

## 論文審査の要旨

博士の専攻分野の名称	博 士 ( 工 学 )	氏名	森本 大智
学位授与の要件	学位規則第 4 条第 1 項・ 2 項該当		
論 文 題 目			
Automatic Design of Controllers for a Multi-Legged Robotic Swarm (多脚ロボティックスワームのための制御器の自動的設計)			
論文審査担当者			
主 査	教 授	大倉 和博	
審査委員	教 授	茨木 創一	
審査委員	准教授	河野 佑	
審査委員	教 授	松村 嘉之	
(富山大学)			
〔論文審査の要旨〕			
<p>本論文は多脚ロボティックスワームにおいて、群れ行動を生成するための制御器を自動的に設計する手法について述べたものである。進化ロボティクスアプローチを主として用い、加えて強化学習によるアプローチを試みている。アプローチの有効性を計算機シミュレーションにて確認している。本論文は以下のように構成される。</p> <p>第 1 章では、本論文の背景と研究目的を述べている。</p> <p>第 2 章では、スワームロボティクスの分野で用いられる自動的設計手法について解説を述べている。自動的設計手法は進化ロボティクスおよび強化学習に大別され、前者については、進化計算やニューロエボリューション、本論文に関連した研究例について述べている。また、後者については手法の理論的背景および最新の研究動向について述べている。</p> <p>第 3 章では、多脚ロボティックスワームの三次元的群れ行動について実験的な研究を行なっている。他のロボットを足場として段差を乗り越える協調段差乗り越えタスクを取り扱っている。単一のロボットの歩容を神経振動子によって実現し、振動子への入力を与える制御器を進化ロボティクスアプローチによって獲得している。設計したロボットと適応度関数により段差乗り越えタスクを達成した。</p> <p>第 4 章では、純粋なニューロエボリューションによるアプローチを試みている。第 3 章における振動子では、ロボットの歩行が単調になるのに加えて、ロボットの設定変更の際に再設計が必要となる。そこで、ロボットの基本的歩容の進化的獲得を行なっている。ニューロエボリューションと提案した適応度関数により、姿勢角や胴体位置を維持した歩容を実現した。また、この結果を多数体のロボットに拡張し、平面的環境において隊列をなす群れ行動を実現した。</p> <p>第 5 章では、不整地における群れ行動の生成を行なっている。直方体のブロックを正弦波面状に配置することで不整地を生成し、パラメトライズされた不整地の様態とロボティックスワームの性能の関係について検証している。第 4 章と同様のニューロエボリュ</p>			

ョンアプローチによって平地および不整地における経路形成タスクを達成した。

第6章では、段差乗り越え行動の生成および分析を行なっている。第4章のニューロエボリューションアプローチを協調段差乗り越えタスクに適用している。また、進化の過程でロボットが獲得した行動について分析する指標を提案している。指標の推移から進化の過程で、タスクの達成に寄与する幾らかの行動が獲得されていることが示された。

第7章では、強化学習に基づくアプローチを行なっている。進化ロボティクスとは別の手法による群れ行動の実現可能性を探るため、PPO と呼ばれる強化学習手法を採用している。PPO はシングルエージェントを想定したアルゴリズムであり、多数体のロボットの学習が可能になるようアルゴリズムの拡張を行なっている。第4章の結果から着想を得た報酬関数を用いることで、強化学習法によっても群れ行動の実現が可能であることを示した。

第8章では、本論文で得られた研究成果と将来の研究課題をまとめている。

本論文では、多数のロボットの協働と多数の関節の連動を同時に扱う、二種類の自由度設計の複合問題を提起している。この問題に対し、自動的設計手法の有効性を示している。また、ロボット間の物理的相互作用を三次元に拡張することで、新たな群れ行動の実現可能性を示している。このような観点から、本論文は、スワームロボティクスの分野における多大な貢献を成していると認められる。

以上、審査の結果、本論文の著者は博士（工学）の学位を授与される十分な資格があるものと認められる。

備考：審査の要旨は、1,500 字以内とする。