説明した通り、MN は DNS クエリをトリガとして  $FQDN_{CN}$  を載せた NTM Direction Request を送信す

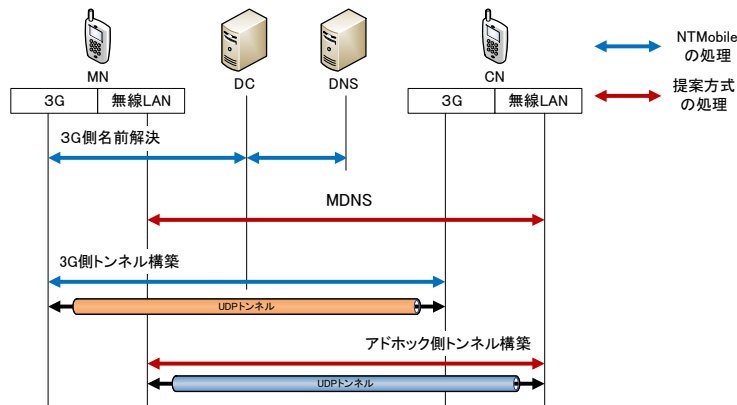


図 3.3 通信開始時の動作

る．これを受け取った DC は CN の情報を DNS クエリや NTM Infomation Request/Response など収集し，手に入れた MN と CN の情報から経路生成の方法を判断して，MN と CN に対して NTM Route Direction を送信する．両端末はこれに従ってメッセージをやり取りすることで 3G 網にトンネル経路が構築される．

無線 LAN インタフェース側では，MN ははじめに  $FQDN_{CN}$  をもとに MDNS による名前解決を行う．名前解決が完了しない場合には名前解決ができるまで定期的に MDNS による名前解決を繰り返し行う．名前解決が完了すると CN のアドホックモード用実 IP アドレス  $AdIP_{CN}$  がわかるので，NTM Tunnel Request/Response をやり取りすることにより無線 LAN 側にもトンネル経路を構築する．

無線 LAN 側でトンネル構築時にやりとりするメッセージは，NTMobile の制御メッセージであり，通常は DC の経路指示に従ってやり取りするものである．提案方式では，新たに端末の判断によって送受信ができるような機能を，NTM 端末に追加する．

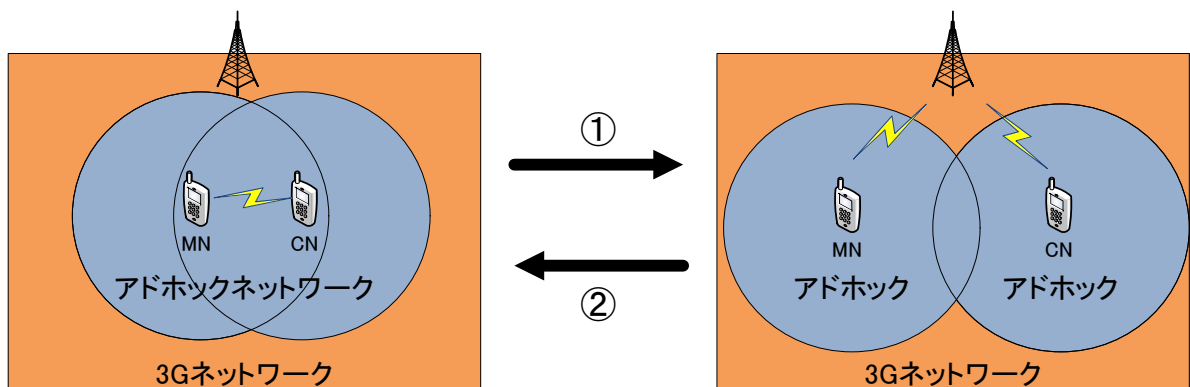


図 3.4 移動パターン

### 3.3 ハンドオーバー

図 3.4 に示す移動パターンを用いてネットワーク間のハンドオーバーを行う時の処理について説明する。移動パターンは、

1. MN と CN ははじめアドホックモードで直接通信を行っており、端末の距離が離れることなどにより無線 LAN の電波強度が弱くなり、携帯網での通信に切り替える。
2. MN と CN が携帯網での通信を行っているとき、アドホックモードでの安定した通信が可能になり、アドホックモードでの通信に切り替える。

である。通信中は無線 LAN の受信信号強度 (RSSI) をもとに無線 LAN の電波強度を測定し、電波強度が閾値を下回った場合に 3G ネットワークでの通信に、閾値以上であればアドホックモードによる直接通信に切り替えて通信を行う。

図 3.5 にハンドオーバー時のシーケンスを示す。移動パターン 1 のとき、MN の測定する電波強度が閾値未満になると、MN と CN は 3G インタフェース側でトンネル切り替えを伝えるトンネル切替 / 応答のメッセージをやり取りすることで、3G 側トンネル経路に切り替えて通信を行う。次に移動パターン 2 のとき、MN の測定する電波強度が閾値以上になると、両端末は無線 LAN インタフェース側でトンネル切替のメッセージをやり取りし、アドホックモードによる直接通信へと切り替える。

提案方式は車車間通信での利用を想定しているが、シャドウイングやフェージングの影響により、電波強度は揺らぎを持つことが想定される。この時、閾値が 1 つの値である場合、通信経路の切り替えが頻繁に発生してしまい、通信が正常に行えなくなることが考えられる。この問題が発生することを防ぐため、ハンドオーバー時の閾値を異なる値に設定する。つまり、3G からアドホックモードへの切り替え時には、容易に 3G にもどらなくするため (A-) を閾値とし、アドホックモードから 3G への切り替え時には、容易にアドホックモードにもどらない (A+) を閾値とする。

### 3.4 提案方式の利点

提案方式ではアドホックモードによる直接通信を行う場合に、移動によって端末の距離が離れてしまい、通信が困難になる場合に携帯網を利用することで、両者の利点を生かした通信を行うことが可能である。

これまで NTMobile では、アドホックモードで端末が直接通信を行うことを全く想定していなかった。提案方式では、端末の判断でトンネル経路を構築するメッセージをやりとりできるように機能を追加することで、直接通信を行う場合でも NTMobile の適用を可能にした。

さらに、NTMobile を利用したことで、上位アプリケーションは仮想 IP による通信のみを認識し、ハンドオーバーによる実 IP アドレスの変化を隠蔽するため、通信の継続性も確保できる。

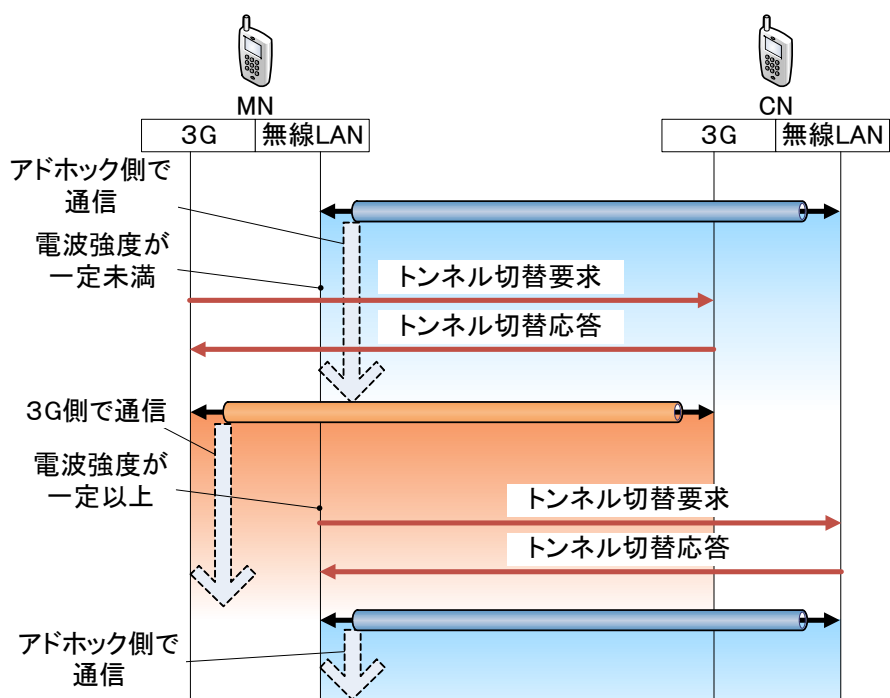


図 3.5 ハンドオーバー時のシーケンス



## 第4章 実装

図 4.1 に提案方式のモジュール構成を示す。NTMobile は Android OS を搭載した端末での利用を想定しており、本研究では Android への実装を考える。ここでは提案方式の実装方法について述べる。

NTM 端末の実装はユーザ空間で動作する NTM デモン、カーネル空間で動作するカーネルモジュール及び仮想インタフェースによって構成される。ユーザ空間の NTM デモンとカーネル空間のカーネルモジュールとは Netlink Socket によって接続する。NTM デモンは IP アドレスの確認やトンネル構築に関する制御メッセージを扱う。カーネルモジュールはパケットのカプセル化およびデカプセル化などを行う。

提案方式では無線 LAN インタフェース側のトンネルは、DC の指示を受けずに端末の判断によって生成する。そこで NTM デモンに改造を加え、指示に従って無線 LAN 側でトンネル構築処理が行われるようにする。また、Android 端末は、デフォルトでは無線 LAN をアドホックモードで利用することが出来ない。そのため、ライブラリ層にある無線 LAN 接続の設定を行うファイル wpa supplicant を書き換えてアドホックモードを利用可能にする。

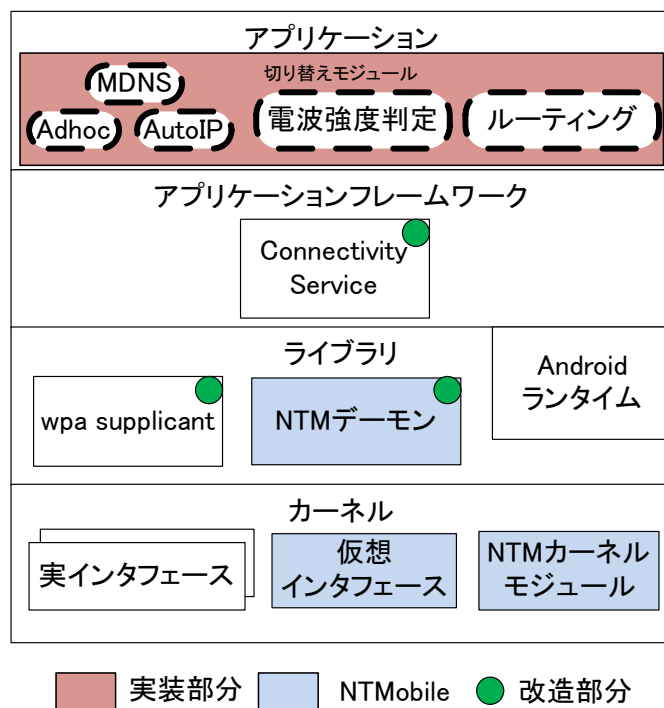


図 4.1 提案方式のモジュール構成

さらに，Android 固有の問題として 3G と無線 LAN のインタフェースを同時に起動しておくことが出来ないため，アプリケーションフレームワーク層の ConnectivityService を改造し，ルーティングテーブルを複数設定することでこれを可能とする [6] ．

その他の提案方式を実現するシステムは，ユーザ空間にアプリケーションとして実装する（切り替えモジュール）．このアプリは Android 端末の無線 LAN をアドホックモードで立ち上げる機能，AutoIP によりアドホックネットワーク用実 IP アドレスを自動生成する機能，MDNS によりアドホックネットワークで名前解決を行う機能，無線 LAN の電波強度の判定を行う機能，ルーティングテーブル情報を生成および操作する機能を有する．

図 4.2 に提案方式の連係動作を示す．切り替えモジュールは MDNS によって名前解決が完了するとルーティングテーブルの更新を行い，NTM デーモンに対してトンネル構築の指示を行う．通信中は切り替えモジュールが無線 LAN の電波強度を常時監視する．電波強度の変化によってハンドオーバーすることが決定した場合，ルーティングテーブルの更新を行い，通信相手に対してトンネル経路を切り替える処理を行う．

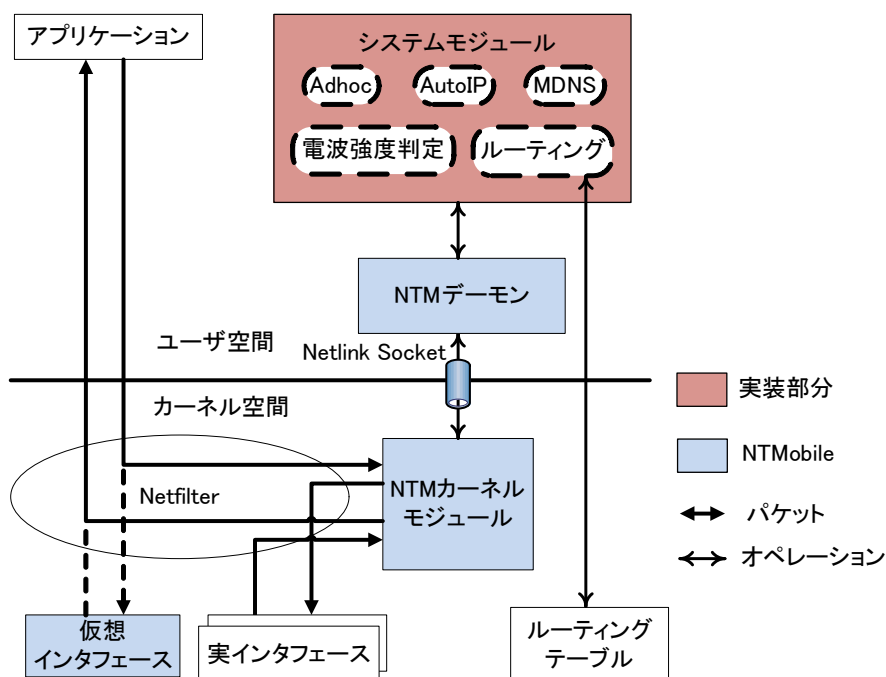


図 4.2 提案方式の連係動作

## 第5章 まとめ

本論文では，NTMobile を用いてアドホックモードによる直接通信と携帯網をシームレスに切り替える方式を提案した．現状の NTMobile による 3G 網のトンネル経路に加え，新たにアドホックネットワークにもトンネル経路を構築し，無線 LAN の電波強度に応じて経路を切り替える方式により，移動通信において通信状態の良いネットワークの選択を可能とし，通信の接続性と継続性を確保した．

今後は実装を行い，動作確認と提案方式の有効性を確認していく．



# 謝辞

本研究にあたり，多大なる御指導と御教授を賜りました，名城大学大学院理工学研究科情報工学専攻 渡邊晃教授には心から感謝いたします．

本研究を進めるにあたり，常日頃からの御意見ならびに御助言を受け賜りました，名城大学大学院理工学研究科情報工学専攻 鈴木秀和助教に深謝いたします．

本研究を進めるにあたり，多くの貴重な御意見を頂きました，三重大学大学院工学研究科内藤克浩助教に心より感謝いたします．

本論文を作成するにあたり，多大なる御指導ならびに御協力を頂きました，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，宇佐見庄五准教授に心より厚く御礼申し上げます．

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，渡邊研究室及び鈴木研究室の諸氏に感謝いたします．

## 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. 367-379 (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] 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, No. 6, pp.18 (2012).
- [4] AutoIP  
Stuart Cheshire. Dynamic Configuration of IPv4 Link-Local Addresses. RFC 3927, 7 2001.
- [5] Multicast DNS  
<http://www.multicastdns.org/> (2014.01.27 アクセス)
- [6] 福山陽祐, 上酔尾一真, 鈴木秀和, 旭健作, 内藤克浩, 渡邊 晃: Android 端末における Wi-Fi/3G 間のシームレスハンドオーバーの提案と実装, 情報処理学会研究報告, 2013-UBI-37, Vol.2013-UBI-37, No.27, pp.1-8, Mar.2013 .
- [7] 土井俊樹, 鈴木秀和, 内藤克浩, 渡邊晃: NTMobile におけるアドレス変換方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, No.11, pp.1-6, Sep.2013 .
- [8] 松井進: アドホックネットワークの実用化に向けた課題と実用化動向, 日本信頼性学会誌 Vol.34, No.8, pp.532-539, Nov.2012 .
- [9] <http://www.au.kddi.com/mobile/area/>

# 研究業績

## 研究会・大会等

1. 鈴木一弘, 鈴木秀和, 内藤克浩, 渡邊 晃, “携帯電話網とアドホックネットワーク間におけるシームレスハンドオーバーの提案” 平成 23 年度電気関係学会東海支部連合大会論文集, Sep. 2011.
2. 鈴木一弘, 鈴木秀和, 内藤克浩, 渡邊 晃, “NTMobile を用いた携帯電話網とアドホックネットワーク間のシームレスハンドオーバーの提案” 情報処理学会第 74 回全国大会講演論文集, Mar. 2011.