

移動通信環境における 複合無線アクセスネットワーク制御方式

野田 健太郎¹ 安達 直世² 滝沢 泰久²

概要: 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み、周波数帯の不足が顕在化している。その解決技術としてコグニティブ無線技術が提案され、今後、移動通信環境において広い周波数帯から多様な無線メディアを発見・利用可能となることが予想される。以上のことから、本稿では、移動通信環境において発見された多様な無線メディアを集約し、かつ組み替えることにより、これら複数の無線メディアを単一の広帯域無線メディアに仮想化してアプリケーションに提供する複合無線アクセスネットワークとその制御方式を提案する。

Composite Wireless Access Networks on Mobile Communications

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 composite wireless access network consisting of a diversity of wireless system and a method of traffic distribution control. In this paper, assuming mobile communications, its network is constructed based on HMIP, and then it provides the transparency of mobility and aggregating diverse wireless medias to applications.

1. はじめに

近年、無線メディアは急速に利用拡大が進み、周波数不足が懸念されている。一方で移動通信環境は多様な無線メディアが混在する環境になってきている。これらの点から、コグニティブ無線が提案されている [1]。コグニティブ無線は、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り、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替え利用する研究が活発に行われている。

無線アクセスネットワークは、多様なアプリケーションが利用され、ファイル転送のようなスループット指向のトラフィックや、動画や音声のような遅延時間指向のトラ

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かつ低遅延であることが求められる。しかしながら、既存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。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は、移動通信環境において利用可能な多様な無線メディアを集約して利用する必要があると考える。

以上のことから本論文では、移動端末(以下、MN: Mobile Node)はコグニティブ無線の機能を有する複数の無線インタフェース(以下、I/F: Interface)を装備する事を想定し、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仮想広帯域無線メディアとして集約し、かつ組み替える複合無線アクセスネットワークとその制御方式を提案する。複合無線アクセスネットワークは移動通信環境において MobileIP ネットワークアーキテクチャ [2] に基づきネットワークを構成し、集約無線メディアの特性

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

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

や状況に応じて適切にパケット分配し、さらに MN の移動に応じて集約無線メディアを組み替えて、シームレスかつ広帯域な通信を実現する。

2. 移動通信環境における無線アクセスネットワーク

2.1 MobileIP

移動通信環境において MN が移動する事で接続する無線アクセスネットワークが切り変わり（以下、ハンドオーバー）、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ため、ハンドオーバー毎に IP アドレスが変わると、途中で通信が中断される。MN がハンドオーバーを行っても通信相手端末（以下、CN : Correspondent Node）とシームレスな通信を提供する手法として、MobileIP[2]がある。MobileIP では、ネットワーク上に設置された HomeAgent (HA) と呼ばれるノードが、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 の接続する無線アクセス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 MN 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[3]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。MCoA 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

MobileIP では、MN の接続先によっては、HA と MN 間の距離が大きく離れる場合がある。そのためハンドオーバーが発生する度に MN から遠くに位置する HA に BU を行う必要があるため、ハンドオーバーによる遅延が増大する問題が生じる。階層型 MobileIP（以下、HMIP : Hierarchical

MobileIP）[2]はこの問題を解決する。複数のアクセラータ（以下、AR）を集約した Mobility Anchor Point (MAP) と呼ばれる HA と同等の機能を持つノードを配置する。HMIP では、HA-MAP の階層構造を構成し、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 1 に LCoA と RCoA の関係を示す。

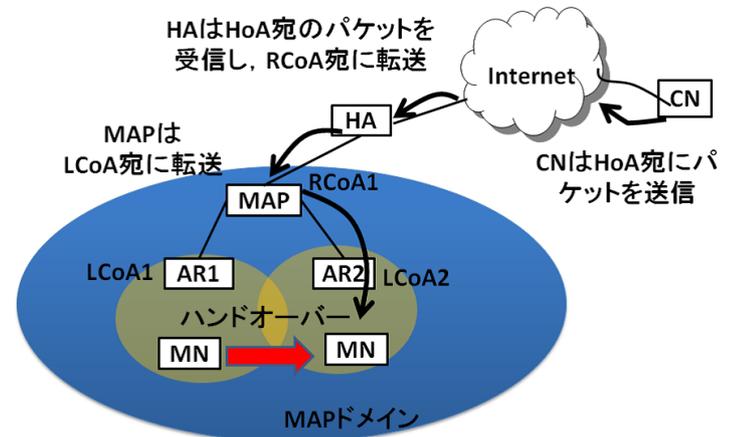


図 1 HMIP

図 1 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 へアクセスネットワークを切替えた場合、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 BU を行うだけで完了する。図 1 のように CN からの HoA 宛のパケットは、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

関連研究としてコグニティブ無線の研究と HMIP の研究を述べる。

3.1 コグニティブ無線の関連研究

コグニティブ無線の関連研究として、文献 [4]-[5]がある。文献 [4]は、端末が周辺の無線環境を認識し、現在の無線環境のみならず無線環境を予測し最適な無線メディアを選択している。文献 [5]では、ホワイトスペースの中から、セカンダリシステムが短いデータ長のパケットを送信することにより発生するホワイトスペースの断片化の問題を防ぐために、プライマリシステムのチャネル利用状況を把握し、最適なチャネルを選択する。しかし、文献 [4]-[5]いずれも複数の無線メディアを同時に利用することは検討されていない。

3.2 HMIP の関連研究

HMIP の関連研究として、文献 [6]-[8] がある。文献 [6] 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 [7] 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 [6], [7] 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 [8] 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、MN の移動は検討されてなく、MN の移動に伴う利用可能な無線メディアの変化に対応ができない。

4. 複合無線アクセスネットワーク

4.1 HMIP に基づくネットワーク構成

複合無線アクセスネットワーク（以降、提案方式）は、MN の移動を隠蔽するため、HMIP に基づいたネットワーク構成とする。以下に、その構成を示す。

- 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切り替えることが可能である。

図 2 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と複数の無線 I/F1, 2 において異なる AR に接続している状態を示す。

初めに MN1 において複数の無線 I/F1, 2 において同一の AR (AR1) に接続している状態について説明する。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

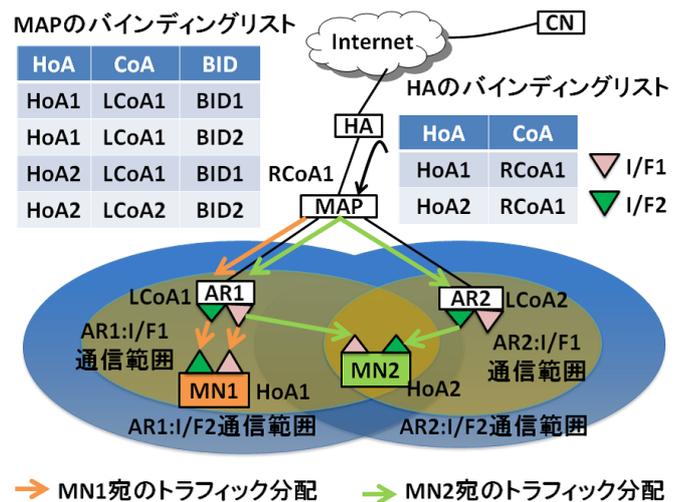


図 2 想定ネットワーク環境

リストを持つ。この場合では複数の無線 I/F1, 2 いずれも AR1 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 に転送する。そして AR1 は、MN と接続している I/F1, I/F2 においてトラフィックを分配する。

次に MN2 において無線 I/F1 で AR1, 無線 I/F2 で AR2 に接続している状態について説明する。MAP は、HoA2 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、すなわち AR1 は無線 I/F1, AR2 は無線 I/F2 で MN にパケットを転送する。

以上より、MN は複数の無線 I/F によって、同一の AR に接続する場合は当該 AR が I/F 毎にトラフィックを分配し、異なる AR に接続する場合は MAP が AR 毎にトラフィックを分配する。

4.2 Composite レイヤによる複数無線メディア I/F の隠蔽

HMIP における無線アクセスネットワークは単一無線メディアにより構成されるに留まる。提案方式はシームレスな広帯域通信を実現するため、ネットワークを構成する各ノードが装備する無線メディア I/F により発見される複数の無線メディアを集約する Composite レイヤを設け、これを HMIP (IP レイヤ) と MAC レイヤ (I/F) の間において構成する (図 3 参照)。Composite レイヤは HMIP に対して複数の無線メディアを隠蔽する。そのため、Composite レイヤは HMIP からは単一広帯域無線メディアとして見える。一方、HMIP は MN の移動をアプリケーションから隠蔽する。従って、提案方式のネットワーク構成は MN の移動と複数無線メディアの集約および組み替えをアプリケー

ションから隠蔽する。

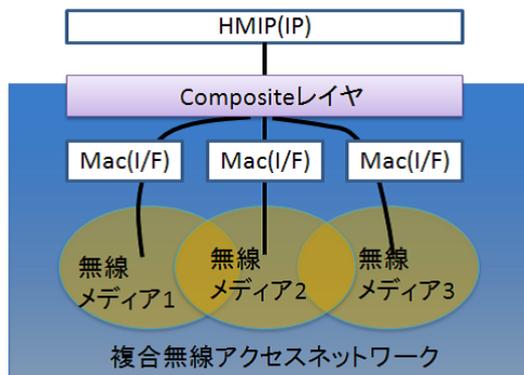


図 3 Composite レイヤによる複数無線メディアの隠蔽

4.3 Composite レイヤのトラフィック分配

各無線メディアはそれぞれ通信特性が異なる。また、アクセスネットワークは利用状況に応じて、混雑してるエリアや空きのあるエリアが存在する。従って、仮想広帯域無線メディアとして有効な帯域を実現するためには Composite レイヤにおいて、集約するそれぞれの無線メディアの通信特性や通信状況に応じて最適にトラフィックを振り分ける必要がある。以下、そのポリシーを説明する。

4.3.1 無線メディア間パケット分配ポリシー

リンクの負荷状態 (リンクコスト) をリンク内の平均待機パケット数とする。端末 i におけるリンク x の平均待機パケット数 d_i^x は、平均パケット到着率を F_i^x 、平均遅延時間 T_i^x としリトルの定理を用いると次のように求まる。

$$d_i^x = F_i^x \times T_i^x \quad (1)$$

複数の無線リンクコストはそれぞれのリンク内のパケット待機数であるので、式 (1) で示されるリンクコストの和となり、これを集約リンクコストとする。文献 [9] によると、

- リンクコストの最小化はスループットの最大化、遅延の最小化、すなわち広帯域通信を可能とする。
- 各端末の集約リンクコストの総和がネットワーク全体のコストであることから、各端末の集約リンクコストを最小化することによりネットワーク全体で広帯域通信が可能となる。
- 集約リンクコストの最小化は各リンクの平均遅延時間を均等化することで可能となる。

以上のことから、Composite レイヤにおいて集約する複数の無線メディア I/F の平均遅延時間の均等化を図るパケット移動を行い、広帯域通信を実現する。

4.3.2 無線メディア間経路切替えポリシー

MN の装備する各 I/F は複数の利用可能な無線メディアを発見する。個々の I/F が利用する無線メディアを切替えること、すなわち経路を切替えることは、切替え元無線メ

ディアから切替え先無線メディアへトラフィックを移動することとなる。このことから、Composite レイヤは、MN の各 I/F の経路切替えにより、切替え無線メディア間で 4.2.1 で示した平均遅延時間均等化を図るトラフィック移動を行い、集約する複数無線メディアにおいて広帯域通信を実現する。

4.4 HMIP に基づく制御方式

4.4.1 平均遅延時間を均等化するパケット分配制御

パケット分配割合は、各 I/F 毎の平均遅延時間が均等になるようパケットを振り分ける割合であり、初回パケット分配割合は各 I/F に均等に割り振り、移動割合は a 、移動割合減衰率は b とする。パケット分配割合は周期毎に更新し、最適解を探索していく。その方法を、図 4 を用いて説明する。

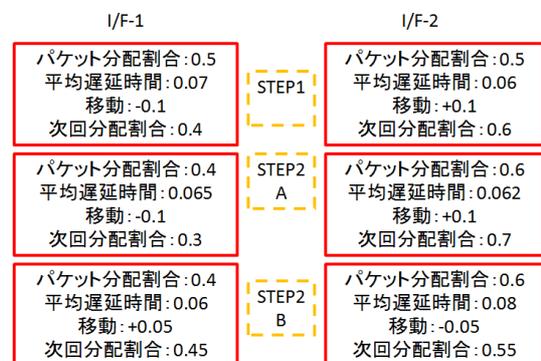


図 4 パケット分配割合探索

図 4 では、初回パケット分配割合は 0.5、初期移動割合 a は 0.1、移動割合減衰率 b は 0.5 とする。2つの複数無線 I/F が装備された端末が周期毎にそれぞれの平均遅延時間から、パケット分配割合を算出する。

[STEP1] 各 I/F の遅延時間を比較し、遅延が最大となる I/F として I/F-1、最小となる I/F として I/F-2 を選出する。選出した最大遅延の I/F1 から最小遅延の I/F2 にパケットを移動するように移動割合 a を用いてパケット分配割合を更新する。

[STEP2] 分配割合が (図では、0.4, 0.6 に) 変更され、それに基づき平均時間が算出される。STEP1 と同様に、最大遅延の I/F と最小遅延の I/F を選出する。

A: 最大遅延の I/F が前周期と同一 I/F であれば、遅延均等化の解へ向かっていると判断して、移動割合は前回と同様とし、パケット分配割合を決定する。

B: 最大遅延の I/F が前周期と異なる I/F であれば、パケット移動量が過多で遅延均等化の解を通り過ぎたと判断し、移動割合を減らす。従って移動割合 a に移動割合減衰量 b を掛けた値を移動割合 a としパケット分配割合を決定する。

このパケット分配割合の更新を繰り返し、遅延が均等になる解を得る。

4.4.2 経路切替え制御

MN が移動することにより、新たに利用可能な AR を発見する。この新たに発見された AR が広帯域通信を維持および拡大する条件を満たす場合、集約する AR を組み替える。すなわち、MN の I/F において新たに発見された AR へ経路を切り替える。この経路切替は無線メディア間経路切替えポリシーに基づき、MN が発見された AR の遅延時間が、MN が集約する AR において遅延時間が最も高い AR よりも小さい場合、この高遅延の AR から新たな AR へ経路を切り替え、MAP が収容する (MAP ドメイン) AR 間の遅延均等化を図る。

この経路切替制御を実施するため、MN は経路遅延時間が最も高い I/F において全チャンネルをスキャンして複数の AR からのルータ広告を傍受する。ルータ広告にはそれぞれの AR の遅延時間が付与されており、この遅延時間が当該 I/F の経路遅延時間より低くかつ最小の遅延時間となる AR へ経路を切り替える。しかしながら、MN 個々が独自に経路切替制御を実施すると、MN 間の経路切替において共振現象が発生する可能性が高い。このため、MN の経路切替を MAP が制御する。MAP は MAP ドメインの AR で最も遅延時間の高い AR において、最も高い経路遅延をもつ MN を選択し、この MN に選別的ルータ広告を用いて経路切替を指示する。選別された MN は前述の条件に基づき経路切替を実施する (図 5 参照)。ただし、MN の経路を未確立 (リンク切れなどにより) の I/F は、選別から対象外として、それぞれ独自にルータ広告に応答することを許可する。

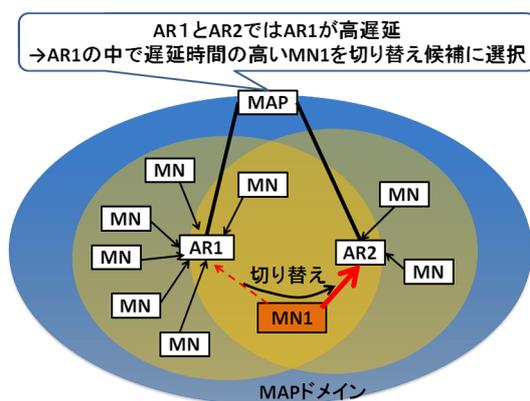


図 5 選別的ルータ広告による経路切替え

これにより、経路切替えの共振を抑制しつつ、遅延時間の高い AR から遅延時間の低い AR へトラフィックを移動し、AR 間で遅延時間均等化を図る。次節でその方式の詳細をを説明する。

4.4.3 選別的ルータ広告による経路切り替え

経路切替えは上下両方向のトラフィックが移動することから、上下両方向の遅延時間を用いる。リンク上下の遅延時間の累積を T 、リンク上下のバケット送信数の累積を d とし、 T/d をリンク上下平均遅延時間とする。移動端末 i (MN^i) において、MAP とアクセスルータ x ($AR^x, i \in x$) 間の上下平均遅延時間と AR^x と MN^i 間の上下平均遅延時間から、式 (2) のように MAP と MN^i 間の e2e 遅延時間 T^i を I/F 毎に算出する。

$$T^i = \frac{T_{MAP-AR}^i}{d_{MAP-AR}^i} + \frac{T_{AR-MN}^i}{d_{AR-MN}^i} \quad (2)$$

AR^x において、収容する MN の MAP- AR^x および AR^x - MN^i の上下遅延時間から式 (3) のように AR^x におけるグローバル遅延時間 T^{AR^x} を算出する。

$$T^{AR^x} = \frac{\sum_{i \in x} T_{MAP-AR}^i}{\sum_{i \in x} d_{MAP-AR}^i} + \frac{\sum_{i \in x} T_{AR-MN}^i}{\sum_{i \in x} d_{AR-MN}^i} \quad (3)$$

MAP は、式 (3) で算出したグローバル遅延時間が最も高い AR を探索する。探索された AR において、式 (2) で算出した遅延時間が最も高い MN を選別し、その MN の HoA と BID をルータ広告に付与する。選別的ルータ広告を受信した MN は、付与された HoA が自身の HoA であれば経路切替を実施し、遅延時間の高い AR から遅延時間の低い AR へトラフィックを移動し、AR 間で遅延時間均等化を図る。

以上、選別的ルータ広告による経路切り替えによって、移動通信環境での発見・利用可能な AR が変動する状況において、適時、最も低遅延な経路へ切替えて、集約する AR を組み替えることにより、ネットワーク全体でシームレスな広帯域通信を維持する。

5. シミュレーション評価

5.1 シミュレーション条件

本節では、複合無線アクセスネットワークの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 6 のように MN15 台、AR2 台、MAP を 1 台配置する。評価条件を以下の通りである。

- 伝送速度 6Mbps、通信範囲が 100m である 802.11a 無線 I/F (以降 11a)、伝送速度が 2Mbps、通信範囲が 200m である 802.11b 無線 I/F (以降 11b) を MN、AR1、AR2 が装備する。
- 各 AR の 11b と 11a のチャンネルは異なり、MN は AR からのルータ広告を全チャンネルからスキャンし、いずれかの AR に 11b、11a で接続する。
- 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、この間の遅延時間を無視することとする。

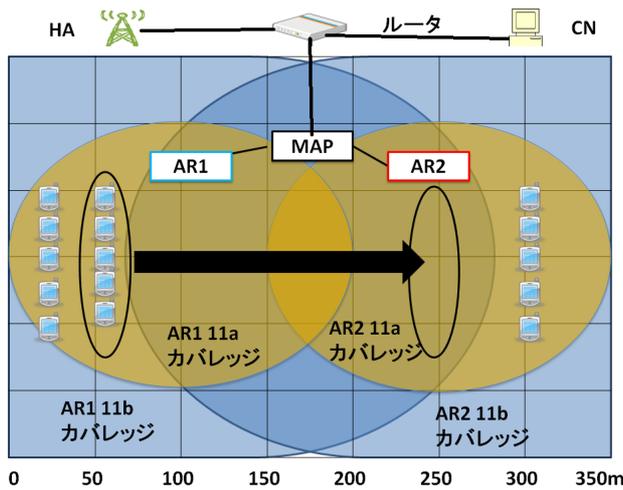


図 6 端末配置図

- 送信元は CN，宛先は MN15 台。
- アプリケーショントラフィックは CBR，送信間隔を 0.1 秒，1 度の送信データ量を 8Kbit とする．全 MN に同一の条件で CN は送信する。
- シミュレーション時間は 1000 秒，送信開始時刻は 50 秒。
- パケット分配割合更新周期は 5 秒，初期のパケット移動割合 a は 0.1，パケット移動割合の減衰率 b は 0.9。
- ルータ広告の送信間隔は 5 秒～10 秒の間でランダム。
- 初めは AR1 の 11b カバレッジ内かつ 11a カバレッジ内かつ AR2 の 11b カバレッジ外に MN が 10 台配置される (図 6 参照)．すなわち，AR1 における 11b，11a のチャネルからルーター広告は受信可能で，AR2 からのルーター広告は受信不可能な位置に配置される．同様に残りの 5 台の MN は AR2 における 11b，11a のチャネルからルーター広告は受信可能で，AR1 からのルーター広告は受信不可能な位置に配置される．シミュレーション時間が 200 秒経過すると，AR1 の黒円内にいる 5 台の MN のうち 1 台が AR2 の黒円内のエリアに向かって移動を開始する．その後 50 秒間隔で AR1 の黒円内の MN が 1 台ずつ AR2 の黒円内のエリアに向かって移動を開始する．移動速度は全 MN 1m/秒で歩行者を想定とする．AR1 の黒円内から移動した MN は最終的に AR2 の黒円内に止まる．黒円外の MN に関しては移動しない。

評価指標として，10 秒周期でネットワーク全体のスループット，遅延時間を計測する．また，提案方式の有効性を示すために以下の方式と比較する．

- シングルリンク：通信速度の速い 11a のみを利用する．
- ラウンドロビン：複数の無線メディアを用い，11a，11b 交互にパケット分配を行う．

5.2 シミュレーション結果

CBR のスループットの結果を図 7，遅延時間の結果を図 8 に示す．

• シングルリンク

シングルリンクは，11a のみを利用する．移動前に関しては，MN の接続数が AR1 に偏っているため，AR1 の 11a においてパケットが過多になり，オーバーフローが発生している (図 9)．結果，スループットが低下する．5 台の MN が順次 150m (図 6 参照) まで移動するにつれて，それぞれが AR2 の 11a を発見し経路を切り替えるため，一時的 (約 400 秒から 500 秒の間) に AR1・AR2 への MN の接続数が均等になり，AR1 のオーバーフローが減少し，スループットが増加する．しかし，5 台の MN が順次 AR1 の 11a 通信カバレッジ外である 200m まで移動すると，AR1 に接続していた MN のリンクが切断され，AR2 の 11a に再接続を行う MN がさらに増加する．従って，500 秒以降には AR2 の 11a においてパケットが過多になり，オーバーフローが発生し，スループットが急激に低下する．遅延時間では，低遅延を維持しているかのように見えるが，MN の接続数が偏っている AR の 11a において帯域不足からオーバーフローが発生し，多くのパケットを送信前に破棄している．すなわち，通信として機能していない。

• ラウンドロビン

ラウンドロビンは，複数の無線メディアの通信特性を考慮せず，11a と 11b に交互にパケットを分配する．そのため，移動前に関しては AR1 の 11b においてパケットが過多になり，オーバーフローが発生している (図 10 参照)．MN が移動するにつれて，AR2 の 11b を発見し，AR1 の 11b から AR2 の 11b に経路を切り替えを行う MN が増加する．よって，AR1 のオーバーフローが減少する．しかし，AR2 のオーバーフローが増加するため，通信の改善に至っていない．よって，常に低スループット，高遅延となる．

• 提案方式

提案方式は，シングルリンク，ラウンドロビンに比べて圧倒的に高スループット，低遅延を維持している．移動 (200 秒) 前に関しては，AR1 の 11b，11a に MN が偏っているため，AR1 の遅延時間の方が，AR2 の遅延時間に比べて高い (図 11 参照)．しかし，提案方式は AR1 にトラフィックが偏っている場合でも，シングルリンク，ラウンドロビンに比べ，高スループットかつ低遅延である．この理由は，パケット分配の結果として AR1 において 3 番目に移動開始する端末 (以下，MN3) 宛，AR2 において移動しない MN 宛のパケット分配を用いて説明する．AR1 の MN3 宛，AR2 の移動しない MN 宛のパケット分配は移動前 (0～200 秒)

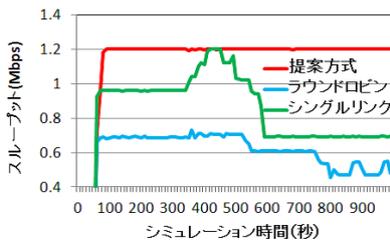


図 7 ネットワーク全体の CBR スループット

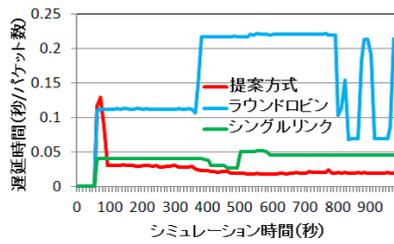


図 8 ネットワーク全体の CBR 遅延時間

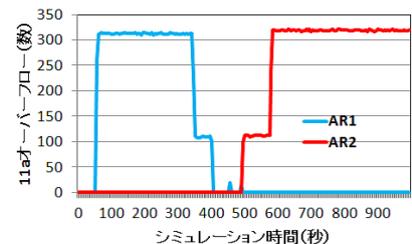


図 9 シングルリンクにおける各 AR の 11a オーバーフロー

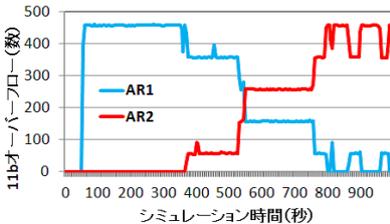


図 10 ラウンドロビンにおける各 AR の 11b オーバーフロー

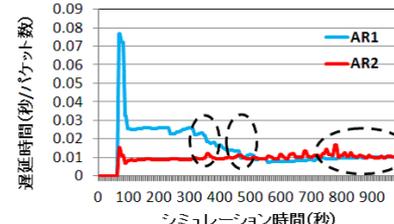


図 11 提案方式における AR 間の遅延均等化

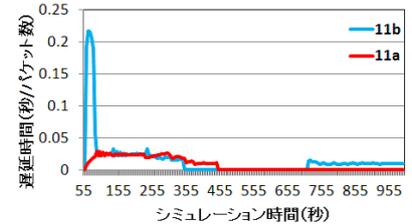


図 12 提案方式における AR1 パケット分配遅延 (MN3 宛)

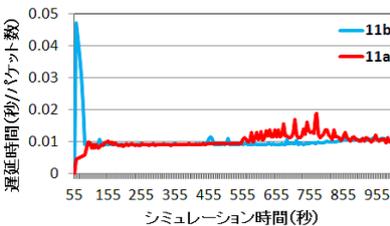


図 13 提案方式における AR2 パケット分配遅延 (移動しない MN 宛)

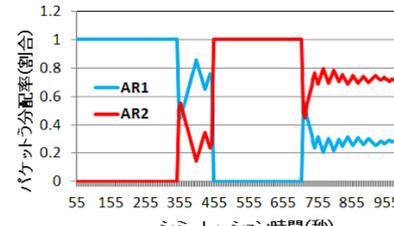


図 14 提案方式における MAP 分配割合 (MN3 宛)

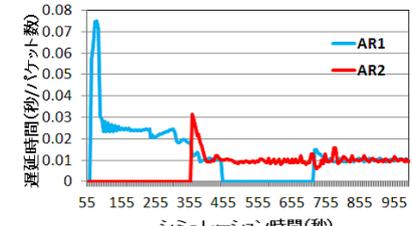


図 15 提案方式における MAP 分配遅延 (MN3 宛)

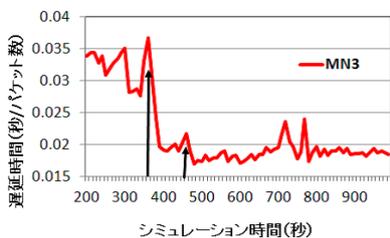


図 16 提案方式における MN3 の遅延

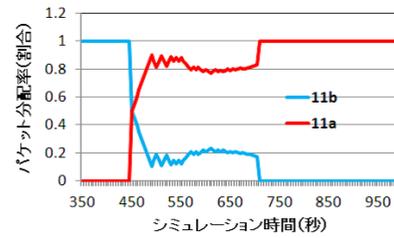


図 17 提案方式における AR2 の分配割合 (MN3 宛)

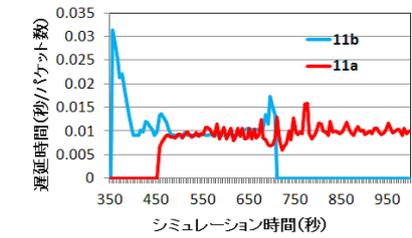


図 18 提案方式における AR2 の分配遅延 (MN3 宛)

においていずれも各 AR の 11a/b の平均遅延時間が均等化される (AR1 は図 12, AR2 は図 13). 従って, 提案方式のパケット分配が有用であることが分かる. 次に移動開始後について, MN3 を用いて説明する. 355 秒では, MN3 は AR2 の 11b を発見し, さらに選別的ルータ広告を傍受する. MN3 はこの傍受ルータ広告が AR2 の 11b が切替条件を満たすことから自身の 11b の経路を AR1 の 11b から AR2 の 11b へ切り替える. 経路切替が確立すると, MAP における MN3 宛のパケット分配 AR1:AR2=1:0 の見直しを開始され, その分配割合が AR1:AR2=0.5:0.5 に初期化され, AR1 と AR2 の遅延が計測され始める (図 14, 図 15 参照). この切り替えによって, MN3 は 11a で AR1, 11b で

AR2 に接続され, MAP における MN3 宛のパケットが AR1 から AR2 に移動し, AR1 の遅延時間 (図 11 の 355 秒付近の破線円) と自身の遅延時間が減少し始める (図 16). 特に自身の遅延時間は大幅に減少している. 455 秒では, MN3 は AR2 の 11a を発見し, 選別的ルータ広告傍受により自身の 11a の経路を AR1 の 11a から AR2 の 11a へ切り替える. この経路切替完了後, MAP は前述の経路切替と同様にパケット分配割合の見直しを開始する (図 14 の 455 秒付近). この切り替えによって, MN3 は 11a, 11b 共に AR2 に接続され, MAP における MN3 宛のパケットが AR2 に移動する. 結果, AR 間の遅延時間がさらに均等化に近づ

き(図 11 の 455 秒付近の破線円), ネットワーク全体でも少しずつであるが確実に遅延が減少している(図 8 の 455 秒付近).

455 秒から 700 秒の間では MN3 は移動を終了している. MN3 は 11a, 11b 共に AR2 に接続されるため, MN3 宛の全パケットを MAP は AR2 に転送し, AR2 でパケット分配を実施している(図 17 の 455~700 秒). AR2 はパケット分配割合が収束するにつれて, 各リンクの遅延時間を均等化している(図 18 の 455~700 秒). よって, 無線メディア間パケット分配ポリシーに基づいた最適なトラフィック分配を実施している. 700 秒後では, MN3 は選別的ルータ広告により 11b で AR2 から AR1 に経路切り替えを実施している. これは他の MN が移動により AR2 の 11b へ経路切替を実施したため, AR2 の 11b の遅延時間が増加し, 一方, AR1 の 11b は接続 MN の減少から遅延時間が減少する. これに従い, MN3 は AR1 の 11b の選別的ルータ広告から AR1 の 11b へ再び経路切替を行う. このような無線メディア間経路切替ポリシーに基づく経路切替を実施し, 各 AR 間の平均遅延時間をさらに均等化に近づけ(図 11 の 700 秒以降), ネットワーク全体で高スループット・低遅延を実現している. また, 経路切り替え後は MAP が MN3 宛のパケットを AR1, AR2 に平均遅延が均等化されるようにパケット分配が実施されている(図 14 と図 15 の 700 秒以降).

以上, 提案方式は, 経路切り替えにより AR 間の平均遅延時間均等化, 各無線メディアへのパケット分配による平均遅延時間均等化を各端末が実施することで, 高スループットかつ低遅延を持続し, シングルリンク, ラウンドロビンと比較して圧倒的にシームレスかつ広帯域通信を実現していると考えられる.

6. まとめ

本論文では移動通信環境における複合無線アクセスネットワークとその制御方式を示した. さらにシミュレーション結果から従来方式に比べ, 提案方式は高スループットかつ低遅延でシームレスな広帯域通信を実現し, 移動通信環境における有効性を示した. 今後, 無線メディアとして WiMAX や LTE を加えて, 従来方式と比較して評価する予定である.

参考文献

- [1] 原田 博司: コグニティブ無線機の実現に向けた要素技術の研究開発, 電子情報通信学会論文誌, B Vol.J91-B, No.11 ,pp.1320-1331,2008.
- [2] 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).
- [3] 湧川 隆次, 村井 純: モバイル IP 教科書.
- [4] 金子 尚史, 植田 哲郎, 野村 眞吾, 杉山 敬三,

竹内 和則: コグニティブ無線における無線環境認識についての一検討, 電子情報通信学会技術研究報告, vol.106,no.395,pp.153-158,2006-11-22

- [5] 太田 真衣, Sean Rocke, Jingkai Su, Alexander M. Wyglinski, 藤井 威生: チャネル利用率向上のためのコグニティブ無線システムにおける制御チャネル選択手法, 信学技報, SR2011-94(2012-1).
- [6] 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.
- [7] 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.
- [8] 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).
- [9] 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パケット分配制御方式, 情報処理学会論文誌, Vol. 52 No2. 543-557 (Feb. 2011).