

フォグディスプレイを用いた 空間的動作を伴う技術の学習支援

川崎 里梨香¹ 井村 誠孝^{1,a)}

概要: 技術の学習には、言葉では説明が困難な感覚的動作を伴うものがある。動作の学習支援システムとして様々な手法が提案されているが、空間の特定の位置に操作を行う場合、動作の障害とならない提示方法が必要である。本研究では、楽器テルミンの演奏を題材とし、動作を遮ることなく情報提示が可能であるフォグディスプレイを用いた学習支援情報の提示システムを構築する。

1. はじめに

技術の習得や伝授にあたっては、言葉で説明し理解することのできるものもあれば、言葉では説明が困難なものもある。スポーツ、音楽、伝統芸能などの分野では、動作の伝達に感覚的な表現が用いられている事例が多く見られる。感覚的な動作を独学で習得することは難しく、初心者には自身の動きが正確であるかどうかを見極めることは不可能に近い。特に楽器の学習は動作を必要とするにもかかわらず、教本のみでの自習によって独学で学ぶことも多いため、他者から教わるよりも感覚的な技術を習得するのは困難である。

動作の学習を支援するために様々な学習支援システムが提案されている。特に動作の学習が多いスポーツの分野では、VR 機器を用いたスポーツスキルの学習方法が提案されており [1]、日本プロ野球の球団である横浜 DeNA ベイスターズが導入した事例もある。また楽器の学習支援システムとして、ピアノ、ギター、ドラムなど様々な楽器を対象としたシステムが提案されている。学習支援情報の提示方法として、振動刺激による触覚提示を用いた手法 [2] や、スマートフォンの画面上に運指練習を視覚提示する手法 [3]、プロジェクタを用いて打鍵位置などの情報を鍵盤に投影する手法 [4] など、楽器の特徴に応じた提示方法が提案されている。

しかし、3次元空間の特定の位置を目標として動作を行う場合には、学習支援情報を投影する対象が存在せず、支援情報の提示自体が困難である。例として、スポーツであればバッティングのスイングの軌道や、楽器の演奏であ

ばテルミンを演奏する際の両手の位置などが挙げられる。視覚情報を提示するために実体のあるディスプレイを用いると、動作の障害となる恐れがある。本研究では、動作を遮ることなく情報提示が可能であるフォグディスプレイ [5] を用いて、空間的動作を伴う技術の学習支援システムを構築する。

2. 学習支援情報提示

本研究では、楽器テルミンの演奏を学習する対象とする。操作を行う手の位置計測のために距離画像カメラ、教示情報の提示のためにフォグディスプレイを用いて、空間的動作を伴う技術の学習支援システムを構築する。

2.1 テルミンの演奏と学習の支援方法

テルミンとは、図 1 に示すような 2 本のアンテナを持つ電子楽器である。本体に手を接触させず、空間中の手の位置によって音高と音量を調節し演奏することが特徴である。演奏者から見て右側から垂直方向に伸びた音高を決めるピッチアンテナに右手を近づけたり遠ざけたりすることで音高を変化させる。また左側面から水平方向に伸びた音量を決めるボリュームアンテナに左手を近づけたり遠ざけたりすることで音量を変化させる。演奏者とアンテナとの間に蓄えられる静電容量に応じて音高が変化するため、楽器単体だけではなく演奏者を含む周囲の環境に演奏が依存する。本研究では、テルミンのチューニングの変化は環境に依存するため事前にキャリブレーションし、演奏中は一定であるという前提条件の下でシステムを構築する。

学習に際しては課題曲を設定する。テルミンの演奏中、弾いている音名と音量、次に弾くべき音を出すための手の位置を提示する。課題曲の進行に沿った正しい音が演奏さ

¹ 関西学院大学

^{a)} m.imura@kwansei.ac.jp



図 1 テルミン

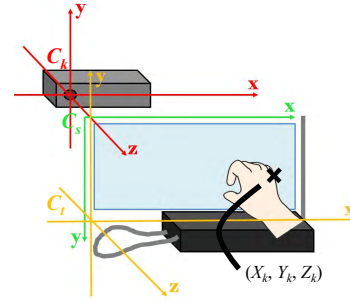


図 3 座標系間のキャリブレーション

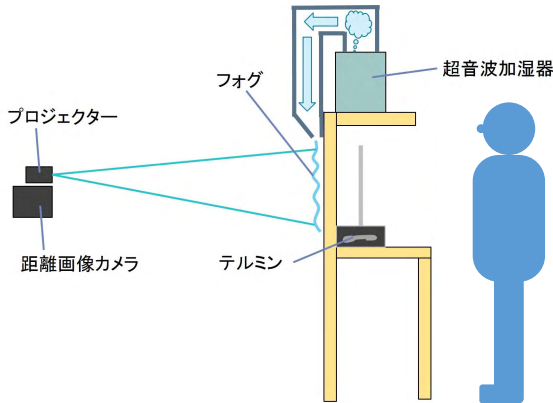


図 2 提案システムのハードウェア構成

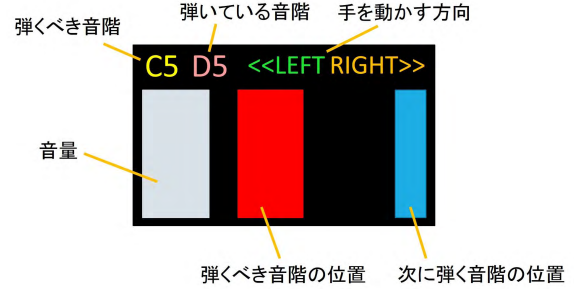


図 4 演奏支援のための提示情報

れると次の音の位置を提示する。

2.2 システム構成

テルミンより高い位置に複数の超音波加湿器を設置する。超音波加湿器から発生したフォグを向下きに噴出させてフォグスクリーンを形成し、プロジェクターで映像を投影する。前方に設置した距離画像カメラを用いて、手の位置の計測を行う。ハードウェアの構成を図 2 に示す。

2.3 演奏準備処理

演奏前の準備において、提示する音の位置を設定するために、音高と手の位置の対応付けを行う。

対応付けにあたっては、図 3 に示す距離画像カメラの座標系 C_k 、テルミン座標系 C_t 、スクリーン座標系 C_s の 3 座標系間の関係を知ることが必要である。まず任意の 4 点の位置計測結果に基づいて、距離画像カメラ座標系上の座標 (X_k, Y_k) とテルミン座標系上の座標 (X_t, Y_t) を対応付けるホモグラフィ変換行列を得る。一方で、テルミン座標系とスクリーン座標系の関係については、プロジェクターから全面白色の映像を投影し、境界がテルミンの筐体およびアンテナと平行になるように位置を調整することで、テルミン座標系とスクリーン座標系を同一とみなす。

次にテルミン上で手をゆっくりと動かし、手の位置と出力されている楽器音の音高の情報とを取得する。距離画像中の最もカメラからの距離に近い位置を手の位置とみな

す。距離画像カメラ座標系とテルミン座標系間の座標変換を適用することで、テルミン座標系と音高を対応付ける。

2.4 音高分析と支援情報の決定

テルミンから出力された楽器音を A/D 変換し、離散フーリエ変換により周波数スペクトルを得る。周波数強度が最も強い周波数帯から、出力されている楽器音の音名を得る。

演奏を支援するために提示する情報を図 4 に示す。画面上部の左側に弾くべき音名と弾いている音名を、右側に現在の手の位置からどちらに動かすべきかを提示する。中央部分には弾くべき音の位置と次に弾くべき音の位置を色分けして表示する。課題曲が設定されている場合、現在テルミンから出力されている音が弾くべき正しい音高であると認識された場合に、次の音の位置を提示する。

3. システムの実装

本研究では学習する楽器として Etherwave Theremin-Standard (MOOG 社)、フォグを発生させる装置としてアロマ超音波式加湿器 BBH-74-WH (株式会社阪和) を 3 台、手の位置を計測するために距離画像カメラとして Microsoft Kinect V2 を用いた。プロジェクターはモバイルプロジェクター PRJ-3 (サンワサプライ社) を使用した。ハードウェアの外観を図 5 に示す。木製のラックの上部に超音波式加湿器を 3 台並列に設置し、先を薄いスリット状に成形したアルミ製パイプで噴出口を作成して、テルミンの演奏領域に図 6 に示すフォグスクリーンを形成した。

システム全体の開発言語には Processing を用いた。リアルタイム音声入出力には minim ライブラリを使用した。



図 5 ハードウェアの外観

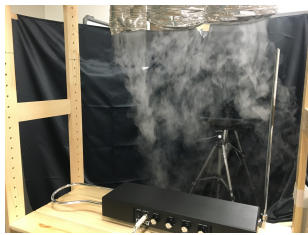


図 6 フォグスクリーン

キャリブレーション時の座標変換行列の算出には Python を用いた。

音高分析のため、テルミンから出力された楽器音を、サンプリング周波数 44.1kHz、量子化ビット数 16 ビットで A/D 変換した。サンプル数 16384 個 (約 0.37 秒) の区間に対して短時間フーリエ変換を行い、約 250Hz から約 4000Hz までの周波数成分を得た。得られた周波数成分のうち、成分の大きさが最大でありかつ閾値以上である周波数帯に基づいて音高を得た。

課題曲の設定にあたっては、「ド、ド」など同じ音高が連続するフレーズ、「ソ、ラ」など変化記号がついていないもので隣り合う音高へ移動するフレーズ、「ド、ソ」など離れた音高へ移動するフレーズ、これら三つのフレーズが楽器演奏において基礎的なフレーズである。よってこれらのフレーズを含み、かつ誰もが知っている曲である「きらきら星」を課題曲として設定した。

演奏モードでは課題曲に沿って弾くべき音の位置を表示した。今弾くべき音の位置を赤色で表示し、次に弾くべき位置を青色で表示するため、次の音への手の移動をスムーズに行うことが可能である。また「ド、ド」など同じ音高が連続してくる場合には、青色での表示はせず赤色のみで表示した。画面の上部左には「弾いている音、弾くべき音」を表示した。上部右には手をどちらに動かせば弾くべき音が鳴るのかを補助情報として表示した。

演奏中の提示画面を図 7 に示す。弾くべき音が鳴ると、弾いている音の右横に「ok」と表示し、提示内容を切り替える。「ド、ド」など同じ音を連続で弾くフレーズの場合、1 音目と 2 音目を区別して判定する必要がある。そのため

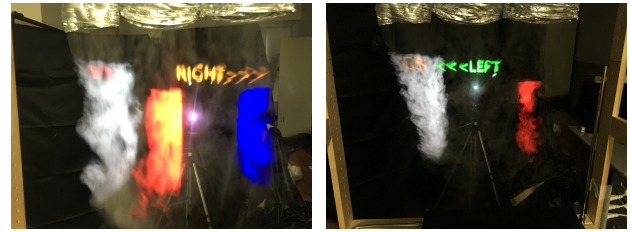


図 7 演奏中の提示画面

提示内容は 1 音目を弾いてから周波数強度が 100 以下に下がった状態、または違った音階が鳴っている状態が 0.2 秒以上経過したときに切り替えた。

短期間の評価実験では、システムの有無により学習効果の差があるという結果は得られなかったが、複数人から、リアルタイムに音高が提示されることは、演奏の補助として非常に有効であったなどの肯定的な意見が得られた。

4. おわりに

本研究では、言葉では説明が困難な感覚的動作を用いる技術の学習支援を目的として、テルミンを学習対象として感覚的動作の空間の特定の位置に操作を行う技術の学習システムの提案と構築を行った。提案手法では、動作を遮ることなく情報提示が可能である提示デバイスが必要であるため、フォグディスプレイを提示デバイスとして使用した。また課題曲を設定し、空間中に音の位置を提示し、視覚的に操作すべき部分を認識できるようにすることで、スムーズに演奏学習を行うことが可能なシステムを構築した。

参考文献

- [1] 本莊直樹, 伊坂忠夫, 満田隆, 川村貞夫: HMD を用いたスポーツスキルの学習方法の提案, 日本バーチャルリアリティ学会論文誌, Vol. 10, No. 1, pp. 63-69 (2005).
- [2] 菅家浩之, 寺田努, 塚本昌彦: フレーズ内在化のための学習フェーズ分離による打楽器学習支援手法, 情報処理学会論文誌, Vol. 59, No. 1, pp. 236-245 (2018).
- [3] 榎原絵里, 宮下芳明: ヴァイオリン初心者のための無音運指練習支援システム, エンタテインメントコンピューティング 2011 予稿集, pp. 235-237 (2011).
- [4] 竹川佳成, 福家悠人, 柳英克: モチベーションを考慮したピアノ学習支援システム, 情報処理学会論文誌, Vol. 57, No. 4, pp. 1193-1206 (2016).
- [5] 八木明日華, 井村誠孝, 黒田嘉宏, 大城理: 多視点観察可能なインタラクティブフォグディスプレイ, 日本バーチャルリアリティ学会論文誌, Vol. 17, No. 4, pp. 409-417 (2012).