

文章编号: 2095-2163(2019)04-0079-04

中图分类号: TP317.4

文献标志码: A

基于双目视觉的泊车机器人障碍物检测系统

王 帅, 杨建玺

(河南科技大学 机电工程学院, 河南 洛阳 471003)

摘 要: 针对泊车机器人和智能停车库研究领域中对视觉系统的需求,设计了一种基于双目视觉的泊车机器人障碍物检测系统。借鉴物理学中的控制变量法完成双目相机标定,采用 Bouguet 算法进行立体校正,引入 YOLO 卷积神经网络对障碍物进行快速检测,利用改进立体匹配算法完成对弱光照下光滑边缘障碍物的检测,搭建双目视觉系统并进行实验验证。实验结果表明,该系统检测平均耗时为 0.463 s,在 1 400 mm 至 2 100 mm 范围内检测误差在 50 mm 内,具有良好的实时性和较高精度,为经济型泊车机器人的研制奠定基础。

关键词: 泊车机器人; 机器视觉; 相机标定; 立体匹配; YOLO 卷积神经网络

Parking robot obstacle detection system based on binocular vision

WANG Shuai, YANG Jianxi

(School of Mechatronics Engineering, Henan University of Science and Technology, Luoyang Henan 471003, China)

[Abstract] Aiming at the demand of vision system in the research field of parking robot and intelligent parking garage, a parking robot obstacle detection system based on binocular vision is designed. The binocular camera calibration is done by using the control variable method in physics. The Bouguet algorithm is used for stereo correction. The YOLO Convolutional Neural Network is introduced to detect the obstacles quickly. The improved stereo matching algorithm is used to detect the smooth edge obstacles under weak illumination, set up a binocular vision system and conduct experimental verification. The experimental results show that the consumed detection time of the system is 0.463 s on average, and the detection error is within 50 mm from 1 400 mm to 2 100 mm. It has good real-time performance and high precision, which lays a foundation for the development of economical parking robot.

[Key words] parking robot; machine vision; camera calibration; stereo matching; YOLO Convolutional Neural Network

0 引言

随着人们生活质量的日益提高和经济水平的不断发展,汽车保有量呈现井喷式增长,停车成了日常出行的难题^[1]。因此,智能停车库应运而生,作为其核心运载工具的泊车机器人日趋受人们关注,成为移动机器人领域的全新重点应用。文献[2]中提到的泊车机器人采用激光导航方式,可完成较高精度的导航,但遇到障碍物就会自动停止,需人工干预,不能获取障碍物三维信息而进行自主避障。文献[3]中由德国 Serva 公司研制的新型泊车机器人 Ray 虽已应用到德国杜塞尔机场,但由于其采用激光导航方式,运行速度不高,技术难度大,很难得到推广。文献[4]中的国产最新泊车机器人的导航方式为“激光导引+磁钉导航”,虽能完成泊车导航,但前期需对停车场进行较大改造,铺设磁钉,使得机器人运行路径固定,使用不方便,成本较大,不能实时检测行进路径上可能出现的障碍物。

以上文献中的泊车机器人虽能完成泊车导航功能,但均采用了成本较高的激光导航技术,不利于推广,且缺少对泊车路径上出现的障碍物(人为误进,车辆附属物脱落等)进行实时检测的功能,易发生泊车事故^[5]。故本文采用双目视觉技术,设计一套泊车机器人障碍物视觉检测系统,完成对泊车路径上障碍物的类别和距离检测,弥补了国内泊车机器人缺少障碍物视觉检测功能的缺陷,为泊车机器人视觉避障奠定基础,且有助于经济型泊车机器人的研制与推广。

1 系统设计

障碍物视觉检测系统作为泊车机器人的“眼睛”,需对泊车路径上的障碍物进行种类和距离检测。搭建双目视觉检测系统以实时获得丰富的环境信息。系统由软、硬件 2 部分组成。其中,硬件系统包括 2 台 MV-E800M/C 相机、LP-03 微调长型云台板、Inter i7、GTX980 和 8G 内存。软件系统包括 VS2015、Matlab2016a、OpenCV 3.3.0 和 Ubuntu16.04,将具有可

基金项目: 河南省重点攻关项目(1621002210048);河南省教育厅自然科学研究项目(2010B460010)。

作者简介: 王 帅(1991-),男,硕士研究生,主要研究方向:机器视觉、图像处理;杨建玺(1968-),男,博士,教授,主要研究方向:机器视觉、滑动轴承。

收稿日期: 2019-04-25

移植性和扩展性的 Python 语言作为编程语言。

系统的工作流程为:通过双目相机捕捉前方障碍物的目标图像,采集的图像经过立体校正、YOLO 障碍物类别检测、立体匹配和深度计算,实现泊车机器人障碍物视觉检测功能。系统结构流程如图 1 所示。

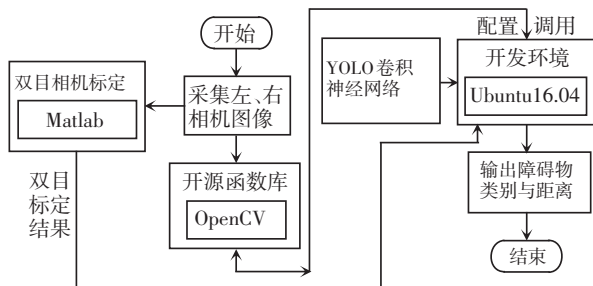


图 1 系统工作流程

Fig. 1 Flow chart of system work

2 基于控制变量法的双目相机标定

由于相机的焦距会对障碍物的深度、距离、精度产生影响,故引入物理学中的控制变量法设置 2 组实验,研究棋盘格标定板规格和标定距离对标定误差的影响,以得到精度较高的焦距。

实验 a: 设标定距离为 1 600 mm, 绘制规格分别为 8 mm * 8 mm、12 mm * 12 mm、14 mm * 14 mm、16 mm * 16 mm、18 mm * 18 mm、20 mm * 20 mm、22 mm * 22 mm、24 mm * 24 mm、26 mm * 26 mm、28 mm * 28 mm、30 mm * 30 mm、40 mm * 40 mm 的棋盘格标定板。

实验 b: 设置棋盘格标定板规格为 26 mm * 26 mm, 设置 12 组不同的标定距离, 从 800 mm 至 1 900 mm 依次增加 100 mm, 其它条件与实验 a 保持一致。实验结果表明在标定板规格为 26 mm * 26 mm, 标定距离为 1 300 mm 时, 标定误差最小。标定流程如图 2 所示。

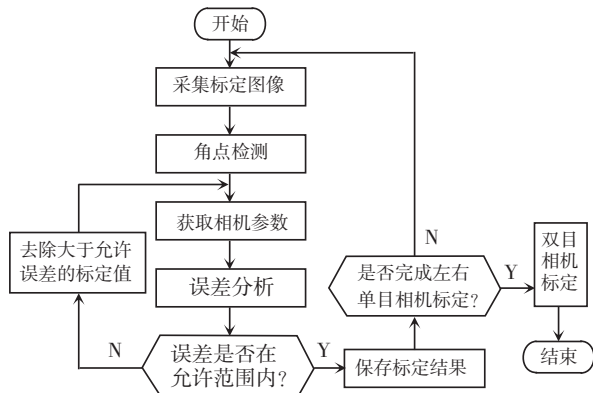


图 2 双目相机标定流程图

Fig. 2 Flow chart of binocular camera calibration

3 基于 OpenCV 的 Bouguet 立体校正

通过双目视差求解距离公式是在双目视觉系统处于理想状态下推导出来的^[6],而在实际操作中,由于相机畸变、相机装配等原因,使得完全共面行对准的两个相机成像平面是不存在的。因此,必须对其进行校正,以减少实际误差。校正步骤:

(1) 共面: 校正过程中 2 个图像平面均按照相机旋转矩阵 R 旋转一半, 使重投影畸变最小^[7], 此时 2 个相机图像平面共面 (畸变校正后光轴也平行), 但是行不对准。

(2) 行对准: 极点是 2 个相机坐标系原点的连线和图像平面的交点, 2 个相机的图像平面和 2 个相机坐标系原点的连线平行, 则极点处于无穷远处 (即行对准)。

4 障碍物类别检测与深度计算

4.1 基于 YOLO 卷积神经网络的障碍物快速检测

YOLO (You Only Look Once^[8]) 是一个非常容易构造的目标检测算法。其将目标区域预测和目标类别预测整合于单个神经网络模型中, 可在准确率较高的情况下实现快速目标检测^[9], 适合泊车机器人的应用环境。YOLO 卷积神经网络模型共有 24 个卷积层和 2 个全连接层。其中, 卷积层用来提取图像特征, 全连接层用来预测图像位置和类别概率值。YOLO 卷积神经网络采用 PASCAL VOC 数据训练卷积层^[10-11], 然后利用卷积层和全连接构成 RPN (Region Proposal Network) 实现目标类别和物体位置预测^[12]。

YOLO 目标检测算法: 首先把输入图像划分成 $S \times S$ 的格子, 然后对每个格子预测 B 个检测框 (bounding boxes), 每个检测框包含 5 个预测值: x, y, w, h 和置信度 (confidence)。其中, x 和 y 是检测框的中心坐标; w 和 h 是检测框的宽与高, 每个格子预测 C 个假定类别的概率, 最后输出特征图, 其大小为 $S \times S \times (B \times 5 + C)$ 。

4.2 立体匹配

由于泊车机器人在弱光照条件下工作, 且需对误进的具有边缘光滑的障碍物, 如人、猫和狗等进行检测, 故需要设计一种满足泊车机器人要求的立体匹配算法。在对比分析传统的立体匹配算法与边缘检测算法的基础上, 选择具有对噪声不敏感, 能够完成对弱边缘的检测且精度较高的 Canny 算子, 和简化后的具有光照不变性的 SURF 算法相结合的方

式,完成本文算法设计。改进的立体匹配算法流程如图 3 所示。

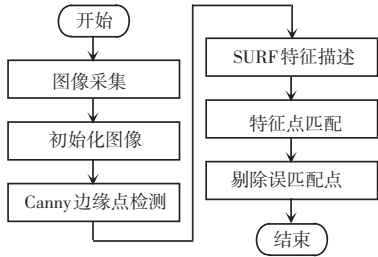


图 3 改进立体匹配算法流程图

Fig. 3 Flow chart of improved stereo matching algorithm

4.3 深度计算

通过视差图和标定参数,将左右成像平面上的成像点转化到 3D 空间,可求得障碍物目标点的真实距离。重投影矩阵 Q 的表达式如下所示:

$$Q = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & -c_x \\ 0 & 1 & v & -c_y \\ 0 & 0 & 0 & f \\ 0 & 0 & -\frac{1}{T} & (c_x - c_x') T_x \end{bmatrix}; \quad (1)$$

表 1 双目相机标定参数

Tab. 1 Parameters of binocular camera calibration

参数	左相机	右相机	参数	左相机	右相机
f_x	2 558.684 68	2 556.412 55	P_1	- 0.003 90	- 0.003 14
f_y	2 556.491 48	2 557.548 26	P_2	- 0.003 07	- 0.003 25
C_x	1 020.170 23	1 021.958 84	K_3	0	0
C_y	856.373 58	857.805 78	平均误差	0.168 66	0.163 27
K_1	- 0.051 44	- 0.080 49	R	[- 0.019 44 - 0.011 57 - 0.016 580]	
K_2	0.113 52	0.125 48	T	[- 150.958 61 - 0.001 25 0.002 08]	

表 2 障碍物检测系统性能

Tab. 2 Obstacle detection system performance

实际距离/mm	实测距离/mm	障碍物检测耗时/s
1 400	1 423.5	0.463
1 500	1 527.2	0.461
1 600	1 630.9	0.458
1 700	1 734.5	0.465
1 800	1 839.1	0.462
1 900	1 943.5	0.465
2 000	2 046.9	0.467
2 100	2 149.8	0.466

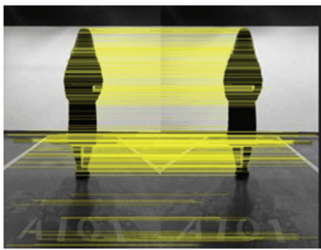


图 4 本文立体匹配算法效果图

Fig. 4 Result of the stereo matching algorithm



图 5 系统输出图

Fig. 5 System output diagram

通过 8 组实验结果可知,该系统在 1 400 mm ~ 2 100 mm 距离内测距误差在 50 mm 内,系统平均耗时 0.463 s,可满足泊车机器人对障碍物检测的实时性与精度要求,系统性能分析见表 2。

则:

$$Q \begin{bmatrix} x \\ y \\ d \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \\ W \end{bmatrix}. \quad (2)$$

其中, (c_x, c_y) 是左图像的主点; f 是左目相机的焦距; c_x' 是在右图像上由 c_x 产生的坐标; 三维坐标为 $(X/W, Y/W, Z/W)$ 。通过相机标定的参数和公式 (2) 可计算障碍物目标点的坐标值。

5 实验结果与分析

为了验证系统的实时性与准确性,以目标障碍物在同一车库环境的不同距离情况下进行检测。首先把左相机图像输入 YOLO 卷积神经网络,确定立体匹配区域,然后采用本文立体匹配算法完成立体匹配(如图 4 所示),计算最大视差,最后利用双目相机标定参数(见表 1)和三角形相似原理,计算出目标区域中最小的实际距离。系统输出的障碍物类别检测及深度信息如图 5 所示。

6 结束语

针对目前搭载激光传感器的泊车机器人成本
(下转第 86 页)