

基于 FAST 算子与多特征匹配的 图像伪造检测算法^①

尹晓叶

山西交通职业技术学院 工程管理系, 太原 030031

摘要: 当前图像伪造检测算法大多采用最近邻与次近邻比值法进行特征匹配来完成图像伪造检测, 存在较多的错误检测以及漏检测现象, 基于此提出了一种基于 FAST 算子与多特征匹配的图像伪造检测算法. 首先, 基于 FAST 算法与 Bresenham 方法, 构造以像素点为中心的圆形区域, 提取图像特征; 然后, 通过梯度直方图统计法判定特征点的主方向, 以特征点为中心建立两级同心圆, 并通过求取同心圆在指定方向上的梯度特征, 生成特征向量和特征描述子; 最后, 提取特征点的 HSI 颜色分量, 将 HSI 颜色分量以及特征点的特征向量作为双重特征, 设计了双重特征匹配法则, 实现特征匹配. 引入 Hough 变换, 对匹配特征点进行聚类, 定位伪造内容. 实验结果显示, 与当前图像匹配算法相比, 所提算法具有更高的检测正确度与鲁棒性能.

关键词: 图像伪造检测; FAST 算法; 同心圆梯度特征; HSI 颜色分量; 双重特征匹配法则; Hough 变换聚类

中图分类号: TP391

文献标志码: A

文章编号: 1000-5471(2019)08-0065-07

PS 技术的发展使得伪图像现象层出不穷, 这对人们信息的获取造成了一定的负面影响^[1-2]. 对此, 人们提出很多方法来检测图像中篡改的内容. 基于图像块检测的方法是一种常用的图像伪造检测方法, 如周萌萌等人^[3]对计算所得的亮度图像以及局部亮度变化图像进行图像分块, 并计算每个图像块对应的共轭不变矩, 利用共轭不变矩特征值对图像块进行分组, 接着对临近组的图像块进行相似值测量, 进而检测出伪造内容, 实验表明, 该方法能对伪造图像进行检测, 而且检测速度很快, 但是对于经过旋转后的伪造图像效果不佳. 对此, Ghulam 等人^[4]利用可控金字塔获取特征点, 再利用局部二值模式完成检测, 实验表明, 该方法对弥补前面的检测缺陷具有一定的效果, 但是检测结果存在一定的错误. 又如 Zheng 等人^[5]利用 SIFT 算法良好的仿射不变性能, 提出了一种基于块联合特征点的图像伪造检测算法, 进而完成图像伪造检测, 实验表明, 该方法具有很好的鲁棒性能, 对伪造图像检测效果良好, 但是检测结果存在漏检测现象. 朱叶等人^[6]利用图像 DOG 区域提取方法检测图像的特征点, 接着利用 MIOP 方法生成特征描述子, 通过欧氏距离比值的方法进行特征匹配, 进而用 RANSAC 方法去除误匹配, 精确定位伪造图像, 实验表明, 该方法检测效果较好, 而且具有较好的鲁棒性能, 但是该方法生成的特征描述子维度太高, 导致算法的计算量太大.

对此, 本文提出了一种基于双重特征匹配耦合 Hough 变换聚类的图像伪造检测算法. 首先, 引入 FAST 算法对图像进行特征检测, 利用特征点的梯度特征, 通过梯度直方图统计法以及求取同心圆梯度特征分别获取特征点的主方向以及特征向量, 生成较低维度的特征描述子; 然后, 将特征点的 HSI 颜色分量以及特征点的特征向量作为特征点的双重特征, 利用双重特征匹配法则, 进行特征点的匹配; 接着, 通过 Hough 变换对匹配后的特征点进行聚类, 完成伪造内容的检测和定位. 最后, 测试该算法的检测性能.

① 收稿日期: 2018-04-03

作者简介: 尹晓叶(1984-), 女, 硕士, 讲师, 主要从事图像处理、信息安全等方面的科研和教学工作.

1 图像伪造检测算法

该图像伪造检测算法包含 4 个步骤：①检测图像特征；②生成特征描述子；③特征点的匹配；④基于 Hough 变换的匹配优化。如图 1 所示。

1.1 图像特征检测

FAST 算法是一种常见的图像特征检测算法，具有检测精度高、检测效率高等特点^[7-8]。因此，本文选用 FAST 算法对图像进行特征检测。

FAST 算法首先对某一目标像素点邻域内的像素点灰度值进行判断，若有一定数量邻域像素点的灰度值与目标像素点的灰度值差别较大，则将该目标像素点视为特征点。FAST 算法检测图像特征的具体过程如下所示^[9]：

将任一像素点 p 视为圆心，构造一个如图 2 所示的半径为 3 的 Bresenham 圆形区域模板。令模板上邻域 16 个像素点中第 i 个像素点对应的灰度值为 $G(i)$ ，圆心像素点 p 对应的灰度值为 $G(p)$ ，求取圆形模板上 16 个像素点中与 p 点的灰度差值大于阈值 α 的像素点数量 u ，

$$u = \sum_{i \in \text{circle}(p)} |G(i) - G(p)| > \alpha \quad (1)$$

若满足 $u \geq \beta$ ，则判定像素点 p 为一个检测到的特征点，其中， β 为一个阈值常数。

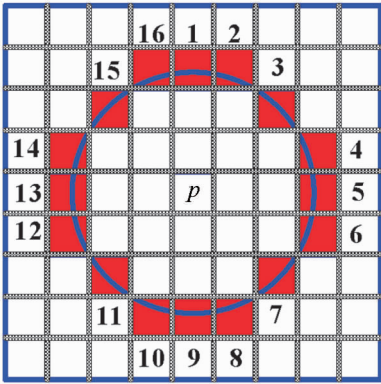


图 2 构建圆形区域模板示意图

由于在 p 点圆形邻域上的 16 个像素点中，1, 5, 9, 13 这 4 个像素点与 p 点的关系最为密切^[10]。因此，本文在按照 FAST 算法计算像素点灰度差值之前，先分别计算圆形区域模板上 1, 5, 9, 13 这 4 个像素点与 p 点的灰度差值。若这 4 个像素点与 p 点的灰度差值都大于阈值 α ，则按照 FAST 算法执行剩下的步骤；否则停止执行 FAST 算法剩下的步骤，将圆心处像素点判定为非特征点。由此，可减少像素点之间灰度差值的计算次数，对 FAST 算法的计算复杂度进行了优化，从而提高算法的检测效率。

1.2 生成特征描述子

对于每一个通过 FAST 算法检测到的特征点，需要生成特征点对应的特征描述子，以对不同特征点的特征进行描述区分。特征描述子的生成由获取特征点的主方向以及获取特征向量 2 部分构成。在此，将利用梯度直方图统计法获取特征点的主方向，以特征点为中心，构建二级同心圆区域，通过求取同心圆域内的梯度特征来获取特征向量，从而生成特征描述子。

对于任意像素点 $h(x, y)$ ，其对应的梯度模值 $GM(x, y)$ 和梯度方向 $G\theta(x, y)$ 的表述如下所示^[11-12]：

$$GM(x, y) = ((L(x+1, y) - L(x-1, y))^2 + (L(x, y+1) - L(x, y-1))^2)^{\frac{1}{2}}$$

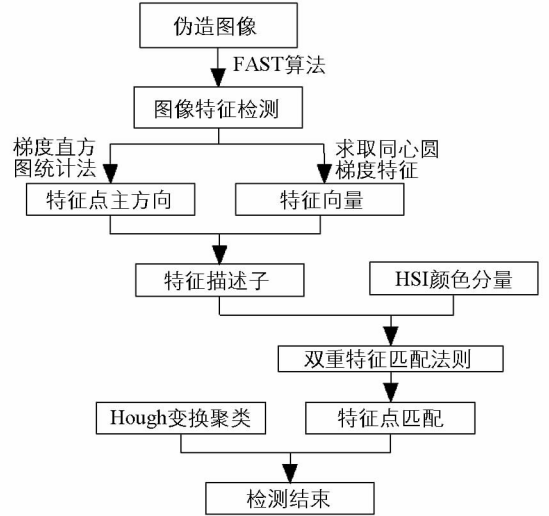


图 1 本文图像伪造检测算法的步骤

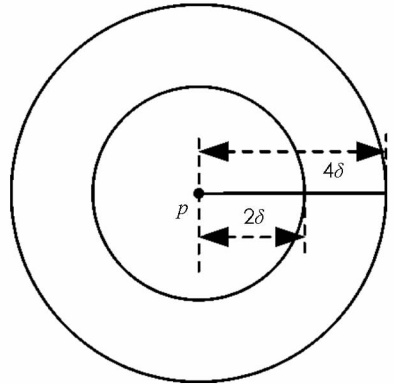


图 3 构造二级同心圆示意图

$$G\theta(x, y) = \tan^{-1} \left[\frac{L(x, y+1) - L(x, y-1)}{L(x+1, y) - L(x-1, y)} \right] \quad (2)$$

梯度直方图的建立是以特征点邻域内像素点的梯度模值以及梯度方向为依据的, 随后对其进行统计. 将直方图的角度范围设定为 $[0^\circ, 360^\circ]$, 分为 36 个柱体. 将直方图中最大值对应的方向确定为特征点的主方向, 0.8 倍最大值对应的方向确定为辅方向^[13-14].

以尺度因子为 δ 的特征点 p 为中心, 构造一个如图 3 所示的, 半径为 4δ 的二级同心圆. 接着, 以主方向为起点, 30° 为步长, 将同心圆分割成 12 块, 计算 2 个同心圆内分割块上像素点的梯度模值与梯度方向. 然后, 求取每个同心圆上的梯度总和. 由此, 每个同心圆均可获得一个 12 维的向量. 将第一级(内部)同心圆生成的向量视为第 1 ~ 12 维向量 $F_1 = (f_1, f_2, f_3, \dots, f_{12})$, 将第二级(外部)同心圆生成的向量视为第 13 ~ 24 维向量 $F_2 = (f_{13}, f_{14}, f_{15}, \dots, f_{24})$. 最后, 将每个同心圆中生成的向量进行归一化处理:

$$\begin{cases} F'_1 = \frac{F_1}{\sqrt{\sum_{j=1}^{12} f_j}} = (f'_1, f'_2, f'_3, \dots, f'_{12}) \\ F'_2 = \frac{F_2}{\sqrt{\sum_{j=13}^{24} f_j}} = (f'_{13}, f'_{14}, f'_{15}, \dots, f'_{24}) \end{cases} \quad (3)$$

将每个同心圆内进行归一化处理后的向量, 按照向量值大小, 进行降序排列, 由此可得到一组 24 维的特征向量 F , 从而完成特征描述子的生成.

1.3 特征点的匹配

为了克服梯度特征匹配的单一性, 防止梯度特征匹配较好, 而颜色特征差异较大引起的错误检测等. 本文将通过提取特征点的 HSI 颜色分量, 利用 HSI 颜色分量以及特征点的特征向量作为特征点的双重特征, 设计双重特征匹配机制. HSI 颜色分量富含了图像的颜色以及亮度等信息, 其中 H 分量表示色调、 S 分量表示饱和度、 I 分量表示亮度^[15]. 特征点 p 对应的 H, S, I 分量的提取依赖于该点的 RGB 分量而实现, 特征点 p 对应的 H 分量 H_p 表示如下所示^[16]:

$$H_p = \begin{cases} \varphi & B \leq G \\ 360 - \varphi & B > G \end{cases} \quad (4)$$

式中, φ 的表述为

$$\varphi = \arccos \frac{[(R-G) + (R-B)]}{2[(R-G)^2 + (R-G)(G-B)]^{1/2}} \quad (5)$$

特征点 p 对应的 S 分量 S_p 表示如下所示:

$$S_p = 1 - \left[\frac{3(\min(R, G, B))}{R+G+B} \right] \quad (6)$$

特征点 p 对应的 I 分量 I_p 表示如下所示^[17]:

$$I_p = \frac{R+G+B}{3} \quad (7)$$

获取到特征点对应的 HSI 颜色分量后, 将其与特征点的特征向量作为双重特征, 从而制定双重特征匹配法则.

首先, 令特征点 p 获取到的 HSI 颜色分量为 $C(p)$, 则归一化处理后的分量 $C'(p)$ 为

$$C'(p) = \frac{C(p)}{\sqrt{|C(p)|}} \quad (8)$$

然后, 令特征点 p 对应的特征向量为 F_p . 通过类似的方法可以获取另一特征点 q 对应的特征向量 F_q 以及归一化处理后的 HSI 分量 $C'(q)$. 求取特征点 p 和特征点 q 对应特征向量的内积 $N(p, q)$, 以及归一化处理后的 HSI 分量的内积 $N'(p, q)$,

$$N(p, q) = F_p * F_q \quad (9)$$

$$N'(p, q) = C'(p) * C'(q) \quad (10)$$

最后,若特征点 p 和特征点 q 对应的特征向量以及归一化处理后的 HSI 分量的内积都大于 th , 则判定特征点 p 和特征点 q 为一对匹配特征点. 其中, $th \in (0, 1]$ 为预设阈值.

1.4 Hough 变换聚类

Hough 变换^[18]通过 2 个 Hough 参数来实现特征点的聚类. 令 $p(a, b)$ 为匹配后的一个特征点, 将其坐标 (a, b) 视为一个 Hough 参数对, 则可构成一直线 L , 其函数为^[18-19]

$$L = ax + b \quad (11)$$

通过直线 L 与坐标系之间的关系, 可变形得到:

$$d = a\sin(\omega) - b\cos(\omega) \quad (12)$$

式中, $\omega \in (0, \pi)$ 为直线 L 与 x 正半轴的夹角. 由此可见, Hough 参数对 (a, b) 可对应转化为 (d, ω) 参数对.

接着采用离散域统计表决方法^[20-21]统计位于同一 Hough 参数对上的特征点数量, 若该数量大于阈值, 则认为这些特征点为一个聚类.

2 实验结果与分析

为了测试所提算法的合理性与优异性, 将文献 [22]、文献 [23] 以及文献 [24] 视为对照组. 在 Intel I3 双核处理器、500GB 硬盘、4GB 内存、操作系统采用 Windows 7 的 PC 机上, 采用 MATLAB 7.0 软件作为仿真环境进行仿真实验. 实验中采用了简单的复制粘贴篡改以及旋转缩放篡改方法伪造的图像进行测试.

2.1 不同算法的图像伪造检测结果测试

图 4 为不同算法对复制粘贴篡改图像的检测结果, 该图中存在多个相似的目标, 准确检测其中的伪造内容具有较大的难度. 图 5 为不同算法对缩放篡改图像的检测结果. 通过对比图 4 中不同算法的检测结果可见, 文献 [22] 中算法的检测结果 (见图 4(c)) 中存在较多的错误检测, 把部分蒙古包误检为伪造内容; 文献 [23] 中算法的检测结果 (见图 4(d)) 中存在检测偏差以及漏检测现象, 将旁边的羊误认为是伪造内容; 文献 [24] 中算法的检测结果 (见图 4(e)) 中存在误检现象, 将另外一只羊误识别为伪造内容; 而本文算法的检测结果 (见图 4(f)) 中能够准确识别篡改区域.



图 4 不同算法对复制粘贴篡改下的伪造检测结果

通过对比图 5 中不同算法的检测结果可见, 文献 [22] 中算法的检测结果 (见图 5(c)) 以及文献 [23] 中算法的检测结果 (见图 5(d)) 中都存在较大的检测偏差以及漏检测现象, 文献 [24] 中算法的检测结果 (见图 5(e)) 中较本文算法的检测结果 (见图 5(f)) 中也存在少量信息的漏检测现象, 说明本文算法的检测效果最

好, 能够较为准确地检测出篡改区域.

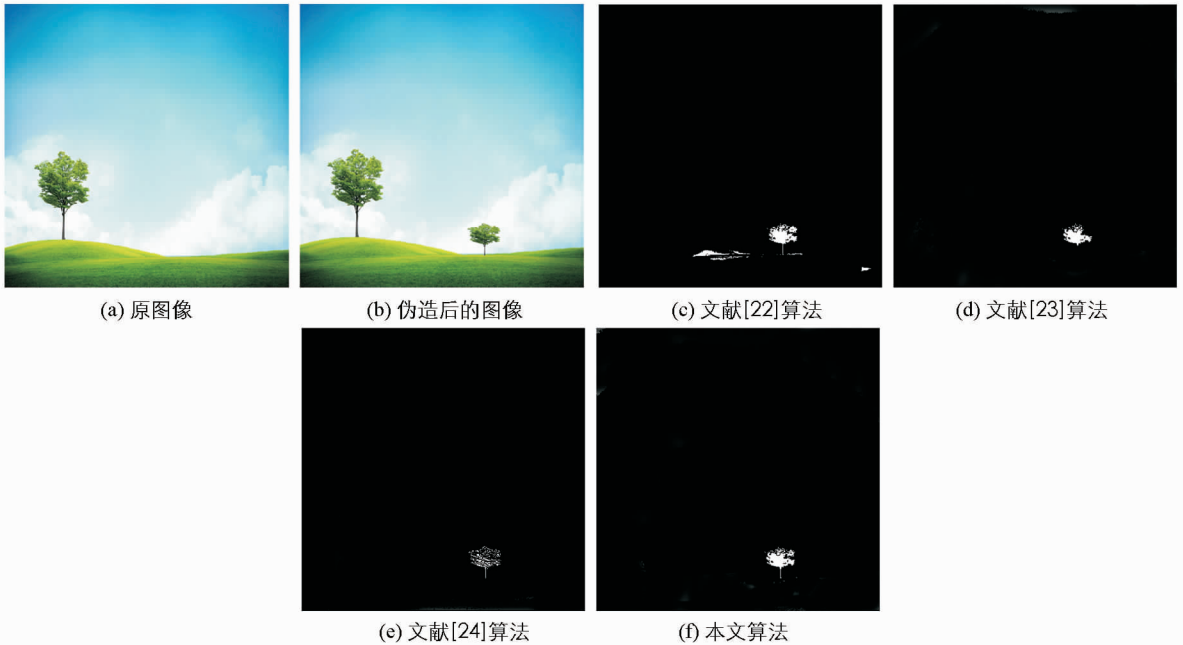


图 5 不同算法对缩放篡改下的伪造检测结果

2.2 量化测试

由于旋转篡改是当前图像伪造检测技术的主要对象, 是衡量伪造检测算法的重要指标^[4], 为此, 本文从 Waterloo BragZone 数据集中选取 10 组不同旋转角度篡改的图像作为样本, 借助不同的算法对其完成伪造测试; 并记录平均耗时以及不同算法的检测正确度, 以此作为不同算法的量化测试结果.

以图 4(b)为例, 利用不同算法对其检测, 结果如表 1 所示. 从表 1 可见, 本文算法检测的平均耗时为 3.153 4 s, 相对对照组算法而言, 本文算法的平均耗时最少, 说明本文算法的效率最高.

随后, 从 USC-SIPI 数据集^[25]中随机择取 6 幅图像, 见图 6(a)~图 6(f), 利用 PS 软件复制图像中的鸟儿、树木、马、房子、石头以及鸭子, 并对其施加 17 种不同的旋转角度, 将旋转后的内容复制粘贴到对应的图中, 从而形成 102 幅篡改图像. 再利用所提技术与对照组方法来完成伪造检测, 取其平均正确检测率为量化结果, 见图 7.

从图中可见, 本文算法在不同旋转角度篡改下, 其检测正确度始终是最高的, 且较为稳定, 即使发生 180°篡改, 其正确检测度仍然可保持在 0.774 左右; 而其他 3 种对照组在大角度篡改下, 其正确检测率均不理想. 主要是本文引入了 FAST 算法来检测图像中的特征点, 同时还通过梯度直方图统计法以及求取同心圆在指定方向上的梯度特征的方法获取了较低维度的特征描述子, 从而提高了算法的检测精度以及检测效率. 另外本文还利用 HSI 颜色分量以及特征点的特征向量作为特征匹配的双重条件, 提高了特征匹配的正确度, 利用 Hough 变换对篡改内容进行精确地定位, 从而进一步提高了算法的检测正确度以及鲁棒性能. 文献 [22] 依靠 SIFT 算法来获取图像的特征描述子, 最终实现对伪造区域的检测, 但是 SIFT 算法提取的特征点纯度不高, 混杂了较多的伪特征点, 而且 SIFT 算法生成的特征描述子维度较高, 导致其检测正确度以及检测效率不佳. 文献 [23] 中算法对噪声图像检测效果较好, 但由于采用贝叶斯规则计算复杂度较高, 而且采用的凸优化机制难以对复杂的篡改内容进行识别, 使其检测耗时较多并且检测正确度不高. 文献 [24] 中算法由于采用的是 Gabor 小波变换计算较为耗时, 而且定义的局部相位量化技术难以顾及检测图像的全局性, 导致检测效率以及检测正确度有所下降.

表 1 不同算法量化测试结果

所用算法	平均耗时/s
文献 [22]算法	7.523 1
文献 [23]算法	5.541 3
文献 [24]算法	3.554 2
本文算法	3.153 4



图 6 测试图像

3 结 论

本文提出了一种基于 FAST 算子与多特征匹配的图像伪造检测技术. 引入 FAST 机制, 实现对图像特征点的准确提取; 在生成特征描述子时, 采用了梯度直方图统计法获取主方向, 通过对圆域内的梯度总和进行计算, 同时排序获得特征向量, 从而输出 24 维的特征描述子, 降低了算法的计算复杂度. 在特征匹配时, 利用特征点的 HSI 分量以及特征向量建立了双重特征匹配法则, 完成特征点的匹配, 从而提高了算法的鲁棒性以及检测正确性. 引入 Hough 变换, 对特征点完成分类, 优化篡改内容的识别. 最后, 通过对不同的篡改伪造图像进行测试, 验证了本文所提技术的有效性与合理性.

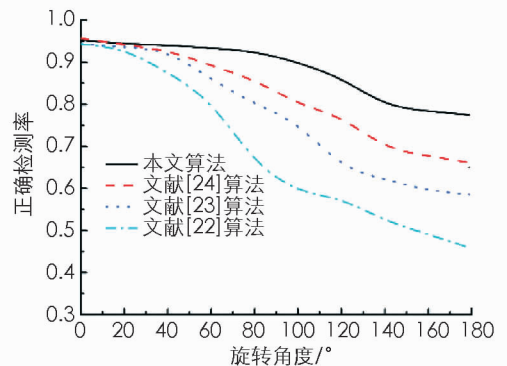


图 7 对不同旋转角度篡改图像的检测正确度

参考文献:

- [1] 张晓琪, 侯世英. 基于圆形均分法耦合双重制约的图像伪造检测算法 [J]. 西南师范大学学报(自然科学版), 2018, 43(1): 47-53.
- [2] 柴建伟, 刘 婷. 改进的 SIFT 耦合特征点集群的图像伪造检测算法 [J]. 西南师范大学学报(自然科学版), 2018, 43(3): 34-41.
- [3] 周萌萌, 杨鸿波, 高晶敏, 等. 基于快速分块的复制-粘贴图像检测算法 [J]. 计算机应用, 2016, 36(S1): 117-121.
- [4] MUHAMMAD G, MUNNER H A, MUHAMMAD H. Image Forgery Detection Using Steerable Pyramid Transform and Local Binary Pattern [J]. Machine Vision and Applications, 2014, 25(4): 985-995.
- [5] ZHENG J B, LIU Y N, REN J C, et al. Fusion of Block and Keypoints Based Approaches for Effective Copy-Move Image Forgery Detection [J]. Multidimensional Systems and Signal Processing, 2016, 27(4): 989-1005.
- [6] 朱 叶, 申铨京, 陈海鹏. 基于混合灰度序模式的图像复制-粘贴篡改盲鉴别算法 [J]. 吉林大学学报(工学版), 2017, 47(4): 1280-1285.
- [7] 周莉莉, 姜 枫. 基于 FAST 和 BRIEF 的图像匹配算法 [J]. 计算机工程与设计, 2015, 36(5): 1269-1273.
- [8] IVANOV V A, KIRICHUK V S, KOSYKH V P. Specific Features of Detecting Point Objects in Images Formed by a Detector Array [J]. Optoelectronics, Instrumentation and Data Processing, 2016, 52(2): 113-120.
- [9] 安维胜, 余让明, 伍玉铃. 基于 FAST 和 SURF 的图像配准算法 [J]. 计算机工程, 2015, 41(10): 232-235, 239.
- [10] BENRHOUMA O, HERMASSI H, ABD EL-LATIF A A, et al. Chaotic Watermark for Blind Forgery Detection in Im-

- ages [J]. *Multimedia Tools and Applications*, 2016, 75(14): 8695-8718.
- [11] 张瑞芳, 程晓辉, 宋子航, 等. 融合灰色马尔科夫理论的二进小波图像的复制-粘贴篡改检测算法 [J]. *桂林理工大学学报*, 2014, 34(4): 775-781.
- [12] SWAPNIL H K, AVINASH D G. Copy- Move Attack Forgery Detection by Using SIFT [J]. *International Journal of Innovative Technology and Exploring Engineering*, 2013, 5(2): 221-224.
- [13] 李晓飞, 李鹏飞. 基于 SIFT 的伪造图像盲检测算法 [J]. *长春大学学报*, 2014, 24(10): 1354-1357.
- [14] LIANG Y R, LIU G P, ZHOU N R, et al. Color Image Encryption Combining a Reality-Preserving Fractional DCT with Chaotic Mapping in HSI Space [J]. *Multimedia Tools & Applications*, 2016, 75(11): 6605-6620.
- [15] ALAHMADI A, HUSSAIN M, ABOALSAMH H. Passive Detection of Image Forgery Using DCT and Local Binary Pattern [J]. *Signal, Image and Video Processing*, 2017, 11(1): 81-88.
- [16] 李 宁, 许树成, 邓中亮. 基于 HSI 色彩坐标相似度的彩色图像分割方法 [J]. *现代电子技术*, 2017, 40(2): 30-33, 38.
- [17] 徐庆嵩, 尹立新, 张伟伟. 一种使用 HSI 颜色空间改进的图像修复算法 [J]. *计算机应用与软件*, 2015, 32(6): 216-219, 248.
- [18] 龚一珉, 孙刘杰. 基于 Hough 变换旋转校正的 QR 码全息水印算法 [J]. *包装工程*, 2017, 38(9): 213-218.
- [19] MASSONE A M, BELTRAMETTI M C, RICCA G. Detecting Curves of Symmetry in Images Via Hough Transform [J]. *Mathematics in Computer Science*, 2016, 10(1): 179-205.
- [20] CALATRONI L, VAN-GENNIP Y, BIBIANE-SCHÖNLIEB C. Graph Clustering, Variational Image Segmentation Methods and Hough Transform Scale Detection for Object Measurement in Images [J]. *Journal of Mathematical Imaging & Vision*, 2017, 57(2): 269-291.
- [21] 曾 硕, 王 玲, 李昆明. 一种基于 Zernike 不变矩和改进的 Hough 变换的图像检索方法 [J]. *计算机应用与软件*, 2015, 32(12): 210-213.
- [22] FARUKH M, HAMBARDE A R, KESKAR A G. Copy Move Forgery Detection using DWT and SIFT features [J]. *Intelligent Systems Design and Applications*, 2014, 34(10): 188-193.
- [23] 李景富, 张 飞. 凸优化耦合传感器模式噪声的图像伪造检测 [J]. *计算机测量与控制*, 2015, 23(5): 1678-1681, 1685.
- [24] 李伟征, 白光伟, 涂秀梅. 于局部相位量化的图像伪造检测算法 [J]. *计算机工程与设计*, 2017, 38(2): 449-452, 459.
- [25] BIRAJDARG K, MANKAR V H. Blind Method for Rescaling Detection and Rescale Factor Estimation in Digital Images Using Periodic Properties of Interpolation [J]. *AEU-International Journal of Electronics and Communications*, 2014, 68(7): 644-652.

Image Forgery Detection Algorithm Based on FAST Operator and Multi-feature Matching

YIN Xiao-ye

Department of Engineering Management, Shanxi Traffic Vocational and Technical College, Taiyuan 030031, China

Abstract: In order to solve the current image forgery detection algorithms, the nearest neighbor and nearest neighbor ratio method is used to perform image forgery detection, which results in more error detection and leakage detection. An image forgery detection algorithm based on dual feature matching coupled Hough transform clustering has been proposed in this paper. Firstly, the FAST method is used to construct the circular region centered on the pixels, and the image features are extracted by Bresenham method. Secondly, through the gradient histogram statistics method to determine the main direction of the characteristic points, the feature points as the center to construct two concentric circles, and through calculating the concentric gradient in the specified direction, generates a feature vector generation feature descriptor. And Lastly, the HSI color components of feature points are extracted, and the HSI color components and feature vectors are used as the dual features of feature points and then dual feature matching rules are formulated to realize feature matching. The Hough transform is introduced to cluster the matching feature points to locate the fake content. The results show that this algorithm has higher detection accuracy and better robust performance compared with the current image matching algorithm.

Key words: image forgery detection; FAST algorithm; concentric gradient feature; HSI color component; dual feature matching rule; Hough transform clustering

责任编辑 崔玉洁