

针对 Photoshop 软件中 USM 锐化的取证检测

尚士泽¹, 王波¹, 孔祥维¹, 尤新刚^{1,2}

(1. 信息安全研究中心, 大连理工大学, 大连 116024;

2. 北京电子技术应用研究所, 北京 100091)

摘要: 针对 Photoshop 中 USM (Unsharp Mask) 锐化篡改, 提出了一种新的取证算法. 分析和讨论了锐化图像引起边缘振荡的原因, 并根据这种振荡现象提取阶跃边缘点特征, 使用支持向量机对阶跃边缘点分类. 该算法能够有效地检测出图像是否经过锐化操作, 能够定位出图像的锐化区域, 并对重压缩具有鲁棒性.

关键词: 图像取证; 边缘振荡; USM 锐化; 支持向量机

中图分类号: TP391

文献标识码: A

The identification of image USM sharpening in Photoshop

SHANG Shize¹, WANG Bo¹, KONG Xiangwei¹, YOU Xin'gang^{1,2}

(1. Information Security Research Center, Dalian University of Technology, Dalian 116024, China;

2. Beijing Institute of Electronic Technology and Application, Beijing 100091, China)

Abstract: Focus on the tamper of USM sharpening in Photoshop, this paper presents a novel technology. After discussing the cause of edge oscillation in sharpening images, we make use of the existence of edge oscillation to extract features from step edge in images. An SVM based classifier is trained based on the extracted features for detection of sharpening images. This approach is applicable to identify the global and local sharpening images, and is robust to re-compression.

Key words: Image forensics; edge oscillation; the USM sharpening; Support Vector Machine

1 引言

数码设备的普及和图像处理软件的广泛应用, 使得普通人也能对一幅数码照片进行篡改而不被发现. 普遍流行图像处理软件有 Photoshop, ACDSee, 光影魔术手等, 其中 Adobe 公司的 Photoshop 图像处理软件被认为是应用最广泛的图像处理软件, 经过这些软件处理照片后, 很难辨别其真实性. 有人为了娱乐而制作一些伪造图片来“恶搞”朋友或同事, 还有为了达到政治或经济上的目的伪造图片来获得巨大的利益. 2008 年 7 月, 伊朗连续两天试射导弹, 而发射导弹照片被怀疑造假以隐瞒发射失败, 夸大武器的真实力量. 2010 年初又出参赛摄影作品造假行为, 金像奖的获奖作品中有 4 张照片与他人已经发表的作品极为相似. 频频出现的照片造假的实践表明, 数字多媒体中的图像内容安全已成为影响社会的稳定和发展的的重要因素. 因此迫切需要检测图像的完整性和真实性的数字图像取证技术.

篡改检测是数字图像取证的重要组成部分, 对图像进行篡改取证的方法有: 图像对比度增强的盲取证^[1], 图像模糊操作检测^{[2][3][4]}, 图像锐化操作检测^{[5][6]}, 利用 JPEG 压缩特性进行检测^{[7][8]}, 重采样的检测^{[9][10]}, 根据 CFA 插值引入的频域相关性进行检测^[11], 根据光照方向进行检测^{[12][13]}.

锐化操作为图像润饰操作的一种, 对篡改图像整体或局部作锐化处理, 使图像看起来更加协调. 另外一些摄影爱好者为使图片更加清晰, 经常对图像整体作锐化操作来增强对比度, 以增加作品的观赏性. 西方主流传媒对 Photoshop 的使用做出具体而严格限制, 如路透社、美联社对新闻图片的要求中

基金项目: 国家“八六三”高技术研究发展计划基金项目(2008AA01Z418); 国家自然科学基金项目(60971095).

作者简介: 尚士泽(1985-), 男, 辽宁海城人, 博士研究生, 数字多媒体取证.

通讯作者: 孔祥维, E-mail: kongxw@dlut.edu.cn

禁止使用锐化、模糊等润饰操作来改变图片效果^[14]。因此需要针对图象锐化操作检测取证的技术。但仅有寥寥文献关注这方面的研究, 文献[5]利用锐化图像产生边缘振荡现象, 提取阶跃边缘点, 根据带有振荡现象阶跃边缘点占总阶跃边缘点的比例来进行锐化判决。文献[6]利用非抽样 Contourlet 变换, 分析边缘点特征, 通过对边缘点分类来进行锐化判决。

本文针对普遍流行的 Photoshop 中 USM 锐化操作, 提出一种针对 USM 锐化篡改的检测算法, 利用锐化的图像存在边缘振荡这一现象, 分析研究锐化原理和本质, 对每个阶跃边缘点提取 7 维特征, 使用 SVM 分类器对阶跃边缘点分类。实验结果表明该算法可以对图像 USM 锐化操作检测有较高的准确性, 能够对局部锐化图像进行正确的定位, 并且对图像重压缩有较好的鲁棒性。

2 USM 锐化原理

通过对 Photoshop 中 USM 锐化的介绍, 阐述了锐化的参数含义, 并通过一般模型详细讨论了 USM 锐化的原理, 通过对锐化算子估计结果的分析能够证明出 USM 锐化使边缘产生振荡这一现象。

2.1 Photoshop 的 USM 锐化简介

USM 锐化是 Photoshop 常用的一个图像处理工具。通过 USM 锐化可以增强边缘的对比度, 使视觉效果更加清晰, 却不会对其它平滑区域产生较大影响。USM 锐化主要包含三个参数: Amount、Radius、Threshold。其中 Amount 决定边缘对比度增强的程度; Radius 用来决定沿边缘垂直方向处理的像素点宽度; Threshold 决定多大反差的相邻像素边界可以被锐化处理, 而低于此反差值就不作锐化。将整个图片选中进行 USM 锐化, 称之为全局锐化; 也可从图片中选择任意选区, 对选区内的图像进行锐化而不改变其它区域像素值, 称之为局部锐化。

2.2 锐化效应的分析

通过对 Photoshop 中 USM 锐化算子 s 结构的简单估计, 来验证锐化后边缘振荡现象的存在。为不失一般性, 假设 USM 锐化对于同一组锐化参数的算子唯一, 设定算子大小为 5×5 , 并用 $S_{i,j}, i, j \in [-2, 2]$ 表示。利用最小二乘法, 使用经历不同锐化强度的 100 幅图片的进行参数估计。实验结果表明, 锐化算子 s 基本满足以下三条规则, 规则 1: $S_{0,0} > 1$; 规则 2: $S_{m,n} < 0, m, n = -2, -1, 1, 2$; 规则 3:

$\sum_{m=-2}^{m=2} \sum_{n=-2}^{n=2} S_{m,n} = 1$ 。假设理想图像 I 边缘像素值分别为 A 和 B , 且 $A > B$, 经过 USM 锐化后:

$$I'_{x,y} = \sum_{m=-2}^{m=2} \sum_{n=-2}^{n=2} S_{m,n} \cdot I_{x+m,y+n} = \sum_{m=-2}^{m=0} \sum_{n=-2}^{n=2} S_{m,n} \cdot I_{x+m,y+n} + \sum_{m=1}^{m=2} \sum_{n=-2}^{n=2} S_{m,n} \cdot I_{x+m,y+n} \quad (1)$$

$I_{x,y}$ 表示坐标为 (x,y) 的像素点, 且 $I_{x,y} = A$, 进而得:

$$\begin{aligned} I'_{x,y} &= \sum_{m=-2}^{m=0} \sum_{n=-2}^{n=2} S_{m,n} \cdot A + \sum_{m=1}^{m=2} \sum_{n=-2}^{n=2} S_{m,n} \cdot B > \sum_{m=-2}^{m=0} \sum_{n=-2}^{n=2} S_{m,n} \cdot A + \sum_{m=1}^{m=2} \sum_{n=-2}^{n=2} S_{m,n} \cdot A \\ &= A \cdot \sum_{m=-2}^{m=2} \sum_{n=-2}^{n=2} S_{m,n} = A = I_{x,y} \quad \text{即} \quad I'_{x,y} > I_{x,y} \end{aligned} \quad (2)$$

$I_{x+1,y}$ 表示坐标为 $(x+1,y)$ 像素点, 且 $I_{x+1,y} = B$, 同上述方法得 $I'_{x+1,y} < I_{x+1,y}$; $I_{x+3,y}$ 为平滑区域像素, 且 $I_{x+3,y} = B$,

$$I'_{x+3,y} = \sum_{m=-2}^{m=2} \sum_{n=-2}^{n=2} S_{m,n} \cdot I_{x+3+m,y+n} = I_{x+3,y} \cdot \sum_{m=-2}^{m=2} \sum_{n=-2}^{n=2} S_{m,n} = I_{x+3,y} = B \quad (3)$$

即能够得出, 图像经过 USM 锐化后边缘的对比增强, 而平滑区域基本不变, 如图 1 所示。

3 针对图像 USM 锐化检测

分析了图像 USM 锐化使边缘产生的振荡现象与其它操作使图像产生振铃效应的区别，并给出了算法框图。为提高检测性能，本文在文献[5]基础上对每个阶跃边缘点提取 7 维特征，并使用 SVM 分类器进行分类，最后做出锐化判决。

3.1 USM 锐化检测框图

在图像复原和图像压缩中由于信号处理过程中的高频截断，使图像复原和图像压缩后的图像有振铃效应存在。这种振铃效应与锐化图像的边缘振荡有着明显的不同，前者将会在图像边缘出现类吉布斯（Gibbs）分布的连续振荡，而锐化图像的边缘有明显单峰凸凹的特点，因此锐化图像的边缘振荡现象可以作为其“指纹”。原始图像的阶跃边缘 $Eo(x)$ 与锐化图像阶跃边缘 $Es(x)$ 如图 1 所示。

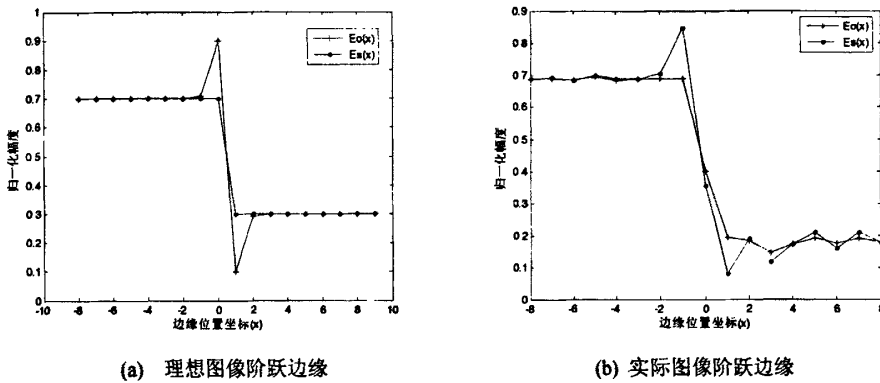


图 1 原始图像阶跃边缘 $Eo(x)$ 与锐化图像阶跃边缘 $Es(x)$

利用锐化图像的边缘振荡现象这一特点，首先对待测图像进行边缘检测，确定阶跃边缘点位置，提取垂直边缘像素带并计算其特征，使用 SVM 分类器对阶跃边缘点进行分类，算法框图如图 2 所示。

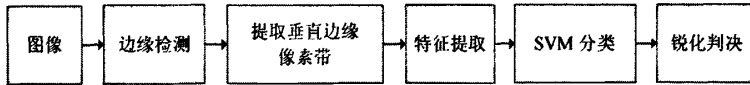


图 2 USM 锐化检测框图

3.2 特征提取

文献[5]介绍了图像 USM 锐化能使边缘产生振荡现象，在提取以阶跃边缘点为中心垂直边缘像素带时，对图 3 中的 ω 和 ξ 区域提取像素的个数分别为 8 和 15，本文认为 ω 区域中 4 个像素点能够完全包含边缘的振荡区域，而单像素带如果过长容易与其它边缘混叠，反而降低算法性能。因此在本文中 ω_{left} ， ω_{right} ， ξ_{left} ， ξ_{right} 区域均取 4 个像素点。

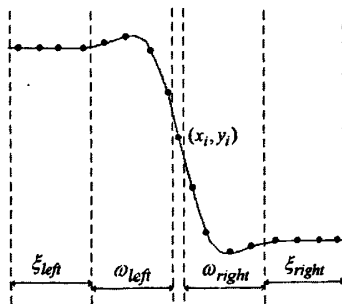


图 3 锐化边缘的相关参量

$I_j, j=1,2,\dots,17$ 表示单像素带的 17 个像素值, $I_{\omega_{left}}, I_{\omega_{right}}, I_{\xi_{left}}, I_{\xi_{right}}$ 分别表示在 $\omega_{left}, \omega_{right}, \xi_{left}, \xi_{right}$ 区域内的像素值, 将 ω_{left} 与 ω_{right} 区域称为阶跃区域, ξ_{left} 与 ξ_{right} 称为平坦区域. 从每个单像素带中提取 7 维特征, 特征计算如下:

特征 1: 阶跃区域极大值与极小值的差的绝对值减去两平坦区域均值差的绝对值,

$$f_1 = |\max(I_{\omega_{left}}) - \min(I_{\omega_{right}})| - |\text{mean}(I_{\xi_{left}}) - \text{mean}(I_{\xi_{right}})|; \quad (4)$$

特征 2: $I_{\omega_{left}}$ 区域内像素值标准差,

$$f_2 = \text{std}(I_{\omega_{left}}); \quad (5)$$

特征 3: $I_{\omega_{right}}$ 区域内像素值标准差,

$$f_3 = \text{std}(I_{\omega_{right}}); \quad (6)$$

特征 4: $I_{\omega_{left}}$ 区域内最大值与均值的差,

$$f_4 = \max(I_{\omega_{left}}) - \text{mean}(I_{\omega_{left}}); \quad (7)$$

特征 5: $I_{\omega_{right}}$ 区域内最小值与均值的差,

$$f_5 = \min(I_{\omega_{right}}) - \text{mean}(I_{\omega_{right}}); \quad (8)$$

特征 6: 阶跃区域内相邻像素值差的最大值,

$$f_6 = \max |I_{i+1} - I_i|, \quad i = 5, 6, \dots, 12; \quad (9)$$

特征 7: 阶跃区域内像素值差与相应横坐标差的商的绝对值,

$$\text{如果 } I_i = \max(I_5, I_6, \dots, I_{13}), \quad I_j = \min(I_5, I_6, \dots, I_{13}), \quad \text{则 } f_7 = \left| \frac{I_i - I_j}{i - j} \right|. \quad (10)$$

3.3 SVM 分类及判决

使用 SVM 进行训练和测试, 对图像进行锐化判决. 本文选用 LibSVM^[15] 作为 SVM 工具. 根据分类结果, 计算具有振荡现象的阶跃边缘点数占总的阶跃边缘像点数的比例 R . 设定合适的阈值 T , 若 $R > T$, 则认为图像经历了锐化操作, 若 $R \leq T$, 则认为图像未经历锐化操作.

4 实验结果与分析

实验中对不同锐化强度, 不同压缩质量的图片进行了检测, 并使用相同测试图片将本文算法与文献[5]的算法进行了性能比较. 对全局锐化及局部锐化检测给出检测数据和实验结果图片, 进而说明了算法的有效性.

4.1 实验参数

选取 Nikon E5700 相机 JPEG 图片 469 幅, 其中, 训练样本为 100 幅, 测试样本为 369 幅, 图像大小 640×480 . 选择 Photoshop CS3 中 USM 锐化, 参数为 (50%, 5, 1)、(75%, 2, 1)、(100%, 1.5, 2)、(125%, 1, 2)、(150%, 1, 2)、(175%, 0.8, 2) 和 (200%, 0.8, 3), 分别代表锐化强度从弱到强, 使用符号 S50、S75、S100、S125、S150、S175 和 S200 分别表示经历上述参数锐化的图片, Origin 表示原始图像, 使用符号 Q4、Q7、Q9 和 Q12 分别表示 Photoshop 中 JPEG 压缩质量为“低”、“中”、“高”、“最佳”. 本文实验中 $\omega_{left}, \omega_{right}, \xi_{left}, \xi_{right}$ 区域选择像素个数均为 4, 经过多次实验获得经验阈值 $T = 0.4$.

4.2 实验结果

4.2.1 全局锐化检测

使用不同锐化强度的图片进行训练，压缩质量选择 Q9，检测结果如下：

表 1 利用不同锐化强度进行训练的全局锐化检测(百分比)

| | Origin | S50 | S75 | S100 | S125 | S150 | S175 | S200 |
|--------|--------|------|------|------|------|------|------|------|
| 训练模型 1 | 83.3 | 86.3 | 92.3 | 92.6 | 92.5 | 95.3 | 94.3 | 95.7 |
| 训练模型 2 | 95.9 | 70.4 | 88.8 | 91.6 | 91.8 | 94.5 | 94.6 | 94.9 |
| 训练模型 3 | 99.6 | 60.4 | 84.6 | 88.6 | 90.2 | 92.3 | 91.7 | 93.3 |
| 训练模型 4 | 96.7 | 58.5 | 86.9 | 91.3 | 92.6 | 94.8 | 94.9 | 95.4 |
| 训练模型 5 | 98.9 | 44.7 | 84.3 | 88.1 | 89.1 | 93.7 | 93.2 | 94.3 |
| 训练模型 6 | 98.9 | 39.3 | 83.7 | 88.3 | 89.9 | 93.2 | 93.8 | 94.3 |
| 训练模型 7 | 99.6 | 37.2 | 76.1 | 84.3 | 85.2 | 89.3 | 88.3 | 90.7 |

其中，训练模型 1—7 分别表示原始图像与锐化强度为 S50、S75、S100、S125、S150、S175、S200 图片进行训练的结果。使用锐化强度在 S75 或以上的图像的训练结果进行检测，对原始图像的检测正确率均在 95% 以上。对锐化图像的检测，检测率随锐化强度的增加而逐渐增加，因此训练模型较为稳定。

4.2.2 局部锐化检测

由于本算法是在空域根据图像边缘的变化进行锐化检测的，因此可以将图像分割成若干小块，把每一块当作一幅图像进行全局判决。表 2 中各种锐化强度的图像中，锐化区域大小为 200×200 ，锐化图像数量为 200 幅，检测时将图像分成若干 100×100 的子块，按照上述方法对每一块进行检测，图像块每次滑动步进为 50 像素，如果检测某块经历锐化操作，则将此图像块涂黑，使用 Origin-S75 训练模型，检测结果如表 2 所示：

表 2 使用 Origin-S75 训练模型对不同锐化强度图片的局部检测(百分比)

| | S50 | S75 | S100 | S125 | S150 | S175 | S200 |
|-----------|------|------|------|------|------|------|------|
| 原始像素检测正确率 | 82.4 | 80.7 | 80.7 | 80.7 | 80.8 | 80.9 | 80.9 |
| 锐化像素检测正确率 | 57.3 | 65.9 | 69.8 | 67.4 | 68.7 | 66.9 | 68.9 |

由表 2 检测结果可以看出，对原始像素点检测的正确率很低，这是由于本实验是基于 100×100 块检测的，在锐化区域的边缘，有很多像素点被判决错误。图 4 为局部锐化检测举例，左图为原始图像，中间图为经过拼贴篡改并将篡改部分进行锐化操作的伪造图像，右图为局部锐化检测结果，黑色区域表示被判定为经历锐化的图像块。可以看出检测结果中虽然不能将锐化区域全部标记出，但仍可以确定锐化区域的所在位置。因此，本算法能够对局部锐化的篡改图片有一定的定位能力，检测人员可以根据具体情况对图像是否经历锐化做出综合判断。

4.2.3 压缩质量鲁棒性的检测

使用 Ori-S75(Q9)训练模型对压缩质量为 Q4、Q7、Q9、Q12 的图片进行检测，检测结果如图 5 所示，由实验结果可以看出，压缩质量的高低不影响检测效果，对于压缩质量较低的图片，仍有较好的检测效果，本算法具有一定的鲁棒性。

4.2.4 与原有算法性能比较

使用 Ori-S75(Q9)训练模型，对算法性能进行比较，检测结果如图 6 所示，相对于文献[5]算法，本文算法对于各种锐化强度的图像检测正确率均提高 12% 左右，改善了算法性能。

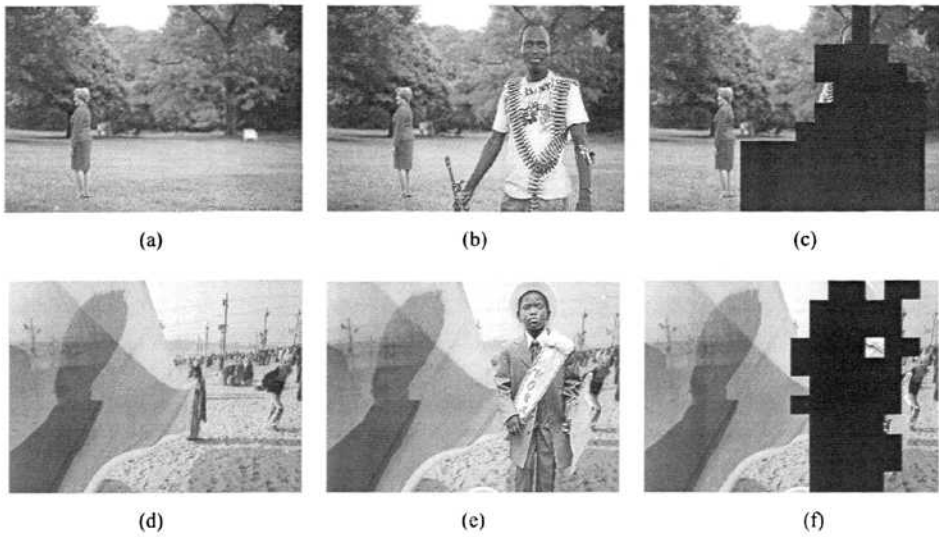


图 4 经历局部锐化的图像及其检测结果: (a) (d)原始图像; (b) (e)篡改图像; (c) (f)检测结果

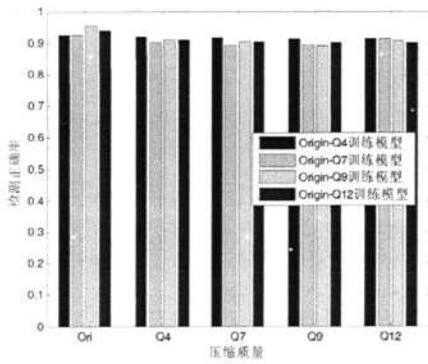


图 5 不同压缩质量图片的检测

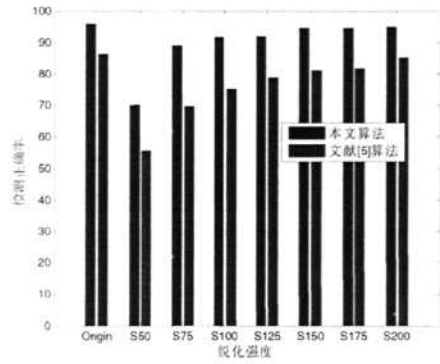


图 6 本文算法与文献[5]算法检测结果

5 总结

本文详细探讨了锐化操作对图像边缘信号特征的影响,介绍了一种针对 Photoshop 中 USM 锐化的检测方法. 利用经历锐化的图像的边缘存在振荡现象,提取边缘特征,使用 SVM 对图像进行分类,提高了检测效果. 实验表明,该方法对不同强度的锐化操作,以及对不同的 JPEG 压缩质量的图片,均可获得较好的检测性能. 另外,本算法对局部锐化的图像也有一定的检测效果,从而实现了图像锐化操作篡改定位,为图像篡改的检测提供了可靠的依据.

此算法的不足之处在于,由于本算法是根据图像阶跃边缘的特征而进行检测的,对于图像中不含阶跃边缘的部分,例如对“天空”,“大海”的检测将失效. 但实用中针对“天空”,“大海”等缺乏阶跃边缘的部分进行锐化意义不大. 另外本算法对于弱锐化的检测效果还不理想,这是由于锐化强度较弱的图像的阶跃边缘振荡现象不明显,还需要从其它方面考虑对弱锐化或较平坦区域的检测,这将成为将来工作的重点.

参考文献

- [1] M.Stamm, K.J.Ray Liu, Blind Forensics of Contrast Enhancement in Digital Images[C]. IEEE International Conference on Image Processing, San Diego, 2008:3112 -3115.
- [2] L.Zhou, D.Wang, Blur Detection of Digital Forgery Using Mathematical Morphology[C]. KES-AMSTA 2007, Lecture Notes in Computer Science, 2007:990-998.
- [3] 孙堡垒, 周琳娜, 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(增刊):211-216.
- [4] 王波, 孙璐璐, 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] 曹刚, 赵耀, 倪蓉蓉, 一种基于振铃效应分析的图像锐化取证算法[J]. 计算机研究与发展, 2009, 46(增刊):217-220.
- [6] 王俊文, 张琪, 刘光杰 等, 利用异常边缘进行图像锐化篡改取证[J]. 解放军理工大学学报(自然科学版), 2009, 10(3):237-241.
- [7] R.Neelamani, R.de Queiroz, Zhigang Fan, *et al.*, Jpeg compression history estimation for color images[J]. IEEE Trans.on Image Processing, 2006, 15(6):1365-1378.
- [8] H.Farid, Exposing digital forgery from JPEG ghosts[J]. IEEE Trans.on Information Forensic and Security, 2009, 4(1):154-160.
- [9] A.C.Popescu, H.Farid, Exposing digital forgeries by detecting traces of re-sampling, IEEE Transactions on Signal Processing[J]. 2005, 53(2):758-767.
- [10] Matthias Kirchner, On the Detectability of Local Resampling in Digital Images, Proc. of SPIE-IS&T Electronic Imaging[C]. 2008, San Jose, SPIE 6819, 68190F.
- [11] A.C.Popescu, H.Farid, Exposing digital forgeries in color filter array interpolated images, IEEE Transactions on Signal Processing[J]. 2005, 53(10):3948-3959.
- [12] M.K.Johnson, H.Farid, Exposing Digital Forgeries by detecting inconsistencies in lighting[C]. 7th ACM Multimedia and Security Workshop, New York, 2005:1-10.
- [13] M.K.Johnson, H.Farid, Exposing Digital Forgeries in Complex Lighting Environments, IEEE Trans.on Info.Forensics and Security[J]. 2007, 2(3):450-461.
- [14] <http://www.xyjyjt.com/html/xyjyb/2010-01/19602.html>.
- [15] C. C. Chang, C. J. Lin. LIBSVM: A library for support vector machines. <http://www.csie.ntu.edu.tw/~cjlin/libsvm>, 2008-10-13.