

平成 26 年 6 月 2 日現在

機関番号：15401

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2011～2013

課題番号：23500017

研究課題名(和文) 大規模確率場における戦略獲得アルゴリズムの開発と特徴抽出

研究課題名(英文) Development and Feature Extract of Strategy Acquisition Algorithm for Large-Scale Stochastic Field

研究代表者

向谷 博明 (Mukaidani, Hiroaki)

広島大学・工学(系)研究科(研究院)・教授

研究者番号：70305788

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,900,000円、(間接経費) 870,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、大規模なシステムのモデル構造の変動や様々な環境変化をマルコフジャンプ確率システムとして表現し、伊藤の確率微分方程式論によるナッシュ均衡戦略を求めた。すなわち、停電等、劇的なモデル変動に対して頑強な確率分散戦略の数値計算アルゴリズムの開発を行った。ここで、特徴的な結果として、提案された確率戦略がナッシュ均衡状態だけでなく、最適性も同時に満足することを明らかにした。

研究成果の概要(英文)：In this study, Nash equilibrium strategy for a class of Markov jump stochastic systems is solved by using Ito stochastic differential equation. It is worth pointing out that Markov jump stochastic systems can represent the model variation and disturbance for large-scale systems. That is, computational algorithms for obtaining a robust stochastic strategy set against the abruptly changing parameters such as the power failure are developed. It is shown that the proposed Nash strategy attains the stochastic equilibrium and the optimality.

研究分野：情報数理

科研費の分科・細目：情報学・情報学基礎

キーワード：ナッシュゲーム パレート最適性 確率微分方程式 マルコフジャンプシステム 数値計算アルゴリズム

1. 研究開始当初の背景

イタリアの著名な経済学者であるヴィルフリード・パレートは、ある集団が1つの資源配分を考慮するとき、集団内の誰かの満足度を犠牲にしなければ他人の満足度を高めることができない配分方法として、パレート最適を定義した。一方、ジョン・ナッシュは非協力ゲームにおけるナッシュ均衡解を与えた。その結果、「個々が自己の利益を追求するあまり、全体の利益が促進されない」といった危機的状況を改善することが可能となった。しかし、通常ナッシュ均衡状態は、パレート最適の状態、すなわち、各プレイヤーのコストの総和が最小になっているとは限らない。これは、有名な非協力ゲームの代表である「囚人のジレンマ」に見られるように、お互いの刑期を軽減できる戦略(囚人が共に黙秘する)があるにも関わらず、刑期が最小とはならない戦略(囚人が共に自白する)を選択してしまう例から理解される。そこで、もし、ナッシュ均衡状態を維持しつつ、パレート最適性も同時に保証できれば、自己の消費コストを最適にしつつ、各プレイヤーの消費コストの合計が最小となり、現実問題として非常に理想的な状態を獲得することが可能となる。しかし、動的ゲームにおけるナッシュ均衡とパレート最適を同時に満足する混合戦略の獲得に関する研究は、現在のところ国内外を問わず行われていない。

動的ゲーム理論に基づく制御系システムの実用化を目指して、従来、申請者は動的ゲームにおける戦略を構築するための制御系設計アルゴリズムを開発した。さらに、確率的外乱を考慮したナッシュ均衡解を求めるアルゴリズムを開発した。しかし、マルチエリア電力システムに例証されるように、停電などの大幅な環境変化や電力需要の短時間での変動、あるいは対象となるシステムダイナミクスモデル化誤差を表現する不確定要素の存在を考慮した戦略決定に関する研究は、国内外の最新の研究成果を精査しても、未だ手付かず状態にある。従来より、これらの要因が、精度が良い制御を行う上で問題となることが知られている。すなわち、上記の様々な影響により、所望の制御性能を達成しない。あるいは、消費コストの最小化が保証されない場合が存在することが分かっている。その結果、既存の動的ナッシュゲーム理論のみに基づく制御系設計では、システムの挙動を十分に把握できず、目的の動作が達成されない。あるいは、全体のコスト低減が達成されない。

2. 研究の目的

本研究では、大規模なシステムのモデル構造の変動や様々な環境変化をマルコフ過程として表現し、確率システムに基づいて新規なナッシュ均衡戦略を定義する。この定義に基づいて、停電等、劇的パラメータ変動に対して頑強(ロバスト)な確率分散最適制御系の設計を行う。ここで、特徴的な性質として、提案される確率戦略がパレート準最適性を満足することを新たに明らかにする。続いて、得られた分散戦略の有用性を検証するために、格好な例題として、マルチエリア電力システムを取り上げる。マルチエリア電力システムに基づくシミュレータによって、シミュレーションを実施し、提案された理論の有用性の評価・検討を行う。その結果、環境変化にロバストかつ安定した電力供給並びに発電にかかる制御に必要な消費コスト削減が共に達成されることを示す。

3. 研究の方法

まず、パレート最適性、ナッシュ均衡論、及びマルコフジャンプ過程を基盤とする伊藤の確率微分方程式に関する数理的なモデルの検証を机上計算によって行い、対象となる新物理モデル化に対して十分に推敲する。具体的には、マルチエリア電力システムの確率システム構築に対して、従来から良く知られている文献を詳細に調査し、直接、動的ゲーム理論が適用可能な確率モデルを作成する。また、確率制御に関する文献の収集・調査を行う。先に作成されたマルコフジャンプ過程を基盤とする確率モデルに対して、新規にパレート最適性及びナッシュ均衡状態を満足するための条件を記述する。また、動的計画法又は最大原理によって戦略を計算するための大規模連立型非線形行列方程式を導出する。

本研究では、半正定値計画問題を基盤とする数値最適化アルゴリズムによる大規模連立型非線形行列方程式の数値解法を確立する。特に、大規模連立型非線形行列方程式のニュートン法の扱いは、アルゴリズムを導出する際に、非常に多くの手数が必要となる。そこで、半正定値計画問題を基盤とする数値最適化アルゴリズムの開発を行う。一方、半正定値計画問題を基盤とする数値最適化アルゴリズムが理論通り動作しない状況を憂慮し、LAPACK や LINPACK を利用した大規模行列演算ツールによる従来通りのニュートン法の適用も試みる。その結果、ニュートン法の導出によって、得られた解の比較が可能と

なる．さらに，正確性の検証が可能となる．一方，半正定値計画問題を高速に解けるように，ソフトウェアパッケージの開発も手がける．その後，確率動的ゲーム理論による戦略設計アルゴリズムを実装し，システムが良好に機能するように各サブシステムの調整および改善を行う．最終的に，電力シミュレータによって，シミュレーションならびに数値実験によりデータを獲得し，得られた確率分散型均衡戦略アルゴリズムの有効性の評価・検討を行う．

4．研究成果

本研究では，大規模なシステムモデルの構造の変動や様々な環境変化をマルコフジャンプ確率システムとして表現し，伊藤の確率微分方程式論によるナッシュ均衡戦略を求めることに成功した．すなわち，停電等，劇的パラメータ変動に対してロバストな確率分散戦略の数値計算アルゴリズムの開発に成功した．ここで，特徴的な成果として，提案される確率戦略がナッシュ均衡状態だけでなく，パレート最適性も同時に満足することを明らかにした．その他の成果として，提案された戦略を得るための非線形行列方程式を導出し，これらの方程式を解くための数値計算アルゴリズムの開発に成功した．特に，ニュートン法による方法と凸最適化の手法に基づく二通りの方法について，解を得るための数値計算アルゴリズム並びに収束性の証明を完了した．また，得られた確率分散戦略の有用性を検証するために，格好な例題としてマルチエリア電力システムを取り上げ，シミュレーションを実施し，提案された理論の有用性の評価・検討を行った．その結果，環境変化にロバストかつ安定した電力供給，並びに消費コスト最小化が共に達成されることが示された．特に，システムの構造が激変しても安定性が保証されることが確認された．さらに，マルチエリア電力システム以外に，通信時間の遅延を考慮したワイヤレスネットワーク環境の等価モデルに対して，シミュレーションによって新規確率分散戦略の可用性も確認した．その結果，通信容量の変化が起こっても，安定性が確保される等，当初目的である環境変化に対するロバスト性を有することが判明した．その他，ナッシュ均衡戦略やパレート最適戦略以外に，階層戦略であるシュタッケルベルグゲームに関して，同様の特性を持つ戦略も得ることに成功した．

従来，不確定要素を考慮したナッシュゲー

ムは扱われてきた．しかし，適用できる範囲がシステムのモデル化誤差までの微小な変動しか扱うことができなかった．一方，本研究では，先の例にもあるように，停電や動作点の移行等，システムの構造自体が劇的に変化してもロバスト性を有する戦略が構築できるところが大きな特徴である．これらを可能にする理論の基盤として，初めてマルコフジャンプ過程が導入された．

今後，当該研究が，パレート最適性並びにナッシュ均衡論に基づく高機能分散制御のパイオニア的存在としての地位を確立することが大いに期待されている．さらに，本研究で扱われる確率システムは，マルチエリア電力システムだけでなく，被災現場等の利用を想定したアドホックネットワークへの応用が期待されている技術でもある．劇的なモデル変動や不確定外乱に対してロバストな確率ナッシュ均衡論に基づく分散型戦略アルゴリズムが系統的に完備されれば，情報通信ネットワーク分野，ロボット工学，レスキュー工学に応用され，飛躍的進展と大いなる成果が期待される．

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 6 件)

1. Hiroaki Mukaidani, Dynamic Games for Stochastic Systems with Delay, Asian Journal of Control, 査読有, Vol.15, No.5, pp.1251-1260, DOI:10.1002/asjc.686, 2013.
2. 向谷 博明, 弱結合マルチチャネル確率システムのための H_2 静的出力フィードバック制御系設計, 計測自動制御学会論文集, 査読有, Vol.49, No.2, pp.292-301, 2013.
3. Hiroaki Mukaidani and Toru Yamamoto, Nash Strategy for Multiparameter Singularly Perturbed Markov Jump Stochastic Systems, IET Control Theory & Applications, 査読有, Vol.6, Issue 14, pp.2337-2345, DOI:10.1049/iet-cta.2011.0539, 2012.
4. 向谷 博明, 平田 知輝, 制御ゲイン変動を伴う確率制御を利用したむだ時間マルコフジャンプシステムのための安定化, 電子情報通信学会和文論文誌 A 分冊, 査読有, Vol.J95-A, No.11, pp.783-789, 2012.

5. Hiroaki Mukaidani ,Guaranteed Cost PID Control for Uncertain Discrete-Time Stochastic Systems with Additive Gain Perturbations, Asian Journal of Control, 査読有, Vol.13, No.6, pp.1005-1017, DOI:10.1002/asjc.259 , 2011.
 6. Hiroaki Mukaidani , Local Feedback Pareto Strategy for Weakly Coupled Large Scale Discrete-Time Stochastic Systems, 査読有, IET Control Theory & Applications, Vol.5, Issue 17, DOI:10.1049/iet-cta.2010.0469 , pp.2005-2014, 2011.
- [学会発表](計 16 件)
1. Hiroaki Mukaidani , H_2/H Control of Stochastic Systems with Multiple Decision Makers: A Stackelberg Game Approach, 52nd IEEE Conf. Decision and Control, pp.1750-1755, Florence, Italy, December 10-13, 2013.
 2. Hiroaki Mukaidani , Nonlinear Stochastic H_2/H Control with Multiple Decision Makers, 52nd IEEE Conf. Decision and Control, pp.1186-1191, Florence, Italy, December 10-13, 2013.
 3. Hiroaki Mukaidani , Masaru Unno, Toru Yamamoto and Hua Xu , Nash Strategy for Markov Jump Stochastic Delay Systems, 52nd IEEE Conf. Decision and Control, pp.1198-1203, Florence, Italy, December 10-13, 2013.
 4. Hiroaki Mukaidani , Masaru Unno, Toru Yamamoto, Hua Xu and Vasile Dragan , Stackelberg Strategies for Singularly Perturbed Stochastic Systems, European Control Conf., pp.730-735, Zurich, Switzerland, July 17-19, 2013.
 5. Hiroaki Mukaidani , Masaru Unno, Hua Xu and Vasile Dragan , Pareto-Optimal Solutions for Markov Jump Stochastic Systems with Delay, 2013 American Control Conf., pp.4667-4672, Washington, DC, USA, June 17-19, 2013.
 6. Hiroaki Mukaidani , Masaru Unno, Hua Xu and Vasile Dragan , Soft-Constrained Robust Equilibria in Stochastic Differential Games, 2013 American Control Conf., pp.4661-4666, Washington, DC, USA, June 17-19, 2013.
 7. Hiroaki Mukaidani , Hua Xu, Toru Yamamoto and Vasile Dragan , Static Output Feedback H_2/H Control of Infinite Horizon Markov Jump Linear Stochastic Systems with Multiple Decision Makers, 51st IEEE Conf. Decision and Control, pp.6003-6008, Maui, Hawaii, USA, December 10-13, 2012.
 8. Hiroaki Mukaidani , Hideyuki Tanaka and Toru Yamamoto , Decentralized H_2 Control for Multi-channel Stochastic Systems via State Feedback Strategies: Application to Multimodeling Systems, 2012 American Control Conf., pp.50-55, Montreal, Canada, June 27-29, 2012.
 9. Hiroaki Mukaidani , Toru Yamamoto and Vasile Dragan , Nash Strategy of Multiparameter Singularly Perturbed Markov Jump Stochastic Systems with State- and Control-Dependent Noise, American Control Conf., pp.1621-1626, Montreal, Canada, June 27-29, 2012.
 10. Hiroaki Mukaidani , Hua Xu and Vasile Dragan , Multi-Objective Decision-Making Problems for Discrete-Time Stochastic Systems with State- and Disturbance-Dependent Noise, 50th IEEE Conf. Decision and Control and European Control Conf., pp.6388-6393, Orlando, Florida, USA, December 12-15, 2011.
 11. Hiroaki Mukaidani , Hua Xu and Vasile Dragan , Soft-Constrained Stochastic Nash Games for Weakly Coupled Large-Scale Discrete-time Systems, 50th IEEE Conf. Decision and Control and European Control Conf., pp.6394-6399, Orlando, Florida, USA, December 12-15, 2011.
 12. Vasile Dragan and Hiroaki Mukaidani , Stabilizing Composite Control for Systems Modeled by Singularly Perturbed Ito Differential Equations with Two Small Time Constants, 50th IEEE Conf. Decision and Control and European Control Conf., pp.740-745, Orlando, Florida, USA, December 12-15, 2011.
 13. Hiroaki Mukaidani , Masaru Unno, Hua Xu and Vasile Dragan , Nash Strategies of

Markov Jump Stochastic Systems
Applied to Weakly-Coupled Large-Scale
Systems, IFAC World Congress,
pp.5884-5889, Milano, Italy, August
28-September 2, 2011.

14. Hiroaki Mukaidani, Masaru Unno, Hua Xu
and Vasile Dragan, Nash Strategies for
Large-Scale Stochastic Delay Systems,
IFAC World Congress, pp.5890-5895,
Milano, Italy, August 28-September 2,
2011.
15. Hiroaki Mukaidani and Toru Yamamoto,
Nash Strategy for Stochastic Delay
Systems, American Control Conf.,
pp.2062-2064, San Francisco,
California, USA, June 29-July 1, 2011.
16. Hiroaki Mukaidani, Lin Cai and Xuemin
(Sherman) Shen, Stable Queue
Management for Supporting TCP Flows
over Wireless Networks, IEEE Int. Conf.
Communications, USB Memory, Kyoto,
Japan, June 5-9, 2011.

6 . 研究組織

(1)研究代表者

向谷 博明 (MUKAIDANI HIROAKI)
広島大学・大学院工学研究院・教授
研究者番号：7 0 3 0 5 7 8 8

(2)研究分担者

徐 驊 (HUA XU)
筑波大学・ビジネス科学研究科・教授
研究者番号：4 0 2 5 3 0 2 5