

音色に配慮した単旋律のギター自動運指決定のアルゴリズム

金杉季実果^{†1} 田口旺太郎^{†1} 堀玄^{†2,3} 嵯峨山茂樹^{†1}

概要: ギターの運指は左手の押弦と右手の撥弦の組み合わせとして考えられるが、1つの音に対して取り得る押弦パターンは複数存在し、運指を人手で決定することは必ずしも容易ではない。そこで、我々は、与えられた単旋律の楽譜データから、最も演奏しやすい運指を自動決定する研究を進めてきた。今回は、音色を考慮した演奏を行うための運指を自動決定するためのアルゴリズム、実験評価を中心に述べる。

キーワード: ギター, 自動運指決定, HMM, Viterbi アルゴリズム

1. はじめに

ギターや弦楽器の運指では、1つの音に対して取り得る左手の押弦位置は複数存在することが多く、演奏者自身で最適な運指を決定することは必ずしも容易ではない。このため弦楽器の運指決定に関する研究が行われており[1]、我々は、与えられた楽譜データから、最も演奏しやすい運指を隠れマルコフモデル(HMM)を用いて自動決定する研究を進めてきた[2,3]。本稿では、ギター演奏者の熟練度と音色のバランスを考慮して、単旋律に対する運指を自動決定する問題について述べた筆者らによる発表[4]に評価対象の楽曲を追加し、HMMによる定式化、アルゴリズム、実験結果について詳細に述べる。

2. 自動運指決定のアルゴリズム

2.1 ギターの運指の定義

楽譜上の1つ1つの音は、ギターにおいて、左手でフレットを押さえる押弦と右手で弦を弾く撥弦(はつげん)の組み合わせによって演奏される。また1つの押弦は、弦の選択(どの弦を押さえるか)、フレット位置、指の選択(どの指で押さえるか)という3要素で構成されている。

なお、対象とするギターは各弦19フレットの6弦を持つクラシックギターとしている。ただし、本研究では、使用可能なフレット数をネック部分で押さえることができる12フレットまでとしている。

2.2 HMMによる定式化

前節で述べた押弦と撥弦の組み合わせを1つの隠れ状態として扱うことにより、ギターの楽曲はこの隠れ状態が遷移した結果によって出力された音符列と見ることができる。反対に、ギターの運指を決定するという事は、出力される音符列から隠れ状態である押弦と撥弦の組み合わせを推定する隠れマルコフモデル(HMM)の復号問題として扱うことができる。この問題はViterbiアルゴリズムを用いて効率的に解くことが可能である。Fig.1において、同じ状態にとどまる箇所を押弦の変更がない箇所、次の状態に移る箇所を押弦の変更がある箇所、出力を音符列として扱う。

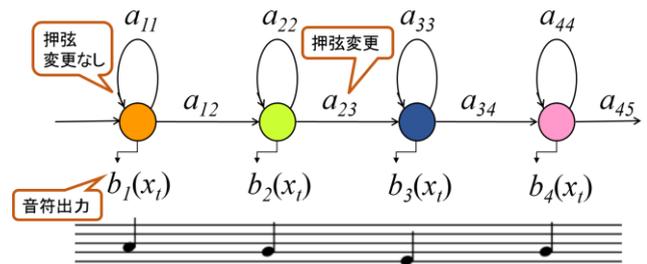


Figure 1. HMMによる運指モデル

2.3 遷移確率と出力確率

HMMを用いると、楽譜に従ってある押弦状態から次の押弦状態へ移行することを隠れ状態間の遷移と捉え、それが演奏者の持つ技術力で成功する確率を遷移確率とし、さらに出力確率を適切に設定することにより、Viterbiアルゴリズムによる最適経路探索を用いて、最も演奏に成功する(最も弾きやすい)運指を自動決定することが可能である。

もし、弾きやすいとされているギター譜データを大量に入手できれば、遷移確率と出力確率はそのデータからBaum-Welchアルゴリズムにより学習、推定することが可能であるが、学習のために十分な運指データを準備することは容易でない。そのため、本研究では楽譜に従った押弦状態の移行が成功する確率として、遷移確率 a_{ij} を

$$a_{ij} \sim \frac{1}{1 + |I_i - I_j|}$$

と設定した。ただし、 I_i, I_j は状態 i, j において人差し指が置かれているフレット番号である。ここでは、人差し指の移動量、すなわち左手のネック方向の移動量を難易度の主要要因と仮定し、演奏が成功する確率をこれにほぼ反比例する量と定義した[2]。難易度に影響する要因は、弦の選択、指の選択、音符長や休符の考慮など、他にも多種考えられるが、本論文の狙いは後節で提案する自動運指決定アルゴリズムの提案と検証にある。そのため、本論文においては遷移確率を上記のように定義したが、今後の改良によって自動運指決定システムの性能の向上が期待される。

なお、運指決定の問題においては隠れ状態から出力記号が一通りに決定するため、出力確率は1である。

3. 音色に配慮した運指決定

3.1 音色に配慮した運指

我々の先行研究では難易度に着眼しており、演奏を成功させることのできる確率を最大にする、すなわち最も演奏しやすい運指を決定することを目的としている。しかし、ある程度熟練したギター演奏者は、多少難しい運指であっても、聴衆に「上手な演奏だ」と感じてもらいたいと願うことがある。ギターの運指において、難易度と音色はトレードオフの関係にあると考えられる。

そこで本研究では音色を重視し、より「音色が良い」という評価が得られる確率を最大にする運指決定を行うために2つの手法を提案する。第1に、可能な限り同一の弦で弾き続けること、すなわち他の弦への移動の抑制である。第2に、可能な限りネック部分を押さえる押弦を使用すること、すなわち開放弦の使用の抑制である。これらにより音色の統一感や表現性の統一感を得られるようにすることを目指す。

ただし、可能な限り同一の弦で弾き続けると左手のネック方向の移動量が増え、また開放弦を避けることにより左手の押弦が増える。これらの度合いが大きすぎると、ギター演奏者への負担が大きくなり、演奏を成功させることが不可能になる場合が考えられる。そこで、本システムの利用者がギター演奏者への負担と音色の向上のバランスを調整しながら運指決定を行えるようにするために、前節で述べた遷移確率に新たに2種類のパラメータを導入する。

3.2 同一弦の使用

6本あるギターの弦はそれぞれ太さや材質が異なるため、弦ごとにわずかに音色が異なる。そこで、同一の弦を弾き続ける確率を最大にする、すなわち他の弦へ移動する運指の遷移確率を小さくすることで音色の統一感が得られると考えられる。

ただし、例えばギターで出すことのできる最低音から最高音など大幅な音程の変動がある場合、他の弦へ移動することはやむを得ない場合がある。そのため他の弦への移動を禁止することはできない。そこで、現在の押弦と次の押弦で弾く弦が異なる場合に、遷移確率 a_{ij} を予め設定する定数 α で割ることにより実現した。以下に計算式を示す。

$$a_{ij} = \frac{1}{1 + |I_i - I_j|} \times \begin{cases} \frac{1}{\alpha} & (\text{他の弦への移動あり}) \\ 1 & (\text{他の弦への移動なし}) \end{cases}$$

3.3 開放弦の使用の抑制

熟練したギター演奏者は、演奏中にビブラート奏法を用いて演奏の表現の向上を図る場合がある。しかし、開放弦を使用するとビブラート奏法を用いることができず、演奏の表現を統一することが困難となる。

Table 1. 実験で使用した楽曲

楽曲	音符数
1 スケール(C4 から C5, ハ長調)	8 音
2 アイネクライネナハトムジーク第 3 楽章 よりチェロパート(モーツァルト)	23 音
3 愛のロマンス(イエペス)	25 音
4 アラベスク第 1 番(ドビュッシー)	15 音
5 3つのジムノペディ第 1 番(サティ)	9 音
6 ターフェルムジーク第 1 集より第 2 楽章 (テレマン)	24 音

そこで、開放弦以外の運指を用いる確率を最大にする、すなわち開放弦を使用する運指への遷移確率を小さくすることで表現性の統一感が得られると考えられる。そこで、次の状態で開放弦を使用する確率を 0 から 1 までの定数 β とおき、 β の値を小さくすることにより実現した。なお、 β の値を 0 にすることで開放弦の使用を禁止することが可能である。以下に計算式を示す。

$$a_{ij} = \begin{cases} \beta & (\text{開放弦 } (0.0 \leq \beta \leq 1.0)) \\ \frac{1}{1 + |I_i - I_j|} & (\text{開放弦以外}) \end{cases}$$

4. 実験評価

4.1 システム、条件

以上で述べた遷移確率の計算を用いて、定数 α の値を 10.0 と 1.0 の 2 種類、定数 β の値を 0.0 と 1.0 の 2 種類を組み合わせた計 4 種類の運指を楽曲ごとに生成した。定数 α は値が大きくなるほど他の弦への移動が抑制される。また定数 β は値が小さくなるほど開放弦の使用が抑制される。評価に用いた楽曲を Table 1 に示す。また、本研究では単旋律を対象とし、また音符の長短を考慮しないこととする。

4.2 楽譜生成結果

4.1 で生成した運指において、他の弦への移動回数と開放弦の使用回数を比較した。楽曲 1 から 3 を入力した際に得られた運指パターンの例を Fig. 2 から Fig. 4, その他 5 曲を含めた比較結果を Table 2 に示す。

Fig. 3 では、他の弦への移動回数に関わる定数 α の値のみを変化させている。他の弦への移動を抑制した上段では、他の弦への移動回数が 5 回と少なくなっているのに対し、移動を容認した下段では、他の弦への移動回数が 17 回となっている。

Fig. 4 では、開放弦の使用回数に関わる定数 β の値のみを変化させている。開放弦の使用を容認した下段では、開放弦の使用回数は 14 回となり、全楽曲の運指パターンの中で最大となっている。

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

(1) (0) (1) (2) (0) (1) (0) (1)

Figure 2. α , β 値による最適運指結果(楽曲 1)

上 : 使用楽譜 / 中 : $\alpha=10.0$, $\beta=0.0$

/ 下 : $\alpha=1.0$, $\beta=1.0$

$\alpha=10.0, \beta=1.0$

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

(0) (4) (2) (1) (1) (2) (4) (0) (4)

(1) (2) (4) (2) (0)

$\alpha=1.0, \beta=1.0$

(0) (1) (0) (4) (4) (1) (0) (4) (1)

(0) (3) (1) (0) (1) (0) (1) (0) (0)

(1) (2) (0) (1) (0)

Figure 3. α , β 値による最適運指結果(楽曲 2)

上 : 使用楽譜 / 中 : $\alpha=10.0$, $\beta=1.0$

/ 下 : $\alpha=1.0$, $\beta=1.0$

$\alpha=1.0, \beta=0.0$

(4) (1) (1) (1) (1) (4) (2) (2) (1)

(4) (4) (2) (1) (2) (2) (2) (2) (4)

(2) (2) (1) (4) (4) (1) (2)

$\alpha=1.0, \beta=1.0$

(1) (0) (0) (0) (0) (1) (0) (0) (3)

(1) (1) (0) (0) (0) (0) (0) (0) (3)

(1) (1) (0) (1) (1) (0) (1)

Figure 4. α , β 値による最適運指結果(楽曲 3)

上 : 使用楽譜 / 中 : $\alpha=1.0$, $\beta=0.0$

/ 下 : $\alpha=1.0$, $\beta=1.0$

Table 2. 他の弦への移動回数(上段),
開放弦の使用回数(下段)

α 値	10.0	10.0	1.0	1.0
β 値	0.0	1.0	0.0	1.0
楽曲 1	1	1	2	3
	0	1	0	3
楽曲 2	1	2	9	9
	0	1	0	14
楽曲 3	6	5	13	17
	0	2	0	10
楽曲 4	2	2	11	11
	0	1	0	4
楽曲 5	1	1	5	2
	0	2	0	3
楽曲 6	4	4	21	22
	0	4	0	13

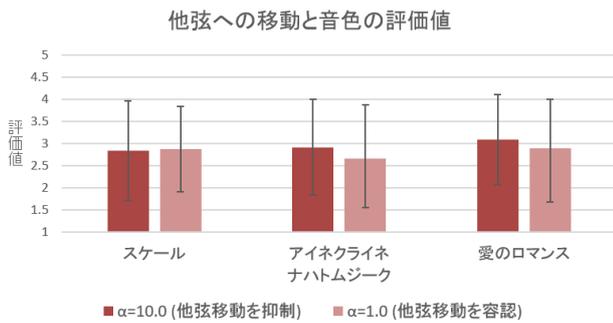


Figure 5. α 値の設定と演奏音色の評価値

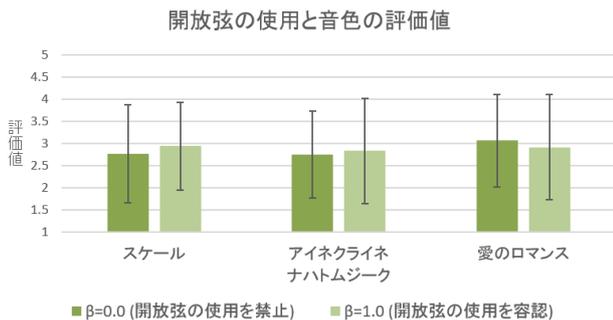


Figure 6. β 値の設定と演奏音色の評価値

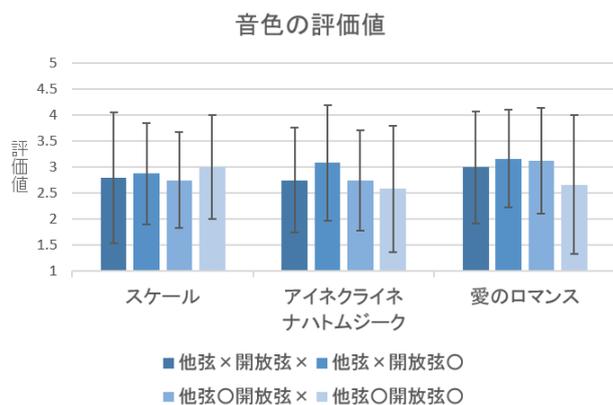


Figure 7. α , β 値の設定と音色の評価値

4.3 主観評価の方法

予備的な評価のため、Table 1 の楽曲のうち 1 から 3 までの 3 曲を、4.1 で生成した各 4 種類の運指で筆者が演奏し、同環境で録音した音のみを大学生 8 人に聴取してもらい、その音色を評価してもらった。全曲においてテンポは 88 とし、ネック方向の移動量が大きくても十分に演奏可能な速度とした。評価方法は、音色が「非常に悪い」と感じた場合は 1、「非常に良い」と感じた場合は 5 とした 5 段階の絶対評価とした。なお、聴取してもらった楽曲および運指パターンの順番はランダムとし、1 パターン聴取するごとに評価を行わせた。

4.4 主観評価の結果

4.4.1 他の弦への移動と音色評価

他の弦への移動に関わる定数 α の値と評価の結果を Fig. 5 に示す。スケールにおいては評価に個人差があり、その平均に差は見られなかった。一方、比較的長いフレーズの実楽曲では、他の弦への移動回数を抑制した運指パターンの方が良い音色だと感じられた度合いが大きかったように見られるが、まだ実験サンプル数が少ないため、有意差検定によって有効性を立証するには至っていない。

4.4.2 開放弦の使用と音色評価

開放弦の使用に関わる定数 β の値と評価の結果を Fig. 6 に示す。特に楽曲 1, 2 において、開放弦の使用を禁止したことによる音色の差は見られなかった。これは、本実験においてビブラート奏法を用いずに演奏を行ってしまったために差が見られなかった可能性が考えられる。

4.4.3 2つの手法を組み合わせた場合の音色評価

定数 α と定数 β の2つの値を組み合わせた場合の評価の結果を Fig. 7 に示す。実楽曲においては、他の弦への移動が少なく、かつ開放弦の使用を容認した運指パターンでの演奏が良い音色だと感じられた度合いがわずかに大きいと見られることもできるが、他の評価と同様に、有意差検定によって有効性を立証するに至っていない。

5. 結論

本論文では、ギター運指の自動決定を HMM の復号問題として定式化し、Viterbi アルゴリズムで解く手法において、さらに音色を向上させることを動機としてそのための手法を検討した。他の弦への移動を最小化すること、開放弦を用いないようにすることの2つの制約をこの定式化に含めることにより、ギター演奏者への負担と音色の向上のバランスをパラメータで調整しながら運指を自動決定するアルゴリズムを導出した。予備実験での主観評価では音色の向上が見られたものの、サンプル数が少ないために統計検定による有効性の立証はまだ行えていないが、今後、実験サンプル数を増やすことによって有効性を立証したい。加えて、定量的、客観的な評価の方法を模索するとともに、「最も演奏するのが難しい」箇所が最も易しく演奏できる運指決定の手法も模索したい。

謝辞 この研究は、日本学術振興会科学研究費補助金基盤研究(A)課題番号 26240025「音楽信号・作曲理論・演奏の数理モデルを融合する音楽音響情報処理の研究」の部分的支援を得て行われた。

参考文献

- [1] Sayegh, S.I., “Fingering for string instruments with the optimum path paradigm,” *Computer Music Journal*, Vol.13, No.3, pp. 76–83, 1989.
- [2] 吉永悠真, 堀玄, 深山覚, 嵯峨山茂樹, “隠れマルコフモデルによるギターのための運指決定および自動編曲,” *日本音響学会 2012 年度春季研究発表会講演論文集*, pp. 11-12, 2012.
- [3] Hori, G., Kameoka, H., Sagayama, S., “Input-output HMM applied to automatic arrangement for guitars,” *Journal of Information Processing*, 21, pp.264-271, 2013.
- [4] 金杉季実果, 田口旺太郎, 堀玄, 嵯峨山茂樹, “音色に配慮した単旋律のギター自動運指決定,” *情報処理学会 第 78 回全国大会講演論文集 DVD*, 講演番号 1Q-04, 2016.