

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成24年 5月28日現在

機関番号：14501

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2009～2011

課題番号：21700198

研究課題名（和文） ルールを用いた実時間運指取得システムの開発に関する研究

研究課題名（英文） A Study of Development of a Real-Time Fingering Detection System using Rules

研究代表者

竹川 佳成 (TAKEGAWA YOSHINARI)

神戸大学・自然科学系先端融合研究環重点研究部・助教

研究者番号：60467678

研究成果の概要（和文）：

本研究は、デバイスやツールを操作している運指（指使い）を認識する運指取得システムの開発およびその応用を目的とする。提案システムは、運指ルールの導入により画像処理だけでは根本的に認識できなかった運指の取得および認識精度の向上をめざす。研究成果としてピアノやギターといった楽器演奏時に高速かつ高精度に認識できる運指認識システムを構築した。また、この運指認識技術を活用した学習支援システムを開発した。これまで学習しにくかった学習項目を容易に学習できるようになり、高い学習効果をもつことを確認した。

研究成果の概要（英文）：

The goal of this study is to develop a fingering recognition system and its application. The proposed system improves the fingering recognition accuracy by using fingering rules. We develop a fingering recognition system for piano and guitar, and a learning system as application utilizing the proposed fingering recognition system. We found that it had significant advantages over a conventional learning method.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2009年度	1,300,000	390,000	1,690,000
2010年度	1,100,000	330,000	1,430,000
2011年度	900,000	270,000	1,170,000
年度			
年度			
総計	3,300,000	990,000	4,290,000

研究分野：総合領域

科研費の分科・細目：情報学・知覚情報処理・知能ロボティクス

キーワード：画像情報処理

1. 研究開始当初の背景

近年、超高速ブロードバンド環境をはじめ ICT 技術が整備されつつある。この ICT 技術の応用例として、地理的に離れた者同士が知識や技術を共有しあう遠隔学習が注目されている。技術習得を目的とする遠隔学習では

会話や相手の表情だけでなく、習得のポイントとなる部位の動作を詳細に伝達する必要がある。中でも、指は物の保持や操作を行う主要部位であるため、指使いや指の軌跡といった運指は、技術修得において重要なポイントの1つといえる。例えば、ピアノレッスン

では、指導者は、生徒の演奏を見ながら適した運指の指導を行っている。運指は習熟や音楽表現に大きく影響するためピアノ演奏において重要である。しかし、遠隔レッスンでは、高精細な映像や適切な角度からキャプチャした指部の映像をユーザに提示するといった質の高いテレビ会議システムの構築はコスト面で難しく、指導者は生徒の演奏状況を十分に確認できない。

一方、運指を取得する試みはこれまでにいくつも行われている。これらは、付加デバイスを装着する方式、画像処理により実現する方式の2つに大別される。前者は、指先に取り付けるボタンや指の関節に取り付けるセンサ、データグローブといった補助器具を用いる。これら付加デバイスにより運指を容易に取得できるが、ユーザが作業に集中している状況では、指にまとわりつくセンサや手首に設置する回路、配線などが指の動きを束縛してしまうため、付加デバイスを用いて認識する手法は適さない。後者の代表例としてカメラを使いマーカをトラッキングするモーションキャプチャがある。マーカ検出率が認識精度に大きく影響するモーションキャプチャでは、指先の複雑な動きを認識する場合、一部のマーカが検出できなくても残りのマーカから補完できるよう多数のマーカを貼付けたり、死角をなくすために複数のカメラを設置する必要がある。大量に装着したマーカはユーザの動作を妨げると同時に、複数台の高性能カメラや大容量のマーカデータを処理できる高性能計算機を必要とするためコスト面で一般利用は難しい。また、画像処理だけで運指認識を実現している研究としてバーチャルキーボードがある。バーチャルキーボードは画像処理によって手の骨格を生成することで画像フレーム上にある指を認識しているが、PC用入力に特化しており、

指が重なるといった複雑な状況に対応できない。

2. 研究の目的

本研究では、付加デバイスの装着や複数台のカメラや多数のマーカを利用することなく運指を取得できる実時間運指取得システムの構築およびその技術の応用を目的とする。提案システムは、運指ルールの導入により画像処理だけでは根本的に認識できなかった運指の取得や認識精度の向上、マーカ数やカメラの削減をめざす。

3. 研究の方法

【運指取得システムの開発】

提案システムは、(1) ユーザの動作をできるだけ妨げずにカメラを用いて運指を取得し、(2) 作業対象の特徴を表すルールを適用することで認識精度を高める。以下、各項目について具体的に説明する。

(1) ユーザが作業に集中していても利用できるようにできる限り動作を妨げない、つまり指に余計なデバイスをつけずにシステムを実現することを目指す。提案システムではカメラを用い、各指の爪に貼り付けたカラーマーカ(図1)の画像処理から運指取得を行う。カラーマーカは薄いシールであり、装着に違和感が少ない。

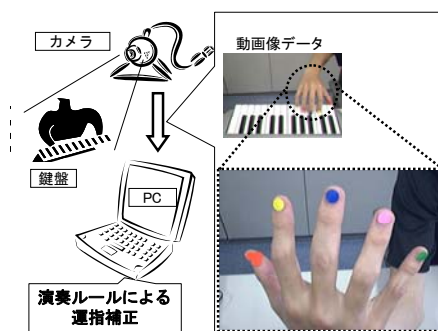


図1：運指取得システムの構成例

(2) 作業や作業対象の特性をもとに定義したルールにより運指を補正する。提案システムは、実時間処理を実現するために画像処理をシンプルにする。しかし、マーカ検出率が低く誤認識が生じてしまう。加えて、カメラの位置によって死角が生じたり、ある指が他の指を隠してしまうといったオクルージョンが発生する。したがって、画像処理の高度化だけでは、根本的に認識できない状況があったり、認識精度の改善に限界がある。そこで、本システムでは、作業や作業対象の特性や特徴的なパターンをルールとしてもつことで運指情報の修正を行う。「親指とその他の指が交差することがない」というルールがある。このルールを適用することで、図2に示すように打鍵された「ラの鍵」上のマーカが判別できなかったとき、「ファの鍵」上にある④のマーカから⑤の指で打鍵していると補正できる。



図2：ルールによる
運指補正例

【運指取得システムの応用】

上記の運指認識技術を応用した学習支援アプリケーションを構築した。提案するアプリケーションは、光る鍵盤のように打鍵位置の正誤チェックだけでなく、運指の正誤も含めたチェックを行える。また、鍵盤上部に設置したプロジェクタを用いて運指などの演奏支援情報を提示する演奏支援システムを

提案する。

図3を用いて提案システムの学習支援方法について説明する。図中の番号は、以下の括弧付き番号に対応している。

(1) 打鍵鍵(次に打鍵する鍵)の輪郭を囲む。

(2) 運指情報は、運指番号ごとに対応している輪郭の色や、鍵上に運指番号を表示することで示す。なお、輪郭の色は、爪先に装着しているマーカの色と同じである。

(3) 正解運指が打鍵鍵上にある場合、その打鍵鍵全体が塗りつぶされる。図3では(1)の指す鍵が打鍵鍵で、左の打鍵鍵は正しい指が置かれているため打鍵鍵全体が塗りつぶされている。一方、誤運指で打鍵している場合や、誤った鍵を打鍵した場合、矩形を赤色で塗りつぶすことで誤りを視覚的に示す。これにより学習者は容易に打鍵位置や運指を把握できると同時に誤りを補正できる。

(4) 打鍵鍵上に正運指がある場合に塗りつぶすだけでなく、候補鍵(打鍵鍵より後に打鍵する鍵)上に正運指がある場合は、候補鍵上の輪郭を正運指の色で囲む。図3では(4)の指す鍵が候補鍵で、最も低い候補鍵上に正運指があるためその鍵の輪郭が囲まれている。これにより、学習者は打鍵鍵より後に弾く鍵と指の組合せを明確に把握できるためスムーズに演奏を行える。

(5) 打鍵鍵や候補鍵の先端に打鍵順番を提示する。また、打鍵順番の背景色は運指に対応する色が割り当てられており、同じタイミングで打鍵する音が複数あれば横線で結び和音演奏であることを提示する。これにより、どの鍵を今後弾いていくのかといった演奏

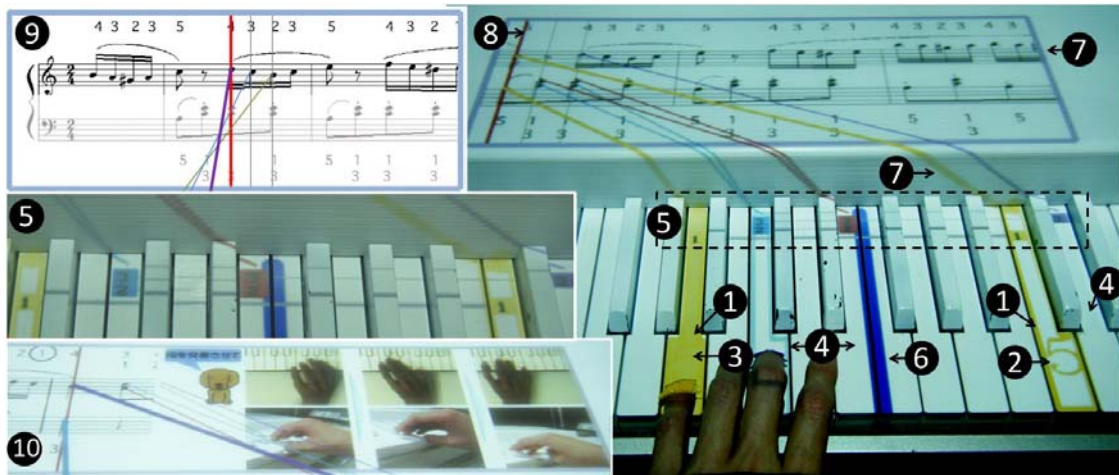


図 3：学習支援システムの提示コンテンツ例

の流れを理解できるため、次以降に弾くべき鍵が不明なため演奏を中断してしまう光る鍵盤の問題も解決できる。また、広い領域にまたがる同時打鍵に気づくことができる。

(6) 右手と左手の各指はそれぞれ同じ色のマーカを装着しており、運指情報を示す色だけでは右手か左手で演奏するか判別できない。そこで、右手と左手の演奏領域の境界線を提示する。

(7) 鍵盤上部に現在演奏している付近の楽譜を示す。楽譜の各音符と音符に対応する鍵との間が線で結ばれている。これにより譜面が読めないユーザであっても音符と鍵の関係が理解でき読譜学習にもつながる。また、打鍵鍵の線は太線で、候補鍵の線は細線で表すことで打鍵鍵を目立たせている。

(8) 五線譜内には、現在演奏している位置を示すバーを表示する。これにより左右の手の打鍵タイミングを楽譜から理解できる。

(9) 初級者が新規の楽譜に取り組む場合、片手ずつ訓練する。両手用楽譜や片手用楽譜を

用意し、選択的に利用できるようにする。また、片手で訓練している場合も、もう片方の手の演奏との関連を意識することは両手で合わせるときに重要であるため、もう片方の手で演奏する音符も薄く提示する。図 3-(9) は右手訓練用の楽譜である。

(10) 鍵盤演奏ではスムーズな演奏を行うために親指を交差する奏法が頻繁に用いられる。初級者は指の交差を行うタイミングや、どのように指の交差を行うかわからないため、タイミングや交差方法を提示する。

4. 研究成果

【運指取得システム】

上記で述べた運指取得システムのプロトタイプを実装した。提案手法の有効性を示すために、鍵盤習熟者3名に3曲の課題曲を実際に演奏してもらい運指正答率を調査した。また、ルールを適用した場合とそうでない場合とで比較しルールの有効性について検証した。図4に各楽曲のルール適用時と未適用時の運指認識正答率を示す。ルール適用時の認識正答率は平均して95%と高く、指の交差、複数の指の同時判定、高速で複雑な演奏の追従を高い精度で行えた。また、これらは有意水準5%でルール未適用時（平均正答率74%）との有意差も確認できた。画像処理をシンプルにし、ルールにより補正することで、リアルタイムで運指認識ができた。1フレームあたりの処理時間は平均20msecとカメラのフレームレート内で画像処理を完了できる。

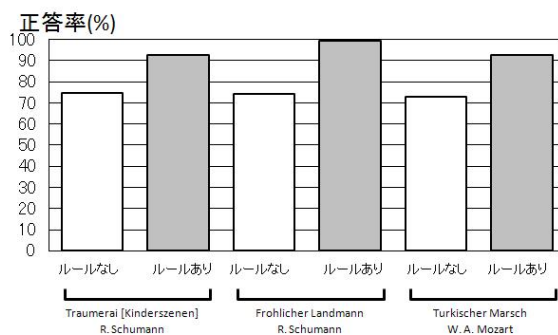


図4：運指認識率

また、弦楽器を対象とした運指取得システムを構築し、評価実験より90%以上の運指認識率を確認した。

【運指取得システムの応用】

提案する学習支援システムの有用性を示すために鍵盤初級者を対象とした評価実験を行った。本実験では、光る鍵盤の手法を比

較対象として、運指ミスや打鍵ミスから提案システムの学習効率性について調査した。提案手法は上記の演奏支援情報を提示し、光る鍵盤の手法では鍵盤上に次に打鍵する鍵を赤枠で提示した。また、両手法において運指付楽譜も演奏者の前面に合わせて提示した。提案手法および光る鍵盤それぞれについて4名ずつ実験してもらい、被験者は楽譜がほとんど読めない鍵盤経験歴のない電気電子工学を専攻する大学院生および大学生である。また、W. A. Mozartのトルコ行進曲(ソナタK. 331 第3楽章)を、最初から18小節目まで片手のみで演奏してもらった。実験では、15分間の訓練後、通し演奏(最初から最後まで一通り演奏すること)をしてもらい、そのときの打鍵ミス数、運指ミス数を計測した。通し演奏時は、両手法において前面にある運指付楽譜のみ提示した。提案手法の打鍵ミス数の平均は2.8回、運指ミス数の平均は0.5回であった一方、光る鍵盤の打鍵ミス数の平均は32.0、運指ミス数の平均は36.8回であり、提案手法の学習効率の高さが証明できた。提案手法を利用した被験者は、打鍵位置や運指を正確に捉え、楽譜の内容を理解した上で演奏できるようになっていた。一方、光る鍵盤の手法を利用した被験者は、提示された打鍵位置を追う単純作業となり、打鍵位置が指示されない通し演奏では記憶を頼りに演奏するしかなく打鍵ミスが頻繁に生じた。また、正確な打鍵に集中する余り運指まで考慮する余裕がない、楽譜が読めないためどの運指で打鍵すべきかわからない、運指ミスに気づかず演奏してしまうなど、さまざまな理由により運指ミスも頻繁に生じた。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計2件) (総計8件)

- ① 竹川佳成, 寺田努, 塚本昌彦, 運指認識技術を活用したピアノ演奏学習支援システムの構築, 情報処理学会論文誌, Vol. 52, No. 2, 2011, 917--927.
- ② 澤光映, 竹川佳成, 寺田努, 塚本昌彦, 演奏ルールを用いたウッドベースのための実時間運指取得システムの設計と実装, コンピュータソフトウェア(日本ソフトウェア科学会論文誌)インタラクティブとソフトウェア特集, Vol. 27, No. 1, 2010, 56--66.

[学会発表] (計3件) (総計34件)

- ① 竹川佳成, 寺田努, 塚本昌彦, リズム学習を考慮したピアノ演奏学習支援システムの構築, 情報処理学会インタラクシオン2012, 2012, 73--80, 東京.
- ② 竹川佳成, 福司謙一郎, Machover Tod, 寺田努, 塚本昌彦, 絵楽器の設計段階におけるプロトタイピング支援システムの設計と実装, インタラクティブシステムとソフトウェア XIX: 日本ソフトウェア科学会 WISS2011, 2011, 60--65, 金沢.
- ③ Takegawa, Y., Terada, T., and Tsukamoto, M., Design and Implementation of a Piano Practice Support System using a Real-Time Fingering Recognition Technique, Proceeding of International Computer Music Conference (ICMC2011), 2011, 1-8, Huddersfield.

[図書] (計0件)

6. 研究組織

(1) 研究代表者

竹川 佳成 (TAKEGAWA YOSHINARI)
神戸大学・自然科学系先端融合研究環重点
研究部・助教
研究者番号: 60467678

(2) 研究分担者

(3) 連携研究者