

仿生膝关节外骨骼的开发与迭代学习滑模控制

龙亿^{1,2}, 陈宁³, 蔡志斌⁴, 郭贺骁⁴, 迟余田⁵, 董为⁵

¹东北大学机器人科学与工程学院, 中国沈阳市, 110819

²东北大学佛山研究生创新学院, 中国佛山市, 528312

³东北大学机械工程与自动化学院, 中国沈阳市, 110819

⁴东北大学信息科学与工程学院, 中国沈阳市, 110819

⁵哈尔滨工业大学机电工程学院, 中国哈尔滨市, 150001

摘要: 介绍了一种新型膝关节外骨骼, 旨在为膝关节提供辅助扭矩并促进术后康复。受人体膝关节解剖结构启发, 该外骨骼采用一种仿生结构, 将“最佳旋转轴”与瞬时旋转中心的轨迹相融合, 有效缓解人机关节运动学错位, 为用户提供更舒适的穿戴体验。此外, 膝关节外骨骼中集成了一个高度集成的准直驱动系统。该驱动系统能够提供 $18\text{ N}\cdot\text{m}$ 连续扭矩和 $45\text{ N}\cdot\text{m}$ 峰值扭矩, 足以满足患者日常行走需求。从控制角度, 提出一种基于迭代学习控制的统一滑模控制策略, 以保持较高跟踪精度。通过在连续步态周期中不断更新控制输入, 实现系统对膝关节运动轨迹的精确跟踪。实验结果表明, 所设计的仿生关节结构有效解决了人机关节错位问题。此外, 在人机协同行走过程中, 该协同控制策略展现出优异的轨迹跟踪稳态精度和瞬态鲁棒性。

关键词: 人机错位; 膝关节外骨骼; 滑模控制; 迭代学习控制

<https://doi.org/10.1631/ENG.ITEE.2025.0065>