

基于智能图像识别技术的架空线路巡检机器人设计与应用

石凯元 陈佳凯 段若飞 王宇平 于海洋

国网北京市电力公司电力建设工程咨询分公司 北京 100176

[摘要] 巡检架空输电线工作耗时费力,提高巡检的精度和作业效率是当前的首要问题。因此,提出基于智能图像识别技术的架空线路巡检机器人设计与应用。从硬件设计和软件设计两方面设计架空线路巡检机器人,将智能图像识别技术融入各个层面,分析架空线路巡检机器人的实际应用,观察其应用效果可以发现:基于智能图像识别技术的架空线路巡检机器人设计明显成功率更高、鲁棒性更好,可靠性更高,让工作人员的工作环境相对来说有所提高,巡检更有速率和成效。

[关键词] 智能技术; 图像识别; 架空线路; 巡检机器人; 机器人设计; 机器人应用

[DOI] 10.12252/j.issn.2096-6288.2021.09.1631

0 引言

随着电网发展的复杂性和多样化,现有输电线路的运行维护已难以满足电网的需求^[1]。高质量、高稳定的供电是电力系统最重要的任务,目前输电线路最主要的方式就是高空架线,由超高压和高压两种线路,输送的距离都比较远^[2]。架空线路维修是一种高海拔、高风险、高强度的特种作业,最为原始的架空线路巡检方式最核心的就是人工目测和无人机巡检^[3]。一般情况下最耗费时间和精力的人工目测,工作人员的工作经验和个人因素都是影响巡检的原因,工作人员的人身安全最为关键。人工检查过程较为危险,施工人员数量多,对检修工作的要求较高;无人机巡检就属于人工检测的一种,但使用无人机进行架空线路的巡检时,容易受到天气情况的限制,恶劣天气情况下难以飞行;同时无人机电池寿命短,成本高,并且一般只能检测到输电线路的顶端,其余位置不好探索^[4]。使用机器人的现场检查和维修超高压输电网络基于智能图像识别技术,在绝大部分程度上可以让工人更轻松,使现场的操作更为简单一些,但也有着其他的重要意义,其可以提高电网的自动化水平,确保电网的安全运行^[5]。巡检机器人技术的发展是保证电网安全稳定运行和智能电网建设的必由之路^[6]。机器人检测改进了地面目视检测和飞机航测检测的不足之处,在提高检测效率的准确性和有效性,以及维护和保证线路的质量安全,对降低运维成本、维护社会的经济利益都有着深远的意义和用途^[7]。想要在市场需求的扎根,基于智能图像识别技术的智能检测迫切需要检测机器人稳定、高效、智能化、可扩展的控制系统技术。

1 基于智能图像识别技术的架空线路巡检机器人设计

1.1 硬件设计

在架空线路巡检机器人的自动及手动操作时,机器人能够

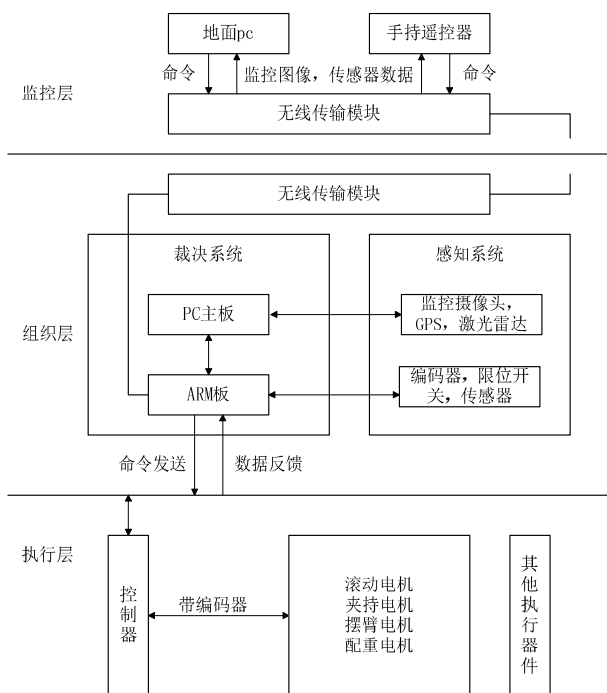


图1 基于智能图像识别技术的架空线路巡检机器人硬件设计

稳定的运行是很重要的。主要硬件由IPC6008微波接收器、只能图像识别采集卡和无线传输数据系统构成^[8]。采用核心模块MSM586SV的PC总线,在运动控制中选取PMAC2A、A/D转换通信模块、EMMXT I/O模块的嵌入式专业控制器,以此来规划巡检机器人的运动路线,控制机器人的运动部件。确保能够准确、快速地越过障碍,实现与地面基地的指令(数据)的远距离传输^[9]。

一般的分层控制系统分为三层:协调层、执行层以及组织层。组织层用来主导巡检机器人的最终目标,智能化需要大幅度的提升,是巡检机器人的大脑中枢^[10]。在组织层和协调层之间需要有一个协调层来连接二者,一般智能图像识别技术的能力主要体现在分级执行控制底层轨迹,一般执行层的构成精度较高,但执行智能的能力一般,因为巡检机器人是关键,而且必须有大量的地面和在线信息交互,所以该控制系统去掉了传统的分级控制系统的三层,同时还有监控层。由于协调层的设备没有集成到组织层中,因此协调层的集成设备将在后面的主控系统中介绍。检测机器人控制系统可分为监控层、组织层和执行层,如图1所示。

监控层是地面设备,包括地面PC、遥控器、无线数据传输模块和监控视频上传模块。身为一种多功能且高速的加工设备,PC机是巡检机器人控制系统中不可或缺的人机交互部件。利用编辑上位机中的VSMFC库软件,实现对机器人各部件的控制和对机器人状态的监控。遥控器是专门为巡检机器人所配备的,可根据需要定制,遥控器有两个显示屏来调试和下载数据,一个显示遥控命令和状态,另一个实时传输机器人的行走视频。无线模块实际上分为两部分,一部分是传输数据,另一部分是传输视频,它们之间的频率差很大,以防相互干扰。

位于各个关节的电机驱动器才是执行层的核心。每个电机驱动器都有一个带编码器的电机可以匹配,通过PID算法对巡检机器人的速度和角度进行分离控制。执行层通过基于分布在CAN总线的控制形态,可以在任意程度上增减执行器的设备和部件。执行层是系统的核心,根据其功能可分为判断系统和感知系统。该系统由ARM主板和PC设备组成。ARM主板承担通信、姿态检测、运动规划等任务,并负责与无线模块的数据交换、与执行层的通信、陀螺仪组、测距专用传感器、编码器组的数据采集。PC上加载了大量在线障碍物信息数据库,行车监控摄像头、GPS、激光雷达等工业级传感器设备携带大量数据,是线路巡检任务的判断依据。

组织层的远程主机与规划协调层主机通过无线网卡进行通讯,通过与之相对应的转接卡挂载在远程主机的插槽和控制器的总线上,分别以串口与执行层的单片下位机电路连接;组织层的单片下位机设于机器人本体上,其电机驱动器分别与各个电机连接,其传感器经由信号处理器和单片下位机电路连接。

1.2 软件设计

对输电线路四周较高高度的环境进行监控,是架空线路智能巡检机器人的主要工作。把采集到的检测动态视频以及图像信息从通信链路上传到系统之中。机器人平滑行走功能:根据具体的高压输电线路环境,机器人本体通过两个大臂上的车轮结构在输电线路上传平稳滑动。同时,通过调节电机转速,控制机器人的滑动速度,以满足不同情况的要求。根据特定高压输电线的障碍物,机器人的越障功能是通过双臂上的夹持结构将导线锁住,利用大臂的上轮结构向前越过障碍物来完成的,手臂的耐张线支撑一般在图像中检测到两串绝缘子,其绝缘子的底部被分开,两串绝缘子在转化后对应的两个圆,一般可以描述为任意圆的圆心坐标和半径参数的组合,公式表示为下式1:

$$(x-x_0)^2+(y-y_0)^2=r^2 \quad (1)$$

式中, $(x-x_0)$ 和 $(y-y_0)$ 为坐标点, r 为半径, 通过计算参数来实现人机交互是架空线路巡检机器人系统的一项功能。对架空线路巡检中的信息很错乱, 有些信息会及时显现, 有些信息可能会被延后。因此机器人人性化诊断是巡检机器人系统诊断程序在整个运行过程中的状态检测, 是用户可以知晓故障的关键原因之一。电力线路周围存在着磁场, 由电磁感应原理可知故障问题, 线圈通过磁场感应, 经过整流、滤波可以获取电能, 具体公式如下式子2所示:

$$B=\mu H \quad (2)$$

式中, B 为磁感应强度, μ 为导磁率, H 为磁场强度。机器人的控制部分相对独立, 是一个比较复杂的子系统, 而机器人本体属于巡检机器人的主要构件, 在巡检机器人系统的完整性和复杂性面前, 基于智能图像识别技术的巡检机器人控制系统可以基于机器人本体进行扩展以及控制。智能图像识别领域的基础和主要路径离不开对于特征的提取和分类。在智能图像识别技术过程中, 卷积神经网络提供了一种从端口到端口的全新学习模式, 实现自主学习特征, 从底层到高层的各种数据集中得到优秀的结果和结论。在卷积神经网络模型中, 输入的原始图像为 X , 表示卷积神经网络层的特征图为 $(C_0=X)$ 。假设 C_i 是卷积层, C_i 的产生过程可以描述为以下式子3:

$$C_i=f(C_{i-1}\otimes W_i+bi) \quad (3)$$

以上式子中, 符号 \otimes 为 $i-1$ 层的特征图, 在进行卷积操作变化时, W_i 为 i 层的卷积权值; i 层的输出偏移与 bi 重叠, 通过函数 $f(x)$ 计算得出 i 层的特征图 C_i 。根据以上计算通过卷积神经网络, 提取出图像相应特征值, 对此特征值进行分类识别, 完成图像读取识别, 整个流程就属于智能图像识别技术的范畴之内。

2 架空线路巡检机器人的应用

2.1 实际应用

依照需求设计了一种适用于架空高压输电线路的爪式线路巡检机器人, 其设计需要具备较强的运动越障能力。结构交替可翻转垂直放置, 并且可以在水平位置上进行移动。巡检机器人一般分为两个项目——机器人本体和远程交互设备。巡检机器人的基本障碍物跨越部件有冲击锤等, 便携式工控机可以完成远程交互, 对机器人本体进行远程控制, 将摄像机采集到的图像信息显示于机器人上, 机器人与人自动越障检查的具体流程图如下图2所示。

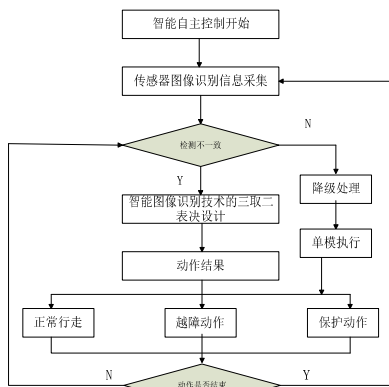


图2 自动越障巡检流程图

自动控制系统启动后建立输入数据和投票部分, 输入数据存储结果, 投票状态用来找出错误并记录。在输出结果有出入时, 内部计算结果一般会有所不同, 传感器会在这时出现故障。想要解决这个问题, 需要采用开关电路, 将三模系统转化为单模, 以此来避免错误的二次出现。

2.2 效果分析

基于智能图像识别技术的架空线路巡检机器人的工作环境中存在很强的电磁场, 磁场会干扰机器人的硬件设备, 机器人的控制系统很有可能在这个时候出现紊乱和错误。所以进行硬件抗干扰设计是有必要的, 避错设计可以实现错误率的降低, 制作机器人物理样机, 用棒子、冲击锤、悬挂夹等搭建模拟线。巡检机器人越障实验中, 做出30次越障碍记录, 记录实

验过程中的统计结果如下表1所示。

表1 巡检机器人自主越障巡检实验数据

组次	误检数	死机次数	复位次数
1	0	0	0
2	0	0	0
3	1	1	1
4	0	1	0
5	1	1	1

在实验中, 是否使用本文的容错控制策略的对比结果如图3所示。

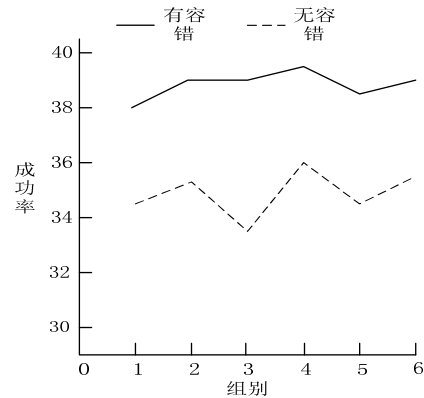


图3 越障巡检成功率曲线

从图3可以看出, 基于智能图像识别技术的架空线路巡检机器人的设计成功率更高, 鲁棒性更好, 可靠性更高。架空线路检查机器人的设计基于智能图像识别技术改变了操作和维护电网的模式和管理模式, 提高了智能电网的技术手段, 进行智能检查整个架空输电线代替手工工作, 将员工从危险恶劣的环境中解放出来, 提高了检查效率。

3 结束语

本次研究阐述了智能图像识别技术下的架空线路巡检机器人系统的关键技术。从硬件设计和软件设计两方面设计了架空线路巡检机器人, 并将智能图像识别技术集成到各个层面。分析了架空线路巡检机器人的实际应用, 观察了其应用效果。由于巡检机器人有多个关节, 机构逆运动学解耦控制较为困难, 运动控制精度有待进一步提高。智能图像识别技术下的巡检机器人设计要求具有紧凑、轻量化的机械结构, 巡检机器人与地面基站之间的数据通信流畅, 传感器返回的图像清晰, 验证了其机构部件和控制系统的有效性。基于智能图像识别技术的架空线路巡检机器人在设计和应用上还存在一些不足, 自主越障功能不足且体重过大, 需要在未来的研究中加以改进。

参考文献

- [1]侯建国, 张斌, 刘晓铭, 等. 新型抱臂式架空输电线路巡检机器人研制[J]. 机床与液压, 2021, 49(17): 31-37.
- [2]晏为勋. 电缆隧道架空式巡检机器人行走机构研究与应用[J]. 低碳世界, 2021, 11(06): 113-114.
- [3]卢坤媛, 王吉岱. 高压输电线路巡检机器人机械结构研究现状及发展趋势[J]. 机床与液压, 2021, 49(09): 41-45.
- [4]徐显金, 陈浩达, 胡世超, 等. 风载下高压直流巡检机器人磁力矩平衡方法[J]. 计算机仿真, 2021, 38(03): 321-326.
- [5]凌志勇, 唐名锋, 胡九龙, 等. 电缆沟巡检机器人运动控制系统与定位研究[J]. 大众用电, 2021, 36(01): 28-30.
- [6]黄强, 李松涛, 高源, 等. 一种架空导线巡检机器人的运动控制系统[J]. 仪表技术与传感器, 2020(12): 86-89+94.
- [7]王怡爽, 苑朝, 翟永杰. 一种新型架空输电线路巡检机器人的机构设计[J]. 西北工业大学学报, 2020, 38(05): 1105-1111.
- [8]黄双得, 周仿荣, 普凯, 等. 电缆隧道架空式巡检机器人行走机构研究与应用[J]. 电气应用, 2020, 39(04): 71-76.
- [9]薛栋良. 高压线路抱臂式巡检机器人越塔规划及辅助金具设计[J]. 电气工程学报, 2019, 14(04): 106-112.