

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 6 月 10 日現在

機関番号：14301

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2011～2013

課題番号：23760333

研究課題名(和文) ゲーム理論を応用したヘテロジニアス無線ネットワークのための自己組織化適応制御

研究課題名(英文) Game-theoretic Self-organizing Control for Heterogeneous Wireless Networks

研究代表者

山本 高至 (Yamamoto, Koji)

京都大学・情報学研究科・准教授

研究者番号：30423015

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,800,000円、(間接経費) 840,000円

研究成果の概要(和文)：無線ネットワークは、異なる性質の無線通信が共存するヘテロジニアス無線ネットワークになりつつある。このようなヘテロジニアス無線ネットワークでは、干渉や衝突の制御がスペクトル利用効率に大きな影響を持つ。これら干渉や衝突といった無線通信に特有の問題は相互作用に起因するものと捉えることができ、相互作用を数学的に扱うゲーム理論の知見を元にモデル化が可能である。本研究では特に、ポテンシャルゲーム、少数派ゲーム、微分ゲームといったゲームの応用を行った。

研究成果の概要(英文)：In heterogeneous wireless networks, interferences and collisions impact on the spectral efficiency of networks. These interferences and collisions can be treated as mutual interactions among transmitters and receivers that are specific for wireless networks. Thus, game theory, which is a mathematical framework to model interactions among decision-making entities, can be applied to model these problems. In this research, potential game, minority game, and differential game are applied to heterogeneous networks.

研究分野：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：移動体通信 ヘテロジニアス 自己組織化 ゲーム理論

1. 研究開始当初の背景

通信カバーエリアなどが大きく異なる無線システムを同じ周波数帯で同時に運用するヘテロジニアス無線ネットワークが注目を集めていた。代表的なシナリオとして、各家屋程度の極小カバーエリアを持つフェムトセルと、従来の携帯電話システムとの併存が挙げられ、次世代携帯電話システムにおける標準化も進みつつある分野であった。そこでの大きな課題として知られていたことは、その非対称性（ヘテロジニアス性）に起因する大きな電波干渉の管理であった。

2. 研究の目的

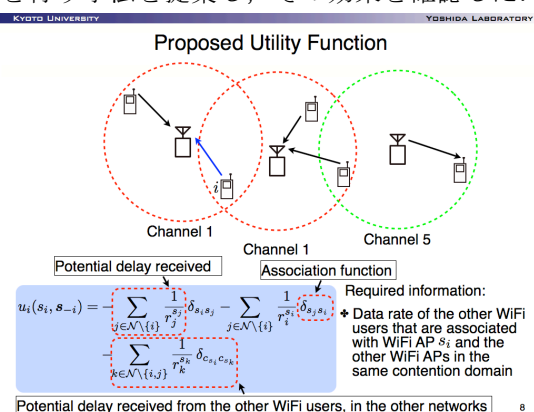
無線ネットワークでは地理的に不均一な通信に対する需要から、不均一な無線通信が共存するヘテロジニアス無線ネットワークになりつつある。このようなヘテロジニアス無線ネットワークでは、干渉や衝突の制御がスペクトル利用効率に大きな影響を持つ。これら干渉や衝突といった無線通信に特有の問題は相互作用に起因するものと捉えることができ、相互作用を数学的に扱うゲーム理論の知見を元にモデル化が可能である。このモデルの作成を通して支配的な特性の把握を行うとともに、高いスペクトル利用効率を実現するための方式を提案する。

3. 研究の方法

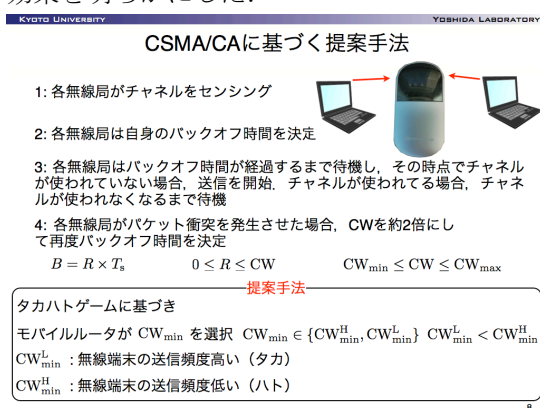
- (1) ゲーム理論を応用した自己組織化送信スケジューリングをヘテロジニアスネットワークに適用し、その効果の高い条件を確認するとともに、電力制御など多の制御と組み合わせ合わせた場合の効果の評価を行った。
- (2) ポテンシャルゲーム、少数派ゲーム、進化ゲーム、微分ゲームといった動的なゲームをヘテロジニアスネットワークに適用した。

4. 研究成果

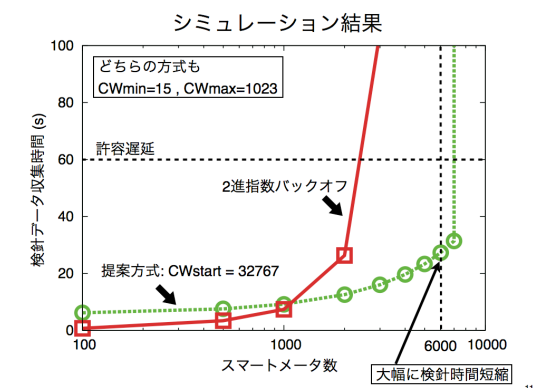
- (1) ヘテロジニアスネットワーク向けのチャンネル選択手法を、ポテンシャルゲームに基づく干渉制御手法を拡張して適用し、その効果を確認した。この手法は分散的に行われるものの、収束性が保証されている点に特徴がある。また、適応的基地局選択（セルサーチ）を行う手法を提案し、その効果を確認した。



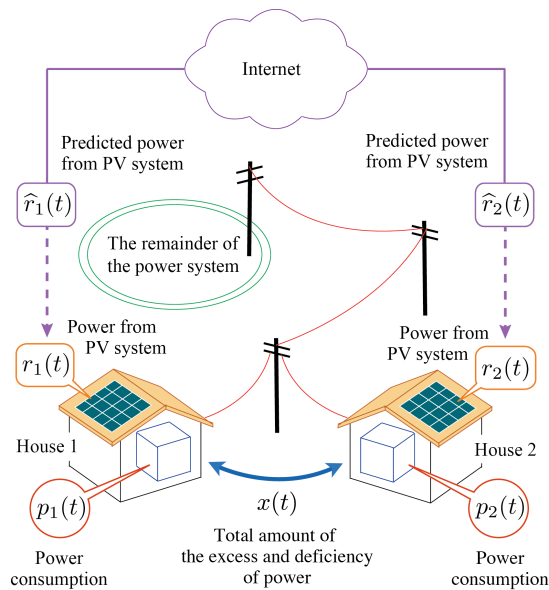
- (2) 進化ゲームをモバイルルータの存在する無線ネットワークでの制御に適用し、その効果を明らかにした。



- (3) 少数派ゲームのフレームワークでは、少数派の数が大きくなる、言い換えると少数派と多数派の数が均衡するためのアルゴリズムを提供している。無線通信においても干渉が大きすぎない状況でできるだけ通信数を増やすことがスペクトル利用効率の向上に繋がる。このようなシナリオに少数派ゲームのアルゴリズムを応用することで、CSMA/CAと比較してスペクトル利用効率の高い方式を検討した。



- (4) ポテンシャルゲームや少数派ゲームと同様に、動的なゲームとして微分ゲームがある。ヘテロジニアス無線ネットワークと異なる新たなアプリケーションへの展開として、微分ゲームを、スマートグリッドにおける制御のモデル化に用いるフレームワークを検討した。具体的には、スマートグリッドにおいて、複数の家屋が存在する際に、その間で通信により太陽光発電量を共有できる場合とそうでない場合において、各家屋の消費電力をそれぞれフィードバック分散制御とオープンループ分散制御によって制御する際のモデルを作成し、それぞれの制御が有効な条件を明らかにした。評価の際には学内で取得した実データを含めた評価を行った。



### 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5件)

- ① I. W. Mustika, K. Yamamoto, H. Murata, S. Yoshida, "Potential game approach for self-organization scheme in open access heterogeneous networks," Proc. 2011 Sixth International ICST Conference on Cognitive Radio Oriented Wireless Networks and Communications (CROWNCOM), pp. 216–220, Osaka, June 2011.  
<http://ieeexplore.ieee.org/xpl/login.jsp?arnumber=6030779>
- ② I. Aoki, K. Yamamoto, H. Murata, S. Yoshida, "Evolutionary game based access control protocol in wireless networks with mobile routers," IEICETransactions on Communications, vol. E94-B, no. 8, pp. 2225–2234, Aug. 2011. DOI: 10.1587/transcom.E94.B2225
- ③ R. Arai, K. Yamamoto, and M. Morikura, "Differential Game-Theoretic Framework for a Demand-side Energy Management System," Proceedings of the IEEE International Conference on Smart Grid Communications (IEEE SmartGridComm), pp. 768–773, Vancouver, Canada, Oct. 23, 2013.  
10.1109/SmartGridComm.2013.6688052
- ④ R. Arai, K. Yamamoto, T. Nishio, and M. Morikura, "Impact of Communication Availability in a Demand-Side Energy Management System: Differential Game-Theoretic Approach," Proceedings of the Globecom 2013 Workshop on Management of Emerging Networks and

Services, pp. 906–911, Atlanta, GA, USA, Dec. 9, 2013.

10.1109/GLOCOMW.2013.6825105

- ⑤ R. Arai, K. Yamamoto, T. Nishio, and M. Morikura, "Differential Game-Theoretic Analysis on Information Availability in Decentralized Demand-Side Energy Management Systems," IEICE Trans. Commun., vol. E97-B, no. 9, Sept. 2014. (掲載決定)

[学会発表] (計10件)

- ① I Wayan Mustika, Koji Yamamoto, Hidekazu Murata, Susumu Yoshida, "Self-configuration of WiFi network in offloading macrocell data traffic: A potential game approach," Proc. 2011 IEEE 8th VTS Asia Pacific Wireless Communications Symposium (APWCS), Singapore, Aug. 2011.
- ② 山本高至, 守倉 正博, "数万端末競合環境を実現する ENTERPRICE M2M ネットワークの提案," 電子情報通信学会技術研究報告, RCS2011-294, pp. 153-158, Jan. 2012.
- ③ 山本高至, "[招待講演] ゲーム理論と無線リソース制御," 電子情報通信学会技術研究報告 RCS2012-14, pp. 79-83, 2012年4月20日.
- ④ 中西俊介, 花田光平, 三村智彦, 山本高至, 守倉正博, "スマートメータシステムのための少数派ゲームを用いたバックオフ制御法," 電子情報通信学会アドホックネットワーク研究会, May 17, 2012.
- ⑤ 荒井亮平, 山本高至, 守倉正博, "需要側エネルギー管理システムにおける通信状態に応じた分散制御の特性評価," 2013年電子情報通信学会総合大会 AS-3-3, pp. S-28-S-29, March 19, 2013.
- ⑥ K. Yamamoto, "Game-theoretic approach to heterogeneous wireless networks," Workshop on the Next Generation Mobile Communication Technologies and Applications 2013, July 31, 2013.
- ⑦ 荒井亮平, 山本高至, 西尾理志, 守倉正博, "需要側エネルギー管理システムに対する微分ゲームを用いたフレームワークの提案," 電子情報通信学会ソサイエティ大会, no. BS-5-5, pp. S-29-S-30, Sept. 19, 2013.
- ⑧ 山本高至, "[招待講演] 無線通信システムへのゲーム理論の応用," RAMP シンポジウム予稿集, Oct. 29, 2013.
- ⑨ 山本高至, "[招待講演] 無線通信システムへのゲーム理論の応用," CCS 研究会, March 5, 2014.
- ⑩ 長嶋圭太, 荒井亮平, 山本高至, 加藤丈和, 西尾理志, 守倉正博, "無線ネットワーク制御システムのための通信路容量

を考慮した帯域割当の一検討,” 電子情報通信学会総合大会 B-18-22, March 19, 2014.

[図書] (計0件)

[産業財産権]

○出願状況 (計0件)

○取得状況 (計0件)

[その他]

ホームページ等

<http://www.imc.cce.i.kyoto-u.ac.jp/ja/project/kakenhi23760333/>

## 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・准教授

研究者番号：30423015

### (2) 研究分担者

### (3) 連携研究者