

摘要

主动目标跟踪是在给定的观测下，通过主动控制跟踪器的运动系统，以实现持续跟踪目标，与目标保持特定距离和特定角度的任务。主动目标跟踪任务是实现自主机器人的一个重要而又基础的任务，有着广泛的应用场景，例如移动机器人、智慧城市、自动驾驶等。然而，构建一个在开放场景中可泛化的主动目标跟踪器是十分挑战的，在开放场景中，往往无法预先对环境进行定义，环境中会出现数量、位置、大小不固定的障碍物。这些非确定的环境导致之前的传统方法和端到端的深度学习方法都出现性能的大幅度下降，具体体现在障碍物对目标产生了遮挡，跟踪器从视觉上无法看到完整的目标，导致对目标的位置观测和运动预测发生错误。另外障碍物遮挡了跟踪器的行走路线，跟踪器难以在开放环境中规划出既能跟踪目标、又能避开障碍的路线，导致目标丢失、跟踪任务失败。本论文针对开放场景，设计了基于环境感知运动表征的主动目标跟踪框架，主要工作包括：

第一，为了学习开放场景中可泛化的主动跟踪策略，本文提出了全新的环境感知运动表征，建模周围空间环境信息、预测目标运动轨迹信息，来作为更有效的中间表示。该表征一方面融合了不同时间下环境的状态，以记忆和整合智能体周围完整的障碍信息；另一方面将原始的深度图和彩色图整合为栅格概率图和智能体坐标信息，避免了数据驱动方法在输入分布改变时，中间表示失效的问题。本文提出的环境感知运动表征，是学习可泛化跟踪策略的关键依据。

第二，为了实时构建环境感知的运动表征，将其作为强化学习输入来学习跟踪策略，本文提出了全新的主动目标跟踪学习框架，核心模块包括周围环境重建模块、目标轨迹预测模块、视频跟踪模块和策略学习模块。具体而言，跟踪器首先会根据输入的深度图像和相机位姿构建跟踪器周围的栅格地图，同时使用被动跟踪器获取目标当前的位置，整合得到目标历史的轨迹。轨迹预测模块对目标历史轨迹和地图信息进行建模，利用混合密度循环神经网络对目标未来的运动轨迹概率进行预测。本文框架将周围的环境信息和目标的运动信息，通过卷积神经网络和循环神经网络提取得到对应的隐层表征，整合成为环境感知的运动表征。最后本文通过对抗博弈机制和强化学习机制，将环境感知的运动表征作为输入，来训练主动目标跟踪器，以提升跟踪策略在不同场景下的泛化性。

第三，为了充分验证本文提出框架在不同的开放场景的泛化能力，本文在仿真环境中进行了一系列实验。基线实验结果表明，使用本文框架训练的主动目标跟踪器在多个训练未见过的开放环境中，显著超越了之前的方法，尤其是在有较多障碍和布局

多样的环境中。消融实验表明，本文框架中环境重建模块帮助智能体结合地形规划路线，减小目标丢失的概率，提高跟踪成功率；轨迹预测模块帮助智能体判断目标未来的行走趋势，提高跟踪质量。上限实验证明了环境感知的运动表征相对于原始的视觉输入是一种更有效的表征，该表征融合了时序和空间信息，有助于智能体学习到更优的跟踪决策。最后噪音实验证明了本文框架可以处理来自位姿和深度图的噪音，具有迁移到真实环境的潜力。

第四，为了验证本文提出框架在真实环境中的性能，本文将真实环境和仿真环境设置为相同的交互接口，使得框架在仿真环境中学习的策略能够一键切换部署到真实环境中。本文在两个跟随房间、三个跟随任务、两种跟随距离中与传统方法进行了性能对比，量化结果表明，本文框架学习的跟踪策略在成功率、距离误差、方向误差方面均优于传统方法，进一步证实了本文框架具有低成本迁移到真实机器的能力，有真正的实用价值。

总体来说，本文提出了环境感知的运动表征和跟踪策略的学习框架，解决了之前方法在开放场景中，由于障碍物对机器人的视觉遮挡、物理运动遮挡，导致的泛化能力有限的问题。经过仿真实验验证，本文提出的方法在多个开放环境中达到了最高的性能。经过真实实验验证，本文提出的方法具有迁移到真实环境的能力，具有实际的应用价值。

关键词：主动目标跟踪，环境表征，轨迹预测，强化学习