

# 移動通信環境における複合アクセスネットワークの MobileIP との統合

野田健太郎<sup>†1</sup> 安達直世<sup>†2</sup> 滝沢泰久<sup>†2</sup>

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、複合アクセスネットワークと MobileIP との統合方式とシミュレーションによる動作検証を報告する。

## Integration of Complex Wireless Access Network into MobileIP on Mobile Communications

KENTARO NODA<sup>†1</sup> NAOTOSHI ADACHI<sup>2</sup>  
YASUHISA TAKIZAWA<sup>†2</sup>

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 integrate complex wireless access network into MobileIP. 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顕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1つ選択し、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、スマートフォンの普及により、多様なアプリケーションを利用され、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、前述のようにモバイル端末は利用可能な多様な無線メディアから1つの無線メディアを利用するのに留まっている。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あると考え、同時に利用可能な多様な無線メディアを可能な限り組み合わせ、高度に利活用す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。本方式は従来方式と比較して圧倒的に高いスループットと低い遅延時間を実現できる事を確認している<sup>6)</sup>。最近では、スマートフォンやタブレットPCの普及により、バスや電車に乗り、移動しながらもネットワークを利用する環境が急速に発展している。我々はそのような利用形態はますます拡大化すると予想している。しかし、本方式は、端末の移動に関して未考慮であり、その構成方式が移動通信環境に適合していない。

従って、複合アクセスネットワークを移動通信環境に適合した動的な構成方式をとるため、MobileIPとの統合を実施した。本稿ではその統合方式について報告する。複合アクセスネットワークのアクセス経路（以降、複合アクセス経路）は、基地局とモバイル端末間の利用可能な無線メディアと端末間で利用可能な無線メディアを組み合わせ、複数のマルチホップ経路を集約する。MobileIPとの統合ではこの複合アクセス経路を単一の無線リンクとして MobileIP

<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

およびIPから透過し、既存アクセスネットワークとの相互接続を可能としている。

以下、第2章では複合アクセス経路とトラフィック制御方式について述べる。3章ではMobileIPについて説明する。4章では複合アクセスネットワークとMobileIPとの統合方式を説明し、5章ではシミュレーションによる動作検証し、考察を述べる。最後に6章では、まとめと今後の課題について述べる。

## 2. 複合アクセス経路とそのトラフィック制御方式

本章では複合アクセスネットワークの構成、複合アクセス経路の構成、複合アクセス経路におけるトラフィック制御方式を説明する。

### 2.1 複合アクセスネットワークの構成

近年、複数の無線I/Fを搭載したノートPCやスマートフォンといったモバイル端末が急速に普及している。一方、街やホットスポットには、Wi-Fiを装備した多数のAPが偏在している。よって、それらの重なっている通信カバレッジ内ではモバイル端末が複数の無線メディアを利用することができ、さらに、端末間においても無線メディアを利用する事ができる。以上のことから、想定する複合アクセスネットワークの一例を以下に示す(図1参照)。

- モバイル端末(以降、MN: Mobile Node)とAPは、それぞれIEEE802.11b(以降、11b)とIEEE802.11a(以降、11a)の2つの無線I/Fを装備し、両方のI/Fともアドホックモードを用いる。
- ネットワークはIPネットワークを想定する。

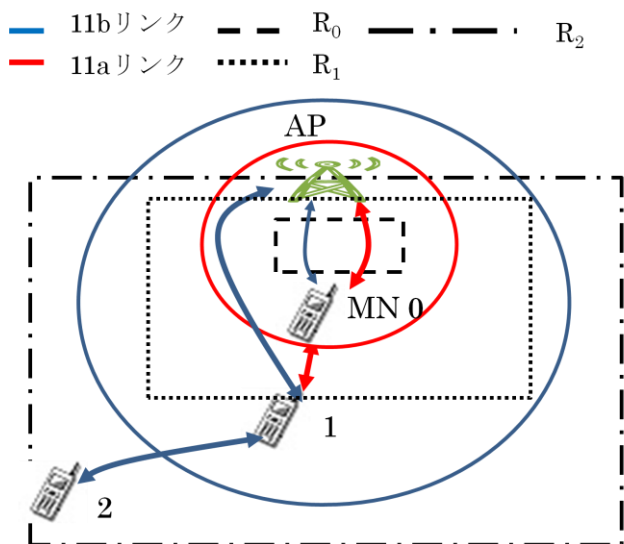


図1 複合アクセスネットワーク

Figure 1 Complex wireless access network

### 2.2 複合アクセス経路の構成

図1を用いて、複合アクセス経路の構成を述べる。MN2のアクセス経路(以降、複合アクセス経路)R<sub>2</sub>は隣接のMN1との間で利用可能なリンクを用いて構成する。同様にMN1は隣接のMN0との間で利用可能なリンクを用いて複合アクセス経路R<sub>1</sub>を構成する。最終的にMNiの複合アクセス経路R<sub>0</sub>は、MN0がAPの11bカバレッジ内かつ11aカバレッジ内より11a、11bリンクの直接通信により複合アクセス経路を構成する。このように複合アクセス経路R<sub>i</sub>は、11a、11bリンクによって繰り返し構成され、最終的に直接通信経路のみによりAPに至る。

### 2.3 トラフィック制御方式

#### 2.3.1 無線リンクの packets 分配に関する特性

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は、平均パケット到着率をF<sub>i</sub><sup>x</sup>、平均遅延時間T<sub>i</sub><sup>x</sup>としてリトルの定理を用いると次のように求まる。

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

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6)によると、ネットワーク内の平均待機パケット数をネットワークコストとすると、各端末が独立に集約リンクコストの最適解を探索する事により、ネットワークコストの最小解を探索する事が出来る。

#### 2.3.2 複合アクセス経路におけるトラフィック制御方式

マルチホップ経路を含む複合アクセス経路は、途中経路を他の複合アクセス経路と共有する。さらに、途中経路の中継端末においてもトラフィック委が発生する。すなわち、複合アクセス経路のトラフィックは宛先までの途中経路で、他の宛先のトラフィックと合流、分岐する。このようなトラフィックにおいて、複合アクセス経路コストは以下のようになる。

$$D_{R_i} = F_i T_{R_i} = F_i \left( \frac{\sum_{u \in U_{R_i}} F_{i[u]} T_{R_i[u]}}{\sum_{u \in U_{R_i}} F_{i[u]}} \right) = \sum_{u \in U_{R_i}} F_{i[u]} T_{R_i[u]} = \sum_{u \in U_{R_i}} D_{R_i[u]} \quad (2)$$

U<sub>R<sub>i</sub></sub>は経路R<sub>i</sub>におけるパケットの宛先の集合、F<sub>i[u]</sub>はR<sub>i</sub>における宛先uのパケット到着率、T<sub>R<sub>i</sub>[u]</sub>はR<sub>i</sub>における宛先uのパケットの平均遅延時間、D<sub>R<sub>i</sub>[u]</sub>はR<sub>i</sub>における宛先uの経路コストである。すなわち、式(2)から複合アクセス経路コストはその経路における宛先ごとの複合アクセス経路のコスト(以降、宛先ごと経路コスト)の総和である。文献6)によると、各端末が複合アクセス経路において、宛先ご

との平均遅延時間を均等になるよう、宛先ごとにパケット分配を行うことで、宛先経路コストの最小解探索が可能である。

以上より、宛先ごとの平均遅延時間が均等になるように宛先ごとにパケット分配を行い、宛先経路コストを最小化する。さらに、パケット分配は宛先ごとに平均遅延時間を均等になるように行うので、複数経路のパケット到着順乱れも抑制することが可能である。本方式では従来方式と比較してスループット、遅延時間ともに大幅に改善することを確認している<sup>6)</sup>。

### 3. 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。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ホームアドレス (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、バインディングリスト）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、バインディングリストから 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、移動しながらの通信の継続が実現できる。

MobileIP では、大きく移動検出機能、位置登録機能、パケット転送機能の三つを提供する<sup>7)</sup>。以下、MN がホームネットワークにいる場合と訪問先ネットワークにいる場合についてそれぞれ説明する。

- ホームネットワークにいる場合（図2参照）

移動検出：

モビリティエージェント（FA または HA）はエージェント広告（AgentAdvertisement）を送信する。MN は AgentAdvertisement を受信し、自身の持つ HoA とそれに含まれるネットワーク情報が同一であれば、ホームネットワークであると判断する。

位置登録：

MN はホームネットワークへ移動したことを検知した後、HA に対して登録要求メッセージ（RegistrationRequest）を

送信する。HA が RegistrationRequest を受信すると MN の経路を登録し、MN に対して登録応答メッセージ（RegistrationReply）を送信し、MN は RegistrationReply を受信すると HA への経路を構築する。

パケット送受信：

通常の IP ルーティングを行う。

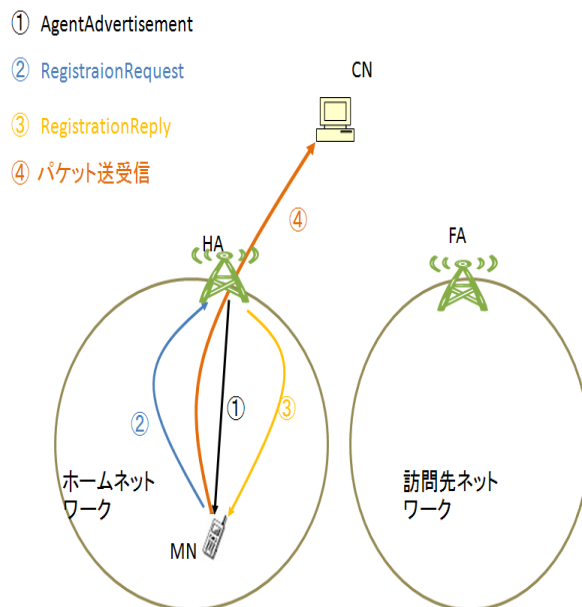


図2 ホームネットワークにいる場合の動作

Figure 2 Behavior in home network

- 訪問先ネットワークにいる場合（図3参照）

移動検出：

モビリティエージェントは AgentAdvertisement を送信する。MN は AgentAdvertisement を受信し、自身の持つ HoA とそれに含まれるネットワーク情報が異なっているため、訪問先ネットワークであると判断する。

位置登録：

MN は訪問ネットワークへ移動したことを検知した後、訪問先ネットワーク上で CoA を生成する。CoA は DHCP などの外部アドレス取得技術により取得、もしくは FA がもっている CoA を取得する方法がある。MN は FA を経由して、RegistrationRequest を HA に送信する。FA が RegistrationRequest を受信した際、FA は訪問者リストを作成し、IPv4 のヘッダ情報の送信元 HoA から CoA に書き換えて HA に転送する。HA が RegistrationRequest を受信すると MN の経路を登録しバインディングリストを作成する。その後、HA は FA を経由して MN に対して RegistrationReply を送信し、MN は RegistrationReply を受信すると HA への経路を構築する。

パケット送受信：

MN から CN の通信は通常の IP ルーティングを行う。CN から MN の通信は、宛先アドレスを HoA に指定してパケットを送信するため、移動端末の代わりに全て HA が受信する。HA はバインディング登録時に作成されたトンネルを利用して、受信パケットをカプセル化して FA に送信する。FA はカプセル化されたパケットを受信すると、デカプセル化して、元のパケットを MN へ送信する。

- ① AgentAdvertisement
- ② RegistrationRequest
- ③ RegistrationReply
- ④ パケット送受信

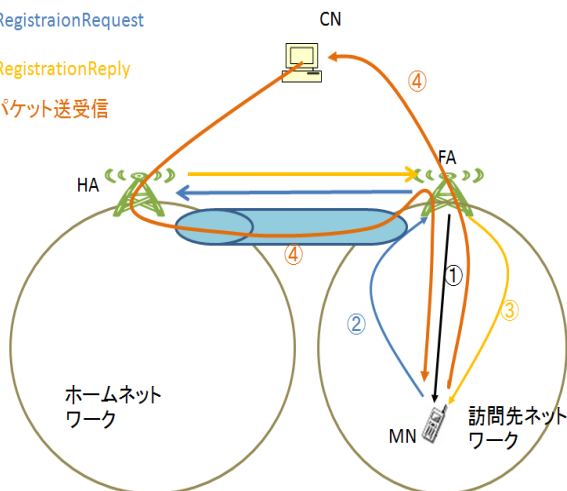


図3 訪問先ネットワークにいる場合の動作

Figure 3 Behavior in foreign network

## 4. MobileIP 統合方式

既存の MobileIP 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なければならないので、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、MobileIP に複合アクセスネットワークを統合することで、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パケットを分配することで、パケットをロスせずに通信を維持する事ができ、移動通信環境で大きな効果を期待できる。しかし、本方式は端末の移動を考慮していないため、移動通信環境に適合した動的構成方法をとっていない。従って、本方式を移動通信環境に適合した動的構成方式とするため MobileIP と統合した。以下、その統合方式を説明する。

### 4.1 統合レイヤ構造

既存の MobileIP ではホストを識別する HoA とロケータを識別する CoA を 1 つずつ割り当てられ、MN は 1 つの I/F かつ 1 ホップ (直接通信) によりアクセスネットワークを

構成する。よって、既存の MobileIP を利用して、複数の I/F を同時に利用かつ MN 間のマルチホップにより複合無線アクセスネットワークを構成するには、MobileIP からは 1 つの I/F かつ 1 ホップで見えるようにする必要がある。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構成するレイヤを MobileIP より下位レイヤに組み込み、MobileIP から複合無線アクセスネットワークのアクセス経路を単一の無線リンクとして隠蔽する必要がある。以上より、本稿では、複合アクセスネットワークと MobileIP を統合するために、IP レイヤと MAC レイヤの間に仮想レイヤ (以降、Composite レイヤ) を実装した (図 4 参照)。

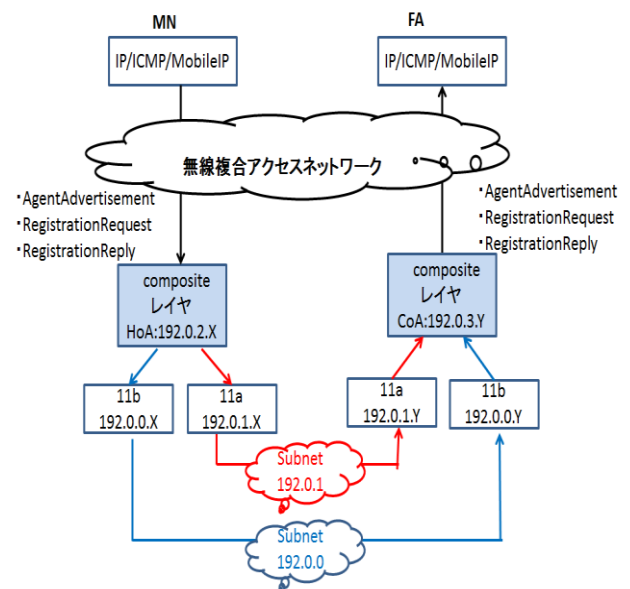


図4 統合レイヤ構造

Figure 4 Integrated layer structure

Composite レイヤは端末に装備されている I/F を管理し、これらを集約した仮想 I/F かつ仮想サブネットとして提供する。また、既存の MobileIP を利用し、無線アクセスネットワーク内で複数の I/F かつマルチホップ対応にするため、AgentAdvertisement, RegistrationRequest, RegistrationReply (以降、制御パケット) の送信元、中継端末、受信端末は Composite レイヤで以下の処理を行う。

- 送信元 (MN/HA/FA)  
 IP レイヤから Composite レイヤに渡った 1 つの制御パケットを複製して複数の I/F から送信する。
- 中継端末 (MN)  
 複数受信した制御パケットを Composite レイヤにおいて転送する。
- 宛先 (MN/HA/FA)  
 Composite レイヤで複数受信した制御パケットを 1 つのみ IP レイヤに上げる。



上記の処理を行う事により、Composite レイヤは MobileIP (IP レイヤ) から複合アクセス経路を単一无線リンクとして提供し、制御パケットが1つのI/Fかつ1ホップ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, CoAをMN, FAに割り当てることで、MobileIPに関して、特別な改造をすることなく、MobileIP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 複合アクセスネットワークへのバインディング手順

複合アクセスネットワークを構成するために以下のものを定義した。

- モバイルエージェント (HA または FA) の 11a カバレッジ内かつ 11b カバレッジ内にいる MN を MN<sub>0</sub>, 11a カバレッジ外かつ 11b カバレッジ内にいる MN を MN<sub>1</sub> とする。

経路をルーティングテーブルに登録する契機を、MN, モバイルエージェントそれぞれ以下に示す。

- MN : RegistrationReply を受信時
- モバイルエージェント : RegistrationRequest を受信時はじめに MN とモバイルエージェントの直接通信による経路構成を説明する (図5参照)。

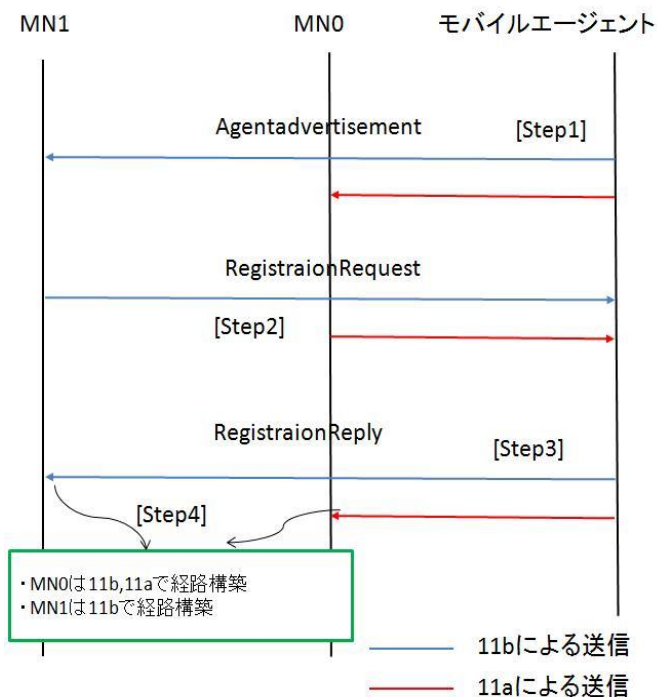


図5 直接通信による経路構成

Figure 5 Routes configuration by direct communication

#### [Step1]

モバイルエージェントは定期的に AgentAdvertisement を 11b, 11a でブロードキャスト送信する。MN0 は 11b, 11a 両方で、MN1 は 11b のみで AgentAdvertisement を受信する。MN0, MN1 は AgentAdvertisement をしばらく聞いて最短経

路を I/F 毎に保存する。

#### [Step2]

MN は登録した最短経路で、RegistrationRequest を送信する。MN0 は RegistrationRequest を 11b, 11a から、MN1 は 11b から送信する。

#### [Step3]

モバイルエージェントは、MN0 からの RegistrationRequest を 11b, 11a で受信、MN1 からの RegistrationRequest を 11b で受信し、ルーティングテーブルを作成する (表1参照)。作成した経路を利用して RegistraionReply を送信する。

表1 モバイルエージェントのテーブル

Table 1 A table of mobile agent

dest	NextHop	I/F	distance
MN0 の HoA	MN0 の 11a	11a	1
MN0 の HoA	MN0 の 11b	11b	1
MN1 の HoA	MN1 の 11b	11b	1

#### [Step4]

MN は RegistrationReply を受信すると、保存していた最短経路をルーティングテーブルに登録する。MN0 は 11b, 11a で RegistrationReply を受信し複数の I/F でアクセスネットワークを構成し、MN1 は RegistrationReply を 11b で受信し 1 つの I/F でアクセスネットワークを構成する。

次に、MN 間のマルチホップ通信による経路構成を説明する (図6参照)。

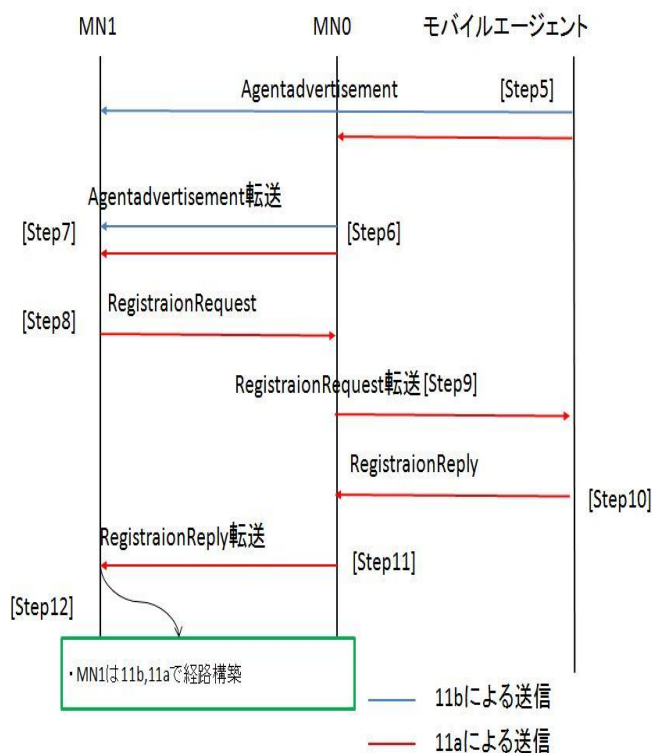


図6 マルチホップ通信による経路構成

Figure 6 Routes configuration by multihop communication

[Step5]

モバイルエージェントは AgentAdvertisement を 11b, 11a インタフェースでブロードキャスト送信する。

[Step6]

MN0 は AgentAdvertisement を受信した契機では、複数の I/F によりアクセスネットワークを構成している。つまり、MN0 より下流の MN は MN0 を経由しマルチホップすることで、より多くの周波数帯を有効利用できる。そのため、本方式では、AgentAdvertisement を受信した MN が複数の I/F によりアクセスネットワークを構成しているならば、受信した AgentAdvertisement を複製し、それを下流の MN に全ての I/F で転送することとする。MN0 は受信した AgentAdvertisement を I/F0, I/F1 からブロードキャスト送信する。

[Step7]

MN1 が 11a で MN0 から AgentAdvertisement を受信した場合、それを最短経路として保存する。MN1 が 11b で MN0 から AgentAdvertisement を受信した場合、受信したパケット (ホップ数 2) より保存されている経路 (ホップ数 1) が最短経路であるので、これを無視する。

[Step8]

MN1 は 11a で RegistrationRequest を MN0 に転送する。

[Step9]

MN0 は 11a で MN1 からの RegistrationRequest を受信する。MN0 は中継端末として機能するため下流方向の経路を記憶する必要がある。そのため、11a において MN0 は MN1 宛の経路を一時的に記憶し、RegistrationRequest を転送する。

[Step10]

MN0 から転送された RegistrationRequest をモバイルエージェントが受信すると、ルーティングテーブルに以下のエンタリ (表 2 参照) を追加する。そして、RegistrationReply を追加したエンタリを経由して送信する。

表 2 マルチホップ通信により追加されたエンタリ

Table2 A entry added by multihop communication

Dest	NextHop	I/F	Distance
MN1 の HoA	MN0 の 11a	11a	2

[Step11]

MN0 が MN1 宛の RegistrationReply を受信すると、保存していた MN1 宛の 11a に関する下流方向の経路をルーティングテーブルに登録し、登録したエンタリを利用して RegistrationReply を MN1 に転送する。

[Step12]

MN0 が転送した RegistrationReply を MN1 が 11a で受信すると、保存していた 11a での最短経路をルーティングテーブルに登録し、MN1 は MN0 を経由するマルチホップ経路とモバイルエージェントとの直接経路によりアクセスネッ

トワークを構成する。

上記の処理を各 MN が繰り返し行い、MN とモバイルエージェント、または MN 間の重なっている周波数帯を並列利用し、制御パケットをマルチホップ通信で転送して複合アクセス経路を構築する。

### 4.3 複合アクセスネットワークの問題点とその解決方法

本節では、複合アクセスネットワークでの問題点を 2 つ挙げ、その解決方法を示す。

#### 4.3.1 ループの問題

本方式では、複数の経路に対してパケット分配を行う。しかし、複合アクセス経路は、複数の経路を利用するため、分配されたパケットがループする可能性がある。パケットがループすると、通信効率が落ちる。そこで本方式では、AgentAdvertisement を転送する際に、複合アクセス経路で経由する可能性がある MN の HoA を HoA リスト内に追加して送信する。AgentAdvertisement を受信した MN はリスト内に自身の HoA があれば、ループする経路が構築されると判断し、最短経路として保存せずに破棄する。以上よりループの問題を解決する。自身とモバイルエージェント間で経由する端末の取得は、MN が経路を構成する際に受信する RegistrationReply に、中継 MN は RegistrationReply に自身の HoA を入れて転送し、MN は RegistrationReply を受信すれば経由する中継 MN を登録する。合流、分岐する複合アクセス経路において経由する可能性のある MN を全て取得するには、I/F 毎に取得した経由 MN の和集合を求める事で実現できる。

#### 4.3.2 片方向リンクの問題

MN は移動によって接続していたリンクが切断されると、片方向リンクになる可能性がある。そのため、リンクの接続性を MN は監視する必要がある。本方式ではそれを実現するために以下のものを定義した。

- MN が接続している上流の隣接端末の I/F を親、MN に接続している下流の隣接端末の I/F を子とする。
- MN は I/F 毎に親または子を経路登録時に登録し、また延命時間を保持し、管理する。

複合アクセスネットワークは上りトラフィックで合流、下りトラフィックで分岐するため、I/F 毎に親は 1 つ、子は複数保持することになる。親と子の接続性を監視するために、I/F 毎に管理している親と子を AgentAdvertisement の中に格納し、該当 I/F から送信する。AgentAdvertisement 送信元が自分の親の場合、AgentAdvertisement の中の子のリストに自身の受信 I/F のアドレスがあるなら、親も自身を子と認識していると判断し延命時間を延ばす。子のリストに自身の受信 I/F のアドレスが無いなら管理していた親を消し、NextHop を親とするルーティングテーブル、保存し

ている最短経路を削除する。また、AgentAdvertisement 送信元が自分の子の場合、AgentAdvertisement 中の親リストに受信 I/F のアドレスがあるなら、延命時間を延ばし、無いなら管理していた子を消し、NextHop を子とするルーティングテーブル、最短経路を削除する。さらに MN はタイマー駆動により、親または子の延命時間が更新されていなかったらそれを消し、それを NextHop とするルーティングテーブル、最短経路を削除する。本方式ではこれを親子タイマーと定義する。以上の処理によって MN はリンクの接続性を認識し、リンクが切断しても、別のリンクに再度接続できる。

## 5. 動作検証

### 5.1 評価条件

本節では、MobileIP 統合方式の検証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 500×500 の空間とし、図 7 のように MN2 台、HA、FA を 1 台ずつ無線ネットワーク空間に配置する。

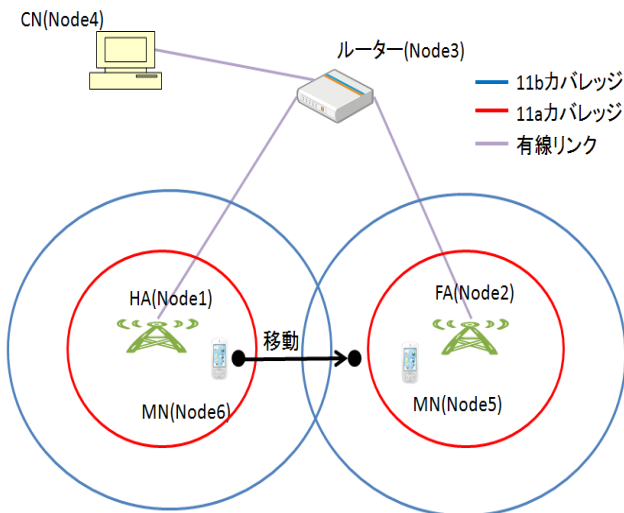


図 7 端末配置図

Figure 7 Figure of terminal placement

評価条件は次の通りである。

- 伝送速度 6Mbps, 通信範囲が 100m である 11a, 伝送速度が 2Mbps, 通信範囲が 200m である 11b を MN, HA, FA が装備する。また、11a, 11b とともにアドホックモードに設定する。
- 送信元は CN, 宛先は Node6.
- 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 1000 秒, 送信間隔は 0.1 秒, 送信開始時刻は 50 秒, データ量 1000byte.
- 親子タイマーは 5 秒ごとに発火する。
- パケット分配更新周期は 5 秒.
- HA/FA の AgentAdvertisement 送信間隔は 5 秒~10 秒

の間でランダム。

- Noded5 は FA の 11a かつ 11b カバレッジに配置され移動しない。Node6 は移動する。図 8 に Node6 の移動の軌跡を示す。Node5 は移動しないので、シミュレーション終了まで 11a, 11b により FA と直接経路が構成される。Node6 は 300 秒までの間では 11a, 11b 両方で HA との経路が構成される。300 秒から 500 秒の間で HA の 11a カバレッジ外に移動するので 11a リンクが切断される。500 秒になると HA の 11b カバレッジ外に移動し HA との 11b リンクが切断され、MN6 は FA と経路を構成する。Node6 は 550 秒で FA の 11a カバレッジ外かつ 11b カバレッジ内の地点で移動をやめる。

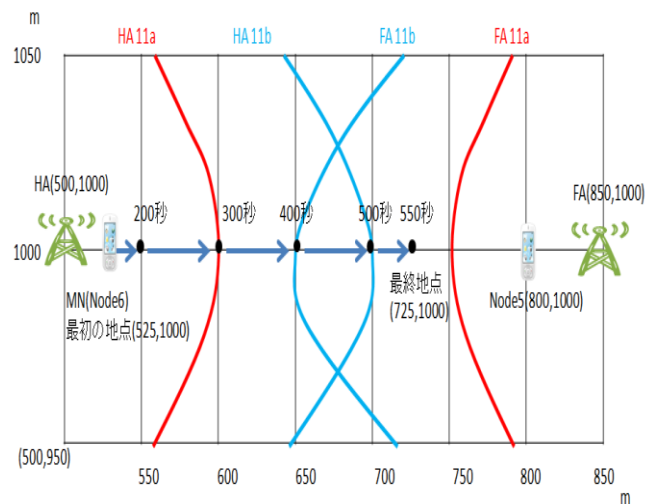


図 8 Node6 の軌跡

Figure 8 Trace of Node6

以上の条件下で、移動する Node6 の時間推移における遅延時間とスループットを 5 秒周期で計測した。

### 5.2 動作結果

本節では、ネットワークシミュレータを用いた提案方式の動作検証について述べる。図 9 に Node6 の CBR における遅延時間、図 10 に Node6 の CBR におけるスループットの結果を示す。

図 9 において、50~300 秒が 300~500 秒の時間帯に比べて遅延時間が低いのは、300 秒~500 秒の時間帯に関して Node6 は HA と 11b のみで通信を行っているのに対し、50~300 秒の時間帯は複数の I/F を利用したからである。また 50~300 秒の時間帯は遅延時間が徐々に低くなった。これは無線メディアの通信速度を考慮し、速度の速い 11a に徐々にパケットを多く分配することで、複合アクセス経路コストが最小解に向かっているからである。よって、50~300 秒の時間帯は複数の I/F を有効に活用できたといえる。300 秒を過ぎた直後で遅延が 0 秒になったのは、Node6 が

HA の 11a カバレッジ外に移動したにもかかわらず、親子タイマーが発火するまでリンクが切断されたと判断できないため、11a に過剰に分配されたパケットがロスしたからである。500 秒で遅延時間が 0 秒になったのは Node6 が HA の 11b カバレッジ外に移動したにもかかわらず、HA がパケットを 11b で送信し、パケットが届いていないためである。500 秒が過ぎると、Node6 はアクセスネットワークを切り替えるため、バインディング処理をし、11a で Node5 を経由したマルチホップ経路と、11b で FA との直接経路を構成する。その後、CN からのパケットは一度 HA に送られてからカプセル化され転送されるので、HA の配下にいるときに比べ、遅延時間が少し上がった。

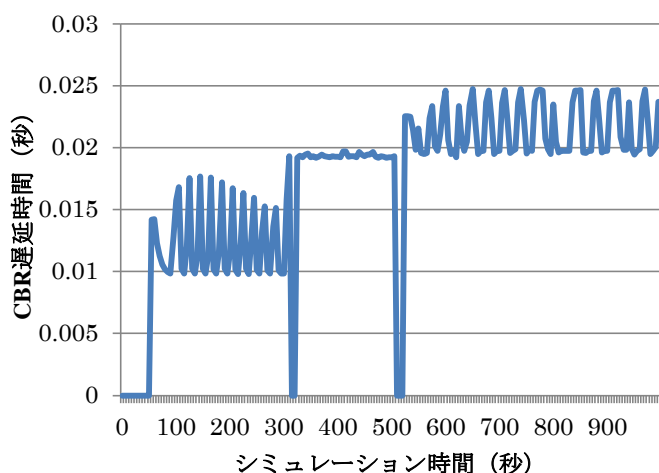


図9 Node6の CBR 遅延時間  
 Figure9 CBR Delay of Node6

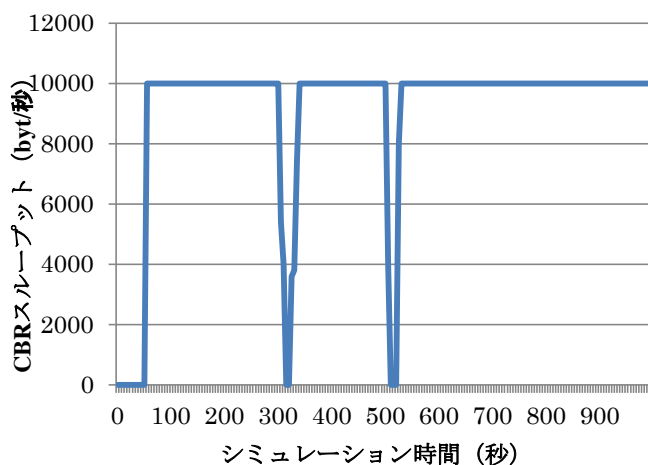


図10 Node6の CBR スループット  
 Figure 10 CBR Throughput of Node6

図10において、スループットでもリンクが切断される300秒後と500秒後で0byte/秒になった。これは上記で述べた理由と同じである。シナリオの条件ではトラフィック

量が1つのIFでも十分に余裕があるため、それ以外の時間帯では全て高スループットであった。

以上より、Node6は移動しながら複数の無線メディアにより、HA/FAとの直接通信と端末間のマルチホップにより複合アクセス経路を動的に構成しているので、複合アクセスネットワークとMobileIPとの統合に成功したといえる。しかし、本方式ではリンクの切断を親子タイマーで行なっているので、MNが接続先の端末の通信カバレッジ外に移動しても、親子タイマーが発火するまでリンクが切断されていないと判断する。よって、評価における300秒後のようにタイマーが発火するまでは、切断されたリンクにパケットが分配され、一時的にパケットロスが発生する。さらに、本方式では複数のモバイルエージェントに跨る場合(MCoA)を考慮してない。よって、500秒後のようにタイマー発火でリンクが切断されてから、接続するモバイルエージェントを切り替える間で、パケットロスが発生する。

以上より、本方式の課題としてタイマー駆動でのリンク切断ではなく、より迅速なリンク切断の認識、それに合わせた分配割合の対応が必要である。さらに、MCoAを考慮する必要がある。これらの課題を解決することで、移動通信環境でよりシームレスかつ高スループット、低遅延の通信を期待できる。

## 6. まとめ

本稿では、複合アクセスネットワークとMobileIPとの統合方式を提案し、動作検証を確認した。今後の課題としてリンクの切り替えをタイマー駆動ではなく、より迅速なリンク切り替えと、MCoAを考慮して、複合アクセスネットワークにおけるトラフィック制御方式を検討する。

## 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, <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 Flixible Mobile Multimedia Communications, Proc. MomuC'99, pp3-10 (1999).
- 4) 原田: 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会制御によるアクセスポイント選択方式 無線端末の接続状態変化への対応 (情報ネットワーク)”, 信学技法, 111(469), pp 287-292, (2012.03.08).
- 6) 滝沢, 植田, 小花: “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. pp543-557 (2011).
- 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).