

# 移動通信環境における複合アクセスネットワーク制御方式とその基本性能評価

野田 健太郎<sup>1</sup> 安達 直世<sup>2</sup> 滝沢 泰久<sup>2</sup>

**概要:** 無線システムの普及により、スマートフォン等の複数の無線 I/F が装備された携帯端末が登場し、移動通信の多様化が進んでいる。一方で、無線通信の利用拡大に伴い、有限である周波数帯の有効利用が課題である。その解決技術としてコグニティブ無線技術が提案されている。コグニティブ無線とは、無線機が周囲の電波利用状況を認識し、状況に応じて周波数帯を適宜使い分ける技術である。以上のことから、モバイル端末における無線通信の利用拡大とその周波数帯の有効利用を目的とし、多様な無線メディアを収容したネットワークが構築されると予想される。我々は、このような無線ネットワークを想定し、多様な無線メディアから構成される複合アクセスネットワークとそのトラフィック制御方式を提案している。本稿では、移動通信環境を想定し、Mobility Anchor Point (MAP) 上で複合アクセスネットワークを制御する方式を提案し、シミュレーションによるその基本性能評価を報告する。

## Composite Wireless Access Networks on Mobile Communications and Its Evaluation

**Abstract:** In emerging wireless communication environments, mobile terminals that have multiple wireless interfaces appear and a diversity of mobile communications is emerging. On the other hand, concern is increasing that the growing use of wireless system will exhaust finite radio resources. Cognitive radio, which aims to optimize the utilization efficiency of radio resources, has been proposed as solution to this problem. Therefore, the wireless access network accommodating a diversity of wireless system will emerge. We assume above wireless access network and propose complex wireless access network consisting of a diversity of wireless system and a method of traffic distribution control. In this paper, assuming mobile communications, we explain a method to control complex wireless access network based on HMIP network architecture. Furthermore, we show its simulation evaluation.

### 1. はじめに

近年、無線システムは急速に利用拡大と多様化が進み、無線通信環境は多様な無線システムが混在する環境になってきている。一方で、無線通信の利用拡大に伴い、周波数不足が懸念されていて、2015年には周波数不足が著在化することが問題視されている<sup>1)</sup>。この問題を解決する技術としてコグニティブ無線が提案されている<sup>2)-4)</sup>。コグニティブ無線とは、無線機が周囲の電波利用状況を認識し、状況に応じて周波数帯を適宜使い分ける技術である。これらのことから、無線通信の利用拡大とその周波数帯の有効

利用を目的とし、多様な周波数帯から最適な周波数帯を選択し、アクセスネットワークを切り替え利用する研究が活発に行われている<sup>5)</sup>。

一方、無線アクセスネットワークには、多様なアプリケーションが利用され、FTP や WWW のようなスループット指向のトラフィックや、動画や音声などの遅延時間指向のリアルタイムトラフィックが混在する。つまり、無線アクセスネットワークは高スループットであり、かつ低遅延であることが求められる。しかしながら、単一の無線アクセスネットワークは、多様な無線メディアが利用可能な環境にありながら、単一无線メディアにより構成されるに留まる。我々は、無線アクセスネットワークにおいて、高スループット、低遅延とする広帯域な通信を実現するために、単一の無線メディアを利用するだけでは不十分で

<sup>1</sup> 関西大学大学院 理工学研究科  
Graduate School of Engineering, Kansai University

<sup>2</sup> 関西大学 環境都市工学部  
Faculty of Environmental and Urban Engineering, Kansai University

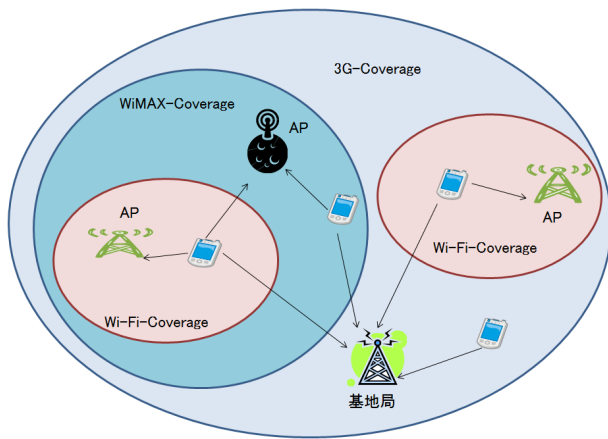


図 1 複合アクセスネットワーク

あると考えている。

以上の事から、我々は近い将来において移動端末はコグニティブ無線の機能を有する複数の無線 I/F を装備することを想定し、これらコグニティブ無線 I/F により発見される複数の無線メディアを単一の無線アクセスネットワークとして集約する複合アクセスネットワーク (図 1 参照) を提案している<sup>6)</sup>。複合アクセスネットワークは複数の無線メディアを集約し、その特性や状況に応じて、トラフィックを分配し、高スループットで低遅延とする広帯域な通信を実現する。

さらに、我々は MobileIP<sup>7)</sup> ネットワークアーキテクチャに基づき複合アクセスネットワークを構成し、移動通信環境において発見される複数の無線メディアを並列に集約し、集約無線メディアへの適切なトラフィック分配によりシームレスかつ広帯域な通信を実現する<sup>8)</sup>。しかしながら、本方式には次の課題がある。

- 移動端末 (以下、MN: Mobile Node) は利用可能な無線メディアから複数経路を構成し、これら経路に並列にトラフィック分配している。従って、MN においてある経路が利用不可となった場合、他の経路へトラフィックを分配することでスループットの維持が可能である。しかし、経路切断発見が遅れた場合、パケットを損失する。

上記の課題を克服するため、本稿では複数の AR を集約する Mobility Anchor Point (MAP) を配置した、階層化 MobileIP (HMIP) による複合アクセスネットワークの制御方式を提案する。HMIP とは、HA-MAP の階層構造を取り、MN の移動が MAP ドメイン間であれば、MN は MAP に対してハンドオーバー処理を行うだけで完了する。すなわち、HMIP に基づき MAP を複合アクセスネットワークの集約点とすることにより、MN の移動に対応したパケット分配とハンドオーバーを実現し、移動環境においても複合アクセスネットワークの有効性を維持することを示す。以下、第 2 章では MobileIP ネットワークアーキテクチャ、第 3 章では関連研究について述べる。第 4 章では提案方

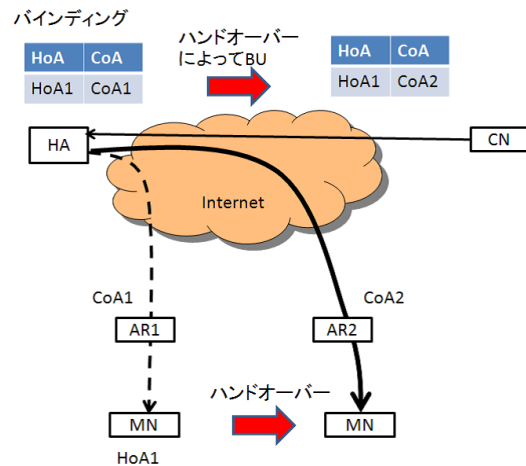


図 2 MobileIP

式、第 5 章に基本性能評価の結果と考察を述べる。最後に第 6 章では、まとめについて述べる。

## 2. MobileIP ネットワークアーキテクチャ

### 2.1 MobileIP

MN は、ハンドオーバーを行う際、接続していたネットワークが切り替わり、IP アドレスが変わる。トランスポートレイヤでは、通信の識別に IP アドレスを利用するので、移動するたびに IP アドレスが変わると、途中で通信が切断されてしまう。MN がハンドオーバーを行っても通信相手端末 (以降、CN: Correspondent Node) と通信を継続するための解決方法として、MobileIP がある (図 2 参照)。MobileIP では、ネットワーク上に設置された HomeAgent (HA) とよばれるノードが、MN の識別子として割り当てられる、移動に応じて変化しない固定なアドレスである HomeAddress (HoA) と、MN が移動先のネットワークで一時的に利用する Care-of Address (CoA) との対応関係 (以下、バインディング) を管理する。MN のハンドオーバーに伴い、CoA が変更した場合、MN は HA に対してバインディングの更新 (以下、BU: Binding Update) を行う。CN は、MN の訪問しているネットワークに関わらず、常に MN の宛先を HoA として送信する。HA がそれを受信して、バインディングによって HoA に対応している CoA を宛先として転送することにより、CN から移動端末の移動を隠蔽できるようになり、移動通信が実現できる。

### 2.2 MCoA

通常の MobileIP では、1 つの HoA に対して複数の CoA を登録したくても、HA は 1 つの HoA に対しては 1 つの CoA しか登録できない。その結果、複数の I/F で MN が BU を行っても、最後に登録された I/F のみで、MN は通信することになる。一方で、MCoA<sup>9)</sup> は 1 つの HoA に対して複数の CoA を登録することが出来るため、複数の I/F で MN は BU を行うことが可能になる (図 3 参照)。MCoA

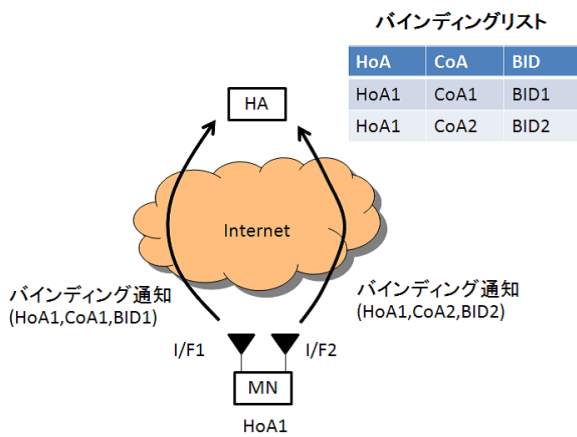


図 3 MCoA

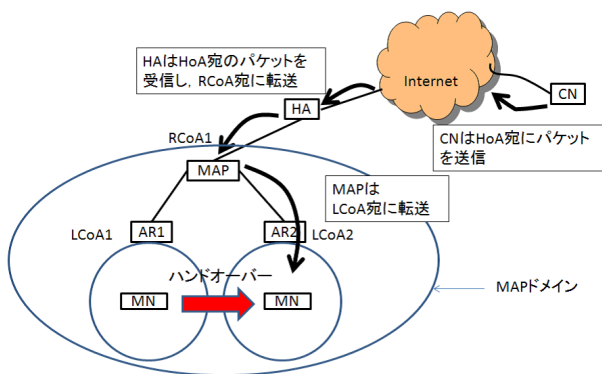


図 4 HMIP

では個々のバインディングを識別するために、バインディング識別子 (BID) が定義されている。MN は BU を行う際に、HoA、CoA と共に BID を付与することで、HA は個々のバインディングを識別することができる。

### 2.3 HMIP

HMIP<sup>7)</sup>では、MN は CoA として、AR 配下の On-link-Care-of Address(LCoA) と、MAP 配下の Regional Care-of Address(RCoA) を保持する。図 4 に LCoA と RCoA の関係を示す。例えば図 4 では、AR1、AR2 における LCoA がそれぞれ LCoA1、LCoA2、MAP の RCoA が RCoA1 で、MN がハンドオーバーにより AR1 から AR2 へ接続した場合、LCoA が LCoA1 から LCoA2 に変更される。一方、RCoA は MAP ドメイン内で変更しないアドレスである。そのため、MAP ドメイン内でのハンドオーバーは MAP に対して BU を行うだけで完了する。図 4 のように CN からの HoA 宛の packets は、まず HA で受信され、RCoA 宛に転送される。次に MAP により受信し、LCoA 宛に転送される。すなわち、HA では RCoA を MN の CoA とみなし、MAP では LCoA を MN の CoA とみなす。

## 3. 関連研究

HMIP の関連研究として、文献 10)-12) がある。文献 10)

では、ハンドオーバー時に発生するバースト的なパケットロスを抑えるため、MAP 上にパケットバッファリング機能を追加している。これは MN が AR 間、MAP 間のハンドオーバーの際に MAP 上でパケットをバッファリングし、MN が BU を完了した後に、バッファリングしていたパケットを新規の接続先に転送するものである。これにより、ハンドオーバー時でもスループットの低下を下げることが出来る。文献 11) では、MAP を階層的に配置し、MN のハンドオーバー頻度と通信形態に応じて MN が独自でスコアをつけ、適切に MAP を選択することで、各 MAP に対して負荷を分散している。しかしながら、文献 10)、11) は、いずれも複数の無線メディアを集約し、同時に利用することは行われていない。文献 12) では、HA、MAP いずれにおいても MCoA によって MN に対して複数の経路を保持し、トラフィック分配しているため、複数の I/F を有効活用できていると考えられる。しかしながら、HA において CoA 毎にトラフィックの分配を行う際に、Internet を介するため packets の到着順が乱れる可能性が非常に高いと考えられ、通信品質の低下が予想される。それを防ぐためには、HA 上ではトラフィックの分配を行わず、MAP を集約点とし、MAP でトラフィックの分配を開始することが必要だと考えられる。

## 4. 提案方式

既存の HMIP では、MN は 1 つの無線メディアにより無線アクセスネットワークを構成している。そのため、ハンドオーバーにより接続していた無線アクセスネットワークを切り替える必要があり、必ずパケットロスを引き起こす。一方で複合アクセスネットワークは異なる無線メディアを集約し、1 つのアクセスネットワークとしている。そのため、HMIP に複合アクセスネットワークを統合し制御することで、ハンドオーバーによりリンクが切断されても、MN は別のリンクでは接続を維持している可能性がある。よって、接続を維持しているリンクに分配アルゴリズムに基づきトラフィックを分配することで、移動環境においても、高いスループットを維持できる。以下、HMIP による複合アクセスネットワークの制御方式を説明する。

### 4.1 HMIP に基づく複合アクセスネットワーク

既存の HMIP では MN は 1 つの無線メディアにより MAP に BU し、無線アクセスネットワークを構成している。よって、既存の HMIP を利用して、複数の無線メディアを同時に利用し複合アクセスネットワークを構成するには、HMIP からは複数の無線メディアを単一の無線メディアとして集約し仮想化する必要がある。これを実現するためには、プロトコルスタックにおいて、複合アクセスネットワークを構成するレイヤを HMIP より下位レイヤに組み込み、HMIP から複合アクセスネットワークのアクセス

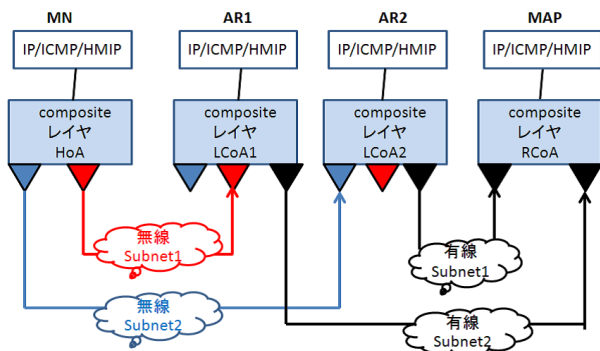


図 5 HMIP における複合アクセスネットワークプロトコルスタック

経路を単一リンクとして隠蔽する必要がある。以上より、HMIP に基づいた複合アクセスネットワークを実現するために、HMIP と MAC レイヤの間に仮想レイヤ（以降、Composite レイヤ）を実装した（図 5 参照）。Composite レイヤは HMIP (IP レイヤ) から複数の経路を単一リンクとして提供し、パケットが 1 つの I/F で届いたかのように見える。Composite レイヤに 1 つのグローバルな IP アドレスである HoA, LCoA, RCoA を MN, AR, MAP に割り当てることで、特別な改造をすることなく HMIP と複合アクセスネットワークを統合することが可能とした。

#### 4.2 想定するネットワーク環境

提案方式では、MN, AR, MAP, HA, CN から構成される以下の移動通信環境を想定する。

- HA は 1 つの HoA に対し、1 つの CoA を持ち、またその CoA とは MAP が持つ RCoA とする。
- MAP は MCoA の機能を有し、1 つの HoA に対して複数の CoA, すなわち LCoA を持つ。
- MAP と AR は互いに経路を既知であるとする。MAP と AR は高速ネットワークで接続されている。
- 本稿では MAP は 1 つのみとし、MN の移動は MAP ドメイン内に限るとする。
- AR が持つ複数の無線 I/F の通信カバレッジおよび異なる AR において通信カバレッジが重なっている箇所が存在する。
- MN が装備する各無線 I/F はコグニティブ無線の機能を有して、動的に利用可能な無線メディアを発見しかつ通信する事が可能である。

図 6 では、MN はコグニティブ無線によって、複数の無線 I/F1, 2 において同一の AR に接続している状態を示す。HA はバインディングより、CN から受信した HoA1 宛のパケットを RCoA1 宛に転送する。MAP は BID 毎に異なるリストを持つ。この場合では同一 AR に接続しているため、いずれのリストも CoA として LCoA1 を保持する。従って、MAP は HoA1 宛のパケットを LCoA1 に転送される。そして AR は、MN と接続している I/F1, I/F2 にお

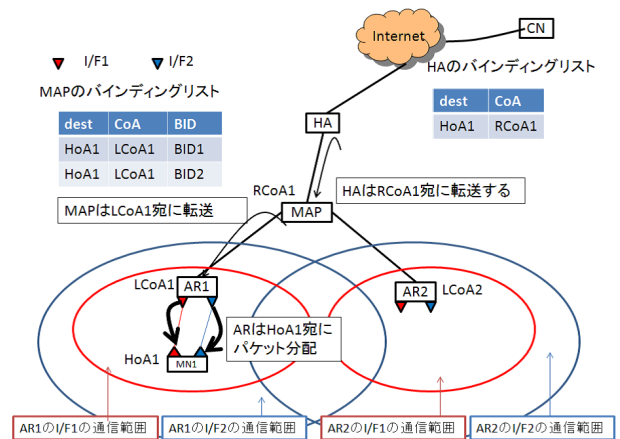


図 6 複数無線 I/F によって同一 AR に接続した場合のパケットの流れ

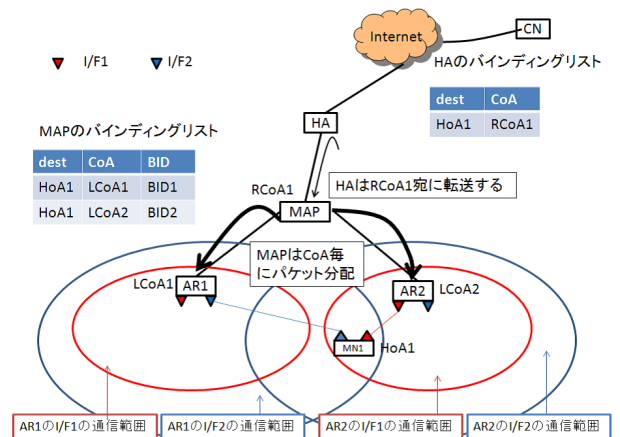


図 7 複数無線 I/F によって異なる AR に接続した場合のパケットの流れ

てトラフィックを分配する。図 7 では、MN はコグニティブ無線によって、複数の無線 I/F1, 2 において異なる AR に接続している状態を示す。この場合 MAP は、HoA1 に対して LCoA1 と LCoA2 を持つ。CN から HA, HA から MAP に届いたパケットは MAP 上で、LCoA1 と LCoA2 宛にトラフィック分配される。それを受信した AR は接続している I/F においてパケットを MN に転送する。図 7 では、AR1 は I/F2 を利用し、AR2 では I/F1 を利用してパケットを転送する。MN は複数の無線 I/F によって、同一の AR に接続する場合、異なる AR に接続する場合いずれも可能である。

#### 4.3 バインディング手順

想定ネットワーク環境において MN が MAP, HA にバインディングする手順例を以下に示す（図 8 参照）。

(Step1)MAP は定期的にエージェント広告 (Agent Advertisement) を AR へ送信する。Agent Advertisement には RCoA が含まれている。

(Step2)AR は MAP からの Agent Advertisement を受信し、そして Agent Advertisement に LCoA を追加する。さらに、



AR は複数の無線 I/F で MN に AgentAdvertisement をブロードキャストするために、受信した AgentAdvertisement を無線 I/F の数分複製する。そして、各無線 I/F においてブロードキャストする。

(Step3)MN は AgentAdvertisement を受信し、RCoA と LCoA から自身がどの MAP, AR の配下にいるかを認識する。そして、MN は BU を行うために、BID を発行し、BID と HoA を登録要求メッセージ (RegistrationRequest) に付与して AgentAdvertisement 送信元の AR に送信する。

(Step4)AR は RegistrationRequest を受信し、MN への仮の経路を記憶して、MAP に RegistrationRequest を転送する。

(Step5)MAP は RegistrationRequest を受信し、以下のバイディング状況により処理が変わる。

- HA に BU していない場合  
 MAP は経路を仮登録して HA に RegistrationRequest を転送する
- HA に BU 中の場合  
 MAP は経路を仮登録して HA から登録応答メッセージ (RegistrationReply) を受信するまで待つ。この場合は、Step6 の処理は省略される。
- HA に BU 完了している場合  
 この状況は MAP ドメイン内で接続先の AR が変更した場合に発生する。その場合 MAP は経路を本登録し、RegistrationReply を生成して AR に送信する。この場合は、Step6, Step7 の処理は省略される。

(Step6)HA は RegistrationRequest を受信すると MN の HoA とそれに対応する CoA として RCoA を登録する。そして、MAP に RegistrationReply を送信する。

(Step7)MAP は RegistrationReply を受信すると、MN への経路を仮登録から本登録する。そして、AR に RegistrationReply を転送する。

(Step8)AR は RegistrationReply を受信すると、MN への経路を仮登録から本登録する。そして、MN に RegistrationReply を転送する。

(Step9)MN は RegistrationReply を受信すると、経路を確定させ、BU が完了する。

#### 4.4 経路切り替えアルゴリズム

無線アクセスネットワークでは、多数の AR が偏在する。大規模の無線アクセスネットワークでは、多くの MN が複数の AR へ接続することが可能なエリアが存在する。このような環境下で電波強度や電波環境 (すなわち、物理レイヤの情報) により AR を選択した場合、一部の AR に接続が集中し、各 AR の負荷に偏りが生じる可能性が高い。従って、電波状況も含めたネットワークトラフィックに基づき接続する AR を切り替え、負荷を分散させて複合アクセスネットワーク全体で高スループット、低遅延とする経

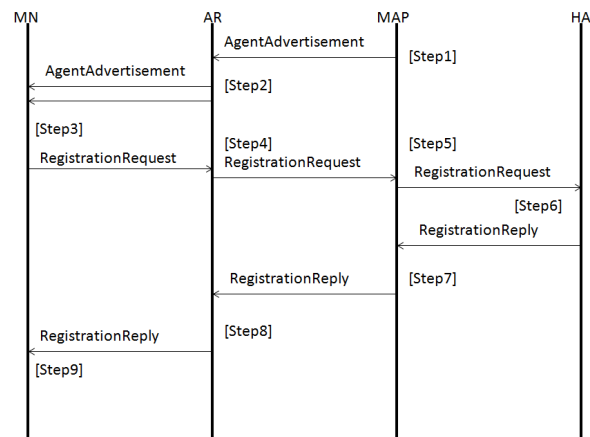


図 8 バインディング手順

路切替アルゴリズムが必要になる。このアルゴリズムとして、我々が提案している遅延時間に基づく複合アクセス経路におけるトラフィック分配方式<sup>6)</sup>を経路切替へ適用する。以下、その方式を説明する。

##### 4.4.1 AgentAdvertisement による遅延時間伝搬

MN は MAP まで (MAP-MN) の e2e の遅延時間収集から最も低遅延な経路を探索して、切り替える操作を行う。遅延時間は、無線リンクにパケットが到着してからパケット送信が完了するまでの時間とする。すなわち、遅延時間はキューにおける待機時間と電波状況を反映した伝送時間から構成され、物理レイヤからネットワークレイヤの状況を反映したメトリックである。さらに、HMIP では経路切替は上り下り両方向の経路が変わることから、上り下り無線リンクのそれぞれの遅延時間をトラフィック量に応じて平均化した時間とし、MAP と AR 間 (MAP-AR), AR と MN 間 (AR-MN) の遅延時間の和を MN が算出する事で、MAP-MN の e2e 遅延時間を求める。以下、その手順を説明する。

MAP では次の情報を AgentAdvertisement に付与して AR に転送する。

- $T^D$ : MAP-AR 間の下り方向の遅延時間の合計。
  - $d^D$ : MAP-AR 間の下り方向のパケット送信数の合計。
- 上記の情報が含まれた AgentAdvertisement を受信した AR は、自身が計測していた上りトラフィックに関する遅延時間  $T^U$  とパケット送信数  $d^U$  を用いて、式 (1) のように MAP-AR 間の平均遅延時間  $T_{MAP-AR}$  を算出する。

$$T_{MAP-AR} = \frac{T^D + T^U}{d^D + d^U} \quad (1)$$

次に AR は、AgentAdvertisement に以下の情報を付加して MN に転送する。

- AR-MN 間における  $d^D, T^D$
- AR に接続している MN の数 (以降、 $n$ )
- MAP-AR 間の遅延時間  $T_{MAP-AR}$

上記の情報が含まれた AgentAdvertisement を受信した  $MN_i$  は、自身が計測していた上りトラフィックに関する遅

延時間  $T_i^U$  とパケット送信数  $d_i^U$  を用いて、以下の計算式 (2) で AR と MN 間の平均遅延時間  $T_{AR-MN}$  を計測する。

$$T_{AR-MN} = \frac{T^D/n + T_i^U}{d^D/n + d_i^U} \quad (2)$$

$T^D$ ,  $d^D$  を  $n$  で割ることで、下りトラフィックにおける AR と  $i$  台の MN 間の平均の遅延時間と平均のパケット送信数を算出する。その値と上りトラフィックにおける  $T_i^U$  と  $d_i^U$  によって  $T$  を算出することで、上り・下りのトラフィックの両方を考慮した AR までの遅延時間を算出できる。そして、式 (3) のように、MAP-AR 間の遅延時間と、AR-MN 間の遅延時間の和を算出する事で、MAP-MN の e2e 遅延時間を求める。

$$T_{MAP-MN} = T_{MAP-AR} + T_{AR-MN} \quad (3)$$

MN はすべてのチャネルの AgentAdvertisement をスキャンし、最も低い  $T_{MAP-MN}$  が算出された経路に切り替える。

#### 4.4.2 経路切り替え I/F の決定

4.4.1 節のように、MN は遅延時間に基づき経路を各 I/F 毎に切り替える。しかしながら、MN は複数の I/F において、最も低遅延な経路が見つかるたびに経路を切り替えると、経路切替の共振が発生する可能性がある。そこで、本方式では経路を切り替える I/F は、一番遅延時間が高い I/F において経路を切り替えることを提案する。これにより、経路切替の共振を抑制しつつ、最も低遅延な経路に切り替えることで、ネットワーク全体での負荷を分散させる。

#### 4.4.3 MAC リンク切断時経路切替

MN は利用可能な無線メディアから複数経路を構成し、これら経路に並列にトラフィック分配している。従って、移動端末においてある経路が利用不可となった場合、他の経路へパケットを分配することでスループットの維持が可能である。しかし、AR では無線リンク切断から経路利用不可を検知できるが、MAP ではこれを検知できず、MN からの周期的な経路維持パケット未着まで知り得ない。従って、MAP において経路の発見が遅れ、パケットを損失する。そこで、本方式では HMIP に基づき、以下の手順で無線リンク切断を AR から MAP へ通知し、迅速なトラフィック分配更新とハンドオーバーを実施する (図 9 参照)。

- (1) AR は MN 宛のパケットが、MAC レイヤで再送が続くと、リンクが切断されたと判断する。
- (2) AR は MAP に対して MN 宛のリンクが切断されたことを通知するために、MN の HoA と BID を付与したパケットを生成し、MAP に送信する。
- (3) MAP は AR からのパケットを受信すると、HoA と BID の対応するバインディングを探して経路を削除し、トラフィック分配を更新する。
- (4) MAP はリンクが切れたことを高速に MN に通知するために、HoA 宛の経路の中から最も低遅延の経路を利用して、リンクが切断された LCoA と BID の情報を

dest	CoA	BID	遅延時間
HoA1	LCoA1	BID1	低
HoA1	LCoA2	BID2	高
HoA1	LCoA3	BID3	中

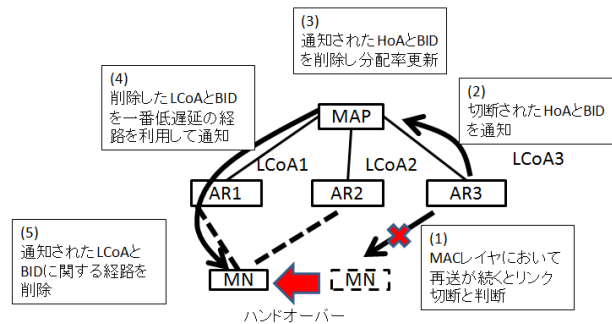


図 9 MAC リンク切断時経路切替

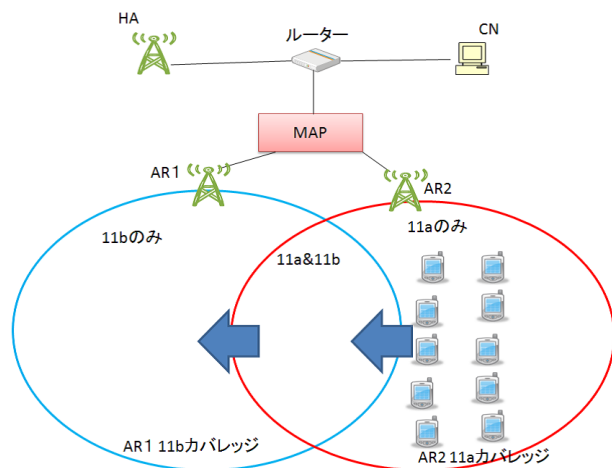


図 10 端末配置図

付与したパケットを MN に送信する。

- (5) MN は MAP からパケットを受信すると該当する LCoA と BID に関する経路を削除する。

この処理を行うことで、MN はリンクが切断されても、MAP が他の経路へトラフィックを分配する事で、スループットの維持が可能であり、また MN はリンクが切断された事を高速に認識し、経路を再構築する事が出来る。

## 5. 基本性能評価

### 5.1 評価条件

本節では、複合アクセスネットワークの基本性能評価におけるシミュレーション条件について述べる。評価空間を  $1000\text{m} \times 1000\text{m}$  の空間とし、図 10 のように MN10 台、AR2 台、MAP を 1 台配置する。評価条件を以下に示す。

- 伝送速度 6Mbps, 通信範囲が 100m である 11a 無線 I/F (以降 11a), 伝送速度が 2Mbps, 通信範囲が 200m である 11b 無線 I/F (以降 11b) を MN が装備する。AR1 は 11b, AR2 は 11a を装備する。
- AR と MAP 間は高速有線接続とし、無線通信と比較して十分な容量と通信速度があるとして、この間の遅

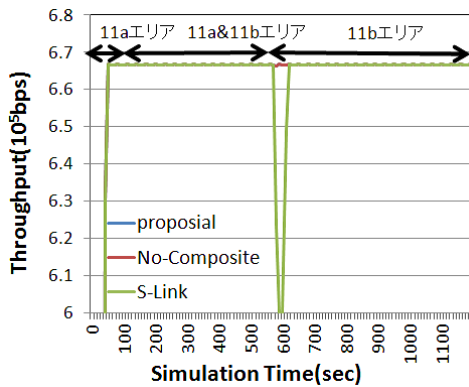


図 11 N=1 における CBR のスループット

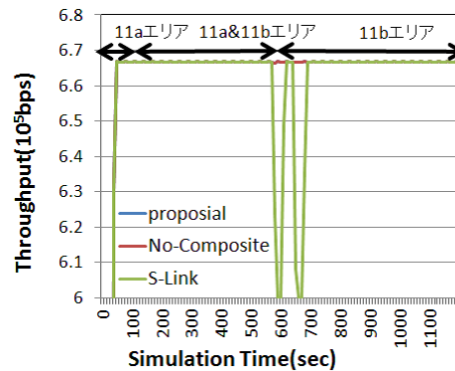


図 12 N=2 における CBR のスループット

- 延時間を無視することとする。
- 送信元は CN，宛先は MN10 台。
  - アプリケーショントラフィックは CBR。
  - シミュレーション時間は 1200 秒，送信間隔は 0.03 秒，送信開始時刻は 30 秒，データ量 2kbit。
  - パケット分配周期は 5 秒，AgentAdvertisement の送信間隔は 5 秒～10 秒の間でランダム
  - MN は初めは全端末が 11a のみ利用できるエリア (11a エリア) に配置される。その後は 2N ノードが 11a と 11b が利用できるエリア (11a&11b エリア) に移動し，さらに N ノードが 11b のみ利用できるエリア (11b エリア) に移動する。11a&11b エリアへの移動時刻は，最初の端末が 100 秒で，その後 50 秒間隔で 1 台ずつ移動する。11b エリアへの移動時刻は，最初の端末が 600 秒で，その後 50 秒間隔で 1 台ずつ移動する。

また，提案方式の有効性を示すために，次の 2 方式と比較する。

- No-Composite：提案方式においてパケット分配を行わず (単一の無線リンクを使用)，MCoA による高速ハンドオーバーのみを行う。
- S-Link: 従来の HMIP. 単一无線リンクを使用し，MCoA によるハンドオーバーを行わない。

上記 2 方式の無線リンクは性能の良い無線リンクを用いる。すなわち，11a エリア，または 11a&11b エリアでは 11a を用い，11b エリアでは 11b を用いる。

## 5.2 評価結果

スループットは図 11, 12, 13, 14 のように，N=1,2,3,4 において提案方式と No-Composite は S-Link と比較して高スループットである。これは，図 11 では 600 秒，図 12 では 600 秒・650 秒，図 13 では 600 秒・650 秒・700 秒，図 14 では 600 秒・650 秒・700 秒・750 秒において，S-Link では 11a&11b エリアから 11b エリアへのハンドオーバーの際に AR2 は無線リンク切断を検知するが，MAP は知り得ないため，経路切替開始までに時間を要し，その間にパケットを損失しているためである。従って，N が増加する

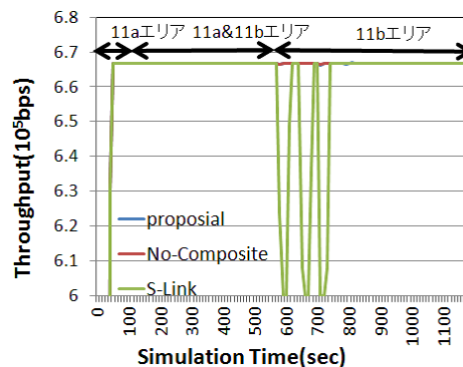


図 13 N=3 における CBR のスループット

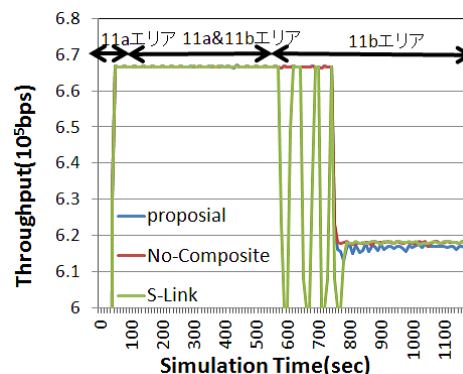


図 14 N=4 における CBR のスループット

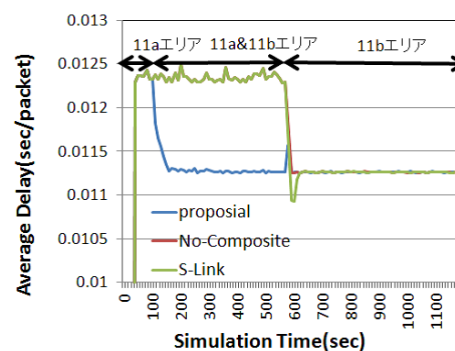


図 15 N=1 における CBR の遅延時間

度に，S-Link ではスループットが下がる。一方，提案方式と No-Composite においては，11a&11b エリアから 11b エ

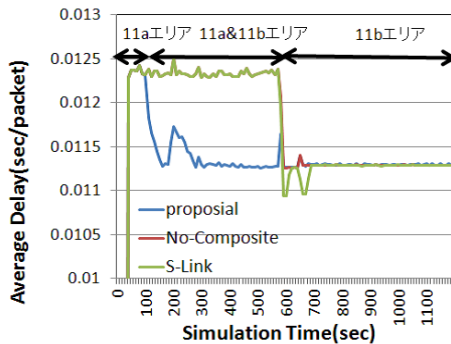


図 16 N=2 における CBR の遅延時間

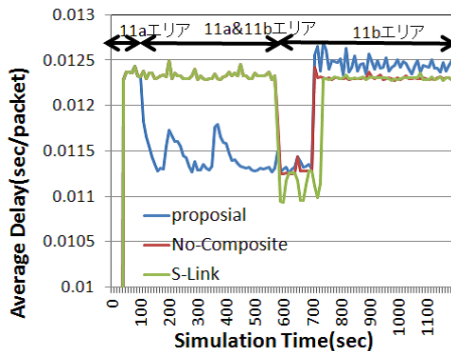


図 17 N=3 における CBR の遅延時間

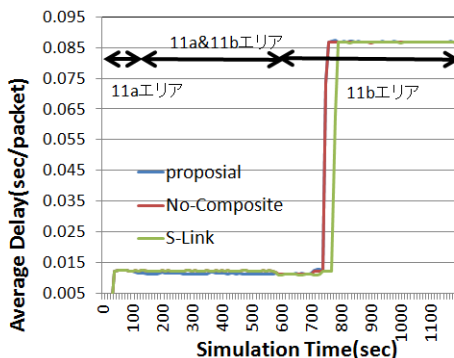


図 18 N=4 における CBR の遅延時間

リアへ移動により、11aの通信カバレッジ外となりMACにてリンク切断を検知する。これに従い、AR2からMAPへ経路切断が通知され、即座にMAPはAR2からAR1へハンドオーバーを実施される。従って、両方式においてスループットが維持される。すなわち、提案方式のMCoAを用いたハンドオーバーはMNの移動に有効である。

遅延時間は、図15, 16, 17, 18のように、N=1,2,3,4において600秒までの11a&11bエリアにMNがいる間は提案方式がいずれの方式に比べても低遅延である。これはNo-composite, S-Linkでは1つのリンクしか使われないのに対して、提案方式では11a&11bエリアに配置されているMNが11a, 11bの複数の無線メディアで経路を構築し、MAPがトラフィックを複数経路へ分配するためである。従って、MNの移動環境においても複数経路へのトラフィック分配の有効性を維持できていると考える。しか

し、MNが11bエリアに移動した際、提案方式の遅延時間がNo-composite, S-Linkと同等程度であり、想定したほど低くならない。想定では11a&11bエリア内のMNがAR2(11a)とAR1(11b)を利用するので、No-composite, S-Linkより低い遅延時間となる。これは次のことが原因である。一部のMNが11a&11bエリアから11bエリアへ移動すると、AR2(11a)からAR1(11b)へトラフィックが移動する。このトラフィック変動に伴い、11a&11bエリア内のMNはそのトラフィック分配を11bから11aへより多くトラフィックを分配するように更新するが、分配処理がトラフィック変動に対して敏感でない(トラフィック変動は検知しているがトラフィック移動量が少ない)ため、最適な分配に至っていない。

## 6. まとめ

本稿では移動通信新環境における複合アクセスネットワーク制御方式を提案した。さらに、その基本性能評価から提案方式は移動環境の複合アクセスネットワークにおいて高スループットで低遅延を維持できるが、トラフィック変動時のトラフィック分配更新が最適に至っていない課題を示した。

## 参考文献

- [1] 原田 博司：[ネットワーク教習所] 未来が近づく 新世代ネットワーク，入手先 (<http://thinkit.co.jp/article/25/3/>)，(2008)。
- [2] Mittra, III, J. and Maguire, Jr, G.: Cognitive Radio: Making Software Radios More Personal, IEEE Personal Communication, Vol.6, No4, pp.13-14 (1999)。
- [3] Mittra, III, J.: Cognitive Radio for Flexible Mobile Multimedia Communications, Proc. MomuC' 99, pp3-10。
- [4] 原田 博司：コグニティブ無線を利用した通信システムに関する基礎検討，信学技法, SR2005-17, pp.117-124(2005)。
- [5] 山下 豊, 小室 信喜, 阪田 史郎 [他]: 複数無線LANの合計スループットを最大化するための受信機制御によるアクセスポイント選択方式，信学技法, 111(469), pp 287-292, (2012.03.08)。
- [6] 滝沢 泰久, 植田 哲郎, 小花 貞夫: IEEE802.11とIEEE802.16を用いた複合アクセス経路の packets 分配制御方式，情報処理学会論文誌, Vol. 52 No2。
- [7] 阪田 史郎: [知識ベース]4群 5編 モバイルIP アドホックネットワーク，電子情報通信学会, Ver1, (2010.6.10)。
- [8] 野田 健太郎, 安達 直世, 滝沢 泰久: 移動通信環境における複合アクセスネットワークとMobileIPとの統合，情報処理学会研究報告，マルチメディア通信と分散処理研究会報告，2012-DPS-153(10), 1-8, 2012-11-08。
- [9] 湧川 隆次, 村井 純: モバイルIP教科書。
- [10] 高橋 秀明, 小林 亮一, 岡島 一郎, 梅田 成視: Hierarchical Mobile IPv6 with Buffering Extensionの通信品質評価，情報処理学会論文誌, Vol.46 No.2。
- [11] 渥美 章佳, 田中 良明: 移動端末属性に応じた最適MAP選択方式，信学技報, TM2004-97, 2005-03。
- [12] 玉井 森彦, 酒井 憲吾, 山本 俊明, 長谷川 晃朗, 植田 哲郎, 小花 貞夫: 多様な無線システムの同時利用を考慮した階層化MobileIPv6による移動通信方式の提案，信学技報, SR2008-80(2009-1)。