

# 改进的基于模式噪声的源相机检测算法

孙爱华, 李庆忠

(中国海洋大学 工程学院, 山东 青岛 266100)

**摘要:**针对基于模式噪声的数码相机源检测中存在的问题,提出了一种改进的模式噪声提取算法。在Lukas算法的基础上,首先利用Wallis预滤波处理抑制低频噪声并增强模式噪声,再利用Sobel边缘检测算子对图像的复杂边缘纹理区进行有效剔除,最后利用经过上述处理得到的图像模式噪声与相机参考模式噪声模板进行相关检测。实验结果表明,提出的改进算法可以有效提高源相机检测的性能。

**关键词:**数字图像取证;源相机检测;模式噪声;Wallis预滤波;相关性检测

中图分类号:TN919-34;TP301.6

文献标识码:A

文章编号:1004-373X(2014)06-0027-05

## An improved source camera detecting algorithm based on sensor pattern noise

SUN Ai-hua, LI Qing-zhong

(College of Engineering, Ocean University of China, Qingdao 266100, China)

**Abstract:** Aiming at the problems existing in source digital camera detection based on sensor pattern noise, an improved algorithm for pattern noise extraction is presented. Based on Lukas's algorithm, the Wallis pre-filtering is employed to suppress the low frequency noise and enhance the sensor pattern noise, and then the Sobel operator based edge detection is used to remove the complex edge and texture regions of an image. Finally, camera correlation-based detection is performed by calculating the correlation between the image pattern noise obtained by the above process and the camera reference pattern noise. The experimental results show that the proposed algorithm can effectively improve the detection accuracy of the source camera.

**Keywords:** digital image forensics; source camera detection; pattern noise; Wallis pre-filtering; correlation-based detection

## 0 引言

数字图像易于存取、传输和编辑,因此在日常生活中得到了广泛的应用。然而,随着PhotoShop等图像编辑软件的快速发展,人们可以轻易地对图像进行篡改,信息安全问题随之产生。为了确定数字图像的真实性,数字图像取证技术得以产生和发展。

通过分析数字图像中由成像设备引入的特性,确定图像来源即成像设备的取证技术称为数字图像来源取证,也叫源相机检测,是图像取证技术的一个重要分支。其采用的方法主要是提取相机的参考模式噪声,并检测待测图像中是否含有此模式噪声。模式噪声<sup>[1]</sup>是相机的特有属性,类似于人的指纹,主要由固定模式噪声(Fixed Pattern Noise, FPN)和光子响应不一致性噪声

(Photo Response Non-Uniformity, PRNU)两部分组成。FPN是指相机传感器在未曝光情况下的输出,是由暗电流引起的。FPN为加性噪声,可以采用减暗帧的方法抑制。PRNU的主要成分是像素不一致性噪声(Pixel Non-Uniformity, PNU),是指因传感器对光敏感度的不一致性引入的噪声,与拍摄场景无关,只与成像传感器有关,因此不同的数码相机,即使品牌型号相同,其PNU也不相同。相机源检测中用到的模式噪声主要指PNU。

基于模式噪声的源相机检测可分为两类:一种是通过滤波器滤波提取模式噪声,并以叠加求平均的方式估计相机的参考模式噪声<sup>[1-2]</sup>;另一种是对成像过程建模,通过最大似然估计法,用滤波后得到的噪声残差图像估计模式噪声的乘性因子<sup>[3-4]</sup>。本文的研究主要是在第一种方法的基础上进行的。

第一种方法最早由Lukas和Fridrich等人提出,但由于模式噪声为乘性噪声,且数字图像的成像过程十分复杂,提取的模式噪声会受到图像内容、CFA插值、JPEG压缩等多种噪声的干扰,导致算法的检测性能下

收稿日期:2013-12-19

基金项目:国家高技术研究发展计划(863计划)资助项目(2006AA09Z237)

降<sup>[1-2]</sup>。为此,许多学者开始致力于对算法的改进研究。鉴于模式噪声会受到图像内容的影响, Li认为待测图像的模式噪声中,值越大的分量,受场景噪声的干扰越大,可信度越低,要减弱它对相关性检测的影响,因此他提出了5种非线性变换模型,对模式噪声进行提纯<sup>[5]</sup>。文献[6-8]则通过对图像进行纹理复杂度分析,选择简单纹理区域的方法抑制场景噪声的干扰。文献[9]认为模式噪声应该具有相对平坦的幅值谱,并在此基础上提出了一种相机相位参考模式噪声,通过对模式噪声进行频谱归一化操作,达到抑制场景噪声的目的。以上研究表明,模式噪声提取,是基于模式噪声的相机源检测算法的核心,是从强信号中提取微弱信号(PRUN相机指纹)的过程,这是一个比较复杂的信号检测问题,其检测性能目前还不完善,仍需要进行深入研究。PRUN的提取与检测的精度主要受下列因素影响:

(1) 光在灰尘、镜头表面发生的折射以及变焦设置等引入的噪声。这些噪声通常被称为环状模板,是低频成分,不是传感器的固有特征,不能用来进行相机源检测,如何合理去除是一个需要研究的问题。

(2) 图像纹理内容。图像的纹理是图像中像素值变化比较剧烈的部分,属于强噪声信号,如何合理去除,仍然是影响PRUN提取精确度的关键问题。

(3) CFA插值等周期性噪声的影响。针对PRUN提取存在的前两个问题,本文提出了基于Wallis滤波的低频噪声抑制方法和基于边缘检测的图像纹理内容抑制方法,并通过实验验证了提出算法的有效性。

### 1 Lukas算法简介

首先对Lukas等提出的算法<sup>[1-2]</sup>进行简单的介绍,其算法关键步骤如下:

(1) 模式噪声提取。选用文献[10]提出的小波滤波器对图像*I*进行滤波,可得图像*I*的模式噪声为:

$$\omega = I - F_{\omega}(I) \tag{1}$$

(2) 相机参考模式噪声。相机的模式噪声无法直接获得,因此Lukas等提出可以用多幅参考相机拍摄的图像作为参考图像,并采用步骤(1)的方法,对每幅图像提取模式噪声,记为 $\omega_k$ ,叠加求平均后,作为相机参考模式噪声的近似值:

$$P = \sum_{k=1}^N \omega_k / N \tag{2}$$

式中*N*为用于提取相机参考模式噪声的图像个数。

(3) 相关性检测。按步骤(1)对待测图像*p*提取模式噪声,记为 $\omega_p$ ,按步骤(2)对参考相机*C*提取相机参考模式噪声,记为 $P_c$ ,则 $\omega_p$ 和 $P_c$ 的相关系数为:

$$\rho_c(p) = \text{corr}(\omega_p, P_c) = \frac{(\omega_p - \overline{\omega_p})(P_c - \overline{P_c})}{\|\omega_p - \overline{\omega_p}\| \|P_c - \overline{P_c}\|} \tag{3}$$

式中: $\overline{\omega_p}$ ,  $\overline{P_c}$ 分别为 $\omega_p$ ,  $P_c$ 的均值。若 $\rho_c(p)$ 超过给定的阈值,则认为图像*p*是由相机*C*拍摄的。

### 2 提出的源相机检测算法

由Lukas算法可知,该算法没有考虑低频噪声和高频图像内容的影响,为此,本文在Lukas算法基础上,提出了基于Wallis预滤波和基于Sobel算子边缘纹理区域剔除的源相机检测算法,总体框图如图1所示。下面介绍其中各主要模块的具体实现。



图1 算法流程图

#### 2.1 Wallis预滤波处理

模式噪声信号微弱,且易受到光折射、变焦等引入的低频噪声的干扰,要提高模式噪声的准确性,就需要抑制低频噪声,增强模式噪声。Wallis算子为二阶微分算子,它可以抑制低频信息,增强高频信息,因此采用Wallis预滤波的方法抑制低频干扰。假设待测图像在点(*i, j*)处的像素值为*f(i, j)*,则Wallis预滤波后,该点像素值为:

$$g(i, j) = 4 \log f(i, j) - [\log f(i-1, j) + \log f(i+1, j) + \log f(i, j-1) + \log f(i, j+1)] \tag{4}$$

取对数后,像素值被压缩到很小的范围,因此需要对输出值进行放大,同时为了避免对0取对数,实际计算时采用公式:

$$g_1(i, j) = 4[\log f(i, j) + 1] - \{[\log f(i-1, j) + 1] + [\log f(i+1, j) + 1] + [\log f(i, j-1) + 1] + [\log f(i, j+1) + 1]\} \tag{5}$$

$$g(i, j) = \frac{255}{\log 256} \times g_1(i, j) \tag{6}$$

图2为Lukas方法提取的模式噪声及其幅值谱,图3为Wallis预滤波方法提取的模式噪声及其幅值谱。由图2、图3可以看出Wallis预滤波可以达到抑制低频噪声的目的。因此,在提取图像的模式噪声时,首先对图像进行Wallis预滤波,然后对滤波后的图像进行小波滤波<sup>[10]</sup>,提取模式噪声,用公式表示为:

$$\omega_k = F_l(I_k) - F_\omega(F_l(I_k)) \quad (7)$$

式中: $I_k$ 为参考图像或待测图像; $F_l$ 表示Wallis滤波器; $F_\omega$ 表示小波滤波器; $\omega_k$ 表示模式噪声。

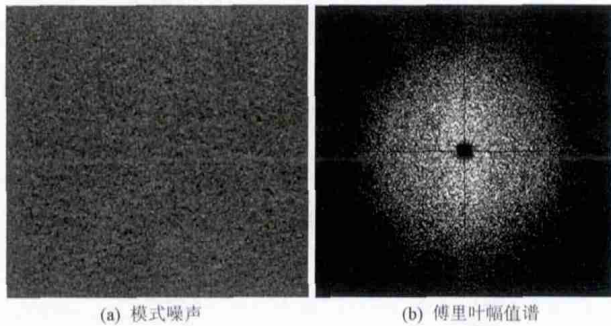


图2 Lukas方法提取的模式噪声及其傅里叶幅值谱

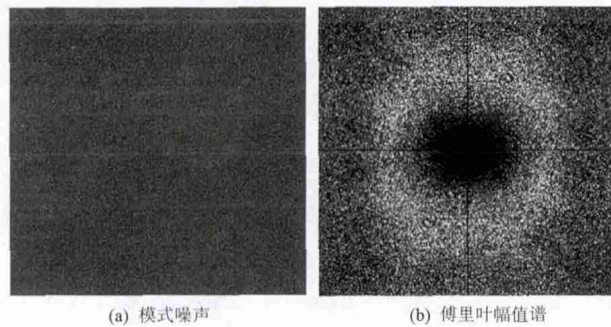


图3 Wallis预滤波法提取的模式噪声及其傅里叶幅值谱

### 2.2 CFA插值噪声去除

为了节省成本,现有数码相机大都只有一组传感器,每个像素只能获得一种颜色的真实信息,缺失的颜色分量通过CFA插值得到,这就使得提取的模式噪声会受到CFA插值的影响。为了减少CFA插值噪声的干扰,本文采用文献[11]提出的去CFA插值噪声的方法:先对每一列减去该列的均值,再对每一行减去该行的均值。

### 2.3 基于Sobel算子的边缘纹理区域剔除

小波变换在表达二维曲线奇异方面存在不足,采用基于小波变换的去噪滤波器<sup>[10]</sup>提取模式噪声时会产生边缘扩散问题,得到的模式噪声图像在边缘和纹理区域会有明显的场景噪声<sup>[6]</sup>,导致算法检测的准确率降低。为了减少边缘和纹理的影响,本文提出一种基于Sobel算子的边缘纹理区域剔除方法。

由Sobel算子公式可知,像素点所在区域的纹理越强,该点的输出值越大,因此可以根据Sobel边缘检测

结果进行边缘纹理区域剔除。Sobel算子公式如下:

$$g(i,j) = \sqrt{S_x^2 + S_y^2} \quad (8)$$

式中:

$$S_x = \begin{bmatrix} -1 & 0 & 1 \\ -2 & 0 & 2 \\ -1 & 0 & 1 \end{bmatrix}, S_y = \begin{bmatrix} 1 & 2 & 1 \\ 0 & 0 & 0 \\ -1 & -2 & -1 \end{bmatrix} \quad (9)$$

具体方法为:用Sobel算子对图像进行处理,得到Sobel边缘检测图像。将结果图的每个像素点的值与给定的阈值相比较,超过阈值的点则认为是强边缘和复杂纹理区域的点,将其从模式噪声图像中剔除。

图4为一幅图像经Sobel算子处理前后的模式噪声的结果,从图可以看出,处理后的模式噪声中,受场景噪声影响大的模式噪声点都被剔除。

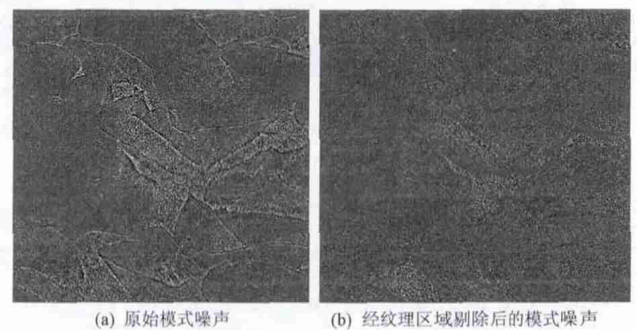


图4 Sobel算子处理前后图像模式噪声比较

### 2.4 相关系数计算

对于待检测图像,经过上述处理后得到的就是最终参与相关性检测的模式噪声。进行相关性计算时,同样要先将参考模式噪声中与之对应的强边缘复杂纹理区域的噪声点集去除,再按式(3)进行相关系数的计算。

## 3 实验结果与分析

为验证本文算法的有效性,进行了2组测试实验并与Lukas算法进行了性能比较。

实验所用相机的型号和参数见表1。每个相机各拍照375幅图像,其中75幅为蓝天图像,用于提取相机的参考模式噪声,其余300幅作为测试图像。所有实验均在图像的绿色通道上进行。

第一组实验以SONY DSC-W350为参考相机,以SONY DSC-W350和SONY DSLR-A580拍摄的图像为测试图像;第二组实验以SONY DSC-W350为参考相机,以SONY DSC-W350和Canon PowerShot A4000 IS拍摄的图像为测试图像。每组分别对大小为256×256像素、128×128像素的图像进行了实验。每组实验中,首先测试Wallis预滤波对检测性能的影响,然后测试同时增加Wallis预滤波和基于Sobel算子的边缘纹理区域剔除处理时,算法性能的变化。



实验中采用以下两个指标衡量算法性能的好坏。一是ROC曲线(Receiver Operating Characteristic curve), ROC曲线描绘的是一个二元分类器的判决阈值变化时,其检测的准确率(True Positive Rate, TPR)随误检率(False Positive Rate, FPR)的变化趋势。

ROC曲线越趋向于坐标轴的左上角,则认为分类器的性能越好;二是同、异类相关系数的统计特性,当待测图像是由参考相机拍摄时,称两者的相关系数为同类相关系数,反之,则称为异类相关系数。两类相关系数的均值之差越大,方差越小,说明其可分性越好,则算法的性能越好。

表1 实验用相机主要参数

相机型号	传感器	最大分辨率	存储格式
SONY DSC-W350	1/2.3 inch CCD	4 320×3 240	JPEG
SONY DSLR-A580	23.5×15.6 mm CMOS	4 912×2 760	ARW
Canon Power Shot A4000 IS	1/2.3 inch CCD	4 608×3 456	JPEG

第一组实验的结果如图5、图6和表2所示。由图5、图6可以看出,当FPR相同时,无论是单独的Wallis预滤波处理,还是同时加入Wallis预滤波和Sobel边缘纹理剔除操作,算法的检测准确率都明显高于Lukas算法,即使是对小至128×128的图像块,检测性能仍有明显提高。

此外,由图5、图6还可看出,Wallis+Sobel算法的ROC曲线有时会出现低于单独Wallis算法ROC曲线的情况,其原因是当图像中边缘纹理较多时,经过Sobel边缘纹理区域剔除后,模式噪声图像中的大量噪声点集被剔除,导致参与相关系数计算的模式噪声点过少,影响了相关系数计算的准确性和稳定性。

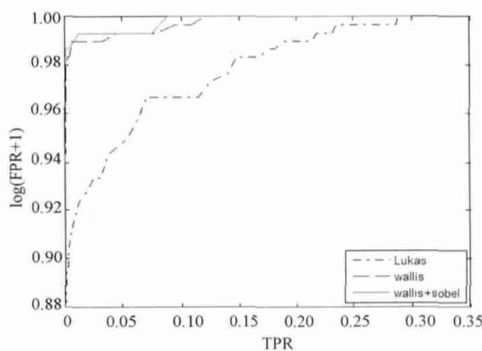


图5 源相机检测的ROC曲线比较结果1

表2是3种算法的同、异类相关系数的统计特性。由表中数据可以看出,本文提出的两种改进措施可以有效拉大同、异类相关系数均值之间的差距,且两类相关系数的方差也总体趋于减少,故增强了两类相关系数的

可分离性,可以有效提高算法检测性能。

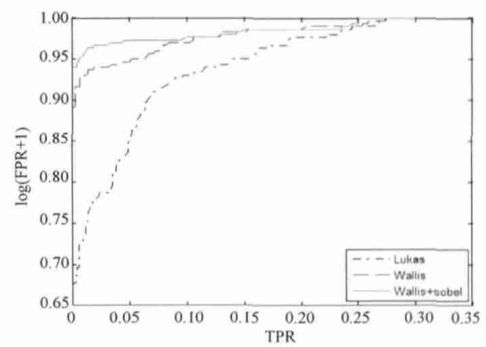


图6 源相机检测的ROC曲线比较结果2

表2 实验一同、异类相关系数统计特性比较

图像大小	统计特性	Lukas	Wallis	Wallis+sobel
256×256 像素	同类相关 值均值	0.060 579	0.063 619	0.070 324
	异类相关 值均值	0.001 117	0.001 245	6.877 60e-4
	两类相关 值均值之差	0.059 462	0.062 374	0.069 636
	同类相关 值方差	0.001 895	0.001 452	0.001 395
128×128 像素	异类相关 值方差	4.146 70e-5	2.051 44e-5	2.036 30e-5
	同类相关 值均值	0.060 493	0.065 643	0.070 789
	异类相关 值均值	0.001 766	0.001 418	7.715 10e-4
	两类相关 值均值之差	0.058 727	0.064 225	0.070 017
	同类相关 值方差	0.002 063	0.001 615	0.001 524
	异类相关 值方差	1.584 94e-4	6.598 62e-5	7.748 06e-5

第二组实验的结果如图7、图8,以及表3所示。实验结论和第一组实验的结论一致。

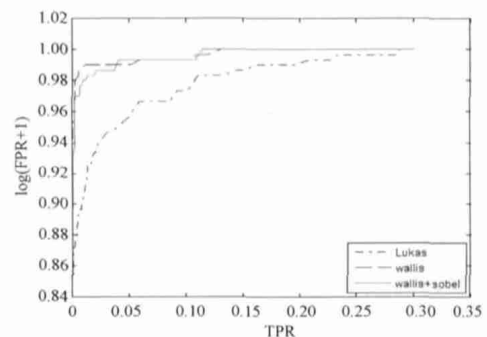


图7 源相机检测的ROC曲线比较结果3

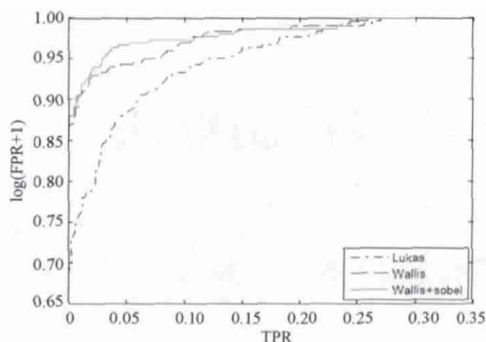


图8 源相机检测的ROC曲线比较结果4

表3 实验二同、异类相关系数统计特性比较

图像大小	统计特性	Lukas	Wallis	Wallis+sobel
256×256 像素	同类相关值均值	0.060 651	0.063 619	0.070 324
	异类相关值均值	3.301 03e-4	0.001 445	0.001 569
	两类相关值均值之差	0.060 321	0.062 174	0.068 754
	同类相关值方差	0.001 896	0.001 452	0.001 395
	异类相关值方差	3.753 32e-5	2.631 02e-5	4.180 65e-5
	同类相关值均值	0.060 493	0.065 643	0.070 789
	异类相关值均值	3.460 47e-4	7.040 83e-4	0.001 053
	128×128 像素	同类相关值均值之差	0.060 147	0.064 939
同类相关值方差	0.002 063	0.001 615	0.001 524	
异类相关值方差	1.401 99e-4	1.111 96e-4	1.421 11e-4	

总之,从以上实验结果可以看出,本文提出的两点改进措施可以有效抑制低频噪声和图像内容的干扰,提高模式噪声提取的准确度,从而提高图像相源检测的准确率。

#### 4 结 语

本文在 Lukas 等人提出的基于模式噪声的图像来源检测方法的基础上,针对算法存在的不足,提出了相应的改进措施:一方面,通过引入 Wallis 预滤波,抑制低频噪声对模式噪声的干扰;另一方面,利用 Sobel 算子剔

除图像中的强边缘和复杂纹理区域,减少场景噪声对相关系数的影响。实验证明,本文提出的两种改进措施可以有效提高算法的检测性能。下一步,将尝试将本文算法用于图像篡改检测。

#### 参 考 文 献

- [1] LUKAS J, FRIDRICH J, GOLJAN M. Digital bullet scratches for images [C]// Proceedings of IEEE International Conference on Image Processing. Genova, Italy: IEEE, 2005: 65-68.
- [2] LUKAS J, FRIDRICH J, GOLJAN M. Digital camera identification from sensor pattern noise [J]. IEEE Transactions on Information Forensics and Security, 2006, 1(2): 205-214.
- [3] FRIDRICH J, CHEN M, GOLJAN M. Imaging sensor noise as digital X-ray for revealing forgeries [C]// Proceedings of 9th International Workshop on Information Hiding. Saint Malo, France: [s.n.], 2007: 342-358.
- [4] LI C T. Source camera identification using enhanced sensor pattern noise [J]. IEEE Transactions on Information Forensics and Security, 2010, 5(2): 280-287.
- [5] KAZUYA Matsushita, HITOSHI Kitazawa. An improved camera identification method based on the texture complexity and the image restoration [J]. International Journal of Hybrid Information Technology, 2010, 3(1): 17-28.
- [6] CHEN M, FRIDRICH J, GOLJAN M, et al. Determining image origin and integrity using sensor noise [J]. IEEE Transactions on Information Forensics and Security, 2008, 3(1): 74-90.
- [7] 陈宗民, 周治平. 噪声方差和纹理复杂度分析的源相机识别[J]. 计算机应用, 2012, 32(6): 1563-1566.
- [8] 胡达. 基于局部区域模式噪声和小训练样本集的数码相机源辨识技术[D]. 广州: 华南理工大学, 2012.
- [9] KANG Xian-gui, LI Yin-xiang, QU Zhen-hua, et al. Enhancing source camera identification performance with a camera reference phase sensor pattern noise [J]. IEEE Transactions on Information Forensics and Security, 2012, 7(2): 393-420.
- [10] MIHCAK K, KOZINTSEV I, RAMCHANDRAN K. Spatially adaptive statistical modeling of wavelet image coefficients and its application to denoising [C]// Proceedings IEEE International Conference on Acoustics, Speech, and Signal Processing. Phoenix, AZ: IEEE, 1999, 6: 3253-3256.
- [11] CHEN M, FRIDRICH J, GOLJAN M, et al. Determining image origin and integrity using sensor noise [J]. IEEE Transactions on Information Forensics and Security, 2008, 3(1): 74-90.

作者简介: 孙爱华(1988 )女,山东烟台人,硕士研究生。主要研究方向为数字图像取证技术。

李庆忠(1963 )男,教授,博士生导师。主要研究方向为图像处理、机器人视觉技术等。