

# コグニティブ無線技術を活用した MIMO メッシュネットワークの研究開発 (062103007)

## Research & Development on Cognitive MIMO Mesh Networks

### 研究代表者

阪口啓 東京工業大学

Kei Sakaguchi Tokyo Institute of Technology

### 研究分担者

藤井威生<sup>†</sup> 小野文枝<sup>††</sup> 梅林健太<sup>†††</sup>

Takeo Fujii<sup>†</sup> Fumie Ono<sup>††</sup> Kenta Umebayashi<sup>†††</sup>

<sup>†</sup>電気通信大学 <sup>††</sup>横浜国立大学 <sup>†††</sup>東京農工大学

<sup>†</sup>University of Electro-Communications <sup>††</sup>Yokohama National University

<sup>†††</sup>Tokyo University of Agriculture and Technology

研究期間 平成 18 年度～平成 20 年度

## 概要

本研究課題では、周囲の無線環境をコグニティブネットワークにより認知し、ダイナミックスペクトル技術、MIMO 技術、電力制御、ルーティング技術、パケットスケジューリング技術、協力中継、ネットワーク符号化などを活用することで環境に適応する高度無線メッシュネットワークの研究開発を行った。さらに上記の要素技術を統合し、実伝搬測定データを用いてクロスレイヤ最適化することで、高速高信頼なコグニティブ MIMO メッシュネットワークを実現した。これにより、新たな周波数資源を割り当てることなく、時間・周波数・空間の領域において与えられた電波資源を最大限活用した無線ネットワークの構築が可能となり、周波数の不足を抜本的に解決できる。

## Abstract

The goal of this project is to provide an advanced wireless mesh network called as “Cognitive MIMO Mesh Network”. The cognitive MIMO mesh network has ability of dynamic spectrum access by using cooperative sensing and cognitive network. It realizes high network capacity as well by using network MIMO, distributed power control, and advanced radio resource management with network coding. These technologies are integrated into a system via cross layer optimization. Furthermore, prototype hardware of cognitive MIMO mesh network is developed, and the performance is evaluated by using measurement data. The cognitive MIMO mesh network will solve the problem of spectrum shortage dramatically.

## 1. まえがき

本課題では、高速高信頼なコグニティブ MIMO メッシュネットワークの研究開発を行ってきた。本稿では提案方式の概要、計算機シミュレーションによる特性評価（従来方式である CSMA/CA を用いたメッシュネットワークとの特性比較）、および試作したハードウェアの概要を紹介し、最後に今後の展望を述べる。

## 2. 研究内容及び成果

### 2.1. コグニティブ MIMO メッシュネットワーク

本課題にて創出したコグニティブ MIMO メッシュネットワークの概念を図 1 にまとめる。プライマリシステムは既存システム（例えば、IEEE802.11a 無線 LAN）であり、セカンダリシステムが本課題で創出したコグニティブ MIMO メッシュネットワークである。メッシュネットワークでは中継機能を有したノードをメッシュ状に配置し各ノード間に無線リンクを張ることで簡単に広範囲な無線ネットワークを構築することが可能となる。しかしながら、メッシュネットワーク内における同一チャネル干渉および既存システムであるプライマリシステムとの干渉が問題となり高速無線ネットワークを実現できないという重大な問題が存在していた。本研究ではメッシュノード（セカンダリシステム）の通信方式として MIMO-OFDMA を採用し、このメッシュノードが「分散（協調）センシング技術」「コグニティブネットワーク技術」「分散 MIMO 技術」「適応無線リソース制御技術」の

4 つの要素技術を実現することで、高速な伝送レートと高い信頼性を必要とするローカルな無線ネットワークを自律分散的に構築する方法を創出した。各要素技術の概要を表 1 にまとめる。

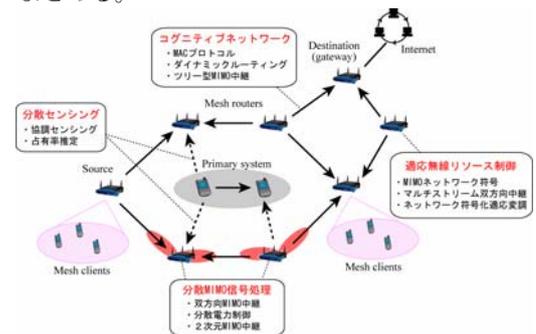


図 1 コグニティブ MIMO メッシュネットワーク全体像

表 1 提案方式の要素技術

要素技術	概要
分散センシング	複数のノードが協調してプライマリシステムの使用チャネルおよび時間占有率を検出する方法、および検出結果に基づいたプライマリシステムの保護手法
コグニティブネットワーク	プライマリシステムの検出結果に基づいたセカンダリシステムのルーティング手法およびプライマリシステムと周波数を共用するための MAC プロトコル
分散 MIMO 信号処理	セカンダリシステムのマルチホップネットワーク内で隣接ノード間干渉（隠れ端末問題）を回避し、また双方向フローを多重するための MIMO 信号処理
適応リソース制御	ネットワーク符号を用いたネットワーク内のトラフィックの圧縮、および伝搬路およびトラフィックの変動に追従した適応的なリソース（ストリーム）制御

## 2.2. MIMO メッシュネットワークの特性評価

本研究課題の成果である MIMO メッシュネットワークの特性評価を行うために、従来法である CSMA/CA に基づくマルチホップネットワークと提案法のスループット特性の比較を行った。提案法では高効率な双方向フローの中継を実現するために、図 2 に示す MIMO 双方向中継および MIMO ネットワーク符号を用いている。両方式では送受信ノードを交互に配置し、双方向フローの中継を同一チャネルで同時に行う。その際発生するフロー内・フロー間干渉は MIMO 信号処理およびネットワーク符号を用いて除去可能となる。提案法の優位性を示すために IEEE802.11s に準ずる CSMA/CA メッシュネットワークとの特性比較を図 3 に示す。トラフィックの増加に伴い、CSMA/CA のスループットが 2Mbps/flow に飽和してしまうのに対して、提案法は高いトラフィックでも高いスループットを達成し、高速高信頼なネットワークが実現可能となる。

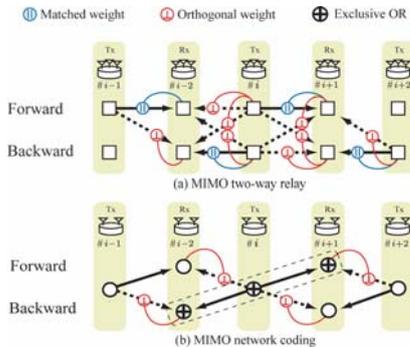


図 2 双方向 MIMO マルチホップ中継方式

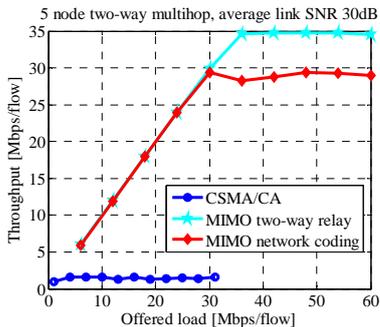


図 3 従来法(CSMA/CA)とのスループット特性評価

## 2.3. プロトタイプハードウェア

コグニティブ MIMO メッシュネットワークを実現するためのコグニティブ中継ノードを 950MHz 帯にて開発した。その外観を図 4 に示す。本ハードウェアは 4 チャンネルの送受信システムを備えたベースバンドボード、RF ボード、アンテナを構成される。MIMO 信号処理、適応リソース制御、ルーティング機能に加えて、RFID などのプライマリシステムとの周波数共有を行うためのセンシング機能を実装している。

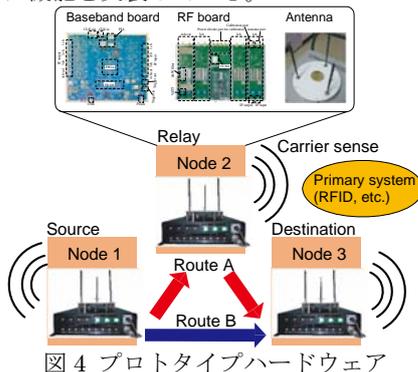


図 4 プロトタイプハードウェア

## 3. むすび

本研究により得られた成果は今後「産業界」と「学術分野」の 2 つのカテゴリで更なる発展を遂げるものと考えられる。「産業界」では、コグニティブ MIMO メッシュネットワークの根幹を成す 4 つの要素技術が今後の無線ネットワークの標準規格 (例えば、IMT-Advanced セルラーネットワーク、IEEE802.15.4g ユーティリティネットワーク、IEEE802.11ac 無線 LAN など) に採用される可能性が高い。また「学術分野」では、研究代表者および分担者を中心として「無線分散ネットワーク」という学術分野を立上げ、国内だけでなく国際的に定期的にワークショップを開催している。またこのワークショップの実行委員会を中心として、無線分散ネットワークに関する教科書を執筆しており、今後の無線通信ネットワークの基盤を成すものと考えられる。

### 【参加国際標準会議リスト】

- [1] IEEE, 802 interim meeting, Taipei, Taiwan, Jan. 13-18, 2008.
- [2] IEEE, 802 plenary meeting, Denver, USA, July 14-18, 2008.
- [3] IEEE, 802, interim meeting, Vancouver, Canada, Mar., 9-13, 2009.

### 【誌上发表リスト】

- [1] F.Ono, K.Sakaguchi, “MIMO spatial spectrum sharing for high efficiency mesh network”, IEICE Trans. Commun., vol.E91-B, no.1, pp.62-69, Jan. 2008.
- [2] H.Uchiyama, K.Umabayashi, T.Fujii, F.Ono, K.Sakaguchi, Y.Kamiya, and Y.Suzuki, “Study on soft decision based cooperative sensing for cognitive radio networks”, IEICE Trans. Commun., vol.E91-B, no.1, pp.95-101, Jan. 2008.
- [3] 藤井威生, “電力制限による干渉回避を行うマルチチャネルマルチホップコグニティブ無線ネットワーク”, 電子情報通信学会論文誌 B, vol.J91-B, no.11, pp.1369-1379, Nov. 2008.

### 【申請特許リスト】

- [1] 阪口啓, 小野文枝, 島田修作, “MIMO メッシュネットワーク”, PCT 指定国, PCT/JP2007/072998, 2007 年 11 月 21 日
- [2] 藤井威生, 田中総一, “コグニティブ無線通信システム、通信方法、および通信機器”, 特願 2008-117900, 日本, 2008 年 4 月 28 日
- [3] 小野文枝, 阪口啓, 島田修作, “マルチホップ無線通信システム”, PCT 指定国, PCT/JP2008/073676, 2008 年 12 月 18 日

### 【受賞リスト】

- [1] 阪口啓, 電子情報通信学会 ソフトウェア無線研究会 研究奨励賞, “コグニティブ MIMO メッシュネットワーク-MIMO 技術を用いた空間周波数共有のための基礎検討”, 2007 年 5 月 24 日
- [2] 阪口啓, 電子情報通信学会 無線通信システム研究会 研究活動奨励賞, “双方向リンク多重化 MIMO メッシュネットワーク”, 2008 年 5 月 30 日
- [3] 藤井威生, 電子情報通信学会 アドホックネットワーク研究会 研究奨励賞, “ダイナミックサブキャリア制御を用いた TDMA マルチホップ無線ネットワーク”, 2009 年 5 月

### 【本研究開発課題を掲載したホームページ】

<http://www.icwdn.org/awdn/index.html>