

左手と和音に対応したピアノ運指の自動推定システム

春原 雅彦*

松原 正樹†

前田 俊太郎†

斎藤 博昭†

* 慶應義塾大学理工学部 情報工学科

† 慶應義塾大学大学院 理工学研究科

E-mail: {haru,masaki,maeda,hxs}@nak.ics.keio.ac.jp

1 はじめに

ピアノの運指推定は、広義には、楽譜情報からその楽曲を演奏する演奏者の動きを推定することである。正確なピアノの運指推定をするためには、運指だけではなく、ペダルが使用される位置や、両手の交差の仕方なども含めて推定する必要がある。そうした演奏者の動作そのものを復元することができれば、推定した運指をもとにピアノ独習者への模範演奏の提示といったこと以外にも、ピアノ演奏の表情付け、曲の難易度判定など、様々な応用が可能である。また、単純に、これまで人手で行われてきた運指の監修を、計算機を用いて自動化することで、時間的コストを削減する、という使い道も考えられる。

本研究では、左手・和音を含めたピアノの運指推定手法を提案する。運指の推定には、学習器として、隠れマルコフサポートベクタマシン [1][2](以下、HMSVM とする)を用いる。

2 関連研究

先行研究の多くは、右手の単旋律を対象としており、隠れマルコフモデルを用いた手法 [3]、n-gram を用いた統計的手法 [4]、隣接する音符間の運指コスト関数を用いる手法 [5][6]、論理的ルールに基づいた手法 [7] などが見られる。実際に実験を行っているものでは、米林ら [3] が 51.8% の精度で運指を推定している。

従来手法の多くは、対象を右手の単旋律に限定しており、和音を含む一般的な楽譜に対する推定を行うことができない。また、左手を対象にした運指推定の手法はこれまでにない。そこで、本研究では、和音は短い時間連続して打鍵される単旋律としてあつかい、左手の旋律は、腕の動きを左右対称に置き換えることで、右手の旋律に変換する。最終的に、楽譜中の全ての旋律を、右手の単旋律に変換することで、左手・和音の推定に対応する。

3 提案手法

本研究では、ピアノの運指推定に HMSVM を用いる。まず、入力として与えられた楽譜データから、鍵盤上の腕の移動距離を特徴量として抽出する。そして、特徴量と正解運指の系列を HMSVM に与えることで、運指モデルの生成を行う。次に、運指が未知の楽譜データから特徴量を抽出し、HMSVM によって、運指モデルと特徴量から運指を推定する。

左手・和音の運指推定に対応するため、特徴量を抽出する前に、前処理を行う。前処理では、楽譜データに含まれる左手の旋律・和音を全て右手の単旋律に変換する。また、特徴量ではないが、HMSVM に特徴量を渡す際に、休符を目安として、楽曲を細かく分割する。

3.1 特徴量抽出

3.1.1 鍵盤上の腕の移動距離

鍵盤上の腕の移動距離を表す特徴量として、以下の 2 つの情報を算出する。

- 直前の鍵盤が黒鍵か白鍵か
- 直前の音符と現在の音符の音程

ピアノの鍵盤は、図 1 に示すように、黒鍵と白鍵が配置されている。これをもとに、直前の鍵盤が黒鍵か白鍵かどうかを 2 値の特徴量として算出する。本研究では、隣接する音符間に存在する半音の数を音程として定義する。この際、図 1 のように、E-F 間、B-C 間に黒鍵を含む仮想の鍵盤を想定して、音程を求める。音程が 1 オクターブを越える場合には、全て 1 オクターブ丁度と見なす。

直前の鍵盤の種類を特徴量に加えている理由は、音程が同じであっても、鍵盤上の腕の動き方が異なるケースを区別するためである。



図 1 仮想の鍵盤

3.2 前処理

3.2.1 左手旋律の対称変換

左手の旋律は、図 2 のように、鍵盤上の腕の移動を左右対称に変換することで、右手の旋律に変換する。

3.2.2 和音の単旋律化

和音は図 3 のように、単旋律としてとらえる。その際、音高の低い音符から順に単旋律化し、最高音以外は極端に音価が短いと仮定する。

3.3 楽曲の分割

楽譜中に長い休符が存在し、腕が十分な時間自由な場合、その前後では運指の連続性は失われる。そこで、楽

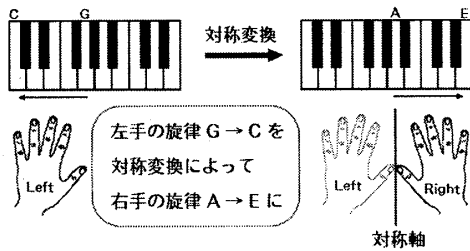


図 2 左手旋律の対称変換



図 3 和音の単旋律化

譜中に 8 分音符以上の長さの休符が現れた場合に楽曲を分割した。HMSVM による、モデルの学習・推定は、分割された楽譜の部分ごとに行われる。

4 実験及び結果

4.1 実験データ

Nikolai Kapustin の楽曲の中から、3 曲を選んで実験データを作成した。約 6250 個の音符を含む。Nikolai Kapustin の楽曲を使用した理由は、作曲家本人の監修による詳細な運指がつけられているためである。また、楽曲の難易度が高く、同音連打などの高度な演奏表現が多様されるため、運指推定の精度を見る上で適切と判断した。

4.2 実験方法

実験は、楽曲ごとに交差検定を行った。交差検定の標本分割数は、テストデータの数が 200 前後になるように調節した。実験時の HMSVM のパラメータを、表 1 に示す。C は HMSVM におけるノイズへの対応とマージンの大きさの比重を決めるパラメータ。ε は精度で、エラー率がこの値以下になったときに HMSVM は学習を終了する。残りはマルコフモデルの、遷移確率関数と出力確率関数の次数である。評価は、交差検定によって得られた、推定運指の精度によって行う。

表 1 HMSVM のパラメータ

C	ε	Trans Dependency	Emis Dependency
100	0.01	3	1

4.3 実験結果

各楽曲の交差検定の結果を表 2 に示す。全ての楽曲において 7 割以上の精度で運指の推定を行うことができた。また楽譜中の、単旋律と和音、右手と左手、それぞれの部分で精度の求めたものを表 3 に示す。各楽曲の左手・和音の部分の推定精度は、右手の単旋律の部分の精度と比べて大きな差が見られなかった。

表 2 楽曲ごとの運指推定の精度

Song	Accuracy
8 Concert Etudes Op.40 - No.3 Toccata	76.40 %
Toccata Op.36	71.20 %
24 Prelude Op.53 - No.23	73.88 %
Average	73.83 %

表 3 左手・和音の部分の精度 (三曲の平均)

All	Chord	Other	Right	Left
73.83 %	78.16 %	66.46 %	73.57 %	74.14 %

5 考察

左手・和音を含む楽曲に対しても、精度が大きく変わることなく、運指の推定を行うことができた。結果から、本研究で行った左手と和音への対応は妥当であるといえる。表 3 で、和音の部分の推定精度が高い理由は、単旋律の部分で起こる指くぐりが、和音を単線律化した場合には起こらないためだと考えられる。

今回の実験では、楽曲中の音符が、左右の手のどちらで演奏されるものなのか、既知の状態運指の推定を行っている。しかし、本来は、左右どちらの手で打鍵するほうが腕の動きが自然になるのかを考慮して、運指の推定を行うべきである。また、ペダルを用いる場合には、楽譜上の音符のとおり打鍵しないことがあるので、正確な運指推定のためには、楽曲中のどこでペダルが使われるのかも考慮する必要がある。他には、1 つの音符に対して複数の運指が割り当てられる、特殊な運指 (かえ指) の対応も今後の研究では取り入れる予定である。

参考文献

- [1] Yasemin Altun, Ioannis Tsochantatidis, Thomas Hofmann: "Hidden Markov Support Vector Machines", Proceedings of the Twentieth International Conference on Machine Learning (ICML-2003), Washington DC, 2003.
- [2] Sequence Tagging with Structural Support Vector Machines, <http://www.cs.cornell.edu/People/tj/svm%5lift/>
- [3] 米林裕一郎, 亀岡弘和, 嵯峨山茂樹: "手の自然な動きを考慮した隠れ変数付き隠れマルコフモデルに基づくピアノ運指推定", 情報処理学会研究報告, 2007-MUS-71-29, pp.179-184, Aug, 2007.
- [4] 野口賢治, 野池賢二, 乾伸雄, 野瀬隆, 小谷善行, 西村 恕彦: "n グラムの手法を用いたピアノ運指の推論", 情報処理学会第 52 回全国大会講演論文集, Vol.2, pp.101-102, 1996.
- [5] Melanie Hart, Robert Bosch, Elbert Tsai: "Finding Optimal Piano Fingerings", The UMAP Journal 21(2), pp.167-177, 2000.
- [6] Alia Al Kasimi, Eric Nichols, Christopher Raphael: "A Simple Algorithm for Automatic Generation of Polyphonic Piano Fingerings", The International Society for Music Information Retrieval (ISMIR-2007), Vienna(Austria), 2007.
- [7] 林田教裕, 水谷哲也: "楽曲構造に基づくピアノ運指ルールの論理表現", 情報処理学会第 65 回全国大会講演論文集, Vol.2, pp.203-204, 2003.