

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

東京理科大学工学部経営工学科

沼田研究室

5307406 田沼 一紀



目次

1. はじめに
2. 先行研究**[1]**
3. 解法
4. 結果と考察
5. まとめ
6. 参考文献

ピアノ演奏の概要

一般的にピアノは、譜読み・運指決定の2つのステップを踏み演奏される



譜読み



運指決定



演奏

図1:ピアノ演奏の概要

背景(1)

初心者の問題

- 楽譜が読めない

➡ 楽譜には規則やルールがある

- 指使いがわからない

➡ 運指決定(指使い)には規則やルールがない

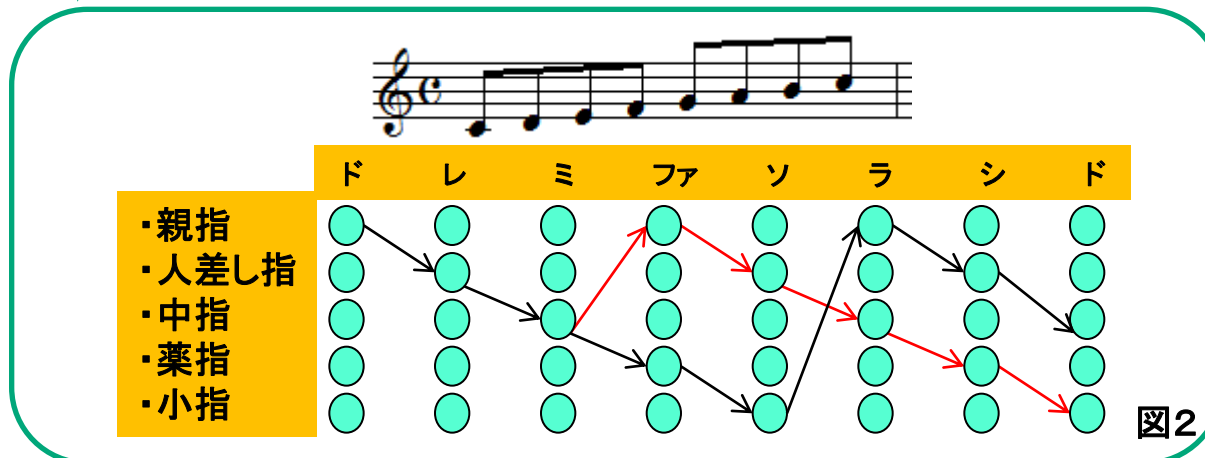


図2 運指決定



背景(2)

市販されている多くの楽譜には指番号が書いていない



知識や経験のない初心者にとって運指決定が難しい

ピアノ初心者の要請・・・

初心者が弾きたいと思う楽譜に自動的に指番号を推定してくれる初心者支援システムがあると便利

1. はじめに

先行研究

多くの先行研究では
楽譜から直接運指を推定しようとするアプローチが多い



不自然な手の動きになってしまう

先行研究[1]では
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



手の自然な動きを考慮した運指決定が行える

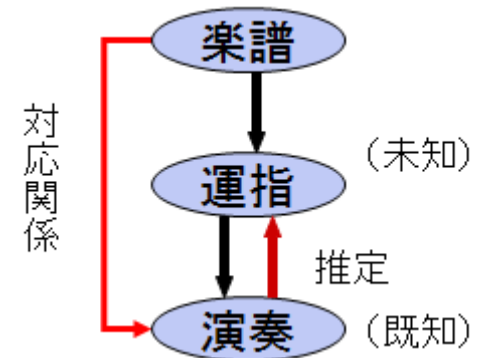


図3:ピアノ演奏のモデル化



研究目的

先行研究[1]

確率論的手法である、隠れマルコフモデルを用いて、
運指決定を行なっている

➡ 多くの部分で尤もらしい、運指決定が行われた。しかし、
問題箇所が発見された(p.20)

本研究の目的

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」の改良を目的とする

隠れマルコフモデル(1)

観測できる情報から

未知の状態を推定できる

観測できる情報

➡ 音符系列

未知の状態

➡ 運指状態(打鍵指状態)

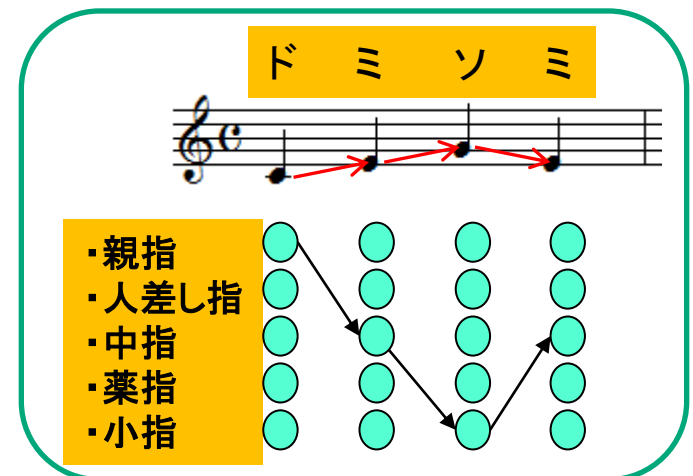
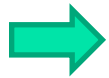


図4: 隠れマルコフモデルの概要

隠れマルコフモデル(2)

隠れマルコフモデル



出力確率と遷移確率を持つ

出力確率

遷移確率

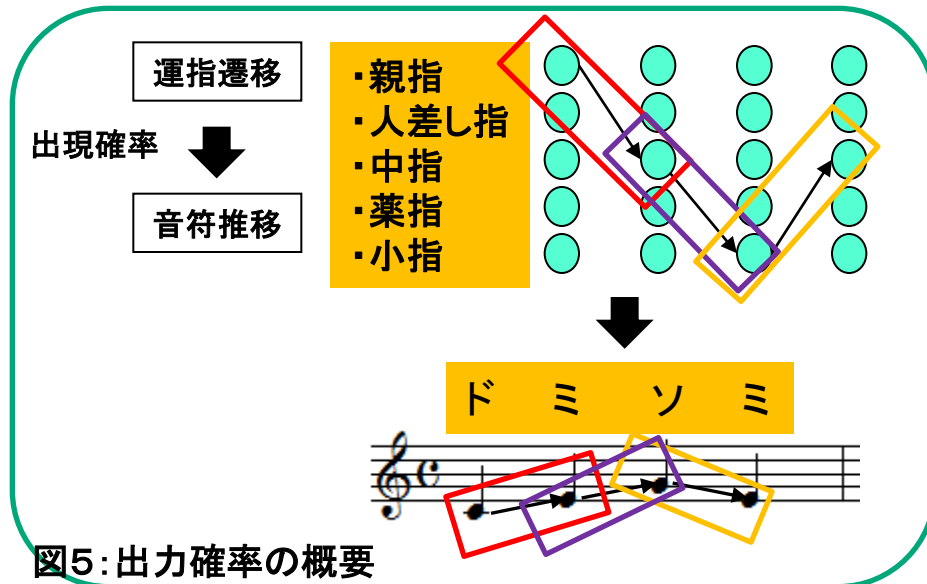


図5: 出力確率の概要

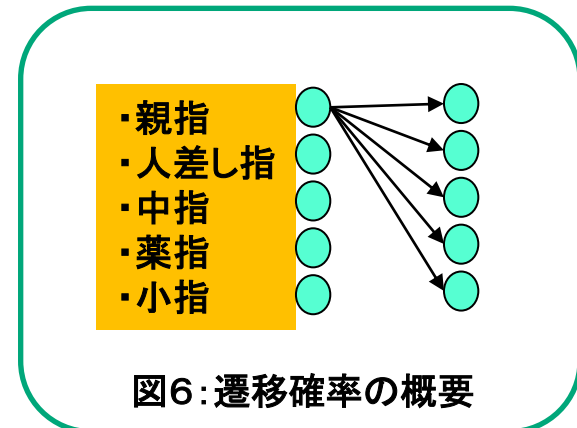


図6: 遷移確率の概要

2. 先行研究[1]

隠れマルコフモデルの導入

変数

S : 運指(打鍵指状態)

s_i : i 番目の運指

定数

Y : ピッチ(音の高さ)系列

y_i : i 番目のピッチ



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

$P(S | Y)$ 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

先行研究[1]の解法

①出力確率

②遷移確率



Viterbiアルゴリズム[4]を用いて

$P(S | Y)$ を最大化する S を求める

出力確率(1)

出力確率を求める

出力確率は、二次元Gauss分布に従うと仮定する

$$P((y_i, y_{i-1}) | (s_i, s_{i-1}))$$

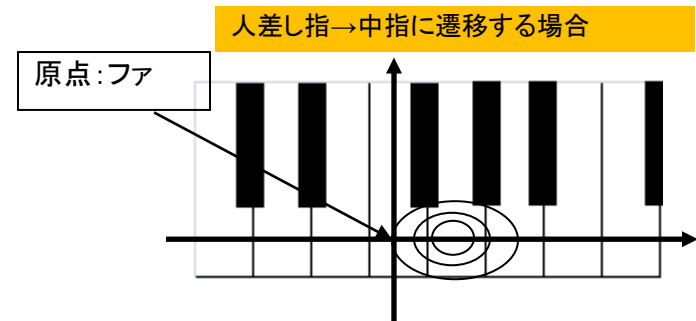
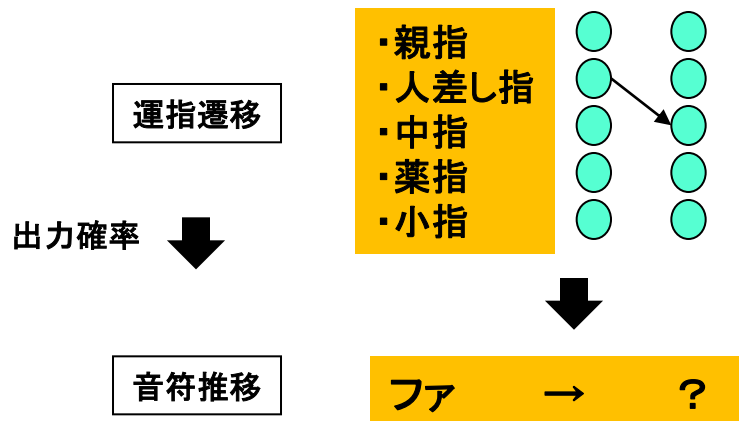


図8: 二次元Gauss分布の例

2. 先行研究[1]

出力確率(2)

$$P((y_i, y_{i-1}) | (s_i, s_{i-1}))$$

指に番号を付ける

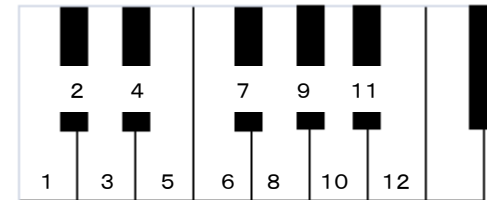


図9: 指番号

ピッチ系列をデータ化する



```
<pitch>↓
<step>C</step>↓
<octave>4</octave>↓
</pitch>↓
<duration>2</duration>↓
<voice>1</voice>↓
<type>16th</type>↓
<stem>up</stem>↓
```



ド	ド#, レ♭	レ	レ#, ミ♭	ミ	ファ	ファ#, ソ♭	ソ	ソ#, ラ♭	ラ	ラ#, シ♭	シ
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12

3オクターブ分、36番まで番号付けを行う

図10: ピッチ系列のデータ化

出力確率(3)

二次元Gauss分布を計算する際のモデルパラメータ値の設定

二次元Gauss分布を計算する際の上下・左右方向の確率変数の値は一般的なピアノを基に設定する(図10)

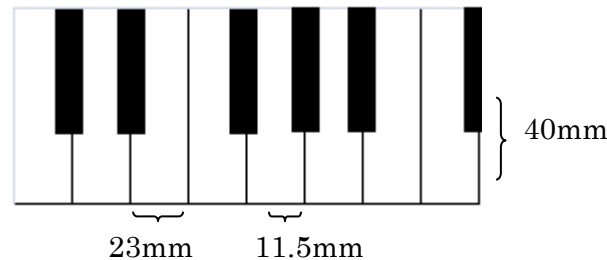


図11: 鍵盤距離の設定

2. 先行研究[1]

出力確率(4)

出力確率の正規化

ピッチ推移の各行の要素の確率を全て足しあわせて1になるように正規化する

	親指	人差し指	中指	薬指	小指
親指					
人差し指					
中指					
薬指					
小指					

表1: 正規化の例

		中指											
		ド	ド#、レ♭	レ	レ#、ミ♭	ミ	ファ	ファ#、ソ♭	ソ	ソ#、ラ♭	ラ	ラ#、シ♭	シ
人 差 し 指	ド	1.54E-01	6.33E-12	6.69E-01	6.74E-12	1.74E-01	2.73E-03	1.65E-15	2.57E-06	3.82E-19	1.45E-10	5.28E-24	4.93E-16
	ド#、レ♭	1.45E-27	1.87E-01	2.58E-26	8.10E-01	2.73E-26	1.74E-27	3.31E-03	6.69E-30	3.12E-06	1.54E-33	1.76E-10	2.14E-38
	レ	2.12E-03	3.57E-13	1.54E-01	6.32E-12	6.67E-01	1.74E-01	4.30E-13	2.73E-03	1.65E-15	2.57E-06	3.81E-19	1.45E-10
	レ#、ミ♭	1.21E-29	6.39E-03	3.58E-27	1.62E-01	6.84E-26	6.75E-26	5.28E-01	1.82E-27	8.20E-03	1.66E-29	7.72E-06	3.82E-33
	ミ	1.76E-06	1.21E-15	2.12E-03	3.57E-13	1.54E-01	6.67E-01	6.73E-12	1.74E-01	4.30E-13	2.73E-03	1.65E-15	2.57E-06
	ファ	8.79E-11	2.46E-19	1.76E-06	1.21E-15	2.12E-03	1.54E-01	6.67E-12	6.67E-01	6.73E-12	1.74E-01	4.30E-13	2.73E-03
	ファ#、ソ♭	1.01E-38	8.84E-11	8.25E-34	1.77E-06	4.05E-30	1.20E-27	1.54E-01	2.12E-26	6.71E-01	2.26E-26	1.75E-01	1.44E-27
	ソ	2.63E-16	3.00E-24	8.79E-11	2.46E-19	1.76E-06	2.12E-03	3.57E-13	1.54E-01	6.32E-12	6.67E-01	6.73E-12	1.74E-01
	ソ#、ラ♭	8.91E-45	3.19E-16	1.21E-38	1.06E-10	9.94E-34	4.88E-30	2.57E-03	1.44E-27	1.86E-01	2.55E-26	8.08E-01	2.72E-26
	ラ	4.74E-23	2.20E-30	2.63E-16	3.00E-24	8.79E-11	1.76E-06	1.21E-15	2.12E-03	3.57E-13	1.54E-01	6.32E-12	6.67E-01
	ラ#、シ♭	9.75E-52	1.42E-22	2.21E-44	7.92E-16	3.01E-38	2.47E-33	5.30E-06	1.21E-29	6.39E-03	3.58E-27	4.62E-01	6.34E-26
シ	5.11E-31	9.71E-38	4.74E-23	2.20E-30	2.63E-16	8.79E-11	2.46E-19	1.76E-06	1.21E-15	2.12E-03	3.57E-13	1.54E-01	

遷移確率

遷移確率を求める

指の独立性が原因で敬遠される「中指→薬指」、「薬指→小指」などの運指は、その遷移確率を他の遷移確率に比べ3割程度低く設定する

表2: 先行研究[1]での遷移確率

		遷移後の指				
		親指	人差し指	中指	薬指	小指
遷移前の指	親指	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20
	人差し指	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20
	中指	0.21	0.21	0.21	0.16	0.21
	薬指	0.23	0.23	0.16	0.23	0.16
	小指	0.21	0.21	0.21	0.16	0.21

Viterbiアルゴリズム(1)

Viterbiアルゴリズム

記号の定義

$v_l(t+1)$: 時刻 $t+1$ に状態 l に至る確率最大の状態列の確率

$v_k(t)$: 時刻 t に状態 k に至る確率最大の状態列の確率

P_{kl} : 遷移確率

$P(k \rightarrow l | y_t \rightarrow y_{t+1})$: 「運指の遷移」から「ピッチ推移」の出力確率を、「ピッチ推移」から「運指の遷移」に置き換えた出現確率

k^* : 時刻 J に生起確率が最大となる状態

Viterbiアルゴリズム(2)

定式化

$$v_l(t+1) = \max_k [P(k \rightarrow l | y_t \rightarrow y_{t+1}) \cdot v_k(t) \cdot P_{kl}] \quad (1)$$

終了

$$\max_k v_k(J) = v_{k^*}(J) \quad (2)$$

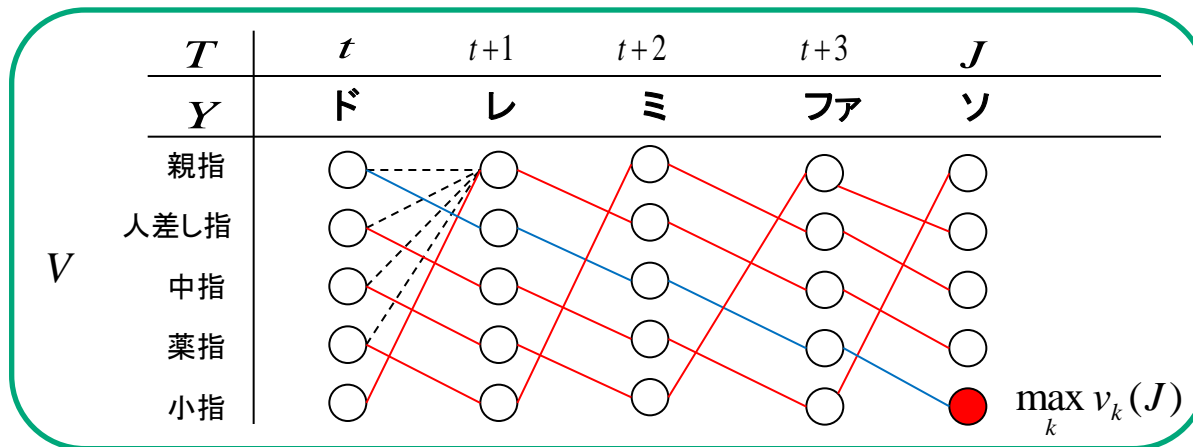


図12: Viterbiアルゴリズムの概要

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番の右手の旋律を対象に、運指決定の実験を行う



楽譜に書かれている指番号と実験結果を比べて評価する

検証実験結果

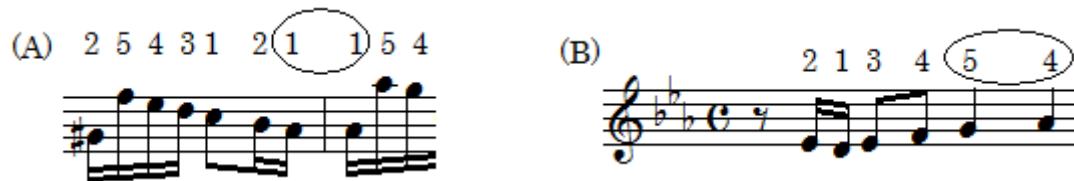


図13:問題箇所

- ①一般的に同音連打する場合、指を変える傾向にあるが、図13(A)では同じ指で同音連打している
- ②図13(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



提案解法(1)

表3: 先行研究[1]での遷移確率

		遷移後の指				
		親指	人差し指	中指	薬指	小指
遷移前の指	親指	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20
	人差し指	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20
	中指	0.21	0.21	0.21	0.16	0.21
	薬指	0.23	0.23	0.16	0.23	0.16
	小指	0.21	0.21	0.21	0.16	0.21

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8割低く設定する

提案解法(2)

ソ → ラ♭

距離がある

ソ → ラ♭

15mm { } 15mm → 15mm { } 45mm

図14:親指と小指の長さ

小指の長さを親指よりも長く設定する[2]

実験結果

実験前

(A) 2 5 4 3 1 2 1 1 5 4



実験後

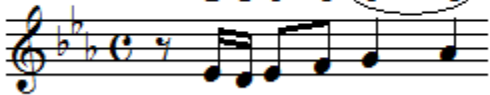
(1) 2 5 4 3 2 1 2 1 5 4 (2) 3 2 1 2 3 4 2 3 1



図15: 実験結果1

同じ指で同音を連打する問題は、改良できた。しかし、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。

(B) 2 1 3 4 5 4



(3) 2 1 2 1 5 1



図16 実験結果2

黒鍵を含む楽曲で不自然な指くぐりが起こる問題は、改良できた。しかし、「小指→親指」の指くぐりは演奏がしにくく「人差し指→親指」、「中指→親指」が望ましい。



考察

- 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た問題は、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
- 「小指→親指」の指くぐりが起きた問題は、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



5. まとめ

- 先行研究[1]の改良を行った
- 確率を変えることで、先行研究[1]での運指よりも弾き易い指使いになった

今後の課題

- ピッチ系列だけでなく、休符の情報も含んだモデルにする必要がある
- 手の動きを表すパラメータを補う必要がある



6. 参考文献

- [1] 米林雄一郎 亀岡宏和 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”(2006)
- [2] 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
- [3] 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に関する研究(2008)
- [4] G. D. Forney. “The Viterbi algorithm”, Proceedings of the IEEE 61(3), 268-278,1973-3



ご清聴ありがとうございました