

触覚呈示を備えた没入型エアギターシステム

岩谷亮明[†] 澤田秀之[†]

昨今、コンピュータを用いて没入感を演出、強調しようという試みがさかんに行われている。仮想現実や拡張現実といった没入感を演出する技術を用いたシステムがこれまでに多く提案されているが、それらの感覚的フィードバックには、視覚、聴覚を通じたものが主で、触覚感覚のフィードバックが可能なものは、あまり見られない。感覚フィードバックとして、視覚、聴覚に加えて触覚を与えることで、ユーザはより高い没入感を得ることでできると考えられる。そこで、人間が視覚、聴覚、触覚を使って楽器演奏をおこなうことに注目し、エアギターなどの楽器を演奏する動作に、楽器音、拡張現実感技術、触覚呈示技術を組み合わせて多様な感覚を刺激することにより、仮想空間にいるユーザにより高い没入感を演出できるのではないかと考えた。本研究では、ギター演奏を体感できるシステムを構築し、ユーザ実験による評価をおこなった。

Immersive Air Guitar System Presenting Tactile Sensations

YOSHIAKI IWATANI[†] HIDEYUKI SAWADA[†]

Immersive technologies have been studied to emphasize human feelings in a virtual environment. Various experimental systems realizing VR and AR have been introduced so far, however most of them are base on the visual and auditory sensations. A user will be able to get the better immersive feelings through tactile sensations in addition to the visual and auditory sensations as sensory feedback. We focus on the multimodal interaction with a musical instrument, musical sounds and visual entertainment in playing the music, and construct an AR musical environment by presenting various sensations through vision, musical sounds and tactile stimuli. In this study, we construct an immersive air guitar system presenting tactile sensations of guitar playing performance, which is evaluated by the users' experience of guitar performance.

1. はじめに

昨今、コンピュータを用いて没入感を演出、強調しようという試みがさかんに行われている。没入感とは、ユーザの多感覚を刺激して擬似的環境を作り出すことによって、ユーザがその空間に入り込むように感じさせるものである。コンピュータグラフィックスや音響技術などを利用して人間の視覚や聴覚に働きかけ、空間や物体、時間に関する現実感を人口的に作りだして没入感を演出する仮想現実感 (Virtual Reality) や、実世界から得られる知覚情報にコンピュータで情報をインポートすることで没入感を強調する拡張現実感 (Augmented Reality) などの技術を使用したシステムが、これまでに数多く提案されている。また、Microsoft 社の Kinect を用いて、人間の自然な動作を認識し、計算機や機械を操作するナチュラルユーザーインタフェースに関する研究も盛んになってきている。これにより、人間のジェスチャによる没入感の演出が可能になり、ユーザの演出表現の幅も広がっている。これらの成果により、ヒューマンインタフェース技術のさらなる発展に大きな期待ができる。しかし、これらの VR, AR などのシステムには、視覚や聴覚の感覚的フィードバックが可能なものは数多く存在するが、触覚として感覚のフィードバックが可能なものは、あまり見られない。

感覚フィードバックによって、視覚、聴覚に加えて触覚を呈示することで、ユーザはより高い没入感を得ることができるようになると思われる。我々はこれまでに、仮想物

体をビデオシースルー型 HMD に通してユーザの視野に重畳表示し、視聴覚及び触覚への応答を行うインタラクティブなシステムの研究を行ってきた。これにより、より高い没入感を得るために、触覚呈示が有効であることが検証されている[1]。

そこで、人間が視覚、聴覚、触覚を駆使して楽器演奏をおこなうことに注目し、エアギターなどの楽器を演奏する動作に、楽器音、拡張現実感技術、触覚呈示技術を組み合わせて、多様な感覚を刺激することにより、仮想空間内にいるユーザにより高い没入感を演出できるのではないかと考えた。本研究では、ギター演奏を体感できるシステムを構築し、ユーザ実験によりその有効性の評価をおこなった。

2. システム構成

本システムは図1に示すように、PC、映像ディスプレイ、スピーカ、Kinect、触覚グローブ、マーカで構成される。ユーザはマーカと触覚グローブを身につけて Kinect の前に立ち、ギターCGが重畳された自身の演奏動作をディスプレイで見ながら、ギターを演奏することができる。

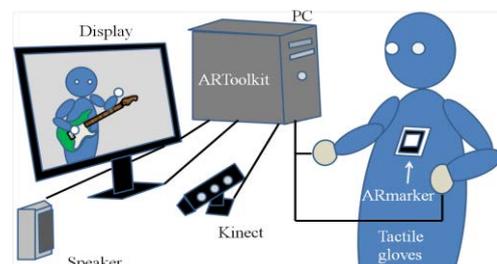


図1 システム構成

[†] 香川大学 工学部

Faculty of Engineering, Kagawa University

2.1 Kinect

Kinect は、RGB カメラ、深度センサ、指向性マイクアレイ、チルトモータを内蔵している。図 2 に Kinect の概要を示す。深度センサにより、センサからの対象物の距離（深度情報）を実時間で取得することができる。また、人体の各部位の 3 次元位置（スケルトン情報）も取得可能である。本研究では、この Kinect を人間の動作を認識するモーションキャプチャの部分に使用する。

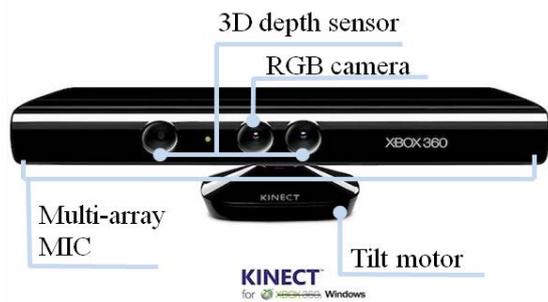


図 2 Kinect 概要

2.2 ARToolKit による CG 画像の重畳

ARToolKit は、AR (Augmented Reality: 拡張現実感) アプリケーションの開発に利用できる C 言語用のライブラリである[2]。パターンを印刷したマーカをカメラで読み取ることにより、その位置と姿勢を実時間で計算して、マーカの上に 3D オブジェクトをリアルタイムにオーバーレイ表示することが可能である。本ライブラリを用いることにより、比較的容易に AR アプリケーションを作成することができる。

本研究では、ユーザにギター音を再生するトリガーとなる右手を振り下ろす位置と、ギター音を変化させる左手の位置を示すため、図 3 に示すようなフレットが 5 つに色分けされたギター CG を重畳する。ARToolKit の仕様上、取得した画像に対して、最前面に 3D オブジェクトを重畳してしまう。原色のままギター CG を表示してしまうとユーザの手が隠れてしまい、左手がどの位置にいるかユーザがわからなくなってしまうため、現段階ではギター CG を半透明にして表示している。また、各色に対応し再生されるギター音のコードを、表 1 に示す。



図 3 重畳するギター CG

表 1 各色に対応しているコードと生成音

色	コード	触覚を呈示する個所
赤	G ₅	人差し指, 中指(左手)
青	B _{b5}	人差し指, 薬指(左手)
緑	C ₅	中指, 薬指(左手)
紫	D _{b5}	薬指, 小指(左手)
橙	G _{b5}	人差し指, 中指, 薬指(左手)

2.3 触覚グローブ

本研究で用いる触覚グローブは、20 個の触覚呈示アクチュエータを指先に編み込んだ布製の手袋である。触覚アクチュエータは、直径 50 μ m、長さ 8mm 程度の糸状に加工した形状記憶合金 (SMA) ワイヤを用いている。本 SMA ワイヤは、電流を流し蓄熱させることによって 5% 程度長さ方向に収縮し、放熱によって温度が下がると元の長さに戻るという特性を持つ。この SMA ワイヤを図 4 に示すようにアーチ状に配置してパルス電流を加えると、パルスの ON/OFF に同期して伸縮運動を繰り返し、300Hz までの微小振動を起こすことができる。このアクチュエータを図 5 に示すように 2 個 1 組として、各指先の内側に縫い付けた。これによって指先を使う楽器の触覚を再現することが可能である。

2 個を 1 組とすることで、触覚の高次知覚の一つである仮現運動を呈示できる。これは皮膚上の 2 点に時間差をもって振動刺激が加えられた時、刺激像が先に加えられた刺激点から他方へ連続的に移動していくように感じられる現象である (図 6)。これによって、物をなぞる、または何かが皮膚の上を移動していくといった様々な感覚を生起させることが可能である。

本研究では、ギター弦は右手親指で弾くものとした。右手親指に縫い付けられた 2 組のアクチュエータに 20 msec ほどの時間差をつけて 5Hz、デューティ比 10% のパルス電流を加えることで、仮現運動を呈示し、ギターの弦を弾く触覚を呈示する。また左手には弦を押さえる触覚を再現するために、周波数 10Hz、デューティ比 11% のパルス電流を各指のアクチュエータに与える。

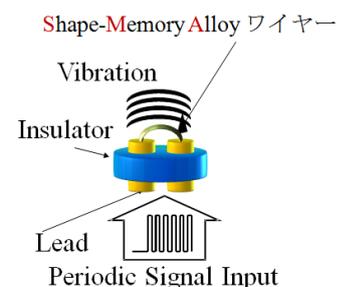


図 4 SMA 糸アクチュエータ



図5 触覚グローブ

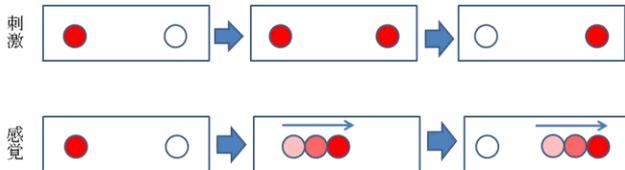


図6 触覚の仮現運動

3. 没入型エアギターシステム

初めに、KinectのRGBカメラによって画像を取得する。次にARToolKitのライブラリを使って作成されたアプリケーションによって、ARマーカを追跡する。位置と姿勢を計算してギターCGを重畳し、ユーザ画像をディスプレイに表示する。図7(a)はマーカを検出し、ギターCGを重畳している画像である。次にKinectの深度センサから深度画像を取得し、人間のシルエットからユーザの動作を認識する。ここでは、シルエットからスケルトン情報を取得し、両手の位置情報を元にジェスチャ認識を行う。図7(b)にスケルトン情報取得時の様子を示す。ユーザの左手の位置によって再生するギター音を決定し、右手の上から下に振り下ろす動作をトリガーとし、決定したギター音をスピーカから再生する。このとき、右手を振り下ろす速度によって、再生される音声の強弱も変化させる。触覚呈示も同様に右手が上から下に振り下ろされたとき、SMAアクチュエータにパルス電流を送信し、SMAを振動させる。これにより、右手親指にはギターの弦を弾いた触覚が、左手の指先には弦を押さえた触覚が呈示される。ユーザは、ただエアギターを演奏するだけでなく、ギターを見て、ギター音を聞いて、ギターの弦を感じることで、より高いギター演奏の没入感を得られる。



(a)ギターCGが重畳された画像 (b)スケルトン情報取得時の様子
図7 処理の様子

4. 右手の振り下ろし速度測定

前章で述べたように本システムは、右手の振り下ろす速度によって、再生されるギター音の強弱が変化する。強弱

を決定するパラメータを決めるため、右手を振り下ろす速度の測定を行った。大学生の男性1名に右手を肩の位置から腰の位置まで振り下ろす動作について、速い(0.1秒)、通常(0.5秒)、ゆっくり(1.0秒)の3種類を、各3回ずつおこなってもらい、Kinectによって得られた骨格情報から右手の位置をフレームごとに計測した。その結果を図8に示す。横軸はフレーム数で、縦軸は画像中心を原点とした右手の高さである。また右手の振り下ろす速度に変換した結果を図9に示すが、本システムが腕の振り下ろす速度を明確に区別できていることがわかる。この結果から、ギター音再生時、腕を振り下ろす速度が30から280[pixels/frame]において線形で音量が増加していくよう、パラメータを決定した。

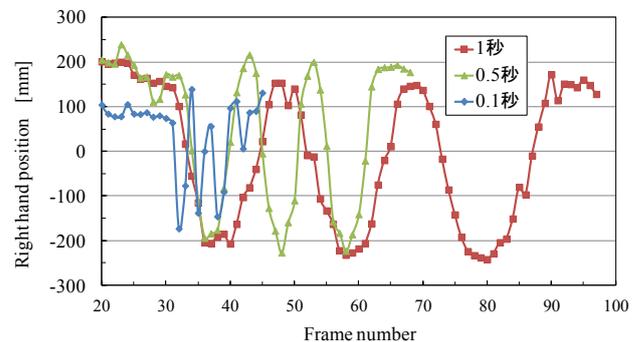


図8 右手位置計測結果

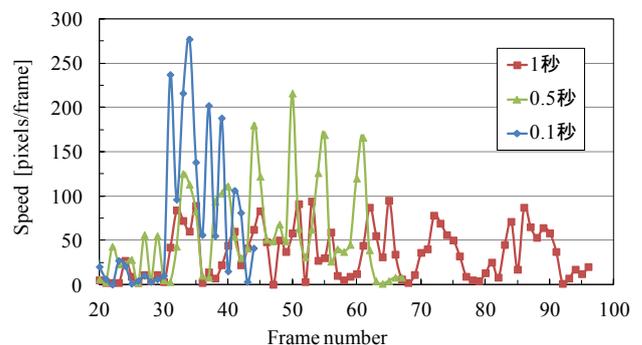


図9 右手振り下ろし速度計測結果

5. システム評価実験

作成したエアギターシステムの評価を行うため、大学生の男性5人に対して評価実験を行った。被験者には、最初にこのシステムを触覚呈示のない状態で図10に示す順に演奏してもらった。次に、触覚呈示のある状態で同様に楽曲を演奏してもらった。その後、以下A, B, Cの質問に5段階評価で回答させた。評価値は5から1のスケールで、肯定的から否定的とした。

- A: 腕を振りおろした速度と再生されるギター音の強弱が一致していたか。
- B: 呈示された触覚はギターを弾いているよう感じられたか。
- C: 触覚呈示のない場合と比べ、触覚呈示のある場合にギ

ター演奏の没入感（あたかもギターを弾いているような感覚）は得られたか。

D: このシステムを利用して楽しかったか。

Smoke on the water											
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
G ₅	B _{b5}	C ₅	G ₅	B _{b5}	D _{b5}	C ₅	G ₅	B _{b5}	C ₅	B _{b5}	G ₅

図 10 実験に用いた楽曲

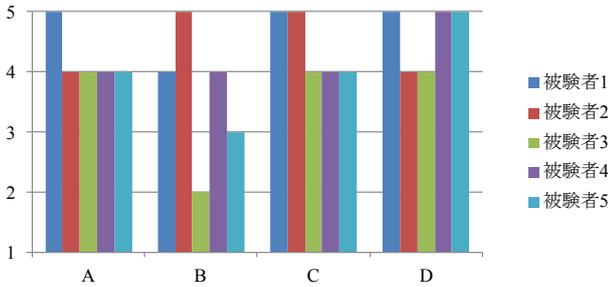


図 11 評価結果

評価結果を図 11 に示す。多くの被験者が本システムに対して、好評価を示した。特に触覚呈示によるギター演奏の没入感に関する質問において高い評価が得られ、触覚呈示が没入感を増幅させることに有効であることが示された。ギター弦の触覚呈示においては、低い評価を示す被験者もいたが、その被験者も触覚呈示による没入感の向上には肯定的な評価を示しており、間違った触覚呈示を行ったとしても、触覚呈示がない場合に対する没入感の低下は少ないと考えられる。また、被験者全員が本システムを使用して楽しかったと答え、本システムの面白さに対して評価を得られた。

被験者のコメントには、いくつかの問題の指摘もあり、本システムの課題に関するものを以下にあげる。

- ・触覚グローブにつながれているコードにより動きが制限されてしまう。
- ・手が触覚グローブの形にあわず、指先の触覚呈示部分にうまく触れることができない。
- ・実際のエアギターのようにもっと自由にパフォーマンスをしてみたい。

本実験においては、触覚グローブに対するコメントが多く、グローブを装着することによって、そのケーブル配線による動作の制限やわずらわしさが気になったと思われる。さらに現在のグローブは、平均的な男性の手の平のサイズを想定して製作しており、大きさが合わないとい十分な触覚感覚の呈示ができないという問題もわかった。また、エアギター本来の自由な楽しみ方をもっと出した方が良いのではないかというコメントも見られたため、今後はこれらの課題を踏まえて本システムの改良、評価を行っていく。

6. キャラクタとのセッション

本システムでは、CG の重畳に ARToolKit を使用しているため、マーカを二つ使用することで、ギターCG に加えて例えば、共演相手となるキャラクタの表示も可能である。キャラクタのモデルデータには、3D モデルを操作しコンピュータアニメーションを作成する 3DCG ソフトウェアである MikuMikuDance のモデルデータを使用した[3]。このモデルデータはインターネット上で数多くの種類が公開されており、ユーザはそこから好きなキャラクタを選び、セッションを行うことができる。キャラクタとのセッションを行う場合には、2 章で述べたシステムにウェブカメラを追加し、これをギターとキャラクタを重畳する画像の入力のために用いる。ウェブカメラの映像の例を図 12 に示すが、マーカが画面内に入るように設置されており、ユーザはキャラクタを映し出すマーカを遮らないように立つ。Kinect は、一人の演奏の際と同様にユーザの前に置き、ギター演奏動作を認識する。これによって、キャラクタはユーザの動きに合わせてギターを演奏する動作をし、ユーザとのセッションが可能となる。



図 12 キャラクタとのセッション

7. まとめ

本研究では、より高い没入感を演出する、触覚呈示機能を備えたエアギターシステムを提案した。本システムを用いて評価実験をおこなったところ、触覚呈示によって、ユーザはより高い楽器演奏の感覚を得ることができるとわかった。今後は評価実験により得られた課題を踏まえて、本システムの改良と評価を行っていく。

参考文献

- 1) 高瀬裕史, 姜長安, 澤田秀之: 「拡張現実空間における触覚呈示による仮想キャラクタとのインタラクションシステム」, 情報処理学会 インタラクション 2011 論文集, pp. 83-90, 2011.
- 2) 加藤博一: 「拡張現実感システム構築ツール ARToolKit の開発」, 電気情報通信学会, vol. 101, pp. 79-86, 2002.
- 3) MikuMikuDance, <http://www.geocities.jp/higuchuu4/>
- 4) 水上陽, 内田啓治, 澤田秀之: 「糸状形状記憶合金の振動を利用した高次知覚生起による触覚呈示」, 情報処理学会論文誌, Vol.48, No.12, pp.3739-3749, 2007.
- 5) 谷尻豊寿: KINECT センサー画像処理プログラミング, 2011.