

文章编号 1004-924X(2017)07-1934-07

基于元胞自动机的动态背景运动目标检测

陆 牧¹, 朱 明¹, 高 扬¹, 张 刘^{2*}

- (1. 中国科学院 长春光学精密机械与物理研究所 航空光学成像与测量重点实验室, 吉林长春 130033;
2. 吉林大学 仪器科学与电气工程学院, 吉林 长春 1360061)

摘要:针对传统运动目标检测算法在动态背景条件下难以准确检测出运动目标的问题,提出了一种基于元胞自动机的动态背景运动目标检测算法。首先,根据 SLIC 算法分割视频图像,并应用多模态混合动态纹理模型对视频图像进行背景建模。然后,融合空时显著性检测与基于元胞自动机的自动更新机制得到优化的显著性图。最后,通过对优化后的显著性图做适当的阈值分割处理得到视频图像中的运动目标。实验仿真结果表明,在动态背景条件下该算法可以有效的抑制视频图像中非运动目标的显著性物体对检测结果带来的影响,检测运动目标的精度较高,并且具有一定的鲁棒性。

关键词:元胞自动机;显著性检测;动态背景;运动目标检测

中图分类号:TP391.41 **文献标识码:**A **doi:**10.3788/OPE.20172507.1934

Moving target detection based on dynamic background of cellular automaton

LU Mu¹, ZHU Ming¹, GAO Yang¹, ZHANG Liu^{2*}

- (1. *Changchun Institute of Optics, Fine Mechanics and Physics, Chinese Academy of Sciences, Aviation Imaging and Laboratory Measurement of Optical, Changchun 130033, China;*
 2. *College of Instrumentation & Engineering, Jilin University, Changchun 1360061, China)*
- * Corresponding author, E-mail: zhangliu78@163.com*

Abstract: Aiming at the problem that it is hard to use the traditional moving target detection algorithm to accurately detect the moving target under the dynamic background, a kind of moving target detection algorithm for the cellular automaton under the dynamic background was proposed in the thesis. Firstly, according to SLIC algorithm, video images were divided in the thesis, and multi-mode hybrid dynamic texture model was used for background modeling for video images; Then, space-time saliency detection was integrated with the optimized saliency map which was obtained based on the automatic updating mechanism of the cellular automaton; Finally, through making appropriate threshold segmentation process for the optimized saliency map, moving targets in video images was obtained. The experimental simulation result shows that under dynamic background, the algorithm can effectively restrain the influence of the salient object for non moving targets in video images on the detection result; moving targets can be detected with higher accuracy; what's more, the algorithm has certain robustness.

Key words: cellular automata; saliency detection; dynamic background; moving target detection

收稿日期:2016-10-10;修订日期:2016-12-21.

基金项目:吉林省科技发展计划青年科研基金资助项目(No. 20150520057JH)

1 引 言

作为计算机视觉领域重要分支的运动目标检测技术近年来在民用、军用领域均得到了广泛的重视和较大的发展^[1-2]。动态背景条件下的运动目标检测一直是该领域研究的难点和热点问题。常见的运动目标检测方法包括:背景差分法^[3]和帧间差分法^[4]、运动补偿法^[5]以及光流法^[6]等。但在动态背景的条件下,上述方法均不能很好的检测出运动目标。背景差分法和帧间差分法不适用于动态背景条件下的运动目标检测;运动补偿法因其对于视频图像背景信息的敏感性,在复杂背景条件下运动目标的检测效果并不理想^[7];光流法的抗噪性较差并且对于光照变化也十分敏感^[8]。显著性检测算法是一种借鉴人类视觉注意机制的目标检测算法,其主要目标是指出场景中哪些区域更容易成为人类视觉关注的焦点^[9-10]。目前显著性检测的研究主要基于以下两种模型:基于图像数据的自底向上模型^[11]以及基于任务的自顶向下模型^[12]。自底向上模型以场景图像中的位置或区域作为视觉注意及基本单位,该模型提取图像空间信息和颜色信息等底层特征作为显著性的度量。自顶向下模型则以场景图像中的物体或目标作为视觉注意及基本单位,这种模型将先验知识或特定的任务目标作为显著性的度量。传统的显著性检测方法大多是基于单帧图像的^[13],本文着眼于针对视频图像序列的显著性检测。该方法不仅将单帧图像各区域之间的特征差异作为显著性检测的度量,同时还根据视频图像序列的特点,将相邻帧图像对应区域间的特征差异作为显著性检测的度量。不仅如此,本文通过元胞自动机的自动更新机制进一步优化得到的显著性图。大量仿真实验结果表明,元胞自动机的引入能极大地优化动态背景下运动目标检测的结果,并且当运动目标出现被遮挡或是光照变化等情况时,元胞自动机均可将显著性图提高到一个相似的准确率水平^[14]。因此在上述情况下该方法仍能很好的完成动态背景下的运动目标检测。

综上所述,本文通过对图像序列的显著性检

测来提取显著性图,并利用元胞自动机的自动更新机制抑制视频图像中非运动目标的显著性物体,进而优化得到的显著性图。最后通过对优化后的显著性图做适当的阈值分割处理,并将显著性大的区域作为运动目标,最终完成动态背景下的运动目标检测。

2 动态背景下的运动目标检测

针对运动目标检测中背景变化的情况,将空时显著性检测和元胞自动机引入到动态背景下的运动目标检测中,并取得了较好的实验效果。

2.1 空时显著性检测

由于动态背景下运动目标检测的背景通常较为复杂,传统的基于单模态的动态纹理模型无法准确完整地描述出背景信息^[15-16]。故采用一种基于多模态混合的动态纹理模型来描述高动态的背景信息。

假定视频序列 I , 可用 K 个动态纹理 $\{\varepsilon_1, \varepsilon_2, \dots, \varepsilon_K\}$ 来描述, 其生成视频 I 的概率为 $\{x_1, x_2, \dots, x_K\}$, 可得式(1)。

$$\sum_{j=1}^K x_j = 1. \quad (1)$$

从概率分布 $\{x_1, x_2, \dots, x_K\}$ 中随机抽取概率为 x_j 的动态纹理 ε_j , 则由该动态纹理抽样生成视频 I 的条件概率为 $p(I | \varepsilon_j)$ 。由全概率公式^[8]可得式(2)。

$$p(I) = \sum_{j=1}^K x_j p(I | \varepsilon_j). \quad (2)$$

上式即多模态混合的动态纹理模型, 其参数 $\varepsilon = \{\varepsilon_1, \varepsilon_2, \dots, \varepsilon_K, x_1, x_2, \dots, x_K\}$ 可由最大似然估计法逐步迭代得到^[17]。

为了能更好的获得视频图像固有的结构信息并满足目标检测的实时性, 通过 SLIC^[18] 算法将视频图像分割成 N 个超像素点。将超像素点定义为 $i(m, n, t)$, 其中 m, n 为该超像素点在视频图像中的坐标位置, t 为帧数。定义超像素点 i 的类别信息为 $C(i) \in \{0, 1\}$, 其中 $C(0)$ 表示该超像素点属于背景, $C(1)$ 表示该超像素点属于运动目标。则视频图像中心区域超像素点 i^1 属于运动目标的条件概率为 $p_{1|C(0)}(i^1 | 1)$, 视频图像边缘区域超像素点 i^0 属于背景的条件概率为 $p_{1|C(0)}(i^0 | 0)$ 。定义超像素

点 i 的显著性 $S(i)$ 如式(3)。

$$S(i) = \sum_{c=0}^1 p_{C(i)}(c) KL(p_{I|C(i)}(i|c) \| p_I(i)), \quad (3)$$

其中 $KL(x \| y)$ 为 x, y 的相对熵, 用来表征两个概率分布之间的差异, 定义如式(4):

$$KL(p \| q) = \int_x p_x(x) \log \frac{p_x(x)}{q_x(x)} dx. \quad (4)$$

式(3)表明, 显著性值较大的超像素点与图像边缘区域特征差异较大, 故该像素点很可能属于运动目标^[19]。然而在实际的动态背景运动目标检测中, 将视频图像的边缘区域作为背景种子并不总是可靠的, 即在背景存在运动的情况下运动目标很可能出现在视频图像的边缘区域。基于此, 为了能更有效的分类边缘背景种子, 提高动态背景下运动目标检测的可靠性, 本文利用元胞自动机的自动更新机制来优化得到的显著性图。

2.2 基于元胞自动机的自动更新机制

元胞自动机于 1951 年由 J. Von Neumann 等人提出^[20], 是一种结构简单却有着复杂的自组织行为的动态机制。该模型由许多离散的元胞组成, 每个元胞根据相应的规则在离散的时间步里不断的更新自己的状态。每个元胞下一时刻的状态由当前时刻该元胞的状态与其相邻元胞的状态共同决定^[21]。由于视频图像中的显著性物体总是倾向于聚集的, 因此本文应用元胞自动机来探索相邻区域间的本质联系并且减少相似区域间的差异性。

将通过 SLIC 算法得到的每一个超像素点定义为一个元胞, 各元胞间的相似性特征可由 CIE LAB 色彩空间中的欧氏距离来衡量^[22]。建立元胞 α 与元胞 β 的影响因子矩阵 $\mathbf{F} = [f_{\alpha\beta}]_{M \times M}$ 如式(5):

$$f_{\alpha\beta} = \begin{cases} \exp\left(-\frac{\|d_\alpha, d_\beta\|}{\sigma^2}\right) & \beta \in NB(\alpha) \\ 0 & \alpha = \beta \text{ 或其他} \end{cases}, \quad (5)$$

其中: $\|d_\alpha, d_\beta\|$ 为 CIE LAB 色彩空间中元胞 α 与元胞 β 的欧氏距离, $NB(\alpha)$ 代表元胞 α 的所有相邻元胞的集合, σ 为相似力度参数, 当视频序列颜色变化较为剧烈时可以适当调小参数 σ , 根据

经验这里取 $\sigma = 0.2$ 。对影响因子矩阵做行归一化处理, 得:

$$\mathbf{F}^* = \mathbf{A}^{-1} \times \mathbf{F}, \quad (6)$$

其中 \mathbf{A} 为归一化矩阵 $\mathbf{A} = \text{diag}\{a_1, a_2, \dots, a_M\}$ 且 $a_\alpha = \sum_{\beta} f_{\alpha\beta}$ 。

为了促进每个元胞自动更新到一个更加可靠和稳定的状态, 使显著的运动目标更容易被检测出来^[23], 建立置信度矩阵 $\mathbf{B} = \text{diag}\{b_1, b_2, \dots, b_N\}$ 。则每个元胞当前时刻状态的置信度可表示为:

$$b_\alpha = \frac{1}{\max(f_{\alpha\beta})}. \quad (7)$$

为了满足 $b_\alpha \in [u, u+v]$, 将置信度矩阵改写为 $\mathbf{B}^* = \text{diag}\{b_1^*, b_2^*, \dots, b_N^*\}$, 得:

$$b_\alpha^* = u \cdot \frac{b_\alpha - \min(b_\beta)}{\max(b_\beta) - \min(b_\beta)} + v, \quad (8)$$

其中 $\beta = 1, 2, \dots, N$ 。置信度常数 u, v 表征单个元胞受相邻元胞当前时刻状态影响的大小, 根据经验令置信度常数 $u = 0.6, v = 0.3$ 。此时, 若元胞 α 与其相邻元胞 β 之间存在较大差异, 则元胞 α 下一时刻的状态主要由其当前时刻的状态决定; 若元胞 α 与其相邻元胞 β 之间没有明显差异, 则元胞 α 下一时刻的状态将由元胞 α 和元胞 β 共同决定^[24]。

在元胞自动机中, 所有元胞依据更新原则同步更新它们的状态^[16]。基于视频图像的本质特点, 提出了如下两点同步更新原则: 第一, 视频图像中属于运动目标的元胞有着局部相似的颜色特征; 第二, 视频图像中属于运动目标的元胞与属于背景的元胞其颜色特征存在较大差异。根据以上两点同步更新原则, 结合影响因子矩阵 \mathbf{F}^* 和置信度矩阵 \mathbf{B}^* , 定义同步更新原则 $f: \mathbf{S}^{N^B} \rightarrow \mathbf{S}$ 如式(9):

$$\mathbf{S}^{t+1} = \mathbf{B}^* \cdot \mathbf{S}^t + (\mathbf{E} - \mathbf{B}^*) \cdot \mathbf{F}^* \cdot \mathbf{S}^t, \quad (9)$$

其中: \mathbf{E} 是单位矩阵, t 为帧数。

基于元胞自动机的自动更新机制, 当运动目标出现在视频图像的边缘区域时, 即使运动目标所包含的显著的超像素点被误选为背景种子, 根据以上更新原则, 该超像素点依然会在局部环境的影响下自动增加其显著性值。

2.3 动态背景运动目标检测结果

根据以上方法得到的显著性图是灰度图像,

其各超像素点显著性值的大小反映该超像素点属于运动目标的概率,显著性值越大,属于运动目标的概率越高^[25]。为了得到动态背景运动目标检测的结果,对显著性图做适当的阈值分割处理。由于在实际的运动目标检测过程中,全局阈值分割的干扰较大,处理效果并不理想^[26]。因此根据侧抑制的原则,对显著性值不同的区域分配以不同的权值,具体做法是先将各超像素点显著性值的平方作为局部阈值,再进行阈值分割处理。这样处理的结果比全局阈值分割的处理结果要好得多。

3 实验结果及分析

为了验证动态背景下基于元胞自动机的运动目标检测的有效性和优越性,在 Intel Pentium 2.60 GHz,内存为 2G 的计算机上,利用 Matlab 进行仿真实验。图 1 为 BlurBody 视频和 CarScale 视频的检测效果图,BlurBody 视频共 334 帧,图像处理速度为 167 fps;CarScale 视频共 252 帧,图像处理速度为 143 fps,视频满足运动目标检测的实时性要求。



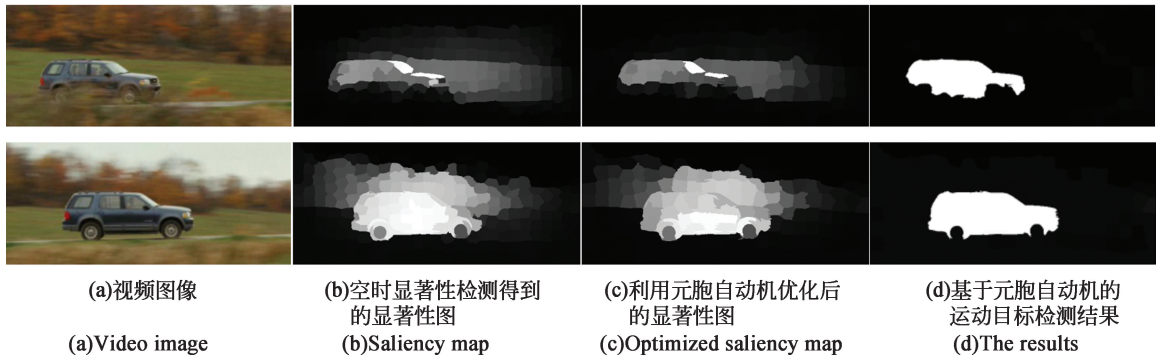
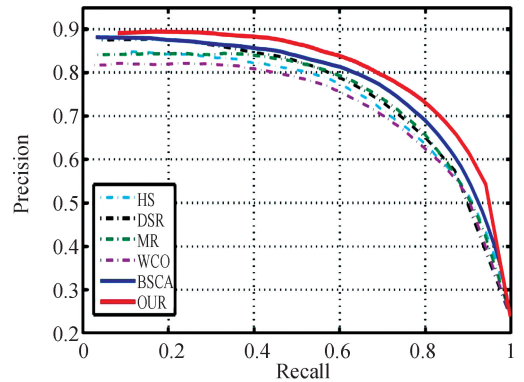


图 1 实验效果图

Fig. 1 Results chart

为了进一步验证本文算法的优越性,采用经典的召回率-精度曲线(PR 曲线)作为本文算法的量化评估指标,并采用 MSRA、THUS 和 ASD 标准数据库进行算法的对比实验,并取参数 $\sigma = 0.2, u = 0.6, v = 0.3$ 时,实验结果如图 2(彩图见期刊电子版)。图中红实线表示本文算法的 PR 曲线,其中横轴代表实际目标像素中正确检出的比例,纵轴表示检测出目标像素中正确的比例。

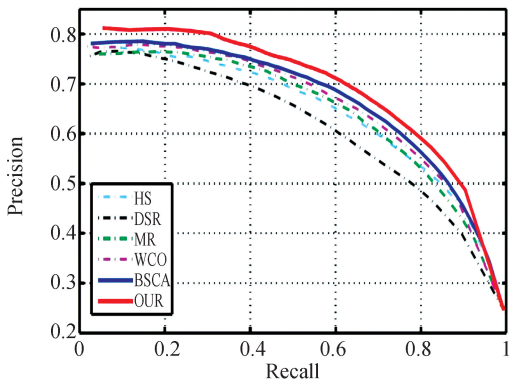


(c) ASD 算法

(c) ASD

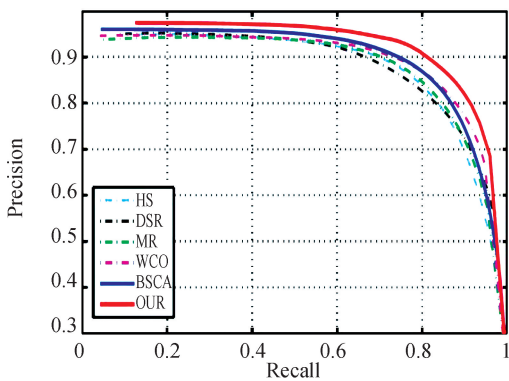
图 2 不同算法的 PR 曲线图

Fig. 2 PR curves of different methods



(a) MSRA 算法

(a) MSRA



(b) THUS 算法

(b) THUS

相较于其他现有算法,本文算法在三个不同的数据库上有着更高的精确度和召回率。同时本文算法在背景变化较剧烈的情况下仍能准确且稳定的检测出运动目标。利用元胞自动机优化后的显著性图与利用空时显著性检测得到的显著性图相比较,其显著性值较大的区域更加集中在运动目标上,因此基于元胞自动机的运动目标检测结果有着更高的准确度。

4 结 论

针对传统的运动目标检测算法在动态背景条件下难以准确地检测出运动目标的问题,本文利用空时显著性检测的方法得到显著性图,为了进一步提高运动目标检测的准确度,利用元胞自动机的自动更新机制来进一步优化显著性图,最终采用阈值分割的方法完成动态背景

下的运动目标检测。仿真实验结果表明,该方法在较为复杂的动态背景条件下仍能较高精度的检测出视频图像中的运动目标,同时可以有

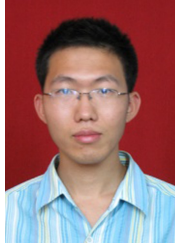
效抑制视频图像中不属于运动目标的显著性物体对检测结果带来的影响,并且具有一定的鲁棒性。

参考文献:

- [1] JIANG B W, ZHANG L H, LU H C, *et al.*. Saliency detection via absorbing Markov chain [C]. 2013 *IEEE International Conference on Computer Vision (ICCV)*, IEEE, 2013: 1665-1672.
- [2] 聂海涛, 龙科慧, 马军, 等. 采用改进尺度不变特征变换在多变背景下实现快速目标识别[J]. *光学精密工程*, 2015, 23(8): 2349-2356. NIE H T, LONG K H, MA J, *et al.*. Fast object recognition under multiple varying background using improved SIFT method [J]. *Opt. Precision Eng.*, 2015, 23(8): 2349-2356. (in Chinese)
- [3] YANG J M, YANG M H. Top-down visual saliency via joint CRF and dictionary learning [C]. 2012 *IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR)*, IEEE, 2012: 2296-2303.
- [4] SUN J, LING H B. Scale and object aware image retargeting for thumbnail browsing [C]. 2011 *IEEE International Conference on Computer Vision (ICCV)*, IEEE, 2011: 1511-1518.
- [5] SHEN X H, WU Y. A unified approach to salient object detection via low rank matrix recovery [C]. 2012 *IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR)*, IEEE, 2012: 853-860.
- [6] 李静宇, 刘艳滢, 田睿, 等. 视频监控系统中的概率模型单目标跟踪框架[J]. *光学精密工程*, 2015, 23(7): 2093-2099. LI J Y, LIU Y Y, TIAN R, *et al.*. Probabilistic model single target tracking framework for video surveillance system [J]. *Opt. Precision Eng.*, 2015, 23(7): 2093-2099. (in Chinese)
- [7] ZHU W J, LIANG S, WEI Y C, *et al.*. Saliency optimization from robust background detection [C]. 2014 *IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR)*, IEEE, 2014: 2814-2821.
- [8] 赖作镁, 王敬儒, 张启衡. 背景运动补偿和假设检验的目标检测算法[J]. *光学精密工程*, 2007, 15(1): 112-116. LAI Z M, WANG J R, ZHANG Q H. Object detection algorithm based on background motion compensation and hypothesis test [J]. *Opt. Precision Eng.*, 2007, 15(1): 112-116. (in Chinese)
- [9] YANG C, ZHANG L H, LU H C, *et al.*. Saliency detection via graph-based manifold ranking [C]. 2013 *IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR)*, IEEE, 2013: 3166-3173.
- [10] YAN Q, XU L, SHI J P, *et al.*. Hierarchical saliency detection [C]. 2013 *IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR)*, IEEE, 2013: 1155-1162.
- [11] WEI Y C, WEN F, ZHU W J, *et al.*. Geodesic saliency using background priors [C]. *Computer Vision - ECCV 2012, Springer*, 2012: 29-42.
- [12] XIE Y L, LU H C. Visual saliency detection based on Bayesian model [C]. 2011 *18th IEEE International Conference on Image Processing (ICIP)*, IEEE, 2011: 645-648.
- [13] XIE Y L, LU H C, YANG M H. Bayesian saliency via low and mid level cues [J]. *IEEE Transactions on Image Processing*, 2013, 22(5): 1689-1698.
- [14] WANG L, XUE J R, ZHENG N N, *et al.*. Automatic salient object extraction with contextual cue [C]. 2011 *IEEE International Conference on Computer Vision (ICCV)*, IEEE, 2011: 105-112.
- [15] TONG N, LU H C, ZHANG Y, *et al.*. Salient object detection via global and local cues [J]. *Pattern Recognition*, 2015, 48(10): 3258-3267, doi: 10.1016/j.patcog.2014.12.005.
- [16] SUN J, LU H C, LI S F. Saliency detection based on integration of boundary and soft-segmentation [C]. 2012 *19th IEEE International Conference on Image Processing (ICIP)*, IEEE, 2012: 1085-1088.
- [17] CHAN A B, VASCONCELOS N. Mixtures of dynamic textures [C]. 10th *IEEE International Conference on Computer Vision*, 2005, 1: 641-647.
- [18] ACHANTA R, SHAJI A, SMITH K, *et al.*. SLIC superpixels [R]. *EPFL Technical Report*

- 149300, 2010.
- [19] JIANG H Z, WANG J D, YUAN Z J, *et al.*. Salient object detection: a discriminative regional feature integration approach [C]. 2013 *IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR)*, IEEE, 2013: 2083-2090.
- [20] VON NEUMANN J. The general and logical theory of automata [J]. *Cerebral Mechanisms in Behavior*, 1951, 10(3): 1-41.
- [21] CHENG M M, WARRELL J, LIN W Y, *et al.*. Efficient salient region detection with soft image abstraction [C]. 2013 *IEEE International Conference on Computer Vision (ICCV)*, IEEE, 2013: 1529-1536.
- [22] JIANG P, LING H B, YU J Y, *et al.*. Salient region detection by UFO: Uniqueness, focusness and objectness [C]. 2013 *IEEE International Conference on Computer Vision (ICCV)*, IEEE, 2013: 1976-1983.
- [23] WANG G, CHEN Y G, YANG S C, *et al.*. Salient target detection in remote sensing image via cellular automata [C]. 2015 *6th International Conference on Intelligent Control and Information Processing (ICICIP)*, IEEE, 2015: 417-420.
- [24] JIANG Z L, DAVIS L S. Submodular salient region detection [C]. 2013 *IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR)*, IEEE, 2013: 2043-2050.
- [25] LI X H, LU H C, ZHANG L H, *et al.*. Saliency detection via dense and sparse reconstruction [C]. 2013 *IEEE International Conference on Computer Vision (ICCV)*, IEEE, 2013: 2976-2983.
- [26] LI Y, HOU X D, KOCH C, *et al.*. The secrets of salient object segmentation [C]. 2014 *IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR)*, IEEE, 2014: 280-287.

作者简介:



陆 牧(1989—),男,吉林长春人,博士研究生,2012年于吉林大学获得学士学位,主要从事图像处理、目标检测、目标跟踪等方面的研究。E-mail:980443913@qq.com

导师简介:



朱 明(1964—),男,江西南昌人,研究员,博士生导师,1985年于南京航空学院获得学士学位,1991年于中国科学院长春光机所获得硕士学位,主要从事图像处理,光电成像测量技术,电视跟踪和自动目标识别技术等方面的研究。E-mail:zhu_mingca@163.com