

隠れマルコフモデルによるピアノ運指の自動推定に関する研究

田沼 一紀 (沼田 一道教授, 松浦 隆文助教)

1 背景・目的

ピアノ運指決定とは演奏者が楽譜により与えられた音符列をどの指で弾くかを決定することである。どのような指使いでもピアノを弾くことはできるが、演奏のしやすい指使い、つまり適切な運指を行わないとメロディの流れが切れてしまったり、不自然な箇所では演奏が止まったりして良い演奏ができない。しかし、適切な運指決定を行うことは専門的な音楽知識や経験が必要であり、それらの知識や経験のない人にとっては難しいものである。そのため、与えられた楽譜の運指を自動的に決定する初心者支援システムについて、様々な研究が行われている[1]。

本研究では先行研究[1]が提示した、「隠れマルコフモデルを用いた確率的運指決定」の改良を目標とする。

2 運指の自動決定アルゴリズム

2.1 ピアノ演奏および運指決定のモデル化

演奏とはピアノ演奏者が楽譜により与えられた音符列をどの指で弾くかを決定し、実際にピアノで音を出す行為である。既存研究では楽譜から直接運指を決定しようとするアプローチが多いが、演奏のし易さを表す局所的な目的関数の数理的意味付けが困難である。それに対して、理想的なピアノ演奏を「結果」とし、それをもたらした運指を「原因」として推定することを運指決定と考える[1]。

2.2 隠れマルコフモデル

隠れマルコフモデルはマルコフ連鎖を基礎としている。はじめに、マルコフ連鎖について述べる。

■マルコフ連鎖

マルコフ連鎖は確率過程の一種で、過去によらず現在の状態から未来の状態が確率的に定まる。状態遷移は遷移確率により決定する。遷移確率とはある状態から別の状態へ移行する際の確率のことをいう。マルコフ連鎖は状態遷移の系列そのものを出力記号列とみなす。

■隠れマルコフモデル

マルコフ連鎖は状態遷移の系列そのものを出力記号列とみなしているのに対し、隠れマルコフモデルは各状態に対して出力記号が割り与えられている。各状態は唯一の記号しか出力しないが、同一の記号を出力する状態が複数あり(隠れ状態)、出力記号列からだけでは状態遷移の系列を特定できないので、「隠れ」マルコフモデルといわれる。状態から出力記号への写像 ϕ を状態ごとに定義する出力記号の確率分布を出力確率と呼ぶ[2]。

2.3 運指決定への隠れマルコフモデルの導入

本研究では音符系列をピッチ(音の高さ)系列のみに限定する。運指は直前の音符での運指に依存すると仮定すれば、ピッチ系列 Y が与えられたとき、運指系列 S が使われる確率は Bayse の定理より、以下のように表される[1]。

$$P(S|Y) = \frac{P(Y|S)P(S)}{P(Y)} \approx \prod \underbrace{P((y_i, y_{i-1}) | (s_i, s_{i-1}))}_{\text{出力確率}} \prod \underbrace{P(s_i | s_{i-1})}_{\text{遷移確率}} \quad (1)$$

S が興味の対象であり、 Y は定数であることに注意すると、分母の $P(Y)$ を無視することができる。

以上のように表すと、演奏時の運指遷移を「隠れ状態」、観測されたピッチ推移を「出力記号」とし、隠れマルコフモデルを導入することができる。隠れマルコフモデルを用いれば、 $P(S|Y)$ を最大化する S を最も起こり得る運指と考えることができる。 $P(S|Y)$ を最大化する S は Viterbi アルゴリズム [5]により求めることができる。

3 既存解法[1]の問題箇所

一般的に指番号は図 1 のように、親指が 1 番で順に 2~5 番となる。



図 1：指番号[4]

一般的に同音連打する場合、指を変える傾向にあるが、図 2(A)では、同じ指で同音連打する運指になっている。図 2(B)は、不自然な指くぐりが起こり、黒鍵が適切な運指で行われていない。



図 2：問題箇所

4 解法

4.1 提案解法

先行研究[1]では、同じ指同士の遷移確率が他の遷移確率と等かったため、(A)のような問題が生じたと考えられる。一般的に違う音を同じ指で連打することはないため、連続した運指の遷移確率を他の遷移確率に比べ低く設定する。

(B)の問題は、手の物理構造を表すパラメータが不足していたからだと考えられる。先行研究[1]では、図 3 のように親指と小指の長さが等しく設定されている。黒鍵が出現した場合、親指以外では小指から無理に指の長い人差し指、中指、薬指に遷移してしまう。したがって、小指の長さを親指よりも長く設定する。



図 3：指の長さ[4]

4.2 解法の概要

【Step1】楽譜をデータ化し、音符系列のピッチ系列のみを取り出す。

- ① MakeMusic 社の楽譜作成ソフトウェア Finale2004 を使い、楽譜をスキャナーあるいは手入力ですべてソフトウェアに取り込む。
- ② Finale に取り込んだ楽譜を、musicXML 形式ファイルとして保存する。musicXML は、XML 形式を用いた楽譜表記のためのファイルフォーマットである。
- ③ Boland 社の Delphi6 でプログラムを作成し、②で作成した musicXML 形式のファイルから、ピッチ系列の情報のみを取り出す。
- ④ 一般的なピアノの鍵盤数は 88 鍵である。ピアノの一番左の鍵から数えて 40 鍵目のドの音を 1 とし、取り出したピッチ系列の番号付けを行う。

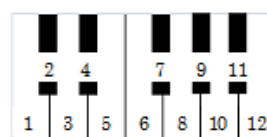


図 4：音符の番号付け

【Step2】出力確率を求める。

ピッチ推移すべてを表す集合を M とし、運指 s_1 から運指 s_2 へ遷移する際の出力確率を $b_{s_1, s_2} : M \rightarrow [0, \infty)$ と表す。出力確率は機械学習によらず、二次元 Gauss 分布に従うと仮定する。二次元 Gauss 分布により運指の遷移からピッチ推移の出力確率を求める。図 5 は、右手人差し指で「ファ」

人差し指→中指に遷移する場合
 s_1 =人差し指 s_2 =中指



図 5：二次元 Gauss 分布の例

を打鍵している場合、次の右手中指では、「ソ」である確率が一番高いことを表している。

二次元 Gauss 分布の値は以下のモデルパラメータ値を用いて求める。

式(2)で \max を与える状態 k から状態 l に至る最尤経路を求め、その確率を $(l, t+1)$ をポインタとして保持する。式(3)で \max を与える状態 k^* から後ろ向きにポインタをたどることによって、最尤状態列を求めることができる[2]。

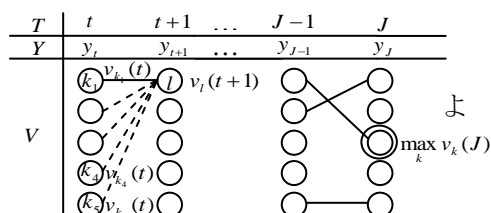


図 7 : Viterbi アルゴリズムの概要

5 評価実験

5.1 実験条件

運指番号が楽譜に書かれている片手単旋律の楽曲、バッハのインヴェンション第 1, 3, 5 番の片手の旋律を対象に、運指決定の実験を行った。遷移のしやすさから、どの楽曲でも親指から開始してしまうことになるので、開始指は任意に指定できるモデルとした。Viterbi アルゴリズムを含む一連の処理は Boland 社の Delphi6 で実装した。

5.2 実験結果と考察

先行研究[1]では同じ指で同音を連打していたが、提案法では、図 8(1)が示すように改良できた。しかし図 8(2)が示すように、間に休符を含んだ同音連打する場合も、違う指に変えてしまっている。この問題は、音符系列に休符の情報が不足していたからだと考えられる。

図 8(3)では、黒鍵を含む楽曲での運指が適切な指使いで行われている。先行研究[1]での黒鍵を含む楽曲で不自然な指くぐりが起こる問題は、図 8(4)が示すように改良できた。しかし、「小指→親指」の指くぐりは一般的に演奏がしにくく、「人差し指→親指」、「中指→親指」が望ましい。この問題は、手の動きを表すパラメータが不足しているからだと考えられる。

また、提案解法ではパラメータ値を改良したが、先行研究[1]で行った適切な運指決定が問題なく行われたことを示している(図 8(5), (6))。



図 8 : 実験結果

6 今後の課題

本研究では、出力確率の上下方向の平均を遷移前と後の二つの指の手首から指先までの距離の差に設定した。実際には、指を伸ばした状態と曲げている状態の 2 つの状態を合わせながら演奏を行っている。したがって、2 箇所の極大値を持つ二次元 Gauss 分布を重ね合わせることで、(5)の問題を解決できると考えられる。また、本研究では休符の情報を除外した。今後の課題として、運指リセット(直前の運指に関わらず新たに運指を開始すること)を表す「指 0」を定義することで休符情報を反映できると考えられる。

参考文献

- [1] 米林裕一郎, 亀岡弘和, 嵯峨山茂樹 “隠れマルコフモデルに基づくピアノ運指の自動決定” 情報処理学会研究報告, 情報処理学会研究報告. [音楽情報科学] 2006(45), 7-12, 2006-05-13
- [2] 山下功一郎 “隠れマルコフモデルによる旋律への自動和音付けに関する研究” 学士論文, 東京理科大学工学部第一部経営工学科, 3(2009)
- [3] 河内まき子, 持丸正明, 岩澤洋, 三谷誠二(2000): 日本人人体寸法データベース 1997-98, 通商産業省工業技術院くらしと JIS センター
- [4] 手のイラスト, <http://hil.t.u-tokyo.ac.jp/research/introduction/PianoFingering/japanese.html> (最終閲覧日 2010/8/26)
- [5] G. D. Forney. “The Viterbi algorithm”. Proceedings of the IEEE 61(3), 268-278, 1973-3