

平成23年度 卒業論文

邦文題目

**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**

英文題目

**Proposal of Seamless Handover
Between Cellular and Ad-Hoc Networks
Using NTMobile**

情報工学科 渡邊研究室
(学籍番号: 080430054)

鈴木 一弘

提出日: 平成24年2月9日

名城大学理工学部

内容要旨

アドホックネットワークはネットワーク基盤を必要とせず、端末間で簡易にネットワークを構築することができる有用な手段である。一方、携帯電話網はネットワーク基盤が既に整備されており、どこでも利用することができるが、通信帯域が狭く高トラフィックに対応できない。そのため、端末が近隣にある場合にはアドホックネットワークを優先的に利用し、アドホックネットワークでの通信が困難な場合に携帯電話網を利用することができるという有用である。我々は、移動透過性を実現する NTMobile(Network Traversal with Mobility) の提案を行っている。本稿では NTMobile を用いて、携帯電話網とアドホックネットワーク間をシームレスに切り替える方法を提案する。

Abstract

Ad-hoc network that don't require the network infrastructure is a useful tool that can easily create a network between terminals. Other hand, cellular networks can use anywhere, because these networks have been had a network infrastructure that is already developed. These networks can not handle the high traffic because of the narrow bandwidth. Therefore, it is useful that using preferentially ad-hoc network when terminals that communicate with each other in the neighborhood and using a cellular network when communication by ad-hoc networks is difficult. We have proposed NTMobile(Network Traversal with Mobility) to achieve IP mobility. In this paper, we propose a method for seamless handover between cellular and ad-Hoc networks using NTMobile.

目次

| | | |
|-----|----------|----|
| 第1章 | はじめに | 2 |
| 第2章 | NTMobile | 4 |
| 2.1 | 概要 | 4 |
| 2.2 | 通信開始時の処理 | 5 |
| 2.3 | 端末移動時の動作 | 7 |
| 第3章 | 提案方式 | 8 |
| 3.1 | 提案方式の原理 | 8 |
| 3.2 | 利用する既存技術 | 9 |
| 3.3 | 通信開始処理 | 9 |
| 3.4 | ハンドオーバ | 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に伴い、携帯電話網や無線 LAN、WIMAX、Bluetooth などを利用した携帯端末は一般に広く普及している。携帯端末は複数の通信インタフェースを搭載していることが多く、通信環境に応じて様々な通信方式を利用することが可能となっている。このような携帯端末において、ある通信ネットワークを用いて通信している最中に電波強度が低下した場合に他の電波強度の強い通信ネットワークへと切り替えることができるという。しかし、通信中にこのようなネットワーク間のハンドオーバーを行うと IP アドレスが変化するためセッションが一度切断されてしまう。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場合でも継続した通信を可能とする移動透過性技術が必要となっている。また IPv4 グローバルアドレスの枯渇への対応やセキュリティの観点から、近年組織内のネットワークとインターネットの境界に NAT (Network address translation) が設置されていることが多い。しかし NAT 配下のネットワークが隠蔽されるため、外部から通信を開始することができない。この問題を NAT 越え問題という。

一方、アドホックネットワークは無線 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ネットワークである。アドホックモードはネットワーク基盤を必要とせず、エンド端末同士で通信を行う方式であり、アドホックネットワークでは端末がパケットを中継することにより、直接電波が届かない端末との通信を可能にする。ネットワーク基盤が不要であるため、簡易にあらゆる場所でネットワークを構築することが可能という点で有用である。また、携帯電話網はネットワーク基盤が既に整備されており、いつでもどこでも利用することができるが、通信帯域が狭いため無線 LAN と比較すると低速であり、トラフィックの集中により通信効率が低下しやすい。

そこで本研究では車車間通信などを想定し、エンド端末同士でアドホックネットワークを構築して移動しながら通信を行い、距離が離れる事などによりアドホックモードでの通信が困難になった場合に携帯電話網を利用した通信へ、そして無線 LAN での通信が再び可能になればアドホックモードでの通信へとシームレスにハンドオーバーすることを目的とする。

我々は、NAT 越えと移動透過性を同時に実現する NTMobile (Network Traversal with Mobility) [1,2] の研究を行っている。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蔽する。現状の NTMobile では、端末が一つのインタフェー

スを用いて通信を行なっている時の様々な移動に対して移動透過性を実現している。

提案方式では、NTMobileの機能を複数のインターフェースに対応させ、それぞれのネットワークにトンネル経路を構築し、端末がネットワークの状態を判断することで携帯電話網とアドホックネットワークをパケットロス無く切り替えることを可能にする。

第2章 NTMobile

2.1 概要

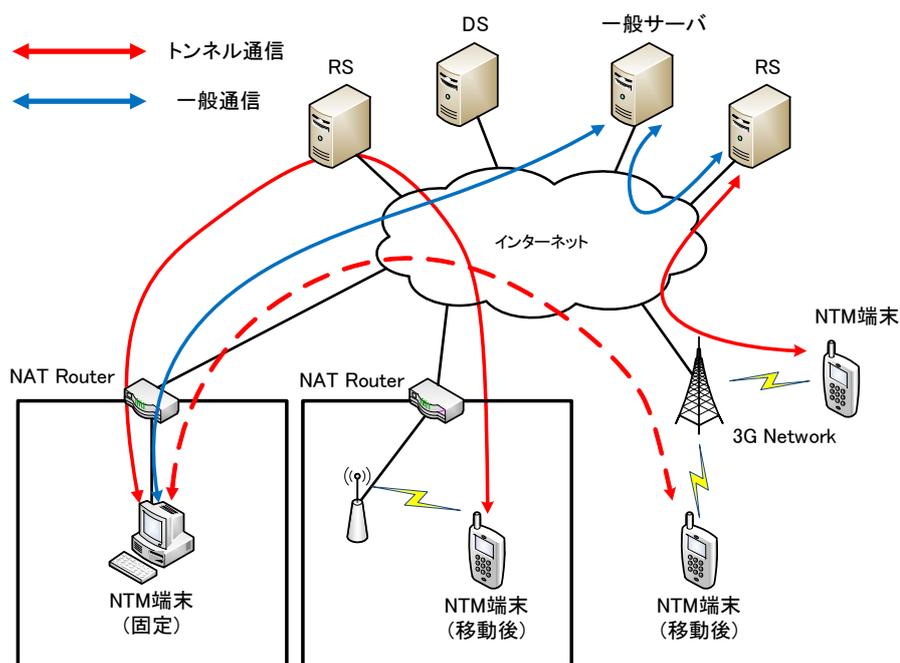


図 2.1 NTMobile の概要

図 2.1 に NTMobile の想定するネットワークを示す。NTMobile は、NAT 越えと移動透過性の機能を有する NTM 端末、NTM 端末のネットワーク位置情報の管理や通信経路生成の指示を行う Direction Coordinator (DC)、特定の通信の場合にパケットを中継する Relay Server (RS) を導入する。NTMobile では IP アドレスの通信識別情報とネットワーク位置情報を分離し、NTM 端末には DC から仮想 IP アドレスが割り当てられ、端末の通信識別子として利用される。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、一方が一般端末である場合にパケットの中継に利用され、それ以外の場合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 ネットワークの端末の間に 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も NAT 越えと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述べる．

2.2 通信開始時の処理

NTMobile での通信は端末間で直接トンネル経路を構築する場合と，各端末が RS に対してトンネル経路を構築する場合の 2 種類が想定される．通信のパターンは NTM 端末が存在するネットワークによって区別される．NTM 端末の一方あるいは両方がグローバル空間にいる場合はエンド端末間で直接トンネル経路を構築することにより，移動透過性を実現する．また，NTM 端末の両方がプライベート空間にいる場合は，各エンド端末が指定された RS に対してトンネル経路を構築することで移動透過性を実現する．

各端末は通信開始時，事前に各端末を管理する DC への位置情報の登録，仮想 IP アドレスの取得，DNS クエリを行う．以下に直接通信を行う場合と RS でパケット中継する場合の 2 つの通信パターンについて，MN から CN へ通信を開始する時の NTMobile の動作シーケンスを示す．

2.2.1 直接通信する場合

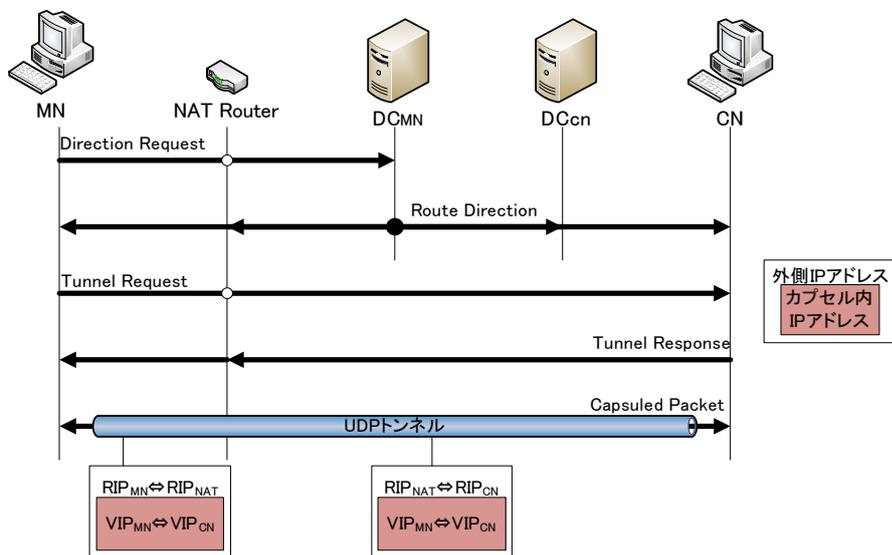


図 2.2 エンド端末同士のトンネル構築シーケンス

図 2.2 にエンド端末同士が直接トンネル経路を構築し，通信を開始する時のシーケンスを示す．図は MN が NAT 配下に存在し，CN はグローバル空間に存在する場合である．MN は DNS クエリで取得した情報をもとに自身を管理する DC に対して経路指示要

求 (Direction Request) を送信する。DC は MN と CN の位置情報から判断し、両者に対して経路生成指示 (Route Derrection) を送信する。図 2.2 の構成では、NAT 配下の MN 側から経路生成を行うよう指示される。MN と CN は DC の指示に従ってトンネル生成要求 (Tunnel Request) および応答 (Tunnel Response) をやり取りすることで実 IP アドレスによる UDP トンネル経路が生成される。

2.2.2 RS でパケットを中継する場合

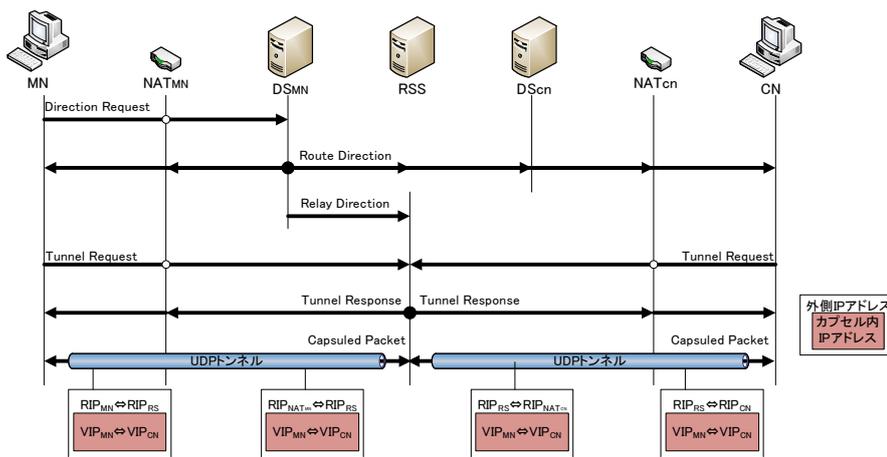


図 2.3 RS を経由するトンネル構築シーケンス

図 2.3 にエンド端末が RS にトンネル経路を構築し、通信を開始する時のシーケンスを示す。図 2.2 と異なるのは両エンド端末が NAT 配下のプライベート空間に存在する点である。RS は機能別に以下の 3 つに分けられている。

- RSN (Relay Server NAT Type): アドレス変換型 RS
- RST (Relay Server Transparent Type): アドレス無変換型 RS
- RSS (Relay Server Switch Type): トンネル切替型 RS

図 2.3 の構成では RSS が使用される。

MN は自身を管理する DC に対して Direction Request を送信する。DC は各端末の位置情報から、両者へ Route Derrection を送信するとともに、RSS に対して中継指示 (Relay Direction) を送信する。各エンド端末は DC の指示に従って RSS へエンド端末間のトンネルを構築するよう Tunnel Request を送信し、RSS が Tunnel Response を返信することで RSS を経由したトンネル経路が生成される。

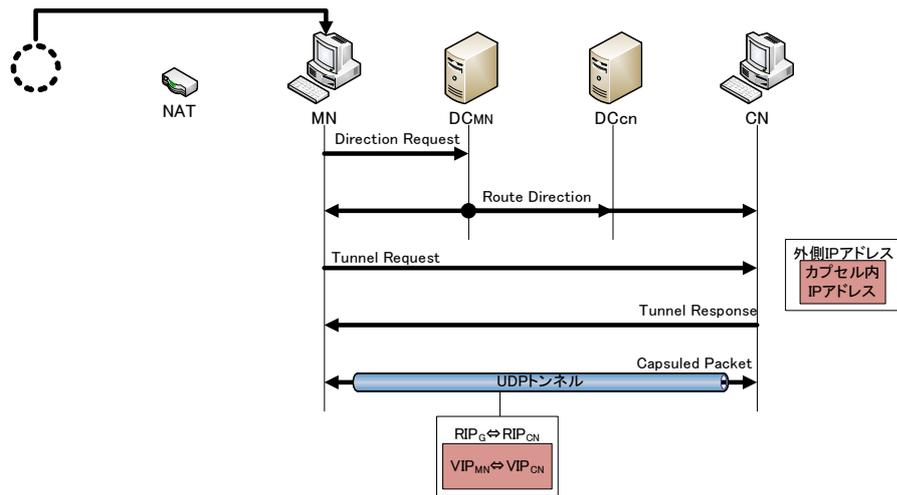


図 2.4 端末移動時のトンネル構築シーケンス

2.3 端末移動時の動作

図 2.4 に図 2.2 において MN がグローバル空間へ移動した時の通信経路再構築のシーケンスを示す。図 2.2 と異なるのは、NAT 配下からグローバル空間へ移動したことにより MN の実 IP アドレスが RIP_{MN} から RIP_G に変化している点である。

端末が移動した場合も動作するシーケンスは通信開始時と同様であり、Direction Request を受け取った DC が Route Direction により経路生成の指示を行い、これにしたがって両端末が Tunnel Request および Tunnel Response のやりとりを行うことにより UDP トンネル経路の再構築を行う。図のように移動により実 IP アドレスが変化した場合も上位アプリケーションでは仮想 IP アドレスによる通信を認識するため、セッションが切断されることは無い。

第3章 提案方式

3.1 提案方式の原理

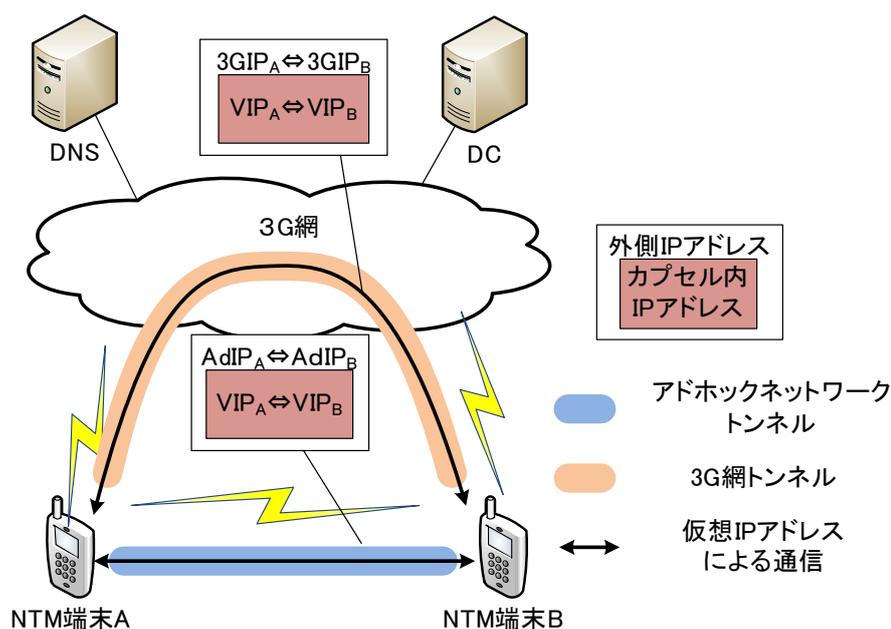


図 3.1 提案方式の構成

図 3.1 に提案方式の構成を示す。提案方式では、携帯電話網（以下 3G）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する。無線 LAN はアドホックモードで使用し、通信相手が近隣にいる場合は直接通信し、アドホックモードでの通信が不可能な場合に 3G 網を介して通信を行う。

本研究の目的は携帯電話網とアドホックネットワークのシームレスなハンドオーバーであるが、端末が複数台の場合は通信相手ごとにアドホックネットワークでの通信が可能かどうかを判断し、経路を切り替えて通信を行う必要があり、処理が複雑になるため今回は端末が 2 台の場合について検討を行った。

図のように提案方式は移動しながら通信を行う NTM 端末 A, B, 両 NTM 端末を管理する DC, DNS サーバにより構成される。DC とプライマリ DNS サーバは 3G 網に存在する。NTM 端末 A, B の 3G 網での実 IP アドレスはそれぞれ $3GIP_A, 3GIP_B$, アドホックモード通信の実 IP アドレスはそれぞれ $AdIP_A, AdIP_B$ である。両端末には DC から仮想 IP アドレス (VIP_A, VIP_B) が割り当てられる。現状の NTMobile では 3G 網にトンネル

経路が構築される。提案方式によって追加されるのがアドホックモード通信でのトンネル経路が新たに構築される点である。2つのトンネル経路は通信開始時に構築され、ネットワークの状態に応じて経路を切り替えて通信を行う。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蔽する。

本方式では通信相手のホスト名は事前に知っているものとする。

3.2 利用する既存技術

提案方式ではアドホックネットワークでの通信が追加されるが、移動しながら通信することを想定しており固定されたサーバを持つことができないため、IP アドレスの生成と端末の名前解決には以下の既存技術を利用する。

- AutoIP [3]
ローカルネットワークの範囲内において、エンド端末が IP アドレスを自動的に生成する機能。リンクローカルアドレス (169.254.0.0/16) が割り当てられる。
- Multicast DNS(MDNS) [4]
UDP ポート 5353 を用いて、ネットワーク内のすべての端末に対してマルチキャストを用いて名前解決を行う。

3.3 通信開始処理

3.3.1 端末の起動

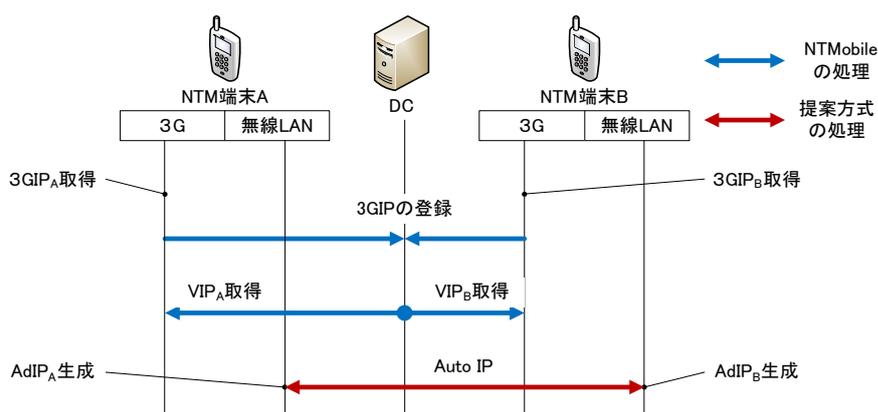


図 3.2 端末起動時

図 3.2 に端末起動時のシーケンスを示す。図 3.2 では両端末がアドホックモードでの直接通信が可能な距離にいる場合である。NTM 端末 A, B は 3G 網と無線 LAN に対応し

た通信インタフェースを保持している．端末を起動すると両端末は 3G インタフェース側で 3G 網から実 IP アドレス ($3GIP_A$, $3GIP_B$) を取得する．自身を管理する DC に対して 3G 網における実 IP アドレスを位置情報として登録すると共に，DC からは仮想 IP アドレス (VIP_A , VIP_B) を取得する．ここまでが現状の NTMobile における処理である．提案方式では，アドホックネットワークでの通信のため，無線 LAN インタフェース側で実 IP アドレス ($AdIP_A$, $AdIP_B$) を AutoIP により自動生成する．

3.3.2 通信開始時

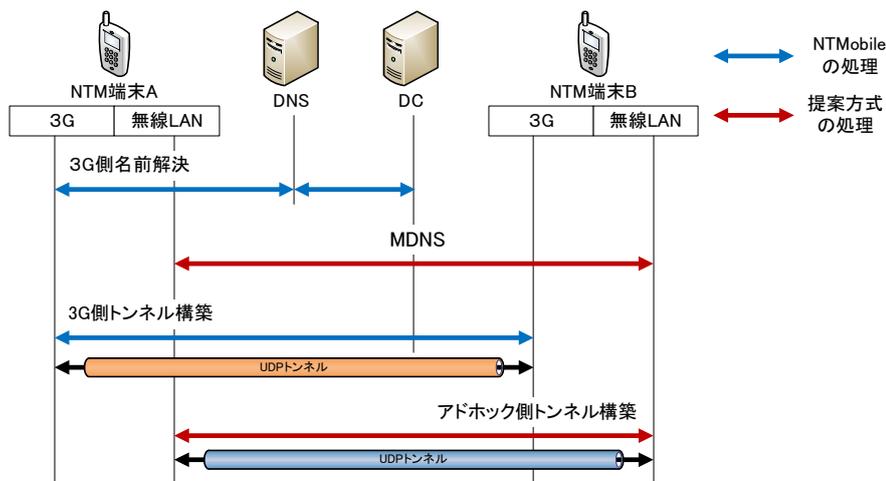


図 3.3 通信開始時

図 3.3 に通信開始時のシーケンスを示す．ここでも 3G インタフェース側では現状の NTMobile と同様の処理が行われ，無線 LAN インタフェース側で独自の処理が行われる．NTM 端末 A から NTM 端末 B へ通信を開始する場合，3G インタフェース側では NTM 端末 B のホスト名を用いて DNS サーバに NTM 端末 B の名前解決の問い合わせを行い，NTM 端末 B の 3G 用実 IP アドレス $3GIP_B$ と仮想 IP アドレス VIP_B を取得する．無線 LAN インタフェース側では MDNS を利用し，NTM 端末 B のホスト名を用いて DNS クエリをマルチキャストで行うことにより NTM 端末 B のアドホックネットワーク用実 IP アドレス $AdIP_B$ を取得する．

通信相手の IP アドレスの取得が完了すると，NTMobile の機能により 3G 網側に UDP トンネル経路を構築し，アドホックネットワーク側には独自の UDP トンネル経路を構築する．2 つのトンネル経路の構築が完了すると，アドホックネットワーク側トンネル経路で通信を開始する．

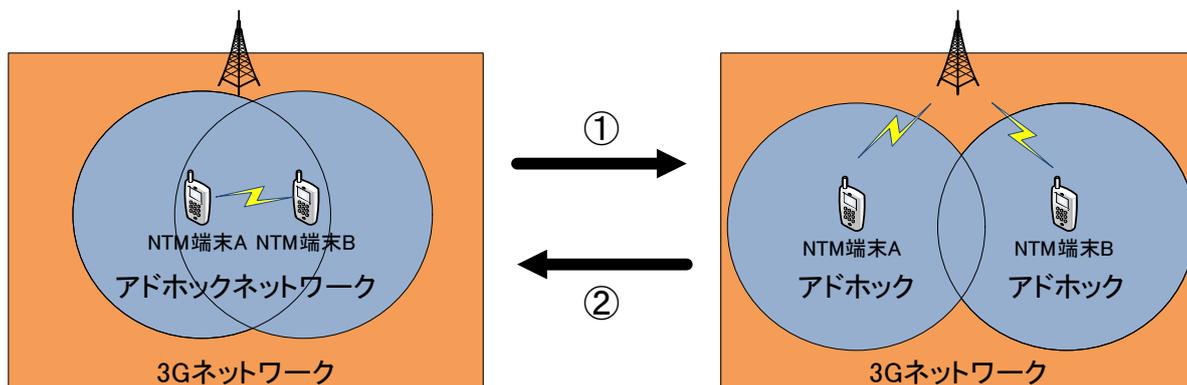


図 3.4 移動パターン

3.4 ハンドオーバー

図 3.4 に示す移動パターンを用いてハンドオーバー時の処理について説明する．両端末ははじめアドホックモードで通信を行っており，移動などでアドホックモードの利用が困難になると，3G に切り替えて通信を継続する．次に 3G での通信を行なっている最中にアドホックモードの安定した利用が可能になるとアドホックモードでの通信へと切り替える．通信中は無線 LAN インタフェース側のパケットの受信信号強度 (RSSI) をもとにアドホックネットワークの電波強度を常時測定し，電波強度が一定時間の平均電波強度が一定値以上であればアドホックネットワーク，一定値未満であれば 3G 網のトンネル経路を選択して通信を行う．

図 3.5 にハンドオーバー時のシーケンスを示す．アドホックネットワークのトンネル経路で通信を行っている時，端末の移動などによって電波強度が一定未満になると，3G インタフェース側でトンネル切り替えに必要なメッセージを示したトンネル切替要求 / 応答を端末同士がやりとりすることで，3G 網のトンネル経路での通信に切り替える．3G 網のトンネル経路で通信を行っている時，無線 LAN インタフェースで測定している電波強度が一定以上になると，無線 LAN インタフェースを利用してトンネル切替指示 / 応答をやりとりし，アドホックネットワーク側での通信に切り替える．

NTM 端末 A, B の上位アプリケーションは，仮想 IP アドレスによる通信のみを認識しているため，トンネルの切り替えにより実 IP アドレスの変化が発生しても，通信継続が可能である．また，通信経路は常に確保されているため，経路切り替えによりパケットロスが発生することは無い．

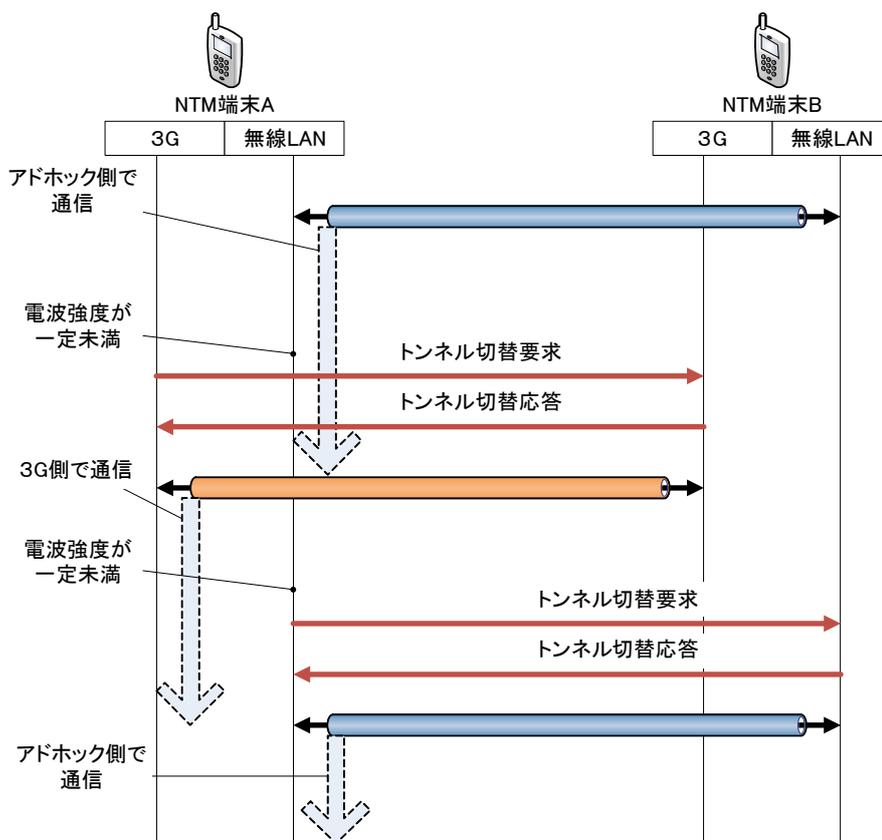


図 3.5 ハンドオーバー時のシーケンス

第4章 実装

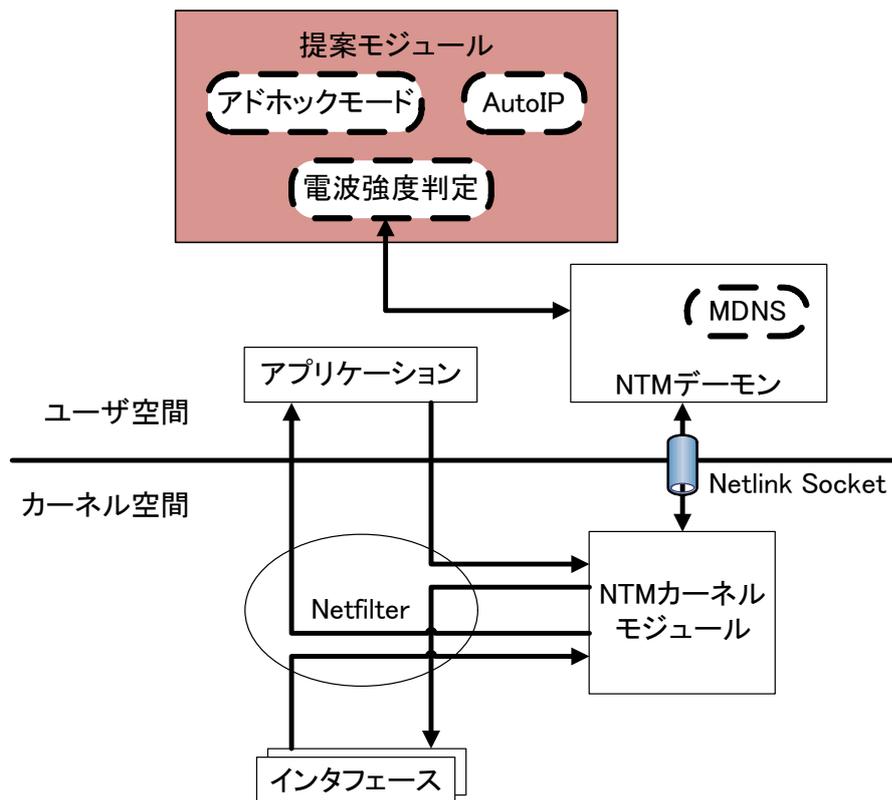


図 4.1 モジュール構成

図 4.1 に提案方式のモジュール構成を示す。NTMobile はスマートフォンへの実装を目的としており、提案方式の実装対象は Android とする。NTMobile のモジュールはカーネル空間に実装する NTM カーネルモジュールとユーザ空間に実装する NTM デーモンからなる。これら 2 つは Netlink ソケットを用いて接続する。NTM カーネルモジュールは上位アプリケーションから送信される仮想 IP アドレスによるパケットを Netfilter でフックしカプセル化 / デカプセル化を行う。NTM デーモンはトンネルの生成に関するメッセージの送受信を行う。

本提案を実行するモジュールはアプリケーションとして実装し、一部 NTM デーモンに改造を加える。このアプリケーションは無線 LAN をアドホックモードで使用する機能、アドホックネットワーク用実 IP アドレスを生成する AutoIP を動作させる機能、電波強度の測定 / 判定を行う機能を有する。NTM デーモン内に MDNS を実装し、MDNS によ

る名前解決が完了すると、アドホックネットワークのトンネル経路を構築する。通信中は提案モジュールが電波強度の判定を行い、NTM デーモンを呼び出してトンネル切り替え処理を実行する。

第5章 まとめ

本論文では，NTMobile を用いて携帯電話網とアドホックネットワーク間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ことで通信状態の良いネットワークの選択とパケットロスのないネットワーク間ハンドオーバを実現できる．

今後は，新たに定義するパケットのパケットフォーマットの詳細を定義して実装を完了させ，動作の検証や性能測定を行う．また，NTM 端末が 3 台以上でグループ通信を行うような場合についても検討を行う．

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，名城大学工学部情報工学科 渡邊晃教授には心から感謝いたします．

また，本研究を進めるにあたり，御意見ならびに御助言を受け賜りました，名城大学工学部情報工学科 鈴木秀和助教，三重大学工学部電気電子工学科 内藤克浩助教に深謝いたします．

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，渡邊研究室の諸氏に感謝します．

参考文献

- [1] 鈴木秀和,西尾拓也,内藤克浩,水谷智大,渡邊 晃,森香津夫,小林英雄:NTMobileにおける相互接続性の移動管理と実装,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, pp. 1339–1348(2011)
- [2] 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,マルチメディア,分散,協調とモバイル(DICOMO2011) DICOMO2011 シンポジウム論文集, pp. 1349–1359(2011)
- [3] AutoIP
Stuart Cheshire. Dynamic Configuration of IPv4 Link-Local Addresses. RFC 3927, 7 2001.
- [4] Multicast DNS
<http://www.multicastdns.org/> (2012.02.08 アクセス)

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.

