

图文信息技术

一种感兴趣区域防溢出数字水印算法

陈青¹, 宗恂琦²

(上海理工大学, 上海 200093)

摘要: **目的** 针对工程设计图纸、医学影像等存在大量边缘值像素点的图像在嵌入水印时容易出现像素值溢出的问题, 文中提出一种基于感兴趣区域防溢出的水印方案。**方法** 该方案使用改进后的区域生长法分割原始图像得到不规则形状的 ROI, 再通过填充像素值得到矩形水印嵌入区域, 对该区域进行提升小波变换, 并经过 Arnold 置乱, 通过对水印嵌入区域的分块和扫描, 跳过边缘像素值, 使用奇偶映射的方法将制成 QR 码的水印信息嵌入至宿主图像。**结果** 嵌入水印后图像边缘仍完整, 像素值溢出现象得到大大改善, 嵌入水印后图像峰值信噪比高于 48 db, 水印不可见性高于一般水印嵌入方案, 满足高精度图像对水印不可见度要求, 且经过攻击后仍能实现水印的提取。**结论** 该方案充分考虑到含有大面积背景和大量边缘像素值图像的特点, 保证认证水印嵌入至图像关键 ROI 区域, 在保证原图质量的基础上实现了防溢出的水印嵌入, 经过攻击后提取的水印仍能够读取认证信息, 在包装印刷工程中具有实际应用价值。

关键词: 数字水印; 像素值溢出; 感兴趣区域; 图像分割; QR 码

中图分类号: TP391.41 文献标识码: A 文章编号: 1001-3563(2019)03-0223-06

DOI: 10.19554/j.cnki.1001-3563.2019.03.034

An Anti-overflow Digital Watermark Algorithm in Region of Interest

CHEN Qing¹, ZONG Si-qi²

(University of Shanghai for Science and Technology, Shanghai 200093, China)

ABSTRACT: The work aims to propose an anti-overflow watermark scheme based on region of interest (ROI), regarding the problem of pixel overflow in watermark embedding in images with a mass of bordered pixels like drawing of engineering design and medical images. The scheme used the improved region growing algorithm to segment irregularly shaped ROI from the original image, then filled the region with pixels to get rectangular region of watermark embedding (ROW). After applying lifting wavelet transform and Arnold transformation to ROW, the scheme partitioned and scanned the region to embed the watermark which was in QR code into the host image with the means of parity mapping, while bordered pixels were skipped. The edge of images with embedded watermark still remained integrated and the appearance of pixel overflow was greatly reduced. The PSNR of watermark embedded images were greater than 48 db, which indicated that the invisibility of watermark was greater than general watermark embedding schemes and satisfied the requirement of watermark invisibility of high-precision images; moreover, after the attacks, the extraction of watermark could still be achieved. The proposed scheme takes full account of the feature of images with large area background and mass bordered pixels, and makes sure that the certified watermark is embedded into critical ROI of the image. The scheme realizes the anti-overflow watermark embedding process on the basis of quality guarantee of the original image. The extracted watermark from images under attack can still show authentication information. The proposed scheme has

收稿日期: 2018-05-02

作者简介: 陈青 (1962—), 女, 博士, 上海理工大学副教授, 主要研究方向为信号处理。

practical application value in packaging and printing and engineering.

KEY WORDS: digital watermark; pixel overflow; ROI; image segmentation; QR code

随着互联网的发展,数字图像在传播过程中,图像的完整性、机密性和真实性越来越受到重视。数字水印作为保护数字图像的重要手段,广泛应用于各个领域。大部分数字水印算法是通过在时域或频域对原图像像素值进行操作^[1]达到隐藏水印数据的目的,此过程不可避免地需要改变原图像素值,现有的一些数字图像如工程设计图纸、医学数字影像存在大面积背景和大量边缘像素值,直接将常用数字水印嵌入方案应用于该类图像会导致诸如像素值溢出、边缘误判等情况,像素值溢出会造成图像出现类似椒盐噪声的现象,边缘误判在精度要求较高的图纸和医学图像中则会直接影响实际生产和诊断,因此为了减小对原图质量的影响,水印防溢出具有重要的研究意义。

由于图像感兴趣区域(ROI)包含图像最重要的信息,需要重点保护。数字图像多样性导致了简单的规则形状不能很好地描述 ROI 区域,因此,各类针对不同形状 ROI 提取算法也逐渐被提出。基于图像灰度值相似性的区域生长^[2]算法因便于构成闭合空间而适用于不规则 ROI 分割。文中针对的图像类型精度要求高,常见的数字水印嵌入算法由于需要修改较多原图像素值而不适用于该类图像。相比之下,依靠原图像和水印图像像素点的映射关系嵌入水印对原图影响小^[3],可以最大程度的保证图像质量。在实施此类水印嵌入方案时,往往要求水印载体图像和水印图像的尺寸有一定对应关系。另外,嵌入水印后的 ROI 区域在提取水印信息的过程中需要对水印嵌入区域进行定位以实现盲水印提取^[4],而 ROI 形状不规则将会给嵌入水印和水印定位带来困难。

为解决上述问题,文中将提出一种基于不规则形状 ROI 区域的水印算法,首先使用改进后的区域生长法分割背景区域与 ROI,再采用填充 0 像素值的方法构成规则水印嵌入区域。接着对水印嵌入区域进行 Arnold 变换,减弱相邻像素之间的相关性^[5],保证可嵌入水印的像素点均匀分布整块区域,再对水印嵌入区域进行 2×2 分块,以每个子块的像素值之和的奇偶性构成与二值水印图像像素值的映射关系。为防止像素值溢出,在嵌入水印信息时,扫描每个 2×2 子块的像素值并跳过所有边缘像素值,选择其余像素值进行修改以达到嵌入水印的目的。水印嵌入过程将在经过整数小波变换^[6]后的频域内进行。由于在印刷出版前需要对图像进行压缩、裁剪等处理,图像不可避免地会遭受攻击,为了提高水印的鲁棒性,文中使用 QR 码作为认证水印嵌入至宿主图像。实验证明该水印方案不可见性好,并具有较好鲁棒性和抗攻击能力。

1 基本原理

1.1 QR 码

QR (Quick Response) 码广泛应用于电子商务、邮政运输等方面。QR 码包含数据容量大、数据独立性、纠错能力强等^[7]优势,应用前景可观。QR 码图像为二值图像,分为编码区和功能区。比起一维条形码和普通二值水印图像,QR 码可隐藏更大容量的认证信息,同时其纠错能力使得经过攻击后仍然能够识别出水印信息,有助于提高水印的鲁棒性。

1.2 区域生长算法

区域生长算法依靠选取的种子点,通过计算像素值之间的相似性聚合相似的像素点,最终形成闭合区域^[8]。该算法能够将图像中满足判定条件的连通区域提取出来,同时保留原图像的边缘信息,因此适用于将 ROI 区域与背景信息分割出来。算法步骤如下所述。

- 1) 选取种子点 a_1 , 将其归入特征队列 Q 中。
- 2) 按照相似判别准则计算 a_1 邻域中像素值 a_n 与 a_1 相似程度,满足阈值 T 时将 a_n 归入 Q , 并将 a_n 纳入区域 R_1 的集合中。
- 3) 计算 a_n 邻域像素值 a_{n+1} 与 a_n 相似程度,若满足阈值 T 则将 a_{n+1} 归入 Q , 并将 a_{n+1} 纳入 R_1 , 若不满足 T 则将 a_{n+1} 纳入区域 R_2 集合中,弹出 Q 中的第 1 个元素。
- 4) 重复以上步骤直到队列 Q 为空。

从以上步骤可以看出,满足阈值 T 的像素值将会被聚合直到形成一个连续闭合区域 R_1 , 且边缘像素值也被包含在其中。除 R_1 , R_2 包含的像素值外,图像仍存在未被分类的像素值,因此该算法易形成空洞。除此之外边缘若被噪声等信息模糊,则会形成过分割和欠分割的情况^[9]。针对这些问题,文献[10]提出了一种优化种子点选取的算法来减少空洞形成,通过遍历图像四周边缘一定宽度内的像素信息,构成局部直方图,经过分析灰度值直方图来选择合适种子点,但对于边缘信息和噪声处理有所欠缺。对已经被噪声污染的图像进行高斯滤波会减弱图像边缘^[11],因此需要寻求适用于区域生长算法的图像边缘加强方案。Harmeet Saini 等提出了一种将被模糊边缘的图像掩模与原图进行差分来获取边缘信息的方法^[12],此类掩模法边缘加强的方式虽常见,但由于需要用到原图信息,在接收端无法进行操作。除此之外,重点关注 ROI 边缘处阈值的选择也能够达到平滑边缘、减小噪

声影响的效果^[13]。考虑到实际情况，文中将选择优化阈值作为 ROI 边缘加强的方案。

2 ROI 分割

ROI 分割方案具体如下所述。

1) 设原图 I 左上角第 1 个像素位置为零点，读取边缘 $1/5$ 原图宽度内的像素值，构成 4 个图像矩阵，种子点将从 4 个矩阵中选出，保证种子点能够覆盖图像 4 个边界内的特征灰度值。

2) 分别计算矩阵内灰度值分布直方图，取波峰和波谷处出现频率最高的灰度值为参考点。

3) 在 4 个矩阵内遍历所有像素值，记录与参考点灰度值相同的像素点的坐标和灰度值作为种子点。

4) 设定生长阈值，计算局部阈值 T_0 和全局阈值 T_1 ，除满足全局阈值之外，ROI 边缘在生长过程中还要满足阈值 T_0 。文中针对大面积背景的背景区域像素灰度值较小，在灰度直方图中存在一个峰值，而 ROI 像素灰度值较大，同样存在一个峰值，因此实验中设定 $T_0 = (I_{\max} - I_{\min})$ ，其中 I_{\max} 和 I_{\min} 分别为图像直方图中 ROI 峰值和背景峰值处的灰度值。全局阈值满足 $0.03f_{\max} \leq T_1 \leq 0.08f_{\max}$ ，其中 f_{\max} 为原图灰度最大值。实验中取 $T_1 = 0.05f_{\max}$ 。

5) 设定生长准则，设 $s(x, y)$ 为种子点像素值， R 为该种子点 3×3 邻域， $R(x, y)$ 为邻域中心的像素值，计算 R 区域像素均值 μ 以及均值梯度变化率 k ， $k = \|\nabla R\| = \sqrt{g_x^2 + g_y^2}$ ，其中 $g_x = \frac{\partial R}{\partial x} = R(x+3, y) - R(x, y)$ ， $g_y = \frac{\partial R}{\partial y} = R(x, y+3) - R(x, y)$ 。当同时满足 $k < T_0$ 和 $|\mu - s(x, y)| < T_1$ 时将该邻域加入至生长区域中。

通过区域生长算法分别得到 ROI 区域和背景区域，同时生成 ROI 区域掩模用于接收端水印定位，其中 ROI 掩模通过将原图 ROI 部分像素值置 1、其余背景区域置 0 得到。

3 水印方案

经过区域生长算法分割后得到的 ROI 形状不规则，在嵌入水印前首先需要进行像素填充获取规则水印嵌入区域。为保证水印嵌入容量^[14]，填充后的区域大小有下限值设定。采用整数提升小波方案保证嵌入水印过程可逆^[15]。设水印图像为尺寸 $w \times w$ 的二值图像，第 i 个像素值为 w_i 。具体方案如下所述。

1) 根据选取的种子点坐标，取最大长宽差值 N ，置入 ROI 并在空白处填充 0 像素值，构成大小为 $N \times N$ 的水印嵌入区 R_w 。若 $N < 2w$ 则取 $N = 2w$ 。记录

N 值。

2) 对 R_w 进行一次整数提升小波变换。

3) 对小波变换后的水印嵌入区进行 d 次 Arnold 变换，记录变换周期 T 和变换次数 d 。

4) 将区域分成 2×2 不重叠的子块并编号，设第 i 个子块中第 j 个像素值为 $I_{i,j}$ 。

5) 计算 $I_i = \sum_{j=1}^4 I_{i,j}$ 第 i 个子块像素值之和。当 $w_i = 0$

时，检查 I_i 是否为偶数，若 I_i 为偶数则不做任何操作，若 I_i 为奇数，扫描第 i 个子块中 4 个像素的像素值，取第 1 个满足 $I_{i,j} \neq 0$ 且 $I_{i,j} \neq 255$ 的像素值将其加 1，并记录修改像素值的序号 k_i 。同理，当 $w_i = 1$ 时检查 I_i 是否为奇数，若为奇数则不进行操作，若为偶数则进行上述操作修改像素值。

6) 生成一维数组 $K = (k_1, k_2, \dots, k_n)$ 记录所有被修改像素位置信息。 K 将作为密钥，用于接收端恢复原始数据。

7) 对含水印的区域进行 $T-d$ 次 Arnold 变换，再进行小波反变换。

8) 根据种子点坐标定位将含水印区域与背景区域像素值相加，得到嵌入水印后的图像。

水印提取时，将 ROI 掩模与接收到的图像相乘，重新定位水印嵌入区从而提取水印图像。具体步骤如下所述。

1) 将 ROI 掩模与图像相乘，得到 ROI 区域和背景区域。根据记录的 N 值在 ROI 区域填充 0 像素，还原水印嵌入区。

2) 对水印嵌入区进行一次提升小波变换，再经过 d 次 Arnold 变换。

3) 对区域进行 2×2 不重叠分块，计算每个子块像素值之和 I'_i ，根据对应关系还原水印图像像素值 $w'_i = \begin{cases} 0, I'_i \text{ 为偶数} \\ 1, I'_i \text{ 为奇数} \end{cases}$ 。

4) 根据密钥 K ，在第 i 个子块中将第 k_i 个像素值减 1。

5) 对还原后的水印嵌入区进行 $T-d$ 次 Arnold 变换，再进行小波反变换。

6) 将还原后的水印嵌入区与背景区域相加得到还原后的图像 I' 。

4 实验结果

文中提出的算法以 Matlab2016 为运行平台，选取 2 种典型且常见的图像进行实验。1024×1024 医学 CT 扫描图像、256×256 工业扫描零部件图像和它们的灰度直方图见图 1。可以看到图像背景区域像素灰度值较小，且存在大量 0 像素值，前景区域灰度值较高。对图像进行 ROI 分割得到掩模结果见图 2。

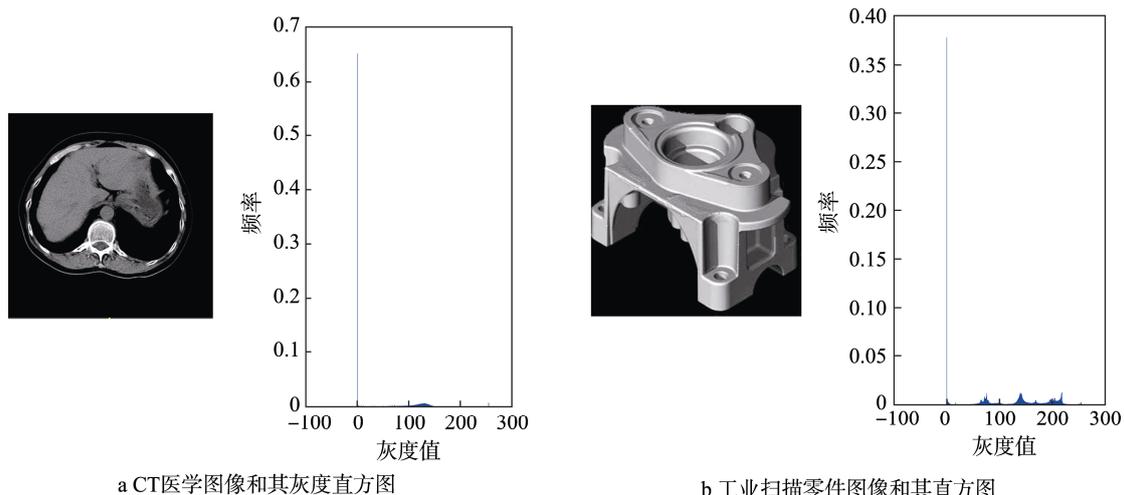


图1 存在大面积背景和边缘像素值的图像
Fig.1 Images with large area background and bordered pixels

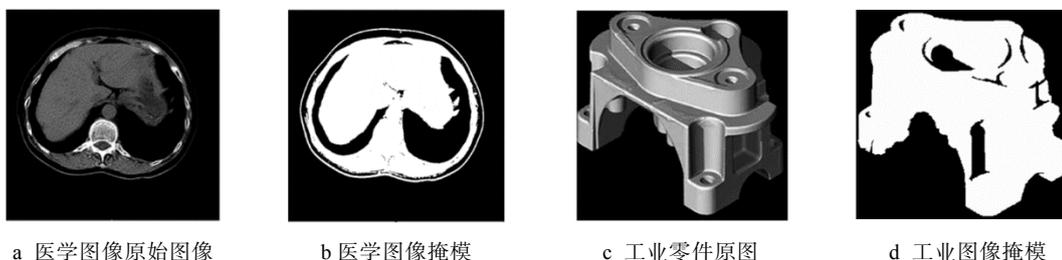


图2 原图和 ROI 掩模
Fig.2 Original images and ROI masks

实验使用依据文本“上海理工大学”信息生成的 QR 码作为认证水印图像, QR 码为 32×32 二值图像, 见图 3a。采用奇偶映射法将水印嵌入至原图 ROI 区

域, 嵌入水印后图像没有明显质量下降情况, 计算 PSNR 值分别为 48.78, 48.85, 原图与嵌入水印过程见图 3—5。



图3 医学图像水印嵌入过程
Fig.3 Process of watermark embedding in medical image



图4 工业零件图像水印嵌入过程
Fig.4 Process of watermark embedding in industrial part

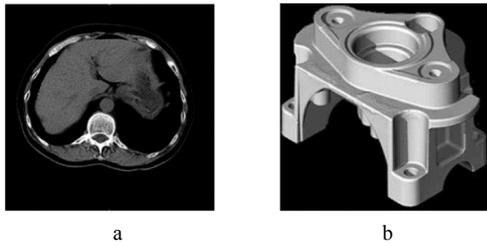


图 5 嵌入水印后的图像
Fig.5 Images with watermark

在印刷和采集图像的过程中，常见的攻击包括对保存图像时进行压缩、裁剪，采集图像过程引入噪声等。为了验证水印的鲁棒性，实验对嵌入水印后的图像进行 JPEG 压缩、添加噪声、剪切攻击，再提取水印，以医学图像为例，提取出的水印结果见图 6。对 2 种载体图像分别进行攻击后提取出的水印图像与原水印图像的 NC 值见表 1。实验证明水印具有一定的抗攻击能力。

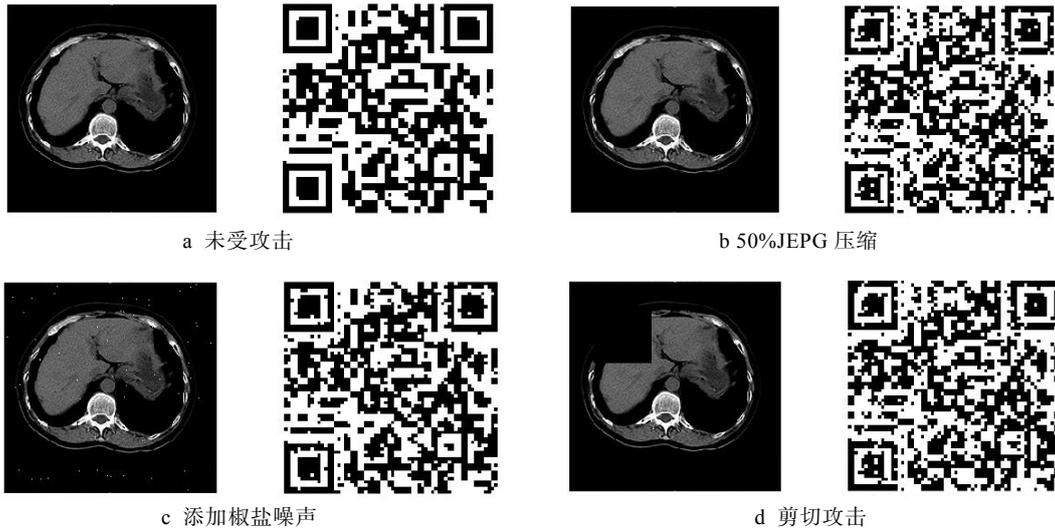


图 6 不同攻击下提取出的水印图像
Fig.6 Extracted watermark images under different attacks

表 1 不同攻击下提取出的水印图像与原水印图像 NC 值
Tab.1 NC value between original watermark and extracted watermark images under different attacks

攻击类型	无攻击	JPEG50% 压缩	椒盐 噪声	高斯 噪声	剪切 攻击
载体图像 1	0.99	0.94	0.86	0.87	0.84
载体图像 2	0.99	0.95	0.94	0.88	0.84

5 结语

针对文中提出的一种基于 ROI 的防溢出水印算法，实现了将数字水印嵌入不规则形状 ROI 中，同时解决了含有大面积背景和边缘像素值图像在水印嵌入过程中像素值溢出的问题。相比于其他空间映射嵌入水印算法，该算法在嵌入水印前先对水印嵌入区进行 Arnold 变换，使可用于嵌入水印的像素值均匀分布在整個水印嵌入区，增加了可嵌入水印子块的数量，提高了载体图像水印负载能力。使用带有认证信息的 QR 码作为水印图像，提高了水印抗攻击能力。水印嵌入时使用奇偶映射，在修改像素值时跳过所有边缘像素值和填充的 0 像素值，重构图像时无需重新分割 ROI，直接将整个水印嵌入区与背景区相加，节省处理时间，同时不会对背景区域像素值产生影响。

水印嵌入过程在小波域中进行，保证水印具有一定鲁棒性。采用分块像素值总和与水印图像建立奇偶映射关系，减少修改像素值的数量，对原图质量影响较小，满足对高图像质量的要求。实验数据显示嵌入水印后图像的 PSNR 值高，水印不可见性好，适用于高精度图像防伪认证。

参考文献

- [1] 尹浩, 林闯, 邱锋, 等. 数字水印技术综述[J]. 计算机研究与发展, 2005, 42(7): 1093—1099.
YIN Hao, LIN Chuang, QIU Feng, et al. A Survey of Digital Watermarking[J]. Journal of Computer Research and Development, 2005, 42(7): 1093—1099.
- [2] REVOL-MULLER C, GRENIER T. Region Growing: When Simplicity Meets Theory-Region Growing Revisited in Feature Space and Variational Framework[J]. Imaging and Computer Graphics: Theory and Application, part of Communications in Computer and Information Science Book Series, 2013, 359: 426—444.
- [3] 邓小鸿, 陈志刚, 刘惠文, 等. 医学图像可逆数字水印防溢出处理研究[J]. 计算机工程与应用, 2013, 49(23): 162—165.
DENG Xiao-hong, CHEN Zhi-gang, LIU Hui-wen, et al. Study on Preventing Overflow and Underflow of

- Reversible Digital Watermarking for Medical Images[J]. Computer Engineering and Applications, 2013, 49(23): 162—165.
- [4] THAKKAR F N, SRIVASTAVA V K. A Blind Medical Image Watermarking: DWT-SVD Based Robust and Secure Approach for Telemedicine Applications[J]. Multimed Tools Appl, 2017(76): 3669—3697.
- [5] LI Hong-liang, FAN Jing. Generalization of Arnold Transform-FAN Transform and Its Application in Image Scrambling Encryption[J]. Recent Advances in Computer Science and Information Engineering, 2012, 128: 511—516.
- [6] 陈亮, 刘惠文, 邓小鸿. 基于整数小波变换的数字图像可逆水印算法[J]. 计算机应用与软件, 2016, 33(4): 286—291.
CHEN Liang, LIU Hui-wen, DENG Xiao-hong. A Digital Image Reversible Watermarking Algorithm Based on Integer Wavelet Transform[J]. Computer Applications and Software, 2016, 33(4): 286—291.
- [7] 薛青晨, 吴丹, 陈大庆, 等. 基于 DWT-SVD 和 QR 码的扛几何攻击数字水印技术[J]. 包装工程, 2016, 37(11): 158—163.
XUE Qing-chen, WU Dan, CHEN Da-qing, et al. Geometrical Attack Resistant Digital Watermarking Technology Based on DWT-SVD and QR Code[J]. Packaging Engineering, 2016, 37(11): 158—163.
- [8] QIAO Yu, YANG Jie. Adaptive Region Growing Based on Boundary Measures[C]// International Conference on Neural Information Processing, 2011: 249—256.
- [9] 姜慧研, 冯锐杰. 基于改进的变分水平集和区域生长的图像分割方法的研究[J]. 电子学报, 2012, 40(8): 1659—1664.
JIANG Hui-yan, FENG Rui-jie. Image Segmentation Method Research Based on Improved Variational Level Set and Region Growth[J]. Acta Electronica Sinica, 2012, 40(8): 1659—1664.
- [10] 王超, 王浩, 王伟, 等. 基于优化 ROI 的医学图像分割与压缩方法研究[J]. 重庆邮电大学学报(自然科学版), 2015, 27(2): 279—284.
WANG Chao, WANG Hao, WANG Wei, et al. Study of Optimized ROI Based Medical Image Segmentation and Compression Method[J]. Journal of Chongqing University of Posts and Telecommunications(Natural Science Edition), 2015, 27(2): 279—284.
- [11] 肖明尧, 李雄飞, 张小利, 等. 基于多尺度的区域生长的图像分割算法[J]. 吉林大学学报(工学版), 2017, 47(5): 1591—1597.
XIAO Ming-yao, LI Xiong-fei, ZHANG Xiao-li, et al. Medical Image Segmentation Algorithm Based on Multi-scale Region Growing[J]. Journal of Jilin University(Engineering and Technology Edition), 2017, 47(5): 1591—1597.
- [12] SAINI H, SAHNI V. Region Growing Segmentation using De-noising Algorithm for Medical Ultrasound Images[C]// 3rd IEEE International Conference on "Computational Intelligence and Communication Technology", 2017: 1—5.
- [13] ANITHADEVI D, PERUMAL K. Rough Set and Multi-thresholds Based Seeded Region Growing Algorithm for Image Segmentation[J]. Artificial Intelligence and Evolutionary Computations in Engineering Systems, part of Communications in Computer and Information Science Book Series, 2018, 668: 369—379.
- [14] 钱书胜, 杨红梅. 基于人类视觉系统的水印容量分析[J]. 计算机应用与软件, 2008, 25(5): 225—226.
QIAN Shu-sheng, YANG Hong-mei. Watermarking Capacity Analysis Based on Human Vision System[J]. Computer Applications and Software, 2008, 25(5): 225—226.
- [15] 刘玄玄, 王晓红. 基于视觉显著图的数字水印算法[J]. 光学技术, 2016, 42(3): 260—263.
LIU Xuan-xuan, WANG Xiao-hong. Digital Watermarking Algorithm Based on Saliency Map[J]. Optical Technique, 2016, 42(3): 260—263.

更正说明

《包装工程》2019年第1期《基于BSC+ABC的包装企业成本管理与控制研究》一文应第一作者要求更改作者,将作者“罗丹(重庆大学)”,更改为“张红,肖朝晖(重庆理工大学)”,特此申明!

《包装工程》编辑部

2019年01月22日