

文章编号 1004-924X(2015)03-0819-08

采用脉冲耦合神经网络的改进显著性区域提取方法

贾松敏¹, 徐涛^{1,2*}, 董政胤¹, 李秀智¹

(1. 北京工业大学 电子信息与控制工程学院, 北京 100124;

2. 河南科技学院 机电学院, 河南 新乡 453003)

摘要: 由于仅考虑颜色等视觉对比信息的视觉显著性提取模型不符合人眼生物学过程, 本文提出了一种基于混合模型的改进显著性区域提取 (ISRE) 方法。该混合模型由显著性滤波算法和改进脉冲耦合神经网络 (PCNN) 算法构成。首先, 利用显著性滤波器算法获得原图像的初始显著性图 (OSM) 和亮度特征图 (IFM), 用 IFM 作为 PCNN 的输入神经元; 然后, 进一步对 PCNN 点火脉冲输入进行改进, 即对 PCNN 内部神经元与 OSM 的二值化显著性图进行点乘, 确定最终点火脉冲输入, 以获得更加准确的点火范围; 最后, 通过改进后的 PCNN 多次迭代, 完成显著性二值化区域提取。基于 1 000 张标准图像数据库进行的实验结果显示: 在视觉效果和客观定量数据比对两方面, 本算法均优于现有的 5 种显著性提取方法, 平均查准率为 0.891, 平均召回率为 0.808, 综合指标 F 值为 0.870。在真实环境实验中, 所提算法获得了精确的提取效果, 进一步验证了本算法具有较高的准确性和执行效率。

关键词: 混合模型; 特征提取; 改进显著性区域提取; 脉冲耦合神经网络 (PCNN); 点火脉冲; 二值化

中图分类号: TP391.4 **文献标识码:** A **doi:** 10.3788/OPE.20152303.0819

Improved salience region extraction algorithm with PCNN

JIA Song-min¹, XU Tao^{1,2*}, DONG Zheng-yin¹, LI Xiu-zhi¹

(1. College of Electronic Information and Control Engineering,
Beijing University of Technology, Beijing 100124, China;

2. School of Mechanical and Electrical Engineering,
Henan Institute of Science and Technology, Xinxiang 453003, China)

* Corresponding author, E-mail: xutaol206@gmail.com

Abstract: The visual salience extraction model only considers visual contrasting information and it does not conform to the biology process of human eyes. Therefore, a hybrid model based on Improved Salient Region Extraction (ISRE) algorithm was proposed in this paper. This hybrid model consists of a salience filtering algorithm and an improved Pulse Coupled Neural Network (PCNN) algorithm. Firstly, the salience filtering algorithm was used to get Original Salience Map (OSM) and Intensity Feature Map (IFM) was used as the input neuron of PCNN. Then, the PCNN ignition pulse input was further improved as follows: the point multiplication algorithm was taken between the PCNN internal neuron and the binarization salience image of OSM to determine the final ignition pulse input and to make the ignition range more exact. Finally, the salience binarization region was extracted by the improved PCNN multiply iteration. Based on ASD standard data base, some experiments on 1 000

收稿日期: 2014-10-30; 修订日期: 2014-12-05.

基金项目: 国家自然科学基金资助项目 (No. 61175087, No. 61105033)

images were performed. The experimental results show that the proposed algorithm is superior to the five existing saliency extraction algorithms uniformly in visual effect and objective quantitative data comparison. The results display that the precision ratio, recall ratio, and the overall F -measure of the proposed extraction algorithm are 0.891, 0.808, and 0.870, respectively. In a real context experiment, the proposed algorithm gets more accurate extraction effect, which verifies that the proposed algorithm has higher accuracy and execution efficiency.

Key words: hybrid model; feature extraction; Improved Salient Region Extraction (ISRE); Pulse Coupled Neural Network(PCNN); ignition pulse; binarization

1 引 言

据统计,人类所获取的 80%~90% 的外界信息是经过视觉系统传入大脑的^[1]。图像像素的识别技术和人眼获取注意区域的方法类似,是一个复杂的跨学科问题,急需一个深入融合神经学、生物学、计算机视觉等领域的高水平模型来进行分析。最新研究显示,模拟人眼低水平刺激注意机制^[2]的计算模型在图像分割^[3],目标检测^[4],图像配准^[5]和图像质量评价^[6]等领域都可作为有效的应用工具。

近些年,受人类视觉系统启发,研究人员提出了一些视觉显著性检测算法。Itti 等^[7]提出一种自下而上连续扫描的显著性图生成方法,该方法在神经网络框架启发下,首先提取图像在不同尺度空间下的颜色(colors)、亮度(intensity)、方向(orientations)3个局部特征,接着,利用中心-周围算子线性融合多尺度、多特征的差别图像(contrast maps)以获取最终显著性图。Hou 等^[8]提出一种基于频谱残留的方法,即通过分析图像的对数谱,从图像频谱域中提取频谱残留,在对应空间域构建显著性图。Goferman 等^[9]的算法模型通过融合局部底层线索、全局考虑、视觉组织规则以及表层特征来突出显著性物体。Cheng 等^[10]把上述方法定义为局部对比度方法,这类方法更倾向于在边缘部分产生高显著性值,但不能均匀地突出整个物体。近几年提出的显著性算法更多的采用全局对比度方法,即在整个图像区域内评估像素或者区域。Achantai 等^[11]定义了基于逐像素的方法,平均均值漂移分割区域内的显著性值,并选择平均显著性值高于某个阈值的区域作为感兴趣区域,同时利用高斯模糊以减少噪声和低频部分的影响,但该方法会将高亮度的背

景区域误识别为显著性区域。Perazzi 等^[12]在 Achantai 等的算法基础上做了延伸,首先获得初始图像的超像素分割图,并分别提取出超像素分割图的颜色独特性图和空间颜色分布图,最后将两者进行融合并从超像素映射回像素级,完成最终的显著性提取。文献^[13]融合对比度和分布性方法分别在 RGB 和 LAB 空间提取图像显著性图,对两者进行组合确定最终显著性图。总体来看,不论是局部还是全局显著性算法,都是基于各类视觉对比和像素(pixels)、块(blocks)或者区域(regions)^[14]等各类特征对图像建模。

从生物学角度来看,人眼视觉系统是一个视觉刺激信息复杂传播的过程,因此图像视觉显著性提取模型应当是一个复杂的过程,而不仅仅是基于颜色等视觉对比信息的简单模型。早在 1952 年,Hodgkin 等^[15]即提出了哺乳动物视觉皮层模型。后续研究发现猫和猴的视觉系统与人最为接近^[1]。Eckhorn 等^[16]提出一种猫的视觉皮层模型,其神经元的输入包含反馈部分和连接部分。其中,反馈输入用于接收外部激励和邻域激励信号,连接输入则仅接收邻域激励信号。在 Eckhorn 模型的基础上,Lindblad 等^[17]演化提出脉冲耦合神经网络(Pulse Coupled Neural Network,PCNN),PCNN 输出的是二值图像,且具有位移、旋转、尺度和扭曲不变性。文献^[18-21]从不同方向研究了基于 PCNN 的图像分割技术,实验结果表明 PCNN 能弥补因细小灰度差别而造成的图像中边缘间隙的不连续性。

为模拟人眼的生物过程,本文提出了一种融合显著性滤波器算法^[12](Saliency Filters,SF)和 PCNN 的改进显著性区域提取(ISRE)方法。该算法基于 SF 算法^[12]提取原图像的初始显著性图和亮度特征图,并将亮度特征图每个像素作为 PCNN 的输入神经元。为了获得更加准确的点

火范围,对 PCNN 点火脉冲输入进行改进,经多次迭代,完成显著性二值化区域提取。

2 改进显著性区域提取模型

SF 算法^[12]获得的显著性图无法克服基于单一全局视觉对比差异模型所带来的缺陷,即在背景中存在高亮度的显著性区域时,会将背景区域当作显著性区域提取出来,如图 1(b)所示。针对此问题,模拟生物学人类视觉系统,本文 ISRE 模型利用从粗到精的分割思想,先对图像进行 SF 粗分割,进而利用改进 PCNN 进行精分割,直接实现二值显著性区域提取。如图 1(c)所示。

如前所述,ISRE 是模拟人眼生物过程的基于 SF 模型^[12]的混合模型,算法实现包含 6 个步骤:(1)获取粗分割显著性图 OSM 和 IFM;(2)将 IFM 每个像素点作为 PCNN 的输入神经元;(3)每个外部刺激通过连接突触权重形成局部刺激;(4)经连

接调制获取 PCNN 内部活动项;(5)改进 PCNN 点火脉冲。(6)迭代生成最终二值化显著性图。具体 ISRE 模型框架如图 2 所示,共包含如下 3 个部分。

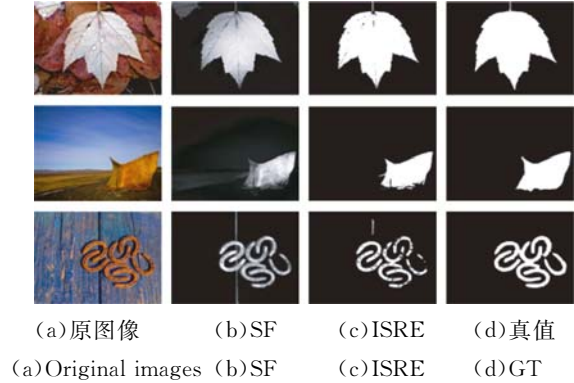


图 1 ISRE 模型与 SF 模型效果对比图
Fig. 1 Comparison of ISRE model and SF model

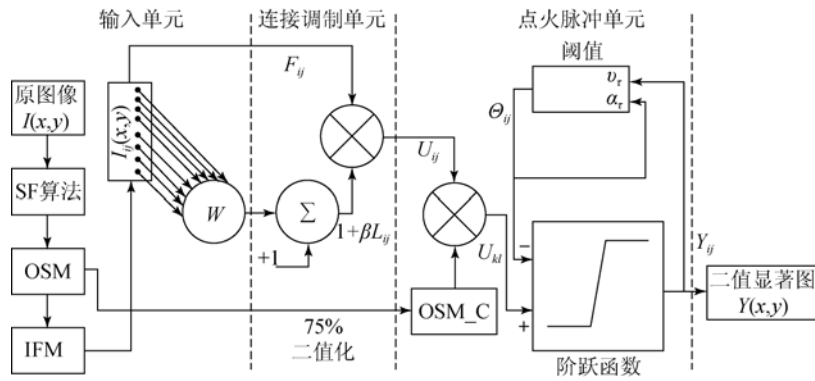


图 2 ISRE 模型框架
Fig. 2 Frame diagram of ISRE model

2.1 输入单元

原图像经 SF 算法^[12]获得初始显著性图 OSM 和亮度特征图 IFM。其具体实现过程分为 4 个步骤:

(1)对输入原图像做超像素分割;(2)提取超像素每个元素的独特性(uniquness);(3)度量整幅图像的分布性,即针对特定区域元素做深度渲染,突出其显著性;(4)融合步骤(2)和(3)确定 OSM 和 IFM。

将 IFM 的每个像素 $I_{ij}(x, y)$ 作为 PCNN 的外界刺激输入 F_{ij} ^[17],同时通过连接突触权重 W ,将 $I_{ij}(x, y)$ 与其 3×3 范围内 8 个邻域连接起来形成一个局部刺激 L_{ij} ^[17]。权重 W 是一个 3×3 的核矩阵,其值由中心像素点到其 8 邻域边界像素的距离决定,计算如式(1)所示:

$$W_{ijkl} = \frac{1}{\sqrt{(i-k)^2 + (j-l)^2}}, \quad (1)$$

式中:(i, j)为中心像素点的像素坐标,(k, j)分别为其 8 邻域边界像素坐标。由此确定 W 取值如式(2)所示:

$$W = \begin{bmatrix} 0.707 & 1 & 0.707 \\ 1 & 0 & 1 \\ 0.707 & 1 & 0.707 \end{bmatrix}. \quad (2)$$

2.2 连接调制单元

连接调制单元的主要作用是将外界刺激主输入 F_{ij} 和局部刺激连接输入 L_{ij} 调制耦合,如式(3)^[17]所示:

$$U_{ij}[n] = F_{ij}[n] \{1 + \beta L_{ij}[n]\}, \quad (3)$$

其中: U_{ij} 为神经元内部活动项; β 是突触之间的连接强度系数,其取值越大,则 8 邻域的神经元对其

中心神经元的影响越大,计算公式如式(4)所示:

$$\beta = \frac{1}{\sqrt{STD_{ij} + 1}}, \quad (4)$$

式中: STD_{ij} 表示中心神经元与其 8 邻域灰度值的标准方差。本文中取 β 为 0.4。

2.3 点火脉冲单元

人眼生物视觉过程的一大特点是视觉注意点会随着场景的改变而随时改变。为了准确模拟这一过程,本文对传统 PCNN 点火脉冲单元进行改进。具体实现步骤如下:

Setp 1. 对 OSM 二值化,获取其二值图像 OSM_C。取 OSM 最大的非零灰度值的 75% 像素点作为显著性点,将它们的值设置为 1(白色),界定出最大范围的显著性区域,其它值设置为 0(黑色),界定为确定的背景区域。

Setp 2. 将神经元内部活动项 U_{ij} 与 OSM_C 点乘,确定最终点火脉冲输入 U_{kl} ,如式(5)所示:

$$U_{kl} = U_{ij} \cdot \text{OSM_C}. \quad (5)$$

Setp 3. 由 U_{kl} 确定神经元的动态阈值 Θ_{ij} ,此过程如式(6)所示:

$$\Theta_{ij}[n] = \max[U_{kl}(x, y)]e^{-\alpha}, \quad (6)$$

其中: α 是传统 PCNN 动态阈值指数衰减系数^[17],本文中取值为 0.3。

Setp 4. 将 U_{kl} 的最大值与动态阈值 Θ_{ij} 作比较,确定全部应点火神经元的取值范围,产生出时序脉冲序列 Y_{ij} ,如式(7)所示:

$$Y_{ij}[n] = \begin{cases} 1 & U_{kl}[n] > \Theta_{ij}[n] \\ 0 & \text{其它} \end{cases}. \quad (7)$$

经多次迭代,完成最终二值化显著图提取。ISRE 模型具有类似人眼视觉神经系统神经元抑制作用,即可以通过已点火的孤立神经元或极小区域神经元抑制远离显著性目标区域的噪点。各单元的处理效果如图 3 所示。

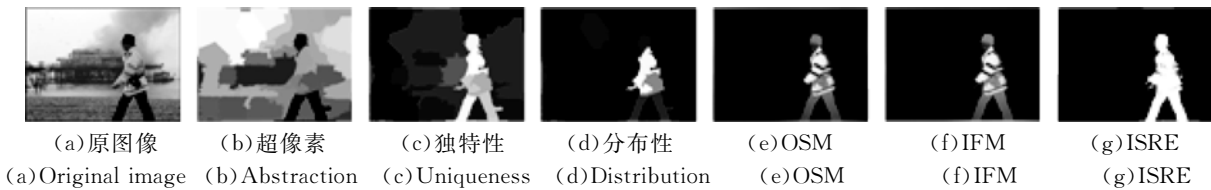


图 3 ISRE 模型各单元的效果图

Fig. 3 Effect of each unit in ISRE model

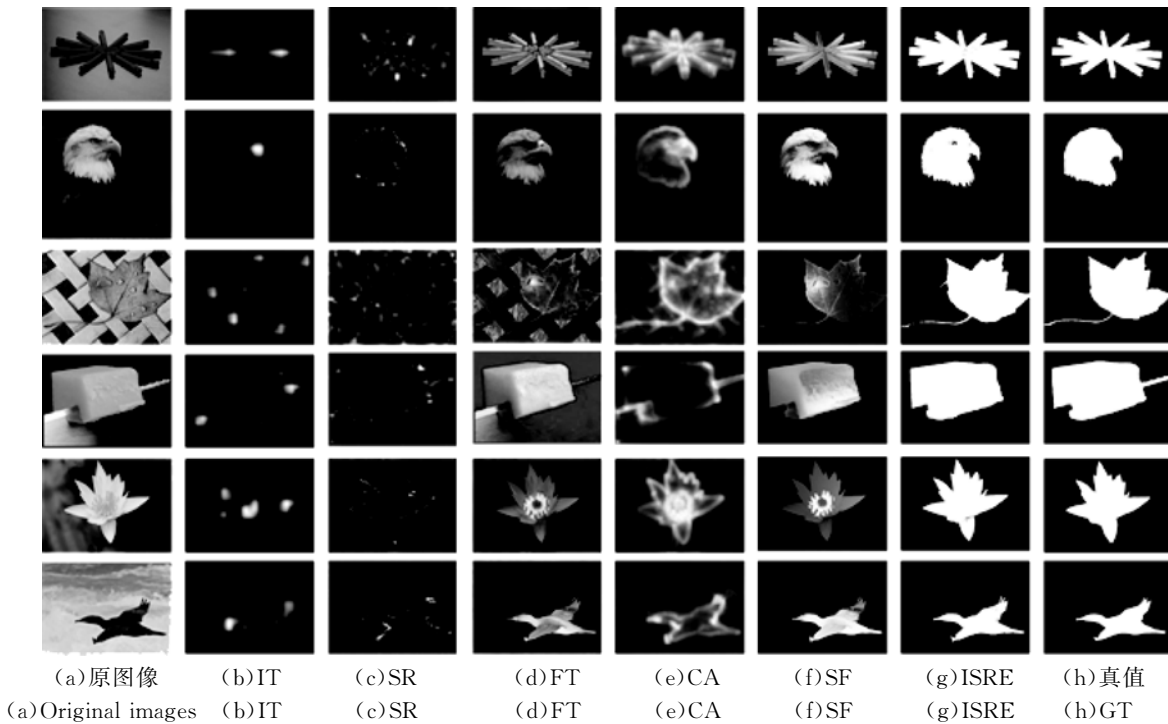


图 4 现有算法与 ISRE 和真值视觉对比实验

Fig. 4 Contrast experiment among existing algorithm, ground truth, and ISRE

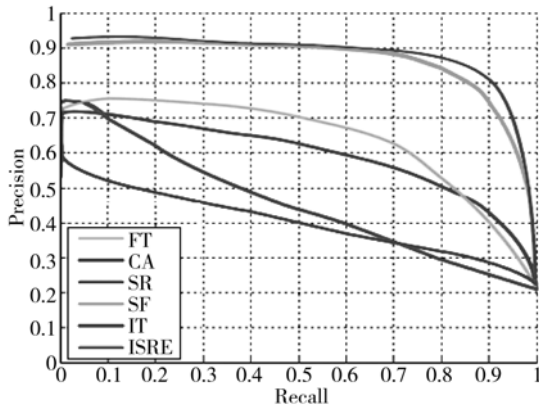
3 实验结果及分析

3.1 标准数据库实验结果

为验证所提 ISRE 算法在图像显著性提取中的有效性,基于文献[22]和[11]提供的 1 000 张原始图像和显著性真值数据库,将本文方法与现有 5 种显著性算法在视觉效果和客观定量数据两方面进行对比实验。视觉对比实验结果如图 3 所示。

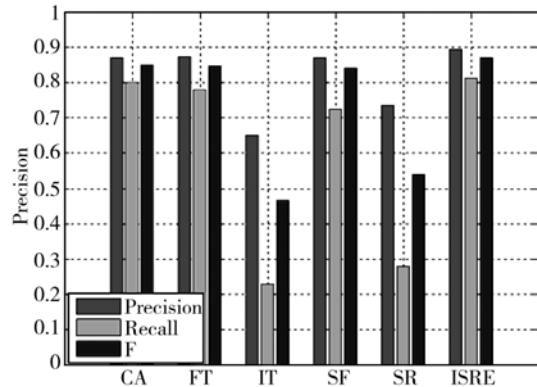
从图中可以看出,第二列的 IT 算法^[7]没能完全凸显出显著性区域,第三列 SR 算法^[8]只关注于对显著性边缘的提取,而丢失了内部信息,第四列

FT 算法^[11]和第五列 CA 算法^[9]整体表现较好,但当背景显著性过强时效果不好,比如第三行图像中的网格和第四行图像中的竹签都被当作显著性区域提取了出来。第六列 SF 算法^[12]是 ISRE 模型的基础,其对于各类场景的图像均可较为准确地提取出显著性区域,但与真值对比结果显示,在显著性区域边缘和亮度差异较大时提取效果仍需提高。第七列是本文所提算法的最终显著性区域二值化提取效果,其整体效果较 SF 算法有了明显提升,如第五行图像中花蕊区域和第六行图像中大雁翅膀末端的提取效果提升明显,与第八列真值(Ground Truth,GT)更为接近。



(a) 自定义阈值对比曲线

(a) Comparison curves of custom thresholds



(b) 自适应阈值对比柱状图

(b) Comparison histograms of adaptive thresholds

图 5 召回率,查准率和 F 值对比实验结果

Fig. 5 Comparison results of recall, precision and F-measure values

为进一步更加客观地验证所提算法,参照文献[11]设计的两种实验方案对 IT^[7],SR^[8],FT^[11],CA^[9],SF^[12]和 ISRE 算法进行定量计算,得出客观的对比实验数据。文献[11]给出的两种实验方案均是将显著性算法提取出的显著性区域像素个数与真值显著性区域像素个数作对比,分别计算其召回率(Recall),查准率(Precision)和 F 值(F-Measure),如式(8)、式(9)、式(10)所示。所不同的是,实验一采用自定义阈值分割二值显著性图,且用曲线形式显示对数据库每张图像的计算结果,实验二采用自适应阈值分割二值显著性图,并用柱状图形式衡量数据库图像平均计算结果,定量对比实验结果如图 5 所示。

$$Recall = \frac{DSR \cap GT}{GT}, \quad (8)$$

$$Precision = \frac{DSR \cap GT}{DSR}, \quad (9)$$

$$F = \frac{(1 + \beta^2) Precision \times Recall}{\beta^2 \times Precision + Recall}. \quad (10)$$

其中:DSR(Detected Salient region)为算法所得显著性区域。参照文献[10]的标准,即为了避免一味地提取过大显著性区域所造成的召回率过高,设置 $\beta^2 = 0.3$ 以提升查准率的比重。

从图 5(a)可看出,本文所提 ISRE 算法对于数据库每张图像的提取效果均在 SF 算法基础上有所提高,且明显高于其它 4 种算法。而图 5(b)中,ISRE 算法的平均查准率为 0.891,平均召回率为 0.808,F 值为 0.870,均较 SF 算法^[12]有所提升,且均明显高于其它 4 种算法。

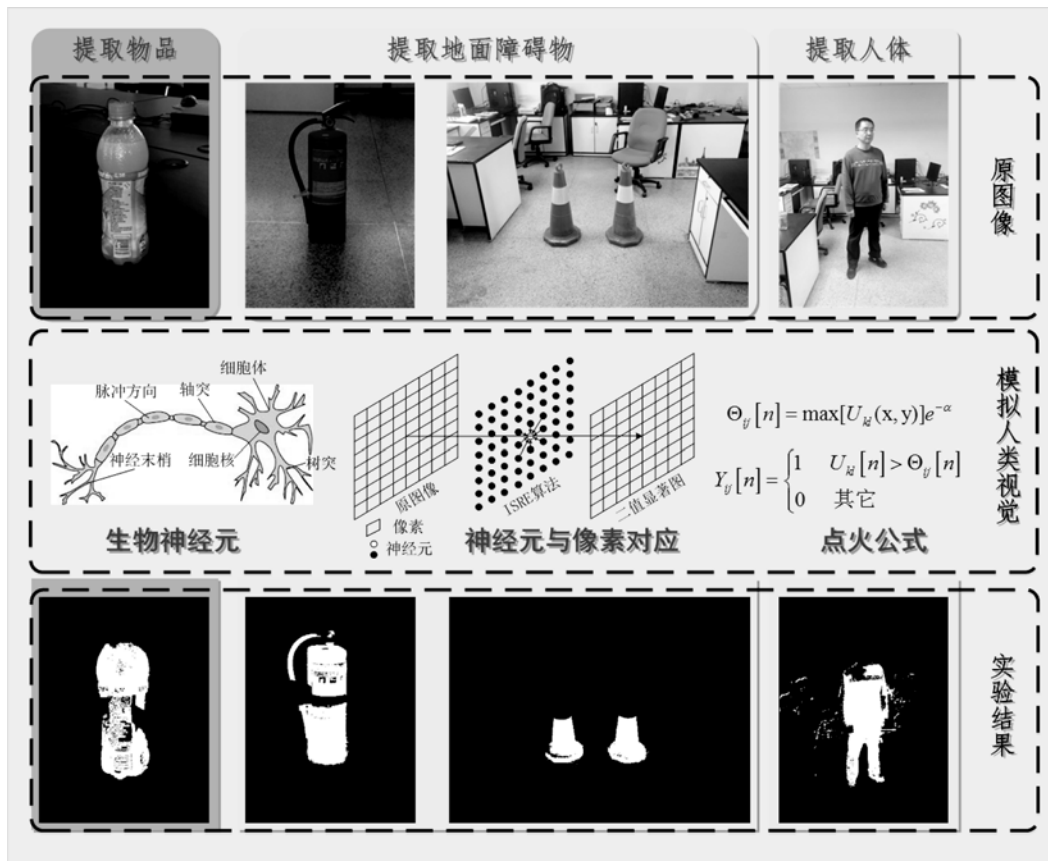


图 6 真实场景图像显著性提取结果

Fig. 6 Extraction results of real scene salient with ISRE

3.2 真实场景实验结果

为进一步验证所提 ISRE 算法的有效性,在实验室真实场景图像中使用本算法提取图像显著性区域,提取对象设置为 3 类,即物体、地面障碍物、人体,实验结果如图 6 所示。

从图 6 可以看出,本算法模拟人类视觉,能够实现目标物体的准确识别,地面障碍物检测,人体主要轮廓捕捉等功能。但也存在针对不同场景,提取效果差异较大,有部分显著性信息丢失的问题。比如虽然可以实现人体整体轮廓的识别,但因为人体皮肤和衣服显著性差异较大,易使人体裸露的皮肤部位信息丢失。

4 结 论

本文提出一种基于 PCNN 改进显著性提取算法 ISRE。该方法针对当背景中存在高亮度的

显著性区域时, SF 算法^[12]会将背景区域当作显著性区域的问题,采用 PCNN 模拟人类视觉生物过程对 SF 算法进行了改进,实现了对显著性区域的直接二值化提取。为了使 PCNN 的提取效果更有针对性,改进了原始 PCNN 模型的点火脉冲单元,并实现了阈值的自动获取。通过标准图像数据库的定性和定量的对比实验可知,本算法提取效果与真值更加接近,平均查准率为 0.891,平均召回率为 0.808, F 值为 0.870,均优于 SF 算法^[12]。在真实场景图像显著性区域提取试验中,本算法也表现出了较高的准确性,进一步验证了算法的有效性和执行效率。

在后续研究工作中,将利用原图像显著性区域颜色和纹理信息来恢复丢失的显著性信息,使真实场景的提取效果与人眼视觉显著性更加接近,并将进一步深入研究所提算法在目标识别与跟踪,障碍物检测和三维重建等领域的应用。

参考文献:

- [1] 寿天德. 视觉信息处理的脑机制[M]. 合肥: 中国科学技术大学出版社, 2010.
SHOU T D. *Brain Mechanisms of Visual Information Processing* [M]. Hefei: Press of University of Science and Technology of China, 2010. (in Chinese)
- [2] KOCH C, ULLMAN S. Shifts in selective visual attention: towards the underlying neural circuitry [J]. *Human neurobiology*, 1985, 4(4):219-227.
- [3] LIU ZH, ZHANG X, LUO SH H, *et al.*. Super-pixel-based spatiotemporal saliency detection [J]. *IEEE Trans. Circuits Syst. Video Technol.*, 2014, 24(9):1522-1540.
- [4] 王丽佳, 贾松敏, 王爽, 等. 采用改进 Mean Shift 算法的移动机器人行人跟踪[J]. *光学精密工程*, 2013, 21(9):2364-2370.
WANG L J, JIA S M, WANG SH, *et al.*. Person tracking of mobile robot using improved Mean Shift [J]. *Opt. Precision Eng.*, 2013, 21(9): 2364-2370. (in Chinese)
- [5] ZHANG L, SHEN Y, LI H, *et al.*. VSI: A visual saliency-induced index for perceptual image quality assessment [J]. *IEEE Trans. Image Process.*, 2014, 23(10): 4270-4281.
- [6] MA L, LI S N, NGAN K N. Visual horizontal effect for image quality assessment [J]. *IEEE Signal Process. Lett.*, 2010, 17(7):627-630.
- [7] ITTI L, KOCH C, NIEBUR E. A model of saliency-based visual attention for rapid scene analysis [J]. *IEEE TPAMI*, 1998, 20(11):1254-1259.
- [8] HOU X, ZHANG L. Saliency detection: A spectral residual approach [C]. 2007 *IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*, Minneapolis, United states, CVPR, 2007:1-8.
- [9] STAS G, LIHI Z, AYELLET T. Context-aware saliency detection [C]. 2010 *IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*, San Francisco, United states, CVPR, 2010:2376-2383.
- [10] CHENG M, ZHANG G, MITRA N J, *et al.*. Global contrast based salient region detection[C]. 2011 *IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*, Colorado Springs, United states, CVPR, 2011:409-416.
- [11] RADHAKRISHNA A, SHEILA H, FRANCISCO E, *et al.*. Frequency-tuned salient region detection[C]. 2009 *IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition Workshops*, Miami, United states, CVPR Workshops, 2009:1597-1604.
- [12] PERAZZI F, KRAHENBUL P, PRITCH Y, *et al.*. Saliency filters: contrast based filtering for salient region detection[C]. 2012 *IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*, Providence, United states, CVPR, 2012: 733-740.
- [13] 张颖颖, 张帅, 张萍, 等. 融合对比度和分布性的图像显著性区域检测[J]. *光学精密工程*, 2014, 22(4):1012-1019.
ZHANG Y Y, ZHANG SH, ZHANG P, *et al.*. Detection of salient maps by fusion of contrast and distribution [J]. *Opt. Precision Eng.*, 2014, 22(4): 1012-1019. (in Chinese)
- [14] RICHARD J, DANNY C. Deep salience: visual salience modeling via deep belief propagation[C]. *Twenty-Eighth AAAI Conference on Artificial Intelligence*, Québec City, Canada, AAAI, 2014:2773-2779.
- [15] HODGKIN A L, HUXLEY A F. A quantitative description of membrane current and its application to conduction and excitation in nerve [J]. *The Journal of physiology*, 1952, 117(4):500-544.
- [16] ECKHORN R, REITNOECK H J, ARNDT M, *et al.*. Feature linking via synchronization among distributed assemblies: Simulations of results from cat visual cortex [J]. *Neural Computation*, 1990, 2(3):293-307.
- [17] THOMAS L, JASON M K. *Image Processing Using Pulse-Coupled Neural Networks* [M]. New York: Springer-Verlag, 2013.
- [18] CHEN Y, PARK S K, MA Y, *et al.*. A new automatic parameter setting method of a simplified PCNN for image segmentation [J]. *IEEE Trans. Neural Netw.*, 2011, 22(6):880-892.
- [19] 郑欣, 彭真明. 基于活跃度的脉冲耦合神经网络图像分割[J]. *光学精密工程*, 2013, 21(3):821-827.
ZHENG X, PENG ZH M. Image segmentation based on activity degree with pulse coupled neural networks[J]. *Opt. Precision Eng.*, 2013, 21(3): 821-827. (in Chinese)
- [20] LIU S, HE D, LIANG X. An improved hybrid model for automatic salient region detection [J]. *IEEE Signal Processing Letters*, 2012, 19(4): 207-210.

- [21] 王蒙军, 阳路, 王霞, 等. 用简化脉冲耦合神经网络实现交通标志图像的类 Euclidean 距离变化类内特征提取[J]. 光学精密工程, 2012, 20(12): 2751-2758.
WANG M J, YANG L, WANG X, *et al.*. Realization of within-class feature extracting based on Euclidean-like distance transform for traffic signs using simplified PCNN[J]. *Opt. Precision Eng.*, 2012, 20(12): 2751-2758. (in Chinese)
- [22] MARTIN D, FOWLKES C, TAL D, *et al.*. A database of human segmented natural images and its application to evaluating segmentation algorithms and measuring ecological statistics[C]. *8th IEEE International Conference on Computer Vision, Vancouver, United states, ICCV, 2001, 2: 416-423.*

作者简介:



徐涛(1981—),男,河南新乡人,博士研究生,讲师,2009年于西华大学获得硕士学位,主要从事智能机器人导航、机器视觉等方面的研究。E-mail: xutao1206@gmail.com

导师简介:



贾松敏(1964—),女,北京人,博士,教授,博士生导师,2002年于日本国立电气通信大学获得博士学位,主要从事智能服务机器人,计算机视觉等方面的研究。E-mail: jsm@bjut.edu.cn

(版权所有 未经许可 不得转载)