

ウェアラブルダンシング演奏システムの設計と実装

藤 本 実^{†1} 藤 田 直 生^{†1} 竹 川 佳 成^{†2}
寺 田 努^{†1} 塚 本 昌 彦^{†1}

近年、コンピュータを用いて音楽とダンスを結び付ける新しいエンタテインメントに注目が集まっている。しかし、従来システムの多くは、身体に装着したセンサからの生データをそのまま音に変換しており、ダンスのステップを認識して演奏を制御することは難しかった。そこで本研究では、靴に無線加速度センサを取り付け、ダンスを踊りながら音楽の演奏できるウェアラブルダンシング演奏システムを提案する。また、プロトタイプシステムの実運用から明らかとなった動きと音のずれに対処するため、ダンスステップ認識のための新たな動作認識手法を提案する。提案手法では、動きと音の感性実験から明らかにした特性をもとに、動作を2段階で認識する。評価結果から、提案手法により認識速度と認識精度を兼ね備えたシステムが構築できたことを確認した。

Design and Implementation of a Wearable Dancing Musical Instrument

MINORU FUJIMOTO,^{†1} NAOTAKA FUJITA,^{†1}
YOSHINARI TAKEGAWA,^{†2} TSUTOMU TERADA^{†1}
and MASAHIKO TSUKAMOTO^{†1}

According to the advancement of computer technologies, new musical expressions with motion enabled musical instruments have attracted a great deal of attention. These instruments enable users to generate and control sound by physical motion. Although a lot of researches and art performances have realized such characteristics, they do not fulfill the requirement of players to keep the procedure of whole performance under their control. We propose a new dance performance system that enables dancers to play music by dancing. We also propose new recognition techniques specialized to the adjustment in recognition timing of movement. Evaluation results confirmed that our proposed techniques improved the accuracy and quickness of recognition.

1. はじめに

近年、ウェアラブルコンピューティング技術やセンシング技術の進歩にともない、身体情報を利用するエンタテインメントシステムが数多く開発されてきた。特に、タップダンスのように身体動作により音を出力するシステムに関しては、1990年代より身体情報や生理情報をセンシングし音楽に変換する技術がさかんに提案されており^{1)–5)}、ヤマハ社のMIBURI⁶⁾のように、人の動きと音を連携させて身体情報で音を表現する手法が注目を集めている。しかし、従来研究では身体情報の生データを直接音に結び付けるため、求める音を出すために一意の姿勢をとる必要が生じ、ダンスのステップに対して自由な音を割り当てられない。

ダンスにとってステップはきわめて重要であり、特にストリートダンスでは、リズムに合わせて単純に1拍や2拍程度の様々なステップを繰り返すことでダンス自身が音とシンクロする心地良さを重視しており、各ステップに音を割り当ててダンスによる音出力を行うことで、その心地良さを活かしたまま、ダンスによる表現力と音楽による表現力をあわせ持つ新たなパフォーマンスが創造できると考えられる。

そこで本研究では、ダンスを踊りながら音楽を演奏するウェアラブルダンシング演奏システムを提案する。提案システムでは、靴に無線加速度センサを取り付け、ストリートダンスの動きに合わせて演奏を行う。また、単純に従来の動作認識技術をステップ認識に用いると、ステップと出力音の開始が正確に同期せず、ダンスが自分で音を出力した感覚を得ることができないことがプロトタイプの実運用から明らかとなったため、認識時間をBGMの拍に合わせて制御する手法および1つのステップを2段階で認識する新たな動作認識手法を提案する。評価実験より、提案手法を用いることで、認識の速さと精度の高さを兼ね備えた動作認識が実現できることを確認した。

以降、2章では本研究の基盤となるウェアラブルダンシング演奏システムについて説明し、3章では実運用で明らかになった問題点を解決する動作認識手法の提案およびそのために行った感性実験について述べる。4章で提案した認識手法の評価実験について説明し、5章で関連研究について述べる。最後に6章でまとめを行う。

^{†1} 神戸大学大学院工学研究科

Graduate School of Engineering, Kobe University

^{†2} 神戸大学自然科学系先端融合研究環

Organization of Advanced Science and Technology, Kobe University

2. ウェアラブルダンシング演奏システム

提案システムは、ストリートダンスにおけるステップを利用して演奏を行う。ストリートダンスとは、路上で踊るダンスの総称で、ブレイクダンス、ロックダンス、ヒップホップダンスなど、様々なジャンルに分かれている。ストリートダンスは即興性が高く、音楽に合わせて1拍や2拍程度の短いステップを組み合わせてダンスを構成していく。これらのステップは音楽を体で表現しており、ダンスは音楽と動きがリンクすることで心地良さを感じる。そのため、ダンスがパフォーマンスを設計する際には、音楽を選択し、その音楽の各所々にマッチしたダンスステップを設計するかに細心の注意を払う。一方、音楽によってダンスステップの設定にどうしても制約が存在する。

また、近年では、Apple社のGarageBand、Sonic Foundry社のACIDのようにループ音源を組み合わせたで簡単に音楽を制作することができるソフトウェアが登場し、プロのミュージシャンではなくても音楽制作が可能となっている。このようなソフトウェアによってダンスが音楽を作成した場合、より求めるダンスステップの設計を行えるようになるが、行えることはループ音源を組み合わせ、エフェクトをかけるといった操作にとどまており、完成した音楽はダンスと音楽を直観的に結び付けたものにはなりにくい。そこで、ダンスステップによって、自由に音を出力したり楽曲構成を変更したりすることを考える。この方法では、実際に自ら踊ることで音楽を生成するため、リアルタイムにダンスと関連づけられた音楽を出力するという新たなパフォーマンスを行える。

2.1 設計方針

ダンスによる演奏システムのシステム要件と、その実現方法について以下に述べる。

・身体的な負荷が少なく、動きに制限がない

装着しても動作に影響を与えない装置でなければパフォーマンスの質が落ちてしまう。そのため、小型の無線加速度センサを靴に取り付けるのみとする。

・様々なダンスの動きに対応する

ダンスには様々なジャンルがあり、動きも単純な動作から複雑な動作まで多種多様である。また、個人によっても動き方は異なる。したがって、パフォーマンスごとに1つのステップを1つのパターンとして登録できるようにする。

・動きと音の対応を選択できる

実際のダンスでは、音楽の雰囲気合わせた動きを組み合わせる。自ら音を奏でる場合、動きと音の対応を自由に設定できる必要がある。

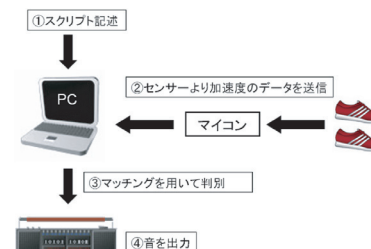


図1 システムの構成

Fig.1 Outline chart of the system.

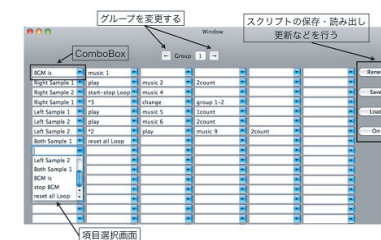


図2 スクリプト入力画面

Fig.2 A script input tool.

・ダンスの構成を作成できる

ダンスショーは1つの物語と同じであり、曲の変化や動きのパターンの変更による起承転結が必要である。動きと音の対応や曲の選択など、ショーを構成する様々な要素をダンスにより制御できるようにする。

2.2 システム構成

提案システムの構成を図1に示す。システムの利用手順は以下のとおりである。

- (1) パフォーマンスの流れを制御するスクリプトを記述する。
- (2) 左右の足に装着した3軸無線加速度センサよりデータを取得する。
- (3) センサデータにマッチング処理を行い、動作を認識する。
- (4) 認識結果に基づき、音楽出力などの処理を実行する。

2.3 動作認識手法

両足に装着した加速度センサからのデータ解析にはDPマッチングを用いた。DPマッチングは、動的計画法(Dynamic Programming)によるマッチング方式⁷⁾で、高速にパターン間の類似度を計算できる。具体的には、ダンスのステップを実際に行うことでサンプルをあらかじめ登録しておき、システム利用時には登録したサンプルと、現在の加速度センサからのデータに対してリアルタイムでDPマッチングを行う。提案手法はセンサの装着位置や個数に依存する手法ではなく、手の動きが重要であると考えらるならばセンサを手首に追加するといったように、拡張も容易である。

2.4 スクリプト記述

ユーザにより動作記述を自由に変更できるスクリプト言語を提案する。スクリプトは図2に示すGUIを用いて記述する。スクリプト中で利用できる関数を表1に、変数を表2に示す。関数は1行中に複数組み合わせる記述できる。図3に示すスクリプト記述例を用い

表 1 スクリプトの関数

Table 1 Commands can be used in script.

関数	説明
play	再生する音源を指定
start-stop Loop	ループ音源を指定
reset all Loop	すべてのループを止める
change	グループを変更
change BGM to	BGM を変更
stop BGM	BGM を止める
after	直前に行われた動作指定
(multiply)	ステップ回数指定

表 2 スクリプトの変数

Table 2 Variables can be used in script.

変数	説明
Right Sample X	右足のサンプル
Left Sample X	左足のサンプル
Both Sample X	両足のサンプル
music Y	音出力
group A-B	グループを A から B へ変更
N count	音源再生の拍数

て、各関数の利用例を以下に説明する。

- (1) Right *Sample1* play *Music1 2count*
右足の *Sample1* と現在の動きがマッチすると、*Music1* を 2 拍分出力する。
- (2) Left *Sample1* start-stop Loop *Music2*
左足の *Sample1* と現在の動きがマッチすると、*Music2* のループ音源の再生状態を変更する。このスクリプトにより、常時再生するループ音源を自由に設定できる。
- (3) Both *Sample1* reset all Loop
両足の *Sample1* と現在の動きがマッチすると、すべてのループ音源を終了する。
- (4) Both *Sample2* change *group1-2*
両足の *Sample2* と現在の動きがマッチすると、グループ 1 からグループ 2 へ変更する。この関数を用いると、音の組合せを自由に変更できる。グループの詳細は後述する。
- (5) Right *Sample1* change BGM to *Music3*
右足の *Sample1* と現在の動きがマッチすると、BGM を *Music3* へ変更する。
- (6) Left *Sample1* stop BGM
左足の *Sample1* と現在の動きがマッチすると、BGM を消す。
- (7) Right *Sample2* after Left *Sample2* play *Music4 1count*
左足の *Sample2* の後に、右足の *Sample2* と現在の動きがマッチすると、*Music4* を 1 拍分の長さだけ出力する。関数 after により、複数ステップを用いた流れのある動きに対応した制御が行える。
- (8) Right *Sample2* *2 start-stop Loop *Music5*
右足の *Sample2* と現在の動きが 2 回連続マッチすると、*Music5* のループ音源の再

```
[Group 1]
BGM is Music7...(a)
Right Sample1 play Music1 2count...(1)
Left Sample1 start-stop Loop Music2 ... (2)
Both Sample1 reset all Loop ... (3)
Both Sample2 change group1-2...(4)
[Group 2]
BGM is Music6
Right Sample1 change BGM to Music3...(5)
Left Sample1 stop BGM ... (6)
Right Sample2 after Left Sample2 play Music4 1count...(7)
Right Sample2 *2 start-stop Loop Music5...(8)
Both Sample1 change group2-1
Both Sample2 change group2-3
[Group 3]
stop BGM...(b)
reset all Loop...(c)
Both Sample1 change group3-1
Both Sample2 change group3-2
```

図 3 スクリプトの記述例

Fig. 3 An example of script description.

生状態を変更する。関数* (multiply) により、同じ動きでも繰り返し回数により音の変更、ループの変更など、アクションに変化を加えることが可能となる。

スクリプト記述例 (4) にあるように、提案するスクリプトでは複数の記述をまとめてグループとして登録できる。グループを用いることで、1 つのアクションで、BGM の変更、ステップと音の組合せの変更をまとめて行えるため、雰囲気切り替えられる。たとえば、グループ 1 ではすべてのステップでドラムの音を演奏し、グループ 2 ではすべてのステップでベースの音を演奏する、といった変化をつけることが可能となる。複数人で演奏を行う場合には、相手に合わせて演奏する楽器を変更する、といったことが踊りながら行える。グループに対して記述するスクリプトは以下の 3 つである。

- (a) BGM is *Music7*
該当のグループにおける初期設定の BGM を *Music7* に指定する。
- (b) stop BGM
該当のグループにおける初期設定の BGM を消音にする。
- (c) reset all Loop
該当のグループに変更した直後、初期設定の BGM 以外のループ音源を消音にする。

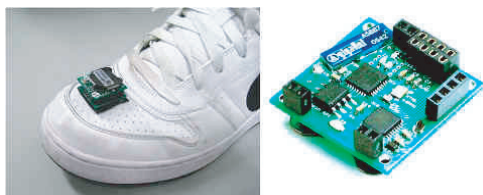
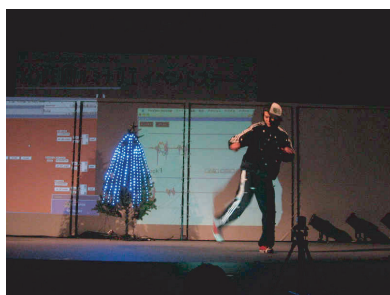
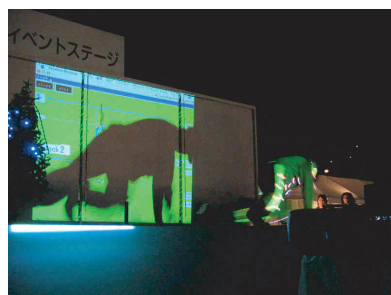


図 4 小型無線加速度センサ

Fig. 4 Acceleration sensor on a shoe.

図 5 ルミナリエでのステージパフォーマンス (1)
Fig. 5 Snapshot in Kobe Luminarie (1).図 6 ルミナリエでのステージパフォーマンス (2)
Fig. 6 Snapshot in Kobe Luminarie (2).

スクリプト記述により、動きに対応した音の出力だけでなく、BGM やループの制御など、音楽全体を制御できる。これにより、音楽制作ソフトを使用して音楽を作成するように、ダンスと音楽の関係を定義できる。

2.5 プロトタイプの実装と実運用

提案システムのプロトタイプを実装した。加速度センサは、筆者の所属する研究室で開発した無線通信機能付加速度センサモジュール Nao_RF⁸⁾ を用いた。センサモジュールと、センサを装着した靴の外観を図 4 に示す。加速度センサの出力は、最大 $\pm 4G$ で、サンプリング周波数は 100 Hz である。アプリケーションは Apple 社の Xcode 上で、Objective-C を用いて実装した。音源には自作の AIFC 音源を 30 種類用意した。ソフトウェアで登録できる動きのサンプルは左足、右足、両足それぞれ 30 種類である。

実装したプロトタイプを、2007 年 12 月 8 日および 9 日に行われた神戸ルミナリエのイベントステージにおいて利用した (図 5, 図 6)。

ステージでは、2 人のブレイクダンサーが交互にダンスを披露した。スクリプト記述により、立った状態と屈んだ状態でのダンスにおいて、音の種類を変更するなどの変化をつけた。また、2 人が同じ動きで同じ音を出力し、途中から同じ動きで異なる音を出力するといったパフォーマンスを行った。プロトタイプを利用することでこれまでにない、ダンスと音楽を融合させた新たなインタラクティブパフォーマンスを実現できた。

一方、実運用からいくつかの重要な問題点も明らかとなった。

● 本番時とサンプル取得時の動きに差があった

静止状態からのステップを 1 度行うことでステップを学習させたが、本番では前の動きからのつながりによって動作が行われるため、ステップの未認識が多く、踊っているのに音出力されない、という状況が頻繁に発生した。1 度音出力されないと音が鳴るまでそのステップを何度も繰り返したり、ステップに余計な力が入ってしまったりするなど、パフォーマンスの質が悪くなるという結果になった。

● リズム良く音を出力するのが困難であった

音の出力タイミングの厳密性を考慮していなかったため、ステップ認識が終了したタイミングで出力音を鳴らしており、動きに対して出力音が遅れて再生された。この問題により、音と動きとが同期する「心地良さ」をダンスに十分与えられなかった。

3. ダンスステップのための動作認識手法

前章に示したように、システムの実運用からステップと音楽のタイミングについての問題点が明らかになった。ステップに対する出力音の開始を正確にするためには認識時間を短くする必要があるが、認識時間を短くした場合、初動が似たモーションの場合など認識精度が悪くなることは避けられない。そこで、本研究ではダンスステップに特化した認識手法として、出力音を正確なタイミングで出力するための短時間認識と、動作を正確に認識するための長時間認識とを同時に行い、前者で認識ミスが起こって違う音を出力してしまった場合も後者によって別の音に修正するという手法を考える。本章では、このようなアイデアの有用性を調査するため、まず予備実験として動きと音のタイミングに関する感性実験を行い、その結果に基づいて新たな動作認識手法を提案する。

3.1 動きと音の感性実験

前章で述べたように、発音の遅延は提案システムにおいて致命的な問題となる。一方、動作認識を行うためにはある程度の遅延は起こり、高精度な認識を行おうとするほどその遅延は大きくなる。そこで、遅延の許容範囲を調べるために、以下に示す 3 つの予備実験を行っ

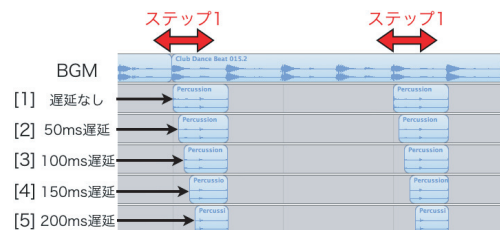


図 7 実験 1 の説明

Fig. 7 Example of experiment 1.

た。いずれの実験も被験者は 20 人の大学生（ダンサ 10 人，観客 10 人）であり，ダンスのダンス歴は平均 5 年であった。ダンスには自分の動きで音を出していると仮定し，動きと出力音の違和感について調査する。非ダンスには観客としてダンスの踊りを見てもらい，その踊りと出力音の違和感について調査する。

また，実験は室内で行い，スピーカを用いて室内でのショーを想定した音量で実験を行った。音は Apple の GarageBand を用いて作成し，BGM には Apple Loops の Club Dance Beat というループ音源を使用し，テンポは 120 BPM (Beats Per Minute) とした。すべての評価は 5 段階の選択式で行い，被験者ごとに毎回ランダムな順番で実験を行った。

3.1.1 実験 1：出力音の遅れの許容範囲

ステップの認識によって音を出す場合，BGM の拍のタイミングで音を出ることが理想であるが，それでは認識にかけられる時間が短くなり動作認識率の低下を招く。そこで，認識にかけられる時間を明らかにするため，音出力開始のタイミングは BGM の拍からどれくらい遅延しても違和感がないのかを調査する。

出力音には，Percussion と Club Dance Beat という 2 種類の音源を使用する。各音源について図 7 に示すように，(1) 遅延なし，(2) 50 ms 遅延，(3) 100 ms 遅延，(4) 150 ms 遅延，(5) 200 ms 遅延，という 5 種類の状況で音を鳴らした。ダンスには正しい出力音のタイミングを説明しておき，筆者が BGM に合わせて各音源に対して 4 回ずつダンスのステップを行っている様子を見せ，その後，ダンスに BGM の拍に合わせてステップを行ってもらうことで，ダンス自身が音を出している感覚があったかどうかを調査した。また，観客には説明なしでダンスが BGM の拍に合わせて踊っているのを見てもらい，ダンスの動きと音に違和感があったかを調査した。

図 8 に示す実験結果から，ダンス，観客ともに音の種類にかかわらず，音の始まりのズレ

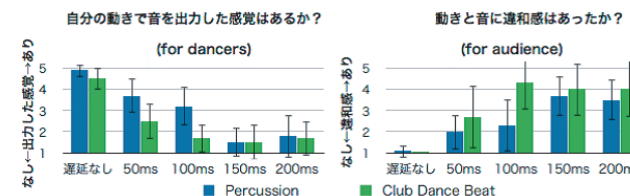


図 8 実験 1 の結果

Fig. 8 The result of experiment 1.

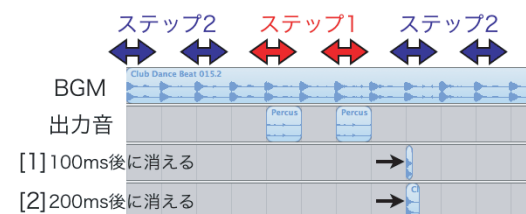


図 9 実験 2 の説明

Fig. 9 Example of experiment 2.

は認識しやすいことが分かった。BGM のリズムから少しでも出力音のタイミングがずれると人は違和感を感じるため，出力音の開始は BGM の拍のタイミングに合わせる必要があり，動きの判別は拍までに行う必要があることが分かる。

3.1.2 実験 2：出力音を途中で消した場合の違和感

拍に間に合う範囲内のデータのみを用いて動作認識しなければならない場合，十分な認識時間が得られないために誤認識が生じるが，音を出した後にシステムが認識間違いに気づいて音を途中で消した場合，人はそれに違和感を感じるかを調査した。

ダンスには Percussion の音が出される動き（ステップ 1）と，音が出されない動き（ステップ 2）の 2 種類があることを説明し，BGM に合わせて 2 種類のステップを交互に行ってもらうが，実際には 12 回ステップを行ってもらう間に図 9 に示すように，音が出されないはずのステップ 2 でランダムに 2 回だけ音が少しだけ出力されるようにした。

実験 1 で用いた出力音を使用し，各音源について，(1) 100 ms 後に消える，(2) 200 ms 後に消える，という 2 種類の場合に感じる違和感を調査した。結果を図 10 に示す。結果から，音の違いにかかわらず，実際に演奏しているダンスは違和感を感じていることが分かっ

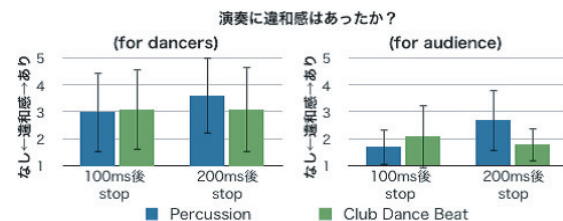


図 10 実験 2 の結果

Fig. 10 The result of experiment 2.

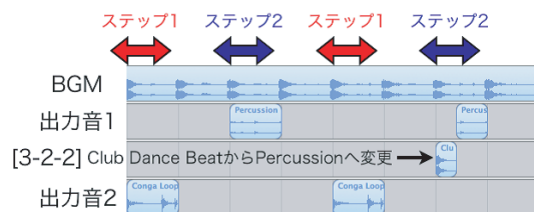


図 11 実験 3 の説明

Fig. 11 Example of experiment 3.

た．観客は少しだけ音が鳴っても、違和感はありません．したがって、ダンスが思った通りの演奏を行うためには、出力した音が間違っていた場合に音を消す、という手法は違和感を生じさせるため有効ではないといえる．

3.1.3 実験 3：出力音を途中で変えた場合の違和感

実験 2 と同様の状況で、音を消すのではなく、正しく認識できたタイミングで正しい音に切り替えた場合の違和感を調査する．ダンスには 2 種類の動きで異なる音を出力できることを説明し、BGM に合わせて 2 種類のステップを交互に行ってもらうが、実際には 8 回ステップを行ってもらう間に図 11 に示すように、ランダムに 1 回だけ出力音が途中で変更されている．出力音は実験 1 で用いたものを使用し、各出力音を拍のタイミングで出力するが、途中で表 3 のように出力音を変更した．観客には、説明なしでダンスが踊っているのを見てもらった．

ダンスおよび観客が感じた違和感の評価結果を図 12 に示す．(3-3-1) や (3-3-2) のように、Percussion から Club Dance Beat に変わる場合は、音自体の変化が大きくダンス、観客ともに違和感を感じていることが分かった．一方、(3-4-1) や (3-4-2) のように音量や音

表 3 実験 3 の方法

Table 3 Patterns of changing sounds for Experiment 3.

実験項目	説明
3-1-1	100 ms 後に Percussion2 から Percussion へ変更
3-1-2	200 ms 後に Percussion2 から Percussion へ変更
3-2-1	100 ms 後に Club Dance Beat から Percussion へ変更
3-2-2	200 ms 後に Club Dance Beat から Percussion へ変更
3-3-1	100 ms 後に Percussion から Club Dance Beat へ変更
3-3-2	200 ms 後に Percussion から Club Dance Beat へ変更
3-4-1	100 ms 後に Club Dance Beat2 から Club Dance Beat へ変更
3-4-2	200 ms 後に Club Dance Beat2 から Club Dance Beat へ変更

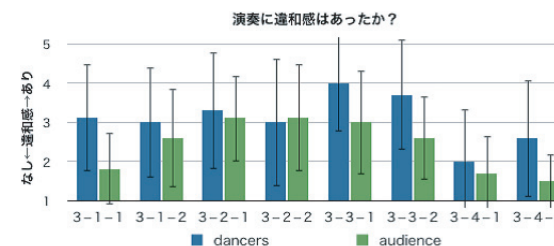


図 12 実験 3 の結果

Fig. 12 The result of experiment 3.

色が近いものに変化する場合、ダンス、観客ともにあまり違和感を感じていない．後者の場合、動きと音の組合せを知っているダンスが違和感を感じていないため、音の組合せによっては、途中で異なる音に変更することは有効に働くといえる．

3.2 動作認識アルゴリズムの概要

実運用と予備実験から、ダンスのステップによる出力音と BGM の拍が合っている必要があることが分かった．しかしこれまでに述べたように、この条件を満たすためには認識時間が十分にとれず、認識精度が悪化する．したがって本研究では、BGM の拍を考慮した動作認識手法および 2 段階での動作認識手法を提案する．まず、BGM の拍を考慮して認識時間を決定し、動きと音の出力を合わせる．また、2 段階で認識を行い、認識結果の修正を行うことで認識時間の短さによる精度低下を補う．

3.3 BGM の拍を考慮した動作認識手法

予備実験 1 の結果より、出力音の始まるタイミングは BGM の拍に合わせる必要があることが分かった．そのためには認識すべき動作において、BGM の拍のタイミングまでにど

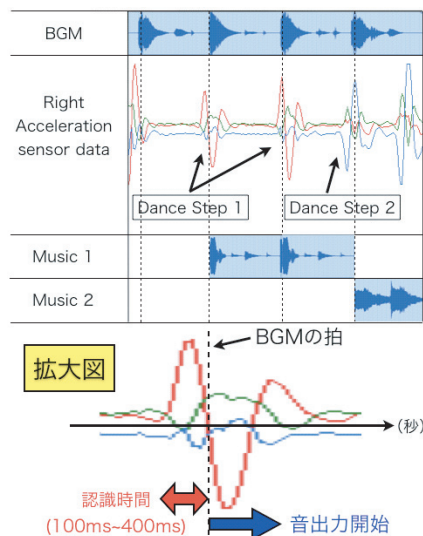


図 13 BGM の拍を考慮した動作認識手法
Fig. 13 Motion-recognition technique considering the beat of BGM.

れだけの時間があるかを調べる必要がある。説明のため、実際にダンサが BGM に合わせて踊っている場合の加速度センサの値と音のタイミングを図 13 に示す。提案システムでは、実際に BGM に合わせてステップを数回サンプリングすることで、認識に用いるべき区間を自動算出する。ダンスのステップはそれぞれ動作の長さに差があり、ステップごとに下記の手順で認識区間を測定する。

- (1) まず BGM に合わせてステップを行い、サンプルを保存する。
- (2) BGM の拍に合わせて同じステップを繰り返す。
- (3) ステップの動き出しから BGM の拍までの時間を毎回記録しておく。
- (4) 記録結果を平均して、認識に用いるべき時間を決定する。

3.4 2 段階での動作認識手法

前節で述べたように音の出力タイミングを決定すると認識時間が 100 ms から 400 ms 程度しか確保できず、認識ミスが多くなる。そこで、予備実験 3 より、音のつながりによっては途中で音を変更しても違和感がないという結果に着目し、図 14 に示すように、BGM の拍に合わせた認識に加えて、ステップ全体を用いた認識を行い、各段階での結果に

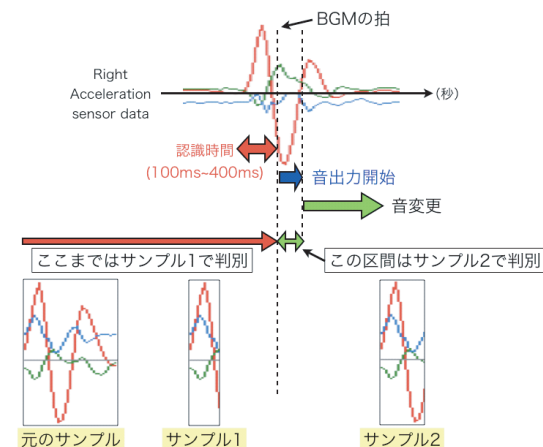


図 14 2 段階での動作認識手法
Fig. 14 Motion-recognition technique by two-phase.

より出力音を変更することで認識率と出力タイミングを兼ね備える手法を提案する。拍にタイミングを合わせるためには、図においてステップの前半部分であるサンプル 1 のみで認識を行い音を出力する。同時にサンプル 2 でも認識を行い、後者の認識結果が前者の認識結果と異なる場合、出力音を正しい音に変更する。

3.5 閾値の調整

提案手法は DP マッチングにより認識を行っている。具体的には、学習データと現在の取得波形との差を計算し、それが閾値以下であればその学習データと一致したと判断する。閾値の設定はシステムの精度に大きく影響するため、下記のように閾値を決定する機能を実現した。

- (1) すべてのサンプルを順番に数回ずつ行い、その結果を保存する。
- (2) 各サンプルについて、認識率、誤認識率、未認識を計算する。
- (3) ユーザが各サンプルの閾値を変更することで認識率などが再計算される。

ユーザは認識率などの情報から各サンプルの閾値を適切な値に調整する。具体的には、すべてのサンプルについて、他のサンプルとの誤認識がなく、かつ認識率が 100% であるような閾値に設定を行う。次章の実験はこの方法により適切な閾値に設定されたシステムを用いている。

4. 評価

提案する動作認識手法の有用性を検証するため、図 15 に示す 5 種類のステップを順番に 10 回ずつ行うことを 10 セット行い、認識率を調査する実験を以下の 3 種類の方法で行った。ステップは動きの始めが類似しているものを選んだ。

- (1) サンプルの前半部分のみで判別
- (2) サンプルの前半部分 +100 ms のみで判別
- (3) 提案手法

各ステップに割り当てる音は、変更されても違和感の少ない音を選んだ。また、今回の実験では、提案手法においてサンプルの前半の後に訂正を行う時間は 100 ms としている。実験はダンス歴 7 年の筆頭筆者が行った。実験結果を表 4 に示す。

結果より、前半のみで認識した場合は認識時間が少ないため誤認識が多くなっていることが分かる。特に、ステップ 2 とステップ 4 の動きは最後に足を着くかだけの違いであり、判別ができていなかった。しかし、必ず前半部分のみで判別を行うため動きと音は同期しており、自ら音を奏でている感覚があった。前半部分 +100 ms で認識した場合は、誤認識がほとんど起こっていないが、この方法では動きと音がずれているため違和感を感じた。



図 15 実験用のステップ 5 種類
Fig. 15 Five dance steps for experiment.

表 4 3 つの手法の認識回数
Table 4 Recognition accuracy in three methods.

	前半のみ					前半 + 100 ms					提案手法				
ステップ番号	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
認識	99	62	100	96	100	100	98	100	98	99	99	62	100	96	99
誤認識	0	38	0	3	0	0	2	0	0	1	0	0	0	1	0
未認識	1	0	0	1	0	0	0	0	2	0	1	0	0	1	0
正しいステップへ変更											0	37	0	2	0
誤変更											0	1	0	0	1

提案手法では、動きの前半部分（1 段階目）だけでは誤認識が多いものの、2 段階目の認識により正しいステップとして認識結果が変更されるため、結果として誤認識や見認識はほとんど起こっていないことが分かった。また、1 段階目の認識で音を出力するため、出力のタイミングも動作と同期しており違和感を感じなかった。一方、誤変更も少しだけが発生した。アルゴリズム上、1 段階目で正しく認識したものを 2 段階目で間違えることはほとんどないが、適切な閾値が設定できていなかったことが今回誤変更が起こった理由であると考えられる。さらに、後半の判別を行うときに、現在では単純に各サンプルの類似度を比較しているが、その方法についても検討する必要があると考えられる。

今回は 2 段階目の認識を行うタイミングを 100 ms 後に固定したが、音のつながりによってどのタイミングで出力音を変更すれば一番違和感がないかわかってくると考えられる。したがって、音源の組合せごとに認識時間を設定できるようにすることが有効である。

4.1 実利用による評価

2008 年 12 月 13 日および 14 日に行われた神戸ルミナリエのイベントステージにおいて、本システムを用いたパフォーマンスを行った。提案手法により、動きのタイミングに合った音出力され、ステップを行うたびに様々な音出力されるパフォーマンスにより、観客から歓声があがっていた。本システムを利用することでダンスは演奏者となるので、ダンスの技術だけでなく、音に対する感性が重要となる。今後は動きと音の組合せによる心地良さについても考察する必要があることが分かった。

5. 関連研究

生理情報をセンシングして音楽に変換する方法として、筋電位センサを用いた BioMuse⁹⁾ が、Tanaka らにより 1993 年に発表、製品化された¹⁰⁾。BioMuse は身体表現を MIDI 情報として出力して演奏を行う装置であり、多くのミュージシャンがパフォーマンスに使用した。しかし、筋電センサでは連続的な動きのパターン判別は難しく、ダンスによって意図を持った演奏をすることには利用できない。

身体情報をセンシングする楽器としては、YAMAHA が 1996 年に製品化した MIBURI⁶⁾ がある。MIBURI はセンサが取り付けられた専用ウェアを着て、グリップを両手に装着し、ボタンを押しながら動くことによって身振りで演奏する装置である。しかし、この方法では奏者は、演奏するために特定の姿勢をとる必要があり、踊ることによって演奏するという順序関係にはなっていない。

加速度センサを利用した例としては、Paradiso らによる、Dancing Shoes の研究¹¹⁾ が

有名である。靴に多数のセンサを取り付け、16種類のパラメータを取得することにより、MIDI データとして音を出力する。しかし、Dancing Shoes はセンサの生データを音に変換するためステップごとに音の割当ては行えず、ダンスの思いどおりの演奏は実現できない。

画像処理を用いた例としては、Camurri らによる、Eyesweb¹²⁾がある。Eyesweb はフリーで公開されているソフトウェアで、画像処理で解析した身体情報からパッチを利用して GUI でエフェクトを作成し、映像や音楽の制御を行う。VJ (Video Jockey) などのリアルタイムパフォーマンスに利用されている。Eyesweb は動きにより音楽の制御、ダンスの構成が可能ではあるが、BGM の拍を考慮し、動きと音のタイミングを考えた認識は行えず、演奏に用いるという点では不十分である。

アーケードゲームや家庭用ゲームでは、ダンスダンスレボリューション、ギターフリークス、ドラムマニアなどが新しい体感型音楽エンタテインメントが広く楽し込まれている¹³⁾。これらのゲームは音楽自体の楽しさと身体活動のゲーム性、爽快感をあわせ持つ、新しい遊びのジャンルを確立した¹⁴⁾。また、近年では、任天堂の Wii Music¹⁵⁾が登場し、ジェスチャによる音楽演奏が実現されている。しかし、これらのゲームでは、現状ではごく簡単な演奏しか行えず、ユーザによる自由な表現ができない。

6. ま と め

本研究では、ダンスのステップにより音を奏で、スクリプトによりダンスの構成を作ることが可能なウェアラブルダンシング演奏システムを提案した。スクリプト記述により、動きに対応した音の制御、BGM などの演奏全体の制御が行え、直観的かつ表現力豊かな音楽制作が可能となった。また、ダンスによる音出力の特徴を感性実験によって明らかにし、動きと音のタイミングの重要性を考慮した動作認識手法、演奏の精度を高めるための2段階での動作認識手法を提案した。提案手法により、ダンスのステップに合った音出力を高精度で行えるようになった。

本システムの応用例としては、ダンスを1つの楽器と見立てたオーケストラの実現、ダンスバトルのようなセッション演奏の新しい形が考えられる。オーケストラでは、複数人がそれぞれ本システムを利用することにより、複数人のダンスおよび出力音を重ね合わせることで音楽を創作できる。それぞれのダンスは周囲のダンスのステップや出力音に合わせて自分の出力音やステップを変更することができ、動きと音を考慮した周囲とのインタラクションが可能となる。ダンスバトルとは、お互いに向かい合い、DJ が流す曲に合わせてダンスが交互に踊り、審査員や観客が勝敗を決めるものであるが、そこにステップによる演奏の要素

を加えることで、単にダンスステップによる挑発や主張だけでなく、どの音とどの動きを組み合わせるかのセンスが問われるようになり、さらには相手が出力した音に対して自分の出力音をいかに適切に切り替えるか、といった点も勝負の重要なポイントとなる。

このように、提案システムを用いることで、ダンスおよび音楽演奏の領域において新たな表現方法や他人とのインタラクション方法が確立できると考えている。

今後の課題として、音を途中で変更する動作認識手法において、音の組合せ、認識の方法についての調査を続けることで手法の有用性を確認していく。

謝辞 本研究の一部は、中山隼雄科学技術文化財団研究助成および科学研究費補助金特定領域研究 (21013034) の支援によるものである。ここに記して謝意を表す。

参 考 文 献

- 1) 長嶋洋一：メディア・アートと生体コミュニケーション、静岡文化芸術大学紀要第2号, pp.107-122, 静岡文化芸術大学 (2003).
- 2) Siegel, W. and Jacobsen, J.: Composing for the Digital Dance Interface, *Proc. International Computer Music Conference (ICMC'99)*, pp.276-277 (1999).
- 3) Bromwich, M. and Wilson, J.: 'BODYCODER' A sensor suit and vocal performance mechanism for real-time performance, *Proc. International Computer Music Conference (ICMC'98)*, pp.292-295 (1998).
- 4) 澤田秀之, 橋本周司：加速度センサを用いたジェスチャー認識と音楽制御への応用, 電子情報通信学会論文誌, Vol.79, No.2, pp.452-459 (1996).
- 5) Sidney, F. and Mase, K.: Iamascope: A graphical musical instrument, *Computer & Graphics*, Vol.23, pp.277-286 (1999).
- 6) YAMAHA 「MIBURI」ホームページ.
<http://www.yamaha.co.jp/design/products/1990/miburi/>
- 7) 迫江博昭, 千葉成美：動的計画法を利用した音声の時間正規化に基づく連続音声認識, 日本音響学会誌, Vol.27, No.9, pp.483-490 (1971).
- 8) 藤田直生, 義久智樹, 塚本昌彦：放送型配信を用いたデータ収集のためのセンシングシステム, 情報処理学会マルチメディア, 分散, 協調とモバイルシンポジウム (DICOMO 2007), Vol.2007, No.1, pp.1440-1447 (2007).
- 9) Tanaka, A.: Musical Technical Issues in Using Interactive Instrument Technology with Application to the BioMuse, *Proc. International Computer Music Conference (ICMC'93)*, pp.124-126 (1993).
- 10) sensorband. <http://www.sensorband.com/>
- 11) Aylward, R. and Paradiso, J.: Sensemble: A Wireless, Compact, Multi-User Sensor System for Interactive Dance, *Proc. International Conference on New Interface for Musical Expression (NIME'06)*, pp.134-139 (2006).

- 12) Camurri, A. Hashimoto, S. Ricchetti, M. Ricci, A. Suzuki, K. Trocca, R. and Volpe, G.: EyesWeb: Toward Gesture and Affect Recognition in Dance/Music Interactive Systems, *Computer Music Journal*, Vol.24, No.1, pp.57–69 (2000).
- 13) KONAMI. <http://www.konami.jp/>
- 14) 足立 剛, 片寄晴弘: ダンスゲームのためのリズム感の評価モデルの構築, 映像情報メディア学会技術報告, Vol.25, No.35, pp.49–54 (2001).
- 15) 任天堂 Wii Music. <http://www.nintendo.co.jp/wii/r64j/index.html>

(平成 21 年 3 月 17 日受付)

(平成 21 年 9 月 11 日採録)



藤本 実

2007 年神戸大学工学部電気電子工学科卒業。2009 年同大学院工学研究科電気電子専攻修士課程修了。現在同大学院工学研究科電気電子専攻博士後期課程に在籍。ウェアラブル・エンターテインメントコンピューティングに興味を持つ。



藤田 直生 (学生会員)

2002 年奈良工業高等専門学校卒業, 2004 年同専攻科修了。2006 年大阪大学大学院工学研究科博士前期課程修了。現在, 神戸大学大学院工学研究科博士後期課程に在籍。ユビキタス・ウェアラブルコンピュータに興味を持つ。



竹川 佳成 (正会員)

2003 年三重大学工学部情報工学科卒業。2005 年大阪大学大学院情報科学研究科修士課程修了。2007 年同大学院情報科学研究科博士課程修了。同年より神戸大学自然科学系先端融合研究環重点研究部助教。現在に至る。2007 年より CrestMuse プロジェクト共同研究員を兼任。博士 (情報科学)。音楽情報科学, ウェアラブルコンピューティングの研究に従事。



寺田 努 (正会員)

1997 年大阪大学工学部情報システム工学科卒業。1999 年同大学院工学研究科博士前期課程修了。2000 年同大学院工学研究科博士後期課程退学。同年より大阪大学サイバーメディアセンター助手。2005 年より同講師。2007 年神戸大学大学院工学研究科准教授。現在に至る。2004 年より特定非営利活動法人ウェアラブルコンピュータ研究開発機構理事, 2005 年には同機構事務局長を兼務。工学博士。アクティブデータベース, ウェアラブルコンピューティング, ユビキタスコンピューティングの研究に従事。IEEE, 電子情報通信学会, 日本データベース学会, ヒューマンインタフェース学会の各会員。



塚本 昌彦 (正会員)

1987 年京都大学工学部数理工学科卒業。1989 年同大学院工学研究科修士課程修了。同年シャープ (株) 入社。1995 年大阪大学大学院工学研究科情報システム工学専攻講師, 1996 年同専攻助教授, 2002 年同大学院情報科学研究科マルチメディア工学専攻助教授, 2004 年神戸大学電気電子工学科教授となり, 現在に至る。2004 年より特定非営利活動法人ウェアラブルコンピュータ研究開発機構理事長を兼務。工学博士。ウェアラブルコンピューティングとユビキタスコンピューティングの研究に従事。ACM, IEEE 等, 8 学会の会員。