

文章编号: 1006-4710(2011)01-0088-04

基于相机响应常态性的图像真伪检测方法研究

董敏, 朱虹, 邢楠, 史静, 赵朝杰

(西安理工大学 自动化与信息工程学院, 陕西 西安 710048)

摘要: 目前图像处理和编辑软件的迅速发展使得图像伪造和篡改的更加简单,同时也使通过视觉检测来区分图像真伪变的更加困难。为此,从数码相机成像特性出发,深入研究其成像原理及相机响应过程,将传感器曝光度转换为图像亮度的非线性映射过程描述为最大后验概率模型。根据不同相机响应的物理特征不一致原理,提出了一种基于相机响应常态性的图像真伪检测方法。实验结果表明,本文方法可以获取较高的正确识别率。

关键词: 图像真伪鉴别;相机响应常态性;相机响应逆函数

中图分类号: TP274 **文献标志码:** A

A Research on Image Authenticity Detection Based on the Normality of Camera Response

DONG Min, ZHU Hong, XING Nan, SHI Jing, ZHAO Chaojie

(Faculty of Automation Information Engineering, Xi'an University of Technology, Xi'an 710048, China)

Abstract: Currently, the rapid development of image processing and editing software makes not only the image forgery and tampering become easier, but also the distinction of the authenticity of the image by visual inspection become tougher. For this reason this paper makes a deep study on its imaging principle and camera response with the digital camera imaging feature as a starting point, and converses the nonlinear distribution of the process of transforming the sensor visibility into image brightness as the maximum posteriori probability model. In accordance with the inconsistent physical characteristics of the response of the different cameras, a method of image authenticity detection based on the normality of the camera response is proposed in this paper. Experimental results show that this method can obtain better recognition results.

Key words: image authentication; the normality of camera response; inverse camera response function

数码相机和数字打印扫描设备的快速普及,以及越来越多的图像处理和编辑软件的广泛使用,使得图像的伪造和篡改变得更加简单且更加难以辨别真伪。因此,如何检测一幅数字图像内容的真伪便成为一个研究热点。目前常采用的检测伪造手段是图像盲取证技术^[1-2],即在不依赖任何预签名提取或预嵌入信息的前提下,对图像的真伪和来源进行鉴别。本文从数码相机的成像特性出发,着重研究数码相机的相机响应常态性和一致性规律。

基于相机响应常态性^[3-5]的图像真伪检测方法的原理是根据不同相机存在 CCD 器件物理特性不一致的机理来完成对图像真伪的鉴别,即如果图像

的形成不符合相机响应函数的常态性,则恢复出的逆响应函数就会出现异常或不一致的现象。Hsu 利用图像特有的几何不变量特征来估计相机响应逆函数,并以支持向量机分类来检测图像的真伪^[6-7]。该方法对伪造图像的真伪鉴别准确率高,但算法复杂度较高,计算量太大。Lin 采用最大后验概率准则来估计相机响应逆函数,并提取其三个特征参数进行图像的真伪鉴别^[3]。但由于三个特征参数对相机响应一致性的描述存在局限性,使得该方法的真伪鉴别准确率受到限制。因此,本文通过提取相机响应逆函数的四维特征向量来描述相机响应常态性和一致性规律,提高了真伪鉴别的准确率。

收稿日期: 2010-08-27

作者简介: 董敏(1987-),女,河北石家庄人,硕士生,研究方向为图像处理与识别。E-mail: dongminbest@126.com。

朱虹(1963-),女,教授,博导,研究方向为模式识别与图像处理。E-mail: zhuhong@xaut.edu.cn。

1 相机响应逆函数曲线的求解

1.1 数码相机成像过程

数码相机的成像过程如图 1 所示。拍摄对象反射回来的光线(场景辐射度)通过相机的镜头转换为传感器辐射度,传感器辐射度通过快门的通电作用转化为传感器曝光度。这是光学变化过程。传感器上的感光器件受到光照激发释放出电荷产生电信号。电信号经过放大和滤波后再进行模数转换得到数字信号,即图像数据。这些数据经过信号处理器进行相应的处理后存储为图像文件得以输出。这是电子成像部分,亦即相机响应过程。

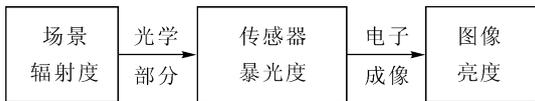


图 1 数码相机成像系统方框图

Fig. 1 Block diagram of the digital camera imaging system

1.2 相机响应逆函数的求解

相机响应函数(Camera Response Function, CRF)是 CCD 传感器上的曝光度 I 与图像亮度值 M 之间的映射关系^[6],为:

$$M = f(I) \quad (1)$$

如果将其逆函数 $g = f^{-1}$ 作用于已知的像素值 M ,则有:

$$g(M) = f^{-1}(f(I)) = I \quad (2)$$

此时的 $g(M)$ 与曝光度 I 为线性关系。根据该映射关系的特性分析,可获知不同相机的不同物理特性。

根据最大后验概率估计,有:

$$g^* = \operatorname{argmax} P(g | \Omega) \propto \operatorname{argmax} P(\Omega | g) P(g) \quad (3)$$

其中,先验模型 $P(g)$ 描述的是图像亮度值对应的 CCD 上捕获的曝光度的概率分布,后验概率模型 $P(\Omega | g)$ 则描述的是图像亮度值 B 在 RGB 空间的非线性分布转换为线性分布的程度。

根据 DORF 数据库中已知的 201 条相机响应曲线,本文采用混合高斯模型描述其先验模型,为:

$$P(g) = \sum_{i=1}^k \alpha_i N(g; \mu_i, \sigma_i) \quad (4)$$

其中 k 为所选高斯核的个数。后验概率模型 $P(\Omega | g)$ 表示为:

$$P(\Omega | g) = \frac{1}{Z} \exp(-\lambda D(g; \Omega)) \quad (5)$$

其中,

$$D(g; \Omega) =$$

$$\sum_{\Omega} \frac{|[g(M_1) - g(M_2)] \times [g(M_1) - g(M_p)]|}{|g(M_1) - g(M_2)|} \quad (6)$$

$\Omega = \{M_1, M_2, M_p\}$ 为图 2 所示的图像边缘标准图块颜色集。

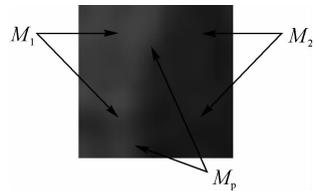


图 2 图像边缘标准图块颜色区域

Fig. 2 The standard color tiles in edge region

最后将公式(4)和(5)代入 Bayesian 框架,并对公式(3)的两端取对数,可将相机响应逆函数 g^* 定义为:

$$g^* = \operatorname{argmin} [\lambda D(g; \Omega) - \log P(g)] \quad (7)$$

由此满足公式(7)的 g^* 就是相机响应逆函数的最佳表达式。

由(7)式可得图像的相机响应逆函数曲线,即为曝光度与像素值之间的关系曲线(见图 3)。

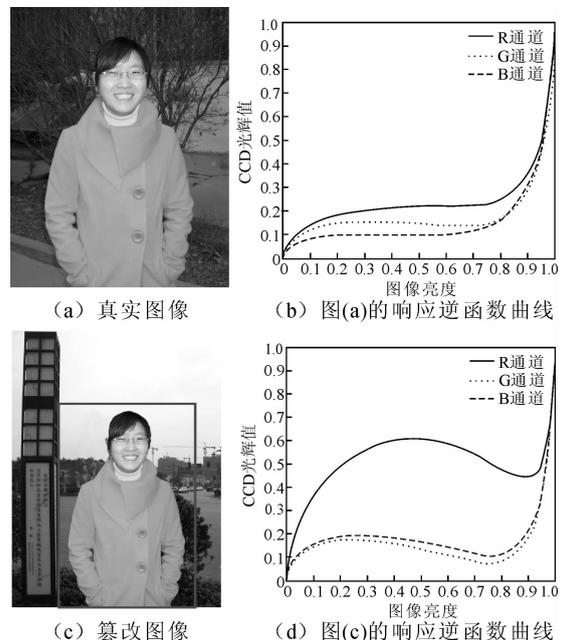


图 3 真伪图像的响应逆函数曲线示例

Fig. 3 Inverse response curve of the real and doctored images

比较图 3(b)和(d)可知,伪造图像与真实图像的相机响应逆函数曲线有着明显不同的分布特性。

2 相机响应逆函数曲线的特征提取

分析相机响应逆函数曲线的特征,无篡改的真

实图像应具有以下三个特征:①三颜色通道的响应逆函数曲线都是单调递增的;②三通道的响应逆函数曲线都是光滑的,最多只有一个拐点;③三通道的响应逆函数曲线彼此之间具有很强的相似性。由此,可根据下式获得曲线的相关特征量^[5]:

单调性:

$$c_1 = \sum_{i=R,G,B} \int_0^1 \bar{r}_i'(x) dx \quad (8)$$

拐点个数:

$$c_2 = \sum_{i=R,G,B} \max(0, N_i - 1) \quad (9)$$

三通道响应曲线的差异度:

$$c_3 = \int_0^1 (M(x) - m(x)) dx \quad (10)$$

其中, $\bar{r}_i'(x) = \max(0, -r_i''(x))$, N_i 为 $r_i''(x) = 0$ 时的驻点个数, $M(x) = \max(r_R(x), r_G(x), r_B(x))$, $m(x) = \min(r_R(x), r_G(x), r_B(x))$ 。

图4是根据公式(8)、(9)和(10)计算得到的三个特征的空间分布。可以看到,真图的特征点(×点)几乎都分布在 $c_1 = c_2 = 0$ 的直线上,而伪造图

像的特征点(•点)分布则杂乱无章,这样就可构造分类器,以获得对图像真伪的识别结果。

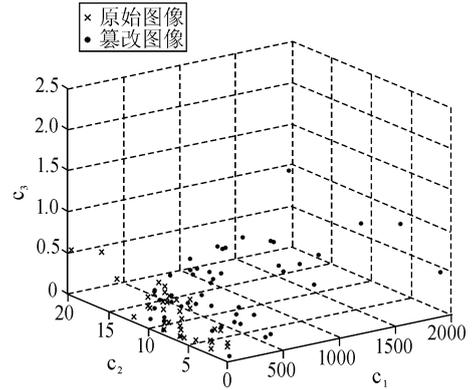


图4 响应逆函数曲线三维特征分布
Fig.4 Distribution of the three-dimensional characteristics of CRF

3 改进的四维特征向量提取

文献[5]的方法对于大多数真伪图像的检测均可以得到正确的结果,但是有一些情况无法正确鉴别真假,如图5和表1所示。

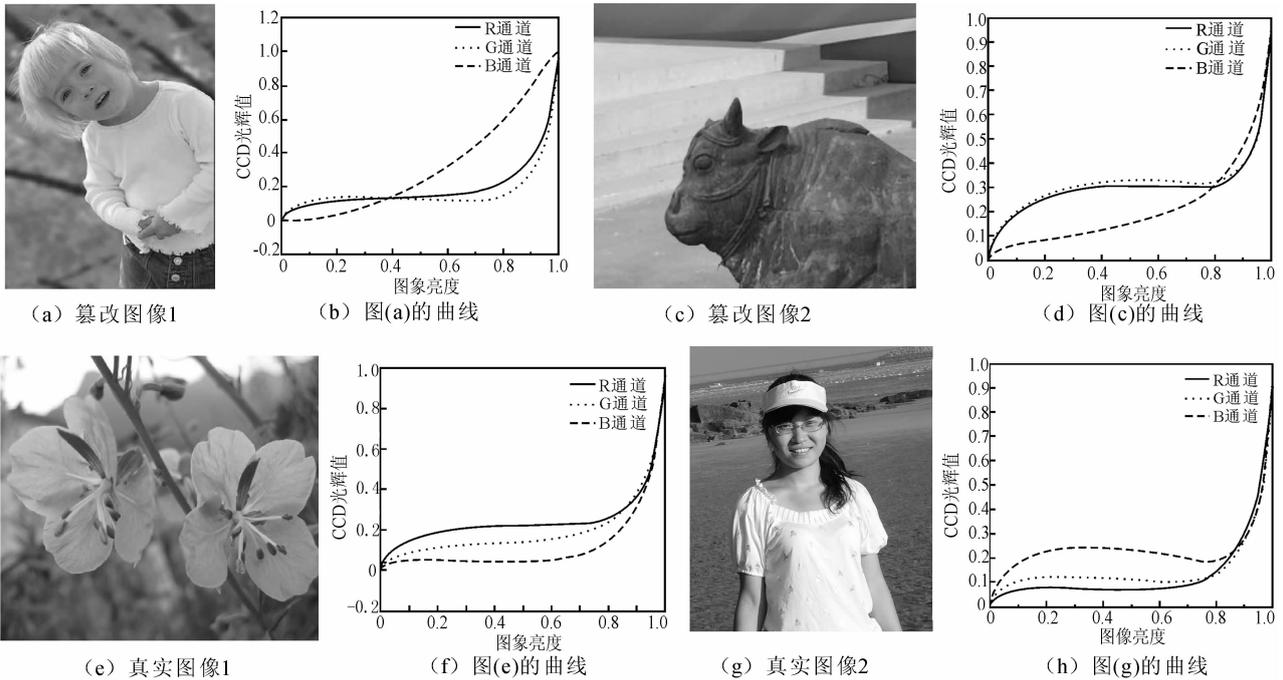


图5 篡改图及真图的相机响应逆函数曲线示例
Fig.5 CRF of the real and doctored images

表1 图5所示图像的三维特征向量

Tab.1 The three-dimensional characteristics in Fig.5

	单调性	拐点个数	差异度
篡改图像1	11.171	4.000	6.364
篡改图像2	10.664	4.000	6.106
真实图像1	9.357	4.000	5.968
真实图像2	8.032	3.000	6.031

表1为图5中四幅图的三维特征向量,由表中数据可以看出,真实图像和篡改图像的三维特征向量在数值上非常相近,可分性不强。

通过计算图5中图像的差异度曲线可以发现,篡改图像的差异度波动量比真实图像波动量要大,故增加差异度方差这一特征来进一步增强真实

图像和伪造图像的可分性,即:

$$c_4 = \int_0^1 (M(x) - m(x) - c_3)^2 dx \quad (11)$$

表2为对图5中图像增加差异度方差后的四维特征向量。从表2可以看出,四维特征向量相比于三维特征向量具有更好的可分性(见图6),这也为后续有效的图像真伪鉴别奠定了基础。

表2 图5所示图像的四维特征向量

Tab.2 The four-dimensional characteristics in Fig. 5

	单调性	拐点数	差异度	差异度方差
篡改图1	11.171	4.000	6.364	4.867
篡改图2	10.664	4.000	6.106	4.610
真实图1	9.357	4.000	5.968	1.401
真实图2	8.032	3.000	6.031	1.525

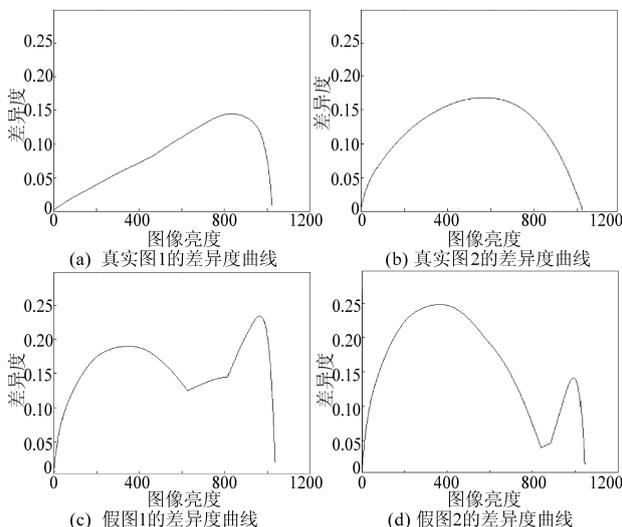


图6 真假图的差异度曲线

Fig.6 The difference curves of the real and doctored images

4 图像真伪识别结果

本文采用支持向量机作为分类器,分别对100幅真图和100幅篡改图进行训练。并同时采用文献[5]的方法及本文方法对150幅无篡改的真实图像和150幅篡改图像进行真伪识别的比较实验,两种方法的正确识别率见表3。

表3 文献[5]和本文方法的真伪图像正确识别率

Tab.3 The recognition rate with the method in reference [5] and this paper

	文献[5]方法	本文方法
无篡改图像	87.47%	89.72%
伪造图像	85.36%	91.38%

从表3可以看出,本文方法对数字图像真伪的正确识别率有一定的提高。

5 结论

本文从数码相机成像特性出发,深入研究了其成像原理及相机响应过程,并将传感器曝光度转换为图像亮度的非线性映射过程描述为最大后验概率模型。根据不同相机的响应常态性物理特征不一致原理,通过提取相机响应逆函数曲线的四维特征向量,分别描述其单调性、单一拐点性、三颜色通道差异性及其方差。最后,构建支持向量机作为真伪鉴别的分类器,对图像的真伪进行鉴别。实验结果表明,本文方法可以获得较高的正确识别率。

参考文献:

- [1] 吴琼,李国辉,涂丹,等. 面向真实性鉴别的数字图像盲取证技术综述[J]. 自动化学报, 2008, 34(12): 1458-1466.
Wu Qiong, Li Guohui, Tu Dan, et al. A survey of blind digital image forensics technology for authenticity detection [J]. Acta Automatica Sinica, 2008, 34(12): 1458-1466.
- [2] Ng T T, Chang S F, Sun Q B. Blind detection of digital photomontage using higher order statistics[C]. Proceedings of International Symposium on Circuits and Systems, Nanjing, 2004, 5: 688-691.
- [3] Zhou Chenlin, Wang Rongrong, Tang X, et al. Detecting doctored images using camera response normality and consistency[C] // Proceedings of the 2005 IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, San Diego, IEEE, 2005: 1087-1092.
- [4] Lin S, Gu J, Yamazaki S, et al. Radiometric calibration from a single image[C] // Proceedings of the 2004 IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, Washington, DC, USA, IEEE, 2004: 938-945.
- [5] Grossberg M D, Nayar S K. What is the space of camera response functions[C] // Proceedings of the 2003 IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, Madison, Wisconsin, IEEE, 2003: 602-609.
- [6] Hsu Y F, Chang S F. Detecting image splicing using geometry invariants and camera characteristics consistency[C] // Proceeding of the 2006 IEEE International Conference on Multimedia and Expo, Toronto, Canada, IEEE, 2006: 549-552.
- [7] Ng T T, Chang S F, Tsui M P. Camera Response Function Estimation from a Single-channel Image Using Differential Invariants, 216-2006-2[R]. Columbia University, 2006(3):1-19.