

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成 24 年 6 月 5 日現在

機関番号：12605

研究種目：基盤研究（C）

研究期間：2009 ～ 2011

課題番号：21560386

研究課題名（和文）コグニティブ無線による多次元無線リソースの適応制御法に関する研究

研究課題名（英文）Adaptive resource allocation based on multiple dimensional radio resources by cognitive radio techniques

研究代表者

鈴木 康夫（SUZUKI YASUO）

東京農工大学・大学院工学研究院・教授

研究者番号：90323740

研究成果の概要（和文）：

本研究では、コグニティブ無線技術を用いた 4 次元からの周波数共用に関する検討を行った。これにより、周波数枯渇問題を抜本的に解決することを狙った。我々は、時間占有率を用いた周波数共用法、MIMO 技術を用いた空間軸からの周波数共用法、符号（周波数ホッピング）を用い、周波数をダイナミックに活用するアプローチを示した。本研究を通し、それぞれの要素技術が周波数有効利用を促進することを示した。

研究成果の概要（英文）：

In this work, we have investigated dynamic spectrum sharing with four resource dimensions based on cognitive radio technique. The aim of this study is to solve spectrum scarcity problem in wireless communication field. We have investigated channel occupancy rate information based spectrum sharing technique, MIMO-based space domain spectrum sharing, and frequency hopping, for the dynamic spectrum sharing. This work has shown that the above techniques can enhance the efficient spectrum usage significantly.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2009 年度	700,000	210,000	910,000
2010 年度	2,400,000	720,000	3,120,000
2011 年度	500,000	150,000	650,000
年度			
年度			
総計	3,600,000	1,080,000	4,680,000

研究分野：通信ネットワーク工学

科研費の分科・細目：電気電子工学・通信・ネットワーク工学

キーワード：コグニティブ無線・多次元無線資源・クロスレイヤ・周波数共用・環境認識技術

1. 研究開始当初の背景

(1) 周波数は無線通信の貴重なリソースといわれており、携帯電話等の急激な普及にともない、その不足が懸念されている。デジタル通信の時代を向かえた現在、時間、符号、空間も周波数と同格のリソースといえる。現行

の周波数割り当てポリシーは、固定的・静的に周波数を割り当てそれを割り当てられた無線システム、サービスがそれを運用している。しかし、上記の周波数不足により新しい無線サービスの展開が困難となっている。これに対してそれぞれのリソースからみた周

波数の利用状況は効率的とは言い難い。すなわち、時間軸からある周波数の利用状況を見ると数%程度しか利用されていないという報告もある。

(2) 上記問題に対し、それぞれのリソース軸から周波数を共有することで有効利用とするアプローチが注目を浴びている。特に、コグニティブ無線技術を用いた周波数共用システムに関する研究報告が多数なされている。周波数共用システムでは、周波数利用者を従来より周波数を割り当てられているプライマリユーザと新規サービスを運用するセカンダリユーザに分類する。セカンダリユーザはプライマリユーザに対して悪影響を与えない範囲内で周波数を利用することが可能となる。現在の周波数共用の検討では、周波数軸と時間軸、時間軸と空間軸等の2次元空間内での周波数の有効利用技術が議論の中心となっている。また、その時間軸、空間軸に関しても、同時にないこと、距離が十分離れていることを軸としてそれぞれ研究がなされている。

2. 研究の目的

(1) 本研究ではリソース空間を4次元(周波数、時間、空間、符号)に広げることで、抜本的な4次元リソースの有効利用技術の確立を目指す。2次元から4次元に空間を広げることでセカンダリユーザの利用可能な無線リソースを効率的に見出すことが可能である。また、プライマリユーザに対してセカンダリユーザからの干渉等を抑圧するためにも次元が高いことが望ましい。

(2) 「時間占有率情報を用いた時間軸周波数共用」: 従来の時間軸からの周波数共用では、プライマリユーザが利用していない時間にセカンダリユーザが利用することが検討されて来た。本研究では、プライマリユーザの時間的な利用率(時間占有率)を推定し、プライマリユーザの占有率を保護しつつセカンダリユーザが自身の利用率を制御する方法を開発する。

従来のアプローチでは、干渉をプライマリユーザに与えないかもしれないが、プライマリユーザのスループットを保護することが困難であるが、本アプローチは保護が可能となる。

(3) 「MIMO 技術を用いた空間軸周波数共用法」 従来の空間軸からの周波数共用では、セカンダリユーザがプライマリユーザから距離的に十分離れている場合に、送信電力制御等により干渉を抑圧することでセカンダリユーザが周波数を利用することが検討されてきた。本研究では、新たな空間軸として

複数アンテナと MIMO(Multiple-Input Multiple-Output)技術を用いて周波数の共用を実現する技術を確立する。特に、効率的な周波数共用を目指す。

(4) 「距離推定情報に基づく空間軸周波数共用法」 従来の距離ベースの空間軸周波数共用では、プライマリユーザとセカンダリユーザの距離が既知であることを前提に検討されてきた。このとき、セカンダリユーザは送信電力を適切に設定し、プライマリユーザにおける干渉電力を事前に取り決めた干渉レベル以下に抑える必要がある。この場合、受信プライマリユーザにおける与干渉電力はシャドウイングの影響を受ける。そこで、従来研究はシャドウイングの統計情報を用いることでアウトエージ確率に基づくプライマリユーザの保護が可能であることを示してきた。

本研究では、プライマリユーザとセカンダリユーザの距離が未知である場合を想定し、距離を推定し、推定結果に基づいて周波数共用を行う方法の検討を行った。

3. 研究の方法

(1) まず、無線リソース軸(周波数、時間、空間、符号)で周波数共用法を分類し、それぞれの軸においてより周波数有効利用するための手法を検討する。

時間軸からは、上記の「時間占有率情報を用いた時間軸周波数共用」と時間軸での空き周波数を検出するスペクトラムセンシング技術の高精度化の研究を行う。

空間軸からは、上記の「MIMO 技術を用いた空間軸周波数共用法」に加えて、スペクトラムセンシング技術を利用した距離に基づく周波数共用法の研究を進める。

最後に、符号軸では、周波数ホッピング型のスペクトラム拡散型の周波数共用法の研究を進める。

(2) 想定モデルは以下の通りとする。プライマリユーザネットワークとしては、既存無線LANを想定する。それに対して、セカンダリユーザは、自律分散型ネットワーク(ネットワークモデル I)と、中央制御局の存在する集中制御型ネットワーク(ネットワークモデル II)を想定する。

以下に、各無線リソース軸からの周波数共用における要素技術と、その研究の方法を具体的に説明する。

(3) 「時間占有率情報を用いた時間軸周波数共用」ここでは、主に時間占有率推定法と、時間占有率情報を用いた周波数共用のための MAC プロトコルの提案を行った。プライマ

リユーザの packets 生成モデルとしてポアソン過程を用いた。プライマリーユーザの平均スループットはプライマリーユーザのチャンネル占有率に比例する。これを利用し、セカンダリユーザは、プライマリーユーザのチャンネル占有率を保護しつつ、セカンダリユーザ自身の占有率を最大化させることを目指す。このモデルを図1に示す。ここでは、プライマリーユーザ(PU)の占有率を0.5、上限の占有率を0.8としている。提案のアプローチでは、セカンダリユーザ(SU)が目標占有率0.3を満たしつつ、PUの占有率を0.5に維持することを旨とする。

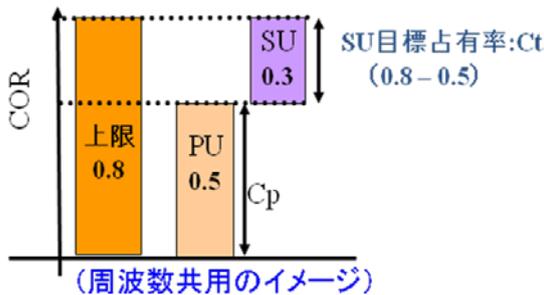


図1：周波数共有のイメージ図

上記の目標を達成するため、(i) 占有率の推定期間の検討、(ii) 最小コンテンションウィンドウ(CWmin)の設定法の提案を行った。占有率を推定する際には0.5(図1中)を精度よく推定すること、また、CWminの設定法は目標占有率0.3を達成するための技術に相当する。

これらをネットワークシミュレータを用い評価を行い、検証と提案方式の有効性の確認を行った。

(4) 「MIMO 技術を用いた空間軸周波数共有法」セカンダリユーザは、複数アンテナと信号処理により与干渉抑圧法と効率的な多重通信を実現することを狙う。従来の手法として、参考論文[1]において、P-SVD、と D-SVD というアンテナ重み形成と電力割り当てを組み合わせる手法がある。これに対して、本研究では、2つの手法を組み合わせ、より効率的に重み形成と電力割り当てを行う。

[1]: R. Zhang and Y. C. Liang, "Exploiting multi-antennas for opportunistic spectrum sharing in cognitive radio networks," IEEE J. Sel. Topics Signal Process., vol. 2, no. 1, pp.88-102, Feb. 2008.

(5) 「距離推定情報に基づく空間軸周波数共有法」想定モデルを図2に示す。図2より、プライマリシステム(PS)とセカンダリシステム(SS)が周波数共有を行う。SSは、SS基

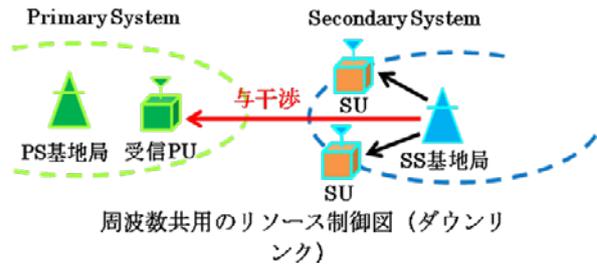


図2：距離情報に基づく空間軸周波数共有のシステムモデル

地局と端末に相当するSUより構成される。まず、プライマ基地局からの受信信号強度を用い、SS基地局が距離を推定する手法を確立させる。また、推定精度の解析を行い、推定結果に基づく送信電力制御法を開発する。このとき、従来のアプローチと異なり、いくつかの不確定要素を考えなければいけない。1つ目は従来方式同様にセカンダリの送信信号によるプライマリ受信機(受信PU: 図2)におけるシャドウイングの影響である。また、距離を推定する段階においてもプライマリ送信機—観測セカンダリユーザ間におけるシャドウイングの影響を受ける。これらの不確定な要素を考慮しつつプライマリーユーザ(特に受信機)を保護するために適切にマージンを設定する方法を示す。

4. 研究成果

以下に、各研究テーマにおける成果を示す。

(1) 「時間占有率情報を用いた時間軸周波数共有」では、占有率の推定期間を適切に設定することで十分小さい推定精度で占有率が推定できることを示した。

また、最適な CWmin を解析的に導出し、その特性を Matlab ベースのネットワークシミュレータで評価を行った。評価基準としては、プライマリとセカンダリの平均占有率を用いた。

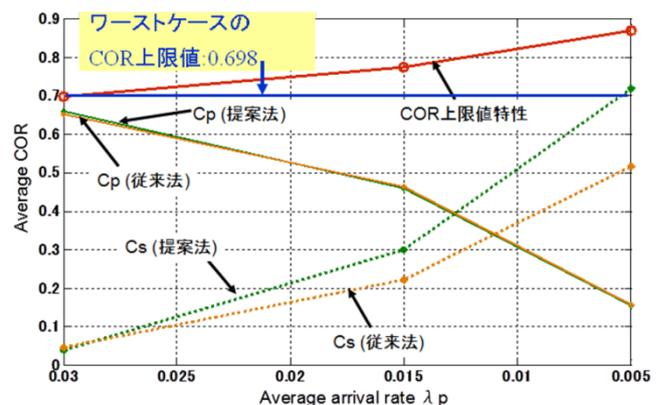


図3：呼発生率(average arrival rate)に対するPU, SUの平均占有率

占有率の比較を図3に示す。Cpはプライマリユーザの占有率であり、提案方法、従来方法共に同等のPUの占有率特性が達成できることを示した。Csはセカンダリユーザの占有率であり、提案方式の方がより良い占有率特性を達成できることを示した。

これは、最適なCWminを導出したことにより、より効率的にセカンダリユーザがチャネルを利用できることを示している。

(2)「MIMO技術を用いた空間軸周波数共有法」では、P-SVD:複数アンテナ信号処理によりプライマリユーザに対してヌルを向け、残りのアンテナ自由度を活用し、SVD通信を行うか、D-SVD:セカンダリユーザの通信ペアにおいてSVDベースの通信を行い、送信電力制御によりプライマリユーザの保護を行う2つのアプローチが主に使われて来た。本研究では、完全にヌルを向けず、電力制御と組み合わせ、与干渉電力の拘束条件を満たしつつ、セカンダリユーザのキャパシティ特性を改善させることを狙った。

ヌルを向けないということは、重み制御により従来(P-SVD)よりはセカンダリユーザの通信に用いる自由度を多く確保することが出来る。また、キャパシティを最大化させる重み制御が寄与すべき与干渉電力の計算を解析的に導出する方法も提案した。この評価結果を図4に示す。

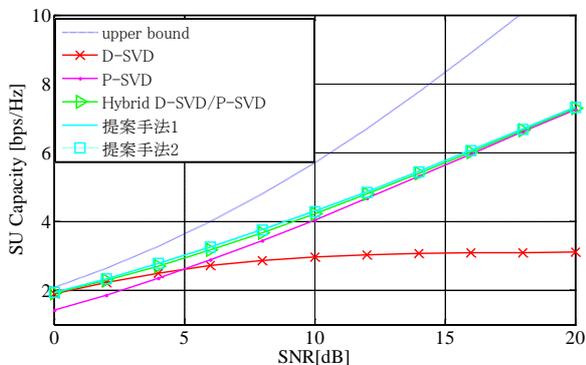


図4: SNRに対するセカンダリユーザ(SU)キャパシティ特性

この結果より、提案方式が従来方式より高いキャパシティを達成できることが示された。

(3)「距離推定情報に基づく空間軸周波数共有法」では、セカンダリユーザにおいて2つのマージンを用いてプライマリユーザの保護を行う手法の提案を行った。これにより、距離の推定に基づいて送信電力制御を行い、プライマリユーザの保護が出来ることを示した。また、ここでは、保護を行うために2

つのマージンを用いている。解析に基づき適切なマージンの設定法を示した。

更に、セカンダリシステムでは、協調観測により、より精度の高い距離推定を行うことの提案も行った。これにより、セカンダリシステムは単独の観測時よりキャパシティ特性が改善できることを示した。

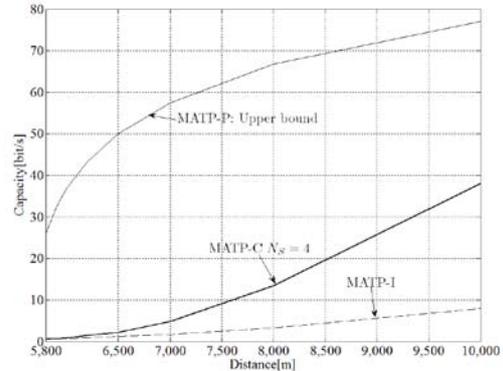


図5: 距離に対するSUキャパシティ特性

図5に距離(SU-PU距離)に対するセカンダリユーザのキャパシティ特性を示す。上限(upper bound)は距離が既知の場合の特性を示している。また、MATP-Cは協調戦略を用いた場合、MATP-Iは単独で行った場合である。これより、協調戦略を用いた方がよりセカンダリユーザが効率的に周波数を利用することが確認できる。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

〔雑誌論文〕(計3件)

- ① Abdul Malik Nazari, Yukihiro Kamiya, Ko Shojima, Kenta Umebayashi, Yasuo Suzuki, "A New Blind Beamforming and Hop-Timing Detection for FH Communications," IEICE Trans. Communications, 94-B, pp. 1234-1242, May, 2011. (査読有)
- ② Masashi Tsuji, Kenta Umebayashi, Yukihiro Kamiya, Yasuo Suzuki, "Accurate Estimation of the Number of Weak Coherent Signals," IEICE Trans. on communications, vol.E93-B, no.10, Oct. 2010. (査読有)
- ③ 長谷川圭吾, 藤井威生, 梅林健太, 神谷幸宏, 鈴木康夫, "高速マルチホップ無線ネットワークのためのストリーム数適応切替型中継," 電子情報通信学会論文誌 (B), Vol.J92-B No.6, 2009, pp 909-920. (査読有)

[学会発表] (計 15 件)

- ① 浅海景子, 梅林健太, 鈴木 康夫, “MIMO システムにおける周波数共有のための与干渉抑圧,” 電子情報通信学会技術報告, SR2011-89 pp.67-72, 2012年1月27日, 霧島ホテル.
- ② 星大樹, 梅林健太, 鈴木 康夫, “周波数共有のための協調型与干渉電力推定によるリソース制御法に関する一検討,” 電子情報通信学会技術報告, SR2011-90 pp.73-80, 2012年1月27日, 霧島ホテル.
- ③ S. Furuichi, K. Umebayashi, Y. Suzuki, "Performance Evaluation of Limited Feedback Transmit Precoding via Phase Rotation in Correlated MIMO Channel," in Proc. WCSP 2011, Nanjing, China, Nov. 2011.
- ④ K. Umebayashi, Janne Lehtomäki, Y. Suzuki, "Dynamic Selection of CWmin in Cognitive Radio Networks for Protecting IEEE 802.11 Primary Users" 電子情報通信学会技術報告, SR2011-64 pp.143-148, 2011年10月27日, 上智大学 四谷キャンパス.
- ⑤ K. Umebayashi, Janne Lehtomäki, Y. Kamiya, Y. Suzuki, "Dynamic Selection of CWmin in Cognitive Radio Networks for Protecting IEEE 802.11 Primary Users" in Proc. ICST CROWNCOM, Osaka, Japan, June, 2011.
- ⑥ 古市匠, 梅林健太, 神谷 幸宏, 鈴木 康夫, “MIMO 相関チャネルにおける Phase Rotation プリコーディング法に関する一検討,” 電子情報通信学会技術報告, RCS2010-244, pp.269-274, 2011年1月21日屋久島離島開発総合センター.
- ⑦ カズミテスィーン, 梅林健太, 神谷 幸宏, 鈴木 康夫, “チャネル占有率情報を用いた周波数共有に関する一検討,” 電子情報通信学会技術報告, RCS2010-100, pp.129-134, 2011年8月27日鹿児島大学.
- ⑧ Hironori Tsuchiya, Kenta Umebayashi, Yukihiro Kamiya, Yasuo Suzuki, "Weighted cooperative sensing with plural antenna elements," Radio and Wireless Symposium (RWS 2010), New Orleans, LA, USA, 10-14 Jan. 2010.
- ⑨ Kenta Yamada, Kenta Umebayashi, Yukihiro Kamiya and Yasuo Suzuki, "A Study on Routing Protocol Suitable for Directional Links," Radio and Wireless Symposium 2010 (RWS 2010), New Orleans, LA, Jan. 9-14, 2010.
- ⑩ K. Umebayashi, K. Kasahara, Y. Kamiya, Y. Suzuki, "A novel spectrum sharing technique based on channel occupancy rate information" in Proc. IEEE Globecom, Hawaii, USA, pp. 1 - 6, Dec., 2009.
- ⑪ Masashi Tsuji, Kenta Umebayashi, Yukihiro Kamiya, Yasuo Suzuki, "A Study on the Accurate Estimation of the Number of Weak Coherent Signals," in the proceeding of the 6th European Radar Conference (EuRAD 2009), pp.234-237, Rome, Italy, Sep. 30 - Oct. 2, 2009.
- ⑫ 梅林健太, 藤井威生, タン ザカン, 小野文枝, 阪口啓, 鈴木康夫, “Cognitive MIMO Mesh Network の周波数共有に関する一検討” 電子情報通信学会技術報告, SR2009-61, pp.65-72, 2009年10月22日, 東北大学.
- ⑬ 鈴木康夫, “なぜソフトウェア無線か? : SDR の魅力と課題” 電子情報通信学会技術報告, SR2009-49, pp.167-174, 2009年7月30日, 東工大.
- ⑭ 土屋廣憲, 梅林健太, 神谷幸宏, 鈴木康夫, “重み付き協調センシングシステム設計の一検討,” 電子情報通信学会技術報告, SR2009-20, pp. 129-134, 2009年5月29日, 新潟大学.
- ⑮ K. Umebayashi, J. Lehtomaki, Y. Kamiya, Y. Suzuki, "Transmit Power Selection by Cooperative Sensing in Cognitive Radio Networks," in Proc. IEEE WCNC, Budapest, Hungary, Apr. 2009.

6. 研究組織

(1) 研究代表者

鈴木 康夫 (SUZUKI YASUO)
東京農工大学・大学院工学研究院・教授
研究者番号: 90323740

(2) 研究分担者

梅林 健太 (UMEBAYASHI KENTA)
東京農工大学・大学院工学研究院・助教
研究者番号: 20451990

(3) 連携研究者 なし