

論文 / 著書情報  
Article / Book Information

題目(和文)	福利最大化のためのゲーム理論的学習とセンサおよび電力ネットワークの協調制御に関する研究
Title(English)	Game-theoretic Learning and Cooperative Control in Sensor and Power Networks for Welfare Maximization
著者(和文)	和佐泰明
Author(English)	Yasuaki Wasa
出典(和文)	学位:博士(工学), 学位授与機関:東京工業大学, 報告番号:甲第10141号, 授与年月日:2016年3月26日, 学位の種別:課程博士, 審査員:藤田 政之,三平 満司,倉林 大輔,畑中 健志,井村 順一
Citation(English)	Degree:Doctor (Engineering), Conferring organization: Tokyo Institute of Technology, Report number:甲第10141号, Conferred date:2016/3/26, Degree Type:Course doctor, Examiner:,,,,,
学位種別(和文)	博士論文
Category(English)	Doctoral Thesis
種別(和文)	論文要旨
Type(English)	Summary

## 論文要旨

THESIS SUMMARY

専攻: Department of	機械制御システム	専攻	申請学位 (専攻分野): Academic Degree Requested	博士 (工学)	Doctor of
学生氏名: Student's Name	和佐 泰明		指導教員 (主): Academic Advisor(main)	藤田 政之	
			指導教員 (副): Academic Advisor(sub)	畑中 健志	

要旨 (和文 2000 字程度)

Thesis Summary (approx.2000 Japanese Characters)

本論文では、ネットワーク全体の価値を表す福利を最大化するゲーム理論的学習による意思決定とセンサネットワークおよび電力ネットワーク上の協調制御について考察する。各章の概要は以下の通りである。

第1章「Introduction」では、まず本論文の研究背景および動機について述べ、分散処理と協調制御に基づくセンサネットワークおよび電力ネットワーク全体の目的実現が重要であることを示す。つぎに本論文で扱う研究対象の既存研究との比較を通して、ゲーム理論的手法の利点と研究目的を明らかにする。最後に全体目的を表す福利最大化の達成に向けたゲーム理論的学習と分散協調制御手法の提案、および実験検証における本研究の貢献を述べる。

まず、第2章および第3章ではゲーム理論的学習に関する話題を扱う。

第2章「Game Theoretic Payoff-based Learning with Irrational Decisions」では、まずネットワーク全体の福利最大化とゲームの均衡解を結びつけるポテンシャルゲームの構成法とその均衡解へ導く学習アルゴリズムが独立に設計可能であることを述べる。つぎに、各エージェントが環境に関する先見情報を利用せずに、制限された行動範囲から利得基準で次の行動を自律的に決定する学習アルゴリズムを提案する。具体的には既存の学習アルゴリズムに行動選択の制約を加味することで生じる多数の局所均衡解への収束を回避するために、特定の確率で非合理的選択を許容している。このとき、全体最適解が任意の高確率で選択されること、および特定の条件下で選択確率が1に収束することを抵抗木の理論を用いて理論的に証明する。

第3章「Refinement on Exploration and Fast Accessibility」では、第2章の提案手法が抱える行動選択の不都合な制約を解消した別の学習アルゴリズムを提案する。新規手法は探索行動と直前2行動から合理的選択を基本として特定の確率で非合理的選択を取る簡単な行動基準で構成している。また、得られた利得情報を探索行動の選択に合理的に活用する機能を付加した学習アルゴリズムも提案する。これらの最適解に関する特性は第2章と同様の手法で理論的に示す。さらに、2種の提案学習アルゴリズムの差異について数値例を通して明らかにする。

つぎに、第4章、第5章および第6章ではネットワークの分散協調制御に関する話題を扱う。

第4章「Visual Sensor Networks and Fields of View Optimization」では、複雑な環境把握のための視覚センサネットワークの視野最適化問題を考察する。まず、視覚センサ群により得た大量の情報に含まれる環境情報に基づいたネットワーク全体の福利を定式化する。つぎに、福利最大化するために、各視覚センサが独自に得た環境情報と局所的な通信に基づいて分散計算可能な利得関数とよばれる局所目的関数を適当に設計し、所望のポテンシャルゲームを構成する視覚最適化問題を提案する。このとき視覚センサ群は提案学習アルゴリズムを用いて自律的な意思

決定を繰り返しながらパン角チルト角ズームを協調的に制御することで、最終的には福利最大化する最適な視野を実現することが理論的に保証される。最後に、実機を用いた地滑りおよび雲の実時間観測に関する実験検証を通して提案手法の有効性を示す。

第5章「Mobile Sensor Networks and Sensor Allocation Optimization」では、広域の環境把握のための自律的に移動可能なセンサネットワークの最適配置問題を考察する。まず、計測信頼度を加味した全体の情報取得価値を表す福利を2つ定式化した後、所望のポテンシャルゲームを構成するように利得関数をそれぞれ提案する。このとき、各センサの利得計算には観測地点の事前情報を必要とせず、自身の周囲にある環境情報取得と近傍センサ間との無線通信により分散協調に基づく計算が可能である。また、移動制約を考慮した自律的行動選択により環境変化に適応できることを明らかにする。つぎに実機を用いた実験検証を通して提案手法の有効性を示す。また、取得した利得情報を活用した効率的な探索を付加した学習アルゴリズムを用いることで、基本形のものに比べて最適解への早い到達や連続的に変化する環境に順応しやすいことを明らかにする。

第6章「Power Transmission Networks and System Stability Enhancement」では、分散マイクログリッドで構成される電力ネットワーク上の大量導入された太陽光発電の最適電力融通問題を考察する。まず太陽光発電の時間的・空間的変動を抑制するために、ならし特性とよばれる物理的特性を考察する。つぎに、太陽光発電の変動抑制と送電損失および化石燃料依存の電力使用量の低減を同時に達成するネットワーク全体の福利を定式化し、ゲーム理論的手法を通して最適電力融通問題を提案する。このとき、太陽光発電量の予測・推定システムを援用することで局所的な通信、分散的な情報処理および意思決定の下で最適解導出を実現する。また、構成した枠組みを用いてReceding Horizon 制御に基づく実時間実装のための分散協調型エネルギー管理システムを提案する。最後に、実データを用いた数値シミュレーションを通して提案手法の有効性を示す。

第7章「Conclusions」では、本論文の主要な成果をまとめ、本研究の今後の発展方向を議論する。

備考：論文要旨は、和文 2000 字と英文 300 語を 1 部ずつ提出するか、もしくは英文 800 語を 1 部提出してください。

Note : Thesis Summary should be submitted in either a copy of 2000 Japanese Characters and 300 Words (English) or 1copy of 800 Words (English).

注意：論文要旨は、東工大リサーチリポジトリ(T2R2)にてインターネット公表されますので、公表可能な範囲の内容で作成してください。

Attention: Thesis Summary will be published on Tokyo Tech Research Repository Website (T2R2).

(博士課程)  
Doctoral Program

## 論文要旨

THESIS SUMMARY

専攻： Department of	機械制御システム	専攻	申請学位 (専攻分野)： 博士 Academic Degree Requested	Doctor of	( 工学 )
学生氏名： Student's Name	和佐 泰明		指導教員 (主)： Academic Advisor(main)	藤田 政之	
			指導教員 (副)： Academic Advisor(sub)	畑中 健志	

要旨 (英文 300 語程度)

Thesis Summary (approx.300 English Words)

This dissertation is concerned with game-theoretic learning and cooperative control in sensor and power networks for welfare maximization. The essential problems for these networked systems are to persistently monitor large-scale environments and to establish a new-generation energy management system admitting the full-scale introduction of volatile renewables to the power network while securing robustness against disasters. The terminal objective of this dissertation is to develop decision-making rules called learning algorithms and cooperative control mechanisms based on distributed computation suitable for each specific networked system through a game-theoretic framework to guarantee welfare maximization corresponding to the global objective.

We first present payoff-based learning algorithms for general potential games to theoretically guarantee that agents eventually take the potential function maximizers in the presence of action constraints and undesirable equilibria. The present algorithms allow an agent to take an irrational action in order to escape the local equilibria. Consequently, the irrational decision functions as the guarantee of convergence in probability to the potential function maximizers rigorously.

We next present cooperative environmental monitoring problems for visual/mobile sensor networks, whose welfare is intertwined with the uncertain state of the physical world. Then, these problems are reduced to a potential game with local objective functions that guarantee equivalence between resulting game-theoretic equilibria, i. e. potential function maximizers, and the global welfare maximization. As a consequence, the processing architecture to seek these optima is constituted only by distributed information processing with local communication and the game-theoretic learning.

We finally formulate an optimal network formation problem for distributed autonomous microgrids with photovoltaics, which aims at minimizing these temporal and spatial variability while reducing transmission losses by an appropriate power transmission. Moreover, we present the real-time implementation of the presented network formation based on receding horizon control, where it is shown that the information processing of the learning algorithm is almost distributed with the help of a solar radiation forecasting/estimation system. Throughout this dissertation, the effectiveness of the presented algorithms is demonstrated through simulations and experiments.

備考：論文要旨は、和文 2000 字と英文 300 語を 1 部ずつ提出するか、もしくは英文 800 語を 1 部提出してください。

Note：Thesis Summary should be submitted in either a copy of 2000 Japanese Characters and 300 Words (English) or 1 copy of 800 Words (English).

注意：論文要旨は、東工大リサーチリポジトリ(T2R2)にてインターネット公表されますので、公表可能な範囲の内容で作成してください。

Attention: Thesis Summary will be published on Tokyo Tech Research Repository Website (T2R2).