

## スワームモデルにおける群行動の学習と協調動作の獲得

家登 亮多<sup>†</sup> 山本 雅人<sup>†</sup> 古川 正志<sup>††</sup>

Learning of Group Behavior and Acquisition of Cooperative Behavior in Swarm Model

Ryota KATO, Masahito YAMAMOTO and Masashi FURUKAWA

<sup>†</sup> Hokkaido University <sup>††</sup> Hokkaido Information University

### 要旨

群を形成する個体は近隣の個体と相互作用することで統制のとれた行動を創発する。本研究ではコンピュータ上で仮想物理環境を構築し、人工ニューラルネットワークと進化計算を利用して自律移動ロボット群が創発する協調行動を獲得し、その振舞いを観測する。

**Key words:** Swarm Robotics, Neural Network, Genetic Algorithm

### 1. 緒言

現在、多数の自律型ロボットを用いた群行動の制御や群行動におけるメカニズムの解析が盛んに行われており、「マルチロボットシステムにおいて、ロボット同士が協調動作を行い与えられたタスク達成を可能とするような問題」を取り扱う Swarm Robotic System の研究がある<sup>1)</sup>。Swarm Robotic System では各ロボットが他の個体や周囲の環境と局所的に相互作用し群の協調行動を創発することを目的とする。Swarm Robotics の例として大倉らによる人工ニューラルネットワーク (Artificial Neural Network, ANN) と進化計算と進化を用いた協調荷押しタスクの達成が挙げられる<sup>2)</sup>。また末永らはマルチエージェントシステムを利用した群形成アルゴリズムである Boids を用いて制御方法の研究を行っている<sup>3)</sup>。Boids は3つのルールを規定し群行動のシミュレーションを行うが、ルールによりロボットの動作を制御することは困難である。

そこで本研究では ANN を用いた自律ロボットの行動獲得により群行動を生成する。群の協調動作を複数ロボットによる光源追従行動を基に解析する。ANN と進化計算を組み合わせるロボットのコントローラを最適化する。Boids のルールを参考にして ANN の学習を行い、ロボットが協調動作を獲得できるか検証する。

### 2. ロボットの行動制御

本研究では複数のロボットを用いて互いに協調した光源追従行動の獲得を行う。また学習により進化的な行動の獲得を可能とするためロボットのコントローラには ANN を適用し、遺伝的アルゴリズム (Genetic Algorithm, GA) を利用して ANN の結合荷重を最適化する。また3次元物理エンジンとして NVIDIA 社の PhysX を用いて仮想3次元空間内にロボットを構築し、シミュレーションを行う。

#### 2.1 車輪移動モデルの設計

本研究はマルチロボットシステムを対象とし、車輪移動モデルを用いる。ロボットは任意の位置に配置される目的地へ進む光源追従モデルである。モデルは4輪移動ロボットを想定しており、前方に2つのセンサを持ち、前方2つのアクチュエータ

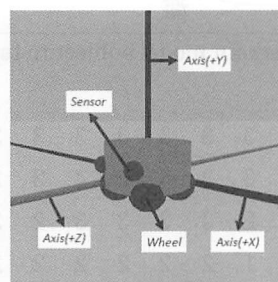


Fig. 1 Autonomous mobile robot

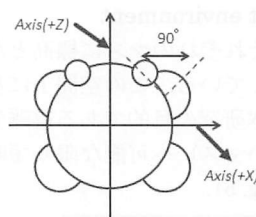


Fig. 2 Top view

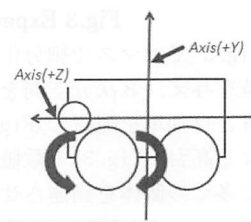


Fig. 3 side

の出力により移動を行う。モデルの概要を図1、上面図を図2、側面図を図3に示す。前方2つのアクチュエータは車輪の役割を果たし yz 平面における車輪の目標旋回角度と xz 平面における回転角速度を与え移動を行う。後輪は yz 平面で自由な回転を行う。

#### 2.2 人工ニューラルネットワーク (ANN)

モデルの行動制御には ANN を用い、3層のニューラルネットワークを採用する。ANN の入力層数は 10、中間層数を経験的に 12 と設定し、出力層数は 2 とする。ロボットは自身を中心とした円形の視野範囲を持ち、センサ情報には xz 平面での光源からセンサへの入射角、ロボットの視野範囲内にいる個体群の重心までの距離と正弦、余弦の角度、視野範囲内で最も近い個体までの距離と正弦、余弦の角度、視野範囲内に存在する個体における速度平均を ANN の入力として用い、出力はアクチュエータの回転角速度と回転角度である。

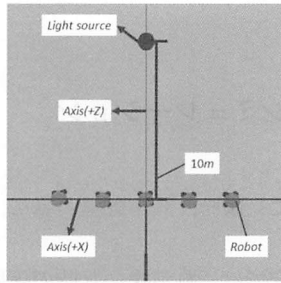


Fig. 4 Initial state

### 3. シミュレーション実験

#### 3.1 実験条件

実験目的は群全体が互いの衝突を回避しながら光源を追従する行動を獲得することである。ロボットを制御する ANN の結合荷重を最適化するために GA を使用する。GA の詳細を以下のように設定する。最適化は 1 世代の個体数を 20 個体とし、淘汰方法としてエリート選択を適用し、予備実験から交叉率を 80%、突然変異率を 20% として実施する。計算時間削減のため 5 台のロボットによる光源追従行動の獲得を行う。初期状態として仮想 3 次元空間上にロボットを等間隔に配置する。シミュレーションの初期状態を図 4 に示す。

#### 3.2 実験方法

式 (1) に基づき目標までの距離の総和を最小化し、ANN の結合荷重を定める。評価はロボットが光源に近づく、ロボット同士が近づく、ロボットが光源の方向を向く、という行動に対して与えられる

$$F = \sum_{j=1}^3 \sum_{i=1}^t (\alpha E_1 + \beta E_2 + \gamma E_3) \quad (1)$$

$$E_1 = L_N(t) \quad (2)$$

$$E_2 = \sum_{j=1}^N \sum_{i=1}^N \frac{1}{(D_{i,j}(t))^2} \quad (3)$$

$$E_3 = \theta_N(t) \quad (4)$$

ただし、 $t$  をステップ数、 $N$  をロボットの個体数とし  $L_N(t)$  は個体  $N$  の光源までの  $xz$  平面でのユークリッド距離を示す。  $D_{i,j}$  はロボットの視野範囲内に存在する個体との距離を示す。  $\theta_N$  はロボットの進行方向と光源に対する角度 [rad] の大きさを示す。  $\alpha, \beta, \gamma$  を各評価値の重み定数とする。 1 ステップの離散時間刻み  $\frac{1}{60}$  [s] として 2000 ステップまで計算を行い累積した値を評価値  $F$  とする。

#### 4. 実験結果と考察

予備実験より  $\alpha = 1.0$ ,  $\gamma = 0.5$  とし、  $\beta = 1.0$  と  $\beta = 4.0$  と設定した場合のシミュレーション実験から得た評価値の推移を示す (図 5, 図 6)。 どちらの場合でも学習の初期段階ではロボット全体の制御ができておらず光源に到達できていない。 学習が進むことで、ロボット全体が光源に到達し、付近にとどまる行動が獲得できた。 また図 7, 図 8 にシミュレーション中のロボット全体の重心の軌跡をまとめた。 どちらの実験でもロボット全体の重心は光源に対して接近しており、到達時も付近にとどまる様子が確認できる。 しかし  $\beta = 1.0$  での最終状態では複数の個体同士が接触しており回避行動をとっていない。 また  $\beta = 4.0$  ではシミュレーション中に個体間で衝突しないが最終状態で光

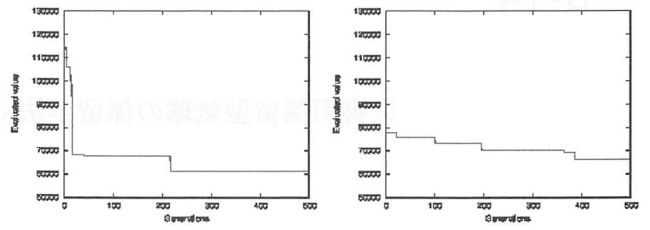
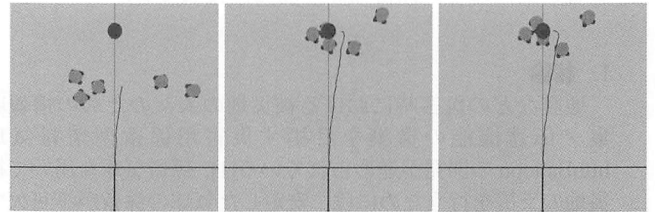
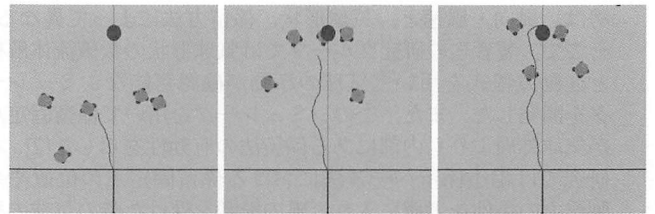


Fig. 5 The Evaluated Value in each Generations( $\beta = 1.0$ ) Fig. 6 The Evaluated Value in each Generations( $\beta = 4.0$ )



(a) 500steps (b) 1000steps (c) 2000steps

Fig. 7 Trajectory of the Center of Gravity( $\beta = 1.0$ )



(a) 500steps (b) 1000steps (c) 2000steps

Fig. 8 Trajectory of the Center of Gravity( $\beta = 4.0$ )

源から離れた個体がみられる。 以上より  $\beta$  がロボットの協調動作に影響を与え、  $\beta = 4.0$  で目的である行動を達成した。 しかしパラメータにより得られる行動に違いが発生するので適したパラメータの設定が必要である。

#### 5. 結言

本研究では人工ニューラルネットワークと進化計算を用いて自律移動ロボット群の協調行動を獲得するために学習実験を行った。 シミュレーション実験ではロボット群に進化計算を適用して目標である光源への追従行動と群の協調動作の獲得を示した。 今後の課題としてより良いパラメータの調整や、複雑な問題に対しての群行動学習や空中環境の飛行群モデルに対し進化計算を適用した協調行動の獲得が挙げられる。

#### 参考文献

- 1) Dorigo, M., Trianni, V., Sahin, E., Groß, R., Labella, T.H., Baldassarre, G., Nolfi, S., Deneubourg, J.-L., Mondada, F., Floreano, D., and Gambardella, L. M., "Evolving Self-Organizing Behaviors for a Swarm-Bot", *Autonomous Robots*, Vol.17, No.2-3(2004), pp. 223-245.
- 2) 赤尾, 剛志, 福森, 淳一, 佐賀, 正典, 大倉, 和博: "進化的人工神経回路網を用いたマルチロボットシステムの協調行動獲得に関する一考察", *インテリジェントシステム・シンポジウム講演論文集*, Vol.16(2000) 113-116
- 3) 末永圭吾, 成瀬継太郎, 久保正男: "2P2-G10 Boids モデルを用いたマルチエージェントの群れの制御 (進化・学習とロボティクス)", *ロボティクス・メカトロニクス講演会講演概要集 2008*, 2P2-G10(1)-2P2-G10(2)