

数字图像盲取证对样本合成修复应用的篡改区域检测算法

吴琼¹ 孙韶杰¹ 朱为¹ 李国辉¹ 涂丹¹ 何朝盛²

摘要 提出了一种图像盲取证算法,用于检测利用样本合成修复技术制作的伪造图像.该算法采用零连通特征来描述修复技术导致的图像块之间异常的相似性,然后构建升半梯形隶属函数将该相似性特征转换成块属于篡改块的模糊隶属度,通过截集划分并结合高隶属度块的位置信息,进行伪造图像的检测和篡改区域的定位.实验结果表明该算法能够有效区分自然图像和修复伪造图像,并可进一步定位图像的篡改区域.

关键词 图像盲取证, 图像修复, 零连通, 模糊隶属度, 样本合成
中图分类号 TP391

A Blind Forensic Algorithm for Detecting Doctored Image Region by Application of Exemplar-based Image Completion

WU Qiong¹ SUN Shao-Jie¹ ZHU Wei¹ LI Guo-Hui¹ TU Dan¹ HE Chao-Sheng²

Abstract This paper presents a blind image forensic algorithm for detecting forged images created by exemplar-based image completion technique. First, the zero-connectivity feature is used to describe the abnormal similarity of image block pairs caused by completion, and then the semi-trapezoid membership function is built up to translate the similarity characteristics of blocks into the fuzzy membership of tampered block. The tampered regions of forged image are localized by cutting the fuzzy set combining the location information of high membership blocks. The experimental results show that our algorithm can effectively distinguish natural images from inpainted forged images, and further localize the tampered regions.

Key words Blind image forensics, image completion, zero-connectivity, fuzzy membership, exemplar synthesis

近年来,用于解决数字图像真实性问题的盲取证技术越来越受到人们的关注,正处于迅速发展阶段.数字图像盲取证(Blind digital image forensics)是指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^[1].目前利用盲取证技术来检测恶意篡改的图像取得了一定的成果.针对不同的图像篡改方式,提出的算法包括复制-粘贴检测^[2-3]、图像照明不一致检测^[4]、相机参数不一致检测^[5]、拼接图像检测^[6]等.

需要指出的是,上述已提出的图像盲取证算法大多针对人工处理图像,即伪造图像是由用户通过图像编辑软件(如 photoshop)进行专业的特效处理完成的,以达到图像内容混淆视听的目的.这需要用户具备相当的图像处理水平,而且完成一幅人眼无法觉察的伪造图像费时费力.相反,采用计算机智能自动算法来伪造图像则方便、快捷得多,可以很大程度上降低图像处理的复杂性.但是,针对该类伪造图像而提出的盲取证算法较少.

近年来日益兴起的图像修复技术就是一种智能图像自动处理算法,它根据图像现有的信息,对图像上信息缺损区域、移走目标物体或文字留下的信息空白区进行信息填充,并且使观察者无法觉察到图像曾经缺损或已被修复^[7].图像修复的本来用途是用于旧照片中丢失信息的恢复、图像划痕去除、多余物体的移除等.但是 Patrick 在介绍其基于样本的区域填充技术 Patchworks 时就明确提到图像修复技术可用于制作伪造图像^[8].不可避免地,篡改者会利用修复技术移除数字图像中的目标物体,改变图像的内容意义,这就影响了图像的真实性,而目前尚未存在相应的技术来辨别该类伪造,因此本文提出一种图像盲取证算法用于检测利用修复技术制作的伪造图像.

本文余下章节组织如下:第 1 节简要介绍图像修复技术;第 2 节介绍本文提出的针对样本合成修复伪造图像的盲取证算法;第 3 节是实验结果及分析;最后对文章进行总结.

1 图像修复技术概述

图像修复技术的发展主要演变出两大类技术:一类是在图像修复技术发展的早期形成的、用于修补小尺度缺损(如破裂、划痕)的技术^[9-10],称为 Inpainting.该类技术修复的区域缺乏纹理信息,一

收稿日期 2007-12-07 收修改稿日期 2008-04-11
Received December 7, 2007; in revised form April 11, 2008
1. 国防科技大学信息系统与管理学院 长沙 410073 2. 南昌陆军学院 南昌 330103
1. College of Information System and Management, National University of Defense Technology, Changsha 410073 2. Nanchang Army College, Nanchang 330103
DOI: 10.3724/SP.J.1004.2009.00239

旦破损区域较宽或纹理丰富,则会使修补后的区域变模糊.另一类图像修复技术可以用于填充图像中大块丢失信息^[11-12],为了区别于 Inpainting,有的外文文献中称其为 Completion. Completion 技术可以用来去除图像中的大目标,其典型方法是用基于样本合成的修复技术.通常 Inpainting 技术的修复尺寸小,可将 Inpainting 技术对图像的修补看作叠加了噪声,是可接受的图像修改;而若采用 Inpainting 技术对图像进行大尺寸的修复,则可尝试采用局部模糊估计的盲取证算法^[13]来对修复图像进行真实性检测.虽然在一些图像校正任务中,利用 Completion 技术将人物或物体移离现场是必要的,但是 Completion 技术也能够用于图像伪造.因此本文将采用 Completion 技术对图像中大尺寸的目标移除视为可能的恶意篡改操作,并对其进行检测.

图像 Completion 技术的代表性成果是 Criminisi 提出的基于样本的区域填充和目标移除算法^[12],修复过程循环执行以下三步直到移除区域内所有像素都被填充:1) 优先权计算:设立优先权是为了决定填充的次序,以保证在纹理填充之前图像的线结构先被传播,这样就可以保证目标边界连通;2) 纹理和结构信息传播:根据纹理的相似性在图像已知区域搜索最为匹配的块,然后将所选择的块复制到目标区域内的待填充位置;3) 优先权更新:该方法结合了纯纹理合成技术和小尺寸修复技术,优点是不会引起图像模糊,人眼觉察不出明显痕迹.其后针对优先权计算和搜索匹配方法的优化,出现了一些对 Criminisi 算法的改进算法^[14-15].

尽管 Criminisi 算法及其改进算法中的优先权计算和搜索方法不同,但是最终的复制匹配块和替代填充块步骤都会造成修复区域与图像其他区域的异常相似性,这种异常相似性是自然图像或自然成像过程所不具备的特点. Mandelbrot 指出自然界中存在着丰富的不规则碎片形,其表面的形成与一些基本物理过程相关,如腐蚀、聚集等,比如人类皮肤的表面纹理看似相同,其实存在着许多细微的差别,这是经历了自然生物学过程的结果^[16],这些差别在成像过程中则反映为不相等的像素值. Criminisi 提出的样本合成图像修复技术中匹配块的直接复制和填充,不能表示出自然场景的细微差别,相反却导致了块对之间的异常相似性.因此本文从上述的块对异常相似性出发,提出了一种基于零连通特征和模糊隶属度的图像盲取证算法.该算法用零连通特征来描述图像块对之间的相似性,然后构建升半梯形隶属函数将相似性转换成块属于修改块的隶属度,再通过截集划分,将高隶属度块集中的区域判定为篡改区域.实验结果证明,在基于样本合成的修复图

像中总能找到相应的区域满足高隶属度块集中的统计显著性.

2 基于零连通特征和模糊隶属度的图像盲取证算法

本文针对基于样本合成的修复技术制作的伪造图像(以下简称修复伪造图像)进行真实性检测,假设修复伪造图像在人眼辨识的情况下无法辨别真伪和确定篡改区域.首先,给定输入图像 I ,由用户选择可疑区域(Region of suspicion, ROS) Ω ,ROS 可以是全图,也可以是部分区域,选择部分区域作为 ROS 的目的是缩小检测范围,提高算法效率;然后定义模板块 Ψ 的大小 $m \times n$ 、隶属度函数参数 a 、 b 和截集阈值 λ ;选定参数后,其余的工作由盲取证算法自动完成.

对 ROS 区域,盲取证算法先为以每个像素为左上角坐标的块在全图其他区域按照零连通长度最大原则寻找最佳匹配块,计算块匹配度,然后通过升半梯形隶属函数将块匹配度转换成块属于篡改块的模糊隶属度(隶属度越接近 1,表示该块隶属于篡改块的程度越高),最后由阈值 λ 将块划分成真实现块或篡改块.该算法循环执行以下三步直到 ROS 中所有块都进行了真实性判别.

2.1 计算块匹配度:统计最大零连通个数作为块匹配度

根据 Criminisi 样本合成修复算法,将待填充块的未知部分用搜索的最佳匹配块相应位置的像素复制填充,从而导致填充块与匹配块的差值绝对值矩阵中出现若干个零相邻的情况.基于该特性,本文统计块对差值的零连通分量,将其中零分量的最大连通集合的长度作为该块对的匹配度.零连通需要同时满足两个条件:1) 块对相应位置像素之差为零;2) 其 8 邻域还存在差值为零的情况,即该位置与其他零位置是 8 邻域连通的.

对于 ROS 中的每个以点 $p(p \in \Omega)$ 为左上角坐标的块 Ψ_p ,在匹配区域 $\Phi = I - \Psi_p$ 寻找与 Ψ_p 的差值绝对值矩阵中零分量连通集合的长度最大的块 $\Psi_{\hat{q}}$:

$$\Psi_{\hat{q}} = \arg \max_{\Psi_q \in \Phi} n(\Psi_p, \Psi_q) \quad (1)$$

其中 $n(\Psi_p, \Psi_q)$ 定义为块对 (Ψ_p, Ψ_q) 差值绝对值矩阵 $D_{pq} = \text{abs}(\Psi_p - \Psi_q)$ 中零分量的最大连通集合的个数.

搜索到满足式(1)的 $\Psi_{\hat{q}}$,则将 p 位置的匹配度 σ_{Ψ_p} 赋值为

$$\sigma_{\Psi_p} = n(\Psi_p, \Psi_{\hat{q}}) \quad (2)$$

为了统计 D_{pq} 中零的个数及其位置关系等参

数, 有必要对所有零分量进行标记. 零连通特征的统计借鉴二值图像中的连通分量标记方法^[17], 按照连通性的定义不同, 有 4 连通区域标记和 8 连通区域标记, 本文采用 8 连通算法进行零连通区域标记.

利用连通标记算法可以找到 D_{pq} 中的所有零连通分量集合 $zerolabel(D_{pq})$, 不同的连通集合标记为不同的编号. 设零连通集合的个数为 N , 则只取长度最大的零连通集合, 其长度作为 (Ψ_p, Ψ_q) 的匹配度 $n(\Psi_p, \Psi_q)$:

$$n(\Psi_p, \Psi_q) = \begin{cases} \max_{n \in \{1, \dots, N\}} length(label = n), & N \geq 1 \\ 0, & N = 0 \end{cases} \quad (3)$$

2.2 计算块属于篡改块的模糊隶属度

如何将块的匹配度特征转换成图像篡改区域的判别依据是盲取证算法的另一个难点. Zadeh 提出的模糊集理论为软划分提供了有力的分析工具, 用“隶属函数”来描述现象差异的中间过渡, 从而突破了古典集合论中属于或不属于的绝对关系^[18]. 本文引入模糊理论, 通过构建升半梯形隶属函数来计算块模糊隶属度, 分别求得 ROS 中任意块 Ψ_p 属于篡改块和真实块的隶属度 $\mu_{\tilde{A}}(\sigma_{\Psi_p})$ 和 $1 - \mu_{\tilde{A}}(\sigma_{\Psi_p})$.

以匹配度作论域, 设 $U = [0, m \times n]$, 模糊集 \tilde{A} 表示“篡改块”, 对于图像中的任意一点 p , 都有一个 $\mu_{\tilde{A}}(\sigma_{\Psi_p}) \in [0, 1]$ 与之对应, 表示与块 Ψ_p 对应的 σ_{Ψ_p} 对于模糊集 \tilde{A} 的隶属程度, 映射 $\mu_{\tilde{A}}$ 称为 \tilde{A} 的隶属函数. 由于这里的模糊集 \tilde{A} 刻划的是偏向大的一方的模糊现象, 所以其隶属函数采用偏大型模糊分布中的升半梯形函数

$$\mu_{\tilde{A}}(\sigma_{\Psi_p}; a, b) = \begin{cases} 0, & \sigma_{\Psi_p} \leq a \\ \frac{\sigma_{\Psi_p} - a}{b - a}, & a < \sigma_{\Psi_p} \leq b \\ 1, & \sigma_{\Psi_p} > b \end{cases} \quad (4)$$

2.3 截集划分

模糊集是通过隶属函数来定义的, 如果约定: 若块 Ψ_p 对应的匹配度 σ_{Ψ_p} 对 \tilde{A} 的隶属度 $\mu_{\tilde{A}}(\sigma_{\Psi_p})$ 达到或超过阈值 λ , 则该 σ_{Ψ_p} 属于 \tilde{A} 的 λ 截集 A_λ :

$$A_\lambda = \{\sigma_{\Psi_p} | \mu_{\tilde{A}}(\sigma_{\Psi_p}) \geq \lambda, \sigma_{\Psi_p} \in U\}, \quad 0 \leq \lambda \leq 1 \quad (5)$$

最后, 如果 $A_\lambda \neq \phi$, 则将 A_λ 中的所有元素 (即匹配度) 对应的块标识出来. 又因为一个有意义的图像篡改区域应该包括许多彼此相邻甚至部分重叠的、具有高隶属度的图像块, 而不是由零散的高隶属度的块组成, 所以属于篡改区域的块必须同时满足两个条件: 1) 任意块 Ψ_p 的匹配度 $\sigma_{\Psi_p} \in A_\lambda$; 2) 依据 A_λ 所标识的块分布集中.

为了消除零散的高隶属度的块对检测结果的影响, 本文利用形态学中的膨胀和腐蚀操作进行后处理, 去除孤立的块^[18].

算法整体流程如下所示. 算法中频度最大的语句频度是计算块对的最大零连通个数, 所提算法的时间复杂度为 $O(R \times C \times r \times c)$, 其中 $R \times C$ 为测试图像的大小, $r \times c$ 为选定的可疑区域 ROS 的大小.

本文盲取证算法流程 (The flow chart of proposed approach)

- 1) Given an input image I;
- 2) Select ROS Ω , set parameters Ψ, a, b, λ ;
- 3) For $\forall p \in \Omega$, repeat the following steps:
 - a) Compute zero-connectivity length $n(\Psi_p, \Psi_q)$, $\forall \Psi_q \in \Phi = I - \Psi_p$;
 - b) Find the patch $\Psi_{\hat{q}}$ with the maximum zero-connectivity length, i.e. $\Psi_{\hat{q}} = \arg \max_{\Psi_q \in \Phi} n(\Psi_p, \Psi_q)$;
 - c) Compute match degree $\sigma_{\Psi_p} = n(\Psi_p, \Psi_{\hat{q}})$;
 - d) Compute fuzzy membership $\mu_{\tilde{A}}(\sigma_{\Psi_p})$;
 - e) Extract cut-set A_λ ;
- 4) If $A_\lambda \neq \phi$, locate tampered region; else exit.

3 实验结果及分析

为了证明本文算法的有效性, 我们使用文献 [12] 给出的修复图像进行实验, 采用的机器配置为 Intel 2.4 GHz 处理器, 1 GB 内存. 为了对单幅实验图像的篡改区域定位精度进行定量的描述, 定义以下两个指标: 真实像素点定位精度 TR 和修复像素点定位精度 IR :

$$TR = \frac{N_{tp}}{N_t} \times 100\% \quad (6)$$

$$IR = \frac{N_{ip}}{N_i} \times 100\% \quad (7)$$

其中 N_{tp} 表示真实像素点被正确检测的个数, N_t 表示真实像素点实际数; N_{ip} 表示修复像素点被正确检测的个数, N_i 表示修复像素点实际数. 由于自然图像中修复像素点实际数为零, 对自然图像的定位精度仅使用 TR 描述.

设定检测参数 $m = n = 9$, $a = 4$, $b = 78$, $\lambda = 0.5$, 下面是部分实验结果.

图 1 (a) 是自然图像 “sand”, 图像大小为 248×189 ; 图 1 (b) 是人工选定待填充区域的图像; 图 1 (c) 是采用 Criminisi 算法的修复图像, 可见待填充区域内的目标已被移除, 而且人眼分辨不出真伪; 图 1 (d) 是本文算法的检测结果, 其中矩形框代表算法起始选定的 ROS 区域 (大小为 150×171), 白色区域表示依据截集标识的块, 经膨胀和腐蚀操作形成最终定位的篡改区域, 算法共耗费约 304 s, $TR = 96.99\%$, $IR = 87.13\%$.

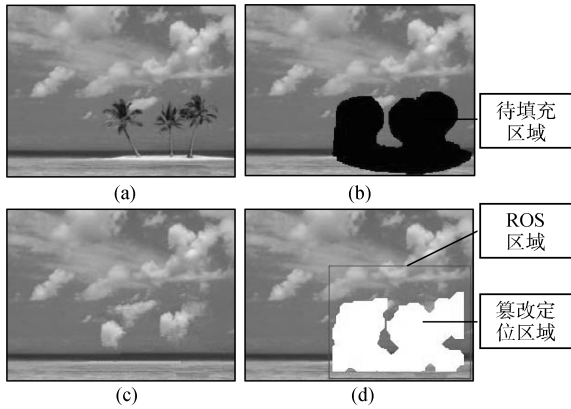


图 1 “sand” 修复图的检测结果

Fig.1 Detection results of “sand” inpainted image

为了分析自然图像和修复图像在匹配度和隶属度上的差异,下面设定全图作为 ROS 区域,分别对自然图像和修复图像进行检测.

图 2(a) 是自然图像 “woman”, 图像大小为 214×164 ; 图 2(b) 中用黑色标记出人工选定的待填充区域; 图 2(c) 是采用 Criminisi 算法的修复图像; 图 2(d) 中用白色标记出 Criminisi 算法搜索步骤找到的用来复制填充的块位置; 图 2(e) 是本文算法对图 2(c) 的检测结果, 算法共耗费约 350s, $TR = 82.88\%$, $IR = 92.98\%$. 白色标记区域表示模糊隶属度高于阈值的区域, 对比图 2(d)、(e) 可以看出, 模糊隶属度高的区域仅有篡改区域和对应的用来复制填充的块区域, 而其余的自然区域没有出现高于阈值的隶属度值; 图 2(f) 是本文算法对图 2(a) 的检测结果, 可见自然图像中没有模糊隶属度高于阈值的区域.

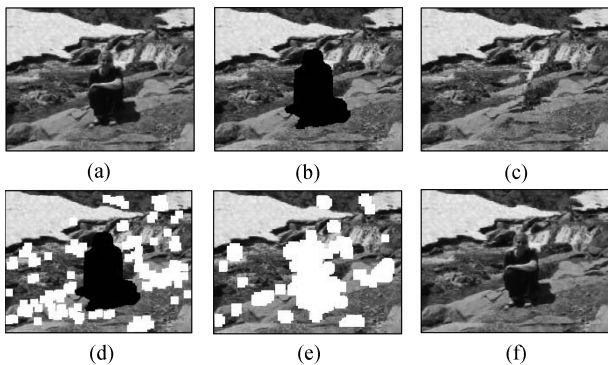
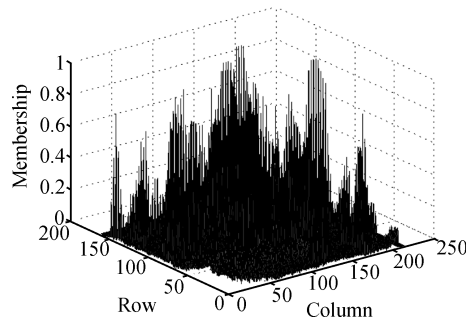


图 2 “woman” 自然图像及修复图像的检测结果

Fig.2 Detection results of “woman” natural image and inpainted image

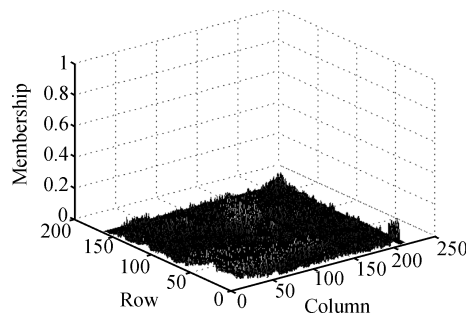
对图 2(a)、(c) 检测的模糊隶属度分布进行对比, 如图 3 所示. 图 3(a) 是 “woman” 修复图像 (即图 2(c)) 的隶属度分布图; 图 3(b) 是 “woman” 自然图像 (即图 2(a)) 的隶属度分布图. 显然, 图 3(a) 中存在局部高隶属度分布, 而图 3(b) 中的隶属度普

遍较低.



(a) “woman” 修复全图隶属度示意图

(a) Fuzzy membership distribution of “woman” inpainted image



(b) “woman” 全图隶属度示意图

(b) Fuzzy membership distribution of “woman” natural image

图 3 “woman” 自然图像及修复图像的模糊隶属度分布图

Fig.3 Fuzzy membership distributions of “woman” natural image and inpainted image

实验结果 (图 2 和图 3) 直观地表明了自然图像和样本修复图像在匹配度和隶属度之间的差异, 说明样本合成修复技术导致了图像块之间存在异常的相似性, 从而证明了本文算法的合理性.

4 结论

本文提出了一种检测样本合成修复伪造图像的盲取证算法, 此算法具有以下几个特点: 1) 利用样本合成修复技术进行图像篡改是采用计算机智能自动算法, 有别于人工处理篡改图像, 因此本文盲取证算法首次将数字盲取证技术应用于修复伪造图像的检测, 具有一定的创新性, 拓宽了盲取证技术的应用领域; 2) 利用零连通特征和模糊隶属度, 能很好地区分自然图像和样本合成修复伪造图像, 并可定位图像的篡改区域; 3) 图像真实性检测时不需要任何水印或签名等先验知识.

下一步工作包括提高算法效率, 同时研究如何利用图像修复伪造区域内部的不一致性, 或与自然区域的不一致性进行修复伪造图像的盲取证.

References

- 1 Ng T T, Chang S F. Blind Detection of Digital Photomontage Using Higher Order Statistics, Advent Technical Report #201-2004-1, Columbia University, USA, 2004
- 2 Fridrich J, Soukal D, Lukáš J. Detection of copy-move forgery in digital images. In: Proceedings of Digital Forensic Research Workshop. Cleveland, USA: DFRWS, 2003. 1–10
- 3 Li G H, Wu Q, Tu D, Sun S J. A sorted neighborhood approach for detecting duplicated regions in image forgeries based on DWT and SVD. In: Proceedings of IEEE International Conference on Multimedia and Expo. Beijing, China: IEEE, 2007. 1750–1753
- 4 Johnson M K, Farid H. Exposing digital forgeries by detecting inconsistencies in lighting. In: Proceedings of the 7th Workshop on Multimedia and Security. New York, USA: ACM, 2005. 1–10
- 5 Popescu A C, Farid H. Exposing digital forgeries in color filter array interpolated images. *IEEE Transactions on Signal Processing*, 2005, **53**(10): 3948–3959
- 6 Ng T T, Chang S F. A model for image splicing. In: Proceedings of International Conference on Image Processing. Singapore, Singapore: IEEE, 2004. 1169–1172
- 7 Zhang Hong-Ying, Peng Qi-Cong. A survey on digital image inpainting. *Journal of Image and Graphics*, 2007, **12**(1): 1–10
(张红英, 彭启琮. 数字图像修复技术综述. 中国图象图形学报, 2007, **12**(1): 1–10)
- 8 Patrick P, Michel G, Andrew B. PatchWorks: Example-based Region Tiling for Image Editing, Technical Report MSR-TR-2004-04, Microsoft Research, 2004
- 9 Bertalmio M, Sapiro G, Caselles V, Ballester C. Image inpainting. In: Proceedings of International Conference on Computer Graphics and Interactive Techniques. New Orleans, USA: ACM, 2000. 417–424
- 10 Shen J H, Chan T F. Mathematical models for local non-texture inpaintings. *SIAM Journal of Applied Mathematics*, 2002, **62**(3): 1019–1043
- 11 Bertalmio M, Vese L, Sapiro G, Osher S. Simultaneous structure and texture image inpainting. *IEEE Transactions on Image Processing*, 2003, **12**(8): 882–889
- 12 Criminisi A, Perez P, Toyama K. Object removal by exemplar-based inpainting. In: Proceedings of IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition. Madison, USA: IEEE, 2003. 721–728
- 13 Hsiao D Y, Pei S C. Detecting digital tampering by blur estimation. In: Proceedings of the 1st International Workshop on Systematic Approaches to Digital Forensic Engineering. Taipei, China: IEEE, 2005. 264–278
- 14 Tang F, Ying Y T, Wang J, Peng Q S. A novel texture synthesis based algorithm for object removal in photographs. In: Proceedings of the 9th Asian Computing Science Conference. Chiang Mai, Thailand: Springer, 2004. 248–258
- 15 Zhu Wei, Li Guo-Hui, Tu Dan. Application of texture synthesis in old photograph completion. *Computer Engineering and Applications*, 2007, **43**(28): 220–222
(朱为, 李国辉, 涂丹. 纹理合成技术在旧照片修补中的应用. 计算机工程与应用, 2007, **43**(28): 220–222)
- 16 Mandelbrot B B. *The Fractal Geometry of Nature*. San Francisco: W. H. Freeman, 1982
- 17 Gonzalez R C, Woods R E, Eddins S L. *Digital Image Processing Using Matlab*. New York: Prentice Hall, 2004. 153–158
- 18 Zadeh L A. Fuzzy Sets. *Information and Control*, 1965, **8**(3): 338–353



吴琼 国防科技大学信息系统与管理学院博士研究生. 主要研究方向为数字水印与图像取证. 本文通信作者.

E-mail: wuqiong_nudt@126.com

(**WU Qiong** Ph.D. candidate at the College of Information System and Management, National University of Defense Technology. Her research interest covers digital watermark and image forensics. Corresponding author of this paper.)



孙韶杰 国防科技大学信息系统与管理学院博士研究生. 主要研究方向为图像压缩与处理. E-mail: sshj_mil@126.com

(**SUN Shao-Jie** Ph.D. candidate at the College of Information System and Management, National University of Defense Technology. His research interest covers image compression and processing.)



朱为 国防科技大学信息系统与管理学院博士研究生. 主要研究方向为图像修复与处理.

E-mail: zhuwei_jim@126.com

(**ZHU Wei** Ph.D. candidate at the College of Information System and Management, National University of Defense Technology. His research interest covers image inpainting and processing.)



李国辉 国防科技大学信息系统与管理学院教授. 主要研究方向为多媒体安全.

E-mail: guohli@nudt.edu.cn

(**LI Guo-Hui** Professor at the College of Information System and Management, National University of Defense Technology. His main research interest is multimedia security.)



涂丹 国防科技大学信息系统与管理学院副教授. 主要研究方向为图像处理.

E-mail: tudan1971@163.com

(**TU Dan** Associate professor at the College of Information System and Management, National University of Defense Technology. His main research interest is image processing.)



何朝盛 南昌陆军学院讲师. 主要研究方向为图像处理.

E-mail: hcs751007@eyou.com

(**HE Chao-Sheng** Lecturer at Nanchang Army College. His main research interest is image processing.)