

B1-7 大規模カオスを用いたインタラクティブサウンド生成システムへの音楽的要素の導入

福井大学 工学部 知能システム工学科

丹羽 俊明 (指導教官：前田 陽一郎 助教授)

1 緒言

カオティックサウンドは、インタラクティブアートの1つとして人工生命の分野で研究がなされている。これにより、人間の予想を超える多様性と複雑さをもつ映像や音楽をコンピュータを利用して生成することが可能である [1][2]。

しかしながら、単純にカオスで得た数値と対応する音を演奏するのでは、ただ音が鳴るだけの不協和音となることが予想される。そこで本研究では、カオス性や同期性の制御が可能な大規模カオスを用いて音の生成を行い [3]、さらにより自然な音楽に感じられるよう音楽理論の要素技術の一部を導入する手法を提案する。ここでは大規模カオスの一つである大域結合写像 (GCM) によって音高、音長、音量要素を決定し、生成した音楽に小節、調性、休符、テンポ、エコー、音色などの音楽的要素を追加することを試みる。これにより生成される音楽は自然音、環境音楽などの、ヒーリングミュージックのような効果が期待される。また、この手法を用いてインタラクティブ・カオティック・アミューズメント・システム (ICAS) を構築し、シミュレーションにより生成された音の感性評価を試みたので、それについても報告する。

2 大規模カオスを用いたインタラクティブサウンド生成システム

カオスは簡単な法則に基づいているにもかかわらず、初期状態によって予測不能な様々な挙動をおこなう。これを用いることにより、今までにないサウンドが実現できる可能性がある。しかし、通常のカオスでは挙動があまりに不規則なため、生成されるサウンドは一般に不協和音となる。そこで本研究では、複数のカオス要素を相互作用させ、個々の要素のカオス性と全体の同期性を制御することが可能な大規模カオスを用いる。大規模カオスは金子 [4] によって提唱されたもので、複数のカオス要素をネットワークのように多数結合させることにより、写像全体の挙動を複雑かつ多様化させることが可能となる。

大規模カオスにはカオス要素の結合構造によって、結合写像格子 (CML)、大域結合写像 (GCM) に大別される。今回の研究では全要素の同期性の制御が可能な GCM を主に用いた。

2.1 大域結合写像 (GCM)

大域結合写像 (Globally Coupled Map: GCM) は、カオス要素を多数並べ、全ての要素を相互作用させることによって状態を遷移させていくモデルである。本研究では GCM を構成するカオス要素にはロジスティック写像を用いる。また本研究では、GCM の式に微小な雑音を加えることとした。これはカオス要素が同期した後、非同期状態に戻るとき、同期相を脱出するために必要となるノイズ成分である。

$$f(x_i(t)) = 1 - ax_i^2(t) \quad (1)$$

$$x_i(t+1) = [1 - e]f(x_i(t)) + \frac{e}{N} \sum_{j=1}^N f(x_j(t)) + \sigma \eta_n^i \quad (2)$$

ここで $x_i(t)$ が状態、 $f(x_i(t))$ がロジスティック写像、範囲 $[-\sigma, \sigma]$ からとった一様な乱数 η_n^i が雑音を示す。GCM の重要なパラメータは個々の要素の非線形性を強める a と、全要

素間の結合力を強める e の2つである。 a の値が大きければ各要素の振動は無秩序の状態 (非同期相) となり、 e の値が大きければ全ての要素は同じような軌道をとる (同期相)。非同期相と同期相の間には秩序相や部分秩序相などがある。

2.2 GCM による音の要素制御

本研究では GCM の大域的な相互作用により、他の音と調和し、オーケストラのような効果を得ることを目的としている。本研究では、同時に4つ音を演奏することを想定したため、GCM のカオス要素の総数は $n = 4$ となる。音の発現方法は式 (2) の出力値 $x_i(t+1)$ の取り得る範囲を、構成するロジスティック写像の初期値によって $-1.0 < x_i(t) < 1.0$ の範囲を以下のように分割した。

- 音高
この範囲を 0.1 刻みで分割し、その 20 の範囲にミドル C より1オクターブ低い C から2オクターブ高い $G\#$ までの異なる高さの音を順に割り当てる。選択される調ごとに音は異なり、調性のない通常の音階の場合、 C から $G+$ までの20の音が順に割り当てられる。
- 音長
この範囲を $1:2:4:2:1$ の割合で分割し、その範囲に $0/127:250/127:500/127:1000/127:2000(msec)$ の音長を順に割り当てる。本研究では四分音符 (休符) が多く出力されるよう、その範囲を広く設定した。
- 音量
この範囲を $2:3:5:5:5$ の割合で分割し、その範囲に $0/127:70/127:85/127:100/127:120/127$ の音量の値を順に割り当てる。

それぞれのカオス要素が GCM によってどのように制御されるかという概念を音高、音長、音量ごとに表したものを図1に示す。



図1: GCM による音の要素制御

3 本研究で導入した音楽的要素

本研究では大規模カオス (GCM) によるカオティックサウンド生成を行なうシステムを構築した後、さらに出力サウンドが人間にとって心地良いものとなるように音楽理論の要素技術の一部を取り込むことを試みた。以下に、今回の研究で導入した音楽的要素について簡単に説明しておく。

- 小節
音楽の時間の単位、拍子のまとまりを示す。本研究では 1 小節の長さは 4 拍子 (=2000msec) と設定し、音長の合計が 2000 以上になると強制的に音を区切るように設定した。
- 調性
調ごとに使用する音高を限定した。調性は長調と短調に分かれ、本研究では八長調から口短調までの 14 調と通常の音調の 15 パターンを選択できるようにした。
- 休符
音量の値を 0 とした音符を示す。休符が頻繁に選択されると、生成される音が途切れ途切れなものとなるため、休符の選択範囲は音符より狭くなるように設定した。
- テンポ
拍の長さ、即ち拍の最小単位の速さを規定した。本研究では 1 分間に 4 分音符を 120 個打つ速度 (4 分音符=120) を標準に設定している。シミュレータでは値を 4 分音符=60~240 の範囲で操作することが可能であり、分かりやすいように、0.5~2.0 倍速と表示した。
- エコー
通常の音楽のエコーとは異なり、本研究でのエコーは、生成した音の音量を減衰させ、少し遅れて出力させるという操作をある一定時間再帰的に繰り返す方法をとった。音量を減衰させる割合や遅れ時間などはある程度任意に調整できるようにした。
- 音色
MIDI 音源内に登録されている楽器の音の波形を用いてよりリアルな音づくりを行なった。本研究では 128 種類の音色を選択できるように設定した。

4 ICAS シミュレーション

本研究では、大規模カオスのパラメータを人間が自由に操作することにより音の要素を変化させ、さらに音楽的要素を付加することにより、人間にとって音楽性のある音を生成するインタラクティブ・カオティック・アミューズメント・システム (ICAS) を構築する。提案した手法の有効性を検証するため、Cycling'74 社が開発した音楽プログラムソフト "Max/MSP 4.5" を用いて、ICAS シミュレータを作成した (図 2 参照)。音高、音長、音量のそれぞれのカオスパラメータ a , e をオペレータにより変化させ、カオス状態を変えたシミュレーションを行い、生成された音の感性評価を 20 代の被験者 10 名を対象にアンケート方式で試みた。シミュレーションは音の 3 要素すべてを図 3 の挙動をなす代表的なカオス状態にし、被験者に音の変化が分かりやすいよう同期、非同期、秩序、部分秩序状態の順で感性評価を行なった。

評価結果をまとめた所、同期状態、秩序状態で生成される音は終始 1 つまたは少数にまとまった状態となるため、ひどく単調に感じられ、聞き慣れた音ではあるがあまり心地良いという評価は得られなかった。非同期状態の場合は、音が殆ど同期していないため、歯切れが悪く不自然な音となり、全く心地良くないものであった。さらに部分秩序状態の場合は、音が時間と共に同期と非同期を繰り返すため、人間にとって聞き慣れてはいないが比較的心地良く感じる音を生成していることが分かった。おそらく部分秩序状態は、高い情報処理能力を有すると言われているカオスの縁と呼ばれる間欠性カオスを発生する領域であると考えられ、 $1/f$ ゆらぎに代表されるような自然音に近い心地良さが実現されているものと思われる。

5 結 言

本研究では、大規模カオスの一つである GCM を用いて音を生成するシステムに音楽的要素を導入する手法を提案した。GCM の調整により他の音と調和することが可能となり、さまざまな音楽的要素の導入により心地良い音を生成することができた。

今後の課題としては、3 変数カオスをカオス要素に用い、音の 3 要素を同時に関連付けることにより音楽性をさらに高めるといった改良が考えられる。また、今回の研究では視覚的效果を有効に与えることができなかったため、今後はサウンドとグラフィックスの融合システムの開発を目指していく。

参考文献

- [1] 平野 砂峰, "大域結合カオスのコンピュータミュージックへの応用", 音楽情報科学研究会, MUS-14-7 (1996)
- [2] 長嶋 洋一, "マルチメディア作品におけるカオス理論の応用", 京都芸術短期大学紀要 [瓜生], Vol.18, pp.30-40 (1995)
- [3] 山本 昌幸, "インタラクティブカオティックサウンド生成ツールの開発", 日本知能情報ファジィ学会 第 8 回曖昧な気持ちに挑むワークショップ, CD-ROM (2003)
- [4] 金子 邦彦, 複雑系のカオスのシナリオ, 朝倉書店 (2001)

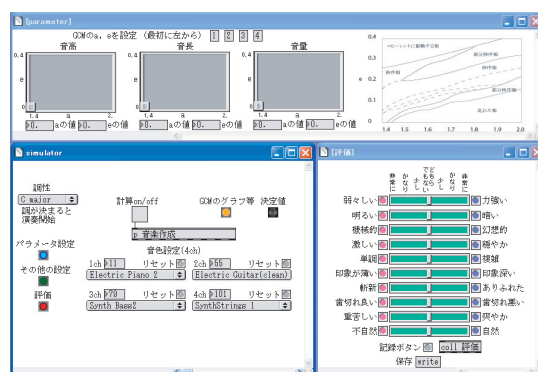


図 2: ICAS シミュレータの外観

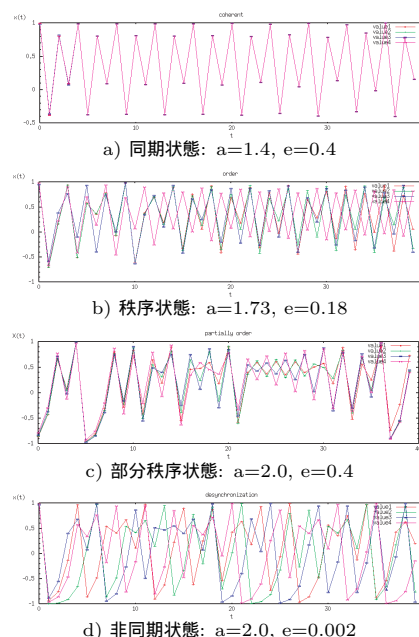


図 3: シミュレーションを行なったカオス状態