

## SIP モビリティの拡張による 端末非依存型ハンドオーバ方式

織田喜雄<sup>†</sup> 中村嘉隆<sup>††</sup> 白石 陽<sup>††</sup> 高橋 修<sup>††</sup>

ハンドオーバ技術には移動端末間で通信経路を切り替える SIP モビリティがある。SIP モビリティでは移動端末へハンドオーバ技術を利用するための特別な機能が必要であり、すべての移動端末でハンドオーバを実行できるわけではない。また、移動端末の位置管理サーバと移動端末が接続するルータ間で通信経路を切り替える方式として Proxy Mobile IPv6 がある。この方式では移動端末へハンドオーバ技術を利用するための特別な機能が不要なため、移動端末に依存せず、あらゆる移動端末でハンドオーバ技術を利用できる。しかし、位置管理サーバを常に経由する通信となるため、通信経路が冗長となり、通信遅延が起りかねない。そこで本研究では SIP モビリティを拡張し、最適な通信経路の実現およびあらゆる移動端末でハンドオーバ技術を利用可能とする方式を提案する。

### A Terminal-Independent Handover Method using SIP Mobility Expansion

YOSHIO ODA<sup>†</sup>  
YOSHITAKA NAKAMURA<sup>††</sup> YOH SHIRAISHI<sup>††</sup>  
OSAMU TAKAHASHI<sup>††</sup>

SIP Mobility is a handover technique. It switches the end-to-end connection using the SIP server. SIP Mobility needs terminals to have an additional function of handover. Proxy Mobile IPv6 is also a handover technique, it switches connection path between the position management server and router. This technique is terminal-independent because terminal need not be having the function of the handover technique. But, communication delay may occurs with communication path is redundant because end-to-end communication is routed through the position management server. We propose a method so as to realize optimal communication path, and all terminal can use the handover technique without no additional function on the base of SIP Mobility.

<sup>†</sup>公立はこだて未来大学大学院

Graduate School of Systems Information Science, Future University Hakodate

<sup>††</sup>公立はこだて未来大学

Future University Hakodate

### 1. はじめに

近年、IPv4 のアドレス枯渇問題の対策として、IPv6 の普及が推進されているが、IPv4 と IPv6 の間に互換性がなく、IPv6 への移行が進んでいなかった。しかし、2011 年に世界規模の IPv6 移行テスト[1]が実施されたため、IPv6 への移行が前向きに検討されており、今後 IPv6 の環境が整っていくと予想される。

一方、ノート PC やスマートフォン、タブレット型端末などの移動端末の発達や無線通信インフラの急速な発展により、公衆無線 LAN サービスが広く展開されている。これに伴い、将来的には至る所で公衆無線 LAN 環境が整うことが予想される。しかし、現状の公衆無線 LAN 環境では通信中のユーザが複数のドメインにまたがって移動した場合、IP アドレスが変化してしまう。トランスポートプロトコルである TCP は IP アドレスが変化すると、TCP コネクションを維持できないため、通信の切断が発生する。そこで、無線 LAN ルータ間の移動後も通信を継続できるハンドオーバ技術[2]が重要となる。

IPv6 のハンドオーバ技術には Mobile IPv6[3]や SIP (Session Initiation Protocol) モビリティを用いる方式[4][5]が提案されている。Mobile IPv6 では HA (Home Agent) と呼ばれる位置管理サーバ経由で通信を行うことで、移動端末のハンドオーバをサポートする。SIP モビリティを用いる方式では通信する端末間でセッションの確立、変更をし、直接端末間で通信を行えるため、最適な通信経路を実現する。しかし、これらの技術を利用するためにはネットワークインフラ側はもちろん、移動端末にも専用の機能を追加する必要があり、あらゆる移動端末での利用は困難である。本稿ではあらゆる移動端末でハンドオーバ技術を利用できる方式を端末非依存型ハンドオーバ方式とする。端末非依存型ハンドオーバ方式の一つとして Proxy Mobile IPv6[6]が提案されている。この方式では通信を行う際には LMA (Local Mobility Anchor) と呼ばれる移動端末の位置管理サーバと MAG (Mobility Access Gateway) と呼ばれる移動端末のデフォルトルータを利用し、この 2 つの間で通信経路を切り替えることで、端末非依存型のハンドオーバを実現する。しかし、常に LMA を経由する通信となるため、通信経路が冗長となり、通信遅延が増大する傾向にある。

そこで本研究では、最適な通信経路を実現する端末非依存型ハンドオーバ方式を提案する。最適な通信経路を実現するために SIP モビリティを用いる。無線 LAN ルータおよび有線 LAN ルータに SIP モビリティを導入し、セッションの確立、変更を移動端末の挙動に合わせて実行できるように SIP モビリティの機能拡張を行う。これによって移動端末の通信およびハンドオーバのサポートをルータ側で実行することで、端末非依存型ハンドオーバ方式を実現する。

提案方式をネットワークシミュレータ上で実装を行い、端末非依存型ハンドオーバ方式である Proxy Mobile IPv6 との比較、評価を行い、提案方式の優位性を示す。

## 2. 関連研究

本章では、IPv6 アドレスと端末非依存型ハンドオーバー方式の Proxy Mobile IPv6、本研究で用いる SIP モビリティの特徴について述べる。

### 2.1 IPv6 アドレス

IPv6 アドレス[7]は Network Prefix と Link Local Address の組み合わせで成り立っている。Network Prefix とは各端末がネットワークから割り当てられるアドレスで、IPv4 のネットワークアドレスとほぼ同じアドレスである。Link Local Address とは、各端末が自身の MAC アドレスを基に生成するアドレスである。

次に移動端末が Network Prefix を受け取る手順について述べる。これは ICMPv6[8] で定義されている。移動端末はルータ等に接続した際、RS (Router Solicitation) パケットと呼ばれるメッセージを用いて Network Prefix の要求を送信する。RS パケットを受け取ったルータは RA (Router Advertisement) パケットと呼ばれる応答メッセージに自身が持つ Network Prefix を記載し送信する。以上の手順により、移動端末は Network Prefix を受け取り、自身の Link Local Address と組み合わせて IPv6 アドレスを生成する。

### 2.2 Proxy Mobile IPv6

Proxy Mobile IPv6 はハンドオーバーのための特別な機能を持たない移動端末においても TCP コネクションを維持したままハンドオーバーを実現する端末非依存型ハンドオーバー方式である。Proxy Mobile IPv6 は LMA (Local Mobility Anchor) と呼ばれる移動端末の位置管理サーバと MAG (Mobility Access Gateway) と呼ばれる移動端末のデフォルトルータから成り立ち、この 2 つの間でトンネルを形成し、通信経路の制御を行う。LMA は移動端末の識別子を管理し、それぞれに対応する Home Network Prefix を持つ。Proxy Mobile IPv6 の基本動作を図 1 に示す。

移動端末は MAG1 に接続し、通信相手と通信を行っているとする。LMA と MAG は双方向でトンネルが形成されており、通信を行う際データは LMA を経由し、移動端末が接続する MAG へ送信され、MAG から移動端末に送信される (図 1 (1))。移動端末が MAG を切り替えた場合、移動先の MAG は LMA から移動端末の識別子に対応する Home Network Prefix を受け取り、移動端末に割り当てる (図 1 (2)-(6))。移動先の MAG と LMA は双方向のトンネルを形成し、通信を再開する (図 1 (7))。この時、移動前に接続していた MAG と LMA のトンネルは削除される。

Proxy Mobile IPv6 では LMA と MAG でトンネルを切り替えることで、移動端末の通信経路を制御しているため、あらゆる移動端末でこのハンドオーバー技術を利用できる。しかし、LMA 経由での通信となるため、通信経路が冗長となり通信遅延が起こる可能性がある。また、同一の LMA を経由し通信する端末が複数存在する場合には、LMA に負荷がかかり、ボトルネックとなる。

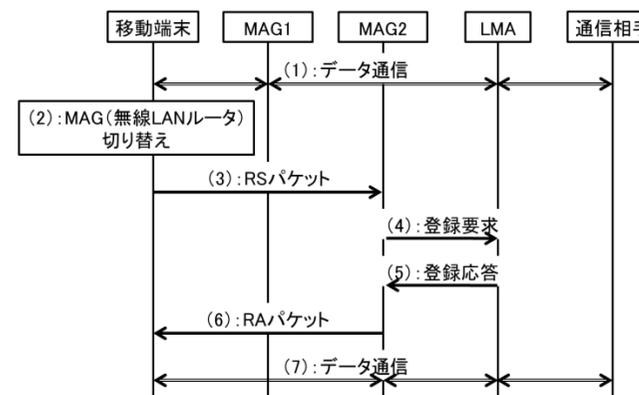


図 1 Proxy Mobile IPv6 の基本動作

## 2.3 SIP

本節ではまず 2.3.1 項で SIP の概要について説明し、2.3.2 項で SIP モビリティについて述べる。

### 2.3.1 SIP の概要

SIP[9]は SIP メッセージを用いて 2 つ以上の端末間でセッションの確立、変更、切断を行うセッション制御プロトコルである。SIP メッセージは HTTP のメッセージのようにヘッダと本体で構成されており、ヘッダにはメッセージの種類を示すメソッド名や送信者、受信者などが含まれている。本体の形式は特に決められてはいないが、メソッドに応じて本体を用いる場合もある。また、本稿では SIP を扱う端末を SIP 端末とする。SIP 端末はそれぞれ SIPURI と呼ばれる識別子を持っており、この SIPURI をメールアドレスのように用いて SIP 端末間で SIP メッセージの送受信を行う。SIPURI だけでは送信元と宛先の IP アドレスがわからないため、SIP 端末の SIPURI と IP アドレスを対応付けて管理する SIP サーバがある。この SIP サーバに SIP メッセージを送ることで、宛先の SIPURI から IP アドレスを導き、SIP サーバから宛先に転送される。SIP 端末間で SIP メッセージの送受信をし、セッションを確立すると、直接端末間での通信を行うことができる。

本研究で主に使用する SIP メッセージの REGISTER と INVITE のメソッドについて説明する。REGISTER は SIP 端末の SIPURI と IP アドレスを SIP サーバに登録を行うための登録要求である。SIP 端末が新規に接続した場合や IP アドレスが変化した場合に SIP サーバの情報を更新するために用いられる。INVITE は通信相手とセッションの確立を行うための、確立要求である。このメソッドを使用する場合は SIP サーバ経由で SIP メッセージの交換を行う。

### 2.3.2 SIP モビリティ

SIP モビリティとは SIP のセッション変更機能である。セッションを確立し、通信中の SIP 端末が接続している無線 LAN ルータの通信範囲から離れ、別の無線 LAN ルータに接続し、新たに Network Prefix を受け取ると、新たな IP アドレスが生成される。SIP モビリティではこの IP アドレスを通信相手に通知することで、通信経路を切り替え、通信を継続する。SIP モビリティの基本動作を図 2 に示す。

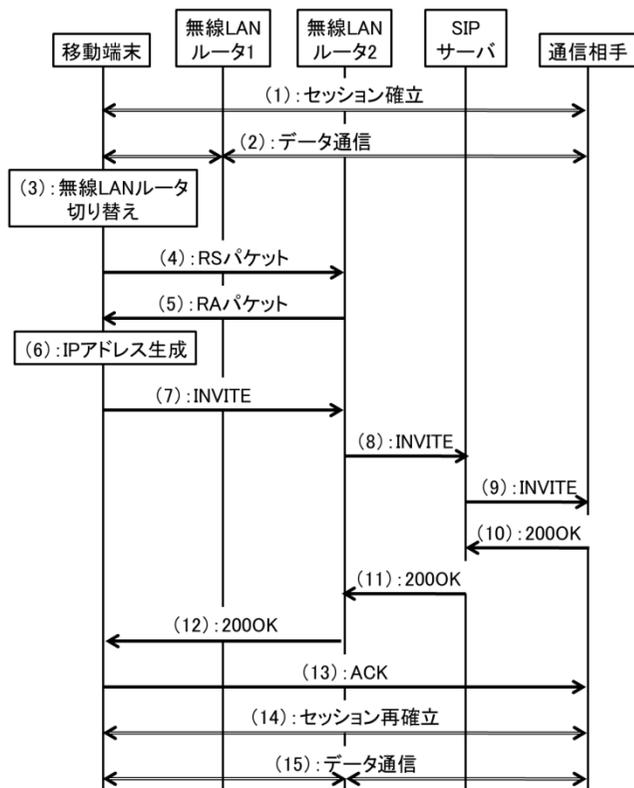


図 2 SIP モビリティの基本動作

SIP 端末同士がセッションを確立し、通信を行っている際に、無線 LAN ルータの切り替えが起こると、移動端末は Network Prefix を移動先の無線 LAN ルータから受け取り、IP アドレスを生成する (図 2 (1) - (6))。その後、新たな IP アドレスを通

信相手に通知するために INVITE メソッドを用いた SIP メッセージを SIP サーバ経由で通信相手に送信し、セッションの再確立を行い、通信を再開する (図 2 (7) - (15))。

SIP モビリティは SIP 端末間で通信経路を切り替え、切り替え後も直接端末間での通信を行うことができるため、最適な通信経路を実現できる。しかし、IP アドレスが変化してしまうため、TCP コネクションを維持することができない。また、移動端末に SIP の機能を追加する必要があり、あらゆる移動端末でこのハンドオーバー技術を利用できるわけではない。

### 3. 提案方式

本章は、まず 3.1 節で提案方式の概要を述べ、3.2 節以降で提案方式の詳細、ハンドオーバーの手順について述べる。

#### 3.1 提案方式概要

本研究では、最適な通信経路を実現する端末非依存型ハンドオーバー方式の提案を目的とする。そのため本提案方式では、ハンドオーバーの方式として最適な通信経路を実現する SIP モビリティを用いる。無線 LAN ルータおよび有線 LAN ルータに SIP を導入し、ルータ間でセッションの確立、変更、切断を行うことで、通信経路の制御を行う。ルータは移動端末の挙動に応じて SIP メッセージの生成、送信を行う。また、移動端末の位置管理には SIP サーバを用いる。SIP サーバは SIP 端末であるルータの SIPURI と IP アドレスの他に移動端末の識別子とその移動端末がどこで通信を行っているかの情報を対応付けて保持する。以上のことを実現するため、SIP サーバと SIP メッセージの機能を拡張する。しかし、2.3 節で述べたように、SIP モビリティを用いた場合、移動端末の移動によって IP アドレスが変化してしまい、TCP コネクションを維持することができない。そこで提案方式では、移動前、移動後で移動端末の IP アドレスが変化しないよう、各ルータが移動端末に割り当てる Network Prefix を全ネットワークで一意とすることで、各移動端末が常に同じ IP アドレスを利用でき、TCP コネクションの維持を可能としている。

#### 3.2 前提条件

提案方式では IPv6 に対応したネットワーク環境を想定している。ネットワーク構成例を図 3 に示す。移動端末はネットワーク 1 からネットワーク n の間を移動するものとする。

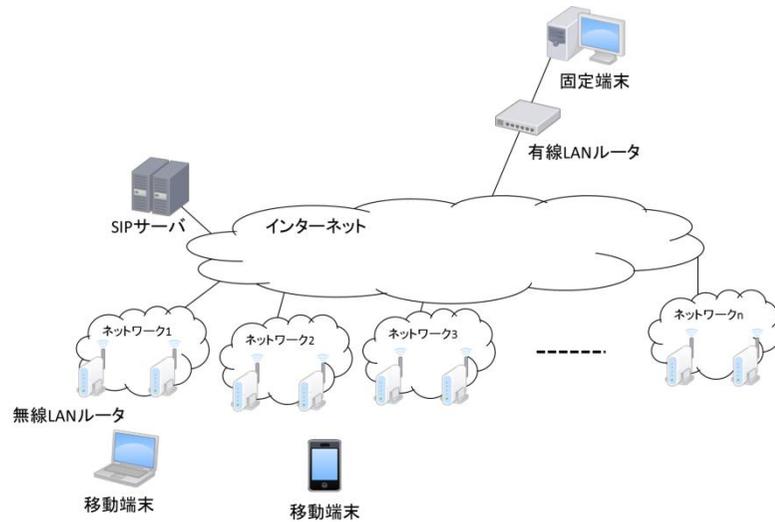


図3 ネットワーク構成例

また、移動端末は以下の機能を持つ。

- IEEE802.11 に対応した無線デバイスを搭載
- IPv6 に対応
- 無線 LAN ルータを自動探索し、接続したことがある ESSID は自動的に接続

以上の機能は現在ノート PC などに標準的に搭載されている機能であり、本研究ではこれらの機能を持つ移動端末を標準的な移動端末とする。

### 3.3 ルータへの追加機能

ルータには以下の機能を追加する。

- (i) 提案方式で拡張した SIP
- (ii) 移動端末への提案方式で定める不変な Network Prefix の割り当て
- (iii) 移動端末から届いたパケットのカプセリング、デカプセリング
- (iv) 接続している移動端末の移動検知、移動通知

無線 LAN ルータには (i), (ii), (iii), (iv) の機能を、有線 LAN ルータには (i), (ii), (iii) の機能をそれぞれ追加する。それぞれの機能に関して説明する。

#### (i) 提案方式で拡張した SIP

ルータに拡張した SIP を追加することで、ルータ間でセッションの確立、変更、切断を行い、通信経路の制御を行う。SIP を用いることで、直接端末間で通信を行い、最適な通信経路を実現する。また、SIP サーバで移動端末の位置管理を行うため、SIP サーバへの登録要求も行う。SIP の拡張に関しては 3.5 節で説明する。

#### (ii) 移動端末に提案方式で定める不変な Network Prefix の割り当て

通常、無線 LAN ルータは各事業者から割り当てられている Network Prefix を持ち、この Network Prefix を移動端末に割り当てる。この方法では、さまざまな無線 LAN ルータに切り替える場合、異なる Network Prefix が割り当てられる可能性があり、IP アドレスが変化してしまうため、TCP コネクションの維持が不可能となる。そこで、無線 LAN ルータは接続するすべての移動端末に提案方式で定めた不変な Network Prefix を割り当てる。これにより、移動端末はどの無線 LAN ルータに接続しても、常に同じ IP アドレスを持つことができ、無線 LAN ルータを切り替えても TCP コネクションの維持を可能とする。

#### (iii) 移動端末から届いたパケットのカプセリング、デカプセリング

移動端末に提案方式で定める不変な Network Prefix を割り当てるため、IP アドレスは所属しているネットワークとは関係ない IP アドレスとなってしまう。そこで移動端末から送信されたパケットがルータに届いたとき、カプセリング、デカプセリングを行う。ルータ間の通信にはルータの IP アドレスで行い、移動端末からは移動端末同士の IP アドレスで通信を行っているように見せる。

#### (iv) 接続している移動端末の移動検知、移動通知

無線 LAN ルータに接続している移動端末の RSSI (Received Signal Strength Indication, 受信電波強度) を測定し、移動の検知を行う。RSSI とは無線通信機器が受信する信号の強度のことで、主に無線 LAN や Bluetooth などの無線通信において、送信範囲の制御などの目的で利用されている。RSSI の値は一般的に通信相手との相対距離に応じて電波信号が弱くなる。この特性を利用し、無線 LAN ルータで移動端末の RSSI を測定することで、移動端末が無線 LAN ルータの通信範囲から離れていくかどうかの検知を行う。RSSI の値が一定値より低くなった場合、移動の検知を行う。移動を検知した場合、SIP サーバ経由で他のルータに通知する。

### 3.4 無線 LAN ルータの動作概要

提案方式における無線 LAN ルータの動作概要を図 4 に示す。

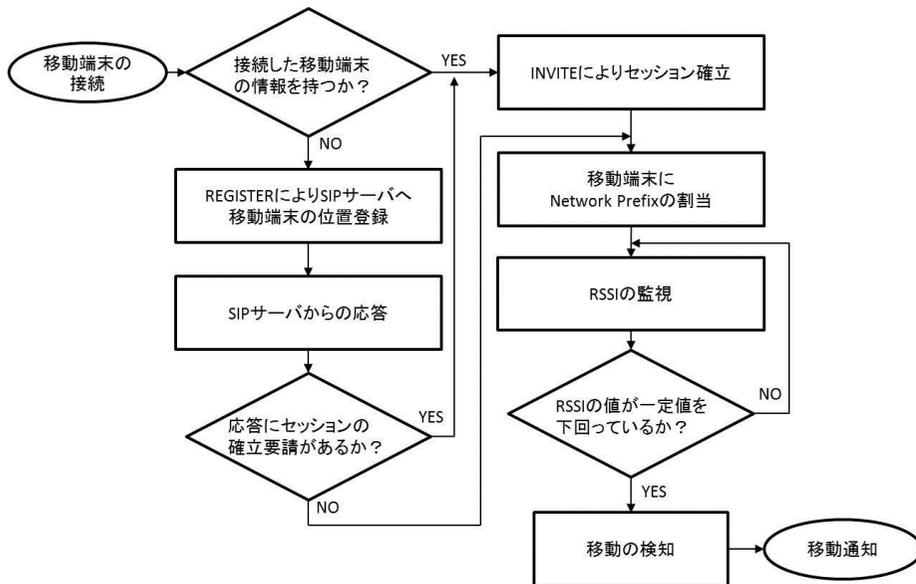


図4 提案方式における無線 LAN ルータの動作概要

無線 LAN ルータは移動端末が接続してきた場合、その移動端末の情報を持っているかどうかによって、INVITE メソッドを用いるか、REGISTER メソッドを用いるかを決定する。持つ場合、INVITE メソッドによりセッション確立を行う。持たない場合、REGISTER メソッドにより SIP サーバへ移動端末の位置登録を行う。SIP サーバから送信される REGISTER に対する応答にセッションの確立要請があれば、INVITE メソッドによりセッション確立を行う。セッションの確立要請がない場合はセッション確立をせずに移動端末へ Network Prefix を割り当てる。その後、無線 LAN ルータは移動端末の RSSI を監視し、移動の検知と移動の通知を行う。

以上のように無線 LAN ルータを動作させるため、SIP の機能を拡張する。

### 3.5 SIP の拡張

ルータは移動端末の挙動に応じたセッションの確立、変更、切断と移動端末の情報を SIP サーバへ通知、他のルータへ移動の通知を行う必要がある。そのため、SIP サーバと SIP メッセージを拡張する。

#### 3.5.1 SIP サーバ

SIP サーバを用いて、各移動端末の位置管理、登録を行うために、SIP サーバの拡張を行う。拡張した SIP サーバが保持する情報を表 1 に示す。

表 1 SIP サーバが保持する情報

SIPURI (①)	IP アドレス (②)	端末情報 (③)	セッション確立情報 (④)
sip.router1@...	1111:xx:...	1001:1001:... 1002:1002:... 1003:1003:...	sip.router2@... 2001:2001:...
sip.router2@...	2222:yy:...	2001:2001:... 2002:2002:...	sip.router1@... 1001:1001:... sip.router3@... 3001:3001:...
sip.router3@...	3333:zz:...	3001:3001:...	sip.router2@... 2002:2002:...

従来の SIP サーバは SIPURI (①) と IP アドレス (②) を対応付けて保持している。それに加えて、提案方式では表 1 で強調している端末情報 (③) とセッション確立情報 (④) を追加する。SIPURI (①) は提案方式を適用したルータの SIPURI であり、そのルータの IP アドレス (②) を対応付けて保持する。端末情報とはルータに接続する移動端末 (または固定端末) の Link Local Address である。セッション確立情報とは移動端末と通信を行っている通信相手が接続するルータの SIPURI と通信相手の端末情報の対である。例えば SIPURI が「sip.router1@...」のルータに接続する端末情報が「1001:1001:...」の移動端末と SIPURI が「sip.router2@...」のルータに接続する端末情報が「2001:2001:...」の移動端末が通信を行っている場合、「1001:1001:...」の端末情報に対応するセッション確立情報は「sip.router2@...」と「2001:2001:...」である。同様に「2001:2001:...」に対応するセッション確立情報は「sip.router1@...」と「1001:1001:...」である。以上の機能を拡張し、SIP サーバでは各移動端末がどこに接続し、どの端末と通信を行っているかを管理する。

#### 3.5.2 SIP メッセージ

SIP メッセージに移動端末の情報を記述するため、新たなヘッダとして n-Header (new-Header) を追加する。また、移動通知のメソッドとして MOVE を追加する。MOVE メソッドを用いた場合には、n-Header に移動検知した移動端末の Link Local Address を記述し、SIP サーバに送信する。SIP サーバでは Link Local Address に対応するセッション確立情報を n-Header に追記し、送信元のルータ以外に転送する。

また、既存のメソッドである REGISTER と INVITE を用いる場合も n-Header に情報を記述する。REGISTER メソッドを用いた場合には、n-Header に移動端末の Link Local Address を記述する。INVITE メソッドを用いた場合には、n-Header に移動端末の Link Local Address と移動端末の通信相手の Link Local Address を記述する。

#### 3.5.3 拡張した SIP の動作概要

MOVE, REGISTER, INVITE のメソッドを使用する場合の条件、ルータと SIP サーバの動作について述べる。

(a) MOVE

MOVE メソッドを用いる場合の動作手順を図 5 に示す。

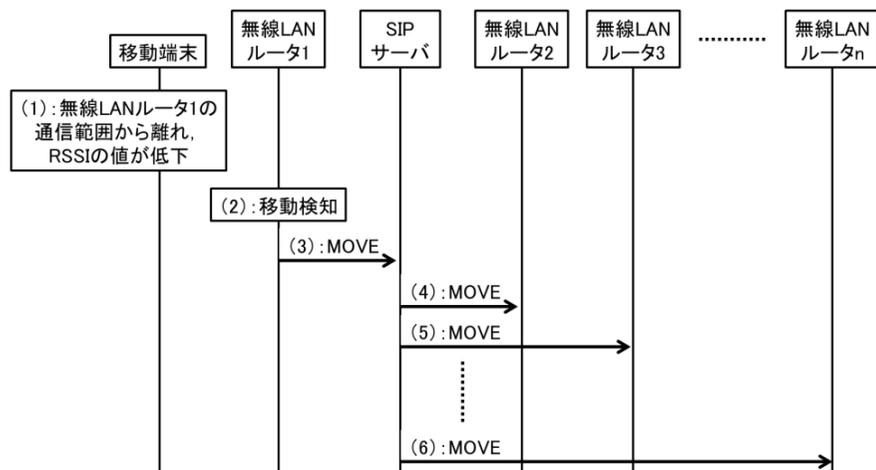


図 5 MOVE メソッド使用時の動作手順

移動端末の RSSI が一定値を下回り続けた場合、ルータは MOVE メソッドを用いた SIP メッセージを生成する (図 5 (1), (2)). 生成した SIP メッセージの n-Header に移動を検知した移動端末の Link Local Address を記述し、SIP サーバへ送信する (図 5 (3)). SIP サーバでは、n-Header に記述されている Link Local Address に対応するセッション確立情報を n-Header に追記する. そして、その SIP メッセージを、送信者以外の SIPURI 宛に転送する (図 5 (4) - (6)). もし、その移動端末が通信を行っておらず、SIP サーバが保持しているセッション確立情報が空白行の場合、転送は行わない (図 5 (3) の動作で終了). この SIP メッセージを受信したルータは n-Header 内にある端末情報とセッション確立情報を保持する.

ほぼすべてのルータに MOVE メソッドを用いた SIP メッセージを送信するため、通知された移動端末が来ないルータも端末情報とセッション確立情報を保持してしまう. そのため、ルータの保持する時間に上限を設定する. また、移動端末が無線 LAN ルータの通信範囲ぎりぎりの位置で止まっている場合、RSSI の値が低い状態が続く. この場合、ルータが端末情報とセッション確立情報の保持する時間を定めているため、その時間を延長するために、MOVE メソッドを用いた SIP メッセージを一定間隔で送信する.

(b) REGISTER

REGISTER メソッドを用いる場合の動作手順を図 6 に示す。

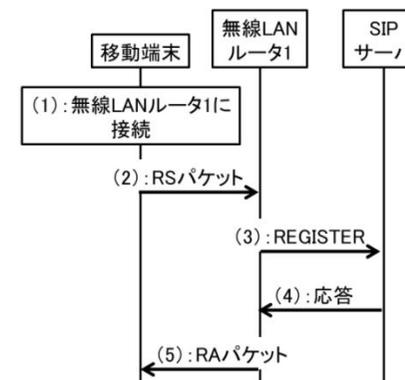


図 6 REGISTER メソッド使用時の動作手順

ルータが移動端末から RS パケットを受信した場合、ルータは REGISTER メソッドを用いた SIP メッセージを生成し、n-Header に移動端末の Link Local Address を記述後 SIP サーバへ送信する (図 6 (1) - (3)). REGISTER メソッドを用いた SIP メッセージを受信した SIP サーバは、n-Header に記載された移動端末の Link Local Address を送信元の SIPURI もしくは IP アドレスに対応する端末情報に登録し、REGISTER メソッドに対する応答を無線 LAN ルータに送信する. 無線 LAN ルータは Network Prefix を割り当てるため、移動端末に RA パケットを送信する (図 6 (4), (5)). もし、SIP サーバが保持する端末情報に対応するセッション確立情報が空白行でない場合、INVITE メソッドを使用する. (c) INVITE で詳しく説明する.

(c) INVITE

まず、移動端末の通信開始時について説明する. ルータが移動端末のデータ通信用のパケットを受信した場合の動作手順を図 7 に示す. ルータはパケットの送信元と宛先の Link Local Address を保持し、INVITE メソッドを用いた SIP メッセージを生成する (図 7 (1)). 生成した SIP メッセージの n-Header に先ほど保持した Link Local Address を記述し、SIP サーバへ送信する (図 7 (2)). SIP サーバでは、n-Header 内にある宛先の Link Local Address からそれに対応する SIPURI を SIP メッセージの宛先として転送する (図 7 (3) - (7)). セッションの確立後には、セッション確立情報に通信相手が接続するルータの SIPURI と通信相手の端末情報を登録する.

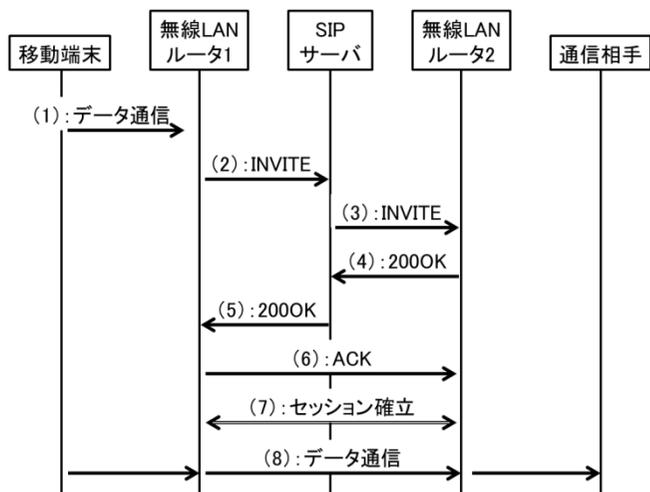


図7 移動端末の通信開始による INVITE メソッド使用の動作手順

次に移動端末が通信中に無線 LAN ルータを切り替えた場合について説明する。ルータが移動端末の情報を MOVE により保持していた場合の動作手順を図 8 に示す。

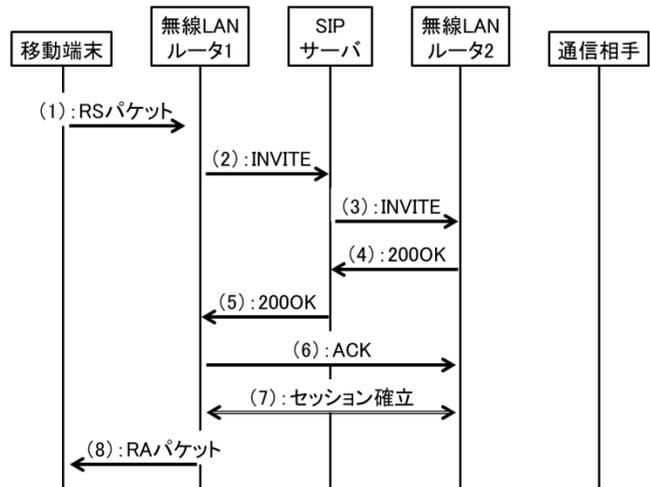


図8 ハンドオーバー時における INVITE メソッド使用の動作手順①

受信した RS パケットに含まれる移動端末の Link Local Address とルータが保持している端末情報を比較し、一致した端末情報に対応するセッション確立情報から、INVITE メソッドを用いた SIP メッセージを生成して、セッションの確立を行う (図 8 (1) - (7)). セッションの確立後は移動端末に RA パケットを送信する (図 8 (8)).

ルータが接続してきた通信中の移動端末の端末情報を保持していない場合の動作手順を図 9 に示す。

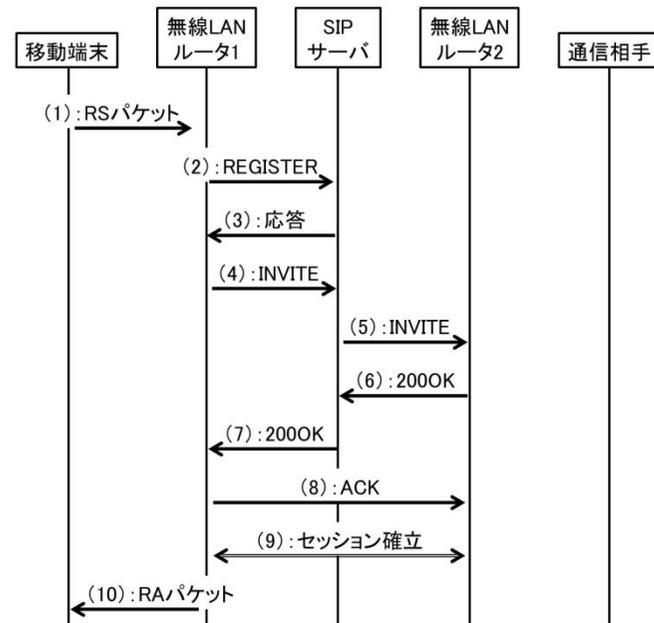


図9 ハンドオーバー時における INVITE メソッド使用の動作手順②

ルータは受信した RS パケットに含まれる Link Local Address と一致する端末情報を持たない場合、SIP サーバに REGISTER メソッドを用いた SIP メッセージを送信する (図 9 (1), (2)). SIP サーバが受信した SIP メッセージの n-Header に記述されている端末情報に対応するセッション確立情報を持つ場合、ルータにはセッションの確立要請を REGISTER の応答として送信する (図 9 (3)). 応答を受信したルータは INVITE メソッドを用いた SIP メッセージを使用し、セッションの確立を行う (図 9 (4) - (9)). セッションの確立後は移動端末に RA パケットを送信する (図 9 (10)).

### 3.6 ハンドオーバーの手順

本提案方式におけるハンドオーバーの手順を図 10 に示す。無線 LAN ルータ 1 に接続する移動端末が無線 LAN ルータ 3 に接続する通信相手と通信をしており、無線 LAN ルータ 1 から無線 LAN ルータ 2 にハンドオーバーする手順である。

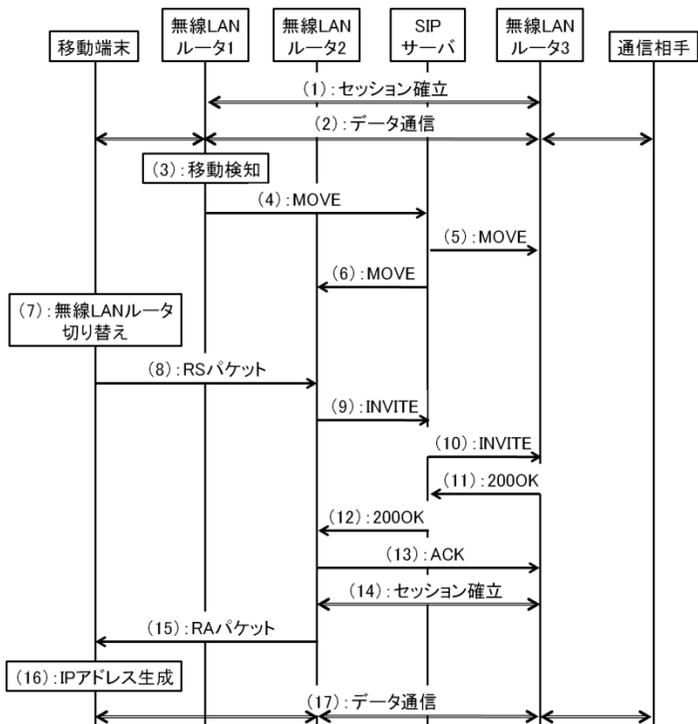


図 10 ハンドオーバーの手順

移動端末が通信中に無線 LAN ルータの通信範囲から離れる場合、無線 LAN ルータは移動を検知し、MOVE メソッドを用いた SIP メッセージを他のルータへ送信する (図 10 (1) - (6))。あらかじめ移動端末の情報を他のルータに通知することで、ハンドオーバーの処理を削減する。移動端末が無線 LAN ルータを切り替えた場合、Network Prefix を要求するため、RS パケットを送信する (図 10 (7), (8))。RS パケットを受け取った無線 LAN ルータは自身が保持している端末情報と RS パケットに含まれる Link Local Address を比較し、一致した場合、その端末情報に対応するセッ

ション確立情報を利用し、セッションの確立を行う (図 10 (9) - (14))。もし、移動端末が通信中にもかかわらず、無線 LAN ルータがその移動端末の端末情報を持たない場合、新たに接続してきたと仮定して REGISTER を送り、SIP サーバからセッションの確立情報を通知してもらう。無線 LAN ルータはセッションの確立後、移動端末に Network Prefix を割り当てる (図 10 (15))。移動端末は IP アドレスの生成後、通信を再開する (図 10 (16), (17))。以上によりハンドオーバーを完了する。

## 4. 実験および評価

提案方式の有効性を評価するため、NS2 (Network Simulator version 2) [10]上に提案方式を実装し、スループットと制御メッセージのオーバーヘッドに関して Proxy Mobile IPv6 の通信および、ハンドオーバー技術を適用しない通常の通信の比較を行う。また、ハンドオーバーにかかる時間を実機とシミュレータを用いて計測し、実用性を示す。

### 4.1 実験環境

本節では、シミュレーションを行った実験環境とシミュレーションで設定したパラメータについて述べる。OS には Ubuntu-9.04 を利用し、シミュレータは NS2 version 2.27 を用いた。評価トポロジを図 11, シミュレーションパラメータを表 2 に示す。

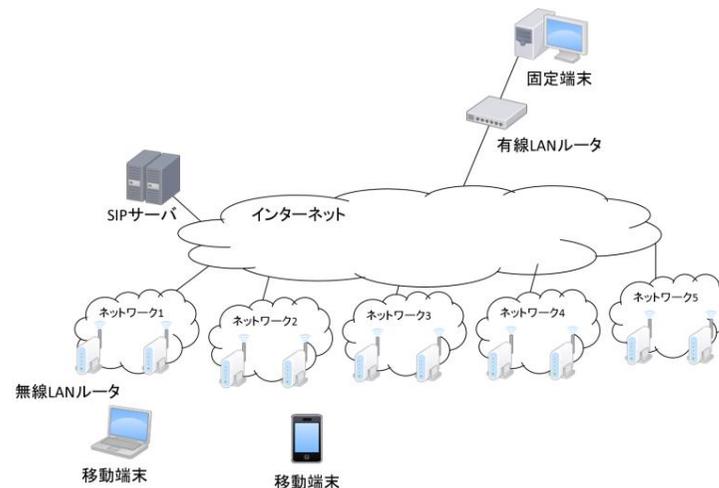


図 11 評価トポロジ

表2 シミュレーションパラメータ

無線 LAN ルータの伝送速度 (Mbps)	54
帯域幅 (Mbps)	100
シミュレーション時間 (sec)	500
通信プロトコル	TCP, IP
パケットサイズ (byte)	1000
ネットワーク遅延 (ms)	10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90, 100
無線 LAN ルータ (台)	10

無線 LAN ルータは各ネットワークに 2 台ずつ配置し，移動端末は無線 LAN ルータ 1 台につき最大 20 台まで配置する。

#### 4.2 通信していない移動端末数毎の評価

通信中の移動端末を 1 台配置し，それ以外に通信を行わない移動端末を複数配置し，500 秒間に 5 回無線 LAN ルータ間の移動を行う。その間の通信中の移動端末のスループットと移動により発生するオーバーヘッドを測定する。Proxy Mobile IPv6 での通信は LMA 経由での迂回する通信となっている。

本稿でのオーバーヘッドとは通常の通信に比べ余分に発生したパケットサイズの総和である。提案方式では SIP メッセージ，Proxy Mobile IPv6 では端末の情報更新と通信経路切り替えに発生するパケットがオーバーヘッドとなる。ここで Proxy Mobile IPv6 のオーバーヘッドについて説明する。Proxy Mobile IPv6 は端末が無線 LAN ルータに接続，切り替えを行うと端末情報の更新等のために 72byte のパケットが LMA に送信される。LMA は応答として同一のサイズのパケットを返信する。つまり，1 台の移動端末が 1 回移動するごとに 144byte のパケットが生成されることになる。移動端末数を  $N$  とし移動回数を 5 回とすると Proxy Mobile IPv6 のオーバーヘッド  $O$  は以下の式となる。

$$O = 720N \quad \dots (1)$$

提案方式のオーバーヘッドはシミュレーションの結果から得られたものを使用する。また，通常の通信ではオーバーヘッドがないものとする。

スループットの測定結果を図 12，オーバーヘッドの測定結果を図 13 に示す

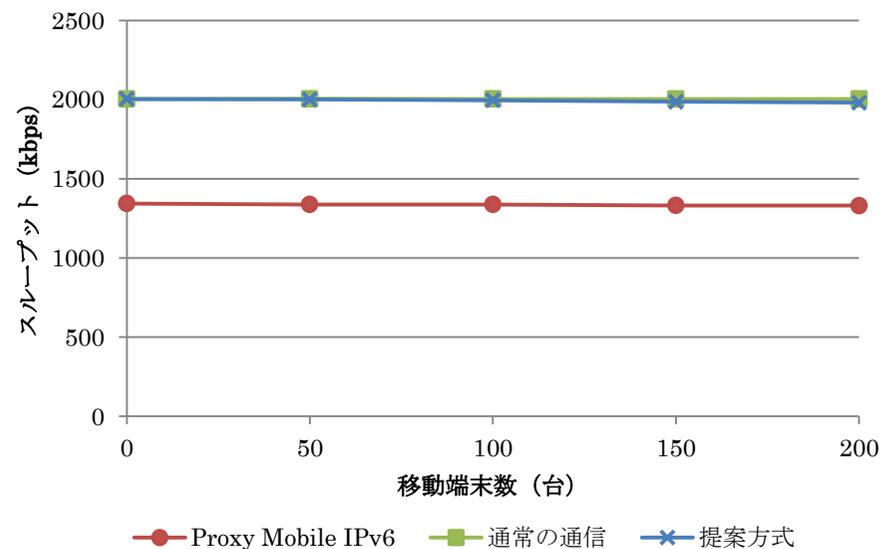


図 12 通信していない移動端末数毎のスループットに関する評価

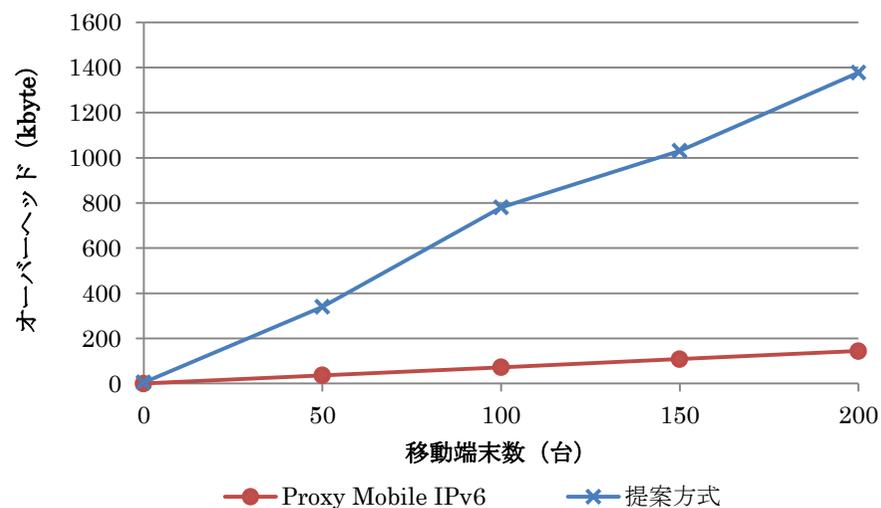


図 13 通信していない移動端末数毎のオーバーヘッドに関する評価

図 12 より、提案方式は Proxy Mobile IPv6 に比べ常に約 600kbps 高いスループットを達成している。また図 13 より、Proxy Mobile IPv6 に比べ提案方式は移動端末数の増加に伴いオーバーヘッドの値が急激に増加している。

#### 4.3 通信中の移動端末数毎の評価

通信中の移動端末を複数配置した場合のスループットを測定した。5 つのネットワークのうち 4 つに移動端末を 5 台ずつ、計 20 台配置し通信を行った。移動端末を配置していないネットワークには 1 台の移動端末を配置し通信を行い、この通信のスループットを測定した。Proxy Mobile IPv6 では LMA を移動端末が 1 台しか配置していないネットワークに配置した。この LMA は他のネットワークに所属する移動端末も利用する。スループットの測定結果を図 14 に示す。

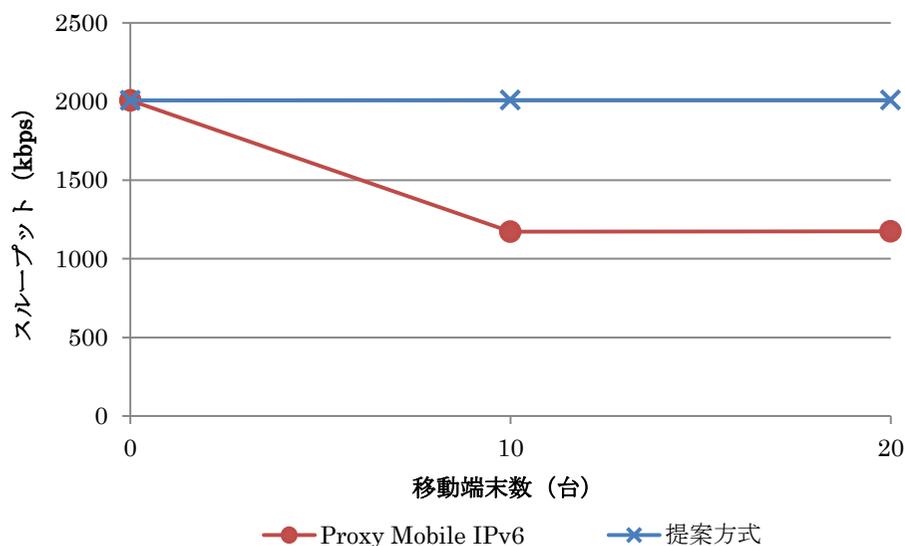


図 14 通信中の移動端末毎のスループットに関する評価

図 14 より、Proxy Mobile IPv6 は同一の LMA を利用する場合、スループットが約 800kbps 低下する。提案方式は直接端末間で通信を行うため、通信する移動端末の台数が増えてもスループットに影響を及ぼさない。そのため、Proxy Mobile IPv6 に比べ提案方式は高いスループットを達成している。

#### 4.4 ハンドオーバー時間

提案方式によるハンドオーバーの時間は、ノート PC の再接続時間と SIP のセッション確立時間を組み合わせたものとなる。ハンドオーバーの時間の調査には、実機による無線 LAN ルータの切り替え時間と NS2 による SIP のセッション確立時間を計測した。実機のパラメータは表 3 に示す。

表 3 実機のパラメータ

CPU	Core i5-560M 2.66GHz
メモリ	4GB
OS	Ubuntu 11.04
ネットワークアダプタ	BUFFALO WLI-UC-GN

実機による計測ではネットワークから切断されてから再び接続できるまでの時間を 10 回測定しその平均をとった。実機による再接続時間と NS2 による SIP のセッション確立時間は表 4 に示す。

表 4 ハンドオーバー時間の結果

実機による再接続時間 (sec)	3.8
SIP のセッション確立時間 (sec)	0.3
合計 (sec)	4.1

Proxy Mobile IPv6 のハンドオーバー時間は実機による再接続時間とのトンネル構成から成り立っており、トンネル構成にかかる時間は 0.1 秒程度[11]とされているため、提案方式よりもハンドオーバー時間が短いと言える。

## 5. 考察

提案方式では、通信をしない移動端末が複数存在し移動する場合、REGISTER メソッドと MOVE メソッドを用いた SIP メッセージが発生する。移動端末数が増加によりオーバーヘッドが増加しても、何も適用していない通常の通信のスループットとほぼ値が変わらないため、スループットに大きな影響を与えていないことがわかった。Proxy Mobile IPv6 の場合 LMA を経由しているため、大きな通信遅延が発生し、スループットに影響を与えているが、移動端末数の増加によりオーバーヘッドが増加してもスループットに影響を与えていないため、オーバーヘッドによる影響は少ないことがわかった。以上により、Proxy Mobile IPv6 に比べ提案方式の方が最適な

通信経路が実現でき、オーバーヘッドによりスループットに影響が出ないため高いスループットを得ることができたと言える。しかし、提案方式と Proxy Mobile IPv6 のオーバーヘッドの増加を比較すると、提案方式の方が急激に増加している。今回は移動端末数が 200 台としていたが、移動端末数がさらに増えた場合、よりオーバーヘッドが大きくなり、多くのネットワーク資源を消費することとなる。MOVE メソッドを用いた場合、すべてのルータに転送されるため、より多くの SIP メッセージが発生してしまう。ネットワーク資源の消費を抑えるため、MOVE メソッドを用いた場合の SIP メッセージの軽減が必要であると考えられる。

通信中の移動端末が複数存在する場合、Proxy Mobile IPv6 では移動端末数の増加によりスループットが低下した。これは同一の LMA を共有して利用するため、LMA がボトルネックとなっている。提案方式では、Proxy Mobile IPv6 のように通信経路を迂回せずに通信できるため、通信中の移動端末が増加してもスループットに影響はでなかった。そのため通信中の移動端末が増えるごとに Proxy Mobile IPv6 と提案方式のスループットに大きな差が生じており、Proxy Mobile IPv6 に比べ提案方式の方が最適な通信経路が実現できるため、高いスループットを得ることができたと言える。今回は通信中の移動端末を 20 台とし、移動させずにシミュレーションを行ったが、今後、通信中の移動端末を 20 台以上配置し、無線 LAN ルータ間を移動する場合のシミュレーションを行い、その場合のスループットの変化やオーバーヘッドなどを評価する必要がある。

また、提案方式のハンドオーバー時間を計測したところ、4.1 秒だった。Proxy Mobile IPv6 によるハンドオーバーでも実機による再接続時間はかかる。提案方式と Proxy Mobile IPv6 のハンドオーバーの時間の違いは SIP のセッション確立時間とトンネル再構成にかかる時間であり、トンネル構成は 0.1 秒程度であるため、0.2 秒ほど差がある。通信ができなくなった場合の TCP の切断はデフォルト設定で 180 秒となっており、提案方式のハンドオーバー時間は TCP の再送時間内に含まれているため、TCP による通信は切断されずに通信を再開することができる。そのため、Proxy Mobile IPv6 に比べ劣るが、通信が継続できるため、ハンドオーバーの時間として妥当であると言える。

## 6. おわりに

本稿では、SIP モビリティを拡張し、ルータに導入することで、最適な通信経路を実現する端末非依存型ハンドオーバー方式を提案した。そして、ハンドオーバーが可能であり、最適な通信経路であることをシミュレーション実験により検証した。

通信しない移動端末が複数存在し、移動を行う場合、提案方式では、SIP メッセ

ージが移動端末数の増加によって増えるが、スループットへの影響は少なかった。また、通信中の移動端末数が増加した場合でも提案方式のスループットは変わらず、Proxy Mobile IPv6 のスループットは大きく低下した。そのため、提案方式は Proxy Mobile IPv6 よりも最適な通信経路を実現し高いスループットを得ることができた。ハンドオーバーには 4.1 秒かかるが、TCP による通信は継続できるため、ハンドオーバーの時間として妥当であると考えられる。

今後の課題として、SIP メッセージによりネットワーク資源を多く消費しているため、SIP メッセージの量を調整し負荷を軽減する方法の検討や移動端末の台数を 200 台以上配置した場合や通信中の移動端末を 20 台以上配置し、無線 LAN ルータ間を移動させた場合の評価を行うことが挙げられる。

## 参考文献

- [1] Internet Society - World IPv6 Day, “<http://www.worldipv6day.org>”.
- [2] 阪田史郎, 矢野由紀子, 栗野潤, 村上卓弥, “高速ハンドオーバー技術動向”, 電子情報通信学会誌, 92 (9), pp.761-767, 2009.
- [3] D. Johnson, C. Perkins, J. Arkko, “Mobility Support in IPv6,” RFC3775, 2004.
- [4] 宮島春弥, 張亮, 林秀樹, 藤井輝也, “移動通信における All-SIP モビリティ”, 電子情報通信学会誌, 94 (1), pp.47-51, 2011.
- [5] 三浦剛, 東野武史, 塚本勝也, 小牧省三, “異種無線ネットワークにおけるトラヒック負荷を考慮した垂直ハンドオーバー方式の提案”, 電子情報通信学会技術報告, 108 (218), pp.7-12, 2008.
- [6] S. Gundavelli, K. Leung, V. Devarapalli, K. Chowhury, B. Patil, “Proxy Mobile IPv6,” RFC4861, 2007.
- [7] S. Deering, R. Hinden, “Internet Protocol, Version 6 (IPv6) Specification,” RFC2460, 1998.
- [8] A. Conta, S. Deering, “Internet Control Message Protocol (ICMPv6) for the Internet Protocol Version 6 (IPv6) Specification,” RFC2463, 1998.
- [9] J. Rosenberg, H. Shulzrinne, G. Camarillo, A. Johnston, J. Peterson, R. Sparks, M. Handley, E. Schooler, “SIP : Session Initiation Protocol,” RFC3261, 2002.
- [10] ns-2, “Network Simulator version 2,”<http://www.isi.edu/nsnam/ns/>.
- [11] カフレベド, 井上真杉, “Proxy Mobile IPv6 の実装と性能評価”, 電子情報通信学会技術研究報告, 108 (342), pp.67-72, 2008.