

学位論文概要

ロボティックスワームの進化的群れ行動生成とその解析

(Evolutionary collective behavior generation and its analyses for robotic swarms)

氏名 門田 真樹

自然界において、魚・鳥・蜂など、さまざまな生物が群れをなしている様を見ることができ、こうした群れ行動は自然進化を通して獲得されたもの生存戦略一つであると言える。本研究では、こうした群れ行動がどのように獲得されるのか構成論的に論じ、更にロボティックスワームに適用し群れ行動の可視化・定量的評価へと発展させることを主たる目的とする。

この課題に対する可能性は、主に近年の計算機の性能向上と低価格化が GPU コンピューティングをいう新計算パラダイムを通して急速に進展したことによってもたらされたと言える。また、計算パワーを有効活用し進化と群れ行動の関係性をシミュレーションにより解き明かそうとするエージェントベースドシミュレーションという試みも広く認知されるに至っている。こうした試みでは、より最適者生存の行動モデルを計算機上で進化シミュレーションを行い群れ行動が創発することを Hamilton の予測の通りに獲得されることが近明らかになりつつある。

本研究では、GPU コンピューティングというインフラストラクチャを有効活用してロボティックスワームのための進化計算法を提案するとともに、進化シミュレーションを用いて捕食者と被食者からなる Predator-prey モデルにおいて群れ行動が発現することを検証する。次に、その群れ行動を計測する手法を提案し、その有効性を検証することを目的とする。まず、進化計算法として、進化計算の一手法である Differential evolution (DE) を GPU コンピューティングように拡張するとともに、パラメータ脆弱性を打ち消すために、DE の計算履歴の利用方法を拡張することでより頑健な探索を可能とする新しい計算法 RSHADE を提案した。RSHADE の最適化能力を、CEC'13 のベンチマーク問題セットを使って従来手法と比較することにより精密に検証した。また、更により問題が大規模になるに従いより良好な結果を得ることがわかった。

続いて、群れを扱うことが可能なマルチエージェントシミュレーションを構築し、これに RSHADE を実装しエージェントの進化適応から群れ行動を創発させることに成功した。得られた結果を分析するための手法として、生物学における群れの議論に着想を得た Domain of danger (DOD) およびこれを発展させた Limited domain of danger (LDOD) に着目し、この算出のために GPU コンピューティングを用いて高速に算出する手法を構築した。また、対象が大規模であっても DOD や LDOD の離散近似を効率的に求めるためのアルゴリズムおよび実装手法を開発した。この開発手法によって得られるのは、DOD および LDOD の面積と、LDOD における隣接関係のネットワーク構造である。これらをオンライン解析することで、従来では困難であった群れ行動の時間的構成変化や、群れの個数を把握はもとより、それらの融合や離散を可視化するアルゴリズムを開発した。

この解析手法によって、先に挙げた Predator-prey モデルのマルチエージェントシミュレーションから得られた群れ行動と、物理的身体を持つ実機ロボットスワームの群れ行動実験で観察された振舞いについて本研究で開発した手法を適用し、群れ行動の解析を行いその有効性を検証した。

結論として、本論文は、GPU コンピューティングを用いて群れ行動を進化的に生成する手法とその解析方法を提案するとともに、計算機上のマルチエージェントシミュレーションおよび実機ロボティックスワームに実装を行い、その有用性と有効性を検証した。