

令和 4 年 6 月 14 日現在

機関番号：13601

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2018～2021

課題番号：18K11564

研究課題名（和文）複合現実を用いたピアノ学習支援システムの構築

研究課題名（英文）Development of a Piano Learning Support System Using Mixed Reality

研究代表者

宮尾 秀俊（Miyao, Hidetoshi）

信州大学・学術研究院工学系・准教授

研究者番号：10239353

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,200,000円

研究成果の概要（和文）：本研究では、ピアノ演奏を対象に、効率の良い学習支援システムを構築することを目的として、複合現実を実現する透過型ヘッドマウントディスプレイを用いて、現実空間のピアノ上に、演奏を補助するCGオブジェクトをリアルタイムに生成・表示するシステムを開発した。また、ピアノ学習以外にも、動作を伴う技能の学習支援に複合現実を用いた表現手法が有効かを検証するため、ギター学習支援システム、タイピング学習支援システムを開発した。いずれのシステムにおいても、従来システムより、複合現実を用いたシステムの方が直感的でわかりやすいシステムであることが示された。

研究成果の学術的意義や社会的意義

動作をともなう各種技能を教える場合、技能を如何に効率よく学習者に伝達することができるかが課題となっている。本研究では、複合現実を用いた手法を使って、その実現を目指した。複合現実を実現する透過型ヘッドマウントディスプレイでは、レンズ上にコンピュータで作成した物体を映し出すことができるとともに、透過レンズ越しに現実の世界を見ることができる。この機能を利用して、学習者の手元に、必要となる様々な情報をリアルタイムに表示するシステムを構築し、検証実験により、その機能の有効性を示した。以上、これらの技術は、今後の学習支援分野の発展に大きく寄与する内容であると考えられる。

研究成果の概要（英文）：To realize an efficient learning support for piano performance, we have developed a system that can create and display CG objects on a piano in real space using a mixed reality device. Moreover, we have developed a guitar learning support system and a typing learning support system. In these systems, it was shown that the system using mixed reality is more intuitive and easier to understand than the conventional systems.

研究分野：ヒューマンコンピュータインタラクション

キーワード：複合現実 ピアノ学習

1. 研究開始当初の背景

仕事や趣味など様々な場面において、動作を伴う各種技能(例えば、習字やピアノ、編み物、スポーツ全般など)を習熟しようとする者は模範動作をどのように習得するかが大きな課題となっている。一般的には、教える者(以下、先生と呼ぶ)が模範の動作を示し、習う者(以下、学習者と呼ぶ)は、その動作を見よう見真似で覚えて習得することになるだろう。しかし、学習者にとっては、先生の動作に比べて自分の動作にどのような差異があり、どこをどのように修正すれば良いのかを知ることは容易ではない。また、先生と学習者では、身体的な能力(例えば、指の長さ、腕の長さ、腕力など)に差異があるのが普通であり、先生は、それらを加味した模範動作を示さなければいけないという難しさもある。一方、動作の習得は、動作を観るだけでなく、各種学習媒体(例えば、動作を撮影したビデオ、先生の口頭の指示、学習テキストなど)から得ることも多い。よって、学習過程で、学習者にそれらの媒体をどのように提示するかも重要な課題となる。

以上の事柄から、下記の学術的問いが生まれる：1. 動作を伴う技能をいかに効率よく学習者に伝達することができるか。具体的には、適切な動作の検出法、先生と学習者の技能の差の適切な可視化と提示法は何か。2. 身体的な能力を加味した学習支援システムの構築は可能か。身体的能力は学習過程で常に動的に変化していくので、それへの適応は可能か。3. 動作習得に付随する各種学習媒体の適切な提示とはどのようなものか。

2. 研究の目的

本研究ではピアノ演奏を対象として、効率の良い学習支援システムを構築することを目的として、下記の観点から研究を行う。

- 先生と学習者の演奏の差異を複合現実技術を用いて可視化する手法の開発
- 各ユーザーの指の形状・動作能力に基づいた指使い推定法の考案
- 先生とのレッスン時に得られた楽譜への筆記情報・撮影映像・演奏データに対し、各情報間の相互関連付け手法とそれらの学習支援システムでの利用法を考案

3. 研究の方法

本研究では、次の5つのシステム開発を行った。以下、各手法について、その概略を説明する。なお、(2)と(3)は、ピアノ学習以外にも、動作を伴う技能の学習支援に複合現実を用いた支援が可能かどうかを探るために開発したシステムである。また、(4)は、一般のユーザーを対象として、楽譜から、演奏時の指使いを推定する手法の考案、(5)は、学習時に用いられるタブレット端末への手書きの楽譜情報を自動でデータ化する手法を考案したものである。

(1) 複合現実を用いたピアノ学習支援システムの構築

ピアノを学習するにあたり、学習者は弾く鍵盤の位置や打鍵タイミング、適切な指使いなどを習得する必要がある。これらの学習を支援するために、複合現実を用いたシステムを構築した。本システムでは、複合現実を実現するマイクロソフト社の透過型ヘッドマウントディスプレイ HoloLens を用いることにより、現実空間にコンピュータが生成したオブジェクトを重ね合わせて表示する。ここで、生成するオブジェクトは、ピアノロールのような上から流れるオブジェクトと運指情報を可視化するための手の3次元モデルから構成した。前者は、キューブ状のオブジェクトが鍵盤の上から、打鍵する鍵盤に向かって落ちてくるもので、打鍵する鍵盤の位置と演奏のタイミングを示す。一方、3次元手モデルでは、次に打鍵する指の上に、指に対応した色をつけることにより、どの指で打鍵すれば良いかを示した(図1参照)。

学習者の打鍵のタイミングと位置の正確さを判定するために、MIDI キーボードを使用して、評価結果を表示するシステムを合わせて作成した。



図1 ピアノ学習支援システムの実行例

(2) 複合現実を用いたタイピング学習支援システムの構築

コンピュータキーボードのタイピングスキルを向上させるために、次の3つの機能を実現するシステムを構築した。学習者がキーの位置を容易に覚えられるように、次に押すべきキーを可視化してくれる。学習者が正しい指を使ってキーを押すように、適切な指を教えてくれる。

学習者が学習に飽きないように、様々な効果音や視覚効果を与えてくれる。本システムでは、複合現実を実現する透過型ヘッドマウントディスプレイ HoloLens2 を用いて、これらの機能を実現している。例えば機能 については、次に押すべきキーの表面に黄色の平面オブジェクトを表示することで実現している（図2の「い」の文字）。また、HoloLens2 は、リアルタイムに学習者の指の3次元位置を抽出することが可能なので、これらの情報を用いて、使用すべき指の先端に赤色の球体オブジェクトを表示することにより、機能 を実現した（図2参照）。一方、キーボードの打鍵情報を Bluetooth で HoloLens2 に伝送することにより、現在の打鍵が正解なのか否かを判定し、間違った打鍵を行った場合に視覚的な効果が発生するようにし、単語単位で文字入力完了した場合には、正解音が発生するようにして、機能 を実現している。



図2 タイピング学習支援システムの実行例

(3) 複合現実を用いたギター学習支援システムの構築

ギター初心者を対象として、基本的なギターコードの押さえ方の学習を支援するシステムを考案した。具体的には、複合現実デバイス(HoloLens 2)とゲームエンジン(Unity)を使って、仮想空間に次の2つの仮想オブジェクトを表示するシステムを作成した。3Dギターオブジェクトは、対象のギターコードで、左手で押さえるべき弦の位置に球体オブジェクトを表示したものである(図3の)。ここで、球体オブジェクトの色は、使用すべき指に対応した色とした。

3D手オブジェクトは、そのギターコードを演奏する際の理想的な手の形を3次元コンピュータグラフィックスで表現したものである(図3の)。さらに、弦の押さえ方が正しいかを判定するために、本システムではMIDIギターを使用した。このギターは演奏中、どの弦が押されたかの情報を取得することができる。学習者が演奏後、演奏中の指の押さえ方の正誤判定を表示し、間違っている場合は、アニメーションでどのように修正すればよいかを表示するシステムを合わせて構築した。

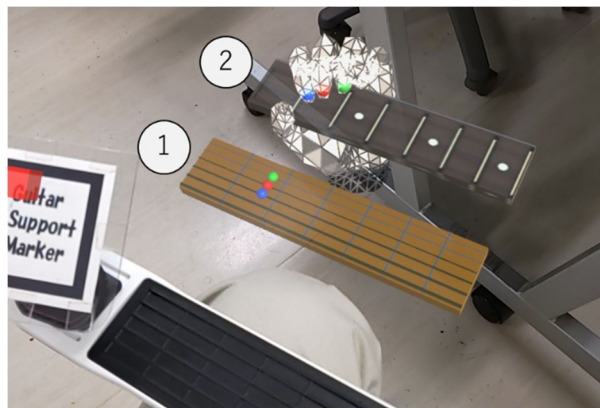


図3 ギター学習支援システムの実行例

(4) 楽譜からの運指推定手法の検討

一般ユーザーを対象として、ピアノ楽譜が与えられたときに、各音符をどの指を使って打鍵するかを推定する手法(運指推定手法)を考案した。従来では、隠れマルコフモデルを用いる推定手法が、最も性能が良いとされている。そこで、本手法では、深層学習モデルを用いて、推定精度の向上を目指した。ここで、入力として用いたのは、注目している音の前後(3音程度)の情報と直前で使用した指の位置情報である。具体的には、注目している音との音高の差分、どの指で弾いたかを示す番号(指番号)、注目している音との時間的なズレを数値化した数値列を採用した。この数値列をMLP(Multilayer perceptron)とLSTM(Long-short term memory)の2つの学習モデルを使って学習させた。ここで、モデルからの出力は、注目している音をどの指で弾くべきかを示す指番号である。

(5) オンライン手書き楽譜の音楽記号検出手法の検討

オンライン手書き楽譜認識の分野では、縦方向に重なった音楽記号が存在する楽譜の認識が困難である。そこで、本研究では、タブレット端末にペンで筆記されたストロークを CNN (Convolutional Neural Network) によって識別後、それらを時系列データの識別が可能な RNN (Recurrent Neural Network) によって識別して、音楽記号列を出力するシステムを開発した。

4. 研究成果

(1) ピアノ学習支援システムの研究成果

実験では、ピアノ初心者 8 名を対象として、そのうち 4 名に本システム (複合現実を用いたシステム) 残り 4 名に比較システム (これから演奏する鍵盤部分が光るシステム) を使用してもらい、共通のピアノ曲の練習を行ってもらった。曲の演奏速度を 3 段階 (ゆっくり・普通・速い) に設定し、演奏速度ごとの練習過程における打鍵の正確性を計測した。その結果、演奏速度が「普通」では、5 回の演奏で、提案システムでは 4 人中 3 人が全ての音を正確で打鍵できるようになったのに対し、比較システムでは一人もそのレベルにまで到達できなかった。また、演奏速度が「速い」の場合、比較システムが 5 回の試行で、打鍵の正確性に向上性が見られなかったのに対し、本システムでは、向上の傾向が見られた。これより、ピアノ学習を行う上での本システムの有効性を示すことができた。

(2) タイピング学習支援システムの研究成果

実験では、12 名の被験者に対して、日本語ひらがな入力によって、10 個の単語入力を行ってもらった。ここで、比較システムとしてウェブのタイピングアプリを採用し、6 名の被験者に提案システムで学習してもらい、残りの 6 名には比較システムで学習してもらった。その結果、本システムでは、比較システムに比べてタイピング速度の向上率が高いことがわかった。また、被験者のアンケート調査から、本システムの方が使いやすく、かつ学習のモチベーションを維持しやすいとの意見が得られた。これより、タイピング学習についても、複合現実技術を用いた学習支援が有効であることがわかった。

(3) ギター学習支援システムの研究成果

14 人のギター初心者を対象に実験を行った。実験では、ギターのコードダイアグラムと理想的な押さえ方を示した手の 2 次元画像を仮想空間に表示するシステムを比較として用い、本システムと比較システムの両方で、7 つの基本コード (C, D, E, F, G, A, B) の押さえ方の学習をもらった。学習後、被験者にはアンケートに回答してもらった。その結果、本システムの方が比較システムよりも、コードの押さえ方がわかりやすいことが示され、さらに、MIDI ギターを用いた評価システムを用いると、コードの押さえ方の独習ができることが示された。これより、ギター学習についても、複合現実技術を用いた学習支援が有効であることがわかった。

(4) 運指推定手法の研究成果

ピアノ楽曲 309 曲分の楽曲データに用いて、MLP と LSTM モデルを学習し、運指推定の精度を検証した。さまざまなネットワーク構造で試行実験を行った結果、MLP における中間層のユニット数が 64、64、32 と設定した場合、運指推定精度が 65.5% と、最も高くなった。一方、LSTM の推定精度は 63.7% と若干低い値になったが、演奏する音の直前までの音の運指情報が正しく与えられた場合は、80.1% の高い推定率を示すことがわかった。従来の隠れマルコフモデルを使用した推定精度が 64.5% 程度だったことを考えると、深層学習を用いたモデルでも十分に精度の高い運指推定ができることを示すことができた。

(5) オンライン手書き楽譜の音楽記号検出手法の研究成果

ピアノ楽譜の 10 小節分の音楽記号をタブレット端末にペンを使って手書きで入力してもらい、それらについて検証実験を行った。音楽記号を構成するストローク数は 155 本あり、CNN では、そのうち 142 本を正しく認識することができた (認識精度は 91.6% である)。一方、これらに対して RNN を適用した場合の WER (Word Error Rate) が 40.7% となった (この値は 0 に近づくほど良い値である)。これより、RNN による音楽記号検出の精度は十分ではなく、改善の余地があるが、従来では難しいとされてきた多段構成のピアノ楽譜記号の検出が可能となる可能性を示すことができた。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計8件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 2件）

1. 発表者名 Kouki Kakuta, Hidetoshi Miyao, Minoru Maruyama
2. 発表標題 A Typing Training System for Beginners Using a Mixed Reality Device
3. 学会等名 International Conference on Human-Computer Interaction (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 東佳輝、宮尾秀俊、丸山稔
2. 発表標題 Mixed Realityを用いたギターの学習支援システムの構築
3. 学会等名 電子情報通信学会信越支部大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 野口佑太、宮尾秀俊、丸山稔
2. 発表標題 音高差分列を用いたピアノ楽譜の運指推定
3. 学会等名 電子情報通信学会信越支部大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Yoshiki Azuma, Hidetoshi Miyao, Minoru Maruyama
2. 発表標題 A Guitar Training System for Beginners Using a Mixed Reality Device and a MIDI Guitar
3. 学会等名 International Conference on Human-Computer Interaction (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 長田広平、宮尾秀俊、丸山稔
2. 発表標題 複合現実を用いたピアノ学習支援システムの構築
3. 学会等名 電子情報通信学会信越支部大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 野口佑太、宮尾秀俊、丸山稔
2. 発表標題 ピアノ演奏の学習支援における3Dアニメーション生成
3. 学会等名 電子情報通信学会信越支部大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 山崎沢音、宮尾秀俊、丸山稔
2. 発表標題 機械学習を用いた複雑な構造を持つ手書き楽譜の認識法
3. 学会等名 電子情報通信学会信越支部大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 東佳輝、宮尾秀俊、丸山稔
2. 発表標題 Mixed Realityを用いたギターの学習支援システムの構築
3. 学会等名 電子情報通信学会信越支部大会
4. 発表年 2020年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
--	---------------------------	-----------------------	----

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------