

一种基于模式噪声熵的图像来源取证算法*

谢建, 潘晓中, 李德龙, 肖海燕

(武警工程大学电子技术系网络与信息安全武警部队重点实验室, 西安 710086)

摘要: 针对数字图像的来源取证, 提出了一种基于模式噪声熵的检测算法。传感器作为数码相机的重要部件, 由于在制造过程中的缺陷, 成像时会给图像带来一种模式噪声。该算法利用传感器产生的模式噪声具有唯一性这一特点, 对图像进行小波降噪并提取图像的模式噪声, 利用模式噪声的熵值对不同来源的图像进行区分。实验结果表明, 该方法对原始图像有较高的检测率, 对有损压缩图像也有较好的鲁棒性。

关键词: 数字图像; 来源取证; 模式噪声; 熵

中图分类号: TP391 **文献标志码:** A **文章编号:** 1001-3695(2012)06-2385-02

doi: 10.3969/j.issn.1001-3695.2012.06.103

New algorithm based on entropy of pattern noise for forensic of image source

XIE Jian, PAN Xiao-zhong, LI De-long, XIAO Hai-yan

(Key Laboratory of Network & Information Security under the Chinese Armed Police Force, Dept. of Electronic, Engineering College of the Armed Police Force, Xi'an 710086, China)

Abstract: Aimed at forensic of digital image source, this paper proposed a detection approach based on entropy of pattern noise. As an important component of digital camera, because its defect in the process of production, there was pattern noise leaved in images. Based on the unique of pattern noise, this arithmetic debased the noise of images using wavelet transform and picked up pattern noise. At last, it distinguished different source of images by the entropy of pattern noise. The experimental results show that the algorithm has a better efficiency with the original images and high robustness with the JPEG compression images.

Key words: digital image; forensic of the source; pattern noise; entropy

0 引言

随着数码相机和数字打印扫描设备的急剧增长和快速普及, 使人们比以往任何时候都更能接触到大量数字图片。与此同时, 越来越多的图像处理和编辑软件如 ACDSee、Photoshop 等的广泛使用, 使得修改、编辑数码照片变得越来越简单。然而, 数码图像在方便人们的同时也给现代人们的生活带来了负面的影响: 如 Photoshop 等图像处理编辑软件可以让任何一个普通的电脑使用者成为数码恶作剧者, 成为潜在的造假者。尽管大多数人对数字图像的修改只是为了增强图像的视觉效果, 但是也不乏一些人出于各种不同的目的, 无意或者故意, 甚至恶意传播一些经过精心伪造和篡改的数字图像, 以达到不可告人的目的。这也使得越来越多高品质的、足以以假乱真的篡改和伪造数字图像通过网络广泛传播。篡改和伪造图像如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。

数字图像盲取证技术主要分为图像篡改取证和图像来源取证。数字图像来源取证技术是直接利用数字图像数据本身进行来源认证和鉴别分析的被动盲分析技术。而作为数码相机硬件、软件核心部分的光学传感器和图像成像算法, 是决定

数字图像质量和数据统计特征的主要因素。

如图1所示, 在数码相机成像过程中, 其内部的软硬件系统对原始光源进行了一系列的加工后, 最终形成原始图像。由于不同数码相机在硬件制造及图像成像算法上的差异, 其各自生成图像的数据统计特征也有一定的差异, 这就给图像来源取证带来了机会。

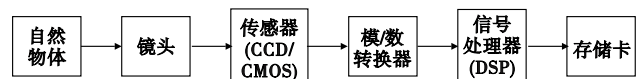


图1 数码相机成像模型

目前, 数字图像来源取证技术主要是利用不同品牌及型号数码相机的传感器件以及图像成像算法的不同来进行认证的。Gallagher 利用图像二阶偏差的周期性检测插值, 但仅对线性和三次插值有效。Long 等人提出用像素相关性的二阶模型对插值系数进行估计, 并采用 BP 神经网络进行插值算法的分类。Popescu 等人利用 EM(expectation maximization) 方法检测 CFA 插值周期性在频谱重呈现的峰值点, 并采用 Fisher 线性分类器进行分类。Byaram 等人采用相似的方法, 以 SVM 作为分类器, 并将其用于数码图像的相机来源鉴别当中。Lukáš 等人提出了一种利用传感器的参考模式噪声来确定图像来源的方法, 该方法通过计算待检测图像的残余噪声与已知相机的参考模

收稿日期: 2011-10-09; **修回日期:** 2011-11-16 **基金项目:** 武警工程大学科研基础基金资助项目(wjy201123)

作者简介: 谢建(1985-), 男, 河南驻马店人, 硕士, 主要研究方向为图像取证(jianxie1985@163.com); 潘晓中(1964-), 男, 陕西西安人, 教授, 主要研究方向为信息安全和信息隐藏; 李德龙(1977-), 男, 副教授, 主要研究方向为信息安全; 肖海燕(1985-), 女, 甘肃兰州人, 助教, 主要研究方向为信息安全。

式噪声之间的相关系数来确定图像来源,在无损压缩的情况下,取得了较好的效果;但是在 JPEG 有损压缩的情况下,随着压缩质量系数的减小,检测率就会逐渐降低。

本文在深入分析了数码相机及其生成图像的噪声和统计特性之后,提出了一种新的检测方法,并对其检测效果进行了实验分析。

1 算法设计

1.1 模式噪声

在一部数码相机中,图像传感器起着至关重要的作用,它把光信号转换成为电信号。通常用得比较多的就是电荷耦合装置(CCD),也有部分相机的图像传感器使用 CMOS。由于 CCD 使用的广泛性,本文中只讨论使用 CCD 的数码相机。

在图像获取过程中,会受到很多噪声影响。部分原因在于随机地读入噪声或拍摄噪声,另外一部分原因是 CCD 产生的模式噪声,这部分是确定性的,它存在于每一张传感器生成的图像中。由于不同相机的 CCD 所产生的模式噪声是不一样的,所以可以利用存在于每一张图像当中的模式噪声来鉴别图像的来源。

模式噪声包括固定模式噪声(FPN)和光响应不一致性噪声(PRUN)两部分。其中,光响应不一致性噪声是由于像素不一致性引起的,主要集中在高频区域,在模式噪声中占主导地位。

1.2 熵

简单地讲,熵指的是一个体系的混乱程度。熵是由克劳修斯提出并应用在热力学中。它在天体物理、社会学、信息论等领域都有重要应用。熵在不同的领域中有其具体的定义,熵函数的构造方法也不相同。本文引用香农在信息论中构造的熵函数,使其描述一个系统混乱程度。与热力学中的熵概念相反,本文中的熵随着系统的稳定性的增加而增大,并在封闭系统最稳定时达到最大值。因此,在一个相对稳定的系统当中,由于不合群的异类的加入,熵会随之减小。本文利用此原理来检测异类数字图像。

1.3 算法步骤

对于图像 p ,降噪处理后用 $F_{\sigma}(p)$ 表示,则 $p - F_{\sigma}(p)$ 可以近似表示图像 p 的模式噪声。选取由相机 C 生成的 n 个原始图片 $p_1, p_2, \dots, p_n$,分别计算 $p_1 - F_{\sigma}(p_1), p_2 - F_{\sigma}(p_2), \dots, p_n - F_{\sigma}(p_n)$,将这 n 个模式噪声分成 n 组,每组包含 $n-1$ 个模式噪声,且组与组之间各不相同。对于任意一组模式噪声,计算每个元素在该组中所占的比重 $x_1, x_2, \dots, x_{n-1}$ 。

构造熵函数

$$H(x) = x_1 \log \frac{1}{x_1} + x_2 \log \frac{1}{x_2} + \dots + x_{n-1} \log \frac{1}{x_{n-1}} \quad (1)$$

将 n 组 $x_1, x_2, \dots, x_{n-1}$ 代入函数 $H(x)$ 中,得到模式熵值 $h_1, h_2, \dots, h_n$,在其中选取最大值 $h_{\max}$ 和最小值 $h_{\min}$ 得到模式熵值域 $H(h_{\min}, h_{\max})$ 。

假设待检测图像为 p_x ,模式噪声为 $p_x - F_{\sigma}(p_x)$,对于以上 n 个分组当中,在每一组中用 $p_x - F_{\sigma}(p_x)$ 替换掉其中的任意一个模式噪声,从而得到 n 个新的分组。对这新的 n 组模式噪声,重新计算得到待检测熵值 $h_{11}, h_{22}, \dots, h_{nn}$,并计算待检测平均熵:

$$h_m = \frac{(h_{11} + h_{22} + \dots + h_{nn})}{n}$$

由于所选取的 n 个原始图像来源于同一相机,所以这些图像的模式噪声相对来说是相互“合群”的,是稳定的。如果图像 p_x 不是来源于相机 C ,那么它与原始图像在一起是不“合群的”,该系统的熵值也会随着 p_x 的加入而减小。所以统计分析待检测熵值 h_m 相对于模式熵值域 $H(h_{\min}, h_{\max})$ 的分布情况,即可判断出图像 p_x 是否是由相机 C 生成的。

2 实验结果及分析

为了验证本文算法的有效性,在实验中选取了 700 幅来源于 Kodak、Nikon 和 Sony 三个品牌的数码相机的图片作为测试样本。文献[1]中,作者在实验中选取 N_p 个来自某一型号相机的图片来确定该相机的模式噪声,再选取一部分来自该相机的图片,计算它们与模式噪声的相关系数。 N_p 与相关系数的关系如图 2 所示。由图可知,当用来确定模式噪声的图片数量小于 50 时,相关系数快速减小,当已知图像的数量大于 50 时,才能较好地表示相机的模式噪声。所以用来确定相机模式噪声的图片最小数量定为 50。

本文中,选取 n 为 50。对于每个品牌的相机,分别选取 50 幅作为其原始图像,计算出各自的模式熵值域 $H(h_{\min}, h_{\max})$,再从每个品牌的相机中选取 100 幅图像作为待检测图像,分别计算其待检测平均熵值并观察分布情况,如图 3~5 所示。图 3 中选取 50 幅来自 Nikon 相机的图片作为原始图片,再分别选取 100 幅来自 Nikon、Kodak 和 Sony 相机的图片作为待检测图片。图 4、5 分别选取 50 幅 Kodak 和 Sony 的图片作为原始图片。从仿真结果可以看出,无论选取哪种型号的相机作为原始图像时,利用本型号相机拍摄的图像放入其中所计算出的模式噪声熵均大于其他型号相机拍摄图像计算出的模式噪声熵,并且有较为明显的界线。所以在检测某图像是否为某型号相机所拍摄时,只需以该型号相机所拍摄的图像作为原始图像并将待检测图像放入其中计算模式噪声熵观察其分布情况即可。

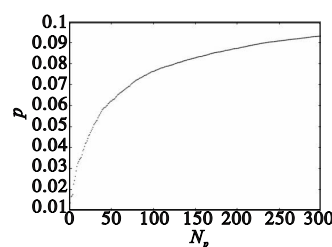


图2 计算模式噪声的图片数量与平均模式噪声

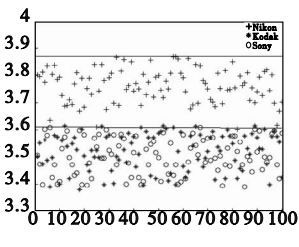


图3 以来自Nikon的图像作为原始图像的检测图

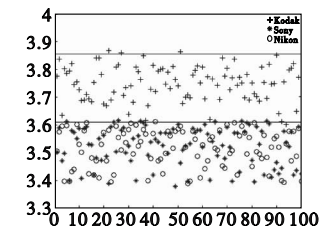


图4 以来自Kodak的图像作为原始图像的检测图

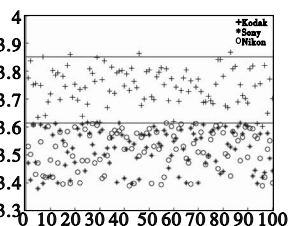


图5 以来自Sony的图像作为原始图像的检测图

另外,选取 200 幅来源于 Nikon 相机的数码照片,将其分为两组,分别以质量因子 80 和 60 进行 JPEG 重压缩,分别放入原始图像中计算各自的待检测熵值后,相对于无压缩图像的分布情况如图 6、7 所示。结果显示,经过压缩过的图像相对于原始图像来说,其模式噪声熵有普遍减小,并且当压缩因子逐渐减小时,模式噪声熵的减小幅度会变大。所以(下转第 2389 页)

(上接第 2386 页)压缩因子越小,检测效率也会越低,但基本上还有一定的检测效果。

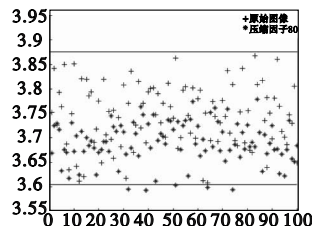


图6 压缩因子为80的JPEG
图像作为待检图片

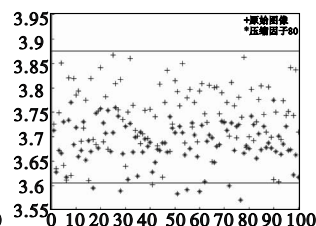


图7 压缩因子为60的JPEG
图像作为待检图片

3 结束语

随着数码产品技术的发展,图像取证技术也逐渐成为人们研究的热点。在图像取证技术中,来源取证是其重要的一方面,而基于模式噪声来源盲取证和分类又是来源取证的重点之一。本文利用数字图像的模式噪声,通过构造熵函数,得到模式噪声熵值域,对多种数码相机所产生的图片进行了盲检测分类。实验结果表明,该算法对原始图像有较高的检测率,并对有损 JPEG 压缩图像具有较好的鲁棒性。该方法的不足就是算法运算量较大,检测速度较慢,这在以后的研究中有待于进一步改进。

参考文献:

[1] LUKÁŠ J, FRIDRICH J, GOLJAN M. Determining digital image origin using sensor imperfections[C]//Proc of SPIE International Con-

ference on Image and Video Communications and Processing. 2005: 249-260.

- [2] LONG Yang-jing, HUANG Yi-zhen. Image based source camera identification using demosaicking[C]//Proc of the 8th IEEE Workshop on Multimedia Signal Processing. Washington DC:IEEE Computer Society, 2006:419-424.
- [3] POPESCU A C, FARID H. Exposing digital forgeries in color filter array inter polated images[J]. IEEE Trans on Signal Processing, 2005, 53(10):3948-3959.
- [4] KWOK J T-Y. Support vector mixture for classification and regression problems[C]//Proc of the 14th International Conference on Pattern Recognition. Washington DC:IEEE Computer Society, 1998:255.
- [5] SWAMINATHAN A, WU M, LIU K J R. Nonintrusive component forensics of visual sensors using output images[J]. IEEE Trans on Information Forensics and Security, 2007, 2(1):91-106.
- [6] BAYRAM S, SENCAR H, MEMON H, *et al.* Source camera identification based on CFA interpolation[C]//Proc of IEEE International Conference on Image Processing. [S. l.] :IEEE, 2005:69-72.
- [7] ADAMS J, PARULSKI K, SPAULDING K. Color processing in digital cameras[J]. IEEE Micro, 1998, 18(6):20-30.
- [8] SWAMINATHAN A, WU M, LIU K J R. Non-intrusive forensic analysis of visual sensors using output images[C]//Proc of IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing. Piscataway, NJ:IEEE, 2006:401-404.
- [9] WANG Bo, KONG Xiang-wei. Blind CFA interpolation detection based on covariance matrix[J]. Journal of Electronics & Information Technology, 2009, 31(5):1175-1179.