

智能跟随机器人关键技术研究

佟雪

(国网天津城南供电公司 天津 300000)

摘要:很多智能机器人都有红外线或超声波跟随技术,红外线跟随虽然可以满足复杂多变环境,可无法达到较高的测量精度,超声波跟随具有很强的耐脏污功能,可能简单数据进行处理,但应用成本比较高,也无法达到较高的准确度,需要对智能机器人跟随技术进行研究,提升目标检测精度和距离误差。本文先对智能跟随机器人系统进行总体设计,并对如何实现智能跟随机器人系统实现进行研究,最后就智能机器人在供电营业厅中跟踪性能分析,可供相关人员参考。

关键词:智能机器人;技术;系统

【DOI】10.12293/j.issn.1671-2226.2023.06.006

【中图分类号】TP391.41;TP242.6 **【文献标识码】**A

随着计算机视觉技术的不断进步,智能机器人的性能也得到了显著提升,可为供电营业厅人员的工作提供了很大的帮助,智能跟随需要借助性能良好的视觉目标检测技术,但一些目标检测网络模型较大,采用嵌入设备需要较长的计算时间,无法保证跟随系统的实时性。需要做好机器人智能跟随技术的研究,设计开发双目相机处理模块、目标检测模块、测距模块和车体运动模块,选用科学合理的算法,提升跟随系统的实时性。

1 智能跟随机器人系统总体设计

1.1 系统硬件设计

智能机器人硬件主由双目相机、树莓派和外围硬件构成,采用双目相机抓取视频帧图像,相机像素为130万,摄像头抓取到图像后进行剪切处理,左或右侧相机把获取到的图像传至树莓派3B+中,又摄像头用于测距工作,再采用YOLO-LITE算法对跟随目标进行识别、定位与跟踪,再采用SSH、VNC等工具,进入到树莓派并将处理结果发送到远程进行显示。SSH为远程管理协议,对传输数据进行公钥加密,可提升访问服务器的安全性,避免数据在传输过程中遭到篡改,可该协议只能对实时字符界面进行控制,无法提供图形化界面。VNC软件由viewer和server两部份构成,可在计算机windows系统中呈现树莓派图形化的界面。

树莓派3B+主板具有很好的计算处理能力,可对视频图像进行处理和进行数据计算,可应用于小型化、智能化设备中,具备PoE功能,有助于提升无线通信速度,集成中有蓝牙4.2和无线网卡,提供USB和GPIO等接口,可对外部设备进行控制和功能输出。选择L298N电机模块驱动机器人运动,再配合树莓派3B+主板,计算出跟随目标与车体距离后,控制机器人作出相应的运动。

1.2 系统软件设计

软件设计结合树莓派3B+主板,完成主板基本配置以后,安装WiringPi等软件,采用C或C++等语言进行控制软件的开发,可能树莓派的串行通信等外接口进行控制。跟随系统

进行分割,设计采用左摄像头截取视频帧,再采用YOLO-LITE算法对跟随目标进行识别与定位,得到目标位置以后再采用摄像头计算目标距离,得到相应距离参数后,采用L298N电机模块控制机器人运行。为保证每个模块间的数据信息传送,对SAD算法进行改进得到SC立体算法,可对单一指标进行改进并实现车体转向的识别与控制,再结合双目相机来对机器人进行智能跟随,使智能机器人具有实时检测功能。

2 智能跟随机器人系统实现

2.1 相机标定

双目摄像机在进行标定前,需要先获取到内、外部参数。相机从多个不同角度和方向来抓取图像,相机各自抓取并采集20张图片,但抓取到的图片太多会使相机标定时间过长,但图片过小则无法保证精度。在相机标定程序运行以前,要准备标定图片提前做好,再创建文本文件,把需要标定图片列表信息进行存储,再将文本文件和角点检测共同存储至相同目录,并创建格式为.xml的文件,写至棋盘格图像路径,并作为绝对路径,再对图像进行角点检测,再对每个相机图像进行单独标定,标定内参来进行计算并得到相关信息,写入格式为.yml文件,即完成双目视觉标定。

2.2 立体校正

标定完成后的图像需要进行立体校正,相机存在着径向和切向畸变,切向畸变误差较小,机器人智能跟随只考虑径向畸变。立体校正采用极线约束方法,确保左右两个相机都位于相同极线,确保特征匹配来实现降维,误差匹配减小也可使提升计算速度,预处理模块实现立体校正后,相机获取到的图像与外部联系也被构建出来,利用图像坐标系就可以标注出三维空间坐标,可为后续深度计算创造条件。

2.3 目标检测

很多目标检测算法都受制于资源有限的嵌入设备,可采用YOLO-LITE浅层神经网络模型来实现树莓派目标检测。采用该算法可应用于无GPU主板上的目标检测,算法以Tiny-YOLO算法作为前提条件进行优化,再采用PASCAL进行训练,完成数据集训练以后,将模型放到COCO数据集进行训练,数据集

中设置有 80 个目标类,约有 4000 张训练图片。为提升 YOLO-LITE 算法的实时性,对 VOC 数据集采用不同算法性能进行实验对比,具体见表 1 所示

表 1 VOC 数据集模型应用于树莓派主板性能对比表

算法	mAP	Fps
LITE	12.28	20
Tiny	23.3	5.6
YOLO	47.9%	1.6

LITE 算法中 mAP 值虽小于 YOLO 和 Tiny,但仍可达到模型检测性能需要,LITE 算法在运行时的 Fps 远高于 Tiny、YOLO 算法,有助于提升模型运行效率。

2.4 相机测距

采用双目相机并配合树莓派对跟随目标进行拍摄,通过 mjpg-streamer 来创建视频服务器,并传输高分辨率图像来制作动画视频。下载 mjpg-streamer 源码,安装并运行依赖项来进行编译,再运行 mjpg-streamer。通过对相机处理模块进行标定,可以创建.xml 格式文件,将相机内、外参数均放至相同存储位置,提取.xml 文件参数后再采用立体匹配算法来计算出景深,然后再进行测距。

采用优化后的 SC 算法来完成立体匹配,与 BM、SGBM 算法相比较来看,上述算法虽然具有较好的匹配准确性,却给处理速度带来很大的影响,无法适用于对实用性有要求的机器人跟随系统。SC 算法是对 SAD 算法的改进,边缘检测法来对校正以后的图像帧边缘特征进行提取,再对融合边缘特征立体匹配进行操作。对捕获到边缘图所支持窗口像素与中心像素点距离,采用不同权重值来设置不同距离像素和中心像素相关度。采用 Census 算法来对相似性进行优化,此算法与窗口像素大小特性进行结合,通过融合像素灰度来辅助计算,加权操作提升像素点匹配度,可进一步提升匹配精度。

1)灰度化处理

图像灰度化处理是实现边缘特征提取关键环节,是对匹配图像进行预处理,双目相机虽对抓取图像进行标定与立体校正,也就是完成极线约束等操作以后,图像仍是水平状态。针对彩色图片,需要转换为灰度,采用的公式为:

$$Gray=0.299R+0.587G+0.114B \quad (1)$$

上式中 R、G 和 B 分别为红色、绿色和蓝色的色值,Gray 是灰度化处理后的匹配像素值,将红、绿和蓝三个颜色通道压缩转化为灰度图像,可以减小数据存储量,也利于提升处理速度。

2)图像滤波

完成图像灰度化处理以后,采用高斯滤波实现图像的滤波,可对图像信息进行简化并滤除噪声,确保图像信息的平滑,二维高斯公式为:

$$G(x, y) = \frac{1}{2\pi\sigma^2} e^{-\frac{x^2+y^2}{2\sigma^2}} \quad (2)$$

上式中 x、y 都是灰度匹配图像像素坐标,σ 作为

标准差,G 是公式输出结果。

获取到高斯核以后,进行灰度化处理得到的待匹配图像,再完成卷积操作以后可以得到滤波完成以后的灰度图像。

3)梯度与方向

采用边缘检测算子来对上述操作得到的图像来进行梯度检测,可以得到水平和垂直两维度上的差值,再选择 Sobel 算子完成上述操作。梯度 Ggrad 与角度 θ 以 Sobel 算子来对 x、y 两个方向进行差分计算,可获取到一阶导数,水平、垂直维度 Sobel 算子为:

$$\begin{bmatrix} -1 & 0 & 1 \\ -2 & 0 & 2 \\ -1 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (3)$$

$$\begin{bmatrix} -1 & 0 & 1 \\ -2 & 0 & 2 \\ -1 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (4)$$

滤波处理后图像分别在水平、垂直两个维度上采用 Sobel 算子来完成卷积操作,可以在两个维度上得到一阶导数 G_x、G_y,将两个维度一阶导数进行结合可得到梯度值。

$$G_{grad} = |G_x| + |G_y| \quad (5)$$

两个维度采用一阶导数进行计算,可以得到像素点对应角度 θ。

$$\theta = \arctan \frac{G_y}{G_x} \quad (6)$$

可以得到匹配图像中所有点梯度与角度。

4)非极大值抑制

虽然得到匹配图像角度和梯度值,可还存在着弱边缘干扰等现象,要采用非极大值抑制法,也就是搜索像素点局部最大值作为极大值像素点,把此像素值进行存储,其它像素值置 0,可将大量非边缘像素点去除,可以起到较好的瘦边效果。

2.5 车体跟随

智能机器人对目标进行跟随,两者相距并不会太远,没有设置路径规划与避障等功能。采用相机测距模块可以获取到两者间距离值,跟随目标和车体距离低于安全距离,车体会向后退并保持安全距离,在与跟随目标距离超过安全距离时,车体会前进到安全距离内,跟随目标消失或某图像帧没有检测到跟随目标,会保持前帧运动状态,确保小车可以合理跟随。

智能机器人小车延迟时间是对卡顿进行分析的指标,需要从线程和图像分辨率入手来对延时进行分析,检测精度也是用于分析机器人检测可靠性的关键指标,检测精度采用平均置信度进行评价,置信度均值用于检测精度的评价,可消除一些图像帧没有检测到目标,或者消除目标置信度小于阈值的异常现象,跟随距离作为检测智能机器人小车与跟随目标的实时距离与误差,对跟随目标和小车轨迹等性能考核。

1)关键帧的选择

智能机器人采用双目相机来抓取视频帧数据,若对每个视频帧图像进行处理会给树莓派主板带来大量的处理任务,无法保证跟随系统的实时性,可选择图像的关键帧来进行图像帧目标的检测。关键帧也就是选择具有代表性的视频帧图像,把海量视频帧数据中选择代表性的关键帧,对提升系统数据处理实时性

具有很高的价值。当前,关键帧提取技术比较多,例如,图像帧聚类或运动分析等均可得到具有代表性的视频帧,树莓派主板采用上述关键帧提取方法都会超过计算能力,无法达到较好的系统实时性。关键帧提取要求适当的频率,频率设置太低会导致采集到的信息无法得到保证,会对系统精度产生很大的影响,频率设置太高还会使数据量变大,无法保证系统的实时性。智能机器人在营业厅中实现跟随,并不需要太复杂的定位和创建场景地图,也不用对路径进行规划。跟随目标设置在约为30个视频帧时,不会存在明显场景和目标改变,可采用跳帧跟随技术,间隔30个视频帧采取1帧作为关键帧,目标检测也只需对关键帧进行操作,将关键帧作为有效视频帧。因此,为提升跟随精度,提升跟随系统实时性,还需要对提取到的关键帧数据进行合理缩减。

2) 图像分辨率的影响

跟随系统实时性与图像分辨率有着直接关系,图像像素比较多则会存在较大的信息量,分辨率高会减小系统处理速度,跟随系统延迟时间也会增加,系统实时性变差。分辨率提升会使延时呈现上升趋势,分辨率低则延时变小,分辨率低形成的图像信息量变少,无法准确检测到跟随目标。图像分辨率变大,图像信息量也变多,操作时间也会相应提升。图像分辨率增加也会使智能机器人检测精度提升,图像分辨率增加会使像素变大,图像中的信息量也会变大,机器人小车检测精度会跟着图像分辨率提升而得到优化。图像分辨率并非越高越好,但会使检测精度变大,机器人小车延时变大,跟随卡顿现象会加重,可将分辨率设置为 256×256 ,跟随系统检测精度约为80%,延时为20ms,可在延时与检测精度间寻求最合理的平衡点。

3) 线程的影响

采取单线程时,智能机器人小车需要先对跟随目标进行检测,完成检测后进行相机测距,根据测取到的距离,控制机器人小车完成运动再进行检测,单线程情况下小车延时为有效运动时间,也就是当前帧机器人小车运动完成,与下帧机器人小车运动所需时间。在多线程情况下,主线程用于机器人小车检测和相机测距,子线程用来控制小车运动,双线程状况下小车延时作为运动线程函数,机器人小车运动结束和下一个图像帧小车运动用时。多线程有效降低了小车机器人延时,这是由于在多线程情况下,目标检测、相机测距和运动控制是并行完成的,不再依赖单线程目标检测和相机测距等完成后再进行小车运动控制,有利于改善机器人小车卡顿和提升运行效率。

4) 环境的影响

智能机器人跟随小车运行时,光线会存在着很大的改变,跟随目标存在遮挡的可能,光线变化、目标遮挡等会对机器人小车检测精度产生很大的影响。光线明暗改变会对机器人小车检测精度带来影响,明亮条件下机器人小车检测精度会高于弱光线条件下的检测精度,弱光条件下机器人小车精度会保持在0.6左右,可有效保证机器人小车的稳定性。跟随目标遮挡可对机器人小车检测精度产生影响,在进行跟踪运行时难免会存在复杂的场景,如果存在遮挡问题会对小

车检测精度带来影响。目标没有被遮挡,机器人小车检测精度会高于遮挡状况,目标被遮挡时检测精度约为0.55,可以达到小车跟随的检测精度要求。

3 智能机器人在供电营业厅的跟踪性能分析

机器人小车在对供电营业厅目标进行跟随时,为避免与跟随目标距离太近,将安全距离设置为95~105,超过该安全距离时加速向跟随目标靠近,低于该距离时则远离目标,还根据中心位置偏移量、转向标识来对小车转向进行控制。相机测距并非准确距离,存在着一定的测量误差,从较远距离进行拍摄时无法保证较高的图像分辨率,而光线变化、目标遮挡等因素的影响,会使采取到的图像存在瑕疵,存在着一些无效角点。两个相机集距等参数无法完全保持一致,测量坐标、相机与跟随目标距离存在着误差,虽然存在测量误差却不会对机器人小车产生太大的影响,可以达到较为理想的精准度和实时性。

4 结语

综上所述,采用YOLO-LITE算法可达到较好的检测精度,减少机器人小车延时时间,伴随着采集图像分辨率的提升,延时也会相应充大,检测精度却相应提高,将分辨率设置为 256×256 ,可以使检测精度提升到约为80%,延时仅为20ms左右,跟随目标检测速度为20Fps,使机器人小车延时与检测精度保持在很好的平衡,在光线改变、目标遮挡等条件下,机器人小车仍可保持很高的检测精度,使相机检测距离误差保持在合理范围,可有效提升小车跟踪的稳定性。在跟随目标消失或没有检测目标时,机器人小车可以保持前一帧状态,有利于提升系统运行效率,消除小车卡顿和提升跟随性。

参考文献:

- [1] 龚波涛,汪孔屏,张雷.基于深度学习的智能机器人自主跟随算法研究[J].电子设计工程,2022,30(14):25-29.DOI:10.14022/j.issn1674-6236.2022.14.006.
- [2] 宋仁和.基于改进核相关滤波算法的跟随机器人系统研究[D].厦门理工学院,2022.DOI:10.27866/d.cnki.gxlxy.2022.000007.
- [3] 刘鹏华.基于多传感器融合的跟随机器人检测跟踪方法研究[D].厦门理工学院,2022.DOI:10.27866/d.cnki.gxlxy.2022.000038.
- [4] 胡荣,章小宝,谭菊华.基于深度学习的智能物流分拣跟随机器人的设计与研究[J].中国储运,2022(02):141-142.DOI:10.16301/j.cnki.cn12-1204/f.2022.02.080.
- [5] 惠向晖,顿文涛,魏秀然.基于云计算的多机器人目标智能跟随控制研究[J].计算机仿真,2021,38(11):335-339.
- [6] 肖奇军,刘源杰,王润宜,林衍鑫,陈颖,蔡锐锋.基于人体动态行为的智能跟随轮式机器人研究[J].机床与液压,2021,49(11):36-39+69.
- [7] 叶国云,储江.基于无线定位与激光传感器信息融合的叉车机器人智能跟随算法研究[J].起重运输机械,2021(08):37-41.