

ピアノ演奏動作解析のための3次元手指追跡

3-Dimensional Finger Tracking for Analyzing Piano Play

子安 大士[†]
Hiroshi Koyasu

木村 慎二[†]
Shinji Kimura

前川 仁[†]
Hitoshi Maekawa

1 はじめに

ピアノはもっともポピュラーな楽器で、音楽教育で中心的な役割を果たしており、その演奏動作を解析することは重要である。近年では、カメラなどの機器の進歩により、画像を使った解析が注目されている。しかしながら、従来ではマーカ [2] であったり、特殊な計測機器 [3] を用いるため、自然な演奏環境での適用が難しい。我々は単眼カメラでのマーカを用いない指先追跡を提案した [1] が、2次元での追跡では十分な解析が難しい。

そこで本論文では、ピアノ演奏動作を解析するための2台のカメラを用いた3次元的な手首と指先の追跡手法について述べる。

2 手首と指先の3次元位置追跡

追跡は全て3次元空間でカルマンフィルタを用いて行う。手首については短い時間で動き方が急には変化しないとし、等速直線運動にモデル化した。指先については、手首と手の方向が定めれば手全体の動きを引くことができ、指の曲げ伸ばしによる動きだけを考えることができる。短い時間で指の曲げ伸ばしによる移動量は小さいとし、指先の位置を手首からのベクトルで表すことで、その場に静止しているモデルを適用する。

カルマンフィルタを用いることで、過去の観測値と運動モデルから現在の対象の位置を推定誤差も含めて予測することができる。その結果を探索範囲の限定や各指の対応付けにおいて用いる。

2.1 座標系の設定

本論文では、鍵盤の平面とその鉛直方向を基準とした座標系である鍵盤座標系を使用する。鍵盤座標の軸は、図1のように、鍵盤の中央八における黒鍵と白鍵のエッジ部分の3次元位置を原点とし、そこから鍵盤の平面上に沿って音高の高い方向へ x 軸を、同鍵盤の黒鍵のエッジに沿って y 軸を、鍵盤の平面と鉛直上向きに z 軸を定める。

この鍵盤座標系とカメラの関係は、鍵盤上のエッジやコーナーを利用してあらかじめ求めておく。

2.2 手首の追跡

動画の各フレームにおいて、まずは演奏者の動作領域である手腕領域を、HSV 表色系における肌色の領域を用いて抽出する。その際、背景差分処理とエッジ抽出



図1: 鍵盤座標系。鍵盤座標系は鍵盤の中央八に原点を、鍵盤の平面上に x 軸, y 軸を、鍵盤平面と鉛直の方向に z 軸を定める。

処理を併せて行うことにより、抽出精度を上げる。得られた領域の中で最も大きい二つを手腕領域として使用する。図2に手腕領域の抽出処理の結果例を示す。同図左を入力とした結果が同図右の白色領域である。このように得られた手腕領域から手首位置と指先位置を検出する。

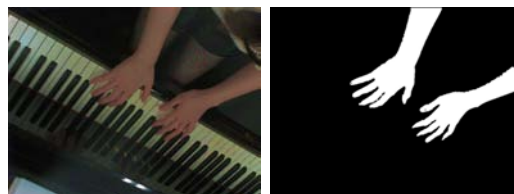


図2: 右図は左図を入力として抽出した手腕領域 (白)。

手首点の検出は以下のように行う。まず、抽出した手腕領域の慣性主軸を算出する。求めた慣性主軸の方向 (図3左の矢印) に垂直に領域画素の幅を肩から指先に向かって求める。そして一定回数以上連続で太くなっている部分を検出し、その始点となる線の間を手首点とする。この時、カルマンフィルタによる予測や片方のカメラで求めた結果から得られるエピポーラ拘束を利用して探索範囲を限定する。図3右に、図2を入力として手首点を検出した結果を示す。同図白色の点が左右それぞれの手首点を表す。

2.3 指先の追跡

各カメラ画像上での指先位置の検出手法については、[1] と同様に手腕領域の輪郭において曲率の高い箇所を探す手法を用いる。

この際、ちょっとした指の重なりなどで検出に失敗することがあるので、手首の場合と同様にカルマンフィル

[†] 埼玉大学大学院理工学研究科



図 3: 左図は手腕領域と慣性主軸から手首点を検出する処理を、右図は図 2 を入力とした手首点の検出結果を表す。右図黒色の点が検出された手首点。

タによる予測やもう一方のカメラからのエピソード拘束を利用して範囲を限定することで検出率を高める。カルマンフィルタによる予測では、上述のように手首の位置と手の方向が必要である。手首位置は 2.2 節で求まっている。手の向きは、手腕領域における手首より先を手領域とし、その重心を手首点からみた方向により決定する。図 4 に指先位置を表すための座標系を示す。この座標系の軸方向はピアノ座標系と同じである。前回の指先の推定位置に対して手の方向の変化による回転を適用することで、指先の 3 次元位置を予測する。

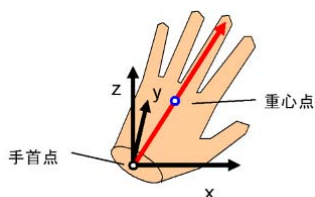


図 4: 指先位置の予測に用いる座標系。黒色の点は手首点、青色の点は重心点、黒色の矢印は鍵盤座標系の軸、赤色の矢印は手の方向。

各指の対応についても、[1] と同様に、全ての指先が検出できていれば親指から順番に決定し、検出できない指がある場合には予測位置との尤度から確率的に対応を決める。

2.4 3次元位置の推定

それぞれの画像上での手首及び指先の位置が決定すれば、ステレオ視と同じ三角測量により 3 次元でのそれぞれの位置を求めることができる。得られた 3 次元位置を観測値としてカルマンフィルタを更新することで、最終的な推定結果を得る。このとき、検出に失敗して 3 次元位置が求められない指があったなら、前回までの観測を用いて予測された値をそのまま保持しておく。

3 実験

実験は本学教育学部音楽専修に在籍するピアノ歴 19 年の女性を被験者とし、100[fps] のカメラで撮影した。曲

目はバッハの「プレリュード第 1 番」であった。

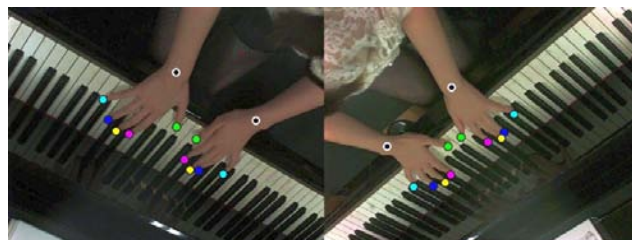


図 5: 追跡結果の例。

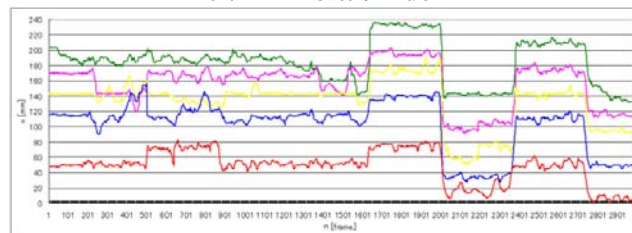


図 6: 右手各指先位置の x 軸方向での追跡結果

図 5 に追跡結果の一例を示す。図中の黒色の点は手首、緑色の点は親指、ピンク色の点は人差し指、黄色の点は中指、青色の点は薬指、水色の点は小指の位置をそれぞれ表す。図中の左側が被験者の右側からとった画像で、右側が逆からとった画像である。

図 6 に指先追跡の結果得られた各指の時系列での x 軸方向の位置をプロットしたものを示す。曲のリズムに合わせて指の位置が変動していることが見て取れる。

4 まとめと今後の課題

本論文では 2 台のカメラを用いてピアノ演奏者の手首と指先の位置を 3 次元的に追跡する手法について述べた。今後の課題は、逆運動学を適用することで指先の位置から手の姿勢を推定することである。

参考文献

- [1] 木村, 子安, 前川, “ピアノ演奏の運指解析のための指先追跡”, FIT2009, pp. 169-170, 2009.
- [2] Y. TAKEGAWA, T. TERADA, S. NISHIO, “Design and Implementation of a Real-Time Fingering Detection System for Piano Performance”, International Computer Music Conference (ICMC2006), pp. 67-74, 2006.
- [3] 岡, 橋本, “レンジデータの特徴分析に基づくマーカ不要なピアノ運指認識”, SSII2011, IS1-22, 2011.