

# 平成29年度 卒業論文

和文題目

**NTMobileにおけるマルチキャスト機能の実現**

英文題目

**Proposal of Multicast Function in NTMobile**

情報工学科 渡邊研究室  
(学籍番号: 130441078)

菅沼 良一

提出日: 平成29年2月10日

名城大学理工学部



## 概要

我々が研究している NTMobile(Network Traversal with Mobility) は、移動透過性と通信接続性を同時に実現したエンドツーエンド通信基盤である。NTMobile を用いることでネットワークの制約を意識することなく、アプリケーション開発を行うことが可能となる。しかし、現状の NTMobile で複数の相手と通信する場合、通信相手の数だけユニキャストを行う必要がある。そこで本稿では、エンドツーエンド通信を行う NTMobile にマルチキャスト機能を実現するため、NTMobile 上でグループ管理を行う **GMS(Group Management Server)** を利用して、マルチキャストグループの全てのグループメンバが送信元になることができる、リング状のマルチキャスト機能を提案する。



# 目次

|                        |    |
|------------------------|----|
| 第1章 序論                 | 1  |
| 第2章 関連技術               | 3  |
| 2.1 IP マルチキャスト         | 3  |
| 2.2 アプリケーションレイヤマルチキャスト | 3  |
| 第3章 NTMobile           | 5  |
| 3.1 NTMobile の概要       | 5  |
| 3.2 NTMobile の動作       | 6  |
| 3.2.1 アドレス情報登録処理       | 6  |
| 3.2.2 トンネル生成処理         | 6  |
| 第4章 提案方式               | 9  |
| 4.1 GMS を用いたグルーピング     | 9  |
| 4.1.1 GMS              | 10 |
| 4.1.2 グループの生成方法        | 10 |
| 4.1.3 グループ参加処理         | 11 |
| 4.1.4 グループ退会処理         | 11 |
| 4.2 リング状経路の生成手法        | 12 |
| 4.3 マルチキャストシーケンス       | 13 |
| 第5章 評価と考察              | 15 |
| 第6章 今後の課題              | 17 |
| 第7章 まとめ                | 18 |
| 謝辞                     | 19 |
| 参考文献                   | 21 |
| 研究業績                   | 23 |



# 第1章 序論

高速無線技術の向上による、無線インフラが普及によって、スマートフォンに代表される携帯移動端末を用いて、ネットワークを利用し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、各通信端末に割り当てられているIPアドレスに基づいて通信を行っており、場所を移動することによってネットワークが切り替わると、IPアドレスが変化するため、通信を継続することができない。また、現在のIPv4ネットワークでは、IPv4アドレスの枯渇が問題となっている。IPアドレスの枯渇に対する短期的な解決策として、NAT(Network Address Translation) が用いられる。NATは、自身の配下に存在する端末にプライベートアドレスを割り当てる。インターネットにアクセスする際には、端末のプライベートアドレスと、NATの所有するグローバルアドレスを変換することで通信を行うことを可能とする。しかし、NATは複数のプライベートアドレスを1つのグローバルアドレスに変換するため、NAT配下のプライベート空間からグローバル空間に対して通信を行うことはできるが、グローバル空間からプライベート空間に対して通信を行うことができない。これを、NAT越え問題という。このような状況から、通信中に移動した場合でも通信を継続することができる技術である移動透過性技術や、場所に依存せずネットワークに接続することが可能な通信接続性への要求が高まっている。我々は、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) [1] を提案している。NTMobileでは、通信を行う際に端末へ仮想IPアドレスをアドレスを割り当て、それを実IPアドレスでカプセル化することで、相手端末との間でUDPトンネルを構築し、エンドツーエンド通信を行う。これにより、ユーザはNTMobileをエンド端末に実装することで、ネットワークの制約を意識することなく、アプリケーションの開発を行うことが可能となる。

また現在、メディアコンテンツの配信など、容量の大きいデータを複数の端末に送信する機会の増加に伴い、ネットワーク資源をより効率よく使用することが必要となっている。複数の端末に対して同一の packets を送る手法として、通信端末の数のユニキャストを行う方法が考えられる。しかし、ユニキャストを端末の数だけ行う方式では、端末の増加分だけの packets を送信者が送信する必要があるため、端末数が増加するに従い、送信者側の帯域消費が増加する。これらの問題点はマルチキャストを行うことで解決することができる。マルチキャストでは、送信者が送信する packets は1つでよい。このため、通信相手が増加しても、送信者側の帯域消費は一定となる。また、マルチキャストでは複数の端末をグループ化し、そのグループに対して packets を送信するため、非受信者に対し packets を送信することがなく、不要な負荷をかけることや不要なトラフィックが流れることがない。そのため、マルチキャストはユニキャストやブロードキャストに比べ、ネットワーク資源を効率的に利用することができる。

一般的に知られているマルチキャスト手法としてIPマルチキャストがある。IPマルチキャスト

では、送信者が送信したパケットを、ルータがグループに所属する端末の経路の数だけ複製し、パケットを送信する。これらの処理をすべてのルータが行うことによって、マルチキャストを実現する。しかし IP マルチキャストは、ルータがパケットの複製と送信を行うため、IP マルチキャストに対応したルータでない場合、マルチキャストを行うことができないという問題点がある。IP マルチキャストへ対応したルータへの置き換えは、大きなコストが発生することから、IP マルチキャストは一般的に普及していない。この IP マルチキャストの問題点を解消する手法として、アプリケーションレイヤマルチキャスト (ALM) というマルチキャスト方式がある。ALM では、パケットの複製と転送を、ALM に参加する端末が担うことによってマルチキャストが実行される。ALM ではマルチキャストを行う際に、端末同士でエンドツーエンド通信を行うことで、オーバーレイネットワークを構築する。そのため、既存のルータをマルチキャスト機能を持ったルータに置き換えることなく、マルチキャストを実現することができる。

現在の NTMobile では、マルチキャスト機能が提供されておらず、複数の端末と通信する際には、ユニキャストを通信端末の数だけ行わなければならない。複数の相手に対し、同じパケットを送信する際には、送信元の帯域消費が増加する。NTMobile での通信は、UDP トンネルを利用して行われるエンドツーエンド通信であるため、ALM を適用可能である。

そこで本研究では、NTMobile の特徴を生かしたマルチキャストを実現するため、NTMobile でグループ管理を行うために設置する、GMS(Group Management Server) を利用して、リング状の配送網を構築し、マルチキャストを行う方式を提案する。リング状の配送網にすることにより、マルチキャストグループに所属するすべてのメンバがマルチキャストの送信者となることができる。また、NTMobile を用いてリング状の配送網を構築する為、グローバル-プライベートネットワーク間や、IPv4-IPv6 間での通信を可能とする。さらに、グループメンバに対しての負荷が一部に集中することがない。リング状の配送網は、NTM 端末の IP アドレスをソートすることで構築していく。これにより、リング内の隣り合う端末同士の IP アドレスが近くなるため、物理的なネットワーク上でのパケット配送効率の向上や、トラフィックの軽減が見込める。



## 第2章 関連技術

ユニキャストでは、特定の通信端末に対してパケットの送信を行うため、複数の端末と通信する場合は、端末数だけのパケットを送信しなければならない。サーバ側では、端末数 × 帯域が消費される。一方、マルチキャストの場合、送信元が送信するパケットは1つである。そのため、帯域の消費量がユニキャストに比べて少なく済む。

本章ではNTMobile上で行うマルチキャストの関連技術として、IPマルチキャストと、アプリケーションレイヤマルチキャストについての説明を行う。

### 2.1 IPマルチキャスト

ネットワーク層でマルチキャストを行うことを、IPマルチキャストという。IPマルチキャストは、パケットの受信を希望する複数の端末に対して、同じIPパケットを送信する技術である。この際に送信元は、一度のみパケットを送信する。IPマルチキャストでは、グループメンバシップ要求により、マルチキャストへの参加を希望する端末らをグループングし、グループごとに割り当てられたマルチキャストアドレスを用いて通信を行う [2]。マルチキャストアドレスは、マルチキャストを行いたい複数の端末が所属するグループごとに1つ割り当てられる。ユニキャストのように、通信相手のIPアドレスを直接指定してパケットを送信する必要がないため、複数の通信相手1つ1つのIPアドレスを意識することなく、パケットを送信することができる。また、IPマルチキャストでは、パケットをグループに対して送信する際に、ルータがパケットを複製する。そのため、マルチキャストを行う端末が送信するパケットは1つで良く、配信先の端末が増加しても、帯域消費量を抑えることができ、配信元の負荷を低減させることができる。

しかしIPマルチキャストでは、ルータがパケットの複製と送信を行うため、IPマルチキャストに対応したルータでない場合、マルチキャストを行うことができないという問題点がある。IPマルチキャストへ対応したルータへの置き換えは、大きなコストが発生することから、ネットワーク全体にIPマルチキャストを普及させることは困難であることが予想される。

### 2.2 アプリケーションレイヤマルチキャスト

アプリケーションレイヤマルチキャスト (ALM) は、ネットワーク層ではなく、その上で動作するアプリケーション層でマルチキャストを行う手法である。ALMでは、マルチキャストを行う配送経路を、オーバーレイネットワークで構築し、IPマルチキャストでルータが行っていたパケットの複製や転送を、マルチキャストに参加する端末が行う [3]。オーバーレイネットワークとは、実

ネットワーク上に構築する，仮想的なネットワークである．オーバーレイネットワークでの経路生成は，エンド端末間でトンネルを張り合い，論理的なリンクを生成することで実現する．ALMには複数の提案方式がある．

Narada [4] は，最初にメッシュ状のオーバーレイネットワークを構築し，その後，そのネットワーク上でマルチキャストツリーを構築する．グループメンバは，他のグループメンバのリストを所有しており，グループへのメンバの参加や離脱によって更新される，新規に参加するメンバは，メンバのリストを取得する．そのリストの中からランダムにいくつかのメンバを選択し，そのメンバを隣接ノードとすることで，メッシュ状のネットワークに配置される．配送ツリーは，DVMRP(Distance Vector Multicast Routing Protocol) によって構築される．

ALMI [5] は，複数のセッションメンバーと，セッションコントローラによって構成されている，ツリー状の配送経路を持った ALM である．ALMI では，セッションメンバーはセッションコントローラに対して，隣接ノードの ID や遅延の測定結果を送信し，セッションコントローラは，それらの情報に基づいて経路生成を行う．生成される経路はスパニングツリーである．セッションコントローラによって生成された経路は，ALMI に参加するメンバに，ツリーの(親，子)が示されたリストの形で伝達される．

Chainsaw [6] は，メッシュ状のオーバーレイネットワークを構築し，各ノードは，隣接ノードの要求があると，パケットを配送するという手法で，マルチキャストを行う方式である．Chainsaw では，各ノードは，隣接ノードが所有しているパケットのリストを所有している．送信元から新規パケットが送信されると，それを受信したノードは隣接ノードに対し，パケットを取得したことを伝え，それを受け取ったノードは自身のリストを更新し，パケット要求を行い，パケットが配送される．これを繰り返すことで，ネットワーク全体にパケットが配送される．

これらの方式はいずれも，マルチキャストパケットの送信元は1つであり，ALM に参加する送信元以外のメンバは，パケットを受信，転送するか，受信するのみである．また，端末間の物理的な経路(距離)に関して考慮されていないため，パケットを送信するにあたって，効率の悪い経路を選択する可能性がある．

## 第3章 NTMobile

本章では、提案方式を適応する NTMobile の概要について説明する。

### 3.1 NTMobile の概要

図1に、NTMobile のネットワーク構成図を示す。NTMobile は、エンド端末 (以後 NTM 端末) に NTMobile 機能を実装することにより、エンドツーエンド通信が可能となる技術である。NTMobile は、NTM 端末、アドレスの管理やトンネルの構築指示を行う DC(Direction Coordinator)、エンドエンドで直接通信を行うことができない場合にパケット中継を行う RS(Relay Server) によって構成されている。DC および RS はデュアルスタックネットワーク上に設置する。また、これらはネットワーク規模によって複数台設置による負荷分散が可能である。

NTMobile では、起動時に NTM 端末の実 IP アドレスを DC に対して登録する。これによって、NTM 端末は DC から仮想 IP アドレスが配布され、以後アプリケーションは仮想 IP アドレスによって通信を行う。仮想 IP アドレスを用いて送信するアプリケーションパケットは、実 IP アドレスによってカプセル化される。NTM 端末では通信開始時に、DC の指示に従い、通信相手の NTM 端末間に UDP トンネルを生成する。DC と NTM 端末間では、定期的な KeepAlive が行われており、これによって、通信経路を確保し続けることができる。NTMobile では通信に UDP トンネルを使用することによって、エンドツーエンド通信を行うことができる。また、NTM 端末が直接通信できない場合や、IPv4-IPv6 間の通信を行う場合は、RS を中継させることによって NTM 端末間の通信を実現する。

- NTM 端末

自身の実 IP アドレスを DC に登録し、DC から仮想アドレスを割り当てられる。通信の際には仮想アドレスを実アドレスでカプセル化する。これにより、ハンドオーバーが発生しても、仮想アドレスは変化しないため、通信を継続することができる。DC からのトンネル指示により、通信相手の NTM 端末との間に UDP トンネルを生成し、エンドツーエンド通信を行う。エンドツーエンド通信が行えない場合は、RS を経由する通信を行う。

- DC(Direction Coordinator)

NTM 端末立ち上げ時に、NTM 端末に対して仮想 IP アドレスの割り当てを行う。通信開始時には、UDP トンネルを生成するための経路指示を行う。NTM 端末に対して割り当てる仮想 IP アドレスは、DC に割り当てられたアドレス空間から重複が起きない、一意なアドレスとなっている。分散設置可能である。

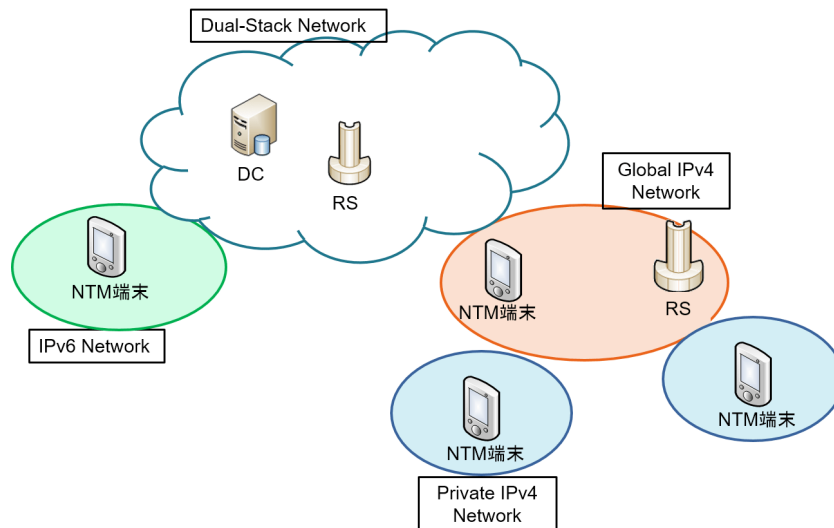


図1 NTMobileのネットワーク構成図

- RS(Relay Server)

パケットの中継を行う装置である。パケットの中継が行われるケースを以下に示す。

- NTM 端末と一般端末間の通信
- 通信を行う NTM 端末が異なる NAT 配下に存在する
- IPv4-IPv6 ネットワーク間での通信

## 3.2 NTMobileの動作

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(Correspond Node) と表記する。

### 3.2.1 アドレス情報登録処理

図2に NTM 端末立ち上げ時、およびハンドオーバー時の、DC に対しての実アドレス登録処理を示す。MN は DC に対して、自身の FQDN、実アドレスなどの情報が含まれる Registration Request を送信する。Registration Request を受けた DC は、自身のデータベースに MN の情報を登録した後、Registration Response として、仮想 IP アドレスなどの情報を MN に対して送信する。アドレス情報の登録と仮想 IP アドレスの登録が終了すると、MN-DC 間で定期的に KeepAlive を行う。これにより、MN-DC 間に制御用メッセージのための経路を確保し続ける。

### 3.2.2 トンネル生成処理

図3に、RS を経由する場合の、トンネル構築時の動作シーケンスを示す。最初に、MN は経路指示要求として、DCmn へ Direction Request を送信する。Direction Request を受け取った DCmn は、DNS と通信を行い CN の NS レコードを受信する。NS レコードを受信した DCmn は、CN のテーブル情報を取得するため、Node Information Request を DCcn に向けて送信する。それを受信

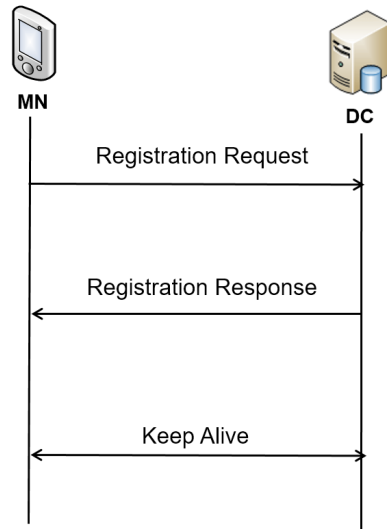


図2 NTM 端末立ち上げ時の動作シーケンス

した DCcn は DCmn へ向けて Node Information Response として、テーブル情報を返す。DCmn は MN-CN 間通信を行うために、中継指示である Relay Direction を RS へ送信する。それに対して RS が応答を返すと、DCmn は MN と CN に対し、経路生成指示として Route Direction を送信する。尚、CN に対しての Route Direction は DCcn を介して行う。CN は Route Direction に対しての応答を返すと、RS に Hole Punching を行う。MN は RS に対してトンネル構築指示として Tunnel Request を送信し、同様にして、RS は CN に対して Tunnel Request を転送する。それを受信した CN は RS に対して、Tunnel Response を返信し、RS は Tunnel Response を MN へ転送する。これによって MN-RS 間と RS-CN 間に UDP トンネルが生成される。

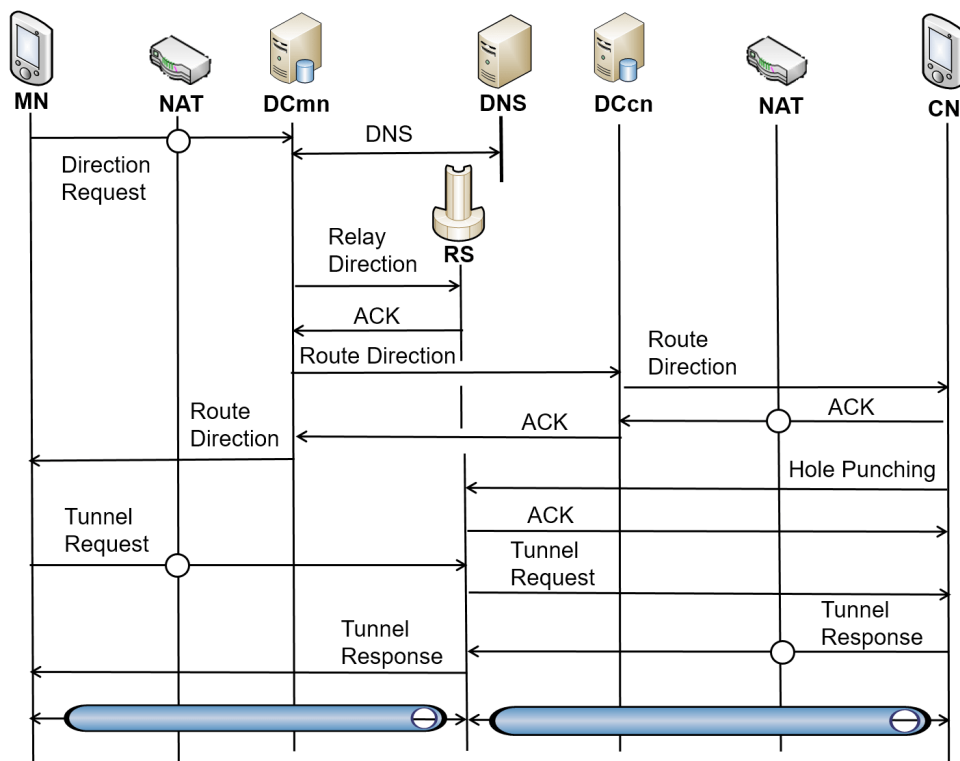


図3 トンネル生成時の動作シーケンス

## 第4章 提案方式

本章では、提案方式である、NTMobile を用いたマルチキャスト方式について述べる。提案方式のネットワーク構成を図4に示す。DC, RS, GMS はデュアルスタックネットワークに配置し、NTM 端末はそれぞれ、グローバル IPv4, プライベート IPv4, グローバル IPv6 ネットワークに所属している。提案方式では、GMS を用いて端末のグルーピングを行なった後、グループメンバをリング状に並べ、パケットを転送していくことにより、マルチキャスト機能を実現する。本方式では、リング状に並べることで、任意のノードが配送元となることができ、マルチキャストに参加する端末にかかる負荷が、均一であるという特徴を持つ。

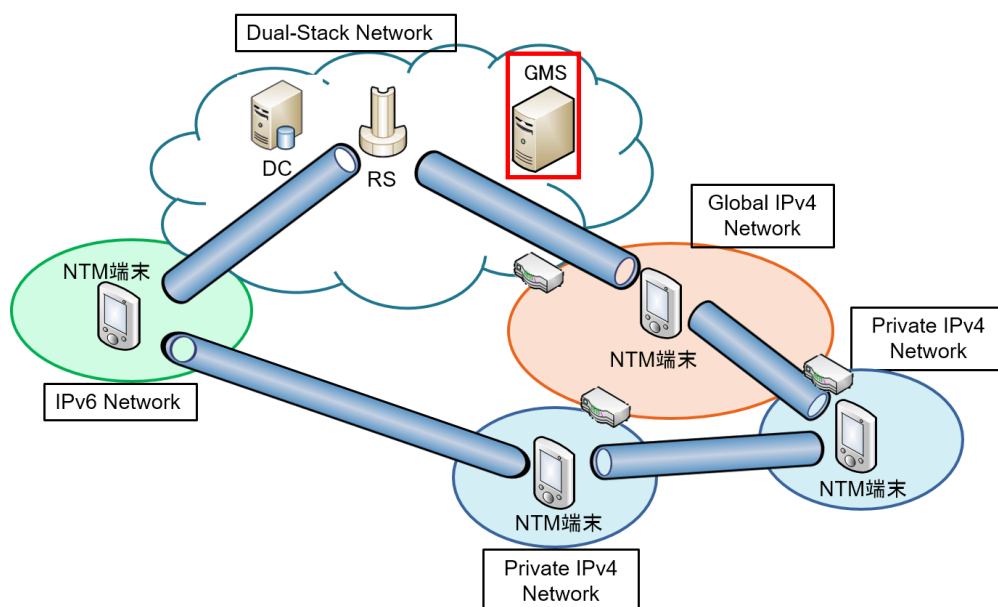


図4 提案方式のネットワーク構成図

### 4.1 GMS を用いたグルーピング

以降では、グループへ招待を行うユーザを招待者、招待されたユーザを被招待者とする。グルーピングは、端末間でグループ鍵が共有されることによって完了する。グループ鍵は、グループ管理サーバでありグループ名やメンバの管理を行う GMS によって生成される RN2 と、グループメンバが生成する RN1 によって生成される [7]。RN1 と RN2 は生成元が異なり、それらを用いて新たにグループ鍵を生成する為、グループ鍵を安全に管理することが可能である。

## 4.1.1 GMS

NTMobile では、ユーザをグループ化する為に、グループを管理する GMS(Group Management Server) の設置が検討されている。GMS はグループ情報の管理とグループ鍵の生成、配送を行う。また、あらかじめ設定してあるタイミングでグループ鍵の更新を行う。GMS は、グループを管理するための情報として、グループを識別するためのグループ ID、グループメンバの情報 (FQDN, プライベート/グローバル IPv4/IPv6 アドレス), メンバのログインステータスを保持している。表 1 に、GMS が保持する情報の例を示す。グループメンバ情報は、グループ名ごとに分けられて保存されている。表中の左端列は、グループメンバの説明のため、便宜上、数値を割り当てたものであり、GMS 内に保存されている情報ではない。表中の 1, 4, 8, 9 は NAT 配下の端末であり、NAT のグローバルアドレスと、端末のプライベートアドレスが登録されている。2, 3, 5, 6, 7 は、グローバル IPv4 アドレスのみ、IPv6 アドレスのみ、もしくはその両方のアドレスを持つ端末であり、それらのアドレスが登録されている。グループメンバの端末はこのように、グローバル/プライベート IPv4 アドレス、IPv6 アドレスが混在してよい。

表 1 GMS が保持するメンバ情報例

|   | groupName | login status | FQDN | IPv6address         | global IPv4address, | private IPv4address |
|---|-----------|--------------|------|---------------------|---------------------|---------------------|
| 1 | G1        | ON           | ntm2 |                     | 203.0.113.1         | 192.168.1.2         |
| 2 | G1        | ON           | ntm4 | 2001:db8::aaaa:aaaa |                     |                     |
| 3 | G1        | ON           | ntm1 |                     | 192.0.2.10          |                     |
| 4 | G1        | ON           | ntm3 |                     | 203.0.113.1         | 192.168.1.3         |
| 5 | G1        | OFF          | eeee | 2001:db8::1234:5678 |                     |                     |
| 6 | G2        | ON           | gggg |                     | 198.51.100.10       |                     |
| 7 | G2        | OFF          | ffff | 2001:db8::aaaa:bbbb | 203.0.113.20        |                     |
| 8 | G3        | OFF          | abcd |                     | 203.0.113.2         | 192.168.11.2        |
| 9 | G3        | ON           | efgh |                     | 203.0.113.3         | 192.168.11.2        |

## 4.1.2 グループの生成方法

以降の説明ではグループ招待者を NTM1, 被招待者を NTM2 とする。グループの生成に先立ち、GMS-NTM 端末間であらかじめ共通鍵を共有しておく。共通鍵の共有には、DC の公開鍵証明書と NTM 端末に設定したパスワードを用いる。

図 5 にグループ作成シーケンスを示す。NTM1 と NTM2 は通信に先立ち、DC からの指示に従ってエンドツーエンドのトンネル経路を生成する (NTMobile シグナリング)。NTM1 は RN1 を生成し、トンネルを経由して NTM2 をにグループ招待パケットを送信し、招待を受けた NTM2 は NTM1 へ応答を返す。応答を受信した NTM1 は NTM2 に向けて RN1 を配布すると共に、GMS へグループメンバ報告を行う。報告を受けた GMS は、RN2 を生成し NTM1, NTM2 に RN2 を配布する。NTM1, NTM2 は GMS へ応答を返した後、RN1, RN 2, グループ名を使用してグループ鍵を生成する。これらの処理により、グループメンバ全体でグループ鍵が共有され、NTM 端末のグルー



ピングが完了する。

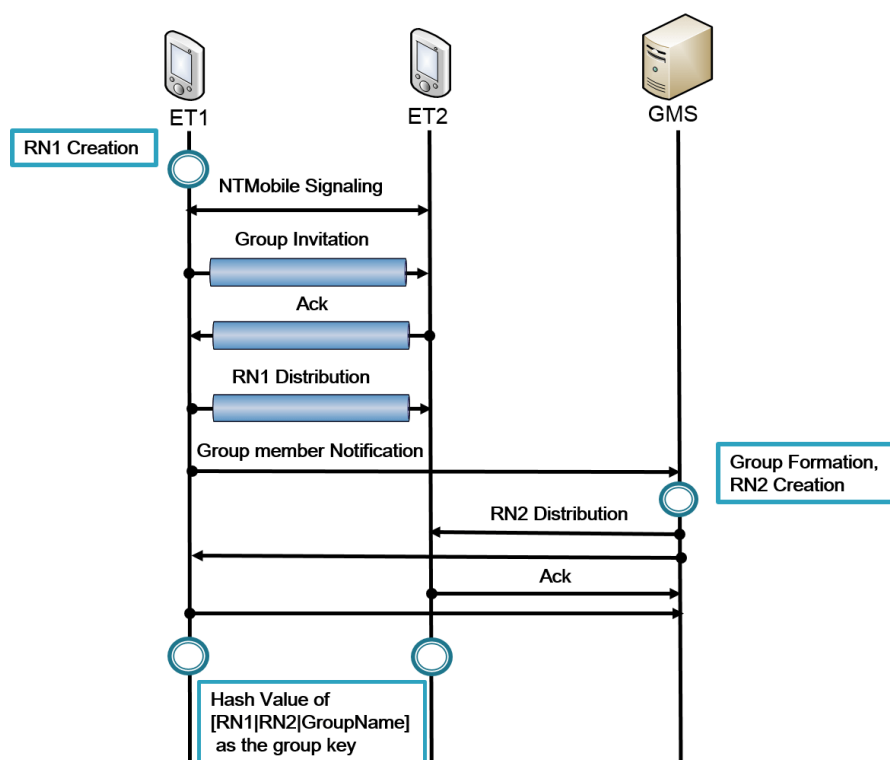


図 5 グルーピングシーケンス

#### 4.1.3 グループ参加処理

グループ招待権限を持つ端末を NTM3, グループに参加する端末を NTM4 とする. NTM3 は NTM4 へグループ招待パケットを送信し, 招待を受けた NTM4 は, NTM3 へ応答を返す. 応答を受けた NTM3 は NTM4 へ RN1 を配布し, GMS へグループメンバ報告として, NTM4 の端末情報を送信する. 報告を受けた GMS は, 新たに RN2' を生成し自身が管理している当該グループのメンバ情報と RN2 を更新する. その後, GMS はグループメンバ全体に更新した RN2' を配布する. RN2 を受信したグループメンバは, RN1, RN2', グループ名によって新たなグループ鍵を生成する. これによって, NTM4 の当該グループへの参加が完了する.

#### 4.1.4 グループ退会処理

グループメンバを退会させる権限を持つ端末を NTM3, グループから退会する端末を NTM4 とする. NTM3 は NTM4 を退会させるため, GMS へ, NTM4 を除いたグループメンバの報告を行う. 報告を受けた GMS は新たに RN2' を生成し, 自身が管理している当該グループのメンバ情報と RN2 を更新する. その後, GMS は新しい RN2' を更新後のグループメンバ全体に配布する. RN2' を受信したグループメンバは, RN1, RN2', グループ名によって新たなグループ鍵を生成する. これにより, NTM4 の当該グループからの退会が完了する.

## 4.2 リング状経路の生成手法

マルチキャストを行うにあたり、GMS はグループメンバが階層構造のリング状に接続されるよう、経路を決定する。リング状の経路にすることにより、マルチキャスト経路を再生成することなく、全ての端末が送信元となることが可能である。また、階層構造にすることにより、単純なリング状経路に比べ、伝送時間を短縮させることができる。本提案方式では、階層構造にするにあたり、国-国間のパケット伝送を行うリングの下の階層に、国内の端末間を繋ぐリングを構築することで、物理的な経路の効率化が期待できる。階層構造のリング状にする場合、上の階層のリングと下の階層のリングへパケットを転送する端末が必要となる。そのため、国ごとに代表端末をランダムに1台決定する。ランダムに決定することによって、複数のグループに参加している状態でマルチキャストを行う場合であっても、同じ端末が代表端末になることを防ぐことができ、負荷の集中を防ぐことができる。階層状のリング構成の概略図を図6に示す。GMS は自身の管理する、表1のメンバ情報を元に、グループメンバをIPアドレス順にソートする。これは、IPアドレスの値が近ければ物理的に近い場所にグループメンバが存在する可能性が高いためである。さらに、IPアドレスのネットワーク部が同一の端末が複数台あった場合、ソートを行わない場合、同一ネットワークに存在する端末が複数あるにも関わらず、外部のネットワークにある端末を経由して通信することが考えられる。しかし、ソートすることにより、外部のネットワークを経由することなく、同一ネットワーク内での通信が行われる。そのため、IPアドレス順にソートすることにより、データ配送効率の向上が見込める。経路生成の手順は以下の通りである。

- (1) GMS に登録されているIPアドレスから、所属している国を判別する。
- (2) 所属している国ごとに代表端末をランダムに決定する。
- (3) 所属している国ごとに以下の処理を実行する。
- (4) ログインステータスがオンの端末を抽出する。
- (5) (1)の結果中から、IPv6アドレスしか持たない端末を抽出する。
- (6) 抽出された端末のIPv6アドレス順にソートする。ソートした結果をS1とする。
- (7) (1)の結果中から、グローバルIPv4アドレスを持つ端末を抽出する。
- (8) 抽出したグローバルIPv4アドレス順にソートする。ソートした結果をS2とする。
- (9) S2から、同一NAT配下に存在する、プライベートIPv4アドレスを持つ端末らを探査する。
- (10) 探索した端末らをプライベートIPv4アドレス順にソートする。
- (11) (6), (7)の処理をS2の終端まで実行する。
- (12) S1, S2の順になるよう、端末情報を並べる。

経路生成処理を表1の、グループIDがG1のグループメンバに適用すると、表2、表3のように並び替えられる。尚、既に所属している国の判別と代表端末の決定が行われていることとする。

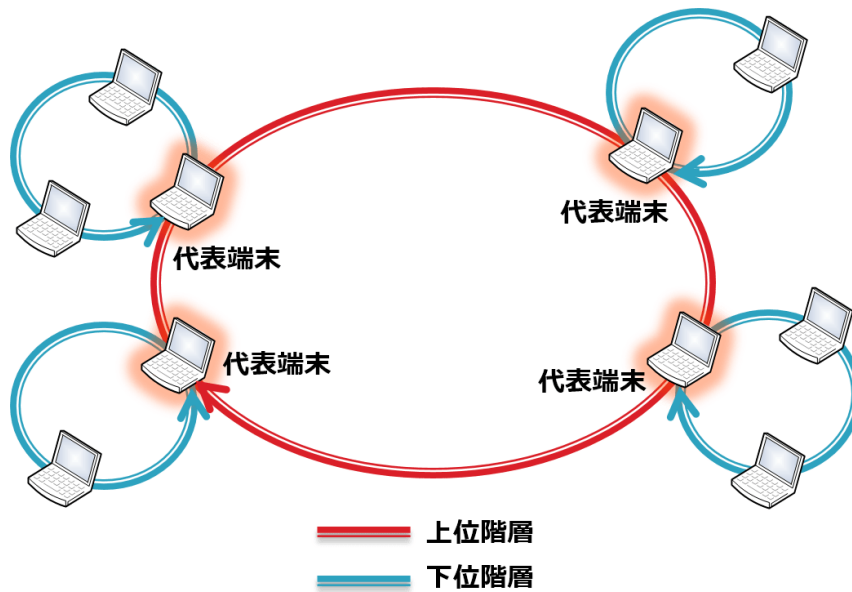


図 6 階層状のリング経路

表 2 経路生成前のグループメンバの並び

| FQDN | IPv6address         | global IPv4address | private IPv4address |
|------|---------------------|--------------------|---------------------|
| ntm2 |                     | 203.0.113.1        | 192.168.1.2         |
| ntm4 | 2001:db8::aaaa:aaaa |                    |                     |
| ntm1 |                     | 192.0.2.10         |                     |
| ntm3 |                     | 203.0.113.1        | 192.168.1.3         |
| eeee | 2001:db8::1234:5678 |                    |                     |

表 3 経路生成後のグループメンバの並び

| FQDN | IPv6address         | global IPv4address, | private IPv4address |
|------|---------------------|---------------------|---------------------|
| ntm4 | 2001:db8::aaaa:aaaa |                     |                     |
| ntm1 |                     | 192.0.2.10          |                     |
| ntm2 |                     | 203.0.113.1         | 192.168.1.2         |
| ntm3 |                     | 203.0.113.1         | 192.168.1.3         |

### 4.3 マルチキャストシーケンス

図7に、表1の、グループ名G1がマルチキャストを行う際のシーケンスを示す。図7では、グループリングがすでに終了しているものとする。NTM 端末の IP アドレスは以下の通りとする。

- NTM1: グローバル IPv4 アドレス
- NTM2: プライベート IPv4 アドレス
- NTM3: プライベート IPv4 アドレス
- NTM4: IPv6 アドレス

NTM1 は、グループを代表してマルチキャストの開始を GMS に要求する。マルチキャスト要求

を受け取った GMS は、4.2 節に従い、グループメンバー間の経路を決定する。GMS が決定した経路は、表 3 の並びとなる。図 7 では NTM1 → NTM2 → NTM3 → NTM4 → NTM1 の順となる。次に、GMS は各グループメンバーに、トンネル構築要求を行う相手端末の FQDN を指示する。FQDN とする理由は、NTM Mobile のトンネル生成に相手端末の FQDN が必要なためである。経路指示を受信した NTM 端末は、その情報に基づき、相手端末の FQDN を指示して NTM シグナリングを行い、トンネルを構築する。すべての NTM 端末が同様にしてトンネルを構築する。これにより、NTM1 から NTM4 の間でリング状にトンネルが生成されるため、任意の NTM 端末がマルチキャストの送信元端末となることができる。また、これらのトンネルは、端末間の KeepAlive によって維持される。各 NTM 端末は、次ノードへの KeepAlive とともに、GMS に対しても KeepAlive を実行する必要がある。何らかの理由で NTM 端末間の KeepAlive が終了した場合には、GMS が再度経路生成を行う。

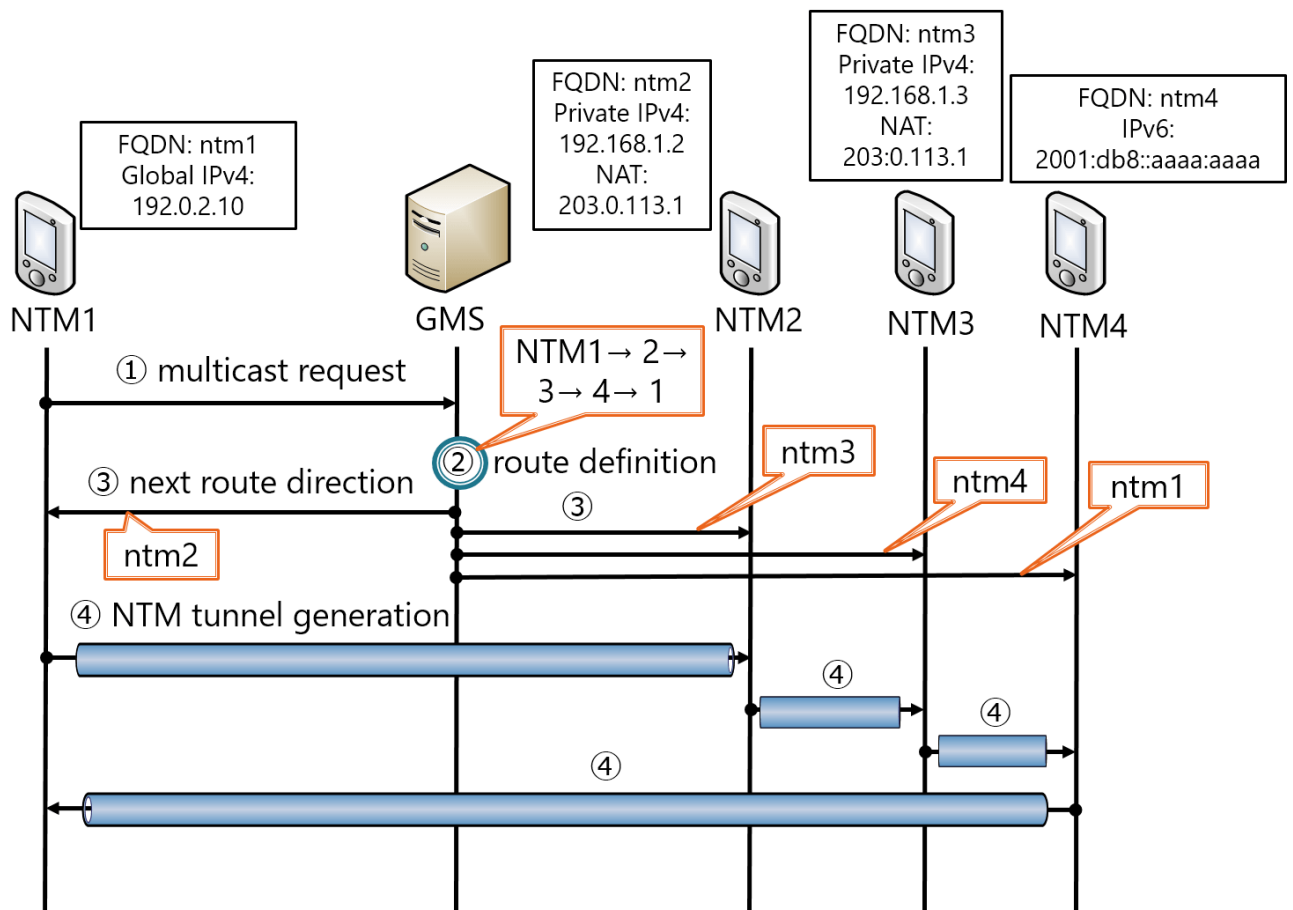


図 7 マルチキャストシーケンス

## 第5章 評価と考察

図8に、試験を行った際のネットワーク構成図を、表4にNTMobileでの、リング状マルチキャストと、ユニキャストで、10回パケットを送信した際の、パケット配送速度の平均を示す。メンバ数は3とし、内一つはNAT配下に存在する。

提案方式では、送信元からパケットが送信された時刻から、終端の端末が送信元のノードにパケットを配信した時刻を計測した。ユニキャストでは、送信元からパケットが送信されると、各メンバが送信元に対してパケットを転送するようになっているため、送信元からパケットが送信された時刻から、メンバ全員がパケット転送を行なった時刻(転送時刻が最も遅かったメンバの転送時刻)を計測した。

表4から、メンバ数が3の場合の提案方式の転送速度は、ユニキャストの転送速度の約1/2倍であった。提案方式では、各メンバがパケットを転送していくため、メンバ全体にパケットが行き渡るには、少なくとも

”(メンバ間のパケット伝送速度+プログラムのパケットの送受信処理時間)×メンバ数”

の配送時間を要する。ユニキャストの場合、送信元が各メンバに対して順にパケットを送信していくだけであるため、全体へのパケット配送に要する時間は、

”メンバ間のパケット伝送速度+送信側プログラム内の送信処理時間”程度である。

一方で、両方式は、図8のようにパケットを配送しているため、ユニキャストの場合、メンバ数が増加するに従い、送信元の帯域がグループメンバの数だけ消費される。提案方式では、送信元はパケットを1つ送信するだけで良いため、グループメンバが増加しても、消費する帯域は一定である。

また、本提案方式では、任意のメンバがマルチキャストの送信元となることが可能であり、トンネルの生成数は、メンバ数-1で良い。これをユニキャストで実施しようとした場合、トンネルの生成数は、(メンバ数-1)×メンバ数となり、不要なトンネルが多く生成される可能性がある。

表5に、提案方式、IPマルチキャスト、既存ALMの比較表を示す。IPマルチキャストでは、専用のルータが必要であるのに対し、既存のALMと提案方式では、各端末がパケットの複製、転送を行うため、専用機器が不要である。さらに、提案方式ではIPアドレスのソートなどの処理により、既存のALMでは考慮されていなかった物理的な経路を考慮した方式となっている。また、既存のALMでは送信元以外の端末が、マルチキャストを行う場合、経路の再生成が必要であるのに対し、提案方式では、リング状の経路を使用することにより、経路を再生成することなく、全ての端末がパケットの送信元になることができる。

提案方式のリング状マルチキャストは、グループメンバが増加しても、各端末が消費する帯域は一定であるため、グループメンバの中に帯域が狭い端末が含まれている場合に、大きなファイル

転送なども行えるチャットサービスや、各メンバが所有している、複数のメディアコンテンツを共有を行う場合等、グループメンバ同士で、ファイルの共有を行いたい場合に、有用であると考えられる。さらに、本方式では、IPアドレスでソートを行うため、物理的な経路が効率化されることや、それに伴うトラフィックの削減効果が期待できる。また、NTMobile 上で行うため、IPv4-IPv6間や、プライベート-グローバル空間の端末が混在していても、マルチキャストを実行することが可能である。

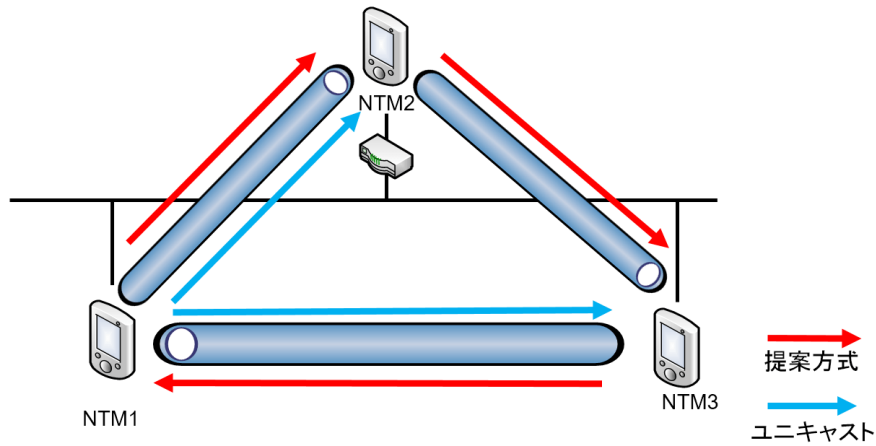


図 8 試験時のネットワーク構成図

表 4 提案方式とユニキャストのパケット配信速度の比較

| 提案方式      | ユニキャスト    |
|-----------|-----------|
| 208.971ms | 105.318ms |

表 5 既存技術との比較

|           | IP マルチキャスト | 既存 ALM | 提案方式 |
|-----------|------------|--------|------|
| 専用機器      | ×          | ○      | ○    |
| 物理的な経路の考慮 | ○          | ×      | ○    |
| 送信元       | ○          | ×      | ○    |

## 第6章 今後の課題

今後の課題として、端末の電源が急に落ちた場合や、物理的なネットワーク状で問題が発生した場合などの、グループメンバが無断で離脱した場合への対処方法の検討が挙げられる。対応策として、グループメンバはグループ鍵更新のため、GMS と常に KeepAlibe を行なっているため、その KeepAlive が途切れた場合に、GMS がグループメンバのログインステータスを OFF にして、再度経路生成を行う方法や、トンネル維持のための、端末間の KeepAlive によって離脱を検出し、検出した端末のいずれか一方が GMS へ報告するといった方法が考えられる。

## 第7章 まとめ

本提案方式では、NTMobileでALMを実現する方式として、GMSを用いたリング状マルチキャストを提案した。提案方式では、NTMobile上で行うため、ipv4-ipv6間やプライベート-グローバル間でのグルーピングを行い、その上でマルチキャストを行うことが可能であることを示した。また、既存のALMとは異なり、任意の端末が送信元になることができることや、IPアドレスでソートすることにより、効率良くパケットを送信可能であることを示した。一方で、端末数が増加するに従い、パケット配送時間が増加することを確認した。

今後はグループメンバが無断で離脱した場合の検討と、本提案の核となる、GMSの実装を進めていく予定である。



## 謝辞

本研究を進めるにあたり，多大なるご指導，ご鞭撻を賜りました，指導教官である名城大学理工学部情報工学科 渡邊晃教授に，心から感謝いたします。

また，本研究を進めるにあたり，ご意見並びにご助言を賜りました，名城大学理工学部情報工学科 鈴木秀和准教授，愛知工業大学情報科学部情報科学科 内藤克浩准教授に心から感謝いたします。

最後に，本研究について様々な意見を賜りました，名城大学 渡邊研究室，鈴木研究室，並びに愛知工業大学 内藤研究室の皆様心から感謝致します。



## 参考文献

- [1] 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).
- [2] Kosiur, D.: マスタリング TCP/IP IP マルチキャスト編, オーム社 (1999).
- [3] 首藤一幸: アプリケーション層マルチキャスト:基本と応用, UNIX magazine 2006 年 10 月号 (2006).
- [4] Chu, Y., Rao, S. and Zhang, H.: A case for end system multicast, *IEEEJournal on Selected Areas in Communications*, Vol. 20, No. 8, pp. 1456–1471 (2000).
- [5] Pendarakis, D., Shi, S., Verma, D. and Waldvogel, M.: ALMI: An Application Level Multi- cast Infrastructure, *IEEEJournal on Selected Areas in Communications*, pp. 49–60 (2001).
- [6] Pai, V., Kumar, K., Tamilmani, K., Sambamurthy, V. and Mohr, A. E.: Chainsaw: Eliminating Trees from Overlay Multicast, *IEEEJournal on Selected Areas in Communications* (2005).
- [7] 棚田慎也, 鈴木秀和, 内藤克浩, 渡邊 晃: 暗号技術を用いたセキュアグループコミュニケーションの提案, マルチメディア, 分散, 協調とモバイル (DICOMO2016) シンポジウム論文集, pp. 366–371 (2016).



# 研究業績

## 研究会・大会等（査読なし）

- (1) 菅沼良一, 納堂博史, 鈴木秀和, 内藤克浩, 渡邊晃：NTMobileにおけるマルチキャスト機能の実現平成28年度電気関係学会東海支部連合大会論文集, No.B2-4, Sep. 2016.

