

文章编号:1673-0291(2012)05-0057-05

## 基于图像表面梯度的翻拍检测

卢燕飞,冯莉,李兴华,荆涛

(北京交通大学 电子信息工程学院,北京 100044)

**摘要:**经过翻拍后的篡改图像能够轻易绕过现有的图像篡改检测系统,这对图像真实性的检测构成严重的安全威胁.本文基于翻拍过程中两次使用相机进行拍摄而引入的非线性响应,使用 LibSVM 设计图像分类器判别翻拍图像和真实图像.翻拍后图像表面梯度值与真实图像相比会产生非线性变化,这使翻拍图像表面梯度值产生异常.本文基于图像表面梯度特性提取相关特征值,使用支持向量机分类器进行翻拍图像和真实图像的判别.实验结果表明,本文提出的特征分类效果好,可以正确检测翻拍图像.

**关键词:**图像取证;图像翻拍检测;支持向量机;表面梯度

**中图分类号:**TN919.8      **文献标志码:**A

### Recaptured image detection based on surface gradient

LU Yanfei, FENG Li, LI Xinghua, JING Tao

(School of Electronics and Information Engineering, Beijing Jiaotong University, Beijing 100044, China)

**Abstract:** For most current image forensic systems, the tamper evidence would be invalid in recaptured image, so the authenticity of the image detected is posed a security threat. This paper proposed a separation method between natural images and recaptured photo images, based on surface gradient of image. In the process of image recapturing, because of using camera twice, recaptured image would have a different non-linear response compared to true image. To prevent the image recapturing attack, we propose a set of statistical features, which capture the common anomalies introduced in the camera recapturing process on surface gradient. With a support vector machine classifier, experiment results show that features work proposed can correctly detect recaptured photo.

**Key words:** digital forensics; recaptured image detection; support vector machine; surface gradient

人眼观察到的环境中,图像由于具有各种类型的周围环境,如包括图像的大小,图像所处的位置,再加上图像表面的光线反射方式和人眼能够感知图像的平整度的立体视觉,都有助于使我们判断观察到的物体是图像还是真实的场景.但如果去掉周围环境的相关信息,人眼就会混淆真实场景中的物体和物体的平面图像.例如使用相机翻拍 LCD 显示的图像,若截去液晶屏的边缘和周围环境信息后,人眼就很难区分是翻拍图像还是真实图像.通过单一视

野,以最少的周围环境信息(如透过相机镜头)区分真实物体和物体的图像将更具难度.在本文中,我们基于翻拍图像过程中显示介质的固有特性,提取统计值并设计基于 LibSVM 的分类器判断其是真实自然图像还是翻拍自然场景图像.

篡改图像经过翻拍能够轻易绕过现有的图像篡改检测系统,这对图像真实性的检测构成严重的安全威胁.为了使数字图像的可信度得以恢复,到目前为止的研究都是通过图像内部的固有规律和一些常

收稿日期:2012-06-14

基金项目:国家自然科学基金资助项目(60972151, 61071143, 61071152);国家“973”重大基础研究计划项目资助(2010CB731403, 2010CB731406)

作者简介:卢燕飞(1971—),男,江西樟树人,高工.研究方向为数字图像认证. email: yflu@bjtu.edu.cn.

见的篡改异常来进行图像篡改检测<sup>[1]</sup>. 通常情况下, 图像真实性认证的检测线索包含镜头失真、传感器噪声的模型与统计、马赛克规律、JPEG 压缩特点及图像光线一致性等特点. 然而伪造者可以先通过高保真印刷、LCD 或投影显示篡改图像, 再通过适当的设置, 使用翻拍图像, 绕过现有的图像取证系统. 并且图像篡改产生的异常, 如拼接不连续性、重采样痕迹, 在图像翻拍过程中将会被自动删除, 而且因篡改被扰乱的图像内部的固有规律, 会因翻拍操作而恢复. 此外, 图像的翻拍不需要专业设备, 通过计算机、摄影设备及打印设备即可以实现. 为了防止此类安全漏洞, 翻拍图像的识别是完善目前图像认证系统的重要任务. 翻拍图像是拍摄已经在纸上打印出的图像, 是一种特殊的平面表面形式. 本文中, 我们假设翻拍部分占据了整个图像, 因此没有进行分块的需要.

近年来, 国际上对翻拍取证已有一些初步的研究. 文献[2]初步提出了“重播攻击”在图像取证的问题, 通过制定二元分类, 使用 72 个小波统计特征和一个简单的线性判别分类, 区分自然图像和打印后再扫描图像. 文献[3]提出小波特征可以用来区分真实图像和翻拍图像. 文献[4]基于图像的几何特性能够区分摄影图像和计算机图形图像, 指出当翻拍图像的分辨率超过显示器的分辨率时, 能够区别 LCD

翻拍图像和计算机图形图像. 文献[5]通过假设人工场景是平面的, 提出翻拍图像的反射分量可以作为一个显著特点用于区别翻拍照片和自然的照片. 文献[6]提出的照片翻拍检测方法, 要求图像有足够高的分辨率, 才能够较好的分辨出印刷纸的微纹理, 并且该方法用于其他类型图像的准确率可能会比人脸图像低. 基于场景光照一致性<sup>[7]</sup>可以指出翻拍过程中存在的光源造成的差异, 但是对翻拍场景中的光源有一定要求: 翻拍场景中光源方向与原始场景中的光源方向明显不同.

本文作者对常见翻拍图像和真实图像进行判别. 因图像翻拍过程产生非线性响应通常伴随图像表面梯度值的非线性变化. 通过提取图像表面梯度特征的统计值, 设计基于 LibSVM 的图像分类器以区分翻拍图像和自然图像. 实验证明, 本文中选取的特征值能够准确有效的判别翻拍图像和真实图像.

## 1 翻拍过程

对于去除边缘背景信息的翻拍图像, 人眼就很难用区分是翻拍图像还是真实图像, 但是它们的生成过程却有很大差异. 真实图像和翻拍图像的生成过程如图 1 所示, 图像翻拍过程包括: 第 1 次真实场景拍摄、显示于 LCD 或打印纸张、第 2 次拍摄<sup>[8]</sup> 3 个阶段.

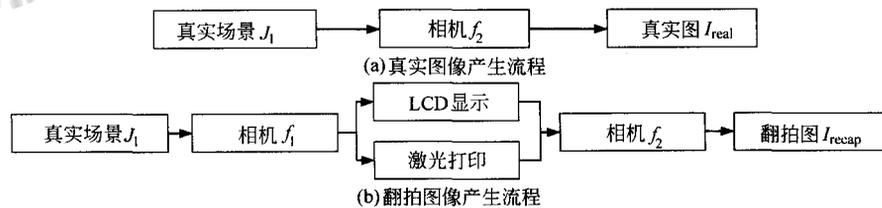


图 1 真实图像和翻拍图像的产生过程

Fig. 1 Generative process of real-scene image and recaptured image

设第 1 次拍摄场景使用具有任意分辨率任意型号的  $c_1$  相机, 拍摄完成后将图像显示于  $m$  介质, 然后使用  $c_2$  相机对显示于  $m$  介质的图像进行第 2 次拍摄. 假设第 1 次拍摄场景的光辐射为  $J_1$ , 可由  $c_1$  相机生成数字图像  $I_1$

$$I_1(x, y) = f_1(J_1(x, y)) \quad (1)$$

式中:  $f_1$  表示  $c_1$  相机的响应函数;  $(x, y)$  空间向量表示二维平面图像的坐标. 再将  $I_1$  显示于介质  $m$ , 由于 LCD 显示屏或打印机设备本身的限制, 不可能将  $I_1$  原样重现. 显示于  $m$  介质上的图像可表示为

$$I_m(x, y) = f_m(I_1(x, y)) \quad (2)$$

由于  $m$  介质上的重现图像与原始真实场景  $J_1$  有完全不同的表面属性, 因此当  $I_m$  显示在现实环境中

被周围环境的光线照射时, 入射光照射到  $m$  介质上然后被反射的方式由  $m$  介质本身的表面属性决定, 并且由  $I_m$  的不同决定反射光的不同. 例如, 打印纸具有的反射特性和空间特性决定了在翻拍图像上可以观察到打印纸表面微纹理的镜像反射光线. 考虑到由  $I_m$  产生的偏差, 我们可以将第 2 个翻拍相机观察到的反射图像表示为

$$I_{\text{recap}}(x, y) = f_2(I_m(x, y)\beta(x, y) + R(x, y)(1 - \beta(x, y))) \quad (3)$$

式中:  $f_2$  是  $c_2$  相机的响应函数;  $R$  是由显示介质和翻拍设置产生的光辐射部分, 其权重为  $(1 - \beta(x, y))$ .  $R$  能够反映出打印纸表面纹理的镜像反射、由于打印纸具有的平面几何形状而形成的大区域的高

亮点及环境中光线穿透过打印纸形成的背光.此外,使用  $c_2$  相机进行图像翻拍时,翻拍图像  $I_m$  周围的环境场景也作为  $R$  的一部分.

而  $c_2$  相机拍摄的实时场景  $J_1$  的图像可表示为

$$I_{\text{real}}(x, y) = f_2(J_1(x, y)) \quad (4)$$

综上,可以得出翻拍过程完整的数学模型

$$I_{\text{reCAP}}(x, y) = f_2(f_m(f_1(J_1(x, y)))\beta(x, y) + R(x, y)(1 - \beta(x, y))) \quad (5)$$

比较式(4)和式(5),这两个公式给出了分辨真实场景图像和翻拍图像的线索,包括:由相机响应函数  $f_1, f_2$  和显示介质特性  $f_m$  产生的非线性差异;  $m$  介质显示图像的背光及翻拍图像表面的高亮部分;翻拍图像周围的环境场景中的环境信息;翻拍图像显示介质具有的独特特性;印刷设备具有的色度特征等.

## 2 表面梯度

如果我们将图像翻拍作为图像的渲染过程,这将产生非线性响应.式(5)可以看到,翻拍图像的非线性响应是由第1台相机,中间打印或LCD显示,第2台相机的响应函数组合而成,而一个真正的现场图像的非线性响应只有第2台相机,即最终用户的相机.文献[4]的研究表明,非线性响应可以使用图像表面梯度的特征表示.

由式(4)、式(5)可得翻拍图像和真实场景图像对于真实场景  $J_1(x, y)$  的响应函数的不同之处.对于真实图像,响应函数即为图像拍摄时的相机响应函数;而对于翻拍图像,响应函数中涉及原始图像拍摄时的相机响应函数  $f_1$ 、翻拍相机的响应函数  $f_2$  和显示介质本身属性对原始图像产生的改变  $f_m$ .基于这一特性,本节将表明图像像素强度分布  $I(x, y)$  的表面梯度,可用于区分真实图像和翻拍图像.

### 2.1 相机响应函数分析

相机捕捉图像强度分布是通过一个传递函数,即相机响应函数.相机响应函数将现实世界的真实场景的光辐射变换为图像像素强度数据  $I(x, y)$ ,也就是相机产生图像输出的传感过程.典型的相机响应函数的函数图<sup>[9]</sup>如图2所示.

图3中相机响应函数的一个主要特点是:场景中较低的光辐射强度值拉伸、较高的光辐射强度值压缩.假设图像像素值强度函数为  $I(x, y) = f(J(x, y))$ ,式中  $f$  是相机响应函数,  $J$  是真实场景的光辐射函数,对  $I(x, y)$  求偏导,可以得到

$$I_x = \frac{\partial I}{\partial x} = \frac{df}{dJ} \frac{\partial J}{\partial x}, \quad I_y = \frac{\partial I}{\partial y} = \frac{df}{dJ} \frac{\partial J}{\partial y} \quad (6)$$

式中  $\frac{df}{dJ}$  是相机响应函数的导数,  $J$  值小时其值大于

1,  $J$  值大时其值小于1.因此,对于数值较小的像素值,其欧几里德梯度值  $|\nabla I| = \sqrt{I_x^2 + I_y^2}$  较大;对于数值较大的像素值,其欧几里德梯度值  $|\nabla I| = \sqrt{I_x^2 + I_y^2}$  较小.式(6)中  $\frac{df}{dJ}$  在不同大小像素值的不同斜率值表明翻拍图像和真实图像间的关键差异.

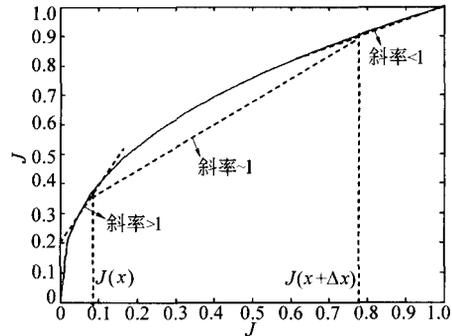


图2 典型相机响应函数

Fig.2 Typical concave camera transfer function

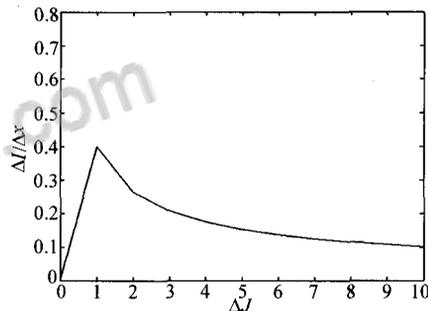


图3 图像光辐射梯度的不同值对应的响应效果

Fig.3 Relative strength of modulation effect

for different magnitude of image irradiance gradient

### 2.2 表面梯度

通过相机响应函数分析表面梯度的差异性及其特征值的提取.上述分析假定拍摄场景的光辐射  $J$  是连续的.实际中涉及到的是离散采样的图像,位置  $x$  和  $(x + \Delta x)$  的两个相邻点的近似梯度值为

$$\frac{\Delta I}{\Delta x} = \frac{\Delta(f \cdot J)_x}{\Delta J_x} \frac{\Delta J_x}{\Delta x} \quad (7)$$

式中  $\Delta I/\Delta x = I(x + \Delta x, y) - I(x, y) = I_x$ .需要注意的是,在离散值的情况下与连续函数  $df/dJ$  相对应的是连接  $J(x + \Delta x)$  和  $J(x)$  的相机响应函数曲线的斜率.对于像素点的离散值,只有当  $J(x + \Delta x) - J(x)$  值小时接近于连续值函数的导数值.因为当  $J(x + \Delta x) - J(x)$  值大时,相机响应函数的曲线的斜率接近于1,相机响应函数的响应效果弱.

也就是说,由于图像是由离散值表示,式(7)中的相机响应函数的响应效果只出现于具有低梯度值的点,如图3中所示,低梯度值时响应效果强,高梯度值时响应效果弱.

$$s(|\nabla I|; \alpha) = \sqrt{\frac{|\nabla I|^2}{|\nabla I|^2 + \alpha^{-2}}} = |\text{grad}(\alpha I)| \quad (8)$$

式中  $|\nabla I| = \sqrt{I_x^2 + I_y^2}$ .

由于具有此特性,如果我们使用真实图像和翻拍图形的表面梯度差异进行分类,就应该相比于高梯度区域给低梯度区域更多权重,以突出低梯度区域的梯度值变化.图3中显示图像梯度值的分布,其函数图包含典型的长拖尾.为了强调低梯度地区,我们采用如下的尾部压缩变换,图4中显示S变换对于数值较小的量进行线性变换并压缩数值较大的量.线性变换范围的宽度可通过控制常数 $\alpha$ 调整.式(8)是缩放图像强度函数的表面梯度 $|\text{grad}(\alpha I)|$ 由图像单通道强度函数的黎曼度量计算得到.本文中我们选取 $\alpha = 0.25$ (选择这个值的原因是S变换覆盖的线性范围数值低,并且对应伽玛梯度的中间值).

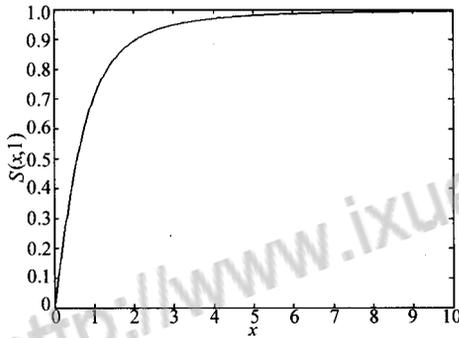


图4 尾部压缩函数  $S(x, 1)$

Fig.4 Tail-compressing function  $S(x, 1)$

对式(4)求偏导可得

$$\begin{aligned} I_{\text{real}_x} &= \frac{\partial I_{\text{real}}}{\partial x} = \frac{df_2}{dJ_1} \frac{\partial J_1}{\partial x}, \\ I_{\text{real}_y} &= \frac{\partial I_{\text{real}}}{\partial y} = \frac{df_2}{dJ_1} \frac{\partial J_1}{\partial y} \end{aligned} \quad (9)$$

设翻拍对象表面的光辐射  $J_2$  为  $J_2 = f_m(f_1(J_1(x, y)))\beta(x, y) + R(x, y)(1 - \beta(x, y))$ , 则式(5)可化为

$$\begin{aligned} I_{\text{recap}}(x, y) &= f_2(J_2(x, y)) = \\ &f_2(f_m(f_1(J_1(x, y)))\beta(x, y) + \\ &R(x, y)(1 - \beta(x, y))) \end{aligned} \quad (10)$$

式(10)中  $I_{\text{recap}}$  对  $x$  求偏导

$$\begin{aligned} I_{\text{recap}_x} &= \frac{\partial I_{\text{recap}}}{\partial x} = \frac{df_2}{dJ_2} \frac{\partial J_2}{\partial x} = \\ &\frac{df_2}{dJ_2} \left( \frac{df_m}{df_1} \frac{df_1}{dJ_1} \frac{\partial J_1}{\partial x} \beta(x, y) + \right. \\ &\left. f_m(f_1(J_1(x, y))) \frac{\partial \beta}{\partial x} + \right. \end{aligned}$$

$$\left. \frac{\partial \beta}{\partial x} - \frac{\partial R}{\partial x} \beta(x, y) - R(x, y) \frac{\partial \beta}{\partial x} \right) \quad (11)$$

从式(9)和式(11)可以明显看出真实图像和翻拍图像的像素值偏导数的差异.

综上,真实图像和翻拍图像的  $|\text{grad}(\alpha I)|$  有明显的数值大小差异.为了表现这种差异,可以通过计算真实图像和翻拍图像的  $|\text{grad}(\alpha I)|$ , 提取特征值.我们将翻拍图像与真实场景图像的  $|\text{grad}(\alpha I)|$  值进行比较,选取 RGB 三通道图像的 G 通道计算其  $|\text{grad}(\alpha I)|$ , 得到结果图见图5, 然后统计结果图中  $|\text{grad}(\alpha I)|$  数值大小得到 G 通道  $|\text{grad}(\alpha I)|$  直方图, 观察真实图像和翻拍图像的 G 通道  $|\text{grad}(\alpha I)|$  直方图, 可以明显看到其差异.

由于相机响应函数的伽玛校正不同像素强度值的梯度不同,因此我们需要对图像像素值的大小和像素点的  $|\text{grad}(\alpha I)|$  一同进行特征值提取比较.我们提取的特征值包括: 图像 R、G、B 三通道各通道的  $|\text{grad}(\alpha I)|$  的均值、方差共 6 个特征值; G 通道  $|\text{grad}(\alpha I)|$  的 32 分量直方图(原图像像素值/8 取整后统计直方图)的 32 个特征值; 原彩色图像对应灰度图像的均值、方差、32 分量直方图的 34 个特征值. 总共 72 个特征值进行真实图像和翻拍图像的分类.

### 3 实验结果

本文实验训练分类器采用的真实图像来源于哥伦比亚大学多媒体实验室的自然图像和计算机生成图像数据库<sup>[10]</sup> [www.ee.columbia.edu/trustfoto](http://www.ee.columbia.edu/trustfoto), 其中包含各种不同场景下拍摄的 800 幅自然图像. 本文使用该图像库中的 800 幅个人相机拍摄的原始图像数据库, 由于本文提出特征值用于检测 LCD 翻拍和打印翻拍, 因此去除其中 18 张涉及拍摄杂志、LCD 广告屏及具有大面积打印墙的图像, 使用其拍摄自然场景的 779 图作为真实图. 其中将真实图显示于 LCD 屏幕再使用相机拍摄获取翻拍图像 600 张, 通过由彩色激光打印机打印的照片获取打印翻拍 179 张图像. 实验时, 选取图像库的 2/3 作为训练(1 039 幅图像), 1/3 作为测试(519 幅图像).

使用计算表面梯度  $|\text{grad}(\alpha I)|$  方法提取特征值的分类实验统计结果: 分类准确率为 98.265 9%, 分类图像共有 519 幅, 正确分类图像为 510 幅. 为了进行统计特征分类效果比较, 我们使用参考文献[11]提出的翻拍检测统计特征 LBP(局部统一模式)与 MSWS(多尺度小波变换)对本文使用的图像库进行分类检测, 实验结果见表 1. 其中: TP = 正确例数/正例总数、TN = 正确负例数/负例总数、Ac-

curacy= 正确的正例数与负例数之和/正例和负例 之和.



图 5 翻拍图像与真实场景图像  $|grad(\alpha I)|$  比较

Fig.5  $|grad(\alpha I)|$  comparison of recaptured image and true image

表 1 预测统计结果

Tab.1 Performance comparison in recaptured image identification

分类特征	特征值数	TP/%	TN/%	Accuracy/%
$ grad(\alpha I) $	72	97.2973	99.2308	98.2659
LBP	80	98.4556	96.9230	97.6879
MSWS	54	97.2973	98.4615	97.8805

对比 100 幅  $768 \times 768$  图像进行特征值提取的用时比较,结果如表 2.

表 2 特征值提取时间复杂度比较

Tab.2 Time complex comparison in recaptured image identification

分类特征	特征值提取算法时间复杂度/s
$ grad(\alpha I) $	74
LBP	493
MSWS	230

比较表 1 中各分类特征的分类准确率及表 2 中各分类特征值提取时间复杂度可知,本文提出的分类特征值对真实图像和翻拍图像具有很强的鉴别能力,与 LBP 和 MSWS 方法相比保持了很高的分类准确率,并且梯度特征值的获取方法非常简单,虽然特征值在这 3 种方法中不是最少,但是综合的复杂度比其他两种方法都要简单很多.

为了验证该方法的适用性,我们分别使用

Canon-550D, Sony-W630, OLYMPUS-FE4010 3 种类型相机进行翻拍获取,分别进行实验.以上实验结果是通过 Canon-550D 翻拍得到的,对于 Sony-W630 翻拍得到的结果判定准确率是 98.073 2%,对于 OLYMPUS-FE4010 翻拍得到的结果判定准确率是 98.265 9% 和 Canon-550D 的结果一样.实验结果表明,翻拍时相机的特性对判定结果影响不大,也就是说该方法依据图像表明梯度变化主要是由于翻拍时显示介质引起的.

#### 4 结论

本文利用图像翻拍过程中产生的非线性响应对图像表面梯度的影响作为区分翻拍图像和真实图像的特征值.由于在翻拍过程中会引入两次相机响应函数和显示介质的固有特征,通过计算图像表面梯度来提取特征值进行对翻拍图像和真实图像的区分.实验结果证明选取这些特征值的有效性及其高效性.在今后的研究中,我们会进一步研究如何破解其他类型翻拍的攻击,如高质量打印图像的翻拍检测、扫描图像的检测等,这些不同类型的图像重获取过程可能会引入本文提到的各种特征.

(下转第 67 页)

## 参考文献(References):

- [1] 安德森. 一种基于电磁模型的混合快速汉克尔变换算法研究[J]. 地球物理勘探, 1989, 54(2): 263-266.  
Anderson W L. A hybrid fast Hankel transformation algorithm for electro-magnetic modeling[J]. Geophysical exploration, 1989, 54(2): 263-266. (in Chinese)
- [2] 翁爱华, 刘云鹤, 陈玉玲, 等. 矩形大定源层状模型瞬变电磁响应计算[J]. 地球物理学报, 2010, 53(3): 646-650.  
WENG Aihua, LIU Yunhe, CHEN Yuling, et al. Computation of transient electromagnetic field from a rectangular loop over stratified earths[J]. Chinese journal of geophysics, 2010, 53(3): 646-650. (in Chinese)
- [3] 郭嵩巍. 中心回线瞬变电磁一维正反演算法研究[D]. 成都: 成都理工大学, 2010.  
GUO Songwei. TEM one-dimensional forward and inversion algorithm study of central loop[D]. Chengdu: Journal of Chengdu University of Technology, 2010. (in Chinese)
- [4] 薛国强, 李貅, 郭文波. 大回线源瞬变电磁场响应特性[J]. 石油地球物理勘探, 2007, 42(5): 586-590.  
XUE Guoqiang, LI Xiu, GUO Wenbo. TEM response characteristics of large loop[J]. Oil Geophysical Exploration, 2007, 42(5): 586-590. (in Chinese)
- [5] 华军, 蒋延生, 汪文秉. 双重贝塞尔函数积分的数值计算[J]. 煤田地质与勘探, 2011, 29(3): 58-61.  
HUA Jun, JIANG Yansheng, WANG Wenbing. The numerical integration of the double Bessel functions[J]. Coal Geology & Exploration, 2011, 29(3): 58-61. (in Chinese)
- [6] 查理. 通过求积和连分式展开进行相关汉克尔变换的数值计算[J]. 地球物理勘探, 1983, 48(12): 1671-1686.  
Chave A D. Numerical integration of related Hankel transformations by integration and continued fraction expansion[J]. Geophysical exploration, 1983, 48(12): 1671-1686. (in Chinese)
- [7] 徐征. 开放式磁感应成像技术基础研究[D]. 重庆: 重庆大学, 2008.  
XU Zheng. Basic research of open-style magnetic induced imaging technology[D]. Chongqing: Journal of Chongqing University, 2008. (in Chinese)
- [8] 阮百尧. 均匀水平大地上频率域垂直磁偶源电磁场数值滤波解法[J]. 桂林工学院学报, 2005, 25(1): 14-18.  
RUAN Baiyao. Digital filter method used in the frequency domain and vertical magnetic dipole source electromagnetic field of uniform earth[J]. Guilin Institute of Technology, 2005, 25(1): 14-18. (in Chinese)

## (上接第 61 页)

## 参考文献(References):

- [1] Farid H. A Survey of Image Forgery Detection[J]. IEEE Signal Processing Magazine, 2009, 26: 16-25.
- [2] Lyu S. Natural Image Statistics for Digital Image Forensics [D]. Hanover: Dartmouth College, 2005.
- [3] Lyu S, Farid H. How Realistic is Photorealistic[J]. IEEE Trans on Signal Processing, 2005, 53(2): 845-850.
- [4] Ng T T, Chang S F, Hsu Y F, et al. Physics-motivated features for distinguishing photographic images and computer graphics[C]//ACM Multimedia, 2005: 239-248.
- [5] Yu H, Ng T T, Sun Q. Recaptured photo detection using specularly distribution[C]//ICIP, 2008: 3140-3143.
- [6] Bai J, Ng T T, Gao X. Is physics-based liveness detection truly possible with a single image[C]//IEEE International Symposium on Circuits and Systems (ISCAS), 2010: 3425-3428.
- [7] 胡东辉, 王丽娜, 江夏秋. 盲环境下的数字图像可信性评估模型研究[J]. 计算机学报, 2009, 32(4): 675-687.  
HU Donghui, WANG Lina, JIANG Xiaqiu. Research on trust worthiness evaluation model for digital image in blind environment[J]. Chinese Journal of Computers, 2009, 32(4): 675-687. (in Chinese)
- [8] Gao Xinting, Tian Tsongng, Bo Qiu, et al. Single-view recaptured image detection based on physics-based features, Multimedia and Expo (ICME)[C]//IEEE International Conference on, 2010: 1469-1474.
- [9] M P T. Tian Tsong Ng, Shih Fu Chang. Camera response function estimation from a single-channel image using differential invariants[R]. New Work: Columbia University, Tech Rep. 2006: 216-2006-2.
- [10] Tian Tsong Ng, Shih Fu Chang, Jessie Hsu. Martin Pelejugoski, Columbia Photographic Images and Photorealistic Computer Graphics Dataset[R]. ADVENT Technical Report # 205-2004-5, New Work: Columbia University, 2005.
- [11] Cao H, Kot A. Identification of recaptured photographs on LCD screens[C]//IEEE Inter Conf on Acoustics, Speech and Signal Proc, 2010: 1790-1793.

论文发表、论文降重、论文润色请扫码



免费论文查重，传递门 >> <http://free.paperyy.com>

阅读此文的还阅读了：

1. [漳州电视台音视频监控系统](#)
2. [用超声波衍射法判定表面开口裂纹的深度](#)
3. [图像火焰检测系统特点及其应用](#)
4. [木制件表面粗糙度比较样块母模的检测](#)
5. [金属表面裂纹深度微波检测法](#)
6. [摄像定尺在安钢双流板坯连铸机上的应用](#)
7. [图像和视频中的文字获取技术](#)
8. [货车运行故障动态图像检测系统的运用思考](#)
9. [2008年“金帆奖”客观测试情况及存在的主要问题](#)
10. [高速造纸机纸病检测系统\(DZ-WIS\)的研发与实践](#)
11. [电镀黄铜钢丝镀层梯度的检测方法](#)
12. [一种改进的基于光流的运动目标检测方法](#)
13. [水中气泡激光散射的图像识别方法研究](#)
14. [基于图像表面梯度的翻拍检测](#)
15. [粮虫检测系统中图像预处理的初步研究](#)