

数学・数理科学と情報科学の連携・融合による情報活用基盤の創出と社会課題解決に向けた展開

2020 年度採択研究代表者

2021 年度 年次報告書

末永幸平

京都大学 大学院情報学研究科／国立情報学研究所
准教授／客員准教授

AI 集約的サイバーフィジカルシステムの形式的解析設計手法

§ 1. 研究成果の概要

本年度は COVID-19 のパンデミックが依然として進行している状況に鑑み、日本側とフランス側のそれぞれが比較的独立に進めやすいトピックに的を絞りつつ、フランス側との進捗の交換を行う形で研究を進めた。これにより、末永グループと岸田グループそれぞれにおいて多彩な成果が上がった。安全な AI-CPS 設計のための要素技術が順調に出揃ってきたため、研究の進捗状況としてはおおむね順調に進展しているものと考えている。次年度以降はこれまでの成果を踏まえ、かつ海外渡航がやや再開しつつあることも踏まえ、相互の訪問を行いつつ、コラボレーションを進行させることを目指す。

顕著な成果としては岸田グループの「ディープニューラルネットワーク(DNN)による制御システムの最適化問題の数値解法」に関する成果が挙げられる。この研究においては、一般的に解を求めることが難しいと言われている「制約付きの非線形システムに対する離散時間確率的最適制御問題」に対し、制御対象の数理モデルに基づくディープニューラルネットワーク(DNN)を用いて、直感的かつ容易にアプローチする方法を構築した。本研究成果は、システム科学におけるさまざまな問題に広く適用可能だけでなく、数学の専門家以外にも使いやすいものであるため、産業界のシステム制御において幅広い活用が期待される。

また、岸田グループの「サイバーフィジカルシステム(CPS)を低コストで制御する AI」に関する成果も顕著な成果である。この研究成果では、サイバーフィジカルシステム(CPS)において想定される複雑なタスク仕様を信号時相論理で記述し、それらをベクトルに変換する技術(STL2vec)を新たに構築することで、多種多様なタスクの下での制御機能を統一的かつ省メモリで学習することを可能になった。この術により、CPS における幅広い分野に対し、従来法に比べより柔軟性の高い実用的な設計方法の確立への展開が期待される。

末永グループからも、ブラックボックス検査の改良、完全準同型暗号を用いた秘匿モニタリング、多目的最適化を用いた探索的制御器合成などの重要な成果が上がった。これらの成果は、本研究課題が目標とする、安全な AI-CPS を設計するための設計基盤を構築する上で重要な要素技術となると考えられる。

§ 2. 研究実施体制

(1) 末永グループ

① 研究代表者:末永 幸平(京都大学大学院情報学研究科 准教授)

② 研究項目

- WP1
 - 2-c: AI-CPS のグレーボックス学習手法
- WP2
 - 2: AI-CPS のための機械学習手法
 - 4: AI-CPS における機械学習の形式化
- WP3
 - 1-a ロバストモデル検査
 - 1-b AI-CPS のためのモデル検査手法
 - 1-c グレーボックスモデル検査.
 - 2. 統計的モデル検査
 - 3. AI-CPS のためのグレーボックステスト
- WP4
 - 1-a. ロバストモニタリング
 - 1-b. 形式検証とオンラインモニタリングの統合によるグレーボックスモニタリング
- WP5
 - 1. データセットの準備
 - 2. データ生成とシミュレーション
 - 3. ベンチマーク
 - 4. プラットホーム開発

(2) 岸田グループ

① 主たる共同研究者:岸田 昌子 (国立情報学研究所情報学プリンシプル研究系 准教授)

② 研究項目

- WP1
 - 1. AI-CPS の挙動の定量的評価指標としての距離の理論
 - 2-a. ハイブリッドオートマトンの学習手法
 - 2-b. 安全性仕様の学習手法
- WP2
 - 3. 機械学習で実装された制御器の反例による訓練手法
- WP3
 - 1-a. ロバストモデル検査
- WP4
 - 1-b. 形式検証とオンラインモニタリングの統合によるグレーボックスモニタリング

- 2-a. 制御設計のための機械学習
- 2-b. 機械学習コンポーネントを含むシステムの制御設計
- WP5
 - 3. ベンチマーク
 - 4. プラットホーム開発

【代表的な原著論文情報】

- 1) 伴野 良太郎、松岡 航太郎、松本 直樹、Bian Song、和賀 正樹、末永 幸平「完全準同型暗号を用いた秘匿 LTL オンラインモニタリング」コンピュータセキュリティシンポジウム 2021 (CSS 2021) 2021 年 10 月
- 2) Junya Shijubo、Masaki Waga、Kohei Suenaga: Efficient Black-Box Checking via Model Checking with Strengthened Specifications. RV 2021: 100-120
- 3) M. Kishida、M. Ogura: Temporal deep unfolding for nonlinear maximum hands-off control. Proceedings of SICE Annual Conference、pp. 1007-1010、2021.
- 4) W. Hashimoto、K. Hashimoto、S. Takai: STL2vec: Signal Temporal Logic Embeddings for Control Synthesis With Recurrent Neural Networks. IEEE Robotics and Automation Letters、7(2)、pp.5246-5253、2021.
- 5) M. Kishida、M. Ogura: Temporal deep unfolding for constrained nonlinear stochastic optimal control. IET Control Theory & Applications、16(2)、pp.139-150、2021.