

Harris 算子耦合强度特征的图像复制-粘贴篡改检测算法

文洁¹, 肖宁²

(1. 武汉商学院 信息工程学院, 武汉 430056; 2. 山西财经大学 信息学院, 太原 030006)

摘要: **目的** 针对当前较多图像复制-粘贴篡改检测算法主要依靠度量图像的结构特征来实现篡改检测, 忽略了图像的强度特征, 使其在各种几何变换下难以准确检测出伪造内容, 导致检测结果中存在漏检和误检等问题, 设计一种基于 Harris 算子耦合强度特征的图像复制-粘贴篡改检测算法。 **方法** 利用 Harris 算子对图像的特征点进行精确的提取。通过特征点构造圆形特征区域, 求取该区域的 Zernike 矩, 通过 Zernike 矩的大小实现对特征点的描述。随后, 利用不同阶数的 Zernike 矩来描述图像的强度特征和纹理特征, 从而构造匹配模型, 对图像特征进行粗匹配, 并引入 RANSAC 方法对粗匹配结果进行优化。最后, 利用形态学腐蚀与膨胀操作将特征区域进行连通, 以确定篡改区域。 **结果** 实验结果表明, 与已有的图像伪造检测方案相比, 所提算法具备更高的检测精度和鲁棒性, 在噪声和旋转等变换下仍有更好的检测效果。 **结论** 所提技术拥有较高的伪造检测准确性, 在图像水印、信息安全领域具有一定的参考价值。

关键词: 图像篡改检测; 复制-粘贴; Harris 算子; Zernike 矩; 强度特征; RANSAC 方法

中图分类号: TP391 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2019)05-0258-08

DOI: 10.19554/j.cnki.1001-3563.2019.05.036

Image Copy-move Forgery Detection Algorithm Based on Harris Operator Coupling Intensity Feature

WEN Jie¹, XIAO Ning²

(1. School of Information Engineering, Wuhan business University, Wuhan 430056, China;

2. School of Information Management, Shanxi University of Finance and Economics, Taiyuan 030006, China)

ABSTRACT: The work aims to design an image copy-move forgery detection algorithm based on Harris operator coupling intensity to solve the problem that most existing copy-and-paste tamper detection algorithms mainly rely on measuring the structural characteristics of the image to achieve tamper detection, thus ignoring the image strength characteristics, making the algorithm can not adapt to rotation and other tamper detection methods, resulting in the detection results of leakage detection and error detection. The Harris operator was used to extract the feature points accurately. A circular feature region was constructed by feature points, and the Zernike moments of the region were obtained. The feature points were described by the size of the Zernike moments. Zernike moments of different orders were used to describe the intensity and texture features of the image. The matching model was constructed by the size of Zernike moments of different orders to roughly match the image features. The RANSAC method was introduced to further realize the precise matching of image features. The feature area was connected by morphological corrosion and expansion operation to determine the tampering area. From the experimental results, the proposed algorithm had high detection accuracy and roughness and still

收稿日期: 2018-11-01

基金项目: 湖北省自然科学基金 (2015CFB019)

作者简介: 文洁 (1978—), 女, 硕士, 武汉商学院讲师, 主要研究方向为图像处理、信息安全技术、计算机软件。

had better detection results under the noise and rotation, compared with the existing image forgery detection scheme. The proposed technique possesses high forgery detection accuracy and has certain reference value in the fields of image watermarking and information security.

KEY WORDS: image forgery detection; copy-move; Harris operator; Zernike moment; intensity feature; RANSAC method

目前数字图像已被广泛应用于教育教学、交通管制以及医疗诊断等多种生活场合,已成为了人们生活中重要的一部分^[1]。随着计算机技术以及软件技术突飞猛进的发展,出现了包括 Photoshop、会声会影等在内的多种数字图像处理软件^[2]。这些软件具有强大的数字图像编辑功能,便于人们进行广告设计等操作。这些软件虽然给人们带来了便利,但同时也给图像的伪造提供了途径。复制-粘贴篡改是最常见的一种图像伪造方法,其通过将原图中的部分内容进行复制,然后粘贴在原图像中,从而实现图像的篡改^[3]。这种方式篡改的图像难以通过眼睛辨别,需要通过数字图像篡改检测方法进行伪造检测。

为了检测图像的伪造内容,当下出现了较多的图像伪造检测方法,如 Oussama 等^[4]利用混沌映射的方法,设计了一种基于混沌映射的图像篡改检测水印方法,利用混沌映射使水印嵌入过程和检测过程复杂化,使得算法的鲁棒性得以增强。又如:Hu 等^[5]通过对图像的前景与背景内容都添加水印,以此来抵制图像的伪造。这种对原图添加水印来抵制图像伪造的方法,是一种主动图像伪造检测方法,其具有良好的伪造抵制效果,但同时水印的存在也对原图视觉效果造成了一定的副作用。Amani 等^[6]将离散余弦变换方法引入图像的伪造检测,在图像的二值模式下利用离散余弦变换提取图像的局部特征,再通过支持向量机完成伪造内容的检测。这种方法能够完成图像的伪造检测,但该方法只依靠图像的结构特征来实现伪造检测,没有顾及图像的强度特征,使得算法不能较好地检测经过旋转等后处理生成的伪造图像。林开司等^[7]利用梯度方法对图像进行锐化,去除图像模糊,再利用 SIFT 方法获取图像特征点,进而实现伪造的检测。该方法能够适应旋转等后处理方法伪造的图像检测,但 SIFT 方法获取的特征点中具有较多的伪点,使得检测准确性不佳。

基于以上问题,文中将 Harris 算子引入图像的伪造检测,设计基于 Harris 算子耦合强度特征的图像复制-粘贴篡改检测算法。利用检测准确度较高的 Harris 算子检测图像的特征点。通过求取特征点圆形特征区域的 Zernike 矩,对特征点进行描述。通过 Zernike 矩的大小构造匹配模型,对图像特征进行初次匹配。使用 RANSAC 方法对图像进行二次匹配,获取更为精准的匹配结果。通过腐蚀与膨胀操作,将匹配特征

区域连通,实现伪造区域的定位。

1 文中篡改检测算法

文中篡改检测算法的过程见图 1。主要由图像特征点检测、特征描述以及特征匹配、区域连通 4 部分组成。由图 1 可知,通过 Harris 算子实现对图像特征点的准确检测,以提高算法的检测正确度。通过求取特征点对应的特征区域的 Zernike 矩,对特征点进行描述,以抵抗旋转等后处理伪造方式,提高了算法的鲁棒性。利用不同阶数的 Zernike 矩来描述图像的强度特征与纹理特征,并通过不同阶数 Zernike 矩的大小构造匹配模型,对图像特征进行粗匹配。通过 RANSAC 对图像进行精匹配。使得匹配结果的准确性得以提升,提高了算法的检测正确度。利用腐蚀、膨胀操作将匹配特征点对应的特征区域进行连通,获取检测结果。

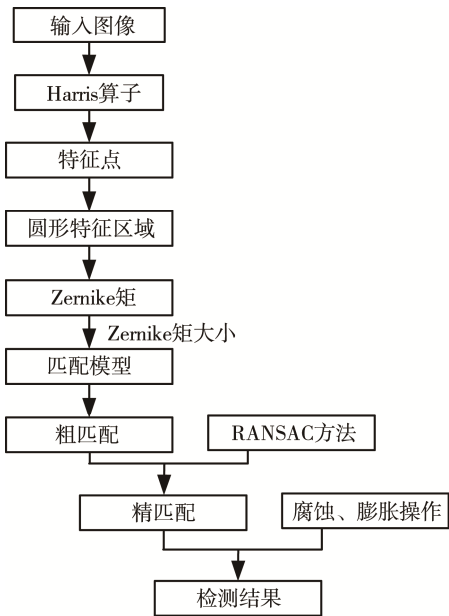


图 1 文中篡改检测算法的过程
Fig.1 Process of proposed tamper detection algorithm

1.1 图像特征点检测

Harris 算子是一种基于像素点灰度的图像特征检测方法。Harris 算子检测图像特征点的过程中使用了高斯滤波,使得其具有较强的抗噪性能,能够较为准确地检测图像的特征点。在此,将采用 Harris 算子实

现文中图像特征点的检测。

令图像中任一像素点 $p(x,y)$ 对应的灰度值为 $G(x,y)$, 则其平移 (m,n) 后所得的灰度变化结果 $G_{m,n}(x,y)$ 为^[8]:

$$G_{m,n}(x,y) = \sum_{m,n} L_{m,n} [G(x+m, y+n) - G(x,y)]^2 \quad (1)$$

式中: $L_{m,n}$ 为 (m,n) 处的高斯滤波窗口。

利用对称矩阵 J 对式 (1) 近似表示为^[9]:

$$G_{m,n}(x,y) \cong (m,n) J \begin{bmatrix} m \\ n \end{bmatrix} \quad (2)$$

$$J = L_{m,n} \otimes \begin{bmatrix} p_x^2 & p_x p_y \\ p_x p_y & p_y^2 \end{bmatrix} \quad (3)$$

式中: p_x 与 p_y 分别为像素点 $p(x,y)$ 在 x 方向与 y 方向上的偏导数, 其反应了 $p(x,y)$ 的梯度特征。

利用对称矩阵 J 的行列式值 $\text{Det}(J)$ 以及迹 $\text{Tra}(J)$, 构造特征检测函数 H :

$$H = \frac{\text{Det}(J)}{\text{Tra}(J) + \lambda} \quad (4)$$

式中: λ 为任意的极小数, 用以抵御特征检测函数分母为 0 引起的特征检测误差。

通过特征检测函数式 (4) 检测特征点时, 需要设定检测阈值 θ 。通过将式 (4) 所求取像素点对应的 H 值与检测阈值 θ 进行比较。若存在某一像素点的 H 值大于检测阈值 θ 时, 则认定该像素点为特征点。

通过 Harris 算子检测图像特征的结果见图 2。从图 2 可见, Harris 算子能够较好地检测出图像的特征。



图 2 特征检测结果

Fig.2 Feature detection results

1.2 特征描述

通过 Harris 算子获取特征点后, 需要对特征点进行描述, 用于特征匹配。当前较多特征描述方法主要通过对特征点进行灰度测量来实现, 这种方法难以适应旋转后的图像。Zernike 矩具有良好的旋转不变性^[10], 由此选用 Zernike 矩对特征点进行描述。

以尺度为 σ 的特征点 p 为原点, 构造一个半径为 3σ 的圆形特征区域, 用于求取特征点的 Zernike 矩。

Zernike 矩通过圆形特征区域 $f(x,y)$ 内的正交基函数 $Z_{pq}(x,y)$ 来实现^[11-12]:

$$E_{pq} = \frac{p+1}{\pi} \iint_{x_i^2+y_i^2 \leq 1} f(x,y) Z_{pq}^*(x,y) dx dy \quad (5)$$

式中: p, q 分别为图像的阶数与重复度。 $Z_{pq}^*(x,y)$ 为 $Z_{pq}(x,y)$ 的复共轭。 $Z_{pq}(x,y)$ 的定义如下:

$$Z_{pq}(x,y) = R_{pq}(\rho) e^{\sqrt{-1}q\phi} \quad (6)$$

式中: ρ, ϕ 分别为 p 的极半径与极角。 $R_{pq}(\rho)$ 为径向多项式, 其表达式为:

$$R_{pq}(\rho) = \sum_{s=1}^{p-|q|} \frac{(-1)^s (sp+1-s)! \rho^{p-s}}{s! (p+|q|+1-s)! (p-|q|-s)!} \quad (7)$$

将式 (5) 在极坐标下可表示为:

$$E_{pq} = \frac{p+1}{\pi} \sum_{0 < \rho < 1} \sum_{0 < \phi < 2\pi} f(\rho, \phi) Z_{pq}^*(\rho, \phi) \phi \quad (8)$$

令图像旋转任意角度 ω , 此时旋转前图像的 Zernike 矩 E_{pq} 与旋转后图像的 Zernike 矩 E'_{pq} 的关系为^[13]:

$$E'_{pq} = E_{pq} e^{\sqrt{-1}q\omega} \quad (9)$$

将式 (9) 两边取模可得:

$$|E'_{pq}| = |E_{pq}| \quad (10)$$

由此可见, 旋转后图像的 Zernike 矩大小与旋转前图像的 Zernike 矩大小相等, 说明 Zernike 矩具有良好抗旋转性。

不同阶数与重复度下的 Zernike 矩模值所表征的图像内容也不同。不同阶数下 Zernike 矩大小所表征的图像见图 3。从图 3 可见, 当阶数与重复度值都为 0 时, $|E_{00}|$ 表征的图像最接近于原图, 其能够良好的表征原图的强度信特征, 而 $|E_{11}|$ 与 $|E_{22}|$ 能够用于表征图像的纹理及边缘特征。由于高阶数的 Zernike 矩对噪声较为敏感^[14], 所以选择特征点圆形特征区域 Zernike 矩对应的 $|E_{00}|$ 与 $|E_{11}|$ 用于特征的描述, $|E_{00}|$ 与 $|E_{11}|$ 矩来描述图像的强度特征与纹理特征。

1.3 特征匹配

特征匹配是篡改检测的关键部分。若某 2 个特征点匹配的话, 其对应的圆形特征区域应该具有类似的图像强度特征与纹理特征, 即匹配 2 个特征点之间的图像强度特征与纹理特征差异最小。 $|E_{00}|$ 与 $|E_{11}|$ 矩分别描述了图像的强度特征与纹理特征。文中利用 $|E_{00}|$ 与 $|E_{11}|$ 构造匹配模型, 对图像特征进行粗匹配。

令不同特征点 a 与 b 对应的 Zernike 矩大小分别为 $|Ea_{pq}|$ 与 $|Eb_{pq}|$, 其中 $p=q=0$ 或 $p=q=1$ 。通过 $|Ea_{pq}|$ 与 $|Eb_{pq}|$ 构造的匹配模型 M_{ab} 为:

$$M_{ab} = \frac{\sum_{p,q=0}^{p,q=1} |Ea_{pq}| - \sum_{p,q=0}^{p,q=1} |Eb_{pq}|}{\sum_{p,q=0}^{p,q=1} (|Ea_{pq}| + |Eb_{pq}|)} \quad (11)$$

利用式 (11) 求取不同特征点 a 与 b 的 M_{ab} 值, 并选取与特征点 a 构成的最小 M_{ab} 值对应的特征点作

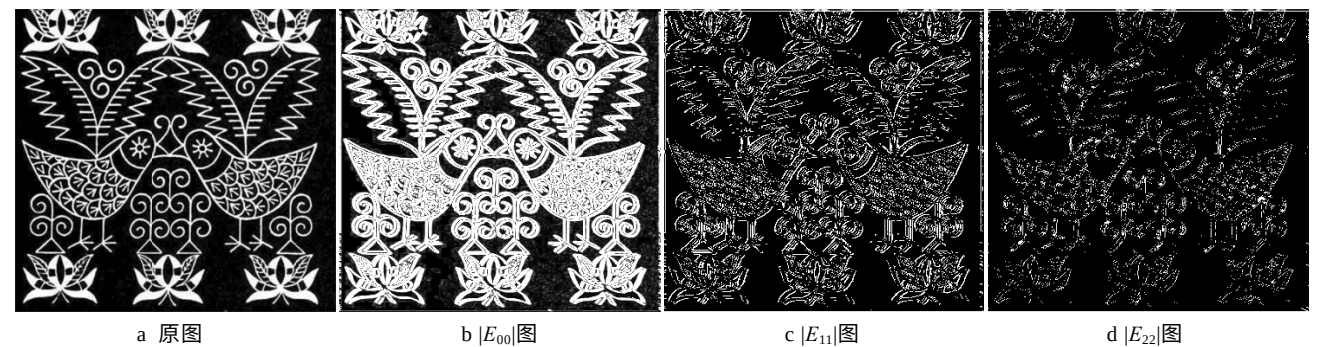


图 3 不同阶数下的 Zernike 矩表征
Fig.3 Zernike moments under different orders

为匹配特征点。
利用匹配模型 M_{ab} 完成特征点的粗匹配后，还需要检测匹配结果中的错误匹配，实现特征点的精匹配。文中引入 RANSAC 方法进一步实现图像特征的精匹配。
RANSAC 方法实现图像特征精匹配的过程如下所述^[15—16]。

首先，从粗匹配结果中选取任意 3 对匹配点，用于求取矩阵 H ：

$$H = \begin{pmatrix} t_{11} & t_{12} & x_0 \\ t_{21} & t_{22} & y_0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} T & X_0 \\ 0 & 1 \end{pmatrix} \quad (12)$$

然后，利用矩阵 H 求取粗匹配结果中所有匹配点的估计匹配。

最后，通过求取估计匹配与初始匹配的偏差，检测出错误匹配，完成特征点的精匹配。

特征匹配的结果见图 4，图 4 匹配特征点的统计结果见表 1。从表 1 可见，正确匹配特征点的个数为 46 个，占了总特征点数的 92%，由此可见，文中方法能够实现特征点的准确匹配。



图 4 特征匹配结果
Fig.4 Feature matching results

表 1 图 4 中匹配特征点的统计结果
Tab.1 Statistical results of matching feature points in Fig.4

特征点总数	正确匹配特征点数量	错误匹配特征点数量
50	46	2

1.4 区域连通

由于各个匹配特征点对应的圆形特征区域间可能存在间隙。为了将各个间隙进行填补，使特征区域进行连通，对复制-粘贴区域进行定位。在此，使用腐蚀、膨胀操作来实现区域连通。令 A 和 B 分别是特征区域与结构元素，则通过腐蚀、膨胀操作对这 2 个区域进行连通的过程为^[17—18]：

$$A \circ B = (A \ominus B) \oplus B \quad (13)$$

式中： $\ominus$ 和 $\oplus$ 分别为腐蚀与膨胀操作符。

利用较小尺度的结构元素 B 有利于使得连通区域的边缘较为清晰，获取更为完整的检测结果。为此，文中选用的经典的结构元素 B ，其表达式为：

$$B = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 1 & 1 & 1 \\ 0 & 1 & 0 \end{bmatrix} \quad (14)$$

通过腐蚀、膨胀操作后的复制-粘贴区域定位结果见图 5。从图 5 可见，通过腐蚀与膨胀操作后，能够较为准确地定位复制-粘贴区域。

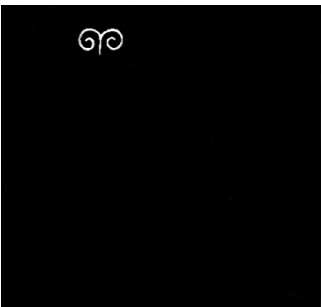


图 5 复制-粘贴篡改区域的检测结果
Fig.5 Detection results of copy paste tampering area

2 实验结果与分析

在 AMD 双核，4 GB 内存的计算机上，利用 Matlab 2013 对所提方法和对照方法进行实验。对照方法为文献[19]和文献[20]中方法。实验中参数 θ 设置为 1500。

所提方法与对照方法对简单复制-粘贴篡改图像的检测结果见图 6。从图 6 可见,所提方法与对照方法都具有较好的检测结果。通过对比可见,所提方法具有更高的检测精度,能够完整地将篡改内容识别出来,见图 6b。文献[19]算法虽然也能识别出篡改内容,但是检测不完整,且出现一定的误检现象,见图 6c。

文献[20]也可以将篡改目标定位出来,但是存在明显的误判现象,使其准确性不佳,见图 6d。

另外,所提方法与对照方法对缩放篡改图像的检测结果见图 7。通过对比图 7 结果可见,文献[19]算法和文献[20]算法都存在误检测现象,而且文献[19]算法还存在检测不完全现象。所提算法相对较好,没

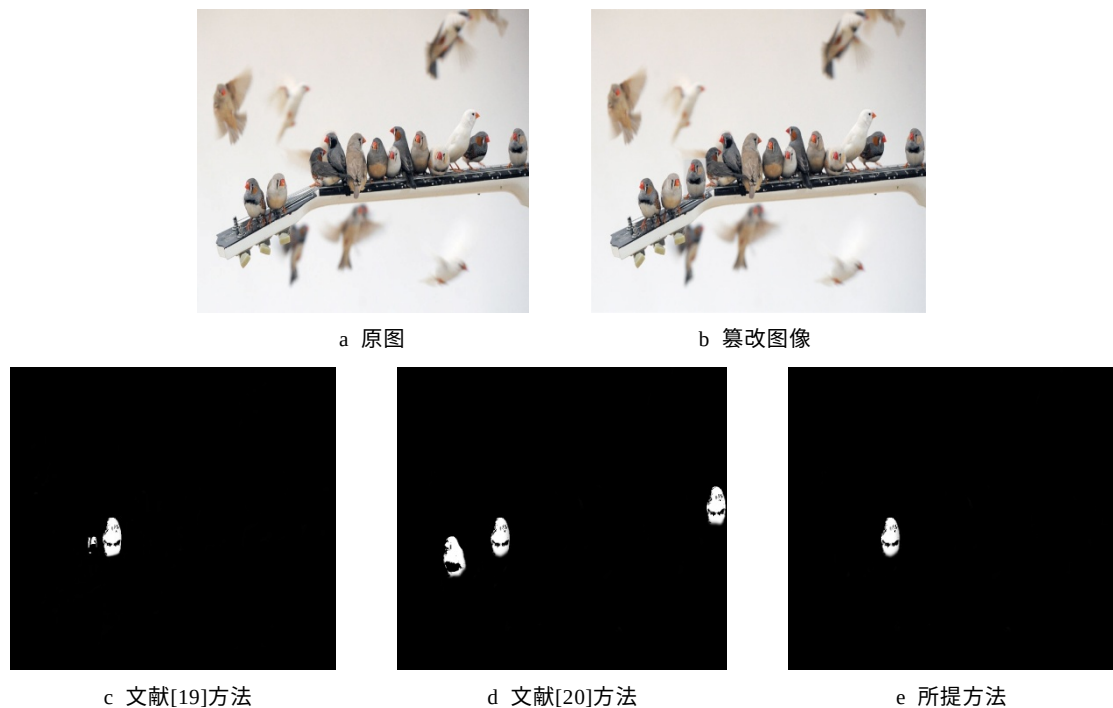


图 6 不同方法对篡改图像的检测结果
Fig.6 Detection results of tampering images by different methods

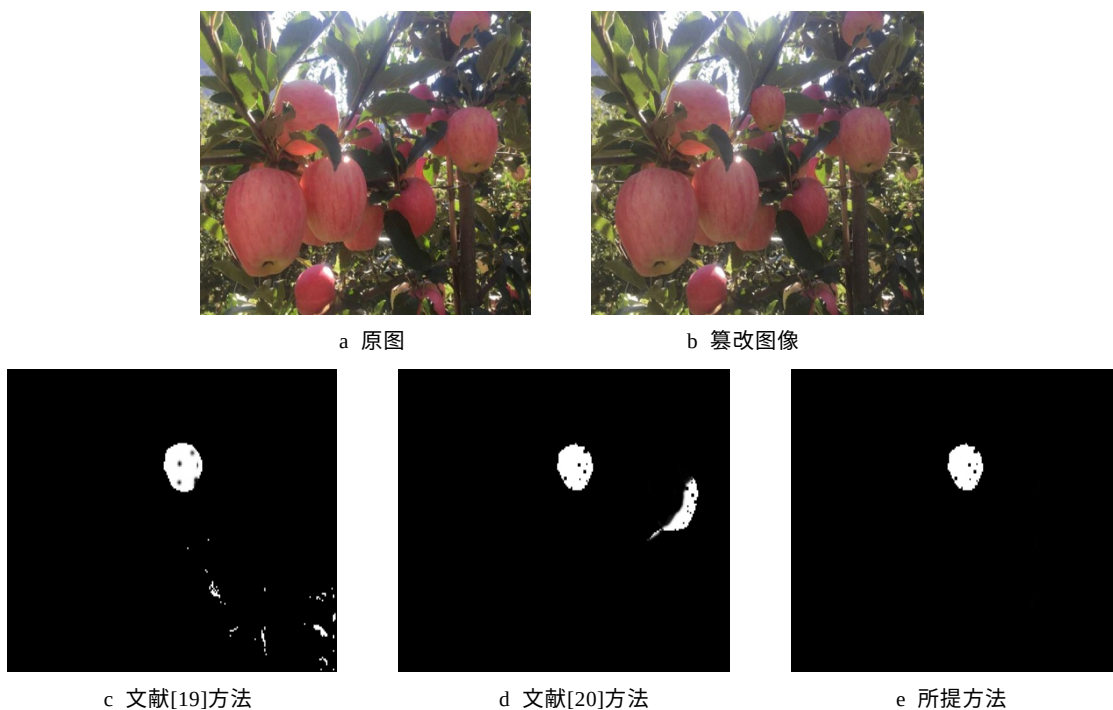


图 7 不同方法对缩放篡改图像的检测结果
Fig.7 Detection results of different methods for scaling image

有误检测现象，但具有轻微漏检测现象。所提方法与对照方法对经过噪声与缩放后处理的复制-粘贴篡改图像对应的检测结果见图 8。将图 8 中不同算法的检测结果对比可见，文献[19]方法检测的结果中存在一定的错误检测以及漏检测。文献[20]方法检测的结果中存在漏检测。所提方法检测的结果中不存在错误检

测，仅存在轻微漏检测。所提方法与对照方法对旋转+缩放篡改图像的检测结果见图 9。将图 9 中不同算法检测结果进行比较可见，文献[19]算法具有较为严重的误检测现象，文献[20]较文献[19]误检测区域较少，但是漏检测区域较多，所提算法较文献[20]与文献[19]检测结果较好，不存在误检测现象，仅飞鸟翅

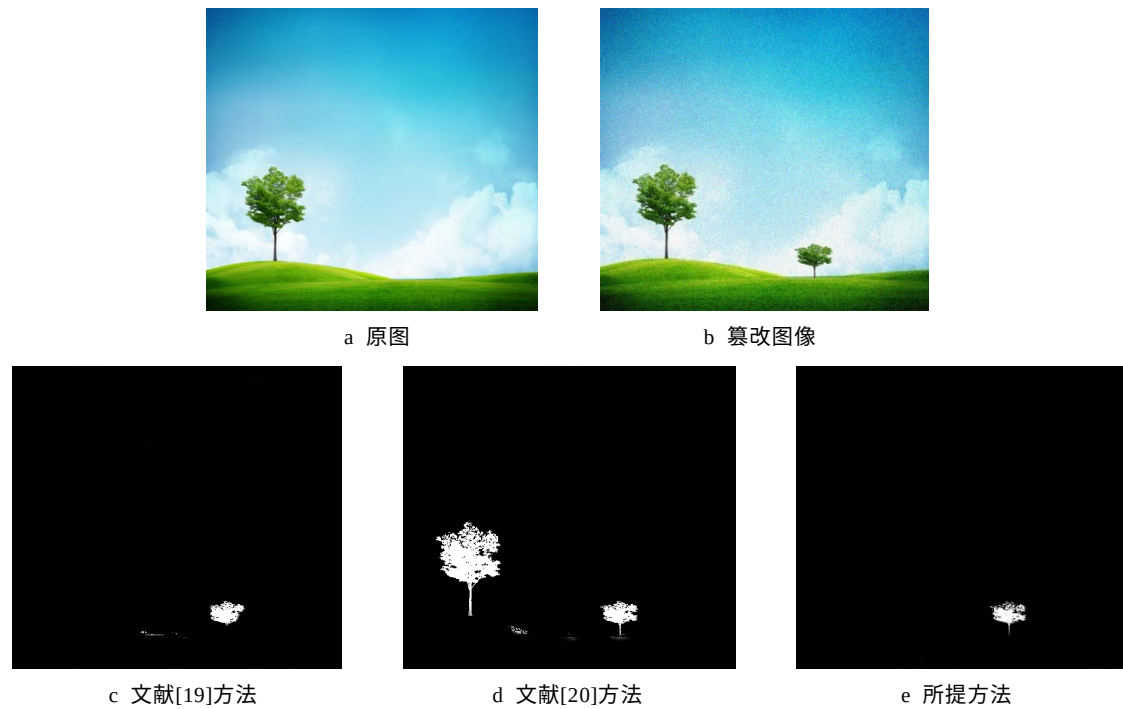


图 8 不同方法对噪声+缩放篡改图像的检测结果
Fig.8 Detection results of noise and scaling image by different methods

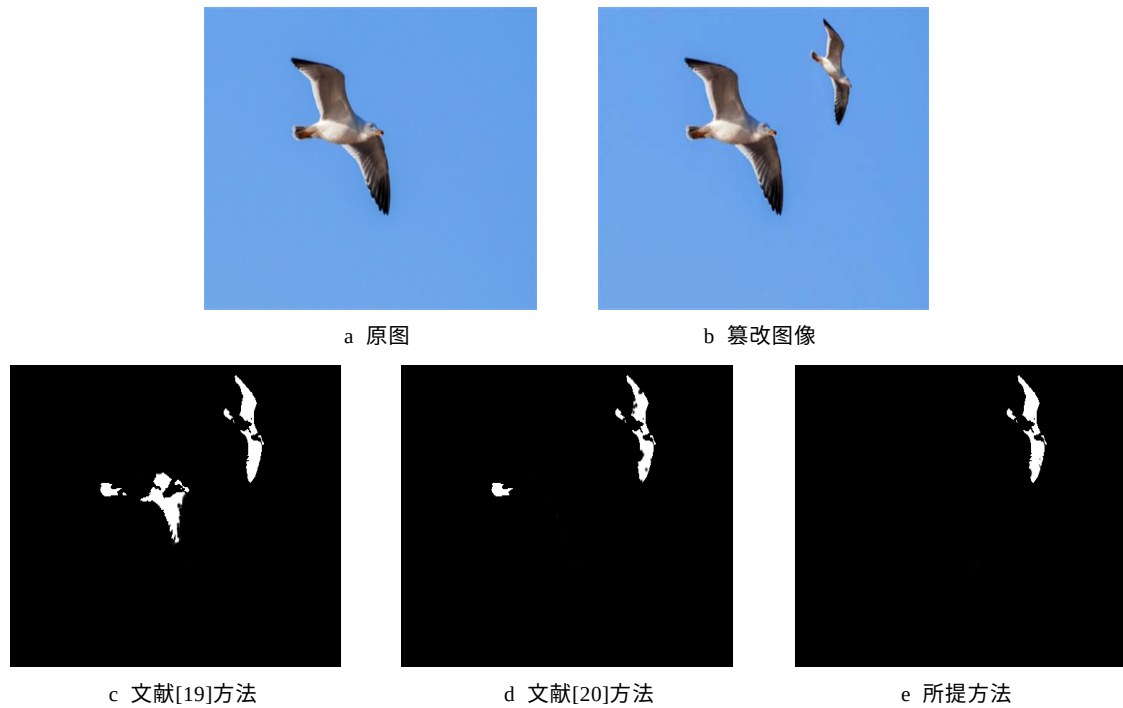


图 9 不同方法对旋转+缩放篡改图像的检测结果
Fig.9 Detection results of rotation and scaling image by different methods

膀处存在些许漏检测。由此可见,所提算法对复制-粘贴篡改图像具有较高的检测正确度以及较强的鲁棒性。这是由于所提算法通过 Harris 算子对图像进行精确的特征检测,提高了算法的检测正确度以及抗噪性能。同时所提算法还通过 Zernike 矩的大小构造匹配模型,对图像特征进行匹配,经旋转、缩放处理,从图像的特征以及纹理特征出发实现匹配,使得匹配结果准确度得以提升,进一步提高了算法的检测正确度与鲁棒性。

将图 6b 中篡改内容进行不同角度的旋转后处理,形成 50 幅篡改图像,并利用所提方法以及对照方法对篡改图像进行检测,再对不同方法的检测正确度进行统计,以分析不同方法的检测性能,结果见图 10。从图 10 可见,旋转角度越小,不同方法的检测正确度就越高。在各个旋转角度后处理下,所提方法的检测正确度始终高于对照方法。当旋转角度为 30° 时,所提方法的检测正确度为 92.53%,文献[19]方法的检测正确度为 86.91%,文献[20]方法的检测正确度为 77.86%。由此可见,所提方法具有较好的鲁棒性,在旋转篡改下仍具有良好的检测准确度,能够准确地对复制-粘贴篡改图像进行定位识别。其原因是所提方法通过具有旋转不变性的 Zernike 矩对特征点进行描述,增强了算法的鲁棒性。同时所提方法还通过 RANSAC 方法对错误匹配结果进行检测,提高了匹配结果的正确度,使得所提方法的检测正确度得以提高。文献[19]方法通过小波变换获取图像的不同分量,利用软阈值的方法对图像进行去噪,通过误差水平分析方法对篡改区域进行检测。由于小波变换不具备多方向性,使得分解所得的分量信息有所丢失,从而使得该方法的检测正确度有待提高。文献[20]方法将图像转换为 Lab 色彩空间,接着通过 SURF 方法获取图像特征及特征描述,利用 K-g2NN 方法完成特征匹配,通过聚类方法实现篡改检测。由于该方法是通过结构特征来完成特征匹配,忽略了图像的特征以及纹理特征,导致检测结果正确度有所下降。

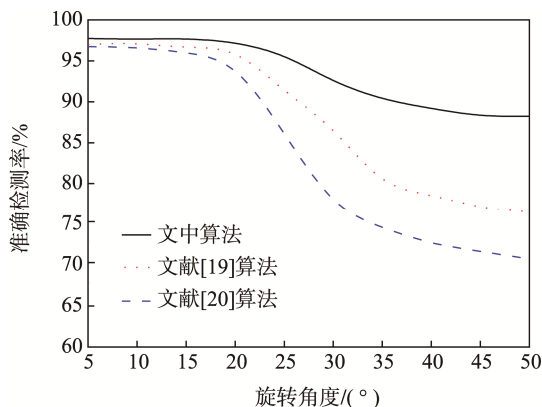


图 10 不同方法的检测正确度

Fig.10 Detection accuracy of different methods

3 结语

文中将 Harris 算子与 Zernike 矩用于复制-粘贴图像篡改检测。利用具有抗噪性能较强、检测精度较高的 Harris 算子对图像特征进行检测,以提高算法的伪造检测正确度。通过具有旋转等鲁棒性较好的 Zernike 矩对特征点进行描述,以提高算法对旋转等后处理的抵御性。利用 Zernike 矩的大小,从图像强度以及纹理特征出发,对图像特征进行粗匹配。利用 RANSAC 方法对粗匹配结果进行筛选实现精匹配,以进一步提高算法的伪造检测正确度。利用形态学中的腐蚀与膨胀操作将特征区域进行连通,从而实现复制-粘贴区域的定位。实验结果显示,所提算法对复制-粘贴图像具有较高的检测正确度,检测性能较好。

参考文献:

- [1] SOMAYEH S, SAJJAD D, HAMID A J. State of the Art in Passive Digital Image Forgery Detection: Copy-Move Image Forgery[J]. Pattern Analysis and Applications, 2018, 21(2): 291—306.
- [2] REBINA E J, KOUSALYS G. Spectral-Hashing-Based Image Retrieval and Copy-Move Forgery Detection[J]. Australian Journal of Forensic Sciences, 2016, 48(6): 643—658.
- [3] JINSEOK P, DAIKYUNG H, JONGUK H. Detecting Digital Image Forgery in Near-Infrared Image of CCTV[J]. Multimedia Tools and Applications, 2017, 76(14): 15817—15838.
- [4] OUSSAMA B, HOUCMEDDINE H. Chaotic Watermark for Blind Forgery Detection in Images[J]. Multimedia Tools and Applications, 2016, 75(14): 8659—8718.
- [5] HU W C, CHEN W H, HUANG D Y. Effective Image Forgery Detection of Tampered Foreground or Background Image Based on Image Watermarking and Alpha Mattes[J]. Multimedia Tools and Applications, 2016, 75(6): 3495—3516.
- [6] 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.
- [7] 林开司, 张安东, 张志宏. 基于图像锐化的 SIFT 图像复制粘贴篡改检测[J]. 齐齐哈尔大学学报(自然科学版), 2018, 34(1): 33—36.
LIN Kai-si, ZHANG An-dong, ZHANG Zhi-hong. SIFT Image Copy-Paste Tamper Detection Based on Image Sharpening[J]. Journal of Qiqihar University (Natural Science Edition), 2018, 34(1): 33—36.
- [8] 陈青, 孙彦飞, 郭功勋. 基于 Harris 角点的抗几何攻击数字水印算法研究[J]. 包装工程, 2018, 39(13): 188—193.

- CHEN Qing, SUN Yan-fei, GUO Gong-xun. Digital Watermarking Algorithm Resistant to Geometric Attacks Based on Harris Corner[J]. Packaging Engineering, 2018, 39(13): 188—193.
- [9] EMAM M, HAN Q, ZHANG Hong-li. Two-Stage Keypoint Detection Scheme for Region Duplication Forgery Detection in Digital Images[J]. Journal of Forensic Sciences, 2018, 63(1): 102—111.
- [10] ZAINEB B, HAKIM E F, KHALID Z. Exact Zernike and Pseudo-Zernike Moments Image Reconstruction Based on Circular Overlapping Blocks and Chamfer Distance[J]. Signal, Image and Video Processing, 2017, 11(7): 1313—1320.
- [11] BUDIMIR L, MILOS D, SRDJAN S. An Algorithm for Robust Image Watermarking Based on the DCT and Zernike Moments[J]. Multimedia Tools and Applications, 2017, 76(22): 23333—23352.
- [12] 杨兴宇, 阮怀林. 基于 Zernike 矩和双谱特征的新型干扰识别算法[J]. 空军工程大学学报(自然科学版), 2018, 19(2): 56—61.
- YANG Xing-yu, RUAN Huai-lin. Jamming Identification Algorithms of Advanced Jamming Based on Bispectrum Feature and Zernike Moment[J]. Journal of Air Force Engineering University (Natural Science Edition), 2018, 19(2): 56—61.
- [13] OUYANG Jun-lin, LIU Yi-zhi, SHU Hua-zhong. Robust Hashing for Image Authentication Using SIFT Feature and Quaternion Zernike Moments[J]. Multimedia Tools and Applications, 2017, 76(2): 2609—2626.
- [14] DONG Li, MA Hao-tong, PENG Qi. Defocused Spatial Diversity Technology with Aperture Scanning for Aberration Detection and Image Restoration in Aberrated Imaging Systems[J]. Optical Engineering, 2018, 57(8): 1—9.
- [15] LI Lin, YANG Fan, ZHU Hai-hong. An Improved RANSAC for 3D Point Cloud Plane Segmentation Based on Normal Distribution Transformation Cells[J]. Remote Sensing, 2017, 9(5): 1—16.
- [16] LI Fan, LIU Shan-shan. A Sub-Region Image Registration Algorithm With Weight-Based Hierarchical Importance Sample Consensus for Moving Target Detection[J]. The Imaging Science Journal, 2017, 65(2): 87—97.
- [17] SEBASIAN S C, RAMOS-ARREGUÍN J M. Image Dehazing Using Morphological Opening, Dilation and Gaussian Filtering[J]. Signal, Image and Video Processing, 2018, 12(7): 1329—1335.
- [18] SONG Bin, BAIK D K, ZHOU Shun-xian. Human Eye Location Algorithm Based on Multi-Scale Self-Quotient Image and Morphological Filtering for Multimedia Big Data[J]. Multimedia Tools and Applications, 2018, 77(8): 10063—10075.
- [19] DANIEL C J, CAMPBELL-BORGES Y C, SANTOS-COELHO L D. Image Forgery Detection By Semi-automatic Wavelet Soft-thresholding With Error Level Analysis[J]. Expert Systems with Applications, 2017, 85(1): 348—356.
- [20] 陈辉映, 张大兴, 杨珊珊. 基于 SURF 的图像多区域复制粘贴篡改检测[J]. 计算机工程与设计, 2018, 39(8): 2593—2597.
- CHEN Hui-ying, ZHANG Da-xing, YANG Shan-shan. Image Multiple Copy-Move Forgery Detection Based on SURF Algorithm[J]. Computer Engineering and Design, 2018, 39(8): 2593—2597.