

基于双目视觉的货车尺寸测量

王 潜,张艳彬

(南京邮电大学 通信与信息工程学院,江苏 南京 210003)

摘要:针对货车尺寸的快速精确测量,提出了一种基于双目视觉的测量方法。论述了测量系统的组成、双目测量的原理,并通过图像差值法检测车辆目标,在此基础上应用基于 HSV 颜色空间的图像分割方法提取车身。设计了一个基于 Hu 矩的支持向量机分类器对车型进行分类,对分类为载货汽车的对象通过霍夫变换检测提取矩形车厢。最后确定边缘测量点,结合特征匹配技术实现立体匹配,并完成尺寸自动测量。该方法与传统的激光雷达法和红外光幕法相比,具有安装结构简单,占用场地少,成本低,测量速度快的优点。实验结果表明,该算法测量精度低于 3%,耗时低于 1.5 s,实现了载货汽车类车辆长度尺寸及车厢尺寸测量的精确性和快速性。

关键词:双目视觉;车型识别;车厢提取;尺寸测量;智能交通

中图分类号:TP391

文献标识码:A

文章编号:1673-629X(2018)06-0161-04

doi:10.3969/j.issn.1673-629X.2018.06.036

Truck Dimensions Measurement Based on Binocular Vision

WANG Qian, ZHANG Yan-bin

(School of Telecommunications & Information Engineering, Nanjing University of
Posts and Telecommunications, Nanjing 210003, China)

Abstract: We propose a measurement method based on binocular vision aiming at the rapid and accurate measurement of truck dimensional parameters. The composition of the measurement system and the principle of binocular measurement are discussed. The vehicle target is detected by image difference method and the image segmentation method based on HSV color space is used to extract the vehicle body. Then we design a support vector machine classifier based on Hu moments to classify vehicle types. The rectangular carriage of the vehicle is extracted by Hough transform if classified as a truck. Finally, the edge measurement points are determined, and the stereo matching is realized by feature matching technology, and the dimension automatic measurement is completed. The measurement method has the advantages of simple installation structure, low occupancy space, low cost and fast measurement speed compared with the traditional measurement of laser radar and infrared light curtain. Experiment shows that the measurement system error is less than 3% and its time consumption is less than 2 second. The truck body size measurement can be achieved with accuracy and little time consumption.

Key words: binocular vision; vehicle identification; carriage extraction; dimension measurement; intelligent traffic

0 引言

近年来,随着国内汽车保有量的不断增加,人们享受机动车带来便利的同时,车辆改装成为道路交通事故和道路早期损坏的主要原因之一^[1-2]。汽车的综合性能检测成为了维持良好的车辆生产和道路交通秩序、确保道路设施的完好和公路交通安全的有效手段,汽车车身尺寸检测是汽车通过性及运行安全性等综合性能检测的重要内容^[3]。传统的人工测量误差大、效率低;当前普遍采用红外光幕组合激光雷达测量法、雷

达激光组合机器视觉测量法和激光光幕与 CCD 相结合的测量方法^[4]。红外光幕组合激光雷达测量法,测量宽时需要在地面安装红外光幕接收器,采样频率受现有产品的限制,无法达到较高的测量精度,而且成本高。激光雷达组合计算机视觉测量法,其成本有所降低,但采样频率一样难以提升且用场地较大,不利于维护。

基于计算机视觉的物体测量技术近年来发展迅猛,而双目视觉作为计算机视觉的分支之一,由于其模

收稿日期:2017-07-13

修回日期:2017-11-16

网络出版时间:2018-02-24

基金项目:国家自然科学基金(614712203,61172118)

作者简介:王 潜(1991-),男,硕士研究生,研究方向为图像处理;张艳彬,博士,讲师,研究方向为计算机视觉理论和系统、图像不变特征、动态图像处理及编码理论。

网络出版地址: <http://cnki.net/kcms/detail/61.1450.TP.20180224.1510.016.html>

拟人类视觉原理,使用计算机被动感知距离,广泛应用于机器人导航、精密工业测量、物体识别、虚拟现实、场景重建、勘测等领域^[5-7]。文中提出了一种基于双目视觉的测量方法^[8-10],通过双目摄像机采集车辆图片,利用图像差值法获取车辆前景目标;通过进行 HSV 直方图图像分割提取车身^[11],设计了基于车身轮廓 Hu 矩的车型支持向量机分类器^[12-13],对分类为货车的对象,根据边缘特征,结合特征匹配技术实现立体匹配^[14],完成车辆长度的测量;通过霍夫变换检测矩形车厢^[15-16],计算出车厢的尺寸信息,继而判断是否进行改装。

1 车辆尺寸测量流程

文中测量方法的流程如图 1 所示。首先,通过双目摄像机采集车辆图像,选取左相机图像进行主要处理,将车辆图像与背景图像做图像差值,提取图像中的车辆前景。为了消除阴影的影响,对车辆目标计算 HSV 空间各颜色分量的直方图,取各颜色分量最大值进行图像分割,提取车身做下一步处理。针对不同车型,设计了一个 SVM 分类器,通过提取车辆车身的 Hu 矩对车辆进行分类。对分类为货车的对象做霍夫变换,并结合几何信息检测矩形提取车厢。最后根据边缘特征,确定车辆的测量点,进行特征匹配和双目测量。

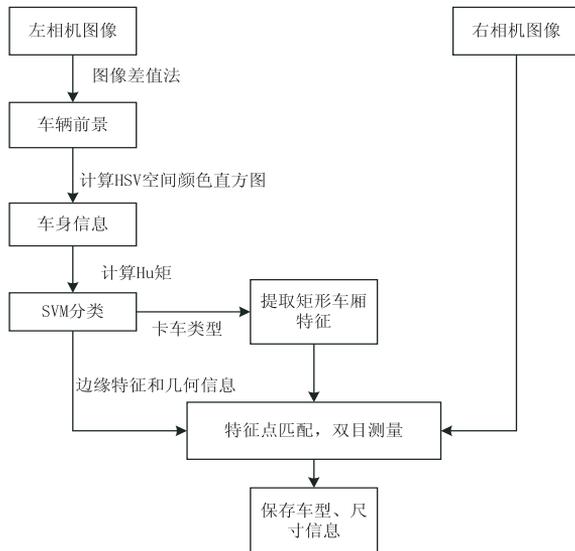


图 1 车辆尺寸测量流程

2 车辆尺寸测量原理

2.1 双目测量原理

双目视觉作为计算机视觉的重要分支,由不同位置的 2 台摄像机拍摄同一幅场景,通过计算空间点在两幅图像中的视差,来获取该点的三维坐标。双目成像原理如图 2 所示。

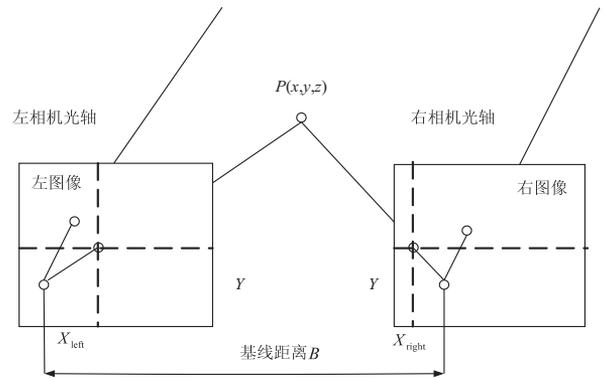


图 2 双目视觉成像原理模型

其中, B 是两台摄像机投影中心的距离; f 是摄像机的焦距。

设空间中一特征点 $P(x,y,z)$, 其在双目摄像机中的图像点分别为 $P_{left} = (X_{left}, Y_{left})$ 和 $P_{right} = (X_{right}, Y_{right})$ 。因为两摄像机在同一平面, 所有特征点 P 在左右摄像机图像的坐标 Y 是相同的, 即 $Y = Y_{left} = Y_{right}$ 。由三角几何关系可得其三维坐标为: $x = \frac{BX_{left}}{d}$, $y = \frac{BY}{d}$, $z = \frac{Bf}{d}$, 其中 $d = X_{left} - X_{right}$ 。

因此, 左相机像面上的任意一点只要能在右相机像面上找到对应的匹配点, 就可以确定该点的三维坐标。

在双目测量之前, 需要对摄像机进行标定获取内外参数。文中选取经典的张友正棋盘标定法。通过标定获取摄像机焦距 f 、基线距离 B 以及两摄像机之间平移 T 和旋转角度等。

2.2 车辆测量点定位

对车辆尺寸自动化测量来说, 准确快速定位测量点是一个必要条件。文中主要测量载货汽车类车辆的长度和车厢尺寸。

对提取的车身图片, 进行形态学处理、面积大小判断, 去除车身外的噪声区域, 再提取图像中的车身外轮廓, 利用轮廓线中的左、右两侧的极点作为车辆长度的测量点。

对分类为货车的车辆, 利用霍夫变换检测图中的直线, 结合车厢的几何信息, 提取出车厢矩形, 确定车厢的测量点。首先通过霍夫变换检测出图像中的所有直线, 根据车厢的几何特性, 对图像选取相互平行的直线对, 而一般车厢的上下、左右边接近水平和垂直, 结合以上两点筛除大部分的干扰直线。选取车厢边缘直线策略以车厢上下两条直线为例, 这两条一般选取靠近车身上下两侧的直线, 但是会受到其他部分水平直线的干扰, 这时可通过每条直线周围非零像素点的个数来辅助判断, 车厢的上下侧直线邻域一般包含的非零像素点较多, 选取邻域非零点最多的直线对作为车

厢上下边直线。最后计算车厢四条直线边的交点,以这四个交点作为车厢尺寸的测量点。

图3为车厢直线选取策略示意图。

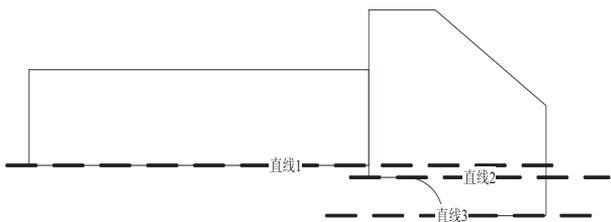


图3 车厢直线选取策略示意图

图3中有三条直线,选取策略是统计直线邻域中

$$R(u,v) = \frac{\sum_{m=1}^M \sum_{n=1}^N S^{u,v}(m,n) T}{\left(\sum_{m=1}^M \sum_{n=1}^N [S^{u,v}(m,n) - \overline{S^{u,v}}]^2 \right)^{1/2} \times \left(\sum_{m=1}^M \sum_{n=1}^N [T(m,n) - \overline{T}]^2 \right)^{1/2}} \quad (1)$$

其中, R 是互相关系数; T 是尺寸为 $N \times N$ 的模板;搜索图像 S 的尺寸为 $M \times M$ 。

文中选取以测量点为中心, $N = 5$ 的邻域作为模板,同时通过极线约束来减小计算量。在实际测量中,视差只会在一定范围变化,故可以限制模板在 x 轴的搜索范围,进一步提升计算效率。根据实际情况设置搜索范围为: $x_R \in (x_L - 200, x_L + 200)$, 其中 x_L 为左图像测量点。

2.4 车辆前景目标的提取

在测量车辆尺寸时,背景图像保持静止不变,车辆部分可以看成是变化的部分。根据这一特点,采用灰度图像背景差值法实现车辆目标提取。设 $f_1(x,y)$, $f_2(x,y)$ 分别为插值法中的车辆图像和背景图像,大小均为 $M \times N$, 其中 $x \in [0, M)$, $y \in [0, N)$, 获得色差图 $D(x,y)$:

$$D(x,y) = \text{abs}(f_1(x,y) - f_2(x,y)) \quad (2)$$

应用类间方差最大化选取阈值,对差值图像进行二值化提取车辆。类间方差最大化阈值法是基于图像灰度直方图之上,根据类间距离极大准则来确定分割

阈值。设图像的灰度有 K 级,总像素点为 $N = \sum_{i=0}^{L-1} n_i$, 每个灰度级出现的概率 $p_i = \frac{n_i}{N}$, 以灰度值 t 将图像分为 A 、 B 两个部分,则图像类间方差如下:

$$\delta^2 = P_A (\omega_A - \omega_0)^2 + P_B (\omega_B - \omega_0)^2 \quad (3)$$

其中, $P_A = \sum_{i=0}^t p_i$, $P_B = \sum_{i=t+1}^{L-1} p_i = 1 - P_A$ 为 A 、 B 出现的概率; ω_A 、 ω_B 为两类的灰度均值; ω_0 为整个图像的灰度均值。

为获取最优阈值,类间最大方差法认为使得 δ^2 值最大的 t^* 即为所求的最佳阈值。

为了提取车辆信息,选取基于 HSV 彩色直方图车

非零像素点个数,选取统计数量最多的直线作为车厢下边界。车身部分像素点不为零,其他部分皆为零,明显直线1满足要求。

2.3 车辆测量点匹配

文中应用了归一化互相关(normalized cross correlation, NCC) 特征匹配算法,其具有抗噪能力强、匹配准确等特点。通过计算模板块与搜索图像的互相关系数确定匹配的程度,选取互相关系数最大的点作为模板块在搜索图像的位置。归一化互相关度量匹配的定义式为:

身分割方法,将获取车辆前景的 RGB 图像转到 HSV 颜色空间,在 HSV 空间提取车身。利用 HSV 彩色直方图计算图像中不同颜色分量出现的频率,选取出现频率最高的 h_b, s_b, v_b 作为目标颜色。将目标区域每个像素点与目标颜色进行相似度比较,选取 HSV 空间相似度公式计算相似度,公式如下:

$$D(f) = [(s_f v_f \cosh_f - s_b v_b \cosh_b)^2 + (s_f v_f \sinh_f - s_b v_b \sinh_b)^2 + (v_f - v_b)^2]^{1/2} \quad (4)$$

其中, $D(f)$ 为目标区域像素点与目标颜色相似度值; h_f, s_f, v_f 分别为该像素点的 HSV 分量。根据场景选取适当阈值,当相似度 $D(f)$ 小于阈值时,判定为车身点,否则为背景点。

2.5 车辆车型分类

文中主要检测载货汽车,并提取其车厢尺寸,所以需要车辆车型进行区分。这里设计了基于 Hu 矩特征的 SVM 车型分类器,对输入车身轮廓进行分类,将车辆分为货车类和非货车类(客车、轿车等)。

Hu 矩具有旋转、缩放和平移不变性,对于物体的形状描述较好。由 Hu 矩组成的特征量对图像进行识别,其优点是计算速度快,但对纹理特征太复杂的图像识别率较低。文中对分割出的车身分类,只计算其形状特征而不考虑纹理,因此 Hu 矩特别适合要求。

支持向量机(support vector machine, SVM)是一种二类分类模型,其基本模型定义为特征空间上的间隔最大的线性分类器,其学习策略是使间隔最大化,最终可转化为一个凸二次规划问题的求解。

设支持向量为 $x_i, i = \{0, 1, \dots, 6\}$, 对应的输出为 $y_i = \{0, 1\}$, 支持向量机对线性可分问题的目标函数为:

$$\min_{w,b,\xi} \frac{1}{2} \|w\|^2 + C \sum_{i=1}^N \xi_i \quad (5)$$

其中, $C (> 0)$ 称为惩罚系数, C 越大表示对错误惩罚得越重, 得到的分类面间隔越小; $\xi_i (\geq 0)$ 表示松弛变量, $\sum_{i=1}^N \xi_i$ 是训练集中错分样本的上界; x_i 为权值, 约束条件为:

$$y_i(wx_i + b) \geq 1 - \xi_i, i = 1, 2, \dots, N \quad (6)$$

其中, b 是分类阈值。

为了求解原始问题最优解 w^* 和 b^* , 首先求解式 7 的对偶问题, 获取最优解 a^* , 拉格朗日对偶形式为:

$$\min_{\alpha} \frac{1}{2} \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N \alpha_i \alpha_j y_i y_j (x_i \cdot x_j) - \sum_{i=1}^N \alpha_i, \quad (7)$$

$$\text{s. t.} \quad \sum_{i=1}^N \alpha_i y_i = 0$$

对偶问题的 a^* 解中, 满足 $a^* > 0$ 的实例点 x_i 称为支持向量。

求解上述问题得到线性支持向量机, 分类决策函数为:

$$f(x) = \text{sign}(w^* \cdot x + b^*) \quad (8)$$

在线性支持向量机学习的对偶问题中, 用核函数 $K(x, z)$ 替代内积, 即可求解到非线性支持向量机:

$$f(x) = \text{sign}\left(\sum_{i=1}^N a_i^* y_i K(x, x_i) + b^*\right) \quad (9)$$

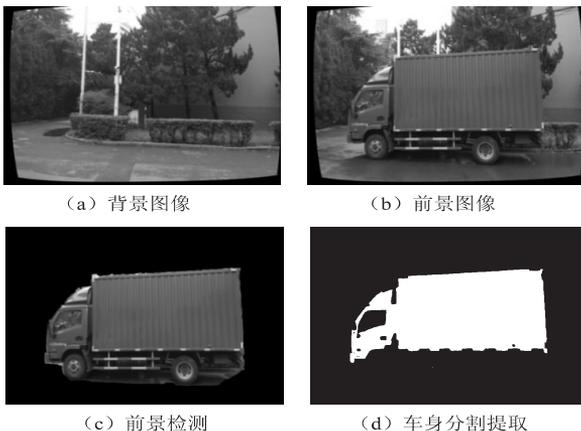
3 实验

3.1 实验平台

实验采用 Intel® Core™2 CPU i5-3210M@ 2.50 GHz 双核, 显卡为 NVIDIA GeForce 620M (1 GB)。操作系统为 64 位 Windows 7 旗舰版, 开发环境为 Visual Studio 2013, Opencv 环境为 opencv-3.2, 双目摄像机为 ANC 1080P 摄像头。

3.2 实验结果及分析

选取光线合适的场景进行试验, 通过图像差值法提取车辆前景, 以检测到的车辆区域作为掩模, 计算其 HSV 彩色直方图, 提取各个分量最大值, 应用相似度公式, 提取车身, 效果图如图 4 所示。



(a) 背景图像

(b) 前景图像

(c) 前景检测

(d) 车身分割提取

图 4 车辆前景提取及车身分割

对色差图进行二值化后, 图像中除前景目标区域外, 还存在一些噪声区域, 这里通过轮廓面积和形态学操作去除。

文中收集了 207 个车辆样本, 其中货车类有 60 个样本。经过处理后按照 7:3 的比例分成训练集和测试集。SVM 分类器的核函数为径向基函数, 其对非线性划分问题效果优于其他几类核函数, 采用交叉验证 (cross validation) 的方法选取核函数参数 δ 为 0.25。60 个测试样本分类的准确率在 96.67%, 分类错误的原因是手工制作的样本有误差, 使得车型相差较小的两类容易产生误判。

测试集的实际分类结果如表 1 所示。

表 1 车辆类型分类结果

车辆类型	测试样本	识别率/%
载货汽车	18	100
其他类	42	95.55

最后根据边缘特征和车辆的几何特征, 确定测量点及 3 次测量均值结果, 如图 5 和表 2 所示。



图 5 车辆测量点示意图

表 2 车长测量数据

车型	双目测量	车身长度	车厢长度	车厢宽度	总耗时
		/mm	/mm	/mm	
跃进	3 次测量均值	6 056	4 063	2 048	1 284
	手工测量	5 995	4 170	1 989	
上俊 x500	最大误差	2.72%	2.56%	2.88%	
	3 次测量均值	5 849	4 227	2 102	1 337
跃进 x500 厢式轻卡	手工测量	5 995	4 180	2 050	
	最大误差	2.42%	2.34%	2.57%	

4 结束语

论述了基于双目视觉的车辆尺寸测量的系统组成、测量原理及双目测量的关键技术。通过对两种类型货车进行重复测量实验, 结果显示, 该系统对车辆尺寸的测量误差与传统方法相差不大, 但整体耗时低于 1.5 s, 并能实现自动、非接触测量, 满足了测量准确性和快速性的要求, 为车辆综合性能检测和智能交通系统提供了一种有效的补充。

参考文献:

- [1] 杜秀丽. 重特大道路交通事故致因研究[D]. 上海: 华东师范大学, 2016.

程的控制。结合 WebGL 的第三方开源库 Three.js, 避免了为实现粒子近大远小的视觉效果而需要对 Z 轴上添加控制因子。结合这两种优势, 大大简化了实现方法。同时, 通过对粒子系统内粒子数量的控制, 可以根据需要模拟出落叶多少的效果, 在简化实现方法的同时也具有逼真的三维仿真效果。

文中代码具有良好的扩展性, 在此基础上, 可以加载其他外部图片作为粒子纹理, 模拟不同的自然现象, 例如降雨、烟花等。也可以对粒子运动速度进行控制, 模拟不同天气情况下的降雨效果。

参考文献:

- [1] 李晓萍. 基于 GPU 的粒子系统的研究与应用[D]. 长春: 吉林大学, 2009.
 - [2] 袁霞, 张玉琢. 粒子系统方法及其应用[J]. 云南师范大学学报: 自然科学版, 2003, 23(3): 14-16.
 - [3] 罗维佳, 都金康, 谢顺平. 基于粒子系统的三维场地降雨实时模拟[J]. 中国图象图形学报, 2004, 9(4): 495-500.
 - [4] 徐利明, 姜昱明. 基于粒子系统与 OpenGL 的实时雨雪模拟[J]. 计算机仿真, 2005, 22(7): 242-245.
 - [5] 荣艳冬. 基于 WebGL 的 3D 技术在网页中的运用[J]. 信息安全与技术, 2015(8): 90-92.
 - [6] XU Zhao, ZHANG Yang, XU Xiayan. 3D visualization for building information models based upon IFC and WebGL integration[J]. Multimedia Tools & Applications, 2016, 75(24): 17421-17441.
 - [7] 魏云申. 基于 WebGL 的全景 3D 漫游系统的设计与实现[D]. 南京: 南京大学, 2016.
 - [8] 顿儒源. 基于 WebGL 的织物三维展示系统[D]. 杭州: 浙江大学, 2016.
 - [9] 高辰飞. 基于 WebGL 的海洋样品三维可视化的研究[D]. 青岛: 中国海洋大学, 2014.
 - [10] REEVES W T. Particle systems—a technique for modeling a class of fuzzy objects [C]//Seminal graphics. [s. l.]: ACM, 1998: 203-220.
 - [11] REEVES W T, BLAU R. Approximate and probabilistic algorithms for shading and rendering structured particle systems [C]//Proceedings of the 12th annual conference on computer graphics and interactive techniques. [s. l.]: ACM, 1985: 313-322.
 - [12] 王润杰, 田景全, 倪政国. 基于粒子系统的实时雨雪模拟[J]. 系统仿真学报, 2003, 15(4): 495-496.
 - [13] 周强, 汪继文. 基于粒子系统的三维降雪场景仿真[J]. 计算机技术与发展, 2017, 27(1): 130-133.
 - [14] DANCHILLA B. Three.js framework [M]//Beginning WebGL for HTML5. [s. l.]: [s. n.], 2012: 173-203.
 - [15] 朱丽萍, 李洪奇, 杜萌萌, 等. 基于 WebGL 的三维 WebGIS 场景实现[J]. 计算机工程与设计, 2014, 35(10): 3645-3650.
 - [16] HUANG Youliang, ZHOU Mingquan. Design and development of the virtual acupuncture training using WebGL[J]. Advanced Materials Research, 2013, 756-759: 2076-2080.
-
- (上接第 164 页)
- [2] 刘琦. 道路交通安全管理研究[D]. 青岛: 中国海洋大学, 2012.
 - [3] WHEELER T A, KOCHENDERFER M J. Factor graph scene distributions for automotive safety analysis [C]//International conference on intelligent transportation systems. Rio de Janeiro, Brazil; IEEE, 2016: 1035-1040.
 - [4] 梁春疆, 段发阶, 杨毅, 等. 车辆外廓尺寸计算机视觉动态测量[J]. 光电工程, 2016, 43(1): 42-48.
 - [5] 李怀泽, 沈会良, 程岳. 基于旋转多视角深度配准的三维重建方法[J]. 计算机应用, 2012, 32(12): 3365-3368.
 - [6] 孔颖乔, 赵健康, 夏轩. 基于立体视觉的高精度标定与测量方法[J]. 计算机应用, 2017, 37(6): 1798-1802.
 - [7] 郭政业, 胡雯蕾, 朱李瑾. 基于眼球重建界面直线模型的双目视线跟踪算法[J]. 计算机应用研究, 2016, 33(4): 1249-1252.
 - [8] 姜庆昌. 汽车轮廓尺寸测量机的研究[D]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学, 2006.
 - [9] 苏建, 翟乃斌, 刘玉梅, 等. 汽车整车尺寸机器视觉测量系统的研究[J]. 公路交通科技, 2007, 24(4): 145-149.
 - [10] LI Shuaijun, JIANG Xinyu, QIAN Huihuan. Vehicle 3-dimension measurement by monocular camera based on license plate [C]//International conference on robotics and biomimetics. Qingdao, China; IEEE, 2016: 800-806.
 - [11] SURAL S, QIAN Gang, PRAMANIK S. Segmentation and histogram generation using the HSV color space for image retrieval [C]//International conference on image processing. Rochester, NY, USA; IEEE, 2002: 589-592.
 - [12] BENNETT K P. Combining support vector and mathematical programming methods for classification [M]. Cambridge, MA; MIT Press, 1999: 307-326.
 - [13] 范伊红, 彭海云, 张元. 基于 SVM 的车型识别系统的设计与实现[J]. 微计算机信息, 2007, 23(3-1): 296-297.
 - [14] WEI S, LAI Shanghong. Fast template matching based on normalized cross correlation with adaptive multilevel winner update [J]. IEEE Transactions on Image Processing, 2008, 17(11): 2227-2235.
 - [15] DAI Huadong, WANG Yang. A new method for detecting rectangles and triangles [C]//2015 IEEE advanced information technology, electronic and automation control conference. Chongqing, China; IEEE, 2015: 321-327.
 - [16] LIU Dong, WANG Yongtao, TANG Zhi, et al. A robust circle detection algorithm based on top-down least-square fitting analysis [J]. Computers & Electrical Engineering, 2014, 40(4): 1415-1428.