

ピアノ演奏の運指解析のための指先追跡

Fingertip Tracking for Image Analysis of Fingering in Piano Play

木村 慎二†
Shinji Kimura

子安 大士‡
Hiroshi Koyasu

前川 仁‡
Hitoshi Maekawa

1 まえがき

ピアノ演奏において、初級者が習得すべき最重要事項の一つが運指法である。正確なピアノの奏法をイメージしにくい初級者にとって、優れた運指を自ら学習することは困難である。一方で、指導者によるレッスン等が常に可能な訳ではない。

このようなピアノ演奏の学習支援を目的として、多くの研究がなされている。例えば樋川らは、学習者の演奏停止理由に対応した手本映像表示システム [1] を提案している。また、竹川らはカラーシールの装着を必要とした運指取得システム [2] を提案している。しかし前者は音高の間違いにしか対応しておらず、運指の間違いについては着目していない。また後者に関してはシールの装着により自然な演奏姿勢を妨げるという問題がある。

そこで本研究では、学習者に負担がかからず、また自然な姿勢で演奏可能である画像による運指学習支援システムの構築を目指している。今回はその前段階として、実際にピアノを演奏している動画画像から指先位置の取得、追跡を行う。

2 動画画像からの演奏動作抽出

2.1 演奏動作の撮影

撮影に用いたカメラはフレームレートが 30fps、解像度が 320 × 240 の USB カメラである。カメラはピアノの天板等に設置し、図 1 のように鍵盤と演奏者の手が入るように俯瞰撮影する。今回は鍵盤が 3 オクターブ程度の範囲内での演奏に着目する。また、動画の初期フレームは背景差分処理のために手腕が撮影されていない状態にする必要がある。

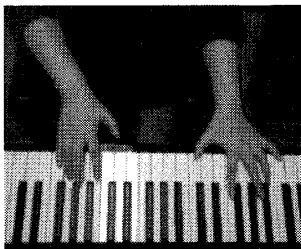


図 1: 撮影環境

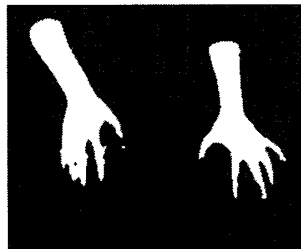


図 2: 手腕領域の抽出結果

2.2 手腕領域の抽出

撮影した動画画像から動作部分である手腕領域を抽出するために、まずは動画の初期フレームを背景とした背景差分処理を施す。その後、背景差分処理によって得られた画像を RGB 色空間から HSV 色空間へと変換する。変換した画像から肌色領域のみを抽出し、その部分を手腕領域として二値画像を作成する。その際、孤立点などのノイズを除去するために膨張、収縮処理も併せて行う。図 1 に対してこれらの処理を行った結果画像を図 2 に示す。

2.3 曲率による指先候補点の検出

指先の二次元位置を取得するために、木下らによる曲率を用いた指先位置検出法 [3] を利用する。

2.2 節で抽出された手腕領域二値画像の全輪郭構成点を走査する。走査点から輪郭に沿って、それぞれ 10 画素離れた輪郭構成点との角度を求める。その角度が 90 度以内であり、なおかつ領域が画像の下方向に向かって凸の状態であるならば、その点を指先候補点として検出する。しかし、一つの指先に対して指先候補点が複数個連続して検出される場合がある。そこで、連続で検出された場合は検出された候補点群の中間点のみを取得する。

図 2 に対してこれらの処理を行った結果を図 3 に示す。図中の赤色の点が検出された指先候補点である。

2.4 Kalman Filter による指先位置推定

2.4.1 Kalman Filter のモデル

今回、短いフレーム間では、各指先の動きはそれぞれ独立して線形に遷移すると考える。そこで、Kalman Filter [4] を適用することによって指先位置の時系列推定を行う。線形に状態遷移するシステムの状態方程式は以下のように記述される。

$$\mathbf{x}_{t+1} = \mathbf{F}\mathbf{x}_t + \mathbf{w}_t \quad (1)$$

$$\mathbf{y}_t = \mathbf{H}\mathbf{x}_t + \mathbf{u}_t \quad (2)$$

ここで、 \mathbf{x}_t は時刻 t におけるシステムの内部状態を表すベクトル、 \mathbf{y}_t は時刻 t における観測値を表すベクトルである。

† 埼玉大学大学院理工学研究科数理電子情報系専攻
‡ 埼玉大学大学院理工学研究科数理電子情報部門

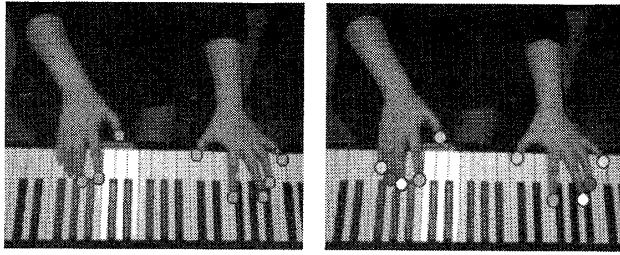


図 3: 指先候補点の検出

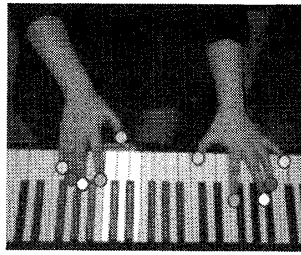


図 4: 各指先位置の推定

また, F は内部状態の遷移を表す行列, H は内部状態を観測値に写像する行列である. w_t , u_t はそれぞれプロセスノイズと観測ノイズである. ここで, 指先の動きを等速運動モデルに近似すると, 位置 (x, y) , 速度 (\dot{x}, \dot{y}) を用いて x_t , F , H を以下のように定義できる.

$$x_t = \begin{pmatrix} x_t \\ y_t \\ \dot{x}_t \\ \dot{y}_t \end{pmatrix}, F = \begin{pmatrix} 1 & 0 & \Delta t & 0 \\ 0 & 1 & 0 & \Delta t \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad (3)$$

$$H = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \end{pmatrix} \quad (4)$$

2.4.2 指先候補点の各観測値への対応付け

2.3 節で検出した指先候補点は, 位置情報のみ取得しているため, どの指に属しているのかという対応付けがされていない. したがって, 各指先候補点をどの指先の観測値として与えるかを考える必要がある. 以下に具体的な対応付けの手法を説明する.

まず, Kalman Filter によって得られた各指先の予測点と全ての指先候補点とのユークリッド距離を計算する. そのユークリッド距離に対して指数関数的に反比例するように重み付けを施す. この時, 一つの予測点に対する全ての指先候補点への重みの合計が1となるようにする. また, 距離が設定した閾値以上となったら, その指先候補点は観測値に影響を与えないものとし, 重み付けを0とする. その結果, 重み付けされた全ての指先候補点の二次元位置を Kalman Filter の観測値に与え, その観測値に対する推定値を統合することによって, 各指先位置を推定する. また, 影響する観測値が一つもないと判断された場合は, 予測点をそのまま推定値として使用する.

図3に表示された指先候補点を使用して指先位置を推定した結果画像を図4に示す. 図中の五色の点は各指先のそれぞれの推定位置を示している.

3 実験結果

ベートーベン作曲「エリーゼのために」の冒頭9小節を実際に被験者に演奏してもらい, その演奏動作を撮影した動画画像全350フレームに対して指先位置の追跡を行った. Kalman Filter によって推定した指先位置と実際の指先位置を目視で確認し, 正確に位置が取得できて

表 1: 実験結果: 左手

	親指	人差指	中指	薬指	小指
正答数	322	308	311	311	315
誤検出数	28	42	39	39	35
正答率 (%)	92.0	88.0	88.9	88.9	90.0

表 2: 実験結果: 右手

	親指	人差指	中指	薬指	小指
正答数	300	313	267	223	230
誤検出数	50	37	83	127	120
正答率 (%)	85.7	89.4	76.2	63.7	65.7

いるかを調べ, 指先位置追跡の精度を評価した. その結果を表1, 2に示す.

左手に関しては, 単純な動きで, 手も開いた状態であったために各指の平均正答率が90%と高い正答率となった. 誤検出となった主な原因は, 今回設定した Kalman Filter のモデルが等速直線運動モデルであるため, 手の回転運動に対して追跡が行えなかったことが考えられる. 一方, 右手については中指から小指にかけて, 隣接・重複する場面が多々あり, 指先候補点を検出できない状態が長く続いた. そのため, Kalman Filter による予測の誤差が段々と大きくなり, 誤検出が多くなったと考えられる.

4 まとめ

Kalman Filter を用いて, 実際に撮影したピアノ演奏の動画画像から指先位置を追跡した. 今回行った実験では指の隣接・重複に対しての誤検出が多く見られた.

今後の課題として, より確実な追跡のために Kalman Filter のモデルを運動学的拘束を考慮したものに改善することが挙げられる. また, 実際の演奏環境に近づけるために, 処理範囲を拡大する必要がある.

参考文献

- [1] 樋川直人, 大島千佳, 西本一志, 苗村昌秀, "The PHANTOM of the PIANO: 自学自習を妨げないピアノ学習支援システムの提案", インタラクシオン2006 論文集, pp.69-70, 2006.
- [2] 竹川佳成, 寺田努, 西尾章治郎, "鍵盤奏者のための実時間指取得システムの設計と実装", 日本ソフトウェア科学会第13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(WISS2005) 論文集, pp.93-98, 2005.
- [3] 木下晶雄, 鶴岡信治, 三宅康二, 石田宗秋, "カラー濃淡画像からの手領域の抽出と指先位置の特定方法", 社会法人電子情報通信学会, Vol.96, pp.99-104, 1997.
- [4] 片山徹: 新版応用カルマンフィルタ, 朝倉書店, 2000