

基于深度信息的巡逻机器人避障系统实现

徐海黎, 万旭, 邢强, 阮有兵

(南通大学 机械工程学院, 江苏 南通 226019)

摘要: 针对巡逻机器人的避障导航, 基于 Realsense 深度摄像头获取环境深度信息, 在使用机载计算机对深度图像进行分层处理的基础上, 设计了巡逻机器人避障导航系统, 同时对巡逻机器人通信协议以及决策流程等进行了改进设计, 最后在 ROS 机器人开源操作系统上对其进行实验及验证。实验结果表明, 在相同环境下, 该方法能使巡逻机器人快速、安全、有效地避开静态障碍物而到达目标点。该方法不仅能够提高避障的成功率, 获得实时避障效果, 而且能够降低巡逻机器人的数据处理量, 有利于巡逻机器人的移植。

关键词: 巡逻机器人; 避障; 路径规划; Realsense 深度相机; 机器人操作系统; 图像处理

中图分类号: TP249 **文献标识码:** A **DOI:** 10.19457/j.1001-2095.dqcd19428

Implementation of Patrol Robot Obstacle Avoidance System Based on Depth Information

XU Haili, WAN Xu, XING Qiang, RUAN Youbing

(School of Mechanical Engineering, Nantong University, Nantong 226019, Jiangsu, China)

Abstract: For the obstacle avoidance navigation of patrol robots, based on the environment depth information which was obtained by the Realsense depth camera and the layered processing of the depth image by the onboard computer, the patrol robot obstacle avoidance navigation system was designed, at the same time, the patrol robot communication protocol and the decision process were elaborated. Finally, the proposed strategy was tested and verified on the ROS (robot operating system) robot open source operating system. The results show that the method of using Realsense depth camera can make the patrol reach the target quickly, safely and effectively avoid static obstacles under the same environment. This method can not only improve the success rate of obstacle avoidance and obtain the real-time obstacle avoidance effect, but also reduce the data processing volume of the patrol robot, which is beneficial to the transplantation of the patrol robot.

Key words: patrol robot; obstacle avoidance; path planning; Realsense depth camera; robot operating system (ROS); image processing

随着传感器技术的发展, 巡逻机器人自主避障导航技术取得了飞速发展。在巡逻机器人自主巡逻的过程中, 如何快速检测和避开障碍物是一个十分重要的难题, 为此, 国内外学者提出了多种不同的解决办法。

目前, 基于单目视觉技术和多目视觉技术的辅助, 可以实现较高准确度的视觉避障^[1-3]。文献[4]提出了一种动态环境下的避障方法, 利用 Kinect 传感器采集移动机器人周围环境的深度信息, 完成机器人避障警戒区域的设定, 在确定动态障碍物进入警戒区域后, 移动机器人利用障碍物位置初步确定避障方向。但是 Kinect 较为庞大, 不利

于在巡逻机器人上安装, 且功耗大, 会极大降低巡逻机器人的续航能力。文献[5]利用安装在移动机器人实验平台上的多目视觉结构, 在机器人移动的同时获取周围环境的信息, 从而更好地辅助机器人判断周围环境以及自身处境。但是由于多目视觉的硬件结构设计原因, 其需要大量计算才能获取环境信息, 很难实现实时避障导航。

本文选用英特尔的一款单目视觉的深度摄像头进行实验研究, 该相机具有精度高、体积小且功耗低的特点, 较易安装在适合巡逻机器人的应用场景。提出一种基于 Realsense 深度摄像头的自主避障导航方法。巡逻机器人根据深度摄像头

基金项目: 江苏省自然科学基金青年基金(BK20150407)

作者简介: 徐海黎(1973-), 女, 博士, 教授, Email: 87353319@qq.com

获取的深度信息,计算出障碍物的位置信息,规划出相应的避障路线,控制巡逻机器人的轨迹。与传统视觉导航从整幅图像中寻找以得到规划路径^[6]相比,本方法直接从获得的深度信息中生成避障指令,因此有助于实现快速计算和实时导航。

首先,介绍了基于 Realsense 深度摄像头避障系统的整体架构;然后,详细阐述了系统的硬件设计和软件模块实现方法;最后,在基于 ROS 机器人开源操作系统的巡逻机器人平台上进行了实验分析^[7]。

1 巡逻机器人避障系统设计方案

1.1 避障系统硬件设计

根据巡逻机器人避障导航系统的任务需求,将功能分为4个模块:中心工作站、图像处理模块、运动控制模块和巡逻机器人定位模块^[8],如图1所示。

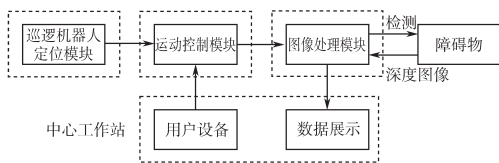


图1 避障系统总体设计

Fig.1 Overall design of the obstacle avoidance system

图像处理模块在实验时暂时使用机载 Thinkpad 笔记本电脑来获取图像,并处理深度图像,将障碍物的信息和巡逻机器人的相对位置关系发送给运动控制模块。

运动控制模块产生避障导航指令,在接收到障碍物的信息和巡逻机器人的相对位置信息之后控制巡逻机器人避开障碍物,进行正确避障导航。中心工作站与运动控制模块进行数据通信,所以地面中心站可以接收由巡逻机器人采集的图像数据并显示,中心工作站还可以将用户数据发送到运动控制模块进行对巡逻机器人的远程控制^[9]。巡逻机器人定位模块采用 GPS 定位模块,提供巡逻机器人的位置信息。

整个巡逻机器人避障导航系统在 ROS 上实现^[10]。ROS 通过消息传递机制控制各个节点之间的通信。在 ROS 系统中,使用主题存储消息,节点通过订阅和发布主题来互相传递消息。

1.2 避障系统软件设计

1.2.1 深度图像的分层处理

为了能够更好地处理深度信息,根据深度图

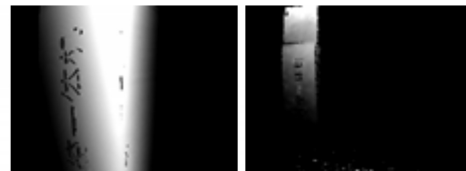
像中每个点的灰度值,将图像分割成3个层次,即根据障碍物与相机的距离来划分图像等级^[11]。

第1层:危险层。由于 Realsense r200 的特性,距离相机 0.5 m 以内为相机的盲区。在这个范围内的所有物体的深度信息全部为零。如果巡逻机器人在这个区域内,表明巡逻机器人在很危险的状态,应该立刻停止前进,调整方向寻找安全区域。

第2层:前进方向动态调整层。当巡逻机器人距离障碍物 0.5~2 m 时,巡逻机器人处境相对安全,但应该提前采取避障措施,可以在前进过程中动态调整前进方向。

第3层:安全层。当巡逻机器人与障碍物距离超过 2 m 时,巡逻机器人处于安全状态,巡逻机器人可以按照当前方向自由行走。

图2为巡逻机器人在前2种层次下,Realsense 摄像头采集到的深度图像数据。



(a)第1层深度图像

(b)第2层深度图像

图2 深度图像

Fig.2 Depth image

为了使巡逻机器人在图像中能够识别障碍物,将障碍物图像从背景图像中分割出来。采用最大类间方差法将 Realsense 传感器采集的深度图像分割为背景和前景。该方法是在深度图像基础上,选取一个阈值使得背景和前景之间的方差差值达到最大值,从而提取出目标。这个方法计算简单、自适应强,将图像二值化同时得到最优分割阈值。

假设 $f(x,y)$ 为大小是 $M \times N$ 的深度图像在点 (x,y) 处的灰度值,具有 L 个灰度等级,且 $f(x,y) \in [1,L]$,灰度级 i 的所有像素个数为 f_i ,其中 $i=1,2,\dots,L$ 。第 i 级灰度出现的概率为

$$p(i) = \frac{f_i}{M \times N} \quad (1)$$

其中

$$\sum_{i=1}^L p(i) = 1$$

把 t 作为深度图像的目标与背景的分割阈值,即背景 C_0 和目标 C_1 , C_0 表示灰度级为 $[1,t]$ 的像素点, C_1 表示灰度级为 $[t+1,L]$ 的像素点。背景 C_0 、目标 C_1 分别出现的概率为

$$\omega_0 = P(C_0) = \sum_{i=1}^L p(i) \quad (2)$$

$$\omega_1 = P(C_1) = \sum_{i=t+1}^L p(i) = 1 - \omega_0 \quad (3)$$

背景 C_0 、目标 C_1 平均灰度值以及图像总的平均灰度值分别为

$$\mu_0 = \sum_{i=1}^L i P(i|C_0) = \sum_{i=1}^L i \frac{p(i)}{\omega_0} \quad (4)$$

$$\mu_1 = \sum_{i=t+1}^L i P(i|C_1) = \sum_{i=t+1}^L i \frac{p(i)}{\omega_1} \quad (5)$$

$$\mu = \omega_0 \mu_0 + \omega_1 \mu_1 = \sum_{i=1}^L i p(i) \quad (6)$$

最大类间方差法的最佳阈值定义为

$$T = \arg \max_{0 \leq t \leq L} \{\sigma^2(t)\} \quad (7)$$

其中

$$\sigma^2(t) = \omega_0 (\mu_0 - \mu)^2 + \omega_1 (\mu_1 - \mu)^2$$

令 t 的取值为 $1, 2, \dots, L$, 使 $\sigma^2(t)$ 取得最大值, 此时 $t=T$, 即 T 为最优阈值。利用最大类间方差法对深度图像进行处理, 可以自动选择类与类之间的区别是最大的、类内的区别是最小的阈值点, 且无论灰度值直方图中有没有显著的双峰, 通过该方法选择的最佳阈值均可以很好地将图片分割。

完成图像分割后, 再采用 BLOB 分析对图像进行二值化处理, 将障碍物变成一块具有类似颜色、结构的连通域, 将目标图像像素标记为 1, 将背景像素标记为 0。最后, 目标图像被聚合成目标像素或点的连通域, 最终的处理结果如图 3 所示。

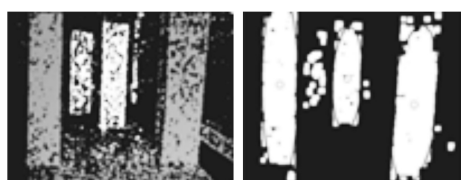


图3 原始深度图像和BLOB处理之后的深度图像

Fig.3 The original depth image and the depth image after BLOB processing

在完成上述图像分割处理之后, 就可以获得障碍物的质心坐标及质心深度值。根据之前推导的图像坐标和相机坐标的参数计算, 就可以计算出障碍物的三维坐标, 根据这些信息就可以实现巡逻机器人的避障导航。

1.2.2 自主避障导航的决策流程

首先, 巡逻机器人以 0.1 m/s 的初始速度向前运动, Realsense 摄像机以 30 帧/s 的速度提供场景的深度图像。深度图像的尺寸 640×480 , 相机位

置对应于图像的中心 (320, 240)。处理深度图像来获取障碍物的质心坐标。当障碍物的 X 轴坐标小于 320 时, 巡逻机器人以 0.25 m/s 的速度向右行驶以避开障碍物, 同时保持初始速度。相反的情况下, 巡逻机器人以相同的速度向左行驶。当巡逻机器人进入安全状态时, 巡逻机器人返回其初始速度。巡逻机器人整个避障过程如图 4 所示。

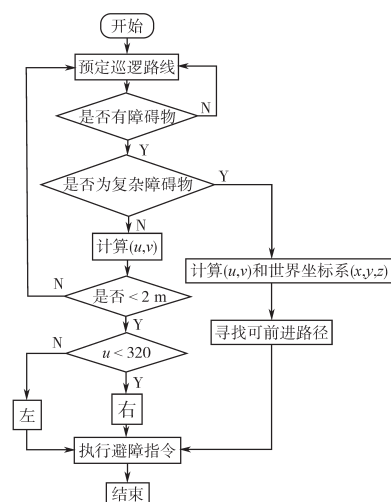


图4 避障流程图

Fig.4 Flow chart of obstacle avoidance

2 巡逻机器人实验平台验证

2.1 实验流程

将 Thinkpad 和 Realsense 安装在巡逻机器人上, 巡逻机器人使用 GPS 定位系统, 在巡逻机器人前后放置 2 个纸箱, 以模拟实验中的障碍物, 如图 5 所示。巡逻机器人以 0.1 m/s 的初始速度行驶。



图5 实验场景

Fig.5 Experimental Scene

2.2 实验结果与分析

设置障碍物的 3 种分布情况, 并记录下巡逻机器人前进路径的数据以作分析。巡逻机器人

的行走轨迹将随着障碍物的位置变化而调整。前进轨迹如图6所示。

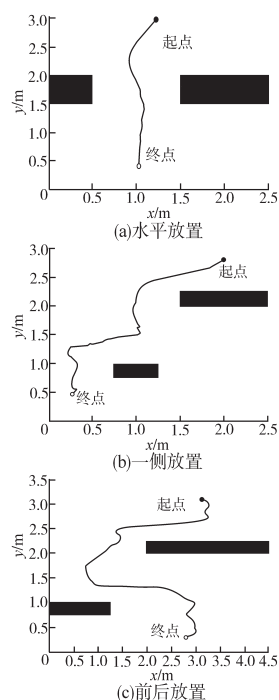


图6 巡逻机器人通过不同障碍物的轨迹

Fig.6 Obstacle avoidance path of the patrol robot

图6a显示2个障碍物平行放置,距离为1 m。巡逻机器人在通过过程中机体会严重晃动。实验结果表明,1 m是巡逻机器人通过2个平行障碍物的最小距离;图6b中,将2个障碍物放置在巡逻机器人行驶路径一侧,前后距离1 m。巡逻机器人在前进过程中会形成一个拐角,但行驶过程安全。在图6c中,加宽了2个水平障碍物之间的距离。实验表明,巡逻机器人能够安全通过。

在避障过程中,巡逻机器人与障碍物之间的距离始终大于0.5 m,因此不会发生碰撞。由于室外环境中存在其他不稳定因素,导致巡逻机器人行走的不稳定性,行走轨迹会在很小的范围内波动,这不会影响避障过程。

3 结论

针对巡逻机器人避障算法计算量大的问题,

提出了一种简单快速的避障方法,以 Realsense 深度相机为研究对象,以巡逻机器人为实验平台。首先,检测巡逻机器人的行驶环境,检测环境中的障碍物,然后处理 Realsense 获取深度图像,提取障碍物深度信息和位置信息。根据障碍物的信息,生成避障指令来调整巡逻机器人的运动,使得巡逻机器人在行驶速度从 0.1 m/s 提高到 0.25 m/s 的情况下依然能够有效地避开障碍物,提高了巡逻机器人避障的实时性。

该方法通过深度相机采集障碍物的深度信息,实现巡逻机器人避障。与传统避障方法相比,硬件上更为简单,具有更好的实时性,达到了预期效果,对同领域其他机器人避障也有一定的借鉴意义。

参考文献

- [1] 张垒,蒋乐天. 基于 RealSense 的三维物体识别算法研究[J]. 信息技术,2017,41(10):78-83.
- [2] 黄吉兰,楼新远. 基于 OpenCV 的单目相机定标的测试实践[J]. 铁路计算机应用,2009,18(4):47-49.
- [3] 侯学贵,陈勇,郭伟斌. 除草机器人田间机器视觉导航[J]. 农业机械学报,2008,39(3):106-108,112.
- [4] 张毅,蒋翔,罗元,等. 基于深度图像的移动机器人动态避障算法[J]. 控制工程,2013,20(4):663-666,675.
- [5] 徐峻峰,林锦国,梅雪,等. 多目移动机器人实验平台的研究[J]. 机床与液压,2011,39(1):48-51.
- [6] Song L M, Li D P, Qin M C, et al. Research on High-precision Hole Measurement Based on Robot Vision Method[J]. Optoelectronics Letters, 2014, 10(5):378-382.
- [7] 刘启帆,谢明,姜磊. 基于 ROS 的工业机器人运动规划[J]. 组合机床与自动化加工技术, 2017(5):36-39.
- [8] 白亮亮,平雪良,陈盛龙,等. 分布式移动机器人控制系统设计与实现[J]. 机械设计与制造,2015(10):180-183.
- [9] 邓嘉辉,薄焕仕,姚悦,等. 一种适用于微型无人机的移动 MUAV-MTP 协议[J]. 计算机工程,2018,44(5):66-70.
- [10] 董春侠,司占军,刘建东. 基于 Intel RealSense 的胶印机感知展示系统设计[J]. 包装工程,2017,38(11):204-208.
- [11] 叶海加,陈罡,邢渊. 双目 CCD 结构光三维测量系统中的立体匹配[J]. 光学精密工程,2004,12(1):71-75.

收稿日期:2018-08-20

修改稿日期:2018-10-25