

基于感兴趣区域的图像质量评价算法研究

梁东, 张雷洪, 杜晓萌

(上海理工大学, 上海 200093)

摘要: **目的** 降低计算量, 提高计算效率, 达到评价算法与人眼观察的一致性。 **方法** 首先提取感兴趣区域, 利用眼动仪记录人眼在观察图像时的关注点、关注时长、眼球运动轨迹以及眼跳数据, 然后提取显著区域。将感兴趣区域引入客观视觉模型中评价图像质量, 通过测量图像的有效感知跃变百分数, 客观评价图像质量的优劣, 并且与传统算法进行比较。 **结果** 感兴趣区域包含了图像大部分的关键信息, 即人眼关注的信息。基于不同增强方法的图像感兴趣区域内的有效感知跃变百分数均大于原始图像的有效感知跃变百分数(20.3%)。 **结论** 提出的算法优于传统客观评价算法, 且客观质量评价的结果更符合人眼视觉特性。

关键词: 感兴趣区域; 视觉感知; 质量评价

中图分类号: TS801 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2016)05-0161-06

Image Quality Assessment Algorithm Based on Region of Interest

LIANG Dong, ZHANG Lei-hong, DU Xiao-meng

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

ABSTRACT: The aim of this study was to reduce the amount of calculation and improve the computational efficiency, and to achieve the consistency of the assessment algorithm with the human eye observation. First of all, the region of interest was extracted, and the focus, the attention time, the eyeball movement track and the saccade data of human eyes during observation of the image were recorded using an eye tracker. Then the saliency region was extracted. The region of interest was introduced into the objective visual model to evaluate image quality, and the merits of the image quality were objectively evaluated by measuring the percentages of effective perception transitions of the image, and the algorithm of this paper was compared with the traditional algorithm. The region of interest contained most of the key information of the image on which the human eyes focused. The percentages of effective perception transitions of region of interest of image based on different enhancement methods were bigger than that (20.3%) of the original image. The algorithm proposed in this paper was superior to the traditional objective assessment algorithm and the objective quality assessment result accorded more with human visual characteristics.

KEY WORDS: region of interest; visual perception; quality assessment

现有研究发现, 人类视觉系统(HVS)在处理一个较为复杂的场景时, 会首先将其视觉注意力集中在该场景的少数几个对象中, 这种处理机制可以令处理能力和容量都有限的大脑对这些显著对象进行优先处理, 力求在最短时间内获取场景中的主要信息, 此过程

称为视觉注意过程。显然, 如果能在图像处理和图像分析的过程中, 提供上述的感兴趣区域(ROI)^[1-3], 也能在某种程度上将类似人类视觉系统的处理能力应用到计算机系统之中。在降低图像处理计算量的同时, 有效提高计算机对信息处理的效率, 因此ROI具有极

收稿日期: 2015-10-13

作者简介: 梁东(1990—), 女, 山东枣庄人, 上海理工大学硕士生, 主攻数字图像处理。

通讯作者: 张雷洪(1981—), 男, 江苏泰兴人, 博士, 上海理工大学副教授, 主要研究方向为数字图像处理。

其重要的应用价值。

将感兴趣区域和视觉感知的概念引入图像质量评价中,已有的基于人眼视觉特性的图像质量评价算法^[4-6],因为是对整幅图像的质量进行评价,所以对许多次要信息的分析和处理带来了许多计算上的浪费,计算量较大。这里将感兴趣区域的概念引入基于人眼视觉特性的图像质量评价算法中。

1 感兴趣区域的提取

从图像的初级视觉特征^[7]到获取最终的感兴趣区域,关于ROI的相关提取方法有很多种。这里主要采取眼动实验,获取最终图像的感兴趣区域。

1) 显著图的获取。这里采用瑞典Tobii公司生产的Tobii X120眼动仪进行眼动实验,并利用Tobii Studio进行眼动数据的采集,获取观察者在观察图像时的注视点坐标,从而得到一幅注视点二值图。但二值图并不能表达观察者感兴趣的区域,因此需要对注视点采用高斯函数进行模拟二维高斯分布^[8],其中二维高斯分布函数公式如下:

$$g(x, y) = \left(\frac{1}{2\pi\sigma^2} \right) \exp \left(- \frac{(x - x_0)^2 + (y - y_0)^2}{2\sigma^2} \right) \quad (1)$$

式中:\$(x_0, y_0)\$为注视点坐标, \$\sigma\$为二维高斯分布函数的方差参数,这里取为25, \$g(x, y)\$表示当注视点坐标为\$(x_0, y_0)\$时,注视点对其邻域显著程度的影响。根据公式可以看出,随着邻域的扩大,注视点的值越来越小,接近于零。如果某个点的邻域内有很多其他注视点,根据二维高斯分布函数可知,其他注视点的高斯分布也会对该点有影响,那么注视点最密集的区域叠加的高斯分布也最多,最终得到的像素值也最大,因此可知像素值最大的区域对应图像中注视点最多的区域,将所有注视点的高斯分布进行叠加后就可以得到一幅显著图。

2) 对于显著图进行阈值分割。根据显著图中每个像素点灰度值的大小进行阈值分割,当显著图中的像素点灰度值大于阈值\$T\$时,认为该像素点的视觉显著程度高,属于人眼视觉感兴趣的区域,其中阈值\$T\$的取值根据以下公式计算:

$$T = \left\lceil \frac{2}{WH} \right\rceil \left[\sum_{\substack{0 \leq x \leq W-1 \\ 0 \leq y \leq H-1}} S(x, y) \right] \quad (2)$$

式中:\$W, H\$代表显著图的宽和高, \$(x, y)\$代表当前像素点的坐标值, \$S(x, y)\$代表当前像素点的显著值。

3) 将显著图转化成二值图。将原始图像分割成

感兴趣区域及非感兴趣区域,并据此将显著图转换成二值图。

4) 对二值图进行处理,经过上述步骤处理后的二值图出现了孔洞以及一些孤立的像素点。这里通过形态学的膨胀与收缩对孔洞进行处理,并对图像中孤立的点进行中值滤波处理,最终得到与原始图像对应的感兴趣区域。

这里使用LIVE数据库^[9]的图像作为原始图像进行眼动跟踪实验,并对得到的眼动数据进行处理来获取人眼主观眼动观察显著图。原始图像、人眼的注视点、人眼显著图以及感兴趣区域见图1。

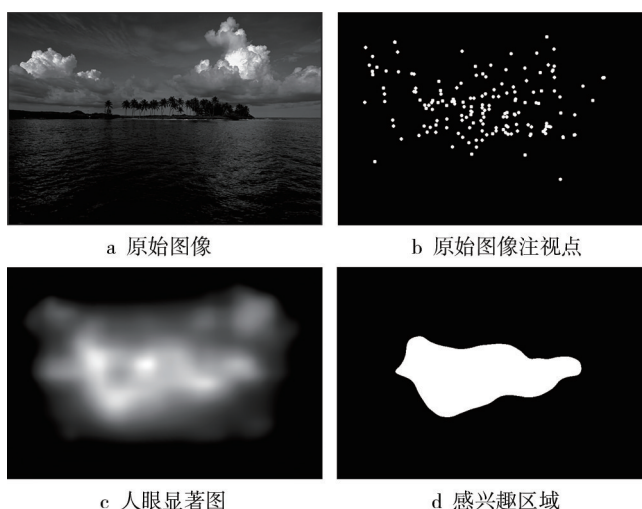


图1 原图像和显著图

Fig.1 Original image and saliency maps

2 基于感兴趣区域的图像质量评价算法

2.1 常见图像质量评价算法

目前常见的质量评价方法主要分为主观评价法^[10]和客观评价法。其中主观评价法的缺点是工作耗时耗力,成本高,因此实用性不强,代表方法有平均主观分数差值(DMOS)法^[10]。客观评价方法^[11-15]的缺点是所得到的评价结果有可能与人眼视觉感知特性不符,不能准确描述人眼视觉感受,代表算法有均方误差(MSE)、归一化均方误差(NMSE)、平均局部方差(ALV)和峰值信噪比(PSNR)等。这里采用峰值信噪比法和平均局部方差法,其测定数值越高,说明图像质量越好。

1) 均方误差(\$E_{MS}\$)计算公式为:

$$E_{MS} = \frac{\sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N [f(i, j) - \hat{f}(i, j)]^2}{MN} \quad (3)$$

2) 峰值信噪比的计算公式为:

$$PSNR = 10 \lg \left[\frac{255^2 MN}{\sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N [f(i,j) - \hat{f}(i,j)]^2} \right] \quad (4)$$

3) 归一化均方误差(E_{NMS})计算公式为:

$$E_{NMS} = \frac{\sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N [f(i,j) - \hat{f}(i,j)]^2}{\sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N [f(i,j)]^2} \quad (5)$$

以上各式中: M 和 N 分别是图像长度和宽度上的像素个数; $f(i,j)$, $\hat{f}(i,j)$ 分别为原始图像和增强图像像素点的灰度值。

2.2 基于感兴趣区域的图像质量评价算法

这里以人眼观察灰度图像为例,在观察灰度图像时,人眼所能感知到的图像信息主要是通过灰度级之间的跃变产生的。跃变的定义是图像中的某一像素点与邻近区域的平均灰度值之间的级差。通过跃变信息变化的情况,即可反映出图像处理后的质量差距以及不同的图像质量评价算法的优劣。

基于感兴趣区域的图像质量评价算法的步骤有以下5步。

1) 根据感兴趣区域的提取方法,将原始图像分为感兴趣区域和非感兴趣区域,通过观察感兴趣区域中信息变化情况对图像质量给出客观的评判结果。

2) 以图像某一像素(x,y)位置为中心,计算该像素周围的背景平均亮度 $I(x,y)$ 和局部空间频率 $F(x,y)$ 。

3) 在局部平均亮度和空间频率的基础上,计算中心像素相对背景平均亮度的跃变强度。

4) 当该中心像素点的跃变强度大于该点的临界可见偏差^[4]时,认为该中心像素点存在着有效的感知跃变,对处理后的图像中的所有像素点进行跃变情况的分析,得到用二值化表示的有效感知跃变分布图。

5) 统计感兴趣区域内有效感知跃变数,从而得到感兴趣区域内的有效感知跃变百分数 P ,并将该指标作为原始图像经过增强或降质后,感兴趣区域内图像的评价指标,其中有效感知跃变百分数 P 值越大,则表明原始图像经过增强后,感兴趣的增强效果越好,或者图像受损程度越小。

3 图像质量评价结果与分析

由于人眼的视觉选择注意特性,使得同一图片上,不同的区域(如感兴趣和非感兴趣区域)内同样的图像质量受损程度,会使人眼产生不同的视觉感受,

见图2—3。



图2 非感兴趣区域受损图



图3 感兴趣区域受损

Fig.2 Damaged figure of region of non-interest Fig.3 Damaged figure of region of interest

比较图2—3可知,同样的高斯模糊,图2的视觉观察效果优于图3。这是因为根据人眼视觉观察特性,人眼在观察图像时,会首先注意到视觉特征比较突出的区域(如图中的彩色帽子部分),因此虽然同样受损,但因区域不同,主观感受不同。基于上述背景,这里利用人眼的视觉特性,基于感兴趣区域对图像质量进行评价。

3.1 主客观算法相关性

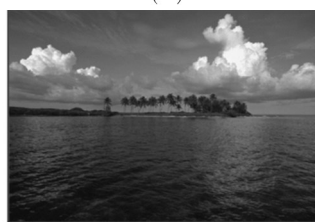
这里采用LIVE数据库^[9]中的原始图像以及加了不同程度的高斯噪声的图像作为测试图像,原图和受损图像分别见图4,括号里的数值代表不同的高斯噪声频率(单位为Hz),各幅图像的受损程度不同。然后用传统的客观评价法和提出的算法分别与平均主观



a (0)



b (0.562 467)



c (0.791 634)



d (1.078 093)



e (1.479 136)



f (5.833 312)

图4 高斯噪声图像

Fig.4 Gaussian noise images

分数差值^[10]进行比较,验证传统客观评价法和提出的新算法与主观视觉评价是否一致。

图像的峰值信噪比值越大,代表图像的质量越好,ALV值越大,也说明图像的质量越好。质量评价结果见表1,其中平均主观分数差值由图像数据库给出,峰值信噪比值、平均局部方差值、*P*值(ROI内有效感知跃变百分数)由Matlab仿真实验得出。由表1可以看出,随着平均主观分数差值的增加,其他3个值逐渐降低,图像质量下降。说明3种方法具有一致性。

表1 高斯噪声图像质量评价结果
Tab.1 Quality evaluation results of Gaussian noise image

评价 指标	平均主观 分数差	峰值信 噪比	平均局 部方差	<i>P</i> / %
a	0	inf	469.6087	0.5068
b	23.4010	33.25	259.4043	0.2255
c	29.1866	32.1800	169.9405	0.1941
d	33.3351	28.9548	114.1309	0.1226
e	46.6893	28.4077	28.1021	0.0835
f	56.1754	24.7474	16.5716	0

以图4b—f为例,绘制高斯噪声图像质量评价曲线图,见图5,其中5个点b—f分别对应图4b—f。图5a—c纵坐标表示平均主观分数差值,横坐标分别表示峰值信噪比,平均局部方差以及有效感知百分数*P*。

1) 从单调性方面可以看出,3种方法在图像低失真区间和高失真区间上都具有良好的单调递减特性,符合一致性的评测结果。在一致性上,传统方法相对拟合曲线的线性程度明显要比这里的方法差。例如,从人眼主观视觉上看,图4e的质量明显要差于图4d的质量。

2) 从图5a看出,d点和e点的峰值信噪比值很接近,不能很好地反映人眼视觉特性。

3) 从图5b看出,e点和f点的平均局部方差值很接近,表示图4e和图4f的平均局部方差值很接近,而实际上,图4e和图4f的质量相差很大,因此平均局部方差值不能很好地保持与人眼视觉观察的一致性。

4) 相比图5a与图5b,图5c较好地表现客观评价与主观评价的线性关系,更能反映主客观评价算法相关性。

传统客观评价法具有局限性,基于感兴趣区域的评价算法结果($P_c < P_e < P_a < P_b < P_d$)与人眼视觉特性一致,因此这里采用基于感兴趣区域的评价算法对图像质量进行评价。

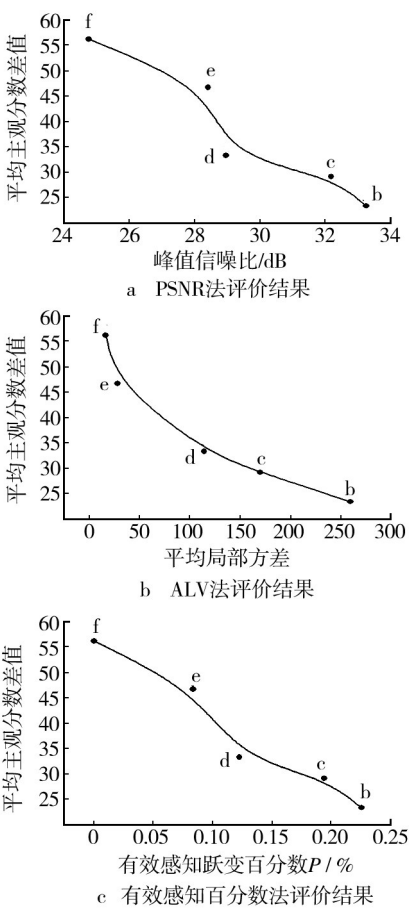


图5 高斯噪声图像3种模型质量评价曲线
Fig.5 Three kinds of quality evaluation graph models for Gaussian noise image

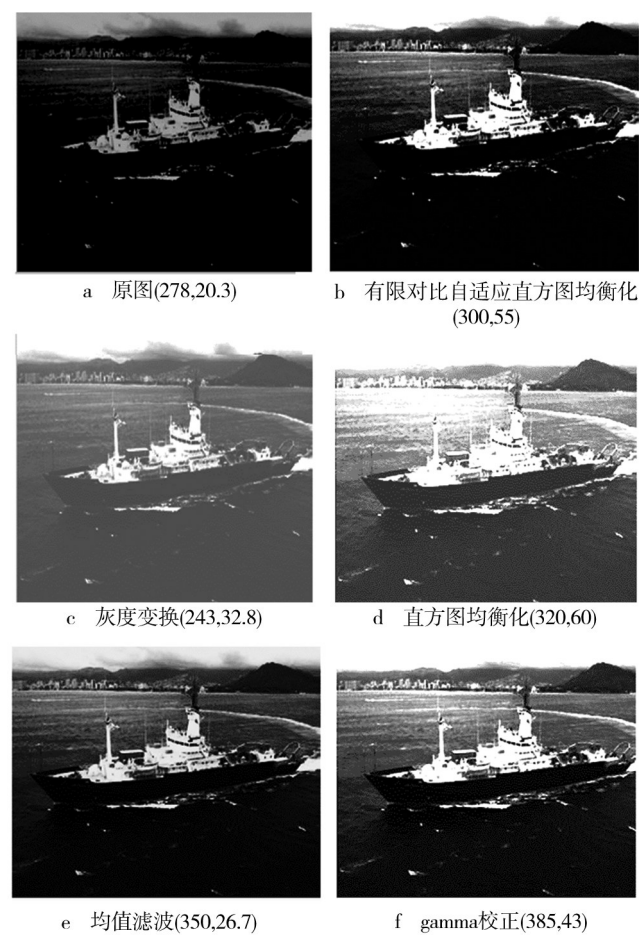
3.2 基于感兴趣区域的图像增强质量评价

目前常用的图像增强算法在增强的过程中往往未考虑人眼视觉感知的特性,直接对图像的整体或局部进行对比度拉伸,可能会导致增强后的图像与人眼视觉感知不符。选择一种合适的质量评价算法来评价增强效果,利用基于感兴趣区域的图像增强质量评价算法对增强后的图像进行测定。

图像来自LIVE图像数据库^[9],原图像的整体亮度较低,分别对原始图像采用不同的图像增强方法,见图6。

根据人眼视觉特性,人眼对暗背景的图像信息敏感度较低,提高灰度级后,虽有一小部分信息损失,但整体变得更易辨别,具有较好的视觉效果。原图与增强图像的平均局部方差值见图7,得到图6a的平均局部方差值大于图6c的平均局部方差值,可见利用平均局部方差方法得到的结果明显与人眼视觉特性不符。

由图6可知,采用不同的图像增强方法对图像进行增强,可统计图像感兴趣区域的有效感知百分数来



注:括号内前一数值代表平均局部方差,后一数值代表有效感知百分数

图6 基于不同方法的图像增强对比

Fig.6 The comparison of image enhancement based on different methods

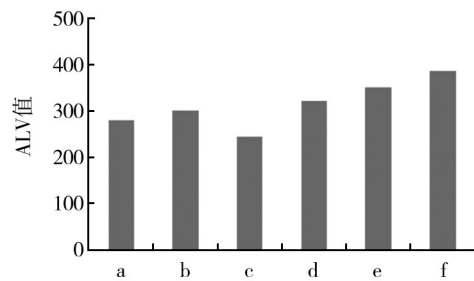


图7 原图与增强图像的ALV值

Fig.7 The ALV value of original image and the enhanced image

评价图像的增强效果。无论采用什么方法增强图像,不同的增强图像的 P 值均大于原图的有效感知百分数,见图8,符合人眼视觉特性,因此可采用基于感兴趣区域的评价算法对图像增强质量进行评价。

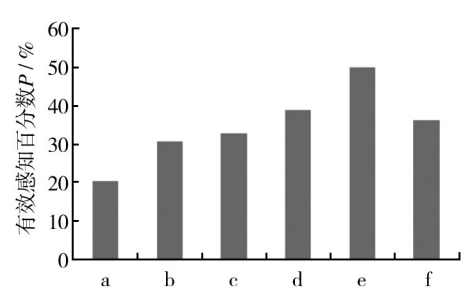


图8 感兴趣区域的有效感知百分数

Fig.8 The percentages of effective perception transitions of region of interest

4 结语

通过将感兴趣区域的概念引入客观质量评价算法,不仅保持了客观算法的建议性,同时提高了与人眼主观评价的相关性。这里介绍了图像质量评价的相关原理和概念,利用常见的客观质量评价算法对图像质量进行评价,在此基础上提出一种新的基于感兴趣区域的图像质量评价新算法,更符合人眼视觉观察特性。

参考文献:

[1] 陈再良. 图像感兴趣区域提取方法研究[D]. 长沙:中南大学,2012.
CHEN Zai-liang. The Study of Research on Region of Interest Extraction[D]. Changsha: Central South University, 2012.

[2] 王晓红,章婷. 一种基于视觉感兴趣区域的彩色图像增强方法[J]. 包装工程,2014,35(3):84—87.
WANG Xiao-hong, ZHANG Ting. Color Image Enhancement Based on Visual Region of Interest[J]. Packaging Engineering, 2014,35(3):84—87.

[3] 凌云,夏军,屠彦. 视觉感兴趣区的提取及其在视频图像质量评估中的应用[J]. 东南大学学报,2009(4):753—757.
LING Yun, XIA Jun, TU Yan. Detection of Region of Interest and Its Application in Video Image Quality Assessment[J]. Journal of Southeast University, 2009(4):753—757.

[4] 王湘晖,曾明. 基于视觉感知的图像增强质量客观评价算法[J]. 光电子·激光,2008(2):258—262.
WANG Xiang-hui, ZENG Ming. A Newmetric for Objectively Assessing the Quality of Enhanced Images Based on Human Visual Perception[J]. Photoelectron · Laser, 2008 (2) : 258—262.

[5] 苗敏婧,易尧华. 基于人眼视觉的无参考彩色图像质量评价方法[J]. 包装工程,2015,36(3):113—118.
MIAO Min-jing, YI Yao-hua. No-reference Color Image Quality Assessment Method Based on HVS[J]. Packaging En-

- gineering, 2015, 36(3): 113—118.
- [6] 邵宇, 孙富春, 李洪波. 基于视觉特性的无参考型遥感图像质量评价方法[J]. 清华大学学报, 2013(4): 550—555.
SHAO Yu, SUN Fu-chun, LI Hong-bo. No-reference Remote Sensing Image Quality Assessment Method Using Visual Properties[J]. Journal of Tsinghua University, 2013(4): 550—555.
- [7] 章婷, 王晓红. 基于视觉底层特征的图像增强方法[J]. 包装工程, 2014, 35(23): 104—109.
ZHANG Ting, WANG Xiao-hong. Image Enhancement Based on Low-level Visual Features in the Visual Region of Interest [J]. Packaging Engineering, 2014, 35(23): 104—109.
- [8] 姚军财. 一种基于 YCrCb 颜色空间和视觉特性的彩色图像水印技术[J]. 包装工程, 2012, 33(9): 111—116.
YAO Jun-cai. Color Image Watermark Technology Based on YCrCb Color Space and Human Vision Characteristics[J]. Packaging Engineering, 2012, 33(9): 111—116.
- [9] SHEIKH H R, WANG Z, CORMACK L, et al. LIVE in the Wild Image Quality Challenge Database[EB/OL]. (2013-11-22) [2015-09-02]. <http://live.ece.utexas.edu/research/quality>, 2013.
- [10] 马丰原. 基于视觉感兴趣区域的图像质量评价算法研究[D]. 西安: 西安科技大学, 2013.
- MA Feng-yuan. Research on Image Quality Assessment Based on Visual Regions of Interest[D]. Xi'an: Xi'an University of Science and Technology, 2013.
- [11] ITTI L, KOCH C. Feature Combination Strategies for Saliency Based Visual Attention Systems[J]. Journal of Electronic Imaging, 2001, 10(1): 161.
- [12] SHEIKH H R, SABIR M F, BOVIK A C. A Statistical Evaluation of Recent Full Reference Image Quality Assessment Algorithms[J]. IEEE Transactions on Image Processing, 2006, 15(11): 3440—3451.
- [13] WANG Z, BOVIK A C, SHEIKH H R, et al. Image Quality Assessment: from Error Visibility to Structural Similarity[J]. IEEE Transactions on Image Processing, 2004, 13(4): 600—612.
- [14] AVCIBAS I, SANKUR B, SAYOOD K. Statistical Evaluation of Image Quality Measures[J]. Journal of Electronic Imaging, 2002, 11(2): 206—213.
- [15] 张雷洪, 杜晓萌, 樊丽萍. 基于主客观视觉感知的图像增强技术[J]. 包装工程, 2015, 36(9): 114—118.
ZHANG Lei-hong, DU Xiao-meng, FAN Li-ping. Image Enhancement Technique Based on Subjective and Objective Visual Perception[J]. Packaging Engineering, 2015, 36(9): 114—118.

(上接第 160 页)

- 法[J]. 包装工程, 2012, 33(21): 113—119.
WANG Xiao-hong, XU Shi-yang. Digital Image Watermarking Algorithm Robustness with Strong Robustness Based on W-SVD[J]. Packaging Engineering, 2012, 33(21): 113—119.
- [20] 张立民, 钟兆根, 彭耿. 基于奇异值分解的多卫星信号盲检测[J]. 电讯技术, 2013(1): 33—38.
ZHANG Li-min, ZHONG Zhao-gen, PENG Geng. Blind Detection of Multi-satellite Signal Based on Singular Value Decomposition[J]. Telecommunication Engineering, 2013(1): 33—38.
- [21] 景丽, 李淑红. 基于空域量化索引调制水印参数定量估算[J]. 计算机科学, 2013, 40(6): 128—131.
JING Li, LI Shu-hong. Quantitative Estimation of the Watermark Parameters Based on the Spatial Domain Quantization Index Modulation[J]. Computer Science, 2013, 40(6): 128—131.
- [22] 叶建兵. 一类SVD水印算法的问题分析及Contourlet域的水印嵌入与检测算法[D]. 南京: 南京理工大学, 2007.
YE Jian-bing. A Class of Problem Analysis of SVD Watermarking Algorithm and Watermark Embedding and Detection Algorithm Based on Contourlet Domain[D]. Nanjing: Nanjing Technology University, 2007.
- [23] 李蓓, 金聪. 基于混沌序列和奇异值分解的鲁棒数字水印算法[J]. 武汉大学学报(理学版), 2007, 53(3): 305—308.
LI Pei, JIN Cong. Robust Digital Watermarking Algorithm Based on Chaotic Sequence and Singular Value Decomposition [J]. Journal of Wuhan University (Natural Science Edition), 2007, 53(3): 305—308.