

高次自己相関特徴を用いた図形の回転不変特徴量の構成

1 J-11

梅山伸二 栗田多喜夫

電子技術総合研究所

1 はじめに

パターン認識において、並行移動、回転等に不変な特徴量を抽出することは重要な問題である。ここでは、2値パターンを入力として、局所自己相関マスクを用いた方法によりまず高次自己相関特徴(並行移動不変)を求め、それをもとに回転に対して不変な特徴量を構成することを試みる。高次自己相関特徴に基づく回転不変特徴の構成の試みは、この他にも[1]などによって試みられている。

2 高次自己相関特徴

2次元(E^2)の画像データ $f(x)$ について、 $f(x)$ の k 次自己相関特徴 R_k は次のように定義される。

$$R_k(b_1, b_2, \dots, b_k) = \int_{E^2} f(x)f(x+b_1) \cdots f(x+b_k) dx \quad (1)$$

画像を2値画像とした場合には、図1に示す25個のマスクで画像上を走査し、それぞれのマスクにマッチする場合の数を数えあげることにより、 3×3 の近傍系に限った2次以下の自己相関特徴を計算することができる[2]。このようにして得られる自己相関特徴ベクトル(25次元)を $r(f)$ とする。定義からも判るように、自己相関特徴は、並行移動不変であるが回転に対しては不変ではない。

3 回転と自己相関特徴

上で述べたように、 $r(f)$ を求めるには、図1の25個のマスクでパターン上を走査し、それぞれのマスクにマッチするものの個数を数えあげることにより行なう。ところで、例えば図1のマスク No.6 は、 $\pi/2$ 回転させるとマスク No.8 に一致する。同様なことは、図1のその他のマスクについても成立する。このため、 f を θ だけ回転させたパターンを $T(\theta)f$ と書くことにして、 f を $\pi/2$ 回転させたパターン $T(\pi/2)f$ に対する自己相関特徴ベクトル $r(T(\pi/2)f)$ は、 f に対する自己相関特徴ベクトル $r(f)$ の要素順序を入れ替えたものに他ならない。つまり

$$r(T(\frac{\pi}{2})f) = Sr(f) \quad (2)$$

と書くことができる。ここで、 S は図1のマスクから定まるある順列行列である。

4 回転不変特徴量の構成

自己相関特徴 $r(f)$ から、回転不変特徴を構成することを試みる。

$r(f)$ の一般的な関数のクラスを考えると解析が困難となるため、また、自己相関特徴の線形和によって不変特徴が構成できるならば、応用上極めて有用であるため[2]、ここでは、線形の範囲で不変特徴が構成できないか考察する。このため、まず次式を満たすようなベクトル a が存在すると仮定する。

$$r(T(\theta)f)^T a = r(f)^T a \quad (3)$$

先に述べたように、 $\theta = \pi/2$ の時、 $r(T(\pi/2)f) = Sr(f)$ であるから、これを(3)式に代入すると、

$$r(f)^T S^T a = r(f)^T a$$

任意の f について、これが成立するため

$$S^T a = a$$

よって、(3)式が成立するようなベクトル a が存在するならば、それは S^T の固有値1に対応する固有ベクトルから選ばれねばならない。

変換行列 S は4個の相異なる固有値、 $1, -1, i, -i$ を持つ。 S は直交行列であるから、これらの固有値はそれぞれ対応する9, 8, 4, 4次元の固有部分空間を持っている。固有値1に対応する固有部分空間の基底を適当に選んで、 u_1, u_2, \dots, u_9 とすると、 S の固有値1に対応する固有ベクトル v は、 $v = \sum_{i=1}^9 v_i u_i$ と表現できる(v_i は任意の複素数)。よって、回転不変特徴の候補として

$$r^T v = \sum_{i=1}^9 v_i r^T u_i \quad (4)$$

を挙げるのが可能である。

5 実験

先に用いた条件のみからは、(4)式以上に不変特徴の候補を絞り込むことはできない。また、実際に(4)式の形の不変特徴が存在する保証もない。このため、次のような実験を行なってみた。

画像の回転角度 θ の時の自己相関特徴を $r(\theta) = (r_1(\theta), r_2(\theta), \dots, r_{25}(\theta))^T$ として、 $r(\theta)^T u_i$ ができるだけ簡単な

式となるように u_i を選ぶと、表1のようなになる。図2に示すような2個の図形について、自己相関特徴 $r_i(\theta)$ および $p_i(\theta) = r(\theta)^T u_i$ ((4)式で $v_j = 1, v_j = 0 (j \neq i)$ とした場合) が、回転につれてどのように変化するかを見たのが図3および図4である。ここでは、 θ を0から 2π まで変化させ、

$$r'_i(\theta) = r_i(\theta) / \bar{r}_i$$

$$p'_i(\theta) = p_i(\theta) / \bar{p}_i$$

をプロットしてある。ここで、 \bar{r}_i, \bar{p}_i は $r_i(\theta), p_i(\theta)$ の回転角度に対する平均である。また、 $r'_i(\theta), p'_i(\theta)$ の分散 $\sigma_{r'_i}^2, \sigma_{p'_i}^2$ の平均

$$\sigma_b^2 = \frac{1}{25} \sum_{i=1}^{25} \sigma_{r'_i}^2$$

$$\sigma_i^2 = \frac{1}{9} \sum_{i=1}^9 \sigma_{p'_i}^2$$

を表2に示す。これらから判るように、固有値1に対応する固有ベクトルから得られる特徴量 p_1, p_2, \dots, p_9 は、いづれも回転不変特徴として、十分に使用可能であると思われる。

参考文献

- [1] 赤穂, 佐藤, 関田, 梅山, 大津, "高次自己相関関数を用いた図形の位置・大小および回転不変な特徴量の構成", 1991年電子情報通信学会春季全国大会, D-509, 1991.
- [2] 大津, 栗田, "並列学習型高速画像理解の一方式", 画像理解の高度化と高速化のためのシンポジウム, 1989.

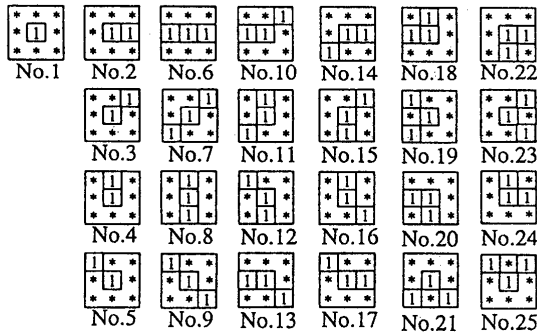


図1 自己相関マスク *:don't care



図2 実験図形

固有値	$r^T u_i$
1	r_1
	$r_2 + r_4$
	$r_3 + r_5$
	$r_6 + r_8$
	$r_7 + r_9$
	$r_{10} + r_{12} + r_{14} + r_{16}$
	$r_{11} + r_{13} + r_{15} + r_{17}$
	$r_{18} + r_{20} + r_{22} + r_{24}$
	$r_{19} + r_{21} + r_{23} + r_{25}$

表1 回転不変特徴

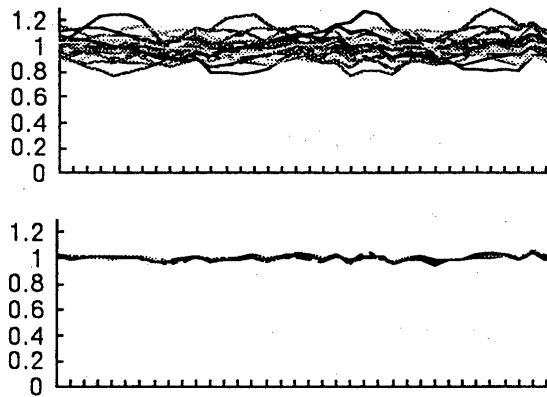


図3 特徴量の回転に対する変化：実験図形(1)
上：自己相関特徴 $r'_i(\theta)$
下：回転不変特徴 $p'_i(\theta)$

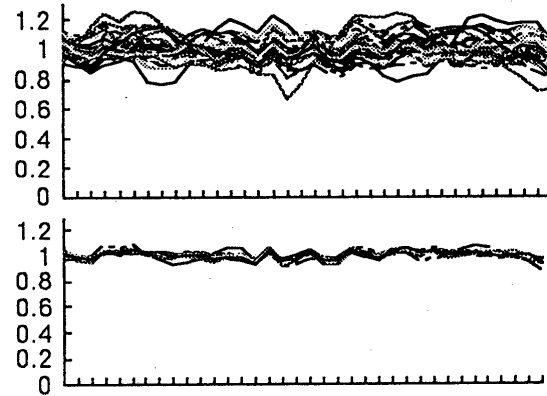


図4 特徴量の回転に対する変化：実験図形(2)
上：自己相関特徴 $r'_i(\theta)$
下：回転不変特徴 $p'_i(\theta)$

	図形(1)	図形(2)
σ_b^2	0.0074	0.0068
σ_i^2	0.0004	0.0010

表2 分散の平均