

## 利用显著边界点的图像自动分割算法

高尚兵<sup>1,2</sup>, 严云洋<sup>1,2</sup>, 周静波<sup>1,2</sup>

(1. 南京理工大学计算机科学与工程学院, 南京 210094; 2. 淮阴工学院计算机工程学院, 江苏 淮安 223003)

**摘要:** 图像分割是图像分析的必须步骤, 提出一种利用显著边界点和局部化区域型轮廓模型将显著性目标从自然图像中自动分割的新颖模型。首先通过颜色提升的 Harris 算子得到显著的边界点, 其次提出核心显著图从显著边界点中得到目标种子点, 然后目标显著边界点由这些种子点确定, 最后目标显著边界点作为凸包的种子点产生初始轮廓。大型的自然图像库的实验结果令人满意。

**关键词:** 图像分割; 自然图像; 活动轮廓; 显著性; Harris 检测算子

**中图分类号:** V271.4; TP391 **文献标志码:** A **文章编号:** 1671-637X(2013)11-0038-04

## Automatic Image Segmentation Algorithm via Salient Edge Points

GAO Shangbing<sup>1,2</sup>, YAN Yunyang<sup>1,2</sup>, ZHOU Jingbo<sup>1,2</sup>

(1. School of Computer Science and Technology, Nanjing University of Science and Technology, Nanjing 210094, China;

2. College of Computer Engineering, Huaiyin Institute of Technology, Huai'an 223003, China)

**Abstract:** Image segmentation is an essential step in image analysis. A novel model was proposed for unsupervised segmentation of viewer's attention object from natural images by using salient object edge points and localizing region-based active model (LRAC). The salient edge points were firstly detected by the color boosting Harris detector. The core saliency map was then proposed to obtain the foreground seeds from the salient edge points. Then, the salient object edge points were determined by the foreground seeds. Finally, the salient object edge points were employed as the seeds of convex hull to generate the initial contour for our automatic object segmentation system. Extensive experiments results on a large variety of natural images prove that the proposed model can provide satisfactory segmentation performance.

**Key words:** image segmentation; natural image; active contour; saliency; Harris detector

### 0 引言

目前大部分图像分割方法都采用交互机制, 也就是说用户人为地给定分割线索, 尽管交互式方法效果不错, 但是用户的人为标记是非常耗时并且有时是不可行的, 甚至, 分割性能非常依赖于用户指定的标记位置。特别地, 局部化区域型轮廓模型(LRAC)就是这样一种经典的交互式分割方法。对于 LRAC 模型来说, 当初始轮廓标记没有准确地给出的时候, 分割结果就很不理想。

为了纠正上述缺陷, 提出基于目标显著边界点来得到初始轮廓算法。首先, 颜色提升的 Harris 检测算子可以输出显著的边界点, 然而, 这些显著的边界点既包含属于目标的像素点也包含属于背景的像素点, 为此, 提出用核心显著图来找到显著的目标边界点; 之后, 再通过凸包算法来利用这些显著的边界点得到初始轮廓。

### 1 LRAC 模型和显著性提取模型

#### 1.1 LRAC 模型

文献[1]提出一个框架, 该框架允许任何区域型分割能量以局部化方式重新定义。一般来说, 该交互式分割算法或多或少依赖于用户输入的位置和质量, 可以从图 1 看出。尽管许多轮廓已经把目标的特征包含进去, 但是在某些情况下并不能达到满意的结果(见

收稿日期: 2013-07-09

修回日期: 2013-08-26

基金项目: 国家自然科学基金(61125305); 教育部科学技术研究重大项目(311024); 江苏省 333 工程; 江苏省青蓝工程资助

作者简介: 高尚兵(1981—), 男, 江苏淮安人, 博士生, 讲师, 研究方向为图像处理、模式识别。

图 1 的第三行)。

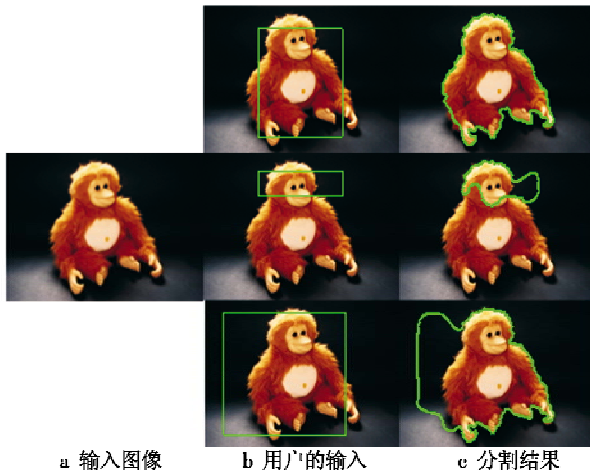


图 1 根据用户特定的输入(绿色轮廓)的 LRAC 交互式分割

Fig.1 Interactive image segmentation by LRAC with user-specified strokes of the object (green)

### 1.2 显著性提取模型

用户通常只对图像的部分区域感兴趣,该区域成为注意焦点,而剩下的大部分区域与用户无关。自然场景的显著性区域通常被看成用户眼睛聚焦的区域。

一系列性能优越的显著性提取模型被提出,其中最具有代表性的是 Itti 模型<sup>[2]</sup>。在 Itti 模型基础上,人们又提出了 SR<sup>[3]</sup>,GB<sup>[4]</sup>,CA<sup>[5]</sup>,AC<sup>[6]</sup>,MZ<sup>[7]</sup>,FT<sup>[8]</sup>,HC<sup>[9]</sup>,RC<sup>[9]</sup>等模型。

## 2 基于目标显著边界点的轮廓初始化方法

本文提出的模型是利用显著边界点的局部化区域型活动轮廓模型(Localizing region-based active contours via salient edge points,LRACSEP)。

LRACSEP 原理框架如图 2 所示。其主要步骤包括:1) 检测显著的边界点;2) 得到核心显著图;3) 根据核心显著图来找到对应的核心边界点;4) 根据核心边界点来检测目标的显著边界点;5) 使用凸包来得到初始水平集轮廓。

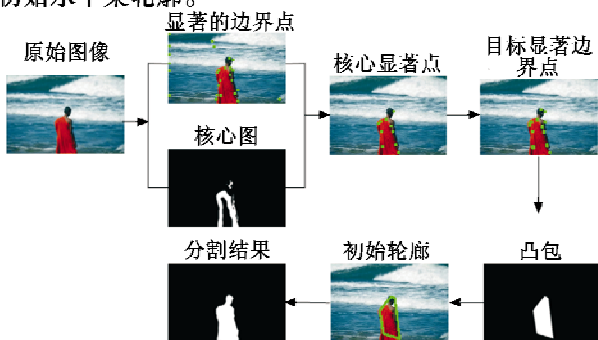


图 2 LRACSEP 原理框架图

Fig.2 A general schematic framework of LRACSEP

### 2.1 利用基于颜色提升的 Harris 检测算子来提取显著的边界点

文献[10]分析了颜色衍生的统计分布情况并提出了一种颜色显著性提升函数来增强稀少的颜色边界或拐角。图 3 显示提升颜色显著性理论应用到 Harris 检测算子的效果。



图 3 显著边界点

Fig.3 The salient edge points

本文采用基于颜色提升的 Harris 点<sup>[10]</sup>作为显著点(图 3b)来得到彩色图像的视觉显著性区域的边缘点,显著点提供了显著性区域的粗糙位置,这些点用  $S_I(i), i = 1, 2, \dots, M$  表示。然而,这些显著点不仅包含目标的显著点也包含背景的显著点,背景的显著点(在图 3b 的树上)对于用户来说是噪声点。因此,该模型的目的是把目标点从背景点中区别出来,这实质上是二元分类问题。为此,提出基于初始目标种子点的聚类算法来找到目标显著点。

本文针对如何找到最适合的初始种子点提出了核心显著图。

### 2.2 核心显著图确定种子点

选择 3 种性能好的显著性模型:RC, MZ 和 FT。其中, MZ 是局部对比度方法,而 RC 和 FT 是基于全局对比度的。选择两种全局对比度方法的原因是 FT 可以得到理想的结果,并且计算非常有效,而 RC 可以表示局部对比特征并且对局部突然变化不敏感。

如图 4 所示,3 种显著图( $S^{RC}, S^{MZ}, S^{FT}$ )突出的信息并不相同。尽管如此,这些显著图都着重突出目标的不同部分(核心显著图)。对于任意像素  $p$ ,核心显著图( $S_{coresaliency}(p)$ )可以计算得到:

$$S_{coresaliency}(p) = S^{RC}(p) \times S^{MZ}(p) \times S^{FT}(p)。(1)$$

为了方便显示,可认为核心显著图  $S_{coresaliency}(p)$  的二值化结果即为核心图( $S_{core}(p)$ )

$$S_{core}(p) = B(S_{coresaliency}(p))。(2)$$

式中, $B(\cdot)$ 是二值化操作符。为了二值化  $S_{coresaliency}(p)$ ,引入一个自适应阈值  $T$ ,为

$$T = \frac{2}{h \times w} \sum_p S_{coresaliency}(p)。(3)$$

式中, $h$ 和  $w$ 分别对应图像的高度和宽度。图 4d 就是求得的核心图。

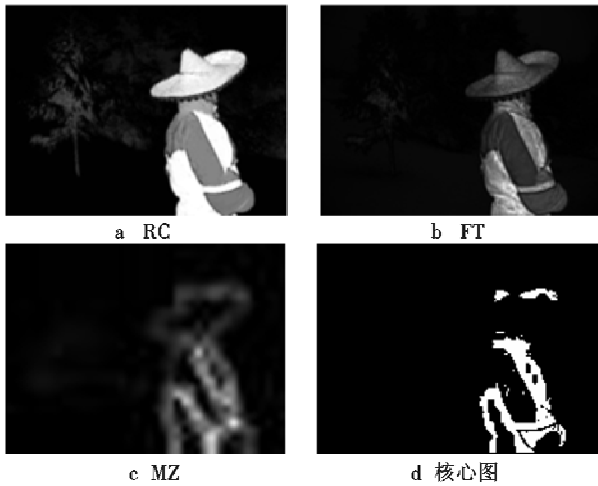


图 4 3 种不同的显著图和对应的核心图

Fig.4 Three saliency maps and the corresponding core map

包含在核心图里的白色的像素属于目标的可能性非常大。因此,既包含在显著边界点(图 4d 中的白色点)里又属于核心图的白色像素点集合的那些点将被标注为前景种子点。这些点在图 5 里用蓝色点表示。



图 5 由核心图确定的前景像素点

Fig.5 The foreground seeds determined by the core map

### 2.3 目标显著边界点检测和使用凸包

一般来说,目标像素点之间在颜色上非常相似,而目标像素点和背景像素点的颜色差异很大。为此,根据与种子点的颜色相似性,可以找到图像中剩余的目标显著边界点。对于种子点  $SS(j), j=1,2,\dots,N$ ,显著边界点  $SI(i), i=1,2,\dots,M, D(SS(j) - SI(i))$  是像素点  $SS(j)$  和  $SI(i)$  在  $L * a * b$  空间的距离。当  $D(SS(j) - SI(i))$  非常小,也就是说  $SS(j)$  非常接近  $SI(i)$ ,  $SS(j)$  可以看成是目标的显著边界点。根据这个策略,目标的显著边界点在图 6 用白色点表示。



图 6 目标显著边界点的提取

Fig.6 The salient object edge points detection

凸包(图 7a)用来包含这些目标显著边界点,凸包的轮廓(图 7b 的绿色线条)被用来当做 LRAC 模型的初始轮廓。对应的分割结果如图 7c 所示。



图 7 本模型分割结果

Fig.7 The segmentation results of our model

从图 7b 可以看出,初始轮廓非常靠近目标的边界,这使得 LRAC 模型提供很好的分割性能,并且迭代次数大大降低。

### 3 实验结果分析

为了验证本方法的性能,本文在文献[8]提供的公共数据库上进行测试。

首先,为了全面衡量本方法的分割性能,将 LRACSEP 与使用多个显著图的 Grabcut 算法<sup>[9]</sup>进行比较。为了自动初始化 Grabcut 算法,使用固定阈值进行分割来对显著图二值化,该阈值按照经验设置为 0.3。一旦初始化后,将迭代运行 Grabcut4 次来改进分割结果。采用查准率和查全率,以及 F-beta 指标来度量不同算法分割的准确性。给定实际分割图  $G = [g_1, g_2, \dots, g_n]$  和算法得到的显著图  $S = [s_1, s_2, \dots, s_n]$ ,查准率( $P$ )和查全率( $R$ )以及 F-beta 指标的定义为

$$P = \frac{\sum_x g_x s_x}{\sum_x s_x} \quad (4)$$

$$R = \frac{\sum_x g_x s_x}{\sum_x g_x} \quad (5)$$

$$F_\beta = \frac{(1 + \beta)P \times R}{\beta \times P + R} \quad (6)$$

式中,  $\beta$  是一个正常数,在这设置为 0.3,这表示计算 F-beta 指标时查准率比查全率更重要。如图 8 所示,本算法在查准率、查全率和 F-beta 值上都优于其他 9 个模型。

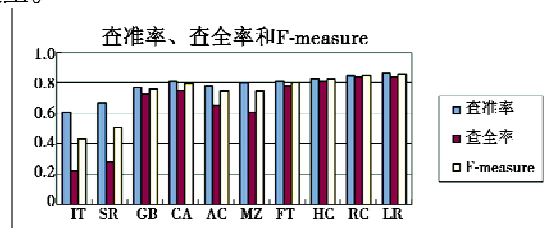


图 8 LRACSEP(LR)与其他 9 个常用模型的仿真结果比较

Fig.8 The simulation results of the proposed algorithm and the 9 models

## 4 结束语

本文提出一种从自然图像中自动提取感兴趣目标的方法。该方法在局部化区域型活动轮廓基础上,使用目标显著边界点作为先验知识,这使得原来交互式方法 LRAC 变成无监督方法了。实验结果表明,本方法比流行的基于显著性自动分割方法效果更好。

但是,该方法不能提取自然图像的多个显著目标。因此,多个目标的自动提取将作为今后的工作。

### 参考文献

- [1] LANKTON S, TANNENBAUM A. Localizing region-based active contours [J]. IEEE Transactions on Image Processing, 2008, 17(11):2029-2039.
- [2] LTTI L, KOCH C, NIEBUR E. A model of saliency-based visual attention for rapid scene analysis [J]. IEEE TPAMI, 1998, 20(11):1254-1259.
- [3] HOU X, ZHANG L. Saliency detection: A spectral residual approach [C]//Minneapolis, USA: IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR), 2007:1-8.
- [4] HAREL J, KOCH C, PERONA P. Graph-based visual saliency [C]// Vancouver, Canada, Neural Information Processing Systems Conference, 2006:545-552.
- [5] GOFERMAN S, ZELNIK-MANOR I, TAL A. Context-aware saliency detection [C]//IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR), 2010:2376-2383.
- [6] ACHANTA R, ESTRADA F, WILS P, et al. Salient region detection and segmentation [C]//International Conference of Computer Vision Systems, 2008:66-75.
- [7] MA Y F, ZHANG H J. Contrast-based image attention analysis by using fuzzy growing [C]//ACM Multimedia, 2003:374-381.
- [8] ACHANTA R, HEMAMI S, ESTRADA F, et al. Frequency tuned salient region detection [C]//IEEE International Conference Computer Vision and Pattern Recognition, 2009:1597-1604.
- [9] CHENG M, ZHANG G, MITRA N J, et al. Global contrast based salient region detection [C]//IEEE International Conference on Computer Vision (CVPR), 2011:409-416.
- [10] WEIJER J, GEVERS T, BAGDANOV A. Boosting color saliency in image feature detection [J]. IEEE Transaction on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 2006, 28:150-156.
- (上接第 15 页)
- [2] XIONG Ling, MA Jie, TIAN Jinwen. Gravity gradient aided position approach based on EKF and NN [C]//2011 Cross Strait Quad-Regional Radio Science and Wireless Technology Conference, Haerbin, China, July 26-30, 2011:1347-1350.
- [3] ROGERS M M. An investigation into the feasibility of using a modern gravity gradient instrument for passive aircraft navigation and terrain avoidance [D]. Ohio: Air Force Institute of Technology, 2009.
- [4] RICHESON J A, PINES D J. GPS denied inertial navigation using gravity gradiometry [C]//AIAA Guidance, Navigation and Control Conference and Exhibit, Hilton Head, SC, United States, August 20-23, 2007:4493-4515.
- [5] AFFLECK C A, JIRCITANO A. Passive gravity gradiometer navigation system [R]. Bell Aerospace Textron, 1990.
- [6] XIONG Ling. Submarine navigation based on gravity gradient-terrain matching [C]//Proceedings of SPIE-The International Society for Optical Engineering, Wuhan, China, 2007, 6790:67904S-1-67904S-6.
- [7] WU Lin. New method of underwater passive navigation based on gravity gradient [C]//Proceedings of SPIE-The International Society for Optical Engineering, Wuhan, China, 2007, 6790:67901V-1-67901V-8.
- [8] 熊正南, 蔡开仕, 武凤德, 等. 21 世纪美国战略潜艇导航技术发展综述 [J]. 舰船科学技术, 2002, 24(3):30-37.
- [9] DAVID M G. Passive airborne navigation and terrain avoidance using gravity gradiometry [J]. Journal of Guidance Control And Dynamics, 1995, 18(6):1450-1458.
- [10] KIAMEHR R, ESHACH M. EGMLab a scientific software for determining the gravity and gradient components from global geopotential models [J]. Journal of Earth Science Informatics, 2008, 1(2):93-103.
- [11] JEKELI C, ZHU L Z. Comparison of methods to model the gravitational gradients from topographic data bases [J]. Geophysical Journal International, 2006, 166(3):999-1014.
- [12] 张宗麟. 惯性导航与组合导航 [M]. 北京: 航空工业出版社, 2000:319-332.
- [13] RICHESON J A. Gravity gradiometer aided inertial navigation within non-GNSS environments [D]. Maryland: University of Maryland College Park, 2008.