

监控与操控一体化的电力机房巡检机器人设计

魏居斌¹, 施伟², 杨晓磊¹, 赵晓敏¹

(1. 合肥工业大学汽车与交通工程学院, 安徽合肥 230041;

2. 合肥工业大学机械学院, 安徽合肥 230041)

摘要: 电力机房巡检自动化是未来趋势, 现有方案都是单纯的视觉检测, 按钮或开关的操控还是需要人工介入。针对这一问题, 提出了监控与操控一体化的电力机房巡检机器人设计方案。巡检机器人设计包括结构设计、机房环境检测方法和机械臂的路径规划。结构设计方面采取了移动底盘、六自由度机械臂、电动机械夹爪和摄像头的组合; 机房环境监测方面采取了 YOLOV5 算法, 通过对数据集的训练实现对机房环境的识别; 机械臂的路径规划方面采取了 MoveIt! 机械臂控制, 通过轨迹数据的采集、关节数据的实时反馈来实现机械臂的路径规划控制。实验结果表明使用该巡检机器人设计能实现电力机房无人化、智能化巡检的需求, 解决机房人工巡检效率低、成本高的问题, 同时对机房巡检的效率、自动化水平的提升具有良好效果。

关键词: 车辆工程; 电力机房; 巡检机器人; YOLOV5 算法; 六自由度机械臂

中图分类号: T 工业技术

Design of a patrol robot for electric power room integrated with monitoring and manipulation

Wei Jubin¹, Shi Wei², Yang Xiaolei¹, Zhao Xiaomin¹

(1. School of Automotive and Transportation Engineering, Hefei University of Technology, AnHui HeFei 230041;

2. School of Machinery, Hefei University of Technology, AnHui HeFei 230041)

Abstract: The automation of power room patrol inspection is the future trend. The existing schemes are purely visual detection, and the control of buttons or switches still requires manual intervention. In order to solve this problem, a design scheme of electric machine room patrol robot integrated with monitoring and control is proposed. The design of inspection robot includes structure design, machine room environment detection method and path planning of robot arm. In structural design, the combination of mobile chassis, 6-DOF manipulator, electric mechanical gripper and camera is adopted; The YOLOV5 algorithm is adopted for the computer room environment monitoring, and the computer room environment is recognized through the training of data sets; The path planning of the manipulator is controlled by the MoveIt! manipulator. The path planning control of the manipulator is realized through the collection of trajectory data and real-time feedback of joint data. The experimental results show that the design of the inspection robot can meet the requirements of unmanned and intelligent inspection in the power room, solve the problems of low efficiency and high cost of manual inspection in the computer room, and have a good effect on improving the efficiency and automation level of the computer room inspection.

Keywords: Vehicle engineering; Power room; Patrol robot; YOLOV5 algorithm; 6-DOF manipulator

基金项目: 大创资助基金

作者简介: 魏居斌 (2001 年-), 男

通信联系人: 赵晓敏 (1986 年-), 女, 副教授, 车辆动力学与控制, 智能车辆队列控制理论与应用, 车辆群运动学、动力学及控制研究. E-mail: zhaoxiaomin@hfut.edu.cn

0 引言

45 电力机房是为整个电网系统提供所有应用服务运营的场所，是电网中发电、输电、配电、售电的数据交互连接桥梁与应用服务无缝集成的平台^[1]。目前大部分电力机房的运维和巡检更多采取的是人工方式，不但巡检的时间较长，同时巡检的准确性也相对较低。另外，巡视人员数量相对较少的情况下，难以保证有充足的时间对每个电力机房的内外部环境、设备运行情况、光缆纤芯使用情况、电源隐患等进行全面排查，巡视盲区难以避免，从而留下较大的安全隐患^[2]。因此，未来机房巡检的主流趋势应该是机器人巡检。

50 与人工相比，采用机器人执行巡检任务的优势包括以下几个方面：第一是巡检机器人的成本低于人工成本，第二是巡检机器人的执行效率高于人工效率，第三巡检机器人的可发展性远高于人工的可发展性^[3]。然而机器人巡检也存在以下的弊端：一是在特定的条件下图像识别难度很大，如在低光照条件下进行图像识别就比较困难；二是机械臂轨迹规划比较复杂，变电站内设备布置复杂交错，智能巡检机器人的巡检路径都是固定好的，受到各种限制，无法灵活地规避各个方向的障碍物^[4]。因此学界对此进行了相关的研究。

60 针对低光照图像条件下图像识别，Pang-Ting Huang^[5]等人提出了一种同时应用图像数据和距离数据的图像-距离融合系统(IRFS)。对于图像部分，提出了一种动态照明物体检测器，以克服部分光照条件不确定带来的问题。具体来说，检测器应用两种特征，包括用于表示形状信息的方向梯度直方图和用于建模纹理信息的对数加权模式。Wu Z^[6]提出了一种基于循环生成对抗网络的图像转换优化网络。他们重新设计了 CycleGAN 的鉴别器网络，增加了额外的鉴别器，优化了网络的多个部分如损失函数，并在网络转换后增加了目标检测网络。W. Wang^[7]提出了一种图像增强方法来改善低照度图像质量。首先，通过双曲正切曲线将图像亮度映射到期望的水平。其次，针对 YCbCr 颜色空间中的反锐化滤波器，提出了块匹配和三维滤波方法，用于图像去噪和锐化。最后，利用卷积神经网络模型进行检测，完成监控任务。H. Kuang^[8]开发了一种夜间图像增强方法，通过建模来自水平细胞的自适应反馈和双极细胞的中央包围的拮抗接受域。在此基础上，利用卷积神经网络、梯度方向直方图和局部二值模式对分类器进行特征提取，利用支持向量机对分类器进行训练。然而现有的研究实际操作难度很大，对硬件和软件的要求很高，所需成本很大。但是本文通过 YOLOV5 算法可以避免这些问题，在机房环境中，我们样本数据的采集是很方便的，操作简便且几乎不需要成本。

70 针对基于机械臂视觉定位的轨迹规划技术，国内外学者从基本插补规划算法开始进行研究，主要为简单的多项式插值等，如三次多项式和五次多项式插值，而后者因增加始末位

置的角加速度约束也较前者的角速度连续基础上又确保了角加速度的连续,使得运行轨迹更加光滑平稳。但是为了机械臂运行满足更高的精度和稳定性等要求, Meike^[9]等人采用三次 B 样条曲线对于关节空间中 PTP(点到点)运动的相交点处进行平滑,适用于优化机械臂 PTP 运动规划程序。根据机械臂关节运行轨迹约束的不同, Gasparetto^[10]等采用三次 B 样条和五次 B 样条进行了轨迹规划,在对机械臂关节的运动学参数的最大值和均值有严格约束时,三次 B 样条插值轨迹更占优;而如果更关注轨迹的平滑性能时,则五次 B 样条插值轨迹性能更好。分别采用 B 样条曲线和 NURBS 曲线后, Saravanan^[11]等发现使用 NURBS 曲线进行机械臂轨迹规划,生成的轨迹的各方面性能更加优良。为了消除五次多项式插值曲线突变现象,孔庆博^[12]等采用 B 样条插值对五次多项式插值曲线进行平滑处理,实验表明,优化后其各阶导数曲线都更加平滑,能够消除突变现象,但是其增加了计算量且与直接采用 B 样条插值效果相似。勾治践^[13]等使用五次均匀 B 样条曲线构造机器人四阶连续轨迹,根据 B 样条构造理论,使用插值点求解控制顶点得到平滑的函数曲线。为了解决 B 样条曲线在起止位置加速 度和加加速度突变问题,韩江^[14]等采用 B 样条插值与高次多项式插值相结合的插值方法,即以高次多项式插值曲线替代 B 样条插值在首末区间的部分曲线,确保曲线起止位置加速度、加加速度为零,从而降低机械臂冲击和振动。为避免反求控制顶点,降低了计算量,董甲甲^[15]等研究了增加控制顶点的方式获得函数曲线,仿真实验表明该方法能够提高机械臂轨迹平滑线达到优化轨迹的目的。然而现有的研究很复杂,在求解的过程中计算量很大且容易出现求解结果无解、求解结果失败等情况。但是 CMU 博士 RosenDiankov 提出的 Ikfast 算法,在求解过程中会非常快,求解结果精度很高,且能求解出传统方法无法求解的结果。于是本文通过 MoveIt 机械臂控制,并配置运动学插件 IKFAST 来实现机械臂的轨迹规划。

1 巡检机器人总体结构设计

1.1 机械结构设计

巡检机器人的机械设计主体可分为三大部分,小车移动部分,机械臂部分和环境感知部分。小车部分若采用足式机构则具有良好的灵活性、所占空间较小,但控制算法上相对复杂,工作稳定性偏低,行进速度较慢,成本较高;若采用履带式行进机构运行平稳,牵引力大,但底盘面积偏大,较为笨重。因此综合考虑采用轮式行进机构,其可在兼顾灵活性的同时保证运动的稳定性,移动速度快,机动性高,环境适应性也较强,适用于实验室这类地形较为简单、友好的环境中工作。本文决定采用上海木蚁机器人公司研发的 M8DP 型 AGV 小车

作为机器人的移动底盘。
机械臂部分考虑到机器人操作按钮的灵活性的需要，决定采用六自由度的协作机械臂结构，
105 遨博科技研发的 AUBO-i5 轻型六自由度协作机械臂采用关节模块化设计，能很好地控制与
调整机器人的抓取动作，机械臂的末端执行器采用二指机械夹爪的形式，结构简单，灵活性
较好。环境感知部分采用 kinect2.0 深度相机，能很好地识别机房环境和仪表读数。



110 a 机器人移动底盘模型 b AUBO-i5 机械臂模型 c 机械夹爪模型

图 1 巡检机器人结构组成

1.2 控制硬件设计

本文选择笔记本电脑作为上位机，其主要功能是对 Kinect 传感器采集的 RGB 图像进行
深度分割、特征提取、目标识别与定位等一系列处理后，根据获得的待识别物体空间位置信
115 息进行运动规划，并通过 Socket 通信将运动规划所得到的机械臂运动信息队列传递给下位
机；下位机接收机械臂的运动队列信息并解析，进而驱动机械臂按照规划的轨迹执行运动和
抓取，并将机械臂实时位姿信息回传给上位机。

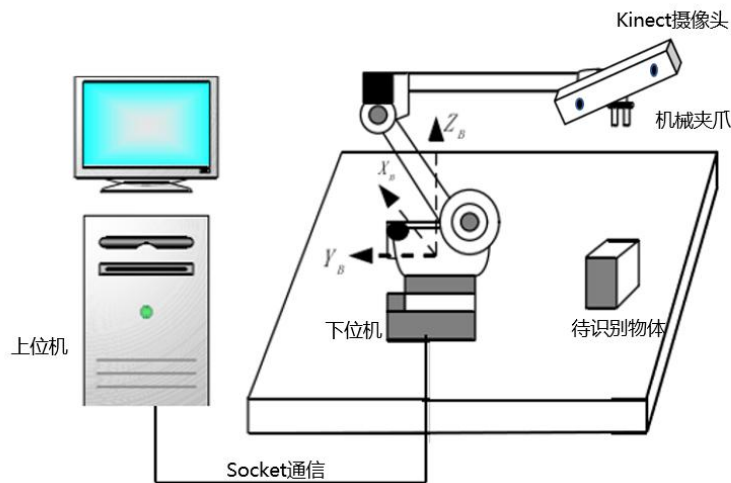


图 2 系统实现环境示意图

1.3 软件设计

本文使用开源 ROS 系统对巡检机器人进行控制。ROS 控制系统是一个机器人软件平台，
提供了专门为机器人开发应用程序的各种开发环境。ROS 可以分成两层，底层是操作系统
120 层，上层则是各种软件包，这些软件包有着各种功能，这些功能包括 SLAM 建图，Navigation

导航，MoveIt 机械臂控制等。基于 SLAM 技术建图并判断出机器人所处位置及障碍物状况，再使用 Navigation 功能包来实现导航功能，控制机器人移动到目标位置，并实现避障功能。通过 MoveIt 来控制机械臂路径规划，同时利用 YOLOV5 视觉识别软件完成机械臂对机房仪表盘的定位与识别功能，以达到巡检的目的。

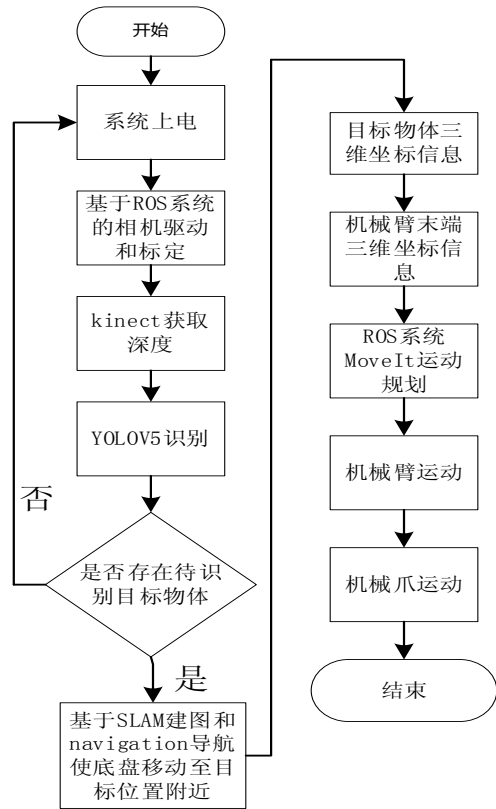


图 3 系统软件设计流程图

2 基于 SLAM 方法的巡检机器人轨迹规划方法

传统的基于滤波器的 SLAM 算法如 FastSlam 虽然降低了计算的复杂度，具有良好的鲁棒性，但在大尺度环境中内存消耗严重，粒子的耗散性影响了地图的构建。而基于 RGB-D 深度相机和激光雷达融合的 SLAM 算法通过多传感器获取深度信息去计算传感器的位姿，能够构建稠密的地图，适合室内环境。

2.1 构建地图模型

深度相机作为机器人的眼睛，用来检测拍摄环境的深度信息，而普通相机只能记录相机视角内的所有物体，无法获取物品与相机的距离。将深度相机安装于机械臂的末端可从多角度获取深度信息，通过深度相机获取物体与相机的距离，再加上该点的二维坐标，就能得到物体在三维空间的位置坐标。

利用 Gmapping 功能包实现机器人的 SLAM 建图, 安装 Gmapping 功能包, 同时需要配置 Gmapping 节点, 为 Gmapping 节点文件配置一个 Rviz 启动环境作为 demo。启动 gazebo 环境中带有激光雷达的机器人模型, 之后启动 Gmapping 演示文件, 最后启动键盘控制节点。

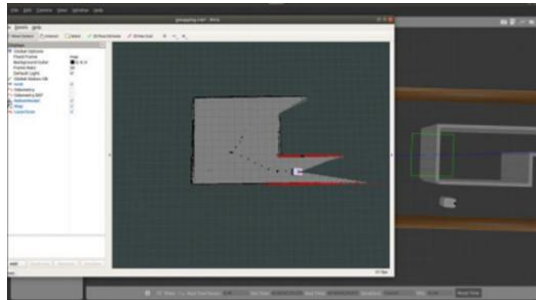


图 4 Gmapping 建图

2.2 巡检路径规划

实现导航仿真的功能, 首先需要配置 Move_base 的节点, 利用 Move_base 的启动文件启动与机器人导航仿真配置有关的四个 yaml 文件, 主要配置为本地规划器 yaml 文件以及普通地图规划 yaml 文件。初步配置完成后, 启动机器人模型 Gazebo 环境, 之后再启动 Gmapping 与 Move_base 控制节点, 最后加载配置完成的 Rviz 环境, 通过“2D Nav goal”来手动设置目标点位。

3 实验验证

3.1 机房环境识别

机房环境识别我们是通过 YOLOV5 技术来实现的。我们先在 data 目录下新建 Annotations, images, ImageSets, labels 四个文件夹。其中 images 存放的是原始的图片数据集, Annotations 存放的是标记后生成的 xml 文件, labels 存放的是保存标记内容的 txt 文件, ImageSets 存放的是训练数据集和测试数据集的分类情况。机器人识别的目标是机房中的仪表盘, 因此我们准备了一个仪表盘实物, 从不同角度对其拍了 200 张左右的照片, 然后使用 labelImg 标注工具对所有照片进行标注, 将所生成的 xml 文件全部放入到 Annotations 文件夹中。接着在 YOLOV5 的根目录下新建文件 makeTxt.py 和 voc_label.py, 分别运行 makeTxt.py 和 voc_label.py。makeTxt.py 主要是将数据集分类成训练数据集和测试数据集, 运行后 ImageSets 文件夹中会出现四个文件, 主要是生成的训练数据集和测试数据集的图片名称 voc_label.py 主要是将图片数据集标注后的 xml 文件中的标注信息读取出来并写入 txt 文件, 运行后在 labels 文件夹中出现所有图片数据集的标注信息。接下来是对数据集方面的 yaml 文件进行修改, 最后, 在根目录中对 train.py 中的一些参数进行修改, 全部配置好后, 直接执行 train.py 文件开始训练。训练好后, 我们会在 weights 文件夹中得到 best.pt 和 last.pt

这两个文件。通过运行这两个文件，就可以完成机房中仪表盘的识别。

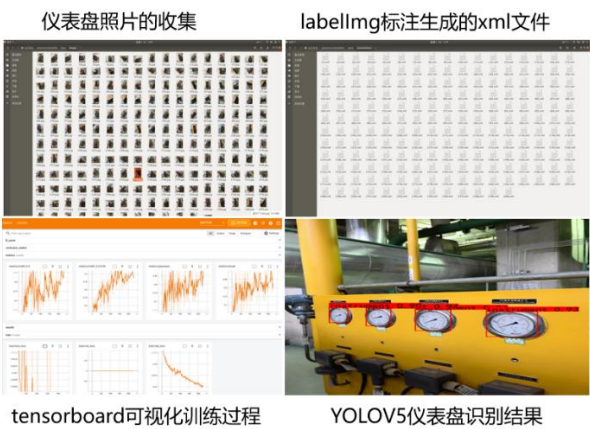


图 5 仪表盘识别过程

3.2 机器人抓取物体仿真

在普通终端中启动机器人仿真环境后，在 `bashrc` 文件夹中将 `Anacond` 的路径开关（`export PATH=/home/hsy/anaconda3/bin:$PATH`）打开，另外启动一个终端用来启动 YOLOV5 视觉软件，利用 `source ~/.bashrc` 命令更新 `bashrc` 路径，随后打开机器人工作空间路径，再利用“`source activate`”，“`conda activate mypytorch`”指令启动 YOLOV5 的运行空间，之后利用 `launch` 文件启动 YOLOV5 界面。

之后调用 `MoveIt!` 接口，将定位完成后的物体坐标信息发送给 `MoveIt!`，通过 `MoveIt!` 中机器人逆运动学原理自主规划机械臂运动路径使机械臂终端运动到待抓取点，控制机械臂运动到物体的上方，然后向下抓取，机械夹爪关闭夹紧后控制机械臂回到初始姿态，完成抓取功能的仿真。

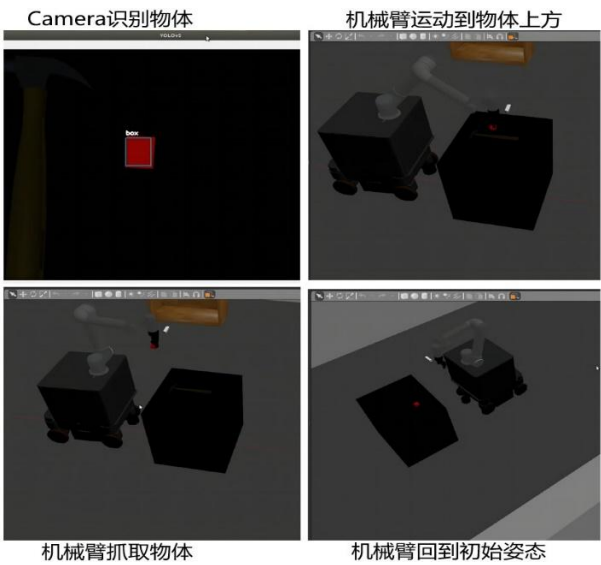


图 6 仿真过程

4 总结

本文以图像识别技术和轨迹规划技术为基础,对监控与操控一体化的电力机房巡检机器人进行了初步探究。对于机械臂的视觉输入、目标检测、图像处理、机械臂运动轨迹规划等模块相关技术进行了分析、研究以及实验测试。利用 YOLOV5 视觉软件实现机器人对仪表盘的定位与识别,之后将定位数据发送给 MoveIt!,使机械臂自主完成路径规划。实验结果表明该设计能较好地对机房进行巡检。但研究内容没有进一步考虑到视觉识别过程中的障碍物遮挡问题,后续的研究工作中可加入更复杂的路径规划算法,开发出具有避障等功能的智能巡检机器人。

[参考文献] (References)

- [1] 黄嘉东,廖俊蓉.电力机房智能巡检机器人应用研究[J].科技与创新,2021,0(15):179-181.
- [2] 张正培,陈庆,陆君杰,金斌.数据中心机房智能巡检机器人的设计探究[J].中国金融电脑,2017,0(2):48-55.
- [3] 曾骥,韩巍,翁芳.机房智能巡检机器人应用研究[J].科学技术创新,2020,0(4):77-78.
- [4] 艾政宇.电力信息通信机房智能巡检技术的应用研究[J].通讯世界,2019,26(6):196-197.
- [5] Pang-Ting Huang .Pedestrian detection system in low illumination conditions through Fusion of image and range data[C]/17th International IEEE Conference on Intelligent Transportation Systems. Qingdao, China, 2014: 2253-2254.
- [6] Wu Z , Sun Y , Ni F . Design and Simulation of an Accelerometer Allocation Scheme for Six-dimensional Acceleration Sensor[C]/IEEE International Conference on Robotics and Biomimetics. 2019: 2408-2413.
- [7] Wang W, Peng Y, Guo X and Kwok N. Low-Illumination Image Enhancement for Night-Time UAV Pedestrian Detection[C]/IEEE Transactions on Industrial Informatics. 2021: 5208-5217.
- [8] Kuang H, Zhang X, Yan H. Nighttime Vehicle Detection Based on Bio-Inspired Image Enhancement and Weighted Score-Level Feature Fusion[J]/IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems. 2017: 927-936.
- [9] Meike D, Ribickis L. Industrial Robot Path Optimization Approach with Asynchronous Fly-by in Joint Space[C]/Proceedings of the 2011 IEEE International Symposium on Industrial Electronics. New York, 2016: 911-915.
- [10] Gasparetto A, Zanotto V Optimal Trajectory Planning for Industrial Robots[J]. Advances in Engineering Software, 2017, 41(4): 548-556.
- [11] Saravanan R, Ramabalan S, Balamurugan C. Multi-objective Trajectory Planner for Industrial Robots with Payload Constraints[J]. Robotica,2016,26(6):753-765.
- [12] 孔庆博,袁亮,蒋伟.一种改进的工业机器人轨迹规划方法研究[J].机械传动,2019,43(02): 30-36.
- [13] 勾治践,王成,付威.机器人轨迹规划的有效方法[J].煤矿机械,2017,34(08):66-69.
- [14] 韩江,谷涛涛,夏铤.基于混合插值的工业机器人关节轨迹规划算法[J].中国机械工程,2018,29(12):1460-1466.
- [15] 董甲甲,王太勇,董靖川.改进 B 样条曲线应用于 6R 机器人轨迹优化[J].中国机械工程,2018,29(02):193-200.