

## 2024年度北海道大学情報基盤センター萌芽型共同研究成果報告書

1. 研究類型 A)計算資源利用型
2. 研究課題名 ロボティックスワームの制御器の自動的設計と解析に関する研究
3. 研究期間 2024年6月10日～2025年2月28日
4. 研究代表者

氏名	所属機関・部局名	職名	備考
大倉 和博	広島大学大学院先進理工系科学研究科	教授	

## 5. 研究分担者

氏名	所属機関・部局名	職名	備考
小村 真央	広島大学大学院先進理工系科学研究科	院生	
森本 大智	九州工業大学 工学研究院 機械知能工学研究系	助教	
平賀 元彰	京都工芸繊維大学 機械工学系	助教	
棟朝 雅晴	北海道大学情報基盤センター	教授	

## 6. 共同研究の成果

本研究の目的は、ロボティックスワームの制御器の設計について新たな方法論を模索するとともに、ブラックボックス化しやすいニューラルネットを用いた制御器について、獲得されたロボットの行動則を探ることであった。この目的の達成のため、(a)ロボティックスワームの制御器の自動的設計法の探求と(b)制御器の解析の二つの計画を立案した。昨年度は主に(b)を中心に進めたが、そこから(a)についても重要な知見・指針が得られたため以下でそれぞれ報告する。

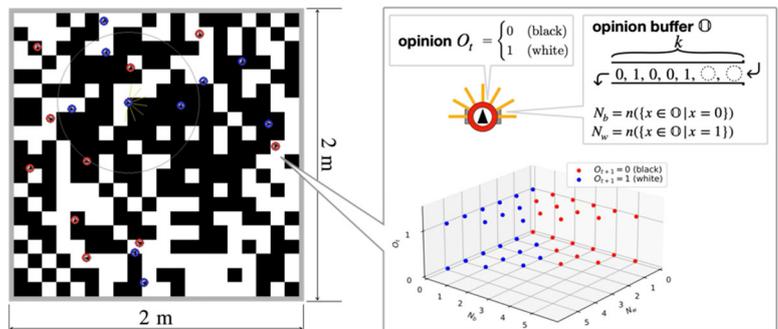


図1. 抽出された意思決定メカニズムの例

(b)制御器の解析の成果として(b-1)集団的認知タスクにおける意思決定戦略の抽出が挙げられる。これは2023年度に実施したプロジェクトの延長である。結果の例を図1に示す。本タスクでは環境中の特徴(白黒タイル)のうちどちらが多数であるかについて、局所的な探索と意見交換に基づく合意形成を狙う。ロボットの制御器の一部にArtificial Neural Network (ANN)を組み込み、これを進化計算によって設計した。図1の右下部の3DグラフはANNが近似する関数、すなわち抽出された意思決定メカニズムの例を示してい

る。(昨年度の報告書では書けなかったためこちらで報告するが) 2023 年度に得られた結果を 2024 年 9 月に国際学会 SWARM24 で発表し, best paper award を受賞した。

(Daichi Morimoto, Souto Takase, Motoaki Hiraga, Kazuhiro Ohkura, and Masaharu Munetomo, "Evolution and analysis of controllers for a robotic swarm: A case study on collective perception," Proceedings of the 8th International Symposium on Swarm Behavior and Bio-Inspired Robotics, pp. 145–153 (2024), Best Paper Award)

また, 上記の結果をベースとし本年度さらに発展させた内容を Artificial Life and Robotics に投稿中である。

(b-1)の結果は, 入出力が有限の種類しか持たない ANN であったために得られたものである。これをより一般的な ANN(連続値の入出力, 再帰結合などを持つ)に拡張し, 行動則を抽出するためのアプローチを実施した。これが二つ目の成果である (b-2)決定木による行動則の抽出である。結果の例を図 2 に示す。本アプローチでは進化計算や強化学習などの手法で自動的に設計された ANN に対して, その入出力関係を模倣するよう決定木を学習させる。ANN の一部もしくは全てを決定木で代替することで抽出の検算を行い, その後決定木を読み解けば行動ルールを推定できる。図 2 ではロボット 100 による経路形成タスクにおいて, ロボット前方の青色 LED の点灯ルールを示している(ルールは全部で 5 つあり, 図中では 3 つを省略)。図 2 のルールおよび後方の赤色 LED の点灯ルールを用い, 元の ANN の性能を 99%再現した。一方, タイヤのトルクを決定する出力ニューロンに関しては十分にルールを抽出できたとはいいがたく, さらなる改善が必要である。なお, これら(b-2)の成果について 2025 年 5 月 25~27 日に開催される第 69 回 システム制御情報学会 研究発表講演会 にて発表予定である。

(b-2)の結果では ANN の内, タイヤのトルクを決定する出力ニューロンについてはうまく行動則を抽出できていないが, これは (a) ロボティックスワームの制御器の自動的設計法の探求 において新たなテーマを考えるきっかけとなった。抽出が失敗する理由として, タイヤのトルクに対応するニューロンは連続値出力をとるのに対し, 決定木は終端の葉に有限の状態数しか用意できないため, これらの誤差が原因だと考えられた。これを支持する結果として, 連続値出力をクラスタリングによって有限の種類に分類し, 分類木によって ANN の入出力関係を模倣することで, 連続値を回帰木によって模倣するよりも良好な結果となる傾向が見られている。よって, ANN の出力を有限の種類に離散化しながら進化させる手法に思い至った。このようにして獲得された ANN を分類木によって模倣することで ANN 中の行動ルールをより正確に取り出すことが期待される。本年度は予備実験を実施するにとどまったが悪くない結果が得られているため次年度以降も本共同研究に応募し, 引き続き探求したいと考えている。

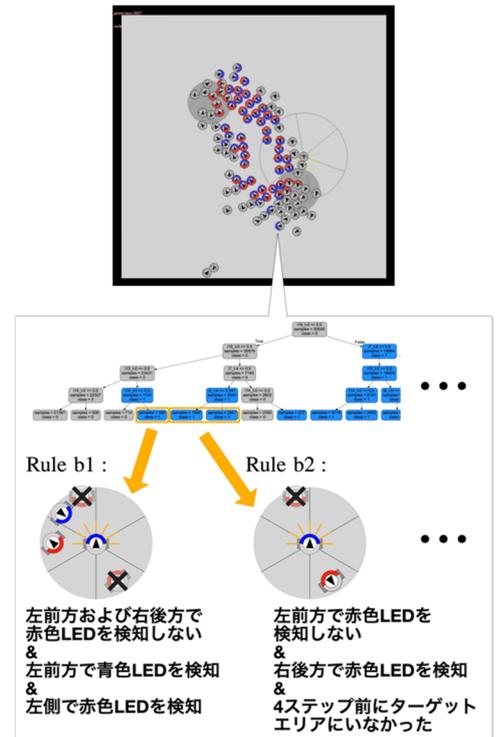


図 2. 決定木による行動則抽出の例