

# 大尺寸图片的复制粘贴检测\*

高芳<sup>1</sup>, 郑江滨<sup>1</sup>, 蔡里宁<sup>2</sup>

(1. 西北工业大学计算机学院, 西安 710072; 2. 61938 部队, 西安 710072)

**摘要:** 针对目前图像复制粘贴检测算法有时间复杂度高、当图像中有光滑区域时错检率大的缺点, 将图像角点区域及其八方向邻接圆形区域作为伪造检测区域, 提取每个检测区域的矩特征后用 k-d 树进行排序, 并通过比较每个区域矩特征的相似性来定位伪造复制区域。该算法效率高, 且对经过旋转、添加噪声、模糊、JPEG 压缩等后处理的复制粘贴伪造图像检测效果很好。

**关键词:** 复制粘贴; 伪造检测; 矩特征; k-d 树

**中图分类号:** TP391

**文献标志码:** A

**文章编号:** 1001-3695(2011)12-4782-04

doi:10.3969/j.issn.1001-3695.2011.12.103

## Copy-move detection of large image

GAO Fang<sup>1</sup>, ZHENG Jiang-bin<sup>1</sup>, CAI Li-ning<sup>2</sup>

(1. College of Computer Science, Northwestern Polytechnical University, Xi'an 710072, China; 2. 61938 Troops, Xi'an 710072, China)

**Abstract:** Many proposed copy-move forgery detection methods are time consuming, and most of them will be ineffective when there are many smooth regions in a forgery image. This paper used the circular regions around image corners as detection regions, and sorted moments of each detected region by using of k-d tree. It could locate the duplicate regions after comparing the similarities of all detection regions' moments. Several experiments demonstrate the efficiency of this method, and also evaluate the copy-move forgery image detecting method's robustness and sensitivity when a forgery image undergoes a serial of image processing such as rotating, adding noise, blurring, compressing etc.

**Key words:** copy-move; forgery detection; moments; k-d tree

## 0 引言

随着各种图像编辑软件的发展与广泛应用, 伪造图片质量越来越高。在新闻媒体、法律证据中的图像伪造正在威胁着整个社会。2004 年, 韩国首尔国立大学的黄禹锡在《科学》杂志上发表论文, 称该团队已经克隆出 11 个干细胞, 但调查发现 11 个克隆干细胞中只有 2 个是真的, 其他 9 个均为伪造。2008 年伊朗发布 9 号演习中的四枚导弹升空的照片, 其中第二枚导弹是从其他两枚导弹截取部分叠加而成, 目的是为了掩饰一个在试射期间发射失败的导弹(法新社)。2004 年 7 月 15 日美联社刊登的西安市区水灾的新闻照片, 后经确认是经过电脑处理的, 它将原本只漫到小腿的水位修改为漫过腰部, 故意夸大水患。现在网络中也流行着各种虚假图片, 因此急需提出一些有效的图像真伪检测方法。

在众多伪造手段中, 复制粘贴是最常见、易用的, 其目的是遮蔽图中的有用信息或伪造多个相似区域, 本文针对这种伪造手段提出检测方法。当进行图像复制粘贴伪造后, 为了使图片看起来更加真实, 人们往往会进行旋转、添加杂色、模糊、压缩<sup>[1]</sup>等后处理, 因此本文针对这些操作进行了检测并取得了较好的实验结果。

## 1 近期工作

近年来, 有很多图像复制粘贴的检测算法, 下面主要介绍

两种检测效果比较好的算法。

### 1.1 基于 SVD 分解的图像复制粘贴检测<sup>[2]</sup>

使用 SVD 分解进行图像复制粘贴检测, 需将一幅  $M \times N$  大小的图片分成  $B \times B$  大小的相互重叠的图像块, 因此共有  $(M-B+1) \times (N-B+1)$  个检测区域。对每个图像块运用了矩阵的奇异值分解, 得出奇异值后作为该图像块的特征向量。对  $(M-B+1) \times (N-B+1)$  个检测区域计算其两两之间特征向量的距离, 当该距离小于已定阈值时, 该图像块将被认为是伪造区域。

### 1.2 一种有效的复制粘贴检测算法<sup>[3]</sup>

为了提高复制粘贴检测的效率, 对图像进行二阶高斯金字塔分解后, 将低频图像划分为  $(M-B+1) \times (N-B+1)/4$  个相互重叠的图像块作为检测区域, 提取每个检测区域的 Hu 矩。计算待检测图像块两两之间 Hu 矩的欧式距离, 若距离小于已定阈值时, 则该图像块将被认为是伪造区域。

## 2 复制-粘贴区域检测

以上介绍的几种方法都是提取一幅图像所有重叠图像块的特征, 然后计算两两图像块间的距离, 算法比较耗时, 往往不能用于较大图像的检测, 所以实验用图大小为  $400 \times 400$  左右。但是, 现在网络上的图像往往很大, 使用以上方法进行检测时还要花费几个小时, 实用性不高。当图片中出现光滑区域, 如光

收稿日期: 2011-04-19; 修回日期: 2011-06-14 基金项目: 西北工业大学基础研究基金资助项目(2009-2011)

作者简介: 高芳(1987-), 女, 山西太原人, 硕士研究生, 主要研究方向为语音图像处理与媒体安全(floraanaat@126.com); 郑江滨(1971-), 男, 陕西西安人, 教授, 主要研究方向为语音图像处理与计算机视觉; 蔡里宁, 男, 主要研究方向为语音图像处理与计算机视觉。

滑的墙壁、天空、湖等地方时,由于这些重叠区域的特征比较相像,检错率非常高<sup>[4,5]</sup>。针对这两个问题,本文运用角点区域及其八方向邻接圆形区域作为检测区域。

### 2.1 提取图像角点和边界

角点是图像中与邻点亮度对比足够大的点。常用角点检测算法有 Kitchen-Rosenfeld、Harri、KLT 及 SUSAN 角点检测算法。角点为图像区域中变化较大的点,包含了图像的主要信息,常常出现在物体的边缘或顶点。当进行图像复制粘贴时,出现在物体上的角点也被复制,所以可以将扩充后的图像角点区域作为检测区域。在角点提取时需要用到曲率信息,首先介绍曲率的计算方法<sup>[9]</sup>。

曲线随着尺度变化的表达式为

$$\Gamma_\sigma = (X(\mu, \sigma), Y(\mu, \sigma)) \quad (1)$$

其中:  $X, Y$  为曲线的参数化表示,  $X, Y$  都是  $u$  的一维函数;  $u$  为弧长;  $g$  为一维高斯函数;  $g$  的参数  $\sigma$  代表了高斯核的宽度。对曲线的横、纵坐标分别进行高斯滤波的表达式为

$$\begin{aligned} x(\mu, \sigma) &= x(\mu) \otimes g(\mu, \sigma) \\ y(\mu, \sigma) &= y(\mu) \otimes g(\mu, \sigma) \end{aligned} \quad (2)$$

尺度为  $\sigma$  的曲线的曲率定义为

$$K(\mu, \sigma) = \frac{X_\mu(\mu, \sigma)Y_{\mu\mu}(\mu, \sigma) - X_{\mu\mu}(\mu, \sigma)Y_\mu(\mu, \sigma)}{(X_\mu(\mu, \sigma)^2 + Y_\mu(\mu, \sigma)^2)^{1.5}} \quad (3)$$

其中:

$$X_\mu(\mu, \sigma) = \frac{\partial}{\partial \mu}(x(\mu) \otimes g(\mu, \sigma)) = x(\mu) \otimes g_\mu(\mu, \sigma) \quad (4)$$

$$X_{\mu\mu}(\mu, \sigma) = \frac{\partial^2}{\partial \mu^2}(x(\mu) \otimes g(\mu, \sigma)) = x(\mu) \otimes g_{\mu\mu}(\mu, \sigma) \quad (5)$$

$$Y_\mu(\mu, \sigma) = y(\mu) \otimes g_\mu(\mu, \sigma) \quad Y_{\mu\mu}(\mu, \sigma) = y(\mu) \otimes g_{\mu\mu}(\mu, \sigma) \quad (6)$$

本文采用 He 等人<sup>[6]</sup>提出的自适应阈值和动态支撑区域的多曲率尺度角点检测方法来对图像角点检测,算法步骤如下:

- a) 对灰度图像运用 Canny 边缘检测算子,获得二值边缘图像。
- b) 从二值边缘图像中提取轮廓并进行填补。
- c) 在低尺度下计算每个轮廓的曲率,以保持轮廓上全部角点,所有曲率的局部最大值将被记做初始角点。
- d) 用自适应阈值对初始角点进行比较,去除光滑的圆角。以上的评估都是基于动态区域的,自适应阈值由其邻域内的初始角点决定。
- e) 对剩余初始角点的角度进行评估,以消除由量化噪声等引起的错误。

### 2.2 确定图像检测区域

图像角点常常出现在物体的边缘和顶点,包含图像中最主要的信息。由于在进行旋转变换时,圆形区域比方形区域更鲁棒,所以本文将角点区域扩充为  $17 \times 17$  像素的圆形区域。在较为光滑的图像中,角点的个数较少,不利于伪造检测,所以本文将扩充后的角点区域和其八方向邻接的圆形区域作为伪造检测的区域。

由图 1 可知,若选取区域为方形,如  $B_1, B_2, B_3, B_4$  时,当进行旋转变换时区域内信息会随着旋转角度而改变,而选取区域为圆形的  $C_1, C_2, C_3, C_4$  时,旋转不会造成影响。由于图像角点往往在图像中变化较为剧烈的地方,如物体边缘等,但是人们在复制某些物体时,往往只把物体抠出来,而不复制物体背景的地方,这样角点区域的内容会有较大改变,如图 2 所示。

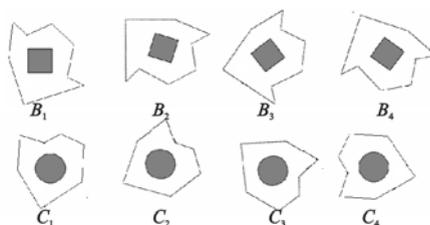


图1 方形区域与圆形区域的旋转对比

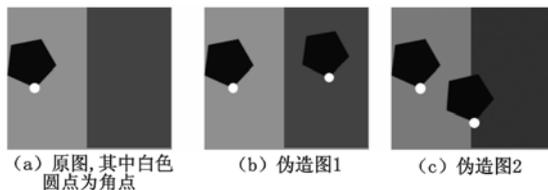


图2 角点区域伪造

如图 2 所示,假定白色的圆形区域为原图像的一个角点,当进行如(b)(c)所示两种伪造时,图像角点区域的内容跟背景而改变。为了解决这种问题,将图像角点八个方向上的圆形区域和中心角点区域  $T, T_1, T_2, T_3, T_4, T_5, T_6, T_7, T_8$  共九个区域作为伪造检测区域,其中总有一部分区域落在真正的被复制的物体上,从而提升了检测正确率,如图 3 所示。

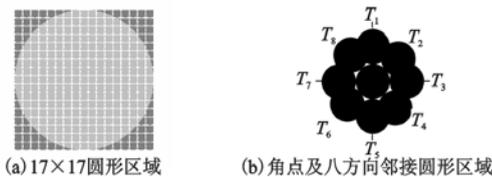


图3 伪造检测区域

### 2.3 区域特征选取

本文将每个检测区域的无量纲、消除误差的 Hu 不变矩作为图像的特征向量。一幅图像  $f(x+y)$  的二维  $(p+q)$  阶矩定义为

$$m_{pq} = \sum_x \sum_y x^p y^q f(x, y) \quad \text{其中 } p, q = 0, 1, 2, \dots \quad (7)$$

相应的中心矩定义为

$$\mu_{pq} = \sum_x \sum_y (x - \bar{x})^p (y - \bar{y})^q f(x, y) \quad (8)$$

定义归一化的中心矩为

$$\eta_{jk} = \frac{\mu_{jk}}{(\mu_{00})^\gamma}, \gamma = \left( \frac{j+k}{2} + 1 \right) \quad (9)$$

利用归一化的中心矩,可以获得对平移、缩放、镜像和旋转都不敏感的七个不变矩:

$$\varphi_1 = \eta_{20} + \eta_{02} \quad (10)$$

$$\varphi_2 = (\eta_{20} - \eta_{02})^2 + 4\eta_{11}^2 \quad (11)$$

$$\varphi_3 = (\eta_{30} - 3\eta_{12})^2 + (3\eta_{21} - \eta_{03})^2 \quad (12)$$

$$\varphi_4 = (\eta_{30} + \eta_{12})^2 + (\eta_{21} + \eta_{03})^2 \quad (13)$$

$$\varphi_5 = (\eta_{30} - 3\eta_{12})(\eta_{30} + \eta_{12})[(\eta_{30} + \eta_{12})^2 - 3(\eta_{21} + \eta_{03})^2] + (3\eta_{21} - \eta_{03})(\eta_{21} + \eta_{03})[3(\eta_{30} + \eta_{12})^2 - (\eta_{21} + \eta_{03})^2] \quad (14)$$

$$\varphi_6 = (\eta_{20} - \eta_{02})[(\eta_{30} + \eta_{12})^2 - (\eta_{21} + \eta_{03})^2] + 4\eta_{11}(\eta_{30} + \eta_{12})(\eta_{21} + \eta_{03}) \quad (15)$$

$$\varphi_7 = (3\eta_{21} - \eta_{03})(\eta_{30} + \eta_{12})[(\eta_{30} + \eta_{12})^2 - 3(\eta_{21} + \eta_{03})^2] + (3\eta_{12} - \eta_{30})(\eta_{21} + \eta_{03})[3(\eta_{30} + \eta_{12})^2 - (\eta_{21} + \eta_{03})^2] \quad (16)$$

无量纲、消除误差的组合不变矩:

$$\begin{aligned} I_1 &= \frac{\varphi_2}{\varphi_1^2} & I_2 &= \frac{\varphi_3}{\varphi_1^3} & I_3 &= \frac{\varphi_4}{\varphi_1^3} \\ I_4 &= \frac{\varphi_5}{\varphi_1^6} & I_5 &= \frac{\varphi_6}{\varphi_1^4} & I_6 &= \frac{\varphi_7}{\varphi_1^6} \end{aligned} \quad (17)$$

2.4 图像块匹配

本文选取待检测圆形区域的直径为  $T_B = 17$ , 对于每个区域计算其 6 个无量纲、消误差的组合不变矩  $I_1, I_2, I_3, I_4, I_5, I_6$ , 对于两个不同的区域  $f_1, f_2$ , 其特征向量表达如下:

$$f_1 = [I_1^1, I_2^1, I_3^1, I_4^1, I_5^1, I_6^1], f_2 = [I_1^2, I_2^2, I_3^2, I_4^2, I_5^2, I_6^2]$$

用欧式距离来表征两个图像区域的相近程度:

$$\text{disk}(f_1, f_2) = \sqrt{\sum_{i=1}^6 (I_i^1 - I_i^2)^2} \quad (18)$$

直接去计算每一块区域和其他区域的特征向量的距离, 算法的复杂度为  $O(n^2)$ , 当相似区域较多时, 算法效率会严重下降, 所以本文采用 k-d 树对待检测区域的特征向量进行排序。k-d 树通过比较每一维特征向量值来选择分枝的方向, 每一个节点表示一个数据。k-d 树可以搜索到与选定节点距离满足小于阈值  $T_D$  的所有节点, 且对于  $n$  个点的近邻搜索, k-d 树的算法效率为  $O(n \log_2 n)$ , 远远高于直接比较。

2.5 图像可信度评价

本文结合 BIQI<sup>[8]</sup> (盲图像质量指标) 和图像伪造程度给出图像可信度评价。BIQI 首先将图像按概率模型分为五类: JPEG、JPEG2000、白噪声、高斯模糊、快衰落。一幅图像属于每类模型的概率记为  $p_i (i = 1, 2, \dots, 5)$ , 五类算法自身的失真程度 (值越小, 失真越小) 记为  $q_i (i = 1, 2, \dots, 5)$ , 盲图像质量指标可表示为

$$\text{BIQI} = \sum_{i=1}^5 p_i \times q_i \quad (19)$$

BIQI 的取值范围是  $[0, 100]$ , 0 表示质量最优, 100 表示质量最差。

设图像大小为  $M \times N$ , 检测到的伪造区域个数为 countR (未检测到伪造区域时, 记 countR 为 1), 则图像伪造程度  $Q_u$  可表示为 ( $Q_u$  越大则图像越真实):

$$Q_u = \log((M \times N) / \text{countR}) \quad (20)$$

结合图像质量指标和伪造程度的图像质量评价可用下式度量:

$$Q = \text{BIQI} / Q_u \quad (21)$$

图像质量得分可由下式计算 (score 越高则图像越可信), 经过近百幅图像统计, 4.7 和 5 是图像质量的重要分割点, 于是得出下式:

$$\text{score} = \begin{cases} 85 + \frac{(4.7 - Q) \times 15}{4.7} & 0 \leq Q < 4.7 \\ 85 - \frac{40}{0.3} (Q - 4.7) & 4.7 \leq Q \leq 5 \\ 45 - (Q - 5) \times 9 & 5 < Q < 10 \\ 0 & Q \geq 11 \end{cases} \quad (22)$$

3 算法步骤

本文中所使用的检测图像大小为  $600 \times 800$  左右, 在进行图像角点计算时, 角点区域孔径为 12。

a) 对于图像  $f$ , 选取检测圆形区域直径  $T_B = 17$ , 计算图像中每个角点的位置  $(f_i, f_j)$  和边缘检测图像  $\hat{f}$ 。

b) 假设共检测到  $S$  个角点区域, 对每个角点区域进行 8 方向的扩展, 得到  $9S$  个检测区域, 计算每个圆形区域的特征向量  $I_1, I_2, I_3, I_4, I_5, I_6$ 。

c) 用得到的  $9S$  个检测区域的特征向量建立一个 6 维的 k-

d 树, 当两个图像检测区域特征向量之间的距离小于  $T_D$  时, 需要对这两块区域进行进一步判定:

假设第一块检测区域的坐标为  $(f_{i1}, f_{j1})$ , 第二块区域的坐标为  $(f_{i2}, f_{j2})$ , 当它们之间的距离满足  $\text{disk}_{12} > T_B$  时, 将被认为是伪造角点区域。

$$\text{disk}_{12} = \max(|f_{i1} - f_{i2}|, |f_{j1} - f_{j2}|) \quad (23)$$

d) 对于满足条件 c) 的每个检测区域, 如果在它半径为  $2T_B$  区域内没有出现其他伪造区域, 则认为其为假伪造区域。

e) 将满足条件 d) 的伪造复制粘贴区域之间画一条直线, 结合边缘检测图像  $\hat{f}$ , 将伪造角点区域的边缘点描出来。

4 实验结果和分析

本次实验的硬件环境为 Intel<sup>®</sup> Core<sup>™</sup> Duo CPU T2250 @ 1.73 GHz, 1.49 GB 内存, 实验图片选取平滑图片和非平滑图片, 针对不规则伪造区域和不同的图像后处理作出检测。所有图片均来自 Internet, 对于大小为  $800 \times 600$  的图像进行检测仅需要十几秒。本文对近 100 幅网络图片进行测试, 经统计得到一般情况下当篡改图像未进行后处理时  $T_D \leq 0.0003$ , 而当篡改图像经过后处理时  $T_D \geq 0.0004$ , 所以在对一幅新图片进行检测时, 可首先选取  $T_D = 0.0003$  和  $T_D = 0.0005$  来测试。在利用 He 等人<sup>[6]</sup> 的方法进行角点检测时, 可设置其默认值为  $[1.6 \ 185 \ 3 \ 0.3 \ 0 \ 1 \ 1]$ 。由于不同的图片内容差异较大, 当对新图片检测时, 可以进行参数调节, 以便获取较好的检测结果 (主要可以对角点检测时的前两个参数和  $T_D$  进行调节)。图 4 为一幅真实图像进行边缘检测、角点检测后的效果图, 未经修改时, 检测不到任何伪造区域。当截取图的右下角的一块区域放到图的左下角时, 检测结果很明显。

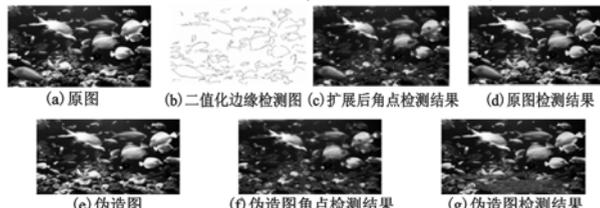


图4 一副真实的海底图像和经过复制粘贴伪造图像的检测效果图

为了验证本算法对光滑和非光滑的图像的检测效果, 选取如图 5 所示的两幅图片进行测试。第一幅为有很多相似巧克力的图片, 其纹理比较复杂; 第二幅为有光滑的蓝色天空和大量白雪的图片。在以往的检测算法中, 对于光滑区域的错分率很高, 本文算法取得了较好的效果。

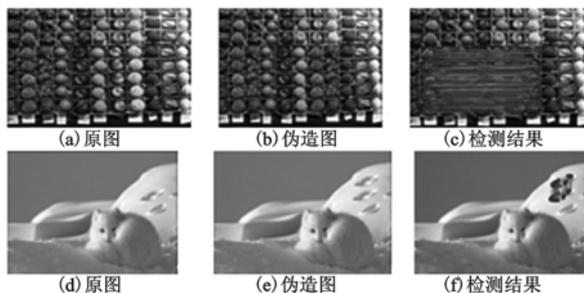


图5 相似区域较多的复杂纹理图像 (巧克力图片) 和平滑图像 (雪中白狐) 的复制粘贴检测结果图

图 6 所示的伪造图片中, 用 Photoshop 常用的几种后处理手段: 模糊、添加杂色、旋转和 JPEG 压缩进行了处理, 当模糊为 7.0、添加杂色为 12、压缩为 50 时仍能检测出图像伪造区

域。而在平时的后处理时模糊、压缩和杂色程度比实验时要低,由此可见本文算法是较为鲁棒的。

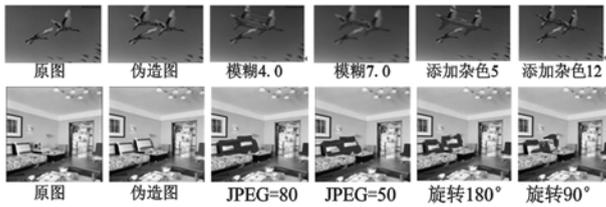


图6 图像复制粘贴且经过后处理的检测结果图,用直线连接伪造区域且伪造区域的边界被加粗

对图 6 中的丹顶鹤一图进行图像可信度质量评价,得到表 1。

表 1 “丹顶鹤”图可信度质量评价表

Table with 5 columns: Index, Original, Forged (unprocessed), Blurred (1.0), Blurred (3.0), etc. It lists quality metrics like BIQI, Qu, and Q for various processing conditions.

复制粘贴操作检测的最大难题是算法效率的问题[7],现在比较流行的两种解决办法就是:a)将图像变换到低维空间,如小波低频空间、DCT 系数矩阵、金字塔分解;b)对每块图像进行降维操作,如 SVD 分解等。但是这些操作破坏了图像的原始信息,造成了检测算法的不鲁棒。本文算法在提取角点区域后没有进行如上操作,而是直接提取 Hu 矩,所以在检测时效果比较好,尤其是对于未后处理的图片,当图中有大量相似区域时,仍能准确定位伪造区域。表 2 为本文方法和几种经典方法的比较(图片大小为 512 × 512)。Liu 所使用的方法是 2009 年 12 月提出的,其检测图像块的数目已经明显减少,但仍是本文所使用方法的几十甚至几百倍。

表 2 本文方法和经典方法的时间复杂度对比

Table comparing methods: Popescu and Farid (PCA, 255 025 blocks, 32 dimensions), Fridrich et al. (DCT, 255 025 blocks, 64 dimensions), Luo et al. (domain, 247 009 blocks, 5 dimensions), Liu (low frequency, 59 049 blocks, 4 dimensions), and the proposed method (corner points, 400-5 000 blocks, 6 dimensions).

图 7 中,横坐标 1,2,3,⋯,10 表示十幅图片,对于每幅图片分别度量其真实和经过伪造的质量因子(共十五个)。图 8 是对图 7 所示的十幅真实图片及其对应伪造图像进行质量评估的质量得分。

5 结束语

复制粘贴是图像篡改的基本操作之一,所以本文运用了角点提取的方法来定位复制-粘贴检测区域,对于以往的检测算法效率低和当图像中存在平滑区域(如湖泊、天空等)时错检率高的问题进行了很大的改善,但是本文算法也有一定的不

足,对于图片中出现仿射变化时仍没有较好的检测效果,这也是近年来图像复制粘贴检测算法的一个通病,希望在今后的工作中有进一步改善。由于使用角点来定位检测区域,当伪造区域特别小时,本文算法可能会出现漏检情况,但是由于人们在伪造图像时往往会复制粘贴一个物体或一整块区域,所以在实际应用过程中效果较好。

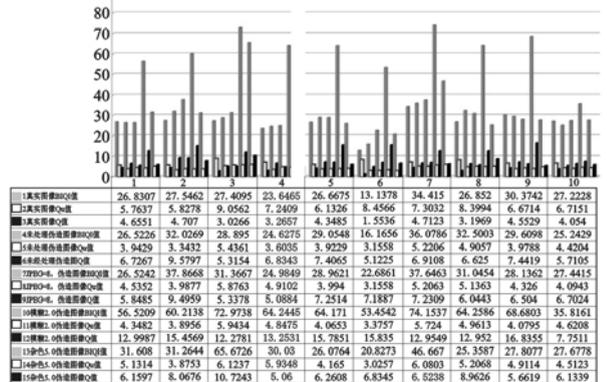


图 7 选取十幅来自 Internet 的真实图像进行复制粘贴和后处理伪造的图像质量评估图

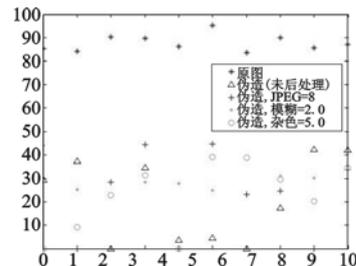


图 8 对图 7 所示的十幅真实图片及其对应伪造图像进行质量评估的质量得分

参考文献:

List of 9 references: [1] SEVINC B, HUSREY T S, NASIR M. An efficient and robust method for detecting copy-move forgery [C]//Proc of IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing. Washington DC: IEEE Computer Society, 2009:1053-1056. [2] ZHANG Ting, WANG Rang-ding. Copy-move forgery detection based on SVD in digital image [C]//Proc of CISP. 2009:1-5. [3] 王俊文, 刘光杰, 张湛, 等. 图像区域复制篡改快速鲁棒取证 [J]. 自动化学报, 2009, 35 (12): 1488-1495. [4] LIU Guang-jie, WANG Jun-wen, LIAN Shi-guo, et al. A passive image authentication scheme for detecting region-duplication forgery with rotation [J]. Journal of Network and Computer Applications, 2011, 34 (5): 1557-1565. [5] FRIDRICH J, SOUKAL D, LUKAS J. Detection of copy move forgery in digital images [R]. 2003. [6] HE X C, YUNG N H C. Curvature scale space corner detector with adaptive threshold and dynamic region of support [C]//Proc of the 17th International Conference on Pattern Recognition. Washington DC: IEEE Computer Society, 2004:791-794. [7] CHRISTLEIN V, RIESS C, ANGELO-POULOU E. A study on features for the detection of copy-move forgeries [M]//GI Sicherheit. Heidelberg: Springer, 2010:105-116. [8] MOORTHY A K, BOVIK A C. A two-step framework for constructing blind image quality indices [C]//Proc of ICASSP. 2010:513-516. [9] MOKHTARIAN F, MACKWORTH A K. A theory of multiscale, curvature-based shape representation for planar curves [J]. IEEE Trans on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 1992, 14 (8): 789-805.