

## OpenCV を用いた腕運動解析システムの開発 Development of analysis system of arm movements by use of OpenCV

苫小牧工業高等専門学校 ○若林 森音, 當田 一貴, 白岩 良介, 加島 正, 菅原 啓太

### 要 旨

本研究ではヒトの腕運動の軌道を解析するために開発したシステムについて論じる. このシステムでは, 腕運動軌道の計測精度を確保するとともに OpenCV を用いて画像データ処理の高効率化を目指す. さらに, このシステムの計測機能を動作実験結果を分析して検証する.

### 1. はじめに

ヒトは手を目標地点まで動かす到達動作では無数の軌道の中から特定の軌道を選択して運動している. この軌道を計測して, その特性を解析するために動作実験が行われる. これまで筆者らが用いてきた計測方法<sup>1)</sup>では, まず腕の主要箇所にもーカーで計測点を描き, その腕の動作を撮影する. 次に, その動画を静止画に分割した後, 一枚ごとに画像を読み込み腕に描かれたマーカーをクリックし座標を取得していた. しかしこの方法は分割した画像全てのマーカーを人がクリックしなければならないため, 解析に時間がかかった. また, 精度がマーカーをクリックする人に依存するという問題点があった. これらの問題点を解決するにはマーカーのクリック作業を自動化することが期待されていた.

画像処理プログラムを簡単に作成できる画像処理のライブラリの 1 つに OpenCV がある<sup>2)</sup>. 本研究ではこの OpenCV を使用し, 画像の読み込み及びクリック作業の自動化, さらに時間ごとのマーカーの座標の csv ファイルへの書き込みを行なうプログラムを作成して解析システムの開発を行った. さらに, 動作実験を行って, 解析精度およびシステムの妥当性を検証した.

### 2. システムの概要

本研究では OpenCV2.4.9 と Visual Studio2013 を用いて C++によりプログラムを開発した. また, OS は Windows7 SP1 を使用した. この OpenCV は当初 intel が開発し, その後 Willow Garage に開発を移管されたオープンソースの画像処理および機械学習のライブラリである. 本解析システムで用いたハフ変換による円検出や画像のフィルター処理をはじめ, 画像分割処理や特定のパターンを検出するテンプレートマッチング, さらに機械学習など 300 以上の関数が実装されている<sup>2)</sup>.

#### 2.1 座標変換

カメラ 1 台を用いて物体を 2 次元平面上で計測するときの概念図を Fig.1 に示す. 基準点を  $O$  とし実空間での計測平面および PC 上での座標系をそれぞれ  $O-x_c z_c$  および  $O-x_p y_p$  とすると, これら 2 つの座標系の関係は,

$$\begin{bmatrix} x_c \\ y_c \end{bmatrix} = T \begin{bmatrix} x_p \\ y_p \end{bmatrix}, \quad T = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} \\ a_{21} & a_{22} \end{bmatrix} \quad (1)$$

と表現できる. また, 座標変換行列  $T$  は, 1 辺の長さが既知のキャリブレーション用の図形である四角形  $OABC$  を用いる. このとき, 点  $A$  と  $C$  は(1)式よりそれぞれ,

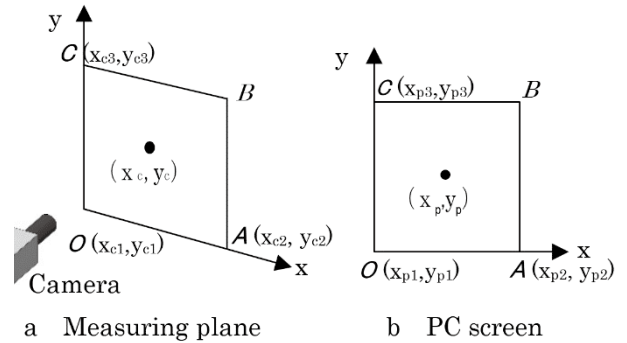


Fig.1 Conceptual diagram of analysis

$$\begin{bmatrix} x_{c2} \\ y_{c2} \end{bmatrix} = T \begin{bmatrix} x_{p2} - x_{p1} \\ y_{p2} - y_{p1} \end{bmatrix}, \quad \begin{bmatrix} x_{c3} \\ y_{c3} \end{bmatrix} = T \begin{bmatrix} x_{p3} - x_{p1} \\ y_{p3} - y_{p1} \end{bmatrix} \quad (2)$$

と表せる. (2) 式から座標変換行列  $T$  は

$$T = \begin{bmatrix} x_{c2} & x_{c3} \\ y_{c2} & y_{c3} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_{p,2} - x_{p,1} & x_{p,3} - x_{p,1} \\ y_{p,2} - y_{p,1} & y_{p,3} - y_{p,1} \end{bmatrix}^{-1} \quad (3)$$

と求めることができる.

#### 2.2 計測方法

キャリブレーションプレートを Fig. 2 に示す. 板の切断及びマーカーの記入にはレーザー加工機 (ユニバーサルレーザーシステムズ社製) を用いた. プレート面の点の座標は単位が mm で  $O(0, 0)$ ,  $A(300, 0)$ ,  $C(0, 300)$  の 3 点を用意した. また, カメラとキャリブレーションプレートの距離は 2 m とした. 計測手順は, CCD カメラによる動画撮影後, 1/60 秒ごとに動画を静止画に分割し, その画像を時間ごとに読み込み, 各マーカーの座標を取得し, csv ファイルへの書き込みを行った.

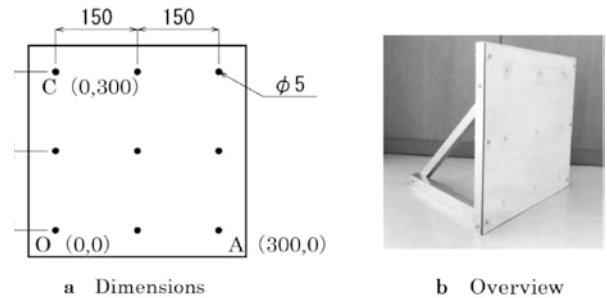


Fig.2 Calibration Plate

### 2.3 解析アルゴリズム

解析には、OpenCVのライブラリに用意されている関数を用いた。具体的には、HoughCircles関数で解析画像のノイズ除去を行って、マーカの認識精度向上を図った。さらに、HoughCircles関数を用いて円検出を行い、その中心を座標値とした。最後に、サンプリング時間(1/60 sec)ごとのxとyの座標値をcsvファイルに保存した。作成したプログラムの流れをFig.3に示す。図より、各サンプリング時間で、自動的にマーカを検出して座標値を算出し、さらに、この操作を画像の枚数分繰り返していることが分かる。

### 3. 結果と考察

#### 3.1 計測精度

キャリブレーションに使用しなかった点(図2のφ5mmの黒点)の位置を算出した計測結果をTable.1に示す。な

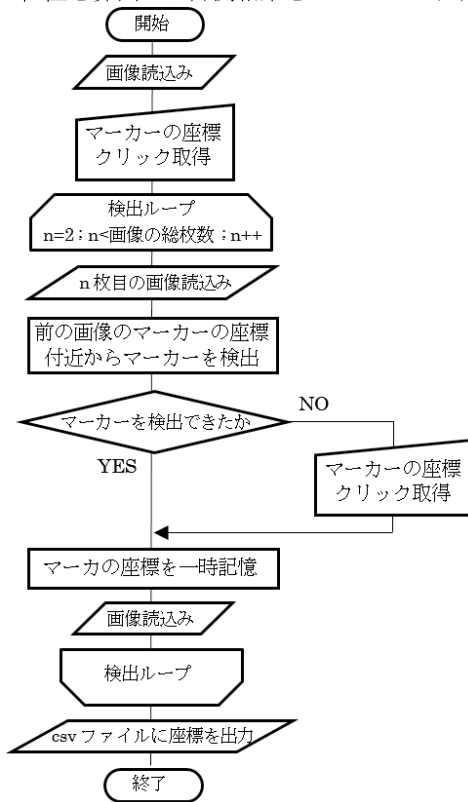


Fig.3 Flowchart

Table.1 Results

計測点	実座標[mm]		計測座標[mm]	
	x	y	x	y
1	0	150	0.5	149.5
2	150	0	150.5	0.0
3	150	150	149.1	149.5
4	150	300	149.5	300.9
5	300	150	299.5	149.5
6	300	300	299.0	300.9

お、カメラはTHE IMAGING SOURCE社のDFK 21BU618を使用した。表より、最大誤差はx方向及びy方向で1.0 mmであり、十分な精度が出ていることが確認できる。

#### 3.2 腕の軌道の計測

動作実験を行って、このプログラムを使用し腕の軌道の計測を行なった。被験者の肩、肘および手首の3箇所に直径5 mmの円を描き計測点とし、運動中の動画を撮影した。また、計測場所は室内とし、解析精度を向上させるために照明としてハロゲンランプを使用した。計測では、腕を下から上に振り上げる振上げ運動(Motion 1)と、腕を手前に突き出す突き出し運動(Motion 2)を行なった。その際の座標値と腕の動作の重ね合わせた画像をFig.4とFig.5に示す。これらの図から、座標データのグラフと腕の動作の画像が一致していることがわかる。

#### 4. 結論

CCDカメラを用いて撮影した画像から空間上の2次元座標を自動的に解析するプログラムをOpenCVを用いて開発した。OpenCVを用いることで多くの軌道解析で使われている特殊なソフトウェアを使用せずに、腕の軌道を解析するプログラムを開発することができること、また、解析の精度が十分であることを示した。

今後の課題は2台のカメラを用いることで、z方向も含めた3次元の座標の取得して解析することである。また、解析アルゴリズムの改善も課題と考えている。

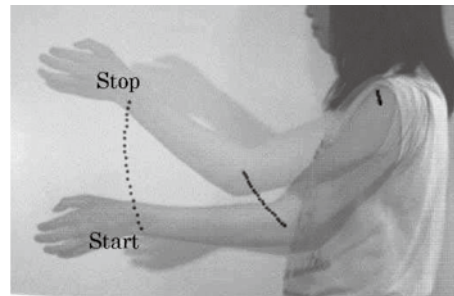


Fig.4 Trajectory of Motion 1

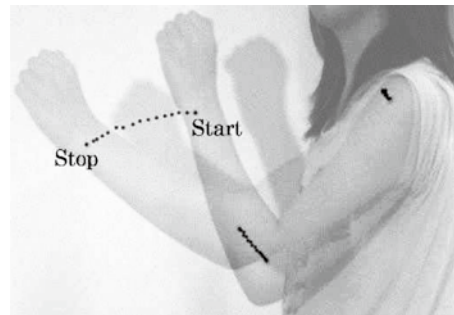


Fig.5 Trajectory of Motion 2

#### 参考文献

- 1) 吉田他:3次元ヒト腕運動の計測と解析,2012年度精密工学会北海道支部学術講演会講演論文集, pp.73-74, 2012.
- 2) 加藤丈和: OpenCVライブラリによる画像認識プログラムの開発,第23回人工知能学会全国大会論文集, pp.1-8, 2009.