

东北大学硕士学位论文

评 语

本论文针对传统轮式与足式移动平台在复杂地形环境中速度、适应性与稳定性难以兼顾的挑战，创新性地提出了轮圈腿式平衡机器人构型。作者结合城市与野外环境中的台阶、崎岖路面等典型场景，充分论证了新型结构在提高地形通过能力与翻倒恢复方面的优势，选题具有较强的理论意义和工程应用价值。

在理论与方法层面，论文首先基于牛顿动力学对机体、内轮和外轮三部分进行分部建模，系统推导出运动学方程、动力学方程及状态空间模型；随后设计了融合线性二次调节器、比例 - 微分与零力矩点策略的多模态控制框架，覆盖坐姿行走、站姿切换、跳跃及全姿态翻倒恢复等关键动作。方法论述严谨，数学推导规范，为后续控制算法设计提供了坚实基础。

在仿真与实验验证方面，作者构建了跨平台软件调试框架，分别在 MATLAB Simscape 与 Webots 环境中对控制策略进行了仿真测试，并在实物样机上完成平地行走、多级台阶越障及侧翻恢复等系列实验。结果表明，该构型与控制策略在运动速度、跳跃高度、台阶通过能力及翻倒恢复性能等指标上均表现优异，系统鲁棒性强，验证了方法的可行性与实用性。整体而言，论文工作量充实、论证充分，建议予以通过答辩。

存在不足（务请填写）：

（1）控制策略的适应性有待拓展：当前主要依赖 LQR 与 PD 控制，尚未深入评估算法在高度非线性或工况剧烈变化场景中的性能，建议后续研究引入例如模型预测控制（MPC）或深度强化学习等先进方法，以增强系统对复杂动态环境的自适应能力。

（2）论文架构与论述可更凝练：部分章节内容较为冗长，技术细节与理论推导交错出现，影响整体阅读连贯性，建议精简冗余表述、优化章节布局，突出核心贡献与创新点，提升论文逻辑性与可读性。

（3）实验验证范围需进一步扩大：现有实物实验主要针对常见地形与基本姿态切换，尚缺乏针对连续障碍物、高速跳跃或极限工况下的性能测试，建议增设极限条件下的场景测试，以更全面地展示机器人系统的边界能力。

评阅人_____

年 月 日

评阅人姓名		评阅人职称	
评阅人工作单位		硕士生姓名	
学位论文题目			

东北大学硕士学位论文

评语

本论文题为《轮圈腿式平衡机器人多模态运动控制研究》，针对移动机器人在复杂地形环境下存在的地形适应性差、翻倒后无法恢复等问题，提出了一种新型轮圈腿式双轮平衡机器人结构，并结合 LQR 与 PD 控制算法，完成了多模态运动控制策略的设计与实物样机验证，体现了较强的创新性与工程实现能力。

论文工作系统性强，内容安排合理。作者建立了动力学模型与状态空间方程，为后续控制算法的设计提供了理论基础。随后，作者设计了结合 LQR 和 PD 控制的多模态控制策略，涵盖坐姿、站姿、跳跃和翻倒恢复等典型运动模式，充分展示了该构型在复杂场景中的运动适应能力。通过仿真平台对各控制模式进行了验证，并在实物平台上完成了多个实验场景的测试，实验结果有效支撑了理论分析与仿真结果，验证了方法的有效性与系统的鲁棒性。

论文具有以下创新点：一是提出轮圈腿式构型，兼具轮式与足式优势，具备较强的地形通过性与翻倒恢复能力；二是完成了完整的系统建模与状态空间推导，建模过程清晰严谨，在控制算法上融合 LQR 与 PD 控制方法，提升了多模态运动控制性能。

综上，本文工作在构型创新、控制算法设计及仿真实验验证等方面具有较高的理论意义和实际应用前景，体现了作者较强的科研能力与工程实践水平，论文质量达到硕士学位论文的要求，建议通过答辩。

存在不足（务请填写）：

（1）目前控制算法主要以 LQR 和 PD 为主，缺乏对复杂非线性场景下算法适应性的分析。可进一步引入模型预测控制或强化学习等前沿算法，提升系统在动态环境中的智能响应能力。

（2）实验设计略显局限，实物实验覆盖了常见地形与姿态转换，但未体现机器人在连续障碍、高动态跳跃等极限状态下的性能边界，建议未来补充相关实验，增强说服力。

（3）论文结构有待优化，部分章节内容略显冗长，技术描述与理论分析交叉频繁，建议适当精简表述，突出重点，增强论文整体逻辑性与阅读流畅度。

评阅人_____

年 月 日

评阅人姓名		评阅人职称	
评阅人工作单位		硕士生姓名	
学位论文题目			