

数码翻拍图像取证算法*

尹京, 方艳梅

(中山大学信息科学与技术学院, 广东 广州 510006)

摘要: 随着图像显示技术的不断提高, 对显示媒介显示的图像, 如高质量打印出的图像和 LCD 显示器显示的图像, 进行翻拍所获得的图像质量也越来越高。这类高质量造假图像可能被造假者用于非法途径, 且往往能通过当前的图像取证系统而不被识别。针对 LCD 显示器显示的图像的翻拍检测情况做了研究。通过分析原始获取图像过程和翻拍获取图像过程引入的噪声, 以及检测两次翻拍产生的双重 JPEG 压缩, 利用 SVM (支持向量机) 获得了很好的分类结果。

关键词: 图像取证; 液晶显示器; 翻拍图像; JPEG 双重压缩

中图分类号: TP391.4 **文献标志码:** A **文章编号:** 0529-6579 (2011) 06-0048-05

Digital Image Identification for Photographic Copying

YIN Jing, FANG Yanmei

(School of Information Science and Technology, Sun Yat-sen University Guangzhou 510006, China)

Abstract: With advances in image display technology, recapturing good-quality images from the high-fidelity artificial scenery, such as LCD screen or printed papers, becomes possible. This kind of high-quality recaptured images may be used for illegal purpose, and they can also pass current identification systems without being recognized. It is studied how to detect recaptured photographs on LCD screen. By analyzing the noise in the photographs and detecting whether it exists double JPEG compression in the photography, the proposed features work well with a support vector machine classifier.

Key words: Image Forensics, LCD Screen, Recaptured Photography, Double JPEG Compression

当前数码相机日趋低价和高像素, 图像处理软件也越来越易于操作, 这些为数字图像造假创造了条件, 于是我们所见图像的真实性大打折扣。针对越来越多的数字图像造假现象, 数字图像取证技术的研究显得尤为重要^[1]。翻拍图像质量高, 而且本身是数码相机成像的, 可能引起图像原始所有者纠纷, 而且这类图像也往往能够迷惑人的眼睛, 一些现有的取证系统也不易识别翻拍图像。例如 2007 年发生在中国的“正龙拍虎”事件^[2], 就是一个实例。当时的华南虎照片发布, 引起社会各界质疑, 最终当事人认罪表明, 虎照就是通过对华南虎画翻拍而得来的, 这一造假在社会上引起轩然大波。这个事件说明数码相机所拍摄的场景不再总是

真实的, 因此对翻拍图像的取证研究是十分迫切而又有现实意义的。

目前学术上针对翻拍图像取证有一些研究。Yu 等^[3]对纸上打印图像的翻拍进行了分析, 他们认为图像纸表面的纹理信息会反映在图像的反射分量中, 据此研究了反射分量与图像的比值图像的梯度直方图, 发现原始自然图像的这种直方图是呈类拉普拉斯分布, 而翻拍图像的这种直方图是呈类瑞利分布的。针对这类翻拍图像的取证研究还有 Gao 等^[4], 他们采用几组基于物理的特征, 挖掘了翻拍图像的上下文信息以及翻拍图像渲染的特性, 该文针对的是手机拍摄的图像。此外, Cao 等^[5]对 LCD 显示器显示的图像的翻拍做了研究。他们做

* 收稿日期: 2011-04-28

基金项目: 国家 973 计划资助项目 (2011CB302204)

作者简介: 尹京 (1987 年生), 男, 硕士研究生; 通讯作者: 方艳梅; E-mail: fangym@mail.sysu.edu.cn

了一个人眼检测翻拍图像的实验, 实验结果说明了翻拍图像存在潜在的迷惑人眼和当前取证系统的威胁。他们利用纹理模式, 细节损失, 颜色作为特征, 获得了很好的分类结果。

本文研究的翻拍图像是在 LCD 上显示后拍照获得的, 图像格式是目前主流使用的 JPEG 格式。论文采用两类特征, 即图像噪声特征和基于 DCT 系数模式的首位数字特征 (Mode based First Digital Features, MBFDF)。图像噪声反映了两类图片的拍摄环境不同, 基于 DCT 系数模式的首位数字特征能够判断图片是否经过二次 JPEG 压缩。

1 获取翻拍图像方法

随意翻拍液晶显示器显示的图像, 往往质量不高, 通过肉眼就能很容易区分出这种图像。为了能够获取高质量的翻拍图像, 我们参照了文献 [5] 中所使用的方法, 对翻拍环境做了设置。实验使用的图像库中的图像是由 3 部不同相机拍摄的, 相机型号分别是: Olympus μ -400D, Panasonic DMC-FZ30, Nikon D-300。原始自然图像共有 972 张。针对每部相机我们通过多次试验得出最佳翻拍条件设定, 并且在最佳拍摄设定条件下对 972 张原始自然图像进行了翻拍, 翻拍时所使用的相机正是拍摄该原始自然图片所用的相机。于是我们得到了由 972 张原始自然图像和 972 张翻拍后的图像组成的图像库。为了方便, 我们将由 Olympus μ -400D, Panasonic DMC-FZ30 和 Nikon D-300 拍摄的图片分别表示为 Database O, Database P, Database N。表 1 给出了实验图片库具体信息。图 1 给出了 4 张图像库中的图片, 可以看到, 每张图像单独从视觉上无法分辨其是否是翻拍图像。

表 1 图像库
Table 1 Image database

相机型号	Olympus μ -400D	Nikon D-300	Panasonic DMC-FZ30
原始图像数目/张	539	226	207
翻拍图像数目/张	539	226	207
图像库名称	Database O	Database N	Database P

2 图像特征分析

虽然翻拍图像和原始自然图像本质上都是数码相机自然成像的, 但是它们的获取环境不同。数码相机一般会对拍摄的图像进行了压缩处理, 以便存

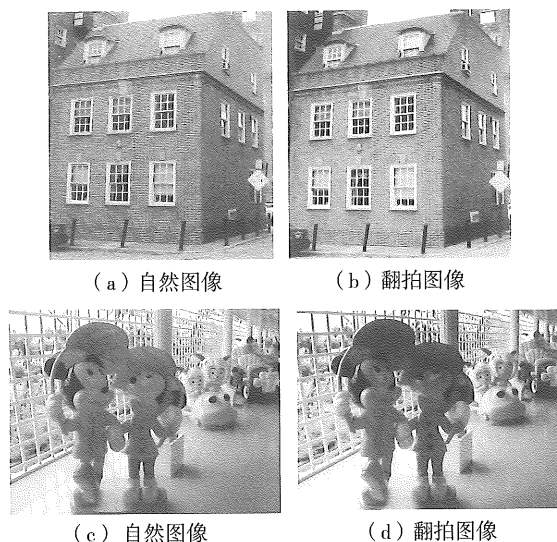


图 1 图像库图像示例

Fig. 1 Images selected from the image database

储卡能够存储更大数量的图像, 最常用的压缩存储格式就是 JPEG。翻拍过程对 JPEG 图像再次做了压缩处理。拍摄环境的差异以及两次压缩留下的“痕迹”, 为我们区分自然图像和翻拍图像提供了线索。

2.1 噪声分析

我们对翻拍图像的条件做了很好的设定, 以保证翻拍图像的质量, 但是无论如何这种设定的环境与原始自然图像的拍摄环境大不相同, 这也将造成图片中的噪声有所区别。基于这一点, 本文对两类图像的噪声做了研究。不同的相机会在图片中引入不同的模式噪声, 为了保证我们分析的噪声差异尽可能反映的是不同拍摄环境, 我们在翻拍图像时采用了拍摄原始自然图像时的相机, 以保证所分析的特征独立于不同相机的固有噪声特性。

为了得到图像的噪声, 我们首先对图像进行了去噪处理。去噪方法采用小波阈值法^[6]。首先对二维图像信息做小波分解, 得到小波系数 $W_{\varphi}(j_0, m, n)$ 和 $W_{\psi}^i(j, m, n)$:

$$W_{\varphi}(j_0, m, n) = \frac{1}{\sqrt{MN}} \sum_{x=0}^{M-1} \sum_{y=0}^{N-1} f(x, y) \phi_{j_0, m, n}(x, y) \quad (1)$$

$$W_{\psi}^i(j, m, n) = \frac{1}{\sqrt{MN}} \sum_{x=0}^{M-1} \sum_{y=0}^{N-1} f(x, y) \psi_{j, m, n}^i(x, y) \quad (2)$$

其中, $i = \{H, V, D\}$, j_0 是开始尺度, $W_{\varphi}(j_0, m, n)$ 系数定义了尺度 j_0 的 $f(x, y)$ 的近似, $W_{\psi}^i(j, m, n)$ 系数对于 $j \geq j_0$ 附加了水平、垂直和对角方向的细

节, 是小波系数中的高频子带部分。

那些值很小的细节部分可以认为是对应噪声信息, 忽略它们不会对图像的主要特征产生影响。阈值法的思想就是将所有小于阈值的高频子带系数置零。然后采用处理后的小波系数重建图像:

$$\tilde{f}(x, y) = \frac{1}{\sqrt{MN}} \sum_m \sum_n W_\varphi(j_0, m, n) \varphi_{j_0, m, n}(x, y) + \frac{1}{\sqrt{MN}} \sum_{i=H, V, D} \sum_{j=j_0}^{\infty} \sum_m \sum_n \tilde{W}_\psi^i(j, m, n) \psi_{j, m, n}^i(x, y) \quad (3)$$

其中, $\tilde{W}_\psi^i(j, m, n)$ ($i = \{H, V, D\}$) 是经过阈值处理后的高频细节系数。算法中采取了三种有效的小波变换: 可分离的散小波变换 (Separable 2-D DWT), 二维双树离散实数小波变换 (Real 2-D dual-tree DWT), 二维双树离散复数小波变换 (Complex 2-D dual-tree DWT)^[7]。

去噪后得到了消除噪声后的图像, 于是原图像与去噪后图像的差值就是噪声。图像噪声是呈高斯分布的, 直方图能够很好的反应不同高斯分布的差异, 于是我们对噪声作了直方图, 然后选用了均值 (Mean), 方差 (Var), 偏斜度 (Skewness), 峰值 (Kurtosis) 作为特征来刻画两类图像噪声直方图。通过对三种去噪方法得到的噪声分别取四个统计特征值, 由此每幅图像我们得到 $4 \times 3 = 12$ 个特征值。

2.2 双重压缩检测

基于离散余弦变换 (DCT) 的 JPEG 格式是目前使用最为广泛的图像压缩格式。我们图像库中的原始自然图像和翻拍图像都是 JPEG 格式。将 JPEG 格式图像翻拍后得到 JPEG 格式图像, 相当于对原 JPEG 图像 (原始自然图像) 再次进行了 JPEG 压缩。数字翻拍图像获取过程如图 2 所示。

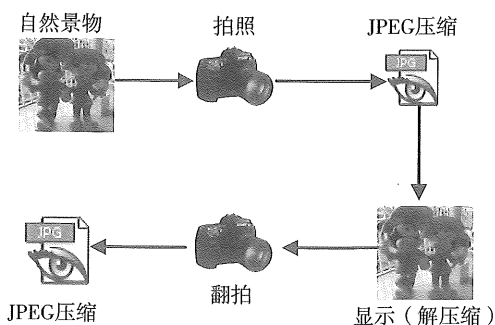


图 2 翻拍图像获取过程

Fig. 2 The process of obtaining the recaptured images

从图 2 可以看到, 获取翻拍图像过程是一种 JPEG 双重压缩过程。于是通过检测图像是否存在

JPEG 双重压缩, 就能够将两类图像分类。目前有几种比较成功的方法来检测 JPEG 双重压缩。J. Lukas 和 J. Fridrich^[8] 观察了 JPEG 图像的 DCT 系数的直方图, 发现二次压缩改变了 DCT 系数直方图的形状, 二次压缩后的直方图出现一些峰值, 根据这些峰值作者提出估计前一次压缩所使用的量化矩阵的方法。

Popescu^[9] 也观察到这种直方图的变化, 二次压缩使得 DCT 系数直方图中产生了一种周期性痕迹。他们通过 DCT 系数直方图的离散傅里叶变换来捕捉这种周期性。

Chen 等^[10] 认为相邻 DCT 系数之间的相关性会由于再次压缩而变弱。于是他们对 DCT 系数矩阵从四个方向做了差值处理, 将得到的差值矩阵看做一步马尔可夫随机过程模型, 并用刻画马尔可夫随机过程的转移概率矩阵作为特征值来检测 JPEG 双重压缩。

此外, 李斌等^[11] 基于 Benford 法则^[12-13], 提出一种基于 DCT 系数模式的首位数字特征 (MBFDF) 方法, 来检测双重 JPEG 压缩。虽然这种基于 Benford 法则的方法首先在文献 [14] 中被提出, 但是该文并没有给出具体的检测方法和实验结果。

以上方法都针对的是两次压缩因子不同时情况, 对于两次压缩因子相同的情况都无法检测。而且文献 [9] 和 [10] 的方法, 对于第一次压缩因子相对大 (如 95), 而第二压缩因子相对小的情况, 实验结果不是很理想, 甚至有的情况无法检测。而文献 [11] 的方法有相对较好的实验结果。

相机中采用的 JPEG 压缩矩阵并不是固定的, 我们通过 JPEG Tool box^[15], 观察了不同相机拍摄同一场景产生的 JPEG 图像所使用的量化矩阵, 发现不同。而同一相机拍摄不同场景, 量化矩阵也不尽相同, 但是变化很微小。而且对比同一场景, 原始自然图像所使用的压缩矩阵和用同一部相机翻拍后图像的压缩量化矩阵也不相同, 这些观察也说明, 采用同一部相机翻拍产生的 JPEG 双重压缩可以使用以上方法来检测。于是我们采用了实验结果相对比较好的文献 [11] 中提到的方法作为本文的检测方法。

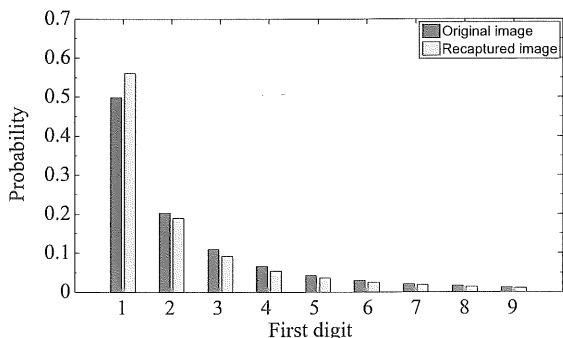
特征 MBFDF 计算可由公式 (4) 表述。

$$P_i(d) = \frac{N_i(d)}{\sum_{m=1}^9 N_i(m)} \quad (4)$$

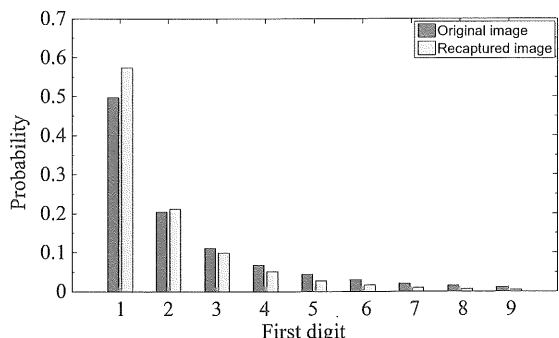
其中, $i \in \{1, 2, \dots, 63\}$, $d \in \{1, 2, \dots,$

9}, i 表示 Zigzag 顺序中第 i 个 AC 模式, $N_i(m)$ ($i = 1, 2, \dots, 20; m = 1, 2, \dots, 9$) 是指所有的 8×8 DCT 系数块第 i 模式处系数值首位有效数字为 m 的系数个数。

图 3 给出了原始自然图像和翻拍图像的第 10, 11 模式的平均首位数字分布图。从图 3 中我们可以看到, 在基于模式的首位数字分布图中第二次压缩引入了一种不同于第一次压缩的统计模式, 这种统计模式可以被 SVM 学习并用于我们的分类工作。于是对每幅图像得到宽度为 $20 \times 9 = 180$ 的特征向量。



(a) 第10位AC系数的首位数字概率统计对比



(b) 第11位AC系数的首位数字概率统计对比

图 3 部分位置 AC 系数的平均首位数字概率统计特征对比

Fig. 3 Mean values of the probabilities of the first digits of QDCT AC coefficients

3 实验结果分析

实验采用的分类器是支持向量机 SVM^[16]。对每个图像我们只取了中间的一部分作为特征提取对象。对图像库的图像提取了本文使用的特征后, 随即选取了 5/6 的原始自然图像的特征和 5/6 的翻拍图像的特征对 SVM 进行了训练, 剩下 1/6 的图像用于测试, 20 次试验所获得的平均实验结果如表 2 所示。

表 2 翻拍图像检测实验结果

Table 2 Experimental results

特征	特征宽度	图像库	图像尺寸	
			1 024 × 1 024	640 × 480
			准确率/%	准确率/%
噪声特征	12	Database O	91.97	88.92
	12	Database N	95.13	94.47
	12	Database P	97.93	94.71
MBFDF	180	Database O + N + P	93.00	89.71
		Database O + N + P	97.10	95.94
噪声特征 + MBFDF	192	Database O + N + P	97.60	96.10

从表 2 中的实验结果可以看到, 本文提到的两种特征都有很好的检测结果。实验中采用了两种图像尺寸, 检测图像尺寸越大获得的正确率也相对高, 这是因为图像越大获取的图像信息越多, 实验结果必然更好。由于考虑到每部相机有自己的模式噪声, 在使用噪声特征作为实验特征时, 我们首先分别对每部相机拍摄的图片做了 SVM 分类, 然后对全部图像使用噪声特征做了实验, 实验准确率依然很好, 此实验结果表明, 由于拍摄条件造成的噪声差异远大于相机的不同模式噪声, 本文的噪声特征是一类有效检测翻拍图像的特征, 不受不同相机产生的模式噪声影响。此外, 实验结果对比表明, 使用 MBFDF 作为特征检测结果更佳, 而将两类特征相结合能够进一步提高了实验结果。图 4 给出的

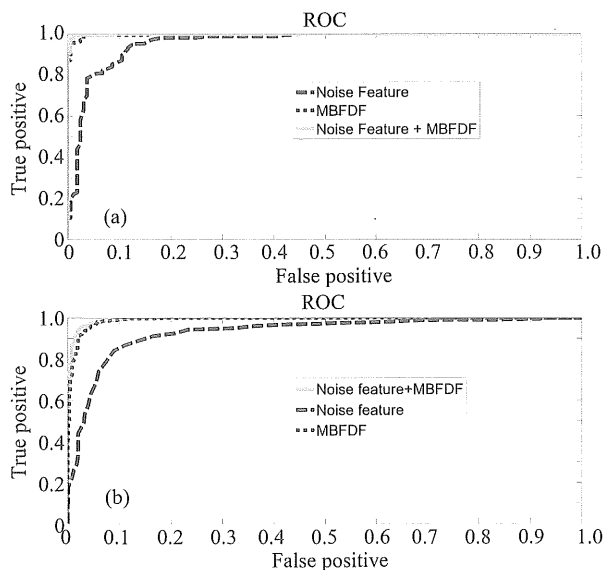


图 4 检测结果的 ROC 曲线,

(a) 图片大小为 1 024 × 1 024; (b) 图片大小为 640 × 480

Fig. 4 Receiver operating characteristics

(a) Image size 1 024 × 1 024; (b) Image size 640 × 480

相应的 ROC 曲线, 表明我们的检测方法有较理想的虚警率。综上实验结果说明本文使用的算法对检测图片是否翻拍图像具有很好的效果。

4 结 论

本文研究了液晶显示器显示图片的数码翻拍取证问题。首先通过环境的设置获得了质量很高的翻拍图片, 建立了实验图像库。然后分析了本文所采用的特征, 即噪声特征和基于 DCT 系数模式的首位数字特征。噪声特征反映了两类图片拍摄环境的差异。同时翻拍过程是一种二次 JPEG 压缩过程, 而基于 DCT 系数模式的首位数字特征能够很好的反映图片是否进行过二次压缩。以这两类特征, 用 SVM 进行训练和测试, 实验结果分析表明本文的方法能够很好的检测图片是否是液晶显示屏上翻拍所得图片。

本文针对的图像仅限于 JPEG 格式, 但常用的图像格式有很多。获取翻拍图像的方式还有很多, 例如翻拍纸质相片、投影, 或是扫描相片等等, 这些翻拍图片与本文研究的 LCD 翻拍图片有共性, 也有各自的特性。所以, 后续工作中, 我们将会对各种常用格式图片的翻拍情况, 以及各种类型的翻拍情况做进一步的研究, 并且在检测方法上进行探索和创新。

参考文献:

- [1] FARID H. A survey of image forgery detection[J]. IEEE Signal Processing Magazine, 2009, 26:16 - 25.
- [2] CONSTANCE H. Rare-tiger photo flap makes fur fly in China[J]. Science, 2007, 318(5852): 893.
- [3] YU H, NG T T, SUN Q B. Recaptured photo detection using specularly distribution[C]//Proc of IEEE International Conference on Image Processing, 2008: 3140 - 3143.
- [4] GAO X T, NG T T, QIU B. Single-view recaptured image detection based on physics-based features[C]//Proc of IEEE International Conference on Multimedia and Expo, 2010: 1469 - 1474.
- [5] CAO H, KOT A. Identification of recaptured photographs on LCD screen[C]//Proc of IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing, 2010: 1790 - 1793.
- [6] CAI S, LI K. Matlab implementation of wavelet transforms[EB/OL]. [2010 - 12 - 10]. <http://taco.poly.edu/WaveletSoftware/index.html>.
- [7] SELESNICK I W. The double-density dual-tree DWT[J]. IEEE Trans. on Signal Processing, 2004, 52: 1304 - 1313.
- [8] LUKAS J, FRIDRICH J. Estimation of primary quantization matrix in double compressed JPEG images[C]//Proc of Digital Forensic Research Workshop, Cleveland, OH, Aug. 2003.
- [9] POPESCU A, Statistical tools for digital image forensics[D]. Dartmouth College, 2004.
- [10] CHEN C H, SHI Y Q, SU W. A machine learning based scheme for double JPEG compression detection [C]//Proc of IEEE International Conference on Pattern Recognition, 2008: 1 - 4.
- [11] LI B, SHI Y Q, HUANG J W. Detecting doubly compressed JPEG images by using mode based first digit features[C]//Proc of IEEE International Workshop on Multimedia Signal Processing, 2008: 730 - 735.
- [12] BENFORD F. The law of anomalous numbers [J]. Proc. of the American Philosophical Society, 1938, 78 (4): 551 - 572 .
- [13] HILL T. A statistical derivation of the significant-digit law[J]. Statistical Science, 1996, 10: 354 - 363.
- [14] FU D D, SHI Y Q, SU W. A generalized benford's law for JPEG coefficients and its applications in image forensics[C]//Proc of Society of Photographic Instrumentation Engineers, San Jose, USA, 2007.
- [15] PHIL S. Matlab JPEG toolbox[CP/OL]. [2010 - 12 - 10]. <http://www.philsaltee.com/jpegtbx/index.html>.
- [16] CHANG C C, LIN C J. LIBSVM: A library for support vector machines[CP/OL]. [2010 - 12 - 10]. <http://www.csie.ntu.edu.tw/~cjlin/libsvm>.