

セルオートマトンによる多数近傍系の全体制御

Control of a System Consisting of Many Neighborhood Communication Units using Cellular Automata

道堂 本丸† 角所 考† 岡留 剛†
 Honmaru Michido Koh Kakusho Takeshi Okadome

1. はじめに

近年, FreFlow (フリフラ) や Xylobands (ザイロバンド) などに代表されるように, コンサートなどで観客が持つための無線機の搭載された制御デバイスが流行している。それらを全体制御することで, 観客を演出の一部として利用することや会場の一体感を作り出す事が出来, 近年のコンサートには欠かせないものとなってきている。その為, 次の段階としてデバイスの個別制御を可能にすることで, さらに高度な演出として利用する事が求められている。

しかし, 個別制御を行う為にはデバイスそれぞれに違う ID を設定する事が必要となり, デバイスの数が増えるほど手間がかかってくる。また, ID が増えるほど制御の方法も複雑になっていくと考えられる。上記したデバイスでは最大 10 数個の ID を設定することしか出来ず, 個別制御には程遠いものとなっている。

本研究では, 近距離無線機を用いて, 近傍のデバイス間のみの通信とセルオートマトンを用いることで, 個別に ID を設定しなくても個別制御を行っているかのように, ステップごとに任意のパターンを生成する全体制御の方法を提案する。

2. 研究分野の概要

2.1 セルオートマトン

セルオートマトンとは, 格子状のセルと単純な規則による離散的計算モデルである。

セルと呼ばれる計算単位を N 次元格子上に並べたものを考える。各セルは k 種類の離散的な状態を取り, 状態遷移ルールに従って状態を遷移する。状態遷移ルールとは, 図 1 のような, 自己とその近傍のセルの状態の組み合わせを入力として次の状態を決定するルールで, すべてのセルが共通の状態遷移ルールに従って 1 ステップごとにいっせいに状態を遷移する。

このとき, t ステップにおける自己とその近傍のセルの状態の組み合わせを, そのセルの近傍状態と呼ぶ。またそれぞれの近傍状態に対する, 図 1 の $t+1$ ステップの中央セルの状態を出力ビットと呼ぶ。すべての出力ビットを並べた列を出力ビット列と呼ぶ。

また, 1 つの近傍状態と 1 つの出力ビットの組み合わせをルール, すべてのルールの集合をルールセット, と区別して呼ぶものとする。

t (近傍状態)	111	110	101	100	011	010	001	000
$t+1$ (出力ビット)	1	0	1	1	0	0	0	1

図 1 状態遷移ルール

2.2 2次元セルオートマトン

2次元セルオートマトンは, 1次元セルオートマトンを2次元に拡張したものである。2次元セルオートマトンで用いられる有名な近傍として, ノイマン近傍とムーア近傍が挙げられる[1]。ノイマン近傍は4近傍で, ムーア近傍は8近傍である。

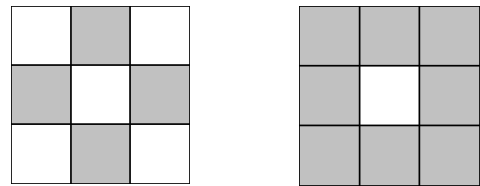


図 2 左がノイマン近傍, 右がムーア近傍

ノイマン近傍について考える。中心座標を (x,y) とすると, 近傍の座標は図 3 となる。

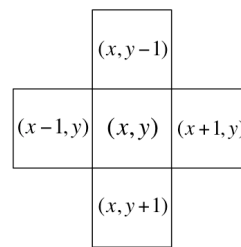


図 3 ノイマン近傍の場合の近傍の座標

セルの時刻 t における状態を $C_{x,y}(t)$ と表記すると, ノイマン近傍は式(1)となる。

$$C_{x,y}(t+1) = \psi(C_{x,y-1}(t), C_{x-1,y}(t), C_{x+1,y}(t), C_{x,y+1}(t)) \quad (1)$$

ここで, ψ は状態変化の規則を与えるもので, 局所遷移関数と呼ばれる。各セルが 2 つの状態を持つとき, ノイマン近傍で取りうる状態遷移ルールの総数は 2^4 個となる。

2.3 総和型ルール

総和型ルールの場合, 近傍の各セルの座標に関わらず, 各セルの時刻 t の状態を足した合計によって, 中心のセル時刻 $t+1$ の状態が決定する。総和型ルールのノイマン近傍は式(2)となる。

$$C_{x,y}(t+1) = \psi(C_{x,y-1}(t) + C_{x-1,y}(t) + C_{x+1,y}(t) + C_{x,y+1}(t)) \quad (2)$$

C は 2 状態なので $C=0,1$ である。この時, 総和として取りうる数の種類は, $sum(t)=0,1,2,3,4$ の 5 通りである。

†関西学院大学大学院理工学研究科

$\psi(\text{sum}(t+1))$ は 0 か 1 を取るので、規則 ψ は $2^5=32$ 通りである。

2.4 関連研究

セルオートマトンを用いた関連研究をいくつか挙げる。市場らは、密度分類問題を例題として、遺伝的アルゴリズムを用いてセルオートマトンの状態遷移ルールを最適な状態へと進化させる方法を提案している[2]。

佐藤らは[2]と同様に状態遷移ルールを進化させることで、多値画像のノイズを除去する方法を提案している[3]。

セルオートマトンをコンテンツに応用する関連研究として、岩瀬らは、マクロレベルで外界と相互作用する自己組織系の理解と応用を目的として、タッチパネルを介してセルオートマトンと人間がインタラクションでき、さらに、対話型進化計算によってセルオートマトンの遷移規則をカスタマイズ可能なシステムを提案している[4]。

3. 提案手法

3.1 基本方針

無線環境下では、各デバイスがどの位置にいるかは特定することは困難なので、本手法では、セルオートマトンの状態遷移ルールは総和型ルールを用いる。

目的のパターンを t ステップ間隔ごとに設定していき、ステップ 0 の状態から始めて、目的のパターンに近いパターンを生成する状態遷移ルールを見つける。時刻を進めていくごとに、ノイマン近傍では全部で 2^5 個ある状態遷移ルールが絞られていく。

3.2 アルゴリズム

本手法のアルゴリズムを図 4 に示す。

- [step 1] 状態遷移ルールを用いて各セルの更新(3.3 節)
- [step 2] 目的のパターンと [step 1] で生成されたパターンとの距離を計測
- [step 3] 距離の近いパターンを生成した状態遷移ルールを残して [step 1] へ、状態遷移ルールが特定されれば終了

図 4 本手法のアルゴリズム

3.3 状態遷移ルールを用いて各セルの更新

各セルの次状態は状態遷移ルールによって決定される。例として、2次元2状態ノイマン近傍のセルオートマトンについて考える。状態遷移ルールが、

$$\frac{\text{sum}(t)}{C(t+1)} \begin{array}{cccccc} 4 & 3 & 2 & 1 & 0 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 0 \end{array}$$

図 5 状態遷移ルール

の場合、 $t=0$ を初期状態とすると、各セルは図 6 のように変化していく。

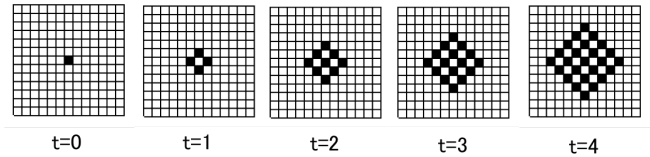


図 6 セルの変化の様子

4. 評価実験

4.1 実験条件

2次元2状態4近傍(ノイマン近傍)において、セル数は169個、初期状態は中心のセルのみが1で、他のセルが0の状態から始める。今回は1ステップごとに目的のパターンとのマッチングを行った。図7の様に時間ごとに輪が広がっていくパターンを目的のパターンとする。

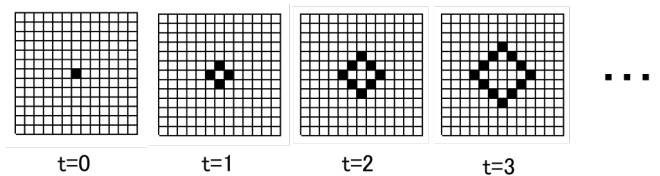


図 7 目的のパターン

4.2 実験結果

実験によって $C(t+1) = \{0,0,1,1,0\}$ の状態遷移ルールが得られた。得られた状態遷移ルールによって得られるパターンを図8に示す。

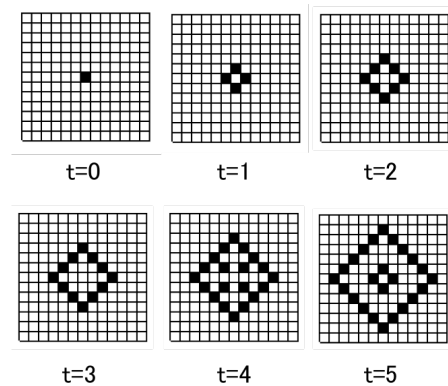


図 8 得られたパターン

4.3 考察

$t=2$ までは得られたルールの $C(t+1) = \{0,0,1,1,0\}$ と、 $C(t+1) = \{0,1,1,1,0\}$ は同じパターンを生成していたが、 $t=3$ の時点で大きく離れてしまった。その結果 $t=3$ の時に一致していた、 $C(t+1) = \{0,0,1,1,0\}$ が結果として得られた。しかし、得られた結果を $t=4,5$ と続けていくと目的のパターンとは少し異なっていた。

また、ルール $C(t+1) = \{0,1,1,1,0\}$ は、 $t=3$ の時に離れてしまったので $t=4$ には進めなかったが、 $t=4$ の時には目的のパターンと同じパターンを生成していた。このことから、マッチングの際のしきい値の設定や、ステップ間隔の設定などが重要だと考えられる。

5. まとめと今後の課題

セルオートマトンを用いることで、近距離無線機での近傍間のデバイス通信を行うことで、個別制御を行っているかの様に全体制御をする方法を提案し、コンピュータ上で実験を行った。結果として特定の状態遷移ルールが得られたが、マッチングの際のしきい値の設定や、初期状態、セル数、ステップ間隔、など様々なパラメータを変更して実験行っていくことが必要だと考えられる。

今後の課題として、いくつかのセルを賢いセルだとして、状態遷移ルールから外した状態で時間を進めるとどうなるのか実験したい。また、一つのルールを見つけるのではなく、時間ごとに目的のパターンに一番近づいていくルールを見つける方法も提案したい。

さらに、コンピュータ上での実験が上手く行けば、実際に無線機を使っての実験なども行いたい。

参考文献

[1] Kier, Lemont B.; Seybold, Paul G.; Cheng, Chao-Kun (2005). *Modeling Chemical Systems using Cellular Automata*. Springer. ISBN 9781402036576.

[2] 市場 大介・狩野 均 (2006). 知識を用いたGAによるCAの進化. *人工知能学会論文誌* **21** 巻 **1** 号 **L**.

[3] 佐藤 正平・狩野 均 (2010). 多値画像のノイズ低減のためのセルオートマトンの進化的設計手法. *人工知能学会論文誌* **25** 巻 **2** 号 **SP-X**.

[4] 岩瀬雄祐・鈴木麗璽・有田隆也 (2012). 外界と相互作用するセルオートマトンと人間とのインタラクションの創発. *芸術科学学会論文誌* **Vol. 11, No. 3, pp. 69 – 78**.