

閉曲線図形の特性に基づいた音色生成の一手法

A Sound Synthesis Method Based on Characteristic of Closed Curves

岩淵 勇樹 秋田 純一 北川 章夫*

Summary. 電子楽器を用いることにより、今までにない新たな音色を作ることが可能となっており、音色を生成する方法も数多く考案されている。しかしながら、それらのほとんどは多種多様な音色を作るために多くのパラメータ制御を必要とするため、直感的な操作が難しく、特性を掴むのに多くの時間を要する。本研究では、マウスやタッチ패드などの入力デバイスによって直感的な音色入力インタフェースを構築するために、閉曲線から周期信号を生成するオシレータの基本原理を考える。具体的には、平面上の閉曲線図形について、相似図形同士が同じ音色と対応するような変換方法を検討する。図形と音を対応付けることにより、直感的な入力が可能になるほか、視覚表現と融合した音楽パフォーマンスへの応用も考えられる。

1 はじめに

電子楽器を用いることにより、今までにない新たな音色を作ることが可能となっており、音色を生成する方法も数多く考案されている。しかしながら、それらのほとんどは多種多様な音色を作るために多くのパラメータ制御を必要とするため、直感的な操作が難しく、特性を掴むのに多くの時間を要する。

楽器を演奏するための入力インタフェースは今までに数多く提案されているが、直感的な音色入力方法についてはあまり進歩が見られず、GUIに適した音色入力方法を探ることは今後において重要な課題といえる。

本研究では、マウスやタッチ패드などの入力デバイスによって直感的な音色入力インタフェースを構築するために、閉曲線から周期信号を生成するオシレータの基本原理を考える。具体的には、平面上の閉曲線図形について、相似図形同士が同じ音色と対応するような変換方法を検討する。

図形と音を対応付けることにより、直感的な入力が可能になるほか、視覚表現と融合した音楽パフォーマンスへの応用も考えられる [1]。

2 音声信号と曲線

音声信号を $x(t)$ とし、そのフーリエ変換を $X(\omega)$ とする。

このとき、 $X(\omega)$ にあるフィルタ $F(\omega)$ を掛けて

$$Y(\omega) = F(\omega) \cdot X(\omega) \quad (1)$$

となる $Y(\omega)$ を与えると、その逆フーリエ変換 $y(t)$ と原信号 $x(t)$ を用いて

$$z(t) = x(t) + iy(t) \quad (2)$$

という複素関数が定まる (i は虚数単位)。 $F(\omega)$ が定数の場合などを除けば、 $z(t)$ は複素平面 $x + iy$ 上の曲線となり、特に $x(t)$ が周期関数かつ $x(t)$ および $y(t)$ が区分的に滑らかで常に有限値の場合は閉曲線となる。

2.1 ヒルベルト変換

$F(\omega)$ を以下のように定める。

$$F(\omega) = \begin{cases} i & (\omega < 0) \\ 0 & (\omega = 0) \\ -i & (\omega > 0) \end{cases} \quad (3)$$

このとき、 $y(t)$ は $x(t)$ のヒルベルト変換であるという。また、 $z(t)$ は負の周波数成分を持たないという性質があり、このような性質を持つ信号のことを解析信号と呼ぶ。なお、 $x(t)$ は $y(t)$ の逆ヒルベルト変換であるといい、 $F(\omega)$ の代わりに $-F(\omega)$ を用いた時の $x(t)$ と $y(t)$ の関係に等しい。

$z(t)$ が解析信号であるとき、以下の等式が成り立つ (\mathcal{F} はフーリエ変換を表す)。

$$|\mathcal{F}[Re[e^{i\theta}z(t)]]| = |X(\omega)| \quad (4)$$

ところで、人間が周期的な音声信号を知覚する際、聞こえに影響するのはほとんど振幅スペクトルの形状の違いであり、位相が与える影響はごく僅かである。そのため、式 (4) より、周期関数 $x(t)$ および $Re[e^{i\theta}z(t)]$ は同等の音色をもつとみなす。すなわち、複素平面上の閉曲線が与えられたとき、その実部を音声信号に対応させるとすると、閉曲線が解析信号であった場合はその回転図形も同等な音色をもつことになる。また、音声信号の定常成分は音色に全く影響を与えないため、定常成分のみ異なる音声信号もそれぞれ同等な音色をもつと見なせる。

図 1 にヒルベルト変換および解析信号の例を示す。原信号 $x(t)$ はバイオリンの音色である。

Copyright is held by the author(s).

* Yuuki Iwabuchi, Junichi Akita and Akio Kitagawa, 金沢大学大学院 自然科学研究科 電子情報工学専攻

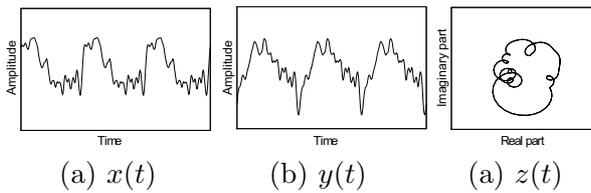


図 1. 楽器音と解析信号

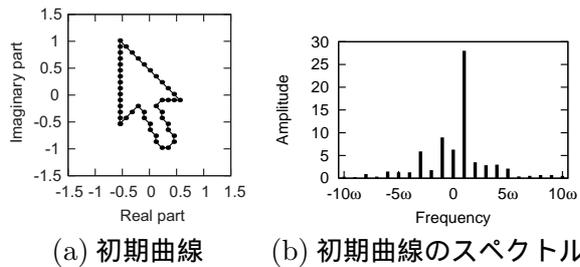


図 2. 入力図形とそのスペクトル

2.2 曲線図形の多様性

任意の単調増加写像 h によってパラメータ変換された曲線 $z(h(t))$ の軌跡は、 $z(t)$ の軌跡と等しい。よって、閉曲線が与えられたとき、パラメータ変換によって解析信号を生成することが可能ならば、任意の閉曲線図形の入力に対して回転しても生成される音色が不変な音声信号生成が可能といえる。さらに、図形の大きさは音声信号の振幅、つまり音量に相当するため、相似図形については同一の音色が対応することになり、生成される音色は形状特徴についてユニークであるといえる。

3 解析信号への近似

任意の閉曲線に対し、パラメータ変換によって解析信号を生成することが可能かどうかは明らかではなく、いずれにせよ実用上は曲線を離散化する必要があると考えられるため、近似解を求める必要がある。そこで、閉曲線を解析信号に逐次的に漸近させる方法について検討する。

シミュレーションの初期曲線には、約 15 ピクセル角のシルエット画像を 8-連結の境界追跡によって求めた輪郭線を用いる。初期曲線は $m + 1$ 個の点列 $z_0(t) = (z_0(0), z_0(1), \dots, z_0(m))$ によって構成され、 $z_0(m) = z_0(0)$ とする。フーリエ変換時にはこの重複する末尾の点を無視して FFT を行う。

初期曲線には図 2(a) に示す曲線を用いる。スペクトルは (b) のようになる。

3.1 提案アルゴリズム

既に述べた通り、解析信号はその周波数成分のうち負周波数成分は全て 0 である。また、定数成分も含まないと考える。それを踏まえ、以下の手順で入

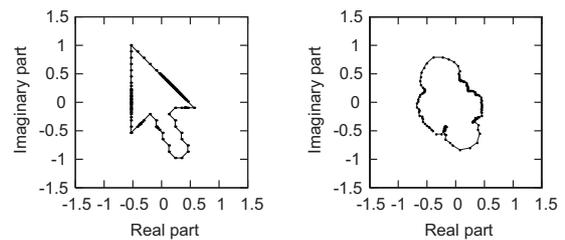
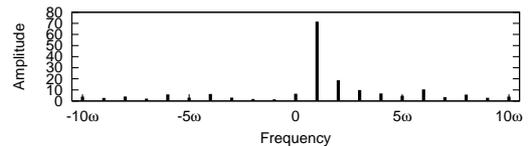
(a) $z_{100}(t)$ (b) $\tilde{z}_{100}(t)$ (c) $z_{100}(t)$ のスペクトル

図 3. シミュレーション結果

力曲線を解析信号に漸近させることを試みる。

1. $n = 0$ とおく
2. $z_n(k)$ と $z_n(k+1)$ の間の位置に $(z_n(k) + z_n(k+1))/2$ を挿入し、 $z_{tmp}(t)$ とおく
3. $z_{tmp}(t)$ について、0 以下の周波数成分の 2 乗和が最小となる k を求め、そのときの $z_{tmp}(t)$ を $z_{n+1}(t)$ とする
4. n を $n + 1$ に置き換え、2. 以降を繰り返す

この方法での $n = 100$ におけるシミュレーション結果を図 3 に示す。なお、 $\tilde{z}_{100}(t)$ は $z_{100}(t)$ から負周波数成分を除いた曲線である。

3.2 考察

0 以下の周波数でのスペクトル成分をある程度減らすことは出来たが、最終的に解析信号として得られた $\tilde{z}_{100}(t)$ を見ると、形状はある程度保たれているものの、特徴が大きく失われている。補間によって点を逐次追加する方法は計算効率としても望ましくないため、アルゴリズムを改良する必要がある。

4 まとめと展望

本研究では、合同図形について音色が同一であるような音声信号に対応させる曲線として解析信号を挙げ、閉曲線を解析信号に変換する方法についてのシミュレーションを行った。今後はアルゴリズムを改良し、ソフトウェア実装する予定である。

参考文献

- [1] G. Levin and Z. Lieberman. Sounds from Shapes: Audiovisual Performance with Hand Silhouette Contours in The Manual Input Sessions. In *Proceedings of NIME '05, Vancouver, BC, Canada*, pp. 26–28, 2005.