

笛卡尔空间中微纳自由漂浮空间机器人基于学习的数据驱动控制

毛仁昊¹, 蒙涛^{1,2}, 王焜³, 左忠霖⁴, 周航¹, 孙书剑^{1,2}

¹浙江大学航空航天学院, 中国杭州市, 310027

²浣江实验室, 中国诸暨市, 311899

³北京航空航天大学杭州创新研究院, 中国杭州市, 310051

⁴浙江大学控制科学与工程学院, 中国杭州市, 310027

摘要: 本文研究了在不依赖显式解析运动学或动力学模型情况下, 微纳自由漂浮空间机器人在笛卡尔空间中的末端执行器位置跟踪控制问题。为应对这一挑战, 构建了一种双层学习架构。第一层利用深度神经网络进行运动学学习, 捕捉从末端执行器笛卡尔坐标到关节角速度的非线性映射, 并生成参考关节轨迹。第二层采用基于Koopman算子的网络构建自由漂浮空间机器人关节空间动力学的近似线性化表示。基于该模型, 提出一种融合Grünwald-Letnikov分数阶算子的终端分数阶模型预测控制方案, 相比传统模型预测控制, 提升了在线控制性能并改善了跟踪速度与精度。仿真结果验证了所提方案的有效性, 表明其在控制器设计中无需显式解析运动学与动力学模型, 仅依赖输入-输出轨迹进行训练即可实现末端执行器准确且快速的轨迹跟踪。

关键词: 自由漂浮空间机器人; 深度神经网络; 面向控制的模型学习; 模型预测控制

<https://doi.org/10.1631/ENG.ITEE.2026.0054>