

B4-03 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

山本 昌幸 (指導教官 : 前田 陽一郎 助教授)

福井大学 工学部 知能システム工学科

1 緒言

近年、人工生命研究において盛んに行われているインタラクティブアートは、多様性と作者である人間の予想を越える複雑さをもつグラフィックスやサウンドを実現することが目的である。ペットロボットに代表されるように工学が人間の暮らしにおける快適性や利便性だけでなく、娯楽性を追及するための手段としても利用されるようになってきた。昨今において今後の発展が期待される。その代表的なものとしては、フラクタル幾何学理論を用いて描くフラクタル図形や、マンデルブロ集合を用いて生成するマンデルブロ音楽、また生物の行動を音に変換して音楽的に面白い音を作り出すシステム等、様々なものが挙げられる [1][2]。

筆者らは現在、カオスを利用して生成した音と映像を組み合わせていることによって、様々な視覚的・聴覚的効果を人間に与えることができる ICAS (Interactive Chaotic Amusement System) と呼ばれるインタラクティブ感性システムを開発するための研究を進めている [3]。本研究ではその基本システムとして、複数のカオス要素を融合することで個々の要素のカオス性と全体の同期性の制御が可能な大規模カオスの手法を用いることで聴覚的に複雑かつ多様性をもつ音の生成を行ない、同時にそれをグラフィックスに変換して視覚的にも音の変化を表現するシステムを構築する。また、シミュレーションを行って本手法の有効性を検証したのでこれについても報告する。

2 大規模カオスについて

大規模カオスは金子 [4] によって提唱されたもので、これは差分方程式のようにカオス的な振る舞いを示す要素 (カオス要素) をネットワークのように多数結合させたものであり、大規模結合写像とも呼ばれる。これを用いることによって、その写像全体の挙動をより複雑かつ多種多様にするのが可能である。

大規模カオスには、カオス要素の結合構造によりいくつかの種類が存在し、それぞれ結合写像格子 (CML)、大域結合写像 (GCM) と呼ばれる。CML は、カオス要素を多数並べ、自己と隣接する要素と相互作用を行わせることによって状態を遷移させていくモデルである。GCM は、基本的な考えは CML と同じであるが、個々のカオス要素の影響が大域的であるという点で CML と異なる。

3 ICAS

本研究では、音を発現するカオスエレメントを大規模カオスによって複数結合し、大規模カオスのパラメータを調整することによって全体として様々な音を発現させ、それを制御可能にするとともに、視覚的効果により音の変化を表現するインタラクティブ感性システム (ICAS) を提案する。

3.1 GCM による音高制御

「音の変化」を決定する重要な要素の一つとして、発現される音高の時系列における前後の関係、または同時に発生する他旋律との調和などが考えられる。そこで本研究では、まず始めに個々のカオス要素が大域的に影響を及ぼし合う GCM を用い、同時に出力される音を n 個のカオス要素を結合させることによって、システムから発現される n 個の旋律の音高遷移を制御することを考えた。この場合、同時発音数は n 音でそれぞれがカオスの挙動により旋律を生成する要素となるが、隣接する音どうしはお互いに何らかの同期や非同期で影響を受けて協調的に旋律が発生される。

まず、各エレメントにカオス要素として以下のようなロジスティック写像を与える。

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

ここで $f_i(x_i(t)), a, x_i(t) [i = 1, 2, 3, \dots, n]$ はそれぞれ時刻 t における i 番目のエレメントが持つロジスティック写像の出力、個々のカオス的振る舞いの強弱を表すパラメータ、大域結合により計算されたそのエレメントの過去の出力値である。

次に、各エレメントに与えたロジスティック写像を次式の GCM で大域的に結合させる。式 (4) から得られた出力値 $x_i(t+1)$ によって、各エレメントの発現する音の高さにゆらぎを与える。今回のシミュレーションでは $n = 4$ とした。

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

この 2 式のパラメータ a と e を調整することによって、個々のカオス性または全体の同期性を任意に制御することができる。

音の発現方法はまず式 (2) における出力値 $x_i(t+1)$ が取り得る範囲をロジスティック写像の初期値設定によって $-1 < x_i(t+1) < 1$ に設定し、この範囲をさらに 0.1 間隔で 20 の範囲に等分する。次に等分した 20 の範囲のそれぞれに、ミドル C より 1 オクターブ低い C から 1 オクターブ高い C~A までの異なる高さの 20 個の全音 (C-, D-, E-, F-, G-, A-, B-, C, D, E, F, G, A, B, C+, D+, E+, F+, G+, A+) を順に割り当てる。

各カオスエレメントは大域結合の計算によって値を出力し、エレメントはその出力値が属する範囲に割り当てられた音を発現する。以上の処理を繰り返すことによって、各エレメントから連続的に音が発現される。

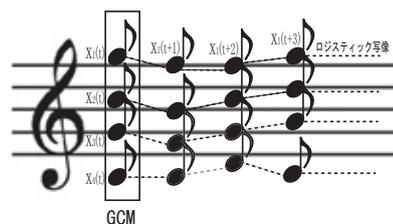


図 1: GCM による音高制御

3.2 CML による音長制御

音楽性を高めるのもう一つの重要な要素として、発現されるそれぞれの音の長さの時系列における前後の関係が考えられる。全体的にオーケストラのようにグローバルな統制を取る必要のある音高要素と異なり、音長要素の場合、時系列において近隣する音同士のみを同期させるほうが効果的と考え、今回は、隣接する要素が相互作用を及ぼし合う CML を用いた。

ここでは 16 個のロジスティック写像を時系列方向に並べ、16 個ごとの音長データがロジスティック写像により決定される。隣接する要素が相互作用を及ぼし合う CML を用い、隣同士のカオス要素を結合させることによって、システムから発現される 4 つの旋律の音長遷移を制御することを考える。それぞれの要素はカオスの挙動により音長推移を生成する要素となるが、隣接する要素どうしはお互いに何らかの同期や非同期で影響を受けて協調的に音の長さが決定される。

まず、各エレメントにカオス要素として以下のようなロジスティック写像を与える。

$$f_i(y_i(t)) = 1 - ay_i^2(t) \quad (3)$$

ここではカオスエレメントの数を16とした。1小節16音単位と考えると一回に計算されて出力された値は旋律の1音目から16音目までに対応しており*i*番目のロジスティック写像 $f_i(y_i(t))$ の次の $f_i(y_i(t+1))$ の結果は $i+16$ 音目の音の長さに対応している。

次に、各エレメントに与えたロジスティック写像を以下のCMLで局所的に結合させる。

$$y_i(t+1) = [1 - e]f(y_i(t)) + \frac{e}{2}[f(y_{i-1}(t)) + f(y_{i+1}(t))] \quad (4)$$

式(4)から得られた出力値 $y_i(t+1)$ によって、各エレメントの発現する音の長さゆらぎを与える。この2式のパラメータ a と e を調整することによって、個々のカオス性または全体の同期性を任意に制御することができる。

音長の割り当て方法は、式(4)における出力値 $y_i(t+1)$ が取り得る範囲をロジスティック写像の初期値設定により $-1 < y_i(t+1) < 1$ に設定し、この範囲をさらに0.1間隔で20の範囲に等分する。次に等分した20の範囲のそれぞれに、0.08秒から0.08秒間隔で1.28秒までの時間を順に割り当てる。

各CMLは大域結合の計算によって値を出力し、エレメントはその出力値が属する範囲に割り当てられた音の長さで発現する。例えばエレメントの出力値が $-1 < y_i(t+1) < -0.9$ ならば20音の中で一番長い音の長さ1.28秒間、 $0.9 > y_i(t+1) < 1$ ならば20音の中で一番短い音の長さ0.08秒間発現する。以上の処理を繰り返すことによって、各エレメントから連続的に音の長さが決定される。



図2: CMLによる音長制御

3.3 ICASシミュレータ

図3にICASのシステム外観を示す。それぞれ16個の旋律要素(E1~E16)に発現した4つの音の高さが示される。バーの高さは4つのカオスエレメントが発する音の数と等しく20段階に分かれており、縦方向に並ぶ4つのバーは同時に発現する音の高さに対応している。これによって、各カオスエレメントが発現した音の変化を視覚的に把握する事ができる。

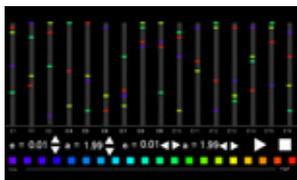


図3: ICASシミュレータの外観

4 シミュレーション

今回提案した手法の有効性を検証するために、Macromedia社が開発したグラフィックソフトFLASHを用いてICASの基本システムとなるシミュレータを作成し、パラメータ e, a の値を変えて、シミュレーションを行った。

4.1 シミュレーション結果

図4~7はシミュレーション結果の一例を示しており、各図において縦軸は各カオスエレメントが発現する4つの音の高さを、横軸はシミュレーションの経過時間を表している。シミュレーションの結果、個々のエレメントが発現する音の高さの変化は常にカオティックであるが、大規模カオスのパラメータ e, a の値を変化させることによって、発現する音が全体として様々な挙動を示すことがわかった。

4.2 考察

図4より、 e の値が0あるいはほとんど0に等しく a の値が2.0あるいはほとんど2.0に等しい場合、各カオスエレメントの音の変化はばらばらになり、16個の旋律要素の音の高さの変化と時間間隔にはなんら共通点はないことがわかる。また、4つの旋律を比べてみても互いに干渉することなく変化している。これはカオスの要素が支配的で同期が全くとられていないためである。しかし、ここで e, a の値を徐々に高めていくと、図5、図6のように、いくつかのカオスエレメントが発現する音の高さが揃って上下するようになり、旋律も互いに比例して上下するようになる。そしていずれ図7のように各カオスエレメントの値は収束する。これは e の値を高めていくことによって同期するカオスエレメントの数が増えていく、つまり各エレメントの発現する音の変化が徐々に同期性を持ち始めると考えることができる。

以上からパラメータ e を調整することによって、様々な音の発現が可能であることがわかった。音楽という観点でみると、図5のような同期挙動と非同期挙動が混在するあたりは比較的旋律に近く感じられ、人間にとって心地よく感じる領域が存在することが確認された。今後は、このような音楽的な要因と大規模カオスの同期性との関連についても明らかにしていきたい。

5 結言

本研究では、GCM、CMLを用いたカオティックサウンドの生成手法を提案した。カオス的な音を発現するエレメントを大規模カオスによって大域的に結合し、GCM、CMLのパラメータを調整することによって全体として複雑かつ多様性を持った音を発現させることができた。

今後の課題としては、より複雑かつ音楽的な音を発現させるためのシステムの改良が必要であると考えられる。例えば今回は各エレメントにカオス要素としてロジスティック写像を与えたが、より複雑な挙動を示すカオス要素への変更や、効果的な視覚効果の開発も必要であると考えられる。さらに音程、音長だけでなく音の時間間隔(テンポ、リズム)、音の種類(音色、楽器)、音の合成(和音)などの要素も大規模カオスで制御し、将来的にはオーケストラサウンドの自動生成を目指していく予定である。

参考文献

- [1] 平野 砂峰旅, "大域結合カオスのコンピューター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)

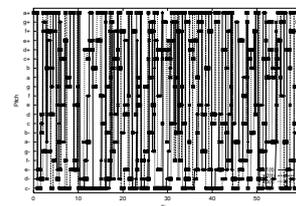


図4: シミュレーション結果 (1)
GCM:e,a=0.2,0/CML:e,a=0,2.0

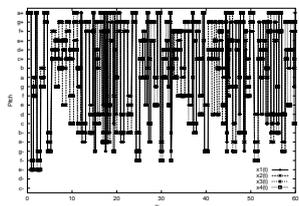


図5: シミュレーション結果 (2)
GCM:e,a=0.3,1.8/CML:e,a=0.1,1.85

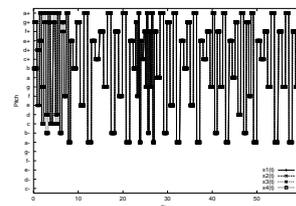


図6: シミュレーション結果 (3)
GCM:e,a=0.4,1.5/CML:e,a=0.4,1.5

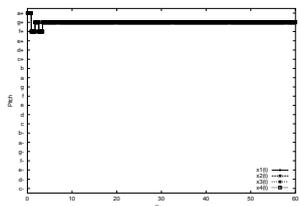


図7: シミュレーション結果 (4)
GCM:e,a=0.5,0.3/CML:e,a=0.5,0.3