

2024 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

村田 真悟

慶應義塾大学 理工学部
准教授

脳の計算原理とプレイデータに基づく実世界ロボット学習

研究成果の概要

2024 年度は、自由エネルギー原理に基づく能動的推論の枠組みを拡張・応用し、実ロボットにおける高次元の観測・行動空間において自律的な知覚および行動生成を実現する手法を提案した。従来の能動的推論に関する研究は、主にシミュレーション環境での検証にとどまっており、実ロボットへの応用例は限られていた。そこで本研究では、深層学習を用いた深層能動的推論と、人間による遠隔操作データを活用した模倣学習を組み合わせることで、実ロボットへの応用を目指した。

具体的には、ピクセルレベルの高次元画像を観測情報として扱う深層学習ベースの世界モデルを用い、実ロボットによる適応的な行動を実現する深層能動的推論フレームワークを構築した。世界モデルは、初期観測画像と行動系列の候補に基づいて将来の状態遷移および観測画像の変化を予測し、それに基づいて各行動系列に対する期待自由エネルギーを算出する。得られた期待自由エネルギーを比較し、それが最も小さくなる行動系列を優先的に選択することで、目標物体の探索課題や多様な物体操作課題において、状況に応じた探索行動と目標志向行動の適応的な選択が可能であることを示した。また、期待自由エネルギー中の「選好精度」と呼ばれるハイパーパラメータを調整することで、探索行動と目標志向行動の選択優先度を柔軟に制御できることも確認した。

さらに、通常の変分自由エネルギーおよび期待自由エネルギーに対して対照学習を導入し、対照自由エネルギーおよび対照期待自由エネルギーを導出した。これに基づき、世界モデル・行動モデル・期待自由エネルギーモデルから構成される対照深層能動的推論フレームワークを構築した。実ロボットによる対象物へのリーチング課題において、提案手法は従来法が 71% の成功率であったのに対し、96% の成功率を達成し、その有効性と頑健性を実証した。

【代表的な原著論文情報】

- 1) Kentaro Fujii, Takuya Isomura, and Shingo Murata, “Real-World Robot Control Based on Contrastive Deep Active Inference with Demonstrations,” *IEEE Access*, Vol. 12, pp. 172343–172357, October 2024.
- 2) Gabriel W. Haddon-Hill and Shingo Murata, “Active Vision for Physical Robots using the Free Energy Principle,” In *Proceedings of the 33rd International Conference on Artificial Neural Networks (ICANN 2024)*, pp. 455–460, September 2024.
- 3) Ko Igari, Kentaro Fujii, Gabriel W. Haddon-Hill, and Shingo Murata, “Selection of Exploratory or Goal-Directed Behavior by a Physical Robot Implementing Deep Active Inference,” In *Proceeding of the 5th International Workshop on Active Inference (IWAI 2024)*, pp. 165–178, September 2024.