

Journal of Image  
and Graphics

# 中国图象图形学报



ISSN1006-8961  
CN11-3758/TB

2013 **6**  
Vol.1 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

2013 年 6 月 第 18 卷 第 6 期(总第 206 期)

## 目 次

### 综述

利用块效应特征的 JPEG 图像盲取证研究进展 ..... 赵洁, 郭继昌, 张艳(613)

### 图像处理和编码

可信度双三次插值的 PMD 距离信息和 RGB 图像数据融合 ... 胡良梅, 王竹萌, 高隼, 张旭东, 吴国松(621)

分数阶微分的 CIE  $L^*a^*b^*$  颜色空间边缘检测 ..... 汤慧梅, 赵跃进(628)

### 图像分析和识别

频谱预处理模糊运动方向鉴别的改进算法 ..... 孔勇奇, 卢敏, 潘志庚(637)

基于视频动态纹理的火灾检测 ..... 邵婧, 王冠香, 郭蔚(647)

### 医学图像处理

旋转不变的 X 线图像相关度拼接 ..... 赵宏, 赵凯, 江春花, 康雁(654)

心肌灌注核磁共振图像的非刚性配准 ..... 王建, 潘静薇, 杨新(661)

### 遥感图像处理

空间约束的无人机影像 SURF 特征点匹配 ..... 韩天庆, 赵银娣, 刘善磊, 白杨(669)

支持向量机和水平集的高分辨率遥感图像河流检测 ..... 于晓升, 吴成东, 陈东岳, 田子恒(677)

### 地理信息技术

影响域渐进扩展的居民地增量综合 ..... 许俊奎, 武芳(685)

### “第 16 届全国图象图形学学术会议”专栏

场景切换视频自适应帧间码率控制 ..... 方志军, 高永彬, 舒雷, 袁非牛, 杨勇(692)

适用于 PACS 系统的医学图像近无损压缩 ..... 李萍, 蒋慧琴, 杨晓鹏, 刘玉敏(699)

用于视觉词语生成的概率预测器 ..... 史淼晶, 徐蕊鑫, 许超(706)

多特征融合的人体目标再识别 ..... 范彩霞, 朱虹, 蔺广逢, 罗磊(711)

$G^2$  连续的低次避障代数样条曲线 ..... 陈军(718)

自适应多特征融合的真实感地形快速绘制 ..... 曾艳阳, 康凤举, 杨惠珍(724)

第九届和谐人机环境联合学术会议(HHME2013)征稿通知 ..... (730)

# Journal of Image and Graphics

(Monthly, Started in 1996)

Vol. 18 No. 6 June 2013

## Contents

### Review

Survey: blind forensic of JPEG forgeries based on blocking artifacts ..... Zhao Jie, Guo Jichang, Zhang Yan(613)

### Image Processing and Coding

PMD distance information and high resolution RGB image data fusion based on bicubic interpolation with credibility  
..... Hu Liangmei, Wang Zhumeng, Gao Jun, Zhang Xudong, Wu Guosong(621)

Edge detection in CIE L\*a\*b\* based on fractional differential ..... Tang Huimei, Zhao Yuejin(628)

### Image Analysis and Recognition

Motion blur direction detection based on pre-processing of spectrum image ..... Kong Yongqi, Lu Min, Pan Zhigeng(637)

Fire detection based on video dynamic texture ..... Shao Jing, Wang Guanxiang, Guo Wei(647)

### Medical Image Processing

X-ray image mosaic based on rotation invariant correlation ..... Zhao Hong, Zhao Kai, Jiang Chunhua, Kang Yan(654)

Non-rigid registration for myocardial perfusion MR image ..... Wang Jian, Pan Jingwei, Yang Xin(661)

### Remote Sensing Image Processing

Spatially constrained SURF feature point matching for UAV images ..... Han Tianqing, Zhao Yindi, Liu Shanlei, Bai Yang(669)

Using support vector machine and level set for river detection in high resolution remote sensing image  
..... Yu Xiaosheng, Wu Chengdong, Chen Dongyue, Tian Ziheng(677)

### Geoinformatics

Expanding the influencing domain gradually for incremental generalization of settlement ..... Xu Junkui, Wu Fang(685)

### Issum of the 16th National Conference on Image and Graphics

Adaptive frame-layer rate control in scene change video ..... Fang Zhijun, Gao Yongbin, Shu Lei, Yuan Feiniu, Yang Yong(692)

Near-lossless compression for medical image in PACS ..... Li Ping, Jiang Huiqin, Yang Xiaopeng, Liu Yumin(699)

Probabilistic predictor for fast visual word generation ..... Shi Miaojing, Xu Ruixin, Xu Chao(706)

Person re-identification based on multi-features ..... Fan Caixia, Zhu Hong, Lin Guangfeng, Luo Lei(711)

Construction of low degree algebraic spline curve with  $G^2$  continuity to avoid obstacles ..... Chen Jun(718)

Fast rendering of realistic terrain based on adaptive multiple features fusion ..... Zeng Yanyang, Kang Fengju, Yang Huizhen(724)

中图法分类号: TP391 文献标识码: A 文章编号: 1006-8961(2013)06-0613-08

论文引用格式: 赵洁, 郭继昌, 张艳. 利用块效应特征的 JPEG 图像盲取证研究进展[J]. 中国图象图形学报, 2013, 18(6): 613-620.

## 利用块效应特征的 JPEG 图像盲取证研究进展

赵洁<sup>1,2</sup>, 郭继昌<sup>1</sup>, 张艳<sup>1,2</sup>

1. 天津大学电子信息工程学院, 天津 300072; 2. 天津城市建设学院计算机与信息工程学院, 天津 300384

**摘要:** 数字图像的盲取证技术由于不依赖任何预嵌入的信息来鉴别图像真实性和完整性的优势, 正逐步成为数字媒体安全领域新的研究热点。由于 JPEG 图像是目前最流行的图像格式, 并且块效应是 JPEG 图像与生俱来的本质特征, 因此如何更加有效地利用块效应特征对 JPEG 图像的真伪进行盲取证研究具有非常重要的现实意义和应用价值。首先对目前国内外利用 JPEG 图像编码特性的盲取证方法进行归类分析; 然后重点针对利用块效应特征的 JPEG 图像盲取证技术展开讨论, 详细介绍并总结了基于块效应测度和基于块效应网格提取的两类盲取证算法的核心思想和局限性; 最后提出了存在的问题及未来的研究方向。

**关键词:** JPEG 块效应; 伪造图像; 被动盲取证; 篡改检测

### Survey: blind forensic of JPEG forgeries based on blocking artifacts

Zhao Jie<sup>1,2</sup>, Guo Jichang<sup>1</sup>, Zhang Yan<sup>1,2</sup>

1. School of Electronic and Information Engineering, Tianjin University, Tianjin 300072, China;

2. School of Computer and Information Engineering, Tianjin Institute of Urban Construction, Tianjin 300384, China

**Abstract:** Blind digital image forensics, a technology for detecting image authenticity and integrity without relying on any pre-embedded information, is emerging as a new hotspot in the digital media security filed. Since JPEG is the most popular image format and blocking artifacts are the inherent characteristics of JPEG images, using blocking artifacts more effectively for the authentication of JPEG image forgeries has very important practical significance and application value. First, the state-of-the-art algorithms of blind forensics based on JPEG image coding characteristics are classified and analyzed. Then we focus on blind forensic algorithms of tempered JPEG images based on blocking artifacts. Two types are introduced and summarized in detail: one based on blocking artifacts measurement and the other based on blocking artifacts grid extraction. Finally, we discuss unresolved problems and future research directions.

**Key words:** JPEG blocking artifacts; image forgery; passive-blind forensics; tampering detection

## 0 引言

毋庸置疑, 当今生活在一个数字技术高度发达的时代, 然而正是由于各种易操作的数字图像处理软件的普及, 让某些恶意篡改者可以很轻松地伪造图像。这彻底颠覆了传统意义上“眼见为实”的理

念, 更加严重的是, 伪造图像对于科学研究、保险索赔、法律取证以及媒体公信力等方面造成了不可挽回的负面影响, 因此针对伪造图像的取证研究具有非常重要的现实意义和应用价值。

图像盲取证属于一种被动认证技术, 基于伪造图像即使不会留下任何的视觉痕迹但是很可能会改变一幅图像潜在的统计特性的假设<sup>[1]</sup>。与数字水

收稿日期: 2012-06-28; 修回日期: 2012-10-26

基金项目: 天津市科技支撑计划基金项目(10ZCKFGX00700)

第一作者简介: 赵洁(1984—), 男, 讲师, 天津大学信息与通信工程专业博士研究生, 主要研究方向为数字取证与图像处理。E-mail: zhaoj@tju.edu.cn

印等主动认证技术不同,盲取证技术不需要事先在图像中嵌入认证信息而仅仅依靠待检测图像本身来辨别图像内容的真实性和完整性,从而具有更高的应用价值,已经成为目前国内外数字取证研究的热点方向之一。

JPEG(joint photographic experts group)是目前主流的图像压缩标准,当今大部分的图像采集设备获取形成的都是采用有损 JPEG 压缩的图像,同时 JPEG 也是目前网络上最流行的图像格式之一,其优点是当压缩比较高的情况下,仍能得到较好的图像质量,而且处理速度较快,因此针对 JPEG 伪造图像的盲取证研究具有非常重要的现实意义和应用价值。Farid<sup>[1]</sup>将图像盲取证技术大致分为 5 类, JPEG 伪造图像盲取证属于第 2 类,即基于特定图像格式利用有损压缩标准引入的统计相关性进行盲取证。由于 JPEG 编码和解码过程中存在四舍五入取整和截断操作,因此解码后的块与原始块一般会存在像素值的差异<sup>[2]</sup>。

利用 JPEG 压缩编码的特性,近年来很多学者提出了一些检测 JPEG 图像真实性和完整性的盲取证方法,主要可以归纳为以下五大类:1) JPEG 压缩历史检测和量化表估计<sup>[3-5]</sup>;2) 基于 JPEG 双重压缩的盲取证<sup>[6-10]</sup>;3) 基于 JPEG 压缩误差分析的盲取证<sup>[11]</sup>;4) 基于 JPEG 文件头信息的盲取证<sup>[12-13]</sup>;5) 基于 JPEG 块效应特征的盲取证<sup>[14-23]</sup>。值得注意的是,双重压缩的 JPEG 图像并不意味着一定是被恶意篡改的图像,因此 JPEG 双重压缩只能作为图像伪造的一种间接的证据。相比而言,块效应是 JPEG 图像与生俱来的本质特征,因此如何有效地利用 JPEG 图像的块效应特征开发出准确、高效、鲁棒的 JPEG 图像盲取证算法成为国内外众多研究者关注的重点。

## 1 块效应特征与 JPEG 伪造图像模型

### 1.1 JPEG 图像块效应的产生

JPEG 编码过程中采用分块后对每个子块分别进行 2 维 DCT(discrete cosine transform)变换,这样虽然显著减少了 DCT 变换的运算量,但是会因此忽略子块之间原有像素值的相关性。在随后的量化阶段,为了达到图像压缩的目的,量化表中高频位置的量化步长一般均较大,故量化后各个子块边缘大量的高频分量会丢失,造成解码图像中块的边界处出现不连续的现象,从而形成块效应<sup>[20]</sup>。

量化是 JPEG 压缩过程中唯一会大幅损失信息的步骤,进行取整操作会引入量化误差,记为  $e(u, v)$ ,则量化步骤可以表示为

$$F^Q(u, v) = \text{round}\left(\frac{F(u, v)}{Q(u, v)}\right) = \frac{F(u, v)}{Q(u, v)} + e(u, v) \quad (1)$$

$$u, v = 0, 1, \dots, 7$$

在解码端进行反量化操作,得到反量化后的 DCT 系数为

$$F^I(u, v) = F^Q(u, v) \times Q(u, v) = F(u, v) + e(u, v) \times Q(u, v) \quad (2)$$

$$u, v = 0, 1, \dots, 7$$

然后再进行 DCT 反变换操作,可以得到解码后的图像,由此可以看出解码量化误差  $e(u, v) \times Q(u, v)$  将分布在整个解码图像中。JPEG 分块处理使得解码量化误差会被叠加,造成解码后图像中各个子块之间的相关性被破坏,由此形成子块边界处的块效应现象。

### 1.2 JPEG 伪造图像篡改模型

近年来,国内外学者提出了很多图像盲取证的方法,也取得了一些成果,然而由于图像格式的多样性以及篡改手段的多样化和灵活性,几乎不可能找到一种通用的盲取证方法来解决所有图像真实性和完整性的鉴别问题。图像盲取证技术的研究现在还处于初级阶段,提出的算法大都缺乏普适性,只能针对某种特定的伪造图像格式或者特定的篡改模型进行有效地检测。正如反病毒软件查杀新病毒的滞后性而需要不断更新病毒库一样,数字媒体安全领域的盲取证技术和篡改过程中的反取证技术的博弈也一直在进行中。正如 Farid 所说,盲取证技术的发展只能使得造假者伪造出一幅不可能被检测出来的篡改图像越来越难<sup>[1]</sup>。

针对 JPEG 格式的数字图像并结合篡改方式的差异性, JPEG 伪造图像一般可以归纳为以下 3 类:

1) JPEG 图像裁剪篡改。载入原始 JPEG 图像  $I_1$ , 截取其中感兴趣的一部分区域,再压缩为 JPEG 图像  $I_2$ 。

2) 非 JPEG 格式区域复制粘贴篡改。载入原始 JPEG 图像  $I_1$ , 从另一幅非 JPEG 压缩格式图像  $I_2$  (如 BMP、TIFF 等) 中复制一部分区域,粘贴到  $I_1$  中的特定区域并压缩为 JPEG 图像  $I_3$ 。

3) JPEG 格式区域复制粘贴篡改: 载入原始 JPEG 图像  $I_1$ , 从另一幅 JPEG 压缩格式图像  $I_2$  或者

原始图像  $I$  中复制一部分区域,粘贴到  $I_1$  中的特定区域并压缩为 JPEG 图像  $I_3$ 。如果粘贴区域来源于异幅图像,一般称为图像合成篡改。

针对上述 JPEG 伪造图像篡改模型,可以把国内外文献中基于块效应特征的 JPEG 图像盲取证算法归纳为两大类:基于块效应测度的盲取证算法和基于块效应网格提取的盲取证算法。

## 2 基于块效应测度的盲取证算法

块效应是 JPEG 图像与生俱来的本质特征,并且当压缩质量因子越小时块效应特征表现得越明显,即当量化步长很大时,子块边界之间的不连续的现象会形成视觉可见的块效应。由此近年来国内外学者提出了很多消除块效应的算法<sup>[24-28]</sup>,然而这些算法在消除块效应的同时也将图像被篡改的线索模糊化了,因此块效应消除算法只是提高了压缩图像的质量,并不能改善 JPEG 伪造图像盲取证的恶劣

条件。由于篡改操作会改变图像原始位置的块效应,因此如果只是为了检测图像的真伪,就不必把研究重心放在块效应的消除上,而只需要专注图像块效应的评价<sup>[19]</sup>。

基于块效应测度的盲取证算法试图在空间域或变换域找到评价块效应大小的测度,由于 JPEG 伪造图像一般会具有不同的 JPEG 网格位置或不同的压缩质量因子的特征,因此会导致篡改区域与原始 JPEG 图像的块效应测度值的不一致,这种不一致性可以作为定位篡改区域的依据。基于块效应测度的盲取证算法的一般流程如图 1 所示。待检测 JPEG 图像首先要经过预处理为后续进行块效应评价做准备,包括进行图像变换、颜色空间变换、增强块效应信号信噪比等;然后在空域或变换域构造块效应特征的测度量;最后通过比较不同区域的块效应测度值的差异实现篡改区域的定位。一般而言,篡改区域的块效应测度值较小,而周围原始 JPEG 图像块效应测度值较大。



图 1 基于块效应测度的盲取证算法的一般流程

Fig. 1 The general flow of blind forensics algorithm based on blocking artifacts measure

文献[3]最早提出了一种简单有效的检测 JPEG 块效应的方法,即假设如果非压缩情况下横穿块边界处的相邻像素间的差异应该与块内部相邻像素间的差异相似,但经过 JPEG 压缩后横穿块边界处的相邻像素间的差异会不同。如图 2 所示,计算质量因子为 85 的 Lena 图像中每个  $8 \times 8$  块内部与横穿块边界处的像素间的差异,即

$$\begin{aligned} Z'(x, y) &= |A + D - B - C| \\ Z''(x, y) &= |E + H - F - G| \end{aligned} \quad (3)$$

式中,  $(x, y)$  为每个块中  $A$  位置的坐标。通过计算 3 个位置  $(4, 4)$ 、 $(2, 4)$ 、 $(3, 3)$  的  $Z'(x, y)$  和  $Z''(x, y)$  的直方图  $H_1$  和  $H_2$  构造块效应差异强度

$$K_{(x, y)}(n) = |H_1(n) - H_2(n)| \quad (4)$$

$$n \in [0, 255 \times 2]$$

式中,  $H_1(n)$ 、 $H_2(n)$  分别是  $Z'$  和  $Z''$  的直方图中 bin 值为  $n$  的总数。显而易见,横穿 JPEG 图像块边界处的块效应差异最大。文献[14]针对 JPEG 图像裁剪篡改方式,在文献[3]的基础上提出了块效应特征矩阵 (BACM) 对于原始 JPEG 图像会呈现出对称

形状,然而当原始 JPEG 图像经历裁剪和再次 JPEG 压缩后 BACM 的对称性会遭到破坏。该算法仅仅对于第 1 类伪造图像篡改方式有效。

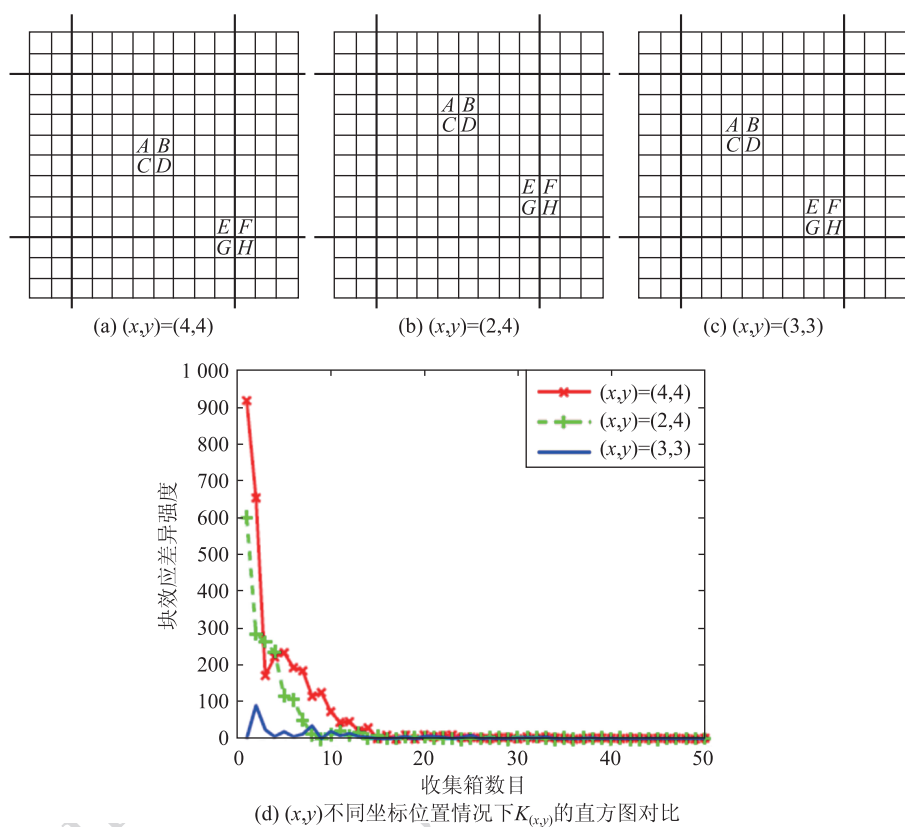
文献[15]定义了一种较为直观的块效应测度的方法应用于 JPEG 图像篡改盲取证。对于每个  $8 \times 8$  像素块,测试块  $i$  的块效应估计值

$$B(i) = \sum_{k=1}^{64} \left| D(k) - Q(k) \text{round} \left( \frac{D(k)}{Q(k)} \right) \right| \quad (5)$$

式中,  $D(k)$  为块中位置  $k$  的 DCT 系数,  $Q(1:64)$  为估计的初始 DCT 量化表。整幅图像总计有  $N$  个像素块,则块效应测度值 (BAM) 可以表示为

$$\text{BAM} = \frac{1}{N} \sum_i B(i) \quad (6)$$

然后利用 DCT 系数直方图的功率谱来估计 JPEG 图像压缩的初始量化表,根据可疑图像不同区域块效应测度值的不同,定位图像的篡改区域。然而这种估计量化矩阵的方法只适用于量化步长较小的情况,并且该算法只能手动选择用于估计量化矩阵的区域,无法实现自动定位篡改区域。

图 2 JPEG 图像块效应差异实例<sup>[14]</sup>Fig. 2 The example of blocking artifacts difference in JPEG images<sup>[14]</sup>

文献[16]针对 JPEG 伪造图像的第 3 类篡改方式,基于对图像二阶差分的频谱分析,定义了一种新的图像块效应测量指标,用于伪造图像的盲取证。首先将可疑图像与 Laplacian 模板进行卷积操作得到二阶差分图像,然后沿水平和垂直方向平均后进行离散 Fourier 变换得到归一化的频谱,并基于频谱幅值构造 JPEG 块效应测度,最后将可疑图像重叠分块并计算其相应的块效应测度,利用块效应不一致性定位篡改区域。然而,该算法对于可疑图像中存在的大片平坦区域如天空草地等,二阶差分后基本为零,故会导致误判。

文献[17]利用基于人类视觉系统(HVS)的可见度函数来进行块效应的评价。算法首先将 RGB 彩色图像转换为对于人类视觉效果更好的 HIS 颜色空间,划分图像为非重叠的  $8 \times 8$  的像素块,并利用相邻块的边界为中心构造新的  $8 \times 8$  的像素块,然后在 DCT 域计算每个块的可见度函数作为块效应测度,最后通过检测块效应的不一致性定位篡改区域。虽然该算法检测篡改区域运行时间优于文献[16],但是对于篡改图像采用小于原始图像的质量因子再一次 JPEG 压缩的情况失效。

文献[18]算法先通过基于贝叶斯最小二乘——高斯混合尺度(BLS-GSM)的图像去噪方法分离图像噪声,增强 JPEG 块效应信号的信噪比,再利用噪声信号计算图像的局部块效应,然后通过迭代方法寻找合适的阈值,在块效应直方图中定位篡改区域。该算法针对 JPEG 伪造图像篡改后存储为非压缩格式的情况能有效自动定位出篡改区域,但是当篡改区域周围被纹理或边缘区域围绕时,不能找到合适的阈值来区分背景纹理区域和篡改区域,导致一部分背景纹理区域被误判为篡改区域,此时需要人工干预寻找出可能的篡改区域。

文献[19]基于 JPEG 压缩图像的水平 and 垂直方向差分图像功率谱密度曲线存在由于块效应产生的周期性波峰的特征,在功率谱域上定义了针对图像局部区域的块效应测度。首先获取可疑图像水平和垂直方向的差分图像,然后将两个不同方向的差分图像分别进行特定大小的分块处理,再计算每个分块区域的局部块效应评价,最后根据不同区域局部块效应评价的明显差异分别从水平和垂直方向定位篡改区域。该算法只针对第 3 类 JPEG 伪造图像篡改方式,对于前两类篡改方式无效。

文献[20]针对 JPEG 图像合成篡改方式,根据篡改区域与非篡改区域块效应的不一致性,提取可疑图像的块效应指数映射图(BAFM),实现了一类 JPEG 伪造图像的自动检测和篡改区域的定位。算法首先提出了一种简单快速的 2 次 JPEG 压缩检测算法,得到 2 次压缩图像的首次压缩的质量因子 QF1,然后利用 QF1 对可疑图像进行裁剪再压缩,并计算相应的压缩失真,得到块效应指数映射图,最后利用图像分割算法对块效应指数映射图进行分割,并设定阈值判断图像是否为伪造图像。该算法对于检测较小的篡改区域比较有优势,然而当伪造图像以低于原始图像的质量因子再次压缩后算法失效。

综上所述,在 JPEG 伪造图像篡改模型的后两类篡改方式中,由于篡改区域和非篡改区域的块效应测度值具有不一致性,故以此作为篡改区域定位的依据,因此块效应评价标准的准确性在一定程度上决定了篡改区域定位的准确程度。基于块效应测度的 JPEG 图像盲取证算法关键是对 JPEG 图像的块效应特征进行合理的描述和表示,进而构造出评价块效应强度的测度量,通过比较篡改区域和非篡改区域的块效应测度值的差异定位篡改区域。

### 3 基于块效应网格提取的盲取证算法

图像在经历有损 JPEG 压缩的过程中,分块处理独立量化会在相邻分块之间引入块效应,在图像中呈现水平和垂直的线条,构成  $8 \times 8$  的网格,称为块效应网格(BAG)。在第 3 类 JPEG 伪造图像篡改方式中,由于图像篡改者的目的是通过复制粘贴或者拼接等操作实现特定目标的添加或隐藏,伪造出一幅人眼几乎看不出来的图像,因此粘贴区域的块效应网格往往不能与其周围区域的块效应网格保持匹配,这里称为块效应网格的错配现象,如图 3 所示。每个网格单元表示  $8 \times 8$  的像素块,假设区域 1 的坐标为  $(x_1, y_1)$ ,区域 2 的坐标为  $(x_2, y_2)$ ,令  $m_1 = \text{mod}(|x_1 - x_2|, 8)$ ,  $m_2 = \text{mod}(|y_1 - y_2|, 8)$ ,并且假设  $m_1, m_2$  在  $[0, 7]$  范围内服从均匀分布,则  $P(m_1 = 0 \& m_2 = 0) = 1/8^2 = 1.5624\%$ 。这说明区域 1 与区域 2 的  $8 \times 8$  的像素块位置一致的概率很低,并且在实际的伪造过程中篡改者为了获得好的拼接效果,往往会将区域 1 放置在特定的位置,很难兼顾到分块位置的一致性<sup>[20]</sup>。

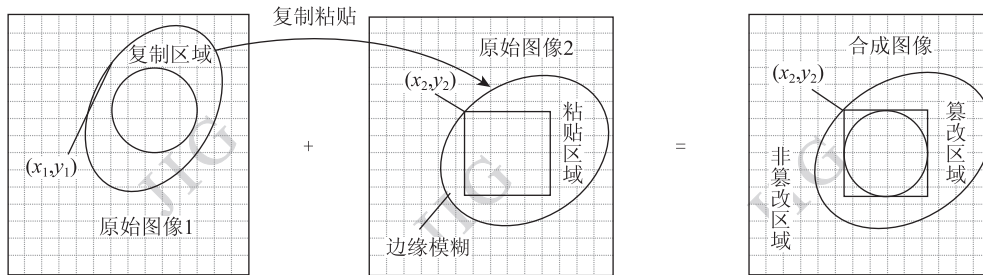


图3 JPEG 图像合成篡改中块效应网格的错配现象

Fig. 3 The mismatch phenomenon of blocking artifacts grid in JPEG image synthesis manipulation

针对 1.2 节的 3 类 JPEG 伪造图像的篡改方式,第 1 类 JPEG 图像裁剪篡改方式会导致块效应网格偏离原始图像本来所在的位置;第 2 类非 JPEG 格式区域复制粘贴篡改会导致粘贴区域的块效应网格发生缺失现象;第 3 类 JPEG 格式区域复制粘贴篡改会导致块效应网格发生错配现象。因此,通过分析 JPEG 可疑图像的块效应网格的情况,可以检测这 3 类 JPEG 伪造图像并实现篡改区域的有效定位。从 JPEG 图像的压缩过程可知,经过量化以后 DCT 块中的高频交流系数的值都等于 0,只有在图像具有比较复杂的纹理特征的区域会存在个别的非 0 值。如果存在块效应网格的错配现象,则高频交

流系数中会出现一些非 0 值。然而,复杂纹理区域形成的非 0 高频交流系数的值比块效应网格错配形成的非 0 高频交流系数的值小得多<sup>[23]</sup>,这种 JPEG 压缩产生的量化特征成为提取块效应网格的理论依据。

文献[21]首次提出了通过提取块效应网格并检测网格错配现象实现 JPEG 伪造图像盲取证的思想。算法首先计算  $8 \times 8$  滑动窗口的局部效应

$$E_L = \sqrt{\frac{\sum_{i=8, j=8} S_{ij}^2}{S_{11}^2}} \quad (7)$$

式中,  $S_{ij}$  表示选定窗口中像素的交流系数。局部效

应采用 DCT 块中最右侧列和最下端行的交流系数的值进行定义,交流系数的值可以通过 2 维 DCT 变换得到。通过标记局部效应强度的局部最小值点实现块效应网格的提取。实验表明该算法对于第 1 类和第 3 类 JPEG 伪造图像篡改方式有效。文献[22]根据块效应网格的错配现象检测并定位 JPEG 伪造图像的篡改区域。算法在文献[21]的基础上对块效应网格进行如下分析:首先标记原始可疑图像的块效应网格中的所有像素点,然后通过检测可以形成边长 8 像素的正方形全部顶点的 4 个局部最小值点实现粘贴区域的平移网格的检测。相比文献[21],该算法对于粘贴区域平滑滤波的后处理操作具有较强的鲁棒性,检测结果如图 4 所示,然而该算法要求检测的篡改区域必须大于  $16 \times 16$  的像素块。

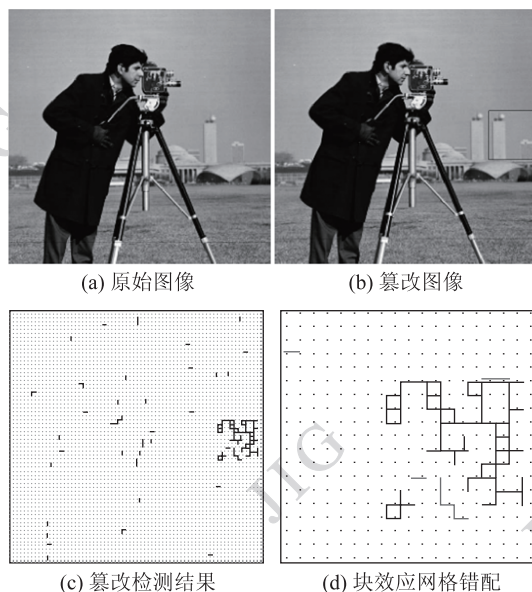


图 4 基于块效应网格提取的篡改图像检测实例<sup>[22]</sup>

Fig. 4 The example of tampering image detection based on blocking artifacts grid extraction<sup>[22]</sup>

文献[23]提出了一种块效应网格的提取算法,并应用于 JPEG 伪造图像的盲取证。该算法基于以下的假设:块效应网格错配或者丢失的区域被认为是图像中篡改的区域。基于块效应网格提取的盲取证算法并不关心图像中块效应的强度,而仅仅关心块效应网格在图像中的精确位置,因此首先需要尽可能清晰地提取中可疑图像中的块效应网格。算法首先通过计算绝对二阶差分,分别提取水平方向和垂直方向的以 8 为周期的弱边缘线条并采用中值滤波和阈值化处理去除图像中强边缘的干扰,然后进一步利用周期中值滤波平滑强弱块效应网格和去除

非 8 周期强边缘线条,最后结合水平方向和垂直方向的块效应网格线条得到最终的块效应网格图像。通过检测块效应网格的异常实现了 1.2 节的 3 类 JPEG 伪造图像篡改类型的盲检测:块效应网格相对原始位置出现偏移怀疑是 JPEG 图像裁剪篡改;块效应网格出现大面积黑色区域或者模糊区域怀疑是图像修复区域、计算机绘图区域或者来源于非压缩图像的复制粘贴区域;块效应网格出现错配现象怀疑是来源于 JPEG 压缩图像的复制粘贴区域。

综上所述,基于块效应网格提取的盲取证算法都是基于如下的假设进行篡改区域的定位:JPEG 篡改图像中粘贴的篡改区域的块效应网格必定与原始 JPEG 图像中的块效应网格发生错配现象。在绝大多数的情况下,基于这个假设的盲取证都是有效的,只有当粘贴的篡改区域正好与周围原始图像块效应网格完全对齐的情况下检测会失效。然而,发生这种情况的概率仅仅是  $1/64 = 1.56\%$ 。因此,从统计学角度分析,基于这种假设的盲取证算法是合理有效的。

## 4 结 语

块效应是 JPEG 图像的一种本质特征,基于块效应特征的盲取证方法已经成为鉴别 JPEG 伪造图像真实性和完整性的重要途径之一。然而这类方法也存在着一些不可避免的问题,归纳总结如下:

1) 块效应的强度与 JPEG 压缩的质量因子具有明显的相关性。质量因子越小,块效应强度越大;反之,质量因子越大,块效应强度越小。因此,基于块效应特征的 JPEG 伪造图像盲取证算法具有不可避免的弊端,即对于压缩比很大的 JPEG 伪造图像具有很好的检测效果,然而对于压缩比过小的伪造图像,这时质量因子一般大于 90,检测效果比较差甚至失效。原因很明显,当质量因子过大甚至接近 100 时, JPEG 压缩过程相当于基本没有信息的损失,因此解压缩后图像基本上也不存在 JPEG 压缩过程的痕迹——块效应。

2) 基于块效应测度的 JPEG 伪造图像的盲取证方法试图在空间域或变换域找到评价块效应的测度,并且利用篡改区域与原始 JPEG 图像的块效应测度的不一致性实现篡改取证。块效应作为 JPEG 图像天然的缺陷,可以理解为一类图像噪声,并且块效应强度的衡量一般受图像内容本身的纹理边缘分布的影响很大,因此如何更好地消除图像内容对块

效应评价的影响,更加准确地评价图像的局部块效应强度是此类算法的未来研究方向。

3) 图像内容对块效应评价的影响只能尽可能减小,例如可以利用去噪算法增加块效应信号的信噪比,但是不可能完全消除。JPEG 压缩过程中 DCT 块操作在低频部分的块边缘处引入的压缩误差较大,而在高频部分块边缘处引入的误差较小<sup>[29]</sup>,即纹理丰富的图像区域的块效应较小,而光滑的平坦区域块效应较大。因此,基于块效应测度的 JPEG 伪造图像盲取证算法在相同的背景图像情况下,光滑篡改区域的定位效果通常好于纹理区域,而在篡改区域相同的情况下,背景图像纹理丰富的时定位效果较差。

4) 一般情况下,当篡改区域为非压缩格式或者篡改区域的块效应网格与背景区域不一致时,都可以认为无明显块效应,此时,背景区域的 JPEG 质量因子越高,则检测效果就越差;当篡改区域和背景区域的块效应网格位置一致但篡改区域的 JPEG 质量因子高于背景区域的质量因子时,篡改区域也会具有较小的块效应,此时,两者的 JPEG 压缩质量因子相差越大,检测的效果就越好。

5) 由于 JPEG 压缩本质上相当于一个低通滤波器,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 JPEG 压缩痕迹将被破坏,使篡改检测更加困难<sup>[20]</sup>。因此基于块效应测度的 JPEG 伪造图像盲取证方法对于伪造图像以一个低于原始图像的质量因子再次压缩保存的情况检测效果一般会比较差甚至无效。对于这类以低于原始图像的质量因子再次压缩的 JPEG 伪造图像,可以考虑结合 JPEG 图像的双量化等其他特性做进一步研究。

6) 基于块效应网格提取的 JPEG 伪造图像盲取证方法试图尽可能准确清晰地提取可疑图像的块效应网格,然后通过分析块效应网格的异常分布状态实现篡改取证。虽然这类方法可以有效地检测 1.2 节的 3 类 JPEG 伪造图像篡改方式,但是块效应网格的提取容易受图像中强边缘的干扰。对于一幅给定的压缩质量因子的 JPEG 图像,块效应网格的水平与图像的内容高度相关,并且甚至在某些边界处块效应网格并不出现。

近两年来,国外学者针对 JPEG 伪造图像的盲取证方法提出了一些反取证操作的方法<sup>[30-33]</sup>,可以隐藏图像伪造过程中产生的线索和遗留的痕迹。其中文献[30]提出了一种反取证的去块操作,可以有效地去除采用大于 30 的质量因子进行 JPEG 压缩

产生的块效应的统计痕迹。由此,基于块效应特征的 JPEG 伪造图像盲取证方法受到了很大的挑战。根据对现有研究工作的总结和分析,未来的研究方向可以从以下几个方面考虑:

1) 在给定 JPEG 压缩质量因子的情况下,研究如何尽可能减小图像内容对块效应评价的影响,寻找更加准确地描述图像局部块效应的评价方法。

2) 对于伪造图像以一个低于 JPEG 原始图像的质量因子再次压缩保存的情况,研究如何结合 JPEG 图像的其他特征提高盲取证算法的有效性和准确性。

3) 研究新的块效应网格提取算法,使提取的块效应网格更加准确、清晰,并且尽可能消除图像中强边缘的干扰,避免周期性线边缘导致的虚警报。

4) 根据块效应网格以 8 为周期的水平和垂直方向边缘线条的特征,研究在 JPEG 压缩质量因子较大的情况下,如何更加有效地提取块效应网格的方法。

5) 研究在有效提取块效应网格之后,如何更加准确地标记块效应网格之间非对齐性的智能方法。

6) 针对现有的反取证方法,研究如何更加有效地利用 JPEG 图像的块效应特征提出鲁棒性更强的伪造图像盲取证算法。

## 参考文献 (References)

- [1] Farid H. A survey of image forgery detection[J]. IEEE Signal Processing Magazine, 2009, 26(2): 16-25.
- [2] Eric Hamilton. JPEG file interchange format, Version1.02[EB/OL]. (1992-9-1)[2012-10-17]. <http://www.jpeg.org/public/jif.pdf>.
- [3] Fan Z, de Queiroz R L. Identification of bitmap compression history: JPEG detection and quantizer estimation[J]. IEEE Transactions on Image Processing, 2003, 12(2): 230-235.
- [4] Neelamani R, Queiroz R d, Fan Z G, et al. JPEG compression history estimation for color images[J]. IEEE Transactions on Image Processing, 2006, 15(6): 1365-1378.
- [5] Lin G, Chang M, Chen Y. A passive-blind forgery detection scheme based on content-adaptive quantization table estimation[J]. IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology, 2011, 21(4): 421-434.
- [6] Fridrich J, Lukas J. Estimation of primary quantization matrix in double compressed JPEG images[C]//Proceedings of Digital Forensic Research Workshop. Cleveland, OH, USA: Elsevier, 2003: 67-84.
- [7] Farid H. Exposing digital forgeries from JPEG ghosts[J]. IEEE Transactions on Information Forensics and Security, 2009, 4(1):

- 154-160.
- [ 8 ] Huang F, Huang J, Shi Y Q. Detecting double JPEG compression with the same quantization matrix [ J ]. IEEE Transactions on Information Forensics and Security, 2010, 5(4) : 848-856.
- [ 9 ] Chen Y, Hsu C. Detecting recompression of JPEG images via periodicity analysis of compression artifacts for tampering detection [ J ]. IEEE Transactions on Information Forensics and Security, 2011, 6(2) : 396-406.
- [ 10 ] Bianchi T, Piva A. Detection of non-aligned double JPEG compression with estimation of primary compression parameters [ C ] // Proceedings of IEEE International Conference on Image Processing. Brussels: IEEE Press, 2011: 1929-1932.
- [ 11 ] Luo W, Huang J, Qiu G. JPEG error analysis and its applications to digital image forensics [ J ]. IEEE Transactions on Information Forensics and Security, 2010, 5(3) : 480-491.
- [ 12 ] Alvarez P. Using extended file information (EXIF) file headers in digital evidence analysis [ J ]. Digital Evidence, 2004, 2(3) : 1-5.
- [ 13 ] Kee E, Johnson M K, Farid H. Digital image authentication from JPEG headers [ J ]. IEEE Transactions on Information Forensics and Security, 2011, 6(3) : 1066-1075.
- [ 14 ] Luo W, Qu Z, Huang J, et al. A novel method for detecting cropped and recompressed image block [ C ] // Proceedings of IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing. Honolulu, HI: IEEE Press, 2007(2) : 217-220.
- [ 15 ] Ye S, Sun Q, Chang E. Detecting digital image forgeries by measuring inconsistencies of blocking artifact [ C ] // Proceedings of IEEE International Conference on Multimedia and Expo. Beijing: IEEE Press, 2007: 12-15.
- [ 16 ] Wei W M, Tang Z J. Blind detection of composite images by measuring inconsistencies of JPEG blocking artifact [ J ]. Journal of Image and Graphics, 2009, 14(11) : 2387-2390. [ 魏为民, 唐振军. 利用 JPEG 块效应不一致性的合成图像盲检测 [ J ]. 中国图象图形学报, 2009, 14(11) : 2387-2390. ]
- [ 17 ] Li F, Ma T, Cao D. Blind forensics for digital composite images based on JPEG blocking artifact [ J ]. Journal of Computational Information Systems, 2010, 6(14) : 4835-4840.
- [ 18 ] Wang X, Lu Z P. Locate tampered image region automatically based on inconsistency of JPEG blocking artifacts [ J ]. Computer Science, 2010, 37(2) : 269-273. [ 王鑫, 鲁志波. 基于 JPEG 块效应差异的图像篡改区域自动定位 [ J ]. 计算机科学, 2010, 37(2) : 269-273. ]
- [ 19 ] Zhao F, Liu X T, Jing T, et al. Blind forensic of JPEG forgeries based on local blocking artifacts [ J ]. Signal Processing, 2010, 26(12) : 1805-1811. [ 赵峰, 刘晓腾, 荆涛, 等. 基于局部块效应的 JPEG 伪造图像的盲取证 [ J ]. 信号处理, 2010, 26(12) : 1805-1811. ]
- [ 20 ] Zheng E G, Ping X J. Passive-blind forensics for a class of JPEG image forgey [ J ]. Journal of Electronics & Information Technology, 2010, 32(2) : 394-399. [ 郑二功, 平西建. 针对一类 JPEG 图像伪造的被动盲取证 [ J ]. 电子与信息学报, 2010, 32(2) : 394-399. ]
- [ 21 ] Li W, Yuan Y, Yu N. Detecting copy-paste forgery of JPEG image via block artifact grid extraction [ C ] // Proceedings of International Workshop on Local and Non-Local Approximation in Image Processing. Lausanne, Switzerland: Tampere International Center for Signal Processing, 2008: 121-126.
- [ 22 ] Tralic D, Petrovic J, Grgic S. JPEG image tampering detection using blocking artifacts [ C ] // Proceedings of International Conference on Systems, Signals and Image Processing. Vienna: IEEE Press, 2012: 11-13.
- [ 23 ] Li W, Yuan Y, Yu N. Passive detection of doctored JPEG image via block artifact grid extraction [ J ]. IEEE Transactions on Signal Processing, 2009, 89(9) : 1821-1829.
- [ 24 ] Singh J, Singh S, Singh D, et al. A signal adaptive filter for blocking effect reduction of JPEG compressed images [ J ]. International Journal of Electronics and Communications, 2011, 65(10) : 827-839.
- [ 25 ] Jung C, Jiao L, Qi H, et al. Image deblocking via sparse representation [ J ]. Signal Processing: Image Communication, 2012, 27(6) : 663-677.
- [ 26 ] Saleem A, Beghdadi A, Chetouani A. Iterative blocking artifact reduction based on local contrast information [ C ] // IEEE International Symposium on Signal Processing and Information Technology. Bilbao: IEEE Press, 2011: 363-368.
- [ 27 ] Seok B Y, Kyuha C, Jong B R. Post processing for blocking artifact reduction [ C ] // Proceedings of IEEE International Conference on Image Processing. Brussels: IEEE Press, 2011: 1509-1512.
- [ 28 ] Nath V K, Hazarika D. Blocking artifacts suppression in wavelet transform domain using local wiener filtering [ C ] // Proceedings of National Conference on Emerging Trends and Applications in Computer Science. Shillong: IEEE Press, 2012: 93-97.
- [ 29 ] Robertson M A, Stevenson R L. DCT quantization noise in compressed images [ J ]. IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology, 2005, 15(1) : 27-38.
- [ 30 ] Stamm M, Tjoa S, Lin W, et al. Undetectable image tampering through JPEG compression anti-forensics [ C ] // Proceedings of IEEE International Conference on Image Processing. Hong Kong, China: IEEE Press, 2010: 2109-2112.
- [ 31 ] Stamm M, Liu K. Anti-forensics of digital image compression [ J ]. IEEE Transactions on Information Forensics and Security, 2011, 6(3) : 1050-1065.
- [ 32 ] Valenzise G, Nobile V, Tagliasacchi M, et al. Countering JPEG anti-forensics [ C ] // Proceedings of IEEE International Conference on Image Processing. Brussels: IEEE Press, 2011: 1949-1952.
- [ 33 ] Valenzise G, Tagliasacchi M, Tubaro S. The cost of JPEG compression anti-forensics [ C ] // Proceedings of IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing. Prague: IEEE Press, 2011: 1884-1887.