

基于校园无人快递车的自监督学习构建地图方法研究

张一铭 张婷 夏超文 潘彦宇

上海工程技术大学，上海松江，210620；

摘要：随着智慧校园建设的推进，高校校园快递车的智能化研究也越来越多，无人快递车上数字地图的构建方法研究也越来越深入。本文提出一种利用自监督学习技术构建数字地图的方法，该方法让无人快递车在运行过程中自动发现环境变化，动态更新校园地图，并支持交互式信息查询，以适应环境的实时变化，降低人工维护成本。

关键词：无人快递车；自监督学习；数字地图

DOI: 10.69979/3041-0673.25.07.013

引言

2022年，教育部发布了智慧校园建设指南，智慧校园是指通过信息技术、通信技术、大数据技术和人工智能技术等的应用，实现高校管理和教学的智能化、数字化和个性化，以提升学校的运行效率、教育质量和服务水平^[1]。随着快递业的高速发展，高校校园快递服务的矛盾和安全问题凸现，为提升高校后勤服务水平，校园快递智能化派送需求越来越迫切。疫情期间刘扬等指出高校快递服务中的诸多问题和矛盾，研究并设计了一种无人快递车，以缓解疫情期间校园快递派送中出现的问题^[2]。疫情之后，校园快递派送方面的矛盾和问题依然存在，多功能校园无人快递车的呼声越来越大，无人快递车技术研究也越来越深入。徐礼成等提出了无人快递车的关键技术，包括云控平台技术、线控底盘技术、环境感知技术、车辆控制技术、通信与网络技术等，分析了当前主流框架及应用，为无人快递车的工程应用提供了理论依据和技术指导^[3]。陈溢指出动态环境下即时定位与建图技术（SLAM）对无人快递车具有十分重要的意义，基于自主搭建的无人车平台，对点云预处理算法、激光里程计算法以及动态场景建图算法分别进行了实验，在不同的场景中对实验结果进行了理论分析，具有实际应用价值^[4]。

自监督学习（Self-Supervised Learning, SSL）是一种前沿机器学习技术，是利用数据自身结构生成监督信号的学习，其核心思想是通过设计预训练任务（Pretext Task），从无标签数据中自动生成标签，从而学习对下游任务有用的特征表示。近年来，利用自监督学习技术，在多领域中进行了多项研究。陈宣池将自监督学习技术和小样本图像分类方法相结合增强了模型在

真实场景下的领域泛化能力^[5]。李益提出了一种类别可分性增强自训练方法，利用有监督的对比学习来增大类间特征差距，减小类内特征差距，同时可以促使模型更好地保留自监督对比学习所学到的不变性特征^[6]。

数字地图是指利用计算机技术和地理信息系统（GIS）将地理信息数字化，以便于存储、分析和展示的地图。李浩然挖掘“惯性导航-激光雷达”传感器数据，分析露天矿山道路网络及其拓扑结构，构建高精度、高可靠性、低延时、轻量化的数字地图^[7]。闫勇军针对数字地图信息的融入对预测巡航系统带来的挑战，围绕数字地图处理与车辆系统建模、优化控制问题构建、快速求解、实车实验验证主线开展了研究^[8]。于泳针对智能车车道信息感知及基于增量地图的车道信息建模技术进行了研究。提出通过视觉和定位感知技术获取车道级信息，其中包括车辆定位信息、车道线信息和交通标识信息，并应用增量数字地图技术进行车道级信息的融合和建模，通过增量更新提高数字地图的时效性和准确性，以便于更加高效地指导智能车的行驶^[9]。

针对自监督学习技术和数字地图技术的研究已经很深入了，但利用自监督学习构建数字地图的研究还有很多挑战。构建无人快递车的数字地图需要结合环境感知、定位与建模能力，而SSL可以有效利用车辆传感器采集的未标注数据，降低对人工标注的依赖。

1 数字地图研究现状

数字地图以数字形式存储，便于传输、复制、共享、更新和分析，在使用过程中增值，可以转换为纸质地图，也可以经可视化处理在屏幕上显示。齐清文等分析和阐述了数字地图理论、方法和技术方面的新进展以及新应用方向^[10]。数字地图的研究呈现多学科交叉融合、技术

快速迭代和应用场景不断扩展的特点。推动数字地图发展的核心动力是计算机信息技术、地理信息系统、卫星、无人机和激光雷达（SLAM）等技术的发展成熟。研究体系如图1所示。

自动驾驶领域，高精度数字地图为车辆提供了不可或缺的环境感知支持，是车辆精确定位和路径规划的关键。李柏研究了自动驾驶车辆的运动规划问题，采用图搜索方法、随机采样方法、曲线插值方法、机器学习方法以及最优控制方法求解自动驾驶车辆的运动规划问题^[11]。智慧城市建设中，田瑜基利用高分卫星遥感关键技术，构建高分卫星遥感数据资源中心，设计智慧城市高分卫星综合应用服务平台，对城市规划、城市交通、应急防灾、公共服务等多方面进行智慧化管理^[12]。谷歌地图、苹果地图、百度地图和高德地图等占据导航领域主导地位，它们通过不断丰富功能和服务来巩固市场地位。专注于高精度地图和自动驾驶领域的新兴企业，如HERE 和 TomTom 也在快速发展，推动了行业多元化竞争。物流运输业通过数字地图优化配送路线，提升效率。王变利等提出将 GIS 的空间数据分析及可视化功能融入到物流配送过程中^[13]。

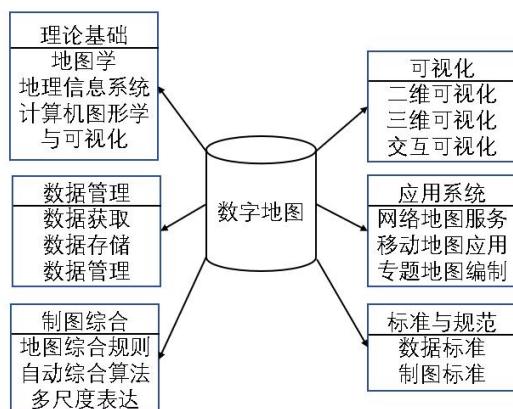


图 1 数字地图研究体系

然而，数字地图的发展面临数据隐私与安全的挑战。地图服务涉及大量用户位置数据，隐私保护成为公众关注的焦点。王璐等指出未来在位置大数据与非位置大数据相结合、用户背景知识不确定等情况下保护用户位置隐私的发展方向^[14]。同时，地图数据的存储和传输也面临安全威胁，需要加强技术防护。阎光慧建议立法完善著作权客体类型和地图数据的可作品性，给予地图数据在著作权上的法律保护依据^[15]。

2 基于自监督学习技术构建校园数字地图

数字地图的构建是一个多学科交叉的复杂过程，包括从数据采集到地图制作的多个环节。

2.1 数据采集与预处理

基于对复杂环境缺乏清晰的认知与多源视觉传感器融合较浅等问题，于洋提出了多源传感器深度融合系统等解决方案^[16]。在无人快递车上配备车载多模态传感器是数据采集新应用方向。视觉传感器用于感知周围环境深度信息，获取环境原始图像，识别周围物体位置和方向，实时响应场景变化。激光雷达可以精确测量周围物体的距离和轮廓信息，生成三维点云数据。校园环境呈现定时复杂状况，一般地，课前和课后半小时，道路上人流量较大，数据采集时，可以合理避开高



图 2 校园里的无人快递车

峰时段。传感器采集到的原始数据通常要进行预处理和融合，以提高数据的准确性和可靠性。如图 2 所示，一款 16 通道车载摄像头 PCIE 采集卡方案可供选择，它利用 GMSL1/2 摄像头采集拍摄到的影像，存储到工控机上，然后利用 HIL 系统对采集的数据进行回灌、注入、测试、运算处理和仿真等操作。

2.2 自监督学习任务设计

自监督学习任务的核心是怎样从无标签数据中自动生成有效的监督信号，使得模型能够通过解决这些任务学习到下游任务有用的特征表示。其基本原则有三点，一是目标相关性原则，自监督学习时分类任务需要语义特征，检测任务需要空间特征。二是任务要难易适中，避免模型过拟合或做无意义学习。三是要充分利用数据的时序、空间和语义关系等内在结构。

学习任务可从以下几点进行设计，一是基于上下文的任务，它是利用数据的局部和全局关系，使模型能理解上下文的关联性。对图像数据，可以将图像进行分割，

打乱顺序后让模型恢复原始位置。可以将图像任意角度旋转，让模型预测旋转角度。可以将图像部分区域遮挡，让模型预测被遮挡的内容。对文本数据，可以随机遮盖句子中的某个词语，让模型预测被遮盖的词，打乱词句的顺序，让模型预测正确顺序，两个句子是否为连续的上下文，可以让模型预测下一句。对于视频帧，可以打乱帧的排序，让模型恢复正常时序，或让模型预测中间缺失帧或未来帧的内容。二是对比学习任务，通过构造正样本对和负样本对，让模型学习区分相似或不相似样本，下面是一段对比损失函数伪代码：

```
对比损失函数: {
    将两个增强视图特征进行拼接
    余弦相似度矩阵计算
    对角线上的数据遮罩
    正样本对相似度提取
    负样本对相似度提取
    交叉熵损失计算
    返回损失值
}
```

三是生成式任务，通过对数据的降维表示重建原始数据，迫使模型学习数据的底层分布。四是利用多模态数据之间的关联构造任务。

任务设计的关键在于利用裁剪、旋转、抖动等增强技术，提升模型对噪声和变化的鲁棒性。在对比学习中，负样本的数量和质量直接影响模型的性能。设计多个预训练任务，以增强多样性特征。

2.3 数字地图的构建

2.3.1 特征提取

特征提取是从原始数据中提取关键信息的过程，通常利用卷积神经网络（CNN）、循环神经网络（RNN）等自动学习数据中的有用表示。

CNN 提取特征过程如下：

滑动卷积核扫描输入的数据，每个卷积核可以学习到特定的局部特征，多个卷积核可以提取不同的特征。

卷积操作后进行池化操作，以降低特征向量维度，减少计算量。

利用全连接层将卷积操作提取到的局部特征转化为可以表示数据语义信息的高层特征。

利用激活函数增强模型的表达能力。

2.3.2 局部地图生成

利用深度信息就可以绘制局部地图，基本流程如图3 所示。

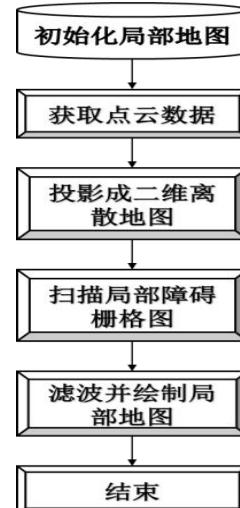


图 3 绘制局部地图流程

2.3.3 全局地图拼接和更新

利用图优化技术或 SLAM 算法将局部地图融合到全局地图中。考虑采用贝叶斯滤波方法，贝叶斯公式（1）如下所示：

$$P(A|B) = P(B|A) * P(A)/P(B) \quad \dots\dots (1)$$

其中， $P(A|B)$ 表示观测到 B 的情况下，事件 A 发生的概率； $P(B|A)$ 表示事件 A 发生的情况下，观测到 B 的概率； $P(A)$ 和 $P(B)$ 表示事件 A 和 B 的先验概率。

在贝叶斯滤波中，通常将系统状态表示为随机变量 X，测量数据表示为随机变量 Z，滤波的目的是计算在给定观测数据 Z 的情况下，系统状态 X 的后验概率 $P(X|Z)$ 。

同时，可以通过自监督时序一致性检测环境变化，实时更新地图数据。

3 结语

数字地图技术主要包括数据采集、处理和应用三个层面。在数据采集方面，从早期的卫星遥感和航空摄影发展到如今的激光雷达和众包数据采集。数据处理方面，深度学习技术的引入使得地图数据的自动化处理成为可能。

针对数字地图的未来研究方向，考虑有以下几点：一是加强地图数据隐私保护技术研究；二是推动多源数据融合与标准化；三是深化人工智能技术在地图数据处理中的应用；四是探索数字地图在元宇宙、增强现实（AR）等领域的应用潜力，拓展其应用场景。

参考文献

- [1] 李嘉琦. 大数据时代高校智慧校园建设路径探析[J]. 数字通信世界, 2024, (07): 241-243.
- [2] 刘扬, 雷婷. 智能化多功能校园无人物流车设计[J]. 机电产品开发与创新, 2024, 37 (05): 53-57.
- [3] 徐礼成, 闫照东. 无人物流运输车关键技术[J]. 汽车画刊, 2024, (02): 60-62.
- [4] 陈溢. 动态环境下无人车即时定位与建图技术研究[D]. 哈尔滨工业大学, 2020. DOI: 10.27061/d.cnki. ghgdu. 2020. 006446.
- [5] 陈宣池. 基于自监督学习的小样本图像分类方法研究[D]. 山东师范大学, 2024. DOI: 10.27280/d.cnki. gsdsu. 2024. 001931.
- [6] 李益. 基于自监督学习的高分遥感影像语义分割方法[D]. 中南大学, 2022. DOI: 10.27661/d.cnki. gzhnu. 2022. 002127.
- [7] 李浩然. 面向无人驾驶的露天矿山数字地图构建与更新方法研究[D]. 湖南大学, 2023. DOI: 10.27135/d.cnki. ghudu. 2023. 003925.
- [8] 闫勇军. 融合数字地图的车辆预测巡航优化控制[D]. 吉林大学, 2022. DOI: 10.27162/d.cnki.gjlin. 2022. 000155.
- [9] 于泳. 应用于智能车的车道信息感知及增量建模技术研究[D]. 吉林大学, 2018.
- [10] 齐清文, 姜莉莉, 张岸. 数字地图的研究进展和应用新方向[J]. 地球信息科学学报, 2011, 13(06): 727-734.
- [11] 李柏. 复杂约束下自动驾驶车辆运动规划的计算最优控制方法研究[D]. 浙江大学, 2018.
- [12] 田瑜基. 智慧城市高分卫星综合应用服务平台研究[J]. 智能建筑与智慧城市, 2020, (12): 42-44+51. DOI: 10.13655/j.cnki.ibci. 2020. 12. 015.
- [13] 王变利, 袁占良, 郭敏. GIS 在物流配送系统中的应用[J]. 地理空间信息, 2010, 8 (01): 102-104.
- [14] 王璐, 孟小峰. 位置大数据隐私保护研究综述[J]. 软件学报, 2014, 25(04): 693-712. DOI: 10.13328/j.cnki.jos. 004551.
- [15] 闫光慧. 电子地图中地图数据的著作权保护研究[D]. 中国政法大学, 2019. DOI: 10.27656/d.cnki.gzgu. 2019. 000103.
- [16] 于洋. 基于多视觉传感器的协同感知系统研究[D]. 山东大学, 2023. DOI: 10.27272/d.cnki.gshdu. 2023. 06978

作者简介：张一铭（2005.11），男，汉族，籍贯：吉林长春，本科在读，研究方向：自动化和数字地图。