

DOI: 10.3969/j.issn.1006-4729.2017.01.004

变电站智能机器人及其研究展望

李 祥, 崔昊杨, 曾俊冬, 江 超, 唐 忠

(上海电力学院 电子与信息工程学院, 上海 200090)

摘 要: 变电站巡检机器人是将移动机器人应用于变电站环境中, 代替人工实现变电站设备状态的自动检测与预警分析. 介绍了机器人的 3 层网络分布式系统结构, 阐述了变电站智能巡检机器人的应用实例, 并探讨了其发展趋势.

关键词: 智能巡检; 机器人; 变电站; 红外检测

中图分类号: TM63; TP242.6

文献标志码: A

文章编号: 1006-4729(2017)01-0015-05

Research and Prospect of Intelligent Inspection Robot for Substation

LI Xiang, CUI Haoyang, ZENG Jundong, JIANG Chao, TANG Zhong

(School of Electronics and Information Engineering, Shanghai University of Electric Power, Shanghai 200090, China)

Abstract: The substation inspection robot is an intelligent robot with infrared visible camera and ultraviolet to inspect and analyze the condition of equipment instead of people. The 3-layer network system and applications of the intelligent substation are elaborated. The future development trend of intelligent inspection robot for substation is discussed.

Key words: intelligent inspection; robot; substation; infrared

变电站是输电网的枢纽, 变电站设备巡检是有效保证变电站安全运行、提高供电可靠性的一项基础性工作^[1]. 传统的巡检方式为人工巡检, 每天例行巡检 2 次以上. 巡检工人在现场对设备巡检时, 主要通过看、触、听、嗅等感官来检查变电站设备是否出现漏油、裂痕、异常声响等, 从而判断设备的运行状况. 这就要求巡检工人有着丰富的经验和较高的技术水平. 而绝大多数故障的表象均为温度异常, 巡检工人通过手持式红外热像仪获取设备的温度场分布信息, 对变电设备运行状

态作出评估. 这种巡检方式的效果经常受到天气等恶劣环境的影响, 并且缺乏实时的故障分析和系统分析的能力^[2].

机器人技术和计算机性能的不提升给上述问题带来了新的解决途径^[3]. 国内外众多学者对变电站智能机器人进行了研究. 国外研究变电站机器人的典型代表是巴西圣保罗大学和加拿大魁北克水电站. 前者通过在变电站内架起高空行走轨道, 研制出基于变电站热点监测的移动机器人; 后者为变电站机器人配置了遥控装置, 实现了对

收稿日期: 2016-03-16

通讯作者简介: 李祥(1990-), 男, 在读硕士, 河南郑州人. 主要研究方向为电力设备状态监测, 智能机器人.

E-mail: 313597789@qq.com.

变电站的远程监控.国内对变电站智能机器人的研究也取得了突破性进展,如山东电力科学研究院研发了一种轮式巡检机器人,能够在平坦路面稳定行驶,对变电站主设备进行巡检;中国科学院沈阳自动化研究所研制的轨道式变电站智能机器人,能够在固定轨道上运行并对变电站展开巡检^[4].

变电站巡检机器人的真正实用化需要解决对机器人的灵活控制、自动导航技术^[5]、变电站设备故障图像识别技术^[6]、上位机软件等众多问题.本文主要阐述了变电站智能巡检机器人各硬件部分

组成及软件系统功能,对比分析了当前变电站巡检机器人技术所存在的问题,并对其发展前景进行了展望.

1 巡检机器人系统架构

智能巡检机器人采用完整而复杂的非接触式检测体系架构工作方式,能够为变电站的安全、稳定运行发挥重要作用^[7].为实现变电站设备的全面巡检,巡检机器人在系统架构方面通常可以分为移动检测系统层、无线传输层、客户端接收层3个层次,系统结构构成如图1所示^[8].

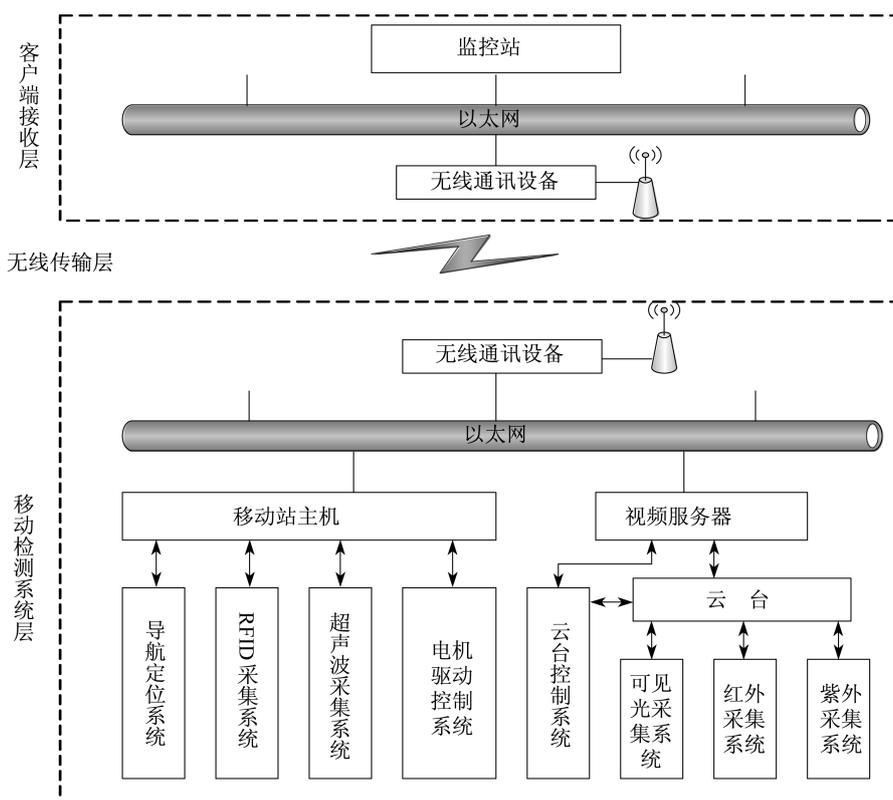


图1 变电站智能巡检机器人3层分布结构

其中,移动检测系统层由巡检机器人本体、无线通信收发系统组成,其主要功能是实现对设备状态信息的采集和控制信息的收发;网络传输层由以太网和无线传输设备组成,其主要功能是传输控制指令和图像信息;客户端接收层由无线传输设备和上位机软件系统组成,其主要功能是对机器人采集的设备状态信息进行处理、识别、发出预警并存储信息.

依据不同的行进方式,变电站巡检机器人可分为3类,如图2所示.第一类变电站智能巡检机器人也是最早出现的巡检机器人,采用铺设固定轨道

的方式,如图2a所示.利用在变电站铺设特定的巡检轨道,巡检机器人携带可见光摄像机(CCD)和红外热像仪沿固定轨道运行,对轨道途经的一次设备进行巡检^[9].这种巡检方式能够准确地按照铺设轨道行进并进行设备检测,且具有较高的安全性和可靠性.但由于变电站内环境较为复杂,额外的轨道铺设和轨道维护给工作人员带来不便,在设备的全面巡检方面也存在着先天的不足.随着自主导航技术的发展,在第一类轨道机器人的基础上,发展出了轮式驱动的轮式机器人,包括两轮驱动和四轮驱动行进方式的巡检机器人,如图2b所示.相对于轨

道式巡检机器人,轮式机器人巡检路线更加灵活,对特定的电力设备可以选用最优路径巡检方案^[10],但这种机器人要求更可靠的通讯方式和数据传输方式,在变电站强电磁环境下,保障通信可靠成为该类机器人需要解决的关键问题.在轮式机器人发展过程中,为解决野外复杂地面环境中机器人的行进问题,又发展出了履带式底盘的巡检机器人^[11],使其具备更强的越障和防滑能力,如图2c所示.履带式机器人优良的驱动性能可以更好地适应北方某些积雪过厚和地形险峻的变电站环境,促进了巡检机器人大规模的推广应用.

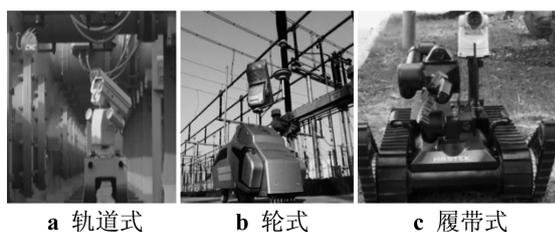


图2 巡检机器人3种运行方式

2 巡检机器人功能模块

一般而言,巡检机器人能够对变电设备进行自主或遥控巡视,能自动识别设备的热缺陷、外观异常、异物悬挂、仪表读数、开关刀闸的位置、油位计位置等,进行自动报警处理并向运营人员发出告警信息,为设备状态检修提供基础数据.系统需要搭载视频监控、红外热像采集、声光报警联动等模块,并需要解决机器人控制模块、导航模块、检测模块和上位机模块等关键的技术问题.

2.1 控制模块

控制模块包括对机器人运行方式、云台、图像采集系统的控制^[12].智能巡检机器人的运行方式有自动巡检和手动控制巡检两种模式.通过设置巡检路径,机器人可以实现自动巡检、自动停靠、自动识别;通过模式切换变为手动控制模式,工作人员可以通过上位机控制端来控制机器人,到达特定的电力设备,进行仪表巡视检查,从而实现设备故障的快速排查.

2.2 导航模块

随着巡检机器人研究与应用的不断深入,导航技术直接决定其智能化水平的高低.高精度的导航能力,要求巡检机器人能够通过传感器获取环境和自身的状态,实现在障碍环境中面向目标

的自主运动.目前常规的导航方式有磁导航、光电反射导航、味觉导航、基于图像的视觉导航、多点WiFi导航和GPS导航等^[13].

GPS在变电站环境中受到一定程度的电磁干扰,往往不能独立完成变电站巡检机器人的导航任务,这就需要配合相应的算法进行噪声去除.GPS定位系统在巡检机器人运用时存在近距离定位精度较低的问题,使得其功能在变电站巡检机器人导航中无法充分发挥^[14].因此,智能巡检机器人通常采用GPS定位系统与其他导航方式相融合的导航技术.

磁导航是目前变电站智能巡检机器人运用最多的导航技术.通过在巡视道路上铺设引导磁条,并在巡检机器人的底盘上安装多个电磁传感器来收集地面上的磁信号^[15].根据特定的巡检位置,实现精确的路径规划.基于图像的视觉系统导航方法在变电站巡检机器人中应用广泛,具有精度高、稳定性强、获取的环境信息丰富等优点.但该方法需要从复杂的背景中分离出探测目标,故要求控制系统拥有很强的计算处理速度^[16].

由无线网络接入点(Access Point, AP)和无线网卡组成的WiFi无线网络定位技术是室内智能机器人通常采用的导航方式^[17].它是通过移动设备与AP之间的无线信号交流来确定目标的位置,从而实现定位.它常用于室内定位导航^[18].

2.3 检测模块

变电站巡检机器人通常搭载多种检测模块,利用多元信息融合技术对变电站一次设备运行状况作出评估.红外热系统是各种检测模块中必不可少的一种设备^[19].红外热成像系统是利用红外探测器,在非接触的情况下,接收到物体表面辐射的红外线,从而得到物体表面热分布的“实时热像”,如图3所示.该热像能够在一定程度上反映该物体当前的运行状态^[20].

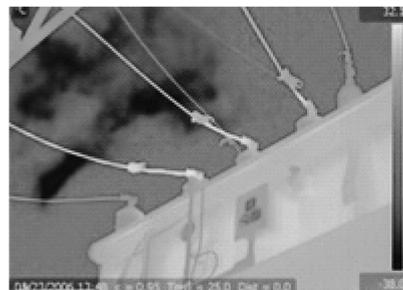


图3 变电站设备红外热像示意

通过搭载的红外热成像仪获取电力设备实时热成像图像,能够有效地检测出设备的运行缺陷,并配合上位机软件对缺陷部位的性质和程度作出评估判断.因此,红外热成像仪成为电力设备在线监测的有效手段^[21].

可见光摄像机自动抓取特定设备的外观照片,与该设备的红外图像匹配,精确找到故障存在点.同时自动抓拍仪表图像并智能读取仪表数值,实现全站的设备监控.

电力设备在漏电状态下会发出异常声音,机器人通过搭载声音采集装置,获取电力设备在运行状况下发出的声音.提取声音特征参数并进行人工智能分析,即可判断电力设备的运行状态^[22].

紫外成像仪能够通过获取设备的紫外图像,判断设备表面是否出现电晕放电及设备的绝缘污秽程度^[23].通过与红外热成像仪配合使用,可以及时发现电力设备早期的各种不良症状^[24].

2.4 上位机软件模块

变电站智能巡检机器人上位机软件系统是一个复杂的系统工程,该系统通过无线通信实现机器人的图像、音频、指令与上位机之间的传输^[25].其中,图像操作系统软件包括实时获取设备红外图像和可见光图像、对静态图像进行处理及设备运行状态评估报表的生产3大部分.上位机软件设计的特点如下:

(1) 能实时显示当前设备的红外图像和可见光图像,通过点击鼠标能够获取任一点的温度信息;

(2) 能及时切换到静态图像处理软件,可对静态图像进行图像分割和图像增强等操作;

(3) 可实现图像和视频的实时存储,并生成设备运行状态评估报表^[26].

3 变电站智能机器人应用实例

在国家“863”项目推动下,山东电力科学研究院在2002年率先研发出第一代轨道式智能巡检机器人.目前,山东、重庆、浙江、河南等省市的部分变电站已经开始投入使用,通过机器人巡检基本实现了变电站的无人值守^[27].

目前,变电站智能巡检机器人已经实现以下基本功能:多种导航方法相融合,精确实现自动导航,自主定位;可以远程访问、登陆、遥控操作进行巡检;可见光摄像机能够准确获取变电站设备的状态和仪表指针信息,确保视频分析的精度,大范

围无遗漏地执行巡检任务^[28];多传感器技术相融合,可同时采集声音、温度、电流强度等,多角度全方位获取变电站的各种信息^[29];高精度红外热像仪可精确检测变压器绕组及油冷系统、高压断路器、电容器等设备的发热情况,并针对热缺陷发出不同等级的报警信息,提高设备巡检效率^[22].

4 变电站智能巡检机器人展望

随着智能电网的建设,电力设备向高功率、高可靠性、高智能化方向发展,这对变电站的智能化提出了更高的要求.因此,变电站智能巡检机器人还应在以下4个方面得到进一步的完善.

(1) 数据分析智能化^[30] 机器人的红外图像和可见光图像的数据量很大,需要与大数据技术融合,进一步对大数据进行深度挖掘.

(2) 移动设备平台灵活化^[31] 针对变电站复杂的环境(山地、积雪严重),一方面要提高变电站机器人的驱动和越障能力,另一方面也要实现机器人对简单设备故障的自动处理能力.

(3) 巡检设备全面化 目前变电站智能巡检机器人主要是针对一次设备开展自动巡检,对于二次设备如高压开关柜还不能进行自动巡检.因此,需要针对二次设备巡检进行深入研究,以增强机器人巡检的全面性.

(4) 巡检机器人网络化 每台变电站巡检机器人通过互联网相互联系,实时共享巡检设备的状态信息.

5 结 语

随着工业机器人应用和智能电网的快速推进,越来越多的企业、变电站已经用工业机器人代替人工开展高危险性、高精密度、高重复性工作.机器人代替人工开展变电站巡检,具有灵活性强、安全性好、可靠性高等优点.变电站智能巡检机器人自主在线监测技术是智能电网和智能变电站巡检技术的发展方向,具有广阔的应用平台和推广空间.

参考文献:

- [1] 杨旭东,黄玉柱,李继刚,等.变电站巡检机器人研究现状综述[J].山东电力技术,2015,42(1):30-34.
- [2] 孙国凯,韩刚.变电站巡检方式对比及智能巡检机器人[J].农网自动化,2008(4):30-31.
- [3] 谭民,王硕.机器人技术研究进展[J].自动化学报,2013,39(7):963-967.
- [4] 周立辉,张永生,孙勇,等.智能变电站巡检机器人研制及

- 应用[J]. 电力系统自动化,2011,35(19):85-88.
- [5] 祖丽楠,张强,梁静,等. 变电站巡检机器人导航方法研究[J]. 科学技术与工程,2014,14(9):198-199.
- [6] 崔巨勇,曹东东,王文杰,等. 基于分水岭与 Krawtchouk 不变矩相结合的改进方法在变电站巡检图像处理中的应用[J]. 中国电机工程学报,2015,35(6):1 329-1 335.
- [7] 黄彬,付立思. 移动机器人在变电站设备巡检系统中的应用研究[J]. 农业科技与装备,2009(6):58-61.
- [8] 孙伟红. 变电站智能巡检系统研究与应用[J]. 技术与应用,2012(2):60-62.
- [9] 朱兴柯,李斌,李长生. 智能巡检机器人在变电站中的应用[J]. 云南电力技术,2012,40(5):55-57.
- [10] GUO Rui, HAN Lei, SUN Yong. A mobile robot for inspection of substation equipments [C]//2010 1st International Conference on Applied Robotics for the Power Industry. Montréal: CARPI Press, 2010:1-5.
- [11] 刘瑶. 220~500 kV 无人值守变电站履带式巡视机器人[D]. 北京:华北电力大学,2012.
- [12] 高青,张鹏. 智能巡检机器人的研究[J]. 产品与技术,2012(4):74-76.
- [13] 魏鹏,张志强,张春燕,等. 无人值守变电站巡检机器人导航系统研究[J]. 自动化仪表,2009(12):6-9.
- [14] 肖鹏,张彩友,冯华,等. 变电站巡检机器人 GPS 导航研究[J]. 传感器与微系统,2010,29(8):23-25.
- [15] 伍洲,方彦军. 高压巡线机器人电磁导航系统研究与设计[J]. 高电压技术,2008,34(9):1 959-1 963.
- [16] 黄显林,姜肖楠. 自主视觉导航方法综述[J]. 吉林大学学报,2010,28(2):58-61.
- [17] 严乔. 基于 WiFi 无线网络的智能识别机器人研究与实现[D]. 广州:华南理工大学,2010.
- [18] 朱中一. 基于 WiFi 的室内定位技术在博物馆的应用[J]. 软件产业与工程,2013,26(4):32-36.
- [19] 刘一凡. 基于红外热成像的电气设备故障诊断[D]. 保定:河北农业大学,2014.
- [20] 李向东,鲁守银,王明瑞,等. 基于移动机器人的红外检测系统在变电站中的应用[J]. 山东大学学报,2005,35(6):193-197.
- [21] 崔昊杨,许永鹏,曾俊冬,等. 电气设备故障红外诊断现状及发展趋势[J]. 上海电力学院学报,2013,29(3):271-275.
- [22] WANG B, GUO R, LI B. An autonomous robotic system for inspecting substation equipment [J]. Journal of Field Robotics, 2011, 29(1):123-137.
- [23] 寇晓适,卢明,刘博,等. 紫外放电检测在电力系统设备状态检修的应用[J]. 河南电力,2008(1):1-5.
- [24] 杨翠茹,李晓刚,刘文辉,等. 基于红外和紫外检测技术对电厂内设备放电问题的研究[J]. 广东电力,2012,25(12):20-24.
- [25] LU Shouyin, LI Yanping, ZHANG Tao. Design and implementation of control system for power substation equipment inspection robot [C]//International Conference on Intelligent robots and System. St. Louis: IROS Press, 2009:93-96.
- [26] 刘凌,韩国政. 变电站巡检机器人软件系统的设计[J]. 山东电力技术,2009(2):45-47.
- [27] 胡启明,胡润滋,周平,等. 变电站巡检机器人应用技术[J]. 华中电力,2011,24(5):36-39.
- [28] 鲁守银,钱庆林. 变电站设备巡检机器人的研制[J]. 电力系统自动化,2006,30(13):94-98.
- [29] 付渊,鹿宁,田月炜. 论变电站巡检机器人关键技术及发展趋势[J]. 电子技术与软件工程,2014(3):144-145.
- [30] 金立军,张达. 基于红外与紫外图像信息融合的绝缘子污秽状态识别[J]. 电工技术学报,2014(14):92-96.
- [31] 崔彦斌,刘欢. 变电站智能巡检机器人系统的设计[J]. 设计与研究,2014(12):1-4.

(编辑 胡小萍)