

Journal of Image  
and Graphics

# 中国图象图形学报



ISSN1006-8961  
CN11-3758/TB

2012 **11**  
Vol.17 No.

中国科学院遥感应用研究所  
中国图象图形学学会主办  
北京应用物理与计算数学研究所

# 中国图象图形学报

Zhongguo Tuxiang Tuxing Xuebao

2012年11月 第17卷 第11期(总第199期)

## 目次

### 综述

数字图像合成技术综述 ..... 吴昊, 徐丹(1333)

### 图像处理和编码

基于群稀疏的结构化字典学习 ..... 郭景峰, 李贤(1347)

SSIM 度量虚拟视点绘制失真的深度图帧内编码 ..... 喻莉, 张军涛, 邓慧萍, 向森, 周鹏, 左雯, 王宁(1353)

统计量移位的鲁棒无损图像信息隐藏 ..... 李晓博, 周诠(1359)

伪造图像典型篡改操作的检测 ..... 左菊仙, 刘本永(1367)

### 图像分析和识别

融合灰度和 SURF 特征的红外目标跟踪 ..... 范新南, 丁朋华, 刘俊定, 张学武(1376)

海面温度栅格图的锋面提取与矢量化 ..... 崔雪森, 周为峰, 王栋, 张胜茂(1384)

交通场景中车辆的运动检测与阴影消除 ..... 王彬, 冯远静, 郭海峰, 张贵军(1391)

基于随机点积图的图像标注改善算法 ..... 孙登第, 罗斌, 郭玉堂(1400)

### 图像理解和计算机视觉

有监督子空间建模和稀疏表示的场景分类 ..... 段菲, 章毓晋(1409)

对立色 LBP 模型的目标跟踪 ..... 张炯, 宁纪锋, 颜永丰, 于伟(1418)

## 计算机图形学

联合骨架与边界特征的平面形状分解…………… 蒋建国, 周丹凤, 郝世杰, 郭艳蓉, 詹曙(1425)

屏幕空间自适应的地形 Tessellation 绘制…………… 张兵强, 张立民, 艾祖亮, 张建廷(1431)

## 遥感图像处理

SAR 图像稀疏优化滤波…………… 杨萌, 张弓(1439)

分段线性动态矩匹配条带去除…………… 秦雁, 邓孺孺, 何颖清, 陈蕾, 陈启东(1444)

基于 Harris 角点和 SIFT 描述符的高分辨率遥感影像匹配算法…………… 陈梦婷, 闫冬梅, 王刚(1453)

---

第八届图像图形技术与应用学术会议征文通知…………… (1460)

## 中国图象图形学报

刊名题字: 宋 健

月刊(1996 年创刊)

第 17 卷 第 11 期

2012 年 11 月 16 日出版

主管单位 中国科学院

主 办 中国科学院遥感应用研究所  
中国图象图形学学会  
北京应用物理与计算数学研究所

主 编 李小文

编辑出版 《中国图象图形学报》编辑出版委员会

北京 9718 信箱 邮编 100101  
电子信箱:jig@irsa.ac.cn  
电话:010-64807995 010-82614429  
网 址:www.cjig.cn

印刷装订 北京北林印刷厂

广告经营许可证 京朝工商广字第 0346 号

总 发 行 北京报刊发行局

订 购 全国各地邮局

国外发行 中国国际图书贸易总公司  
(中国国际书店)  
(北京 399 信箱 邮编 100044)

Superintended by Chinese Academy of Sciences

Sponsored by Institute of Remote Sensing Application,  
CAS China Society of Image and Graphics  
Institute of Applied Physics and Computational  
Mathematics

Chief editor LI Xiaowen

Editor, Publisher Editorial and Publishing Board  
of Journal of Image and Graphics  
(P. O. Box 9718, Beijing 100101, China)  
E-mail:jig@irsa.ac.cn

Distributed by Beijing Bureau for Distribution of Newspapers  
and Journals

Domestic All Local Post Offices in China

Foreign China International Book Trading Corporation  
(P. O. Box 399, Beijing 100044, China)

Printed by Beijing Beilin Printing House

ISSN 1006-8961 CN11-3758/TB CODE ZTTXFZ 国内邮发代号: 82-831 国外发行代号: M1406 国内定价: 45.00 元

中图分类号: TN911.73 文献标识码: A 文章编号: 1006-8961(2012)11-1367-09

论文引用格式: 左菊仙, 刘本永. 伪造图像典型篡改操作的检测[J]. 中国图象图形学报, 2012, 17(11): 1367-1375.

## 伪造图像典型篡改操作的检测

左菊仙<sup>1),2)</sup>, 刘本永<sup>1),2)</sup>

1. 贵州大学计算机科学与信息学院, 贵阳 550025; 2. 贵州大学智能信息处理研究所, 贵阳 550025

**摘要:** 在图像篡改中常使用几何变换、JPEG (Joint Photographic Experts Group) 压缩以及模糊操作, 其特性是图像伪作检测的依据。首先定义兼顾重采样和 JPEG 压缩特性的块度量因子, 将待测图像重叠分块计算块度量因子, 利用其值的不一致性来检测定位篡改区域。实验结果表明, 与现有针对性单一的检测方法相比, 该方法可以检测更多篡改组合模式下的篡改操作并能有效定位出篡改区域, 且对于有损 JPEG 压缩具有较好的鲁棒性。其次, 提出一种检测模糊痕迹的方法。利用一定的模糊核对待测图像进行再次模糊, 计算模糊前后两图像的像素差值, 根据差值图像值的不同分类完成模糊篡改区域的定位。实验结果表明, 该方法能实现对不同模糊方式的盲检测, 且对 JPEG 压缩的抵抗能力较好, 同时与现有基于分块检测的方法相比, 大大降低了计算复杂度且能检测出较细小的模糊痕迹。

**关键词:** 伪造图像; 重采样; JPEG 压缩; 模糊操作; 伪作检测

### Detection for typical tampering operations in a forged image

Zuo Juxian<sup>1),2)</sup>, Liu Benyong<sup>1),2)</sup>

1. College of Computer Science and Information, Guizhou University, Guiyang, 550025, China;

2. Institute of Intelligent Information Processing, Guizhou University, Guiyang, 550025, China

**Abstract:** In image forging, geometric transformations, JPEG compression, and blurring are typical operations. In this manuscript, algorithms for detection of the typical operations in a forged image are proposed based on operational characteristics. First, a possibly composite image is divided into overlapping blocks, and a block measure factor is defined and adopted to describe both re-sampling and JPEG compression characteristics for each block, followed by detection of tampered regions. Experimental results show that compared with the existing single targeted detection methods, the proposed algorithm can recognize forged images under more combinations of tampering modes and the tampered regions are located more effectively. Furthermore, the proposed method performs well even when the JPEG quality factor is small. Second, an approach is proposed to detect blurring traces. The image is blurred again with an appropriate blurring kernel and the difference of image pixels are estimated before and after double blurring. The tampered regions may be detected through the classification of the values in the difference image. Simulation results show that the algorithm is effective for blurring detection with various blurring operations and it also robust against lossy JPEG compression. Comparing with the existing block-based methods, the proposed method can reduce the computational complexity greatly by avoiding the point-by-point block calculation, and can detect small fuzzy traces.

**Key words:** forged image; re-sampling; JPEG compression; blur operation; tampering detection

收稿日期: 2011-12-23; 修回日期: 2012-05-07

基金项目: 科技部国际合作项目 (2009DFR10530); 国家自然科学基金项目 (60862003); 教育部高等学校博士点基金项目 (20095201110002); 贵州省工业科技攻关项目 (黔科合 GY 字 (2010) 3054 号); 贵州大学研究生创新基金项目 (2011038)

第一作者简介: 左菊仙 (1985—), 女, 贵州大学计算机应用技术专业在读硕士研究生, 研究方向为数字图像篡改盲取证技术。

E-mail: zjx2727@yahoo.com.cn

## 0 引言

数码相机和图像编辑软件的日益普及使得数字图像的恶意篡改越来越多,伪造图像大量地充斥互联网和各类媒体,严重地影响了人们的日常生活。而且,伪造图像如果被大量地用于正式媒体、科学发现、保险和法庭证物等,无疑将会对政治和社会稳定产生严重的影响。所以,图像篡改技术为公安侦破和司法取证实战应用带来了新的挑战,鉴别和检测伪造图像的盲取证技术也因此成为当前研究的热点<sup>[1]</sup>。

篡改者通常会对篡改区域进行放大、缩小或者旋转等几何变化,这样的步骤常需要运用插值/抽取技术对图像进行重采样使其位于一个新的采样网格中,所以检测图像重采样技术是图像伪作检测的有效途径之一。现存重采样检测方法大致可以分为两类,一类是通过检测插值/抽取信号的二阶导数是否存在一定周期性来进行重采样的检测<sup>[2-3]</sup>;而另一类是基于分析插值/抽取步骤所引起的像素之间相关性的变化<sup>[4]</sup>。这些算法都存在着同样的问题,即易受有损压缩影响。因为有损压缩将会导致像素相关性发生变化,使得重采样引起的周期性难于检测。

JPEG 是目前主流的图像压缩标准,检测 JPEG 压缩图像的真伪具有重要的实用价值。文献<sup>[5]</sup>通过比较  $8 \times 8$  不重叠分块的块内差和块间差的直方图,判定非压缩的位图文件是否由 JPEG 文件转换而来。若图像经过了第 2 次 JPEG 压缩,其 DCT (discrete cosine transformation) 系数的直方图会产生周期性模式,He 等人<sup>[6]</sup>根据此特征有效地检测了合成 JPEG 图像并能够确定篡改区域。Farid<sup>[7]</sup>将待检测的 JPEG 合成图像以不同的质量因子重新压缩,比较其与待检测图像的差别从而确定篡改区域。文献<sup>[8-9]</sup>则利用图像拼接合成过程中存在的质量因子和分块位置不一致性的特征作为检测的证据。然而文献<sup>[6]</sup>的方法只针对造假源是 JPEG 格式的图像,没有考虑非压缩图像;当伪造图像以一个低于原始图像的质量因子另保存时,文献<sup>[7-9]</sup>中的算法检测错误率增大甚至检测失效。

此外,为了消除图像合成边缘的明显痕迹,掩盖篡改真相,常会对其进行模糊操作。因此检测模糊操作痕迹可以为图像篡改检测提供有力的凭据。Hsiao 在文献<sup>[10]</sup>中介绍了局部模糊检测算法;周

琳娜等人在文献<sup>[11]</sup>中利用数学形态学方法进行模糊处理检测。实验证明以上算法可以检测图像中的模糊操作,但在压缩情况下误检率较高。近年有学者提出了二次模糊相关性的置换图像盲分离方法<sup>[12]</sup>,该方法具有一定的抗 JPEG 压缩能力,但需要逐点分块计算,计算复杂度较高且耗时较长。

受重采样和 JPEG 压缩检测方法的启发,本文基于重采样和压缩特性定义并提取块度量因子,利用块度量因子的不一致性来区分出篡改区域与非篡改区域。该方法可以检测出多种篡改组合模式,并能有效自动定位篡改区域,且对 JPEG 压缩具有一定的鲁棒性。同时基于上述模糊痕迹检测方法的不足,提供一种人工模糊痕迹的检测方法。该方法是基于二次模糊前后图像像素差值的大小来进行判断的,算法简单有效,与基于分块的检测方法相比,能将图像景物边缘被模糊的微小痕迹检测出来,同时抗 JPEG 压缩能力较好。

## 1 伪造图像的篡改模式

图 1 给出了图像篡改示意图,其步骤通常如下:

- 1) 选用原始图像  $B$  作为背景,该图像可能是非压缩格式或者压缩格式,如是 JPEG 格式则设压缩因子为  $q_1$ ;
- 2) 从图像  $A$  中裁剪区域  $Q$ ,并将其复制粘贴放置在背景合适的位置上,同时对其进行相应的缩放或旋转等几何变化操作;
- 3) 对篡改区域的边缘进行模糊处理,使合成伪造图像具有更好的视觉真实性;
- 4) 对合成图像  $F$  进行重新保存,可保存为非压缩格式或 JPEG 格式,如是 JPEG 格式设其压缩因子为  $q_2$ 。

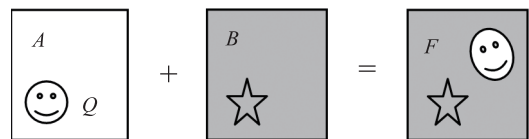


图 1 图像篡改的示意图

Fig. 1 An example of image tampering

由此可见,图像篡改中常会伴随重采样操作;此外,从压缩历史不一致进行组合分类,一共有 8 种组合,如表 1 所示;最后,为了视觉上的一致,常需进行模糊操作。因此重采样痕迹、压缩效应以及模糊痕迹可作为图像伪作检测的依据。

表 1 8 种组合情况

Table 1 8 type of operation combinations

组合	图像 B	图像 A	合成图像 F
C1	B1	A1	F1
C2	B1	A1	F2
C3	B1	A2	F1
C4	B1	A2	F2
C5	B2	A1	F1
C6	B2	A1	F2
C7	B2	A2	F1
C8	B2	A2	F2

注: B1 表示图像 B 是质量因子为  $q_1$  的压缩图像; B2 表示图像 B 是非压缩格式的图像; A1 表示图像 A 是压缩格式的图像; A2 表示图像 A 是非压缩格式的图像; F1 表示图像 F 是质量因子为  $q_2$  的压缩图像; F2 表示图像 F 是非压缩格式的图像。

## 2 重采样和 JPEG 压缩的检测

### 2.1 重采样的块度量因子提取

文献[2]发现并证明了重采样信号的二阶差分的统计方差具有周期性。在此基础上定义提取出可以描述重采样特性的块度量因子,并利用该度量因子作为自动识别伪造图像的依据。

设待测图像  $I(i, j)$  大小为  $M \times N$ , 可以从水平和垂直方向分别提取块度量因子。以前者为例, 首先计算得到二阶差分图像  $E(m, n)$ , 即

$$E(m, n) = 2I(m, n) - I(m, n + 1) - I(m, n - 1) \quad (1)$$

式中,  $m \in [1, M], n \in [1, N - 1]$ 。

计算  $E(m, n)$  每行的 DFT (discrete fourier transformation), 然后将频谱图沿着垂直方向取平均 (DA) 得到 1 维的平均频谱图

$$E_{DA}(\omega) = \frac{1}{M} \sum_{m=1}^M |F[E(m, n)]| \quad (2)$$

式中,  $F$  代表离散傅里叶变换,  $\omega$  是归一化的频率。

图 2 显示了原始非压缩图像及其相应 3 幅插值图像的平均频谱图  $E_{DA}$ 。可以看到, 原始图像的频谱曲线较平滑, 而插值图像的频谱曲线中出现一个或多个的峰值点。

为能利用重采样特性进行自动检测, 本文在频谱图  $E_{DA}$  中进一步定义块度量因子为

$$\alpha = \left| \ln \left( \frac{\sum (E_{DA}(\omega) + \varepsilon)}{\sum \ln(E_{DA}(\omega) + \varepsilon)} \right) \right|^2, \omega \in \left[ \frac{1}{4}, \frac{1}{2} \right] \quad (3)$$

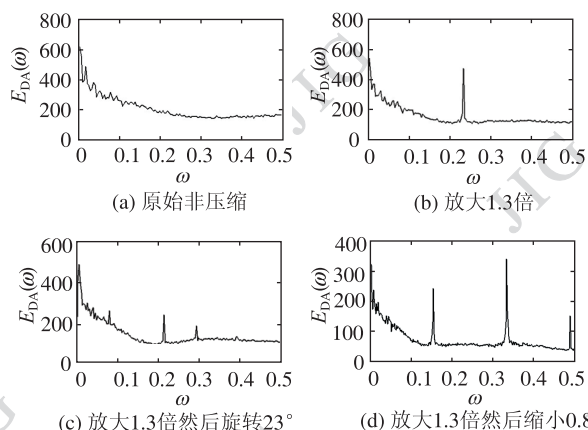


图 2 6 种不同图像的频谱图

Fig. 2  $E_{DA}$  of an uncompressed original image

式中,  $\varepsilon$  是不为 0 的极小量。由于频谱的对称性, 只需考虑归一化频率 1/2 之前的频谱即可。

表 2 所示为图 2 中 4 幅图像的  $\alpha$  值, 可以看到原始图像的  $\alpha$  值大于重采样图像的值。即可利用块度量因子  $\alpha$  将原始区域与重采样区域进行区分。

表 2 4 种图像的  $\alpha$  值

Table 2 Values of  $\alpha$  for four images

	图 2(a)	图 2(b)	图 2(c)	图 2(d)
$\alpha$	14.688	10.732	8.651	8.3895

上述块度量因子不仅能定量区分出原始与重采样图像, 且对 JPEG 压缩具有一定抵抗能力。对图 2 中的 4 种图像分别进行质量因子  $q = 50, 60, 70, 80, 90$  以及 100 的压缩, 其相应的  $\alpha$  值如图 3 所示。可以看到, 即使在较低质量因子压缩的情况下, 上述块度量因子仍能有效区分两种图像。

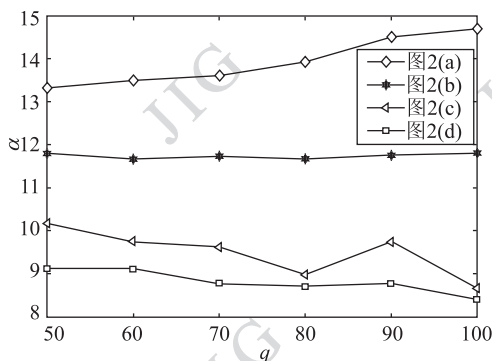


图 3 不同 JPEG 压缩质量因子下的  $\alpha$  值

Fig. 3 Variation of  $\alpha$  with JPEG quality factor  $q$

### 2.2 JPEG 压缩的块度量因子提取

JPEG 压缩首先是将图像分成  $8 \times 8$  的块并进行 DCT 变换, 然后进行量化表量化, 最后对 DCT 系数编码。由于此分块操作导致块效应, 因此可以定义定量描述该特性的块度量因子, 步骤如下:

1) 将待检测图像  $I(x, y)$  进行如式(4)的运算, 得到一幅差值图像  $D(x, y)$ 。

$$D(i, j) = I(i, j) - I(i, j+1) - I(i+1, j) + I(i+1, j+1) \quad (4)$$

2) 将  $D(x, y)$  分成  $8 \times 8$  不重叠的块  $K_1, K_2, \dots, K_n, n = (M/8) \times (N/8)$ ,  $M$  和  $N$  分别是  $D(x, y)$  的行和列数。然后计算块效应矩阵

$$BAM(i, j) = \frac{1}{n} \sum_{c=1}^n |K_c(i, j)|, 1 \leq i, j \leq 8 \quad (5)$$

式中,  $BAM(i, j)$  是一个  $8 \times 8$  的块效应矩阵, 将其拉成一维向量, 即得到块效应曲线  $BAL$ 。对块效应曲线  $BAL$  进行 DFT 变换, 记其归一化其频谱为  $P(\omega)$ 。

图 4 显示了未压缩图像和一次压缩图像的频谱。可见压缩图像将在频谱  $P$  的  $1/8, 1/4, 3/8, 1/2, 5/8, 3/4$  及  $7/8$  频率处出现峰值。而对于非压缩图像, 频谱较为平坦。

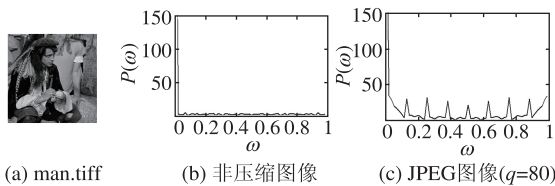


图 4 非压缩图像与 JPEG 图像的频谱  $P(\omega)$

Fig. 4 Values of  $P(\omega)$  for uncompressed image and JPEG compressed one with  $q = 80$

3) 定义 JPEG 压缩的块度量因子

$$\beta = \log\left(P\left(\frac{1}{8}\right) \times P\left(\frac{2}{8}\right) \times P\left(\frac{3}{8}\right) + \varepsilon\right) - \log(P(0) + \varepsilon) \quad (6)$$

因为频谱关于 0.5 对称, 所以  $\varepsilon$  只取  $1/8, 2/8$  和  $3/8$  处频谱值。

伪造图像可能存在不同的压缩和重采样的组合操作区域。设计如下 9 种不同篡改过程并应用于图 4(a), 得到 9 幅图像, 并计算其相应的块效应曲线。

- T1: 原始未压缩;
- T2: 一次压缩  $q_1 = 80$ ;
- T3: 二次压缩  $q_1 = 80, q_2 = 85$ ;

- T4: 一次压缩后 ( $q_1 = 80$ ) 再被放大 1.3 倍;
- T5: 一次压缩后 ( $q_1 = 80$ ) 再被缩小 0.8 倍;
- T6: 一次压缩后 ( $q_1 = 80$ ) 再被旋转  $23^\circ$ ;
- T7: 经历 T4 的操作后再次压缩  $q_3 = 90$ ;
- T8: 经历 T5 的操作后再次压缩  $q_3 = 90$ ;
- T9: 经历 T6 的操作后再次压缩  $q_3 = 90$ 。

图 5 显示了该 9 幅图像的块效应曲线, 可以看到压缩图像未经过重采样时, 其峰值较大, 且二次压缩大于一次压缩; 而图像若经过重采样后, 其峰值将变得不明显甚至消失。提取的块度量因子  $\beta$  值能定量描述上述关系, 如表 3 所示。即  $\beta$  可以较好地体现图像的压缩历史痕迹同时能区分出不同的压缩强度。

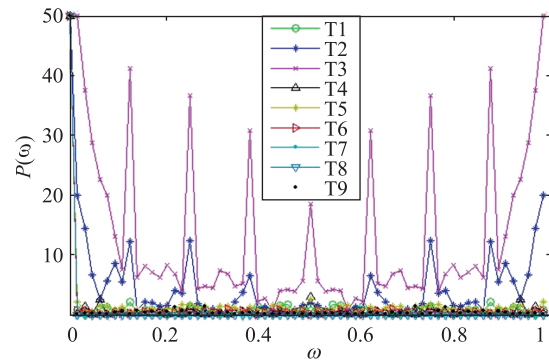


图 5 T1 ~ T9 图像的频谱  $P(\omega)$

Fig. 5 Values of  $P(\omega)$  for T1 ~ T9 images

表 3 9 种图像的  $\beta$  值

Table 3 Values of  $\beta$  for 9 images

	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9
$\beta$	-5.65	0.53	4.72	-7.46	-6.10	-8.45	0	0	-8.98

### 2.3 伪造图像检测及篡改区域定位

本文提出的两种块度量因子  $\alpha$  和  $\beta$  可作为篡改区域与原始区域区分的依据。为了增强两区域间的差异程度, 且兼顾压缩与非压缩混合情况下检测依然有效, 将上述两种度量因子结合作为检测方法的块度量因子  $R$ , 即

$$R = (\alpha + \beta) / 2 \quad (7)$$

#### 2.3.1 对待测图像进行分块

设待测图像  $I(m, n)$  大小为  $M \times N$ , 将其划分成  $b \times b$  相互重叠的图像块, 对于相邻图像块的水平或垂直方向相差  $a$  个像素点, 则待测图像可被分  $S = [(M-b)/a + 1] \times [(N-b)/a + 1]$  个图像块  $B_i$  (其中  $i = 1, 2, \dots, S$ )。

2.3.2 估计图像块的度量因子  $R$

计算每个图像块的块度量因子  $R_i$ ,得到块测度图像  $M(x, y)$ ,  $M(x, y)$  中每个  $(x, y)$  像素对应  $I(m, n)$  中  $b \times b$  图像块。

假设图像的篡改区域为  $U_T$ ,原始区域为  $U_A$ ,同时令  $R_{i_1} \in U_T (i_1 = 1, 2, \dots, S_1), R_{i_2} \in U_A (i_2 = 1, 2, \dots, S_2)$ ,其中  $S = S_1 + S_2$ 。那么可知

$$R_{i_1} < R_{i_2}, S_1 < S_2 \quad (8)$$

即对于伪造图像,其  $S$  个块度量值中,大部分值较大,而出现小部分的小值。

图 6 是 JPEG 图像篡改伪造的实例,其  $M(x, y)$  的直方图如图 7 所示。实验数据表明原始图像的  $R$  值较大且分布较集中,而伪造图像的  $R$  很明显被划分为两个部分。显然较小值对应于篡改区域,较大值对应于原始区域。

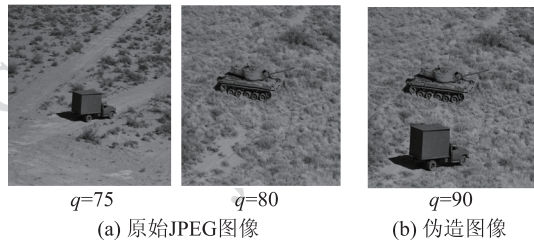


图 6 原始图像和篡改合成 JPEG 格式图像  
Fig. 6 Two original images and composite version by saving in JPEG format

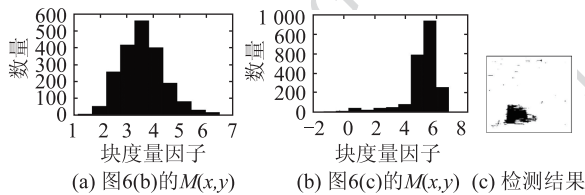


图 7  $M(x, y)$  直方图  
Fig. 7 Histogram of  $M(x, y)$

2.3.3 自动检测伪造图像

采用迭代的阈值分割算法将  $M(x, y)$  分为两部分,根据两部分均值的差值来进行判断。迭代的阈值分割步骤如下:

- 1) 求出  $M(x, y)$  中的最大值和最小值,分别记为  $r_{\max}$  和  $r_{\min}$ ,令初始阈值  $T_K = (r_{\max} + r_{\min})/2$ ;
- 2) 根据阈值  $T_K$  将  $M(x, y)$  分割为两个区域  $Z_1$  和  $Z_2$ ;
- 3) 分别求出两个区域  $Z_1$  和  $Z_2$  的平均值  $\mu_1$  和  $\mu_2$ ,求出新阈值  $T_{K+1} = (\mu_1 + \mu_2)/2$ ;

4) 若  $|T_{K+1} - T_K| < g$ ,则所得即为阈值  $T_{K+1}$ ;否则  $T_K = T_{K+1}$ ,然后转步骤 2)继续迭代计算。其中  $g$  为预先设置的参数。

用阈值  $T_{K+1}$ 分割  $M(x, y)$  得到两个区域的均值  $\mu_1$  和  $\mu_2$ ,定义判决值  $T_h = |\mu_1 - \mu_2|$ 。当  $T_h > \lambda$ ,则判定其为伪造图像,否则判定其为正常图像(实验中  $\lambda = 1.39$ )。实验选用 50 幅压缩格式与非压缩格式的原始图像,分别计算它们的判决值  $T_h$ ,取其平均值作为  $\lambda$  的值。

2.3.4 定位篡改区域

将块测度图像  $M(x, y)$  进行处理,得

$$M'(x, y) = M(x, y) - \frac{h}{S} \sum_x \sum_y M(x, y) \quad (9)$$

式中,  $h$  是一个预设参数,在  $(0 \sim 1)$ ,  $M'(x, y)$  是检测的结果。图 7(c) 是对图 6(c) 的检测结果,实验中  $h = 0.5$ 。实验结果显示该方法能够较好地定位篡改区域。

2.4 实验结果与分析

为验证本文提出算法对 JPEG 压缩的鲁棒性,按照表 1 列出的 4 种组合模式 C1 ~ C4 进行伪造操作,篡改工具选用 Photoshop。如图 8 所示,其中图 8(a) (b) (c) 是原始图像,分别从其他两幅原始图像中裁剪复制出部分区域粘贴于背景区域图 8(c) 中,并适当进行几何调整,得到伪造图像如图 8(d) 所示。将其重新保存为 BMP 格式及压缩质量因子  $q_2$  分别为 80、60 和 50 的 JPEG 格式。采用本文算法分别对这 4 幅图像进行检测,结果如图 9 所示。可以看到,非压缩格式的伪造成图像检测效果较好;而对于压缩格式,随着  $q_2$  的减小检测能力相应降低,但不影响检测结果。

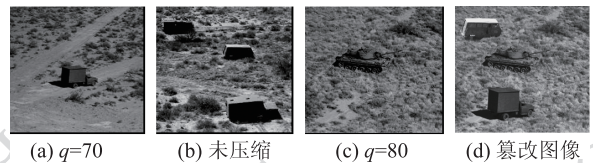


图 8 原始图像(a)(b)(c)以及篡改图像(d)  
Fig. 8 Original images (a) (b) (c) and, tampered version (d)

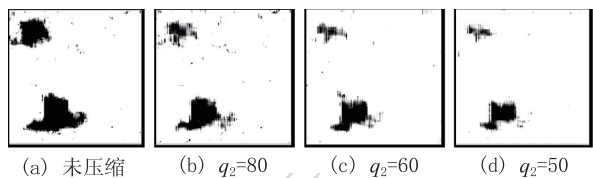


图 9 对图 8(d) 的不同压缩版本检测结果  
Fig. 9 Detection results for different compressed versions of tampered image in Fig. 8(d)

文献[7-9]的检测结果如图 10 所示,即对于非压缩格式,其检测能力与本文一致。而对于有损压缩图像,随着压缩因子  $q_2$  的减小文献[7-9]的检测能力逐渐降低,且在压缩因子减小至 70 时检测均失效。这是因为文献[7-9]是根据压缩历史痕迹不一致来进行检测,当以一个更低的质量因子压缩伪造图像时,篡改区域原来的压缩痕迹将被破坏,以至检测失效。而本文方法提取的块度量因子兼顾了重采样和 JPEG 压缩效应,即使 JPEG 压缩痕迹被破坏,仍然可以依据重采样痕迹进行检测。

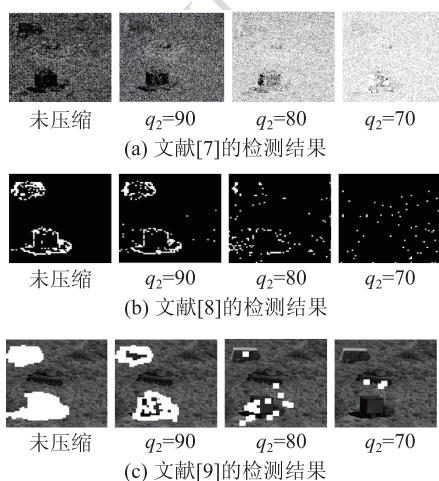


图 10 文献[7-9]对图 8(d)的不同压缩版本检测结果  
Fig. 10 Detection results for different compressed versions of tampered image in Fig. 8 in reference [7-9]

为说明算法对多种篡改组合模型的有效性,再按照表 1 列出的组合模式 C5 ~ C8 进行伪造操作。如图 11 所示,以图 11(c)为背景图像,然后分别从其他两幅原始图像中复制出狮子和指示牌区域粘贴于背景区域中,并适当进行几何调整,伪造图像如图 11(d)所示。将其重新保存为 BMP 格式及质量因子  $q_2$  为 80、60 和 50 的 JPEG 格式,检测结果如图 12 所示。文献[7]的检测结果如图 13 所示,该方法只能将狮子部分检测出来,而指示牌部分无法被检测出来。原因是指示牌部分与背景图像均为非压缩格式,不存在质量因子不一致,故在此种篡改模式下检测失效。而文献[8-9]的检测方法没有考虑造假源来自非压缩图像的情况,故在本组篡改模式下无法进行检测。表 4 显示了本文方法与文献[7-9]方法检测性能对比,可见本文方法检测范围更广。

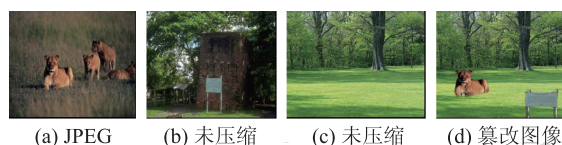


图 11 原始图像(a) (b) (c)以及篡改图像(d)  
Fig. 11 Original images (a) (b) (c) and, tampered version (d)

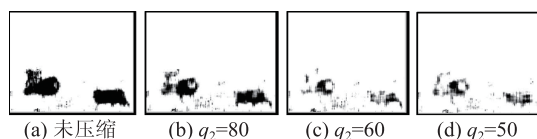


图 12 对图 11(d)的不同压缩版本检测结果  
Fig. 12 Detection results for different compressed versions of tampered image in Fig. 11 (d)

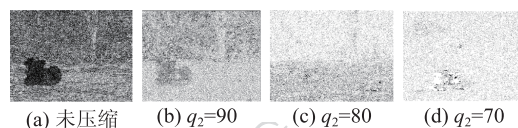


图 13 文献 7 对图 11(d)的不同压缩版本检测结果  
Fig. 13 Detection results for different compressed versions of tampered image in Fig. 11 in reference [7]

表 4 检测性能对比

Table 4 Detection Capability

组合情况		文献[7-9]	本文方法
C1	$q_2 > q_1$	√	√
	$q_2 < q_1$	-	√
C2		√	√
C3	$q_2 > q_1$	√	√
	$q_2 < q_1$	-	√
C4		√	√
C5		-	√
C6		-	√
C7		-	√
C8		-	√

注: '√' 代表有效, '-' 代表失效

为验证算法在实用性,从网站 (<http://www.tianya.cn/publicforum/content/no04/1/661309.shtml>) 下载了一幅伪造图片,其中士兵人脸部分是被篡改伪造的。如图 14(a)所示。检测结果如图 14(b)所示,可以正确检测定位出篡改伪造区域。即本文方法具有一定实际应用价值。

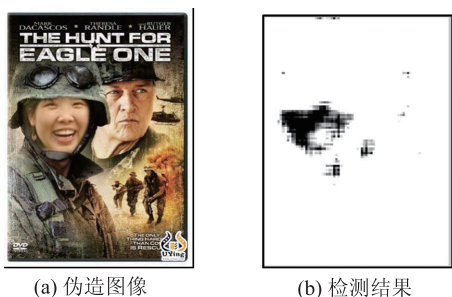


图 14 网上下载的伪造图像的检测结果

Fig. 14 Detection result for tampered image downloaded from web

### 3 人工模糊痕迹检测

#### 3.1 模糊痕迹检测方法

以上提出的伪造图像检测方法是基于重采样和 JPEG 压缩痕迹的检测,下面介绍人工模糊痕迹的检测方法。

假设  $s(x, y)$  为原始图像,  $h(x, y)$  为模糊函数, 则模糊图像可表示为

$$y(x, y) = s(x, y) * h(x, y) \quad (10)$$

然后选用另一个模糊函数  $r(x, y)$  分别对原始图像  $s(x, y)$  和模糊图像  $y(x, y)$  进行全局模糊, 表示为

$$rs(x, y) = s(x, y) * r(x, y) \quad (11)$$

$$ry(x, y) = y(x, y) * r(x, y) \quad (12)$$

Farid 在文献[7]中提出一次 JPEG 压缩图像如再经过相同质量因子的二次压缩, 则一次压缩图像与二次压缩图像的像素差值最小。考虑到 JPEG 压缩可以近似看做对图像进行了低通滤波, 而模糊即是对图像进行了低通滤波。将文献[7]的思想进一步应用于模糊检测, 即再次模糊前后模糊区域的失真应小于非模糊区域, 表示为

$$|ry(x, y) - y(x, y)| < |rs(x, y) - s(x, y)| \quad (13)$$

利用此特性作为检测的依据, 步骤如下:

1) 设待测图像为  $I(x, y)$ , 选用模糊函数与待测图像进行卷积运算, 得到一幅全局模糊图像

$$G(x, y) = I(x, y) * r(x, y) \quad (14)$$

式中,  $r(x, y)$  是  $3 \times 3$ , 标准方差为 1 的高斯模糊函数。

2) 将模糊图像  $G(x, y)$  与待测图像  $I(x, y)$  按像素对应坐标位置进行相减运算, 然后取其绝对值

得到差值图像

$$D(x, y) = |G(x, y) - I(x, y)| \quad (15)$$

依据再次模糊前后模糊区域的失真应小于非模糊区域这一特性可以推测, 如果待检测图像中存在模糊篡改区域, 则差值图像中该模糊处的值应小于非篡改区域, 依据差值图像值的不同分类即可将模糊篡改区域检测出来。为了说明问题, 选用一幅原始图像, 对其抠选出一块矩形区域, 然后使用 Photoshop 软件对该区域进行不同的模糊操作, 如表 5 所示。

表 5 不同模糊操作及参数设置

Table 5 Different blur operations and parameter setting

模糊方式	模糊距离/像素
(a1) 动感模糊	10
(a2) 形状模糊(水平方向)	10
(a3) 径向模糊(旋转方式)	10
(a4) 方框模糊	5
(a5) 镜头模糊	10
(a6) 高斯模糊	4

按照表 5 的模糊方式操作后得到 6 幅局部模糊图像, 如图 15(a1)~(a6)。对该 6 幅图像进行检测, 结果分别如图 15(b1)~(b6)。可以看到, 本文方法能够有效检测出不同模糊方式的历史痕迹。

#### 3.2 基于模糊痕迹的检测结果及分析

##### 3.2.1 模糊检测方法的性能

为观察本文方法对 JPEG 压缩的抵抗能力, 选用局部模糊图 15(a2) 为例, 对其分别进行不同程度的压缩, 质量因子  $q$  分别为 100、80、70 和 60, 即得到 4 幅压缩格式的局部模糊图像。对该 4 幅图像进行模糊检测, 如图 16 所示, 随着压缩因子减小, 检测效果逐渐变差, 但仍然能够区分出模糊篡改区域, 即本文方法对 JPEG 压缩具有一定的抵抗能力。

为比较方法的效率, 截取不同大小的图像块进行测试, 块大小分别为  $64 \times 64$ 、 $128 \times 128$ 、 $256 \times 256$ 、 $1024 \times 1024$ , 表 6 显示了本文方法与文献[12]方法计算时间对比情况, 数据显示本方法的计算时间消耗较少, 这是由于本文方法避开了文献[12]方法中逐点分块求相关系数进行判断, 所以大大提高了算法的运算速度, 随着图像块增大, 计算效率提高的优势更加明显。

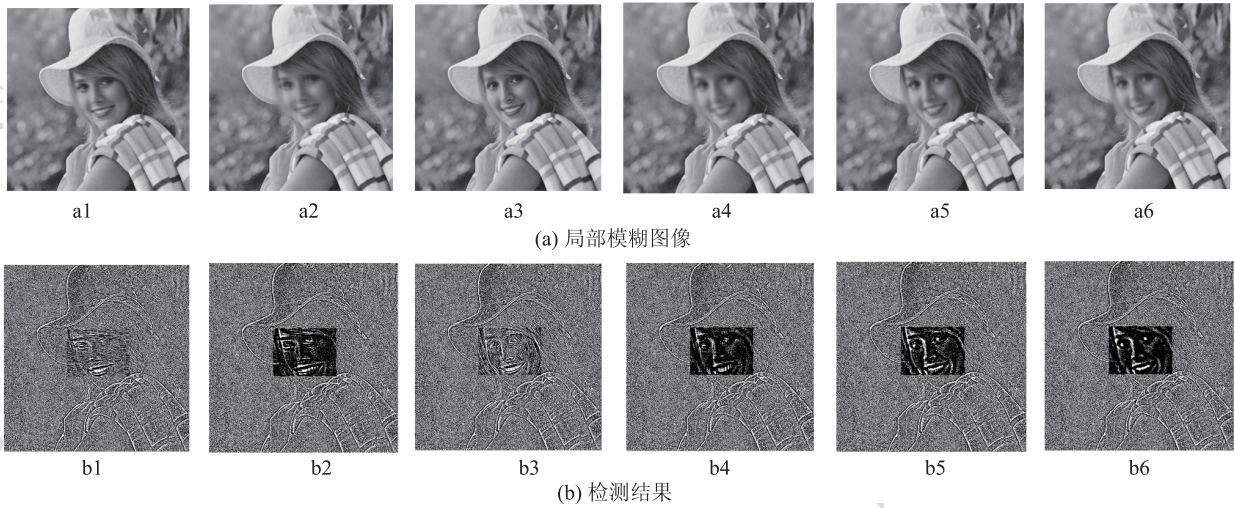


图 15 不同模糊图像及检测结果

Fig. 15 Different blur images and detection results

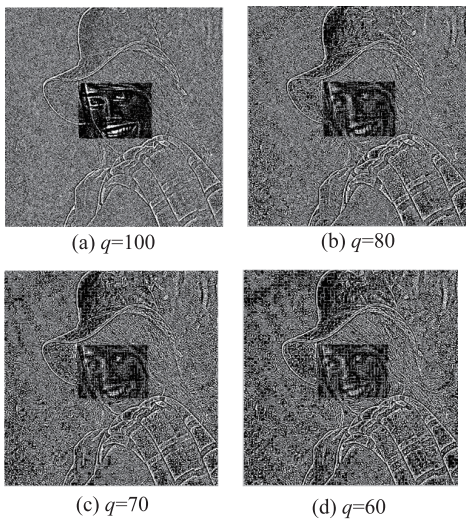
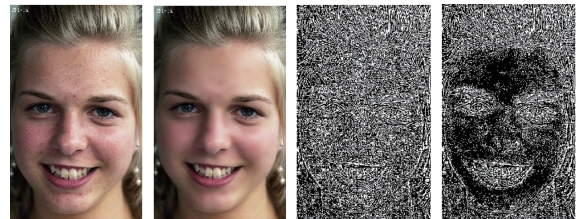


图 16 不同压缩因子下图像检测结果

Fig. 16 Detection results for blur images with different  $q$

是人脸美化。如图 17(a)所示为一幅原始图像,人的脸部存在较多的红斑,使用 Photoshop 软件对人脸部分进行模糊处理,使其达到美化的作用,如图 17(b)所示。对其检测结果如图 17(c)(d)所示,对于原始图像,检测结果图的像素值较为一致,没有出现异常区域。而对于篡改图像其检测结果图显示在人脸部分出现了较小的像素值,即可判定该区域经历了模糊操作。



(a) 原始图像 (b) 模糊图像 (c) 图(a)的结果 (d) 图(b)的结果

图 17 模糊篡改及检测结果

Fig. 17 Example of blurring tampering and detection results

表 6 两种方法的运行时间

Table 6 Operation times of the two methods

图像块大小	文献[12]方法	本文方法
64 × 64	1.484	0.171
128 × 128	5.906	0.187
256 × 256	31.422	0.190
1 024 × 1 024	246.454	0.618

3.2.2 模糊痕迹检测应用于伪造图像检测

在实际图像篡改中,模糊操作的广泛应用之一

模糊操作的另一广泛应用是在合成图像的拼接处进行模糊,使篡改区域与背景区域达到视觉上的一致。如图 18(a)是原始图像,图 18(b)为篡改图像,对篡改粘贴的小船边缘进行了模糊操作。检测结果如图 18(c)(d),可以看到篡改小船周围的值较小且集中,即可认为该处经历了模糊操作。由实验结果可见,提出的模糊痕迹检测方法可作为图像篡改检测的辅助工具,为篡改检测提供相应的证据。

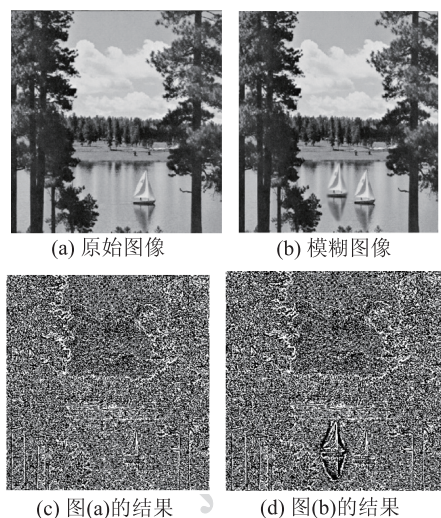


图 18 模糊篡改及检测结果

ig. 18 Example of blurring tampering and detection results

## 4 结 论

首先定义了兼顾重采样和 JPEG 压缩的特性的块度量因子,其值作为伪作检测的依据。提出的方法可以检测压缩与非压缩图像的混合篡改模型,应用范围更广。同时对 JPEG 压缩具有较好的鲁棒性——当二次压缩因子大于一次压缩因子时仍具有较好检测效果。但由于该方法是基于重采样和 JPEG 压缩特性的检测,当伪造图像不存在压缩不一致和重采样痕迹时,本文方法将失效。另外,该方法是基于块的统计特征进行检测,如块太小则不能很好得到统计信息,即对篡改区域太小的情况检测效果不好。

其次提出了一种简单有效的模糊检测方法,该方法对 JPEG 压缩具有较好抵抗能力;且计算复杂度较低,消耗时间较少;同时与基于分块的模糊检测方法相比,本文方法是基于像素点的检测,能将图像景物边缘被模糊的微小痕迹检测出来。

## 参考文献 (References)

[ 1 ] Luo W Q, Qu Z H, Pan F, et al. A survey of passive technology

for digital image forensics [ J ]. Front. Computer Science. China, 2007, 2(1): 166-179.

[ 2 ] Gallagher A C. Detection of linear and cubic interpolation in JPEG compressed images[ C ]// Proceedings of the 2nd Canadian Conference on Computer and Robot Vision. Washington DC, USA: IEEE,2005: 65-72.

[ 3 ] Wei W M, Wang S Z, Zhang X P, et al. Estimation of image rotation angle using interpolation-related spectral signatures with application to blind detection of image forgery[ J ]. IEEE Transactions on Information Forensics and Security, 2010, 5(3): 507-517.

[ 4 ] Popescu A C, Farid H. Exposing digital forgeries by detecting traces of re-sampling [ J ]. IEEE Transactions on Signal Processing, 2005, 53(2): 758-767.

[ 5 ] Fan Z, Queiroz R D. Identification of bitmap compression history: JPEG detection and quantizer estimation [ J ]. IEEE Trans. Image Process, 2003, 12(2): 230-235.

[ 6 ] He J, Lin Z, Wang L, et al. Detecting doctored JPEG images via DCT coefficient analysis[ C ]// Proceedings of the 9th European Conference on Computer Vision. Graz, Austria: Springer-Verlag, 2006: 423-435.

[ 7 ] Farid H. Exposing digital forgeries from JPEG ghosts [ J ]. IEEE Transactions on Information Forensics and Security, 2009, 4(1): 154-160.

[ 8 ] Li S, Zhang X P. Detection of compressed images based on JPEG compression properties [ J ]. Journal of Applied Sciences, 2008, 26(3): 281-287.

[ 9 ] Zheng E G, Ping X J. Passive-blind forensics for a class of JPEG image forgery [ J ]. Journal of Electronics & Information Technology, 2010, 32(2): 394-399.

[ 10 ] Hsiao D Y. Detecting digital tampering by blur estimation[ C ]// Proc. of IEEE First Int. Workshop on Systematic Approaches to Digital Forensic Engineering. Taipei, China: IEEE,2005: 264-278.

[ 11 ] Zhou L N, Wang D M, Guo Y B, et al. Exposing digital forgeries by detecting image blurred mat hermitical morphology edge [ J ]. Chinese Journal of Electronics, 2008, 36(6): 1047-1051 [ 周琳娜,王东明,郭云彪,等. 基于数字图像边缘特性的形态学滤波取证技术 [ J ]. 电子学报, 2008, 36(6): 1047-1051. ]

[ 12 ] Wang W, Fang Y. Blind separation of single channel permuted image based on double blur correlation [ J ]. Journal of Applied Sciences, 2011, 29(2): 169-175 (in Chinese). [ 王伟,方勇. 基于二次模糊相关性的单通道置换图像盲分离 [ J ]. 应用科学学报, 2011, 29(2): 169-175. ]