

## 基于边界平滑检测的虚假图像盲识别算法\*

陈英, 赵鹏<sup>+</sup>, 王瑀屏

(清华大学 计算机科学与技术系, 北京 100084)

### Exposing Digital Forgeries by Detecting Traces of Smoothing

CHEN Ying, ZHAO Peng<sup>+</sup>, WANG Yu-Ping

(Department of Computer Science and Technology, Tsinghua University, Beijing 100084, China)

+ Corresponding author: E-mail: p-zhao07@mails.tsinghua.edu.cn

Chen Y, Zhao P, Wang YP. Exposing digital forgeries by detecting traces of smoothing. *Journal of Software*, 2008,19(Suppl.):59-68. <http://www.jos.org.cn/1000-9825/19/s59.htm>

**Abstract:** With powerful computer, high-resolution digital cameras, and sophisticated photo editing software, users can easily manipulate and alter digital images as they wish. Although good forgeries may not be perceptible by human eyes because no visual clues of tampering are left, they may leave some traces of digital tampering that can not be avoided in the media during tampering process. Most digital forgeries employ edge and region smoothing after the contents are manipulated or altered. This paper describes how smoothing introduces disharmony between authentic regions and tampering regions, and then presents a method to automatically detect smoothing regions at any part of an image that indicate possible tampering. The technique works well without any embedded information such as digital watermark.

**Key words:** digital forgeries detection; smoothing detection; Gaussian smoothing; median smoothing

**摘要:** 凭借着高性能的计算机、高分辨率的数码照相机以及成熟的照片编辑软件,用户可以轻松地按照自己的意愿来修改数字图像.由于成功的伪造不会在图像上留下篡改的视觉痕迹,也就不会被人眼所感知,但是也会不可避免地留下一些修改过的电子痕迹.大多数的伪造会在篡改图像之后采用边缘和区域平滑的方法来使图像显得完整、统一.描述了图像在修改前后的区别,之后将引入“不和谐点”的概念,然后提出了一种在图像的任意地方自动检测平滑区域的方法,以表明可能存在的篡改.该技术方法不需要嵌入任何信息.

**关键词:** 数字虚假图像检测;平滑检测;高斯平滑;中值平滑

随着高分辨率和多功能的数码相机、成熟的图像编辑软件和强大的计算机的迅速发展,数字图像可以被用户轻易地修改.在大多数情况下,虚假图像不会留下任何视觉上的痕迹,也就导致我们的肉眼不能分辨是真是假.因此,照片不再是用来记录历史事件的可靠途径.数码照片可以被轻易地修改以至其不可信.由于检测虚假图像的重要性,也就成为了许多研究人员关注的热点问题.

首先来认识一个虚假图像,如图 1 所示.该图像是由 3 幅不同的图像合成的,原来的 3 幅图分别是:白宫、克林顿和萨达姆.白宫的图像经过放大拉伸裁剪和模糊处理后成为背景.克林顿和萨达姆的图像分别从各自原始的图像中剪切出来并拼凑在一起放置在白宫前.毫无疑问,图 1 是一个没有留下任何视觉线索的虚假图像的好例子.

\* Supported by the National Basic Research Program of China under Grant No.2006CB303104 (国家重点基础研究发展计划(973))

Received 2008-05-01; Accepted 2008-11-25



Fig.1 A good example of altered image that no visual clue is left for human eyes

图 1 未留下视觉线索的虚假图像

数字水印是一种图像鉴别的方法<sup>[1,14]</sup>,但是两个主要缺点制约了其广泛应用.第一,数字水印必须在篡改数字图像之前嵌入水印,也就意味着数码相机等数字图像的生成设备必须具备嵌入水印的功能.第二,数字水印信息在经过篡改之后应该还能够存在,但目前并不能达到.因此,不需要数字水印的图像篡改检测研究成为了热点问题.Fridrich 等人<sup>[3]</sup>、Popescu 和 Farid<sup>[12]</sup>,还有 Luo 等人<sup>[10]</sup>都提出了检测通过复制粘贴方式形成复制区域的方法.Farid 等人还提出了许多有效的方法来检测虚假图像,比如,检测重采样的痕迹<sup>[13]</sup>、基于统计学的工具<sup>[12]</sup>、在小波域中更高次序的统计分析<sup>[11]</sup>、双频谱分析<sup>[2]</sup>、检测色差的偏移<sup>[6]</sup>和基于数码相机颜色过滤插值的方法<sup>[14]</sup>.此外,Hsiao 通过模糊估计来定义电子篡改<sup>[5]</sup>.

本文第 1 节回顾一下通用的图像平滑算法.第 2 节提出一个基于“不和谐点”的检测平滑区域的完整方案.第 3 节给出我们的实验结果.最后第 4 节对我们的工作进行总结.

## 1 平滑算法

由于数字图像在成像、传输、后期处理等过程中不可避免地引入各种噪声(如冲击噪声和高斯白噪声)和寄生效应,人们一直在寻找更好的平滑算法,在去除这些噪声和效应的同时,保持甚至增强图像的视觉效果.经过人们较长时间的努力研究,平滑算法已经发展得较为成熟,各种不同的平滑算法相对稳定,能够获得比较令人满意的平滑效果.下面分别介绍 3 种不同的平滑算法,以期找到共同的关键特征量来表征平滑.

### 1.1 邻域均值平滑算法

邻域均值平滑算法<sup>[4]</sup>是直接空域中利用邻域均值进行平滑的方法.给定待平滑图像  $f(x, y)$ ,其大小为  $N \times N$ ,令平滑处理后的图像为  $g(x, y)$ .这里考虑方形邻域,其大小为  $b \times b$ .对于图像  $f$  中的每一个像素点  $(x, y)$ ,以该像素点为中心选取邻域,则平滑后像素值  $g(x, y)$  取值为邻域内像素值的平均值.可用公式表示如下:

$$g(x, y) = \frac{1}{(b^2 - 1)} \sum_{(m, n) \in S} f(m, n) \quad (1)$$

其中,  $x, y = 0, 1, \dots, N - 1, S$  是以像素点  $(x, y)$  为中心选取的大小为  $b \times b$  的方形领域中像素点的集合,而  $(b^2 - 1)$  是该集合像素点的个数.

### 1.2 高斯平滑算法

一般情况下,图像空域中的边界和噪声内容与其傅立叶变换域中的高频部分相对应.因此,如果能消除图像频域中超过某一频率的高频部分,平滑处理的效果即可达到.高斯平滑算法<sup>[4]</sup>借助于高斯滤波器对高频信号的滤除作用,通过构造适合低通滤波的高斯函数来平滑图像.仍然以  $f(x, y)$  表示待平滑图像,  $g(x, y)$  表示平滑处理后的图像,两者的傅立叶变换分别为  $F(u, v)$  和  $G(u, v)$ ,选取高斯滤波函数  $h(x, y)$ ,其傅立叶变换为  $H(u, v)$ .由卷积定理可得出频域三者之间的关系公式:

$$G(u, v) = H(u, v)F(u, v) \quad (2)$$

其中,对  $G(u, v)$  作傅立叶反变换即可获得平滑处理后的图像  $g(x, y)$ .

值得注意的是,高斯函数在时域和频域里具有相同的函数表达形式,如果在一维情况下,高斯函数可以表示为

$$h(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_b} \exp\left(-\frac{x^2}{2\sigma_b^2}\right) \quad (3)$$

凭借高斯函数对低频分量的保持、对高频分量的去除,高斯平滑算法能够在不损失信号能量的同时,极优化地滤除噪声。

### 1.3 中值滤波平滑算法

中值滤波平滑<sup>[9]</sup>是非线性处理,在去除图像噪声的同时常常能较好地保持图像效果,尤其能保证图像边界的清晰;同时,中值滤波往往能较好地处理冲击噪声(如椒盐噪声)。中值滤波是一种空域内的邻域计算,类似于卷积但计算的不是加权求和,而是把邻域中的像素按灰度级进行排序,然后选择中间值作为平滑输出像素值。中值滤波的主要功能是使与周围像素灰度值的相差较大的像素改取与周围的像素值接近的值,从而可以消除孤立的噪声点。

## 2 平滑检测特征量

图像噪声的类型多样,其中较为常见的是均匀噪声和冲击噪声。均匀噪声在图像中的分布均匀,往往以高斯白噪声的形式出现;冲击噪声产生于数字设备中的成像误差或者传输过程中的错误,具有随机的信号幅度和频率内容,常随机出现能量尖峰。为提高数字图像的视觉效果,平滑常用于图像边界和低频等噪声多发区域。另一方面,当虚假图像通过图像篡改或者多图像合成等方式制作时,为消除篡改痕迹,平滑处理常被应用于篡改区域的边界部分。

在平滑处理过的图像区域,噪声在相当程度上被减少的同时,图像会变得较为模糊,区域内像素值趋于平均,方差相对减小。在这种情况下,首先提出一种假设:平滑算法在取得平滑效果的同时,可能在平滑像素与其邻域像素之间引入某种线性或非线性的关系。

如果平滑算法是线性的,并且具体的平滑参数已知,那么检测平滑区域并不困难。但在实际应用中,诸如高斯平滑、中值平滑等非线性平滑算法较为常见,因此,在平滑区域中,像素与其邻域内像素之间的线性关系并不存在,平滑区域将无法被识别。为了在非线性的平滑条件下检测平滑,本节首先引入识别平滑的特征量——“不和谐点”,然后通过实验,证明该特征量能够检测平滑,最后给出该特征量的估算方法。

### 2.1 不和谐点

所谓不和谐点,是指图像中某一像素的灰度值在一定程度上超过了其邻域像素。考虑图像中大小为  $M \times N$  的区域,如果像素点  $(x, y)$  满足:

$$\left| f(x, y) - c \sum_{(m, n) \in S} f(m, n) \right| > threshold \quad (4)$$

那么该像素点就是不和谐点。其中,  $f(x, y)$  表示像素点  $(x, y)$  的灰度值,  $S$  描述以该像素点为中心的邻域,放缩系数  $c$  和阈值  $threshold$  调整不和谐点与邻域内其他像素的差异程度。

由上述定义可知,与邻域内其他像素点相比,不和谐点的灰度值明显较大,常常破坏图像局部的平整性。从某种意义上说,不和谐点比较类似于图像的冲击噪声。因此,如果对图像区域进行平滑处理,区域内不和谐点的数量和密度将显著减少。

为验证这一结论,在给出不和谐点的估计方法之前,本节分别以高斯白噪声和椒盐噪声模拟不和谐点,观察平滑处理前后不和谐点的变化情况。图 2 是上述模拟的实验结果,其中,左上的人物图是原始图像,中上图像中加入了模拟不和谐点的高斯白噪声,右上图像是经高斯平滑后的结果;左下的风景图是原始图像,中下图像中添加了模拟不和谐点的椒盐噪声,右下图像是经中值平滑后的结果。可以看到,无论是高斯平滑还是中值平滑,也不论是用高斯白噪声还是椒盐噪声模拟不和谐点,不和谐点在平滑处理后都大幅度减少。



Fig.2 Image is original, noisy and smoothed from left to right respectively. The Lena image is noised by Gaussian White Noise (variance is 0.02), and de-noised by Gaussian smoothing; the Lake image is noised by Salt & Pepper Noise (the noise density is 0.03), and de-noised by median smoothing

图2 从左到右分别是原始图像、加噪图像和平滑后图像.上面的人物图中添加了方差为 0.02 的高斯白噪声,然后通过高斯平滑去噪;下面的风景图中添加了噪声密度为 0.03 的椒盐噪声,然后经中值滤波处理

不和谐点的提出,是期望作为特征量识别区域是否被平滑.在一般情况下,图像边界等不平滑区域常常有可能出现较大密度的不和谐点.本节利用噪声模拟不和谐点,通过实验证明了平滑处理可能大幅度降低不和谐点的密度.下一节,我们还将针对实际情况,给出进一步的验证.

## 2.2 不和谐点的估算方法

对图像冲击噪声的研究已有较长时间,去噪算法相对成熟,去噪效果也相对稳定.由上节所述,不和谐点在某种程度上类似于冲击噪声.为合理估算图像中的不和谐点,找到较为准确的估算算法,可以从前人对冲击噪声的估计算法中学习核心思想和经验,提出不和谐点的检测算法.

在目前已有的冲击噪声检测算法中,文献[8]基于自适应最小二乘预测模型(least-square adaptive predictive model),提出了具有较高精确度的冲击噪声估计方法.如果像素破坏了图像局部的平整性,特别是在图像边界等噪声密集区域,那么该像素被认为是冲击噪声点.已经证明,最小二乘估计是空域中检测冲击噪声的有效数学工具.基于已经提出的预测模型,本节将该算法的核心思想应用于不和谐点估计,对文献[7]中提到的冲击噪声检测算法进行适当改进.

改进后的不和谐点估计算法首先对待测像素点构建优化滤波器,由于不和谐点具有相对较大灰度值,破坏邻域内平整性,如果滤波后像素点灰度值与原值差异较大,那么该像素点被判定为不和谐点.具体过程如下:

设  $x(i, j)$  为待检测像素点,以及与其最邻近的 8 个像素点构成集合  $N_x$  (令  $N = |N_x| = 8$ ). 考虑列向量  $\bar{X}_{N \times 1} = [x_1, x_2, \dots, x_N]^T$ , 列向量中的元素  $x_i \in N_x$ . 以目标像素  $x(i, j)$  为中心选取边长为  $(2R+1)$  的方形邻域,该区域内所有像素组成集合  $M_x$  (令  $M = |M_x| = (2R+1) \times (2R+1)$ ). 然后定义向量列  $\bar{P}_{M \times 1} = [p_1, p_2, \dots, p_M]^T$ , 其中元素  $p_i (i=1, 2, \dots, M)$  依次取自于集合  $M_x$ . 给定矩阵  $Q_{M \times N} = [\bar{q}_1, \bar{q}_2, \dots, \bar{q}_M]^T$ , 其中行向量  $\bar{q}_i (i=1, 2, \dots, M)$  由列向量  $\bar{P}_{M \times 1}$  中对应元素  $p_i$  的邻域集合  $N_x$  确定. 在这种情况下,优化滤波系数  $\bar{d}_{N \times 1}$  可以求出:

$$\bar{d}_{N \times 1} = (Q^T Q)^{-1} (Q^T \bar{P}) \quad (5)$$

然后,像素  $x(i, j)$  的过滤值为

$$\tilde{x} = \bar{d}^T \bar{x} \quad (6)$$

给定判定阈值 *Threshold*, 如果  $|x - \tilde{x}| > \text{Threshold}$ , 那么认定像素点  $x(i, j)$  为不和谐点.

为简单显示不和谐点的检测结果,对每个待检测图像生成不和谐点分布示意图,图中每个像素点  $(x, y)$  的取

值  $f(x, y)$  为

$$f(x, y) = \begin{cases} 1, & \text{像素点}(x, y)\text{为不和谐点} \\ 0, & \text{像素点}(x, y)\text{不是不和谐点} \end{cases} \quad (7)$$

为验证上述检测算法,并进一步测试平滑处理对不和谐点的影响,下面以真实图像进行实验.图 3 给出了不和谐点的估算结果.可以看到,算法所检测出的不和谐点大多出现在图像不同事物、不同色彩的边界区域,较少有不和谐点在人脸、湖面、镜面和天空等较为光滑的区域出现.在这个意义上,算法较好地检测出非光滑区域中的不和谐点.



Fig.3 Inharmonic points are calculated by proposed method. (Left) the detection result of the Lena image; (Right) the result of the Lake image

图 3 不和谐点估计算法的实验结果.

上面两幅是原始图像,下面是 不和谐点估计结果

另一方面,当图像经平滑处理后,不和谐点将大量减少.如图 4 所示,在分别对真实图像进行高斯平滑和中值平滑后,相对于平滑前的检测结果(如图 3 所示),即使在图像边界等密集区域,不和谐点的密度也相当程度地有所降低.

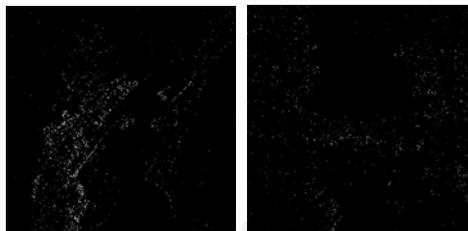


Fig.4 Detected impulse noises from the smoothed images are reduced greatly. (Left) the result of the Lena image; (Right) the result of the Lake image

图 4 图像平滑处理后的不和谐点估计结果.

其中,左图经高斯平滑后,右图经中值平滑.与图 3 相比,不和谐点大为减少

综上,本节提出的不和谐点估计算法能够较准确地检测出图像边界区域中的不和谐点.图像区域越光滑,事物越单一,色彩越简单,不和谐点的数量越少;图像越复杂,边界区域越多,不和谐点的密度越大.另一方面,各种平滑处理算法在获得较佳视觉效果的同时,大幅度地去除了图像中的不和谐点,降低了图像边界区域的不和谐点密度.由此可知,该算法所估算出来的不和谐点作为特征量,能够识别区域是否经过平滑处理.

### 2.3 检测平滑区域

不和谐点作为特征量,可以表征图像区域是否平滑.总体上说,它包含两个方面的意义:首先,与未经历平滑

处理的区域相比,平滑区域具有显著较少的不和谐点;第二,与图像其他区域相比,图像在不同事物、不同色彩区域的边界处具有显著较多的不和谐点。

给定待检测区域,估算其中不和谐点分布情况.如果区域中某一块区域的不和谐点数量显著较少,且该区域成分复杂,色彩丰富,存在较多的边界,那么该区域很可能经过平滑处理.为证明方法有效,下面对真实图像进行平滑检测,具体步骤如下:

- (1) 针对原始的真实图像,估算不和谐点分布情况;
- (2) 利用 PhotoShop 图像处理软件中的模糊工具,对该图像中的某一边区域进行平滑处理;
- (3) 估算平滑处理后图像的不和谐点数量,并与第 1 步中的估算结果作比较,确认是否有较为明显的变化.

以大小为  $512 \times 512$ 、图片格式为 TIFF 的 Lena 图像作为实验对象,实验结果如图 5 所示.左图为原始图像;右图为针对原始图像中白色方形区域估算的不和谐点分布图;在对白色方形区域的帽沿部分进行平滑处理后,中图显示了不和谐点的检测结果.右图与中图相对比可以看到,在平滑处理区域,不和谐点的数量大幅度减少,帽沿处几乎不存在不谐点,一条明显的黑色痕迹残留在帽沿处.如果没有平滑处理,帽沿区域应当存在相当数量的不和谐点,然而不和谐点近乎消失,这只能说明该区域经过平滑处理.

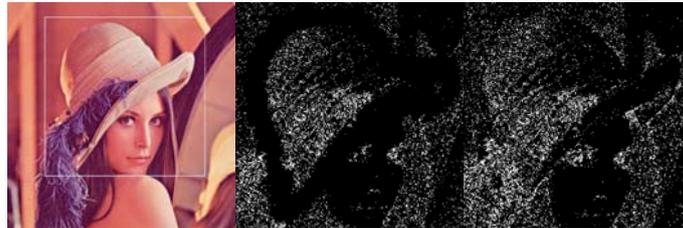


Fig.5 Edge of the hat in the square region of the left Lena image is smoothed

图 5 左图为原始图像,对图中白色区域中的帽沿进行平滑处理

由上述实验可以得出,通过比较待检测区域中不和谐点的密度情况,能够较为直接地检测目标区域是否被平滑处理.

#### 2.4 检测篡改盲识别算法

通过计算不和谐点的分布情况,上节提出平滑区域的检测方法,并通过对实际图像的实验得以证明.由于该方法在识别和定位平滑区域上较为有效,本节进一步深入研究和改进该方法,进而推广应用于虚假图像盲识别,提出具体的盲识别算法和流程.

考虑虚假图像的制作过程,如果原始图像中人脸、背景被替换,关键事物被隐藏或者更替,为了不在视觉上留下篡改痕迹,篡改者一般会在篡改区域的边缘进行平滑处理,从而使篡改区域与原始区域之间能够无缝连接起来.然而在平滑处理消除篡改痕迹的同时,正如上节已经证明的,边缘处本该大量存在的的不和谐点可能大幅度地减少,以至于形成较为明显的的不和谐点的消失带,如圆形、弧形等等.

利用不和谐点特征量,通过检测图像中边缘区域是否经历平滑处理,进而识别出图像的真实性,此即为基于边界检测的虚假图像盲识别算法的核心思想.给定待识别图像  $I$ ,其盲识别算法详述如下:

(1) 针对该图像  $I$ ,找到所有嫌疑篡改边界,并将图像分成包含这些嫌疑边界的方形区域.如果需要应用已有的边界检测(edge detection)算法,检测出图像  $I$  的边界.如图 6 所示,首先利用边界检测算法找到图像边界,在图中假设为两段圆弧和一个不规则的封闭圆形;然后将图像分成 3 块方形区域,每一区域包含上述区域,图中点横线区域和实线区域包含圆弧,虚线区域包含不规则圆形.

(2) 针对每一块包含嫌疑边界的方形区域,利用第 2.2 节的算法估算不和谐分布情况,然后借助于第 2.3 节的方法判定该边界是否经历平滑.已经证明在一般情况下,边界处存在大量的不和谐点,如果该区域中的嫌疑边界处几乎没有不和谐点或者不和谐点密度大量减少,那么该边界很可能经历平滑处理.

(3) 综合上述判定为平滑处理过的边界区域,由于不谐点在边界处显著较少,如果在不和谐点分布结果图

中存在较为清晰的不和谐点消失带,那么该图像是经过篡改的,上述区域经过特殊平滑处理。

图 7 示意了该算法的几个关键步骤及流程。目前为止,在引入特征量不和谐点的基础上,本节探讨了该特征量的估算方法并给出图像中不和谐点分布估算图,然后在给出检测区域平滑性的前提下,完整地提出基于边界平滑检测的虚假图像盲识别算法,并给出了该算法的流程图。

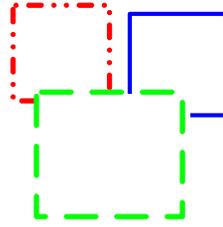


Fig.6 Using edge detection to find all edges

图 6 利用边界检测算法找到所有边界

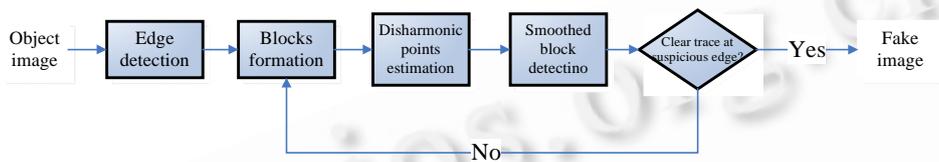


Fig.7 System work flow of exposing digital forgeries by detecting traces of smoothing

图 7 基于边界检测的虚假图像盲识别算法的一般系统流程图

### 3 实验检测结果

为验证上述算法的识别效果,本节以网络上流传较广的虚假图像为实验对象。这些来自于网络世界的图像千奇百怪,具有不同的大小、格式和内容。本节选取的实验图像来自于近两年网上火热的网络人物“小胖”。

首先对图 8 中的左图进行识别。由经验判断可以知道,该图是电影《指环王》中精灵王子的人脸被替换而篡改而成。以该图为实验对象,利用上节提出的盲识别算法,实验结果如图 8 所示。以左图中标出的白色方形区域为篡改嫌疑区域,利用不和谐点估算方法得到右图所示的不和谐点分布图。从右图可以看到,椭圆区域所对应的边界本应当存在大量的不和谐点,然而在当前的实验结果中,该区域内几乎无不和谐点存在,这只能说明该边界区域经历过平滑处理。整体来看,左图中的人脸的边缘区域相比于其他地方,具有明显较少的不和谐点,形成了明显的不和谐点消失带,从而可以断定该区域在恶意篡改后,曾经通过平滑手段进行修饰,因此该图像为虚假图像。



Fig.8 The left image is a famous fake from the movie “the LORD of the RINGS”. The detecting result using the approach is shown on the right. The result shows that the chin is smoothed unnaturally heavily

图 8 左图是电影《指环王》中精灵王子人脸被替换而形成的虚假图像。针对白色方形区域运用识别算法得到右图的不和谐点分布结果。可以看到在人脸边缘区域,不和谐点数量异常

图 9 中左图的篡改方式与上类似,以同样的方法对该图进行识别,结果如图 9 所示.由于该图中人脸边缘处较为可疑,对左图中的白色方形区域估算不和谐点分布情况,得到右图结果.在正常情况下,右图中曲线选中的区域所对应的人脸边缘部分应当具有相当数量的不和谐点,但在实验结果中该区域内几乎没有不和谐点而形成明显的弧形不和谐点消失带,从而可以知道该区域在篡改后,为使篡改区域与原始图像无缝粘合,曾经历过平滑处理,从而可以得出结论——该图像是虚假图像.



Fig.9 The left image is another tampering image. The result is shown on the right image by our method. As seen, the selected region is clear to be a trace of smoothing unexpectedly

图 9 方形区域中的人脸是被替换成的小胖.对该区域进行不和谐点检测得到右图所示结果.可以看到,曲线选中的区域中几乎不存在不和谐点,清晰的不和谐点消失带存在于平滑区域

再给出两个虚假图像的例子,图 10 和图 11 均为将原图像中的人物头像进行了篡改.在检测结果中可以清晰地看到脸部的边缘轮廓处的不和谐点几乎没有.从而可以识别该图像为虚假图像.

由上述实验可以知道,以不和谐点作为特征量,通过比较不和谐点在边界区域的分布情况,基于边界平滑检测的虚假图像盲识别算法能够有效地检测出图像的平滑区域,找到为掩饰篡改所留下的平滑痕迹,从而准确地识别出经历过平滑修饰的虚假图像.

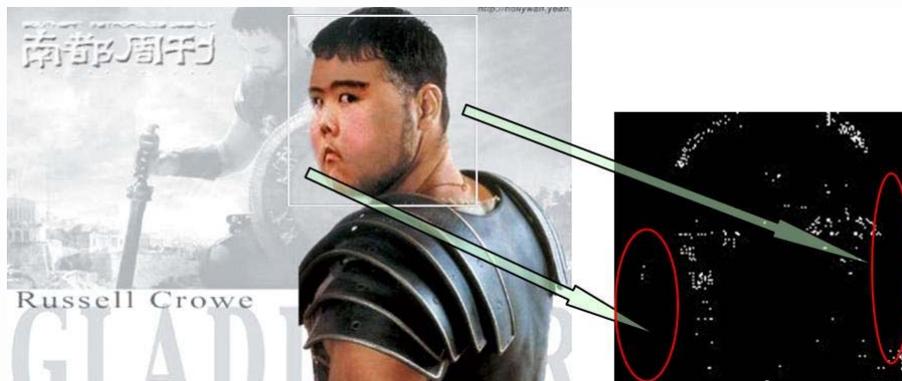


Fig.10 Another tampering image. The result is shown on the right image by our method

图 10 白框区域中的人脸被替换成了小胖.检测结果如右图

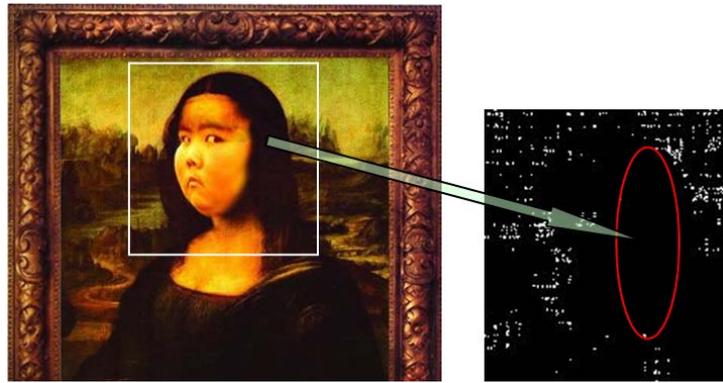


Fig.11 Tampering Mona Lisa image. The result is shown on the right image by our method

图 11 经典的蒙娜丽莎画像被进行了篡改.检测结果如右图

#### 4 结 论

目前大多数虚假图像在初步篡改完成后,为掩饰篡改留下的痕迹和引入的不协调感,增加图像的“真实感”,往往在篡改区域的边界进行平滑处理,以使得篡改区域与原始图像能够无缝连接.本文首先引入不和谐点作为特征量,通过实验验证并指出图像不同事物、不同色彩和复杂区域的边界区域必然存在大量的不和谐点,但经平滑处理后,该类区域内的不和谐点数量将会大幅度地减少.

根据不和谐点在某种意义上与冲击噪声类似的特点,通过改进冲击噪声的估计算法,本节给出估计不和谐点分布情况的算法.在此基础上,进一步提出检测平滑区域的方法,并通过实验验证了该方法的准确性.基于特征量的识别特点,给出基于边界检测的虚假图像盲识别算法的详细步骤,并给出系统的一般流程图.为验证算法的效果,以网络上著名虚假图像为实验对象,对直接下载于网络的图像进行盲识别.由实验结果可以看到,对篡改痕迹被平滑修饰过的各类虚假图像,上述算法都能够准确有效地找到平滑区域,发现不和谐点分布异常的平滑痕迹,从而高效地识别出图像真伪.

但需要指出的是,该算法在识别诸如天空、河流等大面积光滑区域所组成的图像时,常常由于图像区域本身就具有较少的不和谐点数量而使得误识别率较高.另一方面,该算法仅针对篡改图像经历过平滑处理的情况,一旦虚假图像在取得逼真效果的同时并没有进行平滑处理,那么算法将无能为力.这些问题可以作为今后进一步研究的内容.

#### References:

- [1] Cox I, Miller M, Bloom J. Digital Watermarking. Los Altos: Morgan Kaufmann Publishers, 2001.
- [2] Farid H. Detecting digital forgeries using bispectral analysis. Technical Report, AIM-1657, MIT AI Memo, 1999.
- [3] Fridrich J, Soukal D, Lukas J. Detection of copy-move forgery in digital images. In: Proc. of the Digital Forensic Research Workshop. 2003.
- [4] Gonzalez RC, Woods RE. Digital Image Processing. 2nd ed., Addison-Wesley Publishing Company, 2002.
- [5] Hsiao D, Pei S. Detecting digital tampering by blur estimation. In: Proc. of the 1st Int'l Workshop on Systematic Approaches to Digital Forensic Engineering. 2005.
- [6] Johnson M, Farid H. Exposing digital forgeries through chromatic aberration. In: Proc. of the MM&Sec06. 2006.
- [7] Li X. Blind image quality assessment. In: Proc. of the 2002 Int'l Conf. on Image Processing. 2002,1:449-452.
- [8] Li X, Orchard M. Edge directed prediction for lossless compression of natural images. IEEE Trans. on Image Processing, 2001, 10(6):813-817.
- [9] Lim J. Two-Dimensional Signal and Image Processing. Prentice Hall, 1990.

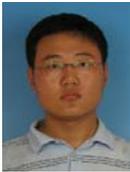
- [10] Luo W, Huang J, Qiu Q. Robust detection of region duplication forgery in digital image. In: Proc. of the 18th Int'l Conf. on Pattern Recognition. 2006.
- [11] Lyu S, Farid H. Higher-Order wavelet statistics and their application to digital forensics. In: Proc. of the IEEE Workshop on Statistical Analysis in Computer Vision. 2003.
- [12] Popescu A, Farid H. Statistical tools for digital forensics. In: Proc. of the 6th Int'l Workshop on Information Hiding. 2004.
- [13] Popescu A, Farid H. Exposing digital forgeries by detecting traces of re-sampling. IEEE Trans. on Signal Processing, 2005, 53(2):758-767.
- [14] Popescu AC FH. Exposing digital forgeries in color filter array interpolated images. IEEE Trans. on Signal Processing, 2005, 53(10):3948-3959.



陈英(1982—),男,湖北人,硕士生,主要研究领域为数字内容安全,图像处理.



王瑀屏(1984—),男,博士生,主要研究领域为数字内容安全,三维模型处理.



赵鹏(1985—),男,硕士生,主要研究领域为数字内容安全,图像处理.

www.jos.org.cn

www.jos.org.cn