

令和元年度 卒業論文  
セルオートマトンを用いた  
アルゴリズム作曲法の研究

函館工業高等専門学校 生産システム工学科・情報コース

10 番 川崎 景大

指導教員 東海林智也

## 目次

### 第1章 序論

第1節 英文アブストラクト

第2節 研究背景

第3節 研究目的

第4節 開発環境

### 第2章 システムの概要

第1節 Midi ファイル生成アルゴリズムの概要

第2節 入力パラメーター

第3節 一次元セルオートマトンの仕様

第4節 メロディの生成

第5節 リズムの生成

### 第3章 出力ファイル

### 第4章 結果と考察

### 第5章 課題

### 参考文献

# 第1章 序論

## 第1節 英文アブストラクト

In the music composition process, it is not easy for people who have no experience in composition to create melodies and rhythms. Therefore, instead of those who find it difficult to compose music because of their lack of knowledge of music, build a system that generates music using an algorithmic composition method and supports composition or inspiration when composing A. The purpose of this research is to realize music generation by a composition method using an algorithm using cellular automata.

**Key words:** Algorithmic composition, Cellular Automaton

## 第 2 節 研究背景

作曲過程において、作曲の経験がない人がオリジナルのメロディやリズムを創作することは難しい。

そこで私は、何らかのシステムを構築して作曲、または作曲者の創作の支援を行いたいと考えた。

自動作曲の先行研究では、セルオートマトンによるアルゴリズム作曲法が少なかつたため、研究したいと考えた。

## 第3節 研究目的

本研究では一次元セルオートマトンを用いたアルゴリズム作曲法で音楽生成を実現すること、メロディとリズムを揃えた **Midi** ファイルを出力するシステムを構築することを研究目的とする。

## 第 4 節 開発環境

- 使用 PC

  - OS : Windows 10

  - CPU : IntelCore(TM) i5-2300 CPU 2.80GHz

  - RAM : 4.00GB

- 使用言語

  - Python JavaScript

- ライブラリ

  - Python : Mido, Eel

# 第2章 システムの概要

## 第1節 Midi ファイル生成アルゴリズムの概要

本研究で構築したシステムの Midi ファイル生成までのアルゴリズムの概要を示す。

1. システムは最初にユーザーからパラメーターを受け取り、一次元セルオートマトンを生成する。
2. 生成されたセルオートマトンはユーザーが指定したルールによって状態を遷移させ、システムは状態の履歴を 2 次元のテーブルに保存する。このテーブルは一次元セルオートマトンが積み重なる構造を持ち、縦方向が一次元セルオートマトンのセル番号、横方向がセルオートマトンの状態遷移のステップ数に対応している。
3. システムはテーブルの縦を Midi ノート番号、横を Midi の Tick 時間に対応させてメロディをマッピングし、メロディ配列として保存する。
4. システムはテーブルのある一つのセル番号を一つの楽器と対応させ、リズムをマッピングしリズム配列として保存する。
5. システムはメロディ配列、リズム配列を基に Midi ファイルを出力する。

## 第2節 入力パラメーター

ユーザーが入力できるパラメーターを以下に示す。

### 1. 一次元セルオートマトンのルール

ユーザーはルールの「長さ」、「値」をそれぞれ整数で指定できる。ルールの「長さ」は2進数表記でのビット数を表し、3、5、7の内一つの値を指定できる。また、「値」はどのビットが1または0になるかを10進数で指定できる。

### 2. ステップ数

オートマトンの遷移回数を整数で指定できる。

### 3. テンポ

4分音符を基準とし、整数で指定できる。

### 4. 分散

実数で指定できる。メロディ生成に使用されるパラメーターである。



## 第3節 一次元セルオートマトンの仕様

システムで使用される一次元セルオートマトンの仕様を以下に示す。

1. 一次元セルオートマトンは 45 の長さであり、固定の長さである。
2. 端同士のセルはお互いに繋がっており、ループ構造を持つ。
3. 各セルは内部に 1 または 0 のどちらかの状態を持っている。
4. ルールによって遷移するが、複数のルールが指定された場合、ステップごとに履歴として保存される一次元セルオートマトンの状態は、ルールごとに順に遷移させ最後に得られた状態を保存する。

## 第4節 メロディの生成

システムのメロディ生成のアルゴリズムを以下に示す。

1. システムはテーブルのステップ 0 の一次元セルオートマトンからランダムにセル番号を選ぶ、選ばれるセルは 1 の状態を持つセルのみである。
2. 選択されたセル番号+60 を Midi ノート番号、Midi の Tick 時間として 120 をリストに保存する。
3. システムは平均を 0、分散をユーザーが指定した分散に従う整数の乱数を一つ生成する。
4. 生成された乱数と直前に選択されたセル番号を足し合わせ、その数字を次の「目標番号」とする。
5. システムは「目標番号」に最も近いセル番号を次のステップの一次元セルオートマトンから選択する。二つある場合はランダムにどちらかを選択する。選ばれるセルは 1 の状態を持つセルのみである。1 の状態を持つセルが存在しない場合、ひとつ前のステップで選択されたセルを選択する。
6. 選択されたセル番号がひとつ前に選択されたセル番号と同じ場合、ひとつ前のリストの Tick 時間に 120 を足す。違う場合は選択されたセル番号+60 を Midi ノート番号、Midi の Tick 時間として 120 をリストに保存する。
7. 全てのステップに対して 3~6 を繰り返す。
8. 生成されたリストを一つの楽器に対応する演奏情報として Midi ファイルに出力する。

## 第5節 リズムの生成

システムのリズム生成のアルゴリズムを以下に示す。

1. システムはテーブルから特定のセル番号の配列を取り出す。
2. 取り出した配列のステップ数 0 から順に巡り、セル状態が 1 の時のみ Midi ファイルに出力する。Midi 内 Tick 時間はステップ数×120 に出力する。

## 第3章 出力ファイル

以下に実際に実行した結果と、得られた Midi ファイルを示す。図 1、図 2 は共にルール 73 の一次元セルオートマトンを用いた Midi 生成の様子である。図 1 上部の青緑色のグラフが分散 1、下部の紫色のグラフが分散 2 でのマッピングの様子である。図から分散が大きい方が選択されるセル番号のばらつきが大きくなることを確認できる。

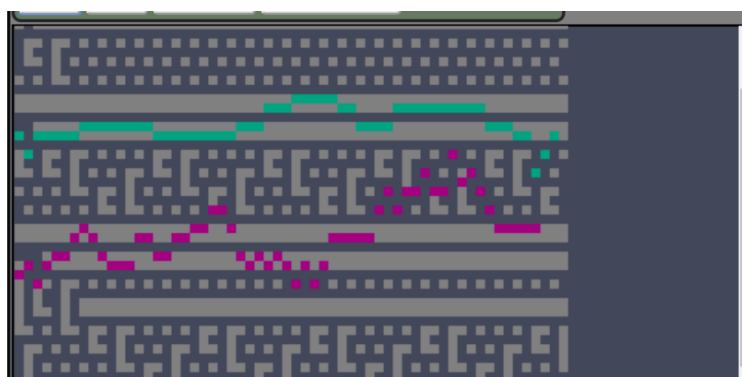


図 1 システム上のメロディ生成

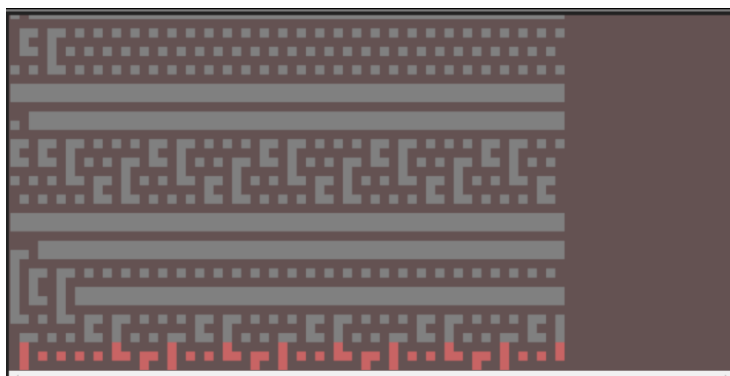


図 2 システム上のリズム生成

次に図 3、図 4 は生成された Midi ファイルを Domino[1]上で確認した様子である。  
図 3 は青緑色のグラフが出力された際の様子である。

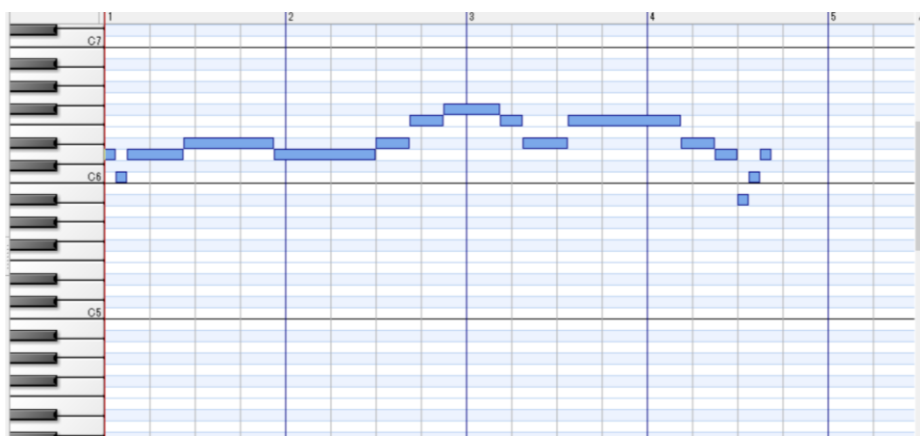


図 3 生成されたメロディ

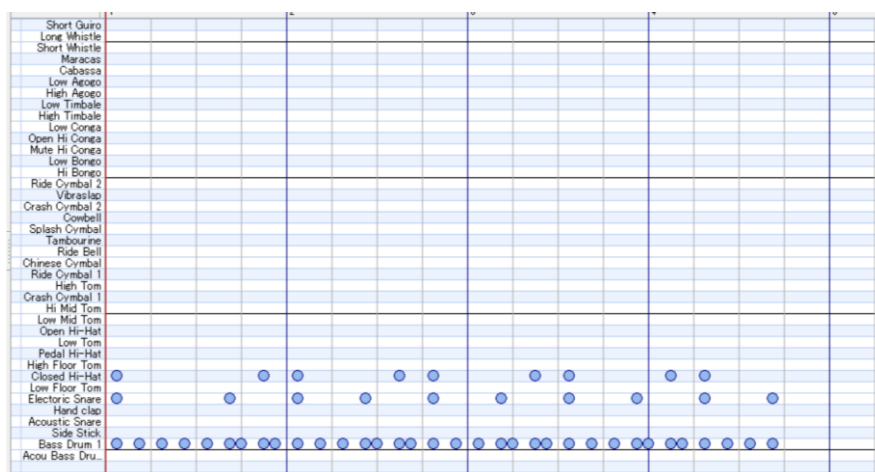


図 4 生成されたリズム

## 第4章 結果と考察

いくつかの実行結果を実際に聴いたところ、メロディは特定の条件下でルールと分散のどちらに強く影響されるかが決まっていた。

状態が1のセルのみ取り出されるため、1の状態が少ないテーブルは分散が1以下のように小さい値の場合、その構造に沿うようにマッピングされると考えられる。

1の状態が多いテーブルでは、選ばれたセルが1の状態である確率が高くなるためメロディは分散に強く影響されると考えられる。

リズムはルールによってパターンの繰り返しを持つ出力、規則性がない出力の2種類が得られた。

リズムはテーブルの同じセル番号のセルを取り出し出力するため、テーブルの構造に強く影響されると考えられる。

結果的に生成される曲は長くなるほどまとまりがなく、また休符が入らないので落ち着かない印象が感じられた。

リズムは規則的なパターンが得られた場合、然程不自然ではなかったため、一次元セルオートマトンからは自然なリズムが得られやすいと考えられる。

# 第5章 課題

今後の課題として以下のものが考えられる。

## 1. GUI の改善

ユーザーはセルオートマトンのルールを設定することができるがその組み合わせは非常に膨大な数になる。ユーザーがセルオートマトンの構造を視覚的にすぐに確認できるように GUI を改善する必要がある。

## 2. メロディの生成アルゴリズムの改善

本研究で用意したメロディの生成アルゴリズムはメロディが複数ある場合、メロディ同士がハーモニーを形成するように作られていない。また、休符が入らない仕様のため曲として区切りを意識できる部分や休憩できる部分がないため、聴いていて疲れる印象がある。課題として休符の取り入れ、ハーモニーの形成が考えられる。

## 3. ルールによる音楽的特徴のクラス分け

どのようなルール、またはテーブルの構造によって生成される音楽が音楽的にどのような特徴を持っているか調査していない。まずは最も単純なルールの集合である 3 ビットのルール、合計で 256 個のルールについてアンケートなどを用いて調査する必要があると考えられる。

## 参考文献

[1]Midi 音楽編集ソフト「Domino(ドミノ)」 | TAKABO SOFT  
<http://takabosoft.com/domino>

[2]WolframTones (最終閲覧日:2020年2月17日)  
<http://tones.wolfram.com/generate>