

色不変特徴を用いた部分複写画像の検出 Detecting Partially Duplicated Images using Color Invariant Characteristics

竹本 雅矢[†] 西省吾[‡] 大寺 亮[†]
Masaya Takemoto Shogo Nishi Ryo Ohtera

1. はじめに

近年、デジタル画像の加工技術の向上により画像の改竄が容易に行えるようになった。改竄手法にはいくつかの種類が存在するが、その 1 つとして部分複写が挙げられる。部分複写画像の検出に対し、川嶋らは、回転・スケール・輝度変化に対して不変な SIFT 特徴量[1]と RANSAC による部分複写のマッチングを提案した[2]。しかしながら、SIFT 特徴量は、画像の輝度に注目しているため、暗部や輝度勾配が緩やかな画像においては、特徴点が抽出されづらいという問題がある。そこで、本稿では色不変特徴である CSIFT[3]を用いた特徴点抽出を行うことで、部分複写の検出精度の向上を実現する。

2. 提案手法

2.1 色不変量の抽出

本稿では、画像内における部分複写された箇所を検出のため、Kobayashi らによって提案された色不変量空間[4]において CSIFT 特徴点の検出およびマッチングを行う。

まず、式 (1) に示すガウシアンカラーモデルを用いて RGB 空間から Geusebroek らによって提案された色不変量 H, C の計算を行う。

$$\begin{pmatrix} \hat{E} \\ \hat{E}_\lambda \\ \hat{E}_{\lambda\lambda} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0.06 & 0.63 & 0.27 \\ 0.30 & 0.04 & -0.35 \\ 0.34 & -0.60 & 0.17 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} R \\ G \\ B \end{pmatrix} \quad (1)$$

この時、色不変量 H, C は次式で表される。

$$H = \hat{E}_\lambda / \hat{E}_{\lambda\lambda} \quad (2)$$

$$C = \hat{E}_\lambda / \hat{E} \quad (3)$$

次に、色不変量 H, C の値域を制限するため、以下の式によりそれぞれの変換を行う。

$$\theta_H = \tan^{-1} H \quad (4)$$

$$\theta_c = \tan^{-1} C \quad (5)$$

式 (4) で計算される不変量 θ_H は、一部の色を識別できない問題があるため、Kobayashi らは、無彩色軸で分けることによる不変量 $\theta_{H'}$ を提案した。無彩色軸としては不変量 $C = C_0 \cong -0.01$ となる θ_{c_0} を用い、以下の式により計算を行う。

$$\theta_{H'} = \begin{cases} \frac{1}{2}\theta_H - \frac{\pi}{2} & (\theta_c \geq \theta_{c_0}, \theta_H \geq 0) \\ \frac{1}{2}\theta_H & (\theta_c \geq \theta_{c_0}, \theta_H < 0) \\ \frac{1}{2}\theta_H & (\theta_c < \theta_{c_0}, \theta_H \geq 0) \\ \frac{1}{2}\theta_H + \frac{\pi}{2} & (\theta_c < \theta_{c_0}, \theta_H < 0) \end{cases} \quad (6)$$

本稿では、上記の色不変量 $\theta_{H'}$ 空間において CSIFT 特徴量の検出およびマッチングを行うことで、部分複写の検出を行う。

2.2 CSIFT を用いた部分複写の検出

SIFT 特徴量は、回転やスケール・輝度変化に対してロバストな特徴量である。しかしながら、特徴点の検出には輝度画像を利用するため、暗部や輝度勾配の緩やかな画像に対しては、特徴点が検出されづらいという問題がある。そこで、本稿では前節で抽出された色不変量空間において SIFT アルゴリズムを適用する CSIFT を用いて、部分複写のマッチングを行う。

CSIFT では、色不変量空間において、DoG (Difference-of-Gaussian) 処理を行い、特徴点とスケールを検出する。検出された特徴点は主曲率とコントラストを用いて閾値以下の物を削除する。最後に、輝度勾配方向を基準として、スケール範囲内の輝度勾配を 128 次元の特徴ベクトルで記述する。

本稿では、改竄画像の検出のため、画像内における全ての特徴点を対象として、各特徴ベクトルのユークリッド距離が閾値以下となるものを対応点、つまり部分複写箇所として検出する。

3. 実験

3.1 実験方法

提案手法の有効性を検証するため、輝度勾配の緩やかな輝度の低い画像に対して部分複写を行った画像を入力とし、提案手法と SIFT 特徴量を用いた手法との比較を行った。主曲率のパラメータは文献[1]から 12.1 とし、主曲率、コ

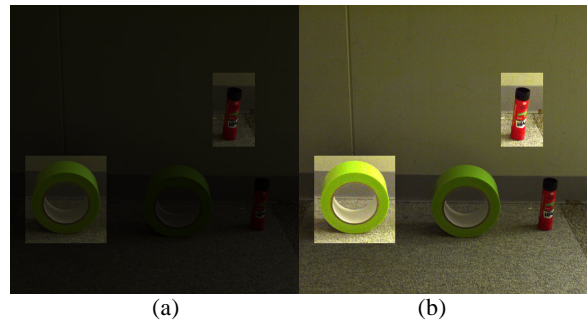
[†] 神戸情報大学院大学 Department of Information Systems, Graduate School of Information Technology, Kobe Institute of Computing

[‡] 大阪電気通信大学 Department of Engineering Informatics, Osaka Electro-Communication University

ントラスト, およびユークリッド距離に関するパラメータについては, 以下の3種類とした.

- (1) SIFT: コントラスト閾値は文献[1]に示されている最適値, ユークリッド距離閾値は誤検出が無い最適値を手動で決定
- (2) SIFT: 必要な特徴点を削除しないよう, コントラスト閾値を下げ, ユークリッド距離閾値は誤検出が無い最適値を手動で決定
- (3) 提案手法: 必要な特徴点を削除しないよう, コントラスト閾値を下げ, ユークリッド距離閾値は誤検出が無い最適値を手動で決定

図1(a)に, 実験に使用した入力画像の例を, (b)に見やすいよう入力画像の輝度を上げたものを示す.



3.2 実験結果と考察

図1(c)に, SIFT 文献[1]に示されているコントラスト閾値を用いた場合の SIFT による部分複写検出結果を示す. この場合は, 閾値パラメータが, 輝度勾配の緩やかな輝度の低い画像を想定していないため, マッチングできない結果であった. これは, コントラスト閾値によって必要な特徴点も削除されてしまうため, 誤検出を無くすようユークリッド距離閾値を下げても正しいマッチングが行われなかったことを示している.

次に, 図1(d)に特徴点の検出数を上げるため, コントラストの低い特徴点を削除しないよう閾値を設定し, 誤検出が無くなるユークリッド距離閾値を手動により設定した場合の SIFT による部分複写検出結果を示す. この場合は, 輝度勾配が若干残っている部分複写オブジェクトに対してはマッチングを行うことができたが, 輝度勾配が緩やかなオブジェクトはマッチングすることができなかった.

最後に, 図1(e)に提案手法である色不変特徴を用いた CSIFT による部分複写検出結果を示す. 輝度を用いた SIFT では検出できなかったオブジェクトに対しても, ロバストに検出することができ, 画像内のすべての部分複写オブジェクトに対して検出が可能であった. それぞれの結果の比較から, 提案手法の有効性が確認できた.

表1に, 実験における各閾値パラメータおよびマッチング数をまとめる.

表1 閾値パラメータとマッチング数

	contrast	Euclidean distance	matching
(c)SIFT [1]	0.03	0.004	0
(d)SIFT	0.00001	0.004	10
(e)提案手法	0.00001	0.18	32

4. おわりに

本稿では, 色不変特徴を用いた部分複写画像の検出手法を提案した. Kobayashi らの提案した色不変量と元にした CSIFT 特徴点を, 画像内でマッチングすることで, 従来手法では検出できなかった輝度勾配の極めて緩やかな部分複写オブジェクトに対しても, ロバストに検出できることが確認できた. 今後の課題として, 特徴点抽出やマッチングの際の最適パラメータの調査や設定の自動化が挙げられる.

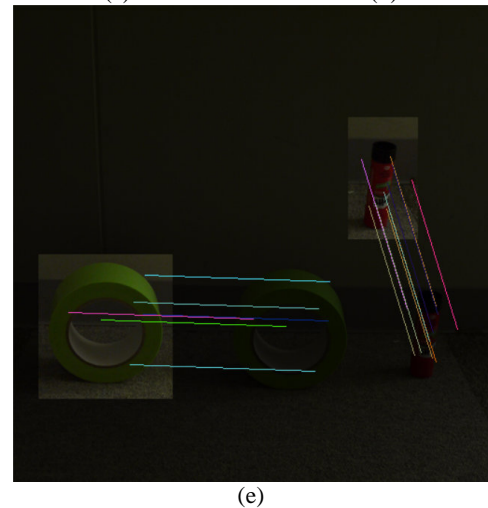
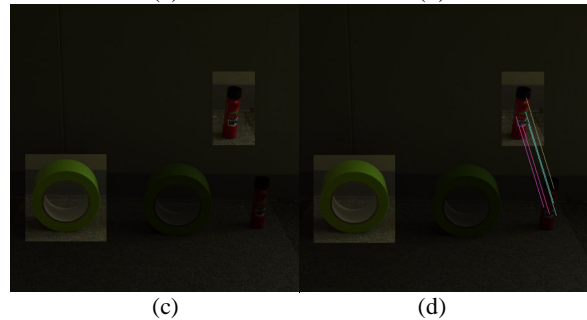


図1 部分複写検出結果

参考文献

- [1] D. G. Lowe, "Object recognition from local scale-invariant features", Proc. IEEE International Conference on Computer Vision (ICCV), pp. 1150-1157, 1999.
- [2] 川嶋 健司, 松本 哲也, 工藤 博章, 竹内 義則, 大西 昇, "RANSAC を用いた部分画像の複写検出手法の改良", 情報処理学会研究報告, CVIM, 2014-CVIM-191(3), pp.1-7, 2014.
- [3] A. E. Abdel-Hakim and A. A. Farag, "CSIFT: A SIFT Descriptor with Color Invariant Characteristics", Proc. IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR), pp.1978-1983, 2006.
- [4] M. Kobayashi and K. Kameyama, "A composite Illuminati on Invariant Color Feature and Its Application to Partial Image Matching", IEICE Trans. Inf. & Syst., vol.95, no.10, pp.2522-2532, 2012.