

doi: 103969/j. issn. 0490-6756. 2016. 01. 012

图像内部 Move-Copy 篡改盲取证算法研究

李若晨, 李 勤, 琚生根, 周 刚, 邵寿平

(四川大学计算机学院, 成都 610065)

摘 要: 针对一般 Move-Copy 图像篡改取证算法低鲁棒性特点, 提出新算法. 首先利用颜色不变量检测特征点位置, 提高特点的数量和取证结果的召回率; 其次用 RGB 颜色通道扩充 Surf 描述子向量维数, 提高特征向量的健壮性和鲁棒性; 然后定义噪声敏感系数判断图像噪声点并对之进行预处理; 接着利用序贯相似性检测算法对特征点进行配准以提高配准速度; 最后利用肯德尔系数和四条假设对取证结果进行约束, 得到最后结果. 实验结果表明, 本文算法取证准确率较高, 鲁棒性强, 具有较强的取证说服力.

关键词: Move-Copy 图像篡改; 颜色不变; Surf 描述; 噪声敏感系数; 肯德尔系数

中图分类号: TN919.8; TP391.4 **文献标识码:** A **文章编号:** 0490-6756(2016)01-0067-06

Research of internal image Move-Copy tampering forensics algorithm

LI Ruo-Chen, LI Qin, JU Sheng-Gen, ZHOU Gang, SHAO Shou-Ping

(College of Computer Science, Sichuan University, Chengdu 610065, China)

Abstract: According to the low robustness characteristics of image tampering with evidence of general move-copy algorithm, this paper proposes a new algorithm. Firstly, it uses the color invariant feature to detect feature points, which improves recall forensic results. Secondly, it uses the RGB color channel to expansion Surf descriptor, which increases the robustness of feature vectors. Then, it defines noise sensitivity coefficients to identify and deal with the image noise points and use sequential similarity detection algorithm to improve feature points registration. Finally, it uses Kendall coefficient and the four hypothesis to constrain the forensic results and get the final result. Experimental results show that the new algorithm reflects higher accuracy and strong robustness and it has strong ability of forensics.

Key words: Move-Copy Image tampering; Color invariant; Surf descriptor; Noise-sensitive factor; Kendall coefficient

1 引 言

近年来, 媒体技术在人们的日常生活扮演着越来越重要的作用. 不过, 这是一把双刃剑, 在我们愈加依赖电脑网络的同时, 技术被不法分子利用, 带来了负面的影响, 通过对数字图像进行处理, 通过以假乱真的手段伪造图片并在互联网上进行传播,

以达到他们的非法目的. 图像篡改取证技术至今仍处于发展的阶段, 基于内容真实性的图像鉴别技术还不成熟, 为了满足司法部门以及其他鉴别机构的需求, 研究实用全面的图像篡改取证技术迫在眉睫.

复制粘贴篡改是一种较普遍的篡改方式, 它主要分为不同图像对象之间的复制粘贴和同一副图

收稿日期: 2015-6-12

基金项目: 国家自然科学基金(81373239, 61332006)

作者简介: 李若晨(1992-), 女, 硕士生, 主要研究方向为图像篡改取证、信息隐藏等.

通讯作者: 周刚. E-mail: zhougang@scu.edu.cn

像内部的 Move-Copy 操作,前者又称为对象篡改,通常是将拼接边缘进行模糊化处理,期望能够欺骗人的视觉达到篡改目的,取证方式一般为强化边缘,并对其进行人工模糊边缘提取^[1].本文针对后者提出取证算法. Move-Copy 篡改取证算法,最早是由 Fridrich^[2]于 2003 年提出的基于 DCT 系数的字典排序块匹配检测复制粘贴,类似的算法有 Farid^[3]的 PCA 检测算法, LIGH^[4]的 DWT 检测算法等,基本思想是对 Fridrich 的特征进行降维,利用奇异值作为特征,能够达到一定的取证目的,缺点是时间复杂度高,对粘贴块有如旋转缩放操作没有检测能力. Huang^[5]利用 SIFT 特征点检测 Copy-Move 篡改,时间复杂度大大降低,对具有仿射变换的粘贴块也具有检测能力. Xbo^[6]利用 Surf 算法对 Copy-Move 篡改进行检测,算法的鲁棒性与 Xu 接近,时间复杂度较前者有很大的提高,缺点是利用特征点匹配的取证方法存在较多错误匹配点,大大阻碍了技术的发展. Du^[7]发表基于 SIFT 和区域生长的图像复制粘贴盲取证论文,提出以聚类的中心为种子进行区域生长得出篡改区域. Zhou^[8]等人利用梯度特征扩充描述子维数,使得特征维数变为 128 维,从而降低了错误匹配点数. Xu D^[9]等人利用 RANSAC 算法对匹配结果进行约束求精,能够在剔除错误匹配点的情况下同时计算得到图像之间的变换参数,是一种较鲁棒性的方法. Shi^[10]在图像配准算法中提出 CSURF 算法,利用颜色不变量大大增强了算法的稳定性.为了克服灰度和几何变化对篡改取证的影响,Chen^[11]等人运用灰度归一化和不变矩阵提取各个对象的盲取证特征.

以上针对合成图像的不同统计特性进行的篡改取证研究,目前都取得了不容小觑的成果.如,利用小波分解特征函数矩的自然图像模型,加之 Hilbert Huang 变换等,识别的成功率达到了 80.15%;Shi 等人^[12]利用二维相位一致性以及小波特征函数以及非平稳特征识别的成功率达到了 82.32%;He 等人^[13]利用图像 DCT 域的扩展马尔科夫转移概率特征和小波域的转移概率特征的融合,实现了最高可以达到 93.42%的图像拼接检测识别率;Gao 等人^[14]利用 DCT 域系数对直方图的图像篡改取证算法,识别的平均正确率达到了 95.87%.虽然近年来各种算法的识别率不断提高,但是相应的,算法的复杂度也在提高.

Surf 算法是由 Herbert Bay 在 2006 年提出的

一种特征提取算法,在图像配准等领域得到大量应用.在一般情况下,Surf 算法采用 64 维的特征描述.该算法在兴趣点匹配和有效剔除错误匹配点方面有待改进.

本文首先利用颜色不变量检测特征点位置;然后用 RGB 三色通道扩充特征描述子的维数,增强 Surf 描述子的健壮性;接着用信号的四阶累积量所表示的噪声敏感系数剔除图像噪声点,同时用积分图计算图像矩阵的迹,剔除明显不匹配的特征点对;最后利用序贯相似性检测算法对特征点进行配准,并利用肯德尔系数和本文实验假设对匹配结果进行约束.实验结果表明本文算法取证精确度较高,取证结果具有较强说服力.

2 特征点位置检测

2.1 颜色不变量

颜色不变量由 Jan-Mark Geusebroek^[15]等人在研究不同材质,不同光照条件下彩色物体反射率的测量度中提出,并提出颜色不变量 H 的表达式如下式.

$$H = \frac{E_{\lambda}}{E_{\lambda\lambda}} \quad (1)$$

E_{λ} 和 $E_{\lambda\lambda}$ 分别表示公式对于 λ 的一阶导数和二阶导数. Jan-Mark Geusebroek 发现高斯彩色模型公式的泰勒展开前三个成分 \hat{E} , \hat{E}_{λ} , $\hat{E}_{\lambda\lambda}$ 和 CIE1964XYZ 在波长为 520nm,参数为 55nm 时的成分比较接近,最终得到 RGB 与 \hat{E} , \hat{E}_{λ} , $\hat{E}_{\lambda\lambda}$ 之间的转换公式

$$\begin{bmatrix} \hat{E} \\ \hat{E}_{\lambda} \\ \hat{E}_{\lambda\lambda} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.06 & 0.63 & 0.27 \\ 0.3 & 0.04 & -0.35 \\ 0.34 & -0.6 & 0.17 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix} \quad (2)$$

2.2 特征点位置检测

颜色不变量 H 的高斯函数卷积表达式简化为:

$$H = e^{-\frac{1}{2\sigma^2}(\hat{E}_{\lambda} - \hat{E}_{\lambda\lambda})} \quad (3)$$

利用灰度值的 Harr 小波响应生成特征点描述子,特征点位置检测结果对比如图 1 和图 2 所示.

图 2 的特征点检出数比图 1 多将近一倍,所以基于颜色不变量的算法能够检测出更加丰富的兴趣点位置.

3 特征点描述子生成

和 SIFT 的 128 维向量对比, Surf 特征点健壮



图 1 普通检测结果 图 2 颜色不变量检测结果
Fig. 1 General test result Fig. 2 Non-variable color test result

性较弱,为增强描述子抗仿射变换和抗旋转能力,本文增添 3 维 RGB 颜色向量 $(\sum r, \sum g, \sum b)$. 所以 3×3 区域的特征描述子向量的扩展公式变为

$$V_{\text{sub}} = \left(\sum dx, \sum dy, \sum |dx|, \sum |dy|, \sum r, \sum g, \sum b \right) \quad (4)$$

每一个描述子区域有 16 个 3×3 区域,所以描述子向量维数为 16×7 等于 112 维,接近 SIFT 算子 128 维维数,描述子的健壮性得到了增强.

4 特征点匹配

4.1 噪声点预处理

为了降低噪声点对匹配造成的干扰,本文采用四阶累积量^[16]方法判定噪声并进行处理. 对于信息处理中的信号 $s(t)$, 设概率密度函数为 $p(s)$, 定义 $k(p(s))$ 为四阶累积量, 公式为

$$K(p(s)) = \frac{C_4(s)}{(E(S^2))^2} = \frac{E(s^4 - 3(E(S^2))^2)}{(E(S^2))^2} \quad (5)$$

前提条件有两个: 一是要求输入数据是有意义的信息信号, 二是信号在合理的条件下必须满足均值非零. 图像满足条件, 对比公式, 可以定义本文噪声敏感系数 $\beta_{i,j}$:

$$\beta_{i,j} = \frac{1}{n^2} \frac{\sum_{k=-1}^1 \sum_{r=-1}^1 C_4(g(i+g, j+r \text{Average}(S_{i,j})))}{(E(g^2(i+k, j+r)))^2} \quad (6)$$

在 3×3 模板中, 计算中心像素与模板下像素均值的差值 $\Delta f(i, j)$, 判断 $\Delta f(i, j)$ 与 $\beta_{i,j}$ 的大小, 如果 $\Delta f(i, j) > \beta_{i,j}$, 说明像素与周围像素具有较大亮度差异, 像素 $x(i, j)$ 为噪声点, 需要进行处理. 为了避免所选噪声像素被选定为噪声点, 根据 Surf 特征点定位时的三层图像 26 个像素进行非极值点抑制的原理, 把噪声点像素的 RGB 三色通道的值均赋值为周围 8 个像素对应通道的均值, 可以确保该点的颜色不变量肯定小于周围八个像素中最大颜色不变量值.

4.2 矩阵迹的判断

如果特征点与周围像素亮度大于背景, 矩阵的迹为正, 否则为负. 通过这一性质, 本文通过提取特征点矩阵的迹, 初步判断特征点区域是为明亮区域还是黑暗区域, 因为可以再次利用先前的积分图, 运算时间大大小于特征点匹配的时间, 因此可以提高匹配的速度.

4.3 特征点的序贯相似性检测配准



图 3 源图像
Fig. 3 Source image



图 4 篡改图像
Fig. 4 Forgery image



图 5 初步取证结果
Fig. 5 Preliminary forensic result

本文采用特征点配准^[17]来判断区域, 源图像中两个人物被树木所掩盖, 取证结果中利用两组连接线取证篡改区域, 比较准确. 不过取证结果中有许多错误的匹配点对, 比如上方四个点对和右方四个点对, 占有所有匹配点对的八分之一, 错误率较高, 需要进一步的处理以提高匹配精确率.

5 取证结果约束

5.1 肯德尔系数

肯德尔系数由 Kumar^[18]提出, 是一个用来测量两个随机变量相关性的统计值. 肯德尔系数计算公式为

$$\text{Tau} - b = \frac{C - D}{\sqrt{(N_3 - N_1)(N_3 - N_2)}} \quad (7)$$

其中, C 为 AB 中拥有一致性元素的对数; D 表示 AB 中拥有不一致性元素对数, $N_3 = \frac{1}{2} N(N-1)$, $N_1 = \sum_{i=1}^s U_i(U_i-1)$, N_1, N_2 由集合 A 和 B 计算得到, 在 A 和 B 中, s 和 t 表示集合的小集合数.

5.2 匹配结果的肯德尔系数约束

描述子包含特征点的主方向、尺度等位置信息,设主方向为 ω ,尺度为 σ ,特征点半径为 $r=6\sigma^*$,中心点 K 的正方形区域边长 $L=\text{round}(\alpha * r)$. 假设待匹配的特征点对 (k_1, k_2) ,区域为 S_1 和 S_2 ,主方向分别为 ω_1 和 ω_2 ,尺度分别为 σ_1 和 σ_2 ,边长为 L_1 和 L_2 ,主方向差为 $\Delta l\omega = |\omega_1 - \omega_2|$,让特征点 k_2 旋转 $\Delta\omega$ 角度,并进行插值运算,新区域的大小 L' 为 $\min(L_1, L_2)$. 定义两个向量 V_1, V_2 ,把区域 S_1 和 S_2 中的像素分别与向量 V_1 和 V_2 的每个元素相关联. 定义中间表达式 A_{ij} ,

$$A_{ij} = \text{sgn}(V_{1i} - V_{1j}) \cdot \text{sgn}(V_{2i} - V_{2j}) \quad (8)$$

A_{ij} 体现了肯德尔检验一致性的特性,当与同号时 A_{ij} 为 1,异号时为 -1,其他情况为 0. 最后得到特征点约束的肯德尔系数表达式 τ .

$$\tau = \frac{C-D}{\sqrt{C+D+T} \sqrt{C+D+U}} \quad (9)$$

其中, C 为 A_{ij} 为 1 的次数; D 为 A_{ij} 为 -1 的次数, T 为 $V_{1i} - V_{1j} = 0$ 而 $V_{2i} - V_{2j} \neq 0$ 的个数,表示公式中 A 小集合的个数, U 是 $V_{1i} - V_{1j} \neq 0$ 而 $V_{2i} - V_{2j}$ 的个数,表示公式中 B 小集合的个数.

最后对比 τ 的值与自适应阈值 τ' 的大小,如果 $\tau > \tau'$ 说明特征点的描述子向量具有较强的一致性,匹配成功,否则予以剔除. τ' 的公式如下所示.

$$\tau' = \bar{\tau} - \frac{1}{2}\sigma^2 \quad (10)$$

其中, $\bar{\tau}$ 为系数均值; σ^2 为系数方差. 约束结果如图 6 所示.



图 6 肯德尔系数约束结果

Fig. 6 The Kendall coefficient constraints result

优化结果如 6 所示,从图 6 中可以看出匹配结果基本上剔除了图中错误的匹配点对,达到篡改取证的目的. 不过图上依然存在较多的错误匹配,比如右上方和中上方的一些点对,发现他们几乎在一

个点位置,或者点之间距离很小. 针对这些误匹配,本文增加人们的一些先验知识,提出 4 条假设:

假设 1 Move-Copy 操作的两个区域距离大于 50 个像素;

假设 2 所有匹配特征点之间的连线斜率差异小于;

假设 3 所有匹配特征点间的距离差小于 1;

假设 4 满足以上条件的特征点对数不小于 3.

最终的取值结果如图 7 所示.



图 7 最终取证结果

Fig. 7 Final forensic result

6 实验结果与分析

6.1 算法流程

本文算法流程如图 8 所示.

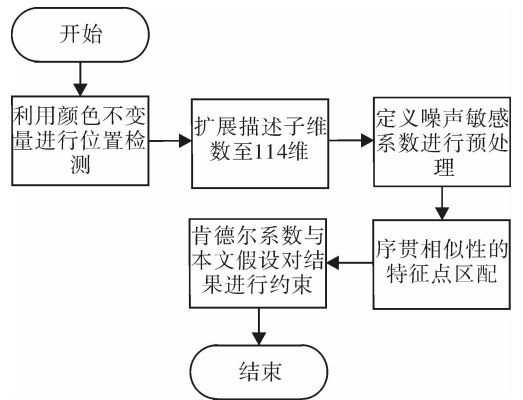


图 8 实验流程图

Fig. 8 Experimental flow graph

6.2 取证性能分析

本文从以下三个方面对取证性能进行分析:复制对象不经过处理,复制对象经过旋转,复制对象经过缩放. 本文采用文献^[19]提出的指标:定位准确率 precision、定位召回率 recall 和调和平均来评价算法. 针对本文具体的应用,检测完整度可以定义在检测区域中,取证的复制粘贴区域占总复制粘贴

区域的比重来度量.

$$precision = \frac{area(Forged \cap Detection)}{area(Detection)} \quad (11)$$

$$Recall = \frac{area(Forged \cap Detection)}{area(Forged)} \quad (12)$$

调和平均则能全面而又直观地衡量评价效果, 所以将两个指标合并形成调和平均 $F_1 - measure$.

$$F_1 - measure = 2 * \frac{PR}{P + R} \quad (13)$$

6.2.1 复制粘贴对象没有经过仿射变换取证分析

当复制对象没有经过仿射变换时, 从平均定位准确率, 平均定位召回率, 调和平均和运行时间角度出发, 对比本文算法, 赵俊红取证算法, 高铁杠^[14]取证算法, 实验结果如图 9 和图 10 所示.

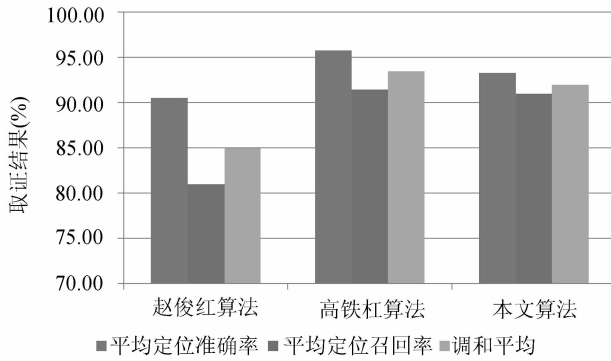


图 9 精确率、召回率、调和平均对比

Fig. 9 Comparison of precision rate, recall rate and harmonic average

从实验结果分析表中可以看出, 本文算法的精确率和召回率均处于赵和高中间, 但具有最好的 F_1 度量和较低的时间复杂度, 取证的整体性能优于单纯依赖 Surf 特征的赵取证算法. 从运行时间的角度看, 高的算法最耗时.

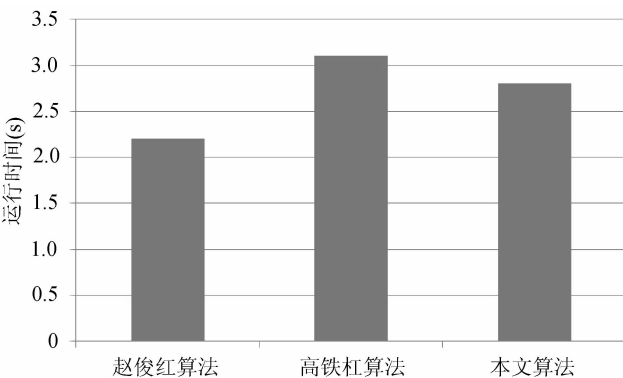


图 10 运行时间对比

Fig. 10 Comparison of running time

6.2.2 复制对象经过旋转的取证分析

对复制对象镜像进行不同角度的旋转, 从平均调和平均度量对比本文算法, 赵俊红取证算法, 高铁杠取证算法, 实验结果如图 11 所示:

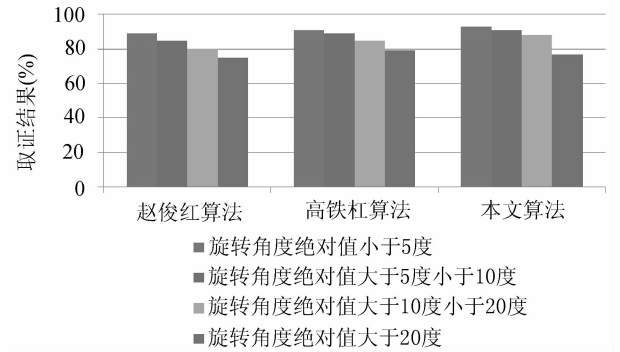


图 11 对象经过不同旋转角度后的取证结果

Fig. 11 Forensic results after different rotation angle

从表中可以看出本文算法在对象进行不同旋转角度下取证的 F_1 度量高于赵算法和高算法, 能够在旋转角度绝对值接近下维持 80% 的调和平均度量, 较赵算法具有很大的提高, 同时在时间复杂度上优于高算法取证, 所以本文算法在整体上最优.

6.2.3 复制对象经过缩放的取证分析

对复制对象镜像进行不同缩放比例的缩放, 从平均调和平均对比赵取证算法, 高取证算法, 本文算法, 实验结果如图 12 所示.

从图 12 中可以得出, 高算法在低压缩因子或高放大因子下具有最好的取证 F_1 度量, 而在区间 (0.5, 2) 中, 本文算法具有最好的取证 F_1 度量, 结合算法的时间复杂度, 本文算法较优.

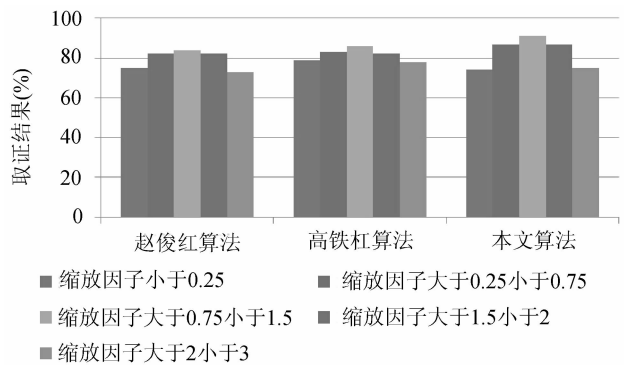


图 12 对象经过不同缩放因子缩放后的取证结果

Fig. 12 Forensic results after different scale factor

7 结束语

本文从特征点配准出发, 提出图像内部复制粘

贴盲取证算法. 首先利用颜色不变量和 RGB 颜色通道获得数量更多的特征点和维数更高的特征点描述子; 然后定义噪声敏感系数对图像进行预处理, 提高特征点配准的准确率; 最后在配准结果上利用肯德尔系数和本文根据具体应用提出的假设对取证结果进行约束, 连接相互匹配的像素点, 得到最后的取证区域. 实验结果表明本文算法时间复杂度较低, 在一定的缩放比例和较小的旋转角度下具有最好的取证效果.

参考文献:

- [1] 琚生根, 夏欣, 邵寿平, 等. 图像模糊篡改盲取证[J]. 四川大学学报: 工程科学版, 2014, 46(4): 75.
- [2] Luk S J, Fridrich J. Estimation of primary quantization matrix in double compressed JPEG images [C]//Proceedings of the Digital Forensic Research Workshop, Cleveland, OH USA: [s. n.], 2003.
- [3] Popescu A C, Farid H. Exposing digital forgeries in color filter array interpolated images [J]. IEEE Trans, Sign Proc, 2005, 53(10): 3948.
- [4] Li G, Wu Q, Tu D. A sorted neighborhood approach for detecting duplicated regions in image forgeries based on DWT and SVD [C]//Proceedings of IEEE International Conference on Multimedia and Expo. Beijing, China: IEEE, 2007.
- [5] Huang H, Guo W, Zhang Y. Detection of copy-move forgery in digital images using SIFT algorithm [C]//Proceedings of PACIIA'08 Pacific-Asia Workshop on the Computational Intelligence and Industrial Application. Wuhan, China: IEEE, 2008.
- [6] Xu B, Wang J W, Liu G J. Image copy-move forgery detection based on SURF [C]//Proceedings of 2010 International Conference on the Multimedia Information Networking and Security (MINES). Nanjing, China: IEEE, 2010.
- [7] 杜振龙, 杨凡, 李晓丽, 等. 利用 SIFT 特征的非对称匹配图像拼接盲检测[J]. 中国图象图形学报, 2013, 18(4): 442.
- [8] 周军太, 龙永红. 一种改进 SURF 算法的图像配准[J]. 湖南工业大学学报, 2011, 25(2): 95.
- [9] 赵毅力, 徐丹, 潘志庚. 基于 SURF 特征点的图像配准系统[J]. 计算机应用, 2011, 31(z1): 73.
- [10] 石雅笋. 改进的 SURF 图像配准算法研究 [D]. 成都: 电子科技大学, 2008.
- [11] 陈渝, 琚生根, 夏欣, 等. 基于对象的图像篡改盲取证研究[J]. 四川大学学报: 自然科学版, 2014, 51(3): 495.
- [12] Shi Y Q, Chen C, Chen W. A natural image model approach to splicing detection [C]//Proceedings of the 9th Multimedia and Security Workshop, Dallas, Texas, USA: ACM, 2007.
- [13] He Z W, Lu W, Sun W, *et al.* Digital image splicing detection based on Markov features in DCT and DWT domain [J]. Pattern Recognition, 2012, 45: 4292.
- [14] 高铁杠, 杨富圣, 盛国瑞. 一种新的基于 DCT 域系数对直方图的图像篡改取证方法[J]. 光电子·激光, 2014, 25(11): 2196.
- [15] Geusebroek J M, Boomgaard V D R, Smeulders A W M, *et al.* Color invariance [J]. IEEE Trans Patt Anal Mach Intell, 2001, 23(12): 1338.
- [16] 邵寿平, 韩春燕, 谢勇, 等. 改进序贯相似性检测算法的遥感图像匹配[J]. 四川大学学报: 自然科学版, 2013, 50(2): 15.
- [17] 罗棻, 陈华富, 尧德中. 基于投影的 fMRI 时间序列图像配准方法研究[J]. 电子科技大学学报, 2004, 33(4): 410.
- [18] Kumar S S, Chatterji B N. Robust similarity measures for stereo correspondence [J]. IE (I) J-CP, 2004, 85(24): 44.
- [19] Bay H, Ess A, Tuytelaars T, *et al.* Speeded-Up Robust Features (SURF) [J]. Comput Vis Image Und, 2008, 110(3): 346.