

# 交通场景静态显著性区域检测

方志明, 崔荣一, 金璟璇\*

延边大学工学院计算机科学与技术学科智能信息处理研究室, 吉林 延吉 133002

**摘要** 交通场景的显著目标检测能够为自动决策或辅助驾驶系统提供重要信息。基于视觉的底层特性,提出了一种基于亮度空间和对立颜色空间的多特征空间奇异值分解的交通场景显著性区域快速检测方法,为交通标志检测和场景语义分析提供有效信息。首先,在亮度空间中,利用奇异值分解确定强光区域并进行强光抑制,检测抑制强光后的亮度特征显著性区域;其次,在双对立颜色空间中保留部分奇异值重构的区域作为颜色特征显著性区域;最后,对各个特征空间的显著性区域进行线性相加并将相加结果中的显著性区域作为交通场景目标检测的候选区域。实验结果表明,算法在复杂光照和背景下具有较好的稳健性。

**关键词** 机器视觉; 显著性区域; 奇异值分解; 交通场景; 强光抑制

**中图分类号** TP391.41 **文献标识码** A

**doi:** 10.3788/LOP54.051501

## Static Saliency Region Detection in Traffic Scenes

Fang Zhiming, Cui Rongyi, Jin Jingxuan

*Intelligent Information Processing Laboratory, Department of Computer Science & Technology,  
Yanbian University of Technology, Yanji, Jilin 133002, China*

**Abstract** The traffic scene saliency detection can provide important information for the automatic decision or driving assist system. Based on the underlying visual characteristics, a new method for the rapid saliency detection in traffic scene is proposed, which is based on the singular value decomposition of multi-feature space (the color space and the opposition color space). First of all, in the brightness space, using the singular value decomposition to estimate the high light region and suppress the high light area to detect the brightness saliency. Secondly, in the dual opposition color space, the region of partial singular value reconstruction is retained as the color feature saliency region. Finally, the saliency region of each feature space is added together and the saliency region is the candidate region of the target detection of traffic scene. Experimental results show that the proposed method has good robustness in illumination variation and complex background scenes.

**Key words** machine vision; saliency region; singular value decomposition; traffic scene; strong light suppression

**OCIS codes** 150.0155; 100.2000; 330.1720; 330.1800

## 1 引言

显著性检测模拟了人类视觉机制,提取有效信息,减少冗余信息,保留与当前任务相关度较高的信息<sup>[1]</sup>,从而为各种决策提供关键信息,同时在机器视觉应用领域中有着重要的意义。交通场景中显著性区域的检测可以用于辅助驾驶系统,减少复杂交通场景画面中的背景干扰,为驾驶员或为无人驾驶系统的决策提供相关信息<sup>[2]</sup>。

目前显著性区域检测方法大致分为三类:1)自底向上,数据驱动的显著性特征提取<sup>[3]</sup>;2)自顶向下,目标驱动的显著性特征提取<sup>[4]</sup>;3)自底向上和自顶向下方法的结合<sup>[5]</sup>。在交通场景中,若要使用后两类算法,

**收稿日期:** 2016-01-12; **收到修改稿日期:** 2017-01-20

**基金项目:** 吉林省科技发展计划项目(20140101186JC)

**作者简介:** 方志明(1992—),男,硕士研究生,主要从事计算机视觉方面的研究。E-mail: 512801132@qq.com

**导师简介:** 金璟璇(1972—),女,硕士,副教授,硕士生导师,主要从事图像视频处理、智能算法等方面的研究。

E-mail: 1537161104@qq.com

则需引入大量的行人和车辆等高级语义特征描述,算法的复杂性较高,计算量较大,因此不适用于交通场景。

2007年, Won等<sup>[6]</sup>利用颜色特征和边缘特征来生成显著图并用于检测道路交通标志。2012年, Hu等<sup>[7]</sup>利用颜色等特征确定显著性区域,并将显著性区域作为交通标志区域的候选区域,再利用先验知识对显著性区域进行分类。2016年, 牟丽等<sup>[8]</sup>利用颜色特征对分割图像进行显著性检测。但以上方法均无法检测出在亮度特征上较为显著的目标区域。2015年, 杨林娜等<sup>[9]</sup>利用目标像素块均值与其周围像素块加权值的比值来加权目标像素块的亮度并加入分布空间距离的权值,生成亮度显著图,该方法不适合目标分布较为随机的场景。2015年, 张立保等<sup>[10]</sup>利用纹理显著性分析提取道路,但该方法所用特征受背景复杂程度影响严重。2016年, 成培瑞等<sup>[11]</sup>利用超像素颜色均值生成抽象化图像,利用特征的稀疏性来计算显著性,取不同尺度的像素平均显著性来生成视觉显著图。但该方法只对图像中目标颜色和数量构成单一的场景效果较好,计算量较大且无法适用于复杂的交通场景。

Elazary等<sup>[12]</sup>通过测试大量标准的图像数据,发现显著性区域受底层视觉属性(颜色、形状、方向等)的影响较大。为了引起视觉上的注意,人们在设计标志牌或广告牌时,会使其最大程度与背景(树、天空等)区分开。因此,在颜色和亮度特征上,大部分人为设计的目标区域与背景区域有着较大的差异。但交通视频单帧图像中存在如太阳光等引起的强光区域,摄像机输出的图像会出现明亮区域因曝光过度变成白色,暗部区域则因曝光不足导致其对比度较低。部分区域(如斑马线等)在亮度特征空间中与背景区域有着明显的差异,但强光区域导致局部对比度相对降低,抑制了其在亮度特征中的显著性。

为了解决上述问题,本文提出了一种自底向上,基于亮度和颜色特征空间的交通显著性区域检测方法,该方法能够有效抑制强光区域影响,检测出交通场景中符合视觉底层感知的显著性区域。

## 2 交通场景显著性区域

交通场景具有光照复杂、场景目标数量多、背景复杂等特点。基于以下三点去除冗余信息,保留显著性区域:

- 1) 图像抽象。基于视觉认知的特性,视觉对场景的认知从抽象到具体。保留在特征空间图像上目标的整体结构,去除细节部分。
- 2) 保留特征空间显著性区域。在交通场景中,静态显著性区域是指目标区域与背景区域在颜色特征和亮度特征上具有明显对比度的区域,如交通指示牌、广告牌、车牌、车灯、行车指示线等。
- 3) 抑制强光。交通场景中的强光区域一般为天空、云彩等曝光过度的区域。

图1为本文算法流程示意图。

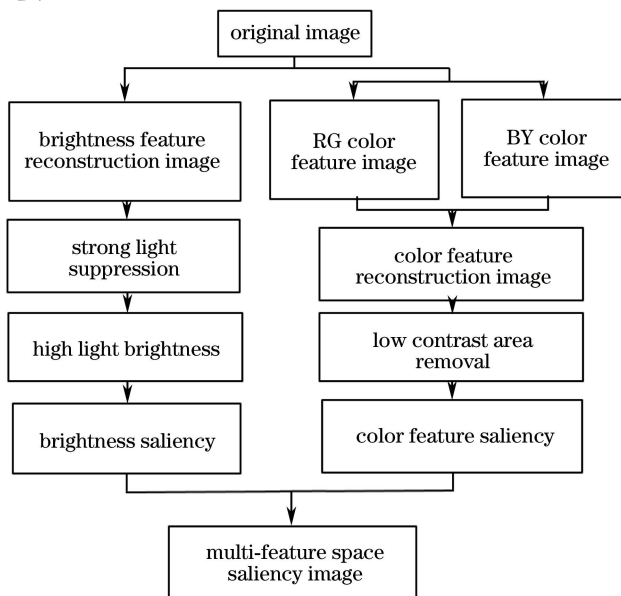


图1 本文算法流程示意图

Fig. 1 Flow diagram of proposed algorithm

### 3 特征空间去冗余

#### 3.1 奇异值分解

奇异值分解是一种具有明显物理意义的方法,它可以将一个比较复杂的矩阵用更小更简单的几个子矩阵的相乘来表示,这些小矩阵描述了矩阵的重要特性。图像奇异值具有较好的稳定性,能够很好地反映图像成分的重要性。通过保留较大奇异值对应的奇异向量,对图像矩阵进行重构,可以有效去除图像细节和噪声,保留图像的主要成分。

设矩阵  $\mathbf{A} \in R_r^{m \times n}$  ( $r > 0$ ),  $R$  为实数域,则存在  $m$  阶正交矩阵  $\mathbf{U}$  和  $n$  阶正交矩阵  $\mathbf{V}$ ,使得  $\mathbf{A}$  的奇异值分解为

$$\mathbf{U}^T \mathbf{A} \mathbf{V} = \begin{bmatrix} \Sigma & 0 \\ 0 & 0 \end{bmatrix}, \quad (1)$$

式中  $\Sigma$  为矩阵  $\mathbf{A}$  的非零奇异值。设  $\sigma_i$  为  $\Sigma$  的对角元素,  $i=1, 2, \dots, r$ , 则其值按从大到小排列为

$$\Sigma = \text{diag}(\sigma_1, \sigma_2, \dots, \sigma_r), \quad (2)$$

式中  $\mathbf{U}$  和  $\mathbf{V}$  也分别称为  $\mathbf{A}$  对应于奇异值的左奇异值向量和右奇异值向量。

#### 3.2 亮度特征空间

图像的亮度空间特征图像为

$$I = \frac{r + g + b}{3}, \quad (3)$$

式中  $r$ 、 $g$  和  $b$  为图像在颜色空间的红色、绿色和蓝色的分量。

交通场景图像在亮度特征空间中的显著性区域指亮度较高的区域,但亮度显著性的检测会受强光区域的影响。图 2(a)为原始图像,图 2(b)为图 2(a)的亮度特征图像。如图 2(b)所示,在亮度特征空间中,天空和云朵区域的显著性较高,其他区域因为曝光不足,所以亮度特征的对比度较低。局部区域如行车指示线、标志牌等亮度较高的非强光的区域,由于对比度相对较低,因此无法被凸显。

可以对亮度特征图像中的强光区域进行抑制,抑制公式为

$$I_C = \text{abs}(I - I_{\text{Re}}), \quad (4)$$

式中  $I_{\text{Re}}$  为利用前  $z$  个奇异值对亮度图像进行重构的图像。重构图像  $I_{\text{Re}}$  可以看作是特征图像的局部亮度平均图像,如图 2(c)所示,重构图像的整体亮度特征被保留,局部细节被去除。亮度特征图像  $I$  减去  $I_{\text{Re}}$  表示亮度特征图像减去局部亮度平均图像,则局部的强光区域被抑制[图 2(b)上半部分减去图 2(c)上半部分],局部较暗区域[图 2(b)下半部分]与其对应重构图像[图 2(c)下半部分]差异较大的区域(如行车线等)被凸显。

抑制强光后的特征图  $I_C$  还需进行增强处理,

$$I_S = N(2 \times I_C), \quad (5)$$

式中  $N$  表示将值映射到 0~255 范围内的函数。图 2(d)为亮度特征空间的显著性增强结果。

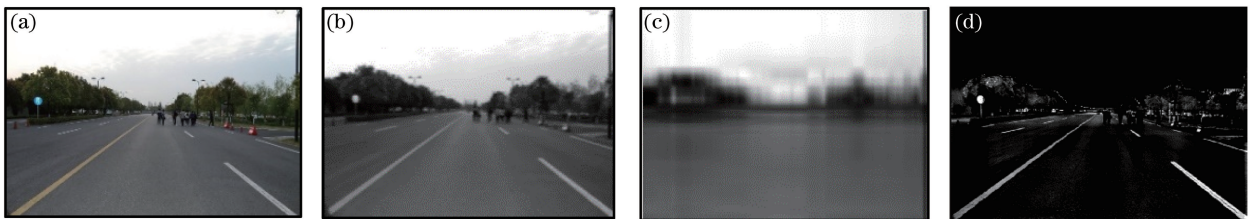


图 2 强光抑制示意图。(a)原始图像;(b)亮度图像;(c)奇异值重构图像;(d)亮度特征显著性检测

Fig. 2 Diagram of strong light suppression. (a) Original image; (b) brightness image; (c) singular value reconstruction image; (d) brightness feature saliency detection

#### 3.3 对立颜色空间

1892 年 Hering 提出对立颜色理论,他认为视网膜上存在三种颜色对抗通道,每种颜色对抗通道中存在互相拮抗的颜色对立过程:黑-白对立过程、红-绿对立过程和黄-蓝对立过程。Chatterjee 等<sup>[13]</sup>通过果蝇测试,

验证了对立感光细胞的存在。黑-白对立的过程在亮度特征空间中实现,红-绿和蓝-黄对立颜色的计算公式为

$$RG = |R - G| = \left| \left( r - \frac{g+b}{2} \right) - \left( g - \frac{r+b}{2} \right) \right|, \quad (6)$$

$$BY = |B - Y| = \left| \left( b - \frac{r+g}{2} \right) - \left( \frac{r+g}{2} - \frac{|r-g|}{2} - b \right) \right|. \quad (7)$$

考虑到交通标志中存在绿色和蓝色成分,因此并不抑制绿色和蓝色,并对其取绝对值。其中  $r$ 、 $g$  和  $b$  分别为颜色模型空间的红、绿和蓝色通道分量。

目标区域在颜色空间的显著性  $C$  为对立颜色的显著程度减去亮度空间强光区域显著度,计算公式为

$$C = \sum_X F_X - I_{Re}, \quad (8)$$

式中  $X$  取  $RG$  或  $BY$ 。  $F_X$  表示对立颜色特征图像去冗余后的显著性结果,

$$F_X = N(T_X \cdot T_X), \quad (9)$$

式中  $N$  为归一化函数,表示将值映射到  $0 \sim 255$  的函数;操作符“ $\cdot$ ”表示矩阵对应位置元素相乘。  $F_X$  的具体计算过程如下:

1) 将原始图像的对立颜色特征图像进行奇异值分解,保留前  $k$  个奇异值进行特征图像重构,得到特征重构图像  $T_X$  ( $X$  为  $RG$  或  $BY$ );

2) 利用(9)式保留特征重构图像  $T_X$  的高对比度区域,得到去冗余颜色特征图像  $F_X$ 。(9)式重构图像中的像素亮度值以自身亮度值为倍数进行增长,扩大了像素的亮度值差异,因此,高亮度值的像素被凸显。

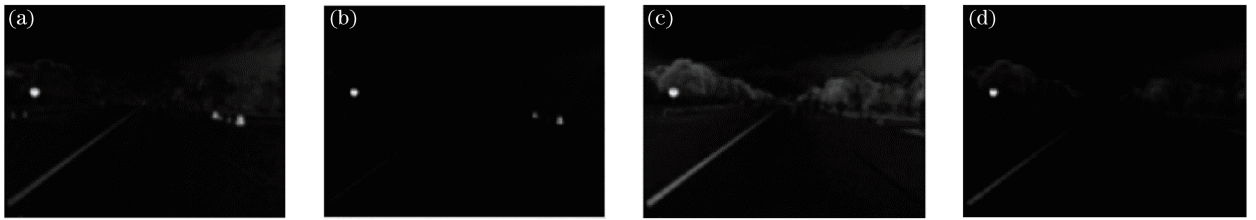


图3 颜色特征空间去冗余。(a)  $RG$  颜色特征显著性;(b)  $F_X$  ( $X=RG$ );(c)  $BY$  颜色特征显著性;(d)  $F_X$  ( $X=BY$ )

Fig. 3 Color feature space redundancy. (a)  $RG$  color feature saliency; (b)  $F_X$  ( $X=RG$ );

(c)  $BY$  color feature saliency; (d)  $F_X$  ( $X=BY$ )

原始彩色图像为图 2(a)。图 3(a)为红绿颜色显著性检测结果,图 3(b)为利用奇异值去冗余显著性结果  $F_X$  ( $X=RG$ ),图 3(c)为黄蓝颜色显著性检测结果,图 3(d)为利用奇异值去冗余显著性结果  $F_X$  ( $X=BY$ )。

### 3.4 空间显著性融合

对亮度空间、颜色空间显著性区域进行融合,得到场景中具有亮度和颜色显著性区域。总体显著性  $S$  为各个特征空间对应像素的显著度线性相加,

$$S = C + I_s. \quad (10)$$

图 4(a)为原始彩色图像,图 4(b)为亮度空间显著性检测结果,图 4(c)为颜色特征空间的显著性线性相加的结果,图 4(d)为三个特征空间显著性线性相加的结果。图 4(a)中蓝色的交通标志牌,白色、黄色的交通辅助线和红色的路障均被检测出来。

### 3.5 奇异值个数的确定

亮度和颜色特征空间重构的奇异值个数  $j$  根据奇异值大小确定。图像由前景和背景构成,假设前景是由大小接近的奇异值构成,那么该问题转换为奇异值二分类问题。如图 5 所示,特征图像的奇异值具有图中曲线变化特性,图 5 为图 2(b)中亮度图像的前 20 个从大到小排列奇异值的变化曲线(经过曲线拟合)。横轴为奇异值从大到小的排序,纵轴为对应奇异值的大小。本文将前景对应奇异值大小的变化幅度趋于平缓部分。求解得到曲线的切点并向上取整,该值作为前景与背景奇异值的临界点,此处  $j=3$ ,故图 2(c)中的图像为保留前 3 个奇异值的重构图像。

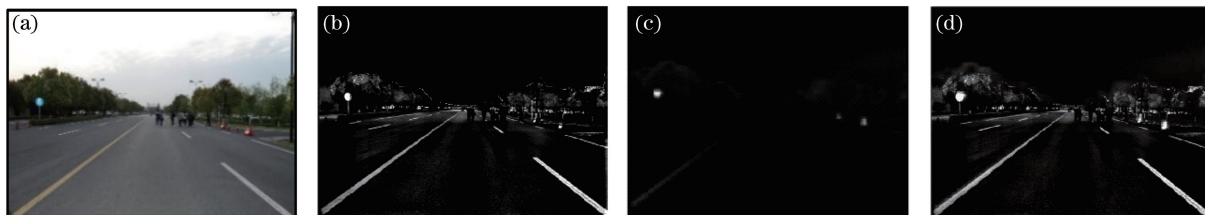


图 4 特征空间显著性融合。(a)原始彩色图像;(b)亮度特征空间显著性;(c)颜色特征空间显著性;(d)特征空间融合显著性  
 Fig. 4 Feature space saliency fusion. (a) Original image; (b) brightness feature saliency; (c) color feature saliency; (d) feature space saliency

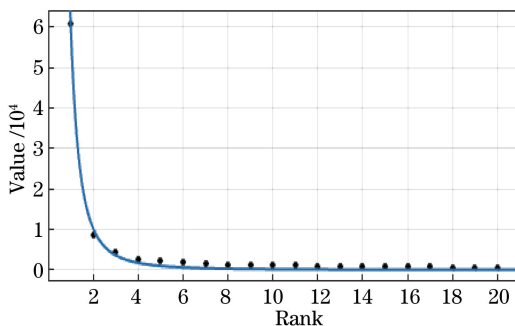


图 5 奇异值变化曲线(降序)  
 Fig. 5 Singular values curve (descending order)

### 4 实验结果与分析

为了验证算法的有效性,根据上述方法对 300 幅真实道路图像进行测试,测试图像中包含了标志牌(警示牌、广告牌等)和交通指示灯等人为设定的目标区域(总共 1651 个目标区域)。

如图 6 所示,本组实验选取不同光照情况、目标区域数量和背景复杂度的真实交通图像进行检测:第一列光线较为充足,路面上辅助线较为清晰;第二列光线较暗,警示标志区域较小,可见度较低;第三列光照较

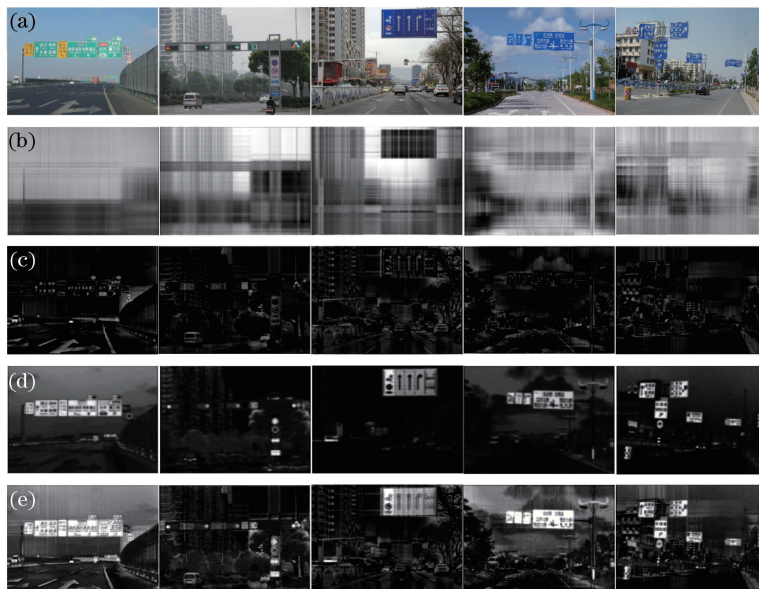


图 6 不同复杂度背景的交通场景显著性检测。(a)原始图像;(b)亮度特征重构图像;  
 (c)亮度显著性结果;(d)颜色显著性结果;(e)融合显著性结果

Fig. 6 Traffic scene saliency detection in different complexity background. (a) Original image; (b) brightness feature reconstruction image; (c) brightness saliency image; (d) color saliency image; (e) fusion result

为均匀,但路面辅助线与路面的对比度较低;第四列光线不均匀且存在硬阴影;第五列中目标数量较多,路面的对比度较低。不同情况下,所有图像中的交通标志牌和道路线均能较好地检测出来。

将显著性大于图像平均显著性的区域作为标记区域,低于平均显著性的区域作为未标记区域。前者区域包含能够被正确检测出的标志牌、道路线、广告牌等人为标志性区域和虚报区域(植物、建筑等)两类,后者区域存在未能被标记的标志区域,此类区域称为漏检区域。统计数据结果如表 1 所示。

表 1 检测结果数据统计  
Table 1 Statistic data of the test result

Category		Number	Ratio /%
Marked	True	1438	87.1
	False	247	15.0
Unmark	Undetected	213	12.9

表 1 统计数据表明,本文算法具有较高的检测准确率,较低的漏检率和虚报率。产生漏检的原因一般为光线变化导致颜色失真严重。导致虚报的原因是部分颜色鲜艳的建筑带来的干扰。

实验在四核(单核 1.80 GHz)处理器,2 G 内存的计算机上运行,运行平台为 Matlab 2015a,对于 400 pixel×400 pixel 的图像处理时间约为 170 ms,平均每秒 5~6 帧,算法各个步骤处理时间如表 2 所示。假设驾驶速度为 60 km/h,约 3 m 更新一帧,满足实时性的要求。

表 2 平均处理时间  
Table 2 Average processing time

Algorithm steps	Average processing time /ms
Feature image extraction and preprocessing	23
Feature image singular value decomposition and reconstruction	96
Other operations (display, normalization, etc.)	50

## 5 结 论

提出了一种基于多特征空间的奇异值重构的交通场景显著性目标检测模型。该方法在亮度特征空间、颜色特征空间下进行显著性检测:通过奇异值重构得到亮度特征的平均图像,抑制强光区域,从而得到亮度特征显著性区域;此外,利用双对立颜色特征检测出具有颜色显著性的目标区域;融合后的显著性区域凸显了场景中包含主要信息的区域。实验表明,本文方法对不同复杂场景有较好的稳健性,能有效提取出满足视觉显著性要求的区域,为交通场景的目标提取和交通视频压缩等提供了有效的信息,并满足实时性的要求。

下一步将对检测出的目标区域进行类别识别,提取出交通场景的语义信息,并对动态显著性进行补充。

## 参 考 文 献

- [1] Borji A, Cheng M M, Jiang H, *et al.* Salient object detection: A benchmark [J]. *IEEE Transactions on Image Processing*, 2015, 24(12): 5706-5722.
- [2] Deng T, Yang K, Li Y, *et al.* Where does the driver look top-down-based saliency detection in a traffic driving environment [J]. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 2016, 17(7): 2051-2062.
- [3] Itti L, Koch C, Niebur E. A model of saliency-based visual attention for rapid scene analysis [J]. *IEEE Transactions on Pattern Analysis & Machine Intelligence*, 1998, 20(11): 1254-1259.
- [4] Buso V, Gonzalez-Díaz I, Benois-Pineau J. Object recognition with top-down visual attention modeling for behavioral studies [C]. *2015 IEEE International Conference on Image Processing (ICIP)*, 2015: 4431-4435.
- [5] Borji A. Boosting bottom-up and top-down visual features for saliency estimation [C]. *IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*, 2012: 438-445.
- [6] Won W J, Jeong S, Lee M. Road traffic sign saliency map model [C]. *Proceedings of Image and Vision Computing New Zealand*, 2007: 91-96.
- [7] Hu X, Zhu X, Li D. Traffic sign detection based on biologically visual mechanism [J]. *ISPRS-International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 2012, 3: 217-221.

- [8] Mou Li, Zhang Xuewu, Zhang Zhuo, *et al.* Saliency detection optimization method in natural scene [J]. *Laser & Optoelectronics Progress*, 2016, 53(12): 121501.  
牟 丽, 张学武, 张 卓, 等. 自然场景下的显著性检测优化方法 [J]. *激光与光电子学进展*, 2016, 53(12): 121501.
- [9] Yang Linna, An Wei, Lin Zaiping, *et al.* Small target detection based on visual saliency improved by spatial distance [J]. *Acta Optica Sinica*, 2015, 35(7): 0715004.  
杨林娜, 安 玮, 林再平, 等. 基于空间距离改进的视觉显著性弱小目标检测 [J]. *光学学报*, 2015, 35(7): 0715004.
- [10] Zhang Libao, Zhang Jue. A new adaptive fusion method based on saliency analysis for remote sensing images [J]. *Chinese J Lasers*, 2015, 42(1): 0114001.  
张立保, 章 珏. 基于显著性分析的自适应遥感图像融合 [J]. *中国激光*, 2015, 42(1): 0114001.
- [11] Cheng Peirui, Wang Jianli, Wang Bin, *et al.* Salient object detection based on multi-scale region contrast [J]. *Chinese Optics*, 2016, 9(1): 97-105.  
成培瑞, 王建立, 王 斌, 等. 基于多尺度区域对比的显著目标识别 [J]. *中国光学*, 2016, 9(1): 97-105.
- [12] Elazary L, Itti L. Interesting objects are visually salient [J]. *Journal of Vision*, 2008, 8(3): 3.
- [13] Chatterjee S, Callaway E M. Parallel colour-opponent pathways to primary visual cortex [J]. *Nature*, 2003, 426(6967): 668-671.