

基于梯度直方图与密度度量模型的图像伪造检测算法

高慧, 曾庆尚, 韩明峰
(烟台大学文经学院, 烟台 264005)

摘要: **目的** 为了解决当前图像伪造检测算法在内容识别过程中易丢失色彩信息而导致不理想的检测精度与鲁棒性等问题, 提出基于梯度直方图耦合密度度量模型的图像伪造检测算法。**方法** 首先引入 RGB 彩色图像映射模型, 求取图像的颜色不变量。将图像的颜色不变量作为输入量, 利用 Hessian 算法检测图像的特征点。然后以特征点为中心构造四级窗口, 通过求取窗口内梯度累加值, 形成低维度的特征描述符, 并利用特征点对应的梯度直方图构造相似性度量模型进行特征点匹配。最后借助欧式距离, 构造密度度量模型, 对特征点进行归类, 以完成伪造检测。**结果** 仿真实验表明, 与当前图像伪造检测算法相比, 所提算法具有更高的检测正确度, 高达 99.6%。**结论** 所提算法具有较高的伪造检测精度与鲁棒性, 在图像信息、包装印刷等领域具有良好的应用价值。

关键词: 图像伪造检测; 彩色图像; Hessian 算法; 四级窗口; 梯度直方图; 密度度量模型

中图分类号: TP391 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2017)23-0205-06

Image Forgery Detection Algorithm Based on Gradient Histogram and Density Measurement Model

GAO Hui, ZENG Qing-shang, HAN Ming-feng
(Wenjing College, Yantai University, Yantai 264005, China)

ABSTRACT: The work aims to put forward an image forgery detection algorithm based on gradient histogram coupling density measurement model, for the purpose of solving the problem of poor detection accuracy and robustness induced by the current image forgery detection algorithm that easily loses the color information in the process of identifying the contents. Firstly, the RGB color image mapping model was introduced to obtain the color invariants of the image. With the image color invariants as the inputs, the Hessian algorithm was used to detect the feature points of the image. Then, the four-level window was constructed with feature points as the center, and the low dimensional feature descriptor was formed by finding the gradient accumulation value in the window; and the similarity measurement model was constructed with the gradient histogram corresponding to the feature points to match the feature points. Finally, the Euclidean distance was used to construct the density measurement model, which was used to classify the feature points, and then the forgery detection was completed. The simulation results showed that, compared with the current image forgery detection algorithm, the proposed algorithm had higher detection accuracy which was up to 99.6%. The proposed algorithm has higher forgery detection accuracy and robustness, and it has good application value in image information, packaging, printing and other fields.

KEY WORDS: image forgery detection; color image; Hessian algorithm; four-level window; gradient histogram; density measurement model

随着科技水平的不断发展, 数字图像的应用也越来越广。例如: 在包装印刷字体检测中, 通过匹

配获取图像的特征点来实现字体定位与缺陷检测; 在彩色包装图像检测中, 通过对图像进行分割来实

收稿日期: 2017-06-14

基金项目: 国家自然科学基金 (61170224); 山东省自然科学基金 (ZR2012FL07)

作者简介: 高慧 (1982—), 女, 硕士, 烟台大学文经学院讲师, 主要研究方向为图像处理、计算机软件与理论。

现缺陷检测。由此可见,数字图像在日常生活中扮演了重要角色,因此,当数字图像内容被篡改时,会给用户造成一定的影响。与此同时,图像编辑软件的功能也越来越强大,使得伪造图像中的篡改内容难以被肉眼分辨^[1-2]。对此,为了确保图像内容的真实性,诸多学者提出相应的图像伪造检测技术。如Pooja^[3]等提出了基于SIFT方法的复制-粘贴伪造图像检测算法,利用SIFT方法提取图像中的特征点,接着求取特征点对应的梯度直方图获取特征描述子,从而完成图像的伪造检测。实验表明了该算法对伪造图像检测具有一定的效果,但是基于SIFT方法提取的特征点中存在较多的伪特征点,使得检测图像中存在较多的错误检测,导致其检测正确度不佳。李岩^[4]等提出了图像镜像复制粘贴篡改检测中的FI-SURF算法,利用SURF方法提取特征点及生成特征描述符后,将复制-粘贴区域进行镜像翻转,接着进行特征匹配,完成图像修复。实验结果显示,该方法能提高特征点检测的正确性,降低检测过程中的错误检测,但是该方法需要对特征描述符排序,使得复制-粘贴区域镜像翻转,该过程计算复杂度较高,使得算法检测效率不佳。杨仁青^[5]等提出了一种基于分数傅里叶变换的数字图像复制-粘贴篡改检测算法,首先对待检测图像进行一级小波变换,降低图像维度。对变换后的低频子带分解成大小一样、互相重叠的子块。然后对子块进行分数阶傅里叶变换,将变换系数构成特征矢量。再对所有特征矢量进行字典排序。通过比较相邻2块特征矢量之差以定位复制-粘贴篡改区域。实验表明,该方法能对复制-粘贴伪造的图像进行有效的检测,但是该方法对于复杂方法伪造的图像检测效果不佳,而且对于较小的篡改内容难以精确检测。张艳华^[6]等提出了抗翻转的图像复制-粘贴篡改检测算法,通过在检测框架中引入图像预处理操作,对存在翻转的复制-粘贴篡改块进行了有效的检测,在SIFT关键点匹配环节提出了ng2NN匹配方法,提高了算法的检测效果。实验结果显示,该方法能对翻转方法伪造的图像进行有效的检测,但是由于该方法缺少了特征点的聚类方法,对检测点的精确定位不理想,导致检测图像有漏检以及误检现象。为了提高伪造检测精度,文中提出了一种新的图像伪造检测算法。

1 设计图像伪造检测算法

图像伪造检测算法过程见图1,包含了特征检测、生成特征描述符、特征匹配、特征点归类等4个部分。所提算法具有良好的适应性,对灰度图像和彩色图像都具有良好的伪造检测精度。如输入图像为灰度图像,则直接利用Hessain算子检测其特征,通过四级

窗口来形成低维特征描述符,利用相似性度量模型与密度度量模型对伪造内容进行准确检测。若输入图像为彩色图像,则按照图1的流程进行检测。以彩色图像为目标,对算法进行详细描述。

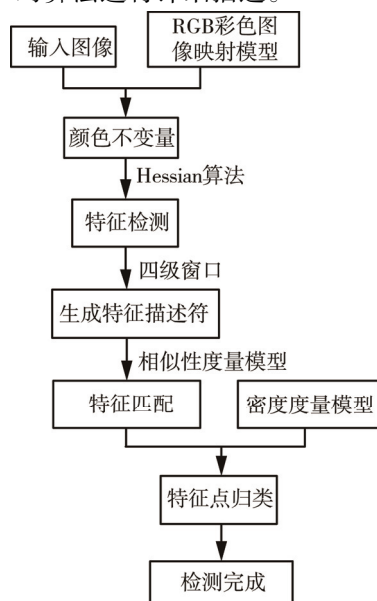


图1 图像伪造检测算法过程

Fig.1 Process of image forgery detection algorithm

1.1 特征检测

为了提高对彩色图像的检测能力,文中引入RGB彩色图像映射模型,求取图像的颜色不变量。再利用Hessian算子对图像进行特征检测,具体过程如下。

根据光谱的辐射特性,在图像位置 x' 处,当光的波长为 α 时,通过光谱强度 $e(\alpha, x')$,可获取光谱反射模型^[7]:

$$W(\alpha, x') = e(\alpha, x') \left[(1 - p_f(x'))^2 R_\infty(\alpha, x') + p_f(x') \right] \quad (1)$$

式中: $R_\infty(\alpha, x')$ 为材料反射率; $p_f(x')$ 为反射系数。

由于 $e(\alpha, x')$ 与波长 α 的关联性较小,而与图像位置信息关联性较大,因此,可将 $e(\alpha, x')$ 简化为 $i(x')$,则式(1)可变为:

$$W(\alpha, x') = i(x') \left[(1 - p_f(x'))^2 R_\infty(\alpha, x') + p_f(x') \right] \quad (2)$$

将式(2)对 α 进行一阶、二阶求导,得到颜色不变量 Y_{inv} 的表达式:

$$Y_{inv} = \frac{W_\alpha}{W_{aa}} = \frac{\partial R_\infty(\alpha, x')}{\partial \alpha} \bigg/ \frac{\partial^2 R_\infty(\alpha, x')}{\partial \alpha^2} \quad (3)$$

根据人眼视觉系统和CIE-1964-XYZ标准,可得RGB彩色图像映射模型^[8-9]:

$$\begin{pmatrix} W \\ W_\alpha \\ W_{aa} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0.06 & 0.63 & 0.27 \\ 0.3 & 0.04 & -0.35 \\ 0.34 & -0.6 & 0.17 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} R \\ G \\ B \end{pmatrix} \quad (4)$$

联合式(3)和式(4),可求出颜色不变量 Y_{inv} 。

随后,将颜色不变量 Y_{inv} 作为输入图像,利用 Hessian 算法完成特征检测。

随后,利用箱式滤波器获取图像的尺度空间。对于图像上尺度空间为 β 的某一像素点 $p(x, y)$, 其对应的 Hessian 矩阵可表述为^[10]:

$$H(x, y, \beta) = \begin{bmatrix} L_{xx}(x, y, \beta) & L_{xy}(x, y, \beta) \\ L_{xy}(x, y, \beta) & L_{yy}(x, y, \beta) \end{bmatrix} \quad (5)$$

式中: L_{xx} 为高斯滤波 $\frac{\partial^2 g(x, y, \beta)}{\partial x^2}$ 与输入图像的卷积。 $g(x, y, \beta)$ 的表述为:

$$g(x, y, \beta) = \frac{1}{2\pi\beta^2} e^{-\frac{(x^2+y^2)}{2\beta^2}} \quad (6)$$

利用箱式滤波器与输入图像的卷积 D_{xx} , D_{xy} , D_{yy} 代替 L_{xx} , L_{xy} , L_{yy} 可得:

$$\frac{\|L_{xy}(1.2)\|_F}{\|L_{xx}(1.2)\|_F} \frac{\|D_{xx}(9)\|_F}{\|D_{xy}(9)\|_F} \approx 0.9 \quad (7)$$

式中: $\|\cdot\|_F$ 为 Frobenius 范数,由此 Hessian 矩阵行列式为:

$$\det(H) = D_{xx}D_{yy} - (0.9D_{xy})^2 \quad (8)$$

利用式 (8) 检测图像中的极值点,在尺寸为 $3 \times 3 \times 3$ 的邻域内对该极值点进行非极大值抑制。若该点比近邻 26 个点的响应值都大,则该极值点被判定为特征点^[11-12]。

1.2 生成特征描述符

将尺度为 δ 的任一特征点 p 作为圆心,构造一个半径为 6δ 的圆^[13-14]。利用尺寸为 4δ 的 Haar 小波对圆内 x 方向以及 y 方向上的点进行计算。再以 p 为中心构造一个角度为 $\pi/3$ 的扇形,用该扇形区域沿着圆旋转 1 周。计算包含在扇形区域内的点对应的 Haar 小波总和,并将所有 Haar 小波总和中最大值对应的方向确定为主方向。

以特征点为中心,并在主方向上建立一个 16×16 的正方形区域,并将该区域划分成如图 2 所示边长为 4, 8, 12, 16 的四级窗口。在每个窗口内按照图 3 所示的梯度方向,通过梯度直方图求取该方向上的梯度累

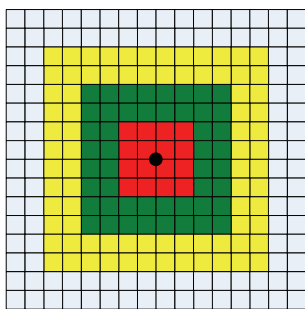


图 2 四级窗口

Fig.2 Four-level window

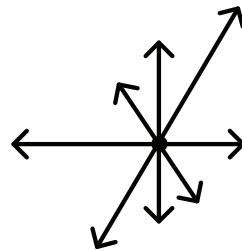


图 3 梯度方向

Fig.3 Gradient direction

加值^[15-16],因此,每一级窗口便可形成 8 个方向向量,四级窗口便可得到 32 个向量。再将每一级窗口的向量按照窗口尺寸大小进行排序,即边长为 4 窗口对应的向量排在前 8 维,接着将边长为 8 窗口对应的向量排在 9~16 维,以此类推边长为 16 窗口对应的向量排在 25~32 维。将排好序的向量进行归一化计算,便可得到一个 32 维的特征描述符。

1.3 特征匹配

令 i 为一个特征点, j 为与 i 待匹配特征点集合中的一个特征点,且 i 和 j 对应的梯度直方图分别为 $Z(i)$ 与 $Z(j)$ ^[17-19],利用二者来构造相似性度量模型,对待匹配特征点对的相似性进行判断:

$$S_{i,j} = \frac{1}{2} \sum_{j=1}^K \frac{[Z(i) - Z(j)]^2}{Z(i) + Z(j)} \quad (9)$$

式中: K 为与 i 待匹配特征点集合中特征点的总数。

利用式 (9) 能够对特征点之间的相似性进行度量,当待匹配特征点集合中的某一特征点与所给特征点 i 的 $S_{i,j}$ 值最小时,则判定该特征点与 i 为一对匹配特征点。

1.4 特征点的归类

为了对伪造内容进行准确定位,文中构造了一个密度度量模型,对检测点进行精确定位。将所有匹配特征点视为集合 $g = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$ 中的一个数据项,利用欧氏距离对任意 2 个数据项 x_i 和 x_j 进行计算^[20-21]:

$$Er(x_i, x_j) = \sqrt{\sum_{v=1}^{32} (x_{iv} - x_{jv})^2} \quad (10)$$

通过式 (10) 获取的欧式距离,构造密度度量模型:

$$ME(x_i) = \frac{\sum_{j=1}^n Er(x_i, x_j)}{\sum_{j=1}^n Er(x_i, x_j)} \quad (11)$$

通过密度度量模型,从集合中选取 $ME(x_i)$ 最小值所对应的数据项作为初始类。然后通过下列归类误差平方和进行归类。

$$RE(x_i) = \sum_{l=1}^n \|x_l - x_i\|^2 \quad (12)$$

当数 x_l 与 x_i 的 $RE(x_l)$ 值小于预定阈值 ε 时,则

判定 x_l 与 x_i 为一类。

2 仿真实验与分析

为了验证所提算法的检测精度,在 Matlab 软件中进行测试。测试条件为: Intel 酷睿 I5 3.2 GHz 处理器, 4 GB 内存, 500 GB 硬盘, Windows XP 操作系统。同时,为了体现所提算法的优异性,将文献[22]和文献[23]中的图像伪造检测算法设立为对照组。其中,文献[22]是利用图像的 SIFT 特征来实现检测, SIFT 算子是当前图像伪造领域常用的技术,被国内外诸多学者研究,具有良好的代表性。文献[23]则是结合离散小波变换 DWT 与奇异值分解 SVD 技术来完成伪造检测,离散小波变换 DWT 也是目前图像伪造检测方法常用的技术之一,同时该技术联合改进的 SVD 机制来完成伪造内容的快速准确检测,是一种较为新颖的技术,因此,文中将文献[22]、文献[23]视为对照组。并从图像检测的视觉效果以及客观评价 2 个方面对文中算法以及对照组算法进行了验证。

2.1 图像伪造检测视觉效果

该次实验分 2 组进行,一组为灰度图像,其伪造内容是通过复制-粘贴方法实现的,见图 4a, b。另一组是彩色图像,其伪造内容是通过复制-粘贴+旋转方法实现的,见图 5a, b。不同算法对灰度图像、彩色图像的检测效果见图 4—5。由图 4 可知,虽然对照组算法和文中算法都能有效的对灰度图像中的伪造内容进行检测,但是文中方法的检测效果(图 4e)要优于文献[22](图 4c)以及文献[23](图 4d)方法,二者均存在一定数量的漏检点以及错误检测点。另外,由图 5 可知,面对彩色图像的伪造内容检测时,所提算法具有更大的优势,其检测效果图中的错误检测点最少与漏检点非常少,见图 5e。文献[22]、文献[23]这 2 种算法的检测性能不佳,存在较多的错误检测信息,见图 5c—d。这说明文中方法在对伪造图像进行检测时,不仅具有检测准确度高特点,而且文中方法还具有较强的鲁棒性,能对复杂篡改方法伪造的图像进行精确的检测。其原因是所提算法采用了 RGB 彩色图像映射模型,提取了图像的颜色不变量,并利用 Hessian 提取的特征点所对应的梯度直方图构造了相似性度量模型,由于相同像素的直方图是不变的,因此,通过相似性度量模型能够显著提高特征点的匹配准确性。并在传统的欧式距离度量方法基础上构造一个密度度量模型,对特征点进行归类,对匹配结果进行提纯,从而使得所提技术具有更好的检测精度与抗干扰能力。文献[22]则是通过利用图像的 SIFT 特征来匹配,从而完成伪造内容的检测,从图像中提取 SIFT 特征时,存在较多的伪特征点,影响了伪造检测精度,而且该技术在检测彩色图像时,是先将彩

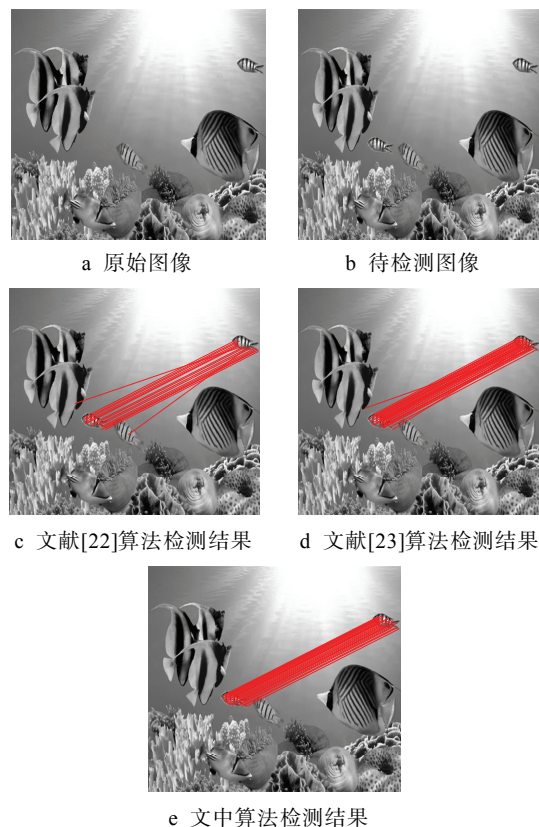


图 4 灰度图像的检测效果

Fig.4 The detection effect of grayscale image

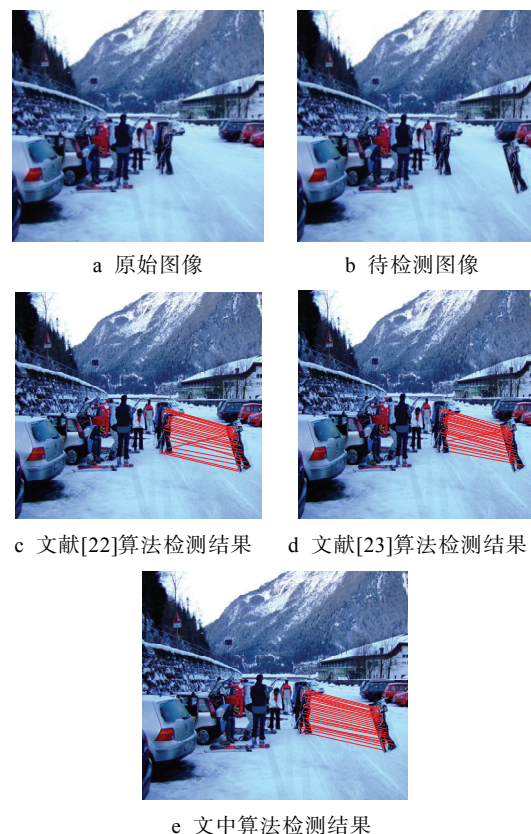


图 5 彩色伪造图像的检测效果

Fig.5 Detection effect of color forged images

色图像转换为灰度图,再灰度图像中提取 SIFT,忽略了色彩信息,使其对彩色图像伪造检测精度较低。文献[23]则是先提取图像的 DWT 低频子带特征,通过改进 SVD 方法,对特征进行字典排序,联合相似度匹配方法和位移距离来定位篡改内容,但是此技术仅仅是利用了图像的局部特征,忽略了图像的其他有用信息,使其检测精度要低于所提技术。同样,对于彩色图像伪造检测时,没有考虑彩色图像的色彩信息,导致其对彩色图像伪造检测精度不理想。

2.2 客观评价

ROC 曲线指接收者工作特征曲线,其由正确检测率(P_{TP})以及虚警率(P_{FP})组成。正确检测率描述了篡改内容被正确检测的比例,虚警率描述了非篡改内容被错误检测成篡改内容的比例。 P_{TP} 以及 P_{FP} 见式(13—14) [24]。

$$P_{TP} = \frac{T_p}{T_p + F_N} \quad (13)$$

$$P_{FP} = \frac{F_p}{F_p + T_N} \quad (14)$$

式中: T_p 为篡改内容被正确检测成篡改内容的比率; F_N 为篡改内容被误检测成非篡改内容的比率; F_p 为非篡改内容被误检测成篡改内容的比率; T_N 为非篡改内容被正确检测成非篡改内容的比率。SIFT 曲线可以对检测图像的正确检测率以及虚警率进行良好的反应,能对算法的检测正确度进行客观的评价。同时算法的检测效率也是衡量一个算法优劣的指标。对此,文中将图 5 中的伪造图像作为测试对象,利用文中算法以及对照组算法对其进行伪造检测,并对检测过程中的耗时进行记录,以及对检测图像的 ROC 曲线进行绘制。从算法的检测耗时以及检测结果形成的 ROC 曲线对不同算法的性能进行客观评价。

通过记录 3 种算法对图 5 中的伪造内容检测时间可知,文中算法的检测耗时为 3.58 s,文献[22]中算法的检测耗时为 6.08 s,文献[23]中算法的检测耗时为 4.16 s,可见文中算法的检测耗时最短,说明文中算法与对照组算法相比具有较高的检测效率。不同算法检测结果形成的 ROC 曲线见图 6,通过对比图 6 中不同算法的 ROC 曲线可见,文中算法的 ROC 曲线的特性最佳,说明文中算法检测的图像中具有最高的检测正确率以及最少的检测错误率。原因是所提算法是以特征点为中心,构造了一个四级窗口,通过求取窗口内梯度累加值,形成低维度的特征描述符,降低了算法的计算复杂度,提高了算法的检测效率。并且文中还充分考虑了彩色图像的颜色不变量,利用特征点检测精度较高的 Hessian 算法对输入图像进行特征点检测,提高了算法的检测精度以及鲁棒性。同时,文中还利用特征点对应的梯度直方图构造相似性度

量模型,进行特征点匹配,提高了算法的检测正确率。文献[22]中方法采用 SIFT 算法提取特征点后来实现伪造内容的检测。由于 SIFT 方法检测的特征点中存在较多的伪特征点,同时 SIFT 方法形成的特征描述符维度较高,而且该方法忽略了图像彩色信息,导致算法的检测正确度不佳,检测效率低下。文献[23]利用 DWT 与 SVD 技术来完成伪造检测。由于 DWT 提取图像低频分量以及 SVD 获取特征矩阵计算量较大,导致算法耗时较多,而相邻行特征矩阵做相似性度量忽略了检测的全局性与颜色信息,导致算法的检测正确度有所下降。

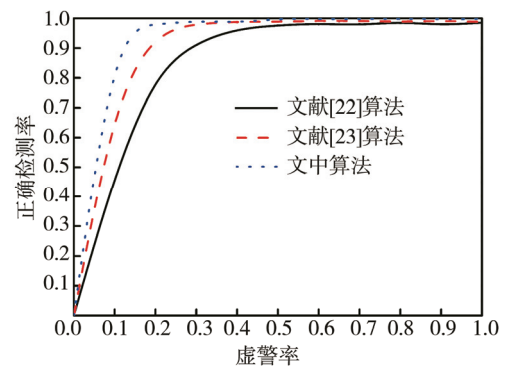


图 6 3 种算法的 ROC 曲线
Fig.6 ROC curves of three algorithms

3 结语

提出了一种新的图像伪造检测算法,该技术利用 RGB 彩色图像映射模型提取输入图像中的颜色不变量,并将其作为输入量利用 Hessian 算法对图像特征进行检测。对 Haar 小波计算获取特征点的主方向,并构造四级窗口,求取梯度累加值获取特征向量,形成了较低维度的特征描述符,提高了算法的效率。利用特征点的梯度直方图建立相似性度量模型,提高匹配准确度。利用密度度量模型对特征点进行归类,准确定位伪造内容,改善了算法的鲁棒性以及检测精确性。实验结果验证了所提检测技术的有效性以及优异性。

参考文献:

- [1] REZA D, KHASHAYAR Y, SAEED M. Copy-move Forgery Detection Using Multi-resolution Local Binary Patterns[J]. Forensic Science International, 2013, 1(231): 61—72.
- [2] SHIVAKUMAR B L, SANDTOSH B. Detection of Region Duplication Forgery in Digital Images Using SURF[J]. International Journal of Computer Science Issues, 2011, 8(4): 199—205.
- [3] POOJA S. Detecting Copy Move Forgery in Digital Image Using Sift[J]. International Journal of Latest Trends in Engineering and Technology, 2016, 7(3): 10—21.

- [4] 李岩, 刘念, 张斌. 图像镜像复制粘贴篡改检测中的 FI-SURF 算法[J]. 通信学报, 2015, 36(5): 1—12.
LI Yan, LIU Nian, ZHANG Bin. FI-SURF Algorithm for Image Copy-Flip-Move Forgery Detection[J]. Journal on Communications, 2015, 36(5): 1—12.
- [5] 杨仁青, 柏正尧, 尹立国. 基于分数傅里叶变换的数字图像复制-粘贴篡改检测算法[J]. 云南大学学报(自然科学版), 2016, 38(1): 18—22.
YANG Ren-qing, BAI Zheng-yao, YIN Li-guo. Detecting of Copy-move Forgery in Digital Images Using Fractional Fourier Transform[J]. Journal of Yunnan University(Natural Science Edition), 2016, 38(1): 18—22.
- [6] 张艳华, 张荣, 赵福星. 抗翻转的图像复制-粘贴篡改检测算法[J]. 无线电通信技术, 2016, 41(3): 34—37.
ZHANG Yan-hua, ZHANG Rong, ZHAO Fu-xing. Anti-Flip Forensic Method of Image Copy-Paste Forgeries[J]. Radio Communications Technology, 2016, 41(3): 34—37.
- [7] 王向阳, 王春鹏, 杨红颖. 局部彩色图像的篡改检测与内容修复方法研究[J]. 辽宁师范大学学报(自然科学版), 2013, 36(4): 484—490.
WANG Xiang-yang, WANG Chun-peng, YANG Hong-ying. Detection and Self-recovery of Copy-move Forgery for Color Image[J]. Journal of Liaoning Normal University(Natural Science Edition), 2013, 36(4): 484—490.
- [8] GONG Jia-chang, GUO Ji-chang. Image Copy-move Forgery Detection Using SURF in Opponent Color Space[J]. Transactions of Tianjin University, 2016, 22(2): 151—157.
- [9] YANG Bin, SUN Xing-ming, XIN Xiang-yang. Image Copy-move Forgery Detection Based on Sped-up Robust Features Descriptor and Adaptive Minimal-Maximal Suppression[J]. Journal of Electronic Imaging, 2015, 24(6): 61—63.
- [10] 刘勇, 林柏钢. 旋转鲁棒的图像复制粘贴伪造快速取证检测[J]. 计算机工程, 2013, 39(6): 181—184.
LIU Yong, LIN Bo-gang. Fast Evidence Obtain Detection of Rotation Robust Image Copy Move Forgery[J]. Computer Engineering, 2013, 39(6): 181—184.
- [11] MIN G H, DONG H H. Identification Method for Digital Image Forgery and Filtering Region through Interpolation[J]. Journal of Forensic Science, 2014, 59(5): 1372—1385.
- [12] MARYAM J, GEORGE B, MUHAMMAD H. Accurate and Robust Localization of Duplicated Region in Copy-move Image Forgery[J]. Machine Vision and Applications, 2014, 25(2): 451—475.
- [13] 申铨京, 朱叶, 吕颖达. 基于 SIFT 和 HSI 模型的彩色图像复制-粘贴盲鉴别算法[J]. 吉林大学学报(工学版), 2014, 44(1): 171—176.
SHEN Xuan-jing, ZHU Ye, LYU Ying-da. Colored Image Copy-move Forgery Detection Based on SIFT and HSI[J]. Journal of Jilin University (Engineering and Technology Edition), 2014, 44(1): 171—176.
- [14] AMERINI I, BALLAN L. Copy-Move Forgery Detection and Localization By Means of Robust Clustering with J-Linkage[J]. Signal Processin: Image Communication, 2013, 28(6): 659—669.
- [15] 张瑞芳, 程晓辉, 宋子航. 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.
ZHANG Rui-fang, CHENG Xiao-hui, SONG Zi-hang. Grey-Markov Theory in Blind Detection of Copy-move Forgery in Digital Images By Dyadic Wavelet Transforms[J]. Journal of Guilin University of Technology, 2014, 34(4): 775—781.
- [16] HASHMI M F, ANAND V, KESKAR A G. Copy-move Image Forgery Detection Using an Efficient and Robust Method Combining Un-decimated Wavelet Transform and Scale Invariant Feature Transform[J]. AASRI Procedia, 2014, 9(3): 84—91.
- [17] GAVIN L, FRANK Y S, MARK H Y. An Efficient Expanding Block Algorithm for Image Copy-Move Forgery Detection[J]. Information Sciences, 2013, 239(4): 253—265.
- [18] SAULO O, NETO R, AJALMARJ B F. A Novel Genetic Algorithms and SURF-based Approach for Image Retargeting[J]. Expert Systems with Applications, 2016, 44(8): 332—343.
- [19] 高铁杠, 杨富圣, 盛国瑞. 一种新的基于 DCT 域系数对直方图的图像篡改取证方法[J]. 光电子·激光, 2014, 25(11): 2196—2202.
GAO Tie-gang, YANG Fu-sheng, SHENG Guo-rui. A Novel Image Forensic Method Based on Coefficient-Pair Histogram in DCT Domain[J]. Journal of Optoelectronics · laser, 2014, 25(11): 2196—2202.
- [20] 廖声扬, 黄添强. 基于几何均值分解和结构相似度的同源视频时间域复制-粘贴篡改快速检测及恢复方法[J]. 计算机应用, 2015, 35(3): 821—825.
LIAO Sheng-yang, HUANG Tian-qiang. Fast Detection and Recovery Method for Copy-move Forgery in Time Domain of Homologous Videos Based on Geometric Mean Decomposition and Structural Similarity[J]. Journal of Computer Applications, 2015, 35(3): 821—825.
- [21] GHULAM M, 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.
- [22] SWAPNIL H, KUDKE A D. Copy-Move Attack Forgery Detection by Using SIFTS[J]. International Journal of Innovative Technology and Exploring Engineering, 2013, 5(2): 221—224.
- [23] 李文龙, 高尚. 基于奇异值优化的图像复制粘贴篡改检测算法[J]. 电子设计工程, 2015, 23(11): 78—81.
LI Wen-long, GAO Shang. Detection of Copy-move Tampering in Digital Images Based on Improved Singular Value[J]. Electronic Design Engineering, 2015, 23(11): 78—81.
- [24] RHEE K H. Median Filtering Detection of Digital Images Using Pixel Gradients[J]. IEIE Transactions on Smart Processing and Computing, 2015, 4(4): 195—201.