

A3-1 対話型遺伝的アルゴリズムを用いたインタラクティブサウンド生成システムに関する研究

福井大学大学院 工学研究科 知能システム工学専攻 進化ロボット研究室
宮下 滋 (指導教員：前田 陽一郎)

1. 緒言

近年、人間とエージェントやコンピュータとの間にどのようなインタラクション(相互作用)を設計すればよいかという Human Agent Interaction (HAI)、Human Computer Interaction (HCI) の研究が活発になっている。主に、人間とシステムのインタラクションが軸となり、システムに人間要素を取り込む計算知能ともいえる新しい研究分野の一つである。中でも人工生命において研究されているインタラクティブアートの目的は、人間の予想を越える複雑さと多様性をもつグラフィックスやサウンドを実現することである。

インタラクティブサウンドは、従来の音楽のように完成されたものではなく、人工生命の手法や人間と対話することで人為的に状態を変えるアルゴリズムを用いてサウンドを生成する。これにより、サウンドを生成するたびに違う作品となり、外部との対話によって結果が変わってくるため、インタラクティブ(対話的)な感性表現が可能となる [1-3]。

本研究室では、カオス理論を用いてサウンドを生成することによって多様な視覚的、聴覚的アミューズメント効果を人間に与える ICAS (Interactive Chaotic Amusement System) の開発を進めている [4]。基本システムとして、複数のカオス要素を大域的に結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 (GCM) を用いて様々な様相をもつサウンドを生成できる。また、音楽要素の一部を加えることで、人間に与える不快感を減少させ、インターフェイスをリアルタイムに操作することでサウンドを変化させることが可能である。しかしながら、音楽要素を加えることにより人間がコントロールするパラメータが増えるという問題も伴っている。

そこで本研究では、人間の負荷を軽減するために対話型遺伝的アルゴリズム (IGA) を用いてユーザの感性に合致した大規模カオスのコントロールパラメータと音楽要素の自動調整を行い、サウンド生成を試みた。GCM の自動調整のみを行うシステム (ICAS-IGA1) と、音楽要素を含めた自動調整を行うシステム (ICAS-IGA2) を構築し、それぞれの有効性を検証した。また本手法により構築されたシミュレータ (ICAS-IGA) と手動によるシミュレータ (ICAS) との比較実験も行なったので、これらについて報告する。

2. 大規模カオスについて

大域結合写像 (Globally Coupled Map: GCM) は、カオス要素を多数用意し、平均を通すことで全体を相互作用させることにより状態を遷移させていくモデルである [5]。本研究では、GCM のカオス要素に式 (1) のロジスティック写像を、GCM の結合式に式 (2) を用いた。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。

本システムで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なノイズ成分を GCM に付加している。式 (2) はノイズ成分を付加した結合式である。 $x_i(t)$ 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。

$$f_i(x_i(t)) = 1 - ax_i^2(t) \quad [i = 1, \dots, n] \quad (1)$$

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

3. GCM によるサウンド生成

カオスは単純な規則に支配されながら不規則で予測できない挙動を示す。この特性を利用することで、人間の感性を刺激する斬新なサウンドを生成することが期待できる。一方、複数のカオス要素をネットワーク状に結合する大規模カオスを用いることで個々のカオス性と全体の同期性を制御することができる。本研究では、大規模カオスのなかでも大域的な制御が可能な大域結合写像 (GCM) を用いてサウンド生成に重要な音高・音長・音量の制御を行う。また、音楽理論の一部を導入することで人間にとってより心地良いサウンド生成を行うことができるよう配慮した。

図 1 に GCM によるサウンド生成システムを示す。生成されるサウンドは 1 から n まであり同時に出力される。音高・音長・音量はそれぞれのカオス要素であるロジスティック写像 L_{hn} 、 L_{tn} 、 L_{vn} により生成される。また、GCM1 により音高は L_{h1} から L_{hn} まで結合されており、音高の制御が可能である。同様に GCM2、GCM3 により音長、音量についても結合されている。

| | GCM1 | GCM2 | GCM3 |
|----------|-------------|-------------|-------------|
| サウンド1 | 音高 L_{h1} | 音長 L_{t1} | 音量 L_{v1} |
| サウンド2 | 音高 L_{h2} | 音長 L_{t2} | 音量 L_{v2} |
| ⋮ | ⋮ | ⋮ | ⋮ |
| サウンド n | 音高 L_{hn} | 音長 L_{tn} | 音量 L_{vn} |

図 1: GCM によるサウンド生成システム

本システムではGCMの大域的な相互作用により、複数のサウンドによる旋律と音量の全体的な調和を実現し、オーケストラサウンドのような効果を得ることが可能である。本研究では、同時に4つのサウンドを生成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。サウンドの生成は式(2)の出力値 $x_i(t+1)$ の取り得る範囲を、ロジスティック写像 L_{hi} 、 L_{ti} 、 L_{vi} の初期値によって $-1.0 \leq x_i(t+1) \leq 1.0$ で次のように分割した。

- 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A+までの異なる高さの音を順に割り当てた。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A+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125:250:500:1000:2000(msec)の音長を順に割り当てた。
- 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た。

本研究では人間にとってより心地よいサウンドを生成するために、音楽理論の一部を取り込んでいる。本研究では音楽要素として、小節、調性、休符、テンポ、エコー、音色を自在にユーザが設定できるようにしている。

4. IGAによるサウンド生成システム

対話型遺伝的アルゴリズム (Interactive Genetic Algorithm: IGA) は、GAの評価関数に人間の評価を用いるものである。人間の評価をGAの進化過程に取り込むことで、遺伝子集団に人間の感性に対応した方向へ進化を誘導する手法である [6]。本研究ではIGAを用いることにより人間のイメージにより近いサウンドを生成することを目的としている。

4.1 IGAを用いたICASの構築

HCI研究の一手法として筆者らは、人間の感性に視覚的、聴覚的に影響を与えるインタラクティブアミューズメントシステムであるICASを提案している。しかしながら、人間が操作するパラメータが増加すると、サウンド生成に対する負荷も大きくなる。そこで本研究では、適応度をユーザの評価に従って設定することにより、IGAを用いることで、サウンド生成を容易にするとともにユーザの感性に合致するサウンド生成が可能なシステム (ICAS-IGA) を目指す。図2に提案するICAS-IGAの概念図を示す。

4.2 サウンド生成の流れ

本研究では、ユーザの感性に合致したサウンド生成を目指しているが、システムの有用性を検証するために具体的な目標を与えるようにする。まず、ユーザにはイメージしやすい感性語 [7] を目標として与える。次にシステムを起動し、初期集団を生成する。このとき生成される遺伝子は、GCMのコントロールパラメー

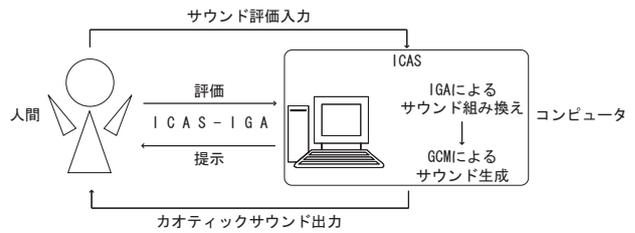


図2: ICAS-IGAの概念図

タ (a, e) をそれぞれ6ビットで表し、音高・音長・音量を操作するため遺伝子長36ビットの10個体がランダムに生成される。ユーザは生成された遺伝子を10段階 (最悪1~最良10) で評価し、これを評価関数としてGA操作が行なわれる。GAにはSimple GAを用いて、ルーレット選択、交叉率45%、突然変異率10%とした。この操作をユーザの感性に合致するまで繰り返すことで目標とするサウンドを生成していく。図3にサウンド生成の流れを示す。

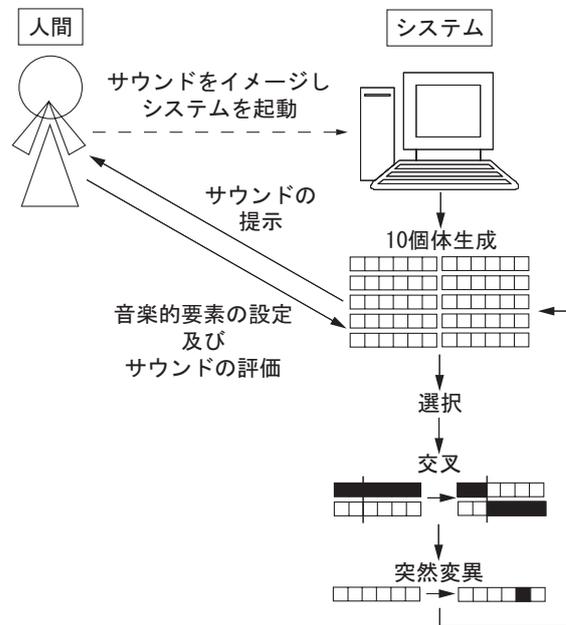


図3: ICAS-IGA1 サウンド生成の流れ

ICAS-IGA1 シミュレータで実際にサウンドを生成する場合、ユーザは以下の手順で操作する。

- Step1: ユーザは生成したいサウンドをイメージしながらシステムを起動させる。
- Step2: 「初期集団」ボタンをクリックすることにより初期集団が10個体ランダムに生成される。
- Step3: ユーザが音楽的要素 (音色、調、テンポ、エコー) を設定する。
- Step4: 「サウンド1~10演奏開始」ボタン ONによりサウンドが演奏され、ユーザはこれらを10段階で評価する。
- Step5: 「世代交代」ボタンにより、設定したGAパラメータを用いて世代交代を行う。
- Step6: ユーザは「お気に入り」個体を保存するかしないか選択ができる。「お気に入り」ボタンをク

リックすることにより個体一つを保存し、更新されない限り世代交代しても保存され、保存しない場合はそのまま世代交代を行なう。

- Step7: Step3~6を繰り返し、ユーザのイメージに合致すれば終了する。

5. サウンド生成シミュレーション

Cycling'74社が開発した音楽用グラフィックプログラミングソフト”MAX/MSP4.5”を用いて、作成されたICASのシステム外観を図4に示す。また今回提案したシステムの有効性を検証するため、ICASの基本システムであるGCMのパラメータをIGAで操作できるようにしたサウンド生成シミュレータ(ICAS-IGA1)を作成した。図5にICAS-IGA1のシステム概観を示す。また、ICAS-IGA1よりユーザの操作に対する負担を軽減するために、音楽的要素をIGAに含めたサウンドシミュレータ(ICAS-IGA2)も作成した。

作成したICAS-IGA1とICAS-IGA2のサウンド生成シミュレーションを行ない、品質・操作性の比較実験を行なった。その結果、ICAS-IGA2はユーザの負担を軽減できたようだが、ユーザの感性により近いサウンドを生成できたのはICAS-IGA1であった。

さらに本研究で作成したICAS-IGA1シミュレータと手動であるICASシミュレータを用いてサウンド生成シミュレーションを行ない、生成されたサウンドの品質とシミュレータの操作性の比較実験を行なった。これにより本手法の有効性を検証した。

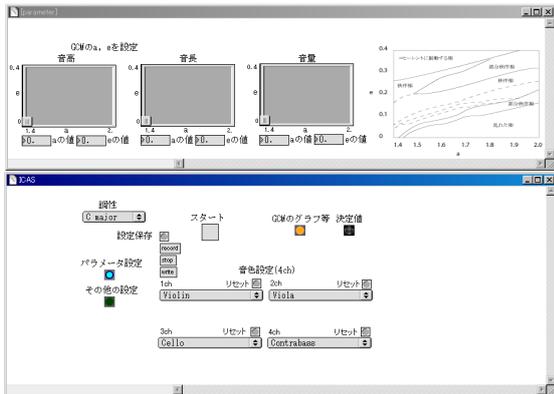


図4: ICASの概観図

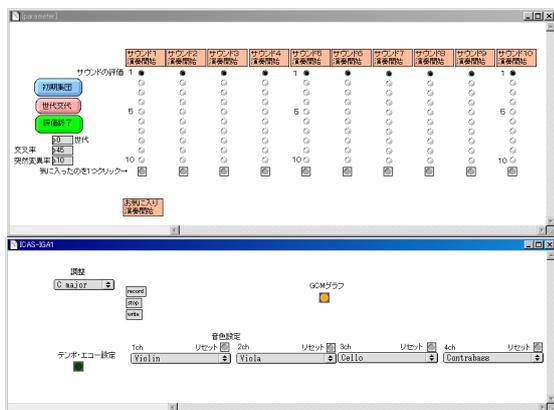


図5: ICAS-IGA1の概観図

5.1 ICAS-IGA1とICAS-IGA2の比較評価

20代男性5名を対象にICAS-IGA1とICAS-IGA2の比較評価アンケートを行なった。比較は以下の観点から2段階(0,1)で比較評価してもらった。

- 性能：最終的にどちらがより感性語に近いサウンドになったか？
- 操作性：IGA操作に対してどちらが使いやすかったか？

それぞれIGA操作は10世代まで行なった。表1に比較実験に対するアンケート結果を示す。

表1: ICAS-IGA1とICAS-IGA2の比較アンケート結果

| 性能 | | 操作性 | |
|-----------|-----------|-----------|-----------|
| ICAS-IGA1 | ICAS-IGA2 | ICAS-IGA1 | ICAS-IGA2 |
| 3 | 2 | 0 | 5 |

操作性は全員がICAS-IGA2のほうが良好であった。これは面倒な音楽的要素の設定を操作しなくて良いためであると考えられる。このことから、ICAS-IGA2はサウンド生成支援システムとしてICAS-IGA1よりユーザへの負担を軽減できたといえる。しかしながら、音を自由に操作できるという点における満足度ではICAS-IGA1がやや上回る結果となった。サウンドのイメージは音楽的要素によって大きく左右されるため、音楽的要素を操作できるICAS-IGA1がよりイメージに近づけやすかったのではないかと考えられる。

5.2 ICASとICAS-IGAの比較評価

本提案手法の有効性を検証するために、20代の男性10名の被験者に「楽しい音」と「悲しい音」という異なる印象を与える感性語を用いたサウンド生成を行なってもらった。比較は前回の実験と同様に「性能」と「操作性」の2つの観点から5段階(1~5)で比較評価をしてもらった。表2,3に比較結果を示す。また、生成されたサウンドの楽譜を図6,7に示す。

表2: 「楽しい音」に対するアンケート比較結果

| | 性能 | | 操作性 | |
|----|------|----------|------|----------|
| | ICAS | ICAS-IGA | ICAS | ICAS-IGA |
| 平均 | 2.8 | 3.9 | 3.8 | 3.2 |

表3: 「悲しい音」に対するアンケート比較結果

| | 性能 | | 操作性 | |
|----|------|----------|------|----------|
| | ICAS | ICAS-IGA | ICAS | ICAS-IGA |
| 平均 | 3.6 | 3.8 | 3.9 | 3.3 |

5.3 考察

サウンド全体を通して、被験者全員の生成した「楽しい音」「悲しい音」は、ICAS、ICAS-IGA両システムともほぼ似たサウンドとなっていたが、ICASよりICAS-IGAのほうが比較的音の幅が豊かになっていた。

これは慣れが必要な GCM パラメータの細やかな設定を IGA がうまく人間を支援して自動調整が行なわれたためであると考えられる。

サウンド生成における難易度については、今回の実験の被験者からは「悲しい音」は生成しやすく、「楽しい音」は生成が難しかったという意見を多くもらった。評価結果をみてもそのことがわかるが、比較的生成の難しいサウンドでも ICAS-IGA のほうが良好な結果を示すことが明らかになった。目標となるサウンドを生成するための性能については今回提案した ICAS-IGA の有効性を証明することができた。

システムの操作性においては、「楽しい音」「悲しい音」とともに ICAS が優れた結果を示した。これは、ICAS-IGA の GA 操作を 10 世代行なうことと、世代毎にサウンドを 10 個体評価する手間が操作性に対して評価を下げる原因になったのではないと思われる。実際、イメージに近いサウンドを生成するまでにかかる時間は、ICAS より ICAS-IGA のほうが多くかかっていた。これらの点より、操作性において ICAS-IGA はユーザにやや負担をかけていることも明らかになった。



図 6: 「楽しい音」で生成された楽譜

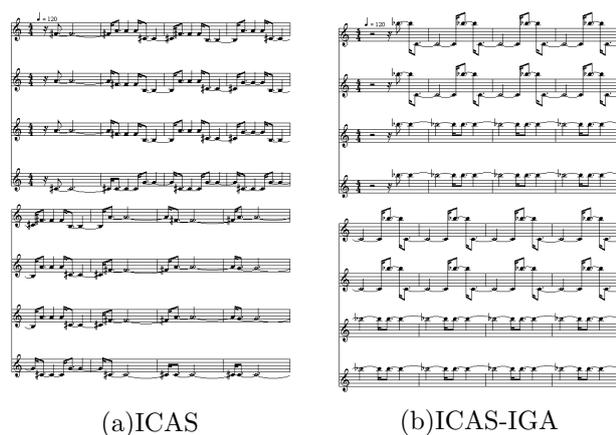


図 7: 「悲しい音」で生成された楽譜

6. 結言

本研究では、対話型遺伝的アルゴリズム (IGA) を用いたインタラクティブサウンド生成システム ICAS (Interactive Chaotic Amusement System) を提案し、

まず音の三大要素 (音高・音長・音量) を操作する GCM のコントロールパラメータを自動調整するシステム (ICAS-IGA1) を構築した。さらに人間に不快感を与えないようにするために GCM パラメータに加えて伝統的な音楽理論の基本要素 (小節、調性、休符、テンポ、エコー、音色) を自動調整するシステム (ICAS-IGA2) を構築した。これにより GCM のパラメータ、音楽的要素のパラメータを誘導的にユーザの感性に合致するサウンドを生成することが可能となった。

またこれらのシステムによる性能と操作性の比較実験を行なった。これにより、両システム共にユーザの感性に概ね近づくサウンドが生成できることが確認され、サウンド生成の性能では ICAS-IGA1 が優れ、システムの操作性では ICAS-IGA2 が優れた結果を示した。さらに、提案手法 (ICAS-IGA1) と従来手法 (ICAS) の性能と操作性の比較実験も行ない、提案手法は操作性においてはやや劣るが、サウンド生成においてはよりユーザの感性に近いサウンドを生成できることも確認できた。

今後の課題としては、IGA の遺伝子集団や選択方法、交叉率、突然変異率などを改良し、より多様なサウンド生成を行なったり、サウンドの評価方法、インターフェイスなどを改良し、ユーザ負担を軽減したサウンド生成システムの構築などが考えられる。さらに人間とシステムのインタラクションを向上させるために、ユーザがシステムに介入しやすいインターフェイスを検討し、ユーザにアミューズメント効果を与えることができるシステムを構築することも重要である。

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] N.Tokui, and H.Iba, , "Music Composition with Interactive Evolutionary Computation," *Proc. 3rd International Conference on Generative Art (GA2000)* (2000)
- [3] 畦原 宗之, 海老原 祐, 鬼沢 武久, "作り手のイメージを反映させた楽曲生成システムに関する研究," 感性工学研究論文集, Vol.1, No.2, pp.66-72 (2001)
- [4] 前田 陽一郎, 丹羽 俊明, 山本 昌幸, "大域結合写像によるインタラクティブカオティックサウンド生成システムおよび音楽的要素の導入," 日本知能情報ファジイ学会誌, Vol.18, No.4, pp.507-518 (2006)
- [5] 金子 邦彦, "カオス、CML、複雑系," 科学, Vol.62, No.7, pp.427-435 (1992)
- [6] H.Takagi, "Interactive Evolutionary Computation: Fusion of the Capabilities of EC Optimization and Human Evaluation," *Proc. of the IEEE*, Vol.89, No.9, pp.1275-1296 (2001)
- [7] 杉原 太郎, 森本 一成, 河村 知典, 島田 雅之, 黒川 隆夫, "若年層向け音楽感性検索システムに使用するための感性語選択," 感性工学学会研究論文集, Vol.5, No.3, pp.127-134 (2005)