

Mobile IP を用いた高速ハンドオフプロトコルに関する一検討

高宗 俊輔† 泉川 晴紀‡ 甲藤 二郎††

† 稲田大学工学部 †† 稲田大学大学院理工学研究科
〒169-8555 東京都新宿区大久保 3-4-1
Tel: 03-5286-3393
E-mail: † takamune@katto.comm.waseda.ac.jp

あらまし モバイル環境でリアルタイムメディアを扱うための高速ハンドオフ手法を提案する。従来手法の階層化 Mobile IP や Simultaneous Bindings では、パケットの誤順序やバッファ管理の複雑さが問題となるが、提案方式ではパケットの流れに注目して AR[Access Router]とMAP[Mobility Anchor Point]が多段にパケットの Buffer/Bicasting の切り替えを行うことによってこれらの問題の解決を目指す。さらに本稿では解析とシミュレーションを併用した定量評価により提案方式の有効性を示す。

キーワード Mobile IP、ハンドオフ、誤順序、リアルタイムマルチメディア、階層化 Mobile IP、Fast Handoff

A Proposal for Fast Handoff using Mobile IP

Shunsuke TAKAMUNE† Haruki IZUMIKAWA‡ Jiro KATTO††

† Department of Electronics, Information and Communication Engineering, Waseda university
‡ Graduate School of Science and Engineering, Waseda university
3-4-1, Ohkubo, Shinjuku-ku, Tokyo, 169-8555 Japan
Tel: +81-3-5286-3393
E-mail: † takamune@katto.comm.waseda.ac.jp

Abstract: New Fast hand-off techniques for real-time media in a mobile environment are proposed. The Hierarchical Mobile IP and Simultaneous Bindings proposals improve the hand-off latency of Mobile IP, but they suffer from packet miss-ordering and complexed buffer management. The two proposed methods try to solve these problems by dynamically changing buffering/bicasting state of packet flows among ARs(access routers) and MAPs(mobility anchor points). Furthermore, simulation results with analytical estimation quantitatively validates effectiveness of the proposed hand-off schemes.

Keywords: Mobile IP, Handoff, miss-ordering, real-time multimedia, Hierarchical Mobile IP, Fast Handoff

1. はじめに

近年、コンピュータの小型化や軽量化、高性能化に伴い、携帯可能なコンピュータ端末が普及することによって、ユーザがいつでもどこでもネットワークにアクセスすることが出来るようなモバイル環境が整いつつある。

従来の IP 通信では、ネットワークにおける位置の移動が考慮されていないために、モバイル環境に対応することが出来ない。このため、IP をモバイル環境に適用することを目的とした Mobile IP[1]が提案され、都内でもすでに数箇所において実証実験が行われている。この Mobile IP の利用により、モバイルノード[MN]がインターネットとの接続位置を変えたとしても、あたかもそのモバイルノードがホームネットワークにいるような環境を提供することが出来、引き続き移動後も通信し続けることが出来る。

このように、Mobile IP は、あるシステム内の数多くのユーザにインターネットの移動性をサポートし、なおかつ相当のスケラビリティを有するような強力なプロトコルであるが、インターネットの高ラウンドトリップ遅延や、MN とホームエージェント[HA](または通信相手[CN])間でのシグナリングの授受に多大な時間がかかることといった Mobile IP システムのオーバーヘッドのために、MN が接続ポイントを変更する[ハンドオフ]ごとに数秒程度の接続の断絶が発生してしまう。これにより TCP の手続き開始が遅れてしまったり、リアルタイムマルチメディア送信が妨げられてしまったりすることが考えられる。

これらハンドオフ問題を解決する案として、アクセスルータ[AR]を階層的に配置する階層化 Mobile IP[2]や、ハンドオフ前にハンドオフを行うことを AR に通知する Fast Handoff[3]、AR がパケットを複数コピーして多方向転送する Simultaneous Bindings[4]などが検討されている。しかしこれらはパケットの誤順序問題を新たに抱えている。そこで、AR がパケットの流れに注目しながら、パケットのバッファ/多方向転送の切り替えを行うことにより、これらの諸問題を改善する提案を行う。

以下、2 章では、ハンドオフ問題を解決する従来手法について説明し、3 章において提案手法について説明する。4 章では、シミュレーション評価を行い、最後に 5 章でまとめを行う。

2. 従来手法とその問題点

2.1. 階層化 Mobile IP [HMIP]+Fast Handoff

HMIP では、Foreign Network に階層構造と MN のローカルな位置管理を行う MAP[Mobility Anchor Point]を導入する。この MAP ドメイン内移動時には、HA や CN と比較してより近くに存在するであろう MAP へと位置登録を行うことにより、その登録時間を削減することが可能である。ただし、MN が新ドメインへ移動した際は、通常の Mobile IP と同様に新 AR からのルータ広告を受信してから、MN は位置登録を開始する。よって、通信相手からのパケット

を受信出来るようになるのは、その位置登録処理が終わった後であり、それまではパケットをロスすることになる。

そこで、HMIP に Fast Handoff の概念を組み合わせた手法が[2]で提案されている。Fast Handoff では、MN が旧 AR から新 AR にハンドオフする場合、MN はハンドオフ前に旧 AR に Fast Binding Update と呼ばれるハンドオフ予告通知を送信する。受信した旧 AR は、今までの旧 CoA [Care of Address: 一時的な外出先アドレス] 宛のパケットを、新 AR を経由して転送するようにする。その際、MN が新 CoA を得ていれば出口を新 CoA としてトンネリングするが、MN が新 CoA を得ていない場合は、出口を新 AR としてトンネリングする。後者の場合、受信した新 AR は、デカプセル化後、一時的にホスト特定ルートに旧 CoA 宛を加えて、MN の旧 CoA へとパケットを転送する。

この概念を HMIP に組み合わせる場合、遅延や帯域の有効活用、MN の位置管理などを考慮して、旧 AR でなく MAP が MN からの Fast Binding Update を受けて、パケットのルーティングを変更する。

ただ、この手法の問題点は、MN が新ドメインに移動して位置登録した後、HA や CN から直接届くパケットと、一部残った旧ドメイン側から転送されるパケットとの間で、パケットの誤順序問題が発生してしまう点にある。仮に、MN 側でこれらのパケットが的確に区別出来たととしても、バッファ管理の複雑化は避けられない。また、ハンドオフ予告があまりにも早い場合には、新 AR がパケットをバッファするなどといった適切な処理を行わないと、MN が新ドメインとの接続を確立する前にパケットを新 CoA 側に転送してしまい、その分パケットをロスしてしまうことになる。

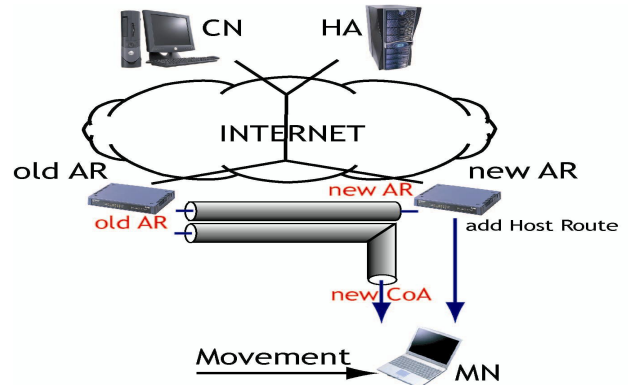


図 2.2. Fast Handoff 概要

2.2. Simultaneous Bindings

この提案では、短い期間 MN 宛のパケットが、HA/CN か MAP または旧 AR により、MN の現在地や近いうちに移動すると思われる場所へと 2 重/多重コピーされて転送されるようにする。これにより、Fast Handoff での予測の難しいパケット転送タイミングを考慮することなくパケットロスの低減を可能とし、ある AR 間での MN の ping-pong[行ったり来たり]動作にも対応出来る。仮に、MAP や旧 AR が Bicasting した場合を図 2.3. に示す。

旧 AR で Bicasting を行う場合[以下 S_AR]は、MAP で

Bicasting を行う場合[以下 S_MAP]と比べて、Bicasting を行う時間が早いめにパケットロスが少ないと言った利点があるものの、一部の packets が MAP→旧 AR→MAP→新 AR と流れるため、冗長経路が発生してしまうと言った問題点が挙げられる。また、その他の問題点として、S_AR では、ドメイン内移動時において、MN が AR12 の下へ移動して MAP1 に位置登録を行った直後に、MAP1 から直接転送される packet と、AR11 から転送される Bicasting packet との間で packet の誤順序問題が発生する点、両手法とも、HMIP+Fast Handoff と同様に、ドメイン間移動時に packet の誤順序問題が発生する点が挙げられる。

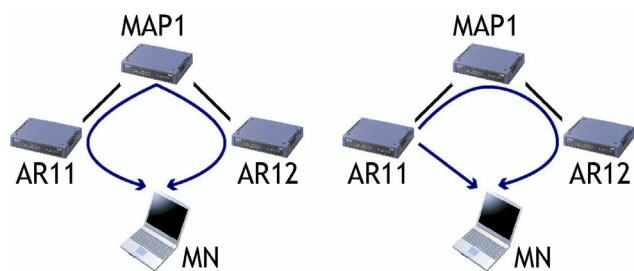


図 2.3. Simultaneous Bindings

3. 提案手法

3.1. 提案手法 1

3.1.1. 目的

提案手法では、前章で説明した Mobile IP ハンドオフ問題改善案[従来手法]の問題点の解決を目的とする。具体的には、

- (1) packet の誤順序到着を避ける
- (2) packet の廃棄率を可能な限り抑える
- (3) packet の遅延を可能な限り抑える
- (4) ネットワークリソースの浪費を可能な限り抑える

とする。ここで、(1)を第一目的とし、(2)、(3)、(4)は、(1)を実現した上で、従来手法と同レベルか、またはそれ以上を維持出来ることを目標とする。

3.1.2. 検討事項

提案手法 1 では、3.1.1.の目的を実現するために、階層化構造に Fast Handoff の概念を利用する。ただ、Fast Handoff はタイミングの取り方に非常に敏感であるので、提案手法 1 では、さらに Simultaneous Bindings でも利用されている Bicasting 手法を導入する。以上を前提として、提案手法 1 の実現方法を考察する。

(1) Bicasting を行うルータ

提案手法 1 を考える上でまず問題となるのが、どのルータが Bicasting を行うかと言うことである。Simultaneous Bindings では、AR/MAP/HA/CN の 4 種類が Bicasting を行うルータの候補として挙げられているが、MN の近くにいる場合を除いては、通信相手である CN や HA が Bicasting するメリットはほとんど無いと言える。なぜなら、

HA/CN が Bicasting を行うと、Bicasting 手法によくある packet の誤順序問題が発生しにくいと言った利点があるが、本来の目的であるハンドオフ予期の難しさを補うことには繋がりにくいからである。仮に HA/CN が Bicasting を行うとしても、通常 AR や MAP と比較して MN から遠い位置にあると思われる HA/CN が Bicasting を始める頃には、MN は新ネットワークに移動済みである可能性が高く、Bicasting 自体が無駄になると言ったことが十分に考えられる。また、HA/CN の Bicasting 効果が発揮できる場合があったとしても、MN が新ネットワークへの移動後、恐らく MN の Binding Update までは HA/CN の Bicasting 状態が続くわけで、それはかなりのネットワークリソースの浪費となってしまう。

そこで、Bicasting を行うルータとして、AR か MAP を選択することにする。この場合、どちらにも一長一短がある。AR が Bicasting を行えば、冗長経路による遅延の増大が考えられ、MAP が Bicasting を行えば、AR が Bicasting を行う場合に比べて packet 廃棄率が上昇する。また、両方とも packet の誤順序問題が発生する。

以上のことから、packet 廃棄率を抑えつつ、遅延も抑えるために、まず AR が Bicasting を行い、続いて MAP が Bicasting を行うと言った、2 段階構成を提案手法 1 の基本構造とする。その中で、packet の誤順序問題に対処するため、何かしらのバッファ機構を導入する。それは、MAP が行うことも、AR が行うことも可能であるが、MAP が行うとすれば、MN の位置管理情報とデータの共有が出来、どちらかと言えば都合が良いと考えられる。詳しい誤順序を防ぐ仕組みについては、次で述べることにする。

(2) 誤順序を防ぐ仕組み

○ 提案手法

では、具体的に Bicasting を AR が行う状態から、MAP が行う状態への移行によって、どのような影響が出るのかを考えてみる。動作移行図を図 3.1.2-1. に示す。

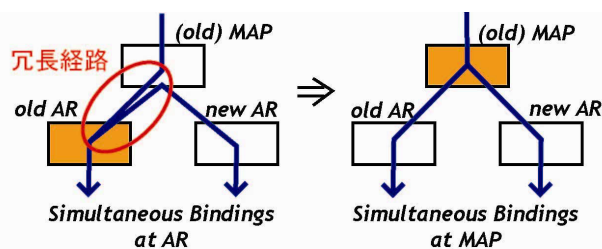


図 3.1.2-1. Bicasting 動作移行図

図 3.1.2-1.によると、左の状態から右の状態へシームレスに動作移行すると、冗長経路の部分が原因で、packet の誤順序問題が発生してしまう。これは、旧 AR から (旧)MAP へと戻ってくるような古い packet よりも先に、(旧)MAP によって新しい packet が新ルートの方向へと転送されてしまう場合があるからである。したがって、ここに誤順序を防ぐ仕組みを導入する必要がある。

この仕組みを導入した概念図を図 3.1.2-2.に示す。なお、分かり易くするために、旧ルート方向へのパケットの流れについては省略した。

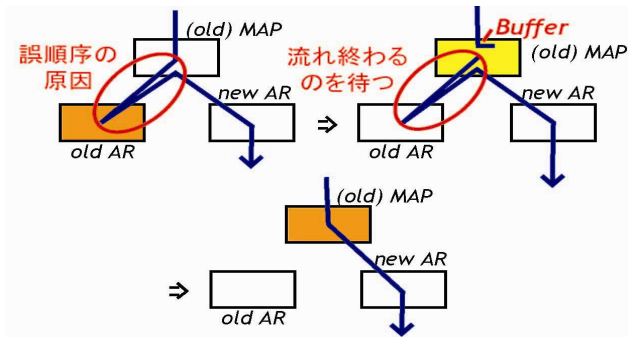


図 3.1.2-2. 提案手法 1 の動作移行概念図 1

図 3.1.2-2.において、(旧)MAP→旧 AR→(旧)MAP と流れるパケットの全てが転送され終わるのを待つために、(旧)MAP に HA/CN からのパケットをバッファする状態を導入している。これにより、パケットの誤順序を防ぎながら、Simultaneous Bindings at AR / MAP の両方の利点を享受し、なおかつ、それらの欠点を補うことが出来る。

○ Fast Handoff への適用

ドメイン間移動の場合、前章で示したどの従来手法においてもパケットの誤順序問題が発生していたが、これは Fast Binding Update の影響によるものであると言える。そこで、提案手法では、このドメイン間移動時における Fast Binding Update に基づく誤順序問題も解決する。

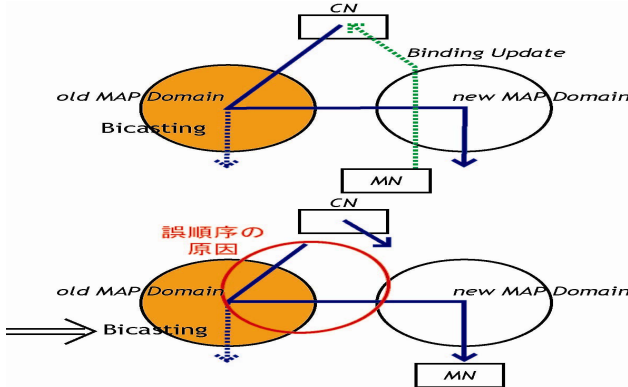


図 3.1.2-3. ドメイン間移動時のパケット誤順序問題

図 3.1.2-3.(a)は、Fast Binding Update の効果で MN が新ドメインへ移動する前に、ハンドオフ後の MN[after MN]がパケットを受信できる状況になっている図である。旧 MAP ドメイン内の点線部分は、Simultaneous Bindings により Bicast されたパケットの流れを示している。(したがって、HMIP+Fast Handoff の場合は、この点線部分は無視する。)

一方図 3.1.2-3.(b)の方は、MN からの Binding Update を受信した CN がパケットの宛先を変更して送信している図である。この時点ではまだ、CN から旧 MAP ドメイン方向へと流れるパケットが存在していて、これが新ドメイン

方向へと流れるよりも前に CN からの直接パケットが新ドメイン内に到着するとパケットの誤順序が発生する。そこで、ここにパケットの誤順序を防ぐ仕組みを導入する必要がある。

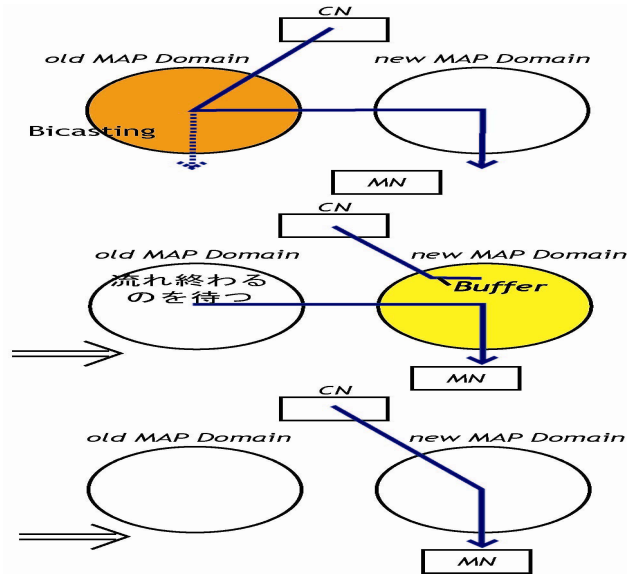


図 3.1.2-4. 提案手法 1 の動作移行概念図 2

図 3.1.2-4.は、図 3.1.2-2.と同様、新しいパケットをバッファし、古いパケットを先に流すと言った考えに基づいている。各ドメインでの処理は、MAP / AR のどちらが行うことも可能であるが、ここでもやはり MAP が処理を行うことにし、以降特に断りがない限り、これを標準とする。

(3) シグナリングと状態遷移

○ ドメイン内移動

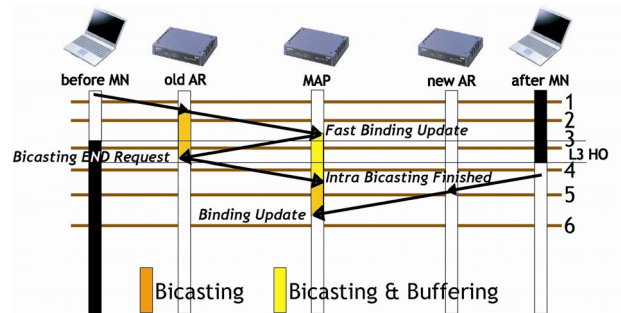


図 3.1.2-5. ドメイン内移動時シグナリングフロー図

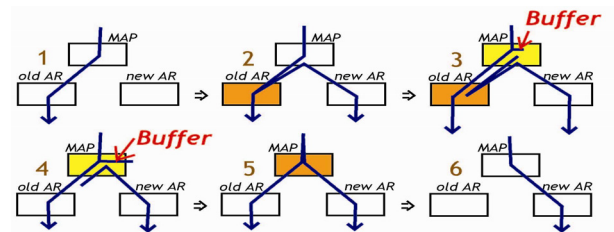


図 3.1.2-6. ドメイン内移動時シグナリングフロー図の各状態

提案手法を実現するドメイン内移動時のシグナリングフロー図を図 3.1.2-5.に示す。また、同図内の 1-6 時の各ルータの状態は、それぞれ図 3.1.2-6.の 1-6 に対応している。

○ ドメイン間移動

ドメイン間移動時のシグナリングフロー図を図 3.1.2-7. に示し、同図内の 1~7 時の各ルータの状態を図 3.1.2-8. に示す。なお、図中の点線矢印は CN を経由せず、直接旧 MAP から新 MAP へと転送される様子を示している。

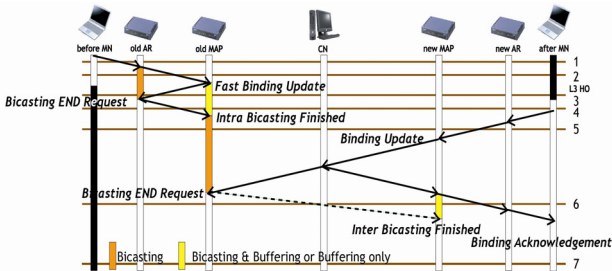


図 3.1.2-7. ドメイン間移動時シグナリングフロー図

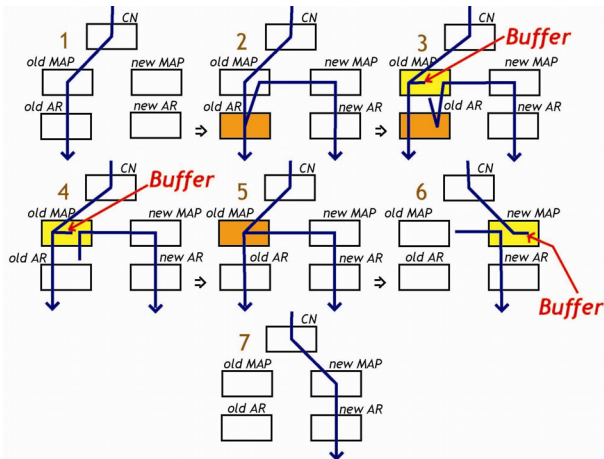


図 3.1.2-8. ドメイン間移動時シグナリングフロー図の各状態

提案手法では、既存のプロトコルに対して、ドメイン内移動、ドメイン間移動合わせて、Bicasting END Request、Intra/Inter Bicastng Finished の 3 つのメッセージを新たに追加している。また、Bicasting Finished メッセージを受信した MAP は、それまでにバッファしていたパケットを開放する。

3.2. 提案手法 2

提案手法 1 では、図 3.1.2-5. や図 3.1.2-7. を見ても分かる通り、AR よりも MAP の方が Bicasting や Bicasting & Buffering などの「特別な状態」である時間が長い。これは言い換えれば、AR よりも MAP に負荷がかかると言うことである。ある MAP ドメイン内に接続する MN の数が増えると、一気に MAP に処理が集中してしまうことが考えられる。そこで、そのような場合の負荷分散案として、提案手法 2 をここに提案する。まず、この手法の目的を、

- (1) パケットの誤順序到着を避ける
- (2) MAP への負荷を避ける
- (3) パケットの廃棄率を可能な限り抑える

とする。これは、提案手法 2 でも、やはりパケットの誤順序の発生を防ぐことを第一目的とし、その上で MAP への負荷を軽減することを目指している。

具体的な処理については、提案手法 1 において MAP

が行っていたことを全て新 AR が行うと考えれば良い。すなわち、旧 AR のみが Bicasting を行い、図 3.1.2-4. においては、MAP ではなく、新 AR がバッファすることで誤順序を防ぐ。これは、目的は異なるが、S_AR の手法に、新 AR がバッファを利用して誤順序を防ぐと言った処理を加えたものと概念的には等しい。シグナリングと状態遷移について、以下に示す。

○ ドメイン内移動

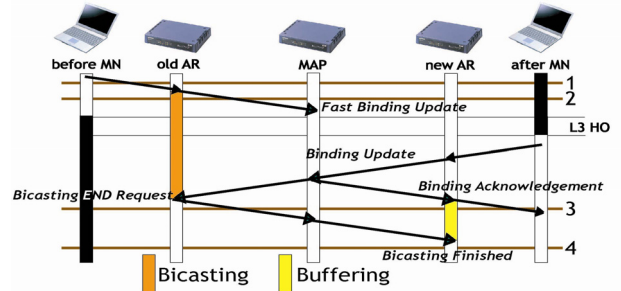


図 3.2.1. ドメイン内移動時シグナリングフロー図

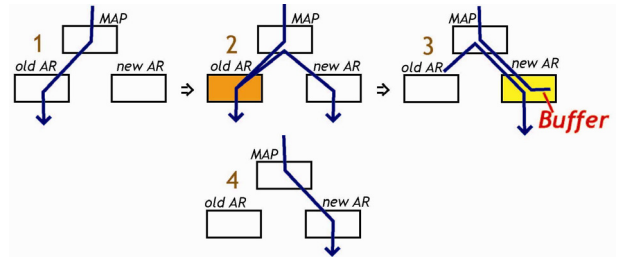


図 3.2.2. ドメイン内移動時シグナリングフロー図の各状態

○ ドメイン間移動

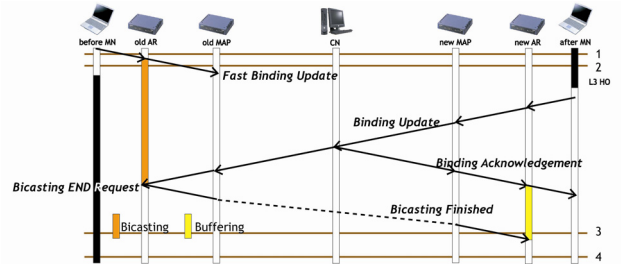


図 3.2.3. ドメイン間移動時シグナリングフロー図

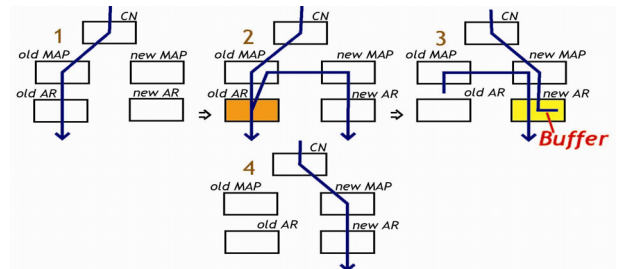


図 3.2.4. ドメイン間移動時シグナリングフロー図の各状態

図 3.2.1.、図 3.2.3. の 1-4 時の各ルータの状態をそれぞれ図 3.2.2.、図 3.2.4. に示す。提案手法 2 では、追加シグナリングとして、Bicasting END Request と Bicasting Finished が必要となる。また、Bicasting Finished メッセージを受信した AR はバッファパケットを開放する。

4. シミュレーション評価

提案手法の評価手段として、ns-2[network simulator ver. 2][5]を用いた。評価対象は、MIP、HMIP、HMIP+Fast Handoff、S_MAP、S_AR、提案手法 1、2 で、シミュレーションポロジ/条件は、それぞれ図4.1.、表4.1.の通りである。

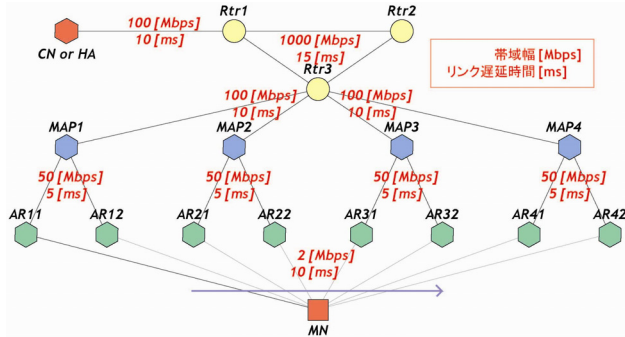


図 4.1. シミュレーションポロジ

表 4.1. シミュレーション条件

シミュレーション時間	40 [s]
UDP 送信レート	1.0 [Mbps]
UDP パケットサイズ	512 [Byte]
TCP パケットサイズ	1000 [Byte]
ハンドオフ頻度	5 [s/回]
ビーコン間隔	1.0 [s]

4.1. シミュレーションモデル

シミュレーション評価を行う前に、まず図 4.1.1.のモデルを定義する。なお、モデル上の各記号を表 4.1.1.のように定義する。これらを用いて、各手法のハンドオフ最適条件を求める。以下、断り無くこれらの記号を使用する。

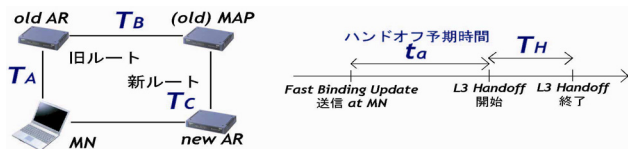


図 4.1.1. 定義モデル

表 4.1.1. モデル上の各記号の定義 (単位は[s])

t_a : MN が Fast Binding Update を送信した時刻から、実際にハンドオフを開始するまでの時間
T_H : ハンドオフ時間
T_A : ハンドオフ前の MN から旧 AR までの無線リンク遅延時間
T_B : 旧 AR から(旧)MAP までの有線リンク遅延時間
T_C : (旧)MAP から新 AR までの有線リンク遅延時間と新 AR からハンドオフ後の MN までの無線リンク遅延時間の和

○ HMIP+Fast Handoff

まず、旧ルート側でパケットロスが起きないためには、『MAP が Fast Binding Update 受信時に旧ルート上を流れる全パケット』をハンドオフ前の MN[before MN]が受信するまで、MN がハンドオフを開始しない必要があり、

$$t_a \geq 2(T_A + T_B) \quad (4.1.1.)$$

となる。一方、新ルート側でパケットロスが起きないためには、MAP が Fast Binding Update を受信したことにより、新ルート側へと転送された最初のパケットが after MN へ到着する前に、MN がハンドオフを終了している必要がある。すなわち、

$$(t_a + T_H) \leq (T_A + T_B + T_C) \quad (4.1.2.)$$

となる。したがって、

$$2(T_A + T_B) \leq t_a \leq (T_A + T_B + T_C - T_H), \quad (T_A + T_B) \leq (T_C - T_H) \quad (4.1.3.)$$

となる。この条件は、対称的な $T_A + T_B = T_C$ の場合は、

パケットロス回避は避けられないことになり、HMIP+Fast Handoff は、ハンドオフ予期 t_a の値によって、性能が大きく変化することが予想される。

○ Simultaneous Bindings

Bicasting 開始後にはパケットロスが発生しないと考えると、S_MAP は、

$$t_a \geq 2(T_A + T_B) \quad (4.1.4.)$$

となる。一方、S_AR は、

$$t_a \geq 2T_A \quad (4.1.5.)$$

となる。これは、S_MAP は HMIP+Fast Handoff より条件が厳しくなく、S_AR はさらに条件が緩いことを示している。

○ 提案手法

提案手法 1、2 も Bicasting 開始後にはパケットロスが発生しないと考えると、S_AR と同じことになり、

$$t_a \geq 2T_A \quad (4.1.6.)$$

となる。

これらの式に、今回のシミュレーション条件である $T_A=0.010[s]$ 、 $T_B=0.005[s]$ 、 $T_C=0.015/0.035[s]$ (ドメイン内/ドメイン間)と、 $T_H=0[s]$ (理想的な状態)を代入して、

表 4.1.2. パケットロスが起きない条件

	ドメイン内移動	ドメイン間移動
HMIP+Fast Handoff	$0.030 \leq t_a \leq 0.030$	$0.030 \leq t_a \leq 0.050$
S_MAP	$0.030 \leq t_a$	$0.030 \leq t_a$
S_AR 提案手法	$0.020 \leq t_a$	$0.020 \leq t_a$

表 4.1.2.を得る。上記の条件から、HMIP+Fast Handoff

では t_a が0.030[s]より大きい場合は、ハンドオフ予期が早過ぎることになり、パケットロスが増大することが推定される。また、提案手法とS_ARは、ハンドオフ予期に必要なとする時間が最も短いであろう事も推測出来る。

4.2. 評価

評価方法は、まず提案手法の第一目的である『誤順序を防ぐ』ことがどれだけ成功しているかを調べるため、受信/廃棄パケットの時間軸におけるシーケンス番号の変化を調査した。また、提案手法が主にリアルタイムメディアを対象としているため、一般的な評価法である、平均遅延時間、廃棄率の測定を行った。同時に、TCP 送受信時の提案手法の影響を調べるため、FTPを用いたTCPパケットの平均スループットの測定も行った。

加えて、4.1.で説明したハンドオフ最適条件を考慮して、ハンドオフ予期 t_a が、0.01、0.02、0.03、0.05、0.07、0.10[s]の6通りの場合を想定し、シミュレーション結果にどのような影響が出るのかを確かめた。また、ハンドオフは、リンクを接続/切断することで、仮想的に有線リンクを無線リンクとみなして行った。

上記の測定を、ネットワーク上に輻輳が無い場合と輻輳がある場合とで行った。輻輳条件は、まずMAPとAR間に一定量のUDPパケットが流れていると想定し、このMAP-AR間のリンク残帯域幅を5[Mbps]とした。続いて、各ARごとに新たに1つずつMNとは別のDummy MNを用意し、MNがそのARに接続する5秒前から次のARに移動してしまった1秒後まで、CNからのTCPパケットを受信させた。例えば、MNはAR21に10.0[s]から15.0[s]まで接続しているが、この時、同じくAR21に接続するDummy MN21には、5.0[s]から16.0[s]まで、(AR22には、10.0[s]から21.0[s]まで)TCPパケットが送信されると言った要領である。

4.2.1. シーケンス番号の変化

シーケンス番号の変化については、ハンドオフ予期 t_a を0.01[s]とした場合の、ドメイン間移動時の結果を示す(図4.2.1.(a)-(e)参照)。提案手法1、提案手法2で誤順序が防げていること、パケットロスが手法中最も少ないレベルであることが分かる。なお、受信と廃棄が両方ともあるパケットは、Bicastingの影響によるものである。

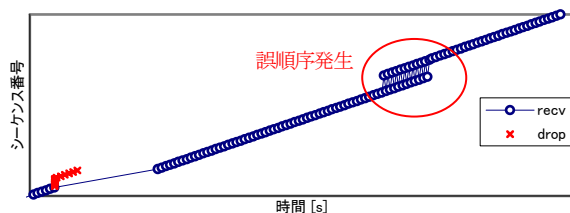


図4.2.1.(a) HMIP+Fast Handoff (ドメイン間移動)

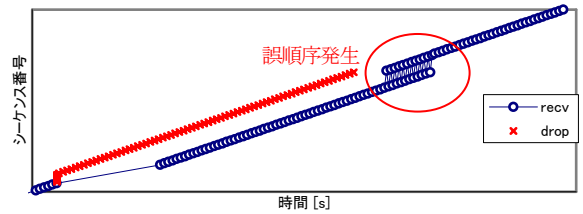


図4.2.1.(b) S_MAP (ドメイン間移動)

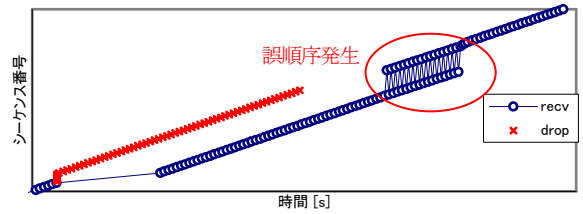


図4.2.1.(c) S_AR (ドメイン間移動)

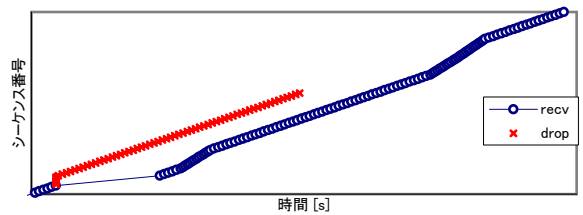


図4.2.1.(d) 提案手法1 (ドメイン間移動)

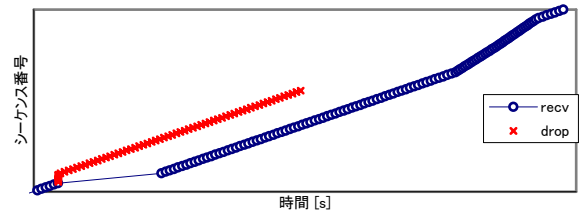


図4.2.1.(e) 提案手法2 (ドメイン間移動)

4.2.2. パケット廃棄率

結果を図4.2.2.(1)、図4.2.2.(2)に示す。提案手法も含め、旧ARでBicastingを始める手法の方が、MAPでルーティングを変更する手法に比べて、全体的にパケットの廃棄率が低いことが分かる。また、4.1.節で推測したように、HMIP+Fast Handoff方式のハンドオフタイミング条件の影響が現れている。

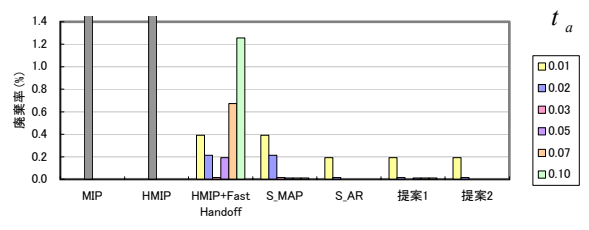


図4.2.2.(1) パケット廃棄率 [輻輳なし]

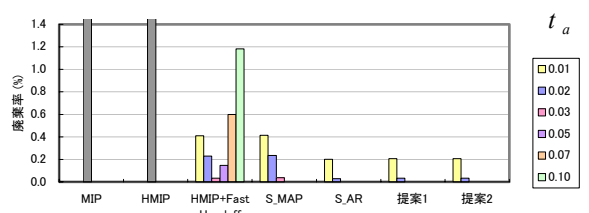


図4.2.2.(2) パケット廃棄率 [輻輳あり]

4.2.3. 平均遅延時間

結果を図 4.2.3.(1)、図 4.2.3.(2)に示す。まず、MIP、HMIP は、冗長径路が無く、バッファも行わないために、遅延が小さいと予想される。また、Bicasting を行う手法のうち、MAP で行うものと、AR で行うものを比べると、冗長径路のために、AR で Bicasting を行う手法の方が平均遅延時間が多くなると考えられる。また、提案手法 2 は、S_AR にバッファ機構を取り付けたのと同様のルーティングになることから、バッファの分 S_AR に比べて遅延が大きいと想像出来る。そして、当然輻輳が発生している方が、遅延時間が大きくなると想像出来る。下図を見ると、ほぼ推察通りの結果が得られている。

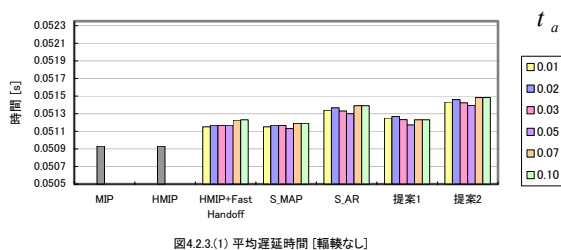


図4.2.3.(1) 平均遅延時間 [輻輳なし]

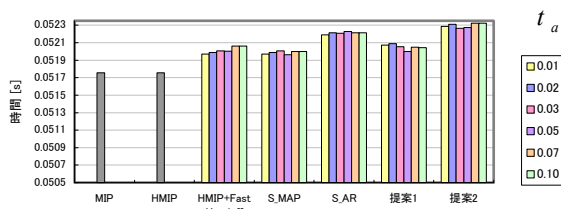


図4.2.3.(2) 平均遅延時間 [輻輳あり]

4.2.4. 平均スループット

結果を図 4.2.4.(1)、図 4.2.4.(2)に示す。平均スループットに関しては、S_ARと提案手法 1、2 が共に高い数値を維持していると言え、提案手法の利用によるスループットの低下はほとんど無いことが分かる。

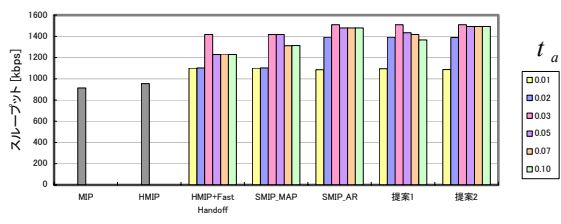


図4.2.4.(1) 平均スループット [輻輳なし]

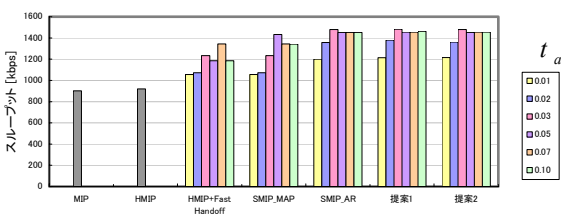


図4.2.4.(2) 平均スループット [輻輳あり]

4.3. 考察

全体的に見ると、平均遅延時間が小さい手法は、パケット廃棄率が高くなる傾向にある。提案手法 2 は、MAP への負荷を避けるために遅延の増大を許容してしまっている面があるが、提案手法 1 は、パケット廃棄率を最小レベルに抑えながら、遅延も低く抑えていることが分かる。

また、Fast Binding Update 送信時間により HMP+Fast Handoff は性能が大きく変化したが、これを防ぐために、Bicasting を行うのは有効であると言える。Bicasting を行わない場合は、やはり新 AR などがパケットをバッファする必要があると言える。

提案手法 1、2 を比較すると、シーケンス番号の変化では、提案手法 1 には傾きが急になる部分が 2 段階あるが、提案手法 2 には 1 段階だけである。この部分は、バッファしていたパケットを開放した結果による部分であり、回数は手法の仕様に基づく。バッファを開放することにより、一時的に帯域占有率が高まるが、その分遅延が減少する。ただし、提案手法 1 では旧 AR からバッファを行っている MAP への通知によりバッファを開放するのに対し、提案手法 2 の方は、旧 AR からバッファを行っている新 AR までへの通知によりバッファを開放するため、バッファ時間が提案手法 1 に比べて長くなってしまった。したがって、バッファするパケット量は、提案手法 2 の方が多くなる。

5. まとめ

本稿では、Mobile IP のハンドオフ問題、特にパケットの誤順序問題を解決する新たな 2 つの提案を行い、その有効性を確認した。共に、廃棄と遅延を抑えつつ、パケットの誤順序到着の問題を解決している。両提案の問題点は、既存プロトコルよりもシグナリング数が多いために、より確実なシグナリングの送受信を要求される点である。

参考文献

- [1] David B. Johnson et al.: Mobility Support in IPv6, July 2001, Internet-Draft
- [2] Hesham Soliman et al.: Hierarchical MIPv6 mobility management (HMIPv6), July 2001, Internet-Draft
- [3] G. Dommety: Fast Handovers for Mobile IPv6, July 2001, Internet-Draft
- [4] Hesham Soliman: Simultaneous Bindings for Mobile IPv6 Fast Handoffs, November 2001, Internet-Draft
- [5] UCB/LBNL/VINT: Network Simulator version2, <http://www.isi.edu/nsnam/ns/>