

リング状経路を用いた アプリケーションレイヤマルチキャストの提案

菅沼 良一¹ 納堂 博史¹ 棚田 慎也¹ 鈴木 秀和¹ 内藤 克浩² 渡邊 晃¹

概要: モバイル端末や無線インフラの普及により, 通信接続性への要求や移動透過性への要求が高まっている。また, 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重要となっている。そのため, ネットワーク資源を効率よく利用することができる, マルチキャストへの要求が高まっている。そこで本稿では, NTMobile(Network Traversal with Mobility) と, 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メンバが送信者になることができ, かつ移動透過性と通信接続性を実現可能な, リング状経路を用いたアプリケーションレイヤマルチキャストを提案する。

Proposal for Application Layer Multicast Using Ring Route

RYOICHI SUGANUMA¹ HIROSHI NODO¹ SHINYA TANADA¹ HIDEKAZU SUZUKI¹
KATSUHIRO NAITO² AKIRA WATANABE¹

1. はじめに

高速無線技術の向上による, 無線インフラの普及によって, 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。また, 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。これらの課題を解決する手段として, マルチキャストが挙げられる。マルチキャストによって送信されるパケットは, ルータ等によって複製, 転送されていくため, 受信端末の多寡に関わらず送信端末の消費帯域は一定して少ない。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パケットを送信するため, 非受信者に対し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。

一般的に知られているマルチキャストの手法として 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, 転送していく。しかし IP マルチキャストは, 全てのルータがその機能に対応している必要がある。IP マルチキャストへ対応したルータの置き換えは, 多大なコストを伴うことから, IP マルチキャストは一般的に普及していない。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) [1] [2] [3] [4] [5] が提案されている。ALM は, 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, 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。また, ALM では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 IP マルチキャスト機能を有するルータに置き換えることなく, IP マルチキャストを実現することができる。しかし, 既存の ALM では, 物理的な経路の考慮がされておらず, 送信元が限定される場合が多い。そこで本研究では, 物理的な経路を意識し, かつ送信元を限定しない ALM 方式を提案する。具体的には, マルチキャスト経路を IP アドレスを意識してリング状に接続することで実現することにより, マルチキャストグループに所属す

¹ 名城大学大学院理工学研究科
Meijo University

² 愛知工業大学情報科学部
Aichi Insutitute of Technology

る全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ことに加え、マルチキャストによる配送負荷がグループメンバ全体に分散されるため、参加メンバの増加による、特定のメンバに対する負荷の集中を防ぐことが可能である。さらに、経路を階層構造にすることにより、パケット配送時間の短縮が期待できる。本提案方式では、経路を構築する際の端末間の通信に、NTMobile[6][7][8][9]を使用する。NTMobileは、移動透過性と通信接続性を同時に実現することができる技術である。NTMobileでは、移動端末を含むことが可能であり、かつ最短経路での通信を行うことができると共に、IPv4 グローバル、IPv4 プライベート、IPv6 のネットワークに所属する端末が混在したグループメンバを構築できる。また、グループ管理を行うために GroupManagementServer(GMS)を導入し、グループ管理と経路指示を行う。提案方式では、リング状の経路を、NTMobile を実装した端末 (NTM 端末) の IP アドレスに基づきソートすることにより構築していく。これにより、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も見込める。

以降、2章では IP マルチキャストと管理装置を用いない ALM である Narada 及び、管理装置を用いる ALM である ALMI について説明する。3章で提案方式について述べ、4章で既存技術との比較評価及び、実行時の測定結果について述べる。5章でまとめる。

2. 既存技術

本章では、既存のマルチキャスト方式として、IP マルチキャスト、既存の ALM 方式から、Narada と、ALMI について述べる。また、それぞれの技術の課題についても整理する。

2.1 IP マルチキャスト

IP マルチキャストは、IP レイヤにてマルチキャストを実現する技術である。IP マルチキャストでは、グループに割り当てられるマルチキャストアドレスを用いてパケットを送信する。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、ルータはマルチキャストアドレス宛パケットの複製と転送を行う。マルチキャストに参加する端末はルータ引退して、新規参入、離脱の手順を実行しておく必要がある。

2.2 Narada

図1に Narada の動作を示す。Narada は、グループメンバ間であらかじめメッシュ状のオーバーレイネットワークを構築しておき、そのネットワークを用いてマルチキャストツリーを構築する方式である。Narada ではそれぞれの端末が、メンバの参加や離脱によって更新されるグループメンバのリストを所有している。各メンバは隣接メンバに

対して、更新メッセージを送信することにより、リストの更新情報がグループメンバ全体に反映される。

マルチキャストへの参加を希望する端末がマルチキャストグループに参加する際、最初にグループメンバのリストを取得する。リストは、少なくとも1つのアクティブな状態のグループメンバが含まれていなければならない。次に、参加するメンバは、取得したリストの中からランダムにくつかのメンバを選択し、それらのメンバに対して、隣接メンバになる要求メッセージを送信する。要求メッセージを受信したグループメンバは、メッセージに対して応答を返し、自身の所有しているリストの更新を行う。これらの更新がグループ全体に広がることにより、メンバはマルチキャストグループに参加する。

メンバがグループから脱退する場合、脱退するメンバは、隣接メンバに対し、リストから除外することを通知する。この通知がグループ全体に広がることでリストが更新され、そのメンバの脱退が行われる。Narada では、各メンバは他の全てのメンバのルーティングコストと、そのコストにつながるパスを維持する。それらの情報を元に、メッシュネットワーク上で DVMRP を適応することによって、ツリー上の経路が構築される。

2.3 ALMI

ALMI は、複数のセッションメンバと、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有する ALM である。ALMI はセッションコントローラと呼ばれる、グループ管理用サーバを用いる。図2に ALMI の動作を示す。セッションコントローラは、メンバの登録処理や、マルチキャスト経路の維持を行う。セッションコントローラは全てのメンバが簡単にアクセス可能な場所に設置する。ALMI を行う前提として、セッションメンバはセッションコントローラの情報を知っているものとする。

マルチキャスト参加メンバは、コントローラに対し JOIN メッセージを送信する。要求が許可されると、メンバはコントローラから、そのメンバー ID とその親の ID およびアドレスを受信する。次に、メンバは自身の親に対して GRAFT メッセージを送信し、親が応答として、データを送受信するデータポート返す。

脱退する場合、メンバは LEAVE メッセージを送信する。親が送信した LEAVE メッセージを受信した子は、コントローラに対して REJOIN メッセージを送信し、参加時と同様の手順を行う。

ALMI によって生成される経路は、全てのメンバを接続する最小のスパニングツリーである。最小のスパニングツリー生成のためのコスト計算はセッションコントローラで実行され、結果は全てのメンバーに (親、子) リストの形で伝達される。このコストは、ping メッセージによる RTT を用いてグループメンバによって計算され、定期的にコン

トローラーに通知される。これにより、経路を改善することが可能である。

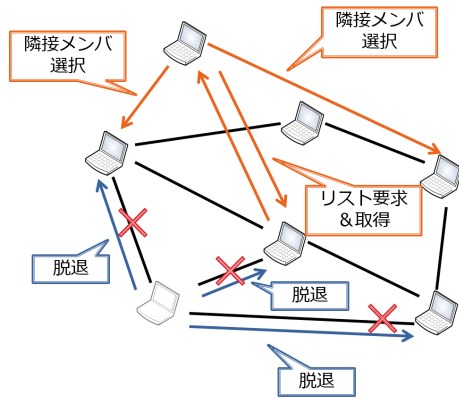


図 1 Narada 参加・脱退

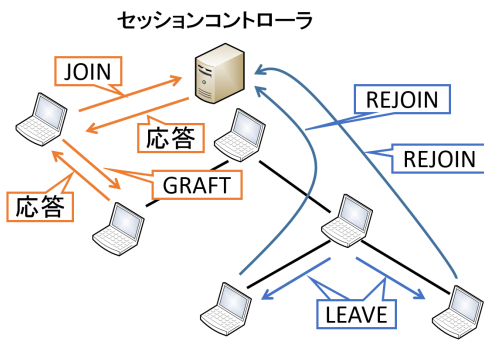


図 2 ALMI 参加・脱退

2.4 既存技術の課題

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ネットワークが構築されている必要がある。IP マルチキャストへ対応したルータへの置き換えは、多大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。ALM はこのような課題はないものの、Narada, ALMI 共に、送信者が固定されており、経路を再生成しなければ、グループ内の任意の端末がマルチキャストパケットを送信することができない。Narada はメッシュネットワーク構築の段階で、パケットの送信効率が決まるが、そこでは物理的経路の考慮が行われていない。それに対し ALMI は ping メッセージによる RRT を利用して経路の改善を行うことができる。しかし、ping メッセージはファイアウォールで遮断される可能性がある。

3. 提案方式

提案方式では、GMS を用いて端末のグルーピングを行った後、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、任意のメンバが送信者となることができ、端末にかかる負荷が均一であるという特徴を持つ。本提案方式では端末間の通信は、エンドツーエンド通信が可能な NTMobile を使用することにより、IP アドレス体系に依存せず、かつ物理的経路を意識したマルチキャストを実現する。

3.1 NTMobile

提案方式を述べるにあたり、エンドツーエンド通信を担う、NTMobile の概要について説明する。NTMobile は、DC(Direction Coordinator), RS(Relay Server), NTM 端末によって構成される。DC はインターネット上に設置し、NTM 端末への仮想 IP アドレスの割り当てや、トンネル構築指示を行う。RS は NTM 端末が直接通信ができない場合や、IPv4-IPv6 間の通信を行う場合に、パケットの中継を行う。NTM 端末のアプリケーションは仮想 IP アドレスにより通信を行う。通信開始時、DC からの指示に従い、NTM 端末間で UDP トンネルを生成する。その後の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。以上の方法により、NTMobile では NAT の有無や、IPv4 と IPv6 の違いを意識することのない、フラットなネットワークを実現することができる。

3.2 グルーピング

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 [10]。また、GMS はグループ情報の管理とグループ鍵の生成、配送や、一定の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)、メンバーのログインステータスを保持する。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 n2, n3 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。n1, n4, n5, n6, n7 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、これらのアドレスが登録されている。このように、グループメンバの端末はグローバル/プライベート IPv4 アドレス、IPv6 アドレスが混在してよい。表中の login status は、アプリケーションが起動しているか否かを表している。

3.3 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

表 1 GMS が保持するメンバ情報例

groupID	login status	FQDN	global IPv6address	global IPv4address	private IPv4address
A	ON	n2		203.0.113.1	192.168.1.2
A	ON	n4	2001:db8::aaaa:aaaa		
A	ON	n1		192.0.2.10	
A	ON	n3		203.0.113.1	192.168.1.3
A	OFF	n5	2001:db8::1234:5678		
B	ON	n6		198.51.100.2	
B	OFF	n7	2001:db8::aaaa:bbbb	203.0.113.20	

路を再生成することなく、全ての端末が送信者となることが可能である。また、リングを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。図 3 に階層構造のリング経路を示す。本提案方式では、例えばグローバル空間に存在する端末間を上位層のリングとし、プライベート空間の端末間を下位層のリング経路とする方法が考えられる。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、同一プライベート空間の端末の中から代表端末をランダムに 1 台決定し、上位リングと接続させる。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。経路生成の手順は以下の通りである。

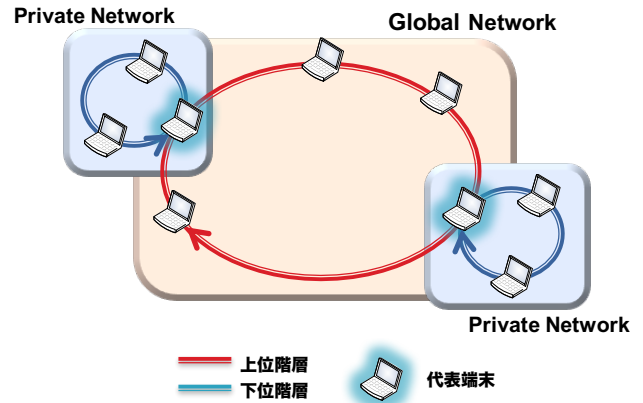


図 3 階層状のリング経路

表 2 経路生成後のグループメンバの並び

FQDN	IPv6	global IPv4	private IPv4
n4	2001:db8::aaaa:aaaa		
n1		192.0.2.10	
n2		203.0.113.1	192.168.1.2
n3		203.0.113.1	192.168.1.3

- (1) IPv6 アドレスしか持たない端末を抽出する
- (2) 抽出された端末を IPv6 アドレス順にソートする
- (3) NAT のグローバル IPv4 アドレスを持つ端末と、グローバル IPv4 アドレスのみを持つ端末を抽出する
- (4) 抽出したグローバル IPv4 アドレスをソートする
- (5) 同一 NAT 配下の端末が複数存在する場合、(5), (6), (7), (8) の処理を実行する
- (6) 同一 NAT 配下のプライベート IPv4 アドレスを持つ端末を抽出する
- (7) 抽出した端末の IPv4 アドレスをソートする
- (8) 代表端末を 1 つ選択する
- (9) 全ての NAT に対して、(5), (6), (7) の処理を実行する
- (10) 代表端末とグローバル空間に存在する端末間で、ソートされた順にトンネルを構築する

経路生成処理を、表 1 のグループ ID が A のグループメンバに対して適用すると、表 2 のように並び替えられる。経路生成を行うことにより、ログインステータスが OFF の端末は除外される。IPv6 のみ持つ端末は先頭に移動し、以降はグローバル IPv4 に基づき昇順でソートされる。さらに同一のグローバルアドレスを持つ端末は、プライベートアドレスに基づき昇順でソートされる。

3.4 マルチキャストシーケンス

図 4 に、グループ ID が A の端末群がマルチキャストを行う際のシーケンスを示す。図 4 では簡単のため、単一のリングを生成する際のシーケンスを示している。

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、リング状経路生成手法に従い、グループメンバ間の経路を決定する。GMS が決定した経路は、表 2 の並びとなる。図 4 では NTM1 → NTM2 → NTM3 → NTM4 → NTM1 の順となる。次に、GMS は各グループメンバに、リング状経路の次の宛先となる端末の FQDN を指示する。経路指示を受信した NTM 端末は、その情報に基づき、次の宛先との間で NTM Mobile シグナリングを行い、トンネルを構築する。全ての NTM 端末が同様にしてトンネルを構築していく。これにより、NTM1 から NTM4 の間でリング状にトンネル経路が生成される。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 端末間の経路が切断した場合には、GMS が再度経路生成を行う。

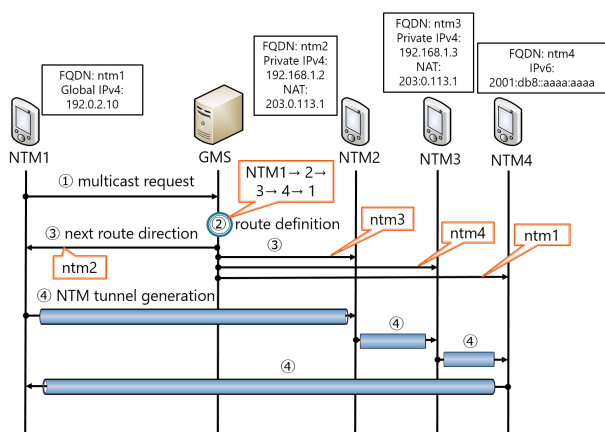


図 4 マルチキャストシーケンス

4. 実装

本章では、提案方式の実装方法について述べる。

図 5 に NTM 端末のモジュール構成を示す。NTM Mobile framework は、NTM Mobile の機能を提供する通信ライブラリである。上位アプリケーションは NTM Socket を利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。NTM 端末は、リング状経路の次の宛先に対して、送信側トンネル生成モジュールを用いてトンネルを構築する。また、受信側トンネル生成モジュールを用いることにより、リング状経路の前の宛先からのトンネル構築を待機する。これらの両トンネル生成モジュールにより、リング状経路中の、自身の端末の前と後の端末にトンネルが構築される。送信者のマルチキャストパケット送受信モジュールによってパケットが送信されると、各メンバはマルチキャストパケット送受信モジュールによって、パケットを受信及び、転送を行う。今回のプロトタイプでは、マルチキャストパケット送受信モジュール、受信側トンネル生成モジュール、送信側トンネル生成モジュールの実装を行なった。

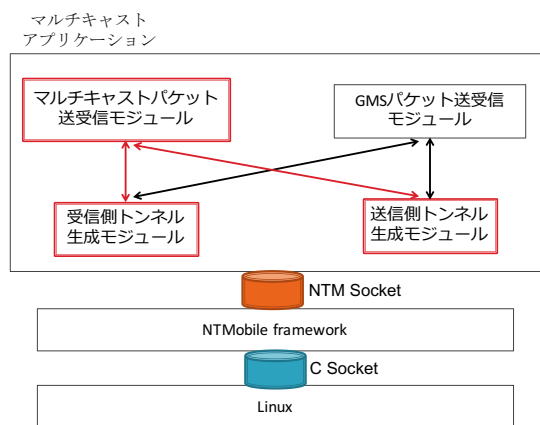


図 5 提案方式のモジュール構成

5. 評価

動作検証として、3 台の NTM 端末と、DC を仮想マシン上に構築し、NTM 端末間でリング状にパケットを配送することができるかを確認し、配送時間を測定した。また、IP マルチキャスト、既存の ALM、提案方式において、定性評価を行った。

5.1 動作検証

図 6 に動作環境におけるネットワーク構成、表 4 にホストマシンの構成、表 5 に仮想マシンの構成を示す。1 台のホストマシン上に VMware Workstation Player を用いて、NTM 端末 3 台と DC を構築した。NTM 端末の内、1 台は NAT 配下に配置した。これらの構成において、3 台の NTM 端末間でリング状にパケットが配送されることを確認した。

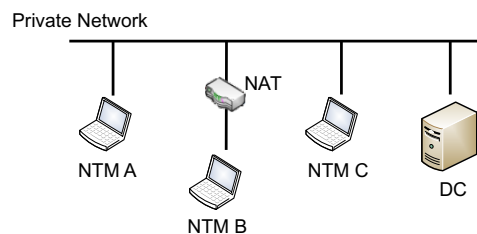


図 6 ネットワーク構成図

送信者からパケットが送信された時刻から、終端の端末が送信者のノードにパケットを送信するまでの時間を計測した。10 回実行した際の、パケット配送時間の平均は、209.0ms であった。

5.2 既存技術との比較

表 3 に、提案方式、IP マルチキャスト、既存 ALM の比較表を示す。比較表では、次の観点における定性評価を行った。

- (1) 専用ルータが不要であるか
- (2) 物理的な経路の考慮がなされているか
- (3) マルチキャストパケットの送信者が複数ある場合、経路の再生成が必要か否か

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、専用ルータが不要である。提案方式は IP アドレスのソートにより、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。既存の ALM では、経路を再生成しなければ、グループ内の任意の端末がマルチキャストパケットを送信することができない。一方、提案方式では、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者になることができる。

表 3 既存技術との比較

	IP マルチキャスト	既存 ALM	提案方式
専用ルータが不要	×	○	○
物理的な経路の考慮がなされている	○	×	○
送信者が複数であった場合、経路再生成が不要	○	×	○

表 4 ホストマシンの仕様

ホストマシン	
OS	Windows 7 64bit
CPU	Intel Core i7-2660 3.40GHz
Memory	8.00GB

表 5 仮想マシンの仕様

NTM A, B, C	
OS	Ubuntu 14.04 32bit
Linux Kernel	3.13.0-24-generic
CPU 割当	1Core
Memory	2.00GB

提案方式は、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、大きなファイル転送なども行えるチャットサービスや、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。本方式では、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。

6. まとめ

本稿では、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、マルチキャスト機能を持つルータが不要であることを示した。また、既存の ALM とは異なり、任意の端末が送信者になることができることや、物理的ネットワークを意識して経路を生成できることを示した。また、NTMobile 通信を利用して、リング上マルチキャストが実際に実現可能かを示した。今後はグループメンバが無断で離脱した場合の検討及び、GMS の実装を進めていく予定である。

参考文献

- [1] Y. Chu, S. Rao, and H. Zhang. A case for end system multicast. *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, Vol. 20, No. 8, pp. 1456–1471, 2000.
- [2] D. Pendarakis, S. Shi, D. Verma, and M. Waldvogel. Almi: An application level multi-cast infrastructure. *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, pp. 49–60, 2001.
- [3] V. Pai, K. Kumar, K. Tamilmani, V. Sambamurthy, and A. E. Mohr. Chainsaw: Eliminating trees from overlay multicast. *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, 2005.
- [4] Ion Stoica, Rendy Katz, Scott Shenker, Sonesh Surana, Shelley Zhuang, Kevin Lai. Internet indirection infrastructure. *Proceedings of ACM SIGCOMM*, pp. 73–86,

- [5] K. L. Johnson, M. F. Kaashoek, J. Jannotti, D. K. Gifford, and Jr. J. W. O’Toole. Overcast: Reliable multicasting with an overlay network. *In Usenix OSDI Symposium*, pp. 197–212, Oct, 2000.
- [6] 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.
- [7] 内藤克浩, 上醉尾一真, 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. 380–397, 2013.
- [8] 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*, 第 54 巻, pp. 2288–2299, 2013.
- [9] K. Naito, K. Kamienuo, H. Suzuki, A. Watanabe, K. Mori, and K. Kobayashi. End-to-end IP mobility platform in application layer for iOS and Android OS. *In Proc. of IEEE CCNC*, 2014.
- [10] 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.