

# セルラーオートマトンを利用した群パターンの生成

旭川高専 ○西村純 渡辺美知子 古川正志

## 要旨

魚群や雁が編隊を作るなど、生物界には群がパターンを作り出す現象が多く見られる。こうした現象は工学的にも有用である。本研究では群のパターン生成機構にセルラーオートマトンの規則を用いたアルゴリズムを提案し、そのシミュレーション結果を報告する。

### 1 はじめに

近年、自律分散システム、群ロボット、群知能などの研究が盛んに行われている。群ロボットを所望のパターンに自律的に集合させる制御および局所情報交換の手法については、人工生命を端緒としてその開発が始まったばかりである。このような群の持つ利点としては、システムのロバスト性、固体の均一性・単純性等が挙げられる。群ロボットの実践的な応用例としては、人間では入ることのできない狭い場所での作業、原子炉、プラントなどの常に危険が伴う場所での機械の保守・点検等がある。本研究ではこのような群がパターンを形成する手法としてセルラーオートマトンの規則を用いたアルゴリズムを提案し、数値計算シミュレーションの結果を報告する。

### 2 群のモデル

#### 2.1 群パターン生成問題

群  $A$  をエージェント・モデルとして以下のように定義する。

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

$$A_i = (S_i, I_i, O_i, F_i, G_i) \quad (2)$$

ここで、式(1)の  $A_i$  はエージェントを表わし、式(2)の  $S_i, I_i, O_i, F_i, G_i$  はエージェントの状態、入力、出力、状態遷移関数、出力関数をそれぞれ表わす。群パターン生成問題は、

$$\text{Find } S(t) = \{S_i(t); t=1,2,\dots,T\}$$

$$\text{Such as } S(T) = F^T(S(0)), \quad S(T) = S^*$$

ここで、 $S(0)$  は群の初期状態 (パターン)、 $S(T)$  は有限時間  $T$  で得られた最終状態、 $S^*$  は所望の状態 (与えたパターン)、 $F^T$  は  $F^T = F(T) \cdot F(T-1) \cdots F(1)$  なる  $T$  回の状態遷移関数の合成関数とする。

#### 2.2 セルラーオートマトンによるエージェントのモデル化

##### 2.2.1 セルラーオートマトン

セルラーオートマトンは多数の同一の素子 (有限オートマトン) が規則正しく結合された系であると定義できる。その典型的なモデルは2次元の格子点に素子を並べ、四方の隣り合った素子の間に結線をしたものである。各素子は有限個の内部状態を持ち、四方から入力が入り、四方へ出力が出て行く。また各素子の動作 (状態遷移) は、その素子の状態と、四方からの入力によって決まり、

離散的な時間に、全素子同時に起こる。(しかし、本実験では同期に行わない。) また入出力関係を簡単にして、各素子は、四方の素子の状態を直接入力として状態遷移すると考える。ここでセルラーオートマトンの状態遷移の一部の例を図1に挙げる。

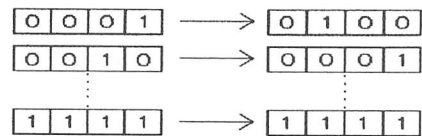


図1 セルラーオートマトンの状態遷移の例

##### 2.2.2 エージェントの設計

本研究では、任意のパターンを形成する要素として、探索エージェント (s エージェント) とパターン形成エージェント (p エージェント) の2種類を定義する。

###### s エージェント

- (1) 設計パターン領域外で常にランダム方向に移動する。
- (2) 設計されたパターンと同じ場所に存在しない。

###### p エージェント

- (1) 設計されたパターンと同じ場所に存在する。
- (2) セルラーオートマトンの特性を有する。
- (3) 周りにエージェント (s エージェント & p エージェント) が存在しない場合はパターン形成領域内でランダム方向に移動する。
- (4) 周りにエージェントが存在していて、パターン形成に有利な場合は周りのエージェントを移動させる。

###### 3 p エージェントの動作

p エージェントは自分の周り八つにエージェントがない場合はパターン形成領域内でランダム方向に移動する。しかし、周りにエージェントが存在すると誘導信号を出す。この誘導信号は前もって決めたルールに従って出す。

p エージェントの周りには最小一つ、最大八つのエージェントが存在すると考えられる。p エージェントの周りにエージェントが1つしかない場合に誘導信号によってエージェントがランダムに決定された位置に移動されるのは八通りしかない。同様に2から7までの場合も新しい位置をランダムで決定する。周りに八つのエージェントが存在する場合は移動しない。これら全てを記

憶してセルラーオートマトンのルールとする。ここでセルラーオートマトンのルールによってエージェントを移動させる例を一つ挙げる。

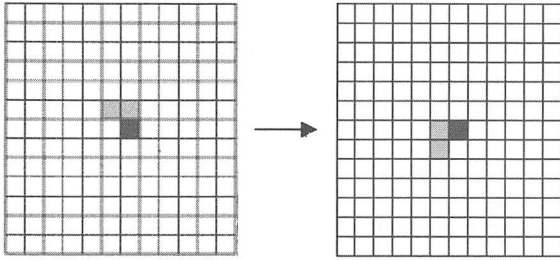


図2 左上と上にあつたエージェントが誘導信号によって左と左下に移動した

#### 4 パターン形成アルゴリズム

パターン形成を効率的に進めるために以下のアルゴリズムを提案する。

- (1) s エージェントは常にランダム方向に移動する。
- (2) パターンに到着した s エージェントは p エージェントになる。
- (3) p エージェントは周りの八つにエージェントが存在しない場合はパターン形成領域内でランダム方向に移動する。
- (4) そうでない場合は、周りのエージェントから位置信号を受け取り前もって決めておいたルールに従ってエージェントを移動させるかどうか検討する。つまり、誘導信号によって p エージェントの数が増加する場合は移動する命令を出す。そうでない場合は移動しない。(この位置信号と誘導信号のやり取りのことを局所情報交換という。)

(5)  $l_i = n_i - m_i$

$$MAX_{i+1} = MAX_i + a_i + l_i$$

ここで  $MAX_0$  はパターン上に配置された p エージェントの数,  $n$  は局所情報交換によって p エージェントになる s エージェントの数,  $m$  は局所情報交換によって s エージェントになる p エージェントの数,  $l$  は p エージェントの増加量 (常に 0 以上),  $a$  はランダム方向に移動することによって p エージェントとなる s エージェントの数である。

- (6)  $MAX_{i+1} = G$  となるまで (1) から (5) の手順を繰り返す。ここで  $G$  はパターン形成に必要な p エージェントの数とする。

#### 5 数値計算シミュレーション

##### 5.1 実験条件

エージェントの大きさを  $10 \times 10$  ピクセル, フィールドの大きさを  $300 \times 300$  ピクセル, エージェントの個体数を 250 とし, 各エージェントの移動方向を上下左右の 4 方向と限定して実験を行った。また, 各エージェント

同士が衝突することはないものとし, 設計パターンは 0, 1 のデータとして与えるものとした。

##### 5.2 数値計算結果

Windows 上にプログラムを組みシミュレーションを行った。パターン形成にセルラーオートマトンの規則を導入することにより以下のことが確かめられた。(1)パターン形成にかかる時間が改善された。(2)パターン形成の途中にエージェントがパターン形成の障害になる可能性をなくした。シミュレーション結果を図 2 に示す。

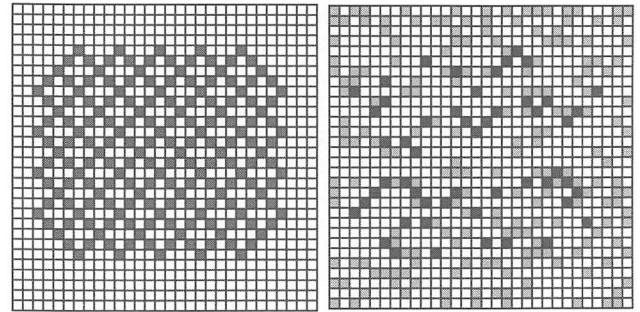


図 3(a) 目標状態

図 3(b) 1step の状態

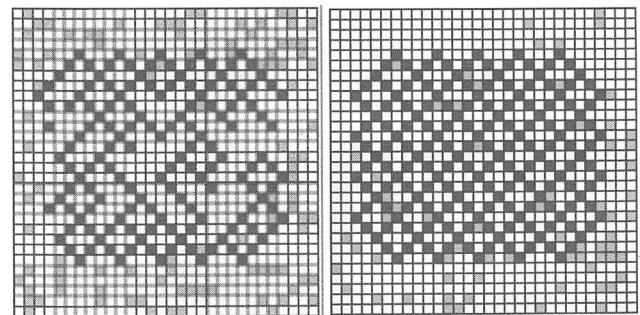


図 3(c) 30step の状態

図 3(d) 250step の状態

図 3(b) は s エージェントがランダム方向に移動して設計パターンと同じ場所に行き p エージェントとなった。図 3(c) は p エージェントが局所情報交換を行いパターン形成を促進しているもので, 図 3(d) は目標状態と同じ形になりパターン形成が終了したものである。

##### 6 終わりに

群パターンの生成問題に対し, セルラーオートマトンの規則を適応することを提案し, シミュレーションを行うことによりこの方法を用いることによりパターン形成が促進されることを報告した。今後の課題として, GA により, セルラーオートマトンの最適規則生成ルールの発見とそれによるパターン形成情報の作成法を検討する。

##### 参考文献

- (1) Manfred Schroeder ; フラクタル・カオス・パワー則, はてなし世界からの覚え書, 森北出版株式会社, (1997)
- (2) 津田一郎, 富田和久, 鈴木増雄等 ; エピステーメー II 2 号, 朝日出版社, (1986), pp.240-265