

DOI:10.3785/j.issn.1006-754X.2014.05.015

基于自适应阈值与圆形相似度的禁令标志检测

欧阳维力, 宋晓琳, 张伟伟

(湖南大学 汽车车身先进设计制造国家重点实验室, 湖南 长沙 410082)

摘 要: 交通标志检测是影响交通标志识别速度和正确率的重要因素. 采用一种 HSI 自适应阈值粗分割方法获取场景图像的红色二值图, 克服固定阈值分割算法受光照等外界因素影响较大的缺点. 然后进行连通区域标记, 排除了部分非禁令标志红色区域, 并对多个相连禁令标志作有效分割, 提取出禁令标志的候选区域. 最后, 通过分析候选区域外边缘的圆形相似度参数, 确定了禁令标志区域. 复杂道路环境下的场景实验表明: 本方法具有较高的鲁棒性.

关键词: 自适应阈值分割; 边缘提取; 圆形检测; 交通标志检测

中图分类号: TP 391.41

文献标志码: A

文章编号: 1006-754X(2014)05-0499-06

Prohibition signs detection based on adaptive threshold and circle similarity

OUYANG Wei-li, SONG Xiao-lin, ZHANG Wei-wei

(State Key Laboratory of Advanced Design and Manufacturing for Vehicle Body, Hunan University, Changsha 410082, China)

Abstract: Traffic sign detection is a key factor affecting the speed and accuracy of traffic sign automatic recognition. Fixed threshold segmentation result was easily influenced by external factors such as change of light, so an adaptive threshold segmentation method based on HSI color space was firstly used to overcome the drawback. Then regions except some non-sign regions was labeled, regions with multiple connected signs was segmented and candidate regions were extracted. Lastly, the prohibition signs regions were determined through the analysis of the circle similarity parameter of external edges in the candidate regions. High robustness is demonstrated by simulation experiment under complex road environment.

Key words: adaptive threshold segmentation; edge detection; circle detection; traffic sign detection

作为智能交通系统的一个重要子课题, 汽车辅助驾驶系统要实现车道线检测、车辆与行人检测、障碍物检测及交通标志识别等几项基本功能^[1]. 由于交通标志种类繁多, 交通标志自动识别系统一直是学者研究的重点和难点. 根据 GB5768.2—2009^[2], 禁令标志是一种对车辆加以禁止或限制的主标志, 道路使用者必须严格遵循禁令标志的规定. 通常由于驾驶员对路边禁令标志的疏忽而引发了很多交通事故. 禁令标志自动识别系统能够有效地提醒驾驶员, 从而减少此类事故的发生.

禁令标志的识别广泛采用了模式识别技术, 如遗传算法、人工神经网络^[3]等, 这些方法已经比较成熟, 影响识别速度和正确率的因素除了识别算法本身, 也包括识别之前的检测, 禁令标志的检测是禁令标志自动识别的前提条件. 为了使得道路使用者更容易注意, 大多数禁令标志被设计成具有红色圆形边缘的颜色和形状特征, 如图 1 所示. 目前, 交通标志检测方法主要有 3 类: 基于颜色特征、基于形状特征和基于机器学习, 大部分学者都是以颜色特征作粗分割, 再融合形状特征进行验证的方法来检测交

收稿日期: 2014-02-26.

本刊网址·在线期刊: <http://www.journals.zju.edu.cn/gcsjxb>

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(51175159); 湖南省科技计划项目(2013WK3024); 湖南省研究生科研创新项目(CX2013B146).

作者简介: 欧阳维力(1989—), 男, 湖南郴州人, 硕士生, 从事车辆交通与安全研究, E-mail: ouyangweili@gmail.com.

通信联系人: 宋晓琳, 博士, 教授, 博士生导师, E-mail: jqysxl@hnu.edu.cn.

通标志. Beneallal 等^[4]针对 24 小时的光照变化提出了一种 RGB 空间红绿、红蓝分量差值分割算法; KUO Wen-jia 等^[5]利用 HSI 空间进行固定阈值粗分割,采用 Hough 变换、拐点提取等技术对各种道路环境下的交通标志进行检测; Orukle 等^[6]使用 HSV 空间消除光照对于颜色分割的影响,再通过边界的几何特征定位交通标志; 徐迪红等^[7]采用改进的 RGB 空间固定阈值分割算法,通过边缘提取和圆形度函数对禁令标志进行了检测与定位. Escalera 等^[8]采用改进 RGB 阈值分割和掩膜匹配提取拐点的方法来检测圆形交通标志.



图 1 典型的禁令标志

Fig. 1 Typical prohibition signs

上述基于颜色特征进行禁令标志粗分割的方法,能在一定程度上减小光照等外界因素对分割结果的干扰,但因采用固定阈值,这些方法对某些复杂场景的分割效果仍不够理想. 上述基于形状特征的方法同样存在一些问题,比如:基于 Hough 变换的形状检测器计算量较大,且需要预先设定圆形半径参数;利用圆形度函数的方法必须提取完整的外边缘,否则算法将失效. 为解决上述问题,本文提出了一种基于自适应阈值与圆形相似度的禁令标志检测方法:首先对场景图像作 HSI 红色灰度图转换,利用 OTSU 方法进行自适应阈值粗分割;然后通过八邻接连通区域标记,利用区域高宽比初步确定禁令标志候选区域;最后,采用一种双向遍历算法提取候选区域的外边缘,并分析其圆形相似度参数,最终检测出禁令标志. 本方法的基本流程图如图 2 所示.

1 HSI 自适应阈值粗分割

1.1 HSI 红色灰度图转换

数字图像都是在 RGB 颜色空间上进行存储的,在 RGB 空间上直接进行阈值分割虽然方便,但分割结果受光照等外界条件影响较大. HSI 空间是一个比 RGB 空间更接近人们经验、更符合人类彩色感知的系统,该颜色空间由色度分量 H 、饱和度分量 S 、亮度分量 I 组成,由于反映图像光照强弱的亮度分量 I 被分离出来,色度分量 H 、饱和度分量 S 完全不受明亮、阴影条件的影响^[9].

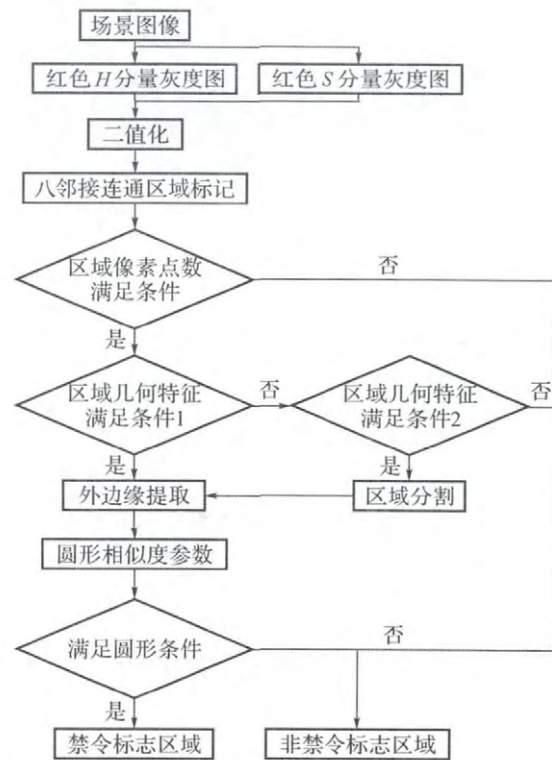


图 2 基本流程图

Fig. 2 The basic flowchart

Kiran 等^[10]对 HSI 空间的 H 分量和 S 分量作查表操作,本文借鉴其思想进行 H 分量和 S 分量红色灰度图转换. HSI 红色灰度图则是 H 分量红色灰度图与 S 分量红色灰度图的乘积,如式(1)至式(6)所示.

$$\theta = \arccos\left\{\frac{2R - G - B}{2[(R - G)^2 + (R - B)(G - B)]^{1/2}}\right\}, \quad (1)$$

$$H = \begin{cases} \theta, & B \leq G, \\ 1 - \theta, & \text{其他}. \end{cases} \quad (2)$$

$$S = 1 - \frac{3}{R + G + B}[\min(R, G, B)]. \quad (3)$$

$$H_r = \begin{cases} -25.641H + 1.000, & 0 \leq H < 0.039, \\ 7.286H - 6.286, & 0.863 \leq H < 1, \\ 0.000, & \text{其他}. \end{cases} \quad (4)$$

$$S_r = \begin{cases} 1.143S, & 0 \leq S < 0.784, \\ 1.000, & \text{其他}. \end{cases} \quad (5)$$

$$HSI_r = H_r \times S_r. \quad (6)$$

其中: R, G, B 分别为某像素点的 RGB 空间红、绿、蓝分量值; H, S 分别为某像素点的 HSI 空间色度、饱和度分量值; H_r, S_r, HSI_r 分别为某像素点的 H 分量红色灰度值、 S 分量红色灰度值、HSI 红色灰度值.

1.2 OTSU 方法二值化

阈值选取方法是影响阈值分割结果的最重要因素。常用的自适应阈值选取方法包括双峰法、迭代法以及 OTSU 法等^[9,11]。双峰法认为图像的分布曲线是由目标正态分布函数和背景正态分布函数叠加而成,因此图像的灰度直方图将出现 2 个分离的峰值,2 个峰值的波谷处就是分割阈值选取之处。双峰法具有很大的局限性,当某些图像中目标与背景图像灰度值过于接近时,灰度直方图将不具有明显的双峰性,双峰法将失效。迭代法是基于逼近的思想,它使得分割阈值逐步逼近分割后两部分灰度均值的平均值。迭代法阈值分割的结果较理想,但计算量随迭代次数的增加而增加。

OTSU 法由大津于 1979 年提出,它是一种基于最大类间方差准则确定分割阈值的方法。对于 HSI 红色灰度图,分割阈值 T 将所有的像素点分成红色目标和背景两类:目标像素点数的比例为 w_1 ,平均灰度为 u_1 ;背景像素点数的比例为 w_2 ,平均灰度为 u_2 ;图像总平均灰度为 u_T 。从图像最小灰度到最大灰度遍历 T ,当 T 使得类间方差 σ^2 最大时, T 为最终的分割阈值。类间方差定义如式(7),为减少计算量,可使用等价的式(8)实现。与双峰法相比,OTSU 法不用考虑灰度直方图是否具有双峰性,且分割效果较好;与迭代法相比,OTSU 法计算量通常较小,且更加稳定。因此,本文使用了 OTSU 法作自适应阈值分割。

$$\sigma^2 = w_1(u_1 - u_T)^2 + w_2(u_2 - u_T)^2, \quad (7)$$

$$\sigma^2 = w_1 w_2 (u_1 - u_2)^2. \quad (8)$$

通过自适应阈值粗分割确定红色目标与背景像素点后,将目标像素点设为 1,背景像素点设为 0,即可得到场景图像的红色二值图。

1.3 各种粗分割处理效果对比

分别采用 RGB 差值分割^[4]、HSI 固定阈值分割^[5]以及 HSI 自适应阈值分割对 10 幅不同场景进行粗分割处理。图 3 给出了以上 3 种粗分割算法对这 10 幅场景处理的有效信号百分比,红圆禁令标志 1 值像素点为有效信号像素点,其他 1 值像素点为无效信号像素点。其中:场景 1 是无光照干扰的场景,其处理效果如图 4 所示;场景 5 是光照干扰大的场景,其处理效果如图 5 所示。

由图 3 可知,在各种道路场景下,HSI 自适应阈值分割处理效果最理想,有效信号百分比最强,能更好地强化场景图像中禁令标志的信息。由图 4 和图

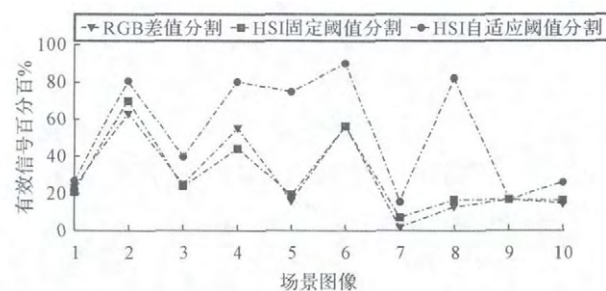


图 3 3 种粗分割处理的有效信号百分比

Fig. 3 Effective signal percentage of three kinds of coarse segmentation

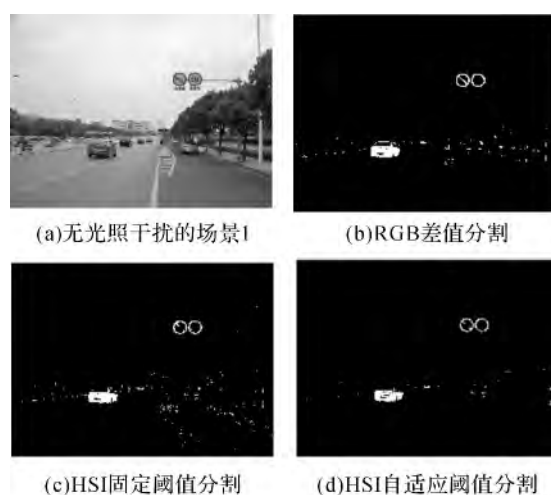


图 4 场景 1 的 3 种粗分割处理效果对比

Fig. 4 Comparison of three kinds of coarse segmentation effect of scenario 1

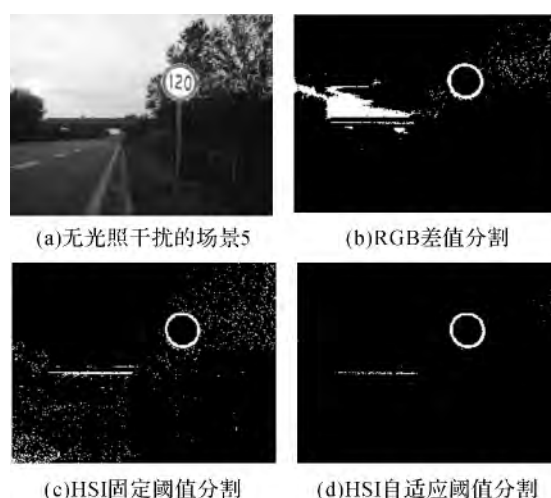


图 5 场景 5 的 3 种粗分割处理效果对比

Fig. 5 Comparison of three kinds of coarse segmentation effect of scenario 5

5 可知,相比其他粗分割处理,HSI 自适应阈值分割处理能更有效地减少光照干扰。

2 候选区域提取

在完成场景图像粗分割之后,先进行八邻接连通区域标记^[9].某些连通区域中像素点数很多或很少,设定一个最大像素数 P_{\max} 和一个最小像素数 P_{\min} 来排除这些明显的非候选区域.

由于图像质量原因,初步标记得到的候选区域中可能存在多个禁令标志,如图 6 所示,使用这样的候选区域进行圆形检测可能会造成错误,本文利用区域高宽比来判断并分割多个禁令标志相连的区域.定义候选区域高宽比 L_{radio} ,如式(9)所示.



图 6 多个禁令标志相连区域

Fig. 6 Regions with multiple connected signs

$$L_{\text{radio}} = \frac{\max(y) - \min(y)}{\max(x) - \min(x)}, \quad (9)$$

其中 x, y 分别为候选区域像素点横、纵坐标.

根据高宽比 L_{radio} 取值的不同,本文作如下处理:

1) $0.6 < L_{\text{radio}} < 1.4$, 候选区域中只可能存在一个禁令标志,此候选区域可直接进入下一步检测过程.

2) $1.8 < L_{\text{radio}} < 2.2$, $2.8 < L_{\text{radio}} < 3.2$, $3.8 < L_{\text{radio}} < 4.2$, $4.8 < L_{\text{radio}} < 5.2$, 候选区域中分别可能存在 2 个、3 个、4 个和 5 个纵向相连的禁令标志,将此候选区域沿纵向分割成几个相等的区域分别进入下一步检测过程.

3) $0.45 < L_{\text{radio}} < 0.55$, $0.31 < L_{\text{radio}} < 0.36$, $0.24 < L_{\text{radio}} < 0.26$, $0.19 < L_{\text{radio}} < 0.21$, 候选区域中分别可能存在 2 个、3 个、4 个和 5 个横向相连的禁令标志,将此候选区域沿横向分割成几个相等的区域分别进入下一步检测过程.

4) L_{radio} 为其他值时,候选区域中不可能存在禁令标志,此候选区域不进入下一步检测过程.

候选区域标记处理能有效排除大部分干扰区域,但是不能排除某些与禁令标志区域大小相似的区域.因此,必须进一步利用禁令标志的圆形外边缘特征进行验证,最终得到禁令标志区域.

3 圆形检测

3.1 外边缘提取

传统的边缘提取方法包括 Prewitt 边缘检测、

Roberts 边缘检测和 Canny 边缘检测等.这类方法通过设定梯度阈值、极大值抑制等操作来确定边缘像素点,使用此类方法将同时提取出禁令标志的外边缘和内部其他边缘特征.为排除内部边缘像素点的干扰,本文提出了一种简单的双向遍历外边缘提取算法,其基本思想如下:

1) 依从左到右、从上到下的顺序遍历候选区域像素点值,标记每行第 1 个 1 值像素点和最后一个 1 值像素点.

2) 依从上到下、从左到右的顺序遍历候选区域像素点值,标记每列第 1 个 1 值像素点和最后一个 1 值像素点.

3) 将 1)、2) 中标记的 1 值像素点都作为候选区域的外边缘.

4) 建立一个中心区域像素点值为 0、周围像素点值为 1 的模板二值图,将 3) 得到的候外边缘二值图乘以该模板二值图,排除内部干扰像素.

图 7 和图 8 为 Canny 边缘检测算法和双向遍历外边缘提取算法对某限速标志和某禁止掉头标志的边缘提取效果.由此可知,相比 Canny 边缘检测算法,双向遍历外边缘提取算法只保留禁令标志的外边缘,能有效排除内部边缘点对圆形检测的干扰.

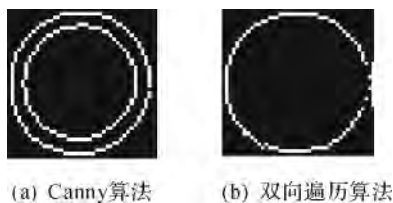


图 7 某限速标志边缘提取效果比较

Fig. 7 Comparison of edge detection effect of speed limit sign

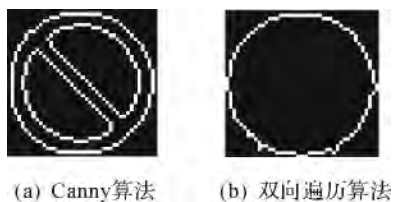


图 8 某禁止掉头标志边缘提取效果比较

Fig. 8 Comparison of edge detection effect of no turn sign

3.2 圆形相似度参数

通过外边缘提取处理,可得到禁令标志候选区域外边缘二值图,如图 7(b)、图 8(b).为判断所提取的边缘是否为圆形,分析了外边缘点到中心点距离的分布曲线,理论圆的分布曲线应该是一条大小为

圆半径的直线,而实际圆的分布曲线应该是一条沿着理论圆分布直线上下作小范围波动的曲线,如图9所示.本文定义了一个圆形相似度参数 CirSim,作为判断圆形的标准参数,如式(10)至式(13).

$$Dis_i = [(\sum_{i=1}^k x_i/k - x_i)^2 + (\sum_{i=1}^k y_i/k - y_i)^2]^{1/2}, \quad (10)$$

$$Mean = \sum_{i=1}^k Dis_i/k, \quad (11)$$

$$Sdev = \sum_{i=1}^k (Dis_i - Mean)^2/(k-1), \quad (12)$$

$$CirSim = 1 - 500 \times Sdev/(Mean \times k). \quad (13)$$

式中: k 为外边缘像素点数; x_i, y_i 分别为第 i 个外边缘像素点的横、纵坐标; Dis_i 为第 i 个外边缘像素点到中心点的距离; $Mean$ 为外边缘像素点到中心点的距离均值; $Sdev$ 为外边缘像素点到中心点的距离方差.

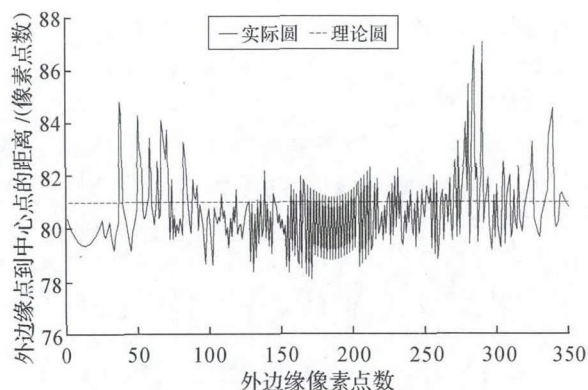


图9 外边缘点到中心点距离的分布曲线

Fig. 9 Distribution curve of distance from external edge pixel to center pixel

圆形相似度参数 CirSim 反映了实际圆分布曲线的波动程度, CirSim 越小, 分布曲线波动越厉害, 外边缘是圆形的可能性越小. 理论圆外边缘像素点到中心点的距离标准差 $Sdev=0$, 其圆形相似性参数 $CirSim=100\%$. 经过大量的实验分析, 当 $CirSim>30\%$ 时, 候选区域的外边缘近似为圆形.

4 复杂场景实验

为验证上述算法的可行性, 使用行车记录仪采集了复杂场景图像, 图像大小: 1 280 个 \times 720 个像素, 实验室环境: Intel Pentium(R) Dual-Core CPU E5200, 2.50 GHz, 2.00 GB 内存, 使用 MATLAB R2010a 平台进行仿真实验.

部分复杂场景检测实验结果如图10所示. 如图10(a)、图10(b), 算法能够有效地检测并分割开多个相连的禁令标志. 如图10(c), 算法从光照干扰较

强的场景中检测出禁令标志. 如图10(d), 算法能检测到部分边缘被遮挡的禁令标志. 如图10(e), 算法适用于边缘褪色严重的禁令标志. 如图10(f), 算法在红色干扰物较多场景中具有较好的检测效果. 图10(g)存在2个未能检测出来的禁令标志; 在图10(h)的雨天场景下, 算法完全失效.



图10 部分复杂场景检测实验结果

Fig. 10 Detection experiment results of some scenario

算法在大多数复杂场景中能正确检测出禁令标志, 但对于某些场景还是出现失误的情况. 造成这些失误的原因有: 1) 当场景中存在被遮挡的多个相连交通标志或者存在被遮挡范围过大的单个交通标志时, 区域分割方法将导致检测错误; 2) 在雨雪、大雾、夜间等条件下, 场景图像的颜色特征完全失真, 颜色粗分割方法失效; 3) 某些物体具有与禁令标志相似的红色圆形边缘特征.

5 结论

1) 采用了一种 HSI 自适应阈值粗分割方法来获取场景图像的禁令标志红色二值图, 该方法有效地克服了光照、相机特性、标志褪色等外界因素对分割结果的影响.

2) 进行区域标记处理, 利用区域的相关特征初步排除非禁令标志区域, 并分割出多个相连的禁令标志区域.

3)为有效地获取候选区域的外边缘信息,提出了一种简单的双向遍历外边缘提取算法,采用该方法能够获取清晰的外边缘。

4)利用圆形相似度参数判断候选区域是否为禁令标志区域.相比 Hough 变换圆检测算法,该方法计算简单,无需预设参数;相比圆形度函数判断方法,该方法能检测不连续的圆形外边缘,从而有效地检测被遮挡范围较小的禁令标志。

参考文献:

- [1] BISHOP R. A survey of intelligent vehicle applications worldwide[C]//Proceedings of the IEEE Intelligent Vehicles Symposium 2000. Dearborn(MI), USA, Oct. 3-5, 2000: 26-30.
- [2] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局,中国国家标准化管理委员会. GB5768. 2—2009 道路交通标志和标线第 2 部分: 道路交通标志[S]. 北京: 中国标准出版社, 2009: 35-52.
General Administration of Quality Supervision, Inspection and Quarantine of the People's Republic of China, Standardization Administration of the People's Republic of China. GB5768. 2—2009 Road traffic signs and markings—part 2: road traffic signs [S]. Beijing: China Standards Press, 2009: 35-52.
- [3] 范必双,王玉凤,王英键. 基于模糊小波神经网络的交通标志识别方法研究[J]. 计算机仿真, 2005, 22(9): 201-204.
FAN Bi-shuang, WANG Yu-feng, WANG Ying-jian. Research on road sign identification method based on fuzzy wavelet network[J]. Computer Simulation, 2005, 22(9): 201-204.
- [4] BENEALLAL M, MEUNIER J. Real-time color segmentation of road signs [C]//IEEE CCECE 2003. Montreal, Canada, May 4-7, 2003: 1823-1826.
- [5] KUO Wen-jia, LIN Chien-chung. Two-stage road sign detection and recognition[C]// Multimedia and Expo, 2007 IEEE International Conference. Beijing, China, July 2-5, 2007: 1427-1430.
- [6] ORUKLU E, PESTY D, NEVEUX D. Real-time traffic sign detection and recognition for in-car driver assistance systems[C]//Circuits and Systems, 2012 IEEE 55th International Midwest Symposium on Digital Object. Boise, USA, Aug. 5-8, 2012: 976-979.
- [7] 徐迪红,唐炉亮. 基于颜色和标志边缘特征的交通标志检测[J]. 武汉大学学报: 信息科学版, 2008, 33(4): 433-436.
XU Di-hong, TANG Lu-liang. Traffic sign detection based on color and boundary feature [J]. Geomatics and Information Science of Wuhan University, 2008, 33(4): 433-436.
- [8] ESCALERA A D L, MORENO L E, SALICHS M A. Road traffic sign detection and classification[J]. IEEE Transactions on Industrial Electronics, 1997, 44(6): 848-859.
- [9] GONZALEZ R C, WOODS R E, EDDINS S L. 数字图像处理(MATLAB 版)[M]. 阮秋琦,译. 北京: 电子工业出版社, 2011: 144-307.
GONZALEZ R C, WOODS R E, EDDINS S L. Digital image processing using MATLAB[M]. Translated by RUAN Qiu-qi. Beijing: Publishing House of Electronics Industry, 2011: 144-307.
- [10] KIRAN C G, LEKHESH V P, ABDU R, et al. Traffic sign detection and pattern recognition using support vector machine[C]//ICAPR'09, the 7th International Conference. Kolkata, India, Feb. 4-6, 2009: 87-90.
- [11] 王歆玥,高旭辉. 一种自适应阈值分割方法[J]. 红外与激光工程, 2006, 35(z4): 167-171.
WANG Xin-yue, GAO Xu-hui. Image segmentation method of self-adopting threshold[J]. Infrared and Laser Engineering, 2006, 35(z4): 167-171.

(上接第 498 页)

- [9] GIANLUCA Cena, ADRIANO Valenzano. Evaluation of EtherCAT distributed clock performance[J]. IEEE Transactions on Industrial Informatics, 2012, 8(1): 20-28.
- [10] 胡国传,沈杰,刘彬,等. 基于 PROFINET IO 的延迟和抖动研究[J]. 仪器仪表学报, 2011, 32(9): 2153-2160.
HU Guo-chuan, SHEN Jie, LIU Bing, et al. Study on delay and jitter based on PROFINET IO[J]. Chinese Journal of Scientific Instrument, 2010, 32(9): 2153-2160.
- [11] Beckhoff Corporation. Hardware data sheet ET1100 [EB/OL]. (2011-05-03). <http://www.beckhoff.com/>.