

三维激光点云技术在智慧城市空间信息测绘中的应用

文◆江西海狸测绘信息技术有限公司 谢松君

引言

随着大数据、人工智能、数字孪生、物联网等相关技术的发展，智慧城市技术底座已经形成，在打造城市数据终端模型的同时，还需要精准的空间信息作为支撑。本文以智慧城市空间测绘为研究对象，在对智慧城市概念进行简要论述的基础上，介绍城市空间信息测绘技术的发展情况，并从实际应用角度出发，重点研究三维激光点云技术在智慧城市空间信息测绘中的应用情况。

智慧城市是以传统城市为载体，借助新一代信息技术，获取网络覆盖范围内所有城市空间数据，并完成跨平台的信息交互。空间信息测绘精度将直接影响智慧城市建设质量，传统卫星定位、倾斜摄影等技术所提供的测绘精度相对偏低，严重影响了智慧城市的建设进度。三维激光点云技术以其精度、效率、成本等优势在智慧城市空间信息测绘中得到了广泛应用，不仅为智慧城市建设提供了高质量的空间三维数据，还为智慧城市建设奠定了坚实基础。

1 智慧城市概述

随着城市信息化、网络化、数字化水平的不断加深以及物联网技术融合下城市空间要素之间信息共享，为城市管理提供及时、准确的信息，实现城市内部的高效运行，满足人们对城市空间的差异化需求。智慧城市在城市规划、设计、建设、管理等各环节中广泛使用现代信息技术，提高城市规划、治理的科学性、有效性，从应用层面包括智能交通、智能水务、数字政务等。因此，智慧城市也被人们称为数字城市。

2 智慧城市空间信息测绘技术发展

为实现多元化的城市功能，智慧城市需要动态掌握城市空间信息，空间测绘技术的发展和應用解决了智慧城市空间信息测绘的问题^[1]。智慧城市空间信息测绘技术经历了人工测绘、卫星测绘、无人机测绘、精准扫描测绘4个阶段。人工测绘阶段是指通过人工方式获取城市空间信

息，成本高、周期长，且测量精度相对偏低。尽管如此，“智慧城市1.0”时代的到来，为城市规划、开发和治理提供了便利。卫星测绘阶段是指利用高空卫星获取大空间地理信息，虽然该信息测绘技术的三维效果和精度相对偏低，但其可以在短时间内完成空间建模。因此，该信息测绘技术被广泛应用于城市规划当中。无人机测绘与卫星测绘实现了高低搭配，如倾斜摄影、地形识别等解决了区域三维空间信息动态更新的难题。精准扫描测绘是指利用空间扫描技术对区域范围内的建筑、街道等实时扫描，借助三维成像系统渲染，使城市空间信息测绘效率明显提高，实现了对成本的有效控制。

【作者简介】谢松君（1992—），男，江西赣州人，本科，助理工程师，研究方向：三维激光点云扫描技术应用。

3 基于三维激光点云技术的智慧城市空间信息测绘

智慧城市空间测绘的关键在于大数据支持下建筑、街道等信息的精准测量，并实时绘制智慧城市地图，传统空间信息测绘技术的局限性难以满足这一要求。为加快智慧城市建设，以三维激光点云技术为代表的新一代空间测绘技术得到了广泛应用。

3.1 三维激光点云技术原理

智慧城市空间信息测绘不仅需要较高的精度，还应保证空间三维图像的渲染速度。三维激光点云技术利用激光发射器获取对应建筑、街道等要素的相对坐标，配合图形图像采集设备对色彩、角度等进行修正^[2]。因此，三维激光点云技术的实现需要科学的系统架构，包括发射与接收单元、里程计算单元（或惯性计算单元）、旋转激光单元、控制计算单元和通信单元。三维激光点云系统架构设计如图1所示，发射与接收单元由激光发射器、激光传感器组成，主要用于激光发射与接收；里程计算单元的主要功能是利用GPS、惯性测量单元对搭载平台的运动状态等进行测量；旋转激光单元是在三维空间内计算传感器平台水平和垂直方向上的角变量；控制计算单元在接收通信单元所提供信息的同时，向搭载平台发送控制信号；通信单元承担着搭载平台与云平台之间信息传递的任务，保证通信链路的稳定。

三维激光点云技术的空间测绘信息获取方式为扇扫，利用无线通信系统将信息上传至云平台，实现同步渲染，保证智慧城市空间测绘效果。目前，智慧城市空间信息测绘中使用最为广泛

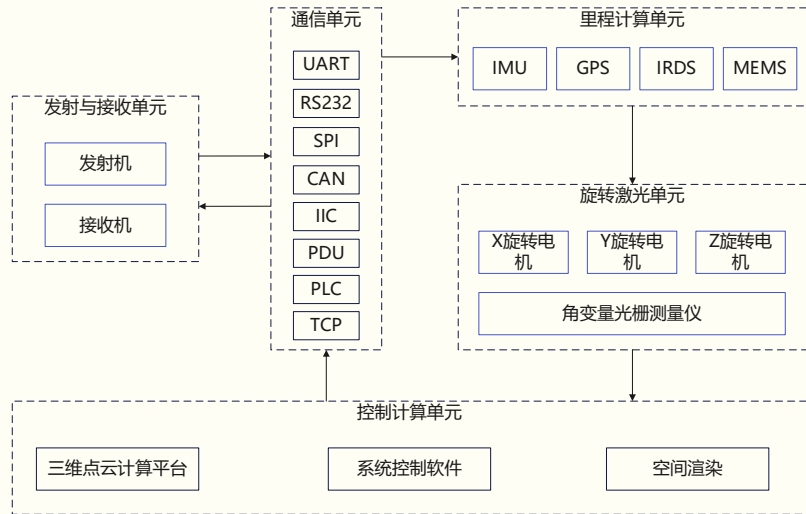


图1 三维激光点云系统架构设计

的主要有机载激光点云技术、车载激光点云技术和基于SLAM的激光点云采集技术。

三维激光点云技术的关键在于激光扫描仪的分辨率、云渲染的速度。早期三维激光点云技术未能普及的主要原因是空间建模精度低，无法准确反映空间模型的真实情况。随着高分辨率激光扫描仪的出现以及分布式渲染技术的广泛应用，通过三维激光点云技术可以在短时间内完成不同空间的模型渲染，并对相关细节进行精准映射。因此，三维激光点云技术推动了包括智慧城市、数字楼宇等在内的数字空间建设。

3.2 三维激光点云技术在智慧城市空间信息测绘中的应用

相比较传统空间信息测绘技术，三维激光点云技术的精度更高，且对搭载平台的要求相对较低，使用较为灵活。基于以上优势，三维激光点云技术被广泛应用于垂直空间建模、城市内部空间建模和建筑内部空间建模等方面。

3.2.1 智慧城市垂直空间建模

智慧城市建设的关键在于三维空间的快速成像，无人机搭载三维激光点云系统对区域范围内的垂直空间信息进行精准测量^[3]。从实际使用情况来看，三维激光点云技术实现垂直空间的厘米级建模精度，且功耗相对较低，能够满足7×24小时的工作需求。在垂直渲染方面，受光线折射、反射等相关因素的干扰，三维激光点云技术在垂直空间建模中需要采取科学的应对策略，如直通滤波、半径滤波等算法。

直通滤波能够发现智慧城市垂直空间高速建模数据中的“奇点”，并在建模中将“奇点”滤除，保证建模的准确性。直通滤波算法的核心在于合理设置不同空间方向上的偏离阈值。直通滤波算法能够保证三维激光点云技术在垂直空间上的信息测绘精度，当异常数据占比较大时，基于直通滤波算法的空间信息测绘效果将明显降低。导致该问题的主要原因是空间湿度较大，如雨雪天气等。因此，技术人员可以在天气情况相对较好时对目标区域进行反复测量，并采取均值算法减小随机误差，提高空间测绘精度。

除此之外，垂直空间建模需要解决悬臂效应带来的扰动误差，在三

维激光点云系统工作过程中，应定期将该系统进行归零、校准。否则，随着扰动误差的累积，垂向精度将明显下降，最终导致垂直空间建模的位置信息无法精准映射，这将对智慧城市地下交通、管网等管理带来一定的影响。

3.2.2 智慧城市内部空间建模

城市内部空间结构较为复杂，包括图形图像匹配、声学雷达等空间信息测绘效果并不能准确反映城市街道、桥梁等信息，而三维激光点云技术可以有效解决这一问题。为提高空间信息测绘效率，选择较为便捷的车载激光点云采集方案，具有速度快、效率高、密度大、成本低的特点，并借助车载惯性单元与组合导航技术进行空间三维信息的精准定位。车载三维激光点云方案的实现难度较大，主要原因在于城市内部空间位置的动态变化，如行驶的车辆、密集的人群等。因此，基于智慧城市内部空间建模的不稳定因素处理，通过聚类算法进行平滑约束，并通过对比前后两点之间法线的变化情况，判定物体的移动状态。

三维激光点云技术的空间建模能力较强，高密度激光反射信号可以提供更加精准的位置信息。借助聚类算法对城市空间移动物体的平滑处理，通过改变相同时间间隔下两点法线角度变化的阈值，提高对移动物体的识别灵敏度。根据三维激光点云系统中三维扫描仪、激光测距仪等测量设备的精度不同，城市空间的三维建模效果也将存在较大差异。

3.2.3 智慧城市建筑内部空间建模

智慧城市建设已经不再局限于简单的城市外部空间信息测绘，在融合楼宇数字化模型等相关信息的情况下，智慧城市空间信息测绘逐步深入建筑内部。基于建筑内部空间特点，三维激光点云方案则是以机器人为平台，由机器人自主完成空间环境定位，关键技术为同步定位与建图 (Simultaneous Localization and Mapping, SLAM) 技术^[4]。基于 SLAM 技术的空间定位优势，在激光雷达对建筑内部环境进行扫描时，将借助惯性导航单元 (Inertial Measurement Unit, IMU) 与高清摄像单元进行空间环境的位置校准。在机器人移动过程中，三维激光点云技术将对应数据上传至云平台，由平台计算机器人位置移动后三维激光点数据的偏离情况，提高空间信息测绘精度和准确度，基于 SLMA 的三维激光点云处理逻辑示意图如图 2 所示。

SLAM 技术作为三维激光点云技术的重要补充，能够实现对点云坐

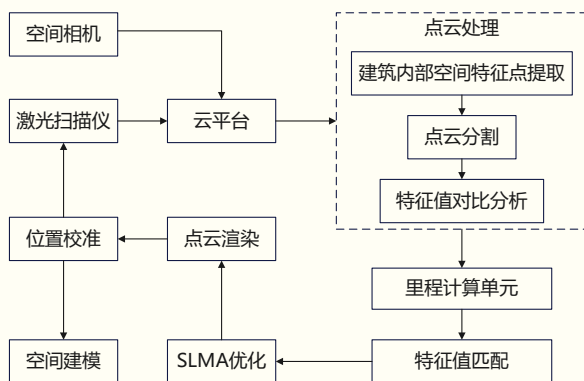


图 2 基于 SLMA 的三维激光点云处理逻辑示意图

标的持续优化，使建筑内部三维数据更好地还原空间信息^[5]。同时，在建筑内部空间较大的情况下，还可以进行离线数据采集，利用系统时间戳对每一帧图像数据、点云数据进行关联，降低对云平台的实时响应要求，使三维激光点云技术的应用范围更广。

结语

三维激光点云技术是现阶段智慧城市空间信息测绘的主流技术之一，具有较强的环境适应性，且跨平台技术融合方案更加灵活，可以满足不同环境下的空间信息测绘需求。随着组合导航、图形图像识别、云渲染、离线渲染等相关技术的完善，以及空间测绘算法的持续优化，基于三维激光点云技术的智慧城市空间信息测绘精度、效率将显著提升，并降低空间信息测绘成本，进一步推动智慧城市建设。

引用

[1] 郑霞.地理信息系统技术在城市测绘中的运用探究[J].信息系统工程,2023(1):41-44.
 [2] 戴文祥,陈雷,闫鹏飞,等.基于三维激光扫描的煤矿巷道形变监测方法[J].工矿自动化,2023,49(10):61-67+95.
 [3] 党迎春,邓京虎,王伟.信息化测绘技术在国土空间规划中的应用探究[J].华北自然资源,2021(6):90-91+94.
 [4] 苏日娜,刘琛.智慧城市中信息化测绘技术在国土空间规划中的应用[J].西部资源,2023(4):198-200.
 [5] 林金双.城市三维模型在规划管理中的应用研究[J].矿山测量,2021,49(3):117-121+133.