

2023 年度年次報告書
信頼される AI の基盤技術
2022 年度採択研究代表者

岸田 昌子

情報・システム研究機構 国立情報学研究所
准教授

リスク・アウェア制御理論の構築とその展開

研究成果の概要

2023年度は、確率的な不確実性を持つ離散時間システムに対する、制御バリア関数(CBF)を用いたリスクを考慮した制御手法の研究を行った。

まず、制御リアプノフ関数と CBF の制約を満たしつつ、貪欲法的に制御入力を計算することで、イベントトリガー制御とセルフトリガー制御の手法を提案した。この手法では、安全性の制約を満たしつつ、制御入力の更新間隔を可能な限り長くすることを目指す。二重積分器の数値例により、提案手法が、制御入力の更新回数を減らしつつ、安全性を保証し、安定性の低下を最小限に抑えられることを示した。(論文2)

次に、最悪条件付きバリュー・アット・リスク(CVaR)を用いてリスクを定量化し、それを CBF に組み込むことで、リスクを考慮しつつ安全性を保証する制御手法を提案した。この手法では、安全領域の形状に応じて制御入力を求める最適化問題を定式化し、半空間や多面体の安全領域に対しては二次計画問題、楕円体の安全領域に対しては半正定値計画問題として解くことができる。提案手法の有効性を、倒立振子の数値例により検証し、従来の期待値ベースの手法と比較して、不確実性の影響を考慮しつつも安全領域内に留まることを確認した。(査読中)

さらに、線形システムに対して、カルマンフィルタを用いて状態の平均と共分散を推定することで、状態が完全に観測できない場合にも対応可能とした。この手法では、カルマンフィルタにより推定された状態の平均と共分散を用いて最悪条件付き CVaR を計算し、CBF の制約条件を導出する。車両の航法制御の数値例により、提案手法が、不確実性の影響を受けつつも安全領域内に留まることを確認した。(査読中)

本研究により、安全性が重要なシステムにおいて、CBF を用いて不確実性を考慮しつつ、通信や計算負荷を低減した制御が可能になると期待される。

*論文1については、2022年度の研究成果の概要で報告済み

【代表的な原著論文情報】

- 1) M. Kishida, "Risk-Aware Stability, Ultimate Boundedness, and Positive Invariance," in *IEEE Transactions on Automatic Control*, vol. 69, no. 1, pp. 681-688, 2024, doi: 10.1109/TAC.2023.3301817.
- 2) M. Kishida, "Greedy Synthesis of Event- and Self-Triggered Controls with Control Lyapunov-Barrier Function," *IEEE Conference on Decision and Control*, Singapore, Singapore, 2023, pp. 4467-4473, doi: 10.1109/CDC49753.2023.10383916.