

E-5

## 画像間の回転角度推定方法に関する検討 Comparative Experiments on Estimating Rotation Angle between Images

○入江桂一朗<sup>1</sup>, 清水雅夫<sup>2</sup>  
Keiichiro Irie<sup>1</sup>, Masao Shimizu<sup>2</sup>

Abstract: This study investigates three methods to estimate rotation angle between images. The three methods are (1) matching with rotated templates, (2) estimation using optical flow distributions, and (3) direct image alignment. The first method estimates the angle by computing SSD between input image and prepared some rotating templates. Parabola fitting enhances the angle resolution. The second method estimates the angle by the parameter optimization between the model and detected optical flow distribution obtained with the gradient method. The third method directly estimates the motion parameter including the rotation angle by minimizing the image intensity error between input image and transformed image.

### 1. はじめに

カメラで取得した画像間での運動や距離に関する情報を抽出することは、コンピュータビジョン研究だけでなく、産業分野でも多く用いられている。

本報告では、画像間の回転角度の推定方法について、比較実験を行った。実験に使用する画像は、図 1 に示すように、乱数パターンを撮影した。

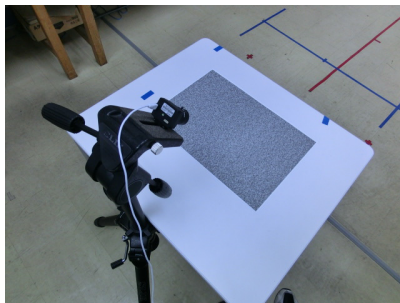


図 1 乱数パターンの撮影

### 2. 回転した画像とのテンプレートマッチング

テンプレートマッチングとは、2つの画像が同じかどうかを判断するために、画像を重ね合わせて違いを調べるような考え方に基づく処理である。違いを調べるために、次の画像の輝度差の2乗和(SSD)がよく用いられる。

$$R_{SSD} = \sum_{j=0}^{N-1} \sum_{i=0}^{M-1} (I(i, j) - T(i, j))^2 \quad (1)$$

ただし、 $I(i, j)$ は入力画像、 $T(i, j)$ はテンプレートである。SSDは画像間の誤差を表すので、SSDを最小にするパラメータ(位置や回転角度など)を探索すればよい。

図 2 に示すように、テンプレートとして、片方の画像を、あらかじめ既知の回転角度で回転させておく。

全てのテンプレートと入力画像との SSD を計算し、

SSD が最小になるテンプレートの回転角度が、画像間の回転角度である。

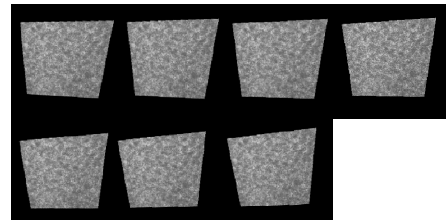


図 2 回転したテンプレート

さらに、SSD が最小になる付近の SSD 値を使って、推定する回転角度の解像度を向上することができる。SSD は 2 乗和なので 2 次関数近似(パラボラフィッティング[1])すると、次式によってテンプレート角度よりも細かな回転角度が推定できる。

$$\hat{a} = \frac{R(-1) - R(1)}{2R(-1) - 4R(0) + 2R(1)} \quad (2)$$

ただし、 $R(0)$ は最小 SSD 値である。

図 3 に、実験結果を示す。画像間の回転角度は 0.2 度、テンプレートは 0.5° 刻みで -1.5° から 1.5° まで回転させた 7 枚を用いた。推定角度は、-0.18° である。

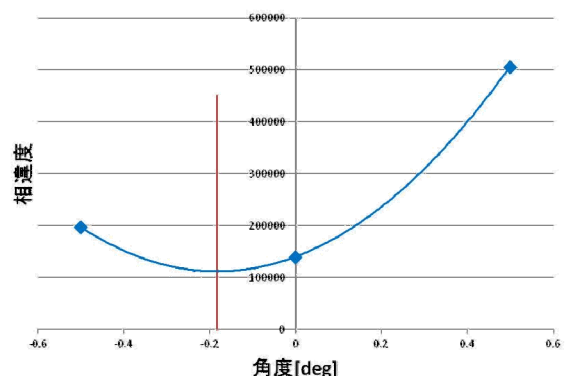


図 3 回転角度推定結果

1 : 日大理工・院(前)・精機, 2 : 日大理工・教員・精機

### 3. オプティカルフローを用いた回転角度推定

オプティカルフローとは、画像上の見かけの移動のことである。多くの場合、画像上の移動を多数のベクトルデータで表現したものを言う。オプティカルフローは、テンプレートマッチングでも求めることができるが、画像上の移動が微小なときには勾配法[2]を用いて高速に計算することができる。

勾配法では、時間的に隣接した画像間で対応位置の輝度に変化せず、移動が微小（±1 画素以下）であることを仮定すると、各画素 $(x, y)$ に対して次の拘束条件式が成立する。

$$\frac{\partial I}{\partial x} \frac{\partial x}{\partial t} + \frac{\partial I}{\partial y} \frac{\partial y}{\partial t} + \frac{\partial I}{\partial t} = 0 \quad (3)$$

ただし、 $\partial I/\partial x$  と  $\partial I/\partial y$  は画像の水平と垂直方向微分、 $\partial I/\partial t$  は隣接画像間の変化である。 $(\partial I/\partial x, \partial I/\partial y)$  が、画像間の位置変化（速度）である。1つの式の中に2つの未知量が含まれるので、小領域中では速度が一定と仮定して解く。

図4に、ある位置を中心として  $0.3^\circ$  回転した2枚の画像間のオプティカルフローを求めた例を示す。

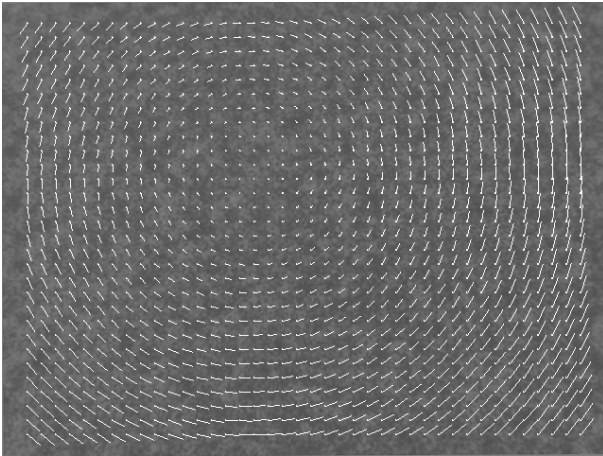


図4 オプティカルフローの例

ところで、画像間の変形が、点 $(c_x, c_y)$ を中心とする回転のとき、位置 $(x, y)$ における速度 $(u(x, y), v(x, y))$ は、次のように表すことができる。

$$\begin{pmatrix} u(x, y) \\ v(x, y) \\ 1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & 0 & c_x \\ 0 & 1 & c_y \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \cos \theta & -\sin \theta & 0 \\ \sin \theta & \cos \theta & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 1 & 0 & -c_x \\ 0 & 1 & -c_y \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x \\ y \\ 1 \end{pmatrix} - \begin{pmatrix} x \\ y \\ 1 \end{pmatrix} \quad (4)$$

この速度 $(u(x, y), v(x, y))$ と、勾配法で求めた速度分布 $(\partial I/\partial x(x, y), \partial I/\partial y(x, y))$ との差が最小になるように、パラメータ $(c_x, c_y)$ と  $\theta$  を探索することで、回転角度  $\theta$  を推定できる。

### 4. 直接法を用いた回転角度推定

オプティカルフローは、小領域間の微小な平行移動を仮定しているが、画像間に回転が含まれるときには厳密には平行移動では画像間の移動を表せない。

そこで、一方の画像そのものを推定したいパラメータで変形して、もう一方の画像と重ね合わせたときに輝度差が最小になるようにパラメータを探索することができる。

入力画像  $I(x, y)$  をパラメータ $(c_x, c_y, \theta)$  で回転したときに、テンプレート  $T(x, y)$  と最も誤差が少なくなるとする。このとき、推定するパラメータは、次の評価関数を最小化するパラメータである。

$$J(c_x, c_y, \theta) = \sum_S (T(x, y) - I(x', y'))^2 \quad (5)$$

$$\begin{pmatrix} x' \\ y' \\ 1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & 0 & c_x \\ 0 & 1 & c_y \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \cos \theta & -\sin \theta & 0 \\ \sin \theta & \cos \theta & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 1 & 0 & -c_x \\ 0 & 1 & -c_y \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x \\ y \\ 1 \end{pmatrix}$$

評価関数の最小化には、ガウス・ニュートン法などを利用できる。また、 $S$  は画像が重なっている領域である。

### 5. まとめ

回転テンプレートを用いる方法は、最も類似するテンプレートを探る方法なので、計算時間が多くかかる。また、準備するテンプレートの回転角度間隔を実験的に決めているので、完全に自動化ができていない。

今後は、パラメータ最適化手法を検討し、さらに画像間の違いを調べる領域を自動的に設定できる手法の検討などを行う。

### 参考文献

- [1] 奥富, 清水他編: デジタル画像処理 2004
- [2] 安藤 繁: 画像の時空間微分算法を用いた速度ベクトル分布計測システム, 計測自動制御学会論文集, vol. 22, No. 12, 1986.