

基于色彩一致性的图像模糊篡改检测

周治平, 胡成燕, 黄 浩

(江南大学物联网工程学院, 江苏 无锡 214122)

摘 要: 分析数字图像中的局部色彩相关性及模糊篡改操作对图像色彩一致性的影响, 提出一种基于改进色彩特征的数字图像模糊篡改检测方法。重新定义色调变化率和异常色调率, 通过提取图像中的色调变化和异常色调特征, 描述模糊操作对图像局部色彩一致性的破坏程度, 将特征输入支持向量机进行训练和分类, 并对图像中的模糊篡改区域进行定位检测。实验结果表明, 该方法可快速检测出图像中的模糊操作, 准确定位模糊篡改区域, 且对图像的旋转和 JPEG 压缩操作具有一定的鲁棒性。

关键词: 数字图像取证; 色调变化; 异常色调; 色彩一致性; 模糊篡改; 鲁棒性

中文引用格式: 周治平, 胡成燕, 黄 浩. 基于色彩一致性的图像模糊篡改检测[J]. 计算机工程, 2016, 42(1): 237-242.

英文引用格式: Zhou Zhiping, Hu Chengyan, Huang Hao. Image Blur Forgery Detection Based on Color Consistency[J]. Computer Engineering, 2016, 42(1): 237-242.

Image Blur Forgery Detection Based on Color Consistency

ZHOU Zhiping, HU Chengyan, HUANG Hao

(School of Internet of Things Engineering, Jiangnan University, Wuxi, Jiangsu 214122, China)

[Abstract] This paper analyzes the local color correlation and the influence of blur forgery operation on image color consistency, and proposes a new method based on the improvement of the color features to detect the blur tamper of digital image. By redefining the normal of hue bias rate and abnormal hues rate. It extracts the hue bias and abnormal hue features to describe the destruction of the local color consistency introduced by imaging pipeline which is caused by blurring operation. These features are fed to the Support Vector Machine (SVM) to train and classify, and it realizes position detection for image blur forgery regions. Experimental results show that the proposed method has a good performance in detecting blur forgery operation, it can accurately locate the regions of blur forgery, and this method also has a certain robustness of the rotating and JPEG compression operation in tampered regions.

[Key words] digital image forensics; hue change; abnormal hue; color consistency; blur forgery; robustness

DOI: 10.3969/j.issn.1000-3428.2016.01.042

1 概述

随着科学的进步, 高清数码相机的普及及功能强大、操作简单的图像处理软件的广泛应用, 使得对数字图像的篡改越来越容易, 即使是初学者也可以通过图像处理软件制作篡改图像。近年来, 国内外发生的一系列篡改伪造图像的风波提醒人们, 数字图像正面临着被随意伪造和篡改的威胁。而模糊篡改操作是这些众多篡改手段中常用的方法之一, 伪造者利用模糊操作来隐藏篡改痕迹, 所以, 对模糊篡改的检测研究十分迫切。

人工模糊的篡改检测方法主要包括基于边缘痕迹的检测^[1-3]、基于异常色调率的检测^[4-6]以及基于

像素之间相关性的检测^[7-8]等。目前, 国内外很多学者利用图像的异常色调率对人工模糊篡改区域进行检测。文献[4]提出一种利用局部异常色调率来检测图像伪造中的模糊操作, 可以有效地检测出具有较高纹理复杂度图像的模糊篡改区域, 但是该算法对于具有纹理复杂度较低的图像, 检测效果较差; 且算法中多次需要确定经验阈值, 从而使得算法计算时间较长和计算量较大, 限制了该算法的适用性。文献[5]对文献[4]中的算法进行改进, 提出一种基于模糊估计和异常色调率的图像模糊检测方法, 该算法解决了纹理复杂度的问题, 降低了虚警率, 但是并没有改进经验阈值的确定次数, 因此, 算法适用性仍具有局限性。文献[6]对局部异常色调率进行改

作者简介: 周治平 (1962 -), 男, 教授、博士, 主研方向为图像处理; 胡成燕、黄 浩, 硕士研究生。

收稿日期: 2014-12-12 **修回日期:** 2015-02-07 **E-mail:** huchengyan2012@163.com

进,提出一种利用色彩一致性进行定位检测的算法。该算法提取了全局色调率、色调变化率和异常色调率 3 个特征来进行检测和分类,但是该算法对篡改区域较小、形状不规则的图像并不能准确检测,而且对图像的全局模糊篡改检测效果较差。其他方法的主要研究有:文献[9]提出一种基于 Benford 定律的模糊篡改检测算法。该算法根据图像篡改前后 Benford 曲线之间的差异,将两者之间进行比较确定模糊区域。该算法适合全局模糊,对局部模糊检测无效。文献[10]提出一种根据模糊估计的图像篡改取证算法,该算法利用图像块小波系数的规律进行模糊估计,但对高斯滤波器具有一定的限制。文献[11]利用每个边缘像素的局部模糊估计与真实离焦模糊的不一致性,提出一种被动的数字图像盲检测方法。文献[12]利用模糊熵的信息测度分量和 BP 神经网络训练,提出一种基于区域一致性测度的边缘检测方法。文献[13]提出一种改进的模糊边缘检测算法,利用遗传算法和隶属度函数对传统的模糊增强 Pal King 算法进行优化处理,检测图像的模糊边缘。文献[14]提出一种利用颜色照明度作为图像真实性考核的新指标来检测图像中的篡改痕迹。

本文在上述研究的基础上,提出一种新的图像模糊篡改检测算法,利用亮度色度模型,提取色调域中的 4 个特征来反映图像的局部色彩一致性,同时通过支持向量机(Support Vector Machine, SVM)对数字图像进行训练分类和篡改区域的定位。

2 数字图像的色彩一致性

数字图像的成像过程通常会引入图像的局部色彩一致性^[6]。图像经历模糊润饰操作会导致数字图像原有色彩一致性遭到破坏,从而留下篡改痕迹。本文通过提取色彩特征描述模糊操作对色彩一致性的破坏,从而对模糊润饰的伪造图像进行检测。

2.1 色调变化率

如何定性和定量地描述数字图像中相邻色彩间的相关性和一致性是分析图像色彩一致性的关键^[6]。本文使用 HSI(Hue Saturation Intensity)颜色模型使其更容易地描述这种色彩一致性。HSI 模型和 RGB 模型之间的转换公式如下:

$$H = \arctan\left(\frac{\sqrt{3}(R-B)}{2R-G-B}\right) \quad (1)$$

$$S = 1 - \frac{\min(R, G, B)}{R + G + B} \quad (2)$$

$$I = 0.299R + 0.587G + 0.114B \quad (3)$$

从上述公式可以看出 HSI 模型中的色调信息在 RGB 模型 3 个颜色通道中的整体反映情况,所以,本文从色调角度出发研究图像的局部色彩一致性。数

字图像的邻域色彩一致性主要表现为:在 HSI 模型的色调域中,图像的局部出现相近甚至相同的色调值,当图像经过模糊篡改之后,会产生大量不同于邻域的色调值,从而破坏图像的邻域一致性。但是被破坏后的邻域色彩一致性不可能再次受到破坏。文献[6]中的色调变化率是描述原始图像与模糊篡改图像在经过高斯低通滤波的二次模糊后在色调值个数上的变化差异。

假设一幅大小为 $m \times n$ 的图像 I ,根据其 RGB 3 个颜色通道的像素值,可以计算并得到图像中所有像素的色调值,然后将图像 I 进行高斯低通滤波,计算滤波后图像的所有色调值,并定义色调变化率:

$$\eta = \frac{|H_{F(I)}| - |H_I|}{mn} \quad (4)$$

其中, H_I 和 $H_{F(I)}$ 分别表示经过高斯滤波处理前后的图像色调值集合; $|\cdot|$ 表示该集合的势,即该集合中不同元素的个数。该特征反映了模糊操作对色彩一致性的偏差程度。但是,通过大量实验发现,纹理复杂度较低的图像模糊篡改后色调值变化的个数很少,会使算法出现严重的漏检现象,且该算法对不规则形状的篡改区域检测效果也不理想。

2.2 异常色调率

异常色调^[4]是指在图像的 8×8 邻域中单独出现,并与邻域内像素色调差的最大值不超过某一范围的色调值,其集合的势反映了一幅图像的色调值在局部邻域范围内的相关性和一致性程度。假设大小为 $m \times n$ 的图像 I ,可以计算并得到图像中所有像素的色调值,并记色调值集合为:

$$H = \{h_{i,j} | 1 \leq i \leq m, 1 \leq j \leq n\} \quad (5)$$

其中, $h_{i,j}$ 代表任一像素的色调值; $H_{i,j}^8$ 代表以 $h_{i,j}$ 为中心的 8×8 邻域内的色调值集合(不包括中心像素)。

定义 $\Delta h_{i,j}$ 和 $\Delta h_{i,j}$ 分别为 $h_{i,j}$ 与其 8×8 邻域内色调值差的最大值和最小值,其公式如下:

$$\begin{cases} \Delta h_{i,j} = \max\{|h_{i,j} - h_{i',j'}|\} \\ \Delta h_{i,j} = \min\{|h_{i,j} - h_{i',j'}|\} \end{cases} \quad (6)$$

其中, $h_{i,j} \in H_{i,j}^8$ 。假设已知 $H_{abn}^k = \{h_{abn1}, h_{abn2}, \dots, h_{abnk}\}$, 当色调值 $h_{i,j}$ 满足式(7):

$$h_{abn(k+1)} = h_{i,j} \Leftrightarrow \begin{cases} 0 < \Delta h_{i,j} \leq \Delta h_{i,j} \leq \tau_0 \\ \forall h_{abnm} \in H_{abn}^k \\ |\Delta h_{i,j} - \Delta h_{abnm}| \neq 0 \\ 0 \leq m \leq k \end{cases} \quad (7)$$

此时,色调值 $h_{i,j}$ 表示第 $k+1$ 个异常色调值,扫描所有的色调值从而得到最后的异常色调值集合 H_{abn}^M 。异常色调率的定义如下:

$$\eta = \frac{|H_{\text{abn}}^M|}{|H_I|} \quad (8)$$

其中, H_{abn}^M 表示图像异常色调值的集合; H_I 表示图像所有色调值的集合。但通过大量实验结果发现, 该特征适合篡改区域色彩变化较大的图像, 当篡改区域色彩变化较小时, 算法检测率较低, 篡改区域较小, 且对形状不规则的伪造区域定位不准确。

2.3 改进后的特征

文献[6]提出一种通过计算 $n_0 \times n_0$ 邻域内单独出现的色调值的个数即异常色调率, 并将其和邻域像素的最大差值与阈值相比较, 从而检测图像中的模糊篡改区域。通过分析模糊操作的原理, 发现该方法存在局限性。模糊操作是将局部邻域内的像素值进行均值运算, 从模糊操作前后的像素值公式中可以看出, 当图像的纹理复杂度较低时, 随着模糊操作的变化, 图像色调值的改变个数较少, 即在图像纹理复杂度较低时, 模糊操作后仍然很难在 $n_0 \times n_0$ 邻域中找到单一的色调值, 如图1所示。由此可知, 经过模糊操作后图像的邻域内的色调值都不同, 改变了原始图像中局部色调值相同的特征, 且二次模糊只改变了图像的色调值并没有改变一次模糊中不同色调值的个数。所以, 利用异常色调率来检测纹理复杂度较低的图像中的模糊篡改操作时, 设置的阈值需要非常小, 但是这样很难区分出离焦模糊和人工模糊。因此, 文献[6]中提出的算法仅适用于篡改区域具有较大颜色变化或者纹理复杂度较高的图像, 否则, 算法会出现较高的误检。为了避免文献[6]算法中出现的问题, 本文通过大量实验研究离焦模糊和人工模糊之间的区别。在上述原理和实验分析中发现, 在纹理复杂度较低的图像中, 模糊操作使得该区域色调值在 $n_0 \times n_0$ 邻域中有时不能达到单独出现, 但是人工模糊区域的色调值在邻域内出现的频率会明显小于原图像区域中的频率, 根据该性质对原有的色调变化率和异常色调率的定义进行改进。

综上所述, 本文对色调变化率重新定义如下: 逐行扫描图像 I 的色调值集合, 得到色调值的个数 $|H_I|$ 。扫描已知样本图像中每个色调值在每个分块中出现的频率 $f_{i,j}^N$, 得到频率集合 $f^N = \{f_{i,j}^N | 0 < i \leq s, 0 < j \leq s\}$, 计算集合的平均频率 \bar{f}^N 和每个分块的平均频率 \bar{f} 。将集合 \bar{f} 中的最小值作为阈值 θ_0 , 将待测图像中的每个色调值在分块中出现的频率 $f_{i,j}$ 与阈值 θ_0 进行比较, 统计出 $f_{i,j} > \theta_0$ 的色调值个数 M , 最后得到图像中分块的色调值个数为:

$$\|H_I\| = |H_I| - M \quad (9)$$

0.675 5	0.666 7	0.666 7	0.666 7	0.666 7	0.136 4	0.136 4
0.675 5	0.691 5	0.691 5	0.416 7	0.416 7	0.196 9	0.196 9
0.675 5	0.685 0	0.685 0	0.666 7	0.666 7	0.416 7	0.416 7
0.675 5	0.709 2	0.709 2	0.691 5	0.691 5	0.666 7	0.666 7
0.649 5	0.685 0	0.685 0	0.636 4	0.636 4	0.570 2	0.570 2
0.675 5	0.694 0	0.694 0	0.666 7	0.666 7	0.573 1	0.573 1
0.675 5	0.666 7	0.666 7	0.636 4	0.636 4	0.570 2	0.570 2
0.649 5	0.666 7	0.666 7	0.628 1	0.628 1	0.166 7	0.166 7
0.675 5	0.666 7	0.666 7	0.666 7	0.666 7	0.119 5	0.119 5
0.649 5	0.645 6	0.645 6	0.666 7	0.666 7	0.182 8	0.182 8
0.644 5	0.628 1	0.628 1	0.619 5	0.619 5	0.171 2	0.171 2
0.659 9	0.666 7	0.666 7	0.570 2	0.570 2	0.166 7	0.166 7
0.644 5	0.666 7	0.666 7	0.613 6	0.613 6	0.146 6	0.146 6
0.659 9	0.666 7	0.666 7	0.696 9	0.696 9	0.073 1	0.073 1

(a)原图的部分色调值

0.677 2	0.688 6	0.707 5	0.103 6	0.145 9	0.154 9	0.159 0
0.677 7	0.684 9	0.698 1	0.096 4	0.147 7	0.157 3	0.160 6
0.677 5	0.682 5	0.695 4	0.074 9	0.146 9	0.157 8	0.161 0
0.678 0	0.681 8	0.694 5	0.027 9	0.146 9	0.158 9	0.161 8
0.677 2	0.678 3	0.688 1	0.931 3	0.148 6	0.160 1	0.162 2
0.672 6	0.673 8	0.679 4	0.794 3	0.149 7	0.161 1	0.162 9
0.668 5	0.670 0	0.674 4	0.727 0	0.150 1	0.160 2	0.161 9
0.663 0	0.665 0	0.666 7	0.682 8	0.154 9	0.160 0	0.160 9
0.659 6	0.660 4	0.659 5	0.659 2	0.158 7	0.159 2	0.159 1
0.658 2	0.657 6	0.656 2	0.643 2	0.160 9	0.158 6	0.157 8
0.658 3	0.656 3	0.654 7	0.638 0	0.160 8	0.157 0	0.155 9
0.655 1	0.652 1	0.649 9	0.628 1	0.164 7	0.156 9	0.155 4
0.655 4	0.652 5	0.650 7	0.639 8	0.162 3	0.155 0	0.152 7
0.657 4	0.653 2	0.652 0	0.643 8	0.161 2	0.153 8	0.150 2

(b)模糊图的部分色调值

0.662 5	0.659 8	0.662 2	0.671 9	0.833 1	0.123 1	0.128 5
0.665 3	0.662 3	0.665 6	0.675 5	0.749 9	0.093 5	0.112 6
0.665 3	0.664 5	0.668 6	0.681 4	0.741 6	0.046 6	0.094 0
0.666 7	0.667 7	0.672 4	0.687 7	0.743 7	0.986 9	0.069 1
0.669 3	0.671 9	0.676 2	0.692 8	0.746 7	0.939 4	0.043 3
0.669 4	0.673 0	0.678 1	0.695 9	0.749 0	0.912 7	0.023 2
0.670 9	0.675 5	0.681 5	0.702 6	0.758 9	0.901 8	0.007 9
0.669 6	0.674 7	0.682 1	0.705 9	0.762 8	0.892 7	0.994 5
0.668 3	0.674 1	0.683 3	0.708 5	0.764 2	0.885 6	0.984 3
0.668 4	0.674 8	0.685 7	0.711 6	0.763 4	0.873 1	0.972 4

(c)二次模糊图的部分色调值

图1 原图、模糊图和二次模糊图的部分色调值对比

本文根据被破坏后的邻域色彩一致性是不可能再次受到破坏的原理^[6], 进行图像模糊篡改的检测。本文采用高斯低通滤波对图像进行二次模糊, 高斯低通滤波函数的大小为 3×3 , 标准偏差为 $\sigma = 1.5$ 。用 $F(I)$ 表示滤波后的图像, 重新定义高斯低通滤波

前后图像的色调变化率(见式(10)),并将其作为特征 1:

$$f_1 = \frac{\|H_{F(I)}\| - \|H_I\|}{s \times s} \quad (10)$$

其中, $\|H_I\|$ 和 $\|H_{F(I)}\|$ 分别表示高斯滤波前后图像色调值的个数; $s \times s$ 是指图像每个分块的大小。

异常色调率的重新定义如下: 设 $H_{i,j}^{n_0}$ 表示以 $h_{i,j}$ 为中心的 $n_0 \times n_0$ 邻域内像素色调值集合(不包括中心像素), 定义 $h_{i,j}$ 与其 $n_0 \times n_0$ 邻域内色调值差的最大值为 $\Delta \overline{h_{i,j}} = \max\{|h_{i,j} - h_{i',j'}|, h_{i',j'} \in H_{i,j}^{n_0}\}$ 。假设 $H_{abn}^k = \{h_{abn1}, h_{abn2}, \dots, h_{abnk}\}$, 当色调 $h_{i,j}$ 满足式(1):

$$h_{abn(k+1)} = h_{i,j} \Leftrightarrow \begin{cases} f_{i,j} < \theta_0 \text{ 且 } \Delta \overline{h_{i,j}} \leq \tau \\ \forall h_{abnm} \in H_{abn}^k \\ |\Delta \overline{h_{i,j}} - \Delta \overline{h_m}| \neq 0 \\ 0 < m \leq k \end{cases} \quad (11)$$

此时, $h_{i,j}$ 为第 $k+1$ 个异常色调值, 最后得到异常色调值集合 H_{abn} 。与文献[5]一样, 经过大量统计实验获得经验阈值 τ 的值为 0.05。得到异常色调率(见式(12))并将其作为特征 2:

$$f_2 = \frac{\|H_{abn}\|}{\|H_I\|} \quad (12)$$

其中, H_{abn} 是图像中异常色调的集合; H_I 是图像中色调值的集合。

将图像进行 $s \times s$ 的分块, 假设分块后的块数为 N , f_i 为每个分块的异常色调率。将所有块的异常色调率进行从大到小的排序, 选出最前面的 50% 个异常色调率, 然后分别计算这 50% 个异常色调率的均值(见式(13))和相对标准差(见式(14)), 并将它们作为特征 3 和特征 4。

$$f_3 = \frac{1}{\lfloor 0.5N \rfloor} \sum_{i=1}^{\lfloor 0.5N \rfloor} \eta_i^{\max} \quad (13)$$

$$f_4 = \frac{1}{\lfloor 0.5N \rfloor} \sum_{i=1}^{\lfloor 0.5N \rfloor} (\eta_i^{\max} - f_3)^2 / f_3 \quad (14)$$

其中, η_i^{\max} 表示图像块中第 i 个最大的异常色调率; $\lfloor \cdot \rfloor$ 表示向下取整。

3 实验结果与分析

本文在 MatlabR2012a 平台、1.50 GHz 主频、2.00 GB 内存的 PC 计算机上进行实验, 利用哥伦比亚大学图像库中的图像作为图像库, 采用 Photoshop CS 8.0.1 对图像进行模糊篡改。主要模糊篡改参数如下: 模糊半径为 30 像素 ~ 100 像素, 模糊硬度和强度分别为 40% 和 50% 的各种不同方式的模糊。选取 500 幅原始图像和相对应的模糊篡改图像作为训练图像, 另外, 选取 200 幅经过 Photoshop 模糊篡改后的图像和 200 幅未经过任何篡改的图像作为测试图像。在实验中, 图像分块时的子块大小 $s = 8$, 计算异常色调率时的邻域 $n_0 = 7$ 。实验中的篡改图像分为同幅和异幅图像中复制粘贴后的边缘模糊篡改。为了检测图像中的模糊篡改操作并定位出篡改区域, 将提取的 4 个特征输入到 SVM 中进行训练和分类, 采用 SVM 作为常用的非线性径向基函数(Radial Basis Function, RBF) C-支持向量分类(C-Support Vector Classification, C-SVC)的算法分类器, 其中的参数通过格形搜索的交叉校验获得最优值。

同幅、异幅、低纹理复杂度图像检测效果比较如图 2 ~ 图 4 所示。从图 2(c)、图 2(d) 和图 2(e) 可以看出, 文献[5-6]中的算法都可以检测出同幅数字图像中复制粘贴后的边缘模糊操作, 但是这 2 种算法对篡改区域的定位比较广泛, 而本文算法可以较好地定位出模糊操作处理的粘贴边缘, 该算法比文献[5-6]算法的定位更加准确。从图 3(c)、图 3(d) 和图 3(e) 可以看出, 对于异幅图像之间的复制粘贴后的边缘模糊操作, 文献[5-6]和本文算法都可以检测出数字图像中的模糊操作, 但是在篡改区域定位时, 本文算法比文献[5-6]算法更加准确, 特别是在图像中的篡改区域为形状不规则的图形时, 可以更好地体现出本文算法的优势。从图 4(c)、图 4(d) 和图 4(e) 可以看出, 对于纹理复杂度较低的图像模糊篡改, 文献[5]算法会出现漏检现象, 文献[6]算法在检测过程中会出现严重的误检现象, 而本文算法可以比较准确地检测出图像中模糊篡改的区域。所以, 相比文献[5-6]算法, 本文算法更加适用于纹理复杂度较低的图像检测。



图 2 同幅图像检测效果比较

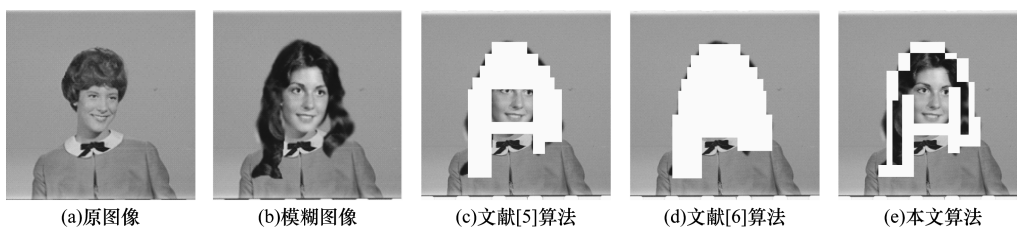


图 3 异幅图像检测效果比较

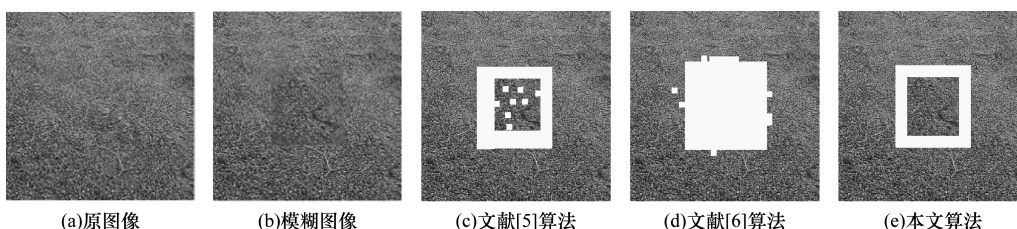


图 4 低纹理复杂度图像检测效果比较

为了检验本文算法的性能,表 1 给出了本文算法和文献[5-6]算法的检测率比较结果。实验结果显示,本文算法相比文献[5-6]算法具有更高的检测率。

表 1 检测率比较

算法	图像数		检测数		检测率/%	
	原始图像	篡改图像	原始图像	篡改图像	原始图像	篡改图像
文献[5]算法	200	200	188	178	94.0	89.0
文献[6]算法	200	200	183	162	91.5	81.0
本文算法	200	200	190	187	95.0	93.5

通过表 1 的检测率比较可以得出,文献[5-6]算法对原始图像的检测率和本文算法相当,但是对模糊篡改图像的检测,文献[6]算法的检测率明显低于文献[5]和本文算法,同时文献[5]算法的检测率也要低于本文算法。

综上所述,本文算法对纹理复杂度较低的图像具有较好的检测效果,而且对形状不规则的篡改区域,本文算法的定位准确度更高。通过表 1 的比较可知,本文算法相比文献[5-6]算法具有更高的检测率,但是对于算法的复杂度却没有进行比较,因此,通过单幅图像的运算时间来比较算法复杂度,实验结果如表 2 所示。

表 2 对于单幅图像的运算时间比较

算法	运算时间/s
文献[5]算法	1.043 9
文献[6]算法	2.936 2
本文算法	1.334 6

通过表 2 的运算时间比较可知,只利用一个特

征并通过阈值判断的文献[5]算法对于单幅图像的运算时间最短,本文算法相对高一点,但是相比同样利用多个特征训练的文献[6]算法的运算时间降低了一倍多,所以本文算法的运算复杂度相对较好。

为了检测模糊半径大小对本文算法检测率的影响,分别对不同大小的模糊半径进行实验,结果如表 3 所示。

表 3 本文算法在不同模糊半径下的检测率

模糊半径/像素	检测率/%
10	91.0
20	92.5
30	93.0
40	93.5
50	93.5
60	93.5

同时为了验证本文算法的性能,通过实验进行鲁棒性统计分析。实验方法为:对待测图像中的 200 幅模糊篡改图像进行不同角度的图像旋转处理操作,然后采用本文算法进行检测,表 4 为检测结果。对待测图像中的 200 幅模糊篡改图像进行不同质量因子的 JPEG 压缩处理后,利用本文算法对其进行检测,检测结果如表 5 所示。

表 4 本文算法在图像旋转后的检测率

旋转角度/(°)	图像数	检测数	检测率/%
90	200	181	90.5
180	200	180	90.0
270	200	179	89.5

表 5 本文算法在图像 JPEG 压缩后的检测率

质量因子	图像数	检测数	检测率/%
30	200	185	92.5
40	200	183	91.5
50	200	180	90.0
60	200	177	88.5
70	200	176	88.0

从表 4、表 5 可以看出,本文算法具有一定的鲁棒性,能够有效地抵抗图像经过不同角度旋转或者不同质量因子 JPEG 压缩的操作。

4 结束语

模糊伪造图像定位检测是数字图像取证技术的重要内容之一。本文利用色彩一致性对图像中的模糊篡改操作进行检测,通过提取色调变化率、异常色调率的相对标准差和均值 4 个特征来量化描述模糊操作对图像色调一致性的破坏程度。将计算得到的 4 个统计特征输入 SVM 进行训练和分类,通过对原始像素点和模糊像素点的分类定位模糊篡改的区域。实验结果表明,本文方法可以准确地定位出图像中经过模糊篡改的区域,且对旋转和 JPEG 压缩操作具有一定的鲁棒性,在今后工作中将对适用于多种篡改操作的检测算法做进一步研究。

参考文献

- [1] Shen Xuanjing, Tang Bohao, Li Xiaofei. A Blur Image Blind Identify Algorithm Based on the Edge Feature[C]//Proceedings of the 3th International Conference on Multimedia Information Networking and Security. Washington D. C., USA; IEEE Press, 2011: 309-313.
- [2] 和平, 李峰, 向凌云. 融合 LWT 纹理特征的图像复制篡改检测算法[J]. 计算机工程, 2013, 39(10): 267-270.
- [3] Fan Shaosheng, Wang Hainan. Multi-direction Fuzzy Morphology Algorithm for Image Edge Detection[J]. Journal of Networks, 2011, 6(6): 95-98.

- [4] 王波, 孙璐璐, 孔维祥. 图像伪造中模糊操作的异常色调率取证技术[J]. 电子学报, 2006, 34(12A): 2451-2454.
- [5] Peng Fei, Wang Xilan. Digital Image Forgery Forensics by Using Blur Estimation and Abnormal Hue Detection[C]//Proceedings of 2010 Symposium on Photonics and Optoelectronic. Washington D. C., USA; IEEE Press, 2010: 1-4.
- [6] 王波, 孔祥维, 尤新刚. 利用色彩一致性的数字伪造图像取证方法[C]//全国计算机安全学术交流会论文集. 上海: [出版者不详], 2008: 118-123.
- [7] Yang Benjuan, Zuo Juxian, Liu Benyong, et al. Blur Detection in Image Forensics Using Linear Correlation of Pixels[C]//Proceedings of 2010 Chinese Conference on Pattern Recognition. Washington D. C., USA; IEEE Press, 2010: 1-5.
- [8] 刘凯, 扈文斌. 动态阈值模糊检测在篡改图像检测中的应用[J]. 上海大学学报: 自然科学版, 2011, 17(5): 586-590.
- [9] 孙堡垒, 周琳娜, 张茹. 基于 Benford 定律的高斯模糊篡改取证[J]. 计算机研究与发展, 2009, 46(Suppl): 211-216.
- [10] Sutcu Y, Coskun B, Sencar H T. Tamper Detection Based on Regularity of Wavelet Transforms Coefficients[C]//Proceedings of International Conference on Multimedia and Explore. Washington D. C., USA; IEEE Press, 2007: 397-400.
- [11] Wang Xin, Xuan Bo, Peng Silong. Digital Image Forgery Detection Based on the Consistency of Defocus Blur[C]//Proceedings of International Conference on Intelligent Information Hiding and Multimedia Signal Processing. Washington D. C., USA; IEEE Press, 2008: 192-195.
- [12] 郑美珠, 赵景秀. 基于区域一致性测度的彩色图像边缘检测[J]. 计算机应用, 2011, 31(9): 2485-2492.
- [13] 吴德刚, 张宇波, 曹立波. 一种改进的模糊边缘检测算法[J]. 激光与红外, 2010, 40(12): 1374-1377.
- [14] Riess C, Angelopoulou E. Scene Illumination as an Indicator of Image Manipulation[M]//Böhme R, Fong P W L. Information Hiding. Berlin, Germany; Springer, 2010: 66-80.

编辑 陆燕菲

(上接第 236 页)

- [8] Chakrabarti D, Papadimitriou S, Modha D S, et al. FullyAutomatic Cross-associations[C]//Proceedings of the 10th ACM International Conference on Knowledge Discovery and Data Mining. New York, USA; ACM Press, 2012: 79-88.
- [9] Chakrabarti D. Autopart: Parameter-free Graph Partitioning and Outlier Detection[M]. Berlin, Germany; Springer, 2004.
- [10] Sun Jimeng, Faloutsos C, Papadimitriou S, et al. Graphscope: Parameter-free Mining of Large Time-evolving Graphs[C]//Proceedings of the 13th ACM International Conference on Knowledge Discovery and Data Mining. New York, USA; ACM Press, 2007: 687-696.
- [11] Yamanishi K, Maruyama Y. Dynamic Model Selection with Its Applications to Novelty Detection[J]. IEEE Transactions on Information Theory, 2013, 53(6): 2180-2189.
- [12] Rissanen J. Fisher Information and Stochastic Complexity[J]. IEEE Transactions on Information Theory, 2012, 42(1): 40-47.
- [13] Haldar J P, Hernando D, Liang Z P. Compressed-sensing MRI with Random Encoding[J]. IEEE Transactions on Medical Imaging, 2011, 30(4): 893-903.
- [14] Jonsen I D, Flemming J M, Myers R A. Robust State-space Modeling of Animal Movement Data[J]. Ecology, 2005, 86(11): 2874-2880.

编辑 顾逸斐