

令和元年6月25日現在

機関番号：33934

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2016～2018

課題番号：16K06198

研究課題名(和文) 場面遷移ネットを用いた大規模産業システムのモデル化・評価手法

研究課題名(英文) A modeling and evaluation method for large-scale systems using scene transition nets

研究代表者

館山 武史 (Tateyama, Takeshi)

愛知工科大学・工学部・教授(移行)

研究者番号：70336527

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,300,000円

研究成果の概要(和文)：本研究の目標は、離散・連続混合システムのモデリング手法である場面遷移ネット(STN)により、大規模システムの評価を可能とすることであり、下記のような成果を得た。(1)人間などの予測が困難な要素を含むシステムを、隠れマルコフモデルを用いてSTNでモデル化し、評価を行う手法を提案。(2)大規模システムをマルチエージェントシステムとしてとらえ、強化学習によって最適解の獲得を実現する経験共有アルゴリズムを提案。(3)STNの高速化の実現、および前述の提案手法を応用した深層強化学習アルゴリズムを用いた最適手法を導入するために、GPUを用いたシミュレーションシステムの基盤を構築し、動作確認を行った。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究で対象とするシステムは、System of Systems(SoS)の対象となるような大規模・複雑システムであることが学術的特色の一つである。また、産業システムは今後さらに大規模・複雑化が進む傾向にあると予想されるため、本研究の成果は学術および産業の発展に大きく寄与できる可能性があり、意義深いものであるといえる。また、本研究で開発するモデリング・シミュレーションシステムは、既存の多種多様なシミュレータを統合し、それぞれの相互作用を実現するという位置づけであるため、既存研究で開発されたモデリング・シミュレーション技術の適用範囲を広げ、さらに発展性を高めるといった可能性があるという特色も持つ。

研究成果の概要(英文)：The goal of this research is to evaluate large-scale systems using scene transition nets (STN), which is a modeling and simulation method for discrete-continuous hybrid systems. The applicant obtained the following results. (1) Many large-scale systems include a variety of uncertainties (e.g. behaviors of humans) and unobservable states (hidden states) for users. In such cases, it is essential to predict the hidden states and to examine the effects by using simulation. I propose a modeling method using STN and hidden Markov models (HMM) for large-scale systems including hidden states. (2) The proposed method treats large-scale systems as complicated multi-agent and discrete-continuous hybrid systems. I propose a new strategy using exploitation agents and exploration agents for parallel reinforcement learning to optimize the multi-agent systems. (3) In order to speed up STN simulation, I constructed a base of simulation systems using GPU.

研究分野：機械学習、人工知能、離散・連続混合システム、シミュレーション

キーワード：モデリング シミュレーション 大規模システム 離散・連続混合システム 場面遷移ネット 機械学習 マルチエージェントシステム 最適化

様式 C-19、F-19-1、Z-19、CK-19（共通）

1. 研究開始当初の背景

近年の産業システムは多種多様な要素を含み、大規模・複雑化する傾向にあり、その構築や運用がますます困難なものになってきている。また、これらのシステムは効率性、安全性、頑健性、柔軟性、環境への配慮など、様々な要求を同時に満たすことが求められるようになり、システムの最適化が非常に困難となってきている。マルチエージェントシステムのモデリングや、機械学習などを用いた最適化に関する研究には多くの研究事例があり、これらは現在もホットな研究分野であるが、近年はある目的(プロジェクト)に必要な多種多様な要素全てを含むものを一つのシステムとして扱う、**System of Systems (SoS)** という考え方が広まりつつある。しかし、我が国では **SoS** の概念を導入した大規模システムを対象とした研究事例はまだ少なく、その課題やこれまでの研究成果の適用指針などについての考察がまだ十分ではないといえる。複雑システムの要素技術としては、様々なモデリング・シミュレーションに関する研究(分散事象システム、エージェントシミュレーションなど)や、最適化に有効であると考えられる機械学習の基礎研究(各種学習理論・アルゴリズムなど)、実システムへの応用に関する研究(ロボット、マルチエージェントシステムへの応用など)等の様々な研究が国内外でなされているが、今後はより大規模で複雑なシステムの構築・運用が求められる将来をにらみ、これらの多数の要素技術を組み合わせることでシステムのモデル構築および最適化を行う技術が求められると思われる。

しかし、**SoS** の対象となるような大規模システムは、ペトリネット等でモデル化可能な分散事象システムと、微分方程式等で記述可能な連続変数システムが混在したシステムであることが多い。またこれらは複数のサブシステムで構成されており、個々のサブシステムは分散事象システムまたは連続システムを対象とした(どちらかに特化した)既存の手法でモデリングおよび最適化が可能であるが、これらは複雑な相互作用関係を含んでいることが多いため、分散事象システムと連続システムを両方同時に扱うことが可能なモデル化手法を核とし、多数のサブシステムの相互作用関係を表現することが必要となる。

2. 研究の目的

近年の産業システムは大規模・複雑化する傾向にあり、その構築や運用が困難となってきている。このような大規模システムは、分散事象システムと連続変数システムが混在した多種多様なサブシステムの集合で構成され、かつそれらは複雑な相互作用関係にあるため、既存手法によるモデル化、動作検証および最適化が非常に困難となる。本研究では、**System of Systems (SoS)** の概念の対象となるような複雑・大規模システムのサブシステムを多種多様な既存手法を用いて個々にモデル化し、分散・連続混合システムのモデリング・シミュレーションを可能とする場面遷移ネットによってこれらを統合することにより、相互作用関係の表現を実現する。そして、**SoS** の動作確認および最適化を容易に可能とすることを目的とした、汎用的なツールを開発する。

3. 研究の方法

まず、申請者が開発中の「場面遷移ネット GUI シミュレータ」を、外部プログラム(サブモデルのシミュレータ)とデータの入出力の通信を可能とするように拡張を行う。また、計算機の計算負荷を分散させることを目的として、複数の計算機でネットワークを構築し、場面遷移ネットを通じて計算機間のデータの送受信を可能とする。次に、シンプルなサブモデルを複数設定し、サブモデルの相互作用関係を場面遷移ネットによって表現する手法を開発する。そして、実在の大型機械のメンテナンス現場をモデルとした仮想的な大規模施設を想定し、市販シミュレータ、自作のシステム最適化プログラムおよび場面遷移ネットを連携させ、大規模システムのモデル化、シミュレーションおよび最適化を目指す。

4. 研究成果

初年度となる平成 28 年度は、まず申請者が開発中の「場面遷移ネット GUI シミュレータ」を、他の外部プログラム(サブモデルのシミュレータ)とデータの入出力の通信を可能とするために、外部プログラムと場面遷移ネット間で時系列で変化するシステムの変数を共有可能となるように拡張を行った。また、場面遷移ネットの感覚的な操作を可能とすることを目的として、タッチパネルによる操作が可能となるように拡張を行った。また、計算機の計算負荷を分散させることを目的として、複数の計算機でネットワークを構築し、場面遷移ネットとクラウドを通じて計算機間のデータの送受信を可能とするシステムの基礎を構築し、動作確認を行った。加えて、大規模な場面遷移ネットの演算処理を高速実行することを目標として、GPGPU(General-purpose computing on graphics processing units)を用いた計算機環境の基盤を構築した。

2 年目となる平成 29 年度は、まず場面遷移ネットのモデル記述能力の向上を目的として、下記のような拡張を行った。大規模・複雑なシステム、特に人間のふるまいがシステムの挙動に影響するシステムでは、人間のふるまいのモデル化が重要となる。人間のふるまいは現場の状況、人間の嗜好や体調等、様々な要素の影響により不確定であるため予測が困難であり、不確定な確率的事象としてモデル化する必要が生じる場合が多い。しかし、それらの確率関数・確率分布は常に一定ではなく、「状況」によって変動する場合がある。このようなシステムは、隠れマルコフモデル(Hidden Markov Model、HMM)の概念を用いてモデル化が可能である。このようなモデルを場面遷移ネットモデルに組み込むことができれば、隠れ状態をもつシステムの挙動の検証

が可能となる。そこで本研究では、HMMの構造を含むシステムモデルを構築可能とするように場面遷移ネットを拡張し、シミュレーションによってその挙動を観測可能とした。また、大規模システムの最適化を行う手法の一つとして、マルチエージェント強化学習に着目し、下記のような学習アルゴリズムを開発した。大規模環境における強化学習の高速化を実現する手法として、複数のエージェントで学習経験を共有する parallel reinforcement learning が有効であることが知られている。これらの手法の一つとして館山らは、「探索に集中するエージェント」と「報酬獲得に集中するエージェント」の2種類のエージェントを設定し、効率的かつ高い確率で最適解の獲得を可能とする手法を提案している。しかし本手法を大規模問題に適用する場合、複数のエージェントの探索行動の重複が生じ、結果としてシステム全体の探索効率悪化の原因となる可能性がある。そこで本研究では、より大規模な環境において効率的な強化学習を可能とすることを目的として、個々のエージェントにそれぞれ異なる「優先的に探索すべき状態」をあらかじめ指定する手法を提案し、探索行動の重複を減少させることを可能とした。

最終年度は、本研究の成果の一つである場面遷移ネット GUI シミュレータに組み込む、大規模システムの最適化アルゴリズムの開発を主として行った。ここでは、本研究で対象とする複雑・大規模システムをマルチエージェントシステムとしてとらえ、強化学習によって高効率かつ高確率での最適解の獲得を実現する学習アルゴリズムを提案した。具体的には、経験共有を導入したマルチエージェント強化学習システムにおいて、「探索に集中するエージェント」と「報酬獲得に集中するエージェント」の2種類のエージェントを設定し、そして個々のエージェントにそれぞれ異なる役割を分担させることにより、より効率的な探索および強化学習の高速化を実現した。さらに、その役割分担の設定指針や、システム全体の状況に応じてマルチエージェント強化学習の役割分担を変化させるプロセスを、「組織学習」の枠組みに従って実現する手法を提案し、より効率的な学習を可能とした。そして、場面遷移ネットの演算の高速化の実現、および前述の提案手法を応用した深層強化学習アルゴリズムを用いた最適化手法を導入するために、GPGPUを用いたシミュレーション・学習システムの基盤を構築し、動作確認を行った。

今後は、開発した場面遷移ネットシミュレータとマルチエージェントシステム最適化システムを統合し、汎用的なシミュレーション・最適化ツールとして完成させることを目標とする。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計0件)

〔学会発表〕(計13件)

①館山武史: 役割分担を考慮して組織学習を行う経験共有マルチエージェント強化学習システム, ST 2018(151-155), CT 2018(116-120), in-printing (2018).

②館山武史: 学習経験共有型マルチエージェント強化学習の探索戦略に関する一提案, 計測自動制御学会システム・情報部門学術講演会 2018(SSI2018)講演論文集, 電子ファイル配布(2018).

③館山武史, 成田浩久, 永野佳孝, 高橋諒士, 藤本英雄: 深層学習による画像認識を用いた自動製品検査システム(第2報), システム研究会 インテリジェント・システム(FAN2018)電気学会研究会資料, ST 2018(85-102・104-118), pp.47-51 (2018).

④館山武史: 探索の役割分担の概念を導入した経験共有マルチエージェント強化学習システム, 平成30年電気学会電子・情報・システム部門大会, CD-ROM (2018).

⑤館山武史: 実社会システムの高度なAI化を目指した機械学習技術の応用に関する研究(第2報), 電気学会研究会資料, ST 2018(19-28), pp.1-4 (2018).

⑥館山武史, 鈴木星斗: 探索エージェントを導入した経験共有マルチエージェント強化学習の大規模環境への適用可能性の検討, 計測自動制御学会第45回知能システムシンポジウム(2018).

⑦館山武史, 成田浩久, 永野佳孝, 高橋諒士, 山磨誠治, 藤本英雄: 深層学習による画像認識を用いた自動製品検査システム, 電気学会研究会資料, Vol. ST-18-009~014・016~018, pp.45-48 (2018).

⑧館山武史: 学習状況および環境の変化に適応可能な組織論に基づくマルチエージェント強化学習システム, 計測自動制御学会システム・情報部門学術講演会 2017(SSI2017), CD-ROM (2017).

⑨館山武史: 場面遷移ネットと隠れマルコフモデルを用いた不確定要素を含むサービスシステムのモデリング手法, 平成29年電気学会電子・情報・システム部門大会, CD-ROM (2017).

⑩館山武史: 実社会システムの高度な AI 化を目指した機械学習技術の応用に関する研究, 電気学会研究会資料, Vol. ST-17-001~012, pp.11-16 (2017).

⑪館山武史: 場面遷移ネットを用いた離散・連続混合システムのモデリング, パーティクルフィルタ研究会(2017).

⑫館山武史: 場面遷移ネットを用いた大規模複雑システムのモデリングとシミュレーション, 平成 28 年電気学会電子・情報・システム部門大会, CD-ROM (2016).

⑬館山武史: 大規模・複雑システムの最適化・効率化を実現するための機械学習技術に関する研究 (第 2 報), 電気学会研究会資料, Vol. ST-16-017~028, pp.13-18 (2016).

[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]

6. 研究組織：研究代表者のみ

※科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。