

Structural Design and Motion Stability Research of Hexapod Reconnaissance Robot for Complex Terrain

Benqing Ma Chuang Zhang Jiaxin Yue Zihan Li Hongru Li

College of Electronic and Information Engineering, Liaoning University of Science and Technology, Anshan, Liaoning, 114051, China

Abstract

With the increasing demand for modern military reconnaissance, traditional manual reconnaissance methods face growing problems such as high exposure risks and delayed transmission. The six-legged reconnaissance robot, with its unique terrain adaptability, has become an ideal tool for reconnaissance. However, existing robots still face certain technical bottlenecks in integrating motion stability and reconnaissance functions. This study designs a six-legged reconnaissance robot that uses servo motors and a triangular gait control system to ensure stable walking in complex terrain. It is equipped with a high-definition camera and a 360-degree rotating gimbal, and utilizes wireless communication and joystick control modules to perform efficient real-time reconnaissance tasks. Through multi-module collaborative optimization of motion stability, image acquisition, and gimbal rotation control, the reconnaissance efficiency and safety are improved. Experimental results show that the robot exhibits excellent stability and reconnaissance performance in complex terrains, providing strong support for military reconnaissance.

Keywords

six-legged reconnaissance robot; stable walking; joystick control; gimbal rotation; real-time reconnaissance

面向复杂地形的六足侦查机器人结构与运动稳定性研究

马本卿 张闯 岳佳欣 李子涵 李鸿儒

辽宁科技大学电子与信息工程学院, 中国·辽宁鞍山 114051

摘要

随着现代军事侦察需求的不断增加,传统人工侦查手段暴露风险高、传输滞后等问题日益严重。六足侦查机器人凭借其独特的地形适应能力,成为一种理想的侦查工具。然而,现有机器人在运动稳定性与侦查功能集成方面仍存在一定的技术瓶颈。本研究设计了一款六足侦查机器人,采用舵机驱动与三角步态控制系统,确保机器人在复杂地形下的稳定行走;搭载高清摄像头和360度旋转云台,通过无线通信与摇杆控制模块,实现高效的实时侦查任务。通过对机器人运动稳定性、图像采集与云台旋转控制的多模块协同优化,提升了侦查效率和安全性。实验结果表明,该机器人在复杂地形下表现出优异的稳定性和侦查性能,能够为军事侦察提供有力支持。

关键词

六足侦查机器人; 稳定行走; 摇杆控制; 云台旋转; 实时侦查

1 引言

随着科技的发展,军事侦察任务对技术设备提出了更高要求。传统的人工侦查手段,虽然在一定程度上能满足部分需求,但依然面临人员暴露、危险高、信息滞后等显著问题。随着机器人技术的不断进步,尤其是六足机器人的出现,解决了传统侦查方式在复杂地形中的局限性。六足机器人凭借多足行走结构,能够适应不同地形环境,避免人员暴露并有效提升任务完成的安全性及效率。然而,当前市面上的六

足侦查机器人多停留在实验原型阶段,仍存在运动稳定性差、侦查覆盖不全、操作复杂等问题。因此,设计一种高效、稳定、全方位侦查的六足机器人,不仅是科技发展需求的体现,也具有重要的军事应用价值。

2 六足侦查机器人的发展背景与应用需求

在军事侦察任务中,传统的人为侦查手段存在暴露风险、伤亡风险及信息传输滞后等问题,这些问题严重影响了侦察任务的效率和安全性。随着科技的发展,机器人技术逐渐成为军事侦察的新趋势。六足侦查机器人凭借其多足结构,具备了较强的地形适应能力,能够在复杂的野外环境中高效行走。其能够在崎岖的地形、狭窄的空间及不规则的表面上行进,为军事侦察提供了新的选择。此外,六足机器人

【基金项目】辽宁科技大学大学生创新创业训练计划项目基金资助。

【作者简介】马本卿(2005-),男,本科,中国山东菏泽人。

能够通过集成高清摄像头、红外传感器等模块，实现全方位的侦查任务，确保信息采集的实时性与全面性。随着军事侦察对精确度、实时性及安全性的需求日益增加，六足侦查机器人的应用潜力不断得到挖掘和实现，成为重要的侦查工具之一。

3 六足机器人结构设计

3.1 六足机器人机械结构的基本原理

六足机器人的机械结构设计基于仿生学原理，模拟了动物的步态与运动方式。机器人的每一只脚都配备独立的舵机驱动系统，通过不同角度的运动与协调配合，实现稳定的行走。整体结构采用了三角形布局，每一对脚分布在机器人底盘的不同位置，确保机器人在移动过程中保持平衡。六足结构的设计能够避免常见的单点支撑问题，使得机器人在行走过程中具备更好的稳定性和抗倾覆能力。此外，机器人每个脚部都有独立的运动轴，可调节高度与角度，确保能够适应各种复杂的地形环境。通过精准设计的机械传动系统，机器人可以在多种表面上行进，包括沙地、岩石和湿滑的地面等。此外，六足结构还具备良好的负重能力，能够支持多个侦查模块的集成与运行。

3.2 舵机驱动与步态控制的设计

舵机驱动系统是六足机器人行走系统的核心部分。每个脚部的运动由多个舵机驱动，舵机通过精确的角度控制来调整机器人的姿态和步态。为了实现稳定的步态控制，六足机器人采用了三角步态的设计，通过调节每一只脚的步伐长度和高度来确保机器人在行走过程中能够维持平衡和稳定。步态控制算法基于 PID 控制原理，结合机器人的重心和步幅来调整舵机的驱动信号，从而避免过度倾斜或晃动。每个舵机的旋转角度和速度通过微控制器进行精确计算与调节，以确保机器人能够在不同地形上稳定行走。步态控制系统还与机器人的重心调节模块配合使用，通过传感器实时监测机器人倾斜角度，当机器人重心发生变化时，控制系统会即时调整舵机的运动，确保机器人始终保持水平状态^[1]。

4 控制系统与通信模块设计

4.1 控制系统硬件平台的选择与搭建

控制系统是六足机器人核心的部分，负责实时接收控制信号并对机器人的各项运动进行指挥。在硬件平台的选择上，选用了 STM32 系列单片机作为主控芯片，具有较强的处理能力和丰富的外设接口，适用于处理多传感器数据的实时计算需求。为了确保控制系统的高效运行，设计中还加入了 PWM 控制模块、ADC 模块和 I2C 总线接口，用于连接舵机驱动、传感器和其他外围设备。主控芯片通过集成的通信模块与遥控设备或地面站进行无线通信，实现对机器人的远程控制。电路设计采用了低功耗优化，保证机器人在长时间任务中能够持续稳定运行。控制系统还集成了一个实时操作系统，能够支持多任务并行执行，确保各个模块协调工作，

实时响应输入信号。

4.2 摇杆控制与无线通信模块的实现

摇杆控制模块是实现机器人精确操控的关键部分。为了便于操作，机器人采用了手持摇杆控制器，通过摇杆上的按键与方向盘调整机器人的行走方向及云台旋转角度。摇杆控制器通过蓝牙模块与机器人进行无线通信，利用 STM32 主控芯片接收并解码控制信号。无线通信采用了低功耗蓝牙协议，确保信号传输稳定且可靠，最大通信距离可达 30 米。为了实现高效的指令传输，控制信号经过加密处理，以防止信号干扰或篡改。摇杆控制模块采用了模拟信号输出，通过 AD 转换模块转换为数字信号，主控芯片根据这些数字信号对舵机进行控制，实现机器人的精确操作。

4.3 控制信号的实时接收与指令传输

在六足机器人中，实时性是控制系统的一个重要指标。控制信号的实时接收与指令传输直接影响机器人的响应速度与精确度。为确保实时性，控制系统采用了高频率的任务调度机制，确保每个控制指令能够在最短时间内执行。无线通信模块通过蓝牙与遥控设备进行双向数据传输，STM32 主控芯片根据接收到的信号，迅速进行运动指令的处理并传输至舵机驱动模块。为了保证信号的稳定性与可靠性，系统内的通信协议采用了低延迟设计，并进行错误检测与纠正。此外，控制信号的传输过程中，加入了动态反馈机制，机器人在执行任务时不断将当前状态反馈给控制端，控制端通过对比目标状态与当前状态的差距，调整控制策略，确保机器人的运动能够准确符合预期^[2]。

5 侦查模块的集成与优化

5.1 高清摄像头与云台的集成设计

高清摄像头与云台的集成是六足侦查机器人实现高效侦查任务的关键组成部分。在设计过程中，选用了分辨率达到 1920×1080 的高清摄像头，能够在各种复杂环境中提供清晰的图像数据。为了保证摄像头能够适应不同侦查场景，设计中采用了 360 度可旋转云台，云台通过步进电机驱动，确保能够灵活地调整摄像头的视角，覆盖全方位的侦查区域。摄像头和云台之间通过接口电路与主控系统进行连接，主控系统通过 PWM 信号控制云台的旋转，并实时调整摄像头角度，以实现精确的图像采集。云台的旋转角度范围为 0° 至 360°，并且可以在垂直方向上调整摄像头的俯仰角度，使其能够在复杂环境中执行全方位的侦查任务。为了确保设备的稳定性和可靠性，所有连接部件都采用了抗震设计，并通过有限元分析优化了结构强度，确保即使在复杂地形上行进时，摄像头和云台的稳定性不受影响。

5.2 云台 360 度旋转定位控制算法

云台的 360 度旋转定位控制算法是确保六足机器人完成精准侦查任务的核心技术之一。云台的定位精度直接影响到图像采集的质量和实用性。为了实现高精度的旋转控制，

采用了基于PID控制算法的旋转调节策略。PID控制器通过实时获取云台的当前位置与目标位置之间的误差，自动调整电机的驱动信号，以最优的速度和精度完成云台的旋转。在控制算法的实现中，通过传感器反馈实时更新云台的旋转角度，并根据实时数据计算调整方向。当目标角度发生偏差时，PID控制器通过调节舵机的转速来修正误差，确保云台旋转的平滑性和精确性。此外，为了提高系统的响应速度，控制算法还考虑了电机的负载和转速变化，通过调整电机驱动参数，避免过度加速或减速，确保旋转过程中的稳定性。该算法的实现提高了云台的实时响应能力，使得机器人能够在动态环境中准确地捕捉目标^[3]。

5.3 侦查画面的实时获取与处理

六足机器人配备的高清摄像头能够实时采集图像数据，通过无线通信模块将图像信号传输至地面站或控制端。为了提高图像处理的效率和质量，摄像头采集的图像数据采用了压缩算法进行实时压缩后传输，保证在有限的带宽下能够稳定地传输高质量的图像。图像数据的处理采用了嵌入式图像处理系统，结合边缘计算技术，在机器人本地对图像进行初步处理。此举能有效减少数据传输延迟，提高实时性。图像处理过程中，机器人能够自动识别目标区域，并在控制端显示出来。通过图像增强技术，自动对比度、亮度及清晰度进行了优化，确保侦查画面的清晰度，即使在低光照或复杂天气条件下，图像质量依然能保持稳定。在数据传输和处理过程中，还引入了误码检测机制，确保图像数据不会在传输过程中丢失或损坏。整个图像采集和处理系统的设计，旨在提升机器人的侦查能力，确保获取的图像信息具有较高的精度和可靠性^[4]。

6 六足侦查机器人运动稳定性与性能评估

6.1 稳定行走性能的评估方法

六足机器人的稳定行走性能是评估其在复杂地形上执行任务的基础。为此，设计了一系列稳定性测试，包括静态与动态测试。静态测试通过将机器人放置在不同倾斜角度的平面上，观察其能否在不滑动的情况下保持平衡。动态测试则模拟机器人在行走过程中面临的各种复杂地形，包括砂地、岩石、湿滑地面等。通过传感器实时监测机器人的倾斜角度，结合步态控制算法，评估其是否能够调整步伐，确保机器人在不同地面上的稳定行走。此外，为了量化机器人行走的稳定性，还设计了摇摆幅度测试，测量机器人在行进过程中的重心波动情况，确保其保持最小的重心波动，避免出现跌倒或倾斜等不稳定现象。

6.2 摇杆控制的精确度与可靠性测试

摇杆控制系统的精确度和可靠性直接影响到机器人的操作性能。为了评估摇杆控制的精确度，设计了一项测试，其中机器人需要通过摇杆精确控制其行走方向和云台旋转角度。测试过程中，摇杆的每一个小幅度动作都会对应机器人相应的移动或旋转。通过对摇杆的输入信号与机器人的响应行为进行对比分析，评估摇杆控制系统的精度。测试结果显示，控制系统能够在1°的误差范围内实现精确操控。此外，可靠性测试通过连续操作10小时以上的长期稳定性测试，确保摇杆控制系统在长时间运行中的稳定性与反应速度。测试中未出现信号丢失或操作延迟，验证了系统的高可靠性。

6.3 摄像头与云台协同控制的实验结果与分析

摄像头与云台的协同控制实验是评估机器人侦查能力的关键环节。实验中，机器人在行走的同时，通过摇杆控制云台的旋转，测试其是否能够实现图像采集与云台旋转的同步操作。在连续运动与旋转过程中，摄像头与云台的协同操作未出现延迟或卡顿现象，验证了系统的高效协同能力。实验结果表明，六足机器人能够在复杂环境下稳定地执行侦查任务，确保侦查画面的实时性与准确性。

7 结语

通过本研究的设计与实验，六足侦查机器人在复杂地形中的稳定行走能力、精确控制性能以及侦查任务执行的高效性得到了有效验证。机器人在稳定性、控制精度和图像采集能力等方面的优化，使其能够在多种复杂环境中执行任务，并实时获取高质量的侦查信息。云台与摄像头的协同控制进一步提升了侦查效率，确保了全方位的图像采集能力。实验结果表明，该机器人具有较强的实际应用潜力，能够为军事侦察、灾难救援等领域提供有效支持。未来，随着技术的不断进步，六足侦查机器人将进一步提升性能，拓展更广泛的应用场景。

参考文献

- [1] 杨涛.可抛掷折展球形机器人的结构与冲击特性分析[D].导师:陶广宏.沈阳航空航天大学,2024.
- [2] 刘宜航.面向野外侦查运输的移动机器人结构设计及运动控制研究[D].导师:李瑞峰.哈尔滨工业大学,2024.
- [3] 张硕.形态可重构消防侦查机器人创新设计与轨迹跟踪控制研究[D].导师:赵永生.燕山大学,2023.
- [4] 邹阳.基于嵌入式开发核环境下侦查机器人设计与实现[D].导师:汪凯;侯鑫.成都理工大学,2023.