

## 基于主客观视觉感知的图像增强技术

张雷洪, 杜晓萌, 樊丽萍, 梁东, 赖河木  
(上海理工大学, 上海 200093)

**摘要:** **目的** 提出一种结合客观Itti模型及主观眼动模型进行图像增强的方法。 **方法** 将基于主观和客观人眼视觉特性获取的显著图用于直方图构造中,使用参数将利用客观Itti视觉注意计算模型及主观眼动实验获取数据生成的显著图相结合,基于新的加权系数对图像的相应区域进行调整来实现图像增强,并通过基于视觉感知的客观图像增强质量评价算法对其进行评价。 **结果** 基于视觉感知的客观评价算法表明,通过改变参数 $\lambda$ 取值来调整客观Itti模型及主观眼动模型的比重,可以得到不同的增强效果,当参数 $\lambda=0.7$ 时,提出的方法具有优于基于客观Itti模型和主观眼动模型的图像增强效果。 **结论** 主客观人眼视觉特性结合进行的图像增强优于传统的图像增强算法,具有满意的视觉效果。

**关键词:** 人眼; 视觉特性; 图像增强; 质量评价

**中图分类号:** TS801.3    **文献标识码:** A    **文章编号:** 1001-3563(2015)09-0114-05

### Image Enhancement Technique Based on Subjective and Objective Visual Perception

ZHANG Lei-hong, DU Xiao-meng, FAN Li-ping, LIANG Dong, LAI He-mu  
(University of Shanghai for Science and Technology, Shanghai 200093, China)

**ABSTRACT:** The aim of this study was to propose a method for enhancing the images based on the Itti objective model and eye movement subjective model. The saliency maps were obtained based on the subjective and objective human visual characteristics and used in the construction of histogram, and parameters were adopted to combine the Itti objective visual attention computational model and the saliency maps generated based on the data obtained from eye movement subjective experiments. Then the corresponding regions of the image were adjusted based on the new weighted coefficient to enhance the image, and the objective image enhancement quality assessment algorithm based on visual perception was used for the evaluation. The objective evaluation algorithm based on visual perception showed that by adjusting the proportions of the Itti objective model and eye movement subjective model through changing the value of parameter  $\lambda$ , different enhancement results could be achieved. When  $\lambda=0.7$  the proposed method gave better image enhancement effect than that based on the Itti objective model and eye movement subjective model. Image enhancement based on combined subjective and objective human visual characteristics was better than the traditional image enhancement algorithms, and showed satisfactory visual effect.

**KEY WORDS:** human eye; visual characteristics; image enhancement; quality assessment

图像增强的目的是为了改善图像整体或局部的视觉效果,包括扩大图像对比度或提高图像清晰度等<sup>[1]</sup>。传统基于直方图的图像增强往往未考虑人眼视觉特性<sup>[2-4]</sup>,增强后效果往往不符合视觉感知。曾

明等人利用Itti视觉注意计算模型对图像显著性进行分析,提出一种新的基于灰度级信息量直方图的增强算法,将视觉注意机制引入到直方图构造中<sup>[5]</sup>;王晓红等人利用眼动仪设备获取图像显著信息,在此

收稿日期: 2014-11-27

基金项目: 上海理工大学人文社会科学基金(1F-13-309-001)

作者简介: 张雷洪(1981—),男,江苏泰兴人,博士,上海理工大学副教授、硕士生导师,主要研究方向为数字图像。

基础上进行直方图调整,从而实现图像增强<sup>[6]</sup>。Itti模型能够比较准确地提取图像中的显著区域,但缺点是所获取的显著区域与人眼真正感兴趣区域存在一定误差。通过人眼主观观察的眼动实验,所得到的人眼感兴趣区域数据是比较准确有效的,缺点是需大量的人力和时间,适用范围大大受限<sup>[7]</sup>。这里,结合主客观视觉注意模型获取的显著图,引入参数 $\lambda$ ,通过改变 $\lambda$ 来平衡两部分所占比重,将其作为新的加权系数,在此基础上进行直方图调整,实现图像增强。并通过基于视觉感知的客观图像增强质量评价算法对其进行评价。

## 1 基于主客观视觉感知的图像增强方法

### 1.1 视觉感兴趣区域获取

1) 视觉选择注意计算模型。在视觉选择注意计算模型中,最具代表性的为Itti的显著图模型<sup>[8]</sup>。该模型主要是针对数字图像的初级视觉特征,如亮度、颜色及运动等特征进行提取,然后将生成的显著图进行合并,得到原图像的显著图。作为客观的视觉选择注意计算模型,Itti模型比以往视觉选择注意计算模型更能准确地显示图像的显著区域,但缺点是计算量大,所获取的显著区域与人眼真正感兴趣的区域存在误差。

2) 基于眼动实验获取的显著图。眼动仪是心理学研究领域的重要仪器,眼动实验作为视点跟踪技术的一种,目前在计算机视觉领域起着非常重要的作用。在观察图像时,人们并非对图像的所有信息都感兴趣,真正关注的只是图像中的某些区域,这些区域通常被称为感兴趣区域(Region of Interest, ROI)<sup>[9]</sup>。通过认知心理学和反复试验得知,眼动实验获取的图像感兴趣区域真实度最高,也最能反映人眼在观察图像时的特性。

将眼动仪使用在眼动实验中,记录人们在观察图像时的眼动感知信息,包括注视开始和结束时间,以及注视点的位置、坐标等,这些数据表示了人们在观察图像时的眼球运动轨迹及其他视觉信息。通过分析眼动数据后所得到的图像ROI就是人们在观察图像时真正感兴趣的区域。

### 1.2 基于主客观视觉感知的图像增强步骤

基于主客观视觉感知的图像增强具体步骤如下所述。

1) 分别通过Itti模型和眼动实验对图像进行处理,得到客观与主观视觉选择注意全局显著图。将显著图分别进行区域划分(通常划分为 $6 \times 6$ 个子区域),求取各区域的平均显著值,显著度不同各子区域的平均显著值也不同。

2) 对平均显著值进行归一化处理,得到相对显著度,将其作为子区域的加权统计系数。对各子区域的灰度级像素个数进行统计。将各子区域加权系数与该区域灰度级像素的统计值相乘,然后将各子区域的加权统计值相加,得到灰度信息量直方图,并进行均衡化。

3) 引入参数 $\lambda$ ,将主观眼动仪实验所获取的子区域加权统计系数 $a_i(i=1,2,3\cdots 36)$ 引入到Itti客观模型的加权统计系数 $b_i(i=1,2,3\cdots 36)$ 中,校正Itti模型因没有上层任务指导,使得获取的显著区域与目标区域出现偏差的情况。基于Itti模型和眼动实验所获得图像的第 $i$ 个子区域的相对显著分别为 $a_i$ 和 $b_i$ ,新的显著模型中图像第 $i$ 个子区域的显著度为 $\lambda a_i + b_i$ ,将其归一化后作为子区域的加权统计系数。

4) 将新的加权统计系数引入原图像进行直方图调整,得到增强后的图像。

## 2 基于视觉感知图像增强对比实验

实验选用基于客观Itti模型、主观眼动实验及主客观人眼视觉特性结合后的显著图进行图像增强,并进行对比测试。

### 2.1 基于Itti模型及眼动实验的显著图

获取的原始图像及显著图见图1。获取显著图的灰度值越高,代表该区域的显著程度越高。可见,图1b中显著区域主要集中在色彩、形状及亮度等初级视觉特征比较突出的云彩与树林部分;图1c中显著程度最高的部分主要集中在树林及周围的海面部分。2幅显著图的区域大小并不完全相同,显著程度也有较大差别,因此,基于2幅显著图进行增强后的图像也会有所不同。

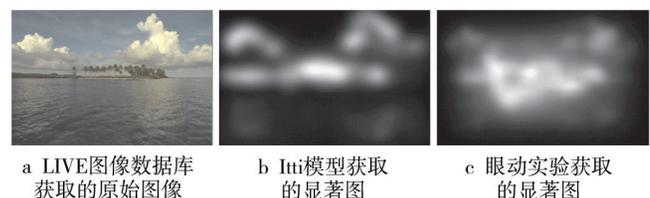


图1 原始图像及显著图

Fig.1 Original image and saliency maps

## 2.2 直方图调整后的图像

利用客观 Itti 模型和眼动实验所获取的显著图,对原图像进行直方图调整后的图像见图2。



图2 直方图调整后的图像

Fig.2 Original image and enhanced images

由图2可知,原图像中显著度高的区域得到了明显增强,显著度低的区域被压缩,这使得细节丰富的高信息区得到增强,信息量较少的背景区域得到压缩。主要是因为图像中各子区域的相对显著度被量化,经过加权处理后,包含高信息量的灰度级动态范围被扩大,包含较低信息量的灰度级动态范围被压缩,保证了人眼感兴趣区域对应的灰度级得到了合理有效的优化,使得调整后的图像更符合视觉感知。

结合 Itti 模型与眼动实验获取新的加权统计系数。其中,在新的显著模型中,图像第  $i$  个子区域的相对显著度为归一化后的  $\lambda a_i + b_i$ 。分别取  $\lambda$  为 0.3、0.5 和 0.7,将其应用于原图像进行直方图调整,观察不同  $\lambda$  取值对图像增强的影响。增强后的图像见图3。

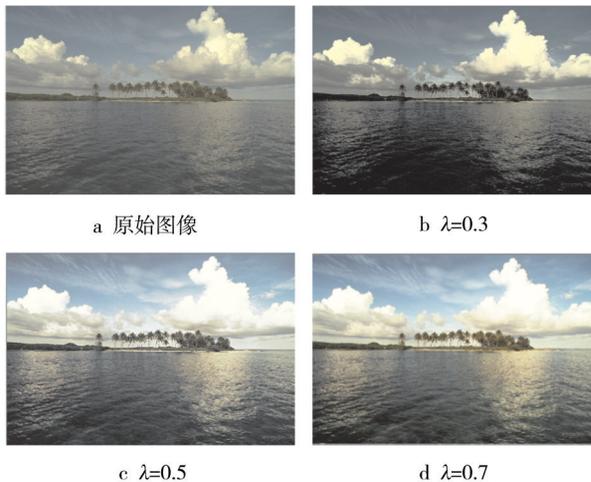


图3 Itti模型与眼动实验结合增强后的图像

Fig.3 Image enhancement based on combined Itti model and eye movement experiments

从图3可知,Itti模型与眼动实验二者结合后对图像进行直方图调整,可以得到更好的增强效果。同时,参数取值不同,所得到的图像增强效果也不同。当主观眼动实验的比重较大时,所得到的图像增强更

明显。这主要是因为获取显著图的过程中,主观眼动实验是从人眼观察中直接提取的数据,而 Itti 模型则是根据图像的亮度、颜色及运动等客观显著指标生成的显著图,而人眼在观察过程中除了关注图像的亮度、颜色及运动等初级视觉特征外,视觉注意还受到大脑自顶向下的任务指导。由此可见,虽然二者结合可以得到更好的增强效果,但当客观模型显著度比重较大时,可能会使得增强后的图像出现目标区域略有偏差的情况。为了客观评价图像的增强效果,下面采用客观的图像质量方法定量地对增强后的图像进行评价。

## 3 图像增强效果评价算法

### 3.1 常用图像质量客观评价方法

目前,常用的客观评价方法有峰值信噪比法<sup>[13-14]</sup>(PSNR)、平均局部方差法(ALV)等,其主要原理是以增强图像与原始图像的绝对偏差来衡量图像增强的质量,从总体上反映了增强图像和原始图像之间的差别,测定数值越高,说明图像增强效果越好。其中,峰值信噪比 PSNR( $r_{\text{PSNR}}$ )的计算公式为:

$$r_{\text{PSNR}} = 10 \lg \frac{256 \times 256}{\left[ \sum_{1 \leq i \leq M, 1 \leq j \leq N} (f_{ij} - f_{ij}^i)^2 \right] / (HW)} \quad (1)$$

式中: $f_{ij}$ 、 $f_{ij}^i$  分别为原始图像和增强图像像素点的灰度值。

### 3.2 基于视觉感知的图像增强质量评价方法

常用的客观质量评价算法主要考虑图像信息的绝对偏差,而非人眼视觉的偏差,因此,与人眼主观观察结果多有误差,而主观观察法具有需要观察人数多、实验时间长等缺点。基于视觉感知的评价算法既具有符合人眼视觉的特性,同时又具备评价效率高、通用性强等优点,因而越来越多地被用于图像增强质量评价中。

基于视觉感知的评价算法是将图像分为细节区和平滑区,通过考察细节区信息增强情况对图像增强的效果,给出客观评判结果。以像素  $(x, y)$  位置为中心,分别计算出该像素周围背景平均亮度  $I(x, y)$  和局部空间频率  $F(x, y)$ 。在局部平均亮度和空间频率基础上,计算中心像素相对背景平均亮度的跃变强度。当跃变强度大于给定阈值时,可判断该位置存在有效的感知跃变,对增强图像所有像素位置的跃变情况进行分析,得到二值化表示的有效感知跃变分布图,统

计细节区内有效感知跃变数,得到该区域有效感知跃变百分数 $P$ ,将 $P$ 作为细节区增强效果的评价指标, $P$ 值越大表明细节区增强效果越好。

### 3.3 图像增强质量评价结果与分析

#### 3.3.1 常用图像质量客观评价

通过常用的客观评价方法PSNR、ALV来对原始图像及增强图像进行评价,评价结果见图4。

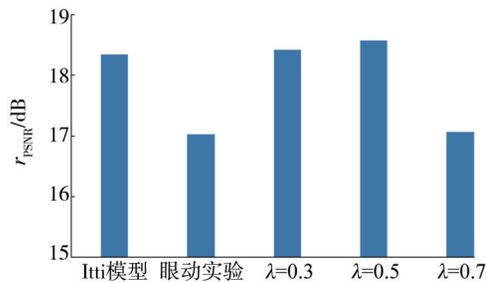


图4 增强后图像的PSNR值

Fig.4 The PSNR values of enhanced images

见图4,当参数 $\lambda=0.5$ 时,Itti模型与眼动实验结合后进行的图像增强质量要高于基于Itti模型或眼动实验进行的图像增强。从理论上来说,相对于客观Itti视觉模型,主观眼动实验所获取的人眼感兴趣区域的数据更为准确,增强后的图像质量视觉效果也更好。然而从图4可知,基于眼动实验增强后图像的PSNR值小于基于Itti模型增强后图像的PSNR值,其原因在于PSNR值作为一种客观图像的质量评价指标,仅考虑图像信息变化的绝对偏差,并未将人眼的视觉特性考虑在内。

首先采用边缘检测算法Canny将原始图像及增强后的图像分为细节区和平滑区,然后采用ALV方法对原始图像进行测量,测量后的ALV值为470;再对增强后图像的细节区利用ALV方法进行测定,结果见图5。

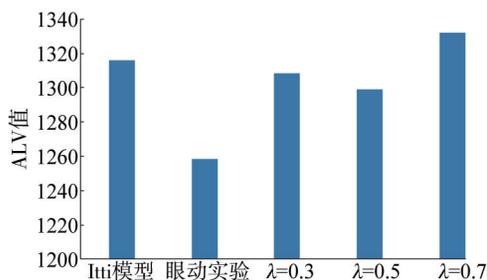


图5 增强后图像的ALV值

Fig.5 The ALV values of enhanced images

由图5可见,增强后图像的ALV值均远远高于原图像的ALV值470,说明基于以上模型进行的直方图

调整均起到了增强效果,并且参数 $\lambda=0.7$ 时,Itti模型与眼动实验结合后的ALV值最高,增强效果最好,说明将Itti模型与眼动实验结合可以得到优于分别基于Itti模型、眼动实验进行的图像增强。与利用PSNR方法进行评价的结果类似,相对于客观Itti视觉模型,主观眼动实验所获取人眼感兴趣区域的数据更为准确,增强后的图像质量视觉效果在理论上应该更好。然而,图5结果也显示,基于眼动实验增强后的图像ALV值小于基于Itti模型增强后的图像ALV值,其原因在于,ALV通过测算图像的平均局部方差来分析图像的增强效果,并未考虑人眼视觉的感知特点。

作为常用的客观质量评价方法,PSNR方法和ALV方法计算简单,评价效率高,但因未考虑人眼视觉特性,只考虑图像信息的绝对偏差,评价结果可能出现与主观观察不一致的情况。因此,为了得到更符合人眼视觉特性的图像质量评价结果,下面采取基于视觉感知的图像质量评价方法对原始图像及增强图像进行评价。

#### 3.3.2 基于视觉感知的图像增强质量评价

通过基于视觉感知的客观评价算法对原始图像进行测定,原始图像的有效感知为50.68%,利用基于视觉感知的图像增强质量评价算法对增强后的图像进行测定,结果见图6。

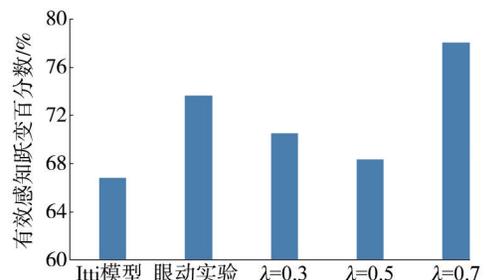


图6 图像细节区的有效感知跃变百分数

Fig.6 The percentages of effective perception transitions of detail areas

由图6可知,基于Itti模型、眼动实验及二者结合后进行直方图调整后的有效感知跃变百分数分布在60%~80%之间,均高于原图像的50.68%,即基于以上模型进行的直方图调整都可以使图像得到增强,基于眼动实验进行的增强,有效感知跃变数高于基于Itti模型进行的增强,符合人眼视觉特性的理论背景。参数 $\lambda$ 不同,以及客观Itti模型和主观眼动实验模型所占的比重不同,得到的有效感知百分数数也不同,其中参数 $\lambda=0.7$ 时,二者结合后的有效感知百分数高于分别基于Itti模型和眼动实验的有效感知百分数,说

明在选取的  $\lambda$  为 0.3, 0.5 和 0.7 中,  $\lambda = 0.7$  时图像的增强效果最好, 具有最佳的人眼视觉效果。

#### 4 结语

将参数  $\lambda$  引入到权重系数构造中, 提出了一种结合客观 Itti 模型及主观眼动模型进行图像增强的方法, 并利用基于视觉感知的图像增强质量评价方法进行评价。当参数  $\lambda = 0.7$  时, 提出的方法具有优于基于客观 Itti 模型、主观眼动模型的图像增强效果。通过改变  $\lambda$  取值来调整客观 Itti 模型及主观眼动模型的比重, 可以得到不同的增强效果。后续将通过进一步的实验, 研究改进客观视觉特性模型与主观视觉特性模型的加权方式和增强算法, 以获得理想的图像增强效果。

#### 参考文献;

- [1] 金小贤, 李卫军, 陈旭, 等. 一种基于视觉特性的仿生图像增强算法[J]. 计算机辅助设计与图形学学报, 2010, 22(3): 534—537.  
JIN Xiao-xian, LI Wei-jun, CHEN Xu, et al. An Algorithm for Biomimetic Image Enhancement Based on Human Visual Property[J]. Journal of Computer-aided Design & Computer Graphics, 2010, 22(3): 534—537.
- [2] 申静. 一种基于人眼感知特性的彩色图像压缩算法[J]. 包装工程, 2014, 35(19): 93—97.  
SHEN Jing. A Color Image Compression Algorithm Based on Human Perception Characteristics[J]. Packaging Engineering, 2014, 35(19): 93—97.
- [3] 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.
- [4] 何颂华, 张刚, 陈桥, 等. 基于 BP 神经网络的多基色打印机光谱特性化[J]. 包装工程, 2014, 35(13): 110—115.  
HE Song-hua, ZHANG Gang, CHEN Qiao, et al. Spectral Characterization of Multicolor Printer Based on BP Neural Network [J]. Packaging Engineering, 2014, 35(13): 110—115.
- [5] 曾明, 孟庆浩, 王湘晖, 等. 视觉注意机制在图像增强中的应用研究[J]. 光子学报, 2009, 38(5): 1283—1287.  
ZENG Ming, MENG Qing-hao, WANG Xiang-hui, et al. Image Enhancement Based on Visual Attention Mechanisms. [J]. Acta Photonica Sinica, 2009, 38(5): 1283—1287.
- [6] 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.
- [7] 凌云, 夏军, 屠彦, 等. 视觉感兴趣区域的提取及在视频图像质量评估中的应用[J]. 东南大学学报: 自然科学版, 2009, 39(4): 753—757.  
LING Yun, XIA Jun, TU Yan, et al. Detection of Region of Interest and its Application in Video Image Quality Assessment[J]. Journal of Southeast University: Natural Science Edition, 2009, 39(4): 753—757.
- [8] ITTI L, KOCH C. Feature Combination Strategies for Saliency Based Visual Attention Systems[J]. Journal of Electronic Imaging, 2001, 10(1): 161.
- [9] 陈再良, 邹北骥, 黄敏之, 等. 图像亮度特征对 ROI 提取的影响[J]. 中南大学学报: 自然科学版, 2012, 43(1): 208—214.  
CHEN Zai-liang, ZOU Bei-ji, HUANG Min-zhi. Influence of Intensity Feature on ROI Extraction[J]. Journal of Central South University: Science and Technology, 2012, 43(1): 208—214.
- [10] SHEIKH H R, WANG Z, CORMACK L, et al. LIVE Image Quality Assessment Database Release2 [EB/OL]. [2014-09-28]. <http://live.ece.utexas.edu/research/quality>.
- [11] SHEIKH H R, SABIR MUHAMMAD F, BOVIK ALAN C.A Statistical Evaluation of Recent Full Reference Image Quality Assessment Algorithms[J]. IEEE Transactions on Image Processing, 2006, 15(11): 3440—3451.
- [12] WANG Zhou, BOVIK ALAN 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.
- [13] 王勇, 王学庆, 赵晓晖. 图像质量评价的复数矩阵结构相似度方法[J]. 仪器仪表学报, 2014, 35(5): 1118—1129.  
WANG Yong, WANG Xue-qing, ZHAO Xiao-hui. Objective Image Quality Assessment Based on Complex Matrix Structure Similarity, 2014, 35(5): 1118—1129.
- [14] 申静. 基于人眼对比度视觉特性的彩色图像水印技术研究[J]. 包装工程, 2014, 35(3): 78—83.  
SHEN Jing. Color Image Watermark Technology Based on Contrast Sensitivity of Human Vision System[J]. Packaging Engineering, 2014, 35(3): 78—83.
- [15] MING Zeng, JIAN Liu, LI You-fu, et al. Keypoin-based Enhanced Image Quality Assessment[C]// Communications in Computer and Information Science, Part II, 2011: 420—427.