



冰壶人工智能与控制虚拟仿真实验设计

姜 宇, 金 晶, 李丹丹, 王佳伟, 马 萍

(哈尔滨工业大学 航天学院, 哈尔滨 150001)

摘要: 面向人工智能与自动化相关专业的实验教学, 以冰壶机器人比赛为背景, 设计了基于三维虚拟仿真引擎的实验平台进行冰壶比赛中的运动、摩擦、重力、碰撞等物理过程的模拟。通过对虚拟仿真平台的数据生成和消息传输机制进行研究, 获得了仿真场景生成的实例分割图像。基于域随机化机制对冰壶位置、相机位姿、光照方向和强度、障碍物、目标材质等进行随机调整, 实现了目标检测任务与位姿估计任务的仿真训练数据自动标注。冰壶人工智能与控制虚拟仿真实验可为相关人工智能与控制算法研究提供数据支持。

关 键 词: 人工智能; 数字冰壶; 三维建模; 虚拟仿真

中图分类号: G642

文献标志码: A

DOI: 10.12179/1672-4550.20220005

Design of Virtual Simulation Experiment for Curling Artificial Intelligence and Control

JIANG Yu, JIN Jing, LI Dandan, WANG Jiawei, MA Ping

(School of Aeronautics, Harbin Institute of Technology, Harbin 150001, China)

Abstract: For the experimental teaching of artificial intelligence and automation related majors, taking the curling robot competition as the background, an experimental platform based on three-dimensional virtual simulation engine is designed to simulate the physical processes such as motion, friction, gravity and collision in the curling competition. By studying the data generation and message transmission mechanism of the virtual simulation platform, the instance segmentation image generated by the simulation scene is obtained. Based on the domain randomization mechanism, the curling position, camera pose, illumination direction and intensity, obstacles and target material are randomly adjusted, and the automatic annotation of simulation training data of target detection task and pose estimation task is realized. The virtual simulation experiment of curling artificial intelligence and control can provide data support for the research of relevant artificial intelligence and control algorithms.

Key words: artificial intelligence; digital curling; 3D modeling; virtual simulation

冰壶是冬奥会中关注度极高的冰上团体项目之一, 对参赛者的智力、体力、技巧和团队协作等方面均提出较高要求, 被誉为“冰上的国际象棋”^[1]。将人工智能和冰壶运动有机结合, 搭建面向人工智能和自动化专业的冰壶人工智能与控制虚拟仿真实验平台, 是响应教育部新工科建设的积极尝试, 为新时代研究型、创新型工程技术人才的培养探索新路径^[2]。除此之外, 相关成果也可以用于冰壶运动的辅助训练和赛事转播中, 有助于进一步提升我国冰壶运动装备的科技水平, 实

现冰壶运动装备智能化、信息化, 对冰壶运动的普及、后备人才培养等具有积极意义^[3-4]。

考虑我国冰壶场地数量少、费用高、专业性强, 且冰面存在温度低、光照反射等特点, 在开展冰壶比赛场景的视觉感知与智能控制等实验研究过程中, 不易进行实际现场的数据采集、算法部署等工作^[5-6]。通过建立虚拟仿真平台可以模拟冰壶比赛中的运动、摩擦、重力、碰撞等物理过程, 渲染逼真的冰壶比赛图像, 并对彩色相机、深度相机、激光雷达等传感器的测量行为进行模拟,

收稿日期: 2022-01-04; 修回日期: 2022-02-27

基金项目: 教育部第二批新工科研究与实践项目(E-XTYR20200617); 黑龙江省高等教育教学改革项目(SJGY20200184)。

作者简介: 姜宇(1982-), 男, 博士, 高级工程师, 主要从事人工智能方面的研究。E-mail: hitjiangyu@hit.edu.cn

输出无限的完全自动标注的仿真数据流^[7]。搭建虚拟仿真实验环境可以大幅节约实验资金和时间成本,降低在真实场景中采集和标注数据的难度。

本文基于三维虚拟引擎(Unity)^[8]和机器人仿真平台(ISAAC)^[9]搭建冰壶人工智能与控制虚拟仿真实验平台,研究数据生成和消息传输机制。基于该仿真实验平台和域随机化机制,获得大量自动标注的仿真训练数据,避免人工采集和数据标注的过程,节约资金和时间成本,为后续人工智能与控制算法研究奠定基础。

1 冰壶比赛虚拟仿真场景构建

根据世界冰壶联合会的官方标准绘制冰壶比赛赛道^[10],主要元素包括大本营的 4 个同心圆、前掷线、T 线、底线、中线等,线条的长宽、大本

营同心圆的半径严格按照官方标准提供的尺寸绘制。为了使冰壶模型更贴近真实冰壶的效果,在 Unity 中为模型建立材质球,壶身材质的贴图采用大理石,壶盖和把手的材质贴图则使用红、黄两色的塑料,并为冰壶模型添加刚体组件和碰撞组件,使得场景运行时冰壶运动具备碰撞效果^[11]。

在搭建仿真实验平台过程中,通过 Unity 创建平面作为冰壶场地,使用绘制好的冰壶赛道作为贴图创建材质球并附着给新建的平面,为其添加碰撞组件和刚体组件。考虑到实际场景冰壶赛道的冰面上存在光照反射的效果,为了增强场景的真实感,设计冰面材料的材质,并为冰壶和赛道添加摩擦、重力等组件,可以更好地模拟真实比赛场景中的物理现象。整个场景搭建的流程和最终搭建完成的效果如图 1 所示。

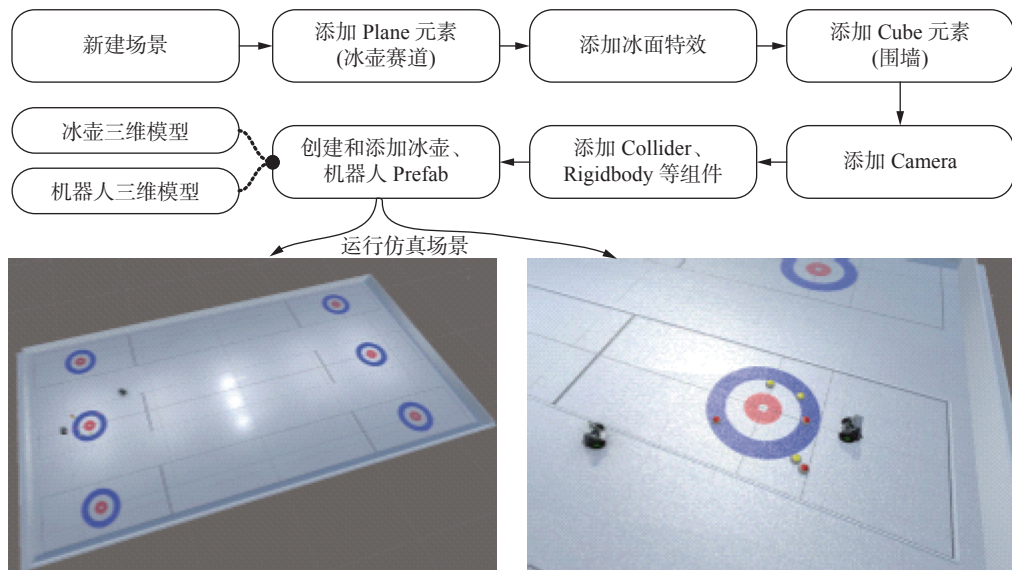


图 1 场景搭建的流程和效果图

2 冰壶比赛仿真数据的分析与处理

2.1 仿真数据传输机制

通过 ISAAC 应用程序和 Unity 之间的消息传输获取仿真环境中的数据,将仿真数据从 Unity 中传递给 ISAAC 应用程序作为输入,进行自动标注数据集、算法的训练和测试等任务。

ISAAC 在 Unity 中使用相关接口创建用于与外界通信的应用程序,该程序可以与 Unity 中的脚本组件进行消息传递。如对于图像数据,在 Unity 场景中每一帧画面渲染完成的时候,挂接在 Unity 相机上的 C#脚本程序会将该图像数据写入到缓冲

区中,然后创建写有缓冲图像数据的消息,该消息被发布到 Unity 内部 ISAAC 应用程序中。通过编写外部 ISAAC 应用程序可以订阅上述的 Unity 内部 ISAAC 应用程序,实现仿真场景数据的获取。仿真场景中的机器人也可以接收外部 ISAAC 程序发布的指令,实现对机器人规划和控制等算法的仿真测试和调试。

在外部 ISAAC 程序中对接收到的带有缓冲数据的消息进行解码,可以实现对仿真环境中的数据获取。Unity 引擎支持对多种传感器进行仿真,包括相机、惯性传感器、雷达等。Unity 对相机传感器进行了充分的模拟,可以生成彩色图像、深

度图像、分割图像及实例分割图像^[12]。通过在模拟相机传感器的C#脚本程序中对相机的各个参数进行设置,如彩色图像和分割图像的宽高、相机的视场角、深度相机的测距范围,以及用于消息传输的节点、组件和通道的名称。

特别是,通过对分割图像进行适当处理,可以获取每个目标实例在图像中的像素位置,从而实现仿真数据的自动标注,帮助完成目标检测、实例分割等深度学习模型的训练。将冰壶仿真场景中相机的视场角设置为 42° ,生成图像宽高分别设置为1280 Pixel和720 Pixel,深度相机的最大深度设置为20 m,可以获得仿真场景生成的实例分割图像,如图2所示。



图2 Unity模拟相机的实例分割图

2.2 目标检测任务的数据自动标注

冰壶仿真环境可以自动生成任意数量的完全标注的目标检测训练数据,然而由于冰壶赛道的仿真场景目前还比较单一,在此基础上直接生成训练数据集会导致样本背景过于简单,训练出的模型针对复杂场景的鲁棒性较差。通过域随机化机制^[13]对仿真场景的各个参数进行随机调整,从而引起场景外观的随机改变,生成更为复杂的数据集。调整的参数包括目标的姿态、尺度,仿真环境的光照强度和个数,仿真物体的材质和外观等。域随机化的主要目标是通过不断调节场景的各个域的参数,随机生成丰富多样的仿真训练数据用于深度学习模型的训练,使得模型能更好地泛化到真实场景中,提升模型的性能。

将冰壶仿真场景针对目标检测任务进行改进,以实现丰富的数据增强的效果。用于目标检测数据生成的仿真场景,主要包括以下3个特点。

1) 添加多种背景物体,并且这些物体能在每帧更新中随机调整位置。自动随机调整位置的障碍物丰富了背景信息,是一种强大的数据增强方法。

2) 添加多个光源,这些光源在每帧更新中能随机调节位置、光照强度和方向,充分模拟真实世界中的光照现象,尤其是冰面和冰壶表面的反

射效果。

3) 添加与冰壶相似度较高的障碍物。通过实验发现,训练的模型常常会将与冰壶具有相同颜色的一些物体误识别为冰壶。为了减少误识别,添加模拟冰壶的颜色和形状等外观的障碍物。

在目标检测任务的数据自动标注过程中,仿真场景将冰壶设计在X轴和Z轴两个水平方向上(在Unity坐标系中Y轴为垂直方向)的位置(均值为0、方差为1的标准正态分布),以在每帧中随机更新冰壶的位置,并设置场景中冰壶最大数量为10个,最大间距为冰壶直径0.3 m。对于赛道和冰面主要选择在大本营附近的区域,其位置通过正态分布进行随机调整。对于相机传感器,为了获得更丰富的拍摄距离和视角,同样设置其位置和姿态为随机调整。

通过域随机化机制,Unity在每帧中都可以对冰壶位置、相机位姿、光照方向和强度、障碍物、目标材质等进行随机调整,进而渲染出彩色图像和分割图像。对于分割图像中的每个目标可以得到边界框的左上角和右下角的图像坐标和目标类别,将每张图像对应的标签存储为文本格式的文件,即实现目标检测标注数据的自动生成。

通过该仿真环境可以生成任意数量的数据,本文设置生成图像的宽和高分别为1280 Pixel和720 Pixel,输出的标签为KITTI数据集格式,得到了4000张训练数据和1000张测试数据。图3为其中一部分生成的图像,目标边界框根据自动生成的标签绘制。如图3所示,生成的仿真数据具有逼真的效果,根据标注结果绘制出的边界框完美地包围了图像中所有冰壶目标,验证了自动标注结果的准确性。

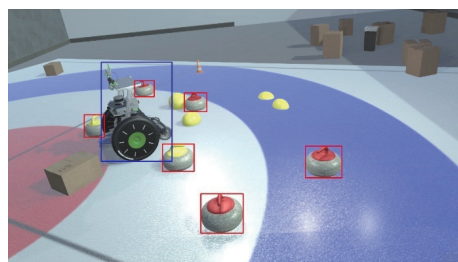


图3 自动生成的标注数据图

2.3 基于自动标注数据的冰壶球位姿估计

位姿估计^[14]是通过输入的相机图像,预测出图像感兴趣目标相对于相机的三维位置和姿态。对于目标检测任务的训练数据集可以通过人工标

注获得,但对于位姿估计任务,在真实环境中获取并标注目标的位姿信息是一项颇具挑战性的任务,并且非常费时、容易出错^[15]。特别是,当冰壶机器人在完成某项实际任务时,常常需要感知周围环境并计算环境中某些目标的位姿,以进行后续操作。由于难以直接在真实环境中采集并标注位姿估计数据集,因此通常采用由图形渲染引擎生成仿真合成数据的方式训练用于位姿估计任务的网络。

在 Unity 引擎中,包括相机在内的所有物体的全局位置和姿态都可以通过 C#脚本直接获得。因此,通过搭建的冰壶运动仿真环境,结合强大的域随机化机制,无需手工标注就可以迅速获得大量的位姿估计仿真数据。在训练位姿估计网络时需要以下几种数据。

- 1) 引擎渲染出的 RGB 图像。
- 2) 去除背景干扰信息的语义分割和实例分割

图像。

3) 相机和感兴趣目标的全局位姿,以计算出目标相对于相机的位姿。

用于位姿估计任务的仿真训练数据生成与目标检测数据的生成过程相比,增加了对边界框和位姿编码的过程。为去除背景的影响,位姿估计网络的输入图像仅包含目标,因此在数据生成子图中使用目标边界框对原始的图像进行裁剪得到仅包含目标的图像。通过位姿编码计算出目标与相机之间的相对位姿关系,用于网络学习。同时,位姿估计网络也对目标的分割图像重建进行学习:一方面是为了使网络具备分离背景信息的能力,消除背景的干扰;另一方面目标的分割图像可以用于从深度图像中提取并恢复出目标的点云,从而通过点云匹配算法对估计位姿进行修正,以提升位姿的精度。生成的部分数据和标注信息如表 1 所示。

表 1 位姿估计训练数据表

彩色图像	分割图像	目标边界框	位置/m	姿态/(°)
		$\begin{bmatrix} -0.094 \\ -0.418 \\ 0.305 \\ 0.325 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 0.007 \\ -0.412 \\ 2.591 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 0.608 \\ 0.594 \\ 0.329 \\ -0.409 \end{bmatrix}$
		$\begin{bmatrix} 0.607 \\ -1.404 \\ 0.691 \\ 0.736 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 0.778 \\ -1.38 \\ 1.045 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 0.164 \\ 0.156 \\ -0.8 \\ 0.555 \end{bmatrix}$

在该仿真环境中对 PoseCNN 位姿估计网络和 ICP 算法进行了实验分析。在大本营区域以 0.5 m 为间隔,等间距地放置五行五列的冰壶,分别获得彩色图像、深度图像作为算法的输入,利用仿真环境中已知的外参,将估计出的冰壶位置在冰面上进行投影,并分别对预测位置和真实位置进行了可视化,这样可以更好地判断预测值和真实值的差距,如图 4 和图 5 所示。其中,红色圆表示冰壶的真实位置,绿色圆表示预测位置。可见,经 ICP 点云匹配后的冰壶定位结果更准确, PoseCNN 对靠近图像中心的冰壶预测的位置更精准,而靠近图像边缘的冰壶位置预测误差稍大。

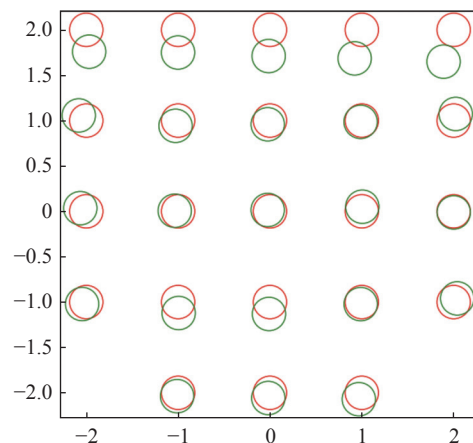


图 4 PoseCNN 估计结果二维投影

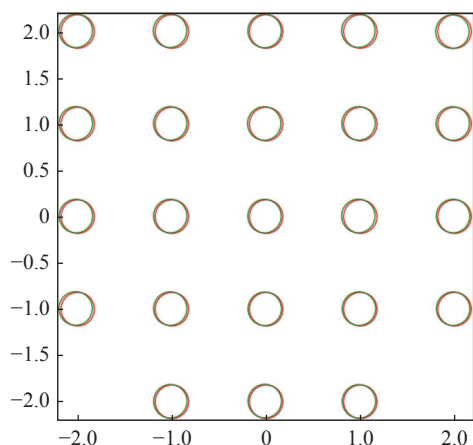


图5 PoseCNN与ICP估计结果二维投影

3 结束语

通过搭建冰壶人工智能与控制虚拟仿真实验平台,完成了冰壶赛道绘制、冰壶球三维模型制作和比赛场景生成,基于域随机化机制得到了自动标注的目标检测与位姿估计仿真数据集,在该仿真环境下对PoseCNN位姿估计网络和ICP算法进行了实验分析,通过使冰壶目标处于图像中心可以提升位姿估计结果的精度。综上,该虚拟仿真实验平台可用于人工智能与控制相关算法的模型训练,简化实验过程,降低实验成本。哈尔滨工业大学通过主办全国大学生数字冰壶人工智能挑战赛,将该虚拟仿真实验平台进行广泛推广。

参考文献

- [1] WILLOUGHBY K A, KOSTUK K J. An analysis of a strategic decision in the sport of curling[J]. *Decision Analysis*, 2005, 2(1): 58-63.
- [2] 金晶,姜宇,李丹丹,等. 基于冰壶机器人的人工智能实验教学设计与实践[J]. *实验技术与管理*, 2020, 37(4): 210-212.
- [3] HATTORI K, TOKUMOTO M, KASHIWAZAKI K, et al. High-precision measurements of curling stone dynamics: Curl distance by digital image analysis[J]. *Journal of Sports Engineering and Technology*, 2016, 12(1): 1-7.
- [4] 张济泽. 面向冰壶技能训练的活动监测与评价系统[D]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学, 2019.
- [5] 蔡怀宇,黄战华,张昊,等. 模式识别和图像分析技术在冰壶运动中的应用[J]. *仪器仪表学报*, 2002, 23(z1): 210-211.
- [6] 睦翔. 基于Sysmac控制平台的冰壶机器人设计与仿真[J]. *山东工业技术*, 2017(22): 127-129.
- [7] 田雨,许明. 无碰撞冰壶运动轨迹仿真系统的研制[J]. *系统仿真学报*, 2019, 31(3): 494-501.
- [8] ITO T, KITASEI Y. Proposal and implementation of "digital curling"[EB/OL]. [2021-12-20]. <https://ieeexplore.ieee.org/document/7317945>.
- [9] 谢啸寰. 冰壶运动中的测频方法研究及冰壶技术数据测量系统的设计[D]. 北京: 北京师范大学, 2012.
- [10] KAWAMURA T, KAMIMURA R, SUZUKI S, et al. A study on the curling robot will match with human: Result of one end game with one human[EB/OL]. [2021-12-20]. <https://ieeexplore.ieee.org/document/7317934>.
- [11] 王洪源,陈慕羿,华宇宁. Unity3D人工智能编程精粹[M]. 北京: 清华大学出版社, 2014.
- [12] SILVER D, HUBERT T, SCHRITTWIESER J, et al. A general reinforcement learning algorithm that masters chess, shogi, and go through self-play[J]. *Science*, 2018, 362(6419): 1140-1144.
- [13] LEE K, KIM S, CHOI J, et al. Deep reinforcement learning in continuous action spaces: A case study in the game of simulated curling[EB/OL]. [2021-12-15]. <http://proceedings.mlr.press/v80/lee18b.html>.
- [14] CHOI J H, SONG C, KIM K. Development of stone throwing robot and high precision driving control for curling[C]//IEEE Conference on Intelligent Robots and Systems. Madrid, Spain: IEEE, 2018.
- [15] 葛亚明. 面向自动化专业新生实践教学的车式机器人设计[J]. *实验科学与技术*, 2020, 18(2): 117-121.

编辑 张莉