

四足仿生巡检机器人在上湾选煤厂的应用

赵星樁, 张新元

(国能神东煤炭洗选中心 上湾选煤厂, 内蒙古 鄂尔多斯 017209)

摘要:为解决生产系统核心设备依靠人工巡视和检查的问题,上湾选煤厂在智能化建设过程中研发了具备自主行走、自主定位、自主导航、故障诊断等功能的四足仿生巡检机器人,通过对该机器人的多层次巡检场景下路径规划、步态生成与步态转换等技术的研究,使其具备在选煤厂非结构化环境内精确定位和稳定行走的能力,且通过搭载多种传感器实现了对选煤厂生产现场有害气体、温度、湿度等环境因素的实时监测。实际应用结果表明,该机器人能够替代人工完成巡检任务,并具有环境检测、状态判断、异常分析及故障预警等功能。

关键词:选煤厂;智能化;四足仿生巡检机器人;自主巡检

中图分类号:TP249 文献标志码:A 文章编号:1006-6772(2023)S1-0185-04

Application of four-legged bionic inspection robot in Shangwan coal preparation plant

ZHAO Xinglei, ZHANG Xinyuan

(Shangwan Coal Preparation Plant, CHN Energy Shengdong Coal Preparation Center, Ordos 017209, China)

Abstract: In order to solve the problem of relying on manual inspection and inspection of the core equipment of the production system, during the intelligent construction of Shangwan coal preparation plant, a four-legged bionic inspection robot with the functions of autonomous walking, autonomous positioning, autonomous navigation and fault diagnosis has been developed. Based on the detailed research on the path planning, gait generation and gait conversion of the robot in the multi-level inspection scene, the robot has the ability of precise positioning and stable walking in the complex and unstructured environment of coal preparation plant, the real-time monitoring of harmful gas, temperature and humidity in coal preparation plant was realized by carrying various sensors. The practical application results show that the robot can replace manual patrol tasks, and has the functions of environment detection, state judgment, exception analysis and equipment failure early warning.

Key words: coal preparation plant; intelligentization; four-legged bionic inspection robot; self-inspection

0 引言

近年来,随科技水平的不断提高,智能化技术在选煤行业应用越来越多。神东煤炭集团洗选中心上湾选煤厂^[1-2]自2015年开展智能化建设^[3-5]以来,已创新性完成粒度在线检测^[6-7]、数字配电^[8]、视频巡检^[9-10]、效能管理^[11]等关键环节的技术攻关并取得了良好应用。由于选煤厂工艺布置紧凑、设备错层安装、巡检空间有限,且厂房内楼梯、起伏路等较多,目前对生产系统和机电设备的运行状态巡检主要还是依靠人工巡检为主、视频巡检为辅。但该巡

检方式存在以下问题:

1) 选煤厂作业环境复杂,存在一定程度的粉尘和噪声,长时间置身其中会对巡检人员身心健康造成不利影响。

2) 选煤厂系统内设备安装位置高低不一,人工巡检过程中存在诸多风险;且巡检内容点多面广,耗时长、强度大、效率低。

3) 视频巡检无法做到生产系统全面覆盖,目前只能作为人工巡检的补充,不能完全代替人工巡检。

针对上述问题,上湾选煤厂引入了一款采用四足驱动方式的机器人,并结合其特性与实际巡检需

收稿日期:2022-10-29;责任编辑:张鑫 DOI:10.13226/j.issn.1006-6772.22130037

作者简介:赵星樁(1980—),男,陕西榆林人,高级工程师,硕士。E-mail:11664283@qq.com

通讯作者:张新元(1989—),男,内蒙古巴彦淖尔人,工程师。E-mail:410020754@qq.com

引用格式:赵星樁,张新元.四足仿生巡检机器人在上湾选煤厂的应用[J].洁净煤技术,2023,29(S1):185-188.

ZHAO Xinglei, ZHANG Xinyuan. Application of four-legged bionic inspection robot in Shangwan coal preparation plant[J]. Clean Coal Technology, 2023, 29(S1): 185-188.

求进行了二次开发,研发了选煤厂四足仿生巡检机器人。该机器人具备自主行走、自主定位、自主导航、故障诊断等功能,能够代替巡检人员完成日常“望、闻、问、切”的巡检任务,有效减轻员工的劳动强度,降低巡检过程中的安全隐患。

1 四足仿生巡检机器人结构

该机器人由本体和上装 2 部分组成。本体每条腿上有 3 个电机,共有 12 个自由度,具备行走、小跑等运动能力;头部和尾部共配备 3 组深度相机模块,背部安装 16 线高精度激光雷达,内部搭载 3 台主机,分别用于运动系统、感知系统和 AI 计算,实现机器人的行走和避障功能。上装载有交换机、多参数气体传感器、主控板、粉尘传感器、4G 网络模块、云台和升降装置,能够满足现场视觉检测、红外测温功能、有害气体、温湿度、粉尘检测功能。该机器人具备多种巡检方式,包括定时巡检、定点巡检、指定特殊任务巡检、遥控巡检、远程巡检等;当电量不足或到达提前设定好的充电点位时,机器人会自主充电。

2 四足仿生巡检机器人关键技术

2.1 多层次巡检场景下路径规划技术

四足仿生巡检机器人采用 RGB-D 视觉和激光雷达 SLAM 方法,建立基于视觉和激光的 SLAM 的融合改进方法,在视觉失效情况下模式切换策略,建立巡检环境的三维地图。针对 SLAM 的追踪部分,使用 RGB-D 相机和激光雷达,实现四足仿生巡检机器人在室内的鲁棒定位建图。

四足仿生巡检机器人在上湾选煤厂的使用过程中,针对 ORB-SLAM2 中在快速旋转和特征缺失情况下追踪失败的情况,采用了视觉与激光相融合的定位建图方法,如图 1 所示。该方法在视觉和激光均可成功追踪情况下,一方面采用扩展卡尔曼滤波进行位姿融合,在视觉追踪失败的情况切换为激光定位;另一方面改进 ORB-SLAM2 的跟踪策略,在跟踪失败且不考虑闭环的情况下,若满足条件则能实现重新跟踪和建图,达到不间断定位建图效果。同时,采用不同场景下机器人地图自主切换及位姿重构定位算法,实现多层次巡检场景示教式在线路径规划。

2.2 CPG 步态生成与步态转换技术

针对上湾选煤厂实际情况,采用 CPG 振荡器模型组建四足仿生巡检机器人的 CPG 控制网络,通过分析 CPG 模型各参数对输出的影响,修正 CPG 控制网络参数,构建机器人攀爬楼梯步态的 CPG 控制模型,进一步实现根据机器人步态切换方式控制四

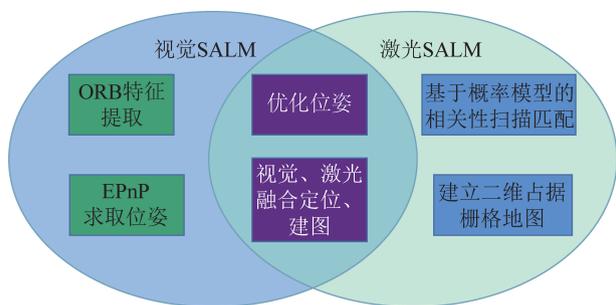


图 1 视觉与激光 SLAM 融合示意

足机器人攀爬楼梯、斜坡等动作。

针对斜坡及楼梯静平衡步态研究采用机器人平面静态行走理论方法,建立仿生四足机器人攀爬楼梯、斜坡的动力学模型。机器人斜坡爬越相对楼梯更容易,因为斜坡上任意一点都可作为落足点,而楼梯的踏步宽度和高度都会直接影响机器人的步态生成。机器人斜坡及楼梯爬越的静态稳定步态可通过将机器人的落足点及各部分重心向水平面投影,如图 2 所示,再应用机器人平面静态行走理论进行稳定性分析,提高机器人自主攀爬楼梯的稳定性。

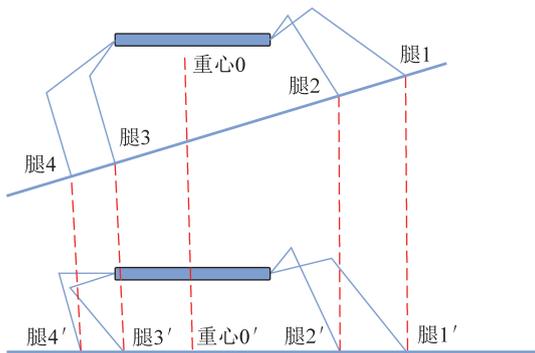


图 2 机器人斜坡及楼梯爬越分析图

2.3 基于虚拟模型前馈的主动柔顺控制技术

对于传统的位置控制模式机械臂,高刚度可提高系统的动态性能,提高控制精度,但是对于四足仿生机器人,高刚度给系统带来较大的冲击,增加了系统的不稳定性,因此需要对机器人进行柔顺控制。主动柔顺控制策略主要有 3 种方式:基于足端力传感器反馈和关节位置控制的阻抗控制、基于关节扭矩感知和关节位置的阻抗控制、基于虚拟模型和关节力控制的柔顺控制。该机器人以虚拟模型为基础,将虚拟模型计算结果作为力前馈的力位混合柔顺控制;建立腿部的虚拟模型,选择将足端在 x 、 y 、 z 三个方向上的弹簧阻尼模型作为虚拟模型,如图 3 所示。

基于虚拟模型分析关节角度信息,计算得到实际足端位置,带入虚拟模型中,计算得到 3 个方向上所需要的力。将虚拟模型计算出的力作为关节的直接力前馈,与关节位置 PD 控制计算到的出力叠

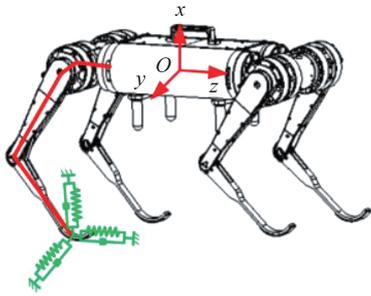


图3 腿部虚拟模型

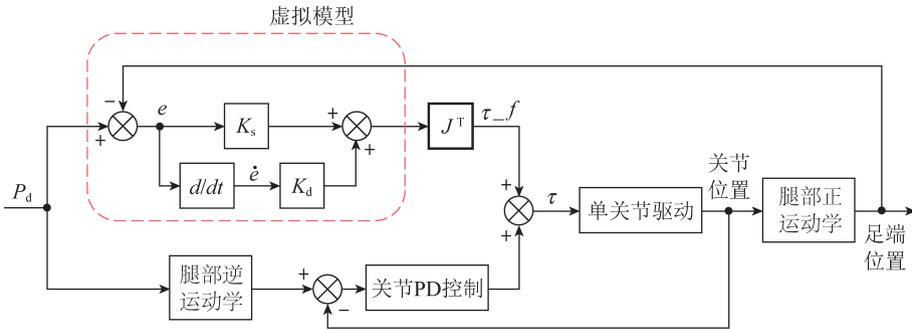


图4 基于虚拟模型前馈的主动柔顺控制

致系统带宽下降,响应速度降低,难以实现高品质柔顺控制的问题。

2.4 基于机器人主动柔顺控制的跳跃控制技术

机器人的跳跃过程分为起跳过程和落地过程,起跳过程是将虚拟弹簧腿压缩后释放,积累的弹性势能使机器人起跳腾空;落地过程可以认为是机器人在起跳的最高点自由释放,而后落地缓冲的过程,如图5所示。

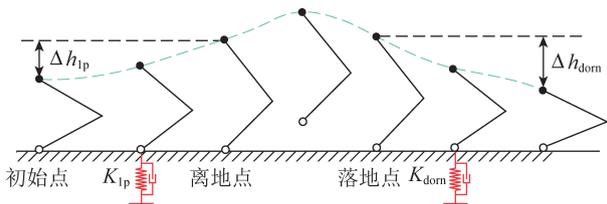


图5 机器人跳跃过程示意

由于在起跳过程中需要较大的力推动机器人弹起,因此起跳过程腿部虚拟模型中 x 方向的虚拟弹簧弹性系数很大;落地过程中,若保持弹性系数不变,将导致机器人稳定性降低,落地过程躯干的波动程度大,因此需在落地时调整 x 方向上虚拟弹簧的弹性系数,完成机器人较为平稳的跳跃控制过程。

3 四足仿生巡检机器人主要功能

3.1 多维感知功能

1) 视觉检测功能。具备脱泥筛激振器、浅槽驱动驱动和头尾轮、煤流情况、设备堵等监测功能。采集的图像和视频信息可通过后台软件对视频流解

加,作为关节的力信号。其中,基于虚拟模型前馈的主动柔顺控制框图,如图4所示。

对于传统的柔性策略而言,机器人腿部在离开支撑点时需精确的状态机信号,如果状态机信号不准确或存在延迟,虚拟模型力会使足端有较大的加速度。而基于虚拟模型前馈的主动柔顺控制,一方面位置控制可限制由于状态机信号不准确或存在延迟带来的力的突变,另一方面可在摆动相期间控制足端位置,避免控制模型切换,解决柔性件刚度大导

码,分析可见光视频流中的图片质量,并通过和热成像画面比对确认激振器、浅槽驱动和头尾轮状态是否存在异常、高温等情况。

2) 红外测温功能。能快速检测脱泥筛激振器温度,浅槽电机、减速机、头尾轮和随动轮温度,实现设备关键部件的温度检测、分析、判断,高低温异常及时报警。

3) 有害气体检测功能。机器人内安装有多合一气体传感器、粉尘传感器、气泵,利用气泵将周边的气体输送到相关的传感器内,对主选车间巡检路线的甲烷、氧气、一氧化碳、二氧化碳、粉尘等进行准确感知,当测得数据大于或低于设定的阈值,四足仿生巡检机器人将报警信息反馈到控制终端,并以声音、警示灯等方式提醒人员注意处理。

4) 自主避障和绕障功能。巡检现场经常会遇到现场维修检查等情况,有时检修人员会在巡检路线存放备件、工具等障碍物。机器人在运行过程中激光雷达会持续的对周围环境进行扫描,当在巡检路径上检测到人或障碍物时,会提前重新规划路线,到达障碍物处时会及时的绕开障碍物到设立巡检点;若障碍物正好在巡检点处,机器人会跳过该点直接前往下一个巡检点进行检测;若障碍物无法绕开,机器人会在原地踏步,从而保证安全。

5) 无线通讯功能。四足仿生巡检机器人可通过现场的4G专网实现数据的传输任务。

3.2 自主巡检功能

四足仿生巡检机器人的巡检地点在上湾选煤厂

的主厂房 5 楼,巡检起点是机器人充电房。无巡检任务时机器人在充电房内趴下等待指令,当收到巡检任务时,机器人会站立,切换到踏步状态,开始执行巡检任务;机器人高度达到充电房卷帘门的红外传感器感应高度,卷帘门会自动升起,机器人到达充电房卷帘门位置时门的升起高度大于机器人本身的高度,而不影响机器人的正常巡检。按照巡检任务中已建好的巡检点对 5 楼的 303、304 脱泥筛电机、激振器和 305 重介浅槽分选机驱动进行监测,之后对 361、362 脱泥筛电机、激振器和 305 重介浅槽分选机驱动进行监测,完成后返回充电房,进行自主充电,充满电后机器人自动脱离充电桩在充电房内趴下。此时机器人不在卷帘门的红外感应范围内,卷帘门会自动关闭,完成一次巡检,大约 30 min,具体巡检流程如图 6 所示。

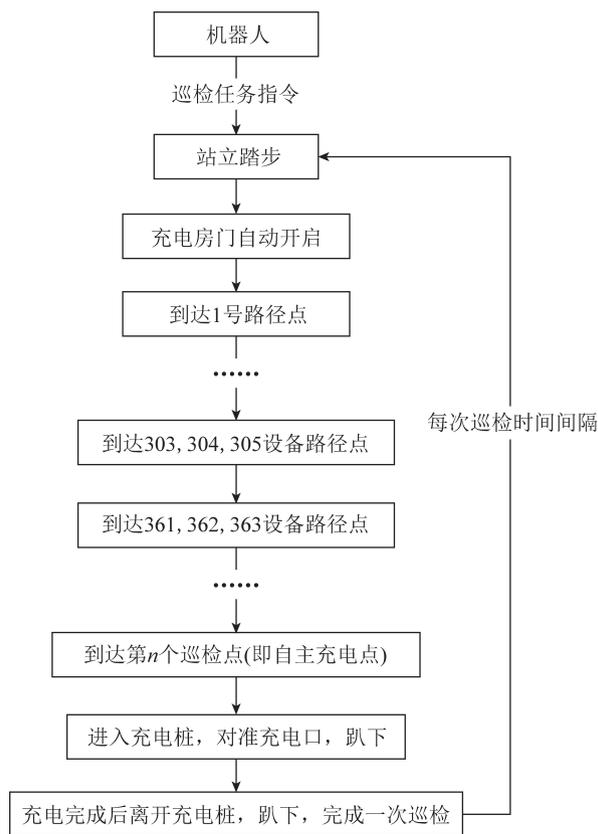


图 6 机器人巡检流程

3.3 远程监控功能

上位机监控系统是远程监控巡检机器人的重要工具,选煤厂岗位人员可以通过上位机远程控制四足仿生巡检机器人。上位机系统具有实时数据展示功能、实时视频监控功能、报警信息展示功能、通讯状态监控功能、图像视觉分析功能、实时位置展示功能。巡检系统监控界面应能够显示机器人状态数据、位置数据与当前环境参数,在环境参数异常时具有自动报警功能,并实时显示网络相机拍摄的井下

环境图像。同时,岗位人员可通过控制界面切换机器人工作模式,控制机器人的运动状态,也可在历史数据库中查询历次巡检的环境参数记录与视频处理数据。四足仿生巡检机器人远程监控界面包括可见光图像采集界面、红外温度监测界面、环境气体监测界面、巡航位置实时状态界面、四足仿生巡检机器人自检状态信息界面。

4 结 论

四足仿生巡检机器人采用先进的四足驱动方式,完成爬楼梯、翻越障碍、跨越沟壑、图像采集、有害气体信息的监测等复杂任务,适合选煤厂等环境较为复杂的场景巡检,可对选煤厂生产系统内环境进行实时监测,结合智能监测装置和分析软件进行全天候的数据快速采集、实时信息传输、智能分析预警与快速决策,完成了对重介浅槽、脱泥筛、环境等从各角度不同重点进行图像采集和远程巡检,自动识别浅槽跳链、溜槽堵塞、筛面煤流偏载等异常情况,自动判断激振器、电机、减速机温度高等故障,自动检测环境气体浓度、温度、湿度和粉尘浓度等。

上湾选煤厂将四足仿生巡检机器人用于主厂房核心工艺设备的日常巡检工作,24 h 不间断巡检,也可根据特定需要进行定时、定点地巡检,极大提高了系统故障的预判能力、降低了巡检人工的工作强度、降低了中夜班人工巡检的安全风险。

参考文献:

- [1] 张新元. 上湾选煤厂筛分系统的改造[J]. 煤炭加工与综合利用, 2017(S1): 99-104.
- [2] 吕宏广. 自清洁筛板在上湾选煤厂的应用[J]. 洁净煤技术, 2019, 25(S1): 5-7.
- [3] 侯强. 上湾选煤厂智能化改造关键技术研究与应用[D]. 西安: 西安科技大学, 2019.
- [4] 匡亚莉. 智能化选煤厂建设的内涵与框架[J]. 选煤技术, 2018(1): 85-91.
- [5] 王诚, 王安佳, 薛红伟. 上湾选煤厂生产系统自动切换改造[J]. 洁净煤技术, 2018, 24(S2): 105-107.
- [6] 粟翠华. 上湾选煤厂物料粒度在线检测创新实践[J]. 洁净煤技术, 2018, 24(S2): 108-111.
- [7] 朱子祺, 陆博, 周成. 上湾选煤厂煤泥水在线粒度浓度测量系统的设计[J]. 中国矿业, 2021, 30(S1): 143-147.
- [8] 薛红伟, 粟翠华. 上湾选煤厂数字配电系统的研发和应用[J]. 洁净煤技术, 2020, 26(S1): 87-91.
- [9] 薛红伟, 高攀. 上湾选煤厂工业控制系统与智能监控系统联动研究与应用[J]. 洁净煤技术, 2020, 26(S1): 98-102.
- [10] 薛红伟, 刘显望, 杨娟利, 等. 基于视频检测的带式输送机纵撕保护系统[J]. 洁净煤技术, 2021, 27(S2): 68-72.
- [11] 张新元, 吕宏广, 周仙丽. 设备运行及效能管理系统在智能化选煤厂的应用[J]. 洁净煤技术, 2021, 27(S1): 165-172.