

文本复制检测报告单(全文标明引文)

№:ADBD2021R_2021072315351220210723154732311182875045

检测时间:2021-07-23 15:47:32

检测文献: 001

作者: 养方式

检测范围: 中国学术期刊网络出版总库

中国博士学位论文全文数据库/中国优秀硕士学位论文全文数据库

中国重要会议论文全文数据库

中国重要报纸全文数据库

中国专利全文数据库

图书资源

优先出版文献库

学术论文联合比数据库

互联网资源(包含贴吧等论坛资源)

英文数据库(涵盖期刊、博硕、会议的英文数据以及德国Springer、英国Taylor&Francis 期刊数据库等)

港澳台学术文献库

互联网文档资源

源代码库

CNKI大成编客-原创作品库

个人比数据库

时间范围: 1900-01-01至2021-07-23

⚠可能已提前检测, 检测时间: 2021/1/7 15:43:49, 检测结果: 16.6%

检测结果

去除本人文献复制比: 18.8%

跨语言检测结果: 0%

去除引用文献复制比: 15.3%

总文字复制比: 18.8%

单篇最大文字复制比: 6% (2132313195+牛祉霏-卢锦玲)

重复字数: [6500]

总段落数: [4]

总字数: [34597]

疑似段落数: [4]

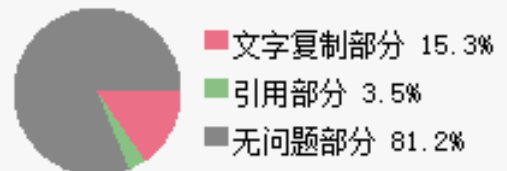
单篇最大重复字数: [2076]

前部重合字数: [372]

疑似段落最大重合字数: [2569]

后部重合字数: [6128]

疑似段落最小重合字数: [494]



指 标: ☐ 疑似剽窃观点 ☒ 疑似剽窃文字表述 ☐ 疑似整体剽窃 ☐ 过度引用

表 格: 0

公 式: 没有公式

疑似文字的图片: 0

脚注与尾注: 0

18.6%(1871) 18.6%(1871) 001_第1部分 (总10078字)

17.2%(1566) 17.2%(1566) 001_第2部分 (总9081字)

25.6%(2569) 25.6%(2569) 001_第3部分 (总10029字)

9.1%(494) 9.1%(494) 001_第4部分 (总5409字)



(注释: 无问题部分 文字复制部分 引用部分)

1. 001_第1部分

总字数: 10078

相似文献列表

去除本人文献复制比: 18.6%(1871)

文字复制比: 18.6%(1871)

疑似剽窃观点: (0)

1	变电站智能巡检机器人视觉导航方法研究 赵坤(导师: 赵书涛) - 《华北电力大学硕士论文》 - 2014-06-01	13.2% (1330) 是否引证: 否
2	2122213137赵坤 - 《学术论文联合比数据库》 - 2014-04-29	13.2% (1328) 是否引证: 否
3	视觉导航中移动机器人的一种定位和导航方法	7.6% (761)

	修择(导师：李金屏) - 《济南大学硕士论文》 - 2011-06-01	是否引证：否
4	无人驾驶系统中的循线机器人设计 丁亚洲 - 《学术论文联合比对库》 - 2018-05-21	7.3% (731) 是否引证：否
5	无人驾驶系统中的循线机器人设计 丁亚洲 - 《学术论文联合比对库》 - 2018-05-21	7.3% (731) 是否引证：否
6	张志飞-宋玮 - 《学术论文联合比对库》 - 2015-05-04	4.6% (460) 是否引证：否
7	变电站机器人智能巡检系统应用研究 张志飞(导师：宋玮) - 《华北电力大学硕士论文》 - 2015-06-01	4.5% (457) 是否引证：是
8	自主无人飞行器系统与循迹关键技术研究 王琪;王前; - 《技术与市场》 - 2016-12-15	1.2% (121) 是否引证：否
9	变电站巡检机器人单目视觉导航研究 赵坤;赵书涛; - 《电气应用》 - 2014-05-05	1.1% (112) 是否引证：否
10	北方地区无人值守变电站巡视机器人 刘瑶;李卫国; - 《机器人技术与应用》 - 2011-11-30	0.4% (41) 是否引证：否
11	人机融合情境下媒介智能机器人生产研究 栾轶玫; - 《上海师范大学学报(哲学社会科学版)》 - 2021-01-21	0.3% (33) 是否引证：否

原文内容

I

专业硕士学位论文
变电站机器人智能巡检系统研究与应用
Research and application of substation robot
intelligent inspection system
XX
2021 年 3 月

II

国内图书分类号： 学校代码：10079
国际图书分类号： 密级：公开
专业硕士学位论文变电站机器人智能巡检系统研究与应用
硕士研究生：
导师：
企业导师：
申请学位： 工程硕士
专业领域： 电气工程培养方式： 在职
所在学院： 电气与电子工程学院
答辩日期： 2021 年 3 月
授予学位单位： 华北电力大学

III

Classified Index: School code: 10079
U.D.C: Secret Level: Open
Thesis for the Master Degree
Research and application of substation robot
intelligent inspection system
Candidate:
Supervisor:
School:
School of Electrical and Electronics
Engineering
Date of Defence: March, 2021
Degree-Confering-Institution: North China Electric Power University

IV

华北电力大学硕士学位论文原创性声明
本人郑重声明：此处所提交的硕士学位论文《变电站机器人智能巡检系统研
究与应用》，是本人在导师指导下，在华北电力大学攻读硕士学位期间独立进行研究工作所取得的成果。据本人所知，论
文中除已注明部分外不包含他人已发表或撰写过的研究成果。对本文的研究工作做出重要贡献的个人和集体，均已在文
中以明确方式注明。本声明的法律结果将完全由本人承担。
作者签名： 日期： 年月日

《变电站机器人智能巡检系统研究与应用》系本人在华北电力大学攻读硕士学位期间在导师指导下完成的硕士学位论文。本论文的研究成果归华北电力大学所有，本论文的研究内容不得以其它单位的名义发表。本人完全了解华北电力大学关于保存、使用学位论文的规定，同意学校保留并向有关部门送交论文的复印件

件和电子版本，允许论文被查阅和借阅。本人授权华北电力大学，可以采用影印、缩印或其他复制手段保存论文，可以公布论文的全部或部分内容。

本学位论文属于(请在以上相应方框内打“√”)：

保密□，在年解密后适用本授权书

不保密□

作者签名： 日期： 年月日

导师签名： 日期： 年月日

摘要

随着社会对于能源的需求显著提高，电力系统的复杂程度不断提升，而大型变电设备在高电压、强电磁干扰、露天极端气候条件工况下的工作可靠性将是变电站供电可靠性的关键，需要在站内设备进行全天候、不间断的巡检模式以保障电网设备的可靠运行，目前以常规人工定期巡检的模式已无法满足设备的巡检需求。故为了使电网运行的安全性与稳定性得到保障，必须要借助目前的现代化技术来完成相关巡检工作。然而，现有的机器人巡检技术在移动导航和巡检手段及功能方面仍存在一定的不足。本文从硬件设备与系统软件开发两方面入手，通过赋予原型机声音采集、红外测温、统计数据报表和可见光表计识别等巡检技术和功能，通过蚁群算法优化移动导航定位，对现场使用效果、原型机器人运行情况进行深入分析，结果表明，该机器人智能巡检系统满足现代化大型变电站的全天候、不间断巡检需求，显著减少现场维护人员的工作量，使变电站的安全性和稳定性得到进一步的提升。本文主要研究内容包括：

1) 对智能巡检系统的架构进行阐述，首先基于对智能巡检系统的整体构建

进行介绍，并分别介绍构建中各个分层的具体含义；其次对智能系统的关键技术进行介绍与选取；最后简要描述系统整体的设计方案。

2) 对机器人智能巡检系统的硬件和软件进行设计，首先对智能巡检系统的

硬件进行设计，分别对主控模块、自动引导运输处、充电模块、驱动模块、机载传感器、工业无线路由器和云台双系统的硬件进行设计与选型；其次对基站软件系统进行设计，分别对图像监控模块、巡视任务管理模块、机器人控制模块、数据储存模块、查询模块、机器人状态显示模块、报警输出模块和配置模块进行软件设计；最后对关键技术控制系统进行设计，分别对自动充电系统、导航定位系统、运动控制系统和图像识别模式进行设计，得到整套机器人智能巡检系统。

3) 通过某电站平面图来对变电站巡检点进行模拟研究，运用蚁群算法来探

寻变电站巡检的最佳路径，通过仿真计算，蚁群算法能够在一定程度上缩短最佳巡检路径的搜索时间，同时最佳路径搜索的成果率较大，结合上述所介绍的导航技术，使智能巡检机器人的整体导航技术得到巨大提升。

4) 对设计的智能巡检系统在实际电站中的实际应用情况进行介绍，主要介

绍了声音采集、红外测温、统计数据报表和可见光表计识别等基本功能实现情况，

VI

并对实际运行效果进行深入分析，最后对机器人运行情况进行总结，结果表明，

机器人智能巡检系统在实际电厂应用取得了良好的效果，显著减少现场维护人员的工作量，使变电站的安全性和稳定性得到进一步的提升。

关键词：智能巡检；机器人；硬件设计；软件设计；变电站

VII

Abstract

With the increasing complexity of the power system, the inspection task intensity becomes stronger and the inspection content becomes more complicated. The environment of alpine and plateau areas is relatively bad, and the safety risk coefficient of substation becomes higher. In the above harsh environment, without the support of other inspection measures, the inspection work will not be carried out effectively. Therefore, in order to ensure the security and stability of power grid operation, we must use the current modern technology to complete the relevant inspection work. The main contents of this paper include:

1) The architecture of intelligent inspection system is described. Firstly, the overall construction of the intelligent inspection system is introduced, and the specific meaning of each layer in the construction is introduced; secondly, the key technologies of the intelligent system are introduced and selected; finally, the overall design scheme of the system is briefly described.

2) The hardware and software of the robot intelligent inspection system are designed. Firstly, the hardware of the intelligent inspection system is designed. The hardware of the main control module, the automatic guide transportation department, the charging module, the driving module, the airborne sensor, the industrial wireless router and the PTZ dual system are designed and selected. Secondly, the base station software system is designed to monitor the image. Finally, the key technology control system is designed, including automatic charging system, navigation and positioning system, motion control system and image recognition mode. Intelligent inspection

system.

3) Through the plan of a power station to simulate the substation inspection point, the ant colony algorithm is used to find the best path of substation inspection. Through simulation calculation, the ant colony algorithm can shorten the search time of the best inspection path to a certain extent, and the best path search result rate is VIII

large. Combined with the navigation technology introduced above, the whole intelligent inspection robot is integrated Navigation technology has been greatly improved.

4) This paper introduces the practical application of the designed intelligent inspection system in the actual power station, mainly introduces the realization of the basic functions such as sound acquisition, infrared temperature measurement, statistical data report and visible light meter recognition, and analyzes the actual operation effect in depth. Finally, it summarizes the operation of the robot, and the results show that the intelligent inspection system of the robot is in the actual power supply Plant application has achieved good results, significantly reducing the workload of field maintenance personnel, and further improving the safety and stability of the substation.

Key words: intelligent patrol inspection; robot; hardware design; software design; substation

IX

目录

摘要

.....	I	
Abstract		
.....	VII	
目录		
.....	IX	
第一章绪论		
... 1		
1.1 研究背景及意义		
.....	1	
1.2 国内外巡检机器人研究动态.....	1	
1.2.1 国外研究动态.....		
2		
1.2.2 国内研究动态.....		
4		
1.3 国内外移动机器人导航方法研究动态.....	6	
1.4 国内外变电站巡检系统研究动态.....	7	
1.5 本文研究内容		
.....	9	
第二章智能巡检系统总体方案设计.....	10	
2.1 设计原则		
.....	10	
2.2 智能巡检系统的整体构架.....	10	
1. 移动机器人		
.....	11	
2.3 关键技术		
.....	11	
2.3.1 导航定位系统.....		
11		
2.3.2 自动充电及能源管理.....	12	
2.3.3 无线通信模块.....		
13		
2.3.4 图像识别模块.....		
14		
2.4 控制系统设计		

2.5 系统总体设计	15
2.6 本章小结	15
第三章智能巡检系统硬件设计	16
3.1 主控模块	17
3.2 自动引导运输车	18
3.3 充电模块	19
3.3.1 机器人能源模块	19
3.3.2 充电结构	19
3.4 驱动模块	20
3.5 机载传感器	21
3.6 工业无线路由器	23
3.7 云台双视系统	24
3.8 本章小结	25
第四章智能巡检系统软件设计	26
4.1 基站软件软件设计	26
4.1.1 基站软件功能设计	26
4.1.2 基站软件各模块功能设计	26
4.2 自动充电系统	34
4.3 导航定位系统	35
4.3.1 蚁群算法基本原理	36
4.3.2 蚂蚁算法数学模型	36
4.3.3 蚂蚁算法计算步骤	37
4.3.4 路径规划仿真分析	38
4.4 运动控制系统	40
4.5 图像识别模式	41
4.5.1 可见光目标对准技术	42
4.5.2 表计识别	43
4.5.3 红外测温技术	43
4.6 本章小结	45
第五章变电站智能巡检系统功能实现与应用	46
5.1 机器人运行轨道施工	46
5.2 系统应用分析	46
5.2.1 检测点与表计统计分析	46
5.2.2 红外测温应用分析	47
5.2.3 可见光表计识别	49
5.2.4 统计数据报表	

5.2.5 异常报警

5.2.6 其他应用

5.3 效果分析

5.3.1 系统特色及亮点

5.3.2 准确性

5.2.3 及时性

5.2.3 抗干扰性

5.4 系统不足及提升方法

5.5 本章小结

XI 第六章结论与展望

6.1 结论

6.2 展望

参考文献

致谢

51

51

52

52

52

53

53

53

54

55

55

56

57

错误

1
第一章绪论
1.1 研究背景及意义人工巡检现阶段依然是国内电力系统多数变电站所采用的巡检方式，由于在巡检过程当中所处的操作环境相对恶劣、工作强度较高，致使巡检工作整体效率处于较低水平[1-5]。同时，不同的巡检员在巡检的过程中所发现的问题不尽相同，

导致巡检结果缺乏一定程度的客观性。随着国民经济的不断发展，电力需求逐渐攀升，电力系统中变电站的数量得到增加，巡检员很难将相关数据有效的输入至信息系统当中[6-10]。人工巡检已经无法适应目前高强度巡检任务和恶劣的自然环境。除此之外，人工巡检的过程中容易产生误差，致使整体的巡检效果较差。随着电力系统的复杂程度不断提升，巡检任务强度变得更强、巡检内容变的更为繁琐[11-13]。高寒和高原等地区的环境相对恶劣，变电站安全风险系数变的更高。在上述恶劣环境下，若无其他巡检措施支持，必然导致巡检工作无法有效展开。故为了使电网运行的安全性与稳定性得到保障，必须要借助目前的现代化技术来完成相关巡检工作[14-17]。

变电站巡检方式随着电力自主检测技术的不断发展得到进一步发展[18]。较为常见的检测技术主要有视频监控技术与手持红外扫描技术，上述技术能够快速和准确对电站运行状态进行反馈。然而，随着高科技产品在电力系统中的广泛应用，使电力装置维修的难度得到一定程度提升，巡检人员的技能素质亟待提升

[19-20]。现有巡检人员需要进行不断的技能培训才能够胜任目前的巡检工作，这样致使工作人员的工作压力得到增加。由于电力设备在高负荷运行的过程中会产生高温，致使电站设备故障率不断攀升，设备维护强度与强度得到提升[21]。因此电站巡检工作过程中急需加入先进的巡检技术。随着计算机技术、信息通讯技术及人工智能技术的不断发展，机器人智能化巡检系统逐渐进入人们的视野，该智能巡检系统能够在相对恶劣的环境下进行工作，使工作强度在一定程度上得到降低，最终完成电站智能巡检的任务[22-25]。

1.2 国内外巡检机器人研究动态 2
1.2.1 国外研究动态
20 世纪 40 年代左右，人们逐步开始对机器人进行研究。美国橡树岭国家实验室在 50 年代之后开始对遥控操纵机械手进行研究，该机械手主要功能是对核原料进行搬运[26-28]。
工业机器人的概念在 1954 年首次由美国戴沃尔提出，并且针对工业机器人申请相关自主产权。该自主产权中机器人的关节是借助伺服技术来进行控制，并通过人手来对机器人进行相关的动作示教，机器人能够对以往的动作进行记录与再现。这就是最早出现的示教再现机器人。目前多数机器人的控制方式均均为上述方式[29-33]。

同时，随着智能技术的不断发展，对于智能机器人的相关研究得到一定程度的突破，美国麻省理工在 1961 年研发出 MH-1 型号机器人，该机器人具有触觉功能，其主要通过控制来对放射性材料进行处理。斯坦福大学在 1968 年研发出智能移动机器人，该机器人的名称为 SHAKEY。自 60 年代后，机器人开始广泛的应用于工业生产（弧焊和喷漆）过程当中，由工业机器人与

加工中心所构成的柔性加工模块标志着小批量智能生产模式达到新的高度。各个发达国家在各个领域的智能机器人开始着手相关的研究工作，并在核工业生产、空间探索及海洋开放等领域当中进行使用[34-35]。

2003 年，日本著名学者首次研究出变电站巡检机器人实现方案，并且进行了相应的模拟实验。随后，其通过进一步的研究研发出电压等级为 500kV 的变电站巡检机器人，其实物图如下图 1-1 所示。但是鉴于当时技术存在一定程度的局限性，在 2-3 所变电站进行试用之后，停止对该类型机器人的研究工作。

图 1-1 日本变电站巡检机器人加拿大魁北克水电站通过研究开发出一种变电站巡检机器人，该类型巡检机器人在多个变电站进行运行，机器人上搭载可见光图像采集模块和红外热像仪模块 3

块，能够实现远程控制，并通过遥控设备实现机器人的实时控制，该变电站巡检系统如下图 1-2 所示。

图 1-2 加拿大魁北克水电站研发的巡检机器人圣西保罗大学在 2008 年研发出一种悬挂式移动机器人，该机器人主要功能是设备温度检测，实际变电站机器人应用如下图 1-3 所示，机器人通过高空钢索轨道进行移动，并基于红外热像仪来实现温度检测。

图 1-3 悬挂式温度监测机器人

2012 年，新西兰电网公司与梅西大学进行联合联合研究，最终研发出变电站全地形巡检机器人，其实物图如下图 1-4 所示。该巡检系统包含可见光摄像机和超声波传感器。但目前该机器人的工作只能通过远程遥控来进行控制。

图 1-4 全地形巡检机器人Lili 等学者针对机器人的越障机理与线路识别通过立体视觉匹配算法进行优化，其巡检故障探究是基于视觉处理方式得到实现，但是获取和处理图像的过程相对复杂。

J.K. C. Pinto 等学者研发出变电站巡检无线传输系统，改系统如下图 1-5 所示。发热端的相关信息由红外摄像头进行有效采集，通过热电检测系统来完成变电站故障诊断任务。

图 1-5 无线传输巡检机器人图

2018 年，Hi Boti 公司通过研究制造出机器人 Expl ineri，如下图 1-6 所示。

该机器人适用于高压电线巡检，其能够达在不断电的情况下完成巡检任务。该巡检机器人装设四个滚轮和八个摄像头，能够同时对四条电线进行检查，大大降低高压巡检员工作的危险程度。

图 1-6 Expl ineri 高压线巡检机器人

1.2.2 国内研究动态国内在 20 世纪 80 年代才对机器人领域进行关注，各个研发机构、高校及工业生产厂家逐步开展对机器人的相关工作。随着研究工作的不断深入，国内各个领域均出现不用形式和不同功能的机器人。较为典型的工业机器人组织结果如下图 1-7 所示。 5

图 1-7 工业机器人典型组织机构图电力系统巡检机器人是一种典型机械人，其与上述各个领域中所应用的机器人均不相同，但是其对上述机器人的相关功能与特点进行有效的借鉴与结合。随着电力巡检机器人应用范围研究越发广泛，形成特有的电力机器人应用研究领域。目前国内通过研究并得到相应实际应用的电力特种机器人类型主要包括：电缆管道检测机器人、高压巡线机器人、核电站作业机器人、高压带电作业机器人、

变电站瓷瓶清扫机器人、锅炉承压部件检测机器人、变电站设备巡检机器人等。

国家电力研究院与山东电力集团于 1999 年成立电力机器人技术实验室，并开启高压带电作业机器人的研发工作，该实验室是国内首家开展机器人相关研究的机构。通过长时间的探索与研究，国内在电站巡检机器人的研发领域取得了显著的发展，同时也积累了大量的经验。国内首台“变电站设备巡检机器人”在 2005

年 10 月正式在济南长清变电站投运，并呈现出较好的运行效果[36-38]。后续开发的电站巡检机器人在天津吴庄等多个变电站投运，并且运行效果相对良好。

随着智能化水平的不断提升，变电站巡检机器人也得到空前的发展，多个研究机构将人工智能技术与变电站巡检机器人相结合，最终构建出变电站机器人智能巡检系统，改系统具备检测手段多样性、智能性、集成度高、互动性、客观性、

开放性和灵活性等特点，掀起传巡检的革命性改造。然而，机器人智能巡检系统在电力生产过程中的应用程度尚浅，且目前生产出的设备性能差异性较大，在实际应用的过程中，该智能系统未发挥出其预计的作用[39-42]。 6

随着技术的不断发展，智能巡检系统不断的更新迭代，其各个功能得到不断的完善，其必将在不久的将来完全取代传统的巡检方式，在巡检工作当中发挥巨大的作用。提升智能巡检系统巡检效率和后台程序的完善是未来智能巡检系统额定主要发展方向[43]。

综上所述，国内外对智能机器人系统均开展了大量的研究工作，在各个领域应用中取得客观的研究成果，但国外依然处于领先水平。目前，随着社会水平的不断提升，电力需求量不断攀升，对变电站巡检提出更高的要求，迫切需要安全性和准确性更高的智能巡检系统，进而保障供电的连续性与安全性，故诊断目前电站系统进行深入的探究，构建变电站智能机器人巡检系统，对现有缺陷进行有效的弥补和完善，使供电系统的稳定性与安全性得到一定程度提升。

1.3 国内外移动机器人导航方法研究动态变电站智能巡检机器人能否安全自主运行的一个关键前提是看导航定位系统是否可靠。所谓导航就是指移动机器人在获取各种道路信息后能沿着制定线路行走，其中包括直行、停止和拐弯等。智能移动机器人导航研究的目标就是在没有人工干预的情况下使其有目的地行走并完成特定任务进行特定操作。

目前导航定位的主要方法有:磁导航、GPS 导航、激光导航以及惯性导航等。

利用铺设或埋藏磁性感应线的磁导航方式出现于 20 世纪 50 年代，到 20 世纪 70

年代迅速发展并应用于工业生产中，目前这种方式基本实现商业化，但其初期建设成本高，改造和维护困难。GPS 是 Global Positioning System(全球定位系统)的简称，是 20 世纪 70 年代由美国研制的。GPS 定位的误差在几米至几十米之间，

具体误差会因智能机器人所处方位、周围磁场强度、时钟误差、通信中的干扰和噪声等的影响程度而不同，这种程度的误差对机器人导航而言较大，不能在窄小的空间中精确导航，且高精度的 GPS 设备价格在 10 万元以上，成本压力极大[41]。

激光导航是一种利用激光作为探测媒介的导航方式，一个典型的激光导航系统一

般由激光发射装置、反射镜、光电接收装置、数据采集装置和数据传输装置等部分组成。通过反射镜面向外发射激光，当

扫描到路标时，路标上的反射机构通过光电接收器件对激光及数据进行处理，把反射光作为检测信号传回，数据采集程序读取数据，然后传递到上位机进行数据处理，对比检测到的信息即已知的路标 7

的位置，计算得到传感器当前相对于路标所在的位置和方向，从而确定机器人方位实现导航。激光测距导航虽然具有测距分辨率高等优点，但同时易受周围环境的干扰，所以激光测距时去除所采集信息的噪声也是一个需要解决的问题，另外激光测距所能探测到的范围有限，完全依靠激光实现导航定位比较困难。惯性导航属于推算导航方式，即依靠电子罗盘、里程计等给出移动机器人大概位置和方向的相对定位系统，电子罗盘由于受到电晕放电等强烈的磁场干扰，无法精确测定机器人朝向，而电子陀螺仪存在累积误差的问题[44-45]。

机器视觉就是指使计算机具有视觉感知能力，利用视觉传感器采集周围环境图像，再通过机器视觉理论和图像处理算法还原三维环境信息。机器视觉是一个完整的过程，它由环境图像获取、图像信息处理和分析等一系列技术结合，可以把机器视觉划分为：采集部分、预处理部分、分割部分、描述部分、识别部分、

解释部分等六个部分[46]。根据机器视觉所用方法和技术的复杂性可分为：低层、中层、高层三个层次。视觉导航具有探测范围宽广，获得的信息量大等优点，但要从环境中找到特定目标却比较困难。要将目标从背景中分离，图像处理的计算量很大，严重影响机器视觉的实时性，处理效果也未必好。以前视觉导航研究因运算设备速度和存储容量的限制发展缓慢，而随着计算机运算能力的提高，加上视觉传感器的性能不断提升和成本的下降，视觉导航依靠其获得的信息量丰富，

前景越来越广阔[47]。而基于视觉导航的变电站巡检机器人具有更好的柔性，具有更高的智能，受到越来越多的重视。

1.4 国内外变电站巡检系统研究动态国外电气领域的电力巡检起步较早，变电站的巡检常以视频监控和智能机器人等方式来进行，上述方式大部分都是建立在地理系统基础上，基于 GPS 来反馈经纬度等定位信息，同时把整体的巡检结果录入变电站大型数据库当中。唯一

不同的是采集巡检信息的方式。而灵活性与适应性较高的人工巡检方式依然在电力巡检中占据主流位置[48]。国内电气技术较国外发展较为缓慢，现阶段因成本等因素的制约，我国变电站巡检大部分采用人工巡检的方式。伴随着科学和计算计算的不断普及和发展，

国内部分区域开始推广智能化程度较高的巡检方式，主要的巡检方式主要包含 8 [49-50]：

1. IC 卡和信息钮结合巡检该巡检系统需要将信息钮安装至变电站各个装置，记录装置的名称与编号等信息。巡检人员利用巡检器对电力设备的信息组进行扫描，巡检器中便会显示出相应设备对对应的编号与名称等重要信息。巡检器中的相关数据被系统软件读取，得到设备巡视的时间及缺陷等详细的讯息，之后存储至相关数据库当中。该巡检方式的优势是可靠性较高，过程中设备的编码不能够进行伪造；缺陷为容易破坏与被盗，需要在一定时期内对其进行清洁，采集数据的设备比较固化，可选性较低。

2. 条形码和 PDA 结合巡检实现该巡检方式的首要条件是运用条形码对装置进行标记，变电站巡检人员扫描设备条形码获取装置所处位置及运行状态等信息，与此同时，事先将设备不同类型缺陷储存至巡检终端。这种巡检方式需定期更换装置说对应的条形码，不便于使用管理，且条形码容易被复制，整体安全性较差。

3. GPS 和 PDA 结合巡检该巡检方式很好的将 PDA 和 GPS 技术进行融合。其主要的特点为上层管理系统对装置信息储存和对装置、巡视、历史数据及缺陷数据等全部管理，装置信息的采集不需达到装置面前扫描获取，仅需达到装置旁边就能获得。巡检人员巡检完后基于专用的通讯方式将装置数据传输至系统数据库当中储存。该巡检方式的整体费用相对较高。

4. RFID 和 PDA 结合巡检该巡检系统主要运用非接触自动识别技术来识别设备的状态，能够通过无接触的方式识别卡中保存读写器在某区域发射的能量所形成的电磁场，当区域内有射频标签经过时，便会检测到读写器的信号，之后将储存的数据进行发送，射频标签所发出的信号被读写器接收后，对数据进行解码和准确性判别，最终完成识别，进而达到巡检目的。该巡检方式与其他方式相比，其具备保密性强、高速识别、抗恶劣环境、非接触识别及同时识别多对象，在工业生产过场控制与车辆识别中得到较为广泛应用。尤其是 RFID 数据可改写及非接触识别等特性与变电站巡检要求相符合，故逐渐开始在变电站巡检中进行应用。 9

1.5 本文研究内容人工巡检现阶段依然是国内电力系统多数变电站所采用的巡检方式，由于在巡检过程当中所处的操作环境相对恶劣、工作强度较高，致使巡检工作整体效率处于较低水平。

指 标	
疑似剽窃文字表述	
1.	1.3 国内外移动机器人导航方法研究动态变电站智能巡检机器人能否安全自主运行的一个关键前提是看导航定位系统是否可靠。所谓导航就是指移动机器人在获取各种道路信息后能沿着制定线路行走，其中包括直行、停止和拐弯等。智能移动机器人导航研究的目标就是在没有人工干预的情况下使其有目的地行走并完成特定任务进行特定操作。 目前导航定位的主要方法有：磁导航、GPS 导航、激光导航以及惯性导航等。 利用铺设或埋藏磁性感应线的磁导航方式出现于 20 世纪 50 年代，到 20 世纪 70 年代迅速发展并应用于工业生产中，目前这种方式基本实现商业化，但其初期建设成本高，改造和维护困难。
2.	激光导航是一种利用激光作为探测媒介的导航方式，一个典型的激光导航系统一般由激光发射装置、反射镜、光电接收装置、数据采集装置和数据传输装置等部分组成。通过反射镜面向外发射激光，当扫描到路标时，路标上的反射机构通过光电接收器件对激光及数据进行处理，把反射光作为检测信号传回，数据采集程序读取数据，然后传递到上位机进行数据处理，对比检测到的信息即已知的路标 7 的位置，计算得到传感器当前相对于路标所在的位置和方向，从而确定机器人方位实现导航。激光测距导航虽然具有测距分辨率高等优点，但同时易受周围环境的干扰，所以激光测距时去除所采集信息的噪声也是一个需要解决的问题，另外激光测距所能探测到的范围有限，完全依靠激光实现导航定位比较困难。
3.	机器视觉就是指使计算机具有视觉感知能力，利用视觉传感器采集周围环境图像，再通过机器视觉理论和图像处理算法

- 还原三维环境信息。
- 根据机器视觉所用方法和技术的复杂性可分为:低层、中层、高层三个层次。视觉导航具有探测范围宽广,获得的信息量大等优点,但要从环境中找到特定目标却比较困难。要将目标从背景中分离,图像处理的计算量很大,严重影响机器视觉的实时性,处理效果也未必好。
 - 而基于视觉导航的变电站巡检机器人具有更好的柔性,具有更高的智能,受到越来越多的重视。
- 1.4
- 方式大部分都是建立在地理系统基础上,基于 GPS 来反馈经纬度等定位信息,同时把整体的

2. 001_第2部分			总字数：9081
相似文献列表			
去除本人文献复制比：17.2%(1566) 文字复制比：17.2%(1566) 疑似剽窃观点：(0)			
1	变电站巡检机器人关键技术及系统的研究与实现 王凯(导师：骆德渊) - 《电子科技大学硕士学位论文》 - 2015-05-05	8.1% (736)	是否引证：是
2	lw2142313343 - 《学术论文联合比对库》 - 2018-01-12	6.4% (583)	是否引证：否
3	lw-2142313343 - 《学术论文联合比对库》 - 2018-05-03	5.4% (487)	是否引证：否
4	井筒内壁成图系统关键技术研究 查剑林(导师：孙伟) - 《中国矿业大学硕士学位论文》 - 2015-05-01	2.0% (180)	是否引证：否
5	查重版20180715 - 《学术论文联合比对库》 - 2018-07-20	1.6% (141)	是否引证：否
6	500kV变电站智能巡检系统设计 赵东瑾(导师：尚秋峰;王荣亮) - 《华北电力大学硕士学位论文》 - 2017-03-01	1.4% (124)	是否引证：否
7	2152314021李奔 - 《学术论文联合比对库》 - 2019-12-07	0.5% (45)	是否引证：否
8	2162314026史鑫元 - 《学术论文联合比对库》 - 2019-12-07	0.5% (45)	是否引证：否
9	乌拉山发电厂2×300MW机组超低排放改造技术研究 史鑫元 - 《学术论文联合比对库》 - 2019-12-02	0.5% (45)	是否引证：否
10	201911271125501628_奔奔_任丘热电厂烟气除尘系统改造研究 奔奔 - 《学术论文联合比对库》 - 2019-11-27	0.5% (45)	是否引证：否
原文内容			

由于电力设备在高负荷运行的过程中会产生高温,致使电站设备故障率不断攀升,设备维护强度与强度得到提升。因此电站巡检工作过程中急需加入先进的巡检技术。随着计算机技术、信息通讯技术及人工智能技术的不断发展,机器人智能化巡检系统逐渐进入人们的视野,该智能巡检系统能够在相对恶劣的环境下进行工作,使工作强度在一定程度上得到降低,最终完成电站智能巡检的任务。 本文的研究内容主要有:

- 第一章:综述国内外机器人智能变电站巡检系统的研究背景与意义,阐述国内外机器人智能变电站巡检系统研究及应用现状,最后对论文的主要研究内容进行表述。
- 第二章:主要对智能巡检系统总体方案进行设计,对智能巡检系统的设计原则、整体框架、关键技术、控制系统及整体系统设计进行介绍。
- 第三章:对智能巡检系统进行设计,分别进行硬件系统和软件系统进行设计,最终形成整体智能巡检系统。
- 第四章:主要对设计的智能巡检系统在实际电站中的实际应用情况进行介绍,并对实际系统应用的效果进行分析对比,取得良好的效果。
- 第五章:结论与展望。对本文研究内容进行总结,并针对本文研究过程当中的不足进行展望。 10
- 第二章智能巡系统总体方案设计
- 2.1 设计原则少人或无人值守变电站是智能机器人巡检系统的主要应用场合,同时,机器人在高压环境下会受到较强的电磁干扰,故机器人在自主巡检过程中,对运行过程中设备可靠性要求较高。基于上述的特点,本文对智能机器人巡检系统的设计的原则为:
- (1) 最大程度上减少智能机器人运行环境的改造,使其尽可能适应变电站自身结构;
 - (2) 系统中的部件等级必须保持工业级以上,进而使系统的可靠性得到保障;
 - (3) 机器人装载设备的安装和卸载便捷可靠;
 - (4) 人机交互操作界面简单可靠性,人性化程度高;
 - (5) 设备后期维护和更换简单方便。

2.2 智能巡检系统的整体构架以变电站的实际情况与用户需求为基础来对变电站智能巡检系统进行设计，

总体的设计框架如下图 2-1 所示。由图 2-1 可知，整体系统框架图主要包含 4 部分，即应用层、功能服务层、接口通信层及移动机器人。

1. 应用层应用层主要是针对变电站实际巡检业相关业务所配置的可操作的应用，主要包含：用户报表、电子地图显示、巡检任务查看、巡检视频显示、巡检机器人遥控操作、巡检日志查看、检测数据趋势图及选件数据分析。

2. 功能服务层功能服务层主要对应用层起到支撑的作用，其主要为变电站巡检业务提供基本功能服务，这些基本功能服务主要包含：变电站地图管理、巡检任务设置与调度、巡检模式配置、日志服务、巡检数据处理、报警事项设置及巡检数据检索。

3. 接口通信层 11

控制中心和巡检机器人通过无线网路装置实现交互是接口通信层的主要功能，其主要包含：机器人自身状态、巡检机器人检测数据、图像及机器人接收到控制中心的遥感指令。

图 2-1 变电站智能巡检系统框架图

1. 移动机器人智能巡检系统的核心为移动机器人，其是执行自动巡检的主体，工作环境及高自动化水平对机器人的智能化与可靠性提出更高的要求，同样，智能化巡检系统设计的重点也是智能化与可靠性。本文设计的移动机器人的模块主要包含：主控模块（嵌入式）、车载蓄电池及充电模块、导航点位模块、安全防护模块、运动控制模块、云台控制模块及成像传感模块。

2.3 关键技术

2.3.1 导航定位系统变电站机器人智能巡检系统主要的导航方式如下：

(1) 激光方式 12

激光导航定位方式是通过反光标志与激光发射其来进行导航定位，该方式需要在变电站装设大量的反光柱，机器人在反光标志遮挡和缺损情况下无法正常运行，在一定程度上降低其可靠性，增加维护工作量。

(2) 电磁感应巡线电磁感应巡线主要是通过霍尔传感器或磁感应传感器来检测埋设在变电站地面的通电线圈或磁条，进而使机器人沿着预先埋设的号的线路运行。该巡线方式具有较高的可靠性与稳定性。

(3) 轨道方式轨道导航方式主要是通过预先铺设轨道的当时来实现，使机器人像火车一样沿着预先设定的轨道运行。机器人在该类型导航方式下呈现出较高的可靠性和稳定性，但前期轨道铺设工程量较大，且一旦改变巡检路径，需要重新对轨道进行铺设，整体成本相对较高。

基于机器人的变电站巡检系统需要较高的可靠性与稳定性，所以本文的导航定位系统采用双排磁感方式。前排的传感器主要的作用是导航与减速，后排的传感器的主要作用是定位，通过前后排传感器来对机器人的运动轨迹进行实时检测，同时伺服控制系统对机器人运行进行实时调整，使机器人沿着预先设定的路

线运行。该导航定位系统具有较高的可靠性与稳定性，整体的施工工作量较小，

一旦巡检路径产生改变，仅需要对机器人的目标线路进行修改就能实现。

2.3.2 自动充电及能源管理自动充电结构主要包含充电式与车载部分，基于机构形式可以划分为：

(1) 上置式该方式的接触点主要在机器人车体的上方，地面连接触点在机器人处于充电位置时与车载结构完成自动对接，当机器人离开充电台时，两者自动脱落。

(2) 侧置式该方式的接触点主要在机器人车体的两侧，当机器人充电时，地面连接触点与车载结构是侧向对应，由其中任意一侧伸出机构来进行对接。机构在充电结束后缩回，与车载结构脱离。

(3) 后置式 13

该方式的接触点主要在机器人车体的后侧，当机器人充电时，地面连接触点与车载结构是自动对接，当机器人离开充电台时，两者自动脱落。

本文基于机器人的智能巡检系统的充电机构，不仅具备基本的充电功能，还具备坐标复位位置零的功能，其主要包含机器人的方位与坐标，通过对比分析最终选取自动充电结构的方式为侧置式。为了进一步对电充进行维护和自动充电，该充电机构应装设智能充电器。同时，需要实时监测机器运行过程中车载电池的电量，从而是机器人的正常工作得到保障。

2.3.3 无线通信模块无线通信模块是整个系统信息传输的主要模块，巡检机器人的巡检数据传输、任务的调度及后台监控均与该模块息息相关。点到点是无线网络所常用的通信方式，该方式的可靠性较低，严重威胁巡检工作的稳定性。

随着网络机构的不断发展，Mesh 网络逐渐被人们关注，其是一种新型网络结构，数据能够达到多链路和多通道传输。该网络选用易架设、搞宽带和低成本的组网方式，使整体网络系统的宽带量和数据传输可靠性得到一定程度提升。本文基于变电站的实际工作环境，搭建无线 Mesh 网络的无线通讯系统。

无线 Mesh 网络的无线通讯系统的最大优势是极大程度减少有线 AP 或有线设备的数量。其与传统交换式网络相比，具有高宽带、非视距传输、结构灵活、

安装简便及稳定性高等特点。每个节点在 Mesh 网络机构当中的传输路径均不唯

一，基于各个节点的数据与数据包大小进行动态的通讯，从而使通讯堵塞的现象得到有效规避。具体的设计方案如 2-2 所示。 14

图 2-2 无线网络的机器人

2.3.4 图像识别模块变电巡检员在日常选件过程中需要对大量的设备进行读数、拍照及测温。其中，读数主要通过可见光摄像机完成，红外热成像仪主要用于温度测量。巡检过程总需要读取数据的设备主要包含：开关状态、数字显示表和指针仪器等，实物如下图 2-3 所示。

图 2-3 数据读取部分设备自动读取仪表数据是机器人相当高级的重要功能，同样其也是取代传统巡检的技术难点之一。影响仪表数据读取准确度的主要影响因素有：

(1) 机器人水平旋转姿态角度；

(2) 仪表表盘成像质量受外界光照条件的影响；

(3) 云台进行重复定位的精度；

(4) 仪表与可见光摄像机的成像角度:

双排磁传感器导航定位, 具有相对较高的重复定位精度, 但是依然无法保障 15

同位置**仪表成像重复性, 需要相应的图像处理技术来对仪表图像进行对准与匹配操作。**选取基准图像区域, 能够使待测目标实现精确对准, 最终通过红外及可见光对设备温度及数据进行采集和读取。

2.4 控制系统设计基于变电站需求及整体架构, 对巡检机器人的移动站控制进行设计, 整体的方案如下图 2-4 所示。整个控制框架主要包含: 无线网络**通讯模块、伺服驱动模块、自动充电系统、主控模块、导航定位模块、**云台控制模块及避障模块等。

图 2-4 智能巡检机器人移动站控制方案图整体控制方案由伺服驱动器、交换机、**声光报警灯、工控机、行程开关、电池、工业无线、激光雷达、磁传感器**及云台系统等部件连接而成。

2.5 系统总体设计变电站智能巡检系统的检测装置为移动巡检机器人, 其主要由后台监控系统与移动站系统构成, 将组成**系统统称为变电站巡检机器人系统。本文所设计的智能巡检系统的整体结构图**如下图 2-5 所示。 16

巡检机器人后台监控系统机器人遥控操作巡检任务设置与调度图像处理巡检数据、机器人状态查询巡检报表生成与查询工业无线巡检机器人(移动站)

其他传感器导航定位模块伺服驱动模块自动充电及能源管理避障模块嵌入式主控模块网络集线器可见光采集红外采集系统视频服务器云台云台双系统无线通讯模块图 2-5 智能**巡检系统整体设计结构图**

2.6 本章小结本章节主要对智能巡检系统的架构进行阐述,首先基于对智能巡检系统的整体构建进行介绍, 并分别介绍构建中各个分层的具体含义; 其次对智能系统的关键技术进行介绍与选取; 最后简要描述系统整体的设计方案; 为下文智能巡检系统的具体设计奠定理论技术。 17

第三章智能巡检系统硬件设计

上章对智能巡检系统硬软件功能构架进行介绍,本章节对上章的基础上对智能巡检系统硬件系统进行设计, 对硬件系统当中的重要模块进行分析介绍, 为智能巡检系统的整体搭建奠定基础。

3.1 主控模块

智能巡检机器人的核心为主控模块, 其是体现**机器人执行力的主要组件之**

一。为了进一步提升机器人的可靠性, 本文选取 XP-8741-ATOM 型工控机, 该型号工控机的硬件外形如下图 3-1 所示。

图 3-1 XP-8741-ATOM 型工控机实物图

XP-8741-ATOM 型工控机是**工业级的可编程嵌入式控制器。选用 Intel**

ATOMZ500 系列(32-bit)为主控模块的 CPU, 并且配置双电源输入、8GB 内存和

32GB 闪存、双看门狗、四个 USB2.0 接口、双电池后背 SRAM 及两个 RJ45 接

口。**主控模块的系统选用较为先进的 Windows 系统, 能够与工控公司所拥有的各种 I/O 模块**进行适配。

此外, 工控机还配置 32 路输入模块、CAN 通讯接口控制卡及 NPN 集电极开路输出模块(16 通道), 方便对控制外设备与外部传感信号进行接收, **另外为了对机器人电池电量进行实时监测, 工控机还配置电压检测模块。工控机**选用电池的相关参数如下表 3-1 所示。

表 3-1 工控机电池参数表项目参数电源功率 35W

运行功率 16.8W

输入电压 10V

输出电压 30V

隔离电压 1kV

工作温度 -25~75℃

相对湿度 10~90% 18

为了适应未来发展的要求, 本文设计的智能机器人具有丰富扩展接口, 为增添新功能提供无限可能性。

3.2 自动引导运输车无人自动引导运输车目前在现代化工控系统中得到广泛的应用, 使劳动生产效率得到一定程度的提升, 其能够实现无人避障与自主导航。现阶段常用的该运输车普遍的引导方式主要包含: 磁引导、视觉引导和激光引导。目前磁引导运输车的技术相对成熟, 价格相对较低, 但该引导方式需要提前布设磁条; 视觉引导车的控制系统相对复杂, 整体造价较高, 该方式对环境有较高的要求, 需要提前对工作环境图像信息进行采集; 激光引导具有较强的功能, 但整体价格昂贵, 该方式不需要提前埋线和采集信息。

本文设计的巡检机器人主要的工作场地为变电站室外, 巡检路线相对固定,

故选用磁引导导航方式。现阶段, 自动引导运输车主要对物流车间中的货物进行搬运, 故基于负载形式可以将自动引导运输车划分为牵引式、潜伏式、辊筒式和背压式等。本设计中自动引导运输车的主要任务是承载检测仪器跟上述几种负载形式略有不同, 故选用以背压式为基础的适应性定制形式。

综上所述, 本课题自动引导运输车以合肥松井公司生产产品为基础, 进行适应性定制, 定制磁引导自动运输车如下图 3-2 所示。

图 3-2 定制磁引导自动运输车该定制磁引导自动运输车具备以下优点:

- (1) 支持个性化定制, 能够满足本文的设计要求;
- (2) 可提供相关源代码, 便于后期需求的修改;
- (3) 提供整套通讯协议(Modbus), 便于控制系统的控制;
- (4) 采取 RFID 射频卡进行位置定位, 具有较高的精度。 19

3.3 充电模块

3.3.1 机器人能源模块为了保障机器人的工作需求, 并且符合相关技术规定, 本文所设计要求机器人能够保证 5 小时以上的正常运行时间。正常运行下机器人的电流值为 8A, 那么电池的容量必须大于 30Ah。综合上述数据, 本设计选用 60Ah 锂电池, 如下图 3-3 所示。

图 3-3 锂电池实物图该型号锂电池具有放电特性倍率高、单体容量大、自放电率低、比能量密度高、安全性高和循环使用

次数多等优点。

3.3.2 充电结构本设计的机器人充电结构为侧插式，充电公头与木头硬件结构如下图 3-4 所示。 20

a) 充电公头 b) 充电母头图 3-4 充电硬件图机器人在充电时，控制系统将机器人测量的充电母头和装设在充电桩上的充电公头相连接，进而完成自动充电操作，选用直径 40mm 电缆线为充电线。为了使机器人的充电速度得到保障，需要装设容量为 50Ah 的智能充电器。实际充电机构如下图 3-5 所示。

图 3-5 实际充电结构图

3.4 驱动模块机器人的中的电机是由驱动器来进行控制转动，进而达到对机器人位置进行控制的目的。变电站室外是多数巡检机器人的作业场所，因道路环境相对复杂，

故对于机器人前进速度的要求较低，但是对于运行扭矩和精度要较高的要求，故选取控制电机来作为整个系统的执行电机。常用的控制电机主要有三种，即交流伺服电机、直流伺服电机和步进电机。其中步进电机具有控制性能高、不易受干扰、可靠性强和不长期累积误差等优点；直流伺服电机具有可靠性高、高定位精确度和相应速度等优点。因巡检机器人的驱动方式为直流驱动，故巡检机器人的执行电机选用步进电机与直流伺服电机。 21

机器人提升和旋转各需一台电机，其中旋转电机的主要作用是对摄像机旋转进行有效控制，其定位精度相对较低和负载较小等特点，故选用步进电机；提升电机的主要负责提升，其需要具备刹车功能、定位要求相对较高和负载较大，故选用直流伺服电机。大小摆各装设一台旋转电机，为了有效防止掉电状态下检测设备坠落，致使设备损坏，故采用装设抱闸的直流伺服电机。电机工作的前提是与其相对应的驱动器配套工作才能够正常运行，故在对电机进行选型的实质是对驱动器与电机进行选型。因为系统对电机的负载要求相对较高，对运行速度要求较低，为了进一步提升扭矩，在每台电机上均装设减速器。

电机选型的原则为：

- (1) 电机额定转速高于等于电机实际的工作速度；
- (2) 电机额定转矩高于等于电机实际的工作转矩；
- (3) 负载惯量大于等于 3 倍电机转子惯量；
- (4) 伺服电机最大扭矩大于等于伺服电机实际的最大扭矩；
- (5) 充分考虑电机轴的样式、防护等级和安装方式等。

综上所述原则，电机选取机型如下表 3-2 所示。

表 3-2 电机选型表轴名称电机型号驱动型号提升电机 SMC60S-0040-30ABK-3DKH FD123-LA-000

步进电机 57BYG250B 2H504

大摆电机 SMC60S-0040-30ABK-3DKH FD123-LA-000

小摆电机 SMC60S-0040-30ABK-3DKH FD123-LA-000

3.5 机载传感器设备检测功能和自主导航系统可靠工作的前提为快速和准确的环境感知，智能巡检机器人获取自身状态和外界环境是通过感知环境实现。以智能巡检系统方案需求为指导来对机器人传感器进行选型。本文主要从两个部分对传感器进行选型，即支持移动机器人导航定位的相关传感器选型和用于设备检测额定相关传感器选型。主要包含：姿态传感器、可见光传感器、热成像传感器、超声波传感器、

激光传感器和拾音传感器等。各个传感器的相关参数如下表 3-3 和表 3-4 所示。

表 3-3 用于设备检测的传感器参数表传感器类型项目参数 22

热成像传感器传感器类型多晶硅非制冷焦平面探测器相应波段 8-14 μm

最大图像尺寸 384×288

噪声等效温差 <100mk

最小可分辨温差 MRTD<600mk

焦距 8/25/40/75/100/150mm

可见光传感器传感器类型 COMS

视频输出网络编码输出信噪比 >52dB

信号系统 PAL/NTSC

焦距 59-135 7mm, 23 倍光学变焦最大分辨率 50HZ 25fps

拾音器拾音距离 15m

频率响应 20Hz-20kHz

灵敏度 -39dB

信噪比 60dB

指向特性 45° 宽指向性最大承受音压 120dB SPL

表 3-4 用于导航定位传感器参数表传感器类型项目参数超声波传感器最大量程 8m

最大探测频率 500Hz

精度 3mm

工作温度 -30° -+85°

盲区 1cm

接口 12C

激光传感器探测角度 190°

角分辨率 0.167° /0.25° /0.333° /0.5° /0.667° /1°

响应时间 >10ms

扫描分辨率 25Hz/35Hz/50Hz/75Hz/100Hz

探测范围 0-81m

静态误差 6mm/8mm/14mm

姿态传感器最大量程 2G, 8G/200° /s, 400° /s2.5guass

姿态角静/动态精度 0.1° /0.3°
航向角动态精度 0.5°
航向角静态精度 0.2°
工作温度 -40° ---+85°
更新率 100Hz

接口串口、SPI 等可见光传感器主要是对变电站内的仪表数据进行读取和分析设备的外观，而在实际工作中机器人会与仪表之间的距离相关较远，故需要传感器具备多倍光学 23

变焦和较高的信噪比。热成像传感器的主要任务是对变电站设备进行温度检测，能够对设备温度进行实时监测，故要求其具备较高的温度分辨率。拾音器需要选取分辨率较高和指向性好的声音传感器。热成像和可见光摄像头的视频输出方式均为网络编码输出，视频数据能够由监控后台直接获取。

智能巡检机器人装有二维激光传感器，其水平探测角度高达 190°，与此同时还具有 25Hz-100Hz 扫描频率、80m 测距量程及最小 0.167° 水平角度分辨率等性能。该传感器能够高效获取室外和室内的环境距离信息。

巡检机器人的姿态信息能够由姿态传感器进行测量，其主要对机器人 3 轴磁力计、3 轴角加速度和 3 轴加速度信息进行测量，并将测量的信息进行有效的输出。为了使机器人系统的可靠性得到保障，本设计选用 MTI 公司所生产的高精度姿态传感器。

巡检机器人为了有效测量四周环境和机器人之间的距离，机身装有 6 台超声波传感器，能够使机器人防撞和避障功能得到有效保障。同时机器人机身前后均装设防跌落和防撞板的感应器件，能够办证机器人在遭遇故障物时及时停止运动。

3.6 工业无线路由器巡检机器人与信息中心之间的短消息和文件传输需要搭建无线或有线的通信方式实现。因机器人在巡检过程中需要进行移动，故有线通讯方式实现的可能性较小，本设计中信息选取无线传输方式，同时机器人巡检过程中会受到变电站内部磁场的严重干扰，所以要求所选无线路由器具备较高的抗干扰力，且路由器具有客户端和 AP 两种模式，满足组网要求。

综合上述要求，本文选用 InRouter615-S 工业路由器，其实物如下图 3-6 所示。 24

图 3-6 工业路由器

3.7 云台双视系统结合前面记载传感器选型，对应选取相应的红外摄像机与可见光摄像机，其中红外摄像机选取 DS-2CD2T55F (D) -I5 型 500 万像素红外网络摄像机；可见光摄像机选用海康 DS-2ZCN3007 型，两种摄像机的实物如下图 3-7 和 3-8 所示。

图 3-7 DS-2CD2T55F (D) -I5 型红外摄像机图 3-8 海康 DS-2ZCN3007 型 可见光摄像机上述两摄像设备和 FY-SP25 云台配合构成云台双视系统硬件结构，机器人整体如下图 3-9 所示。 25

图 3-9 巡检机器人实物图图 3-9 中所显示的 云台系统能够进行角度回传，重复定位精度高达±0.10，预置位的个数不受限制。

3.8 本章小结本章在上章节的设计的整体框架下对机器人智能巡检系统的硬件进行设计，分别对主控模块、自动引导运输处、充电模块、驱动模块、机载传感器、工业无线路由器和云台双系统的硬件进行设计与选型，进而搭建起巡检机器人硬件系统。 26

第四章智能巡检系统软件设计

4.1 基站软件软件设计

4.1.1 基站软件功能设计基站 软件的功能主要完成对巡检机器人实际运行状态的数据分析、控制、检测、操作和距离等过程，其主要通过 C 语言来进行编译，并以 Wlindows 系统基础平台仅完成相应功能的研发。本文软件功能的重点是通过交互界面实现对机器人的检测和控制，能够为机器人的运动规划带来环境信息与命令支持。

软件功能主要包含 8 个 模块，即配置模块、系统查询模块、图像监控模块、数据储存模块、报警输出模块、机器人状态显示模块、机器人控制模块和巡视任务管理模块。

4.1.2 基站软件各模块功能设计通过红外热像仪进和可见光摄像机能够对巡检机器人进行实时全程监控，并且对机器人传递的图像进行接收与显示，与此同时利用云台摄像头与录像来完成相应的自动抓取工作。各模块在运行中均能够对图像和视频进行调用的功能，例如报警模块在发成故障时，可以对故障录像进行调取，因此在软件设计的过程中能够实现功能类型与界面之间分离，软件整体的结构关系如下图 4-1 所，整体的控制流程图如下图 4-2 所示。

指 标
疑似剽窃文字表述
1. 第五章：结论与展望。对本文研究内容进行总结，并针对本文研究过程当中的不足进行展望。
2. 无线通信模块是整个系统信息传输的主要模块，巡检机器人的巡检数据传输、任务的调度及后台监控
3. 机器人执行力的主要组件之一。 一。为了进一步提升机器人的可靠性，本文选取 XP-8741-ATOM 型工控机，该型号工控机的硬件外形如下图
4. 主控模块的系统选用较为先进的 Windows 系统，能够与工控公司所拥有的各种 I/O 模块
5. 3 充电模块 3.3.1 机器人能源模块为了保障机器人的工作需求，并且符合相关
6. 模块，即配置模块、系统查询模块、图像监控模块、 数据储存模块、报警输出模块、机器人状态显示模块、机器人控制模块

3. 001_第3部分		总字数：10029
相似文献列表		
去除本人文献复制比：25.6%(2569)文字复制比：25.6%(2569)疑似剽窃观点：(0)		
1	2132313195+牛祉霏-卢锦玲 - 《学术论文联合比对库》- 2016-04-28	20.7% (2076) 是否引证：否
2	变电站设备巡检机器人系统研究与应用 牛祉霏 - 《学术论文联合比对库》- 2016-04-17	19.1% (1918) 是否引证：否
3	基于智能机器人的智能变电站巡视系统应用研究-赵海龙 - 《学术论文联合比对库》- 2013-11-05	17.6% (1762) 是否引证：否
4	9_杨琰冲_220kV虹桥变电站机器人巡视系统研究与应用 杨琰冲 - 《学术论文联合比对库》- 2017-09-24	17.4% (1747) 是否引证：否
5	浅谈变电运行中红外测温技术的应用 田宏燕; - 《科技创新与应用》- 2014-12-08	2.7% (270) 是否引证：否
6	智能巡检机器人在无人值守变电站的应用 马一鸣(导师：孙海峰;宋彦军) - 《华北电力大学硕士论文》- 2017-06-01	1.9% (188) 是否引证：否
7	变电站机器人智能巡检技术及应用效果 彭向阳;金亮;王锐;易琳;陈国强; - 《高压电器》- 2019-04-16	0.5% (48) 是否引证：否
原文内容		

27

实时界可见光图像红外图像控制命令界面电子地图界面状态/报警界面非实时界面历史记录查询界面及功能控制命令界面控制命令界面控制命令界面后台处理模块（功能模块）

图像处理声音处理控制命令处理[全局路径规划通讯模块状态信息分析报警处理数据库操作实时数据库的建立和初始化](#)实时数据区实时数据库物理数据区系统配置文件录像文件数据库系统图 4-1 软件层次结构图 28

图 4-2 整体控制流程

4.1.2.1 图像监控模块

该模块的功能类别为 CMonitor 类，其主要是由 CInfraredDM60 与 CVideoProcServ 两个类的实例构成，图像监控模块的整体结构如下图 4-3 所示。

基于类 CVideoProcServ 来实现可见光的相关功能，从本质上来讲上述类是将[视频服务器的相关功能进行封装，通过这个类全部输出模拟视频的装置均能够](#) 29

实现，其中可见光就是发个很好的实例，该类的核心函数如下表 4-1 所示。

可见光摄像机视频服务器通讯控制模块视频采集模块光学控制模块红外摄像机通讯控制模块视频采集模块数据采集模块图 4-3 监控模块结构图表 4-1 可见光类函数表

函数解释

[bool Play \(int hWnd\) 开始监视](#)

[bool Stop \(int hWnd\) 停止监视](#)

[bool Recstart\(int hWnd, chary* filename\) 启动录像](#)

[bool Recstop \(int hWnd\) 停止录像](#)

[bool Capture \(int hWnd, chary* filename\) 捕捉图像](#)

[bool SetTime \(\) 设置服务器时间](#)

[bool SetRS485 \(\) 设置 RS485 参数](#)

[bool SendRS485Data\(\) 发送 485 串口数据](#)

[bool ZoomIn \(\) 焦距拉远](#)

[bool ZoomOut \(\) 焦距拉近](#)

[bool ZoomStop \(\) 调焦停止](#)

[bool Zoom\(int plp2, int p3\) 参数调焦](#)

[bool OpenSound\(\) 打开双向语音](#)

[bool CloseSound \(\) 关闭双向语音](#)基于 CInfraredDM60 类来实现[红外热成像仪功能](#)，由于检测温度是红外热成像仪的主要功能，所以该类封装了热成像测温的一些条件参数。

[因为红外热成像对设备的测温需要经历一定的时间，为了不对基站系统中的其他功能造成影响，选用信息处理的方法来对热成像仪反馈回的温度进行处理，](#)

[需要模块提供针对反馈温度相关消息的处理函数。具体处理函数如下表4-2所示。](#) 30

表 4-2 红外热成像相关[函数表反馈温度处理函数表](#)

函数解释

[void CloseAlarmMsg\(\) 温度消息响应函数](#)

[float OnMsgTempValue\(WPARAM wParam, LPARAM lParam\)](#)

温度报警消息响应

温度报警函数表

void OpenAlarm(float alarmTemp, float alarmTempLow)

打开并设定全屏最高温度报警

void CloseAlarm () 关闭全屏最高温度报警

bool Get IsAlarm () {return m bAlarmFlag;} 获得是否报警

void OpenAlarmMsg(int temp, int color ID)

打开温度报警，这是开启红外

仪的报警消息

int OnMsgTempAlarm(WPARAM wParam,

LPARAM lParam)

关闭温度报警

连续测温的功能函数

bool GetFullScreenTemp(int mode)

mode=0 为一次获得温度，mode=1 为

连续获得温度

void StopTemp () 停止连续测温

4.1.2.2 巡视任务管理模块巡视任务管理模块主要包含定时运行、任务删除、任务保存、任务新建和人工指令下达等功能。除上述功能外，该模块还包含巡视任务的删除与新建，操作者可以对自运行的而时间进行自主调节。当巡视机器人达到预定的巡检地点时，

将信息反馈至基站，基站发出相应的任务指令，机器人接收到指令之后开始开展对应的巡检工作，目前机器人的工作任务主要涵盖自动充电、移动目标监测和红外温度采集等，当工作任务完成之后，向机器人发布后续需要停靠位置的信息指令

。为了达到指令任务的灵活下达，本文特别设计了枚举类型 StayPointAction，该类型当中每个动作作用想用的位来进行表示，假设首位代表检测，那么第二位就代表充电。基于该类型的变量来下达机器人的动作命令。机器人执行动作可以通

过枚举类型中的位和运算来实现，例如检测和充电可以通过 SA_Check&SA_Charge 同时实现。枚举类型 StayPointAction 的具体函数如表 4-3 所示。

表 4-3 枚举类型 StayPointAction 函数表

函数解释SA_Nothing=-1 没有动作 31

SA_Check=1 检测

SA_Charge=2 充电

SA_JncSpeed=4 加速

SA_DecSpeed=8 减速

SA_LeftTurn=16 左转

SA_RightTrun=32 右转

SA_Left_90_Turn=64 左转 90 度

SA_Right_90_Turn=128 右转 90 度SA_180_Turn=256 原地转弯以数据的方式将配置好的任务储存至 MySQL 数据库

当中的 task 表中。其中执行的手段通过 autotask 项来进行表示，当任务是手动执行时，表示项显示为 0，

反之为自动自行，基站通过 run time 项中所规定的时间向机器人自动发送规划的

任务。

CAutoPatrol 类和相应界面共同构成巡视任务管理模块，下发任务配置信息和任务的核心类为 CAutoPatrol，其主要的函数如下表 4-4 所示。

表 4-4 CAutoPatrol 类核心函数表

函数解释

void StartPatrol(map<int, int> stayPoints)

开始一次巡逻任务

巡点由 map<停靠点，机器人动作>组成

void SendStayPointsConf () 把停靠点的配置信息发给移动站

4.1.2.3 机器人控制模块机器人控制模块主要的作用包含：移动目标的检测、云台动作远程控制、机器人运动远程控制和摄像机远近控制等。上述的控制动作主要通过键盘鼠标来完成。

在键盘当中设定一定的常用键位，进一步便于对机器人进行手动遥控。设置W/S/A/F/Q/R 六个键位功能来完成云台复位、停止和四个方向等操作命令。

机器人控制模块的结构如下图 4-4 所示。 32

无线网络系统保障控制系统路径规划模块手动控制模块移动站系统图 4-4 控制模块结构图

4.1.2.4 数据存储模块选择 MySQL 数据库来储存基站信息，基站数据库系统总共设计 7 张表来进

行数据储存和记录，上述 7 张表分别为：task 任务表、dev_level_map 设备表、

checkpoint 测点信息表、event_log 事件日志表、safety_patrol 巡视记录表、event_

table 事件类型表和 dev-level 设备层次表。

选取 CDatabaseManager 类为数据操作的类型，由于机器人可能在运行过程中出现几个模块同时对数据库进行操作的情况

，故数据储存模块在设计过程一定要具备一定程度的线程无关。数据查询时，首先调用 g_DBLock.Lock() 对临界区域进行锁定，数据库查询操作如下：

```
if(!mysql_real_query(m_pMysql, query, strlen(query))) {  
pResult=mysql_store_result(m_pMysql); }
```

当查询结果获取之后便调用 g_DBLock.Unlock() 来对临界区进行解锁。

4.1.2.5 查询模块查询模块主要由历史为查询、报表生成和日志查询三部分组成。其中日志查询时对机器人控制信息和日常运行情况存入数据中的内容进行查询，查询模块的整体结构如下图 4-5 图。 33

历史数据库数据查询模块历史温度曲线查询报表移动站系统日志查询图 4-5 查询模块的整体结构

4.1.2.6 机器人状态显示模块机器人状态显示模块主要将机器人的实时数据与对应信息向客户展示，因为整个信息的规模庞大，故显示的过程中需要将庞大的信息进行划分归类。具体显示如下图 4-6 所示。

图 4-6 机器人部分显示模块由图 4-6 可知，基于标签的办法来对机器人的相关信息进行归类，并且通 34

过 windows 进行管理，上图中主要有运行日记、机器人信息日记和事项框。

4.1.2.7 报警输出模块该模块主要对机器人的基本状况进行判定。当系统有报警信号发生时，机器人进行报警，同时对数据进行采集和储存。报警输出模块的整体结构如下图 4-7

所示。

移动站系统无线网络模块超声波传感器报警模块图 4-7 报警输出模块整体结构图为了报警的实时性得到保障，本位选用 windows 底层 api 来作为语音播放的函数。对报警消息进行排序，筛选得到优先级较高的报警信息，从而对报警信息进行分类处理。

4.1.2.8 配置模块配置模块主要是为基站系统当中的一系列模块进行配置，例如机器人速度调节和超声传感开关，同时对基站内部全部检测点与设备等信息进行检测。

4.2 自动充电系统充电桩与机器人机身共同组成自动充电系统，该系统的具体流程如下图 4-8

所示。首先对当前巡检任务能否完成来进行判断，由判断结果来决定其是否要继续工作，同时对是否需要充电进行判断。当机器人巡检任务全部完成后，返回巡检起始点的充电桩进行充电；当判断机器人电量处于较低水平时，完成目前工作立即返回进行充电操作。 35

开始是否完成当前巡检任务继续导航否是机器人回到起始点机器人掉头机器人后退是否检测到行程开关信号否是机器人停止开始充电结束图 4-8 自动充电流程图

4.3 导航定位系统机器人的导航具体流程为：导航开始后，对机器人是否需要立即停止或是否检测到障碍物进行判断，当判断是时，机器人的速度下降至零，反之继续前进。

机器人在前进过程中，如前端传感器检测到障碍物时，机器人的速度逐渐减小，最终停止前行，等故障清楚后，再次起步出发。机器人导航定位的具体参数如下表 4-5 所示。本文运用蚁群算法来进行巡检路径优化，具体分析如下。

表 4-5 机器人导航定位的具体参数

参数解释

i SpeedAverage 平均速度

i RightMotorSpccd 右轮速度

iLastVelocityDifference 上一次差速

i MagnticOrdinal 检测到磁场的磁传感器序数和

i Magntic Ordinal Back 检测到后排磁传感器序数和 36

i MagneticAveragePostionBack 后排磁传感器平均位置偏差

i MagneticAveragePostion 前排传感器平均位置偏差

iLeftMotorSpccd 左轮速度

i Velocity Difference 当前差速

temp Value=0x0001 磁传感器位数比较

i MagneticNumber 前排磁传感器点亮数量

i MagnticN umbcrBack 后排磁传感器点亮数量

iLaslMagnticAvcragcPostion Back 上一次后排传感器平均位置偏差GctAveragcPosilion 获取平均位置

4.3.1 蚁群算法基本原理通过对蚂蚁进行生物学研究与观察可知其会在出穴觅食过程所走过的地方留下相关的信息素来当做标记，其他蚂蚁通过时能够对信息素进行感知。由于蚂蚁在短路径上经过得次数相对较多，故其在短路径上留下较多的标记（信息素），

此时其他蚂蚁会沿着短路径上的标记进行觅食，这样在短路径上所累积的标记

（信息素）越来越多，上述的过程实质上是一个正反馈过程。随着短路径上的信息素不断的挥发，其他路径上原有的信息素逐步消失，最终只留下短路径上的信息素，因而蚂蚁会在蚁穴与食物之间的最优路径进行觅食。

4.3.2 蚂蚁算法数学模型蚂蚁在 t 时刻由巡视点 i 行走至巡视点 j 的概率为：

k
k
As
ijij
ijij
k
ij
Aj
Aj

tt
tt
P
k 0 (4-1)

式中: t_i

j
----, j_i 在 t 时刻的信息素数量值;
----信息素启发因子;
----期望启发因子;

n_{jidi}

j
...2,1, ----巡视点 i 与巡视点 j 的距离 (欧拉距离);

ij

ij

d

1 ----, j_i 上的启发函数, 其含义为巡视点 i 至巡视点 j 的期望度; 37

k

k

tab UA C, $m_{Uk} \dots 2, 1$ tab ----蚂蚁 k 的禁忌表, 其主要是对蚂蚁 k 已经走过的巡视点进行记录。

将信息素的挥发及外界环境等因素影响进行充分考虑, 需要对信息素挥发的程度进行表征, 本文用 ρ 来便是信息素的挥发程度, 则 $1-\rho$ 便是信息素剩余程度。

当全部蚂蚁均完成巡视之后, 根据全局的信息素来选取最优的路径。

ttti

$j_i j_j l$ (4-2)

m

k

k

$i_j j_j$

tt 1 (4-3)

式中: t_{ki}

j

----第 k 只蚂蚁在 j_i 路径上留下信息素的增量;

m ----蚂蚁群的总数量;

Q ----信息素强度大小;

kL ----蚂蚁 k 所走过的路程。

4.3.3 蚂蚁算法计算步骤蚁群算法步骤如下:

(1) 蚁群的总数量为 m , 总巡视点数为 n 。首先进行初始化, 在初始时刻, 蚂蚁个体计数 $k=1$, 迭代次数 $0 < C < C_{max}$, 最大迭代次数 C_{max}

ax,

N。

(2) 迭代次数 $C < C_{max}$

C

NN。

(3) 蚂蚁计数 $k=k+1$ 。

(4) 根据公式 4-1 来选取下一个巡视点, 并且对蚂蚁 k 的禁忌表进行修改, 将下一个巡视点加入禁忌表当中, 将局部信息素进行更新, $\tau_{ij} = \rho \tau_{ij} + Q / kL$

k

atab Ub U。

(5) 如果 $m_k \geq C_{max}$ 则跳转至步骤 (6); 如果 $m_k < C_{max}$ 则跳转至步骤 (3)。

(6) 根据式 4-2 和 4-3 对每条路径上的信息量进行更新。

(7) 如, m

ax

$< C_{max}$

C

NN, 那么此时不满足结束条件, 返回步骤 (2); 如 $C = C_{max}$, $\max NN$, 此时满足结束条件, 循环结束并将结果输出。38

蚁群算法的整体计算步骤如下图 4-9 所示。

图 4-9 蚁群算法的整体计算框架

4.3.4 路径规划仿真分析以下图 4-10 所示的变电站为例, 利用上述所介绍的蚁群算法来对机器人巡检路径进行优化规划, 从而得到最佳的机器人巡检路径。将实际变电站绘制于平面坐标系当, 其中智能机器人巡检需要巡视的监测点用黑色圆点表示。智能巡检机器人由充电室出发, 对变电所内 22 个监测点进行巡检, 各个巡检点仅需要巡检一次, 当完成全部监测点的检

测之后返回到充电室。 39

图 4-10 变电站平面巡检点示意图按照上述介绍的计算步骤，通过 Matlab 进行仿真计算，在仿真计算的过程当中，相关参数如下：

- (1) 蚁群数量 m22 （当巡视点数与蚂蚁群数量接近或相等时，算法可以在最少的迭代次数内得到最优解）。
- (2) 算法迭代次数为 200 次，即 200m

ax,
CN 。

- (3) 信息素因子设置为 1，即蚂蚁在整个过程当中积累的信息。
- (4) 启发信息因子设置为 2，即蚂蚁选择过程启发式因子相对的重要程度。
- (5) 路径上信息衰减系数值为 0.2，即局部挥发系数的初值。

迭代次数与智能巡检机器人巡检一趟的路径长度之间的关系如下图 4-11 所示。

图 4-11 迭代次数与巡检一圈路径长度之间关系 40

由图 4-3 可以看出，路径总长度随着迭代次数的增加而越来越短，当迭代次数到达 80 次以上，最佳的巡检距离在 270-275m 范围内，当将仿真迭代次数增加至 500 次，距离值依然在上述范围之内，因此本应用的最佳长度 273.9m，最佳巡检路径如下图 4-12 所示。

图 4-12 最优巡检路径图

4.4 运动控制系统运动控制系统主要完成的功能有：检测运动控制模块、电机速度等信息获取及传递、自动停车、自动规划形式、错误信息实施处理和自动转弯等动作及组合动作。运动控制模块的整体流程如下图 4-13 所示。 41

开始有**新的命令**？

是执行新命令障碍处理有正在执行的动作？

是导航算法速度控制算法有障碍物？

否是否计算机器人速度和行驶距离采集机器人状态信息上传否图 4-13 运动控制模块的整体流程图

4.5 图像识别模式整个机器人当中的关键模块为图像识别模块，本文针对图像识别进行程序化设计。该模块首先对红外图像进行采集，并对采集到的图像进行 AD 转换，最终生产二值化结果；将结果与参考区域进行对比，机器人最终的姿态经过调整摄像角度来确定。红外模板数据表如下表 4-6。

表 4-6 红外模板数据表

参数解释

DEVICE ID 基准点 ID
ANGLE HOR 水平角度
REF X 参考点坐标 X
THRESHOLD 图像识别二值化阈值
CROSSNO 巡检点编号
ANGLE VER 垂直角度
REF Y 参考点坐标 Y
PIXELTOYUNTAIANGLE 像素/云台角度比 42

基于上述原理，机器人云台角度目标识别的整体控制流程如下图 4-14。

开始调整云台到预置位寻找红外基准模板是否处于当前视图框内是云台间左调整相应角度获得目标区域获取红外基准模板位置采集红外图像视图中心位置相对模板偏右结束否云台水平旋转图像宽度是云台向右调整相应角度否图 4-14 机器人云台角度目标识别的整体控制流程图

该过程实现的功能说明和主要函数参数如下表 4-7 所示。

表 4-7 目标识别主要函数表

函数名称函数说明主要参数

MovPtzh 调用云台预置位 i AngleHor
FindInfraredModc 查找红外模版
&strPicPath,*pINFRARED_
MOD E_ PARA,
pModeCenter
GetInfraredPreset 获取红外测温点 strCrossNo,PRESET-ARRAY
GetINFRARED-MODE-PAR

A

获取红外模版参数 *pINFRARED-MODE-PARA
NETD VRC apturePicture 图片采集 IRealHandle, *sPicFileName
CKGetImagelInfo 获得图像高度和宽度
plmage, BitCount, Width
Height

4.5.1 可见光目标对准技术实现有效的可见光探测和识别，应首先实现目标的精确对准；需克服机器人 43
停靠位置误差带来的视场对准偏差。

先采用大视场模板匹配来识别需判读目标，调整云台将目标校准到视场中心，然后用小视场观测目标设备或仪表细节，有效提高目标判读准确率。

图 4-15 可见光目标对准技术实施过程示意图

4.5.2 表计识别

4.5.2.1 视觉检测识别技术视觉监测识别算法主要有：
1. 基于“序列图像”和“全景图像”分割的目标识别、测量与分析算法。
2. 基于二维图像特征的高精度微小目标提取检测算法，实现对微小目标，如裂纹、灼痕、漏油等缺陷的高精度视觉检测。
3. 基于模糊处理、神经网络和目标数据库的多判决目标检测识别算法。
4.5.2.2 数字表计识别技术数字表计识别采用如下步骤：
1. 图像预处理。主要包括图像增强、图像平滑、图像倾斜校正；
2. 基于边缘检测和形态学的图像有效区域筛选。对预处理后的图像做行列方向上的像素点相加，像素点相加的总数会大于提前设定的阈值。

图 4-16 数字表计识别过程识别仪表数据、开关状态以及指示灯的信息，通过这些数据和状态信息来判断设备的运行状态。

4.5.2.3 指针式仪表识别技术通常采用 Hough 变换检测角度来读取仪表的数值。 44
基本步骤：
1. 表盘图像的形态学边缘检测。
2. 表盘图像的细化处理。
3. 仪表表盘图像的特征提取。
图 4-17 指针式表计识别过程
4.5.3 红外测温技术
4.5.3.1 红外测温技术原理物质表面的热量会产生红外热辐射。红外测温是对物体表面热辐射出来的热量进行检测，获取单点或区域的热辐射强度，转化为对应的温度（场）数据。在变电运行过程中，变电设备会发生热辐射，利用红外测温技术对其进行检测，判断设备温度是否正常，以此就能判断出设备运行状态，从而达到对运行设备实施监测，从而达到减少甚至杜绝危险事故发生的目的。

4.5.3.2 红外测温判断方式
1、相对温差法判断法变电在运作过程中，电力设施会由于电压、电流而产生热量，若设备导通部位有异常发热现象，由温度测量仪器获取可靠的温度值，并根据相应的算法得出设备发热部位的相对温差。
2、同类比较法这种方法就是将电力设备运行温度与正常状态下的设备温度进行比较，根据 45 其差异判断设备的运行状态。一些由电压导致发热的设备，由于其温度生长的比由电流引起的温升要缓慢，因此其发生故障时，能够利用同类比较法进行判断。
3、热谱图法热谱图法就是通过计算机及相关的软件绘制出设备运行过程中的热谱图，并与正常状态下设备热谱图进行比较，根据两者之间的差别判断其运行状态。

图 4-18 红外测温过程
4.6 本章小结本章对基站软件系统进行设计，分别对图像监控模块、巡视任务管理模块、机器人控制模块、数据储存模块、查询模块、机器人状态显示模块、报警输出模块和配置模块进行软件设计；最后对关键技术控制系统进行设计，分别对自动充电系统、导航定位系统、运动控制系统和图像识别模式进行设计，得到整套机器人智能巡检系统，并运用蚁群算法来探寻变电站巡检的最佳路径，通过仿真计算，
蚁群算法能够在一定程度上缩短最佳巡检路径的搜索时间，同时最佳路径搜索的成果率较大，结合上述所介绍的导航技术，使智能巡检机器人的整体导航技术得到巨大提升。 46

第五章变电站智能巡检系统功能实现与应用
在前面的基础上，本章将所设计的变电站智能巡检系统在某变电站的具体实现情况进行分析，并对智能机器人巡检系统进行调试，针对仪表识别读取、红外测量及远程控制等功能进行检验。
5.1 机器人运行轨道施工针对变电站的实际巡检路线进行机器人智能巡检轨道的铺设。变电站所铺设的路线整体上较为平整，机器人在试运行过程中较为顺畅。但是轨道磁条存在拼接的情况，电缆盖板连接处的拼接情况对机器人的正常运行不造成影响。在机器人转弯处，预留出轮子转弯的区域，使机器人能够较好的完成自动转弯，转弯处磁条铺设的实际情况如下图 5-1 所示。

图 4-1 转弯处轨道磁条铺设情况

5.2 系统应用分析
5.2.1 检测点与表计统计分析本变电站室巡检点总共设置为 3500 个，测点的具体情况如下表 5-1 所示。
表 5-1 测点情况识别手段测点个数 47
红外测量 2432
仪表测量 632
开关分合识别 391
刀闸识别 45
由于机器人观测角度及仪表自身情况，该变电站存在 35 块表计无法进行观测读数，针对该部分仪表，需要后期进行相应的改造后才能够进行观测读数。
定位误差、可见光分辨率、红外分辨率和续航能力等性能指标均符合相关要求。

指 标
疑似剽窃文字表述
1. 视频服务器的相关功能进行封装，通过这个类全部输出模拟视频的装置均能够 29 实现，其中可见光就是发个很好的实例，该类的核心函数如下表

2. speed=4 加速
SA_DecSpeed=8 减速
SA_LeftTurn=16 左转
SA_RightTurn=32
3. 原地转弯以数据的方式将配置好的任务储存至 MySQL 数据库当中的 task 表中。其中执行的手段通过 autotask 项来进行表示，当任务是手动执行时，
4. run time 项中所规定的时间向机器人自动发送规划的任务。
CAutoPatrol 类和相应界面共同构成巡视任务管理模块，下发任务配置信息和任务的核心类为
5. 六个键位功能来完成云台复位、停止和四个方向等操作命令。
机器人控制模块的结构如下图
6. CDatabaseManager 类为数据操作的类型，由于机器人可能在运行过程中出现几个模块同时对数据库进行操作的情况，故数据储存模块
7. 1.2.5 查询模块查询模块主要由历史为查询、报表生成和日志查询三部分组成。其中日志查询时对机器人控制信息和日常运行情况
8. 机器人的基本状况进行判定。当系统有报警信号发生时，机器人进行报警，同时对数据进行采集和储存。
9. 报警信息进行分类处理。
- 4.1.2.8 配置模块配置模块主要是为基站系统当中的一系列模块进行配置，例如机器人速度调节和超声传感开关，同时对基站内部全部检测
10. 有新的命令？
是执行新命令停障处理有正在执行的动作？
是导航算法速度控制算法有障碍物？
否是否计算机器人速度和行驶距离采集机器人状态
11. 采用大视场模板匹配来识别需判读目标，调整云台将目标校准到视场中心，然后用小视场观测目标设备或仪表细节，
12. 在变电运行过程中，变电设备会发生热辐射，利用红外测温技术对其进行检测，判断设备温度是否正常，以此就能判断出设备运行状态，
13. 相对温差法判断法变电在运作过程中，电力设施会由于电压、电流而产生热量，若设备导通部位有异常发热现象，由温度测量仪器获取
14. 得出设备发热部位的相对温差。
2、同类比较法这种方法就是将电力设备运行温度与正常状态下的设备温度进行比较，根据 45 其差异判断设备的运行状态。一些由电压导致发热的设备，由于其
15. 绘制出设备运行过程中的热谱图，并与正常状态下设备热谱图进行比较，根据两者之间的差别判断其运行状态。
图 4-18 红外测温过程
- 4.
16. 图像监控模块、巡视任务管理模块、
机器人控制模块、数据储存模块、查询模块、机器人状态显示模块、报警输出模块和配置模块

4. 001_第4部分			总字数：5409
相似文献列表			
去除本人文献复制比：9.1%(494)文字复制比：9.1%(494)疑似剽窃观点：(0)			
1	智能机器人巡检系统在变电站的应用研究 李焕明(导师：殷豪;宁雪峰) - 《广东工业大学硕士论文》 - 2020-06-01	8.5% (458) 是否引证：否	
2	基于物联网的工业设备智能巡检系统研究 刘重阳(导师：郝晓辰) - 《燕山大学硕士论文》 - 2015-05-01	0.6% (33) 是否引证：否	
原文内容			

本地监控后台和智能机器人之间双向信息交互正产。各类报表、巡检任务模式设置、通信告警及电子地图等功能均符合实际要求。

5.2.2 红外测温应用分析本变电站红外测量的覆盖率达 100%，能够从对角度对设备进行精确观测，观测的效果良好。机器人基于模式识别标定，能够排除太阳能或其他设备对检测设备带来的影响，从而使检测数据的准确性得到进一步提升。

整个变电站总计 1010 块表计，35 块无法观测表计，3 块无法识别表计。由现场观测可知，无法观测表计无法通过相关手段进行有效的解决，只能通过后期改造后再进行观测。

智能巡检机器人均专设红外热像仪器，基本上实现对全站装置的测温操作。
并且采用两个不同角度来对测温点进行测温，本次测试主要针对变电站室外设备进行巡视测温，其中室外设备主要包含：线夹、电抗器、主变、CVT、刀闸、站用变、220kV 设备、500kV 设备、避雷器及电容器等。全站红外测点的总数为 2432 个，随机选取 18 个测点来对比分析人工检测与机器检测数据，结果表明测温数据基本符合误差要求。

基于相同角度与环境温度的条件下，对比分析智能巡检机器人测温与人工红外测温结果进行对比，智能机器人智能巡检系统测温的精度符合相关要求。本文选取 CTA 相开关侧接头的两种测温效果进行对比，测量结果如下图 5-2 与 5-3 所示。 48

图 5-2 CTA 相开关侧接头人工测温图谱图 5-3 CTA 相开关侧接头智能机器人测温图谱测量数据如下表 5-2 所示。

表 5-2 CTA 相开关侧接头的两种测温结果
测温区域最高温度（℃）

CTA 相开关侧接头全图区域 110.30
CTA 相开关侧接头红外 R0 区 111.09

由表 5-2 可知智能机器人巡检系统所测量的温度值为 111.09℃，人工测量的温度值为 110.30℃，误差为 0.97%，符合误差要求（±2℃）。 49

5.2.3 可见光表计识别对变电站室外设备的巡检点进行逐台核对，并针对巡检点进行机器人道路铺设，该变电站总共 1005 块设备仪表，其中 975 块仪表能够被智能巡检机器人在线识别，机器人的覆盖率达 96.7%。选取数字识别算法升级和表计擦拭等方式来提升表计数字准确率与识别率，使表据识别率提升至 99%，读取表计数据的误差控制在 5%之内，表计识别率与巡检覆盖率均符合相关要求。变电站重要表计识别统计如下表 4-3 所示。

表 5-3 重要表计统计表

表计类型总数量未覆盖数覆盖率（%） 识别数识别率（%）

SF6 器室表计 238 33 86.1 205 100

开关分合指示表计 98 0 100 97 100

油位计 68 0 100 68 100

避雷器泄露表计 75 0 100 75 100

变压器油温表 12 0 100 12 98.9

合计 491 33 93.2 458 93.2

各类表计的识别实例如下图 5-4-图 4-5 所示。

图 5-4 机器人 SF6 压力识别图机器人读取 SF6 压力值为 0.54，现场实际的读取数据为 0.54，两者完全一致。 50

图 5-5 避雷器泄露电表识别图避雷器泄露电表现场实际读取值为 0.7，而机器人上传读取值为 0.71，两者十分接近，误差在允许范围之内。

通过对刀闸和开关机械位置指示进行抓取，可以识别设备分合位置状态，具体识别如下图 5-6 所示。

图 5-6 设备分合状态识别由实际情况与机器人传输情况可知，机器人识别设备状态为合，现场识别也为合。

5.2.4 统计数据报表由智能机器人巡检系统的实际应用可知，机器人智能表计识别和红外测温具有定位和定时的优势，该智能巡检方式与传统巡检方式相比，不会受主观因素影响，得到的数据具有较强的可比性，并且容易实现统计功能，能够形成表计读数与红外测温设备巡视报告和曲线图等，具体如下图 5-7 所示。基于曲线图可以对 51

初步的判断与分析设备的运行状态，能够为设备管控与管理提供参考。

图 5-7 统计曲线图

5.2.5 异常报警智能巡检机器人通过红外测温能够为系统提供三种不同的报警方式，即温升报警、超限高温报警和三相对比分析超温报警。当超温现象被监测到时，智能系统后台会产生相应的报警记录与语音提示，并且能够查询以往的报警记录。操作人员能够直观的观察到详细的报警数值与报警图片，同时还会提供相应的设备异常报告。当表计识别数据超过预先设定的范围时，系统也会产生报警。

5.2.6 其他应用智能系统还能够对主变进行录音，并且将录取的音频储存至监控后台，但是对其其他设备的声音，系统不具备录音功能。

该变电站的相关数据仅能通过本站监控后台进行查看，不具备集控功能。

当机器人前方存有障碍物时，机器人会终止巡检工作，自动停止，并且会发出语音提示，提醒相关人员轨道前方存在障碍物，当障碍物移除之后，机器人恢复巡检工作。 52

5.3 效果分析

5.3.1 系统特色及亮点通过上述实际电厂应用情况，智能机器人巡检系统的主要特色和亮点有：

（1）极大提升巡检功能的使用性，其具有各类实用性巡检模式（如开关分合、红外普测、表计读数和精确测温等模式），能够在一定程度上满足电站日常运维工作的基本需求。

（2）基于巡检任务的不同，红外摄像仪能够自动启停，使其使用寿命得到进一步提升。

（3）辅助运维人员进行倒闸操智能机器人巡检系统具备可见光装置位置的自动识别与定点巡检的功能，在倒闸操作的过程中，运维人员充分借助智能系统所具备的功能，对操作人员进监视和检查设备的位置情况，不仅能够实时掌握现场设备的状态，还能够基于视频影像来监督现场操作人员的行为规范，使操作过程中的安全性得到极大的提升。

5.3.2 准确性基于应用效果来分析，智能巡检机器人的红外测温功能基本上满足该变电站现场的工作要求。电站运维人员可以定期对红外测温曲线进行查看，当发现温度曲线呈现升高的态势或报警时，及时发现设备隐患，进而使设备隐患的发现率得到一定程度的提升。

智能机器人巡检过程中可以从正面对表计进行拍摄，识别准确度较高，并且对每次巡检过程中表计的照片进行保存，巡检结果基本上可以使用。由于表计所处环境（光照）、自身结构、朝向及装设位置等因素影响，极个别表计无法被正确识别。定位误差、可见光分辨率、红外分辨率和续航能力等性能指标均符合相关要求。本地监控后台和智能机器人之间双向信息交互正产。各类报表、巡检任务模式设置、通信告警及电子地图等功能均符合实际要求。

对变电站室外设备的巡检点进行逐台核对，并针对巡检点进行机器人道路铺设，该变电站总共 1005 块设备仪表，其中 975 块仪表能够被智能巡检机器人在 53

线识别，机器人的覆盖率达 96.7%。选取数字识别算法升级和表计擦拭等方式来提升表计数字准确率与识别率，使表据

识别率提升至 99%，读取表计数据的误差控制在 5%之内，表计识别率与巡检覆盖率均符合相关要求。

5.2.3 及时性检测系统实时收集各种类型的数据，当完成任务时，机器人下载在计算机检测过程中收集的数据。主机评估该值是否达到报警值。当达到报警值时，实时显示在系统主界面上，以便及时发现错误。

变电所智能机器人巡检系统接手红外测温技术、可见光识别技术等，实现红外测温、设备噪声检测等功能，完成变电所设备运行状态及设备异物识别；全站设施状况全景，自巡逻直升机巡查以来，通过可见光巡查发现了许多事故隐患。

5.2.3 抗干扰性变电站使用的所有类型的设备，特别是外部设备，都应考虑到高压产生的强大电磁场与电子设备之间的干扰。下载任务可由智能机器人有效执行，该智能机器人可从该站点的任一位置和主机之间下载正常的无线电信号传输基本数据。

在最恶劣的天气条件下，智能机器人监视系统可以取代进行特别巡逻的海岸警卫队，这不仅是为了确保其安全，而且也是为了提高其效率。机器人智能监视系统负责台风前后的主要温度测量和仪表测量，并且仍在运行中。因此，使用智能监测机器人大大提高了分站控制中的干扰强度。

5.4 系统不足及提升方法通过现场调试和实际使用，机器人智能巡检系统取得良好的效果，但是依然存在一定的优化进步的空间。

(1) 现阶段机器人智能巡检系统的功能相对全面，操作界面人性化程度较高基于变电站工作的实际需求，机器人智能巡检系统可以增设一键特训的功能，能够实现对特定设备的一键巡检任务。 54

(2) 不断深化智能巡检机器人的数据应用智能选件机器人在执行巡检任务时，会将设备的红外测温图谱进行保存，对设备红外图谱的维护提供便利。在上述功能基础上，增设自动归档功能，设定一

定的周期和时间，能够使设备红外图谱库可以实现实时更新和保存。该功能在一定程度上减轻操作人员维护红外图谱的工作量。

(3) 扩展集控客户端应用的范围目前仅在变电站生产指挥中心装设一套客户端，后期还需要进一步扩大安装的范围，并且设定合理的使用权限，使集控系统的使用效率和适用性得到显著提升。

(4) 机器人智能巡检系统的信息与数据可以通过网页浏览查询现阶段，该功能还无法实现，后期需要建立智能巡检机器人网站，服务器储存，信息和巡检数据经过优化处理后上传至服务器，登陆内网来对数据信息进行查看浏览，便于专业和管理等人员使用。

(5) 协同联动功能机器人智能巡检系统应该和变电站内部的监控系统进行有效的协同联动，该功能主要包含：基于图像自动识别隔离开关和断路器的状态、配合顺序控制系统和被操作对象图像信息的实时显示。现阶段，系统数据相互交互可能存在一定的安全隐患，如何实现协同联动还需进行进一步研究。

综上所述，机器人智能巡检系统在实际电厂应用取得了良好的效果，显著减少现场维护人员的工作量，使变电站的安全性和稳定性得到进一步的提升。

5.5 本章小结本章主要对设计的智能巡检系统在实际电站中的实际应用情况进行介绍，主要介绍了声音采集、红外测温、统计数据报表和可见光表计识别等基本功能实现情况，并对实际运行效果进行深入分析，最后对机器人运行情况进行总结，结果表明，机器人智能巡检系统在实际电厂应用取得了良好的效果，显著减少现场维护人员的工作量，使变电站的安全性和稳定性得到进一步的提升。 55

第六章结论与展望

6.1 结论人工巡检现阶段依然是国内电力系统多数变电站所采用的巡检方式，由于在巡检过程当中所处的操作环境相对恶劣、工作强度较高，致使巡检工作整体效率处于较低水平。由于电力设备在高负荷运行的过程中会产生高温，致使电站设备故障率不断攀升，设备维护强度与强度得到提升。因此电站巡检工作过程中急需加入先进的巡检技术。随着计算机技术、信息通讯技术及人工智能技术的不断发展，机器人智能化巡检系统逐渐进入人们的视野，本文从硬件设备与系统软件开发两方面入手，完成了智能巡检系统设计，使得机器人能够在相对恶劣的环境下进行工作，使工作强度在一定程度上得到降低，最终完成电站智能巡检的任务。

在硬件方面通过对机器人智能巡检系统进行设计，分别对主控模块、自动引导运输处、充电模块、驱动模块、机载传感器、工业无线路由器和云台双系统的硬件进行设计与选型，进而搭建起巡检机器人硬件系统。

软件方面通过对基站软件系统进行设计：(1) 分别对图像监控模块、巡视任务管理模块、机器人控制模块、数据储存模块、查询模块、机器人状态显示模块、报警输出模块和配置模块进行软件设计；(2) 对控制系统进行设计，分别对自动充电系统、导航定位系统、运动控制系统和图像识别模式进行设计，得到整套机器人智能巡检系统；(3) 运用蚁群算法来探寻变电站巡检的最佳路径，

使智能巡检机器人的整体导航技术得到巨大提升。

研究过程中形成以下创新点：

(1) 利用红外测温 and 可见光目标对准等技术，增加各类实用性巡检模式，

如开关分合、红外普测、表计读数和精确测温等模式，能够基本满足日常巡检需求，在一定程度上辅助安全监护人员对站内操作人员在倒闸操作、开关分合等操作上进行安全监护，减轻安全风险。

(2) 运用蚁群算法，优化巡检机器人在站内巡检过程中的路径，在一定程度上缩短最佳巡检路径的搜索时间，同时最佳路径搜索的成果率较大，通过选取最佳路径使智能巡检机器人的整体导航技术得到巨大提升。

(3) 优化机器人智能巡检系统的传感器硬件设计，除可见光传感器、热成 56

像传感器和拾音传感器等检测用传感器外，还选用高精度姿态传感器和 6 台超声波传感器，对机器人 3 轴磁力计、3 轴角加速度和 3 轴加速度信息进行测量，能够使机器人防撞和避障功能得到有效保障，避免巡检机器人在巡检过程中与站内设备发生碰撞对机器人以及站内设备造成破坏。

6.2 展望本文写作时间有限，依然存在一定改善空间，下一步的研究工作主要有：

1) 改善抗电磁能力

本文的设计过程中虽然对机器人的抗磁能力进行一定的考虑，但依然会对机器人造成一定程度的影响，故在后期改进的过程中，需要充分的对机器人抗磁能力进行考虑。

2) 云台双系统

对摄像装置进行进一步的优化, 增设摄像防抖的功能, 在一定程度减少图像采集的误差。 57

参考文献

- [1] 鲁守银, 钱庆林, 张斌等. 变电站设备巡检机器人的研制[J]. 电力系统自动化, 2016, 30(13): 94-98.
- [2] 徐国华等. 移动机器人的发展现状及其趋势 [J]. 机器人技术与研究, 2001, 16(3): 7-16.
- [3] 吴功平, 肖晓晖. 架空高压输电线路巡线机器人样机研制[J]. 电力系统自动化, 2016, 30(13): 90-93.
- [4] 肖晓晖. 高压输电线路巡线作业机器人中若干动力学问题的研究[D]. 华中科技大学, 2005: 9-30.
- [5] ZhangK, WuYH. An Application Study of Ceramic Bearings for NC Machine Tools Spindle Unit[J]. Machine manufacture, 2002, 15(4): 33-35.
- [6] T.F.Cootes, G.V.Wheeler, K.N.Walker, et al. View-based active appearance models[J]. Image and Vision Computing, 2002, V20(20): 657-664.
- [7] Tang Li, Fang Lijin, Wang Hongguang. Development of An Inspection Robot Control System for 500KV Extra-High Voltage Power Transmission Lines[A]. SICE Annual Conference in Sapporo[C]. IEEE, 2004: 18-24.
- [8] 鲁守银, 钱庆林, 张斌等. 变电站设备巡检机器人的研制[J]. 电力系统自动化, 2016, 30(13): 94-98
- [9] 徐国华等. 移动机器人的发展现状及其趋势 [J]. 机器人技术与研究, 2001, 16(3): 7-16.
- [10] 张明路, 丁承君, 段萍. 移动机器人的研究现状与趋势[D]. 河北工业大学学报, 2016, 33(02): 110-115.
- [11] 鲁守银, 苏建军. 机器人在变电站设备巡检中的应用[J]. 机器人技术与应用, 2017, 5(1): 33-36.
- [12] Liao. Gwo-Liang. Optimal maintenance policy to support the operation of manufacturing with minimal and delayed repair. International Journal of Reliability, Quality & Safety Engineering, Volume 16, Issue 3, 2009, Pages 235-247.
- [13] K Watanabe, J Tang, M. Nakamura. Mobile Robot Control Using Fuzzy Gaussian 58 Neural Networks[C]. Proc of International Conference on Intelligent Robots and Systems, 1993, 919-925.
- [14] K Kozłowski, D Pazderski. Modeling and Control of a 4-Wheel Skid-Steering Mobile Robot[J]. International Journal of Applied Mathematics and Computer Science, 2004, 16(4): 477-496.
- [15] 董吉文, 冯立强, 鲁守银等. 变电站巡检机器人控制系统设计[J]. 微计算机信息, 2015, 25(2): 220-222.
- [16] 李向东, 鲁巧银. 基于无线局域网的变电站巡检机器人的多级通信系统[J]. 山东科学, 2004, 17(3): 32-37.
- [17] 李静. 变电站智能巡检系统研究[D]. 青岛理工大学, 2012.
- [18] 赵东瑾. 500 kV 变电站智能巡检系统设计[D]. 华北电力大学, 2017.
- [19] 张贺军. 面向状态检修的变电站智能巡检系统研究[D]. 华北电力大学, 2013.
- [20] 周友武, 刘明军, 叶爱民, 等. 一种适用于电网中智能安全帽系统的研究与测试[J]. 江西电力, 2017, 41(12): 21-24.
- [21] 钱金菊, 王柯, 王锐, 彭向阳. 变电站智能机器人巡检任务规划[J]. 广东电力, 2017, 30(02): 143-149.
- [22] 李祥, 崔昊杨, 曾俊冬, 江超, 唐忠. 变电站智能机器人及其研究展望[J]. 上海电力学院学报, 2017, 33(01): 15-19.
- [23] 彭林, 王绍亚. 巡检机器人在无人值守变电站的应用探究[J]. 电子世界, 2017(01): 157-159.
- [24] 鲁守银, 张营, 李建祥, 慕世友. 移动机器人在高压变电站中的应用[J]. 高电压技术, 2017, 43(01): 276-284.
- [25] 徐平, 刘悦. 基于改进 Kruskal 算法的变电站机器人路径规划[J]. 广东电力, 2016, 29(12): 6-9.
- [26] 李震. 山东电网变电站机器人系统设计与应用研究[D]. 华北电力大学, 2017.
- [27] 郝永鑫. 变电站全地形巡检作业机器人结构设计与实现[D]. 山东大学, 2016.
- [28] 刘超凡, 叶海彬, 刘凯. 巡检机器人在 500kV 无人值守变电站的应用研究[J]. 供用电, 2016, 33(09): 69-72.
- [29] 郭峰. 轨道式变电站设备巡检机器人的设计与应用[D]. 辽宁科技大学, 2016. 59
- [30] 牛社隼. 变电站设备巡检机器人系统设计方案的研究与应用[D]. 华北电力大学, 2016.
- [31] 史思总. 基于 ROS 的室内变电站设备巡检机器人定位技术[D]. 西南科技大学, 2016.
- [32] 侯晓东. 220KV 变电站机器人巡检系统的设计[D]. 长春工业大学, 2016.
- [33] 丁思奎, 李健. 变电站巡检机器人应用中存在的问题分析及解决方案[J]. 电工电气, 2016(02): 57-58.
- [34] 丁思奎, 李健. 变电站巡检机器人在实际应用中存在的问题分析及解决方案[J]. 供用电, 2016, 33(01): 80-82.
- [35] 薛长征. 变电站机器人巡检系统管理创新与应用 [J]. 企业技术开发, 2015, 34(35): 45-46.
- [36] 魏苇. 基于差分 GPS 的变电站巡检机器人定位导航系统的研究[D]. 哈尔滨工业大学, 2015.
- [37] 张志飞. 变电站机器人智能巡检系统应用研究[D]. 华北电力大学, 2015.
- [38] 肖娟. 变电站巡检机器人的路径规划研究[D]. 山东建筑大学, 2015.
- [39] 王凯. 变电站巡检机器人关键技术及系统的研究与实现[D]. 电子科技大学, 2015.
- [40] 王金钊. 变电站巡检机器人磁导航系统设计与实现[D]. 西南交通大学, 2015.
- [41] 薛永胜. 变电站巡检机器人 SLAM 算法及其应用研究[D]. 西南科技大学, 2015.
- [42] 杨旭东, 黄玉柱, 李继刚, 李丽, 李北斗. 变电站巡检机器人研究现状综述[J]. 山东电力技术, 2015, 42(01): 30-34.
- [43] 罗俊豪, 颜雨薇. 变电站自动巡检机器人系统及其关键技术[J]. 电气应用, 2014, 33(13): 80-84.
- [44] 唐茂林, 董流, 马向泽. 基于导航识别和红外成像的变电站机器人巡检[J]. 宁夏电力, 2013(06): 19-22.
- [45] 宋晓明. 变电站智能巡检机器人关键技术研究[D]. 长沙理工大学, 2013.

[46] 。四川首家 500 千伏变电站机器人巡检应用研究通过验收 [[J]. 变压器, 2013, 50 (03) :23.

[47]李大伟, 贾鹏飞, 李卫国, 张学龙, 渠展展一种基于卡尔曼滤波与模糊算法 60 的变电站机器人组合导航及控制系统设计[J]. 智能系统学报, 2013, 8 (03) :226-232.

[48]李梁. 变电站巡检机器人视频监控系统设计与实现[D]. 上海交通大学, 2013.


[49]许湘明, 宋晖. 变电站机器人视觉伺服系统研究[J]. 西南科技大学学报, 2011, 26 (04) :61-64+70.


[50]吴晖, 蔡裕, 任仕玖. 变电站机器人双目视觉导航立体匹配方法[J]. 数字技术与应用, 2011 (12) :59-60.


指 标
疑似剽窃文字表述
<div>1. 5.2.3 及时性检测系统实时收集各种类型的数据，当完成任务时，机器人下载在计算机检测过程中收集的数据。主机评估该值是否达到警报值。当达到报警值时，实时显示在系统主界面上，以便及时发现错误。 变电所智能机器人巡检系统接手红外测温技术、可见光识别技术等，实现红外测温、设备噪声检测等功能，完成变电所设备运行状态及设备异物识别；全站设施状况全景，自巡逻直升机巡查以来，通过可见光巡查发现了许多事故隐患。</div> <div>5.2.3 抗干扰性变电站使用的所有类型的设备，特别是外部设备，都应考虑到高电压产生的强大电磁场与电子设备之间的干扰。下载任务可由智能机器人有效执行，该智能机器人可从该站点的任一位置和主机之间下载正常的无线电信号传输基本数据。 在最恶劣的天气条件下，智能机器人监视系统可以取代进行特别巡逻的海岸警卫队，这不仅是为了确保其安全，而且也是为了提高其效率。机器人智能监视系统负责台风前后的主要温度测量和仪表测量，并且仍在运行中。因此，使用智能监测机器人大大提高了分站控制中的干扰强度。</div> <div>5.4 系统不足及提升方法</div>

- 说明：1. 总文字复制比：被检测论文总重合字数在总字数中所占的比例
2. 去除引用文献复制比：去除系统识别为引用的文献后，计算出来的重合字数在总字数中所占的比例
3. 去除本人文献复制比：去除作者本人文献后，计算出来的重合字数在总字数中所占的比例
4. 单篇最大文字复制比：被检测文献与所有相似文献比对后，重合字数占总字数的比例最大的那一篇文献的文字复制比
5. 指标是由系统根据《学术论文不端行为的界定标准》自动生成的
6. 红色文字表示文字复制部分;绿色文字表示引用部分;棕灰色文字表示作者本人文献部分
7. 本报告单仅对您所选择比对资源范围内检测结果负责



 amlc@cnki.net

 <http://check.cnki.net/>

 <http://e.weibo.com/u/3194559873/>