

動的計画法に基づく音符長を考慮したバイオリン運指推定

長田 若奈[†], 酒向 慎司[†], 北村 正[†][†] 名古屋工業大学

1 はじめに

バイオリン演奏は、左手の指で弦を押さえ、右手に持った弓で弦を擦って音を発する。音高は押弦位置により決定するが、各弦の音域が重なっているため、1つの音高に複数の押弦位置が対応する。またそれぞれの押弦位置に対し、左手の押さえ方は複数存在する。このため、1つの音符列から複数の運指が考えられるので、バイオリンを演奏する際には必ず運指を決定する必要がある。

一般的に運指は教本以外の楽譜には書かれていないため、奏者は経験的あるいは試行錯誤により運指を決定する。しかし、経験の少ない初級者にとって運指決定は容易ではない。また、中級者であっても、奏者が直感的に決定した運指よりも他の運指の方が容易に演奏できる事もしばしば存在する。このため、初級者のみでなく中級者の奏者にも適した運指推定が必要である。

運指推定の先行研究としてギター運指推定 [1, 2] があるが、これらは初級者が対象で音高のみから運指を推定している。ギター同様、バイオリンにおいても、初級者が望む運指とは最も容易に演奏できる運指である。これは音高に強く影響されていると考えられる。一方で中級者は、運指の難易度よりも表現の自由度を優先し、弦の選択やピブラートのしやすさも考慮した運指が望まれる。表現の自由度は音符長が長いほど運指に影響を与え、音符長が短い場合は表現の自由度よりも運指の難易度が優先されると考えられる。そこで、本研究では音高だけでなく音符長も考慮し、初級者及び中級者を対象としたバイオリンの運指推定法を提案する。

2 提案法

2.1 バイオリン運指のモデル化

バイオリン演奏の際、音符毎に左手の状態が遷移していると考えられる。この状態列が運指であり、運指をモデル化することにより運指の適切さを考える。

ある音符が演奏される際の左手の状態を表すものに、以下の4つが考えられる。

弦 SP (String Position) 4本の弦のいずれか

指番号 FN (Finger Number) 人差し指から小指の順に1から4を割り当て、何も押えない開放を0

手の位置 HP (Hand Position) 人差し指の仮想フレット位置
指の形 FS (Finger Shape) 親指以外の各指の間隔が半音か全音かの組み合わせ

これらの要素からバイオリン演奏の左手の状態 s は

$$s = \{SP, FN, HP, FS\} \quad (1)$$

式(1)のように表すことができ、 s によって音高は一意に決定できる。本研究では図1のように音符毎に状態が遷移していくと考え、また、状態の適切さは1つ前の状態のみに依存するとする。ここで、 s_i から s_j への遷移の適切さ(遷移確率 $a_{i,j}$)と s_i の押弦の適切さ(押弦確率 b_i)により、運指の適切さを考えることが可能である。

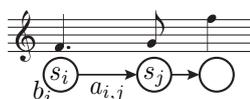


図1: バイオリン運指のモデル

2.2 遷移確率

音を発している間は同じ状態に留まり、遷移の時間は一瞬であるとする。遷移確率は音符長に依存せず、以下の要素によって定める

SP 弦の移動幅 $|SP_i - SP_j|$ が小さいほど演奏は容易であり適切な運指である。

FN 手の移動がある場合、移動の直後は手の位置が安定せず音程を取ることが難しい為、指番号が小さいほど音程が取りやすく適切である。また、手の形を変更する場合は、左手が自由になる時の方が変更は容易である為、開放の方が適切である。

HP 手の移動幅 $|HP_i - HP_j|$ が小さいほど演奏が容易であり適切な運指である。

FS 手の形は変更しない方が音程が取りやすい為、変更しない方が適切である。

これらを考えると遷移確率は以下ようになる。

$$a_{i,j} = P_{SP}(i,j)P_{FN|HP,FS}(i,j)P_{HP}(i,j)P_{FS}(i,j) \quad (2)$$

2.3 押弦確率

音符長が短い音では容易に演奏できる押弦が適切である。音符長が長い音では一般に太い弦の音色が好まれ、またピブラートを使用する事が多い。この事から押弦確率は音符長に依存すると考えられる。しかし、短すぎる、あるいは長すぎる部分は音符長により押弦確率は変動しないと考えられる。ある長さ (k_0) より短い音符は、音符長に因らず容易さのみで決まる。また、別のある長さ (k_1) より長い音符は運指の難しさを感じにくいと考えられるため、音符長の違いに影響を受けない。音符長を L とすると、正規化した音符長 l は

$$l = \begin{cases} 0 & (L \leq k_0) \\ \frac{L-k_0}{k_1-k_0} & (k_0 < L < k_1) \\ 1 & (L \geq k_1) \end{cases} \quad (3)$$

であると考えられる。 $k_0 = \infty$, つまり全ての L において $l = 0$ である時、押弦確率は音符長に依存せず押弦の容易さのみを表す。これは初級者に望まれる運指を表すと考えられる。

押弦確率は l に依存し、以下の要素によって定める。

SP 音符長が長いほど太い弦の方が適切である。音符長が短い場合には弦に依存しない。

FN 音符長が短い場合は押弦の容易な指が適切であり、音符長が長い場合はピブラートが容易な指が適切である。特に開放は音程を取らなくて良いので最も容易であるが、ピブラートをかけることができない為、音符長に影響を受けやすいと考えられる。

HP ローポジション(奏者から遠い位置)の方が音高間の弦上での幅が広く、ハイポジションになるにつれ幅が狭くなり微妙な位置の違いが音程に影響しやすく難しい。この為基本的にはローポジションの方が適切だが、楽器の構造上音程の取りやすい位置も存在する為それらを考慮して音程の取りやすい位置が適切である。

FS 手の構造上の容易な形や音階に対応している形が適切である。

これらが独立と考えると押弦確率は以下ようになる。

$$b_i(l) = P_{SP}(i,l)P_{FN}(i,l)P_{HP}(i)P_{FS}(i) \quad (4)$$

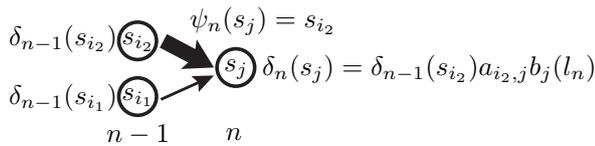


図2: ある時点の最尤状態確率の算出

2.4 動的計画法による最適運指の推定

最適運指は、音符列から考えられる全ての状態列のうち、最も尤度が高いものであると考えられる。状態列の数は音符数 N の増加に従って指数的に増加し、全ての状態列の尤度を計算するのは現実的には困難である。このため、最尤状態列の探索を動的計画法を用いて解く。

最尤状態列の探索は、各音符に対応する状態の集合と遷移確率、押弦確率から、最も尤度が高くなるような状態列を導出する問題である。モデルのマルコフ性から、ある時点までの状態の最尤状態確率は現在の状態と1つ前の各状態の最尤状態確率のみに依存する。 n 個目の音符で状態 s_j に至るまでの最尤状態確率を $\delta_n(s_j)$ 、そのときの $n-1$ 個目の状態を $\psi_n(s_j)$ とすると、 $\delta_n(s_j)$ 、 $\psi_n(s_j)$ の算出は図2のようになり、式で表すと以下ようになる。

$$\delta_n(s_j) = \begin{cases} b_j(l_n) & (n = 1) \\ \max_i [\delta_{n-1}(s_i) a_{i,j}] b_j(l_n) & (n > 1) \end{cases} \quad (5)$$

$$\psi_n(s_j) = \begin{cases} 0 & (n = 1) \\ \arg \max_{s_i} [\delta_{n-1}(s_i) a_{i,j}] & (n > 1) \end{cases} \quad (6)$$

$\delta_N(s_j)$ を最大化するような経路を導出すれば良いので、最尤状態列 q^* は式 (7) で求めることができる。

$$q_n^* = \begin{cases} \psi_{n+1}(q_{n+1}^*) & (n < N) \\ \arg \max_{s_i} \delta_N(s_i) & (n = N) \end{cases} \quad (7)$$

3 評価実験と考察

提案法による音符長を考慮した場合と考慮しない場合の生成運指と、初級者向き教本と中級者向き教本の運指を音符長毎に比較し、提案法を評価する。各パラメータは表1の学習データにより経験的に与えた。実験条件を表1、結果を図3, 4に示す。図3, 4は、正規化音符長 $l = 0.1 \times n$ (n は整数) について $l - 0.05 \leq l < l + 0.05$ の範囲の正解率を示している。

テストデータ A (初級者用データ) の結果 (図3) では、音符長を考慮しない方が正解率が高い。これは、音符長から弦の選択やピブラートを考慮すると運指の難易度が上がるため、音符長を考慮すると初級者にとっては適さない運指が生成されるからである。音符長を考慮しない場合は高い正解率が得られている為、初級者向けの運指を生成するには、運指の難易度のみを考えれば良いと言える。

一方、テストデータ B (中級者用データ) の結果 (図4) で音符長を考慮しない場合を見ると、初級者用データに比べ、全体的に正解率が低い。これは、技術レベルの上昇と共に演奏可能な運指が増え、演奏が容易であるかどうかだけでは運指を決定できないからである。音符長を考慮した場合を見ると、初級者用データよりは正解率は低いが、音符長を考慮しない場合よりも正解率が高い。このことから、中級者には、難易度だけでなく、弦の選択やピブラートの使用を考慮した運指の方が適していると言える。

テストデータ A, B から、初級者と中級者では適した運指が異なっていることが確認できた。また、別の教本に同じ曲が収録されている場合の運指の一致率は 93.8% であったことから、音符長を考慮しない場合、初級者向き運指の推定は充分にできていると言える。

表1: 実験条件

学習データ	F. Seitz: Concerto No. 5, 3rd Mvt. (音符数 366 個)	
テストデータ	A	初級者向き教本 [3, 4] から音符 2,265 個分
	B	手の移動を習うレベルの教本 [5-7] から音符 8,079 個分
音符長正規化	音符長を考慮しない場合: $k_0 = \infty$ 音符長を考慮する場合: $k_0 = 50$ (ms), $k_1 = 1, 200$ (ms)	
正解率	生成運指と教本運指の音符単位の弦と指番号の一致率	
備考	単旋律、トリルや装飾音符は曲中の最短音符長の半分の長さ	

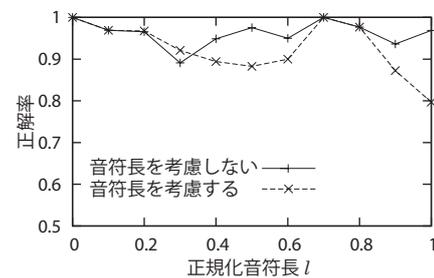


図3: テストデータ A (初級者用データ) の正解率

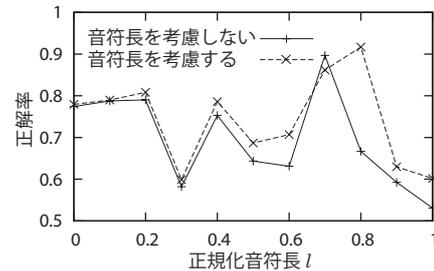


図4: テストデータ B (中級者用データ) の正解率

4 おわりに

本研究では、バイオリン演奏の左手の状態をモデル化し、音符長を考慮して運指の適切さを定め、動的計画法を用いて最適運指を求める方法を提案した。実験により、初級者向けの運指の生成には音符長の考慮は必要なく、運指の難易度のみを考慮すれば良いことを確認した。また、中級者向きでは、音符長の考慮により正解率が上がることを確認した。

しかし、初級者用の運指生成に比べ、中級者用では正解率が低い。この為、弦の選択とピブラートの考慮だけでは不十分であると考えられる。また、パラメータが多い為、学習データを増やすことにより正解率を向上させることも考えられるが、パラメータの設定には膨大な労力が必要であり、手動で設定するには限界がある。よって、パラメータを自動学習する事も必要である。

参考文献

- [1] 吉永 他, "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", 日本音響学会研究発表講演論文集, pp.1011-1014, 2012.
- [2] 三浦 他, "単旋律ギター演奏における最適押弦位置決定システムの構築", 電気情報通信学会論文誌, D-II, Vol.86, No.6, pp.755-763, 2003.
- [3] 鈴木鎮一, "鈴木バイオリン教本 2", 全音楽譜出版社, 1970.
- [4] 篠崎弘嗣, "篠崎バイオリン教本 2", 全音楽譜出版社, 1955.
- [5] 鈴木鎮一, "鈴木バイオリン教本 4", 全音楽譜出版社, 1970.
- [6] 鈴木鎮一, "鈴木バイオリン教本 5", 全音楽譜出版社, 1971.
- [7] 篠崎弘嗣, "篠崎バイオリン教本 3", 全音楽譜出版社, 1987.