

文章编号: 2095-4980(2021)03-0478-07

基于能量约束与结构相似聚类的图像篡改检测

王晓雨

(荆楚理工学院 计算机工程学院, 湖北 荆门 448000)

摘要: 借助能量约束与结构相似聚类机制, 设计了一种新的图像内容伪造检测算法。首先, 借助 Hessian 算子, 利用盒式滤波器来生成 Hessian 行列式, 以准确检测图像特征。然后, 通过计算图像的 Haar 小波值, 求取图像的方向信息, 以构建图像特征的邻域窗口。再计算该邻域窗口内像素点的曲率信息, 构成鲁棒性较好的特征向量。最后, 对图像特征进行欧氏距离度量, 并联合图像的区域能量特征, 完成度量结果的约束, 以实现图像特征的精确匹配。采用结构相似度 (SSIM) 函数, 聚类匹配结果识别伪造区域, 实现准确的检测。仿真数据表明, 较当前内容检测技术而言, 在多种几何变换干扰下, 本文算法具有更高的检测准确性与鲁棒性。

关键词: 图像复制-粘贴篡改检测; Hessian 算子; 曲率信息; 能量约束; 结构相似聚类

中图分类号: TN911.73

文献标志码: A

doi: 10.11805/TKYDA2019397

Image tampering detection algorithm based on energy constrained coupled structure similar clustering

WANG Xiaoyu

(College of Computer Engineering, Jingchu Institute of Technology, Jingmen Hubei 448000, China)

Abstract: A new image content forgery detection algorithm by means of energy constraints and structure similarity clustering mechanism is proposed. Firstly, with the help of Hessian operator, a box filter is utilized to generate row Hessian formulation to accurately detect image features. Then, by calculating the Haar wavelet value of the image, the direction information of the image is obtained to construct the neighborhood window of the image features. Then the curvature information of the pixels in the neighborhood window is calculated to form a robust eigenvector. Finally, Euclidean distance measurement is adopted to measure image features, and regional energy features are combined to complete the constraints of measurement results, so as to achieve accurate matching of image features. Structural Similarity Index(SSIM) function is utilized to identify forgery areas by clustering matching results, and accurate detection is realized. The simulation results show that, compared with current content detection technology, the proposed algorithm has higher detection accuracy and robustness under the interference of various geometric transformations.

Keywords: image copy-paste tampering detection; Hessian operator; curvature information; energy constraint; structural similarity clustering

网络技术及计算机应用技术的飞速发展, 为数字图像的应用提供了良好的环境^[1]。人们可通过一些计算机软件快捷地对图像进行编辑处理, 以获取理想的图像内容。这些计算机软件的出现给人们带来了便利, 但也埋下了隐患, 当利用这些软件对图像进行恶意篡改时, 会对人们的生活带来困扰^[2]。因此, 如何对篡改图像进行检测成为了一个研究热点。如 Wo 等^[3]从图像的仿射变化研究出发, 采用了多半径极坐标复指数变换从图像中提取图像特征, 接着通过最小堆优化以及图像的位置信息对图像特征进行匹配, 进而得到检测结果。虽然该方法具有较好的仿射性能, 但由于其在特征匹配的过程中, 没有考虑图像的能量信息, 使得检测结果不太理想。

收稿日期: 2019-10-14; 修回日期: 2020-02-24

基金项目: 湖北省教育厅科研计划研究项目(B2020192); 荆门市科技局科研项目(2019YDKY078)

作者简介: 王晓雨(1979-), 女, 硕士, 讲师, 主要研究领域为图像处理、信息安全、算法研究。email:Wangxyu1979jch@2980.com

Dagher 等^[4]对图像水印方法进行研究,从考虑算法的抗噪以及几何变换出发,通过 Harris 检测器提取图像的特征,并在其周围插入防伪序列,再通过检测器重置图像特征,进而确定水印区域中心位置,将其嵌入到图像中,以抵抗伪造攻击。虽然这种方法效果较为显著,但其本质上对源图像具有一定的内容修改。Choudhary 等^[5]通过对尺度不变特征转换(Scale-Invariant Feature Transform, SIFT)方法进行研究,将加速 KAZE 方法和 SIFT 方法相结合,获取图像特征,并采用广义二近邻方法完成特征匹配。虽然该方法提高了对图像特征的提取准确度,但由于其图像特征匹配过程仅考虑了图像特征的距离信息,而忽略了图像的能量信息,导致检测结果准确度不高。又如:Liu 等^[6]通过研究卷积核网络,将其引入到图像伪造检测过程中,利用其完成图像特征的描述,并通过分割关键点分布的策略来完成伪造检测。这种方法避免了图像特征的匹配过程,但由于卷积核网络方法计算较为复杂,且对于仿射变换的适应能力较差,导致检测结果中存在较多的错误检测。

为了提高几何内容变化下的检测准确性,本文在采用 Hessian 算子对图像特征进行检测的基础上,设计了依靠能量约束以及结构相似聚类的图像伪造检测方法。通过图像的 Haar 小波特征以及像素点的曲率信息,求取抗干扰能力较强的特征向量。通过区域能量函数获取图像的能量信息,并将其与图像特征的欧氏距离信息相联合,以约束仅依靠图像距离信息完成图像特征匹配时产生的错误匹配。引入结构相似度(SSIM)函数,从匹配点对的结构相似性出发,对其进行聚类,以识别复制-粘贴内容,对伪造图像进行准确的检测。实验结果显示,本文所提算法检测性能好,检测准确度高。

1 图像复制-粘贴篡改检测算法

图 1 展示了所提图像篡改检测算法的过程。从图 1 可见,所提算法主要分为图像特征的检测、特征向量的获取、图像特征的匹配及匹配特征的聚类 4 个步骤。a) 图像特征的检测。引入 Hessian 算子,通过 Hessian 行列式准确地对输入图像的特征点进行检测。b) 特征向量的获取。通过求取图像的 Haar 小波特征,得到图像特征的方向信息,并以此为依据,构建特征点的邻域窗口,在该窗口内计算像素点的曲率信息,以形成鲁棒性能较强的特征向量。c) 图像特征的匹配。通过区域能量函数度量图像的能量信息,利用图像的能量信息约束欧氏距离对图像特征匹配的结果,减少误匹配,以提高匹配正确性。d) 匹配特征的聚类。利用 SSIM 函数对匹配后图像特征的结构相似度进行测量,以测量结果为依据,对匹配点进行结构相似聚类,准确识别出复制-粘贴内容,完成伪造检测。

1.1 图像特征的检测

算子在抗旋转变换等方面都具有较好的性能,能够较为准确地检测图像特征^[7]。在利用 Hessian 算子检测图像特征时,需要利用盒式滤波器对 Gaussian 滤波器进行近似,以获取 Hessian 行列式,进而检测图像特征。对于函数 $f(x,y)$,其对应的 Hessian 矩阵可表述为^[8]:

$$\mathbf{H}(x,\sigma) = \begin{bmatrix} \frac{\partial^2 f}{\partial x^2} & \frac{\partial^2 f}{\partial x \partial y} \\ \frac{\partial^2 f}{\partial x \partial y} & \frac{\partial^2 f}{\partial y^2} \end{bmatrix} \quad (1)$$

式中 σ 为像素点的尺度。

对式(1)变形,可得到 $f(x,y)$ 对应的 Hessian 行列式 $D(\mathbf{H})$, 表述为:

$$D(\mathbf{H}) = \frac{\partial^2 f}{\partial x^2} \frac{\partial^2 f}{\partial y^2} - \left(\frac{\partial^2 f}{\partial x \partial y} \right)^2 \quad (2)$$

利用图像 $I(x,y)$ 替换 $f(x,y)$, 可得其在尺度 α 处对应的 Hessian 矩阵, 表述为:

$$\mathbf{H}(x,y,\alpha) = \begin{bmatrix} L_{xx}(x,y,\alpha) & L_{xy}(x,y,\alpha) \\ L_{xy}(x,y,\alpha) & L_{yy}(x,y,\alpha) \end{bmatrix} \quad (3)$$

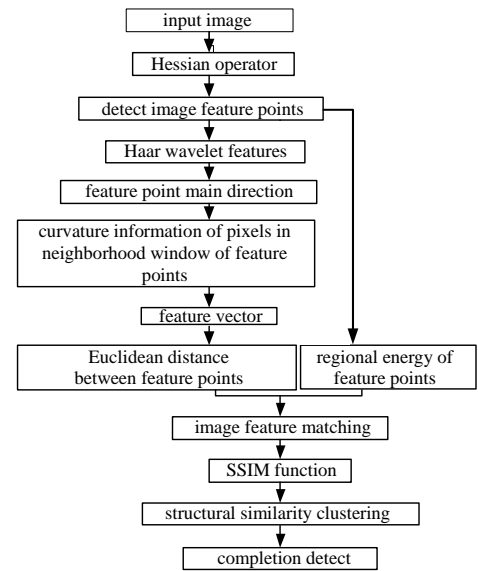


Fig.1 Process of the proposed image copy-paste tamper detection algorithm

图 1 所提图像复制-粘贴篡改检测算法的过程

式中： $L_{xx}(x,y,\alpha)$ 为 Gaussian 滤波器 $\frac{\partial^2}{\partial x^2}$ 与 $I(x,y)$ 进行卷积计算的结果； $L_{yy}(x,y,\alpha), L_{xy}(x,y,\alpha)$ 也可通过类似卷积计算获取^[9]。

通过尺寸为 9×9 的盒式滤波器对 Gaussian 滤波器进行近似，将 $I(x,y)$ 与盒式滤波器的卷积结果记为 D_{xx}, D_{yy}, D_{xy} 。采用尺度 $\alpha=1.2$ 时 $I(x,y)$ 与 Gaussian 滤波器的卷积，计算近似补偿因子^[10]：

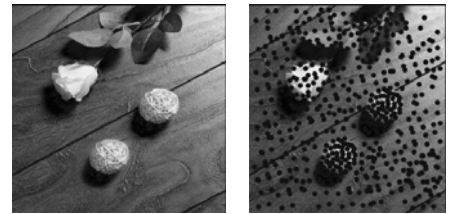
$$\frac{\|L_{xy}(1.2)\| \|D_{xx}(9)\|}{\|L_{xx}(1.2)\| \|D_{xy}(9)\|} \approx 0.9 \quad (4)$$

利用该补偿因子求取 $I(x,y)$ 对应的 Hessian 行列式 $D(I)$ ：

$$D(I) = D_{xx}D_{yy} - (0.9D_{xy})^2 \quad (5)$$

利用式(5)，通过极值判断的方法便可检测出图像的特征点。

图 2 展示了利用 Hessian 算子检测图像特征的结果。从图 2(b)中可见，Hessian 算子对图 2(a)所示输入图像的特征检测结果较为准确。



(a) inputting image (b) image feature detection results

Fig.2 Results of Hessian operator on image feature detections

图 2 Hessian 算子对图像特征检测的结果

1.2 特征向量的获取

求取图像特征的方向信息以及特征向量，有利于对图像的特征进行描述。在快速鲁棒性特征(Speeded Up Robust Features, SURF)算法中，利用图像的 Haar 小波特征计算图像的方向信息，使得所获取方向信息具有较强的鲁棒性，而像素点的曲率信息不随图像的旋转等变换，具有较强的抗仿射变换性。因此，将通过计算图像的 Haar 小波特征以及像素点的曲率信息，分别获取图像特征的方向信息以及特征向量。首先，构建尺度为 α 的特征点 p 的邻域圆，该圆的圆心为 p ，直径为 12α ，利用 4α 大小的 Haar 小波，求取该圆在 x,y 轴上的 Haar 小波特征^[11]；其次，在圆内转动 60° 的扇形窗口，对窗口内 Haar 小波特征进行求和计算，所得最大值的方向即为主方向 θ ^[12]；最后，在 θ 上建立大小为 $20\alpha \times 20\alpha$ 的窗口，并划分其为 4×4 个子窗口，子窗口 $r(x,y)$ 内像素点 i 的曲率信息 Q_i 为^[13]：

$$Q_i = \frac{r_y^2 L - 2r_x r_y M + r_x^2 N}{r_x^2 r_y^2 - (r_x r_y)^2} \quad (6)$$

式中 r_x 和 r_y 分别为窗口 $r(x,y)$ 在 x 和 y 方向上的导数。 L, M, N 的表达式分别为：

$$L = \frac{(r_x, r_y, r_x^2)}{|r_x \times r_y|} \quad (7)$$

$$M = \frac{(r_x, r_y, r_x r_y)}{|r_x \times r_y|} \quad (8)$$

$$N = \frac{(r_x, r_y, r_y^2)}{|r_x \times r_y|} \quad (9)$$

令子窗口 $r(x,y)$ 中像素点的总数为 G 个，则求取 $r(x,y)$ 的平均曲率信息 \bar{Q} ：

$$\bar{Q} = \frac{\sum_{i=1}^G Q_i}{G} \quad (10)$$

联合各子窗口的 \bar{Q} 值，以形成一个含有 4×4 个元素的向量，并将其归一化后即可到特征向量 V 。其示意图如图 3 所示。

1.3 图像特征的匹配

获取图像特征的特征向量后，可利用其对图像特征 a 和 b 的距离进行度量，在图像特征距离测量的过程中，欧氏距离测量方法较为常用。其通过图像特征的特征向量来测量图像特征的距离信息，从而依靠特征向量的鲁棒性，提高距离测量时的抗干扰性^[14]。求取其欧氏距离信息 $DE(a,b)$ ^[14]：

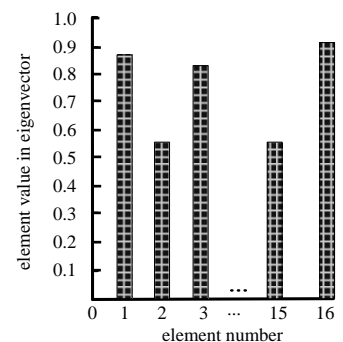


Fig.3 Eigenvector diagram

图 3 特征向量示意图

$$DE(a,b) = \sqrt{\sum_{i=1}^{16} (Va_i - Vb_i)^2} \quad (11)$$

式中 Va_i, Vb_i 分别为 a 和 b 的特征向量。

由于仅利用 a 和 b 的欧氏距离信息来对其进行匹配，容易出现一对多匹配的现象，导致匹配出错。本文引入区域能量函数，获取图像特征的能量信息，利用其对欧氏距离匹配的结果进行约束，降低一对多匹配现象的出现。

图像特征 a 的邻域窗口 $W(x,y)$ 对应的区域能量函数 E_a 为^[15]:

$$E_a = \sum_{i,j \in W} |W(x+i,y+j)|^2 \quad (12)$$

利用式(12)计算图像特征 b 的区域能量 E_b 。由式(12)发现，图像的不同区域，由于像素值不同，使得每个区域的能量函数 E_a 也不同。所以，对于每个图像区域而言，其对应的能量特征是唯一的，从而可以更好地检测出伪造内容。若 a 和 b 间的 $DE(a,b)$ 值与 $|E_a - E_b|$ 值在所有特征点中都同时为最小值，则可将 a 和 b 视为匹配特征。

通过联合图像特征的距离信息与能量信息，图 2(a)完成的图像特征匹配结果如图 4 所示。对比两图可知，基于能量约束的图像特征匹配结果匹配准确度较高。



Fig.4 Image feature matching results under energy constraints

图 4 能量约束下的图像特征匹配结果

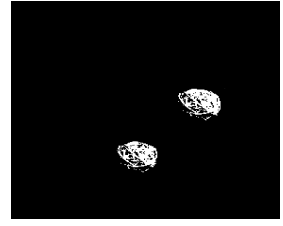


Fig.5 Copy-paste identification results

图 5 复制-粘贴内容的识别结果

1.4 匹配特征的聚类

为了更为准确地对复制-粘贴内容进行识别，需要对匹配后的图像特征进行聚类。结构相似性(SSIM)函数从方差、均值等图像的结构信息出发，可对图像的结构相似性进行较为全面的度量^[16]。在此，将以匹配特征点间的结构相似差异性为依据，对匹配图像特征进行聚类。

匹配特征点 a 、 b 的邻域窗口 W 、 F 对应的 SSIM 函数为^[16]:

$$SSIM = \frac{(2J_W J_F + A_1)(2R_W R_F + A_2)(R_{WF} + A_3)}{(J_W^2 + J_F^2 + A_1)(R_W^2 + R_F^2 + A_2)(R_W R_F + A_3)} \quad (13)$$

式中: $A_i(i=1,2,3)$ 为任意常量，以防止式(13)分母为 0; $J_i(i=W,F)$ 、 $R_i(i=W,F)$ 、 R_{WF} 分别为对应窗口的均值、方差和协方差。

将每个匹配后的图像特征点视为一个独立的类，然后，利用式(13)对每个类之间的结构相似差异性进行度量，并将结构相似差异性最小的 2 个类聚合在一起，进而完成匹配图像特征的聚类。

图 5 显示了通过结构相似差异度，对图 4 匹配图像特征聚类后所得的识别结果。从图 5 可以发现，将匹配图像特征进行结构相似差异度聚类后，能够较好地识别图像中的复制-粘贴内容。

2 实验结果

采用 Matlab7.10 软件作为仿真环境，在 IntelI5 CPU、4 GB RAM 的 PC 机上展开此次实验。实验中将文献 [3]、[5]、[17]和[18]中的算法视作对照组，采用各算法检测多组伪造图像，比较检测结果，观察本文算法的有效性。

图 6 展示了 5 种算法对复制-粘贴篡改图像的检测结果。图 6(c)和图 6(e)的检测结果中含有较多的误检测以及漏检测；图 6(f)的检测结果中含有少许误检测，但漏检测还是较多；图 6(d)的检测结果中无误检测，但存在较多的漏检测；图 6(g)的检测结果中不含误检测，且漏检测较少。图 6 中各算法检测结果见表 1，从表 1 数据可知，本文算法的检测准确率最为理想。图 7 显示了各算法对叠加旋转的复制-粘贴篡改图像的检测结果。图 7 中各算法检测结果对应的数据如表 2 所示。通过观察图 7 中各算法的检测结果可以发现，相比图 7(c)~图 7(f)，图 7(g)的检测结果具有更为完整的检测内容。观察表 2 中各算法检测结果的数据也可以发现，本文算法的检测完整度最高。5 种算法对叠加缩放的篡改图像检测结果见图 8，检测结果的数据见表 3。通过对比图 8 以及表 3 中各算法的检测结果可知，图 8(f)中的漏检测与误检测内容最少。观测图 9 以及表 4 中各算法的检测结果可以发现，图 9(f)中不含有误检测，且漏检测内容最少，说明本文算法能够较为完整地检测出图像中的伪造内容，

而且检测准确率也较高。因为本文算法采用鲁棒性能较好的 Hessian 算子检测了图像的特征，同时还采用图像的曲率信息获取特征向量，由于图像的曲率具有几何不变性，从而提高了算法的检测性能。

Corel 数据库中包含了 5 000 幅图像^[19]。选取其中一幅图像，并形成 10 幅多旋转角度的伪造图像。采用对照组及本文算法，对这 10 幅图像进行检测，通过对比各算法检测结果的准确率来客观评估其检测有效性。

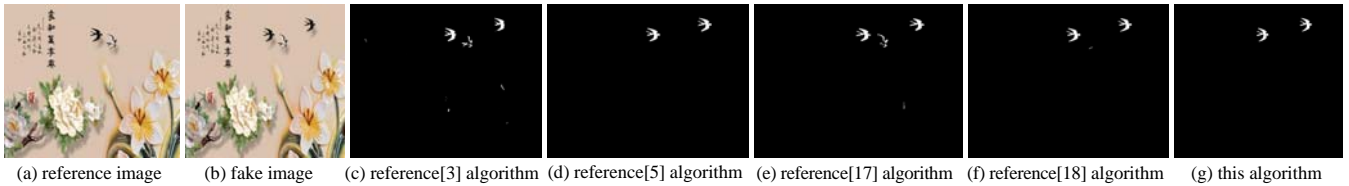


Fig.6 Detection results of five algorithms on copy-paste tampered images

图 6 5 种算法对复制-粘贴篡改图像检测结果

表 1 图 6 中的 5 种算法检测结果

Table1 Test results of five algorithms in Fig.6

algorithm	forgery area/pixel	counterfeit area detected/pixel	detection accuracy
literature [3] algorithm	2 414	2 152	8.15%
literature [5] algorithm	2 414	2 238	92.71%
literature [17] algorithm	2 414	2 185	90.51%
literature [18] algorithm	2 414	2 206	91.38%
this algorithm	2 414	2 295	95.07%

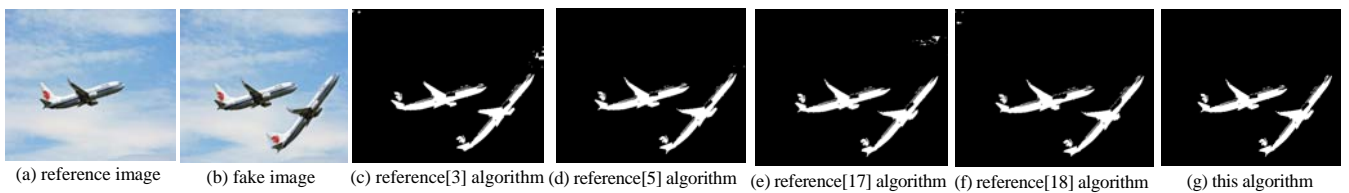


Fig.7 Detection results on copy-paste tampered images by five algorithms

图 7 5 种算法对叠加旋转的复制-粘贴篡改图像检测结果

表 2 图 7 中的 5 种算法检测结果

Table2 Test results of five algorithms in Fig.7

algorithm	forgery area/pixel	counterfeit area detected/pixel	detection accuracy
literature [3] algorithm	20 386	17 978	88.19%
literature [5] algorithm	20 386	18 561	91.05%
literature [17] algorithm	20 386	18 342	89.97%
literature [18] algorithm	20 386	18 509	90.79%
this algorithm	20 386	19 038	93.39%

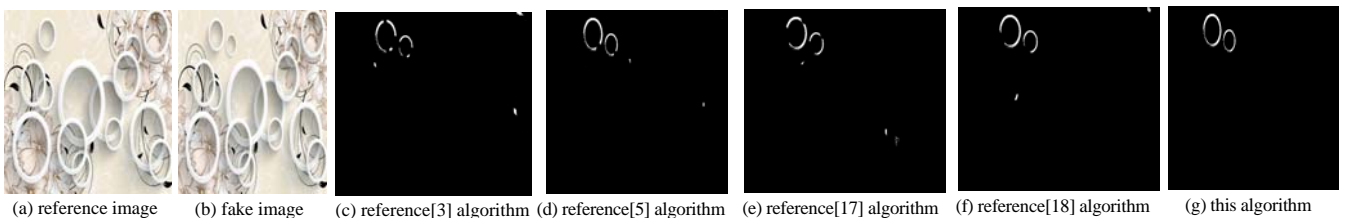


Fig.8 Detection results of copy-paste tampered images by five algorithms

图 8 5 种算法对叠加缩放的复制-粘贴篡改图像检测结果

表 3 图 8 中的 5 种算法检测结果

Table3 Test results of five algorithms in Fig.8

algorithm	forgery area/pixel	counterfeit area detected/pixel	detection accuracy
literature [3] algorithm	2 346	2 006	85.51%
literature [5] algorithm	2 346	2 134	90.54%
literature [17] algorithm	2 346	2 021	86.15%
literature [18] algorithm	2 346	2 103	89.64%
this algorithm	2 346	2 227	94.93%

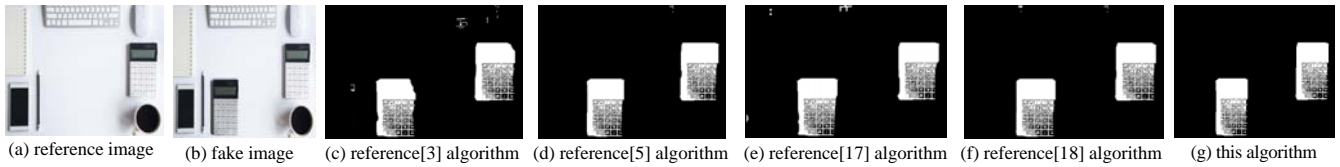


Fig.9 Detection results on copy-paste tampered images by five algorithms

图 9 5 种算法对叠加光照度变换的复制-粘贴篡改图像检测结果

表 4 图 9 中的 5 种算法检测结果

Table 4 Test results of five algorithms in Fig.9

algorithm	forgery area/pixel	counterfeit area detected/pixel	detection accuracy
literature [3] algorithm	11 828	10 062	85.07%
literature [5] algorithm	11 828	10 642	89.97%
literature [17] algorithm	11 828	10 176	86.03%
literature [18] algorithm	11 828	10 531	89.03%
this algorithm	11 828	11 072	93.61%

5 种算法检测结果的准确率见图 10。当复制-粘贴篡改内容的旋转角度为 70° 时，本文算法检测结果的准确率为 95.84%，比此时对照组算法检测结果的准确率高。通过对比其他旋转角度下各算法检测结果的准确率，可以发现还是本文算法的准确率最高，说明本文算法能够较好地适应旋转方法的攻击，能有效地检测复制-粘贴伪造图像，且检测性能较好。因为本文算法通过具有几何不变性的图像曲率信息求得了特征点的特征向量，同时利用图像的能量信息对基于距离信息的特征匹配结果进行了约束，降低了错误匹配出现的概率，从而提高了检测性能。文献[3]算法中通过多半径极坐标复指数变换方法获取图像特征，并利用最小堆优化方法匹配图像特征，采用计算半径比值的方法获取检测结果。由于多半径极坐标复指数变换难以抵抗几何变换，而且最小堆优化方法在特征匹配的过程中没有考虑图像的能量信息，从而使得文献[3]算法的检测性能不太理想。文献[5]算法中采用加速 KAZE 方法和 SIFT 方法提取图像特征，并通过图像的梯度信息计算出特征向量，通过广义二近邻方法获取匹配特征，检测伪造内容。由于广义二近邻方法仅考虑了图像特征的距离信息，而忽略了图像的能量信息，导致文献[5]检测性能下降。文献[17]算法中通过对小波方法进行分解，利用小波方法分解图像，在低通滤波器的基础上设计了阈值自调整方法，以检测伪造图像。由于小波方法没有丰富的方向性，使得其分解图像易丢失图像信息，同时该方法中检测篡改内容时对阈值依赖性较强，且没有考虑图像的能量信息，从而导致检测性能不佳。文献[18]算法中通过图像特征的二值模型对图像特征进行描述，并通过离散余弦计算，求取图像的频域特征，接着利用图像特征的距离信息，对图像特征进行匹配，实现伪造检测。因为图像的二值特征鲁棒性较差，而且仅通过图像特征的距离信息来完成匹配，易出现误匹配，从而降低了算法的检测性能。

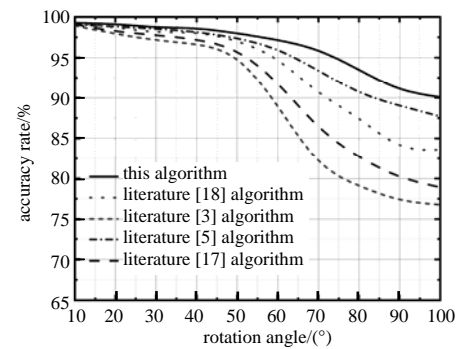


Fig.10 Accuracy corresponding to the detection results of five algorithms

图 10 5 种算法检测结果对应的准确率

3 结论

本文在 Hessian 算子检测的图像特征上，利用其邻域窗口像素点的曲率信息，求取了图像特征的特征向量。利用图像的能量信息约束图像特征的距离信息，对图像特征进行较为准确的匹配。利用 SSIM 函数测量了匹配图像特征间的结构相似差异性，以完成匹配特征的聚类，对复制-粘贴伪造内容进行了准确的识别。通过对不同伪造图像的检测结果表明，本文算法具有较好的检测性能，不仅对伪造图像的检测准确率较高，而且还对旋转等多种攻击具有较强的抵御性。

参考文献：

- [1] 杜振龙,施颖,李晓丽. 基于环境光差异的图像去雾算法[J]. 太赫兹科学与电子信息学报, 2019,17(6):1078-1085. (DU Zhenlong, SHI Ying, LI Xiaoli. Deep learning based fast plant image recognition[J]. Journal of Terahertz Science and Electronic Information Technology, 2019,17(6):1078-1085.)
- [2] 王春华,韩栋. 基于区域直方图和特征相关匹配规则的图像复制-粘贴篡改检测算法[J]. 电子测量与仪器学报, 2018,4(1):103-109. (WANG Chunhua, HAN Dong. Image copy-paste tampering detection algorithm based on Region

- Histogram and feature correlation matching rule[J]. Journal of Electronic Measurement and Instrumentation, 2018,4(1): 103–109.)
- [3] WO Yan,KANG Kemin,HAN Guoqiang. Copy-move forgery detection based on multiradius PCET[J]. IET Image Processing, 2017,11(2):99–108.
- [4] DAGHER I,HANNA P. An improved watermarking algorithm using variable block image features[J]. Pattern Recognition and Image Analysis, 2017,27(2):289–300.
- [5] CHOUDHARY Shyamsrakash,PRJWAL Pralhadpanzade. Detection of copy-move forgery using AKAZE and SIFT keypoint extraction[J]. Multimedia Tools and Applications, 2019,78(16):23535–23558.
- [6] LIU Yaqi,GUAN Qingxiao,ZHAO Xianfeng. Copy-move forgery detection based on convolutional kernel network[J]. Multimedia Tools & Applications, 2018,77(14):18269–18293.
- [7] 文洁,肖宁. Harris 算子耦合强度特征的图像复制-粘贴篡改检测算法[J]. 包装工程, 2019,40(5):258–265. (WEN Jie, XIAO Ning. Image replication-paste tampering detection based on Harris operator coupling strength feature[J]. Packaging Engineering, 2019,40(5):258–265.)
- [8] LYU Yingda,SHEN Xuanjing,CHEN Haipeng. Copy-paste detection based on an SIFT marked graph feature vector[J]. Chinese Journal of Electronics, 2017,26(2):345–350.
- [9] 林志东,杜滢钊. 特定条件下 SIFT 与 SURF 图像匹配算法的性能对比[J]. 厦门理工学院学报, 2019,27(3):30–36. (LIN Zhidong,DU Yingzhao. Comparison of SIFT and SURF as image matching algorithms under certain conditions[J]. Journal of Xiamen University of Technology, 2019,27(3):30–36.)
- [10] 宋佳乾,汪西原. 改进 SIFT 算法和 NSCT 相结合的遥感图像匹配算法[J]. 测绘通报, 2018(9):34–38. (SONG Jiaqian, WANG Xiyuan. Remote sensing image registration based on non-subsampled contourlet transform and improved SIFT matching algorithm[J]. Bulletin of Surveying and Mapping, 2018(9):34–38.)
- [11] 陈虹,肖越,肖成龙. 基于 SIFT 算子融合最大相异系数的自适应图像匹配算法[J]. 计算机应用, 2017,26(12):1–6. (CHEN Hong,XIAO Yue,XIAO Chenglong. Adaptive image matching algorithm based on SIFT operator with maximum dissimilarity coefficient[J]. Journal of Computer Applications, 2017,26(12):1–6.)
- [12] ZHILA Bahrami,FARDIN Akhlaghian Tab. A new robust video watermarking algorithm based on SURF features and block classification[J]. Multimedia Tools and Applications, 2018,77(1):327–345.
- [13] LI Gun,LI Cuihua,ZHU Yingpan. An improved speckle-reduction algorithm for SAR images based on anisotropic diffusion[J]. Multimedia Tools and Applications, 2017,76(17):17615–17632.
- [14] OLIVEIRA Saulo,ROCHA Neto,AJALMAR Bezerrafrancisco. A novel genetic algorithms and SURF-based approach for image retargeting[J]. Expert Systems with Applications, 2016,44(8):332–343.
- [15] ZHANG Lei,YANG Fengbao,JI Linna. Infrared polarization and intensity image fusion algorithm based on the feature transfer[J]. Automatic Control and Computer Sciences, 2018,52(2):135–145.
- [16] 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(2):821–825. (LIAO Shengyang,HUANG Tianqiang. 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(2):821–825.)
- [17] DANIEL Cavalcanti Jeronymo,YURI Cassio Campbell Borges,LEANDRO Dos Santos Coelho. Image forgery detection by semi-automatic wavelet soft-thresholding with error level analysis[J]. Expert Systems with Applications, 2017,85(1):348–356.
- [18] AMANI Alahmadi,MUHAMMAD Hussain,HATIM Aboalsamh. Passive detection of image forgery using DCT and local binary pattern[J]. Signal,Image and Video Processing, 2017,11(1):81–88.
- [19] 邓少闻,罗代升,郭崇. 多尺度 LBP 耦合 K-D 树的图像伪造盲检测算法[J]. 计算机工程与设计, 2017,38(5):1307–1313. (DENG Shaowen,LUO Daisheng,GUO Chong. Image forgery blind detection algorithm based on multi-scale LBP coupled K-D tree[J]. Computer Engineering and Design, 2017,38(5):1307–1313.)