文章编号：0253-2239(2009)Supplement 1-0093-05

拼贴图像的计算机盲检测技术

裘 溯 金伟其 宋 铮
(北京理工大学光电工程系，北京 100081)

摘要 随着图像处理技术的广泛应用，图像伪造技术也越来越容易。恶意篡改的图像常出现在新闻、司法等领域中，造成极大的负面影响。论述了高阶统计量法、相机响应函数法、直接转矩控制(Direct torgue control，DCT)系数检测法等目前常见的拼贴图片盲检测方法，分析了各种方法的适用条件和局限性，并对该领域未来的发展作出了展望。

关键词 图像处理；拼贴图像；高阶统计量；相机响应函数；直接转矩控制系数
中图分类号 Q63 **文献标识码** A **doi**：10.3788/AOS200929s1.0093

Digital Photomontage's Blind Detection Technology

Qiu Su Jin Weiqi Song Zheng
(*Department of Optical Engineering*, *Beijing Institute of Technology*, *Beijing* 100081, *China*)

Abstract With the development of digital image processing, the abuse of tampered images often appear in domains of news and judicial and did great harm. This paper analyzes the usual photomontage detecting methods, such as higher order statistics analysis, camera response function analysis, direct torgue control (DCT) coefficient analysis and etc. All the methods' applicable condition and limits have been discussed. This paper also gives the prospect of this domain's research.

Key words image processing; photomontage; higher order statistics; camera response function; direct torgue control coefficient

1 引 言

自从摄影术被发明后不久，图像伪造技术就开始出现。但在胶片时代，制作一幅伪造的图片需要熟练的专业操作技能，采用精准的多次曝光技术。而在进入数码时代的今天，制作伪造的图片只需采用一些专业或通用的图像软件(例如 Photoshop)，经过简单的剪切、粘贴以及粘贴边界的平滑处理等即可完成，因此，近年来国内外各种伪造图像越来越多地出现在公众的视野[1]。

从技术上讲，目前伪造图像大致可以分为：1)采用图像拼贴技术制作的图像；2)对伪造场景或目标拍摄的图像；3) 采用计算机图形学技术制作的图像。鉴于造假图像在今天网络时代的危害性，近年来世界各国都加大了对造假图像鉴别技术的研究。本文将在国内外研究的基础上，针对上述第一类拼接造假图像，分析目前几种典型的检测方法。

2 基于高阶统计量的拼贴图片检测方法

20 世纪 90 年代中期，美国 MIT 的 Hany Farid 将双相关检测技术用于声音篡改的检测[2]。双相关检测技术基于如下假设：未经篡改的自然信号中高阶统计量能量非常弱，经非线性操作的篡改信号会产生强烈的高阶统计量，其相位和幅值都会发生改变。Farid 在研究中发现：由于在非线性操作中信号产生了频率耦合现象，相位 0 处的相位偏移以及双相干幅值特性可以作为检测信号篡改的依据。这一假设和方法被实验证明并用于人声信号的篡改检测。2001 年 Farid 将此方法用于图像篡改的检测，取得了一定的效果[5]。

美国哥伦比亚大学 Shih-Fu Chang，Ravi Ramamoorthi，Tian-Tsong Ng 研究小组 2004 年将双相关检测理论应用于图像篡改检测[3,4]，提出在未篡改的图像信号中，图像本身就富含频率耦合现

作者简介：裘 溯(1973－)，男，博士研究生，讲师，主要从事图像处理、显示技术和光电成像技术等方面的研究。E-mail：edmondqiu@bit.edu.cn
导师简介：金伟其(1960－)，教授，博士生导师，主要从事图像处理、显示技术和光电成像技术等方面的研究。E-mail：email:jinwq@bit.edu.cn

象，仅从 0 相位处的双相干特征和双相干幅值特性来判断图像是否篡改是不可靠的。为此，他们对一个包含 933 幅真实图片和 912 幅拼贴图片的图像库进行了分析，从双向干相位信息获得了 72% 的准确率，高于 Farid 的方法。

如图 1，红色线条表示正常采集的图像的连续边缘，蓝色线条表示图像拼贴造成的边缘，两种信号之差称为双极信号(Bipolar Signal)，当边缘很小时，可表示为：

$$d(x) = k_1\delta(x - x_0) + k_2\delta(x - x_0 - \Delta), \quad (1)$$

式中 $\delta(x)$ 为 δ 函数，双极信号的傅里叶变换为：

$$D(\omega) = k_1\exp(-\mathrm{j}x_0\omega) + k_2\exp[-\mathrm{j}(x_0 + \Delta)\omega], \quad (2)$$

假设双极信号中 $k_1 = k_2 = k$，则其三阶相关

$$B(\omega_1, \omega_2) = D(\omega_1)D(\omega_2)D^*(\omega_1 + \omega_2) = 2k^3\mathrm{j}\{\sin(\Delta\omega_1) + \sin(\Delta\omega_2) - \sin[\Delta(\omega_1 + \omega_2)]\}, \quad (3)$$

即双极信号的相位集中于 $\pm 90°$。如果双极信号正负双方向幅值接近，则在相位直方图 $\pm 90°$ 位置上将产生一个明显的峰值，其突出程度与 k_1 和 $-k_2$ 的偏移程度有关。在不同的拼贴图像中，其直方图可能与图 2 中的三幅直方图相似，图 2(a)中双极信号幅值接近，其 $\pm 90°$ 相位上的峰值明显；图 2(b)次之；图 2(c)中，双极信号幅值相差较大，因此其 $\pm 90°$ 相位上峰值不明显。

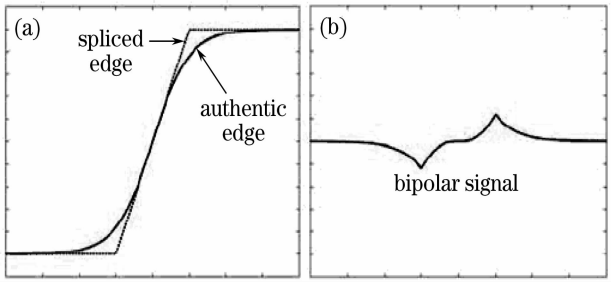

图 1 拼贴边缘(a)给图像加入的双极信号(b)

Fig. 1 Image splicing (a) introduced a bipolar signal (b) into image

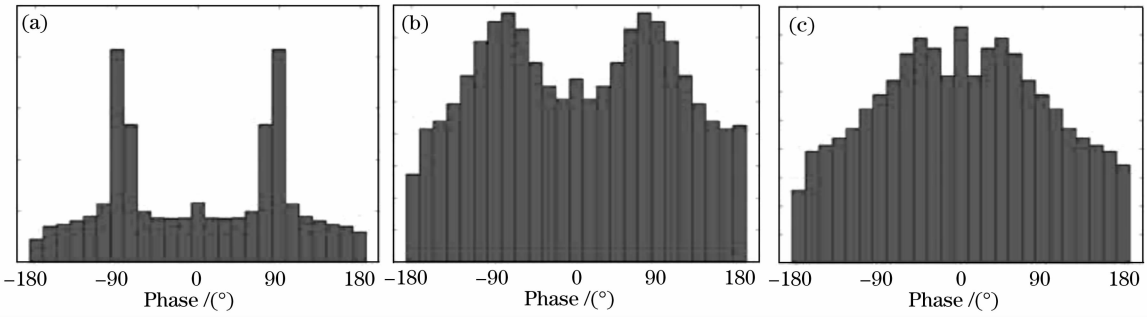

图 2 三种典型的拼贴图片双相干相位直方图

Fig. 2 Three representative phase histogram of splicing images

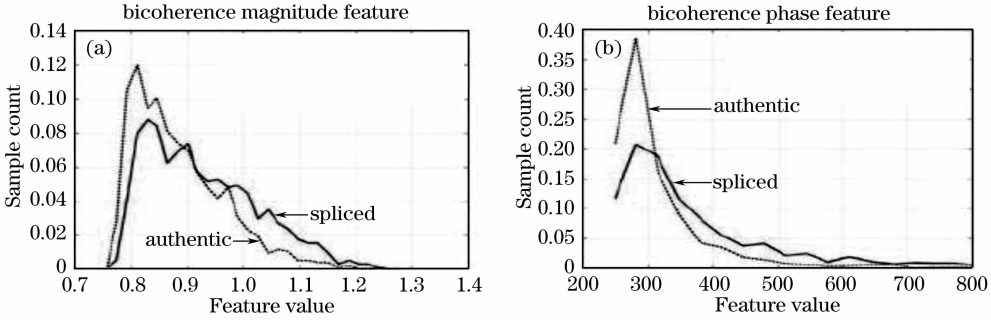

图 3 真实图片和篡改图片在幅值和相位特性上的差异

Fig. 3 The magnitude and phase's difference between authentic image and splicing image

由此可知，图像拼贴给自然真实图像增加了一个非线性双极信号，将导致双相干特性的变化。图 3 给出某真实图像与拼贴图像在幅值和相位特性上的差异，显然，相位特性较幅值特性具有更好的分辨能力。

3　基于相机响应函数的拼贴图片检测方法[6]

美国哥伦比亚大学以及微软中国研究院等分别提出采用照相机响应曲线分析的拼接图像检测方法。由于不同厂商、不同型号的相机具有各不相同的光谱、亮度响应曲线，如果能够从图像中的某些点或区域信息分析出相机的响应曲线，并对检测到的不同区域响应曲线进行对比，就可分析出图像是否属于同一相机拍摄，从而认定图像的真伪。对于彩色 CCD 来说，相机(R，G，B)三个通道响应曲线表达了 CCD 像素接受的辐射功率与像素灰度值的关系。正常的相机响应曲线应满足：

1）所有响应函数应该单调上升；

2）所有响应函数最多只有一个拐点；

3）(R，G，B)通道的响应函数应该非常接近。

如果估计出的相机响应曲线不满足这三个条件，则图像就可能是经过篡改的。

假设任意相机的响应函数为：

$$f_0(E)+\sum_{n=1}^{M}c_n h_n(E). \tag{4}$$

测定一系列现有相机或胶片的响应函数 g_n，用其均

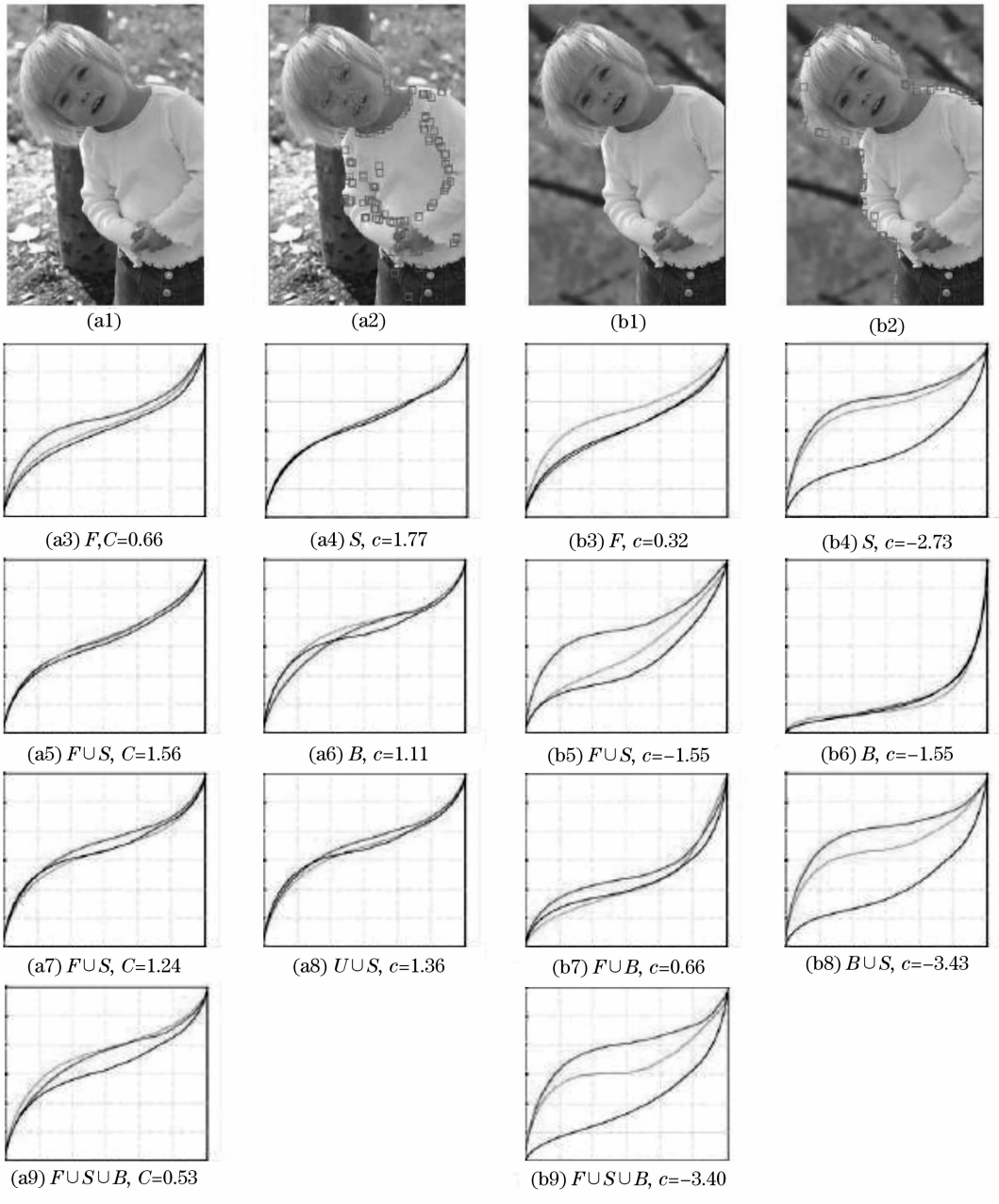

图 4　未经篡改和经过篡改的图片相机响应函数的不同

Fig. 4　Camera response function's difference between tampered images and the authentic images

值来代替 f_0；同时寻找用来逼近真实响应函数的函数基 h_n。为此，采用PCA方法，密集地测定各型号数码相机对应于输入光强 $\{E_1,\cdots,E_P\}$ 一系列相机的响应值 $\{f(E_1),\cdots,f(E_P)\}$，并生成协方差矩阵 C：

$$C_{m,n}=\sum_{p=1}^{N}[g_p(E_n)-f_0(E_n)][g_p(E_m)-f_0(E_m)], \tag{5}$$

用 C 的特征向量生成 W_0 空间，可用特征之最大的 M 个特征值对应的特征向量逼近实际相机响应函数。一般采用3个或5个特征向量就可较精确地逼近响应函数。

对一幅图像上采用Canny边缘检测采集图像中的边界，获取有边界像素通过的子图像，对该图像的颜色分布进行检测，如果该子图像能够分成色彩分布大致相同的两个部分，则将均匀分布颜色、边界颜色记录为 $\langle M_1, M_2, M_p\rangle$，其中，$M_1$，$M_2$ 为边界两侧均匀分布的颜色，M_p 为边界颜色，则在一幅图像中，可获取大量这样的颜色分布，组成一个集 $\Omega=\{\langle M_1,M_2,M_p\rangle\}$，对于逆响应函数，希望它是一条直线，即：

$$D(g;\Omega)=\sum_{\Omega}\frac{|[g(M_1)-g(M_2)]\times[g(M_1)-g(M_p)]|}{|g(M_1)-g(M_2)|}\to\min, \tag{6}$$

实际上，相机响应函数的反函数也满足上面提到的三条假设，因此具有与相机响应函数相同的性质，可以用少量的特征向量来逼近一个逆响应函数：

$$g_0+\sum_{n=1}^{N}c_nH_n, \tag{7}$$

由此，可由一幅图像获得相机的逆响应函数，计算出R，G，B三条响应函数之间对应于各个光输入的输出值之差并求和，当输出和大于某个阈值时，则此图像有可能是拼贴得到的；检验其单调性以及是否只有一个拐点。

图4给出两组同一人物不同场景的图像：左边两幅照片是未经篡改的图像，(a2)图像中的红色方格为分析检测的边界部分；右边两幅照片是经过篡改的图像，(b2)图像中的红色方格为分析检测的边界部分。从相机响应曲线中看到：左边的图像估计出的相机响应函数均符合正常相机的三个条件，而右边照片估计出的相机响应函数有很大部分不符合上述三个条件，由此可判断出右边的图像是被篡改过的。

4 基于DCT系数的拼贴图片检测法[7]

随着网络的普及和多媒体技术的发展，JPEG图像成为一种广泛应用的图像格式。由于其具有较高的压缩率和可控制的图像质量，大部分数码相机都将JPEG图像做为一种可选的图像存储格式，并根据各厂商的规定，采用了不同的量化矩阵。因此，如果一幅拼贴图片中的不同内容来自不同的数码相机，则在拼贴完成之后，图像中的全部或部分内容可能被用不同的量化矩阵量化了两次，会产生双量化现象。

待处理图像被分割成若干8×8子图像，并对子图像进行离散余弦变换，并用量化矩阵对直接转矩控制(DCT)系数矩阵进行量化：

$$D_{ij}^{q}=\mathrm{ent}(D_{ij}/Q_{ij}),\quad i,j\in 0,1,\cdots,7 \tag{8}$$

式中ent(·)函数表示取整，D_{ij} 表示DCT系数矩阵中第 i 行，j 列的元素，Q_{ij} 表示量化矩阵中第 i 行，j 列的元素，不同的 q 值表示不同的8×8分块。然后对量化参数中的直流分量 D_{00}^{q} 进行差分编码(DPCM)，对63个交流分量按照zig-zag表的顺序进行游程编码。

双量化是指图像分别使用不同的量化矩阵 Q^1(初始矩阵)和 Q^2(二次矩阵)对其进行两次JPEG压缩。当且仅当 $Q^1\neq Q^2$，且 Q_{ij}^1 不是 Q_{ij}^2 的因子时DCT系数 D_{ij} 才被认为是被两次压缩。当 $Q_{ij}^1>Q_{ij}^2$ 或 $Q_{ij}^1<Q_{ij}^2$，且 Q_{ij}^1 不是 Q_{ij}^2 的因子时，D_{ij}^{q} 的直方图中也会显示出有规律的波峰和波谷。

A. C. Popescu和J. Lukas认为，DCT系数的双量化现象可能可以用于检测图像是否被篡改，但是，Junfeng He[7]在其论文中提出，图片的 D_{ij}^{q} 直方图中的特性，并不能可靠地检测图像是否被拼贴过，其主要原因如下：

1) 图像中被拼贴上的部分可能并没有经过

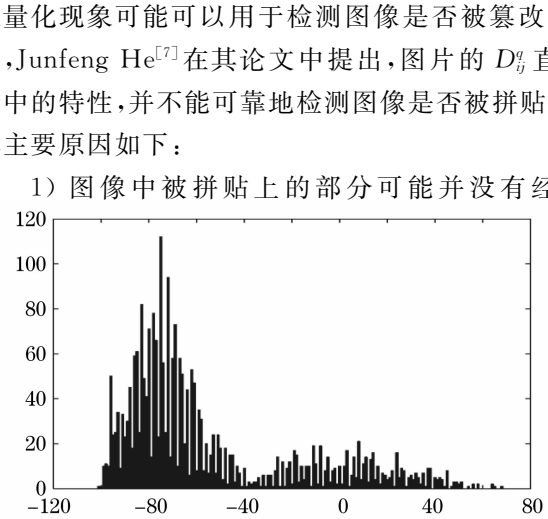

图5 被篡改图片的 D_{ij}^{q} 直方图

Fig. 5 D_{ij}^{q} histogram of a tampered image

JPEG 压缩，例如从 BMP 图像中截取的一部分，则该图像被保存时，拼贴上去的部分只经历了一次 JPEG 压缩，也就不会产生双量化现象；

2) DCT 分区错位。即使被拼贴部分来自一幅 JPEG 图像，篡改后具有双量化特性的可能性也非常小。这是因为拼贴部分可能并不准确地对准原图像的 DCT 分划网格。

针对这样的问题，Junfeng He 认为，仅仅根据双量化形成的 D_{ij}^{q} 的直方图中出现有规律的波峰和波谷是不能准确判断图像是否被篡改的，而且，在 Photoshop 或其它类似软件中对图像做调整尺寸、改变图像质量等处理，也会产生双量化现象。Junfeng He 认为，篡改图片的 D_{ij}^{q} 的直方图应具有类似图 10 中的分布，此直方图可以看做是两个直方图之和，一个是具有波峰波谷分布形式的直方图，另一个是随机分布的直方图。

为此，Junfeng He 提出了一种基于贝叶斯估计的算法用以估算 DCT 系数直方图周期，并提出相应判别依据，采用支持向量机(SVM)进行判别。

5　结　　论

经过 10 年的研究和发展，拼贴图像检测技术已经出现了多种有效的方法，但是目前各种检测方法仍然存在检测准确性低，适用范围窄等缺陷，以上述三种方法为例，目前能够达到的检测准确性均不高于 80%，且不能适用于所有类型的拼贴图片。研究发现，各种检测方法各有其实用范围，仅通过一种方法进行检测，还不能完全确定图像的真伪。

参　考　文　献

1 Farid H. Digital doctoring: How to tell the real from the fake [J]. *Significance*, 2006, **3**(4): 162～166

2 H. Farid. Detecting digital forgeries using bispectral analysis, MIT, MIT AI Memo, AIM-1657, 1999

3 T.-T. Ng, S.-F. Chang. Blind Image Splicing and Photomontage Detection Using Higher Order Statistics, ADVENT Technical Report, # 201-2004-1, Columbia University, http://www.ee.columbia.edu/dvmm/, Jan 2004

4 T.-T. Ng, S.-F. Chang, A Model for Image Splicing, ADVENT Technical Report, # 207-2004-1, Columbia University, http://www.ee.columbia.edu/dvmm/, Jan 2004

5 H. Farid, S. Lyu. Higher-order wavelet statistics and their application to digital forensics, in IEEE Workshop on Statistical Analysis in Computer Vision, Madison, Wisconsin, June 22 2003

6 Zhouchen Lin. Detecting Doctored Images Using Camera Response Normality and Consistency http://www.microsoft.com.cn

7 Junfeng He. Detecting Doctored JPEG Images Via DCT Coefficient Analysis http:// www.microsoft.com.cn