

## 重定位 SLAM 地下空间数据采集与安全管理应用研究

吕桂花

浙江昱辰环境科技有限公司 浙江杭州

**【摘要】**城市地下空间作为城市规划与发展的重要组成部分，是城市综合智能管理的重要延伸。而针对城市空间的管理，首先需要获取城市空间三维数据，并以三维数据为基础进行各种业务流程、管理流程的信息化系统建设。城市地上空间的数据获取手段技术成熟，可采用的技术手段较多。而城市地下空间的三维数据采集则受到其内部空间复杂、无 GNSS 信号等诸多因素的影响。本文将研究一种基于重定位 SLAM 算法的城市地下空间三维数据采集解决方案，并针对城市地下空间数据进行相关的技术应用研究。

**【关键词】**重定位 SLAM；城市地下空间；数据采集；安全监控管理

### Application research on data collection and safety management of relocation SLAM underground space

Guihua Lv

Zhejiang Yuchen Environmental Technology Co., Ltd., Hangzhou, Zhejiang

**【Abstract】**As an important part of urban planning and development, urban underground space is an important extension of urban comprehensive intelligent management. For the management of urban space, it is first necessary to obtain the three-dimensional data of urban space, and to construct the information system of various business processes and management processes based on the three-dimensional data. The data acquisition methods of urban above-ground space are mature in technology, and there are many technical methods that can be used. The 3D data acquisition of urban underground space is affected by many factors, such as the complex internal space and the absence of GNSS signals. This paper will study a solution for 3D data acquisition of urban underground space based on the relocation SLAM algorithm, and conduct related technical application research for urban underground space data.

**【Keywords】**relocation SLAM; urban underground space; data collection; security monitoring management

#### 引言

本文所研究的城市地下空间主要指的地下可供人类活动的空间，比如地下商场、地下通道、人防工程、建筑物地下室、地铁等。

据统计，人类活动的五分之四在室内完成。室内空间环境作为人类活动的主要场所，空间三维数据采集和管理显得尤为重要。而随着城市化进程的不断发展，城市地下空间在室内空间中的比重越来越大，城市地下空间的管理也越来越重要。而空间的管理的基础是空间数据，精准的三维数据能为高效的地下空间管理提供有力的支撑。

城市地上空间的数据获取手段技术成熟，可采

用的技术手段较多。倾斜摄影测量能够全方位的采集城市全貌的三维数据，街景数据采集技术能获取倾斜摄影所不能采集的区域，车载移动扫描设备能快速获取高精度的交通道路三维数据。

本文将研究基于重定位 SLAM 算法的三维空间数据采集技术，在城市地下空间中快速获取三维点云数据，并基于连续点云数据制作精准的三维模型<sup>[1]</sup>。

本文针对目前城市综合发展所需的地下空间管理需求，结合高精度的城市地下空间三维数据，提出有关城市地下空间清册管理、地下空间租赁管理、地下空间征费管理及地下空间资产管理。同时，结合最为迫切的地下空间安全监控管理以及结合互联

网+技术的智能化管理,提出一些创新的技术流程和管理模式。

## 1 基于重定位 SLAM 三维数据采集

### 1.1 重定位 SLAM 算法

重定位 SLAM 算法 (Re-localization SLAM) 是基于机器人自主定位算法 SLAM 演变而来。SLAM 算法按传感器,分为激光 SLAM 和视觉 SLAM,前者在机器人和无人驾驶上应用比较多,后者在 VR 领域比较多。常用的 SLAM 算法包括 PTAM, MonoSLAM, ORB-SLAM, RGBD-SLAM, RTAB-SLAM, LSD-SLAM, 对于民用领域和小场景三维数据采集,SLAM 有很多相对成熟的算法。

但在测绘和地理信息领域,因应用场景不同,且成果精度要求也不同,目前市面上的开源算法都难以解决精准测图的问题。如何解决 SLAM 重定位精度,是全球都在研究的新课题。重定位 SLAM 算法是在 SLAM 算法实时构建算法上,结合测量平差技术,惯性导航系统和摄影测量技术,以及多传感器技术融合,构建重定位 SLAM 算法,可以解决大面积大场景的高精度连续特征匹配,且可通过重定位 SLAM 算法计算出高精度的 POS 数据,在保持高效数据采集的同时,保证达到测绘级精度。

### 1.2 城市地下空间数据获取技术难点

#### (1) 城市地下空间无 GNSS 信号

城市地下空间无 GNSS 信号,传统的测量仪器无法在城市地下空间中进行测量。在这种环境中进行空间测量,则要求测量设备需要依靠自身的技术装备进行定位。

而基于重定位 SLAM 算法的三维移动扫描系统是基于三维点云测算所在空间的关键特征点位,基于这些点位快速计算扫描设备的瞬间位置。通过这种实时计算点位位置的方法,实现了在没有 GNSS 信号环境下进行准确的空间测绘的目的。

#### (2) 城市地下空间结构复杂

城市地下空间有地下商场、地下通道、人防工程、地下室等多种环境,而且每种环境的形状、地形起伏、错层结构、连接通道等都存在较大的差异。

当航空摄影、无人机等测量技术手段不能在城市地下空间中进行测量时,使用传统手工测量方式也只能表达简单的线状或者面状构筑物,如果需要

进行三维空间这种“体”形结构测量时,仅仅使用简单的点、线、面的测量方式效率会非常低。而城市地下空间的面积庞大,使用传统手工测量方式的人力成本和时间成本比较高<sup>[2]</sup>。

采用基于重定位 SLAM 算法的移动测量系统,因重定位 SLAM 算法可支持连续特征点匹配,可一次性完成整个地下空间的三维激光点云数据获取。点云不需要进行拼接,直接可基于三维点云进行三维模型制作。解决了复杂城市地下空间的快速三维建模的难题。

#### (3) 地上地下难以采用同一技术手段

城市地下空间不是一个孤立的环境,必然与地上空间、地面环境以及地下其他设施设备存在空间拓扑关系和管理关联关系。城市管理者需要综合考虑地上地下及周边环境情况。地上部分的测量手段比较多,但是在地上部分可以进行施测的技术手段,在地下空间中难以奏效。而如果地上、地下分别采用不同的技术手段进行三维量测,在后续进行拼接时,容易出现误差。

鉴于城市地下空间管理的需求,需要采用一种能在地上、地下都通用的技术手段进行地上地下一体化的数据采集。

### 1.3 基于重定位 SLAM 算法空间数据获取方法

#### (1) 现场踏勘

在进行数据采集前,需对采集现场进行查勘,了解采集现场情况。对采集现场进行分析,制定合理的采集方案。

#### (2) 制定采集路线

经过对现场的踏勘,对现场情况整体了解。结合设备情况,针对现场地形复杂程度,确定不同的采集路线。确保能够在最短时间获取到现场全部的地理信息空间数据。

#### (3) 采集数据

根据设计方案,按照规划的路线,技术人员操作设备前进获取激光点云数据。在完成设计路线采集信息后,对数据进行保存。同时操作人员对采集数据进行判读,是否有遗漏。如有遗漏,结合现场情况,采取重新采集数据或者局部补测数据。

### 1.4 地下空间三维建模

基于激光扫描数据处理的软件平台,利用分类算法对激光点云数据进行过滤,将植被、建筑物、

管道设施等地物数据进行分离、提取。同时精细分类的过程也需要进行大量人工干预,弥补自动分类算法在数据判别上不准确的不足,经过精细分类的激光点云数据进入最后的质检阶段。对数据进行遍历,使用不同的显示模式,检查分类成果,保证质量。

激光点云成果也可输出为.las 等多种数据格式作为原始数据存储入库。然后采用 3DMAX 软件来进行建模。首先根据项目确定需要精细建模的地区划分作业范围和作业设计,然后在三维建模平台中里建立模型,格式为.max。

建模标准:

#### ①普通结构标准

依靠布线去产生物体的结构变化,有结构变化的地方就要有线,没有结构变化的地方可以把线省去。

#### ②弧形结构标准

直径 0.5 米以内的小于半圆的弧形,段数为 3-8 段,更大的(如半圆阳台或顶棚)不超过 12 段。

直径 0.1—0.5 米以内的圆柱体(如立柱),段数为 6,更小的为 3 或 4 段(如铁杆或钢丝);更大的不能超过 32 段(如柱体的楼)。

#### ③模型面

模型去除冗余的点、线、面和虚拟物体。冗余线是指同一面中重合的两条线或其空间距离 $\leq 0.3$ 米的两条平行线;重叠面是指同一物体模型中垂直距离 $\leq 1m$ 的两个面。物体模型内部接边处不存在缝隙,相交的点需焊接以确保相交点的空间拓扑关系严格重合<sup>[3]</sup>。在系统平台中不存在闪烁的面,构成模型的多边形面不允许存在凹多边形面片。需删除看不到或不需要的面。

#### ④模型精度

从模型细节上可看到的物体精度 $\leq 5CM$ 的为精细模型,在表现整体结构外,表面所有附加的中小型设施设备均需实体建模。

从模型细节上可看到的物体精度 $\leq 50CM$ 的为中等模型,在表现整体结构外,设备表面所有附加的复杂中小型设备,选取 50%较为明显的部件,进行实体建模。其余部分用贴图表现。

从模型细节上可看到的物体精度 $\leq 100CM$ 的为简单模型,在表现整体结构外,设备表面所有附加

的复杂中小型设备均用贴图表示,只需突出其整体结构特征。实际物体中非永久性附属物(如空调室外机、雨水管、水箱、防盗网、节日宣传性标语、临时性贴画、消防罐)、污浊部分、玻璃墙面的倒影等原则上不需表现。一般情况下,螺丝、螺栓用贴图来表现,如果螺丝、螺栓比较长或模型需要精细表现时才做出模型。

#### ⑤层级结构

保证对每一个独立的模型进行成组操作,每一个独立的模型要单独放在一个层中,层的名称要与模型的导出名称一致。

保存文件时把各层隐藏。

#### ⑥技术要求

模型制作必须使用捕捉工具,禁止产生漏缝模型或重叠闪烁现象。

## 2 地下空间安全监控与管理应用

### 2.1 地下空间安全与应急管理

可基于三维模型进行城市地下空间安全应急工单管理、安全应急物资管理,任务明确,流程清晰直观。

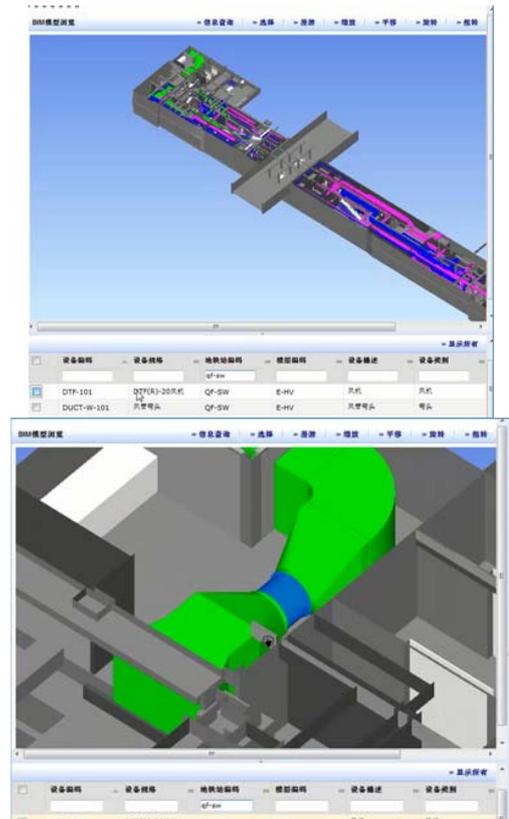


图 1 地下空间应急管理

### 2.2 地下空间消防协同管理

以三维空间数据为基础，叠加防控管理专题数据、防控区域、附属设施、巡检责任区段、行政归属界限、相关责任单位、防控事件，完成一系列的空间分析和应用。实现行政主管部门、单位、街道、社区、属地政府及相关行业主管部门等的职责明确、统筹联动、资源共享的管理目标。

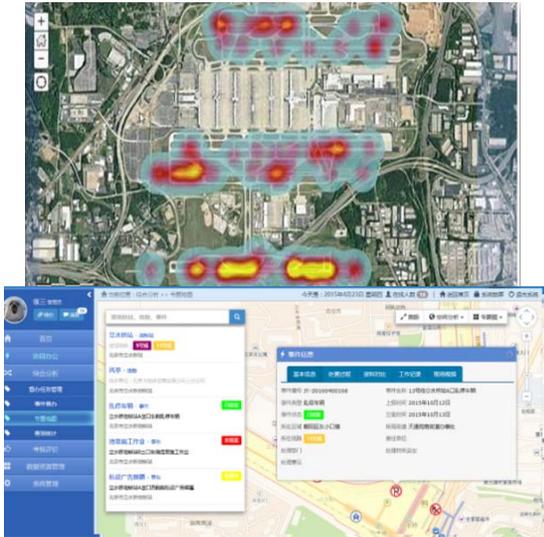


图 2 地下空间消防协同管理

### 2.3 地下空间人防工程安全监控

结合三维地理信息系统和空间信息模型，实现从宏观工程整体分布情况，到微观工程结构、风水电设备设施多媒体实境化展示，建立基于空间可视化的人防工程精细化、实景化、实境化新型运维管理模式。



图 3 地下空间人防工程安全监控

### 3 总结

空间是昂贵的，越有效的空间组织与管理，空间使用的成本越少。基于重定位 SLAM 算法城市地下空间三维数据采集与空间数据的应用将为空间管理、租赁管理、空间设施设备管理、运维管理、状态评估及空间资产管理提供全方位的基础支撑，实现基于空间“不动产”的“动产”全生命周期管理。

### 参考文献

- [1] 杨剑秋,郑州市城市地下空间管理问题研究.《郑州大学》, 2014 年;89.
- [2] 郭翔,余廉,张艾荣,我国城市地下空间运营管理问题的分析与探讨.《城市轨道交通研究》,2009,12(5):6-9;
- [3] 陈勇,郭震冬,许盛.三维激光扫描技术在地下空间设施普查测量中的方法研究.《现代测绘》,2015(2):16-18.

收稿日期：2022 年 9 月 10 日

出刊日期：2022 年 10 月 25 日

引用本文：吕桂花，重定位 SLAM 地下空间数据采集与安全管理应用研究[J]. 工程学研究, 2022, 1(4) : 21-24

DOI: 10.12208/j.jer.20220111

检索信息：RCCSE 权威核心学术期刊数据库、中国知网（CNKI Scholar）、万方数据（WANFANG DATA）、Google Scholar 等数据库收录期刊

版权声明：©2022 作者与开放获取期刊研究中心(OAJRC)所有。本文章按照知识共享署名许可条款发表。<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



OPEN ACCESS