



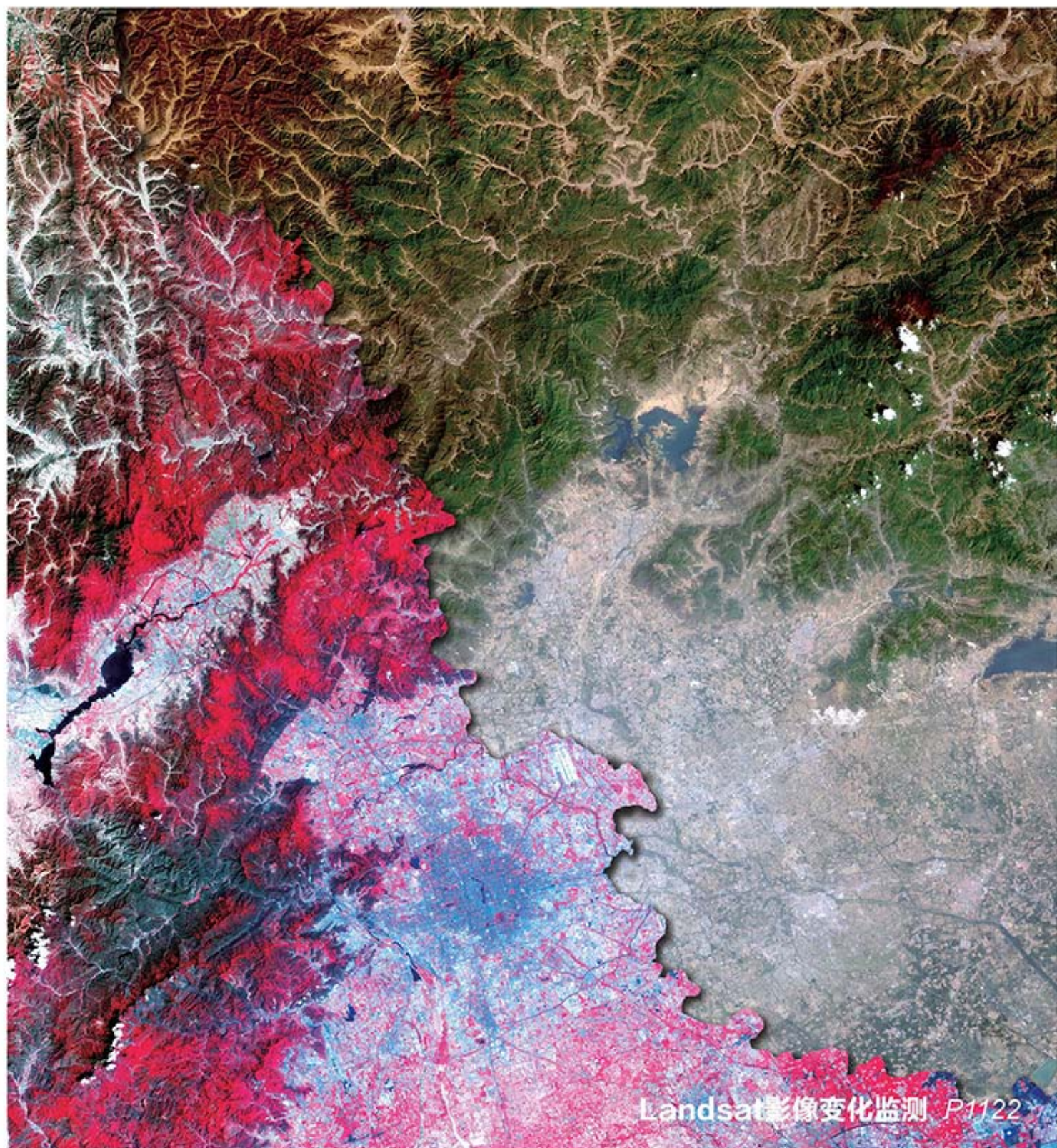
JOURNAL OF IMAGE AND GRAPHICS

主办: 中国科学院遥感与数字地球研究所
中国图象图形学学会
北京应用物理与计算数学研究所

中国图象图形学报

2015
08
VOL.20

ISSN1006-8961
CN11-3758/TB



Landsat影像变化监测 P1122



第20卷第8期（总第232期）

2015年8月16日

中国精品科技期刊
中国国际影响力优秀学术期刊
中国科技核心期刊
中文核心期刊

版权声明

凡向《中国图象图形学报》投稿，均视为同意在本刊网站及CNKI等全文数据库出版，所刊载论文已获得著作权人的授权。本刊所有图片均为非商业目的使用，所有内容，未经许可，不得转载或以其他方式使用。

Copyright

All rights reserved by Journal of Image and Graphics, Institute of Remote Sensing and Digital Earth, CAS. The content (including but not limited text, photo, etc) published in this journal is for non-commercial use.

主管单位 中国科学院

主办单位 中国科学院遥感与数字地球研究所

中国图象图形学学会

北京应用物理与计算数学研究所

主 编 李小文

编辑出版《中国图象图形学报》编辑出版委员会

邮政信箱 北京9718信箱

邮 编 100101

电子信箱 jig@radi.ac.cn

电 话 010-64807995

网 址 www.cjig.cn

广告经营许可证 京朝工商广字第0361号

总 发 行 北京报刊发行局

订 购 全国各地邮局

海外发行 中国国际图书贸易集团有限公司

（邮政信箱：北京399信箱 邮编：100048）

印刷装订 北京科信印刷有限公司

Journal of Image and Graphics

Title inscription: Song Jian

Monthly, Started in 1996

Superintended by Chinese Academy of Sciences

Sponsored by Institute of Remote Sensing and Digital Earth, CAS

China Society of Image and Graphics

Institute of Applied Physics and Computational Mathematics

Editor-in-Chief LI Xiaowen

Editor, Publisher Editorial and Publishing Board of Journal of Image and Graphics

P.O.Box 9718, Beijing, P.R.China

Zip code 100101

E-mail jig@radi.ac.cn

Telephone 010-64807995

Website www.cjig.cn

Distributed by Beijing Bureau for Distribution of Newspapers and Journals

Domestic All Local Post Offices in China

Overseas China International Book Trading Corporation
(P.O.Box 399, Beijing 100048, P.R.China))

Printed by Beijing Kexin Printing Co., Ltd.

CN 11-3758/TB

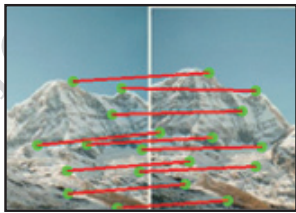
ISSN 1006-8961

CODEN ZTTXFZ

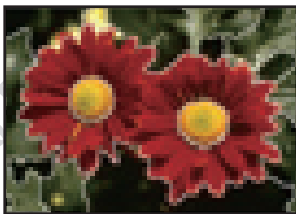
国外发行代号 M1406

国内邮发代号 82-831

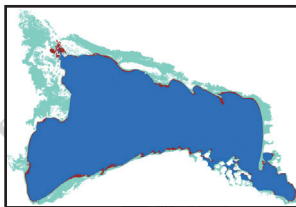
国内定价 50.00元



利用Hough变换的匹配对提纯
(第1017页)



结合格式塔完形规则的自然图像分割(第1026页)



利用长时间序列Landsat分析
博斯腾湖面积变化(第1122页)

图像处理 and 编码

CRT显示图像的色彩管理新模型

黎新伍, 王根生 0993

邻域窗口权重变分的图像修复

王猛, 翟东海, 聂洪玉, 王佳君 1000

自适应滤波窗实现距离加权图像椒盐噪声滤除

林亚明, 李佐勇, 林叶郁, 徐戈 1008

利用Hough变换的匹配对提纯

谢亮, 陈姝, 张钧, 田金文 1017

图像分析和识别

结合格式塔完形规则的自然图像分割

曾接贤, 王玉 1026

融合Kernel PCA形状先验信息的变分图像分割模型

杨建功, 汪西莉, 李虎 1035

基于2维灰度熵阈值选取快速迭代的图像分割

吴诗姘, 吴一全, 周建江, 孟天亮, 戴一冕 1042

基于图像线特征和点云面特征的水下人造目标定位

解则晓, 潘成成, 迟书凯, 魏征 1051

熵能量堆煤图像的定位与识别

袁姮, 王志宏, 姜文涛 1062

时空运动显著性的目标跟踪

谢昭, 刘玉敏, 张骏, 段士雷 1070

结合整体一致性和局部差异性的图像目标显著性检测

张小祥, 马儒宁 1083

基于Radon-经验模式分析的纹理分类

徐卓飞, 张海燕, 刘凯, 侯和平, 徐倩倩, 李利峰 1091

遥感图像处理

四叉树分块的高光谱图像分布式无损编码

王相海, 张智迪, 宋传鸣 1102

基于流形学习的彩色遥感图像分维数估算

王洪波, 罗贺, 王晓佳 1110

利用长时间序列Landsat分析博斯腾湖面积变化

孙爱民, 冯钟葵, 葛小青, 罗宇, 李山山, 闫芳, 冯旭祥 1122

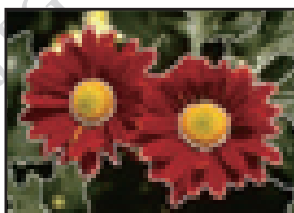
封面图片由中国科学院遥感与数字地球研究所卫星地面系统工程部李山山副研究员提供

CONTENTS

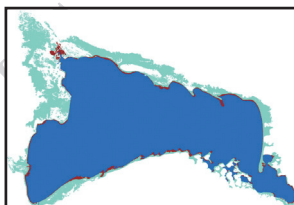
JOURNAL OF IMAGE AND GRAPHICS



Purifying algorithm for rough matched pairs using Hough transform (P1017)



Natural image segmentation method based on Gestalt rules (P1026)



Bosten Lake surface area changes analysis using long temporal Landsat image series (P1122)

Image Processing and Coding

- Color management model for CRT color image
Li Xinwu, Wang Gensheng 0993
- Image inpainting with weight variation of neighborhood window
Wang Meng, Zhai Donghai, Nie Hongyu, Wang Jiajun 1000
- Distance-weighted approach based on self-adaptive windows to remove salt and pepper noise in images
Lin Yaming, Li Zuoyong, Lin Yeyu, Xu Ge 1008
- Purifying algorithm for rough matched pairs using Hough transform
Xie Liang, Chen Shu, Zhang Jun, Tian Jinwen 1017

Image Analysis and Recognition

- Natural image segmentation method based on Gestalt rules
Zeng Jiexian, Wang Yu 1026
- Variational image segmentation incorporating Kernel PCA-based shape priors
Yang Jiangong, Wang Xili, Li Hu 1035
- Image segmentation based on the fast iteration for two-dimensional gray entropy threshold selection
Wu Shihua, Wu Yiquan, Zhou Jianjiang, Meng Tianliang, Dai Yimian 1042
- Underwater man-made object localization based on line feature of image and surface feature of point cloud
Xie Zexiao, Pan Chengcheng, Chi Shukai, Wei Zheng 1051
- Coal pile location and recognition method based on entropy energy
Yuan Heng, Wang Zhihong, Jiang Wentao 1062
- Spatio-temporal motion saliency for object tracking
Xie Zhao, Liu Yumin, Zhang Jun, Duan Shilei 1070
- Image target saliency detection by combining the global consistency and local difference
Zhang Xiaoxiang, Ma Runing 1083
- Texture classification based on Radon-empirical mode decomposition analysis
Xu Zhuofei, Zhang Haiyan, Liu Kai, Hou Heping, Xu Qianqian, Li Lifeng 1091

Remote Sensing Image Processing

- Lossless distributed source coding of hyperspectral images based on quadtree segmentation
Wang Xianghai, Zhang Zhidi, Song Chuanming 1102
- Estimation research for fractal dimension of color remote sensing image based on manifold learning
Wang Hongbo, Luo He, Wang Xiaojia 1110
- Bosten Lake surface area changes analysis using long temporal Landsat image series
Sun Aimin, Feng Zhongkui, Ge Xiaoqing, Luo Yu, Li Shanshan, Yan Fang, Feng Xuxiang 1122

中图法分类号: TP391 文献标识码: A 文章编号: 1006-8961(2015)08-1083-08

论文引用格式: Zhang X X, Ma R N. Image target saliency detection by combining the global consistency and local difference[J]. Journal of Image and Graphics, 2015, 20(8): 1083-1090. [张小祥, 马儒宁. 结合整体一致性和局部差异性的图像目标显著性检测[J]. 中国图象图形学报, 2015, 20(8): 1083-1090.] [DOI: 10. 11834/jig. 20150811]

结合整体一致性和局部差异性的 图像目标显著性检测

张小祥, 马儒宁

南京航空航天大学理学院, 南京 211100

摘要: 目的 为准确描述图像的显著信息, 提出一种结合整体一致性和局部差异性的显著性检测方法, 并将显著性特征融入到目标分割中。方法 首先, 利用频率调谐法(IG)对目标整体特征的一致性进行显著性检测。然后, 引入 NIF 算法检测显著目标的局部差异性。最后结合两种算法形成最终的显著性检测方法, 并应用于图像目标分割。结果 在公认的 Weizmann 数据集上验证本文方法显示目标的绝对效率并与其他算法对比, 实验结果表明本文方法在精确率, 召回率, F1-measure(分别为 0.445 6, 0.751 2, 0.576 4)等方面优于当前流行的算法。并且在融合显著性的图像目标分割中, 取得满意的实验结果。结论 提出一种新的显著性检测算法, 综合体现目标的整体和局部特征, 并在公开数据集上取得较高的统计评价。实验结果表明, 该算法能够对自然图像进行较准确的显著性检测, 并成功地应用于自然图像的目标分割。

关键词: 整体一致性; 局部差异性; 视觉显著性; 相似性度量; 目标分割

Image target saliency detection by combining the global consistency and local difference

Zhang Xiaoxiang, Ma Runing

1. College of Science, Nanjing University of Aeronautics and Astronautics, Nanjing 211100, China

Abstract: **Objective** Visual saliency, which is a relative property that depends on the degree of difference between a pixel or a region and its background, is difficult to obtain accurately. IG approach, a global-based contrast method, achieves good results on a public dataset. However, this method ignores important local details and inhibits contrast definition between target and background. Thus, this method needs to be improved in terms of the local details. This study proposes a novel saliency detection method based on global consistency and local difference, in which global contrast and local difference are considered two factors for saliency detection. In addition, the application of saliency characteristics to target segmentation is proposed and has achieved better experimental results. **Method** Different angles show different saliency characteristics. Thus, we compute image saliency from two angles: global feature and local details. The method consists of three basic steps. First, we detect the global consistency by IG, and the global saliency value of the target is achieved by the detection. However, to avoid ignoring the local details and inhibiting the contrast definition between the target and background, we propose the use of the NIF algorithm to overcome the drawbacks of IG. Second, we introduce the NIF method to detect the local difference of the target. Concretely, each pixel is the center pixel, and the square neighborhood of each

收稿日期: 2015-02-12; 修回日期: 2015-04-29

第一作者简介: 张小祥(1991—), 男, 南京航空航天大学应用数学硕士研究生, 主要研究方向为图像处理。E-mail: 731322268@qq.com

通信作者: 马儒宁, 副教授, E-mail: mrning@nuaa.edu.cn

center pixel is taken as its local scope. Thus, for every pixel, we can obtain corresponding local difference values in relation to its local scope. Finally, we derive the final saliency value by combining the saliency values that originate from the global and local contrasts. **Result** The saliency map produced by the proposed algorithm achieved a consistent effect compared with artificial segmentation map. To verify the efficiency of the proposed method, experiments are performed using MSRA-1 000 dataset, which is one of the largest public available datasets. Results show that our method outperforms several existing salient object detection methods in terms of precision, recall and F-feature. In comparison with other popular algorithms, our algorithm has a higher efficiency in image segmentation. **Conclusion** In this paper, we propose a novel saliency detection method, which treats an image as being composed of global consistency and local difference. We mainly focus on the problem of the local difference of the target and combine both global contrast and local difference for final saliency detection. Compared with some popular methods on a public dataset, our approach achieves the best results in terms of saliency measure evaluation. Furthermore, it obtains good performance in integrating saliency feature in image segmentation. Experimental results show that the algorithm can detect natural images more accurately and can be successfully applied to natural image segmentation.

Key words: global consistency; local difference; visual saliency; similarity measure; target segmentation

0 引言

视觉注意是人类及灵长类动物具有的内在属性,也是人类视觉一项重要的心理调节机制,心理学及神经生物学上将视觉注意机制分为两个方面^[1]:自底向上,和自顶向下。因此,人们能在图像中很容易地注意到感兴趣的区域,并分辨出重要的部分,而这些区域通常称为显著性区域。在图像处理和分析中,将图像中的显著性区域提取出来,有侧重地对整幅图像进行分析,进而可以显著地提高在图像应用上的效率,例如图像分类、目标检测、图像分割、目标识别等^[2-6]。

自 Itti 等人^[7]提出了自底向上的显著性模型(IT),关于图像视觉显著性的研究得到了快速发展,众多研究者建立了许多显著性模型。这些方法虽基于不同的理论,但在计算过程中都考虑到局部或整体的对比,然而就其凸显目标整体一致性和局部差异性的效果仍然存在一些缺点。其中注重局部对比的如 IT 算法、Achanta 等人^[5]提出的基于全分辨率的算法(AC)、Ma 等人^[8]提出的模拟视觉感知流程进行显著性检测的算法(MZ)等。虽较好地保持目标的轮廓,然而细节部分的对比不够明显,并且由于局部特征的对比导致了边缘信息突出。仅考虑目标整体的算法如,谱残差法(SR)^[9]、频率调谐法(IG)^[10]等,虽体现了目标的整体性,但是显著区域中显著的位置受到了抑制,并且没有对比出目标的局部差异性。将两者结合的算法如 Liu 等人^[12]提

出的算法、Goferman 等人^[11]提出的 CA (context-aware) 算法,由于考虑上下文的影响而没有凸显目标的显著区域以及局部细节的对比,同样会影响显著区域的准确提取。

基于对上述显著性检测方法的分析,在度量和计算显著性区域时,其整体和局部的角度会反映出不同的显著特性。综合注重显著目标的整体一致性和局部差异性,可以准确把握显著区域的综合特征,获得图象的整体和局部的显著性信息,可以更加准确地描述图像的显著目标。由于 IG 算法保持良好的目标整体性,但忽略局部细节的对比,抑制了显著区域。为此引入一种新的加强局部差异处理的 NIF (neighborhood inhomogeneity factor)^[13] 算法。再将两者充分结合而得到一种新的显著性检测方法,从而达到同时把握目标整体性和局部差异性的效果。将显著性信息应用到目标分割上,同样取得较为满意的实验结果。

1 基于整体一致性和局部差异性的显著性检测

一些显著性检测方法^[7,9,14-15]未能正确地检测出目标的边缘,进而限制了显著性的准确提取。这是由于这些算法都进行了图像尺度缩减操作,近似地将图像的归一化频谱减半,使原图像空间频率内容被连续地过滤减少。那么在那样的频段范围中,直流成分将随着图像中高频部分一起被过滤了,因此检测到的显著图中保留了很少原图中的细节部

分,使得显著图表述原图非常的模糊,也就造成了多尺度下显著性检测在局部细节处理上的缺陷。为此,考虑单尺度下目标的整体性和局部差异性这两方面,引入一种新的显著性检测方法。

1.1 目标整体一致性

IG算法是 Achanta 等人^[10]提出的一种基于对图像空间频域的分析的显著性分析算法。该算法通过叠加多个带通滤波器 DOG 得到,DOG 为

$$DOG(x, y) = \frac{1}{2\pi} \left[\frac{1}{\sigma_1^2} e^{-\frac{(x^2+y^2)}{2\sigma_1^2}} - \frac{1}{\sigma_2^2} e^{-\frac{(x^2+y^2)}{2\sigma_2^2}} \right] = G(x, y, \sigma_1) - G(x, y, \sigma_2) \quad (1)$$

叠加多个滤波器

$$\sum_{n=0}^{N-1} G(x, y, \rho^{n+1}\sigma) - G(x, y, \rho^n\sigma) = G(x, y, \rho^N\sigma) - G(x, y, \sigma) \quad (2)$$

式中, x, y 为坐标, σ_1, σ_2 为高斯标准差, $\rho = \sigma_1/\sigma_2$, N 为叠加滤波器的个数。取第 1 个高斯的标准差 $\rho^N\sigma$ 为无穷大,卷积后图像所有像素点的值为原图像素点的算术平均。第 2 个高斯的标准差 σ 较小,可以使用二项式滤波器近似,从而定义显著值 $S(x, y) = d(I_\mu, I_{\omega_{hc}})$ 。其中, I_μ 是特征图像算术平均后的图像, $I_{\omega_{hc}}$ 是高斯核, d 是欧氏距离。这种算法保留了更多原图中的高频内容,从而显著目标的边界非常清晰,突出了目标整体性,但是显著区域中最显著的位置受到了抑制,与背景的对比不是很明显,没有体现出局部差异性。

1.2 目标局部差异性

NIF 算法^[13]主要考虑目标的局部差异性,将图像的亮度作为主要的特征,在像素点的正方形邻域中,将周边像素点与该像素点的亮度差异值作为该像素点的局部差异显著值。具体如下:

设 $p = (p_x, p_y) \in I$ 是输入图像上的像素点, $I(p)$ 代表这个像素点的亮度特征值,定义集合

$$\Omega(p) = \{q \in N(p) : |I(p) - I(q)| > \varepsilon\}$$

$$\Omega'(p) = \{q \in N(p) : |I(p) - I(q)| < \varepsilon\}$$

$$N(p) = \{q \in I : |p_x - q_x| \leq k,$$

$$|p_y - q_y| \leq k, k \in \mathbf{Z}, k \geq 1\}$$

式中, $N(p)$ 是点 p 的正方形邻域, $\Omega(p) \cup \Omega'(p) = N(p)$ 。这里的 $\Omega(p)$ 表示该像素点与其周边像素点的差异性大于 ε 而组成的集合,而 $\Omega'(p)$ 则相反。

将 $N(p)$ 中的像素点作为一个随机变量,定义

概率 F_p 为局部像素不一致因子,即

$$F_p(p) = \frac{|\Omega(p)|}{|N(p)|} \quad (3)$$

显然,当 $|\Omega(p)| < |\Omega'(p)|$ 时,则有 $F_p(p) < 0.5$,这表示像素点 p 与它周边大多数像素点亮度差异的概率较低,一般来说这时候它们属于一个概率意义的平滑区域。相反地 $F_p(p) > 0.5$,这表示像素点 p 与它周边大多数像素点亮度差异的概率较高,一般来说这时候像素点 p 具有较大的概率属于不一致的图像区域,比如目标的边界。这样可以用 $F_p(p) > 0.5$ 来表示像素的亮度不一致性。定义集合

$$InNeb(p) = \{q \in N(p) : F_p(q) \geq 0.5, p \in I\}$$

它表示像素点 p 周边的一个正方形像素领域 $N(p)$ 内具有亮度不一致性的像素点的集合。定义体现局部不一致性的概率密度函数

$$F_N(p) = \frac{|InNeb(p)|}{|N(p)|} \quad (4)$$

将这个概率密度函数得到的函数值作为每个像素点的显著值,称之为局部不一致显著性,通过计算局部不一致概率函数 F_N 得到的显著图记为 S_{NIF} 。

1.3 MAX 显著性

为了将显著区域变得更亮,而不影响显著目标的轮廓,既需保持目标的整体性又体现其局部差异性。故将 IG 算法得到的显著图记为 S_{IG} ,而通过局部不一致概率函数 F_N 得到的显著图记为 S_{NIF} ,综合这两种算法的优点,取 IG 算法和 NIF 算法得到的显著图的最大值作为最终的显著图

$$S_{MAX} = \max(S_{IG}, S_{NIF}) \quad (5)$$

由图 1 可知,MAX 算法克服了多尺度下局部细节处理的不足,又保持显著目标的整体特征。

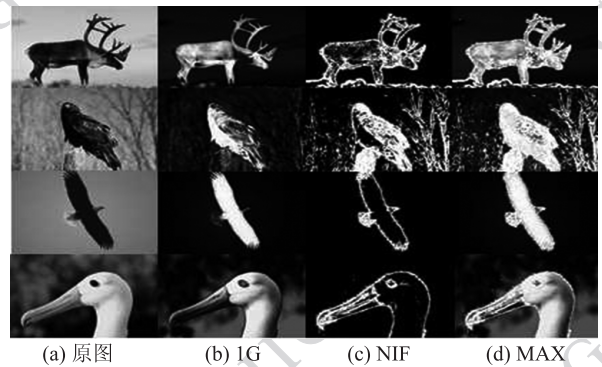


图1 不同算法的显著图对比

Fig. 1 Comparison of saliency map based on different methods

2 显著性算法的实验分析

2.1 人工分割图与 MAX 显著图的对比

对显著性凸显目标的绝对效率进行评价,要求实验数据集中且具有明显的目标。为此,选择 Weizmann Institute of Science 分割评价数据库中的灰度单目标图像集^[16](共 100 幅灰度图像,记作 Weizmann 数据库)。Weizmann 数据库为灰度目标,数据库中图像具有多样化的灰度背景。首先对比 MAX 显著图和人工分割图在视觉上的差异(图 2),再基于统计指标,从数值上分析不同显著性算法在凸显目标绝对效率上的优劣。

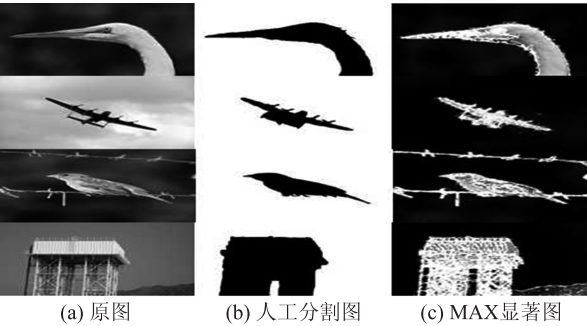


图 2 人工分割图与 MAX 显著图的对比
Fig. 2 Comparison of artificial segmentation map and MAX saliency map

对比人工分割图以及 MAX 显著图可知,MAX 显著图基本上达到了与人工分割图一致的效果,只是在细节上还有需要改进的地方。

2.2 基于统计指标的评价

采用与文献[17]类似的方法,通过显著图和人工分割图在相同指标下的对比,进而考察各种显著性凸显目标的效果。统计指标为精确率 P ,召回率 R 和 F1-measure F (P 和 R 的加权调和平均),其中

$$\begin{cases} P = \frac{s(S \cdot A)}{s(A)} \\ R = \frac{s(S \cdot A)}{s(S)} \\ F = \frac{2PR}{P + R} \end{cases} \quad (6)$$

式中, S 为显著图,显著图中像素点的灰度大于阈值取 1,反之取 0,得到的一个二值图, A 为人工分割图, s 为求和函数, $(S \cdot A)$ 表示 S 和 A 相应每个像素点的灰度相乘后得到的灰度图, $s(S)$, $s(A)$ 分别

表示的是显著图 S 和人工分割图 A 所有像素点的值之和。 F 值越大显著图显示目标的绝对效率高,这种统计指标对比的是 F 值的大小。

2.3 基于统计评价指标的评价结果

将 Weizmann 数据库中每幅图的显著图和人工分割图使用 2.2 节中的统计指标计算出相应的值,最后对每个数据库中 100 幅图像计算一个平均值,对比结果如图 3 所示。

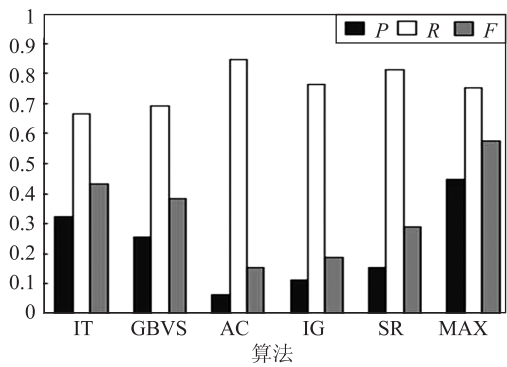


图 3 基于 Weizmann 数据库的统计指标对比
Fig. 3 Comparison based on statistical indicators in Weizmann database

从图 3 的统计指标 F 值来看,MAX 算法的 F 值最高,则显示目标的绝对效率最高。并且显示目标的整体特征以及局部差异性的效果是较好的。另外,图 3 所列算法的复杂度(除 GBVS)都正比于 N (像素点数)。但是,对每个像素的操作取决于迭代次数 $K(K_{MZ} < K_{SR} < K_{IG} < K_{AC} < K_{IT} < K_{GBVS})$ ^[10]。而本文的 MAX 算法本质上是综合 NIF 与 IG 对每个像素点作邻域内的处理,故有 $K_{IG} < K_{MAX}$ 。利用上述算法对 Weizmann 数据库中的图像分别进行显著性检测,最后求得其相应的平均用时(表 1),可以看出,本文算法计算用时与其他算法基本接近。

表 1 平均用时对比

Table 1 The average time-consuming comparison								
		C++		Matlab				
		IT	AC	SR	GBVS	IG	NIF	MAX
用时/s		0.811	0.509	0.064	1.874	0.138	1.846	2.017

3 融合显著性度量的图像分割

图像分割就是运用特定的方法理论,依据图像的具体特征将图像分成若干个特定的、具有独特性质

的区域并提出感兴趣目标的技术和过程。早期图像分割的方法有 k-means^[18], FCM (fuzzy c-means)^[18], MS (mean-shift)^[19], watersheds^[20], normalized cuts^[21] 和 super-pixels^[22] 等, 尽管他们源自特定的理论, 但是过分割以及分割不足等缺点却是不可避免的。依据对上述分割方法的了解, 本文利用谱聚类算法对初始过分割得到的图像进行区域聚类合并, 从而得到最终的分割结果。在本文中主要选取了 MS 算

法^[19] 和 Richard Nock 等^[23] 提出的统计区域合并算法 (SRM) 来作为图像初始分割。

另外, 在图像分割中普遍选取颜色、位置、纹理等重要特征作为度量区域之间的相似性。本文基于对显著性的理解, 将显著性信息融合到相似性度量中。对比加入显著性特征与不加显著性的分割效果, 以及不同的显著性对于最终分割结果的影响, 具体流程如图 4 所示。

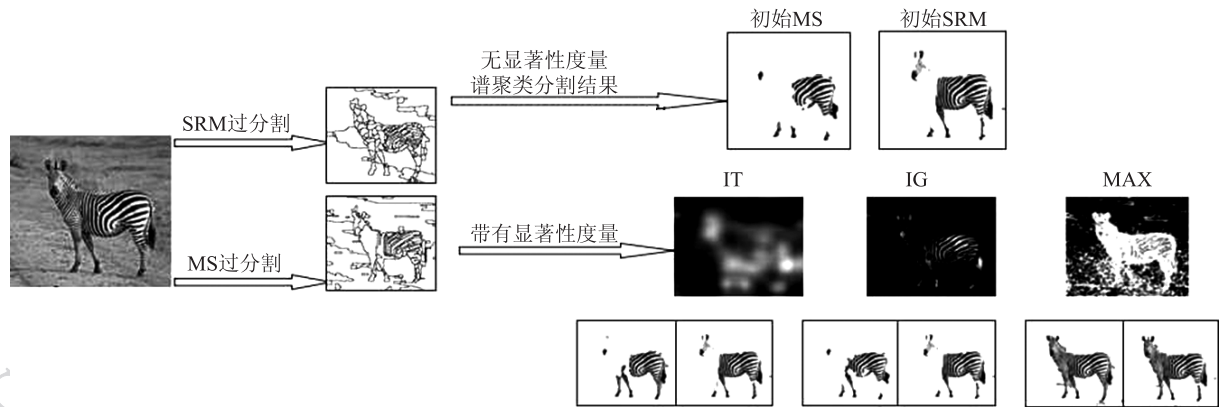


图 4 显著性应用流程图

Fig. 4 The application flow charts of saliency

3.1 图像初始分割

MS 算法是一种用于寻求数据集中模值点的非参数统计方法, 数据集的模值点定义为概率密度函数取局部极大值。 d 维空间中 n 个采样点 $\{x_i, i=1, \dots, n\}$, 首先对 x 点的概率密度核函数估计, 计算迭代公式为 $x = x + M_h(x)$ 直至收敛, 就可以得到相应的模值点。其中 $M_h(x)$ 为 x 的 mean-shift 向量, h 为核函数半径。

1) MS 算法用于图像分割。首先运用 MS 算法对图像进行平滑, x_i 和 $z_i (i=1, \dots, n)$ 分别表示原始图像和平滑后的图像的像素点, L_i 为第 i 像素所属的类别标志。将 z_i 中所有满足一定条件的像素点划分到不同的类别 $\{C_p\}_{p=1, \dots, m}$ 中去, 那么对于每一个像素 $i=1, \dots, n$, 对应类别标志 $L_i = \{p | z_i \in C_p\}$ 。每个类别构成一个区域, 从而实现图像分割。该算法对局部细节噪声十分敏感, 容易造成图像过分割, 或者分割不足。

2) 统计区域合并算法。2004 年, 针对复杂的图像分割问题, Richard Nock 和 Frank Nielsen^[23] 提出了统计区域合并算法 (SRM)。具体的步骤为:

(1) 首先依次把像素的 3 个颜色特征看做 3 组独

立随机变量, 对每一组独立随机变量, 再根据独立有限方差不等式得出统计合并判定准则

$$P(R, R') = \begin{cases} \text{是} & |\bar{R} - \bar{R}'| \leq b(R, R') \\ \text{否} & \text{其他} \end{cases} \quad (7)$$

式中, $\bar{R}$ 表示区域 R 的像素均值, $b(R, R')$ 为判定阈值 (文献 [23] 的式 (3))。当区域组合满足时, 则合并; 反之则不然。

(2) 其次将像素点作为最基本的区域, 把像素点梯度值从小到大排序, 以获得合并顺序, 依据合并准则和合并顺序, 结合像素或区域进行迭代生长。通过控制每组独立随机变量的个数, SRM 算法实现了对复杂图像中目标的快速分割和有效提取。由于参数的选取, 在具体的合并中, 会造成过分割或分割不足。

3.2 区域相似性度量

通过 SRM 和 MS 方法分别对图像进行初始分割, 对得到的小区域提取特征, 进而利用谱聚类算法对小区域进行聚类合并, 得到最终的分割结果。突出显著性特征对于分割结果的影响。进一步对比加入不同显著性而得到的分割效果。实验效果以及定量数据评价表明本文算法充分体现了显著目标的整

体一致性与局部差异性。

3.2.1 相似性度量

经初始分割,得到很多小区域,将原来像素级的聚类算法提升到区域级。此时需要对区域进行特征提取,在这里选取颜色、纹理、位置以及显著性作为其主要特征。

1)颜色。在 RGB 颜色空间,将颜色通道量化为 4 级,这样每一个区域的直方图便落在 64 维的特征空间中。记区域 R 规范化的直方图向量为 H_R ,即 $\|H_R\|_1 = 1$,定义区域 R 和 Q 之间的颜色差异为

$$\rho_h(R, Q) = \|H_R - H_Q\|_2 \quad (8)$$

2)纹理。采用 Gabor 滤波器在 8 个方向和 5 个角度对图像进行不同的滤波,将得到 48 幅不同方向角度的纹理图,最后将综合为 1 幅纹理图。然后同样量化纹理特征到 16 维特征空间中,记区域 R 的规范化纹理特征向量为 W_R ,同样的区域 R 和 Q 之间的纹理差异为

$$\rho_w(R, Q) = \|W_R - W_Q\|_2 \quad (9)$$

3)位置。设 c_R 和 c_Q 分别是区域 R 和 Q 的中心点,定义区域距离为

$$\rho_c(R, Q) = \|c_R - c_Q\|_2 \quad (10)$$

4)显著性。最后再加入显著性特征,为了整体地显示各个区域的显著性,考虑使用各个区域的平均显著值来表示各个区域的显著性,即

$$S(R) = \frac{\sum_{i=1}^k S(i)}{k} \quad (11)$$

式中, $S(i)$ 是第 i 个像素点的显著值,如此定义区域 R 和 Q 之间的显著性差异为

$$\rho_s(R, Q) = |S(R) - S(Q)| \quad (12)$$

最后表示区域 R 和 Q 之间的相似性度量为

$$SimT(R, Q) = \exp(-\rho_c(R, Q) - \rho_h(R, Q) - \rho_w(R, Q) - \rho_s(R, Q)) \quad (13)$$

那么此值越大,则表示区域之间的相似性越大。

如此基于不同的初始分割,对比加入显著性度量后,利用谱聚类算法得到的分割结果如图 5 所示。

由图 5 可知,加入 MAX 显著性的分割效果较好。因此,下文对比加入不同方法的显著性的分割结果,从而对比 MAX 显著性与其他显著性对目标分割的不同影响。

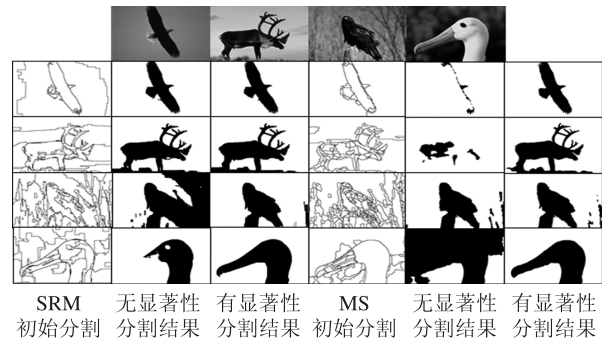


图 5 对比添加显著性的分割结果

Fig. 5 Comparison of segmentation results with saliency

3.2.2 不同显著性下的目标分割

显著区域在整体一致性和局部差异性上的综合把握对于目标分割有着重要的影响。那么通过加入不同算法的显著性得到的分割结果,与人工分割结果在统计评价中进行对比,分析本文算法,在此应用上是否有较理想的效果,对显著目标的整体一致性和局部差异性是否有较为准确的把握。

目标分割在整体轮廓、整体性或局部细节等方面的不足,可以通过显著性特征来弥补。而不同的显著性对于分割的结果有较大的影响。一些流行的显著性算法在目标局部细节或整体方面的处理不足,将不能得到较好的分割结果。由图 6、图 7 可知融入 MAX 显著性的分割效果较好。

为了进一步客观评估 MAX 显著性在分割中优于其他算法,利用不同显著性下的分割结果与人工分割图进行对比,其中关于 F 值的定义如式(6)所示,是用来定量评估每个分割结果与人工分割结果的一致性。图 8 中依次显示对应算法的 F 值,对比可知本文的方法明确达到了最高的 F 值。这证实了 MAX 显著性能较为准确的凸显目标的

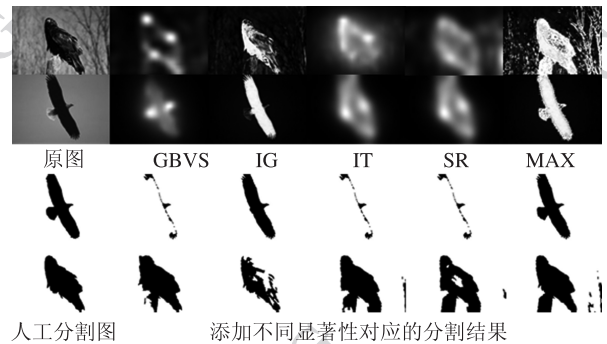


图 6 基于 MS 的带有不同显著性的分割结果

Fig. 6 Segmentation results with different saliency based on MS

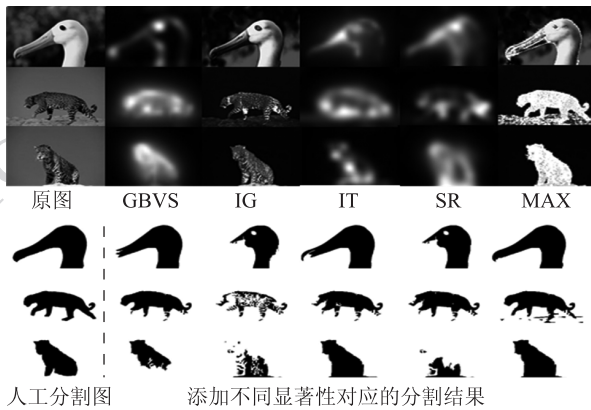


图7 基于SRM的带有不同显著性的分割结果

Fig.7 Segmentation results with different saliency based on SRM

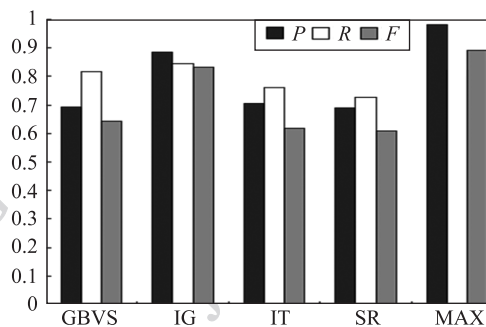


图8 基于统计指标的对比

Fig.8 Comparison based on statistical indicators

整体一致性和局部差异性,对于目标分割有着较好的作用。

4 结论

本文提出一种融合目标整体一致性与局部差异性的显著性检测方法。首先从IG算法保持目标的整体特征出发,计算显著目标整体一致性的显著图。然后,引入一种注重目标局部细节差异对比的NIF算法,突出显著区域与背景的对比。最后综合两种算法为最终的检测方法,从而克服现有算法在整体一致性和局部差异性这方面处理的不足。本文算法的显著图与人工分割图在凸显目标的对比中取得一致的效果,另外在Weizmann数据库中所进行的统计指标的对比也优于现有的一些显著性检测算法。本文在融入显著性的目标分割中也取得了令人满意的分割结果。但是,本文方法仍然存在局限性。如对于颜色变化很小、目标亮度不集中的图像,利用局部差异对比,其结果会在显著区域的本身存在一定

的缺陷,影响后续的显著性计算。未来工作将尝试从目标的多个特征中进行改进,寻找更具有区分性的方法,提高显著性目标的准确提取。

参考文献 (References)

- [1] Wolfe J M, Cave K R, Franzel S L. Guided search: an alternative to the feature integration model of visual search[J]. Journal of Experimental Psychology, 1989, 15: 419-433. [DOI: 10.1037/0096-1523.15.3.419]
- [2] Zhang D S, Islam M, Lu G J. A review on automatic image annotation techniques[J]. Pattern Recognition, 2012, 45 (1): 346-362. [DOI:10.1016/j.patcog.2011.05.013]
- [3] Ayadi M, Kamel M, Karray F. Survey on speech emotion recognition: features, classification schemes, and databases[J]. Pattern Recognition, 2011, 44(3): 572-587. [DOI: 10.1016/j.patcog.2011.09.020]
- [4] Toet A. Computational versus psychophysical bottom-up image saliency: a comparative evaluation study[J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 2011, 33 (11): 2131-2146. [DOI:10.1109/TPAMI.2011.53]
- [5] Achanta R, Estrada F, Wils P, et al. Salient region detection and segmentation[C]//Proceedings of the 6th International Conference on Computer Vision Systems. Berlin: Springer, 2008: 66-75. [DOI:10.1007/978-3-540-79547-6_7]
- [6] Itti L, Gold C, Koch C. Visual attention and target detection in clustered natural scenes[J]. Optical Engineering, 2001, 40(9): 1784-1793. [DOI:10.1117/1.1389063]
- [7] Itti L, Koch C, Niebur E. A model of saliency-based visual attention for rapid scene analysis[J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 1998, 20(11): 1254-1259. [DOI:10.1109/34.730558]
- [8] Ma Y F, Zhang H J. Contrast-based image attention analysis by using fuzzy growing[C]// Proceedings of the 11th ACM international Conference on Multimedia. New York: ACM, 2003, 374-381. [DOI: 10.1145/957013.957094]
- [9] Hou X, Zhang L. Saliency Detection: a spectral residual approach[C]// Proceeding of IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition. Miami: IEEE Press, 2007: 1-8. [DOI:10.1109/CVPR.2007.383267]
- [10] Achanta R, Hemami S, Estrada F, et al. Frequency-tuned salient region detection[C]// Proceedings of IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition. Miami: IEEE Press, 2009: 1597-1604. [DOI:10.1109/CVPR.2009.5206596]
- [11] Goferman S, Zelnik-Manor L, Tal A. Context-aware saliency detection[C]//Proceedings of IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition. San Francisco: IEEE Press, 2010 2376-2383. [DOI: 10.1109/CVPR.2010.5539929]

- [12] Liu T, Sun J, Zheng N, et al. Learning to detect a salient object [J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 2011, 33(2): 353-367
- [13] Ding J D, Shen J L, Chen S C, et al. Exploiting intensity inhomogeneity to extract textured objects from natural scenes [J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 2012, 34(2): 315-327. [DOI:10.1007/978-3-642-12297-2_1]
- [14] Harel J, Koch C, Perona P. Graph-based visual saliency [J]. Advances in Neural Information Processing Systems, 2007, 19: 545-552. [DOI: 10.1.1.70.2254]
- [15] Frintrop S, Klodt M, Rome E. A real-time visual attention system using integral images [C]// Proceedings of the 5th International Conference on Computer Vision Systems. Bielefeld, Germany: Bielefeld University, 2007:21-24. [DOI:10.2390/biccol-icvs 2007-66]
- [16] Alpert S, Galun M, Basri R, et al. Image segmentation by probabilistic bottom-up aggregation and cue integration [J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 2012, 34(2): 315-327. [DOI: 10.1109/CVPR. 2007.383017]
- [17] Ma R N, Tu X B, Ding J D. Evaluation of visual saliency highlight target [J]. Acta Automatica Sinica, 2012, 38(5): 870-876. [马儒宁, 涂小波, 丁军娣. 视觉显著性凸显目标的评价 [J]. 自动化学报, 2012, 38(5): 870-876]
- [18] Chen S C, Zhang D Q. Robust image segmentation using FCM with spatial constraints based on new kernel-induced distance measure [J]. IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics B: Cybernetics, 2004, 34(4): 1907-1916. [DOI: 10.1109/TSMCB. 2004.831165]
- [19] Comaniciu D, Meer P. Mean shift: a robust approach toward feature space analysis [J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 2002, 24(5): 603-619. [DOI: 10.1009/34.1000236]
- [20] Cousty J, Bertrand G, Najman L, et al. Watershed cuts: minimum spanning forests and the drop of water principle [J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 2009, 31(8): 1362-1374. [DOI: 10.1009/TPAMI.2008.173]
- [21] Shi J, Malik J. Normalized cuts and image segmentation [J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 2000, 22(8): 888-905. [DOI:10.1109/34.868688]
- [22] Ning J, Zhang L, Zhang D, et al. Interactive image segmentation by maximal similarity based region merging [J]. Pattern Recognition, 2010, 43(2): 445-456. [DOI: 10.1016/j.patcog.2009.03.004]
- [23] Nock R, Nielsen F. Statistical region merging [J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 2004, 26(11): 1452-1458. [DOI:10.1109/TPAMI.2014.110]