3E4-04

遺伝的アルゴリズムによるルール変化型一次元セルオートマトンの進化
Evolutionary Design of One-dimensional Rule Changing Cellular Automata

烏　云
Yun Wu

狩野　均
Hitoshi Kanoh

筑波大学システム情報工学研究科
Graduate School Systems & Information Engineering, University of Tsukuba

筑波大学電子情報工学系
Institute of Information Sciences and Electronics, University of Tsukuba

In this paper we propose a new method to obtain transition rules of one-dimensional two-state cellular automata (CAs) using genetic algorithms. CAs have the advantages of producing complex systems from the interaction of simple elements, and have attracted increased research interest. However, the difficulty of designing CAs' transition rules to perform a particular task has severely limited their applications. We consider a pair of rules and the number of rule iterations as a chromosome, whereas a conventional study considers a rule as a chromosome. The present method is meant to reduce the complexity of a given problem by dividing the problem into smaller ones and assigning a distinct rule to each one. Experimental results using density classification problems prove that our method is more efficient than a conventional method.

1. はじめに

セルオートマトン(CA)は簡単なルールから複雑なシステムが生成できることからさまざまな分野で注目を集めている [加藤 98]. しかし, 要求を実現する CA を設計することが困難であるという問題があり, CA の応用が大きく制限されている. このため, 密度分類問題を対象として, CA の状態遷移ルールを進化的に獲得する研究が行われている[Mitchell 97]. また, *Fukś* は近傍サイズが 1 である二つの CA のルールを組み合わせることによって密度分類問題の完全解を得た[Fukś 97]. しかし, 近傍サイズが 2 以上の場合に対して, 複数のルールを用いた CA(ルール変化型 CA と称す)の検討は行われていない.

本稿では, 近傍サイズが 3 である CA に対して, 著者らが提案した方法[烏 02]を拡張し,「ルール」と「ルールの適応回数」の組を染色体とする方法を提案する. また, *Langton* の λ パラメータを用いて本手法の問題解決能力について考察する.

2. 研究分野の概要

2.1 セルオートマトン(CA)

ここでは一次元 2 状態 CA を対象とする. セルの位置座標を i, 格子サイズを N, 時間ステップを t, セルの状態を s^i_t とする. 一般に周期的な境界条件 $s^i=s^{i+N}$ を仮定すると, 次の時間ステップのセルの状態は, 両隣 r 個のセルの状態を考慮し決定する.

ルール表

近傍セル:	111	110	101	100	011	010	001	000
出力ビット:	1	1	1	0	1	0	0	0

図 1　両隣を考慮する状態遷移ルールの例

ここで例として, セルの状態を 0/1 とし, r=1 の場合を考える. 時刻 t における近傍セルの状態と時刻 t+1 における中央セルの状態(出力ビット)の関係は図 1 のルール表で表現される.

連絡先:烏　云, 筑波大学システム情報工学研究科, 〒305-8573 つくば市天王台 1-1-1 筑波大学電子情報工学系知識システム研究室, Tel: 029-853-6909, bregude@kslab.is.tsukuba.ac.jp

2.2 λ パラメータ

一次元セルオートマトンのルールを分類するため, 本研究では *Langton*[Langton 90]の λ パラメータを導入した. セルがとりうる k 種類の状態のうち任意の一状態を「静状態」とする. 遷移ルールにおいて, n_q 個の遷移がこの静状態になるとき,「λ パラメータ」は式(1)のように定義されている.

$$\lambda = \frac{k^{2r+1} - n_q}{k^{2r+1}} \tag{1}$$

2.3 対象問題

本研究では密度分類問題を用いて, GA による CA の進化を検討した. ここでは「状態」s^i_t は時刻 t における一つのセルの値,「形態」S_t はすべてのセルの値を参照するために用いる. 本稿では, 初期形態 S_0 が[0.0, 1.0]にわたる一様分布の場合を考える.

密度分類問題とは, 与えられた S_0 の中の 1 と 0 の数のどちらが多いかを判定する CA を発見する問題である. すなわち, ρ_0 を初期形態の 1 の密度として, ρ_0>0.5 ならば M ステップ以内に CA はすべて 1 の不動点形態に収束する. ρ_0<0.5 ならば, M ステップ以内に CA はすべて 0 の不動点形態に収束する.

3. 提案する方法

3.1 提案手法のコード化

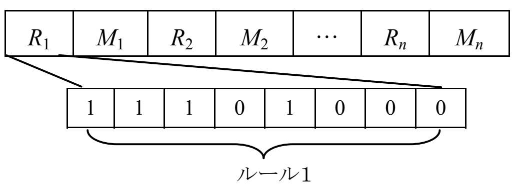

図 2　提案手法の染色体

本手法は, 従来手法[Mitchell 97, 烏 02]の染色体を改良し, 図 2 のようにしたものである(r=1 の場合を例としている). R_n は

n 番目のルール，M_n は R_n の適用回数を表す．本手法は，異なるルールを順次に適用することによって，対象問題をより単純な小問題に分割して解きやすくすることを狙ったものである。

3.2 適応度

適応度はテスト問題に対する正解率である．つまり，正しい最終パタンーを生成した初期形態 S_0 の割合である．

3.3 アルゴリズム

*Step*1：初期集団として K 個の個体を生成する．
*Step*2：各個体に対して適応度を計算して，適応度でランクを付け，上位 E 個を修正なしで次世代に残す．
*Step*3：残りの K-E 個の個体は二つのグループに分けて生成する．①E 個の個体は，ルーレット戦略で親を選択して突然変異だけにより生成する．②残りの個体はエリート個体とルーレット戦略で選択した親から交叉と突然変異で生成する．また，ルールの適応回数 M_n に対する突然変異として 0.5 の確率で区間(1, M)の整数を上書きする．

4. 実験

4.1 実験方法

密度分類問題に対して従来手法（1 ルール）と本手法の比較実験を行った．ここでは，近傍サイズ r=3，格子サイズ N=149，ルール数 n=2，タイムステップの上限は M=2*N とする．集団サイズ K=100，初期形態数=100，エリート個体数 E=20，世代数の上限は 100 とした．

4.2 実験結果

最終世代における集団中の最良適応度は，10 回の平均値（標準偏差）で，従来手法が 90%（13%），本手法は 97%（2%）であった．本手法のほうが正解率が高く，安定している．

4.3 考察

2 つのルールを適用することによって CA の問題解決能力が向上する理由を考えるため，λ パラメータを用いて，ルールの分布について検討した。

- 1 ルールの場合

最終世代のエリート個体 20 個の λ 値を計算した．この実験を乱数のシードを変えて 20 回行い，得られた個体 400 個についてヒストグラムを作成した（図 3）．

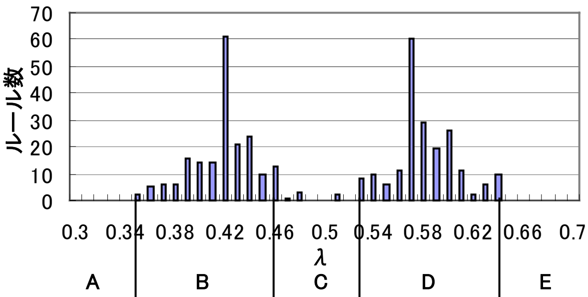

図 3　λ 値に対するルールのヒストグラム（1 ルール）

図 3 では領域 A：0≤λ<0.35，B：0.35≤λ≤0.46，C：0.46<λ<0.53，D：0.53≤λ≤0.64 と E：0.64<λ≤1 とする．図 3 からわかるようにルールの大部分は領域 B と D に分布している．また，ルールの数はλ=0.42 とλ=0.57 でピークとなる．以下では，領域 B, D に分布するルールを計算能力の高い複雑なルール，領域 A, E に分布するルールを規則的なルール，領域 C に分布するルールをランダムなルールと仮定する．

- 2 ルールの場合

1 ルールの場合と同様な実験を行い，1 個体中（ルール組み中）のルール 1 とルール 2 の λ 値を計算し，それに対応するルール数のヒストグラムを作成した（図 4）．図 4 からわかるように図 3 よりルールの範囲が広くなり，獲得し易いことがわかる．

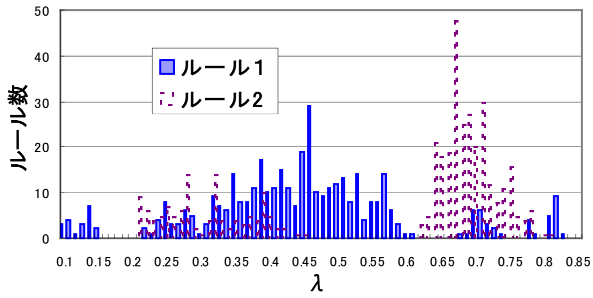

図 4　λ 値に対するルールのヒストグラム（2 ルール）

図 5 は 1 個体中の 2 ルールの λ 値の相関図である．図 5 からわかるように大部分の個体が 2 つのルール組のうち 1 つ，あるいは両方が領域 B, D に分布する複雑なルールである．しかし，注目すべきことは，λ 値が領域 A, E に分布する規則的なルール同士の組み合わせも存在する．すなわち，簡単なルールの組み合わせでもお互いに協調して動作することによって問題解決能力が向上する可能性があるといえる．

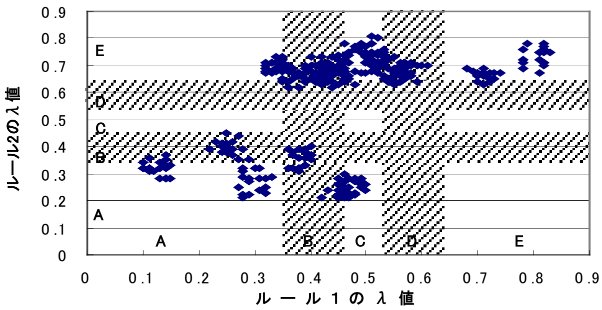

図 5　ルール 1 とルール 2 の λ 値の対応

5. おわりに

密度分類問題に対して，ルール変化型一次元 CA の状態遷移ルールを進化的に獲得する方法を提案した．通常の CA に比べて問題解決能力が向上することを実験で示した．今後は本手法を他の問題に適用する予定である．

参考文献

[Fukś 97]　Fukś, H. : Solution of the density classification problem with two cellular automata rules. *Physical Review E*, 55(3) : R2081-2084, (1997).

[加藤 98]　加藤：セルオートマトン法，森北出版，(1998).

[Langton 90]　Langton, C. G. : Computation at the edge of chaos : Phase transitions and emergent computation. *Physica D*, 42 : pp. 12-37, (1990).

[Mitchell 97]　Mitchell, M 著，伊庭斉志訳：遺伝的アルゴリズムの方法，東京電機大学出版局，(1997).

[烏 02]　烏云，狩野均：状態遷移規則が変化する一次元 CA の密度分類問題への適応，情報処理学会，数理モデル化と問題解決研究会，2002-MPS-42，pp. 81-84，(2002).