

数字图像区域复制篡改的盲取证技术研究进展

赵洁, 刘萌萌, 武斌, 翟大伟

(天津城建大学 计算机与信息工程学院, 天津 300384)

摘要: 由于盲取证技术不需要任何预先嵌入的认证信息,而仅根据图像本身的统计特性就能鉴别数字图像的原始性、真实性和完整性,已经成为数字媒体安全领域的研究热点.文中介绍了数字图像中常见的区域复制篡改方式,分析实际篡改过程中可能涉及到的图像处理操作,总结归纳了区域复制篡改盲取证方法的一般流程.最后,指出现有目前方法存在的问题,并对盲取证技术未来的研究方向进行展望.

关键词: 盲取证; 区域复制; 篡改检测; 数字取证

中图分类号: TP 391.41 **文献标志码:** A

随着各种功能强大的图像编辑软件(如 Photoshop)的普及,人们几乎不需要专业技术就可以轻易对一幅图像进行修改,并且篡改的图像很难通过肉眼有效分辨.篡改图像在新闻报道、商业宣传、学术研究、法庭举证等方面势必产生恶劣的影响.如何有效鉴别一幅数字图像的原始性、真实性和完整性,并对篡改图像进行取证分析,已经成为迫切需要解决的问题.图像篡改取证方法可分为主动取证技术和被动取证技术.主动取证技术需要事先向图像中添加数字水印或数字签名等额外的认证信息,往往要求图像获取设备具有生成签名或添加水印的功能模块.然而,目前绝大多数数码成像设备不具有上述功能.被动取证技术,又称盲取证技术,不需要事先在图像中嵌入认证信息,仅仅根据数字图像本身的统计特性鉴别图像的原始性、真实性和完整性,具有更加广泛的实用性,已经成为国内外信息安全领域的研究热点之一.因此,本文主要综述了数字图像区域复制篡改的盲取证技术研究进展.

1 区域复制篡改

区域复制是指复制图像中的某一部分区域,粘贴到同一幅图像中不相交的其他区域,以此达到伪造场景或添加目标的目的.由于复制区域来源于同一幅图像,它的重要特征诸如调色板、灰度范围、纹理、噪声等与粘贴位置的周围区域具有良好的兼容性,因此,篡改图像往往非常逼真.区域复制的篡改实例,如图 1 所示.

在实际情况中,一幅区域复制的篡改图像可能涉及到多种图像处理操作,基本可以分为两大类:中间操作和后处理操作.中间操作是指对复制区域粘贴之前执行的处理操作,包括旋转、翻转、缩放、色度改变、亮度改变等.与中间操作不同,后处理操作是指将复制区域粘贴之后对整个篡改图像进行的处理操作,包括 JPEG 压缩、加噪、模糊等,主要是用来尽可能消除诸如尖锐边缘等复制粘贴引起的操作痕迹,同时,在一定程度上增加篡改检测算法盲取证的难度.



(a) 原始图像 (b) 篡改图像

图 1 图像区域复制篡改实例

Fig. 1 Example of image region duplication forgery

2 盲取证的检测流程

针对区域复制篡改方式,近年来国内外学者提出了很多盲取证的检测方法,大致归纳为 3 类^[1-2]:1) 基于分块特征匹配的方法;2) 基于特征点检测与特征匹配的方法;3) 利用 JPEG 编码特征的盲取证方法. 针对第 3 类方法,国内学者也提出了一些盲取证方法. 赵洁等^[3]提出利用 JPEG 系数变化率实现区域复制篡改和拼接合成篡改的盲取证;王浩明等^[4]通过分析二次压缩量化离散余弦变换(discrete cosine transform,DCT)系数直方图的特点,将 JPEG 篡改图像的检测转化为对图像子块一次压缩与双压缩的判别;王青等^[5]根据原始 DCT 系数与重压缩后 DCT 系数的映射关系建立图像重压缩概率模型实现盲取证.

文中主要针对前两类盲取证方法展开综述,通过深入研究发现,这两类方法都基本遵循一个通用的检测流程,如图 2 所示.

2.1 预处理

目前,大部分算法^[6-9]都是针对灰度图像进行检测. 因此,在预处理阶段的工作是色彩转换,即将 R,G,B 三通道的彩色分量映射为像素的灰度值. 一部分算法由于仅针对亮度(Y)信息^[10-11]或某一色度(Cb/Cr)分量^[12]进行处理,在预处理阶段需要将彩色图像从 RGB 颜色空间转换为 YCbCr 颜色空间. 除了色彩转换的方法,文献[13-14]采用基于离散小波变换的维数缩减的预处理技术,提取产生的低频子带,作为后续检测步骤的输入. 其他的预处理技术还包括为了减少检测时间将图像缩放至特定的尺度^[10,15]、低通滤波^[6,16]、高斯金字塔分解^[17-19]等.

2.2 空域分块或特征点检测

区域复制操作必然导致篡改图像中存在至少两块具有一定面积的高度相似区域. 因此,检测算法的主要原理是寻找图像中是否存在具有一定面积的高度相似区域. 目前,普遍采用空域分块特征匹配的检测方法. 首先,将图像分为子块;然后,通过比较图像块的特征,寻找相似区域. 文献[8-10,20-22]最常用的分块方法是将图像分成非重叠的方形块,即通过尺寸为 $b \times b$ 的方形窗口,从图像的左上角到右下角每次滑动一个像素进行扫描得到. 文献[19]采用内切圆形分块替代方形分块.

不同于分块匹配的方法,基于特征点匹配的方法首先需要在图像中检测特征点,这两类方法的区别在于步骤 2(图 2). 基于特征点的方法主要采用尺度不变特征变换(scale-invariant feature transform,SIFT)和加速鲁棒特征(speeded up robust features,SURF). 采用上述算法生成的特征点描述子对图像的平移、旋转、尺度缩放具有不变性,对光照变化、视角变化、仿射变换、噪声也保持一定程度的稳定性.

2.3 特征提取

国内外学者针对区域复制篡改方式提出了很多检测方法. 然而,这些方法的主要区别在于采用的特征提取方法及构成特征的类型和尺寸不同. 特征提取是篡改检测算法的关键步骤.

2.3.1 基于离散余弦变换的特征提取方法 Fridrich 等^[23]最先提出一种基于滑动窗口分块特征匹配的区域复制篡改检测方法,将 DCT 系数作为图像块的特征描述;Huang 等^[24]将量化 DCT 系数之字形排序为一维数组,通过截断操作生成降低维数的图像块特征,该方法可以抵抗 JPEG 压缩和模糊攻击;Cao 等^[20]提出采用内切圆块对每个 DCT 块进行特征描述,通过计算内切圆块 4 等分后每部分的平均值生成特征向量.

2.3.2 基于维数缩减的特征提取方法 Popescu 等^[25]采用主成分分析(principal component analysis,PCA)算法对图像块进行降维处理,并将量化后的结果分量作为特征矩阵的一行,该方法对加噪和有损压缩具有鲁棒性;Bashar 等^[8]提出采用核主元分析(kernel principal components analysis,KPCA)算法提取分块特征,得到的基于 KPCA 的特征对于加噪和 JPEG 压缩具有较好的鲁棒性;Gan 等^[26]提出计算每个分块的改进圆投影向量组成特征矩阵,通过 PCA 对特征矩阵进行维数缩减,仅保留具有高累积

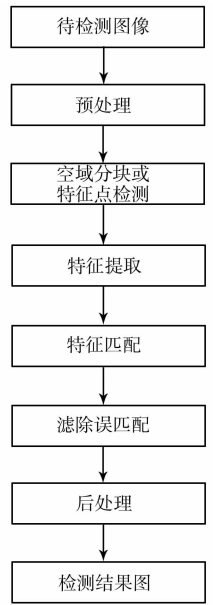


图 2 区域复制篡改检测方法的通用流程
Fig. 2 General process of region duplication forgery detection methods

贡献的分量,该方法可以抵抗小于 60° 的旋转攻击。

2.3.3 基于对数极坐标变换的特征提取方法 Myna 等^[7] 提出在每个小波分解层上将低频子带中的分块从直角坐标映射到对数极坐标,并采用相位相关法迭代判断图像块的相似性;Bravo-Solorio 等^[27] 首先将每个图像块映射到对数极坐标,然后将其沿着角度轴方向进行累计生成一维的鲁棒特征描述符;Bayram 等^[22] 提出采用 Fourier Mellin 变换提取分块特征,利用对数极坐标变换(log-polar transform, LPT)减少旋转和缩放效应,该方法可以抵抗比较轻微的旋转和缩放攻击。

2.3.4 基于纹理及亮度的特征提取方法 Luo 等^[28] 提取 7 个基于亮度的鲁棒性特征对图像块进行特征描述;Wang 等^[19] 将每个圆形块划分为 4 个同心区域,计算每个区域的平均像素值组成特征向量,该方法可以抵抗旋转和后处理攻击;Wandji 等^[29] 分别计算每个分块 R,G,B 三个颜色通道的均值、标准差和偏度,加上分块亮度 Y 分量的像素平均值共同组成 10 维特征向量。

2.3.5 基于不变性图像矩的特征提取方法 Mahdian 等^[30] 提出分别对每个图像分块的 R,G,B 三个颜色通道提取 24 个模糊不变矩得到 72 维的特征向量,再采用 PCA 算法进行降维处理,该算法对于模糊、JPEG 压缩、加噪攻击具有鲁棒性;Ryu 等^[31] 计算分块的 Zernike 矩并用得到向量的幅值对分块进行特征描述;Zhong 等^[18] 结合指数傅里叶矩和直方图不变矩提取分块特征。

2.3.6 基于奇异值分解的特征提取方法 Kang 等^[32] 提出通过对每个分块进行奇异值分解(singular value decomposition, SVD)获取奇异值特征向量;Li 等^[21] 提出对小波变换得到的低频子带图像进行 SVD;Yong 等^[13] 提出与文献[21]相近的方法,区别在于待检测图像,在进行小波变换提取低频子带前,需要先进行高斯金字塔分解的预处理。

2.3.7 基于不变性特征点的特征提取方法 此方法属于基于特征点检测与特征匹配的篡改检测方法,在步骤 2(图 2)特征点检测的基础上,步骤 3(图 2)需要对特征点邻域进行特征描述生成特征向量。文献[33-34]利用 SIFT 算法提取特征;申铨京等^[35] 提出对每个 SIFT 特征点提取 HSI 彩色特征;Mishra 等^[36] 采用 SURF 算法进行特征描述;巩家昌等^[37] 提出将测试图像的颜色不变梯度作为 SURF 的输入进行特征点提取并生成特征点描述子 CSURF;李岩等^[38] 提出能够抵抗复制区域镜像翻转攻击的 FI-SURF 特征;Chen 等^[39] 采用阶梯扇形的均值和标准差对 Harris 特征点的圆形邻域进行特征描述。

2.3.8 其他特征提取方法 Davarzani 等^[40] 采用多分辨率局部二进制模式联合使用多种 LBP(local binary pattern)算子提取分块特征;Nguyen 等^[41] 提出利用 Radon 变换提取分块特征;Li 等^[6] 提出利用极正弦变换提取分块的仿射不变特征。

2.4 特征匹配

在特征提取阶段以后,复制区域和粘贴区域中对应的分块或特征点需要通过特征向量的相似性匹配确定。为了尽可能提高特征匹配的效率,很多方法的核心思想是使相似的特征向量处于特征矩阵中的相邻行,这样每一行特征向量就仅需要和距离它一定范围内相邻行的特征向量进行比较,从而有效压缩不必要的计算时间。

特征匹配阶段提高匹配效率最常用的方法是将特征矩阵进行字典排序^[7-9],即将特征矩阵中每一行的特征向量按照字典序进行行排序,使排序后的特征矩阵中相似的特征向量处于相邻位置。另外,部分文献采用 K-D 树^[30,40]、BBF 算法^[34]、字典排序与 K-D 树联合使用^[40]、Bloom 滤波器计数^[22]等方法。当特征矩阵被有效组织好后,将采用一定的相似性准则搜索确定候选的相似特征向量,包括 Euclidean 距离^[17-19]、Hamming 距离^[10]、相关系数^[27]和相位相关^[41]。

2.5 滤除误匹配

一般来说,仅根据相似性匹配还不能完全确定复制区域存在与否。这是由于某些自然图像中也可能存在一个或多个成对的高度相似区域,如真实场景中的对称相似目标、建筑物中的重复模式等,这不可避免地导致误匹配。因此,算法需要进行有效的区分来滤除误匹配。

2.6 后处理

与预处理一样,后处理并不是检测算法的必需步骤。某些情况下,上述步骤得到的复制区域效果图还需要做进一步的处理。常用后处理操作包括腐蚀、膨胀等形态学处理^[9,17,20],滑动窗口滤波^[3],随机抽样一致算法^[33-34,40]识别“局内点”,剔除“局外点”。

3 现有方法存在的问题

通过深入研究近年来的相关研究成果,可以发现现有区域复制篡改检测方法存在以下 8 个问题.

- 1) 对于多区域复制篡改操作,多数文献中并没有给出相应的检测结果,并且其中很多检测算法对多区域复制篡改操作无效.
- 2) 只能检测出图像中成对的相似区域,但是不能有效分辨复制区域和篡改区域.
- 3) 对高斯噪声、高斯模糊及 JPEG 压缩的鲁棒性有待增强,尤其是对多种后处理操作的混合攻击,多数检测算法失效.
- 4) 对复制区域的旋转、翻转、缩放等中间操作攻击的鲁棒性不强.
- 5) 没有估计区域复制后仿射变换的变化参数,如平移距离、旋转角度和缩放尺度等.
- 6) 对篡改图像中存在大面积的平坦或相似区域的情况,如大片的天空、草地和水面等,会出现较高的虚警率.
- 7) 没有考虑图像中的颜色信息,对存在不同颜色相似物体的图像检测虚警率较高.
- 8) 计算复杂度较高,检测效率较低.

4 结论

图像篡改盲取证技术是近十年来新兴的研究领域.虽然国内外众多学者在某些关键技术上已经取得了不少研究成果,但是从整体上看,数字图像被动取证技术还处于基础理论和零散技术的初级阶段,需要进一步研究和解决的问题还有很多.对未来的研究方作出如下 4 点展望.

- 1) 图像被动取证技术的研究还处于初级阶段,缺乏相应的系统模型和理论体系作指导.如何建立更加科学、全面、完善的数字图像被动取证理论体系,进而指导盲取证方法的设计、实现和评价,是未来亟需解决的问题.
- 2) 现有的图像被动取证技术大多都是针对特定篡改类型的单一检测方法,对实际中多种篡改技术联合使用的复杂篡改操作,目前的取证方法大多会失效.设计开发能够抵抗多种混合攻击的盲取证算法,建立复合篡改模型,提取高鲁棒性特征是未来的研究重点.
- 3) 当前的被动取证算法基本上都是以鉴别数字图像的真实性为目的,然而图像的完整性和原始性鉴别也是非常重要的取证方向.比如裁剪篡改破坏了图像的完整性,翻拍篡改则破坏了图像的原始性.如何有效鉴别数字图像的完整性和原始性,将是相关研究人员面临的研究课题.
- 4) 国内外已有少数关于图像反取证技术的研究,即通过研究特定盲取证算法的检测原理和缺陷,设计反取证算法使相应的取证算法失效.反取证技术研究有助于促进盲取证技术更加完善,降低盲取证算法的漏检率.数字图像反取证技术也将会成为未来的研究重点之一.

参考文献:

- [1] AL-QERSHI O M, KHOO B E. Passive detection of copy-move forgery in digital images: State-of-the-art[J]. Forensic Science International, 2013, 231(1/2/3): 284-295.
- [2] CHRISTLEIN V, RIESS C, JORDAN J, et al. An evaluation of popular copy-move forgery detection approaches[J]. IEEE Transactions on Information Forensics and Security, 2012, 7(6): 1841-1854.
- [3] 赵洁, 郭继昌. 基于 JPEG 系数变化率的图像复制粘贴篡改检测[J]. 浙江大学学报(工学版), 2015, 49(10): 1893-1901.
- [4] 王浩明, 杨晓元. 一种基于 DCT 系数直方图差异的 JPEG 图像篡改检测[J]. 四川大学学报(工程科学版), 2014, 46(1): 41-46.
- [5] 王青, 张荣. 基于 DCT 系数双量化映射关系的图像盲取证算法[J]. 电子与信息学报, 2014, 36(9): 2068-2074.
- [6] LI Leida, LI Shushang, ZHU Hancheng, et al. Detecting copy-move forgery under affine transforms for image forensics[J]. Computers & Electrical Engineering, 2014, 40(6): 1951-1962.
- [7] MYNA A N, VENKATESHMURTHY M G, PATIL C G. Detection of region duplication forgery in digital images using wavelets and log-polar mapping[C]// Proceeding of the International Conference on Computational Intelligence

and Multimedia Applications. Sivakasi; IEEE Press, 2007: 371-377.

- [8] BASHAR M, NODA K, OHNISHI N, et al. Exploring duplicated regions in natural images[J]. IEEE Transactions on Image Processing, 2010(99): 1-40.
- [9] ZHAO Jie, GUO Jichang. Passive forensics for copy-move image forgery using a method based on DCT and SVD[J]. Forensic Science International, 2013, 233(1/2/3): 158-166.
- [10] YAO Heng, QIAO Tong, TANG Zhenjun, et al. Detecting copy-move forgery using non-negative matrix factorization[C]// Proceedings of the 3rd International Conference on Multimedia Information Networking and Security. Shanghai: IEEE Press, 2011: 591-594.
- [11] MUHAMMAD G, AL-HAMMADI M H, HUSSAIN M, et al. Copy move image forgery detection method using steerable pyramid transform and texture descriptor[C]// Proceedings of the IEEE EUROCON. Zagreb: IEEE Press, 2013: 1586-1592.
- [12] HUSSAIN M, MUHAMMAD G, SALEH S Q, et al. Copy-move image forgery detection using multiresolution Weber descriptors[C]// Proceedings of the 8th International Conference on Signal Image Technology and Internet Based Systems. Naples: IEEE Press, 2012: 395-401.
- [13] YONG L, MEISHAN H, BOGANG L. Robust evidence detection of copy-rotate-move forgery in image based on singular value decomposition[C]// Proceedings of the 14th International Conference on Information and Communications Security. New York: Springer, 2012: 357-364.
- [14] KASHYAP A, JOSHI S. Detection of copy-move forgery using wavelet decomposition[C]// International Conference on Signal Processing and Communication. Noida: IEEE Press, 2013: 396-400.
- [15] LIN S D, WU T. An integrated technique for splicing and copy-move forgery image detection[C]// Proceedings of the 4th International Congress on Image and Signal Processing. Shanghai: IEEE Press, 2011: 1086-1090.
- [16] DYBALA B, JENNINGS B, LETSCHER D. Detecting filtered cloning in digital images[C]// Proceedings of the 9th Multimedia and Security Workshop. New York: ACM Press, 2007: 43-50.
- [17] LIU Guangjie, WANG Junwen, LIAN Shiguo, et al. A passive image authentication scheme for detecting region-duplication forgery with rotation[J]. Journal of Network and Computer Applications, 2011, 34(5): 1557-1565.
- [18] ZHONG Le, XU Weihong. A robust image copy-move forgery detection based on mixed moments[C]// Proceedings of the 4th IEEE International Conference on Software Engineering and Service Science. Piscataway: IEEE Press, 2013: 381-384.
- [19] WANG Junwen, LIU Guangjie, LI Hongyuan, et al. Detection of image region duplication forgery using model with circle block[C]// Proceedings of the 1st International Conference on Multimedia Information Networking and Security. Wuhan: IEEE Press, 2009: 25-29.
- [20] CAO Yanjun, GAO Tiegang, FAN Li, et al. A robust detection algorithm for copy-move forgery in digital images[J]. Forensic Science International, 2012, 214(1/2/3): 33-43.
- [21] LI Guohui, WU Qiong, TU Dan, et al. A sorted neighborhood approach for detecting duplicated regions in image forgeries based on DWT and SVD[C]// Proceedings of the IEEE International Conference on Multimedia and Expo. Beijing: IEEE Press, 2007: 1750-1753.
- [22] BAYRAM S, SENCAR H T, MEMON N D. An efficient and robust method for detecting copy-move forgery[C]// Proceeding of the IEEE International Conference on Acoustics, Speech, and Signal Processing. Taipei: IEEE Press, 2009: 1053-1056.
- [23] FRIDRICH J, SOUKAL D, LUKAS J. Detection of copy-move forgery in digital images[C]// Proceedings of Digital Forensic Research Workshop. Cleveland: [s. n.], 2003: 55-61.
- [24] HUANG Yanping, LU Wei, SUN Wei, et al. Improved DCT-based detection of copy-move forgery in images[J]. Forensic Science International, 2011, 206(1/2/3): 178-184.
- [25] POPESCU A C, FARID H. Exposing digital forgeries by detecting duplicated image regions[R]. Hanover: Computer Science Department, Dartmouth College, 2004: 515.
- [26] GAN Yanfen, CANG Jing. A detection algorithm for image copy-move forgery based on improved circular projection matching and PCA[J]. Sensors & Transducers, 2013, 159(11): 19-25.
- [27] BRAVO-SOLORIO S, NANDI A K. Automated detection and localization of duplicated regions affected by reflection, rotation and scaling in image forensics[J]. Signal Processing, 2011, 91(8): 1759-1770.

- [28] LUO Weiqi, HUANG Jiwu, QIU Guoping. Robust detection of region duplication forgery in digital image[J]. Chinese Journal of Computers, 2007, 4(11): 746-749.
- [29] WANDJI N D, SUN Xingming. Robust detection of copy-move forgery in color images[C]//Proceedings of the International Conference on Image Processing, Computer Vision & Pattern Recognition. Las Vegas: World, 2013: 492-495.
- [30] MAHDIAN B, SAIC S. Detection of copy-move forgery using a method based on blur moment invariants[J]. Forensic Science International, 2007, 171(2/3): 180-189.
- [31] RYU S, KIRCHNER M, LEE M, et al. Rotation invariant localization of duplicated image regions based on zernike moments[J]. IEEE Transactions on Information Forensics and Security, 2013, 8(8): 1355-1370.
- [32] KANG Xiaobing, WEI Shengmin. Identifying tampered regions using singular value decomposition in digital image forensics[C]//Proceedings of the International Conference on Computer Science and Software Engineering. Wuhan: IEEE Press, 2008: 926-930.
- [33] AMERINI I, BALLAN L, CALDELLI R, et al. A SIFT-based forensic method for copy-move attack detection and transformation recovery[J]. IEEE Transactions on Information Forensics and Security, 2011, 6(3): 1099-1110.
- [34] PAN Xunyu, LYU Siwei. Region duplication detection using image feature matching[J]. IEEE Transactions on Information Forensics and Security, 2010, 5(4): 857-867.
- [35] 申铨京, 朱叶, 吕颖达, 等. 基于 SIFT 和 HSI 模型的彩色图像复制-粘贴盲鉴别算法[J]. 吉林大学学报(工学版), 2014, 44(1): 171-176.
- [36] MISHRA P, MISHRA N, SHARMA S, et al. Region duplication forgery detection technique based on SURF and HAC[J]. Scientific World Journal, 2013, 2013(1): 267691.
- [37] 巩家昌, 郭继昌. 利用 CSURF 的图像复制粘贴篡改检测[J]. 天津大学学报(自然科学与工程技术版), 2014, 47(9): 759-764.
- [38] 李岩, 刘念, 张斌, 等. 图像镜像复制粘贴篡改检测中的 FI-SURF 算法[J]. 通信学报, 2015, 36(5): 54-65.
- [39] CHEN Likai, LU Wei, NI Jiangqun, et al. Region duplication detection based on Harris corner points and step sector statistics[J]. Journal of Visual Communication and Image Representation, 2013, 24(3): 244-254.
- [40] DAVARZANI R, YAGHMAIE K, MOZAFFARI S, et al. Copy-move forgery detection using multi-resolution local binary patterns[J]. Forensic Science International, 2013, 231(1/2/3): 61-72.
- [41] NGUYEN H C, KATZENBEISSER S. Detection of copy-move forgery in digital images using radon transformation and phase correlation[C]//International Conference on Intelligent Information Hiding and Multimedia Signal Processing. Piraeus: IEEE Press, 2012: 134-137.

Research Advances on Blind Forensics Technology of Digital Image Region Duplication Forgery

ZHAO Jie, LIU Mengmeng, WU Bin, ZHAI Dawei

(School of Computer and Information Engineering, Tianjin Chengjian University, Tianjin 300384, China)

Abstract: Blind forensics technology has become a hot research topic in the field of digital media security, due to the advantage that it does not need any authentication information embedded in advance, only to identify image primitiveness, authenticity and integrity according to the statistical features of the image itself. In this paper, region duplication which is a common forgery in digital images is introduced. The image processing operations which may be involved in the practical tampering are analyzed. The general process of blind forensics method for detecting region duplication forgery is summarized. Finally, limitations existing in available methods are analyzed, and perspectives of further research work on blind forensics technology are presented.

Keywords: blind forensics; region duplication; forgery detection; digital forensics

(责任编辑: 黄晓楠 英文审校: 吴逢铁)