

統計的外乱画素推定に基づく遮蔽に頑健な画像照合に関する研究

情報科学研究科 情報科学専攻 H11212M 斎藤正孝

指導教員：橋本学 教授

1. はじめに

近年、生産ラインや ITS などにおいて遮蔽に頑健な画像照合が求められている。

遮蔽に頑健な従来手法としては、ロバストテンプレートマッチング [1] や選択的正規化相関 (SCC) [2] などの照合時に外乱発生画素を推定して類似度計算から除外する手法がある。これらの手法は、照合時にロバスト推定や増分符号の一致性に基づいて推定した外乱画素を類似度計算から除外することにより、遮蔽に対するロバスト化を実現している。しかし、これらの手法は、照合時に外乱画素を毎回推定する必要があるため、計算コストが高いという問題がある。

そこで本研究では、外乱画素推定の枠組みを参照画素選択のアプローチに組み込むことにより外乱画素推定と照合を高速化し、高速かつ遮蔽に頑健な画像照合を実現する。

2. 基本アイデア

本研究の基本アイデアは、照合時に外乱画素を推定して類似度計算から除外することである。基本アイデアの概念図を図 1 に示す。

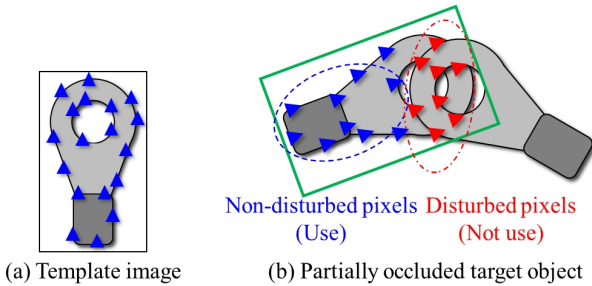


図 1 提案手法の基本的なアイデア

外乱画素を推定し、非外乱画素のみを用いて類似度計算することにより遮蔽にロバストな照合が可能となる。外乱画素推定には、統計的濃度変動モデルを用いる。統計的濃度変動モデルは、各画素の濃度値の統計的な変動分布をモデル化したものであり、学習画像を分析することにより生成する。照合時に統計的濃度変動モデルを用いて各参照画素の変動を評価し、変動の大きな画素を外乱画素と推定して類似度計算から除外する。

3. 提案アルゴリズム

3.1 概要

提案アルゴリズムの概要を図 2 に示す。本アルゴリズムは、画素選択モジュールとマッチングモジュールから構成される。画素選択モジュールでは、まず、学習画像を用いて各画素の統計的濃度変動モデルを作成し、このモデルを用いてテンプレート画像の統計的安定性を評価する。統計的濃度変動モデルは、学習画像の濃度変動を混合ガウス分布によりモデル化することにより生成する。次に、テンプレート画像の濃度共起発生確率を計算し、各画素の空間的独自性を評価する。最後に、統計的に安定性が高く、かつ空間的に独自性が高い画素を参照画素として選択する。

マッチングモジュールでは、まず、統計的濃度変動モデルを用いて対象ウインドウの統計的安定性を評価し、安定性の低い画素を外乱画素と推定する。次に、推定された外乱画素を類似度計算から除外して類似度を計算する。類似度計算には、重み付き正規化相関を用い、対象ウインドウの統計的安定性を重みとすることにより外乱の影響を軽減する。

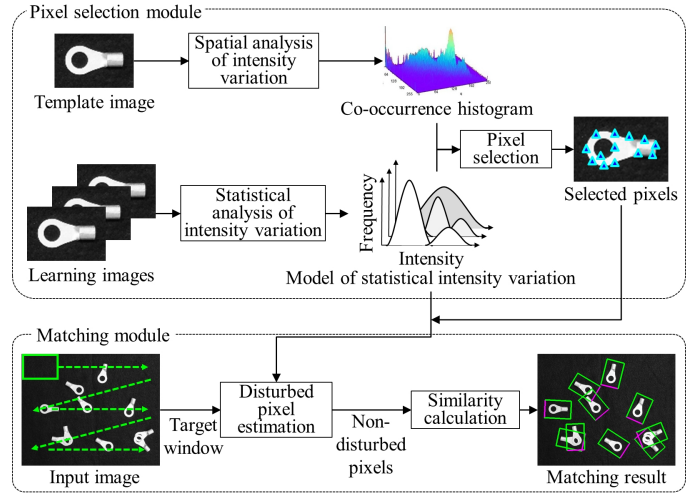


図 2 提案アルゴリズムの概要

3.2 統計的濃度変動分析

まず、 N 枚の学習画像 $L(n, i, j) (n = 0, 1, 2, \dots, N-1)$ から、式 (1)(2) により各画素の統計的濃度ヒストグラム h_s を生成する。

$$h_s(i, j, v) = \frac{1}{N} \sum_{n=0}^{N-1} \delta(L(n, i, j), v) \quad (1)$$

$$\begin{cases} \delta = 1 & \text{when } L(n, i, j) = v \\ \delta = 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad (2)$$

$h_s(i, j, v)$ は、座標 (i, j) における濃度値 v の発生確率を示している。次に、統計的濃度ヒストグラム h_s を混合ガウスモデル (GMM) により近似してモデル化する。混合ガウスモデル G_{mm} は、複数のガウス分布 G_m を加重平均により組み合わせたモデルであり、式 (3) により定義される。 k はガウス分布の番号、 K はガウス分布の混合数である。なお、GMM のパラメータ $\varphi = (\mu, \sigma^2, \omega)$ の推定には、一般的な EM アルゴリズムを用いる。

$$G_{mm}(x, \varphi) = \sum_{k=1}^K \omega(k) \cdot G_m(x, \mu(k), \sigma^2(k)) \quad (3)$$

統計的濃度変動モデル M_v は、式 (4) により定義される。 $M_v(i, j, v)$ は座標 (i, j) において濃度値 v が発生した確率を表している。この発生確率 $M_v(i, j, v)$ により、画素の統計的な安定性を評価できる。

$$M_v(i, j, v) = G_{mm}(v, \varphi(i, j)) \quad (4)$$

3.3 外乱画素推定

入力画像 g における対象ウインドウ $W_t(d_i, d_j)$ において参照画素が存在する座標 $(f_i(m), f_j(m))$ の安定率を M_v を用いて式 (5) により評価し、マッチングの重み $W(m)$ とする。なお、 $m = 0, 1, 2, \dots, M-1$ である (M は参照画素数)。

$$W(d_i, d_j, m) = M_v(f_i(m), f_j(m), g(f_i(m) + d_i, f_j(m) + d_j)) \quad (5)$$

重み W は、統計的に安定した濃度値を持つ画素に対しては大きな値を持ち、不安定な外乱画素に対しては小さな値

を持つ。この重み W を考慮して照合することにより、外乱に対するロバスト化が可能となる。

4. 実験結果と考察

4.1 従来手法との性能比較

遮蔽が発生している画像データセットに対して、提案手法と従来手法の性能を比較した。実験には、約 10~80% の遮蔽と背景変動が発生している自動車画像データセット（テンプレート画像サイズ：325×155，対象画像サイズ：900×600，画像数：150 枚）と約 10~90% の遮蔽が発生している顔画像データセット（テンプレート画像サイズ：85×99，対象画像サイズ：352×288，画像数：898 枚）を用いた。

比較手法としては、一般的な正規化相互相関（ZNCC）に加えて、遮蔽にロバストな従来手法として、SIFT [3] と SURF [4]，ブロック照合投票手法（VBM）[5]，ロバストテンプレートマッチング（RTM）[1]，増分符号相関（ISC）[6]，選択的正規化相関（SCC）[2] の 7 手法を用いた。

提案手法により外乱画素として推定された画素の例を図 3 に示し、従来手法との性能比較結果を表 1 に示す。

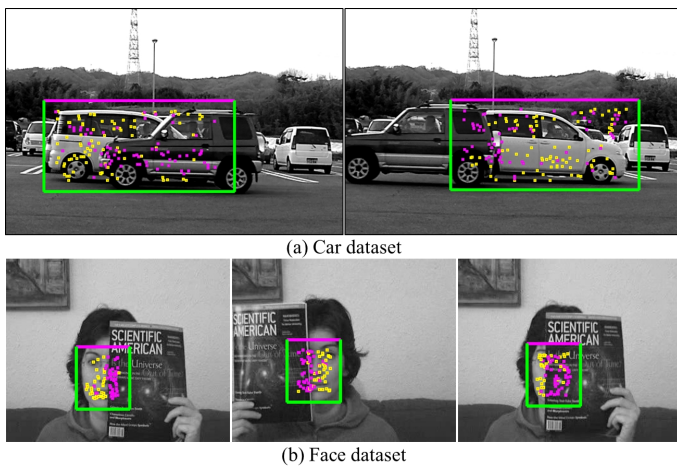


図 3 提案手法により推定された外乱画素

表 1 各手法の認識率 P_r と処理時間 T

Methods	P_r [%]	T [msec]
(1) ZNCC	73.5	5548
(2) SIFT [3]	55.1	274
(3) SURF [4]	50.2	151
(4) VBM [5]	50.9	4397
(5) ISC [6]	48.4	3278
(6) RTM [1]	42.4	21761
(7) SCC [2]	70.7	7938
(8) Proposed method	82.2	166

(Intel® CORE™i7 2.80GHz, System memory 8 GB)

外乱画素の推定結果は、マッチング位置における重み W を 2 値化し、重みの小さい外乱画素と推定された画素を紫色点、重みの大きい類似度計算に使用された画素を黄色点により示している。対象物である白い自動車が黒い自動車に遮蔽されているが、提案手法により遮蔽領域の画素が良好に除外されている。

SIFT, SURF は、背景変動により特徴点の誤対応が増加し、認識率が低下した。ISC, VBM は、濃淡変化量の少ない自動車が対象物である際に認識率が低下した。ZNCC, SCC は、認識率は高いが、処理時間が長い。これは使用する画素数が多いことから類似度の計算コストが高いことが原因であると考えられる。RTM の処理時間が長い理由は、照合時に毎回中央値の計算を必要とするためである。提案手法は外乱画素の除外により、遮蔽の影響を軽減できているため他手法と比べて認識率が高い。

4.2 遮蔽率と認識率の関係

提案手法における遮蔽率 O_r と認識率 P_r の関係性を評価した。遮蔽率 O_r は、参照画素中の遮蔽された画素の割合を示している。実験には前節の顔画像データセットを用いた。実験結果を表 2 に示す。

表 2 遮蔽率と認識率の関係

遮蔽率 O_r	20	30	40	50	60	70	80	90
認識率 P_r	84.6	87.5	95.3	97.2	93.2	80.7	55.6	56.5

提案手法は遮蔽率 70% までの画像に対して認識率が 80% 以上であり、遮蔽率の高い画像に対しても頑健な照合が可能であることを確認した。

4.3 電子部品に対する頑健性

遮蔽が発生している電子部品認識に対して本手法を適用する有効性を確認するために、部品同士の重なりによる遮蔽を含む 2 種類の電子部品の画像データセットに対して、提案手法の認識性能を評価した。対象物としては、丸型圧着端子、Y 型圧着端子を用いた。対象画像サイズは全て 640×480 である。画像枚数は各 20 枚であり、対象物数は各 10 個である。実験結果を表 3 に示し、照合結果例を図 4 に示す。

表 3 提案手法の各対象物に対する認識率

Target object	Recognition rate P_r [%]
(1) O-shaped terminal	97.2
(2) Y-shaped terminal	99.8

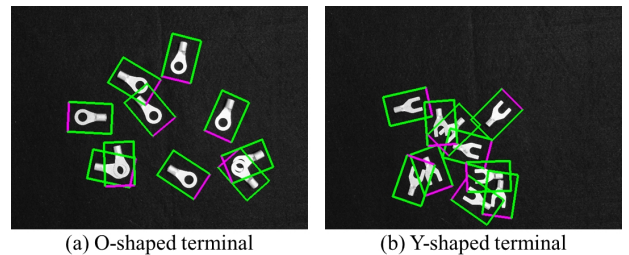


図 4 電子部品の照合結果例

提案手法により、遮蔽が発生している電子部品についても正しく検出できることを確認した。

5. おわりに

照合時に外乱画素を推定して類似度計算から除外することにより遮蔽にロバストな画像照合を提案した。遮蔽を含む 1048 枚の実画像を用いた評価実験により、認識率 82.2%、処理時間 166msec を達成した。提案手法は遮蔽率 70% までの画像に対して認識率が 80% 以上であり、遮蔽率の高い画像に対しても頑健な照合が可能であることを確認した。

参考文献

- [1] 栗田, “ロバストテンプレートマッチングとそのカット変わりの検出への応用”, 信学総大, p. 268 (1997).
- [2] S. Kaneko, *et. al.* “Using selective correlation coefficient for robust image registration”, PR, Vol. 36, No. 5, pp. 1165–1173 (2003).
- [3] D.G. Lowe, “Distinctive Image Features from Scale-Invariant Keypoints”, IJCV, Vol. 60, No. 2, pp. 91–110 (2004).
- [4] H. Bay, *et. al.* “SURF: Speeded Up Robust Features”, ECCV, Vol. 3951, pp. 404–417 (2006).
- [5] 齊藤, “ブロック照合投票処理を用いた遮蔽に強い画像マッチング”, 信学論 (D-II), Vol. J84-D-II, No. 10, pp. 2270–2279 (2001).
- [6] S. Kaneko, *et. al.* “Robust image registration by increment sign correlation”, PR, Vol. 35, No. 10, pp. 2223–2234 (2002).