

引用格式:Wang Fangjian, Xi Xiaohuan, Wan Yiping, *et al.* Analysis on Digitization and 3D-reconstruction of Large Building based on Terrestrial Laser Scanning Data[J]. Remote Sensing Technology and Application, 2014, 29(1):144-150. [王方建, 习晓环, 万怡平, 等. 大型建筑物数字化及三维建模关键技术分析[J]. 遥感技术与应用, 2014, 29(1):144-150.]
doi:10.11873/j.issn.1004-0323.2014.1.0144

大型建筑物数字化及三维建模关键技术分析

王方建^{1,2}, 习晓环¹, 万怡平^{1,2}, 钟开田³, 王 成¹

(1. 中国科学院遥感与数字地球研究所, 北京 100094; 2. 中国科学院大学, 北京 100049;
3. 北京富斯德科技有限公司, 北京 100078)

摘要:随着激光扫描仪硬件水平的不断提高及数据处理方法的不断完善,地面三维激光扫描技术在城市建筑物数字化与三维建模方面的应用越来越广泛。通过对比使用两种不同工作原理的激光扫描仪(相位式和脉冲式)进行大型建筑物数字化及三维建模的试验,详细探讨了试验过程中数据采集、数据处理及三维建模等各个环节的主要问题及关键技术,提出了相应的解决方案及需进一步研究解决的问题。

关 键 词:地面三维激光扫描;点云配准;建筑物;三维数字模型

中图分类号: TP 79 **文献标志码:** A **文章编号:** 1004-0323(2014)01-0144-07

1 引 言

城市建筑的数字化与建模一直是数字城市建设中极为重要的内容。传统的城市建筑物空间信息获取主要依赖于地面全站仪采点、航空摄影测量和卫星影像等,但是由于数据获取能力的限制,难以得到真实有效的建筑物三维模型。激光扫描测距技术(LiDAR, Light Detection and Ranging)以其高精度、高密度、高效率、实时性强、信息量丰富和非接触性主动测量等特点,从其问世就得到了广泛应用。机载 LiDAR 可以快速获取城市建筑物顶面的高精度、高密度点云数据,从而建立有效的建筑物三维模型,但是因为缺乏建筑物立面数据,模型信息不完整,特别是对于大型复杂建筑物,仅利用机载 LiDAR 数据难以建立真实完整的三维模型。

地面三维激光扫描技术(Terrestrial Laser Scanning, TLS)通过多站点多视角对目标进行扫描,得到目标表面完整的高精度、高密度的点云和纹理信息,从而建立目标完整的真三维模型。刘春

等^[1]使用 MENSIS GS200 激光扫描仪对同济大学校内的孔子塑像进行数字化,并通过构建三角网建立了三维数字模型。Van Genechten 等^[2]使用多种类型的扫描仪分别扫描了比利时圣詹姆斯教堂的内景和外景并建立了数字模型。北京建筑工程学院与故宫博物院合作^[3]开展“古建筑数字化测量技术研究”,采用多台地面激光扫描仪对北京故宫太和殿、太和门等进行了数字化扫描,并建立三角网模型或 NURBS 曲面模型。近年来随着扫描仪硬件研制以及数据处理技术的发展,地面三维激光扫描技术开始应用于大型复杂建筑物的数字化及建模。丁延辉等^[4]扫描了城市部分街道,并通过构建三角网生成实体模型。李杰^[5]等使用地面激光扫描仪进行城市大型复杂建筑的三维空间信息获取,并利用设备自带的数据处理软件建立真三维数字模型,最后使用 3DMax 软件实现贴图。吕翠华等^[6]对多栋大型建筑的复杂场景进行数字化,并在 AutoCAD 中提取特征线、绘制线画图,在 3DMax 中建模并贴图,最

收稿日期:2012-11-01;修订日期:2013-07-09

基金项目:中国科学院百人计划专项(09ZZ06101B),国家自然科学基金面上项目(41171265)。

作者简介:王方建(1986—),男,安徽枞阳人,硕士研究生,主要从事激光雷达三维建模研究。E-mail: fjiang@ceode.ac.cn。

通讯作者:习晓环(1972—),女,陕西乾县人,副研究员,主要从事激光雷达遥感研究。E-mail: xhxi@ceode.ac.cn。

终得到逼真的三维数字模型。

本文在总结前人利用 TLS 技术开展城市建筑物数字化及建模的基础上,分别利用相位式和脉冲式两种不同工作方式的地面三维激光扫描仪,以中国科学院对地观测与数字地球科学中心主楼为实验对象,对其进行数字化扫描及建模实验,分析了其中的关键技术,并指出了需进一步解决的问题。

2 地面三维激光扫描仪工作原理

地面三维激光扫描仪主要由激光扫描仪、控制器、电源、数码相机(内置或外置)及配套软件组成,通过记录每个激光脉冲从发射到接收回波之间的时间差或相位差来计算目标与扫描仪中心的距离,由仪器内置的精密时钟控制编码器同步测量出该激光脉冲纵向和横向扫描角度,从而计算该激光脚点的三维坐标^[7]。

按照激光脉冲工作原理的不同,地面三维激光扫描仪可以分为脉冲式、相位式和脉冲—相位式^[1]。目前主流的激光扫描仪多采用脉冲式,如瑞士徕卡(Leica)系列、奥地利瑞格(Riegl)系列、加拿大 Optech 和美国的天宝(Trimble)等,其优点是测程远,如 Riegl 的 VZ-4000 最远可以达到 4 km,但脉冲频率有待进一步提高。基于相位式的扫描仪是通过激光脉冲进行幅度调制并测定调制信号往返测线一次所产生的相位延迟,根据调制光的波长,计算出该相位延迟所代表的距离;其优点是扫描频率和精度高,缺点是测程短,如美国法如(FARO)公司的 Focus3D 设备,其发射脉冲可达到 976 kHz,但其标称最大射程只有 153 m。

3 建筑物数字化及建模实验

3.1 地面三维激光扫描建模一般流程

地面三维激光扫描建模的流程大致分为内业方案制定、外业数据采集、内业数据处理等流程,涉及大型建筑物的建模,在方案制定方面还需考虑包括建模软件的选择等。内业方案制定主要包括控制网布设、扫描路线选择及站点布设、数据存储及外业电源供应方案等;外业数据采集即按照设计的方案采集控制网信息及点云数据;内业数据处理包括多站数据的配准、坐标转换、去噪、重采样及输出等;建模包括基于点云数据建立三维模型,再对模型进行纹理贴图,完成真三维模型的重建。

3.2 实验环境概况

本研究选择中国科学院遥感与数字地球研究所

(新技术园区)办公大楼(图 1)为实验对象。大楼由相互连接的 3 栋建筑组成,分别是 A 座、B 座以及近似椭球的 C 座圆厅。大楼周围环境开阔,无明显障碍物,但是楼层表面玻璃材质多,激光穿透产生的噪音及镜面反射导致的数据缺失问题会比较严重。



图 1 试验大楼(部分)

Fig. 1 Photo of the building in this study

3.3 扫描仪概况

本研究采用了美国 FARO 公司生产的 LASER SCANNER Focus3D(以下简称 Focus3D)和奥地利 Riegl 公司生产的 Riegl VZ-1000(以下简称 VZ-1000),代表了当前市场上主流的不同工作原理的地面三维激光扫描仪,其性能指标如表 1。

表 1 两种典型工作原理的地面三维激光扫描仪性能指标
Table 1 Configurations of two typical types of TLS

设备参数	VZ-1000	Focus3D
工作原理	脉冲式	相位式
激光波长/nm	1 550	905
激光等级	1	3R
脉冲频率/kHz	300	976
扫描角范围	360°×100° (水平×垂直)	360°×305° (水平×垂直)
射程/m	1~1 400	0.1~153
测距误差	5mm@100m	2mm@25m
相机	外置	内置

3.4 实验及结果

使用 Focus3D 实验时间是 2011 年 5 月 11 日,天气晴好。扫描时未采用设备最高脉冲频率,而是采用 1/2 档,即 488 kHz,沿大楼周围均匀布设 15 个站点,扫描了 C 座楼顶,未扫描 A 座和 B 座的楼顶;单站扫描时间 3~5 min,总耗时约 2 h,获取到原始数据 2.56 G,配准后的点云约 12 亿个,数据量约 7.2 G。使用 VZ-1000 实验时间是 2012 年 9 月 16 日,同样为晴好天气。扫描时采用设备最高脉冲

频率,即 300 kHz,沿大楼周围均匀布设 15 个站点,包括了 A、B、C 座建筑的楼顶,单站扫描时间约 6 min,总共耗时约 3 h,得到原始数据 2.5 G,配准输出后的点云约 4 亿个,数据量 2.43 G。两种数据在后续处理中仅使用了点云的 xyz 信息,未用强度及 RGB 等信息,因此采用了简单的 xyz 数据格式,并且建模时均进行了抽稀处理。总体上来说,Focus3D 由于脉冲频率和精度高、体积小、便于携带等,整体上优于 VZ-1000;但 VZ-1000 由于射程远,在对远距离大场景扫描时具有明显优势,可以在架设较少站点的情况下获取对象的完整数据。图 2 和图 3 分别是 Focus3D 和 VZ-1000 扫描配准后的点云模型,均进行了重采样。

Focus3D 获取的高密度的点云数据生成的最终模型具有良好的细节表现程度,真实精确地反映了建筑物表面的结构特征。

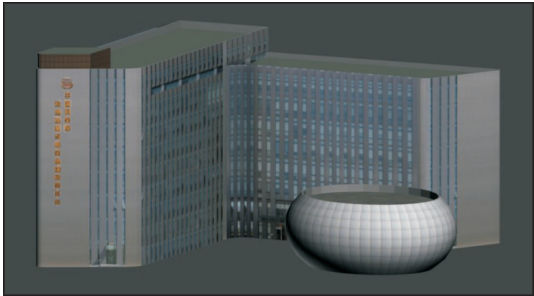


图 4 Focus3D 扫描点云建模效果图

Fig. 4 3D Building model from Focus3D

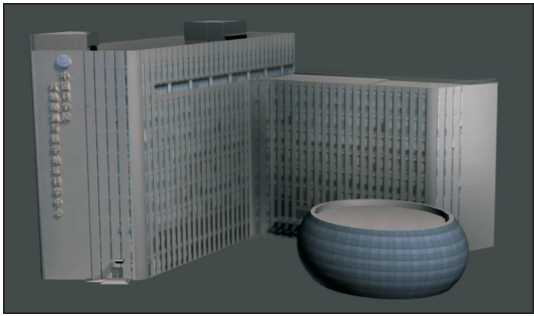


图 5 VZ-1000 扫描点云建模效果图

Fig. 5 3D Building model from VZ-1000

4 大型建筑物数字化及建模关键技术分析

4.1 数据采集阶段

4.1.1 扫描设备选择

根据项目成果需求选择合适的扫描仪设备。从图 2 和图 3 可以看出,Focus3D 扫描的点云数据比 VZ-1000 扫描的点云数据密度要大许多,但是该仪器标称最大射程 153 m,但在实际应用中由于外界环境达不到仪器要求的条件,最大有效距离可能不超过 80 m;加之扫描角大、激光信号反射率低等原因,导致大楼顶部数据缺失。缺失数据只能通过其他测量手段获取或者补测,或者在建模时参照数码相片来近似模拟,这势必影响模型精度。同时可以看出,对于表面比较规则的大型建筑物,极高的点云密度会大大增加数据量,同时增加数据管理和处理的难度。因此,针对大型建筑物的数字化与建模,建议选择脉冲式的中远距离的三维激光扫描仪。

4.1.2 数据采集方案

为了高效率地完成外业数据采集任务,即以尽量少的设站数获得完整的扫描对象信息,必须提前了解扫描对象及周边环境,设计最佳的扫描路线及

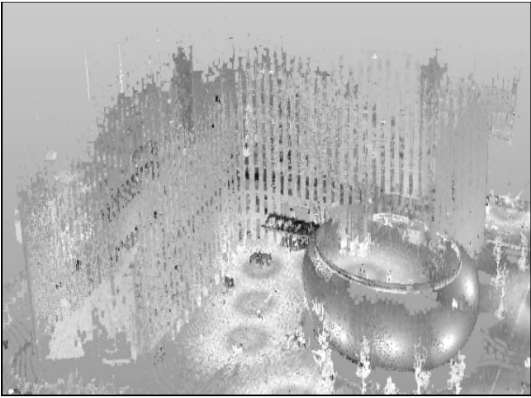


图 2 Focus3D 扫描配准后点云模型

Fig. 2 Point cloud model from Focus3D

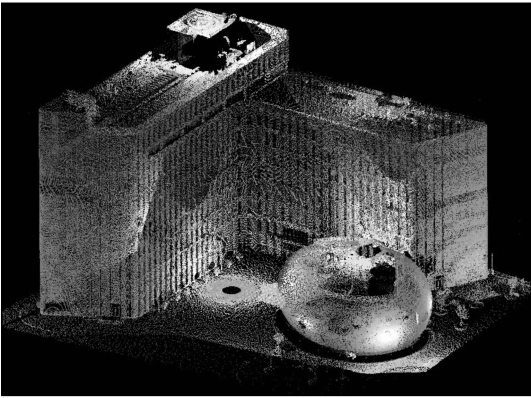


图 3 VZ-1000 扫描配准后点云模型

Fig. 3 Point cloud model from VZ-1000

采用德国 Kubit 公司开发的基于 AutoCAD 平台的 PointCloud 软件,对两种设备获取的点云模型进行三维重建,而纹理贴图工作在 3DMax 软件中完成。图 4 和图 5 分别是利用 Focus3D 和 VZ-1000 两种设备获取的数据构建的模型效果图。对比两者的建模效果,不考虑纹理贴图的质量,可以发现,

站点分布,尽量减少扫描盲点,避免或者减少后期补测工作量。需要注意的是,扫描站点增加及站点分布会导致误差累积,影响配准精度,从而影响最终模型的精度。

多站点云数据配准一般都要求相邻站点之间至少有4个或4个以上的同名点,因此扫描过程中一般要布设参考球(板),且要布设在通视的地方,尽量能被多个站点都扫描到,且不能遮挡建筑物表面特征。好的参考球(板)布设方案不仅可以极大地提高扫描效率,方便后期数据处理,还有利于提高成果的精度。同时,单站扫描时也可以通过指定扫描仪的扫描范围来减少单站扫描的时间和数据量,从而也可以减少后期数据处理的工作量,提高效率。

4.2 数据处理阶段

4.2.1 点云配准

地面三维激光扫描一般采取多站式扫描,同一个扫描对象通常有几个、几十个甚至上百个扫描站点,而每一站的扫描数据都在其各自的仪器坐标系中,为便于后期的数据处理,必须进行多站点数据配准,即将各站点数据转换到同一坐标系下,得到一个整体的空间数据集^[8]。点云配准方法通常包括间接配准和直接配准。

间接配准一般有两种方法,即目标对目标的配准和点集对点集的配准。前者通过在扫描对象表面或附近均匀布设参考球(板),这些参考球(板)一般由设备厂商提供,与其相应型号的扫描仪配套,具有明显的几何特征和较强的反射率。相邻站点之间包含同名的3个以上(一般要求至少4个)的参考球(板),通过同名目标点即可解算出空间变换参数^[9],即3个角元素(Ω, σ, κ)、3个平移参数($\Delta x, \Delta y, \Delta z$)和一个尺度系数($\lambda=1$ 固定)。这种方法在作业中需要注意:目标不能太大,不能遮挡扫描对象重要细节;尽可能使用人工目标,避免使用自然目标,对于某些人工难以到达的区域,手工选取同名点时务必选在特征突出的地方,如窗户角点,以保证配准。一些硬件配套软件自带了检测目标点的功能,但是在目标点所在区域不光滑时,容易检测错误导致同名点不匹配,这时就需要人工校正。

点集对点集的配准并不需要非常精确的同名点,因此作业过程中不需要布设参考球(板),但是相邻两站之间的点云数据要保证30%~40%的重叠度。配准时,首先在重叠区域均匀选择3个以上(一般4个即可)同名点,计算转换参数。由于实际工作

选取的同名点很难精确,所以只是简单的粗配准,在此基础上再进行多站点平差,即应用标准的邻近点迭代法^[10](Iterative Closest Point algorithm, ICP),通过迭代计算相邻最近点集,调整并评估转换模型误差,使误差达到最小。这种标准的ICP算法存在容易陷入局部最优解、时间开销过大等缺陷。周春艳等^[11]提出了一种改进的ICP算法,通过增加点集预处理手段,重采样确定更优控制点并优化邻近点查找方法等,提高了配准的稳定性及效率。Kwang等^[12]提出了另一种改进的ICP算法,即几何基元ICP—随机采样一致性算法(Geometric Primitive ICP with the RANSAC, GP-ICPR),通过应用改进的ICP算法和随机采样一致性算法(Random Sample Consensus, RANSAC)达到全局收敛及一定的平滑去噪效果。使用点集对点集配准方法需要保证相邻站点之间30%~40%的重叠度,尤其是对于一些扫描盲点,如角落、建筑屋顶等需要单独扫描的地方,务必要与其他站点有一定的重叠,以便于找到同名点从而进行粗配准。

直接配准是直接计算所有站点每个激光点的真实地理坐标,要求在扫描时测量每个站点中心的真实地理坐标,扫描测量过程即相当于碎步测量,站点中心坐标为控制点,直接计算得到扫描点的地理坐标,从而得到所有点云数据在地理坐标系中的精确位置,无需进一步配准。需要注意的是,扫描过程中必须保证仪器的精确对中、整平和定向。

4.2.2 点云去噪

由于地面三维激光扫描仪的高密度、中远距离测程及360°的水平旋转扫描,每一站都会采集到非目标区域的数据,并且会不可避免地引入一些噪音。尤其是经过整体配准之后,数据量极其巨大,因此有必要进行点云数据的滤波^[13],以便后期数据应用(如建模)。

传统的激光点云滤波方法很多^[14],包括基于数学形态学滤波、基于坡度变化滤波、基于不规则三角网滤波、基于多分辨率方向预测滤波等,但这些针对机载激光点云数据的算法并不适用于地面LiDAR。针对地面激光点云数据,尤其是对于建筑物的扫描点云数据,一般范围不大,但是点云密集、数据量大,其去噪主要包括目标区域外的点云滤除、区域内孤立点集及线性噪声滤除。

目标区域外点云是指扫描过程中采集到非目标区域的点云数据,这部分数据在所有点云中占据相

当大的份量,滤除后可以有效减少数据量和系统资源占用,提高数据处理效率。可以考虑比较简单的手工框选删除的方法直接滤除。孤立点集及线性噪声是指建筑物周围的杂物、树木、路灯、行人、激光穿透建筑物玻璃等得到的数据,这些噪音一般呈孤立点集,行人、车辆等扫描过程中的移动目标易在扫描数据中产生线性噪声,这类噪声数据量较小,但会影响后期建模,可以通过空间栅格去噪法滤除。具体方法是首先对原始数据进行八叉树划分,再对八叉树叶节点上点云数据进行空间栅格化,通过计算非空栅格间的相邻拓扑关系,滤除孤立点集和线性点集,从而达到去噪效果。

4.2.3 点云重采样及导出

经过精简及去噪后的点云数据往往包含非常大的数据量,直接利用这些数据建模不仅工作量大而且效率低,因此,通常情况下还需要进行点云重采样。重采样的方法有两种:一种是简单的抽稀,间隔一定数目的点云采集一个点,优点是速度快,大部分的软件都采取了这种采样方法;缺点是这种无差别的抽稀容易丢失一些形状复杂、细节程度高的区域的信息。另一种重采样方法是首先判断表面曲率,在曲率小、表面较平滑的地方加强抽稀力度,而在曲率大、表面变化剧烈的地方尽量少抽稀或不抽稀,这样既可以达到减少数据量的目的,又能有效地保留扫描对象的特征信息,缺点是算法复杂、速度慢,而且目前尚无比较成熟的算法。

经以上预处理后,需要将点云数据导出为通用格式的成果数据。如果数据量小即可以整体导出;如果工程较大、数据量巨大,则应该对数据进行合理分块后导出。目前所有扫描仪硬件配套的数据处理软件都支持通用的点云数据格式,如 ASCII 码、PTX、PTS、PTC、LAS、DXF 等,这些格式的点云数据也都为大多数的第三方点云建模软件所支持。

4.3 三维建模阶段

通过点云的配准、去噪等操作后得到的点云数据是包含了目标对象丰富信息的点云模型,但只是一种离散点的距离影像,必须转换为由平面、曲面、长方体、柱体、椎体等基本几何形状表示的立体模型,并且对模型表面进行纹理贴图。对于一些体积较小但表面形状极其复杂的建筑,如佛像、壁画等,一般采取构建三角网或 NURBS 曲面的方法建立表面模型^[15],再应用复杂算法映射纹理,从而得到逼真的三维数字模型。但是这种方法运算量大、耗时

久、对电脑配置要求高,不适用于大数据量的城市大型建筑的三维建模,且大型建筑表面一般都是由规则的平面、曲面构成,因此可以通过提取特征线,绘制线画图,进而完成建模,再进行纹理贴图。基于地面激光点云数据建筑物模型重建的自动化是近年来的研究热点^[16],自动化流程的关键两步是点云面片的分割及几何模型的重建。

Region Growing^[17]和 RANSAC^[18]是两种有效的面片分割算法,基于知识的重建方法^[19]通过赋加面片语义特征能够有效重建包括门窗等细部特征的建筑物模型。总体而言,方法的自动化程度目前依然不高且难以处理复杂建筑物,数字城市的建筑物模型重建工作主要还是以应用商业化建模软件为主,如 Cyclone、Geomagic、PointCloud、Phidias、Pointools、Scan3D、CloudWorx、PolyWorks 等,这些软件各有所长,在实际中可根据需求选择。

5 结 语

地面三维激光扫描技术为大型建筑物数字化和三维模型构建提供了全新的技术手段。本文对比使用两种不同工作原理的扫描设备对同一栋建筑物进行扫描并建立三维数字模型,取得了较好的效果。需要指出的是,虽然地面三维激光扫描的软硬件越来越成熟,但是在实际应用中还有很多问题需要进一步研究:

(1)扫描站点的布设不仅影响扫描效率,也会影响点云的配准精度进而影响最终模型的精度。目前站点布设方案的设计大多出于提高扫描效率的定性考虑,没有一个量化评价站点布设方案对点云精度影响的方法。施贵刚等^[20]通过实验比较不同测站次数下点云配准的最终中误差,认为多视点云配准设站最佳次数为 4。对于大型建筑物,4 站点显然无法扫描得到完整的数据。因此,对于大型建筑物,如何在保证最终点云精度的前提下尽可能减少设站次数是一个有待进一步研究的问题。

(2)海量数据的精简压缩方法问题。大型建筑物尤其是复杂场景建筑物数字化后点云数量极大,现有的数据精简压缩算法总是以损失大量特征信息为代价,科学的数据简化方法会大大减少数据管理和后续建模的工作量。

(3)点云数据配准后的精度评价。虽然各扫描仪的标称精度很高,多数都能达到毫米级,但是因实际扫描环境、扫描方法的差异,往往难以达到标称精

度;而经过多站点配准后又引入累积误差,尽管配准精度也能达到毫米级,但是这只是配准内符合精度,而更需要一个有效评价配准后的点云数据精度的科学方法。

(4)建筑物模型的质量评价,同点云模型一样,目前而言,也缺少一套有效的评价建筑物模型质量的科学方法。

另外,由于大型建筑物一般都比较高,顶部复杂,部分建筑顶面试验人员难以到达或者无法架站,因此如果单独依赖于地面三维激光扫描,很难获取到顶部的信息。因此,还需要结合其他数据,如机载激光点云数据、高分辨率卫星影像等,实现大型建筑物的完全数字化和真三维重建。

致谢:文中所用的 Focus3D 设备以及在建筑物数据获取和处理过程中得到了北京数联空间科技股份有限公司的大力支持,在此深表感谢!

参考文献(References):

- [1] Liu Chun, Chen Huayun, Wu Hangbin. Data Processing and Feature Extraction from 3D Laser Remote Sensing[M]. Beijing: Science Press, 2009, 41-49. [刘春, 陈华云, 吴杭彬. 激光三维遥感的数据处理与特征提取[M]. 北京: 科学出版社, 2009, 41-49.]
- [2] Van Genechten B. 3D Risk Mapping Theory and Practice on Terrestrial Laser Scanning: Training Material based on Practical Applications[M]. Valencia: Universidad Politecnica de Valencia Editorial, 2008, 66-136.
- [3] Wang Mo. Three-D Laser Scanning Technology Applied in Measuring the Historical Architectures of the Palace Museum[J]. Palace Museum Journal, 2011, 6: 143-156. [王莫. 三维激光扫描技术在故宫古建筑测绘中的应用研究[J]. 故宫博物院院刊, 2011, 6: 143-156.]
- [4] Ding Yanhui, Qiu Dongwei, Wang Fengli, *et al.* Building Three-dimensional Model Reconstruction based on Terrestrial 3D Laser Scanning Data[J]. Bulletin of Surveying and Mapping, 2010, 3: 55-57. [丁延辉, 邱冬伟, 王凤利, 等. 基于地面三维激光扫描数据的建筑物三维模型重建[J]. 测绘通报, 2010, 3: 55-57.]
- [5] Li Jie, Zhou Xinghua, Tang Qiuhua, *et al.* Application of 3D Laser Scanning Technology to Digital City[J]. Coastal Engineering, 2011, 30(3): 28-33. [李杰, 周兴华, 唐秋华, 等. 三维激光扫描技术在数字城市中的应用[J]. 海岸工程, 2011, 30(3): 28-33.]
- [6] Lv Cuihua, Chen Xiuping, Zhang Dongming. Building 3D Modeling Method based on 3D Laser Scanning Technology[J]. Science Technology and Engineering, 2012, 12(10): 2410-2414. [吕翠华, 陈秀萍, 张东明. 基于三维激光扫描技术的建筑物三维建模方法[J]. 科学技术与工程, 2012, 12(10): 2410-2414.]
- [7] Bai Chengjun, Wu Cong. Study on the Core Questions of the Application of 3D Laser Scanning to Metric Survey of Historic Building[J]. Bulletin of Surveying and Mapping, 2012, 1: 36-38. [白成军, 吴葱. 文物建筑测绘中三维激光扫描技术的核心问题研究[J]. 测绘通报, 2012, 1: 36-38.]
- [8] Liu Xuchun, Ding Yanhui. Discussing the Application of 3D Laser Scan Technology in Old Architecture[J]. Engineering Surveying and Mapping, 2006, 15(1): 48-49. [刘旭春, 丁延辉. 三维激光扫描技术在古建筑保护中的应用[J]. 测绘工程, 2006, 15(1): 48-49.]
- [9] Xu Yuanqiang, Gao Jingxiang, Wang Jian. 3D Laser Scanning Technology[J]. Journal of Geomatics, 2010, 35(4): 5-6. [徐源强, 高井祥, 王坚. 三维激光扫描技术[J]. 测绘信息与工程, 2010, 35(4): 5-6.]
- [10] Cai Runbin. Registration of Range Images and Planer Regions Extraction from TLS Point Cloud[D]. Shanghai: Tongji University, 2008. [蔡润彬. 地面激光扫描数据后处理若干关键技术研究[D]. 上海: 同济大学, 2008.]
- [11] Zhou Chunyan, Li Yong, Zou Zhengrong. Three-dimensional Cloud ICP Algorithm Improvement[J]. Computer Technology and Development, 2011, 21(8): 75-81. [周春艳, 李勇, 邹峥嵘. 三维点云 ICP 算法改进研究[J]. 计算机技术与发展, 2011, 21(8): 75-81.]
- [12] Kwang H B, Derek D L. A Method for Automated Registration of Unorganized Point Cloud[J]. ISPRS Journal Photogrammetry & Remote Sensing 2008, 63: 36-54.
- [13] Wu Jing, Jin Fengxiang, Wang Jian. Three Dimension Modeling of Buildings based on Three Dimension Laser Scanner Data[J]. Engineering of Surveying and Mapping, 2007, 16(5): 57-60. [吴静, 靳奉祥, 王健. 基于三维激光扫描数据的建筑物三维建模[J]. 测绘工程, 2007, 16(5): 57-60.]
- [14] Wang Jinliang, Chen Lianjun. Review on Filtering Algorithm for LiDAR Points Cloud Data[J]. Remote Sensing Technology and Application, 2010, 25(5): 632-638. [王金亮, 陈联军. 激光雷达点云数据的滤波算法述评[J]. 遥感技术与应用, 2010, 25(5): 632-638.]
- [15] Nguyen Tien Thanh, Liu Xiuguo, Wang Hongping, *et al.* 3D Model Reconstruction based on Laser Scanning Technique[J]. Laser & Optoelectronics Progress, 2011, 48, 081201: 1-6. [Nguyen Tien Thanh, 刘修国, 王红平, 等. 基于激光扫描技术的三维模型重建[J]. 激光与光电子学进展, 2011, 48, 081201: 1-6.]
- [16] Haala N, Kada M. An Update on Automatic 3D Building Reconstruction[J]. ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, 2010, 65: 570-580.
- [17] Pu S, Vosselman G. Automatic Extraction of Building Features from Terrestrial Laser Scanning[C]//International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial

- Information Sciences, 2006, 36(Part 5).
- [18] Schnabel R, Wahl R, Klein R. Efficient RANSAC for Point Cloud Shape Detection[J]. Computer Graphics Forum, 2007, 26(2): 214-226.
- [19] Pu S, Vosselman G. Knowledge based Reconstruction of Building Models from Terrestrial Laser Scanning Data[J]. ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, 2009, 64: 575-584.
- [20] Shi Guigang, Wang Feng, Cheng Xiaojun, *et al.* Optimal Station Position Number for Terrestrial Laser Scanning Multi-View Point Cloud Registration[J]. Journal of Dalian Maritime University, 2008, 34(3): 64-66. [施贵刚, 王峰, 程效军, 等. 地面三维激光扫描多视点云配准设站最佳次数的研究[J]. 大连海事大学学报, 2008, 34(3): 64-66.]

Analysis on Digitization and 3D-reconstruction of Large Building based on Terrestrial Laser Scanning Data

Wang Fangjian^{1,2}, Xi Xiaohuan¹, Wan Yiping^{1,2}, Zhong Kaitian³, Wang Cheng¹

(1. *Institute of Remote Sensing and Digital Earth, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100094, China;*

2. University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China;

3. Five Star Electronic Technology Co., Ltd, Beijing 100078, China)

Abstract: Terrestrial Laser Scanning (TLS) Technology has been widely used in digital city with the development of 3D-laser scanner hardware and processing method of points cloud data. Nowadays, there are various kinds of terrestrial laser scanners with their distinctive characteristics which can make users confuse in practical work. Meanwhile, there are still some core problems and key techniques need to be paid much attention, especially in large building digitization and reconstruction. In this paper, two typical kinds of terrestrial laser scanners, pulse based and phase based, are studied and used in points cloud data acquiring and reconstruction experiment of large-scale building. Key techniques of each step, such as data acquisition, data preprocessing including point cloud registration and noise filter, building modeling including plane segmentation and reconstruction, are analyzed and explored. Solutions are proposed for some existing problems which need to be studied further.

Key words: Terrestrial Laser Scanning; Point Cloud Registration; Building; 3D Digital Model