

# 鍵盤表示のない空中でのピアノジェスチャー演奏を可能にするための打鍵判定と運指からの音符推定

三田 ちひろ (指導教員：伊藤 貴之)

## 1 はじめに

昨今では楽器演奏が保管代替医療としても活用され需要を高めている。楽器の中でもピアノはより身近なものであるが、大きく場所をとり1人1台保有することは難しい。そこで本研究では、ピアノの欠点をなくしピアノ演奏をより手軽にするために、ピアノ本体を必要とせずジェスチャーで演奏できる手法の開発を試みている。本稿では、1台のスマートフォンによるハンドトラッキング結果から打鍵状態や打鍵指の番号を判定するシステムと、隠れマルコフモデルにより運指列から音符列を推定するモデルを提案する。

## 2 打鍵判定

### 2.1 提案手法

岩谷ら [1] は Leap Motion を用いてピアノの VR 演奏を可能にした。本手法では LeapMotion よりも手軽な Google が開発したオープンソースの機械学習ライブラリである MediaPipe Hands を利用しスマートフォン1台のみでのジェスチャー演奏を試みた。また、我々の過去の研究 [2] では三脚を利用して手の動きを上から撮影して実時間でハンドトラッキングを行ったが、三脚を必要としない点とポジション移動の有無をより正確に把握できる点から図1のような下方から撮影する方法を採用した。本手法では、ハンドトラッキングの対象を右手のみに制限した。



図 1: 1台のスマートフォンで手の様子を下方から撮影

#### 2.1.1 打鍵判定方法

各指に対して2つのベクトルを設定し、2つのベクトルの角度の余弦値が最大値から一定値以上の変化が生じた場合は打鍵状態であると判断した。また、押し込み具合を考慮するため打鍵指の z 座標の基準値も設定した。

#### 2.1.2 打鍵指の指番号の判定

打鍵判定の他に音符列を推定するために必要な運指列を取得するために打鍵指の指番号判定も行った。指番号は、従来のピアノの指番号1~5の他に、図2のようなポジション移動を考慮するために6~11という新

たな番号を振った。親指の打鍵において、手の構造に反して直前に打鍵した人差し指よりも指先の x 座標が大きければ6、直前の打鍵指が中指なら10、薬指なら11とした。同様に人差し指の打鍵において手の構造に反して直前に打鍵した親指よりも指先の x 座標が小さければ7、中指では8、薬指では9とした。

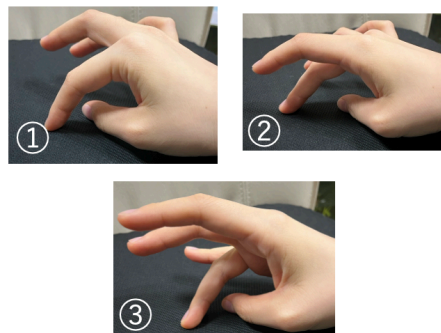


図 2: 6~11の指番号。①親指:6, 人差し指:7, ②親指:10, 中指:8, ③親指:11, 薬指:9

### 2.2 実行結果と考察

ピアノ経験者3名を対象に、以下の2種類の運指番号列に従ってピアノのジェスチャー演奏をした際の打鍵判定のタイミングの適切さと運指判定の精度を調査した。

- 1,2,3,4,5,4,3,2,1
- 1,2,6,7,1,2,3,10,8,1,2,3,4,11,9

これらは iPhone 搭載のカメラで撮影をし、Jupyter Notebook 上で実行した。各指に対して打鍵状態で異なる音が鳴るように設定した。打鍵判定に用いる2つのベクトルの余弦値と最大値の差の基準値と z 座標の基準値は表1とする。

表 1: 打鍵判定の基準値

指名	角度変化の基準値	z 座標の基準値
親指	0.020	0.100
人差し指	0.040	0.040
中指	0.050	0.050
薬指	0.020	0.060
小指	0.030	0.060

Player 1, 2 はどの指も打鍵判定のタイミングが適切であったと評価し、運指も全て正しく判定された。Player 3 は初期段階では親指と薬指に対して打鍵判定は速かったと評価した。しかし、打鍵練習した後に実験したところ、全ての指で打鍵判定のタイミングは適切であったと評価し、運指も正しく判定された。よって、本手法を用いたピアノのジェスチャー演奏にて、打鍵練習を設ける必要があると考えられる。

### 3 運指からの音符推定

#### 3.1 提案手法

中村ら [3] は HMM (Hidden Markov Model) の事後確率の最大経路を Viterbi 探索することで音符列から運指列を推定した。本手法では 1 次 HMM を利用した。ピアノ演奏では同じ運指で違う音列を弾く場合も多く存在するため、再現度を高めるために以下の制限を設けた。

- 黒鍵を無視する
- 曲の始めの音と終わりの音は主音とする
- 指番号は 1~11 とする
- 音高は曲の主音を 0 とし右側を正、左側を負として主音からの相対的位置で表現する

HMM のパラメータ学習には以下の方法を採用した。

- 初期確率: 主音のみ 1.0 とする
- 状態遷移確率: 音符列の 2-gram から算出する
- 出力確率分布: GMM に従うと仮定し学習データから HMM 出力サンプルをもとに GMM のパラメータを EM 推定する

ただし、6 から 11 の指の場合の確率は、手の構造を考慮して手動で設定した。

#### 3.2 実行結果と考察

童謡唱歌 125 曲に対して既存のデータ [4] を参照し、演奏として不自然でないように運指ラベルを付けて楽譜データを作成した。休符やブレスを利用し、どの指も打鍵していない状態でポジション移動が行われる場合や、始めと終わりが主音でない場合は、曲調が崩れない程度に音を加えた。楽譜データのうち 100 曲を訓練データ、25 曲をテストデータとしモデルの評価実験を行った。25 曲 (1328 音) に対してモデルの適合率は 83.1% であった。適合率 100% の曲は 7 曲で、最も低かったのは『浜辺の歌』の 36.1% であった。結果の分布は図 3 のヒストグラムで表した。

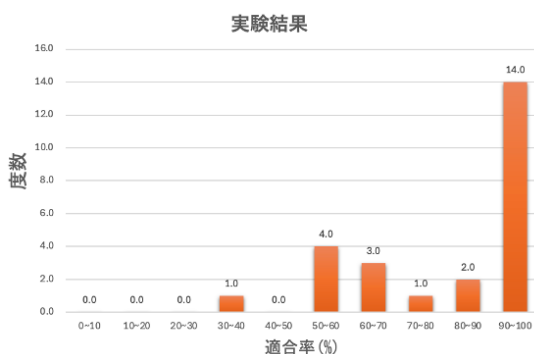


図 3: 実行結果 ヒストグラム

状態遷移確率を 2-gram から算出したことで、ヨナ抜き音階などの曲の特徴を考慮できていないことが推定精度に影響を与えていると思われる。また、打鍵指の間隔と鍵盤の間隔が一致しない場合、1 箇所の場合

は前後から正しく推定できるが、連続的に数回続く場合は、本モデルを用いた推定が難しかったと考えられる。図 4, 5 の青丸箇所では打鍵指の間隔と鍵盤の間隔が一致していないが、前後から正しく音を推定することができた。図 4 の『波浮の港』は適合率が 100% であった。しかし、図 5 の赤丸箇所は間隔が一致しない状態が数回続くため正しく音を推定できず、赤丸箇所以降も間違った推定結果となった。これは『浜辺の歌』が適合率 36.1% となった大きな要因であると言える。



図 4: 『波浮の港』 作詞: 野口雨情 作曲: 中山晋平 一部抜粋



図 5: 『浜辺の歌』 作詞: 林古溪 作曲: 成田為三 一部抜粋

### 4 今後の展望

打鍵判定と運指判定について、実験者から素早い指捌きに反応できていないという評価があったので、処理速度の向上のために実装を見直したい。運指列から音符列の推定について、2 次 HMM, 3 次 HMM, 深層学習を用いた推定を行い推定精度の向上を目指したい。また、童謡の曲調を分類し、曲調を考慮して状態遷移確率を設定したい。

#### 謝辞

実験参加者の皆様に深く感謝いたします。

#### 参考文献

- [1] 岩谷亮明, 澤田秀之. Vr エンタテイメントに向けたエア楽器演奏システム. 情報処理学会インタラクショナル, 2014.
- [2] 三田ひろ, 伊藤貴之. スマホ 1 台での撮影によるピアノのジェスチャー演奏. 第 32 回インタラクティブシステムとソフトウェアに関するワークショップ, 2024.
- [3] 中村栄太, 齋藤康之, 吉井和佳. ピアノ運指データを用いた統計学習手法による運指推定と演奏難易度の定式化. 情報処理学会研究報告, 2019.
- [4] 片岡博久. 初心者でも弾ける!片手だけ!右手だけ!で弾ける♪楽しい童謡・唱歌集. (有) ケイ・エム・ピー社, 2022.