

## 閉曲線を利用した音色の操作法

岩淵勇樹 秋田 純一 北川 章夫

金沢大学大学院自然科学研究科

## Tone Manipulation Method Using Closed Curve

Yuuki Iwabuchi Junichi Akita Akio Kitagawa

Graduate School of Natural Science & Technology, Kanazawa University

butchi@merl.jp, {akita, kitagawa}@is.t.kanazawa-u.ac.jp

### 概要

電子楽器の発明以降、音色を生成する方法が数多く考案されている。しかしそれらの多くはパラメータ同士の関係が複雑であり、直感的な音色の操作が困難である。またそれらのパラメータ操作は一次元的であり、近年普及が著しいタッチパッドなどの二次元操作デバイスを有効に利用できていない。本稿では、解析信号と呼ばれる複素平面上の閉曲線図形と音声信号との対応に着目し、閉曲線に対する形状操作等の直接操作によって周期音声信号を変化させる方式による音色の操作方法を提案する。本手法は、既存の音に対する加工によって新しい音色を生成することもできる。また図形と音を対応付けることにより、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。さらに、本手法に地表面軌道合成および Scanned Synthesis の方式を取り入れる拡張により、さらに多様な音色を生成することができる。

### Abstract

A lot of studies on tone generation methods are proposed, however, tone generation requires numbers of parameters, and it is difficult to understand the relation between the parameters and the generated tone. Their parameters are operated in one-dimensional interface, which is not effective for two-dimensional interface, such as touch pad. In this paper, we propose the tone manipulation method using a kind of closed curves called the analytic signal. The waveform of the tone is related to the corresponding analytic signal, and the manipulation for the analytic signal can generate the modified tone. This method is adequate for tone modification from the existing instrument's tone. It is also expected to extend the application of the analytic signal to visual fusion performance. Furthermore, by apply wave terrain synthesis to this method, it is possible to synthesize more various tone.

## 1 はじめに

電子楽器の発明以降、それまでの物理的な振動現象を用いてきた楽器の音色は格段に生成の自由度が高くなり、今までにない新たな音色を作ることが可能となった。それに伴ってテクノ音楽等の新たな音楽分野が生まれ、それが再び新たな電子楽器の発展を促している。

電子楽器に向けた、楽器を演奏するための入力インタフェースに関する研究は多くあるが、それと並んで、電子楽器に適した音色の入力・生成方法、特にマウス操作やタッチパッド操作など GUI に適した音色入力・生成方法を探ることは、電子音楽全体の発展のためにも重要な課題といえる。

電子楽器の特性を生かした音色の生成方法は数多く研究されており、また実用化されているものも多いが、それらの多くは正弦波や矩形波などの単純な波形を組み合わせる加算合成方式や FM 音源方式のように、多数のパラメータを必要とする。そのため、意図した音色を生成するためには多くの経験を要する。また正弦波や三角波などの波形や PCM 録音されたサンプリング音源に対して、演算やフィルタリングによって音色を生成する減算合成方式も、同様にパラメータ制御が必要である。またこれらのパラメータは一次元量であり、その操作はスライダやツマミ等のインタフェースによって操作されるが、これらのインタフェースは、マウスやタッチパッドなどの近年一般的となっている平面入力・操作デバイスを有効に活用できているとはいえない。

我々はこれまで、マウスやタッチパッド等の平面入力・操作デバイスによる音色入力インタフェースを構築するために、シルエット画像などの図形を、解析信号と呼ばれる信号に変換して周期信号を生成する手法を提案してきた [1][2]。この方式では、平面入力デバイスによって描画した閉曲線図形を解析信号によって近似し、それに音色を生成するものであるが、解析信号に相当する閉曲線には幾何学的制約があるので、任意の閉曲線図形を解析信号で精度よく近似するには限界があり、ユーザインタフェースにより解決する必要がある。

以上をふまえ、本稿では、既存の音声信号をベースとし、それに対してマウスやタッチパッドなどの平面操作デバイスによって波形を操作することで、新たな音色の音声信号を作成する手法の提案と実装を行う。具体的には、既存の音声信号から生成された解析信号を複素平面上の閉曲線図形とみなし、これに対して平面操作デバイスによる図形操作によって新たな周期音声信号を生成・変更する手法の提案と実装を行う。また、本手法に地表面軌道合成 [3][4] および Scanned Synthesis[5][6] の方式を取り入れた拡張を行い、音声信号をもとに地表面軌道合成を施すことで、さらに生成される音のバリエーションを多用にする手法について述べる。

## 2 関連研究

### 2.1 平面情報の時間-ピッチへの変換

1972年に、イアニス・クセナキスによってタブレットボードに描いた線画図形の縦軸をピッチ、横軸を時間とみなして音声信号に変換する装置 UPIC が考案され、図形から音声信号への変換という分野が開拓された。Kaossilator[7]のように、平面タッチパッドをシンセサイザーの2つの独立した音色パラメータの入力に用いる装置も現れた。

音の可視化技術としてスペクトログラムがあるが、これも横軸が時間、縦軸がピッチ（周波数）に対応するという点では UPIC と同様である。実際、可視化の逆として、スペクトルグラムをラスタ画像として編集して音声信号を得る MetaSynth[8] などのソフトウェアが開発されている。

また、動画投稿サイトでは 2007 年から The Music Animation Machine[9] などを用いた“MIDI アニメ”と呼ばれる作品が数多く投稿されており、UPIC と楽譜（ピアノロール）の中間的存在ともいえる。

TENORI-ON[10] も横軸を時間、縦軸をピッチとして作曲することができる。

### 2.2 平面情報を用いたその他の音声信号化

その他 GUI の特性を活かした例として、一部の効果音作成ソフトウェア等では波形をマウスで描画して音色を作る機能を備えているものもあり [11]、パラメータ入力よりは直感的に操作できるが、生の音声波形は視覚的に音色を想起させるに優れているとも一概には言い難い。また、この手法は信号の端点が不連続になったり波形が急峻になったりし易く、歪んだ音となり易いため、一般的な作曲にはあまり適さない。

ラスタ画像の輝度値を音声信号に変換する研究もある [12]。

一方、メディアアートにおいては、図形を基にした音色生成の先行研究のひとつとして Levin らの作品 [13] が挙げられる。この作品では図形と音色の調和を意識して構成されているため直感的ではあるが、面積や周囲長などの画像の特徴量をパラメータ化しているに過ぎないため、形状情報が音色に寄与する割合は低く、表現力にも限界がある。

### 2.3 ジェスチャ入力

マウスやタッチパッドなどの平面操作は、2次元空間の入力と捉えることもできる。そもそも、電子音楽の祖であるテルミンも一種の空間情報を用いた楽器インタフェースであり、更に遡れば管弦楽器などもピッチを（3次元空間上での1次元の）空間情報を用いて制御している。空間情報を用いた音色生成という観点からすると、任意の画像や図形から音色を生成す

ものよりは、人間のジェスチャを解析して入力インターフェースとして用いるものの方が多い。

楽器の模擬としてのインターフェースも数多く研究されているが、ジェスチャ入力を用いる BioMuse[14], Very Nervous System[15], EyesWeb[16] やユーザの表情を用いる SoFA[17], 口の形を用いる Mouthesizer[18][19], などのように、体の動きそのものを楽器インターフェースとして用いるものも増えている。

### 3 音声信号の閉曲線表現とそれを用いた音色操作インターフェース

現在利用されている多くの音色操作インターフェースは、各種パラメータをツマミやスライダ等で操作するものであるが、これは1次元的なインターフェースであるといえる。

一方、計算機への入力デバイスとしては、従来からのマウスやトラックボールのほか、近年普及してきたタッチパッドなどがあるが、これらは二次元平面上でのポインタ移動や図形描画が可能である。これらの平面入力インターフェースに適した音色の操作方法を探ることは、より豊かな音色生成のために有用であると考えられる。これらの入力デバイスを活用する音色操作インターフェースとして最適なのは、一定領域内の2次元平面上に配置された制御点を、操作するポインタによりクリックやドラッグなどの操作ができることであると考えられる。このような音色操作を実現したインターフェースの例として Kaossilator[7] が挙げられるが、これはピッチとエフェクトの強さの2つのパラメータを  $x$  軸と  $y$  軸に割り当てたものであり、2つのパラメータを同時に操作可能であるものの、平面上の操作と生成される音色との関係を直感的に関連付けることは容易ではない。

本稿では、このような平面操作デバイスの音色操作への効果的な活用をめざし、音色を二次元信号と関連づける手法について本節で述べ、続く4節で、それを用いた音色を操作インターフェースについて述べる。具体的には、音色を平面上の閉曲線として取り扱い、その図形に対する変形等の操作によって音色の操作を行う手法の提案と実装を行う。具体的には、音色のうちの振幅の過渡的な変化を除いた、定常状態での時間軸の周期波形を平面的操作によって操作できるインターフェースとして、以下で述べる「解析信号シンセサイザ」を提案する。

#### 3.1 解析信号

$$\tilde{S}(\omega) = \begin{cases} 0 & (\omega < 0) \\ S(\omega) & (\omega = 0) \\ 2S(\omega) & (\omega > 0) \end{cases} \quad (1)$$

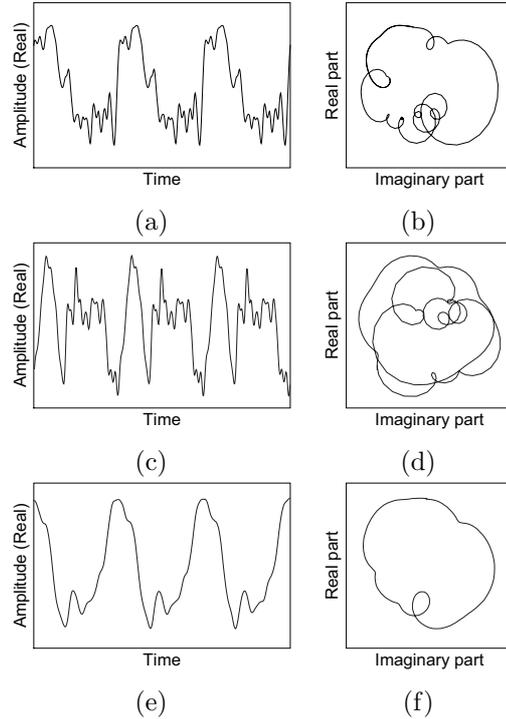


図 1: バイオリンの音色  $s(t)$ (a) と対応する解析信号  $\tilde{s}(t)$ (b), ハーモニカの音色  $s(t)$ (c) と対応する解析信号  $\tilde{s}(t)$ (d), ピアノの音色  $s(t)$ (e) と対応する解析信号  $\tilde{s}(t)$ (f)

音声信号  $s(t)$  に対して、そのフーリエ変換を  $S(\omega)$  とおく。式 (1) のように、 $S(\omega)$  の正周波数成分の振幅を2倍、負周波数成分の振幅を0倍とし、 $\tilde{S}(\omega)$  とおく。それを逆フーリエ変換した複素信号を一般に「解析信号」と呼び、 $\tilde{s}(t)$  と表す。

$s(t)$  が区分的に滑らかで常に有限値をもつ周期信号であれば、 $\tilde{s}(t)$  は複素平面  $x + iy$  上の閉曲線を描くことが導かれる。(ただし  $i$  は虚数単位)。図1に解析信号の例を示す。

$F(\omega)$  を以下のように定める。

$$F(\omega) = \begin{cases} i & (\omega < 0) \\ 0 & (\omega = 0) \\ -i & (\omega > 0) \end{cases} \quad (2)$$

このとき、

$$H(\omega) = F(\omega) \cdot S(\omega) \quad (3)$$

とすると、 $H(\omega)$  の逆フーリエ変換  $h(t)$  は  $s(t)$  のヒルベルト変換であるという。 $\tilde{s}(t)$  の実部  $\Re[\tilde{s}(t)]$  は  $s(t)$  のままであるという性質をもち、 $h(t)$  は解析信号  $\tilde{s}(t)$  の虚部  $\Im[\tilde{s}(t)]$  に等しくなる。

$$\Re[\tilde{s}(t)] = s(t) \quad (4)$$

$$\Im[\tilde{s}(t)] = h(t) \quad (5)$$

なお,  $s(t)$  は  $h(t)$  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  $s(t)$  と  $h(t)$  の関係に等しい. 式 (3) は畳み込みの関係を用いて以下のように表すことができる.

$$h(t) = \frac{1}{\pi t} * s(t) \quad (6)$$

### 3.2 解析信号と音色の関係

周期的な解析信号を複素平面上の閉曲線図形として見ると, 音声信号の振幅が時間とともに変化するのであわせて, それに対応する解析信号の閉曲線上を対応点が移動し, 音声信号の 1 周期が閉曲線上の 1 周に対応する. すなわちこの閉曲線の形状は, 音声信号の周波数情報を除いた表現であると言うことができる.

閉曲線の大きさが音声信号の振幅に対応し, 閉曲線の平行移動は, 時間変化しない定数成分に対応するため音色は変化しない. また位相回転 (定数  $e^{i\theta}$  倍) は閉曲線の回転に対応するが, 一般に音色は基音の位相に依存しない. そのため, 相似な閉曲線はすべて同じ音色に対応することになる.

以上のことから, 閉曲線図形としての解析信号は音色と密接な関わりをもっているといえる.

## 4 周期解析信号に対するインタラクティブ操作

### 4.1 解析信号の離散化と操作の定義

まず音声信号  $s$  を,  $s_0$  から  $s_{n-1}$  までの  $n$  個のサンプル点によって離散化する.  $s$  はこれら  $n$  個のサンプル点を周期とすると周期信号であると仮定し,  $s_{k+mn} = s_k$  ( $m$  は任意の整数) とする. そして, これらの各サンプル点に対して解析信号  $\tilde{s}_0 \sim \tilde{s}_{n-1}$  を求めて複素平面上に表示し, 各点を制御点として滑らかに結んだ閉曲線を生成する. この閉曲線は, 元の音声信号の解析信号  $\tilde{s}$  の近似とみなすことができる.

このうちの 1 つの制御点  $\tilde{s}_k$  をマウス等でドラッグすることで移動させる際に,  $\tilde{s}$  には  $\tilde{s}_k$  を中心とした解析信号  $\tilde{p}$  を印加するとする. ここで  $\tilde{p}$  も  $\tilde{s}$  と同様に  $n$  個のサンプル点から成る複素平面上の信号である. この制御点の移動先を  $z$  とおき, 新たに生成される  $\tilde{s}'$  を以下のように定める.

$$\tilde{s}'_j = \tilde{s}_j + (z - \tilde{s}_j)\tilde{p}_{j-k} \quad (7)$$

なおこの制御点の移動中は, その移動に従って新たな音声信号  $s' (= \Re[\tilde{s}'])$  が適当な周波数の周期音声信号となるよう合成する.

ここで,  $\tilde{p}$  を, その実部が以下のように定める.

$$p_k = \left( \frac{1 + \cos \frac{2\pi k}{n}}{2} \right)^d \quad (8)$$

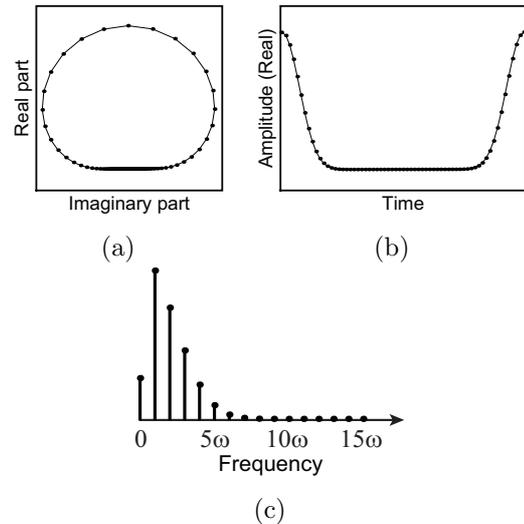


図 2:  $n = 64, d = 10$  の時の印加信号の解析信号 (a) と, それに対応する音声信号 (b) とそのスペクトル (c)

ここで  $d$  は 1 以上の実数で, 制御点の移動の際に自由に設定できるとする.

$n = 64, d = 10$  の時の印加信号を図 2 に示す. 実信号としては 0 に近い値が半数以上連続しており, 解析信号としては円形が潰れたような形となる.

式 (8) の定義に従えば,  $\tilde{p}_0 = 1$  になり, また同時に  $\tilde{s}'_k = z$  となるため, 移動中の制御点は常に操作指示点 (マウスによるドラッグ操作時のマウスポイント等) と同位置になる. なお解析信号は線型性をもつため, 印加解析信号を加えた後の信号もまた解析信号となる.

音色操作の例として, 正弦波波形に対応する解析信号 (円) を最初に用意し, それにに対して,  $n = 64, d = 10$  として 3 回の制御点移動操作を施したときの解析信号の変化, およびそれらに対応する 1 周期分の時間軸上の音声信号を図 3 に示す.

本手法は, 制御点の操作は特定の信号の加算に対応するため, いわゆる加算合成方式のシンセサイザの一種ともいえる. 基本的には, 制御点を閉曲線の内側に「押し込める」操作によって基本周波数成分が減少・高周波数成分が増加し, 曲線にねじれが生じる. また制御点を閉曲線の外側に「広げる」操作によって基本周波数成分が増加・高周波数成分が減少し, 曲線のねじれが解消される.

また  $d = 1$  のときは基本周波数成分のみの加算となり,  $d$  が大きくなるにつれて加算される高周波数成分の割合が大きくなる. 閉曲線図形の変化としては,  $d$  が大きいほど局所的な変化になる.

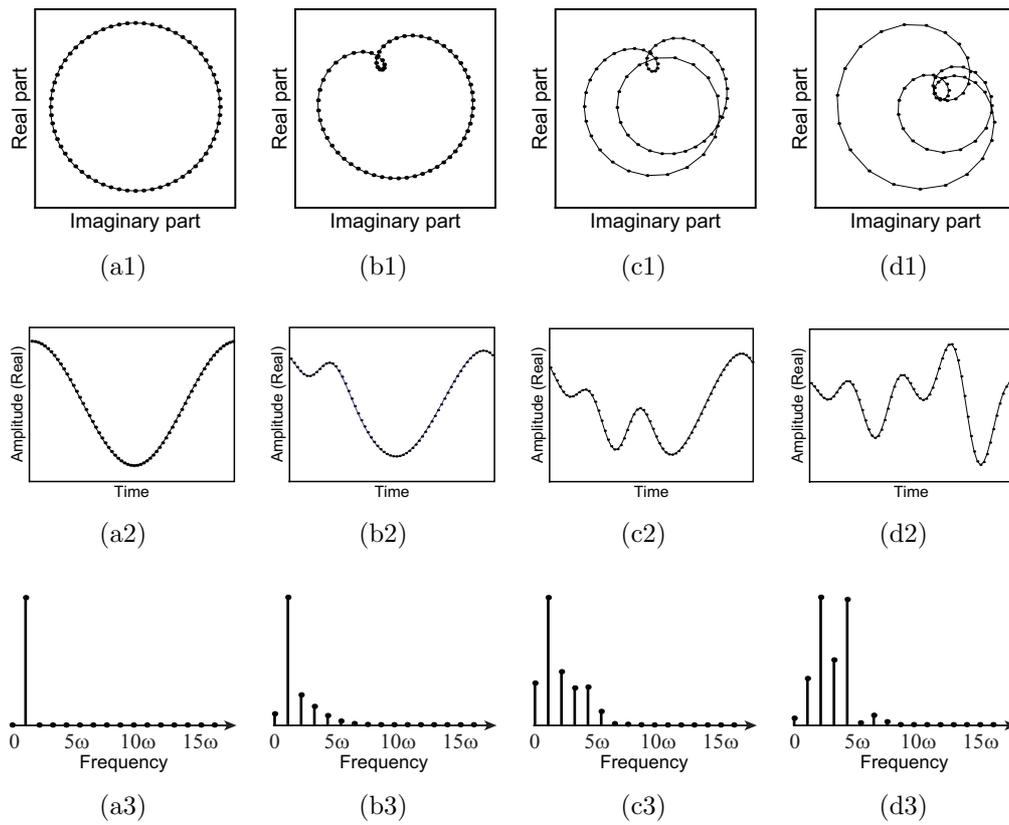


図 3: 正弦波の解析信号 (a1), それに対応する時間軸波形の音声信号 (a2) とそのスペクトル (a3), およびこれに対して  $n = 64, d = 10$  としてドラッグ操作を順に施したときの解析信号 (b1) ~ (d1), それらに対応する時間軸波形の音声信号 (b2) ~ (d2), およびそれらのスペクトル (b3) ~ (d3) .

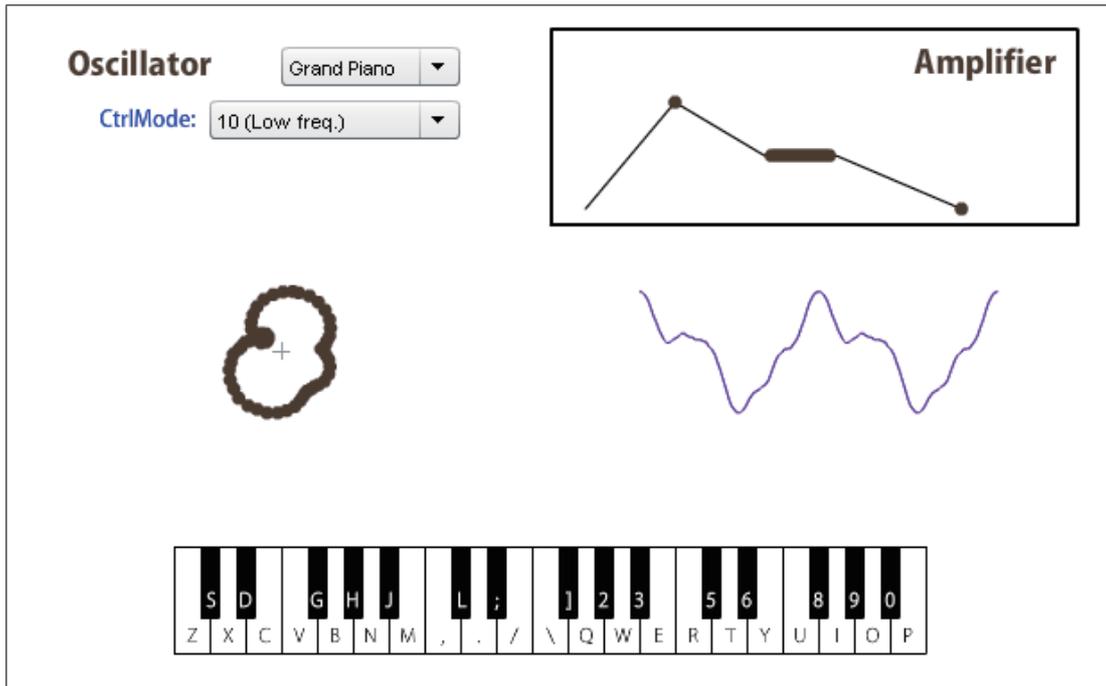


図 4: 開発した解析信号シンセサイザの実行画面

## 4.2 解析信号シンセサイザ

4.1 節で述べた手法に従って、開発した解析信号を用いる音色操作型のシンセサイザ<sup>1</sup>[20]を図4に示す。開発環境はFlash CS4、開発言語はActionScript 3.0である。図4の例では、実行画面中段の左の閉曲線には64個の制御点があり、制御点をマウス等によるドラッグによって音色の加工が可能である。制御点移動の際の印加信号に対する式(8)の $d$ の値は、10, 20, 50, 100,  $\infty$ から選択できる。なお操作する対象である閉曲線図形としては、あらかじめ楽器音を解析信号化したものがいくつか用意されており、プルダウンメニューから読み込みができる。すなわち、既存の楽器等の音色を元に、それに図形操作によって音色に加工を加える形で音色生成が可能である。

また生成された周期音声信号に対して、時間と共に振幅の変化を加えて音として仕上げるための機能として、ADSR (Attack, Decay, Sustain, Release) エンベロープジェネレータを搭載した。生成された音色を用いた簡易的な楽器の機能として、ソフトウェアキーボードのクリック、キーボードの入力、MIDI キーボードからの入力によって簡易的な演奏を可能とした。

この解析信号シンセサイザを用いて、音色の操作を行ったところ、操作対象の既存の楽器などの音に対して「とがった音」や「キンキンした音」、「滑らかな音」などのエフェクトを加えることができた。ただし、本手法では周期信号しか扱えないため、既存の楽器音のもつハーモニックエンベロープやゆらぎなどは反映

されない。これに対しては、後述の節の方法を用いれば、楽器音全体に対して変形が加えられるため、過渡的な変化を取り入れることができると考えられる。

## 5 地表面軌道合成による拡張

Max Mathews らによって1998-2000年に開発・提唱された新しい物理モデル音源方式として、Scanned Synthesisがある[5][6]。図5のように、物理モデルで決定される動的な点群を任意の曲線で走査(サンプリング)することによって音声信号を生成する手法であり、これにより、リアルタイムに減衰などの変化をする音を生成することができる。

またこれに関連した音合成方式として、地表面軌道合成(Wave Terrain Synthesis, 波形地表面合成とも呼ばれる)が提案されている[3][4]。これは、静的な2変数関数(地表面)を任意の曲線で走査し、走査したそれぞれの点での関数値を波形値とする方式である。Scanned Synthesisでは時間的に変化する動的な物理モデルを用いるのに対し、地表面軌道合成では時間的に固定された静的な地表面を用いる。また、Scanned Synthesisでは、点群の連結が弦のように1次元的であったり格子状のように2次元的であったり次元が自由であるのに対し、地表面軌道合成では地表面が2変数関数に限られる。

本節では、3節と4節で述べた解析信号を用いた音色の操作手法を、これら手法を用いて、静的な地表面を解析信号によって生成された複素信号で走査する

<sup>1</sup><http://butchi.jp/documents/mus85demo/>

# SCANNED SYNTHESIS

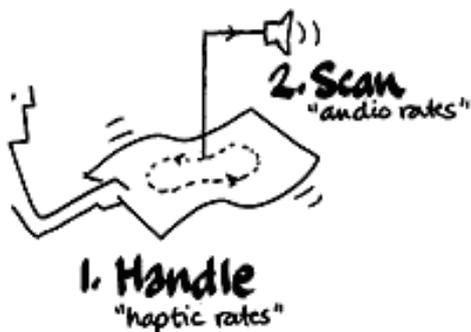


図 5: Scanned Synthesis [6]

ように拡張し、それによって得られる音色のバリエーションを多様とする方法について述べる。

## 5.1 原理

$x$  と  $y$  を変数とする  $z$  という 2 変数関数を考え、その  $x$  に解析信号の実部を、 $y$  に解析信号の虚部を代入する。

$$x = \Re[\tilde{s}(t)] = s(t) \quad (9)$$

$$y = \Im[\tilde{s}(t)] = h(t) \quad (10)$$

例として  $z = x^2 - y^2$ ,  $s(t) = \cos(2\pi \cdot 440t)$  と置くと、 $h(t) = \sin(2\pi \cdot 440t)$ ,  $\tilde{s}(t) = e^{2\pi i \cdot 440t}$  となり、 $z$  は式 (13) のようになる。

$$z = s^2(t) - h^2(t) \quad (11)$$

$$= \cos^2(2\pi \cdot 440t) - \sin^2(2\pi \cdot 440t) \quad (12)$$

$$= \cos(2\pi \cdot 880t) \quad (13)$$

また、 $z$  を  $x$  にすると式 (15) のように原信号  $s(t)$  が得られ、 $z$  を  $y$  にすると式 (17) のように原信号  $s(t)$  をヒルベルト変換した信号  $h(t)$  が得られる。

$$z = x \quad (14)$$

$$= s(t) \quad (15)$$

$$z = y \quad (16)$$

$$= h(t) \quad (17)$$

この  $z$  を  $z = x$  とした場合は、3 節で述べた解析信号から音の波形を得る場合に対応することになる

が、この  $z$  として別の関数を用いることで、同一の閉曲線から得られる音の波形にバリエーションを加えることができると考えられる。3 節で述べた閉曲線と音色との対応関係は、閉曲線の実部を求めると音色が得られるというものであったが、本節で提案する手法は Scanned Synthesis の手法を用いた拡張と考えることができる。

## 5.2 適用例と結果

この手法の例として、入力信号  $s(t)$  として正弦波、三角波、ハーモニカの音の 3 種類に対して、地表面  $z$  として  $z = y, x^2 - y^2, \sin(\pi x) \sin(\pi y)$  を与えて得られる音の波形を表 1 に示す。このように、地表面を変化させることによって様々な変化が生じた。 $z$  をうねりの多い関数にすることにより、高周波成分を増やすことができる。

この他に、例えばピアノの音に対して  $z = \sin(\pi x) \sin(\pi y)$  とすることでギターのような音を得られるなど、音色に明らかな変化を与えることがわかった。

## 6 議論

本手法による音色の加工生成手法について議論を加える。

まず、従来のシンセサイザと本手法を比較する。従来のシンセサイザはパラメータ同士の関係が複雑であり、あるパラメータを変化させるときに、他のパラメータの値によっては音色が全く変化しないということもあり得る。本手法ではどの制御点を操作しても、加算される解析信号は位相が異なること以外は同じであるので、パラメータの変化を理解するのは従来のシンセサイザよりも容易であると考えられる。直感的な音色の操作が困難であるという点では、従来のシンセサイザはパラメータにラベルが付いているのみで音を出してみないと効果がわからないものが多く、これに対して本手法では制御点の移動が座標変化に直結しているため、従来よりも直感的であるといえる。多数のパラメータが必要であるという点では、本手法では 64 個の制御点があり、改善ができていたとはいえず、それに加えて、本手法では複雑な音色を扱う場合は制御点に粗密が生じ、密になっている部分や交点で制御点を選択しにくい。これについての解決方法として、密になっている制御点はどれを制御しても変化はほとんど同じであるため、密になっている制御点を非表示にすることで制御点の削減が見込まれる。また、制御点が多いが、本手法における制御点は全てが連動して作用するため、まとめて 1 つのパラメータとみなすことができる。

次に、解析信号シンセサイザの、音色操作の自由度・可能性について考える。著者らはこれまでに、解析信号の数学的な性質を考慮して、任意の図形を、ある程度形状を保持したまま近似的に解析信号化する手法 [1, 2] を提案したが、完全に任意の閉曲線図形を解

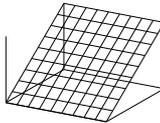
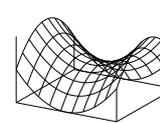
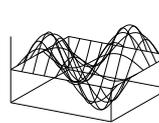
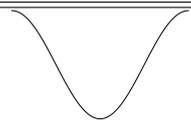
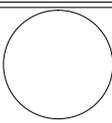
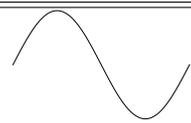
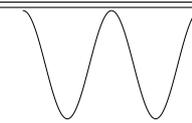
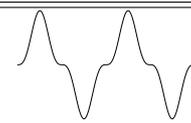
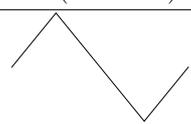
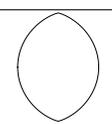
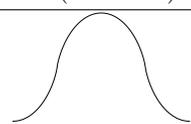
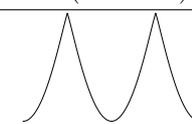
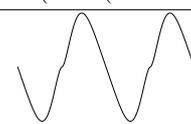
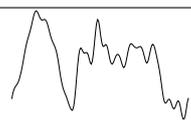
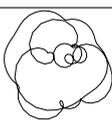
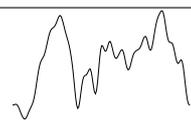
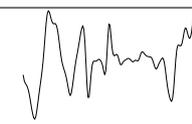
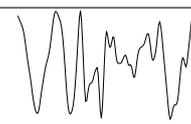
原信号 $s(t)$	$\tilde{s}(t)$	地表面 $z$		
				
 正弦波 $\cos(2\pi \cdot 440t)$	 $e^{2\pi i \cdot 440t}$	 $\sin(2\pi \cdot 440t)$	 $\cos(2\pi \cdot 880t)$	 $\sin(\pi \cos(2\pi \cdot 440t)) + \sin(\pi \sin(2\pi \cdot 440t))$
 三角波				
 ハーモニカの音				

表 1: 入力信号  $s(t)$  と、それに対して地表面  $z$  を用いて変化を加えて得られた出力信号の例

析信号化することはできなかった。また解析信号である元の閉曲線に対して、解析信号としての性質を保ったまま、原点中心の回転と相似拡大縮小の操作は可能であるが、それ以外の例えば縦横独立の拡大縮小やせん断等の図形変形操作を行うことはできない。これに対して、本手法では、変形操作の元となる解析信号を、実際の音声信号から変換して得て、それに対して解析信号としての性質を保ったまま、制御点移動による変形操作を実現する手法である。実際に操作を行ったところ、与えられた閉曲線図形から、数分の操作練習を経て意図した図形に変形させることができた。この閉曲線図形の操作と、それに対応する音色操作との対応、すなわち音色操作の自由度や、意図した音色をどの程度生成できるかという点の定量的な評価は不十分であるものの、実際に操作をした結果から、低周波数成分を多く含む音色と高周波数成分を多く含む音色の違いを作り分けることができた。

一方、閉曲線図形とその操作を映像表現とみなすと、図形操作と音色の変化が対応づけられていることになり、新たな映像・音楽の融合の可能性とも考えられる。ただし本手法では、1回の制御点移動の際に印加する信号が限定されるために音色の変化は乏しくなりがちであり、音楽パフォーマンスなどで利用するには面白みに欠けると思われる。この点については、制御点の移動だけでなく、それに伴って周辺にある制御点が操作指示点との距離に応じて移動するような方法等についても検討したい。

問題点として、本手法は、原理的には任意の周期信号を生成することができるが、「意図した音色」をゼロから生成するには必ずしも適していないと考えられる。ただし実用的には、音楽表現上、既存の音色を好みの音色へと微調整したい場面は多く、本手法は従来とは異なる方法で加工することが可能である。

本手法は、閉曲線を複素平面に投影しているため、時間軸の情報がなくなっている。これによって、周波数(音高)に依存しない音色作りが可能になっている。ただし、同じスペクトルを持つ音色も、位相が異なると閉曲線図形も変化するため、同じ音色がさまざまな形を持つ。閉曲線図形の形状情報と音色との関係については、閉曲線図形の周が自身と交差する回数が多いほど、また周に沿った閉曲線図形の回転数が多いほど、それに対応する時間軸波形が複雑になり、スペクトルの高調波成分が多くなることが予想される。また、偏角の極値数や周長などにも関係が見出されると考えられる。これらの関係については、今後解明を進める予定である。

また本手法は周期信号を作ることはできるが、波形の時間的な変化などの過渡的な変化については閉曲線の操作だけでは作ることができないため、異なる操作画面を用意するか、VSTのようなプラグイン化をすることが必要である。

最後に、地表面軌道合成および Scanned Synthesis を用いた本手法の拡張について考える。これらの拡張手法は、得られる音色のバリエーションを多様とする

ことができるが、その際に用いる軌道や曲面の与え方が、得られる音に大きく影響する。そこで、例えば地表面軌道合成を適用する場合には、地表面の高さを色の濃淡で表し、ペイントソフトのブラシツールのような描画方法で地表面の高さを編集することが考えられる。また Scanned Synthesis を適用する場合には、画面をクリック（タッチ）すると、水滴を垂らしたときのように地表面が振動し、それを解析信号で走査して音声信号をリアルタイム生成することが考えられる。これらの具体的な実装と、得られる音色との関係、およびピッチの与え方については今後検討を進めたい。

## 7 まとめ

本稿では、解析信号と呼ばれる複素平面上の閉曲線図形と音声信号との対応に着目し、閉曲線に対する形状操作等の直接操作によって周期音声信号を変化させる方式による音色の操作方法を提案し、その手法によるシンセサイザを実装するとともに、解析信号に地表面軌道合成の音色合成法を適用するシミュレーションを行った。

本手法は、意図した新規の音色の作成は困難であるものの、既存の音に対する加工による新しい音色の生成には有効である。また図形と音を対応付けることにより、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。

今後は、解析信号シンセサイザに地表面軌道合成および Scanned Synthesis の音色合成方式を適用したアプリケーションを制作したい。また、より豊かな音色の加工・生成のために、音声信号の過渡的な変化を効果的に設定する手法の検討を進め、あわせて、閉曲線図形とその操作を映像表現とみなした、新たな映像・音楽の融合の可能性を検討したい。

## 参考文献

- [1] 岩淵勇樹, 秋田純一, 北川章夫. 閉曲線図形に基づいた音色生成方法の検討. エンタテインメントコンピューティング 2008 論文集, pp. 143–146, 2008.
- [2] 岩淵勇樹, 秋田純一, 北川章夫. 閉曲線図形の特性に基づいた音色生成の一手法. 第 16 回インタラクティブシステムとソフトウェアに関するワークショップ (WISS2008) 論文集, pp. 149–150, 2008.
- [3] 青柳龍也, 小坂直敏, 平田圭二, 堀内靖雄. コンピュータ音楽 歴史・テクノロジー・アート. 東京電機大学出版局.
- [4] 小坂直敏. コンピュータ音楽で用いる珍しい音合成方式. 音響学会音楽音響研究会資料, 2005.
- [5] R. Boulanger, P. Smaragdis, and J. Ffitch. Scanned synthesis: An introduction and demonstration of a new synthesis and signal processing technique. In *Proceedings of the 2000 International Computer Music Conference*, pp. 372–375, 2000.
- [6] cSounds.com. scanned synthesis. <http://www.csounds.com/scanned/>.
- [7] KORG. Kaossilator. <http://www.korg.co.jp/Product/Dance/kaossilator/>.
- [8] U&I Software. Metasynth 5. <http://www.uisoftware.com/MetaSynth/>.
- [9] S. Malinowski. The music animation machine. <http://www.musanim.com/>.
- [10] Y.Nishibori and T.Iwai. Tenori-on. In *Proceedings of 6th International Conference on New Interfaces for*, pp. 172–175, 2006.
- [11] Shou. Swave. <http://sky.geocities.jp/izeefss/sakurayamaato/>.
- [12] W.S. Yeo and J. Berger. Application of raster scanning method to image sonification, sound visualization, sound analysis and synthesis. In *Proc of the 9th Int. Conference on Digital Audio Effects. Montreal, Canada, 2006*.
- [13] G.Levin and Z.Lieberman. Sounds from shapes: Audiovisual performance with hand silhouette contours in the manual input sessions. In *Proceedings of 5th International Conference on New Interfaces for Musical Expression*, pp. 26–28, 2005.
- [14] 長嶋洋一. 新しい筋電楽器のための筋電情報認識手法. 第 85 回音楽情報科学研究会, Vol. 2010, No. 1, pp. 1–6, 2010.
- [15] D. Rokeby. Very nervous system. <http://homepage.mac.com/davidrokeby/vns.html>.
- [16] A.Camurri, M.Ricchetti, and R.Trocca. Eyesweb—toward gesture and affect recognition in dance/music interactive systems. In *IEEE International Conference on Multimedia Computing and Systems*, Vol. 1, pp. 643–648, 1999.
- [17] M.Funk, K.Kuwabara, and M.J.Lyons. Sonification of facial actions for musical expression. In *Proceedings of NIME '03*, pp. 127–131, 2003.
- [18] M.J.Lyons. Facial gesture interfaces for expression and communication. In *Proceedings IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics*, Vol. 1, pp. 598–603, 2004.
- [19] M.J.Lyons, M.Haehnel, and N.Tetsutani. Designing, playing, and performing with a vision-based mouth interface. In *Proceedings of NIME '03*, pp. 116–121, 2003.
- [20] 岩淵勇樹, 秋田純一, 北川章夫. 閉曲線を利用した音色操作方法の検討と実装. 第 85 回音楽情報科学研究会, Vol. 2010, No. 12, pp. 1–3, 2010.

岩淵 勇樹



2007年 金沢大学工学部情報システム工学科卒業 2009年 金沢大学大学院自然科学研究科博士前期課程修了。2009年より金沢大学自然科学研究科博士後期課程。数学モデルの集積回路・インタラクティブシステムなどへの応用に関する研究に従事。電子情報通信学会会員。

秋田 純一



1993年 東京大学工学部電子工学科卒業 1998年 博士(工学)。2007年より金沢大学工学部情報システム工学科准教授。集積回路、およびその応用システム(特にインタラクティブ・システム)に従事。電子情報通信学会、情報処理学会、映像情報メディア学会、芸術科学会会員

北川 章夫



1987年 名古屋工業大学大学院工学研究科博士前期課程修了。工学博士。2001年より金沢大学工学部情報システム工学科准教授。アナログ-デジタル集積回路の設計と応用、特に新型不揮発性メモリ、無線ネットワーク、新機能センサ LSI に関する研究に従事。電子情報通信学会、情報処理学会、IEEE 会員