

# Mobile IPv6 を用いた通信回線共有方式の実装

舛田 知広<sup>†</sup> 大木 一将<sup>†</sup> 峰野 博史<sup>††</sup> 石原 進<sup>†††</sup>

<sup>†</sup> 静岡大学大学院理工学研究科 <sup>††</sup> 静岡大学情報学部 <sup>†††</sup> 静岡大学工学部

## Implementation of Mobile IPv6 SHAKE

Tomohiro Masuda<sup>†</sup>, Kazumasa Ogi<sup>†</sup>, Hiroshi Mineno<sup>††</sup> and Susumu Ishihara<sup>†††</sup>

<sup>†</sup>Graduate School of Science and Technology, Shizuoka University

<sup>††</sup>Faculty of Information, Shizuoka University <sup>†††</sup>Faculty of Engineering, Shizuoka University

## 1 はじめに

近年、モバイルコンピューティングが普及し、いつでも、どこでもインターネットに接続可能になった。また、それらモバイルコンピュータの中には複数のネットワークインターフェイスを搭載したのもあり、ユーザは状況に応じて使い分けることが可能である。それらのインターフェイスのうち、無線 LAN 等を用いた短距離無線通信は高速な通信が可能である。しかし、外出先でインターネットに接続しようとすると携帯電話等の比較的低速な広域無線通信サービスを使用せざるを得ない状況が考えられる。そこで筆者らは、ネットワーク資源を有効に活用するために通信回線共有方式 SHAKE (SHaring multipath procedure for a cluster network Environment) を提案している。SHAKE は、近隣の端末と短距離高速リンクを用いてネットワークを構築し、そのネットワークの外部ホストと通信を行う際に、他の近隣端末のリンクにトラフィックを分散させる。これにより、通信速度・信頼性の向上を図る。筆者らは、この SHAKE を Mobile IPv6 を用いて実現する手法を新たに提案した。本稿ではこの Mobile IPv6 SHAKE の実装、評価について述べる。

## 2 Mobile IPv6 SHAKE

### 2.1 通信回線共有方式 SHAKE

通信回線共有方式 SHAKE では、図 1 のように近隣する複数の移動端末が無線 LAN 等の短距離高速リンクを用いて一時的にネットワーク (クラスタ) を構築する。クラスタ内のある端末が外部と通信する際、他のクラスタ内端末の外部ネットワークへのリンクを複数用いて、各経路にトラフィックを分散させる。これにより、高速な通信が可能になる。また、クラスタ内のある端末の外部リンクが利用不可能な場合でも、他のクラスタ内端末の外部リンクを用いることにより、外部のホストと通信を行うことができる。ここでは、クラスタを構成する端末のうち、特定の通信に関与する端末群を Alliance とし、SHAKE を用いて通信を行う端末を Alliance Leader (AL)、AL のトラフィックを中継する端末を Alliance Member (AM) と呼ぶ。

当研究グループでは、IP 層で SHAKE を実現させる手法として、Mobile IP を用いた Mobile IPv4 SHAKE を提案し、実装、評価している [1]。Mobile IPv4 SHAKE では、複数のリンクへのパケットの分配機構を Mobile IPv4 の Home Agent (HA) に設置している。これは、Mobile Node (MN) が通信相手である Correspondent Node (CN) と通信する際、必ず HA を経由するので、CN に対して透過に SHAKE の機能を提供できるためである。しかし、MN と CN の通信パケットが必ず HA を経由するため、MN と CN 間の通信経路は最適経路にならない、また HA に負荷がかかるといった問題が生じる。

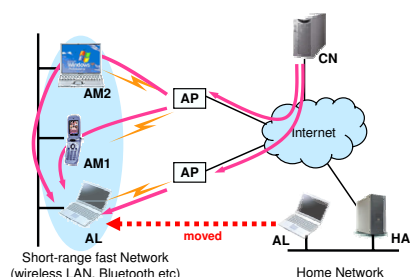


図 1: Mobile IPv6 SHAKE

### 2.2 Mobile IPv6 SHAKE の経路最適化

Mobile IPv6 SHAKE では、Mobile IPv6 を用いて SHAKE を実現させる。先に述べたように、Mobile IPv4 SHAKE では Mobile IPv4 を用いているため、MN と CN の通信経路は HA を介したものとなり、その経路は最適化されない。一方、Mobile IPv6 では、CN が Mobile IPv6 対応ノードであれば、MN と CN が直接通信できる機構が用意されており、その経路は最適な経路となる。そこで、Mobile IPv6 SHAKE では、Mobile IPv6 を用いてトラフィックの分配機構を CN に持たせることにより、経路最適化を実現する。それに伴い、HA の負荷を減少させる。

#### 2.2.1 Mobile IPv6 の動作概要

以下、図 2、図 3 で Mobile IPv6 の動作の概略を説明する。

MN は、Home Link から離れ、Foreign Link へ移動した後、MN の Home Address (HoA) と Care-of Address (CoA) の対応付けを Binding Update メッセージを用いて HA へ登録する (図 2: ①)。MN が CN と通信を行うときは、Return Routability を行ってから (図 2: ②)、CN に Binding Update を送信する (図 2: ③)。Return Routability では、MN と CN の直接経路と HA を介した経路でやり取りされたメッセージを用いて、MN と CN が直接通信する際に使用する共有鍵を生成する。

MN は、Binding Update を送信した後、相手の情報を管理する Binding Update List (BUL) を生成する。CN は、MN から Binding Update を受信したら Binding Cache で MN の Binding を管理する。これにより、CN は MN と通信するとき、パケットの宛先を MN の CoA に指定することができるため、HA を介さない CN と MN の直接通信が可能となる。

CN と MN の直接通信において、CN から MN へ送られるパケットには、Type2 経路制御ヘッダが付加される (図 3)。

Mobile IPv6 では、セキュリティ上の配慮のため、新たに Type2 経路制御ヘッダを導入している。仮に Mobile IPv6 において、既存の Type0 経路制御ヘッダが用いられた場合、ある firewall で経路制御ヘッダを持



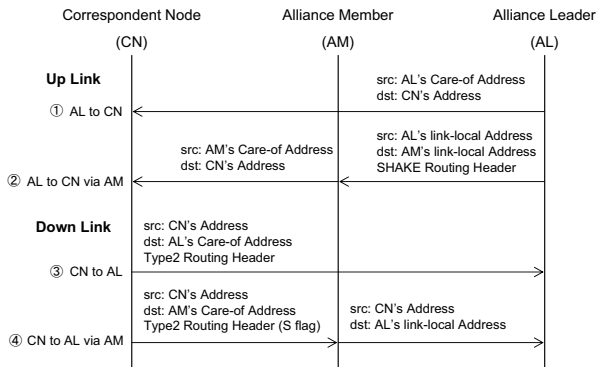


図 6: Mobile IPv6 SHAKE の通信

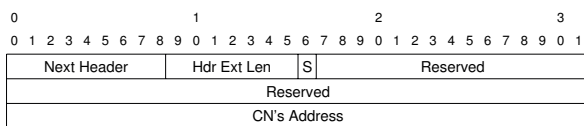


図 7: SHAKE 経路制御ヘッダフォーマット

## 2.4.1 CN への Alliance 内端末の登録

Mobile IPv6 SHAKE における Alliance 内端末の CN への登録手順を図 4 に示す。Mobile IPv6 SHAKE では、CN にトラフィック分配機構を設置するため、CN に対して Alliance 内端末を登録する必要がある。以下、AL は既に CN との Return Routability を済ませてあるものとし、AL と AM 間のメッセージ交換で、AL は AM の CoA、AM は AL の HoA を知ることを前提として述べる (図 4: ①, ②)。

先に述べたように、Mobile IPv6 SHAKE では、AL の HoA に対して、AL と AM の複数の CoA を対応付けて登録しなければならない。そのために、Binding Update List および Binding Cache を拡張する必要がある。さらに、CN ではどの端末が SHAKE を利用しているか知る必要がある。そこで、AL は CN に CoA を登録する際、SHAKE の利用を示すため、Binding Update に SHAKE (S) フラグを追加する。また、CN では Alliance 内端末の CoA が変更した場合、HoA と CoA の対応付けだけではどの端末の登録であるか判断することができない。そのため、各登録を識別するために Binding Unique Identification number (BID) [3] を使用する。AL は、BID を示した BID sub-option を Binding Update に付加して CN に送信する。BID sub-option フォーマットを図 5 に示す。P フラグは AL であることを示し、W フラグはハンドオーバー時に使用する。

### ■ AL の登録

AL は CN に SHAKE の登録を示すため、Binding Update に S フラグを追加する。その際、AL が生成した BID を指定した BID sub-option を Mobility フィールドに挿入して送信する。さらに、BID sub-option には AL であることを示す P フラグをセットする (図 4: ③)。

CN は、S フラグがセットされた Binding Update を受信すると、送信元アドレスと Home Address option に格納されている HoA との対応を Binding Cache より検索する。既に Binding Update が行われており、正当な端末と確認できたら、AL として Binding Cache に S フラグ、BID、P フラグを追加して保持する。さらに、CN は Binding Update の返答として、AL の BID を示した BID sub-option を付加し、S フラグをセットした Binding Acknowledgment を AL に送信する (図 4: ④)。

### ■ AM の登録

AL が AM の CoA を CN に登録する際も AL の CoA の登録と同様に行う。ただし、Alternate Care-of Address option を使用して、AM の

CoA を CN に伝える。また、BID sub-option には、P フラグをセットしない (図 4: ⑤)。

## 2.4.2 CN と Alliance 間の通信

Mobile IPv6 SHAKE では、AL と CN にトラフィック分配機構を設置している。それぞれ、分配したパケットは AM を経由することになるので、AL と CN の通信において AM を経由した通信を考慮する必要がある。Mobile IPv6 SHAKE における通信の流れを図 6 に示す。

### ■ CN と AL の直接通信

CN と AL の直接通信は、Mobile IPv6 に従って行われる。AL から CN へ送信されるパケットの送信元アドレスは AL の CoA、宛先アドレスは CN のアドレスとなる (図 6: ①)。CN から AL へ送信されるパケットの送信元アドレスは CN のアドレス、宛先アドレスは AL の CoA となり、Type2 経路制御ヘッダが付加される (図 6: ③)。

### ■ CN から AL への AM を経由する通信

CN が AM を経由して AL にパケットを送信する場合、パケットの宛先を AM の CoA、Type2 経路制御ヘッダの Home Address フィールドには AL の HoA を指定する (図 6: ④)。

Mobile IPv6 において、Type2 経路制御ヘッダの Home Address フィールドには、IPv6 ヘッダの宛先に指定された CoA を持つ MN の HoA を指定しなければならない。MN が自身の HoA 以外の IP アドレスが格納されている Type2 経路制御ヘッダを受信したら、そのパケットは破棄される。

従って、AM が CN から先に述べたパケットを受信した場合、Type2 経路制御ヘッダの Home Address フィールドには AM の HoA ではなく、AL の HoA が格納されているので、パケットを破棄してしまう。

そこで Mobile IPv6 SHAKE では、Type2 経路制御ヘッダに SHAKE (S) フラグを追加することで AM に対して AL へ転送すべきパケットであることを示し、AM でのパケット破棄を防ぐ。

AM は、CN からパケットを受信したら、Type2 経路制御ヘッダに含まれる IP アドレスと AM が保持している AL の HoA が一致するか確かめる。一致した場合、パケットの宛先アドレスと Type2 経路制御ヘッダに格納されている IP アドレスを入れ替えて、クラスタリンクを介して AL へ転送する。

### ■ AL から CN への AM を経由する通信

AL から AM に分配されるパケットの宛先アドレスは AM のクラスター側のリンクローカルアドレスである。AL から CN へ AM を経由してパケットを配送させるために、新たに SHAKE 経路制御ヘッダを追加する。既存の経路制御ヘッダに新しくタイプを定義し、AL から AM を経由するパケットに使用することも考えられるが、ルータでタイプが認識できない場合、パケットは破棄されてしまう。そこで、SHAKE に関与する端末のみが認識するヘッダを導入することにした。SHAKE 経路制御ヘッダのフォーマットを図 7 に示す。SHAKE 経路制御ヘッダには CN のアドレスを格納する。AM は AL からパケットを受信したら、SHAKE 経路制御ヘッダを検知する。そして、SHAKE 経路制御ヘッダから CN のアドレスを参照し、パケットの宛先アドレスを CN のアドレスに書き換える。また、パケットの送信元アドレスを AM の CoA にする。さらに、SHAKE 経路制御ヘッダには AL の HoA を格納する。

CN では、AL から AM 経由で配送されたパケットを受信すると、送信元アドレスと SHAKE 経路制御ヘッダ内のアドレスの対応付けを Binding Cache で確認する。

## 2.5 Mobile IPv6 SHAKE の実装

Mobile IPv6 SHAKE は、FreeBSD 4.8-RELEASE 上で KAME Project [4] の IPv6 スタックを用いて実装を行った。現在、CN および AL のトラフィック分配機構とハンドオーバー機構の実装を終えている。

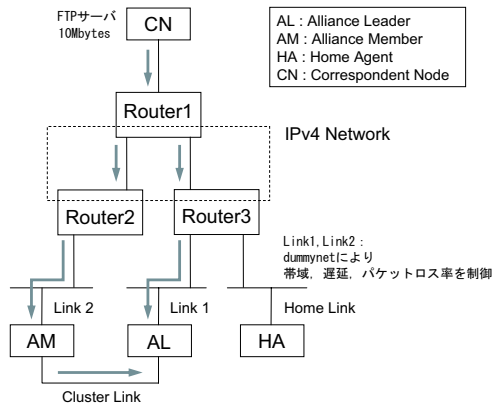


図 8: 実験環境

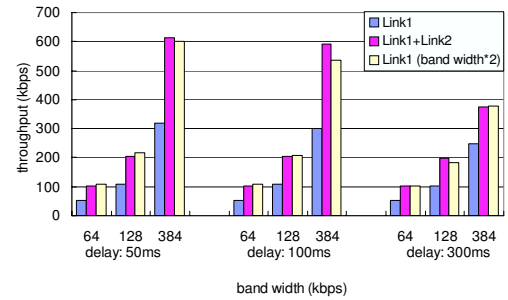


図 9: 遅延の影響による各帯域でのスループット

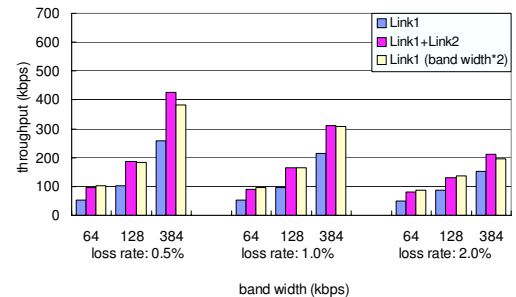


図 10: パケットロス率の影響による各帯域でのスループット

### 3 評価

#### 3.1 実験

Mobile IPv6 SHAKE の有効性を検証するため、スループットの測定を行った。Mobile IPv6 SHAKE のハンドオーバーに関する性能検証は文献 [2] を参照されたい。

実験環境を図 8 に示す。この実験環境では、AL がホームリンクを離れ、リンク 1 に移動した後、リンク 2 にいる AM と SHAKE 利用して CN と通信する状況を構築している。ルータ 1、ルータ 2 で dummynet を用いてリンク 1、リンク 2 の遅延、帯域を制限する。dummynet は IPv6 に非対応であるため、各ルータ間を IPv4 ネットワークに設定し、CN と Alliance 間の通信には 6 to 4 トンネルを用いた。

FTP サーバ (CN) から 10Mbytes のデータを転送したときのスループットを 5 回計測し、平均値を求めた。CN から Alliance 内端末への分配率は 1:1 である。以下の項目について測定した。

- 各帯域での遅延の影響によるスループット  
各リンクの帯域、64, 128, 384kbps において、遅延が 50, 100, 300ms の場合のスループットを計測した。パケットロス率は 0% とした。
- 各帯域でのパケットロス率の影響によるスループット  
各リンクの帯域、64, 128, 384kbps において、パケットロス率が 0.5, 1.0, 2.0% の場合のスループットを計測した。遅延は 100ms とした。

#### 3.2 結果と考察

本章では、先に述べた実験内容の結果を示し、その結果より Mobile IPv6 SHAKE の有効性について考察する。

- 各帯域での遅延の影響によるスループット  
図 9 に実験結果を示す。遅延 50, 100ms の場合は、各帯域において単一経路使用時のスループットと比べ、SHAKE を利用した経路 2 本のスループットは 1.85~1.97 倍の値をとっている。しかし、遅延 300ms、帯域 384kbps の場合は、単一経路使用時のスループットよりも良いものの、1.5 倍しかスループットは増加しなかった。だが、SHAKE 利用時の複数経路 (384+384kbps) と経路 1 本 (768kbps) のスループットはほぼ同じである。
- 各帯域でのパケットロス率の影響によるスループット  
図 10 はパケットロス率によるスループットの影響の結果である。各帯域において、パケットロス率が上がるとスループットが低下している。実験 1 と同様に単一経路使用時のスループットよりも SHAKE を利用した経路 2 本のスループットは高いが、1.45~1.80 倍と増加率は低い。しかしながら、複数経路 (384+384kbps) とその合計帯域相当の経路 1 本 (768kbps) のスループットを比べると複数経路の方が高いスループットを示している。

### 4 まとめ

今回の実験により、Mobile IPv6 SHAKE でのスループットの向上がみられた。SHAKE を利用して複数経路を用いた場合のスループットは、単一経路を使用したときのスループットの倍を示さなかった。さらに、遅延、パケットロス率が増加すると、SHAKE を用いた複数経路のスループットの増加率は少ない。しかし、遅延、パケットロス率が増加した場合にも、複数経路相当の帯域をもつ経路 1 本の場合との性能は変わらず、SHAKE を利用することによる性能低下は認められなかった。

今回、CN では、複数経路へ 1:1 でパケットを分配していたので、今後は各経路の帯域や遅延に基づいた CN でのトラフィック分配といった分配方式の工夫が必要である。

### 参考文献

- 伊藤陽介, 小山健二, 太田賢, 石原進: Mobile IP を用いた通信回線共有方式の実装, DICOMO2003 シンポジウム論文集, Vol. 2003, No. 9, pp. 97-100 (2003).
- 大木一将, 舛田知広, 峰野博史, 石原進: Mobile IPv6 を利用した通信回線共有方式のモビリティ機構の実装, 第 29 回 MBL 研究会 (2004).
- Ryuji Wakikawa, Keisuke Uehara, Thierry Ernst and Kenichi Nagami: Multiple Care-of Addresses Registration, *Internet-Drafts (draft-wakikawa-mobileip-multiplecoa-02.txt)* (Sep. 2003).
- KAME Project: <http://www.kame.net/>.