

## 视觉显著性凸显目标的评价

马儒宁<sup>1</sup> 涂小坡<sup>1</sup> 丁军娣<sup>2</sup> 杨静宇<sup>2</sup>

**摘要** 为了全面评价显著图“凸显”目标的程度, 本文建立了一系列定量指标来评价目前备受关注的五种显著图模型在目标分割中的作用。首先, 简要回顾了五种显著图模型; 其次, 以人工分割作为显示图像中感兴趣目标的标准, 建立了三组评价指标(分别对应原始显著图、固定阈值以及自适应阈值的分割图); 最后, 在 Corel、MSRA、Weizmann 等图像数据库上进行了评价实验, 结果显示了五种显著图模型在目标分割中的不同性能。本文的研究对基于显著性目标分割方法的进一步发展和应用具有一定的意义和参考价值。

**关键词** 显著图, 目标分割, 人工分割, 评价指标

**引用格式** 马儒宁, 涂小坡, 丁军娣, 杨静宇. 视觉显著性凸显目标的评价. 自动化学报, 2012, 38(5): 870–876

**DOI** 10.3724/SP.J.1004.2012.00870

## To Evaluate Saliency Map towards Popping out Visual Objects

MA Ru-Ning<sup>1</sup> TU Xiao-Po<sup>1</sup> DING Jun-Di<sup>2</sup>  
YANG Jing-Yu<sup>2</sup>

**Abstract** The aim of this paper is to present a quantitative evaluation of five popular saliency maps for object segmentation. First, five saliency maps are revisited in terms of theory foundation. Second, human segmentation is taken as the ground truth of interesting objects “pop-out” to build three quantitative evaluation ratios of saliency map to human segmentation. Finally, evaluation experiments are conducted on three image databases of Corel, MSRA and Weizmann. Results show some insights into the performances of these different saliency maps in object segmentation. This research is believed meaningful and useful for the further development of saliency-driven methods for object segmentation.

**Key words** Saliency map, object segmentation, human segmentation, evaluation index

**Citation** Ma Ru-Ning, Tu Xiao-Po, Ding Jun-Di, Yang Jing-Yu. To evaluate saliency map towards popping out visual objects. *Acta Automatica Sinica*, 2012, 38(5): 870–876

从上世纪末 Itti 视觉模型<sup>[1]</sup>产生以来, 关于图像视觉显著性的研究得到了快速发展。众多研究者建立了多种显著性模型, 广泛应用于图像分割、目标识别、图像检索等计算机视觉的多个领域<sup>[2–7]</sup>。

目前出现了越来越多的显著性分析算法, Achanta 等<sup>[8]</sup>将这些算法分成三类: 1) 基于低层视觉特征, 代表性算法是文献 [1] 中提出的模拟生物体视觉注意机制的选择性注意算法 (Itti 算法); 2) 没有基于任何生物视觉原理的纯数学计算方法, 如 Achanta 等<sup>[7]</sup>提出的全分辨率算法 (AC 算法) 和

Hou 等<sup>[9]</sup>提出的基于空间频域分析的剩余谱算法 (Spectral residual approach, SR); 3) 将前两种进行融合的方法, 代表性算法是 Harel 等<sup>[6]</sup>提出的基于图论的算法 (Graph-based visual saliency, GBVS), 这种算法在特征提取的过程中类似 Itti 算法模拟视觉原理, 在显著图生成的过程引入马尔可夫链 (Markov chains), 用纯数学计算得到显著值。Goferman 等<sup>[10]</sup>又将显著性分析算法分成以下三类: 1) 考虑局部特征的, 如 Itti 算法和 GBVS 算法; 2) 考虑整体性的, 如 SR 算法和 Achanta 等<sup>[8]</sup>提出的算法 (IG 算法); 3) 局部与整体结合的, 如 Goferman 等<sup>[10]</sup>和 Liu 等<sup>[11]</sup>提出的算法。随着多种各具特点的算法的出现, 利用显著性进行目标分割时就有多种显著性算法供选择, 那么对某类图像而言, 基于哪种显著图模型的目标分割最有效? 这是基于显著性目标分割研究中必须面临的问题, 也是构造新的用于目标分割的显著性模型不可回避的问题。如何找到目标分割最有效的显著性算法显然需要一个全面、客观、有效的评价体系。

虽然每一种新的显著性模型建立之后, 都会通过一些实验对比说明新模型的优越性, 但是这些对比往往是片面的, 只是在不同角度强调新模型的优势。因此, 客观而全面的第三方评价更有参考价值。目前对由于目标分割的显著图模型的评价还没有标准的评价体系, 本文旨在建立一个有效的评价体系, 来评价显著性算法在目标分割中的作用。显然, 显著性算法在目标分割中的最大作用就是显著图“凸显”目标区域的能力。显著性映射 (显著图) 应该尽可能使图像中的显著目标或主要内容凸显出来, 但是由于图像的复杂性, 仅依赖图像本身难以获得图像中目标的准确描述。由于人工分割是手工地将图像中的目标或主要内容分割出来, 基本上符合大部分学者的认可, 因此借助某些标准数据库上的人工分割可以为建立评价体系提供有效的工具。

本文通过描述显著图与人工分割图的一致性来评价显著性算法应用于目标分割时的优劣。基于此观点, 建立了基于显著图和人工分割图对比的评价体系, 包括三组评价指标: 直接将显著图和人工分割图的对比指标; 基于显著图的固定阈值分割图和人工分割图的对比指标; 基于显著图的自适应阈值分割图和人工分割图的对比指标。

本文选取五种显著图模型进行评价, 分别为 Itti 算法<sup>[1]</sup>、GVBS 算法<sup>[6]</sup>、AC 算法<sup>[7]</sup>、IG 算法<sup>[8]</sup>和 SR 算法<sup>[9]</sup>。这五种方法建立的机制和使用的特征各不相同, 属于显著图模型建立的典型方法, 并且都是引用较多、应用较广的显著性算法。在三个各具特色的数据库上进行评价实验, 分别选自 Corel 图像库 (以野外动物目标为主)、MSRA 显著目标图像库 (以室内物品或室外建筑物目标为主) 以及灰度图像的 Weizmann Institute of Science 分割评价图像库。

本文主要内容安排如下: 第 1 节介绍五种目前引用率高、各具特点的代表性显著性分析算法。第 2 节建立显著图模型用于目标分割的评价体系, 并在三个数据库下得到相关的实验结果。第 3 节总结全文。

### 1 五种显著图模型的简要回顾

#### 1.1 Itti 等提出的显著图模型 (Itti 算法<sup>[1]</sup>)

Itti 模型中, 显著值是像素点在颜色、亮度、方向方面与周边背景的对比值。该模型包括两个步骤:

1) 特征提取: 首先, 建立输入图像的 9 层高斯金字塔。其中第 0 层是输入图像, 1 到 8 层分别是用  $5 \times 5$  的高斯滤波器对输入图像进行滤波和采样得到, 大小分别为输入图像的  $1/2$  到  $1/256$ 。然后, 对金字塔每一层分别提取特征: 亮度、颜色、方向, 形成特征金字塔。最后, 为了模拟感受野的

收稿日期 2011-03-03 录用日期 2011-10-28  
Manuscript received March 3, 2011; accepted October 28, 2011  
国家自然科学基金 (90820306, 61103058) 资助  
Supported by National Natural Science Foundation of China (90820306, 61103058)  
本文责任编辑 姚力  
Recommended by Associate Editor YAO Li  
1. 南京航空航天大学理学院 南京 211100 2. 南京理工大学计算机科学与技术学院 南京 210094  
1. School of Science, Nanjing University of Aeronautics and Astronautics, Nanjing 211100 2. School of Computer Science and Technology, Nanjing University of Science and Technology, Nanjing 210094

中心-外周拮抗的结构, 对不同尺度分别在特征金字塔做差, 得到中心-外周的特征对比。

2) 显著图生成: 将得到的特征图归一化到区间 [0, 1], 以消除与特征相关的幅度差别。为了让少数几个最显著的点均匀分布在特征图上, 使得每个特征图只保留少数的几个显著点, 需要进行优化迭代 (记归一化和迭代过程为  $N(\cdot)$ ), 从而得到对应于每一类特征的显著图, 取均值后得到对应于输入图像的显著图  $S = (N(\bar{I}) + N(\bar{C}) + N(\bar{O})) / 3$ 。其中,  $\bar{I}, \bar{C}, \bar{O}$  分别为归一化后的高度、颜色和方向特征。

### 1.2 基于图论的显著图模型 (GBVS 算法<sup>[6]</sup>)

该算法与 Itti 算法的区别在于对输入图像提取特征后利用马尔可夫链计算显著值。步骤如下:

1) 特征的提取: 与 Itti 算法类似。

2) 马尔可夫链方法: 首先假设已经得到输入图像的特征图  $M : [n]^2 \rightarrow \mathbf{R}$ , 定义距离:  $d((i, j) || (p, q)) = |\log \frac{M(i, j)}{M(p, q)}|$ 。将特征图  $M$  所有点两两两连接得到图  $G_A$ , 对节点  $(i, j)$  到  $(p, q)$  的有向边定义权重:  $\omega_1((i, j), (p, q)) = d((i, j) || (p, q)) \times F(i - p, j - q)$ , 其中,  $F(a, b) = e^{-\frac{a^2 + b^2}{2\sigma^2}}$  (一般  $\sigma$  取图像宽度的 1/10 到 1/15)。然后将任意节点出发的边权重归一化到区间 [0, 1], 在  $G_A$  上定义马尔可夫链, 从节点两两对比中得到显著值, 并对显著值归一化后得到最终的显著图。

### 1.3 Achanta 等提出的显著图模型 (AC 算法<sup>[7]</sup>)

该算法通过计算输入图像某局部区域  $R_1$  与其周边区域  $R_2$  的对比值, 即  $R_1$  的平均颜色向量和  $R_2$  的平均颜色向量的差得到输入图像的显著值:  $S_{i,j} = \sum_k c_{i,j}$ , 其中  $k$  为尺度,  $c_{i,j}$  为某尺度下的对比值。与 Itti 算法和 GBVS 算法的区别在于, AC 算法只需缩放  $R_2$  的比例而不需缩放输入图像的比例, 这样得出的显著图分辨率和原图相同。

### 1.4 Achanta 等提出的显著图模型 (IG 算法<sup>[8]</sup>)

该算法改进了 AC 算法的显著图中小目标比大目标更突出的缺点。基于图像空间频域的分析, 通过叠加多个基于高斯函数的带通滤波器得到, 图像的显著值定义为  $S(x, y) = d(I_\mu, I_{\omega_{hc}})$ , 其中,  $I_\mu$  为图像的特征均值,  $I_{\omega_{hc}}$  为高斯卷积后的图像,  $d$  为欧氏距离, 如图 1 所示。

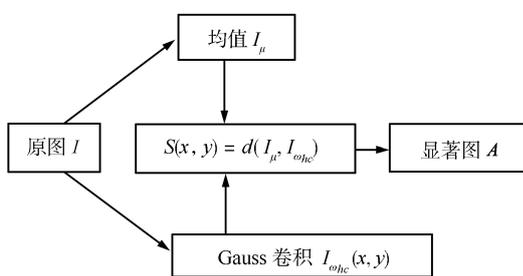


图 1 IG 显著性算法结构图

Fig. 1 Algorithm structure of IG saliency

### 1.5 基于剩余谱方法的显著图模型 (SR 算法<sup>[9]</sup>)

该算法是基于空间频域分析的算法之一, 显著图通过对剩余谱  $R(f)$  做傅里叶逆变换得到。剩余谱  $R(f)$  定义为

$$R(f) = \log(A(f)) - h_n(f) \cdot \log(A(f))$$

其中,  $A(f)$  是原图二维离散傅里叶变换得到的频域空间,  $h_n(f)$  为局部平均滤波器 (一般  $n$  取为 3)。

## 2 显著性评价

### 2.1 图像数据库

选择全面且有针对性的图像数据集是进行有效评价的重要环节, 由于本文目的是对视觉显著性凸显目标进行评价, 因此要求数据集中的图像具有明显的目标。为此, 选择三种各具特点的图像库: Corel 图像库中的 10 个子集 (共 1000 幅图像, 分别选自 10 个动物类别: 猫科动物、灵长类动物、鹿、狼、马、家禽、北极熊、蝴蝶、鸟类、羚羊, 记作 Corel-1000 数据库)、MSRA 显著目标图像库的 B 图像集<sup>[11]</sup> 中的 1000 幅图像 (以室内静物或室外建筑物为主, 记作 MSRA-1000 数据库), 以及 Weizmann Institute of Science 分割评价数据库中的灰度单目标图像集<sup>[12]</sup> (共 100 幅灰度图像, 记作 Weizmann 数据库)。三个数据库各具特色, 分别具有三种不同形式的目标 (Corel-1000 数据库中的动物目标姿态多变, 是一种柔性的目标; MSRA-1000 数据库中的目标则是形状固定的刚性目标; Weizmann 数据库为灰度目标) 以及不同形式的背景 (Corel-1000 数据库中图像的背景多为动态的草原、水面等, 具有较多噪声, 目标边界较模糊; MSRA-1000 数据库中图像则为静态背景, 背景相对干净单调, 目标边界较清晰; Weizmann 数据库中图像具有多样化的灰度背景)。因此, 针对这三种数据库的评价结果可以基本衡量不同显著性方法针对不同类型数据集的效果。为建立显著性方法凸显目标的评价指标, 针对数据库中的所有图像建立了人工分割图 (通过投票产生, 人工分割图为二值图, 灰度值 0 和 1 分别表示背景和目标), 如图 2 所示。

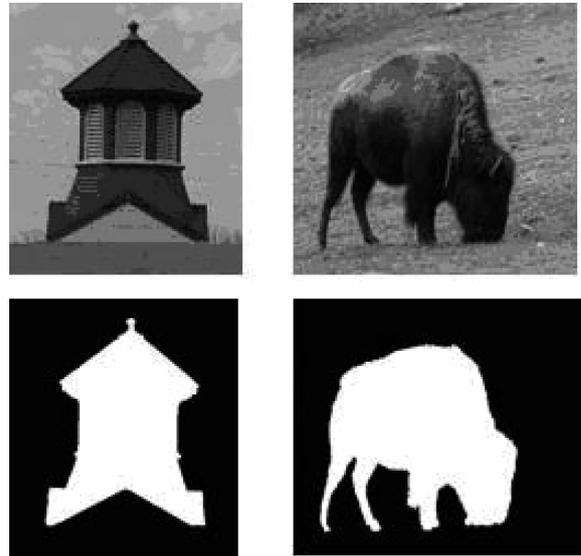


图 2 原图 (第 1 行) 和人工分割图 (第 2 行)

Fig. 2 The original image (the first row) and the human-segmentation (the second row)

### 2.2 评价指标

为了定量评价显著性方法凸显目标的效果, 从以下两个思路出发建立评价指标:

1) 如何充分利用显著图中的信息? 显著图与原图同样大小的灰度图, 其灰度值表征了该像素点的显著值。为此, 考虑以下三个方面: 显著图原图、显著图的固定阈值分割图和显著图的自适应阈值分割图。显著图的固定阈值分割图是每次选定一个固定的阈值, 共选取 10 个阈值 (0.02 ~ 0.2), 显著

图的自适应阈值分割图中的阈值取为

$$T_{\alpha} = \frac{2}{W \times H} \sum_{x=0}^{W-1} \sum_{y=0}^{H-1} S(x, y)$$

其中,  $W$  和  $H$  是一幅图像的宽和高,  $S(x, y)$  是位置  $(x, y)$  处像素点的显著值. 固定阈值和自适应阈值分割是从显著图中得到目标的最简单方法, 虽然可以通过更复杂的过程从显著图中进行更精准的目标分割, 但是从评价的角度来看, 越简单的分割方法越接近显著图“凸显”目标的本质能力, 换句话说, 显著图“凸显”目标的能力不依赖复杂的分割方法, 只依赖显著图本身. 第一种情况是直接考察显著图显示目标的效果, 第二、三种情况是考察基于显著图的分两种分割图(固定阈值分割图和自适应阈值分割图)显示目标的效果.

2) 如何建立衡量不同显著性方法凸显目标的量化指标? 为了建立全面衡量显著图或其分割图显示目标效果的量化指标, 从量化一种显著性方法凸显目标的效果以及对比五种显著性方法两方面, 考虑以下两种评价指标:

a) 评价指标 Precision, Recall 和 F-measure (分别记为  $P, R, F$ ):  $P = \sum(S \cdot A) / \sum(S)$ ,  $R = \sum(S \cdot A) / \sum(A)$ ,  $F = 2 \cdot P \cdot R / (P + R)$ , 其中  $S$  为显著图或显著图的阈值分割图,  $A$  为人工分割图,  $S \cdot A$  表示  $S$  和  $A$  相应每个像素点的灰度相乘后得到的灰度图,  $\sum$  为图像中所有像素点灰度值的求和函数. 显然  $F$  值越大, 显著图显示目标的效果越好, 这种评价指标得出的是显著图显示目标效果的绝对值.

b)  $h$  和  $f$ :  $h = E(S \cdot A)$ ,  $f = E((1 - S) \cdot A)$ , 该指标借鉴文献 [9] 中的方法, 其中  $S$  为显著图或显著图的阈值分割图,  $A$  为人工分割图,  $S \cdot A$  和  $(1 - S) \cdot A$  分别与  $A$  相应每个像素点的灰度相乘后得到的灰度图,  $E(\cdot)$  表示图像灰度值的平均值.

计算时首先以某种算法的  $h$  值为标准使五种算法的  $h$  值相等, 计算其  $f$  值; 再以某一种算法的  $f$  值为标准使五种算法的  $f$  值相等, 计算其  $h$  值. 由此可以在  $h$  值相等时比较五种算法的  $f$  值 (即显著图和分割图的不一致性),  $f$  值越大说明显著图显示目标的效果越差, 反之说明显著图显示目标的效果越好; 在  $f$  值相等时比较五种算法的  $h$  值 (即显著图和分割图的一致性),  $h$  值越大说明显著图显示目标的效果越好, 反之说明显著图显示目标的效果越差. 这种评价指标可得到显著图显示目标效果的相对值, 本文建立的评价指标体系如表 1 所示.

## 2.3 评价结果

本节从三个方面得到三个数据库的实验结果. 在第 2.3.1 节中将数据库中每幅图的显著图和人工分割图使用第 2.2 节提出的两组指标计算相应的值, 然后对每个数据库中的所有图像得到一个平均值. 在第 2.3.2 节和第 2.3.3 节中仅将显著图换成基于显著图的固定阈值分割图和自适应阈值分割图.

### 2.3.1 显著图和人工分割图的对比

图 3~图 5 分别为 Corel-1000 数据库、MSRA-1000 数据库和 Weizmann 数据库上显著图和人工分割图对比的  $P, R, F$  值实验结果, 表 2~表 4 则为相应的  $h-f$  值实验结果 (分别在  $h$  值相同时比较  $f$  值, 以及  $f$  值相同时比较  $h$  值).

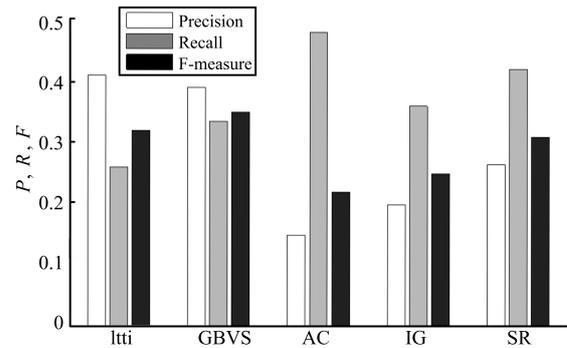


图 3 Corel-1000 数据库的实验结果

Fig. 3 Test results of Corel-1000

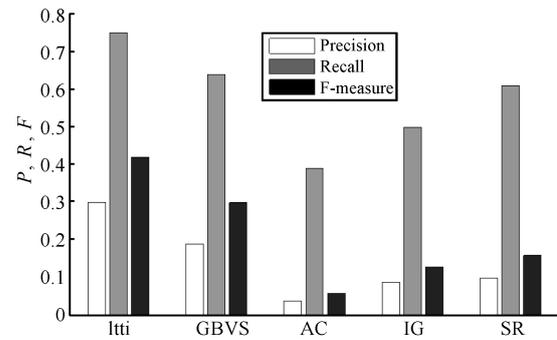


图 4 MSRA-1000 数据库的实验结果

Fig. 4 Test results of MSRA-1000

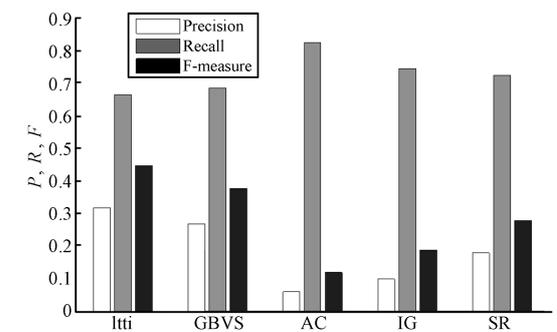


图 5 Weizmann 数据库的实验结果

Fig. 5 Test results of Weizmann

表 2 Corel-1000 数据库的实验结果

Table 2 Test results of Corel-1000

Method	$f(h = 0.8121)$	$h(f = 0.2552)$
Itti	0.2252	0.0821
GBVS	0.1641	0.1277
AC	0.0964	0.2174
IG	0.1358	0.1363
SR	0.1336	0.1568

### 2.3.2 基于显著图的固定阈值分割图和人工分割图的对比

图 6、图 8 和图 10 分别为 Corel-1000 数据库、MSRA-1000 数据库和 Weizmann 数据库显著图的固定阈值分割图和人工分割图对比的  $P, R, F$  值实验结果 (为 10 个阈值分割图的平均值). 图 7、图 9 和图 11 为相应的  $h-f$  值实验结果 (显示了每个阈值分割图与人工分割图对比的  $h, f$  值).

表 1 本文建立的评价指标体系  
Table 1 Evaluation index system proposed by this paper

评价指标	评价对象	评价意义
$P, R, F$	显著图原图	从绝对意义上衡量显著图直接凸显目标的效果
	显著图的十种阈值分割图	从绝对意义上衡量显著图的十种不同阈值分割图凸显目标的效果
	显著图的自适应阈值分割图	从绝对意义上衡量显著图的自适应阈值分割图凸显目标的效果
$h, f$	显著图原图	从相对意义上衡量显著图直接凸显目标的效果
	显著图的十种阈值分割图	从相对意义上衡量显著图的十种不同阈值分割图凸显目标的效果
	显著图的自适应阈值分割图	从相对意义上衡量显著图的自适应阈值分割图凸显目标的效果

表 3 MSRA-1000 数据库的实验结果  
Table 3 Test results of MSRA-1000

Method	$f (h = 0.2317)$	$h (f = 0.0768)$
Itti	0.0768	0.2317
GBVS	0.1320	0.1348
AC	0.3646	0.0488
IG	0.2155	0.0826
SR	0.1331	0.1337

表 4 Weizmann 数据库的实验结果  
Table 4 Test results of Weizmann

Method	$f (h = 0.1799)$	$h (f = 0.0941)$
Itti	0.0941	0.1799
GBVS	0.0814	0.2080
AC	0.0334	0.5062
IG	0.0589	0.2872
SR	0.0618	0.2738

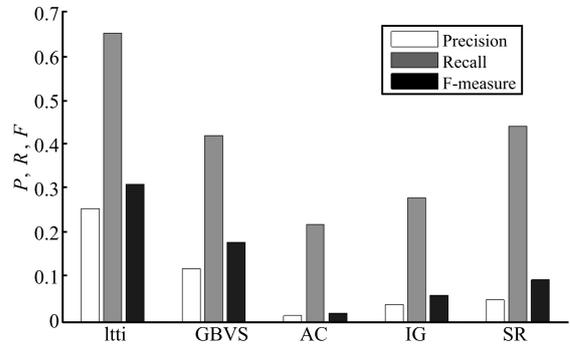


图 8 MSRA-1000 数据库的实验结果  
Fig. 8 Test results of MSRA-1000

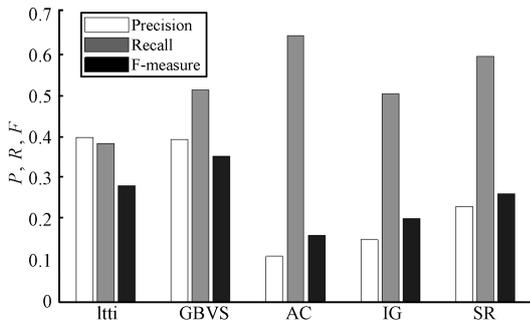


图 6 Corel-1000 数据库的实验结果  
Fig. 6 Test results of Corel-1000

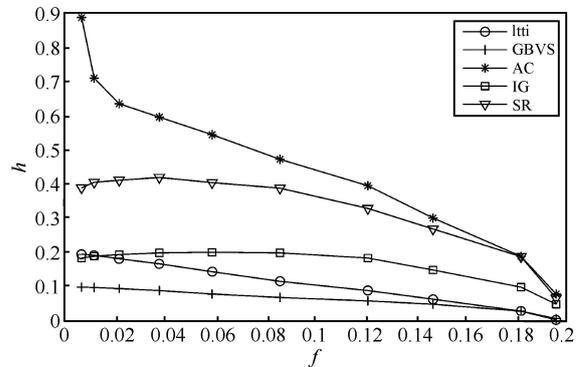


图 9 MSRA-1000 数据库的实验结果  
Fig. 9 Test results of MSRA-1000

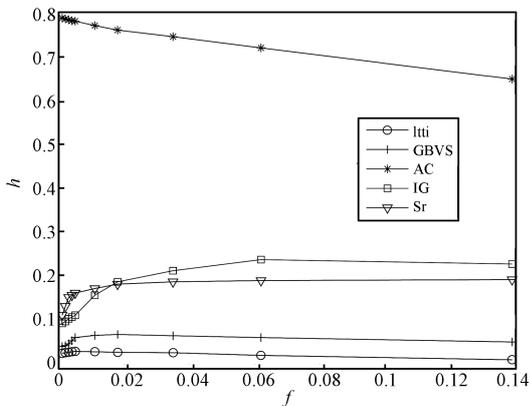


图 7 Corel-1000 数据库的实验结果  
Fig. 7 Test results of Corel-1000

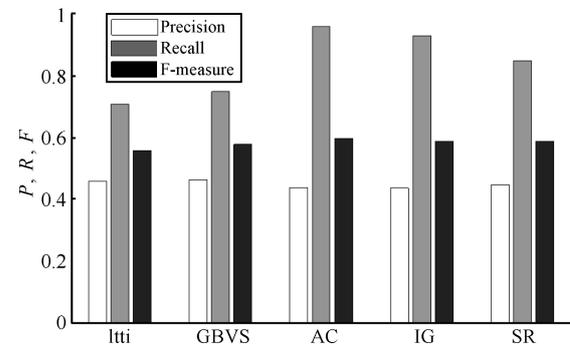


图 10 Weizmann 数据库的实验结果  
Fig. 10 Test results of Weizmann

2.3.3 基于显著图的自适应阈值分割图和人工分割图的对比

图 12~图 14 分别为 Corel-1000 数据库、MSRA-1000 数据库和 Weizmann 数据库上显著图的自适应阈值分割图和人工分割图对比的  $P, R, F$  值实验结果, 表 5~表 7 则为

相应的  $h$ - $f$  值实验结果 (分别在  $h$  值相同时比较  $f$  值, 以及  $f$  值相同时比较  $h$  值).

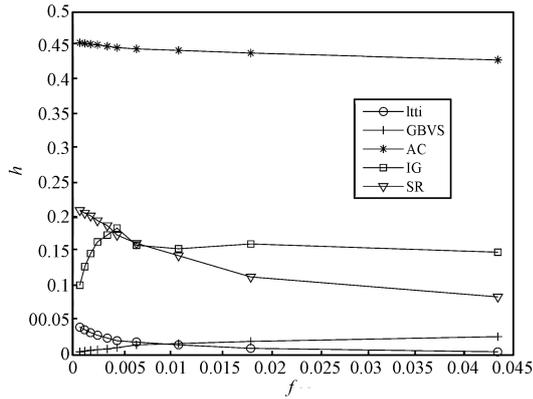


图 11 Weizmann 数据库的实验结果  
Fig. 11 Test results of Weizmann

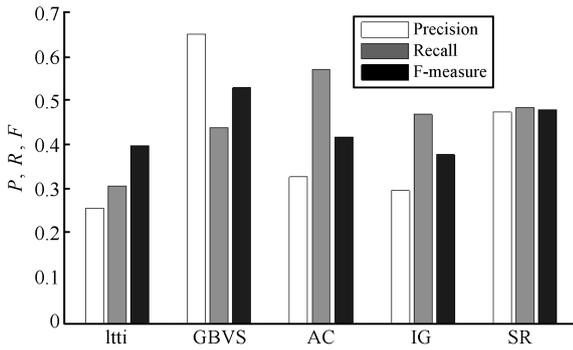


图 12 Corel-1000 数据库的实验结果  
Fig. 12 Test results of Corel-1000

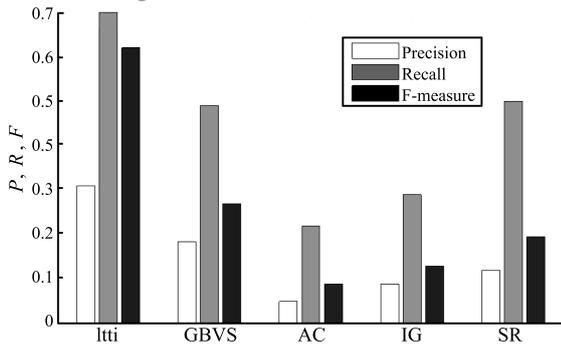


图 13 MSRA-1000 数据库的实验结果  
Fig. 13 Test results of MSRA-1000

### 2.3.4 评价分析

表 8 详细列出了所有评价指标在所有实验图像库上的评价结果. 其中, 前 9 行显示了不同评价对象和不同数据库上  $P, R, F$  值的评价结果, 第 10~18 行则是不同评价对象和不同数据库上  $h, f$  值的评价结果, 第 19 行和 20 行是三个数据库的综合评价结果 (分别为  $P, R, F$  值和  $h$ - $f$  值)

的评价结果, 第 21~23 行是两种指标 ( $P, R, F$  值) 的综合评价结果 (分别对应三个数据库), 最后一行是所有实验结果的综合评价. 可见, 由于三种数据库各具特色的图像数据特征, 评价结果并不完全一致. 相对而言, MSRA-1000 数据库中的背景和目标较为简单, Itti 和 GBVS 算法表现更优异; 而在背景和目标较为复杂的 Corel-1000 和 Weizmann 数据库中, GBVS、AC 和 SR 算法的结果更好. 另外, 针对这两组不同的评价指标, Itti 和 GBVS 算法获得了较好的  $P, R, F$  值, AC 算法的  $h$ - $f$  值更高. 当然, 这两种评价指标是从两种不同的角度评价显著性凸显目标的效果, 但就图像分割而言,  $P, R, F$  评价指标可能更有价值.

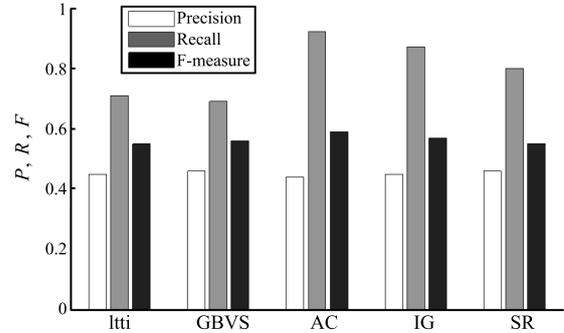


图 14 Weizmann 数据库的实验结果  
Fig. 14 Test results of Weizmann

表 5 Corel-1000 数据库的实验结果  
Table 5 Test results of Corel-1000

Method	$f(h = 0.1067)$	$h(f = 0.2431)$
Itti	0.2431	0.1067
GBVS	0.1487	0.1745
AC	0.0973	0.2667
IG	0.1580	0.1641
SR	0.1237	0.2097

表 6 MSRA-1000 数据库的实验结果  
Table 6 Test results of MSRA-1000

Method	$f(h = 0.2433)$	$h(f = 0.0922)$
Itti	0.0992	0.2433
GBVS	0.2321	0.1040
AC	0.7505	0.0322
IG	0.4409	0.0547
SR	0.2011	0.1200

表 7 Weizmann 数据库的实验结果  
Table 7 Test results of Weizmann

Method	$f(h = 0.4303)$	$h(f = 0.0246)$
Itti	0.1643	0.0644
GBVS	0.1320	0.0802
AC	0.0246	0.4303
IG	0.0427	0.2477
SR	0.0833	0.1199

表 8 评价结果 (+: 效果较好; o: 效果一般; -: 效果较差)  
Table 8 Evaluation results (+: good; o: fair; -: poor)

评价指标	评价对象	图像库	Itti	GBVS	AC	IG	SR
$P, R, F$	原始显著图	Corel-1000	o	+	-	-	o
		MSRA-1000	+	+	-	o	o
		Weizmann	o	o	o	o	o
	显著图的十种固定阈值分割图	Corel-1000	o	+	-	-	o
		MSRA-1000	+	o	-	-	-
		Weizmann	o	o	o	o	o
		Corel-1000	o	+	o	o	+
		MSRA-1000	+	o	-	-	-
		Weizmann	o	o	o	o	o
$h, f$	原始显著图	Corel-1000	o	o	+	o	o
		MSRA-1000	+	o	-	o	o
		Weizmann	o	o	+	o	o
	显著图的十种固定阈值分割图	Corel-1000	-	-	+	o	o
		MSRA-1000	o	o	+	o	+
		Weizmann	-	-	+	o	o
		Corel-1000	-	o	+	o	o
		MSRA-1000	+	o	-	-	o
		Weizmann	o	o	+	+	o
$P, R, F$	三个图像库综合评价		+	+	-	-	o
			o	o	+	o	o
			o	o	+	o	o
$h, f$	两种指标综合评价	Corel-1000	o	+	o	o	+
		MSRA-1000	+	+	-	-	o
		Weizmann	o	o	+	o	o
	所有实验结果综合评价		+	+	o	o-	o+

### 3 结论

Itti 视觉注意模型为显著性目标分割提供了一种新奇而有效的思想, 众多研究者进而建立了多种视觉显著图模型。但至今几乎没有全面评价显著图“凸显”目标程度的研究工作, 本文在这方面进行了一些尝试性的研究。综合比较, 针对三个各具特色的图像数据库, 五种目前备受关注的显著图模型显示出了不同的目标分割性能。具体而言, GBVS 和 Itti 算法最能凸显图像中的感兴趣目标, SR 算法次之。这些评价结果有望为如何选择和构造更加有效的适用于目标分割的显著图模型提供可资参考的评价手段。

#### References

- Itti L, Koch C, Niebur E. A model of saliencybased visual attention for rapid scene analysis. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 1998, **20**(11): 1254–1259
- Wang Yan-Qing, Ma Lei, Tian Yuan. State-of-the-art of ship detection and recognition in optical remotely sensed imagery. *Acta Automatica Sinica*, 2011, **37**(9): 1029–1039 (王彦清, 马雷, 田原. 光学遥感图像舰船目标检测与识别综述. 自动化学报, 2011, **37**(9): 1029–1039)
- Zhang D, Islam M, Lu G. A review on automatic image annotation techniques. *Pattern Recognition*, 2012, **45**(1): 346–362
- Ayadi M, Kamel M, Karray F. Survey on speech emotion recognition: features, classification schemes, and databases. *Pattern Recognition*, 2011, **44**(3): 572–587
- Toet A. Computational versus psychophysical bottom-up image saliency: a comparative evaluation study. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 2011, **33**(11): 2131–2146
- Harel J, Koch C, Perona P. Graph-based visual saliency. In: *Proceedings of the 21st Annual Conference on Neural Information Processing Systems*. Vancouver, Canada: The MIT Press, 2007. 545–552
- Achanta R, Estrada F, Wils P, Susstrunk S. Salient region detection and segmentation. In: *Proceedings of the 6th International Conference on Computer Vision Systems*. Santorini, Greece: Springer, 2008. 66–75
- Achanta R, Hemami S, Estrada F, Susstrunk S. Frequency-tuned salient region detection. In: *Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*. Miami, USA: IEEE, 2009. 1597–1604
- Hou X, Zhang L. Saliency detection: a spectral residual approach. In: *Proceedings of the IEEE International Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*. Minneapolis, USA: IEEE, 2007. 1–8
- Goferman S, Zelnik-Manor L, Tal A. Context-aware saliency detection. In: *Proceedings of the IEEE International Con-*

ference on Computer Vision and Pattern Recognition. San Francisco, USA: IEEE, 2010. 2376–2383

- 11 Liu T, Sun J, Zheng N, Tang X, Shum H Y. Learning to detect a salient object. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 2011, **33**(2): 353–367
- 12 Alpert S, Galun M, Basri R, Brandt A. Image segmentation by probabilistic bottom-up aggregation and cue integration. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 2012, **34**(2): 315–327

马儒宁 南京航空航天大学理学院副教授. 主要研究方向为模式识别与图像处理. 本文通信作者. E-mail: mrning@nuaa.edu.cn

(**MA Ru-Ning** Associate professor at the School of Science, Nanjing University of Aeronautics and Astronautics. His research interest covers pattern recognition and image processing. Corresponding author of this paper.)

涂小坡 南京航空航天大学理学院硕士研究生. 主要研究方向为图像处理. E-mail: fengye1987.12@163.com

(**TU Xiao-Po** Master student at the School of Science, Nanjing University of Aeronautics and Astronautics. His main research interest is image processing.)

丁军娣 南京理工大学计算机科学与技术学院讲师. 主要研究方向为模式识别与图像处理.

E-mail: dingjundi@nuaa.edu.cn

(**DING Jun-Di** Lecturer at the School of Computer Science and Technology, Nanjing University of Science and Technology. Her research interest covers pattern recognition and image processing.)

杨静宇 南京理工大学计算机科学与技术学院教授. 主要研究方向为模式识别与智能机器人技术. E-mail: yangjy@mail.njust.edu.cn

(**YANG Jing-Yu** Professor at the School of Computer Science and Technology, Nanjing University of Science and Technology. His research interest covers pattern recognition and intelligent robots.)

---