

三维激光扫描与倾斜摄影技术在异形建筑三维建模中的应用

陈广亮

广州蓝图地理信息技术有限公司

摘要: 三维激光扫描、倾斜摄影测量等技术作为三维建模的基础技术措施,能够有效采集空间信息数据,创建实景模型。文章先分析了技术应用价值和技术应用原理,随后介绍了数据融合与精度,最后介绍了技术应用实例,包括技术路线、外业实施、点云建模、效果评估,希望能给相关人士提供有效参考。

关键词: 三维激光扫描; 无人机; 倾斜摄影

【DOI】 10.12254/j.issn.2096-6539.2023.14.114

引言

在建筑设计和施工技术持续创新发展背景下,相继诞生各种异形建筑,也是形状较为独特建筑体,表面形态呈现出曲面特征或较为特殊立面空间,拥有较强视觉冲击,感染力突出。对于异形建筑而言,传统测量方法已经无法满足其测量需求,为此需要灵活利用倾斜摄影以及三维激光扫描技术合理针对异形建筑实施建模处理,辅助建筑设计施工。

一、技术应用价值

随着时代发展,城市建设,二维数据已经无法满足新时期社会发展需求,三维模型凭借其自身独特优势将纹理、属性以及几何外形等多样信息直观、简单展现出来。针对建筑创建三维模型中应用无人机倾斜摄影拥有高效低成本等优势,市场中的无人机额外搭载倾斜摄影装置能够顺利实施倾斜摄影测量,快速采集相关信息,形成大范围点云,基于点云数据,按照相片实施纹理贴图,但针对那些存在结构独特的异形建筑,因为互相重叠的影像,无法达到特征点实际密度要求,容易出现点云结构缺漏,导致形变、缺陷等问题。

比起无人机倾斜摄影,尽管三维激光扫描同样存在某种缺陷,但两种技术能够互为补充,实现优势互补。三维激光扫描能够针对异形建筑全面扫描,并针对较为独特建筑结构进行测量采集,相关点云精度超出倾斜摄影测量。机载激光扫描技术应用于异形建筑测量中,能够对建筑特殊结构部位数据进行准确测量,为此通过三维激光扫描与无人机摄影相关技术融合,能够进一步提升三维模型质量、精度。

二、技术应用原理

(一) 三维激光扫描技术应用原理

三维激光扫描属于建筑实景建模全新方法,广泛应用于国内外测绘行业。在激光测距原理下,三维激光扫描系统能够通过内部激光组件发射多组光束,将光束当成基础测量媒介,利用设备内高精度时间计量设备,对光束在被测目标物和发射装置之间往返时长以及竖向垂直扫描角度进行计算,得出被测目标物三维坐标数据。大部分条件下,三维激光扫描系统内初步存储相应坐标

系,将光束发射点当成整个坐标系原点,竖向方向是Z轴,水平面中分布X轴,并和Z轴保持垂直。由此得到测量物体中P点坐标计算公式:

$$\begin{cases} P_x = S \cos \alpha \cos \theta \\ P_y = S \cos \alpha \sin \theta \\ P_z = S \sin \alpha \end{cases}$$

上述公式中,S为摄影比例尺,x、y、z分别是水平、竖向和斜向轴。

同步获得斜距以及发射率等物理信息,相关技术拥有目标物扫描以及多点测量等功能,初步测量得到被测目标物反射率、三维坐标以及斜距等空间信息后,借助数据专业处理软件形成三维激光扫描成功,构建点云模型,借助点云模型能够实施地形、面积测量,监测变形问题,实施三维建模测绘。

(二) 无人机倾斜摄影技术应用原理

倾斜摄影技术能够帮助垂直摄影弥补测量成像方面的缺陷和不足,垂直摄影仅能测量地物上表面,但因为地上建筑各个细节部分较为紧密,结构复杂,导致部分近地面数据产生损失变形问题,为此需要在创建三维模型中针对近地面信息数据实施人为干涉,结合倾斜摄影测量原理形成以下公式:

$$\begin{cases} D_{\max} = h_g \times \tan(\alpha_y + \beta_y) \\ D_{\min} = h_g \times \tan(\alpha_y - \beta_y) \end{cases}$$

上述公式中, α_y 是相机倾斜角, β_y 为相机投影角,飞机所处飞行高度是 h_g ,无人机和地物之间最高横向距离是 D_{\max} ,无人机和地物之间横向距离最低值是 D_{\min} 。

三、数据融合及精度分析

(一) 数据融合

无人机为基础的倾斜摄影测量和三维激光扫描比起来,能够采集更为完整的建筑顶层信息,涵盖色彩、纹理等空间信息,但也存在某种限制,建筑侧面和底层空间信息容易产生变形、缺陷问题,异形建筑也通常无法顺利采集部分异常部位的点云信息。三维激光扫描技术能够对上述缺陷进行有效弥补,顺利采集更为完善的点云信息,针对建筑结构形成更为完善空间信息。采集存储对应点云数据,剔除错误、缺陷点云数据,从而获得更加准确、真实三维数据模型。因为无人机相关倾斜摄影能够得到相对完整顶部空间信息,所以需要适当删减点云数据中的残留点云以及变形部分。使建筑顶层维持完整信息,而建筑侧面弧形存在一定缺失,再加上整个建筑结构不规则性,使距地面较近部位点云数据产生变形、空洞等问题,为此需要进行合理剔除,结束分割

裁剪,剔除冗余部分后,促进倾斜摄影以及三维激光测量所形成点云数据进行全面融合,提取建筑物数个明显特征点,充当两种点云数据共同特征点,和公共特征点逐一对应,利用旋转、平移等方式优化点云数据模型匹配。在结束三维激光扫描以及无人机倾斜摄影后,都率先剔除冗余数据才开始融合,并联系融合效果,对空洞部分进行重点关注,判断是否补全变形、冗余部分,裁剪未经彻底剔除部分,构建三角网即三维建模,提高建模效率,优化模型精度。

(二) 数据分析

点云模型精度会被建筑材料、光照等因素影响。但主要影响因素包括下列几点,第一是无人机倾斜摄影所形成点云设计精准度,涉及重叠率、规划航线、飞行高度以及镜头分辨率等因素影响。第二是三维激光扫描下点云精度,主要受到三维激光扫描设备自身精度影响,为此需要结合测量实际,合理选择激光扫描设备。第三是人为误差,在人为影响干预下容易产生明显误差,如果提取特征较为突出,则能够获得更加精准点位空间位置,提高点位分布以及点位数量合理性,经过数据后进一步提高空间匹配精度。假如在测量精度方面存在较高要求,可以利用倾斜摄影测量重合率、相机像素、飞行高度以及三维激光扫描配准等方式对采集点云数据实施合理改善,提高基础模型融合精度,优化三维模型融合后点云精度^[1]。

四、技术应用实例

(一) 技术路线

此次工程案例中采取机载激光扫描技术,通过数据融合实施建模。率先通过无人机搭配设置五镜头倾斜摄影系统,并针对测区范围中不同地物按照高重叠度进行摄影,基于无人机搭载激光雷达连续扫描相同测区。并从地面设置相应数量像控点,使两者数据保持相同坐标系^[2]。其次,利用CONTEXT CAPTURE软件针对倾斜摄影数据实施空三加密处理后,将倾斜摄影采集点云信息与激光点云全面融合,辅助三维建模,提高建模精细化程度,和单独通过倾斜摄影所构建三维模型实施精细度对比分析,具体技术路线如下:

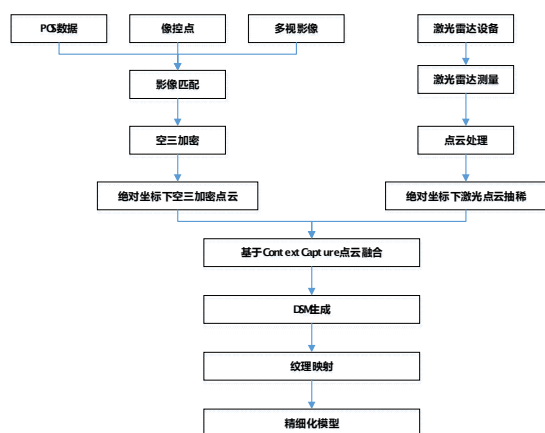


图1 点云融合三维建模技术路线

(二) 外业实施

无人机搭载倾斜摄影在对相关数据进行全面采集

中,主要利用DJI M300 RTK无人机作为基础飞行平台,其中配置相机型号是A5100,设置23.5毫米的传感器设备,正射相机对应焦距是20毫米,倾斜相机设置焦距是25毫米,按照航向80%设置航线,周围75%重叠度,具体飞行高度为150米,地面摄影具体分辨率达到2厘米,整个飞行航向按照南北进行设置,具体航线布置如下图所示:

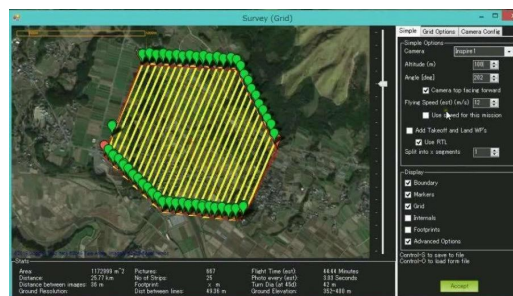


图2 无人机飞行航线设置

为进一步降低飞行姿态以及拍摄时延所形成的不良影响,初步设计外业航飞按照每秒9米的速度飞行,所选飞行时间是从上午11点到下午3点,两个测区总计设计飞行架次3个,得到航片数量达到1万多张。

无人机搭载激光雷达系统进行数据采集中,选择DJI M600无人机充当基础飞行平台,其中装配rigel vuvx-1 mini激光设备,根据井字形模式对无人机飞行线路进行优化布局,激光设备有效射程范围是170米,具体飞行高度达到65米,按照每秒6米速度飞行,搭配激光设备射程能够提升测量效果,相关井字形飞行航线具体如下图:

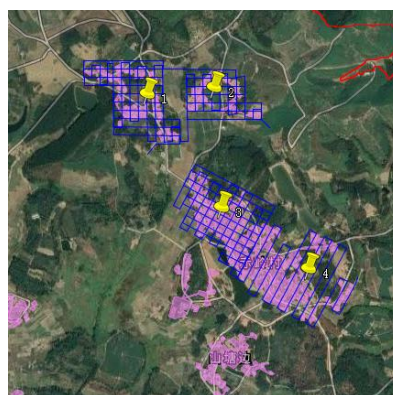


图3 激光雷达无人机航线分布图

像控点布设和测量实践中,按照特征点解算方法实施数据采集,优化布设像控点,并针对山区设置4个像控点,在测区边缘进行均匀布置。此外,在测区内部均匀布设像控点,具体设置间隔是200米。倾斜摄影具体航飞时间为2020年9月10日,对应飞行时段为11点,总计飞行1架次,所得航空照片总量达到17G。工作照片具体如下图所示:

激光雷达在拍摄作业中不会被天气日照等因素所影响,只要保障无人机的安全飞行即刻,能够在全天任意时间段内进行相关操作。在数据采集中,总计飞行2架次,拍摄获取数据量达到1G。在结束外业测量后,需要整理各项采集数据,并将其收入专业软件系统中进



图4 工作照片

行预处理,主要流程如下,第一是针对拍摄航片坐标实施纠正,做好数据的空三加密处理。第二是针对所采集激光点云数据实施全面抽稀、去噪以及粗分类处理。第三是针对倾斜摄影空三加密数据和点云实施坐标融合转换,在实施预处理后得到两组数据,分别是激光雷达点云数据以及倾斜摄影的空三数据^[3]。

(三) 点云建模

基于CONTEXTCAPTURE支持下多源数据融合建模,此次项目中主要借助CONTEXTCAPTURE软件针对两组数据进行点云融合,支持三维建模。针对激光点云实施全面配准和绝对定向处理后,在同一坐标体系内融入空三加密点云和激光点云数据,并基于CONTEXTCAPTURE进一步融合两种点云,在点云基础上进行三维建模,针对初步构建三角网实施简化、平滑处理,随后借助倾斜摄影,使影响自动映射形成纹理,便能够形成精准三维模型。整个实践工程中,最为关键的是对点云进行全面配准,即通过求取七参数以及相关计算获得完美变换坐标参数,针对不同视角系对应点云数据实施平移旋转等刚性转换操作,并在目标指定坐标下实施统一整合,即可以利用平移旋转等位置重合措施对空三加密点云以及激光点云数据实施有效配准,为此两种点云都是刚性变换,进而言之大小形状一致,坐标不同。在配准点云中需要对两个点云对应坐标变换关系进行求解。为此可以初步判断点云配准中的输入输出内容如下:第一是两种刚性转换点云,目标点云与源点云拥有相同大小、形状。第二是点云配准后获得平移旋转变化矩阵,这一矩阵能够体现成两种点云位置之间转换关系,即针对点云数据实施数学公式计算能够转化至目标点云位置,促进两者重合。点云配准需要根据精确度以及初始条件实施,包含精准、粗略两种配准方法。粗略配准即处于目标点云以及源点云不了解初始相对位置条件下实施的配准措施。这种方法主要目的是在尚不了解初始条件下,对下一点云配准矩阵实施快速估算。整体计算需要维持较高运算速度,但对于最终计算结果没有过高的精确度要求。其中粗略配准算法基础思路涵盖全局搜索策略、局部特征为基础的描述方法以及统计学概率等方法。

局部特征为基础的描述方法是对TARGET以及SOURCE临域几何特征进行全面提取,按照几何特征判断两者不同点之间对应关系,随后对这一关系进行计算得到转换矩阵。点云几何特征十分多样,像是快速点特征直方

图便是其中应用频率较高的方法之一。全局搜索策略为基础的算法主要是按照一致性采样算法实施,这一算法是从TARGET、SOURCE间随机提取几何特征,按照特征相同点进行组对。经过对不同点之间变换关系进行准确计算,顺利得到最优解法。正态分布算法是基于统计学概率,结合点云正态分布状况,初步确定具体点,随后对TARGET、SOURCE两者转换关系进行计算。

精准配准是基于现有初始转换矩阵,利用迭代最近ICP算法等获得精确结果。ICP算法是对TARGET、SOURCE相关点距离进行计算,打造平移旋转矩阵RT,随后利用RT转换SOURCE,变换后得到均方差,如果满足阈值,结束算法,不然便需要反复迭代,到满足阈值为止^[4]。

(四) 效果评估

此次航空摄影测量中,现场通过飞控软件划分航线、设置飞行区域,将分辨率设置成5厘米,航向重叠以及旁向重叠都是70%,按照交叉飞行模式为主,便于绘制三维模型。一个架次飞行,形成25个航线,飞行时长是30分钟。经综合采取无人机、三维激光扫描技术等方法,最终形成立面图、地形图以及三维模型,提升整体效率,为现场提供详细数据信息。激光扫描点云主要源自主动遥感,除去空间三维坐标,同时涵盖层次感强度信息,通过被动式遥感措施来得到匹配点云,掌握相关影像色彩信息。色彩和强度能够通过不同层面辅助理解语义,对点云实施分类识别。激光扫描点云能够保障数据采样均匀度,从结构特征反应层面分析不存在明显指向性,影像匹配点云在其中具有突出优势。^[5]

结论

综上所述,在城市化发展进程持续加速下,相关施工技术不断发展,异形建筑因其特殊结构,从某种程度上扩大了工程测量难度,传统测量方法已经无法满足新时期建筑测量要求,为此需要合理利用无人机倾斜摄影以及三维激光扫描技术,辅助建筑工程进行三维建模,优化建筑设计效果。

参考文献

- [1] 孙保燕,周鑫.融合大高差序列影像的单体异形建筑免像控建模方法[J].遥感信息,2022,37(02):131-137.
- [2] 杨晓旭.3D扫描测量与BIM技术在大型异形建筑施工中的应用[J].测绘与空间地理信息,2022,45(03):173-175+179.
- [3] 田泽海,杨友生.三维激光扫描技术在异形建筑规划条件核实测量中的应用[J].地理空间信息,2021,19(05):81-84+5.
- [4] 李文国.三维激光扫描技术和低空无人机在异形建筑竣工测量中的应用[J].城市勘测,2019(04):108-111.
- [5] 刘春,曾劲涛.面向单体异形建筑的无人机单相机实景三维建模[J].同济大学学报(自然科学版),2018,46(04):550-556+564.

作者简介:陈广亮(1990-5),男,籍贯:广东省怀集县,汉,硕士,工程师,主要研究方向:自然资源时空大数据。