

## ルーチングを考慮したMIPハンドオーバー手法に関する検討

高橋 健志<sup>†</sup> 酒道 有輔<sup>†</sup> 浅谷 耕一<sup>††</sup> 富永 英義<sup>†</sup>

<sup>†</sup> 早稲田大学国際情報通信研究所

<sup>††</sup> 工学院大学電子工学科

E-mail: †take@tom.comm.waseda.ac.jp

あらまし モバイル IPv6 における主要な問題の一つに、サービス時間の中断を生じるハンドオーバー遅延がある。これまで様々な方式が提案され、この遅延は劇的に削減されてきたが、これらの方式はハンドオーバー時に冗長経路を生じるため、ネットワーク資源の消費、シグナリング遅延、そして、パケット到着順序逆転などの問題を抱える。本稿では、転送ルータを用いることにより、ドメイン間のハンドオーバーの際に生じる冗長経路を最小化する方式 R-MIP を提案する。提案方式は転送ルータ選択手法及びプロアクティブハンドオーバー手法から構成される。評価では、パケット到着順序逆転を測定し、その観点から、提案方式の有効性を示す。また、実際のルータの処理能力は有限であることを考慮し、転送ルータの処理能力が与える提案方式の影響も評価する。ドメイン間の境界ルータとその周辺から計画的に転送ルータを設置することにより、提案方式は段階的な設置が期待される。

キーワード モバイル IP, ハンドオーバー, ルーチング

## A Routing-Aware Handover Scheme based on Forwarding Router Discovery

Takeshi TAKAHASHI<sup>†</sup>, Yusuke SHUDO<sup>†</sup>, Koichi ASATANI<sup>††</sup>, and Hideyoshi TOMINAGA<sup>†</sup>

<sup>†</sup> Graduate School of Global Information and Telecommunication Studies, Waseda University

<sup>††</sup> Department of Electronic Engineering, Kogakuin University

E-mail: †take@tom.comm.waseda.ac.jp

**Abstract** One of the main issues of Mobile IPv6 is handover latency that causes service disruption time. Although plenty of proposals significantly reduce the service disruption time, they suffer from redundant routing that causes packet misordering and bandwidth consumption during the process of inter-domain handover. In this paper, we propose R-MIP, a routing-aware handover scheme for Mobile IP, that minimizes the redundant routing during the process of inter-domain handover by utilizing forwarding routers. R-MIP consists of forwarding router discovery and proactive handover. We evaluate R-MIP in the view of packet misordering and bandwidth consumption, and clarify its efficiency. We also evaluate the impact of the forwarding router's capacity since routers have limited resources. By strategically locating forwarding routers, e.g. next to the router that has peering to another domain, the redundant routing caused by inter-domain handover will be efficiently and effectively suppressed.

**Key words** Mobile IP, handover, routing

### 1. 研究背景

来たるユビキタスネットワーク時代において、モバイル端末 (Mobile Node : MN) の移動を IP レベルでサポートするモバイル IPv6 [1] は、世界中で大きな期待を集めており、既に、IETF にてベースラインの標準化が完了している。しかしながら、モバイル IPv6 はハンドオーバー時にサービス中断を生じるという問題があり、これは、リアルタイム通信、特に、インタラクティブ通信には致命的である。

本問題に対処するため、様々な方式 [2,3] が提案されており、サービス中断時間を著しく削減するのに成功しているが、これらの方式は、ドメインを跨るハンドオーバーの際には、冗長経路を一時的に生じ、それがネットワーク資源の消費、シグナリ

ング遅延、そしてパケット順序逆転を生じる結果となる。また、提案の多くはコネクションの数にかかわらず、ある一特定ルータ上にてパケット転送を行う。近い将来、移動ユーザーが、複数の通信ノード (Corresponding Node, CN) から同時に動画コンテンツを受信する等、複数コネクションを張りながらハンドオーバーすることが予想されるが、このように、これまで以上にリッチなネットワークの利用に対して、効率的なハンドオーバーを実現するための特別処理を考慮する必要がある。

そこで本稿では、ドメインを跨るハンドオーバーにおける冗長経路を削減し、サービス中断時間、パケットロス、及びパケット順序逆転を最小限に抑えるための方式を提案する。提案方式は、転送ルータ (Forwarding Router, FwR) 選択手法、及び転送ルータを用いたプロアクティブハンドオーバー手法により構成される。転送ルータ選択手法は AR がネットワークの

トポロジーを知らないにもかかわらず  $AR_i$  (Current Access Router) と  $AR_{i+1}$  (New Access Router) の間に位置する有効な転送ルータを選択可能にし、転送ルータを用いたハンドオーバー手法は、転送ルータにおいてパフファリングを行うことによりハンドオーバーのパフォーマンスを向上する。

また、提案方式では、MN が複数のコネクションを保持している場合にもハンドオーバーの性能が最適化されるように、それぞれの CN に対して最適な FwR を個別に選択する。さらに、提案方式は FMIP [3] との互換性も考慮しており、FMIP と協調することにより、より効率的なハンドオーバーを実現する。

## 2. 従来手法

MN がドメインを跨ってハンドオーバーする際には、MN は IP アドレスの設定 (CoA 再設定) 及び位置情報更新 (Binding Update, BU) を行う必要がある。これらの処理は、それぞれ CoA 構築遅延、BU 遅延となり、合わせてハンドオーバー遅延となる。

CoA 構築遅延は、FMIP [3] を用いてハンドオーバーを予測することにより、最小限に抑えることが可能である。本方式では、MN が、 $AR_i$  に接続している間に有効な  $CoA_{i+1}$  を構成し、 $AR_{i+1}$  に接続するとすぐに  $CoA_{i+1}$  を利用可能にするため、著しくハンドオーバー遅延を削減することが可能である。

BU 遅延を補償する方式の一つに、 $AR_i$  から  $CoA_{i+1}$  へパケットを転送する方式 [2,3] が存在するが、この方式はパケットロスと劇的に削減する反面、冗長経路を生じ、結果としてパケット到着順序逆転及びネットワーク資源過剰消費を生じるといった問題点がある。本方式は、送信時にも、BU 処理中は  $AR_i$  経由でパケットを送信しているため、受信トラヒックについてだけでなく、送信トラヒックについても同様の問題を抱えている。本問題に対処するための方式を、以下に提案する。

## 3. 提案手法 R-MIP

我々は、転送ルータ選択手法とプロアクティブハンドオーバー手法より構成される R-MIP (A Routing-Aware Handover Scheme for Mobile IP) 手法を提案する。

### 3.1 転送ルータ選択手法

本稿では、パケットをパフファリングし、それらを  $AR_{i+1}$  にリダイレクトするルータを転送ルータ (Forwarding Router, FwR)、FwR として動作可能なルータを転送ルータ候補 (FwR candidate) と呼ぶ。また、パケットのパフファリングと転送を行う最適な場所の一つに、CN から  $CoA_i$  宛の経路と、CN から  $CoA_{i+1}$  宛の経路の分岐する場所があり、その地点のルータのことを Cross over Router (CoR) と呼ぶ。しかしながら、CoR の位置は CN の位置に依存して変動するため、それぞれの CN 毎に CoR のアドレスを手動で設定するのは現実的でない。さらに、機能の不足や障害などにより、CoR が転送ルータとして働かないことも予測される。そのため、我々は、ハンドオーバーの度に、転送ルータを検索する方式を提案する。

理想的な転送ルータ、すなわち CoR の IP アドレスを取得するためには、CN から  $AR_i$  への経路と CN から  $AR_{i+1}$  への経路を検索するのが理想的である。しかしながら、本手法は、CN に特別な機能を要求しないという必要条件に背くため、我々は、CN から  $AR_i$  への経路と、 $AR_i$  から  $AR_{i+1}$  への経路を検索す

る。本検索手法は、後述の潜在的欠点を持っているが、 $AR_i$  でパケット転送を行う方式に比べ、冗長経路の観点で格段に効率的であり、また、CN に特別な機能を要することはない。

提案方式では、 $AR_i$  は  $AR_i$  から  $AR_{i+1}$  の経路、及び CN から  $AR_i$  への経路上で、それぞれ転送ルータ候補を探し、その結果を比較することにより、2 つの経路上で最も CoR に近いルータを選択する。 $AR_i$  から  $AR_{i+1}$  への経路上で転送ルータを発見する手法と CN から  $AR_i$  への経路上で転送ルータを発見する手法について、以下に示す。

#### 3.1.1 $AR_i$ から $AR_{i+1}$ への経路上の転送ルータ候補

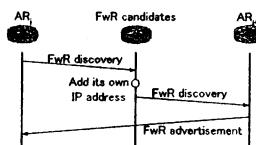


図1 FwR discovery メッセージを用いた転送ルータ選択手法

$AR_i$  から  $AR_{i+1}$  への経路上の転送ルータ選択手法を図1に示す。 $AR_i$  は  $AR_{i+1}$  へ FwR discovery メッセージを送信し、 $AR_{i+1}$  は FwR advertisement メッセージを返信する。転送ルータ候補が FwR discovery メッセージを受信すると、自分の IP アドレスをパケットに挿入し、次のルータへそのパケットを転送する。 $AR_{i+1}$  は FwR discovery メッセージを受信すると、メッセージ内に保存された転送ルータ候補の IP アドレスをそのまま FwR advertisement メッセージに挿入し、その FwR advertisement メッセージを返信する。この  $AR_i$  から  $AR_{i+1}$  への経路上の転送ルータ候補発見は定期的に行われ、その結果は  $AR_i$  内にキャッシュされる。

#### 3.1.2 CN から $AR_i$ への経路上の転送ルータ候補

CN から  $AR_i$  への経路上で転送ルータ候補発見は、MN が最初にネットワークに入ってきた際に行われる。MN がネットワークに入ってきた際、MN は BU を実行する。Binding Acknowledgment (BA) メッセージを監視することで、AR は CN から  $AR_i$  への経路上の転送ルータ候補の IP アドレスを取得することができる。

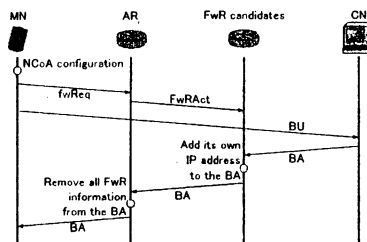


図2 Activation メッセージを用いた転送ルータ選択手法

図2に CN から  $AR_i$  への経路上での転送ルータ選択手法を示す。AR が新しい MN の接続性を認知したとき、その AR は FwRAct メッセージを、第 3.1.1 章で発見された全て又は一部の転送ルータ候補に送信する。FwRAct メッセージは CN の IP アドレスと MN の CoA を包含している。転送ルータ候補は、

FwRAct メッセージを受信すると、送信元が CN の IP アドレス、送信先が MN の CoA であるパケット全てに対し、そのパケットが BA であるか否かの検査を開始する。アクティブされた転送ルータ候補が BA を受信すると、自分の IP アドレスをその受信パケット内に挿入し、次のルータへと転送する。転送ルータ候補が到着するパケット全てについて、それが BA か否かをチェックすることも可能であるが、転送ルータ候補のリソースを不必要に消費するため、以上のように、FwRAct メッセージを用いている。AR は、BU メッセージを受信すると、転送ルータ候補に関する情報を BU から抜き出し、 $AR_{i+1}$  へと純粋な BA メッセージとして転送する。

転送ルータの処理能力が限界に達すると、その転送ルータは  $AR_i$  に自分の存在を知らせる必要は無く、BA が到着した際には、特に何の処理もせずにルーティングのみを行う。よって、提案方式は、負荷を分散可能であり、また、障害にも強いといえることができる。以上のように、転送ルータ選択に必要な全ての情報は、MN が最初にネットワークに訪れたときに集められる。しかしながら、最後の転送ルータ選択の決断は、第 3.2 章に示すように、MN がそのネットワークから出るときに下される。

提案方式の欠点としては、CoR が  $AR_{i+1}$  から  $AR_i$  への経路上に存在しない際には、 $AR_i$  は CoR を転送ルータとして指定できないことが挙げられる。この際には、 $AR_i$  は単純に CoR に最も近いと思われるルータを転送ルータとして選択する。 $AR_i$  がより有効な FwR を探す必要がある際には、オプションとして、以下の手法を実行する。

### 3.1.3 転送ルータ再選択手法

上記の転送ルータ選択手法は、ネットワークのトポロジーに依存し、図 3(a) のように、CN からのパケットのインターフェースと  $AR_{i+1}$  に向かうパケットのインターフェースが異なる場合、FwR を発見することができない。また、図 4 のように、トポロジーがいくつかの経路を持つ場合も、最適な FwR を発見することができない。従って、我々は、より効果的な FwR を発見するための転送ルータ再選択手法を提案する。転送ルータ再選択手法は  $AR_i$  によって呼び出され、MN が現在のネットワークにいる間はいつでも実行可能であり、また、後述の `buffRcq` メッセージをシグナルとしての実行も可能である。

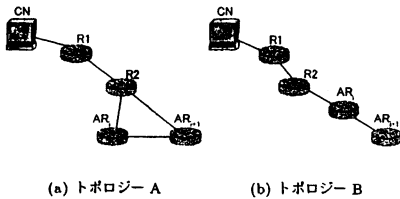


図 3 ネットワークトポロジー

転送ルータ再選択手法は、 $AR_i$  が単一の  $AR_{i+1}$  候補のアドレスを含んでいる FwR rediscovery メッセージを送信することにより始まる。第 3.1 で発見された CN から  $AR_i$  の経路上の FwR 候補にのみ、 $AR_i$  は FwR rediscovery メッセージを送付する。転送ルータ選択手法とは異なり、転送ルータ再選択手

法は、 $AR_i$  に単一の  $AR_{i+1}$  のアドレスを指定し、FwR 候補のルーティングテーブルを調べるように要求する。

メッセージを受け取ると同時に、その FwR 候補は、ルーティングテーブルを調べ、 $AR_{i+1}$  のアドレス (`nh(AR_{i+1})`)、 $AR_i$  のアドレス (`nh(AR_i)`) への次ホップと、CN からの  $AR_i$  (`ph(AR_i)`) への一つ手前のホップを調べる。`nh(AR_{i+1})` が `nh(AR_i)` と同一なら、FwR 候補は、 $AR_i$  に "follow" フラグの立った FwR readvertisement メッセージを送信し、そうでない際には、"divert" フラグの立ったメッセージを送信する。

$AR_i$  は、FwR rediscovery メッセージを送付した全ての FwR 候補からメッセージを受信すると、受信したメッセージを、FwR 候補との距離に近い順に並べ替える。 $AR_i$  が "follow" フラグを "divert" フラグあるいは "reverse" フラグの後に発見した際には、最後に "divert" フラグか "reverse" フラグを送った FwR 候補が FwR となる。 $AR_i$  が "divert" フラグあるいは "reverse" フラグを発見し、その後、"follow" フラグを発見できなかった際には、最後に "divert" フラグか "reverse" フラグを送った FwR 候補が FwR となる。 $AR_i$  が "divert" フラグも "reverse" フラグも発見できない際には、 $AR_i$  が FwR となる。この場合、図 3(b) に示すように、 $AR_i$  は、CN から  $AR_{i+1}$  への経路上に存在するか、あるいは、CN から  $AR_i$  への経路上に利用可能な FwR 候補が存在しない場合である。

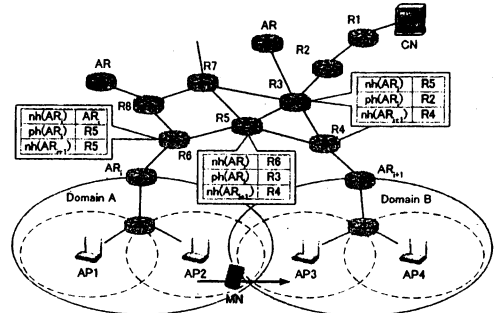


図 4 転送ルータ再選択手法

例えば、図 4 の全てのルータが FwR 候補で、全ての  $AR$  が  $AR_{i+1}$  候補であると仮定すると、 $AR_i$  は、R3, R5, R6 が CN から  $AR_i$  の経路上の FwR 候補であると知ることができる。転送ルータ再選択手法は、 $AR_i$  から R3, R5, R6 に送られる FwR rediscovery メッセージによって始まる。メッセージを受信するとすぐに、R5 及び R3 が "divert" フラグのついた FwR readvertisement メッセージを送信する一方で、R6 は "reverse" フラグのついたメッセージを送信する。よって、上記のアルゴリズムにより、転送ルータ選択手法によって選ばれる R5 よりも適した、R3 が FwR として選ばれる。

## 3.2 転送ルータを用いたハンドオーバー手法

### 3.2.1 プロアクティブバッファリング

$AR_i$  から  $AR_{i+1}$  へパケットをトンネリングすることにより、ハンドオーバー時のパケットロスが劇的に減少するが、トンネル生成以前に MN へ転送されたパケットはネットワーク中で破棄される。そのため、提案方式では、トンネル生成以前に破棄されてしまったパケットを補償するプロアクティブバッファリン

グを行う。

本処理は、MN がバッファリング要求 (buffering request, bufReq) メッセージを送信することにより開始する。MN がハンドオーバーすべき次のネットワークを検出した際、その MN は  $AR_i$  に bufReq メッセージを送信する。その  $AR_i$  は適切な転送ルータへその bufReq メッセージを転送する。ここで、 $AR_i$  は転送ルータの存在を把握しなければならないが、MN は転送ルータの存在を全く知る必要は無い。bufReq メッセージを受信すると、転送ルータはバッファリングを開始し、タイムアウトが生じるまで、バッファリングを継続する。

### 3.2.2 パケット転送

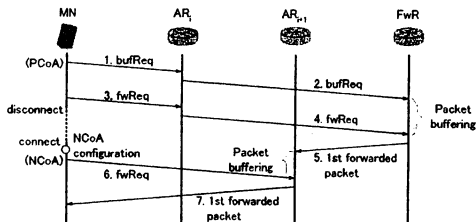


図5 パケット転送処理

図5はパケット転送処理を示している。MNは、新しいネットワークへ移動する際、コネクションを切り替える直前に、 $AR_i$  へ fwReq メッセージを送信する。このメッセージには次に接続するアクセスポイント (AP) 識別子を含む。 $AR_i$  は、MN から fwReq メッセージを受信すると、アクセスポイント識別子から、 $AR_{i+1}$  の IP アドレスを決定し、その情報を fwReq へ追加し、適切な転送ルータへ転送する。そして、その転送ルータは、直ちに CN から  $CoA_i$  宛のパケットを  $AR_{i+1}$  へ転送を開始する。ここで、その転送に先駆けて、これまでバッファされていたメッセージも  $AR_{i+1}$  へ送信する。 $AR_{i+1}$  はこれらの転送されたパケットをバッファリングし、その MN が管理下ネットワークに出現するのを待機する。

MN が新しいネットワークへ移動すると、MN は fwReq メッセージを  $AR_{i+1}$  へ向けて発信する。 $AR_{i+1}$  は、そのメッセージを受信することにより MN の出現を感知し、その MN 端末宛のバッファリングされたパケットを転送する。もし、 $AR_{i+1}$  が fwReq メッセージを一定時間内に受信できなければ、 $AR_{i+1}$  はバッファリングしたパケットを廃棄する。

また、MN は BU 処理を終了するまで  $CoA_{i+1}$  を用いて CN へパケットを送信することができない [3]。MN が BU 処理を終了する前に CN へパケットを送信する際には、IP ヘッダの送信元フィールドは FMIP 同様、 $CoA_i$  を用いる。 $AR_{i+1}$  は、そのパケットを受信すると、パケットをカプセル化し、転送ルータへトンネリングする。そして、転送ルータはそのパケットのカプセルを解凍し、CN へもともとのパケットを送信する。以上のように、MN はパケットの受信時だけでなく、送信時においても、冗長経路を抑制する。それに従い、パケット到着順序逆転、パケットロス、そしてネットワーク資源の消費も同様に抑制される。

### 3.3 ステート情報

提案方式において、FwR 候補と FwR と  $AR$  はプロトコル特有のステート情報を保持する必要がある。FwR 候補は、(CN

のアドレス、 $CoA_i$ , timeout) で構成されるステートを保持し、BA が検知されるか又はタイムアウトが生じるまで、ステートのエントリーに記述された CN のアドレスと、それに対応する CoA に送られたパケットがないかどうか、到着する各パケットを検査する。パケットのバッファリングと転送を行う FwR は、(CN のアドレス、 $CoA_i$ ,  $AR_i + 1$  のアドレス, flag, timeout) で構成されるステートのエントリーを保持する。フラグは、それぞれ on (forwarding) か off (buffering) で、このステートはタイムアウトが切れるまで有効である。 $AR_i$  は、( $CoA_i$ , CN のアドレス, FwR 候補のアドレス群) から成っているステートのエントリーを保持する。CN から  $AR_i$  の経路上に FwR 候補を発見するため、 $CoA_i$  及び CN のアドレスは参照され、CN からの  $AR_i$  の経路上で発見された FwR テーブルに保存される。但し、提案方式は、FMIPv6 [3] 同様、アクセスポイントの識別子から  $AR$  の IP アドレスをマッピングするデータベースを  $AR$  が持つと仮定している。

### 3.4 FMIPv6 との互換性

提案方式は FMIPv6 と協調動作することにより、より効率的に動作する。提案方式は、FMIPv6 の機能拡張としてみることもできる。提案方式では、MN は FMIPv6 において RtSolPr メッセージを送るのに対し、bufReq メッセージを送る。また、MN はハンドオーバーの前に、FMIPv6 においては FBU を送るのに対し、提案手法では、fwReq メッセージを送る。さらに、MN はハンドオーバーの後、FMIPv6 においては FNA を送るのに対し、提案手法では fwReq メッセージを送る。RtSolPr メッセージを bufReq メッセージに、ハンドオーバーの前の FBU メッセージを fwReq メッセージに、そして、ハンドオーバーの後の FNA を fwReq メッセージに置き換えることで、提案方式は FMIPv6 準拠の MN にとって透過的となる。この際、提案方式は、FMIPv6 との連携のために  $AR$  に拡張が要求されるが、詳細は本稿の範囲外である。

## 4. 評価

パケット到着順序逆転と消費帯域幅の観点から提案方式を評価する。また、提案方式のインターネットへの展開についても議論する。

### 4.1 パケット到着順序逆転

MN が一つの CN とのみ通信をしている際の、パケット到着順序逆転を評価する。理想的には、パケット到着順序逆転を完全に解消する CoR が転送ルータとして選ばれるべきであるが、第 3.1.2 章で述べた提案方式の制限により、CoR を転送ルータとして選択できない場合が考えられる。そのため、我々は、CoR が転送ルータとして選ばれない際のパケット到着順序逆転の度合いを評価する。本評価は、NS2 シミュレータ [4] を用い、図 4 に示すトポロジー上にて行った。また、各々のリンク遅延は 10msec と設定した。ここで、CN は CBR トラフィックを、AP2 に接続されている MN へと送信している。そして、この MN はドメイン A からドメイン B へとハンドオーバーする。

提案方式では、R5 が転送ルータとして選択されるが、この際、R5 は CoR ではないため、パケット到着順序逆転が生じる。図 6 は従来方式 ( $AR_i$  を転送ルータとして用いる方式) と、提案方式 (R5 を転送ルータとして用いる方式) のそれぞれについて、パケット到着順序逆転を生じたパケット数を表したものである。また、R5 が転送ルータとして動作しない場合を想定し、

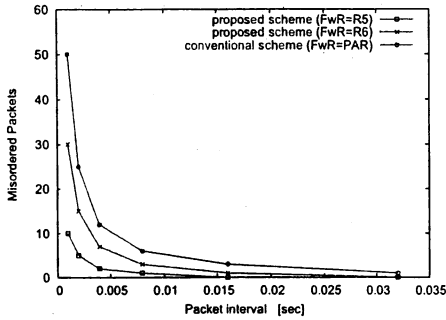


図6 パケット到着順序逆転(単一コネクション)

R6が転送ルータとして動作した際のパケット到着順序逆転の個数も同図に示す。横軸は秒単位のパケット到着間隔を、縦軸は到着順序逆転したパケットの数を示す。但し、ビットレートは128kbpsに固定であり、パケット到着間隔に応じてパケットサイズは決定されている。図6より、パケット到着間隔が小さくなるに従い、到着順序が逆転するパケットの数も増加することが分る。提案方式はCoRが転送ルータとして選ばれなかった際には、パケット順序逆転を生じるが、従来方式に比べてその程度をかなり改善することが可能であることが分る。

また、転送ルータ再選択手法を用いることにより、AR<sub>i</sub>は転送ルータ発見手法により発見されるFwRよりも適切なFwRを発見可能である。CoRがAR<sub>i</sub>から近隣のARの経路上にあり、また、CoRがFwR候補であるとする、転送ルータ再選択手法は、AR<sub>i</sub>がFwRとしてCoRを選択することを可能にする。

インターネットでは、全てのルータが我々のプロトコルを一齐にサポートすることを期待できない。しかしながら、戦略的に注意深く転送ルータを設置することによって、ドメイン間ハンドオーバーにより引き起こされる冗長なルーティングを効果的に抑制することができる。ドメインを跨るハンドオーバーの際には、トラフィックはドメイン間の境界ルータを経由する為、その境界ルータ上、あるいはその周辺に配置することにより、効果的に冗長経路を削減可能である。

表1 パケット到着順序逆転(複数コネクション)

	CN1	CN2	CN3	Total
Conventional	60	20	80	160
R-MIP without mFwR	40	-	60	100
R-MIP with mFwR	-	-	-	-

次に、ハンドオーバー時にMNが複数のコネクションを持っている際の、パケット到着順序の不一致について提案方式の評価を行った。提案方式では、MNは、各コネクションの冗長経路が最小になるように、各コネクション毎に、適切なFwRを利用する。

図7において、MNはCN1、CN2およびCN3と通信を行っており、二つのネットワーク間をハンドオーバーしている。そのMNがハンドオーバーを始める際、AR<sub>i</sub>は各CN毎にFwRを選択する。よって、R3、R6、R4がそれぞれCN1、CN2、CN3のコネクション用のFwRとして選択される。以上のように、MN

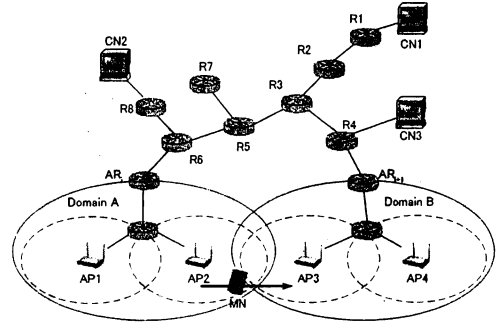


図7 シミュレーショントポロジー

は各CNのための最適なFwRを選択可能である。ネットワーク管理の方針により、複数のFwRサポートが許可されない際には、AR<sub>i</sub>はすべてのコネクションに共通なFwR、この例では、R6を唯一のFwRとして選択しなければならない。

提案方式の有効性を評価するため、NS2シミュレーターを用い、図7において、到着順序逆転するパケット数を計測する。ここで、CN1、CN2、そしてCN3はMNにそれぞれ128kbpsのCBRトラフィック(パケット間隔=0.001sec)を送っている。表1は、従来手法、複数のFwRサポートをしないR-MIP(R-MIP without mFwR)、そして複数のFwRサポートのあるR-MIP(R-MIP with mFwR)のそれぞれを利用した際の到着順序逆転を生じたパケット数を表す。従来手法においては、AR<sub>i</sub>が単一のパケット転送ポイントであるので、3つのコネクションのすべてがパケットの到着順序逆転を生じる。R-MIP without mFwRでは、R6が単一のFwRとして選ばれ、CN2はパケット到着順序逆転を生じないが、CN1やCN3にとってはR6は最適な転送ルータでないため、パケット到着順序逆転を生じる。R-MIP with mFwRでは、R3、R6、そしてR4が、それぞれCN1、CN2、CN3のFwRとして利用されるため、どのコネクションもパケット到着順序逆転を生じない。但し、図4に示すトポロジーの際には、上記のように、パケット到着順序逆転の影響を受けるが、それでもR-MIP with mFwRは到着順序逆転を生じるパケット量を大幅に削減する。以上のように、各コネクション毎にFwRを選択することにより、到着順序逆転を最小限に抑制可能であることが分る。

#### 4.2 ネットワーク帯域消費

図4のネットワークトポロジーにおいて、消費帯域の観点から提案方式を評価する。転送ルータ選択手法及び転送ルータ再選択手法を用いることにより、ドメインAのAR<sub>i</sub>はR3、R5及びR6がドメインAからドメインBへハンドオーバーするためのFwRであることを知っており、一方、ドメインBのAR<sub>i</sub>は、R3及びR4がドメインBからドメインAにハンドオーバーする際のFwR候補であることを知っている。全てのMNはCNから2Mbpsのトラフィックを受信しており、ドメインAとドメインBの間を移動している。本シミュレーションでは、ハンドオーバー遅延を1秒と仮定し、また、1つのネットワークから別のネットワークに移動するMNの数は、Box-Muller変換(平均=10、標準偏差=2)を用いた一様擬似乱数で計算される。

まず、我々は全てのFwRに無制限容量があり、一つの最適な場所に設置されたFwRがMNのハンドオーバーを支援すると

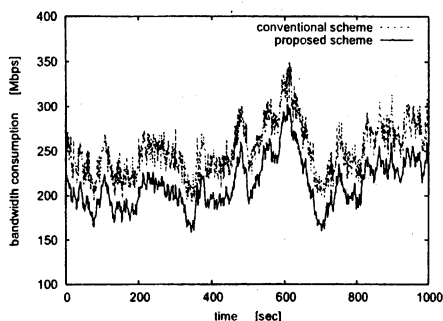


図8 ネットワーク帯域消費量

仮定した。図8は、R5とAR<sub>i</sub>間のリンクの消費帯域の観点からの従来手法と提案方式の比較を示す。横軸は、シミュレーション経過時間を、縦軸はAR<sub>i</sub>とR5間の消費帯域(Mbps)を示す。図8より、提案方式は、従来手法に比べて消費帯域を常に抑えられていることが分る。

次に、我々はFwRの"capacity"に制限があり、各FwRが同時にある程度の数のハンドオーバーしかサポートできないことを想定し、シミュレーションを行った。ここで、我々は、"capacity"を一つのFwRが同時に扱うことのできるハンドオーバーの数と定義する。FwRの中のパケットの転送やバッファリングはルータにとって余分な負荷となるため、各FwRのcapacityが限られていることは自然である。図9は、従来手法、転送ルータ選択手法を用いるR-MIP、および転送ルータ再選択手法を用いるR-MIPのそれぞれの場合について、各FwRのcapacityとR5とR6間、AR<sub>i</sub>とR6間のリンクの消費帯域の関係を示している。横軸はFwRのcapacityを、縦軸は消費帯域(Mbps)を表す。但し、R3は、ドメインAからドメインBへのハンドオーバーと同様にドメインBからドメインAへのハンドオーバーについてもFwRとして働いている。図9より、各FwRに多くのcapacityが大きいほど、消費帯域が最小値に達するまで、より多くの消費帯域を抑えることができ、また、よりAR<sub>i</sub>に近いところで、消費帯域を押さえられていることが分る。転送ルータ再選択手法を用いると、ハンドオーバーをサポートするFwRの数が増加するため、転送ルータ選択手法のみを利用する以上に多くの消費帯域を抑えることが可能となる。

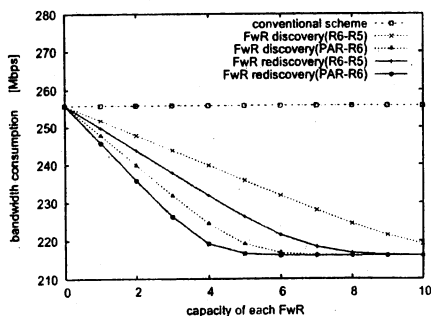


図9 転送ルータのcapacityが与える影響

#### 4.3 インターネットへの展開

提案方式は、FMIPに準拠したMNからは透過的であるため、AR<sub>i</sub>が提案方式R-MIPをサポートする際には、R-MIPを実施するが、そうでなく、FMIPv6のみをサポートしていれば、FMIPv6を実施する。FMIPv6もサポートされない際には、モバイルIPはARからの助けなしで実行される。提案方式の機能性はネットワークのインテリジェンスにより達成されるので、段階的な導入が可能である。FwRの導入という観点では、提案方式はFwRがnon-FwRと共存することを可能にするので、FwRを一つずつ段階的に導入することが可能である。インターネットにおいて、全てのルータが提案方式を一齐にサポートするという事は期待できないので、幾つかのFwRをネットワーク上に戦略的に配置することによって、例えば、他のドメインとの境界ルータやその周辺に配置することによって、多くのMNは提案方式から恩恵を受けることができる。しかしながら、R-MIPの導入可能性のボトルネックとなるのは、ARにおける提案方式のサポートである。FMIPv6において、ARの改良は、必要最小限ですむが、現在のインターネットの発展は、ARへ特別機能を持たせるのを避ける傾向にある。逆に、ARを含むネットワークルータには、単に目的地向かってパケットを転送することしか要求されず、エンドノードに全ての機能を持つことが要求される傾向にある。このような状況下、広くARにFMIPv6を実装するのと同様に提案方式を実装することは非常に困難である。したがって、ARに機能を要求しない改良型R-MIPを考案する必要がある。

#### 5. 結論

ドメインを跨ぐハンドオーバー時のサービス時間中断を最小限に抑えるため、我々は転送ルータを用いたハンドオーバー手法及び転送ルータ選択手法からなる方式を提案した。転送ルータを用いたハンドオーバー手法は転送ルータにおいてバッファリングと転送を行うことにより、ハンドオーバーのパフォーマンスを向上するのに対し、転送ルータ選択手法はARがトポロジーを意識することなく転送ルータを選択することを可能にする。評価では、到着順序逆転を生じるパケットの数を評価することにより、提案方式の有効性を示した。また、将来、MNが複数のCNと同時に通信しながらハンドオーバーする際には、それぞれのCN毎に最適な転送ルータを用いることにより、ハンドオーバーのパフォーマンスが向上できる。提案方式は、現段階では、提案方式をサポートするルータを多く期待することはできない。しかしながら、数個の転送ルータ候補を注意深く設置することにより、膨大な量のMNがその転送ルータの恩恵にあずかることができる。今後は実装を行い、ルータ上でのプロトコルの処理のオーバーヘッドを評価する。

#### 文献

- [1] D. B. Johnson, C. E. Perkins, and J. Arkko, "Mobility Support in IPv6," *IETF RFC 3775*, June 2004.
- [2] C. E. Perkins and K.-Y. Wang, "Buffer Management for smooth handoffs in Mobile IPv6," *Proceedings of IEEE International Symposium on Computers and Communications*, July 1999.
- [3] R. Koodli, "Fast Handovers for Mobile IPv6," *IETF Internet Draft (draft-ietf-mipshop-fast-mipv6-02.txt)*, July 2004.
- [4] "The Network Simulator - ns-2." [Online]. Available: <http://www.isi.edu/nsnam/ns/>