

城市三维地图建模技术研究及应用

——从激光点云数据的角度进行分析

胡曼

中煤航测遥感集团有限公司

DOI:10.12238/gmsm.v6i6.1615

[摘要] 本研究旨在探讨基于激光点云数据的城市三维地图建模技术的研究与应用。通过对激光点云数据的获取与预处理、城市三维地图建模算法的研究以及实际应用案例的分析,期望能为现代城市管理提供更准确、直观的基础数据,推动智慧城市的建设与发展。

[关键词] 激光点云数据; 城市三维地图; 建模技术

中图分类号: P283 文献标识码: A

Research and application of urban 3 D map modeling technology based on laser point cloud data

Man Hu

China Coal Aerial Survey and Remote Sensing Group Co., Ltd

[Abstract] The purpose of this study is to explore the research and application of urban 3 D map modeling technology based on laser point cloud data. Through the acquisition and pre-processing of laser point cloud data, the research of urban 3 d map modeling algorithm and the analysis of practical application cases, it is expected to provide more accurate and intuitive basic data for modern urban management and promote the construction and development of smart city.

[Key words] laser point cloud data; 3 d map of city; modeling technology

引言

城市三维地图建模是数字城市建设的重要组成部分,其准确性和精细程度直接影响到城市规划、交通导航、环境监测等领域的应用效果。传统的地理信息数据获取方法无法满足对大规模城市区域的精细建模需求,而基于激光点云数据的城市三维地图建模技术正是为解决这一问题而应运而生。

1 激光点云数据获取与预处理

1.1 激光雷达原理

激光雷达(LiDAR, 全称Light Detection and Ranging)是一种光学遥感技术,通过发射激光束来测量目标物体的距离、高度和速度等信息^[1]。

$$D = f(L + d) / d \quad (1)$$

式(1)中,焦距用 f 表示,基线距离用 L 表示,位置偏移量用 d 表示。在接收端,使用Charge Coupled Device(电荷耦合器件)的半导体成像器件来接收光信号。激光雷达测距原理见图1。

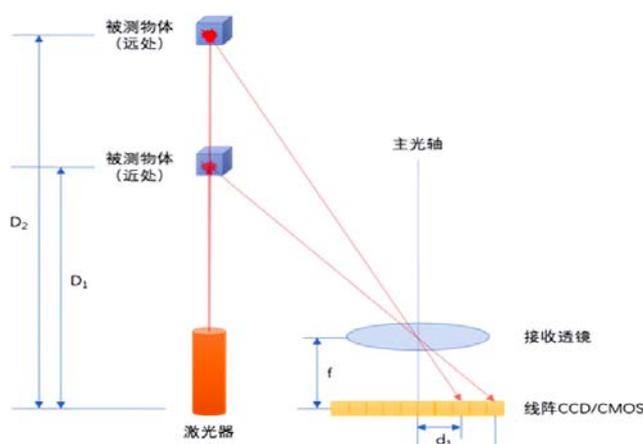


图1 激光雷达测距原理

激光器发射激光后,在照射到物体后,反射光由线性CCD接收。线性CCD是一种特殊的CCD摄像机,它具有高灵敏度和高分辨率的特点,能够准确地检测和识别反射光。在激光照射到物体后,反射光会以一定的角度反射回来,并被线性CCD接收。线性CCD

将反射光转换为电信号,然后通过信号处理电路进行处理。处理后的信号可以用于计算物体的位置和运动轨迹,从而实现机器视觉和自动化控制等功能。

1.2 数据采集与处理方法

数据采集是三维地图建模的第一步,主要通过激光雷达进行。激光雷达通过发射激光束并接收反射回来的光束来测量物体的距离和位置,从而产生大量的点云数据。以常用的Velodyne 16线激光雷达为例,其工作原理是通过UDP协议发送和接收数据。接收到的原始点云数据被存储在数据包(pcap)中,这些数据是一连串的字节符号,无法直接使用。每个数据包中的数据包含了激光光束的旋转角度、距离值、反射强度的信息。这些信息都是以两字节表示,需要进一步解析这些数据。

数据处理主要包括点云数据的解析和组织。需要将原始的点云数据从pcap格式转换为可被感知技术人员使用的pcd格式的数据集。pcd文件主要是由笛卡尔坐标(x, y, z)和强度值i组成的列表,即每个点云都会附带独有的三维坐标系和能量反射强度。通过解析这些数据包,获取每个点的三维坐标和反射强度信息,从而形成一个具有三维坐标和颜色信息的点云。

解析后的点云数据需要进行组织以便于后续的处理和分析。通常,会根据空间位置将点云数据进行分块或分层处理,以提高数据处理效率。设置不同的颜色或透明度来区分不同的物体或区域,增强数据的可视化效果。

1.3 数据质量评估与筛选

机载激光雷达获取的点云数据密度应能满足内插数字高程模型数据的需求,以确保高程数据的准确性和精度。此外,点云数据的密度还应该能够满足其他应用的需求,例如地形测量、地物识别和三维建模等。为了实现这一目标,需要对机载激光雷达的系统进行优化。首先,应提高激光雷达的脉冲频率,以增加点云数据的密度。其次,应改进激光雷达的扫描系统,以实现对地表更精细的扫描。

点云数据质量评估的计算公式需要优先排除城市水域进行计算(因为水域基本少有反射点的存在)。激光雷达点云密度采用全测区激光点个数与全测区面积进行核算。

激光雷达点云密度 ρ 按式(1)计算:

$$\rho = \frac{n - \sum_{i=1}^m n_i}{A - \sum_{i=1}^m A_i} \quad (2)$$

式(2)中, ρ 为激光雷达点云密度,单位为个/ m^2 ; n 为测区内激光雷达点云总点数,单位为个; n_i 为第*i*个水域内激光雷达点云点数,单位为个; m 为测区内水域个数,单位为个; A 为全测区激光雷达点云覆盖的面积,单位为 m^2 , A_i 为第*i*个水域激光雷达覆盖的面积,单位为 m^2 。假设在某次测量中,通过式(2)计算出的激光雷达点云密度为 ρ_{calc} ,而实际的激光雷达点云

密度为 ρ_{real} 。当系数 M 为1.2时,新的计算密度 ρ_{new} 为:

$$\rho_{new} = 0.8 \times \rho_{calc} \quad (3)$$

通过上述公式即可比较测点云密度的具体差异。通过比较式(2)中计算出的激光雷达点云密度与实际激光雷达点云密度得出,一般取值为1.1~1.3;为激光雷达点云密度变化的系数,通过比较式(2)中计算出的激光雷达点云密度与实际激光雷达点云密度得出,一般取值为0.7~0.9。

2 城市三维地图建模算法

2.1 点云数据表面重建

点云数据表面重建是利用点云数据构建物体表面的三维模型,它是最常用的激光雷达建模方法之一。表面重建方法通常采用三角化算法或体素网格化算法将点云数据转化为连续的曲面模型,从而能够更好地描述物体的形状和结构^[2]。激光雷达数据建模采用LiDAR360专业级激光雷达点云处理平台。

该平台整合了人工智能、激光雷达和影像技术,能够实时准确地监测和评估城市建筑的结构参数和功能变化。激光雷达系统的工作原理主要靠在光源阵列前方放置的一组准直光学元件来实现。这些准直镜片会把光源阵列的光线映射到包含几何实体和动态捕捉场景的地方。而在准直镜片的后面,将会安装衍射光学单元,用于在X轴、Y轴和对角线方向上,产生VCSEL阵列上的多个投影(在此例中是一个3x3的网格)。

2.2 点云数据分割

点云数据分割是将点云数据按照空间位置、颜色、密度等特征划分成不同的区域,以便于后续的建模和处理。点云数据分割可以采用聚类算法、区域生长算法、水平集算法等多种方法。通过对点云数据进行分割,可以更好地理解场景中的各个物体,并对它们进行分别建模。

2.3 点云数据特征提取

点云数据特征提取是从点云数据中提取出能够代表物体形状和结构的特征信息。这些特征信息可以是曲率、方向、边缘等。通过对点云数据进行特征提取,可以更好地描述物体的形状和结构,并为后续的分类、识别和跟踪等任务提供有力的支持。比如在照明设计中,通过对目标区域进行点云数据采集和特征提取,能够直观地感知到空间布局和物体形态,从而为照明模块提供更为准确的光照需求。照明模块采用先进的LED技术,不仅光效高、热量低、寿命长,而且光线强度和颜色都可以根据需求进行调节。智能化的远程控制和管理功能更是赋予了该照明模块极大的灵活性和便捷性。无论是在家庭、办公室还是公共空间,用户都可以轻松通过手机、平板电脑或其他智能设备对照明模块进行个性化设置,营造出不同的氛围和场景。

2.4 点云数据配准与拼接

在大型场景中,需要将多个激光雷达数据进行配准和拼接,以便获取更全面的场景信息。点云数据配准与拼接是将不同时间、不同角度、不同位置的点云数据进行对齐和融合的过程。

通过对点云数据进行配准和拼接,可以获得更大范围的场景模型,为后续的任务提供更全面的信息。K-means算法的目标是将点云数据分为K个集群,使得每个点都属于离其最近的均值(即集群的中心)对应的集群。

$$c_k = \frac{\text{frac}_{\{1\}\{S_k\}}}{\text{sum}_{\{x_i \in S_k\} x_i}} \quad (4)$$

式(4)中, (c_k) 是第k个集群的中心, (S_k) 是第k个集群的点集, (x_i) 是 (S_k) 中的点。

通过计算每个点到每个集群中心的距离,确定每个点所属的集群。当每个点都被分配到相应的集群后,即可计算每个集群的中心点,并将这个中心点作为该集群的新中心点。重复这个过程,直到达到预设的迭代次数或者满足其他停止条件。

3 城市三维地图应用案例

3.1 项目背景

近年来,随着城市建设的飞速发展,传统的二维地图已经无法满足现代城市管理的需求^[3]。为了更好地描绘智慧城市蓝图,某市国土规划局决定采用激光点云数据来建立城市三维地图。激光点云数据具有高精度、高密度和高效率的特点,真实反映城市地形地貌和建筑物细节,为城市规划、设计和管理提供更为准确、直观的基础数据。

3.2 应对举措

针对城市三维地图建立的需求,某市国土规划局制定了一套标准,包括三维数字地图系统建设的技术规程和三维模型建设标准。在此基础上,编制完成了国家行业技术标准《城市三维建模技术规范》,这是全球首个实用的三维模型建设标准。

某市国土规划局建立了两个平台,即三维集成管理平台和三维决策支持系统。三维集成管理平台实现了海量三维模型数据的集成管理,可以方便地进行数据的导入、编辑和查询。三维决策支持系统则实现了城市建设活动的三维再现,可以为决策

者提供更加直观、真实的城市场景。

某市国土规划局开展了三项研究,即关键技术研究、应用技术研究 and 运行机制研究。通过关键技术研究,解决了激光点云数据采集、处理和建模等技术难题。应用技术研究则重点研究了如何将三维地图应用于城市规划、设计和管理等领域。运行机制研究则探讨了如何建立有效的数据更新和维护机制,确保三维地图的数据精准度。

3.3 应用效果

通过以上应对措施的实施,基于激光点云数据的城市三维地图在某市得到了广泛应用,并取得了显著的效果。目前,某市已完成的城市框架模型和主城区精细模型,三环线内基本全覆盖,并逐步向开发区、远城区延伸。同时,还开展了城市重点区域、节点等地下空间三维模型建设工作,实现了地上、地下空间三维模型的一体化管理。

4 结论

本研究成功地探讨了基于激光点云数据的城市三维地图建模技术的研究与应用。通过对激光点云数据的获取与预处理、城市三维地图建模算法的研究以及实际应用案例的分析,验证了该技术的可行性和实用性。未来,将继续深入研究激光点云数据在城市三维地图建模中的应用,为城市规划、设计和管理等领域提供更先进的技术支持。

[参考文献]

- [1]于武占,王雅光,周世战.基于激光点云数据的三维建模与应用技术研究[J].机械设计,2021,38(9):118-119.
- [2]李京,刘亚静,刘明月.基于激光点云数据的震后建筑物三维可视化建模[J].华北理工大学学报:自然科学版,2021,043(2):24-29.
- [3]于长江.基于激光点云数据的三维景观建模研究[J].微型电脑应用,2022,38(4):202-204,208.