

機関番号：14301

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2009～2010

課題番号：21760287

研究課題名(和文) スペクトル共用システムへの進化ゲーム理論によるアプローチ

研究課題名(英文) An Evolutionary Game-theoretic Approach to Spectrum Sharing System

研究代表者

山本 高至 (YAMAMOTO KOJI)

京都大学・大学院情報学研究科・助教

研究者番号：30423015

研究成果の概要(和文)：

無線スペクトル使用状況など電波環境情報を学習し、これに基づき適応的に無線通信を行うコグニティブ無線が注目を集めている。その代表的な要素技術であるスペクトル共用において、各制御主体間の相互作用に基づくダイナミクスが、進化ゲーム理論及びその周辺理論の導入によりモデル化可能であることに着目した。その結果として、スペクトル共用システムのモデル化、それに基づく特性の解明を行った。また、スペクトル共用システムにおける干渉制御のための分散送信スケジューリング方式を少数派ゲームに基づいて提案し、分散的な制御にも関わらず送信タイミングが自己組織化され、制御対象地点での干渉を制御可能であることを明らかとした。加えて、具体的なアプリケーションとして、近年普及が進んでいるモバイルルータ向けの適応制御をモデル化し、その収束条件等を理論的に明らかにしたほか、収束アルゴリズムを提案した。

研究成果の概要(英文)：

Cognitive radio, which learns surrounding radio environment and adaptively transmits, has attracted much attention due to its promising capability. One of enabling technologies for cognitive radio is spectrum sharing. We focused on the fact that dynamics of multiple decision-making entities in spectrum sharing can be modeled by introducing evolutionary game theory. First, the spectrum sharing system is modeled by using evolutionary game theory and its characteristic is clarified. Second, decentralized transmission scheduling to manage interference in the spectrum sharing system is proposed based on minority game, and it is revealed that the interference is well managed because the transmission timings of many transmitters are self-organized. Third, adaptive control for mobile routers is modeled and its convergence condition is clarified.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2009年度	1,000,000	300,000	1,300,000
2010年度	800,000	240,000	1,040,000
総計	1,800,000	540,000	2,340,000

研究分野：無線通信

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：スペクトル共用、コグニティブ無線、ゲーム理論、進化ゲーム理論

1. 研究開始当初の背景

無線スペクトル使用状況など電波環境情報を学習し、適応的に無線通信を行うコグニ

ティブ無線が注目を集めていた。コグニティブ無線に必要な要素技術としては、信号検出、与干渉制御、スペクトル共用などが考えられ

ていた。スペクトル共用とは、電波を利用する場合は直交したスペクトルが予め割り当てられる既存のシステムと異なり、主に需要が急増している無線通信のために、あるスペクトルを複数の通信サービス提供者が共用すること、あるいは既に通信以外の用途に使われているスペクトルの一部を通信サービス提供事業者が使用することを指す。コグニティブ無線、そしてスペクトル共用は無線通信において宿命とも言えるスペクトルの枯渇問題に対するアプローチの一つである。これは、従来よりなされている、高周波数帯の開拓とは抜本的に異なるアプローチと言える。

2. 研究の目的

スペクトル共用を特徴付ける性質は二つあり、その一つは相互作用と考えた。相互作用を扱う数学体系として、当初は経済学で発展したゲーム理論があり、スペクトル共用を数学的に扱う手法の一つとして利用されている。また、スペクトル共用を特徴付けるもう一つの性質は、ダイナミクスだと考えた。これまでスペクトル共用の研究に多く用いられてきた非協力ゲーム理論は基本的に1回の相互作用を扱う。ただ、実際のシステムでは、ある相互作用の結果に応じて適応制御による学習がなされ、それ以降の相互作用が変わるような、より長期の相互作用が存在するはずだが、これは非協力ゲームでは扱えない。そして、この長期の相互作用は、例えば微分方程式で表すことのできるダイナミクスである。

この相互作用とダイナミクスを同時に扱うことのできる理論として、生物学から発展したレプリケータ・ダイナミクスという微分方程式を用いる進化ゲーム理論に着目した。

本研究では、コグニティブ無線の要素技術の一つであるスペクトル共用について、進化ゲーム理論及びその周辺理論を用い、評価指標を明確化し、その評価指標を向上させることを目的とした。

3. 研究の方法

2009年度は、スペクトル共用の代表的なシナリオであるスペクトル市場における通信サービス提供事業者間の相互作用と、ユーザのサービス選択のダイナミクスをまずモデル化し、検討を行った。2010年度は、進化ゲーム理論の周辺理論と言える少数派ゲームに着目し、それを応用した干渉制御手法の確立に着手したほか、一つのアプリケーションとしてモバイルルータと無線端末により構成されるネットワークを想定し、具体的な適応制御方式を検討した。

4. 研究成果

(1) モバイルルータと無線端末により構成されるネットワーク間のパケット衝突に関して最小コンテンツウィンドウサイズを2値より選択する方式を提案し進化ゲーム理論により定式化を行い、モバイルルータの振る舞いに関する理論評価を行った。その振る舞いの収束点において全ての値が取得可能であることが分かり(図1)、それに基づき特性評価を行った結果、チャンネル利用率に関して従来方式より優れていることが明らかとなった。

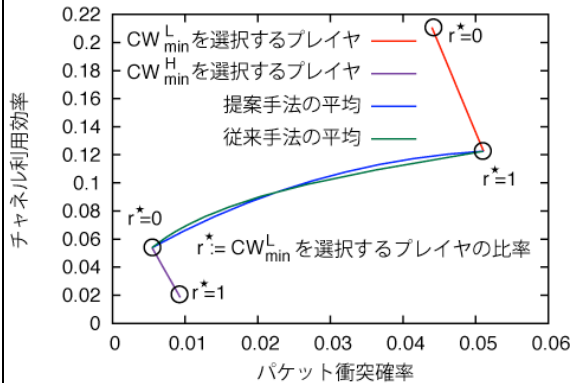


図1. 進化ゲーム理論による解析結果

(2) 上記の理論評価に基づき、進化ゲーム理論で用いられる収束アルゴリズムを改良し、それを計算機シミュレーションにより実装することで実際に収束するかどうかの確認を行った。その結果、全ての初期値に関して理論評価で求めた点に収束することを確認した(図2)。

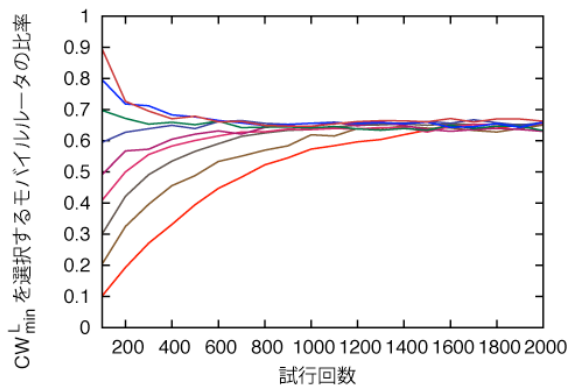


図2. 収束状況

(3) スペクトル共用を実現する手法の一つであるスペクトル市場 (Spectrum market) について、進化ゲーム理論によるモデル化を行いその挙動を解析した。サービスプロバイダへの帯域の割り当て頻度とユーザ需要の変動予測の精度に応じて、プロバイダの得られる利益が大きく異なることが明らかとなった(図3)。

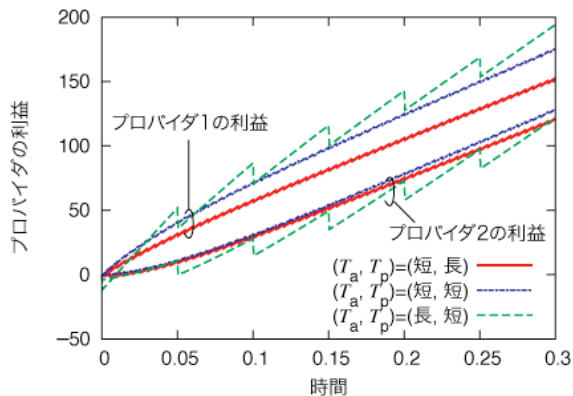


図 3. スペクトル市場での利益

(4) 進化ゲームの周辺理論である少数派ゲームにおける学習アルゴリズムを、スペクトル共用のための干渉制御に応用する提案を行った。提案する MGIM 方式により各送信局が自己組織的に振る舞うため、比較方式と比べてパレート効率性が高いことが明らかとなった (図 4)。

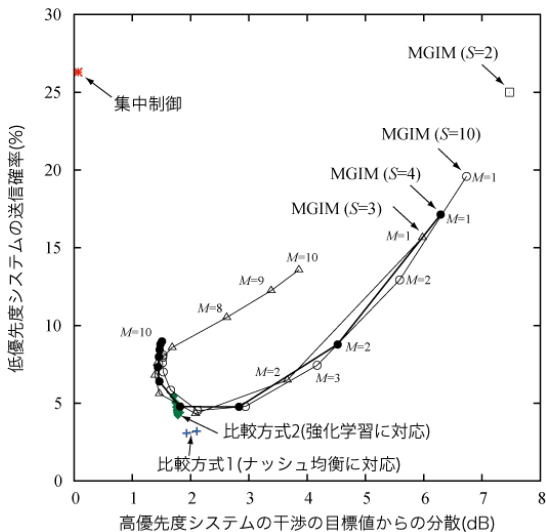


図 4. 少数派ゲームを用いた干渉制御

(5) 上述した MGIM 方式を拡張し、しきい値という新たな値を設定することにより、スペクトル共用システムにおいて高優先度システムの不稼働率を指標とした干渉制御が行えるようにした (図 5)。更にこの拡張により、制御特性の無線局配置への依存度が小さくなることが明らかとなった。

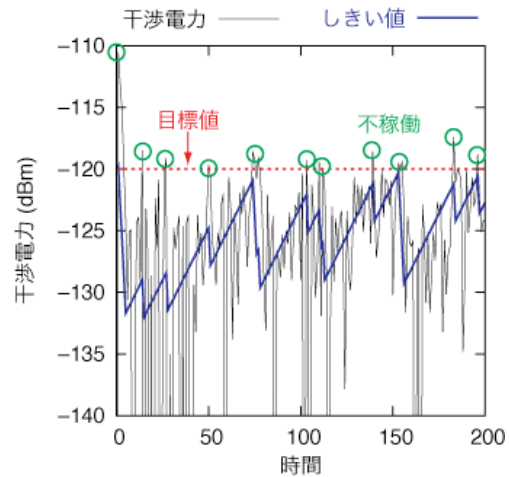


図 5. 干渉の目標値を越える割合が制御可能

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 1 件)

- ① Ippei Aoki, Koji Yamamoto, Hidekazu Murata, Susumu Yoshida, “Evolutionary game based access control protocol in wireless networks with mobile routers,” IEICE Transactions on Communications 採録決定済, 査読有, 2011 年 8 月掲載予定.

[学会発表] (計 5 件)

- ① Ippei Aoki, Koji Yamamoto, Hidekazu Murata, Susumu Yoshida, “A study of QoS management in wireless networks using mobile router with evolutionary game theory,” IEICE Technical Report, 査読無, AN2010-60, pp. 85-90, 2011 年 1 月 20 日, 広島.
- ② Yuki Saito, Koji Yamamoto, Hidekazu Murata, Susumu Yoshida, “Robust interference management to satisfy allowable outage probability using minority game,” Proc. the 21st Annual IEEE International Symposium on Personal, Indoor and Mobile Radio Communications (PIMRC 2010), 査読有, Istanbul, Turkey, 2010 年 9 月 29 日.
- ③ Koji Yamamoto, Kazuya Kimura, Hidekazu Murata, Susumu Yoshida, “Performance evaluation of minority game-based self-organized interference management,” 電子情報通信学会技術報告, 査読無, SR2009-106, pp. 107-112, 2010 年 3 月 4 日, 横須賀.

- ④ Yuki Saito, Koji Yamamoto, Hidekazu Murata, Susumu Yoshida, “Joint dynamics of spectrum allocation and user behavior in spectrum markets,” Proc. IEEE Global Communications Conference (Globecom 2009), 査読有, Honolulu, Hawaii, U.S.A., 2009年12月2日.
- ⑤ Kazuya Kimura, Koji Yamamoto, Hidekazu Murata, Susumu Yoshida, “Study of self-organized interference management for spectrum sharing - minority game-based approach,” 電子情報通信学会技術報告, 査読無, SR2009-72, pp. 141-146, 2009年10月23日, 仙台.

[その他]

ホームページ等

<http://www.dco.cce.i.kyoto-u.ac.jp/ja/modules/project1/wakate09b.html>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

山本 高至 (YAMAMOTO KOJI)
京都大学・大学院情報学研究科・助教
研究者番号：30423015

(2) 研究分担者

なし

(3) 連携研究者

なし