

# 独立部分空間での画像記述を用いたロバスト画像照合

## Robust Image Matching with Image Description in Independent Subspace

藤喜 紘†  
Hiro Fujiki

川上 肇‡  
Hajimu Kawakami

### 1 はじめに

視野の中に部分画像として写るターゲットの位置を求める問題を画像照合という。画像照合では、用途に合った特徴量を基底要素とするベクトルで画像を表現することが重要である。独立部分空間分析 (ISA)<sup>1)</sup> により抽出した基底要素を統合して画像照合に用いる事はロバスト性を高める上で有効であると考えられる。ただし FastISA<sup>2)</sup> などのアルゴリズムでは部分空間の次元を全て同一と仮定して計算しているため、部分空間に含まれる従属な成分に過不足が生じるという問題があった。そこで本研究では、まず独立成分分析 (ICA) を用いて求めた基底要素群を初期値として、それらをクラスタリングして独立部分空間を作成する手法を用いる。作成した独立部分空間に含まれる画像特徴を統合し、Earth Mover's Distance (EMD)<sup>3)</sup> を用いて画像照合を行い、このような照合法に備わるロバスト性を評価した。

### 2 基底の構成

$n$  画素の訓練画像群  $\{\mathbf{u}\}$  から生成された PCA 白色化空間での 3 段階の処理を経て画像照合に用いる基底  $\mathbf{W}$  を構成する。

#### 2.1 独立部分空間の構成

従属性の高い成分群がクラスタを形成するようにクラスタリングを行う。そのために 2 つの要素間の距離を以下の方法で求める。まず独立成分分析 (ICA) により求まる正規直交基底  $\mathbf{V} = \{\mathbf{v}_i\}_{i=1}^n$  を用いて各訓練画像  $\mathbf{u}$  を展開し、その成分  $s_i = \mathbf{v}_i^T \mathbf{u}$  を得る。これらの成分を混合したときの非ガウス性に基づいて類似度を次式で定義する:

$$d(s_i, s_j) = \frac{\max\left[J\left(\frac{s_i + s_j}{\sqrt{2}}\right), J\left(\frac{s_i - s_j}{\sqrt{2}}\right)\right]}{J(s_i) + J(s_j)} \quad (1)$$

ここで  $J$  は次式に示す非ガウス性の尺度である:

$$J(s) = K \cdot [E\{G(s)\} - E\{G(s_{gauss})\}]^2 \quad (2)$$

但し、 $G(s) = -\exp(-\frac{s^2}{2})$ ,  $E\{\bullet\}$ : 期待値,  $K$ : 正の定数

$s_{gauss}$ : 平均 0, 分散 1 のガウス分布に従う確率変数  
式 (1) では  $s_i$  軸と  $s_j$  軸とで構成される平面内での 45 度および 135 度回転に対する成分の非ガウス性によって  $s_i$  と  $s_j$  の従属性を測る。式 (1) の類似度と群平均法を用いてクラスタリングを行うことで独立部分空間を求める。この方法を ISC と呼ぶ。

† 龍谷大学大学院 理工学研究科 電子情報学専攻

‡ 龍谷大学 理工学部 電子情報学科

### 2.2 独立部分空間での統合

$i$  番目の部分空間  $\mathbf{S}_i$  を統合する 1 つの基底要素  $\check{\mathbf{v}}_i \in \mathbf{S}_i$  を求め、それらの集合から画像照合で使用する基底  $\mathbf{W}$  を構成する。ここで  $\check{\mathbf{v}}_i$  は部分空間  $\mathbf{S}_i$  において最大値ノルムが最小となる単位ベクトルとして求める。この統合法を最大値ノルム最小化法と呼ぶ。

### 2.3 画像照合に用いる基底 $\mathbf{W}$

上記の統合処理を全ての部分空間に適応して求めた、各  $\check{\mathbf{v}}_i$  を画像空間に逆変換し、その成分の平均を 0 に正規化した単位ベクトル  $\mathbf{w}_i$  により基底  $\mathbf{W} = \{\mathbf{w}_1, \mathbf{w}_2, \dots, \mathbf{w}_d\}$  を生成する。

### 3 照合の手順

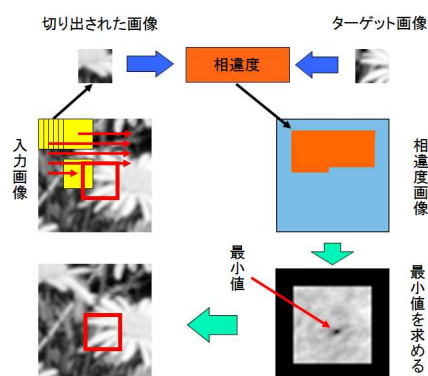


図 1: 照合の手順

画像照合方法を図 1 に示す。この画像照合では、まず、入力画像からラスタ順に部分画像を切り出し、その部分画像とターゲット画像との相違度を求め、その値を画素値とする相違度画像を生成する。その画素値が最小となる位置がターゲット画像と一致する位置であると考えられる。

### 4 均等分割型 EMD

基底  $\mathbf{W}$  は非直交系となるので、ターゲット画像  $\mathbf{p}_j$  と部分画像  $\mathbf{p}_k$  の相違度を、以下で説明する均等分割型 EMD<sup>4)</sup> を用いて測る。(1) ターゲット画像を  $\mathbf{p}_j \approx \sum_{i=1}^n \mathbf{w}_i \theta_{ji}$  で近似する係数群  $\{\theta_k\}$  を求める。(2) 基底  $\mathbf{W}$  を  $P_j = \{\mathbf{w}_i \text{ s.t. } \theta_{ji} > 0\}$  と  $M_j = \{\mathbf{w}_i \text{ s.t. } \theta_{ji} < 0\}$  に分割する。(3) 基底  $P_j$  と  $M_j$  のそれぞれで係数の大きさに関する上位  $\alpha\%$  に対応する基底要素群を選別する。そのうえで、係数の 2 乗和が均等になるように基底要素の向きを反転した後に移動して  $P_j$  と  $M_j$  を  $P'_j$  と  $M'_j$  に更新する。(4) 基底  $P'_j$  に対応する正の係数群を  $\Phi_j^+$ 、基底  $M'_j$  に対応する

る負の係数の絶対値群を  $\Phi_j^-$  とする。  $A_j^+ = (P_j^+, \Phi_j^+)$  と  $A_j^- = (M_j^-, \Phi_j^-)$  のそれぞれを  $\mathbf{p}_j$  の Signature とする。(5) 部分画像  $\mathbf{p}_k$  の Signature  $A_k^+$  と  $A_k^-$  を同様に求める。(6) 2つの Signature 間の EMD を  $\text{EMD}[\bullet, \bullet]$  としたとき、画像間の相違度を

$$M_{jk} = \text{EMD}[A_j^+, A_k^+] + \text{EMD}[A_j^-, A_k^-] \quad (3)$$

で測る。  $M_{jk}$  を均等分割型 EMD と呼ぶ

## 5 実験

提案法に備わるロバスト性を測るために変動が混入する環境下で画像照合実験を行った。

### 5.1 方法

(1) 基底の抽出: まず、  $153 \times 153$  画素の画像を 25 枚用意し、画素値の分布が平均 0・分散 1 となるように各画像を正規化した後、無作為に選んだ 400ヶ所の位置で  $17 \times 17$  画素の部分画像を各画像から切り出す。このように切り出した合計  $10^4$  個の部分画像群を訓練画像として FastICA アルゴリズムを用いて正規直交基底  $\mathbf{V}$  を求める。この基底  $\mathbf{V}$  を ICA 基底と呼ぶ。つぎに、式 (1) を用いて類似度の高い基底要素群をクラスタリングして 144 個の独立部分空間を構成する。そこから最大値ノルム最小化法を用いて基底  $\mathbf{W}$  を構成する。図 2 に  $\mathbf{W}$  の基底要素の例を示す。



図 2:  $\mathbf{W}$  の要素

(2) ターゲット画像: 図 3 に例示する各原画像 (大きさ  $51 \times 51$  画素で 8bit の明度画像、10 種類) から位置を特定しやすそうな大きさ  $17 \times 17$  画素の部分画像 1 枚を切り出しターゲット画像とする。ターゲット画像の例を図 4 に示す。以下では、ターゲット画像とそれを切り出した画像を同種と考える。



図 3: 原画像の例 (10 種中の 5 種)



図 4: ターゲット画像の例

(3) 変動が混入する画像: 最大振幅  $z$  の変動を乱数に基づき生成し、それを原画像群に RGB 色空間で加算して入力画像群を合成する。この  $z$  を変動強度と呼ぶ。図 3 に示した画像から  $z = 170$  として生成した画像の明度成分を図 5 に示す。



図 5: 入力画像 ( $z=170$ ) の例

(4) 照合: ターゲット画像  $\mathbf{p}_j$  と部分画像  $\mathbf{p}_k$  は同じ大きさとして、入力画像のすべての位置でそれらの相違度  $M_{jk}$  を求める。変動の初期値を変えてこの照合を 20 回繰り返した。

(5) 評価: 上記の繰り返し毎に照合法に備わる識別力

$$C = \frac{\text{異種間での } M_{jk} \text{ の最小値}}{\text{同種間での } M_{jk} \text{ の最大値}} \quad (4)$$

を算出する。この  $C$  は 1 未満のとき単純な閾値処理で誤認識が生じることを表すので、  $C - 1$  の分布に対する負方向の安定性を測る指標

$$R_M = \frac{m_{C_M} - 1}{\sigma_{C_M}} \quad (5)$$

で照合法に備わるロバスト性を評価する。ここで  $m_{C_M}$  は  $C$  が平均以下である識別力  $C$  の平均値、  $\sigma_{C_M}$  はそれらの標準偏差である。したがって  $R_M$  は負の場合に誤認識が生じる可能性を示唆する。

## 6 結果

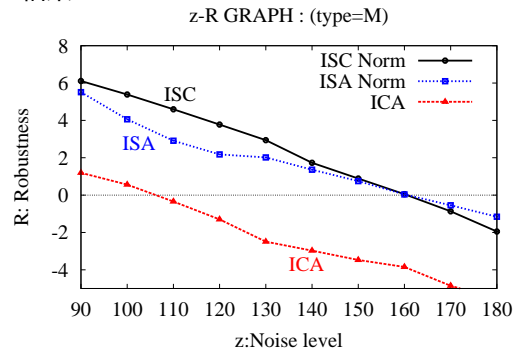


図 6: 各方法でのロバスト性

ISC で求めた 144 次元の基底  $\mathbf{W}_{\text{ISC}}$  で画像照合したときの  $R_M$  を図 6 に示す。この結果を評価するために、従来の方法である ISA と ICA で求めた 144 次元の基底  $\mathbf{W}_{\text{ISA}}$  と  $\mathbf{W}_{\text{ICA}}$  での結果も同図に併せて示す。  $\mathbf{W}_{\text{ISC}}$  と  $\mathbf{W}_{\text{ISA}}$  は共に  $z=160$  付近まで  $R_M > 0$  を維持している。一方、  $\mathbf{W}_{\text{ICA}}$  は  $z=110$  で  $R_M$  が負に転じる。従って独立部分空間を利用して構成した基底  $\mathbf{W}$  に基づいた画像照合はロバスト性に優れると考えられる。特に  $z=90$  から 160 の範囲で  $\mathbf{W}_{\text{ISC}}$  は  $\mathbf{W}_{\text{ISA}}$  よりも  $R_M$  が高いので、  $\mathbf{W}_{\text{ISC}}$  は従来法よりロバスト性が優れると考えられる。

## 7 むすび

ICA で求めた特徴量の非ガウス性を、類似度としてクラスタリングすることにより構成した独立部分空間での特徴量を用いてロバスト画像照合に応用する方法を提案した。今後の課題は部分空間の構成法と統合法を改善することである。

## 参考文献

- 1) A.Hyvarinen, J.Hurri, P.O.Hoyer, "Natural Image Statics", Springer Verlag Gmbh, pp213-237, 2009.
- 2) Aapo Hyvarinen and Urs Koster, "FastISA: A fast fixed-point algorithm for independent subspace analysis", ESANN, pp371-376, 2006.
- 3) Yossi Rubner, Carlo Tomasi, "PERCEPTUAL METRICS FOR IMAGE DATABASE NAVIGATION", Kluwer Academic Publishers, 2001.
- 4) 橋本 陽祐, 川上 肇, "均等分割型 EMD によるロバスト画像照合", Fit2010, H-014.