



運指の視覚化による楽器演奏訓練手法の提案

A Novel Training Method for Musical Instruments Using Finger Movement Visualization

森田小百合¹⁾, 嵯峨智²⁾

Sayuri MORITA, and Satoshi SAGA

1) 熊本大学 自然科学教育部 (〒 860-8555 熊本県熊本市中央区黒髪 2-39-1, morita@saga-lab.org)

2) 熊本大学 先端科学研究部 (〒 860-8555 熊本県熊本市中央区黒髪 2-39-1, saga@saga-lab.org)

概要: 従来, 管楽器楽器の演奏時には自身の指を視覚的に確認することが難しく, 運指の成否は発生する音で確認するほかなかった. そこで我々は, 拡張現実を活用することにより発生する音による聴覚的なフィードバックやキーを押すことによる触覚的なフィードバックに加え, 運指の様子を自身の眼前に表示することによって視覚的なフィードバックを与え, 複数の感覚刺激を併用して楽器演奏の訓練を実現するシステムを開発する. 本稿ではこの手法が演奏技能の向上に有効かどうかを検証する.

キーワード: 楽器演奏訓練, 運指, 可視化

1. はじめに

現在, 拡張現実 (Augmented Reality: AR) やバーチャルリアリティ (Virtual Reality: VR) は様々な分野で活用されている. 一方で, 芸術分野, 特に音楽分野における AR や VR 技術の活用事例は他分野と比べて少なく, 今後の発展が期待される分野である. 先行研究では, ピアノや打楽器, ギターなどに対して AR および VR を活用することの有用性が示されている [1].

また, AR や VR 技術を音楽分野で活用した事例として初心者の音楽に対する興味や関心を喚起することを目的としたものや演奏の魅力を最大限に引き出すことを目的としたシステムが提案されている. しかし, AR や VR を単純な楽器の演奏を練習するためのシステムとして活用した事例は少ないこの原因としては既存の Musical XR システムは個人の体験を対象とした開発に主に焦点を置いていること, そして音楽に関する練習において個人で行われる練習は生産性が低いことが挙げられる [1, 2]. AR を楽器演奏の練習に活用した事例としては, 正しい指の位置を AR を用いて示し, 利用者はそれを見ながら実際のギターの弦を正しく抑えて練習を行うアプリケーションの開発があり, その有効性が示されている. [3]

また, 実際に楽器を演奏する際は, 自身の運指を視覚を用いて確認しながら演奏を行うことは難しい. そのため, 現在の自身の運指と発された音との対応関係は, 自身の感覚を頼りに理解する必要があった.

そこで, 本システムでは視覚と聴覚の 2 つの感覚を同時に刺激し, 楽器演奏経験者が手軽に楽器演奏の練習を行うことができるシステムを提案する. AR や VR の環境下で複数の感覚を刺激することにより, 感覚モダリティの統合という AR や VR を用いたシステムの本質を活かしたシス

テムの構築を可能にすることができる [2]. 本稿では開発したシステムが楽器練習用のシステムとして有効な手段であるか否かを System Usability Scale (SUS) 評価 [4] を用いて評価を実施する. SUS 評価は, 少ないサンプル数であっても高精度な結果を算出できる利点がある.

2. 提案手法

本章では, 提案するシステムの構成および動作について説明する.

2.1 環境設定

AR 環境は Unity 上で作成し, 計算機上で動作させている. 画面に表示させる周囲の映像には同一計算機内蔵のカメラを利用した. 演奏者の手指のトラッキングは UltraLeap 社の Leap Motion Controller 2 を利用した. また, 本システムで AR 環境を構築するために Easy AR を用いた. 本システムでは Leap Motion で取得した手指のトラッキング情報を用いてどの指でどのボタンを押したかを把握し, 押されたボタンの組み合わせに応じて, 対応する音が再生される設計とした.

本システム構築の目的は, 複数の感覚を刺激することにより自身の運指と音との対応関係を知ることができるシステムの構築であるため, 楽器演奏における運指以外の要素の把握が必要である金管楽器は対象から外した. また, 木管楽器の中でも運指がリコーダーに類似し, かつ木管楽器の中でも特に大型楽器に分類されるサクソフォンを本研究の対象楽器として選定した.

2.1.1 提案するアプリケーション画面

提案するアプリケーションでは実験協力者が計算機のディスプレイを見ながら演奏する. ディスプレイ画面上には自身とその周りを計算機内蔵のカメラで映した映像とマーカ

をかざした際に出現するシリンダーオブジェクトが映し出されている。操作者はこの画面のシリンダーオブジェクトを視覚的なフィードバックとして用いる。各ボタンを指で押すと対応した音が鳴るように設計されている。また、シーン画面上で行っているボタンを押しているか否かの判定と呼応して図 1 のようにボタンの色に変化するようにしている。



図 1: 実際の演奏者が見るアプリケーション画面

これにより、実験協力者が現在自身がどのボタンを押しているかのフィードバックがより明確に行われるようになっている。

3. 実験

本実験では、聴覚および触覚フィードバックに加え、視覚的なフィードバックが楽器演奏技能向上に影響を与えるかを検証する。本実験は 20 代の男女 5 名を対象に行った。

3.1 実験概要

実験協力者にはサクソフォンの運指表と図 2 の代替楽器を配布し、代替楽器の上で運指をすることで AR 環境下での演奏体験を行ってもらった。なお、システムの簡易化のために本システムでは実際の楽器に付属している穴をふさぐための蓋を作成するのではなく、透明な滑り止め用のゴム足を用いて凹凸を作成することによって触覚フィードバックを与えている。実験を開始する前に代替楽器を用いた AR

環境下での楽器演奏に慣れるための時間を設けた。その後、実験協力者には 5 分間の練習時間を与え、その後課題曲の演奏を行ってもらった。実験後はアンケートを行った。課題曲として実験協力者に課した曲はパブリックドメインかつ、多くの人が知っている可能性の高い曲である「ふるさと」(作詞: 高野辰之, 作曲: 岡野貞一)を選定した。また、実験は視覚的なフィードバックがある場合とない場合の 2 種類を行い、順序効果を排除するため、実験の順序はランダムに決定した。実験協力者に視覚的なフィードバックを与える条件では図 1 のような形で、実験協力者の運指が自分の眼前に見える形で視覚的なフィードバックを与えられながら演奏をする。一方、視覚的なフィードバックが与えられない場合は実験協力者の運指が見えない状態で演奏をする。



図 2: 代替楽器

3.2 アンケート

実験終了後に実験協力者はシステムに対する SUS による評価を行った。SUS 評価は肯定的な質問と否定的な質問を交互に出題した 10 問の問いに対して実験協力者が 5 段階のリッカート尺度で回答する評価手法であり、平均値は 68 点である。通常 SUS スコアは 0 から 100 までのスコアで表示され、肯定的な質問のスコアの合計から 5 を引いた値を x として、25 から否定的な質問のスコアの合計を引いた値を y としたとき、以下の式で算出することができる。

$$SUS = (x + y) * 2.5 \quad (1)$$

リッカート尺度で回答を求めた項目は以下の通りになっている。この他、楽器演奏の経験の有無、楽器演奏経験の年月、演奏経験のある楽器、システムを利用することにより、演奏能力が向上するか否か、その評価の理由、システムを利用したときに難しいと感じた点を自由回答形式で聴取した。

- このシステムを頻繁に利用したい
- このシステムは複雑である
- このシステムは使いやすい
- このシステムを利用するには専門的なサポートが必要だ
- システムの機能は統合されている
- システムは一貫性が欠けている
- ほとんどの人がこのシステムをすぐに使いこなすことができる
- このシステムは操作しにくい
- このシステムを使いこなす自信がある
- システム利用における前提知識が多くある

上記の SUS などによる評価以外にも自由コメントを記載してもらった。

4. 結果

本章ではアンケートの結果について述べる。本システムの SUS スコアは 70 であった。平均値である 68 点を超えることができた。この数値は SUS の形容詞的表現 [5] では OK と Good の間程度と評価できる。各質問項目におけるリッカート尺度による評価によって得られたスコアの平均点を表 1 に示す。肯定的な質問に関しては SUS スコアの点数が高い方が良いとされ、否定的な質問に関しては SUS スコアの点数が低い方が良いとされる。本稿では表 1 に記載された平均スコアについて、肯定的な質問の場合は平均スコアが 4.0 以上、否定的質問の場合は 2.0 以下の場合を良い評価、肯定的質問での平均スコアが 2.5 以下、否定的な質問での平均スコアが 3.0 以上の場合を悪い評価と設定した。事後アンケート内の各設問において良い評価と悪い評価を示した設問における解答の分布を示したグラフを図 3～図 7 に示す。

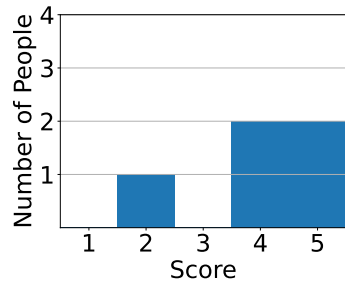


図 3: このシステムの利用により演奏能力の向上が見込まれると思う

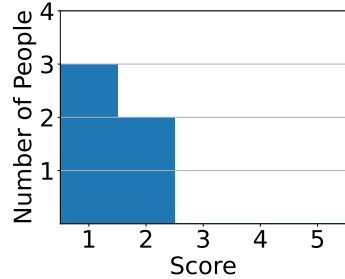


図 4: このシステムを利用前に必要な事前知識は多いと感じた

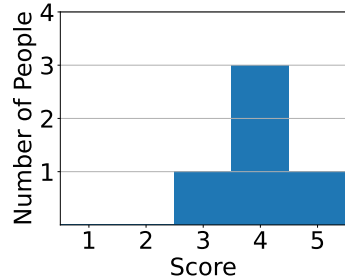


図 5: このシステムを頻繁に使いたい

表 1 よりアンケートの質問において「このシステムを利

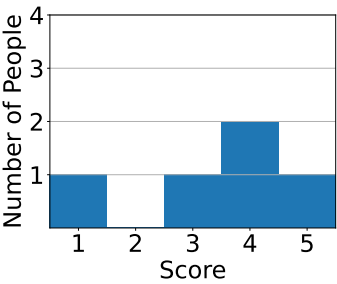


図 6: このシステムは操作を行にくい

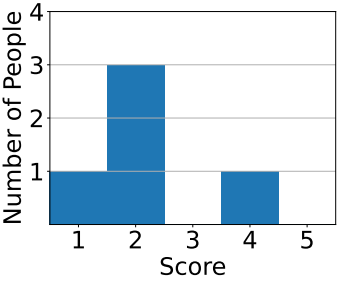


図 7: 連携が取れており、スムーズに操作を行えた

表 1: 各質問項目における評価の平均値

質問項目	平均値
楽器演奏の練習時に頻繁に使いたいと感じたか	4.0
このシステムは複雑すぎると感じたか	2.8
このシステムはシンプルな設計で使いやすいと感じたか	3.8
利用時にテクニカルサポートの必要性を感じたか	3.8
連携が取れており、スムーズに操作を行なえたと感じたか	2.2
このシステムには一貫性が欠けていると感じたか	3.0
ほとんどの人がこのシステムをすぐに使いこなせると思う	2.8
このシステムは操作を行にくい	3.4
このシステムを使いこなす自信があると感じたか	3.2
利用する前に必要な事前知識は多いと感じたか	1.4
演奏能力の向上が見込まれると思うか	4.0

用する前に必要な事前知識は多いと感じたか」という否定的な質問の平均点が 1.4 点という低い点であること、「楽器演奏の練習時にこのシステムを頻繁に使いたいと感じたか」という肯定的な質問に対する平均点が 4 点、「このシステムを利用することにより演奏能力の向上が見込まれると思いますか」という肯定的な質問に対する平均点が 4 点という高い点数を示していた。特に図 4 より、事前知識の必要性に関してはすべての実験協力者が 1 または 2 を選択しており、このシステムが単純で分かりやすい構成であることが示唆されている。また、図 5 より、「このシステムを頻繁に使いたいか」という質問に対してすべての実験協力者が 3 点以上の評価を行ったことがわかる。図 3 と表 1 より、平均値も高く、ほとんどの実験協力者がこのシステムを利用するこ

とによって演奏能力の向上が見込まれると回答しているが、1 人の実験協力者はあまりそうは思わないと回答をしていることがわかる。これはこのシステムは楽器演奏の練習を行うためのシステムとして利用することの有用性と同時に、現システムのユーザビリティにはまだ課題が存在していることを示唆している。

一方、自由コメントや実験時に得たコメントとしては、本システムにおける実験協力者の手の認識およびボタンを押したか否かの判定の精度の低さが課題点として多く挙げられた。この結果は SUS 評価にも大きく影響を与えている。「このシステムは操作を行いにくい」という設問における平均点が 3.4 点であり、図 6 より、回答のばらつきが非常に大きいことがわかる。また、「このシステムは連携が取れており、スムーズな操作を行えたと感じたか」という設問における平均点が 2.2 点であり、図 7 より 1 名を除き全員が 1 または 2 という低い評価を行っていることがわかる。したがって、SUS の点数は平均値以上であったが、操作に対する評価には個人差があり、実際に利用するにはまだ操作方法における課題点も多く残っていることが分かった。

また、本実験において視覚的なフィードバックを用いたことが楽器演奏の技能向上に対して寄与しているか否かについては有効な結果を得ることができなかった。

5. 考察

本実験において行ったアンケートにより SUS スコアは平均を上回ったが、実用におけるユーザビリティは依然として課題が残ることが明らかになった。本システムにおける課題点として実験協力者から多く意見が出たのは Leap Motion を用いたハンドトラッキングの性能に関する課題である。多くの実験協力者が楽器を持つ際に、下の方に構えている右手のトラッキング精度の低さを問題点として示唆していた。これは Leap Motion を横向きで利用しているため、下の方に構えている右手は Leap Motion が認識しにくく、認識の精度が大きく低下している可能性がある。

また、アンケートより視覚的なフィードバックがなければ現実空間での手の位置とのバーチャル空間上での手の位置との対応関係がわからず、位置がずれても修正できないままであったという意見が挙げられた。この意見より、実験協力者は視覚的なフィードバックを自身の押しているキーの位置を確認するためではなく、主にバーチャル空間の手の位置と現実空間での手の位置との位置関係を把握するために利用していたと考えられる。

本システムの精度の低さが示唆された一方で、SUS 評価の値や自由コメントによる評価において楽器演奏の練習のために利用することに対して肯定的な意見が多く存在していた。特に運指を見ながらの演奏を行うことに対する肯定的な意見が多く挙げられていた。また、本システムにおいて大掛かりな装置なしで手軽に演奏を行うことができる点が評価されていた。また、キーの色の変化の様子を見てどのキーを押しているかを把握することができて良いという

意見もあり、視覚的なフィードバックの提供の有効性は完全に無いと断言することはできない。

6. 今後の展望

本システムを実際に楽器演奏に利用するためには運指の把握および反映精度を向上させる必要がある。そのため今後はハンドトラッキングの精度向上のための試行錯誤を重ねていくことを検討している。具体的には、現在利用している Leap Motion のハンドトラッキング性能を向上させるための手法の検討が挙げられる。

具体的には、手の指にセンサをつけてトラッキングを行うという手法が考えられる。この手法を用いることで現在 Leap Motion が感知することのできない下側の手のハンドトラッキング性能の向上が見込まれるのみでなく、筒を持つと見えなくなる親指の位置も検出可能となる。サクソフォンは、1 オクターブ上の音を発音するためには、裏側にあるキーを押す必要がある。

そのため、センサを利用することによりハンドトラッキング精度を向上させることで、現在のシステムよりも快適な演奏が可能になるだけでなく裏側にある親指の位置まで正確に捉え、現行システムでは再現不可能であった裏側のキーを押す動作の再現が可能になり、現行システムよりも表現する音の幅が更に広がる可能性がある。しかし、センサを利用することで実験協力者の負担が現行システムよりも増加してしまうため、現行システムの良さの 1 つであった手軽を失う可能性もある。したがって今後は現行システムの良さをできるだけ損なうことのないようなシステムの考案も行っていく予定である。

参考文献

- [1] Valéria Farinazzo Martins, Letícia Gomez, and Ana Grasielle Dionísio Corrêa. Teaching Children Musical Perception with MUSIC-AR. *EAI Endorsed Transactions on e-Learning*, Vol. 2, No. 5, pp. e3–e3, March 2015.
- [2] Luca Turchet, Rob Hamilton, and Anil Çamci. Music in Extended Realities. *IEEE Access*, Vol. 9, pp. 15810–15832, 2021.
- [3] Jorge Martin-Gutierrez, Marta Sylvia Del Rio Guerra, Vicente Lopez-Chao, René Hale Soto Gastelum, and Jose Fernando Valenzuela Bojórquez. Augmented reality to facilitate learning of the acoustic guitar. *Applied Sciences*, Vol. 10, No. 7, p. 2425, 2020.
- [4] James R. Lewis. The System Usability Scale: Past, Present, and Future. *International Journal of Human-Computer Interaction*, Vol. 34, No. 7, pp. 577–590, July 2018.
- [5] Aaron Bangor, Philip Kortum, and James Miller. Determining what individual SUS scores mean: Adding an adjective rating scale. *J. Usability Studies*, Vol. 4, No. 3, pp. 114–123, May 2009.