

直感的な身体の動きによる インタラクティブな音楽生成システム

下道 雄太^{1,a)} 入江 英嗣¹ 坂井 修一¹

概要: 本研究では直感的な身体の動きからリアルタイムかつインタラクティブに音楽を生成するシステムを提案する。研究を進めるにあたって達成すべき目標として、(1) 制約の無い身体の動きから音が鳴り、(2) 生成される音が音楽的となり、(3) ユーザからの主体的なインタラクトによって生成される音楽が変化していく、という三つの小目標を設定し、それぞれに対して段階的に提案、実装を行った。音楽的な音の生成は、単純なモチーフをループさせ重ねあわせていくという手法で実現した。また、内部パラメータを用いて身体の動きと生成される音楽を間接的に関連付けることで、制約のない身体の動きを入力としたシステムとのインタラクトを可能とした。骨格推定に openpose、音響生成に Super Collider を用いてデモシステムを実装し、ユーザとのインタラクトの中で実際に音楽的な音が生成されることを確認した。

1. はじめに

他者に聴かせるために行う表現行為とは別に、自らが音楽を生み出すことそのものに喜びを感じる人は多い。これは音楽の経験者による作曲や演奏といった行為のみでなく、カラオケや鼻歌といった形で多くの人が日常的に行っているものである。一方で、音楽を生み出すということはそれほど簡単なものではない。作曲や演奏の技術的ハードルが高い音楽の未経験者だけでなく、熟練の音楽家にとってもまた、音楽を生み出すという行為は一般に多大なエネルギーを必要とするものである。

このような背景のもと本研究では、ユーザとコンピュータが共に主体となり、直感的な身体の動きによって対話的に音楽を生成していく音楽生成システムを提案する。すなわち、ユーザの直感的な身体の動きをリアルタイムに受け取り、音楽的であるために必要な要素をコンピュータが補完していくことによって、インタラクティブに音楽を生成していくシステムの実現がここでの目標となる。本研究ではこの目標を以下の三つの小目標に分割し、それぞれの小目標に対して提案、実装を行っていく。

小目標 1 システムの特性に制約されない任意の身体の動きを入力として、音が鳴り、ユーザがそれを操作する事が出来る。

小目標 2 システムと楽曲どちらの特性にも制約されない任意の身体の動きを入力として、音楽的な音が生成さ

れる。

小目標 3 ユーザからの自発的なインタラクトによって、生成される音楽の性質が自然に変化していく。

これらの小目標を実現するための提案の中心となるアイデアは以下の二点である。

アイデア 1 単純なモチーフをループさせ、重ね合わせていくことで音楽を構成していく。これにより、ユーザの身体の動きに追従したリアルタイムかつインタラクティブな音楽生成を実現する。

アイデア 2 身体の動きと生成される音楽を明示的に結び付けない。ロバストに取得可能な身体の動きの特徴を用いて間接的に音楽を操作する。これにより、システムや楽曲に制約されない身体の動きによってシステムとインタラクトすることが出来る。

本提案システムの実装にあたっては骨格推定に openpose、音響生成に Super Collider、ビジュアルフィードバックとして Processing を用いた。実装したシステムの特徴は以下のようになっている。

特徴 1 直感的な身体の動きからリアルタイムかつインタラクティブに音楽を生成する。

特徴 2 ユーザが身体を動かすとリアルタイムに音楽が生成され、ユーザが身体の動きを止めると音楽の生成も終了する。

特徴 3 ユーザの身体の動きはシステムや生成される音楽の特性によって制約されない。ユーザは練習を必要とすることなく思うように身体を動かし、システムとインタラクトする事が出来る。

¹ 東京大学大学院 情報理工学系研究科

^{a)} shimomichi@mtl.t.u-tokyo.ac.jp

特徴 4 どのような音楽が生成されるかを事前にユーザが予想することはできない。試行するたび、またユーザの身体の動き次第で生成される音楽は様々に表情を変える。

特徴 5 ユーザがどのように身体を動かしても音楽的な音が生成されるが、ユーザが意図をもってインタラクトすればそれが生成される音楽の表情に反映される。

この提案システムによって得られる音楽体験は作曲、楽器の演奏、音楽の鑑賞のいずれとも異なる新しいものとなる。音楽の未経験者にとっては、特別な練習をすることなしに自らが主体的に音楽を生み出す喜びを体験することが出来る。またこれまで作曲や演奏を行ってきた音楽の経験者にとっても、コンピュータとの対話の中でどのような音楽が生まれるかわからない不確定性と、自らのインタラクトにより音楽が表情を変えるインタラクティブ性に、これまでとは違う新しい音楽の楽しみ方を見出すことが出来る。このシステムの応用の可能性については6章で詳しく述べる。

以下2章で関連研究、3章で提案、4章でシステムの実装についてそれぞれ述べる。5章でシステムの評価、6章で今後の課題や本研究の応用、まとめについて述べる。

2. 関連研究

2.1 身体の動きを用いた音楽表現

身体の動きを用いて音楽表現を行うという試みは古くから数多く取り組まれてきた [1], [2], [3], [4], [5]. 特に2010年にMicrosoftがKinectを発表すると、これを用いた様々なバーチャルインストゥルメントが提案されるようになった [8], [9], [12], [13], [16]. そのほかにも様々なセンシング方法やアプローチで身体の動きを音にする試みが行われている [7], [10], [11], [17]. 2018年にはYAMAHAがダンサーの体の動きによってピアノを演奏しオーケストラと共演するプロジェクトを行った [15].

これまでに行われてきた身体の動きから音楽を作る試みは、そのシステムの想定するユーザの属性によって大きく二つに分けることが出来る。

一つはそのシステムに習熟したユーザ、訓練されたダンサーや音楽家がパフォーマンスを行う事を前提としたシステムである [10], [11], [12], [13], [15], [17]. これらのシステムでは従来の楽器と同じように音を鳴らすための特別なジェスチャーや操作方法が用意されており、その制約に従って適切に操作をすることで、ユーザは音楽的な楽曲を演奏することが出来る。その一方で、操作方法がシステムによって制約されているため、ユーザがシステムを自在に操作するためにその操作方法に習熟しなければならない。

もうひとつはそのシステムに初めて触れる一般のユーザが、サウンドインスタレーションとして楽しむことを意図したものである [7], [16]. このようなシステムでは音を

鳴らすための特別なジェスチャーは指定されない。ユーザは制約のない自由な身体の動きから生成される音を楽しむことが出来る。したがって、後者のシステムは本研究の小目標1を満たしている。

小目標2と3について、身体の動きから音楽的な音を「生成」するようなアプローチの研究はこれまで行われていない。過去に行われた身体の動きを用いた音楽表現に関する取り組みは、身体の動きによって音楽を「演奏」するものであった。すなわち従来の楽器と同様に、ユーザがでたらめな身体の動きをすれば出力される音もでたらめなものとなり、ユーザが演奏したい楽曲を用意して適切に身体を動かすことで、その楽曲がシステムから出力される。それに対し、本研究で目標としているのは身体の動きを入力とした音楽の「生成」である。ここではユーザがどのような身体の動きをするかに関わらず、生成される音が音楽的であることがシステムによって保証されている。

2.2 Wii music

生成される音が音楽的であることがシステムによって保証されている事例として、2008年に任天堂が発売した音楽ゲームWii Music [6] がある。このゲームは初心者であっても簡単に音楽を奏でることが出来るということをコンセプトにしており、本研究の目的と近いところを目指したものである。

このゲームではあらかじめ楽曲データを用意しておき、プレイヤーがどのように操作しても絶対に間違った音が鳴らないようシステム側で調整を行っている。しかし、このシステムは本研究の小目標2を完全には満たしていない。なぜなら、システムと楽曲の特性によってユーザの動きが制約されているからである。特にあらかじめ用意された楽曲をその楽曲らしく演奏するためには、テンポや音を発音するタイミングなどをユーザが適切に指示しなければならない。また、演奏の開始や終了のタイミングもあらかじめ用意された楽曲によって制約されている。実際にこのゲームに対するユーザの反応の中には、リズム感の無い人には少し難しい、というものもあった。本研究ではこのような楽曲による制約も取り除き、ユーザの能力やリズム感などに依存しない自由な身体の動きによってインタラクトすることの出来るシステムの実現を目指す。

3. 提案

三つの小目標を達成するために、それぞれ以下のような提案を行う。

3.1 小目標1の達成に向けた提案

小目標1は、システムに制約されない任意の身体の動きを入力として、ユーザの意思と連動して音が鳴るようにするというものである。

これを実現するため本研究では、どのような動きをしているかに関係なく、ユーザが身体を動かした時に音を鳴らし、動かしていない時には音を鳴らさないというマッピングを行った。ユーザが身体を動かしているか否かを判定するために、まず複数の関節の座標を用いて計算した変数を複数用意し、それらの時間フレーム毎の差分を計算する。その差分がある閾値を超えたかどうかの判定を変数毎に行い、その結果の論理和をとることで、身体の動きの種類に関わりなくユーザが動いたかどうかのみを判定することが出来る。本システムでは2次元空間上の各関節の座標を取得し、 x,y 方向それぞれについて手首の座標に重みをつけた関節座標の平均と関節間の距離の合計を変数として用いた。

身体が動いたと判定された時に鳴らす音高はその時の姿勢によって変わるようにする。まず、ある音階を数オクターブ分格納した配列を用意する。動いたと判定された時の重み付き平均 y 座標 (手の高さ) をその配列のインデックスと対応させる。すなわち、手が低い位置にあれば低い音、高い位置にあれば高い音が鳴るようにする。ただし、手の高さと同様に配列のインデックスは一対一に対応させるのではなく、正規分布を間に挟むことでランダム性をもたせた。そのほか、手と手の距離が大きい時には音の attack が大きくなったり、動きの変化が急激な場合に LPF の周波数を高くするなどいくつかの単純なインタラクションを追加した。

この提案で重要なのは、特定の関節の情報や特定のジェスチャーに注目せず、全身の動きを複合的に見るという点である。特定の関節やジェスチャーに注目すると、ユーザはそのジェスチャーを適切に行えるようシステムに習熟しなければいけなくなる。また、ユーザが明示的に音の発音タイミングを指示する方法では、骨格推定の精度や僅かなタイムラグがストレスの原因となってしまう。

3.2 小目標 2 の達成に向けた提案

小目標 2 は、小目標 1 に加えて生成される音が音楽的になるようにするというものである。「音楽的」という言葉を明確に定義することは難しいが、本研究においては音楽の三要素である「メロディ」「リズム」「ハーモニー」の三つが揃っていれば、人がその音を音楽的と感じるために十分であると仮定する。ここではシステムの特性だけでなく、生成される楽曲の特性によってもユーザの身体の動きが制約されてはならない。すなわち、楽曲の拍子やテンポ、リズムなどだけでなく、楽曲の開始や終了のタイミングもユーザからの入力に依存するという点が、一般的な自動作曲や完成された楽曲の演奏とは異なる。本システムにおいては、ユーザが身体を動かし続ける限り無限に音楽は生成され続け、ユーザが身体の動きを止めると音が急激に減衰し、音楽の生成が止まる。

このような条件を満たすため、本研究では短いモチーフ

をループさせ、重ねていくことで音楽を作っていくという手法を提案する。この手法による音楽の構築は以下のような手順で行われる。

- (1) 3.1 節で述べたものと同様の音階を格納した配列を用意する。
- (2) (1) で用意した配列を元に、ごく単純なメロディとリズムを内包する短いモチーフを生成する。
- (3) (2) で生成したモチーフを、あるテンポでループさせる。
- (4) (2) で生成したモチーフを (1) で用意した配列上でシフトさせ、何らかのトリガー信号により新たなループとして追加する。
- (5) (4) で生成したループを何らかの条件で停止する。以降、ユーザが身体を動かし続ける限り (4) と (5) を繰り返す。
- (6) ユーザが身体の動きを止めたらすべてのループを停止する。

(2) においてモチーフを生成する手法であるが、まずランダムに拍子を決める。次に開始音を 0 として、0 を中心とした正規分布によって拍子の数だけランダムに数字を決める。ここで決めた数字が開始音からの相対的な音程関係を表す。最後に各拍について音を鳴らすかどうかの真偽値を決める。例えば、[C,D,E,F,G,A,H] という配列に対して拍子が 3、相対音程関係が [0,1,-1]、真理値が [true,true,true] となった時には、仮に開始音が F であれば [F,G,E] というモチーフが生成されることになる。ここで、モチーフの開始音は 3.1 節で説明した方法と同様に手の高さによって決まる。

(3) において、モチーフをループさせるテンポはモチーフがトリガーされた時の身体の動きの大きさから決定する。したがって、ゆったりと大きく身体を動かせばゆっくりとしたモチーフが、逆に素早く動かせば早いテンポのモチーフが生成されることになる。このテンポがこの後生成されていく音楽の基準テンポとなる。

(4) で新たなモチーフをトリガーする条件については、身体の動きの大きさの時間差分が一定の閾値以上になった時とする。この時の身体の動きの大きさによって新たなループのテンポが計算されるが、(3) で決まった基準テンポとの関係によって、基準テンポの 0.5,1,2,4 倍のいずれかに量子化される。また、新たなループのモチーフの開始音も 3.1 節で説明した方法と同様に手の高さに対応して決定する。

(5) においてループが消滅する条件としては、ランダムな自然消滅やループの数が規定の最大数を越えた際に古いものから順に上書きされるなどがある。

ここまででモチーフを生成し、それらをループさせ、重ねあわせて音楽を構成する下地が出来た。ただし、このままでは生成される音は十分に音楽的ということは出来ない。なぜなら、音の集合が音楽の三要素を含むだけでなく、ユーザがそれを認識出来なければ、音楽的と感じることは

出来ないからである。そこで、さらに以下の二つの条件を追加する。

- 各ループを開始するタイミングを量子化する。
- 各ループ毎に音色をランダムに変化させる。

このようにすることでユーザは一つ一つのループを識別、認識することが出来るようになり、生成される音を音楽的と感じられるようになる。

3.3 小目標 3 の達成に向けた提案

小目標 3 は、ユーザ自身が主体的に音楽の生成に関わっていると実感できるように、ユーザが自発的に行ったインタラクトが、生成される音楽の性質に反映されるようにするというものである。

ここで、ユーザのインタラクトによって変化する音楽の性質について考える。本研究では簡単のために、ユーザのインタラクトによって遷移する音楽の状態として、盛り上がっている状態 (f や ff に対応。以下「動の状態」と呼ぶ) と静かに緊迫している状態 (p や pp に対応。以下「静の状態」と呼ぶ) の二つの状態を考える。したがって生成される音楽は、ユーザからのインタラクトによって、動と静の二つの状態の間を行き来するという形でその性質を変化させる。

ここでの課題は以下の二点である。

- 小目標 3 の課題 1** 任意の身体の動きを入力として受け取りつつ、ユーザが意図を持ってインタラクトを行った際には生成される音楽の性質の変化として反映される。
- 小目標 3 の課題 2** ユーザからのインタラクトを受け取った時、生成される音楽は音楽的な自然さを保ってその性質を変化させる。

上記課題 1 について、ここではユーザの意図として例えば以下のようなものを想定している。

- 音楽を開始したい
- 少しずつ変化を起こしたい (盛り上げる, 静かにする)
- 急激に変化を起こしたい (盛り上げる, 静かにする)
- 現在の状態 (盛り上がっている, 静かに鳴っている) を維持したい
- 音楽を終了したい

これらの意図を表現する方法として特別なジェスチャーを用いることは、システムによってユーザの身体の動きを制約することになる。本システムではジェスチャーを用いることなく、ユーザの身体の動きの大きさや周期的な動きをしていることの検出、動きの変化の度合いなどによって、生成される音楽にインタラクトをする。上に挙げたユーザの意図はそれぞれ

- 静止している状態から身体を動かした
- 大きな (小さな) 身体の動きを継続している
- 身体の動きの大きさが急激に変化する
- 大きな (小さな) 身体の動きを周期的に継続している

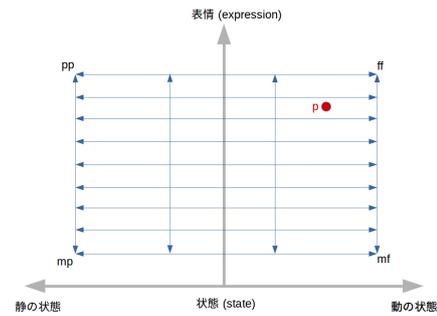


図 1 状態変数

Fig. 1 state parameter

- 身体の動きを静止させる

といった身体的パラメータによって汲み取ることが出来る。これらのパラメータは、関節座標から計算した変数の過去数フレームにおける分散や平均を用いて計算される。例えば分散が大きければ、大きな動きを継続的に行っていると推察できる。また、過去の変数の平均値と現在の変数の値の差分の符号の変化を見ることで、その変数における周期性を見ることが出来る。複数のパラメータの周期を組み合わせれば、その特徴量を体全体の動きの特徴として捉えることが出来る。

もうひとつの課題 2 について、ここでの音楽的な変化の自然さとは以下のようなものである。

- 音楽が盛り上がる、または落ち着く時、その変化は基本的に滑らかで、表情の強さの度合いは時間的に蓄積していく。
- 音楽が非常に盛り上がっている時や静かに緊迫している時には、状態が急激に変化することもある。

一般的に音楽が盛り上がる際には少しずつ表情が増していき (crescendo など)、頂点に達した時に爆発するといった表現が行われる。一方で、音楽の表情の強さが高まっている時には、非常に盛り上がった状態から非常に静かな状態へ (またはその逆) 急激に音楽の状態が変化する場合もある。

このような自然な音楽の状態の変化を表現するため、以下のような二つの要素からなる状態変数 p を考える (図 1)。

$$p = (\text{state}, \text{expression}) \quad (1)$$

ここで state は先に述べた動や静の状態を表し、expression はその状態の中における表情の度合いを表す。この state と expression の値をそれぞれ、ユーザの意図と対応した身体的パラメータによって変化させていくことで、状態変数 p は図 1 の 2 次元平面上を移動する。ここで state の値は急激に変化する場合もあるが、expression の値は連続的にしか変化しないという拘束を設ける。こうすることで例えば mf と mp 、 ff と pp の間は互いに遷移しやすいが、 mf から ff に達するためには時間的な蓄積が必要にな

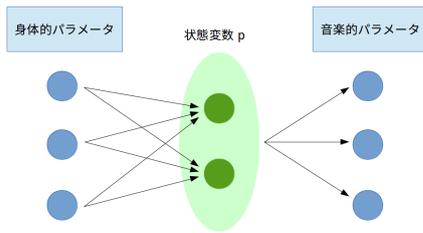


図 2 身体的パラメータと音楽的パラメータの接続

Fig. 2 connect body parameters to musical parameters

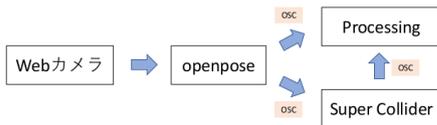


図 3 システム構成

Fig. 3 system overview

るといった音楽の性質の変化の仕方を規定することが出来る。最後に、状態変数 p が平面上のどこに存在しているかによって音楽的パラメータを変化させることで、ユーザのインタラクトを反映した音楽の性質の変化が実現する。ここで変化させる音楽的パラメータとして、本システムでは各ループ毎の音の最大・最小音量と、ループの最大数を用いた。また音楽に深みを増すための工夫として、状態変数 p に依存して転調やリズムパートの追加を行った。これらの関係を図 2 にまとめた。

小目標 3 を実現するための提案において重要なのは、身体的パラメータと音楽的パラメータの間に音楽の状態を抽象的に表す隠しパラメータ p を挟むことである。これにより、生成される音楽はユーザの身体の動きに過度に振り回されること無く、音楽としての自律性をもって自然に変化していく。

4. 実装

4.1 システム構成

本研究で実装したデモシステムのシステム構成は図 3 のようになっている。骨格推定に openpose[14]、音響生成に Super Collider、ビジュアルフィードバックとして Processing を用いている。また、アプリケーション間の通信は OSC プロトコルによって行っている。

4.2 ビジュアルフィードバック

ユーザが鳴っている音を視覚的に確認出来るようにするため、Processing によるビジュアルフィードバックを行った。ここでは小目標 1 において身体を動かした時に鳴る音を青い円、小目標 2 において生成されるループの音を赤い円でそれぞれ、音の高さを y 軸、左右の定位を x 軸に対応させて表示している (図 4)。

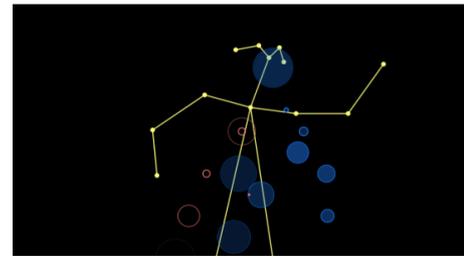


図 4 ビジュアルフィードバック

Fig. 4 visual feedback

音楽的の度合いの評価

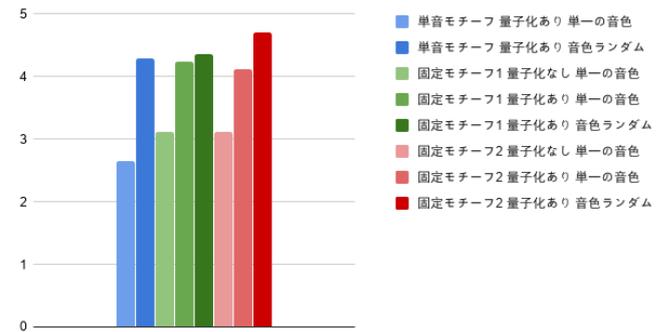


図 5 小目標 2 評価結果

Fig. 5 evaluation of sub-objective2

5. 評価とフィードバック

本研究では、各小目標がどの程度達成できているか、小目標ごとに独立して評価を行う。ただし、小目標 1 については制約のない身体の動きから音が鳴ることが確認出来れば良いので、特に評価は行わない。

5.1 小目標 2 の評価

小目標 2 について、提案要素がどの程度、人が音を音楽的と感じる度合いに対して有効であるかを確かめるためのアンケート調査を行った。具体的には、本システムによって様々な条件を変えて生成した音を、その条件を伏せランダムな順番で 17 人の被験者に聞いてもらい、それぞれ音楽的と感じる度合いを 5 段階 (1:音楽ではない, 5:音楽的である) で評価してもらった。ここでは、ループさせるのが単音かモチーフか、タイミングの量子化を行うか行わないか、ループ毎に共通の音色を用いるか音色のランダム化を行うか、という三つの観点から条件を組み合わせる音を生成した。

各音源に対する評価の平均値を表したグラフを図 5 に示す。いずれのモチーフの場合も、タイミングの量子化と音色のランダム化を行うことで、音楽と感じる度合いが高くなっている。特にタイミングの量子化の有無は音楽的と感じる度合いに強く影響を及ぼしている。一方で、単音のみをループさせる場合とモチーフを生成してループさせた

場合では評価の値に大きな差は現れなかった。しかし、自由記述のフィードバックの中には「音の連なりが連続してなっていると音楽であるように感じられやすい気がした」など、単音よりもモチーフを用いる有効性に言及したのものもあった。

5.2 小目標3についてのユーザフィードバック

今回は2人の被験者に実際にシステムを体験してもらい、フィードバックを得た。小目標3に関連する項目として「盛り上がりやすい場合、静かになって欲しい場合とも主体的に関わっていると明確に感じられた」「ほぼ想定通りに反応してくれた」など、小目標3を満足出来るレベルで達成できていることが確認できた。しかし意図をもってインタラクトした場合のシステムの反応について「腕を左右に激しく振った際にそれほど盛り上がりがないのは直感とはやや異なる」「BPMが一定である点には多少違和感を感じた」など一部直感と異なる点があることも指摘された。リズムパートと転調については、「バリエーションが生れる新鮮さはあった」が「自分の動きとの関連性は感じなかった」という結果になった。転調やリズムなどの追加要素をユーザの直感と親和性高く提示する方法については今後さらに検討していく。

6. おわりに

本研究では直感的な身体の動きからリアルタイムかつインタラクティブに音楽を生成するシステムの提案と実装、評価を行った。本提案システムでは音楽の経験の有無や個人の能力に関わらず、ユーザとコンピュータが共に主体となり、対話的に一つの音楽を生み出していくことが出来る。このシステムにおける音楽生成は、自分の行動に対応して音楽が生まれている実感はあるが、どのような音が生まれるかは事前にわからず、思い描いた通りの音楽になるわけではないという不確定性とインタラクティブ性を備えている。コンピュータがユーザの身体の動きに反応して出力を変えるのと同じように、ユーザもまたコンピュータから提示されたものを受けて反応を変えるという双方向のインタラクトの連鎖によって、これまでない創造的な音楽体験が生まれるのではないかと考える。

今後の課題としては、生成アルゴリズムをユーザ自身がデザインできるよう拡張することで音楽表現の幅を広げることが挙げられる。完成されたシステムを使用して音楽生成を楽しむだけでなく、生成アルゴリズムそのものをユーザがカスタマイズ出来るようにするのである。

本システムの応用としては、例えば高齢者等のリハビリテーションシステムが挙げられる。身体の動きから自然と音楽が生まれることで、積極的に身体を動かすモチベーションとなる。また身体が不自由なユーザでも、個人に合わせてパラメータをチューニングすることで同様に音楽の

生成を楽しむことが出来る。そのほか複数人で空間を共有して音楽の共創を楽しんだり、システムから生成される音楽に合わせて即興で楽器を演奏するなど、音楽の初心者から経験者まで幅広いユーザに対して、これまでと異なる新鮮な音楽体験を提供することが出来るようになる。

参考文献

- [1] T. Winkler. Making Motion Musical: Gesture Mapping Strategies for Interactive Computer Music. In *Proceedings of the 1995 International Computer Music Conference(ICMC)*, 1995.
- [2] B. Boie, M. Mathews and A. Schloss. The Radio Drum as a Synthesizer Controller. In *Proceeding of ICMC*, pp.42-45, 1989.
- [3] A. Sato, S. Hashimoto and S. Ohteru. Singing and Playing in Musical Virtual Space. In *Proceeding of ICMC*, pp.289-292, 1991.
- [4] P.Hartono and S. Hashimoto. Adaptive Timbre Control Using Gesture. In *Proceeding of ICMC*, pp.151-158, 1994.
- [5] J. Paradiso, K. Hsiao and E. Hu. Interactive Music for Instrumented Dancing Shoes. In *Proceeding of ICMC*, pp.453-456, 1999.
- [6] 任天堂. Wii Music. 2008.
- [7] M. Quinn. "WALK ON THE SUN" Interactive Image and Movement Sonification Exhibit/Technology. In *Proceeding of 3rd Interactive Sonification Workshop*, 2010.
- [8] M. Yoo, J. Beak, I. Lee. Creating Musical Expression using Kinect. In *Proceeding of the International Conference on New Interface for Musical Expression(NIME)*, 2011.
- [9] T. Berg, D. Chattopadhyay, M. Schedel and T. Vallier. Interactive Music: Human Motion Initiated Music Generation Using Skeletal Tracking By Kinect. In *Proceeding of Conf.Soc.Electro-Acoustic Music United States*, 2012.
- [10] N.Gillian, J.A.Paradiso. Digit:A Fine-Grain Gesturally Controlled Virtual Musical Instrument. In *Proceeding of NIME*, 2012.
- [11] I. Hattwick, J. Malloch, M. M. Wanderley. Forming Shapes to Bodies: Design for Manufacturing in the Prosthetic Instruments. *Proceeding of NIME*, 2014.
- [12] A.Hollenbach, M.Cox, J.Giegel. A Dynamic 3D Performance Space for Control of Virtual Musical Instruments. In *Proceeding of ACM International Conference on Interactive Surfaces and Spaces*, 2016.
- [13] J. Frenandez, G. Lorieux, T. Koppel, A. Vert, N. Verstraete, P. Spiesser. GeKiPe, a gesture-based interface for audiovisual performance. In *Proceeding of NIME*, 2017.
- [14] Z. Cao, T.Simon, S. Wei, Y. Sheikh. Realtime Multi-Person 2D Pose Estimation using Part Affinity Fields. *Proceeding of CVPR*, 2017.
- [15] K. Yamamoto. Dancer as a Pianist: Mapping a Musical Phrase onto a Sequential Body Motion. In *19th International Society for Music Information Retrieval Conference*, 2018.
- [16] P. Dahlstedt, A. S. Dahlstedt. OtoKin: Mapping for Sound Space Exploration through Dance Improvisation. In *Proceeding of NIME*, 2019.
- [17] C. Erdem, K. H. Schia, A. R. Jensenius. Vrengt: A Shared BodyMachine Instrument for MusicDance Performance. In *Proceeding of NIME*, 2019.