

マーカレス運指認識と音列照合によるピアノ演奏スキル評価システムに関する研究

情報科学研究科 情報科学専攻 H11205M 岡明也

指導教員：橋本学 教授

1. はじめに

初心者のピアノ演奏スキルの向上には、楽譜通りに正しく弾く技術、強弱・音色などをコントロールする技術、および楽譜を見ただけで数回の練習で正確に演奏する技術を段階的に習得することが重要であると言われている。[1]

楽譜通りに正しく弾く技術は、楽譜にて指定された鍵を正しい運指で弾くことであり、初心者にとって不慣れな五線譜を見ながら、それに従って指を動かすことが大変である。そのための練習システムが必要である。初心者は弾き間違いに気づきにくいので、練習システムでは演奏者の演奏の間違いを自動的に検出し、演奏者にフィードバックする必要がある。そのためには、音列照合技術と運指認識技術が必要である。これまでの音列照合技術では、音の抜けや余分な打鍵等の発生、曲の途中からの演奏に対応できない問題があった[2][3]。運指認識技術としては、マーカを用いた手法があるが、自然な演奏を妨げる恐れがある[4]。また、マーカを用いることなく、カラー画像から運指を認識する手法は、手の肌の色によっては安定して認識できない問題があった[5]。

そこで本研究では、これらの問題を解決した技術をそれぞれ開発し、統合することでピアノ演奏スキル評価システムを提案することを目的とする。

2. ピアノ演奏スキル評価システム

2.1 システムに要求される機能

ピアノ演奏の教育においては、体の姿勢と読譜力（音符・休符の種類、鍵盤と楽譜の関係、奏法上の運指）を指導することが望ましいと言われている[6]。このうち、正しいキーを正しい運指で打鍵する技術である読譜力を習得するために以下の機能を本システムに盛り込む。

- (1) 楽譜上で演奏している箇所を同定する。
- (2) 楽譜と演奏を比較し弾き間違いを検出する。
- (3) 演奏者の運指をモニタリングし、誤りを検出する。

2.2 システムの概要

初心者のピアノ演奏には、弾き間違いや運指間違いがしばしば含まれている。ピアノ演奏の上達のためには、これらの間違いを自動的に認識し演奏者に提示することが効果的である。演奏からスキル評価までの流れを図1に示す。まず、電子ピアノからMIDIインタフェースを通して演奏音列データを取得する。次に、鍵盤の上部に取り付けられたレンジセンサによって得られる演奏時の手指の距離画像をもとに、運指を認識し、演奏音列データに追加する。楽譜音列データは、MIDIファイルに正解運指を埋め込まれ作成される。システムはこの2つの楽譜音列データと演奏音列データを照合することにより、演奏している箇所を同定する。

その後、弾き間違い（音名誤り、未打鍵、余打鍵、音長誤り、タイミングのずれ）と運指間違いを検出する。本システムは初心者向を対象としているため、演奏者の表現力に関わる音の強弱や、テンポの変動は評価しないものとした。

3. 提案手法の主要モジュール

3.1 音列照合モジュール

ピアノ演奏の練習時においては、弾き間違いした時点で演奏を中断し、曲の途中から弾きなおす場合がしばしばある。提案システムでは、そのような場合でも柔軟にマッチングするために、両端点フリー DP マッチングを用いる。両端点フリー DP マッチングは、ある2つの時系列パターンに対

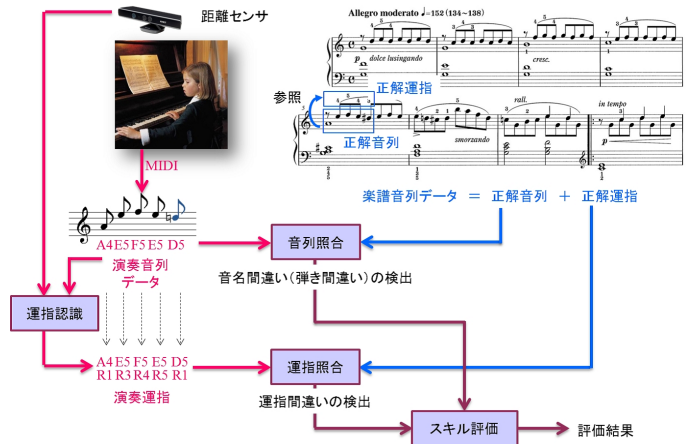


図1 ピアノ演奏スキル評価の流れ

し、パターンの順序関係を保存しつつ、時間軸の非線形な伸縮を許容する対応付けをおこなう手法である。本システムでは楽譜音列データと演奏音列データをマッチングする。音名には音長、打鍵タイミングが付加されており、マッチング結果より弾き間違いを検出する。なお、音長については、打鍵信号と離鍵信号の発生時刻の差から求める。打鍵タイミングについては、打鍵信号の発生時刻をそのまま用いる。本システムで用いる両端点フリー DP マッチングにおいて弾き間違いを検出するためには、音名誤りコストとパスコストの2つを適切に定める必要がある。これらのコストの設定については、以下の条件を満たす必要がある。

- 音名誤りコスト > パスコスト
- 斜めのパスコスト N としたとき、縦・横のパスコスト $N+1$ 以上

これらの条件を満たすことで、最適経路をもとめることができる。

図2に演奏音列データと楽譜音列データの両端点フリー DP マッチングの例を示す。楽譜音列データにおいてラソファソラシの順序で演奏すべきところを、演奏時にファソラシの順序で演奏した場合について説明する。コストは、音名誤りコスト3、斜めのパスコスト0、縦・横のパスコスト1と設定する。まず、2つの音列データを用いてノードとパスからなるネットワークを作成する。次に、ノードにコストを与える。その際、ノードに到達する最小コストをノードのコストとする。すべてのノードに対し最小コストを計算した後、バックトレースすることで最小コストの経路を求める。

3.2 運指認識モジュール

運指は、仮説検証型の運指認識技術を用いて認識される。この手法は指にマーカを装着することなく認識できるため、演奏者に負担のかからない状態で運指認識が可能である。図3に運指認識手法の流れを示す。

まず、ピアノ鍵盤の直上に設置されたレンジセンサから距離画像を取得し、手領域を抽出する。その手領域から検出した手首位置をもとに手指のみの画像を生成する。この画像から指先の画像パターンを用いて指先候補位置を複数検出し、その位置に存在するキーと各指（親指～小指）の対応を仮説群として生成する。その際、各指先候補位置の各指らしさを求め、各仮説の確率に反映させる。各仮説から生成した仮説画像と入力画像との手全体の整合性を確率に反映させ、最尤仮説を決定する。これに、電子ピアノか

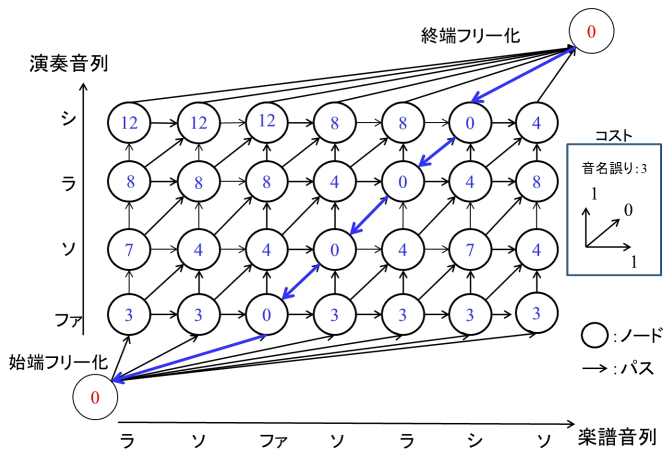


図2 演奏音列データと楽譜音列データを用いた両端点フリー DP マッチングの例



図4 実験環境

手法は、誤り検出できることを確認した。提案手法では運指の誤認識が16回発生しているため、今後は、運指認識モジュールの認識精度を向上させる必要がある。

表1 提案手法における誤り検出回数評価結果

検出項目	正解データ	単純マッチング	提案手法
音名誤り	0	90	0
音の抜け	1	/	1
余分な打鍵	0	/	0
音長誤り	18	8	18
タイミングのずれ	0	15	0
運指ミス	0	88	16
合計	19	201	35

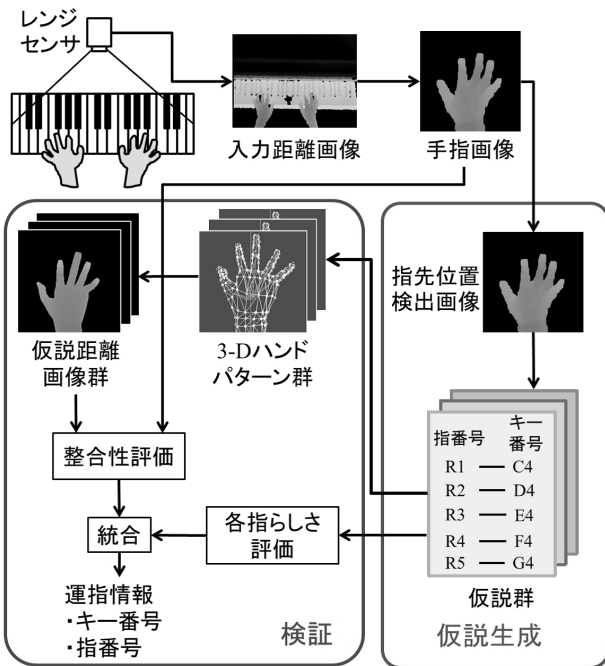


図3 運指認識手法の流れ

ら取得された音名信号（打鍵されたキー番号）を対応付けることにより、運指情報として、打鍵されたキー番号と指番号の組み合わせを出力する。

4. 実験結果と考察

4.1 実験環境

ピアノ鍵盤として、88鍵デジタルピアノを用いてデータを取得した。このピアノにはMIDIインタフェースが搭載された電子ピアノを用いた。また、レンジセンサとしては、Microsoft社製のKinectを用いた。図4に実験装置の外観を示す。Kinectセンサは鍵盤の直上70cmの高さに設置した。これにより約4オクターブ程度の範囲の鍵盤が計測可能である。

4.2 音列照合と運指認識の統合による性能評価実験

音列照合と運指認識を統合し、Menuet（全32小節128音）を用いた実験を行った。実験データには、弾き間違いとして音の抜けを1回含ませるよう指示した際の演奏したデータを用いた。実験の結果を、表1に示す。単純マッチングでは、弾き間違いに起因して運指ミスの検出数が多くなっているが、提案手法では柔軟にマッチングできていることが分かる。図5に認識成功例を示す。これにより、音列照合と運指認識のモジュールを組み合わせた際においても提案



図5 認識成功例（第22小節目2音目）

5. おわりに

両端点フリー DP マッチングによる音列照合とマーカレス運指認識技術を組み合わせることで、ピアノ演奏スキル評価システムを構築した。サンプル曲を用いた実験評価により、音列照合における再現率、適合率ともに100%(128/128)、運指認識成功率86.7%(116/128)、演奏後誤り提示するまでの処理時間は0.01秒を確認した。

今後は、演奏者への効率的な情報提示方法の設計と、表現力に関わる演奏スキル評価に取り組む予定である。

参考文献

- [1] 大藪：ピアノ上達のセオリー，奈良佐保短期大学研究紀要19, pp.51-63 (2011).
- [2] 竹川ら，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，情処論，Vol. 52, No. 2, pp. 917-927,2011.
- [3] Takayuki Hoshishiba and Susumu Horiguchi：Improved DPmatching between a musical score and its performance using in-terpolation, Proc. Acoustical Science and Technology, pp.13-19(2001).
- [4] 釘本ら：モーションキャプチャを用いたピアノ演奏動作のCG表現と音楽演奏インタフェースへの応用，情報処理学会研究報告，2007-MUS-72, pp.79-84 (2007)
- [5] 子安ら：ピアノ演奏動作解析のための3次元手指追跡，情報科学技術フォーラム，pp.171-172 (2011).
- [6] 竹内：初歩の段階におけるピアノの指導について，千葉敬愛短期大学紀要第19号, pp.55-61 (1997).
- [7] Notenbuechlein fuer Anna Magdalena Bach, G. Henle Verlag (1983).