

# アフィン不変量と投票処理を利用した アフィン変換に不変な形状認識

木村彰男<sup>†</sup> 豊間根一志<sup>‡</sup> 渡辺孝志<sup>†</sup>

<sup>†</sup>岩手大学工学部 <sup>‡</sup>日本無線

## 1 はじめに

筆者らは先に、アフィン変換に不変な形で任意図形を検出する方法を提案している [1] が、この方法では半分以上の輪郭線が連続して隠された欠損図形を検出できない、投票処理を行うので場合によっては時間がかかる、といった課題が残されていた。そこで本稿では、「任意の2次元アフィン変換下では同一直線上にある線分間の比が保持される」という性質に着目して上述の問題に対処するとともに、さらなる高性能化を図るための方策について検討する。

## 2 Affine-GHTの改良

本稿で取り扱う入力画像 I は、エッジ抽出処理が施された2値の輪郭線画像とし、各エッジ点における接線方向はあらかじめ求められているとする。また、検出対象図形（テンプレート）を T で表す。

なお、本稿では、2次元のアフィン変換を  $\mathbf{p}' = \mathbf{A}\mathbf{p} + \mathbf{t}$  で定義する。ここで、 $\mathbf{p} = [x, y]^T$  は変換前の点、 $\mathbf{p}' = [x', y']^T$  は変換後の点を表し、 $\mathbf{A} = \begin{bmatrix} a & b \\ c & d \end{bmatrix}$  ( $ad - bc \neq 0$ )、 $\mathbf{t} = [t_x, t_y]^T$  である。

### 2.1 アフィン不変量に基づいた R 表の作成

まずはテンプレート T を表す参照表 (R 表) を作成する (図1参照)。T を構成するエッジ点を、任意の参照点 R を原点とした座標で  $T = \{[X_i, Y_i]^T, i = 1, 2, \dots\}$  と表し、各点  $[X_i, Y_i]^T$  における接線方向を  $\Theta_i$  とする。(手順1) T から2点  $P_1, P_2$  を選び、その2点を通る直線と水平軸のなす角度を  $\Gamma$  とする。そして、 $\Gamma$  と同じ接線方向をもつ第3のエッジ点  $P_3$  を T から選ぶ。(手順2)  $P_1, P_2, P_3$  から、以下の手順にしたがってアフィン不変量を得る。

(2-1)  $P_1, P_2$  を通る2つの接線からその交点  $P_{12}$  を求め、さらにこれらの接線が  $P_3$  を通る接線と交わる点  $P_{13}, P_{23}$  をそれぞれ求める。

(2-1) 線分長比  $\rho$  を次式で求める。

$$\rho = |P_1P_{13}| / |P_1P_{12}| \quad (1)$$

**An affine-invariant shape recognition using affine-invariant ratio and vote processing**

Akio KIMURA<sup>†</sup>, Kazushi TOYOMANE<sup>‡</sup>, and Takashi WATANABE<sup>†</sup>

<sup>†</sup>Faculty of Engineering, Iwate University, Morioka, Japan

<sup>‡</sup>Japan Radio Coop., Tokyo, Japan

{kimura, watanabe}@cis.iwate-u.ac.jp

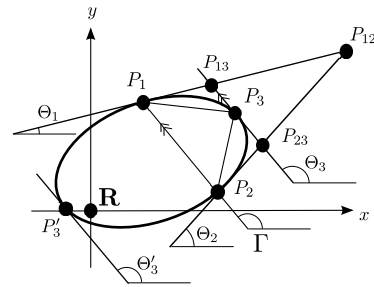


図1: テンプレート T とアフィン不変線分比  $\rho = |P_1P_{13}| / |P_1P_{12}|$

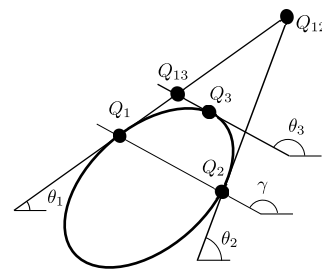


図2: 入力画像からの E 表作成と投票への利用

この  $\rho$  は、アフィン変換に関して不変なアフィン不変量となる。本手法では、この  $\rho$  を、R 表を高速に参照するためのキーとして利用する。

(手順3)  $\rho$  を検索キーとする形で、表1のように  $P_1, P_2, P_3, \Theta_1, \Theta_2, \Theta_3$  をレコードとして登録する。

以上を、T 上のすべての2点対に対して繰り返して R 表を生成する。

### 2.2 E 表の作成

続いて、入力画像 I から、代表点リスト  $L_r$  とエッジ点表 (E 表) を作成する (図2参照)。

(手順4) I を適当なサイズでブロック分割し、各ブロックからランダムに1点を選ぶ、これらを代表エッジ点群として、接線情報とともにリスト  $L_r$  に登録する。

(手順5) I に含まれるすべてのエッジ点  $\{[x_j, y_j]^T | j = 1, 2, \dots\}$  を、その接線方向  $\theta_j$  でソーティングし、同じ  $\theta_j$  を持つエッジ点をまとめて表2の形式で登録する。

### 2.3 アフィン不変量を利用した移動量 t の決定

R 表、リスト  $L_r$ 、E 表に基づいて、まずは参照点の候補位置 (移動量  $\mathbf{t}$ ) を求める。

(手順6) リスト  $L_r$  から二つのエッジ点  $Q_1 = [x_1, y_1]^T$ ,

表 1: R 表の構成

アフィン不変比	$P_1$		$P_2$		$P_3$	
	座標	接線方向	座標	接線方向	座標	接線方向
$\rho_i$	$(X_1, Y_1)_i, \dots$	$\Theta_{1i}, \dots$	$(X_2, Y_2)_i, \dots$	$\Theta_{2i}, \dots$	$(X_3, Y_3)_i, \dots$	$\Theta_{3i}, \dots$
$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$

表 2: E 表の構成

接線方向	エッジ点座標
$\theta_j$	$(x_1, y_1)_j, (x_2, y_2)_j, \dots$
$\vdots$	$\vdots$

$Q_2 = [x_2, y_2]^T$  をランダムに選び、直線  $Q_1Q_2$  が水平軸となす角  $\gamma$  を求める。

(手順 7) E 表において、 $\theta_j = \gamma$  となる第 3 のエッジ点  $Q_3 = [x_3, y_3]^T$  を探しだし、点  $Q_3$  と直線  $Q_1Q_2$  の距離が指定範囲以内であれば、アフィン不変量

$$\rho = |Q_1Q_{13}|/|Q_1Q_{12}| \quad (2)$$

を算出する。

(手順 8)  $\rho$  を検索キーとして R 表を参照し、その全ての登録済みレコードに対して次の処理を順に繰り返す。  
(8-1) R 表の該当する一つのレコードについて、三つの点対応 ( $P_i \leftrightarrow Q_i | i = 1, 2, 3$ ) と次の関係式からアフィン変換パラメータ  $(a, b, c, d, t_x, t_y)$  を決定する。

$$[x_i, y_i]^T = A[X_i, Y_i]^T + \mathbf{t}, \quad i = 1, 2, 3 \quad (3)$$

(8-2) 点  $P_i$  の接線方向  $\Theta_i$  をアフィン変換して、それが  $Q_i$  の接線方向と ( $i = 1, 2, 3$  で) 一致したならば、I と同サイズの 2 次元投票配列  $H_{xy}$  における座標  $\mathbf{t}$  の位置に投票する。

(手順 9) 配列  $H_{xy}$  において、投票値がしきい値以上となる要素  $H_{xy}(t_x, t_y)$  が出現したら、直ちに投票処理を打ち切ってその位置を検出移動量  $\mathbf{t} (= (t_x, t_y))$  として手順 11 に進む。

(手順 10) 他に該当するエッジ点  $Q_3$  があれば手順 7~9 を繰り返し、なければ手順 6 に戻って別の二つのエッジ点  $Q_1, Q_2$  を選んで処理を繰り返す。

## 2.4 線形変換 A の決定

第 2 段階では、線形変換パラメータ  $A (= (a, b, c, d))$  を求める。

(手順 11) 手順 6~10 の投票処理を再度繰り返す。ただし、手順 6 における 2 点  $Q_1, Q_2$  は、先の手順で選ばれたペアと全く同一のペアを使用し、かつ、先の手順で検出された位置  $\mathbf{t}$  に投票が行われた場合には、そのパラメータ  $(a, b, c, d)$  をリスト  $L_A$  に登録しておく。

(手順 12) 4 次元投票配列  $H_{abcd}$  を準備し、適応的 Hough 変換を用いて  $L_A$  に登録済みのレコード  $\{(a, b, c, d)\}$  を投票する [1]。最終的に、配列  $H_{abcd}$  内でしきい値を超える要素があれば、それを求める  $A (= (a, b, c, d))$  とする。

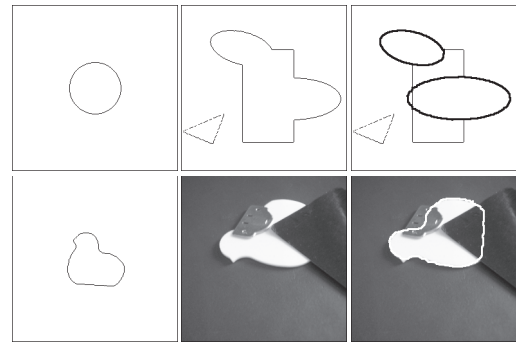


図 3: 検出実験: (左) テンプレート, (中) 入力画像, (右) 検出結果

## 2.5 最小 2 乗法によるパラメータ補正

ここまでの手順で推定された解パラメータは誤差が多いと考えられるので、本手法では、次の手順で解精度の向上を図る。

(手順 13) 候補解パラメータ  $(a, b, c, d, t_x, t_y)$  で、T のエッジ点  $\{(X_i, Y_i)\}$  をそれぞれアフィン変換した点を  $\{(x'_i, y'_i)\}$  とする。

(手順 14) 各  $(x'_i, y'_i)$  の画像 I 上での対応点  $(x^I, y^I)$  を探す。見つかった対応点列を、改めて  $(X_j, Y_j) \leftrightarrow (x^I_j, y^I_j)$  と書き表す。

(手順 15) 点パターンマッチングによる最小 2 乗法により、解パラメータを補正する。すなわち、以下の点対対応誤差評価関数  $J$  を最小とするように  $(a, b, c, d, t_x, t_y)$  を求め、これを反復して最終的な解パラメータとする。

$$J = \sum_j \{(x'_j - x^I_j)^2 + (y'_j - y^I_j)^2\}, \quad (4)$$

$$\begin{pmatrix} x'_j \\ y'_j \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} a & b \\ c & d \end{pmatrix} \begin{pmatrix} X_j \\ Y_j \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} t_x \\ t_y \end{pmatrix} \quad (5)$$

## 3 評価実験と検討

改良手法の有効性を検証するため評価実験を行なったところ、半分以上の輪郭線が隠ぺいされた欠損図形も検出可能となり (図 3 上段)、その処理速度は従来の Affine-GHT に比べて約 5 倍に高速化された。これらの詳細については、発表当日に報告する。

## 参考文献

- [1] 木村, 渡辺: アフィン変換に不変な任意図形検出法として拡張された一般化ハフ変換, 信学会論文誌, J84-DII, 5, pp. 789-798, 2001.