

3次元空間における群行動のパターン創成とその解析

旭川高専 ○福田愛美 渡辺美知子 古川正志

要旨

群エージェントが自律的な行動を行うとき、自然界では様々なパターンの発現が見られる。本研究では、局所的に自律行動する群エージェントをマイクロな集団のモデルとして設定し、自律行動によるパターン創成の挙動を観察し、マクロな視点から作成された群の行動方程式との関係を数値シミュレーションによって検証する。

1 はじめに

生物の群行動は、その挙動、群知能など工学においても有用と考えられるものが多く存在する。これらは現在マルチエージェントシステムあるいは群機械の知能化において重要なモデルとなっている。こうした群行動のパターン創成研究としては、福田らのデジタルバグの研究¹⁾、佐野らの行動方程式による行動パターンの創成の研究²⁾などがある。

本研究では、福田らのデジタルバグの研究を基に、3次元空間上で自律行動可能なエージェントモデルを作成し、群行動の創成パターンを観察した。その結果を佐野ら行動方程式による群行動方程式による創成パターンと各エージェントの行動ベクトルがほぼ一致することが観察された。

2 群エージェントのモデル

エージェントを一個のオートマトン A_i とみなすと、エージェント全体の集合は集団オートマトン A として、

$$A = \{A_i; i = 1, 2, \dots, N\} \quad (1)$$

と書ける。ここで N はエージェントの総数である。個々のオートマトン A_i は

$$A_i = \{I_i, O_i, s_i, f_{ij}, g_i\} \quad (2)$$

と記述される。これらの各項を以下に説明する。

2.1 入力 I_i

各エージェントの入力は、行動を起こす上で目標とする座標と、自分の周囲の検出範囲内にいる他のエージェントとする。すなわち、

$$I_i = \{\mathbf{X}_G, \mathbf{X}_j; (i \neq j)\} \quad (3)$$

と表わす。 \mathbf{X}_G は目標座標、 \mathbf{X}_j は自分以外のエージェントである。

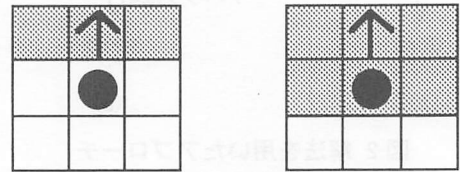
2.2 出力 O_i

出力はエージェントの行動とする。エージェントの行動は、3次元空間上に定めた5つのベクトル方向と停止の6パターンから選択する。

$$O_i = \{\mathbf{O}_j; j = 1, 2, \dots, 6\} \quad (4)$$

2.3 状態 S_i

エージェントの状態を



(a) 行動範囲

(b) 検出範囲

図1. エージェントの行動と他のエージェントの検出

$$S_i = \{\mathbf{X}_i, \mathbf{X}_j\} \quad (5)$$

で表す。 \mathbf{X}_i はエージェント自身の座標値、 \mathbf{X}_j はエージェントの周囲にいる他のエージェントの座標値である。

2.4 状態遷移関数 f_i

状態遷移関数は現在の状態から出力関数によって決定される。従って、ここでは特に定めないものとする。

2.5 出力関数 g_i

出力関数 g_i は、エージェントの現在の状態 s_i から行動 O_i を求める関数である。エージェントの検出範囲内に他のエージェントがない場合は、初期に定められたベクトルの中から目的地へ向かうベクトルに一番近いベクトルを選び出す。検出した範囲内に他のエージェントがいた場合は、それを避ける方向のベクトルを加算して新たなベクトルを生成したのち、既存のベクトルの中から進む方向を選び出す。

3 群エージェントの行動方程式

N 個のエージェントが相互作用をして運動する力学モデルによれば次のように表される。

$$\frac{d\mathbf{v}_i}{dt} = -\gamma\mathbf{v}_i + a\mathbf{n}_i + \sum_{j=i} \alpha_{ij} \mathbf{f}_{ij} + \mathbf{g}_i \quad (6)$$

ここで \mathbf{v}_i はエージェントの速度ベクトル、 \mathbf{n}_i は頭軸向きの単位ベクトル、 \mathbf{f}_{ij} は相互作用力、 \mathbf{g}_i は重心への力を表す。

相互作用力 \mathbf{f}_{ij} は個体間の平均感覚をほぼ一定に保つための力で、引力と斥力を含み、以下のように表される。

$$f_{ij} = -cl \left[\left(\frac{r_c}{|\mathbf{r}_j - \mathbf{r}_i|} \right)^3 - \left(\frac{r_c}{|\mathbf{r}_j - \mathbf{r}_i|} \right)^2 \right] \left(\frac{\mathbf{r}_j - \mathbf{r}_i}{r_c} \right) \times \exp\left(-\frac{r}{r_c}\right) \quad (7)$$

ここで r_c はエージェントの平均間隔である。相互作用は一般的に前後で非対称であると考えられるので、次に示す α_{ij} を f_{ij} にかけたものを用いる。

$$\alpha_{ij} = 1 + d \frac{\mathbf{n}_i \cdot (\mathbf{r}_j - \mathbf{r}_i)}{|\mathbf{r}_j - \mathbf{r}_i|} \quad (8)$$

\mathbf{g}_i は重心への力を表し、次式のように記述される。

$$\mathbf{g}_i = c_g \frac{\mathbf{g} - \mathbf{r}_i}{N |\mathbf{g} - \mathbf{r}_i|} \quad (9)$$

\mathbf{g} は、集団の重心の位置ベクトルである。

4 数値計算シミュレーション

4.1 比較モデル

シミュレーションモデルを理論モデルと比較する。理論モデルは以下のように修正し、オートマトンによるエージェントモデルと進行方向のベクトルを余弦計算によって比較する。

$$\frac{d\mathbf{v}_i}{dt} = -\gamma \mathbf{v}_i + \sum_{j \neq i} \alpha_{ij} \mathbf{f}_{ij} + \mathbf{g}_i \quad (10)$$

4.2 数値計算シミュレーション

エージェントが10、200の群モデルについて数値計算シミュレーションを実施した。これらの実験条件は以下の様に設定した。

シミュレーション条件

- (1) エージェントの行動フィールド 100×100×100
- (2) エージェントの大きさ 1×1×1
- (3) エージェントのセンサ範囲
エージェントの前方 2×3×3
- (4) $\gamma=1$ 、 $\alpha_{ij}=1$

本シミュレーションにおいて、エージェントは移動する目標を追跡するように設定した。従って、 X_G は常に移動する。このとき、選択された行動 O_i と行動方程式による行動ベクトル \mathbf{V} との違いを

$$\theta = \cos^{-1} [O_i^T \mathbf{V} / |O_i| |\mathbf{V}|] \quad (11)$$

から調べた。図3、4は群を作成してから一定時間の各エージェントの θ の分布を示したものである。これから θ には約45度の開きがあることが判明した。これは、比較のための行動方程式においてエージェントの頭の向きを省略したためである。一般に頭の向きと進行方向には約45度の開きがある事が知られており、提案したモデルが行動方程式とほぼ一致する事がこれらから明らかとなった。

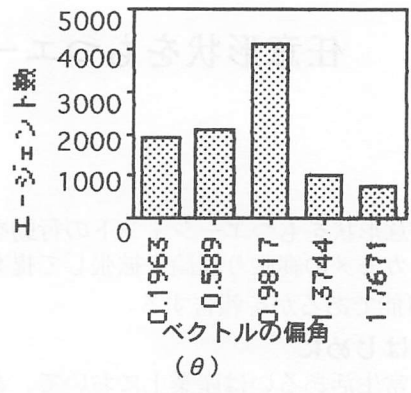


図2. エージェントの総数が200の場合

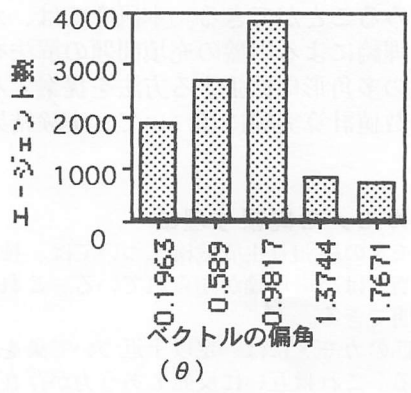


図3. エージェントの総数が10の場合

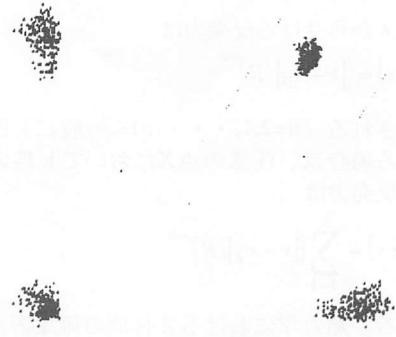


図4. シミュレーションの様子

5 終わりに

3次元空間にオートマトンによるエージェントモデルを作成し、これらが目標を追跡するときの行動の創成パターンを観察した。また、これらの行動を行動理論式と比較し、提案したモデルが行動理論式を創発する事が分かった。これらの結果から、行動方程式にあるエージェントの反発項は、エージェントが単に衝突を避け、局所的に自律的な行動をすることにより、見かけ上現れることが分かった。

参考文献

- (1) 福田、渡辺、古川ほか：デジタルスウォームの創発性とその応用に関する研究、旭川高専平成5年度卒業研究
- (2) 佐野ほか：運動性素子集団における群知能の解析