

## 欧勇盛团队提出一种基于流形浸入与浸没的机器人 动态系统精确稳定学习方法

中国科学院深圳先进技术研究院智能仿生研究中心欧勇盛团队在机器人点到点运动的轨迹规划的控制学习问题研究取得进展。相应成果为“Jin SK, Wang ZY, Ou YS, et al. Learning accurate and stable dynamical system under manifold immersion and submersion [J]. IEEE Transactions on Neural Networks and Learning Systems, 2019, 30(12): 3598-3610(基于流形浸入与浸没的动态系统精确稳定学习)”。

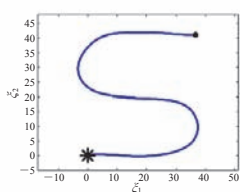
近年来, 机器人操作的应用需求逐渐凸显, 已从在工厂中拾取工件、搬运货物, 或在家庭中帮人取物、打扫卫生, 延伸到了在水下开展救援、在太空勘探岩石、或在危险区域代替人类开展排爆作业等。这些场景大部分都属于非结构化环境, 所涉及的任务也都是较为复杂和精巧的操作任务, 这些对于现阶段的机器人而言必然存在着一些尚未解决的困难。机器人示教学习(Learning from Demonstrations, LfD)方法为机器人在非结构化环境下从事复杂操作任务提供了全新的解决方案。

该研究提出了一种基于流形浸入和浸没的学习方法来解决基于动态系统的示教学习方法中普遍存在的精度和稳定性的矛盾问题。其中, 流形浸入是一种单射映射, 它可以将低维数据映射到高维空间。流形浸没是一种可以将高维数据投影到低维空间的满射映射。根据这样的性质, 该研究构造了一

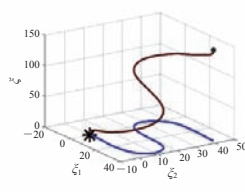
个流形浸入, 将  $d$  维的人类示教数据转化为  $d+1$  维数据。该  $d+1$  维数据能够与 Lyapunov 候选函数一致, 并包含  $d$  维演示的动力学特征。随后用该转换数据学习一个  $d+1$  维空间的动态系统。当学习到的动态系统在  $d+1$  维的虚拟空间中进行轨迹复现时, 通过构造一个流形浸没, 将  $d+1$  维的复现轨迹转换到机器人原运动空间。在构造的流形浸没下, 转换到机器人原空间的  $d$  维复现轨迹能够保留  $d+1$  维空间复现轨迹运动学特征和对目标位置的稳定性, 从而有效地解决精度与稳定性的矛盾。

结果显示, 基于瑞士洛桑联邦理工学院 LASA 实验室开发的手写运动数据集上可以看出, 所提出的方法可以较好地解决稳定性和学习精度间的矛盾。更进一步地, 基于该研究中所提出的希腊字母手写数据集 GREEK 上可看出, 所提出方法还能够实现对交叉轨迹的学习与复现, 并保证复现精度和稳定性。

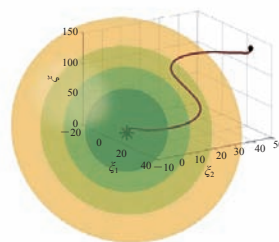
该研究所提出的方法在升维后的空间进行动态系统的学习, 能够更加有效地避免学习出的控制策略对 Lyapunov 函数的违背。在保证满足精度和稳定性的要求后, 再将高维空间的复现轨迹投影回原机器人空间, 从而在原机器人运动空间产生一个既稳定且准确的复现轨迹。通过这种变换的思想巧妙地避免了低维空间中学习出的动态系统难以同时保证精度和稳定性的问题。



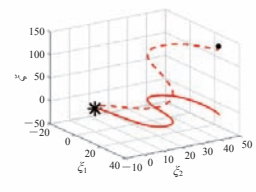
(a) S 形示教轨迹



(b) 构建流形浸入将 S 形轨迹变换到三维



(c) 三维空间中二次 Lyapunov 函数等高线图



(d) 构建流形浸没将三维复现轨迹变换回二维

通过构造流形浸入和浸没解决稳定性与精度的矛盾