

同行专家业内评价意见书编号： 20250854470

附件1

浙江工程师学院（浙江大学工程师学院） 同行专家业内评价意见书

姓名： 任坤照

学号： 22260004

申报工程师职称专业类别（领域）： 电子信息

浙江工程师学院（浙江大学工程师学院）制

2025年05月30日

填表说明

一、本报告中相关的技术或数据如涉及知识产权保护、军工项目保密等内容，请作脱密处理。

二、请用宋体小四字号撰写本报告，可另行附页或增加页数，A4纸双面打印。

三、表中所涉及的签名都必须用蓝、黑色墨水笔，亲笔签名或签字章，不可以打印代替。

四、同行专家业内评价意见书编号由工程师学院填写，编号规则为：年份4位+申报工程师职称专业类别(领域)4位+流水号3位，共11位。

一、个人申报

(一) 基本情况【围绕《浙江工程师学院（浙江大学工程师学院）工程类专业学位研究生工程师职称评审参考指标》，结合该专业类别(领域)工程师职称评审相关标准，举例说明】

1. 对本专业基础理论知识和专业技术知识掌握情况(不少于200字)

在研究生阶段及实际工程实践中，系统掌握了腿足机器人运动控制相关的基础理论知识和专业技术手段。基础理论方面，重点围绕基于优化方法的腿足机器人运动控制，深入学习了机器人学中的正/逆运动学、刚体动力学等关键内容，具备对复杂机器人系统进行建模与分析的能力。同时，在最优控制理论方面，系统掌握了模型预测控制（MPC）、全身控制（WBC）等先进控制方法，能够将理论知识有效应用于机器人控制策略的设计与实现中。

在专业技术方面，熟练掌握多类仿真平台与动力学分析工具的使用，如 Raisim、MuJoCo、Gazebo 等仿真软件，以及 RBDL、Pinocchio 等机器人动力学库，能够高效构建、调试复杂机器人系统的仿真环境。同时，对优化工具链具有深入理解，能够熟练应用 qpOASES、OSQP、OCS2 等优化求解器进行控制策略的实时求解，为机器人系统的稳定运行和性能优化提供有力支撑。理论与技术的融合为解决工程实际问题提供了坚实基础。

2. 工程实践的经历(不少于200字)

在研究与工程实践中，围绕腿足机器人的复杂地形适应与鲁棒控制问题，开展了两段具有代表性的技术探索与工程实现工作。

第一阶段，设计并实现了一种基于凸模型预测控制（Convex MPC）的鲁棒步行控制策略。该方法以单刚体动力学模型为基础，构建凸优化问题计算支撑腿力矩，并结合启发式落足点策略与余弦轨迹生成器实现摆动腿轨迹规划。同时，通过线性卡尔曼滤波实现对系统状态的高精度估计，利用简洁高效的触地检测逻辑提升了系统对接触变化的响应能力。所提出策略在多种地形（如地砖、土地、柏油、草地）中实现稳定步行，并能有效应对多种扰动（如外力推动、脚端、钢管、减速带、路缘等），表现出良好的环境适应性与系统鲁棒性。

第二阶段，进一步提出一种基于非线性模型预测控制（Nonlinear MPC）的多地形运动规划方法。该方法引入质心动力学并考虑关节状态，提升了控制对肢体动力学与落足区域的约束处理能力。在此基础上，针对非线性 MPC 控制频率低、求解效率差的问题，设计任务空间逆动力学全身控制策略，通过加权二次规划求解实时获取关节力矩，实现对非线性 MPC 轨迹的高频控制。在 Raisim 仿真中，机器人最大速度从 1.0 m/s 提升至 1.7 m/s，并成功通过 22° 斜坡和 25cm 台阶，验证了方法的实用性与工程推广价值。

3. 在实际工作中综合运用所学知识解决复杂工程问题的案例(不少于1000字)

在从事腿足机器人运动控制系统设计与开发过程中，我针对复杂地形适应性差与抗扰动能力弱等工程难题，设计并实现了两套具备实用性和扩展性的运动控制框架，分别基于凸模型预测控制（Convex MPC）与非线性模型预测控制（Nonlinear MPC）。通过系统性融合动力学建模、优化控制、状态估计、轨迹生成、感知信息处理等关键技术，成功实现机器人在多种复杂地形与干扰场景下的稳定行走，显著提升了机器人系统的工程实用性和环境适应能力。

第一阶段，围绕凸模型预测控制（Convex MPC）方法，设计了一种以抗扰动能力为核心的运动控制系统。该方法假设在任意时刻机器人仅有一条腿与地面接触，从而实现支撑腿与摆动腿的控制解耦。通过一系列合理的工程简化与线性化处理，如忽略陀螺力矩项、假设俯仰角和横滚角较小、用欧拉角近似姿态误差，将单刚体模型简化为线性系统，并通过四棱锥近似摩擦锥以构建线性摩擦约束，最终将支撑腿力矩优化问题转化为标准二次规划（QP）问题。结合 qpOASES 优化器实现实时求解，使得控制频率达到 200Hz，有效满足腿足机器人对快速反馈控制的高时效性需求。

在摆动腿控制方面，采用启发式方法生成目标落足点，并基于余弦函数规划平滑轨迹，确保行走的动态连续性与稳定性。同时，基于雅可比矩阵的静力学特性进行末端力估计，构建触地检测逻辑，在控制系统中实现高可靠性状态切换。为提高状态估计精度，进一步利用线性卡尔曼滤波（LKF）融合 IMU 与关节编码器的运动学信息，实现对速度和高度的高精度估计。

在仿真验证中，该控制方法使机器人具备良好的多地形适应性与抗扰动能力，可在地砖、土地、柏油路面、草地等多种地面稳定行走，同时能够承受包括推搡、脚踹、4cm 钢管、减速带与路缘等典型干扰条件，展现出极高的系统鲁棒性与工程可行性。

第二阶段，为进一步提升系统在感知与控制融合方面的能力，我设计了一套融合感知信息的多地形运动规划与全身控制框架。首先，基于激光雷达点云构建环境高程图，并通过平面分割算法提取出可落足区域，该区域以凸多边形形式表示，便于控制器处理复杂约束。在此基础上，提出基于质心动力学的非线性模型预测控制（Nonlinear MPC）运动规划方法，充分考虑落足区域约束、接触互补性、摆动腿法向速度、自碰撞规避、关节限制、摩擦锥等多种约束条件。为应对不等式约束难以直接求解的问题，采用松弛屏障函数形式，将其有效嵌入到目标函数中，并通过序列二次规划（SQP）方法高效求解，实现复杂地形下的全身轨迹生成。

为实现对非线性轨迹的实时跟踪，设计任务空间逆动力学的全身控制器，采用浮动基刚体模型进行建模，并引入支撑腿不打滑、关节力矩极限、摩擦锥约束及基于控制障碍函数的关节空间安全约束，构建加权二次规划问题以求解控制输入，从而获得实际关节力矩。该控制器能够根据动态变化的运动规划结果，实时调整各关节输出，实现精确高效的全身运动控制。

在 Raisim 仿真平台测试中，该控制框架实现了从 1.0m/s 到 1.7m/s 的最大稳定行走速度跃升，并能够稳定通过 22° 的上坡和下坡、以及 25cm 高的台阶等复杂地形，极大提升了腿足机器人系统的运动性能与工程可部署能力。

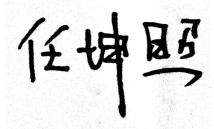
综上所述，上述两个系统的开发过程体现了我将机器人运动控制、动力学建模、最优控制、状态估计、感知融合等多学科理论与工程实践紧密结合的能力。通过系统设计、工程建模与模块集成，构建起一套具备高频控制、环境适应与扰动恢复能力的完整控制方案，不仅有效解决了机器人在复杂地形中的稳定运动问题，也为实际部署提供了技术支撑，展现出我在工程问题中的综合分析、方案设计与技术落地的能力。

(二)取得的业绩(代表作)【限填3项,须提交证明原件(包括发表的论文、出版的著作、专利证书、获奖证书、科技项目立项文件或合同、企业证明等)供核实,并提供复印件一份】

1. 公开成果代表作【论文发表、专利成果、软件著作权、标准规范与行业工法制定、著作编写、科技成果获奖、学位论文等】

成果名称	成果类别 [含论文、授权专利（含发明专利申请）、软件著作权、标准、工法、著作、获奖、学位论文等]	发表时间/ 授权或申请时间等	刊物名称 /专利授权或申请号等	本人排名/ 总人数	备注
基于模型参考自适应控制的仿人机器人变负载站立方法	授权发明专利	2025年02月14日	专利号：ZL 2022 1 1320111.1	2/4	导师一作

2. 其他代表作【主持或参与的课题研究项目、科技成果应用转化推广、企业技术难题解决方案、自主研发设计的产品或样机、技术报告、设计图纸、软课题研究报告、可行性研究报告、规划设计方案、施工或调试报告、工程实验、技术培训教材、推动行业发展中发挥的作用及取得的经济社会效益等】

(三) 在校期间课程、专业实践训练及学位论文相关情况	
课程成绩情况	按课程学分核算的平均成绩： 87 分
专业实践训练时间及考核情况(具有三年及以上工作经历的不作要求)	累计时间： 1 年（要求1年及以上） 考核成绩： 83 分
本人承诺	
个人声明：本人上述所填资料均为真实有效，如有虚假，愿承担一切责任，特此声明！	
申报人签名： 	

浙江大学研究生院
攻读硕士学位研究生成绩表

学号：22260004		姓名：任坤照		性别：男		学院：工程师学院			专业：电子信息			学制：2.5年			
毕业时最低应获：26.0学分				已获得：28.0学分					入学年月：2022-09			毕业年月：			
学位证书号：					毕业证书号：					授予学位：					
学习时间		课程名称		备注	学分	成绩	课程性质	学习时间		课程名称		备注	学分	成绩	课程性质
2022-2023学年秋季学期		新时代中国特色社会主义思想理论与实践			2.0	87	公共学位课	2022-2023学年春夏学期		工程伦理			2.0	93	公共学位课
2022-2023学年秋季学期		工程技术创新前沿			1.5	88	专业学位课	2022-2023学年春夏学期		优化算法			3.0	95	专业选修课
2022-2023学年秋冬学期		研究生论文写作指导			1.0	82	专业学位课	2022-2023学年春夏学期		高阶工程认知实践			3.0	90	专业学位课
2022-2023学年秋冬学期		数据分析的概率统计基础			3.0	97	专业选修课	2022-2023学年春夏学期		人工智能制造技术			3.0	91	专业学位课
2022-2023学年冬季学期		产业技术发展前沿			1.5	91	专业学位课	2023-2024学年夏季学期		研究生英语基础技能			1.0	免修	公共学位课
2022-2023学年冬季学期		最优化与最优控制			2.0	78	跨专业课	2023-2024学年夏季学期		研究生英语			2.0	免修	公共学位课
2022-2023学年春季学期		自然辩证法概论			1.0	84	公共学位课			硕士生读书报告			2.0	通过	

说明：1. 研究生课程按三种方法计分：百分制，两级制（通过、不通过），五级制（优、良、中、及格、不及格）。

2. 备注中“*”表示重修课程。

学院成绩校核章
成绩校核人：张梦依
打印日期：2025-06-03



证书号第7730557号



专利公告信息

发明专利证书

发明名称：基于模型参考自适应控制的仿人机器人变负载站立方法

专利权人：浙江大学

地址：310058 浙江省杭州市西湖区余杭塘路866号

发明人：朱秋国;任坤照;吴俊;熊蓉

专利号：ZL 2022 1 1320111.1

授权公告号：CN 115616898 B

专利申请日：2022年10月26日

授权公告日：2025年02月14日

申请日时申请人：浙江大学

申请日时发明人：朱秋国;任坤照;吴俊;熊蓉

国家知识产权局依照中华人民共和国专利法进行审查，决定授予专利权，并予以公告。
专利权自授权公告之日起生效。专利权有效性及专利权人变更等法律信息以专利登记簿记载为准。

局长
申长雨

申长雨

