刘旭.考虑视觉传达效果的震后区域三维图像虚拟重建[J].地震工程学报,2018,40(4):826-832.doi:10.3969/j.issn.1000-0844.2018.04.826

LIU Xu.3D Reconstruction of Post-earthquake Area Images Considering Visual Communication Effect[J]. China Earthquake Engineering Journal, 2018, 40(4): 826-832. doi:10.3969/j.issn.1000-0844.2018.04.826

# 考虑视觉传达效果的震后区域三维图像虚拟重建

# 刘旭

(江苏理工学院, 江苏 常州 213001)

摘要:传统二维震害图像方法对震后区域进行研究时,由于其拍摄角度具有局限性,震后区域图像 的视觉效果不理想。提出基于三维激光扫描技术的震后区域三维虚拟重建方法,采用三维激光扫 描仪测量震后区域,获取该区域的点云数据,采用 Cyclone 软件合并点云数据后,得到震后区域拼 接后的整体点云图,将该图点云数据进行去体外孤点、去噪声点以及点云取样等处理后实施封装, 在封装的点云数据上采用 Sketch 模型实施贴图操作,实现视觉传达效果理想的震后区域三维图形 的虚拟重建。实验证明,所提方法对震后区域的三维图像虚拟重建结果精度高、视觉效果好。 关键词:震后区域;图像三维重建;点云数据;视觉传达;三维激光扫描仪;数据采集 中图分类号:TP391.4 文章编号:1000-0844(2018)04-0826-07 DOI:10.3969/j.issn.1000-0844.2018.04.826

# **3D** Reconstruction of Post-earthquake Area Images Considering Visual Communication Effect

# LIU Xu

(Jiangsu University of Technology, Changzhou 213001, Jiangsu, China)

**Abstract**: In studies of post-earthquake areas using the traditional methods of 2D seismic damage images, the visual effect of the image is not ideal because of the limited shooting angle. Therefore, a method of 3D virtual reconstruction of post-earthquake regions based on 3D laser scanning technology is proposed in this paper. The post-earthquake area is measured by a 3D laser scanner, and the point cloud data of the region is obtained. First, the Cyclone software is used to merge the point cloud data, and the whole point cloud image of the post-earthquake region is obtained, and then the point cloud data of the map are processed and encapsulated. Finally, a sketch model is used to implement the mapping on the point cloud data, and then the 3D image of the post-earthquake region can be virtually reconstructed with ideal visual communication effect. Experimental results show that the proposed method has high accuracy and good visual effect for 3D reconstruction of post-earthquake area images.

基金项目:基金项目:江苏自然科学基金(BK20140019)

收稿日期:2017-08-20

作者简介:刘 旭(1977-),男,江苏常州人,硕士,讲师,研究方向:影像媒体/艺术设计。E-mail:liuxu@jstu.edu.cn。

**Keywords:** post-earthquake area; image 3D reconstruction; point cloud data; visual communication; 3D laser scanner; data acquisition

# 0 引言

环境的改变以及人工活动等多方面因素导致地 震灾害频繁发生,给人们生活带来极大的安全隐患, 所以对地形的精准测绘受到越来越多的关注,部分 研究人员通过三维激光扫描仪对发生地震灾害的区 域地形实施测绘<sup>[1]</sup>,对该区域中可能出现的灾害进 行预测,以减少发生物质损害以及人身伤亡的现象。 当地震发生后,也可以对震后区域实施安全问题评 估,进行地震强度的检测、震后的救援以及受灾群众 的安顿。目前人们主要通过实际的震后灾损图片分 析震损建筑<sup>[2]</sup>,往往对震损建筑群体的研究具有片 面性以及局限性,拍摄图像时视角受限,得到的图像 角度就不全面,受灾环境复杂时,能够获取到的图像 资料更是十分有限。

以往国内外相关研究人员针对震后区域三维图 像虚拟重建的相关研究有以下几点:文献[3]霍林生 提出围绕建筑拍摄图像,通过运动恢复结构、泊松表 面等方法进行密度和表面的重建,纹理映射后得到 三维模型,此方法在对受灾结构复杂的区域取景时, 有拍摄难度高且工作量巨大的弊端。文献[4]李莹 提出了应用倾斜摄影倾直两用低空相机技术,拍摄 多角度图像,构建三维图像虚拟模型,此方法在空中 进行拍摄时存在着影响震后空中救援等问题。文献 [5]刘丹白提出通过标定震后区域图像中建筑物的 消失点,手动获取建筑物顶点的几何信息,经过旋转 平移后得到三维视觉的仿真模型,存在着计算量较 大的弊端,而且不太适用于震后区域的建筑群体。

为了解决这些问题,本文研究基于视觉传达效 果的震后区域三维图像虚拟重建,提出三维激光扫 描技术的震后区域三维虚拟重建方法,运用三维激 光扫描技术获取震后区域的点云数据等相关信息, 采用分块拼接以及去噪声点等一系列方法处理获取 的点云数据,实现震后区域的三维图像重建。

# 基于三维激光扫描技术的震后区域三维 虚拟重建方法

## 1.1 三维激光扫描的定位原理

反复的获取、分析数据是三维激光扫描技术的 主要操作内容,对震后区域建筑物体的表面采样用 点云图描述,该点云图通过三维激光扫描测量技术 中的空间点(与扫描仪有关的指定 X,Y,Z 坐标系) 构建而成。

三维激光扫描仪主要是通过其本身指定的坐标 系来扫描震后区域,以及获取震后区域建筑体的表 面空间位置信息<sup>[6]</sup>,仪器坐标系统指的就是该坐标 系,将激光束的发射点作为坐标原点,仪器的竖向扫 面为 Z 轴,且向上代表正向,在仪器的横向扫描面 与 Z 轴、建筑物体垂直的即是 X 轴,与 X 轴垂直且 位于仪器的横向扫描面内即是 Y 轴,指向建筑物的 方向即是正方向,右手坐标系便是由 X 轴和 Y 轴共 同组成该坐标系如图 1 所示。



Fig.1 The positioning coordinate system of the three-dimensional laser scanner

# 1.2 三维激光扫描仪测量震后区域

确定方案、获取外业数据以及分析内业数据是 处理震后区域的主要操作步骤,如图2所示。首先 确定合适的操作方案<sup>[7]</sup>,其相关的工作包括:扫描路 线的合理性设置(根据震后区域建筑物差别和精度 要求来确定)、采样密度的合理性设置、扫描仪的安 置地点、测站的位置以及数量等;实时分析采集到的 现场数据,实施初步的质量分析与调整<sup>[8]</sup>,这些都是 外业的基本工作。

在整个工作过程中,内业工作是步骤最多、操作 过程最为复杂的部分。内业工作主要包括研究与调 整数据的质量、修正坐标系、实现数据的拼接、提取 震损特征、将数据进行归类、滤波及压缩化处理数 据、网格化处理规则以及构建激光点云。在内业工 作中工作量最为繁多的是处理内业数据过程,该过 程主要展示外业获取的激光扫描原始数据,采用网 格化处理数据,通过滤波、归类、分解以及压缩等方 式处理<sup>[9]</sup>,进一步进行图像的处理与模式识别等 工作。



图 2 激光扫描测量震后区域具体工作步骤 Fig.2 Specific work steps of laser scanning measurement

in the post-earthquake region

#### 1.3 震后区域三维图像的虚拟重建

1.3.1 获取震后区域的点云数据

三维激光扫描和地震损坏特征的操作过程可大 致分为:设置方案一外业工作(区域的扫描与精扫 描)一分析数据(校准、加工数据)。将测站的设计以 及控制标靶作为计划方案,简单勘察震后区域后再 进行测站设计,测站位置和数量、控制标靶的数量与 位置都是勘察后进行设置,为获取到整体的震后区 域数据信息需要保证扫描位置数据的合理性,为降 低初始数据信息的数量和拼接时产生的偏差可以减 少设置扫描位置的数量<sup>[10]</sup>。在各测站中控制标靶 重合数量不少于3个,两个测站的点云数据基于控 制点的强制要求应满足7个自由度(尺度比参数为 1、平移参数和旋转参数都为3),获取得到的点云数 据充分符合仪器坐标系的标准。

1.3.2 合并点云数据

基于上小节获取的震后区域点云数据,利用三 维激光扫描技术处理震后区域,获取视觉传达效果 较好的三维图像虚拟重建结果,需对点云数据进行 合并等一系列处理<sup>[11]</sup>,其大致过程如图 3 所示。



Fig.3 Point cloud data processing

扫描全部测站后得到相应的点云数据,根据扫 描标靶构成的限制要求统一放置到相同的目标系统 中,该过程即是点云拼接。磁性标靶、球形标靶以及 纸质的黑白标靶等均是三维激光扫描方法中点云拼 接所采用的方法。具备4个标靶通视是两个测站间 的最低要求,其中一个标靶是用于检测勘察,通过通 视的标靶实施合理的拼接,将扫描球形标靶得到的 点云数据拟合成球形实体,基于拟合球体的球心坐 标后实现球形标靶拼接[12]。前期选用多块分次扫 描法导致多块点云的存在,因此需对多块点云实施 拼接操作。本文采用 Cvclone 软件实现点云数据的 合并处理,对震后区域的建筑体进行测量时,选用全 站仪导线的方法,标靶的坐标基于精确的测量得到, 其通过 Cyclone 软件进入到 Control-Space 里面,坐 标的匹配也是通过 Cyclone 软件里的 Registration 模块操作得到[13],至此,所有测站的独立坐标融合 到统一的坐标系统中。对震后区域拼接后的整体点 云效果如图4所示。



图 4 震后区域拼接后的整体点云 Fig.4 The whole point cloud after splicing the post-earthquake region

震后区域的单体建筑建模是基于所有测站点的 点云数据拼接完成后开始操作的,套选该区域后将 其复制到新创建的模型中,将点云数据信息进行载 入后,选用除噪、可视化、修改以及统一等过程处理 单体建筑<sup>[14]</sup>。

1.3.3 点云数据的处理

#### (1) 体外孤点的处理

位置结构复杂的震后区域,存在着点云数据缺 失现象,需利用 Geomagic 逆向工程软件操作处理, 将该区域处理好的点云导入其中,进行体外孤点的 去除,若震后区域存在一些不重要的背景物,比如墙 以及其它固定物等,则目标区域的周围就会具有体 外孤点问题,容易对模型造成干扰,因此,需要将这 些背景物全部清理掉。

(2) 噪声点的消除

噪声点通常都是在进行扫描时产生的,比如仪器的微晃动、灯光的不稳定、扫描时校准粗糙等一系列因素都会导致噪声点的生成,严重影响震后区域 三维图像的虚拟重构工作,也需要尽早消除。

(3) 点云取样处理

计算机在点云数据较多的情况下,其运行速度 明显降低,急需取样处理点云数据,使关键的点云数 据被保存下来。

(4) 封装以及填充孔处理

封装这一步骤是在点云处理完成后实施,到多 边形时期,填充孔以及截取曲线组是该时期的核心 工作内容。填充孔完成后实施松弛,也就是优化处 理表面的光洁度。封装时发现表面特别粗糙的曲面 三角片,则说明前期的局部扫描数据不好,可通过砂 纸处理该位置,使其变得平整。

1.3.4 震后区域的重建和贴图

DXF 是点云数据经过处理后的导出格式,将这种格式的点云数据导进 Sketch 中,震后区域的重建 便是基于 Sketch 模型作为参考模型来获取,利用 photoshop 处理获取的图像,在 Sketch 中实施贴图 操作,最终得到震后区域的三维图形虚拟重建。

由于震后区域的化工工艺过程管道和建筑群体 的多样性以及复杂性,对简单的管道和建筑体可不 采用精细扫描,通过放置扫描标靶即可获取一些具 有显著特征以及处于核心位置的相关特征信息<sup>[15]</sup>, 对高精度建筑体的核心位置以及特征信息,也能通 过这种扫描特征点的方式得到,面向具有大型结构 特点、复杂结构以及组合结构的管道和建筑体时,这 种管道和建筑体的点云数据可选用 1/2 扫描速度的 参数方法处理,为获取最优的视觉传达效果,将管道 和建筑体的所有特征信息充分展示出来,需选用合 适的建模方式处理相应的震后区域。用图 5 来描述 震后区域三维图像建模流程,震后区域三维图像虚 拟重建效果图如图 6 所示。



图 5 震后区域三维图像建模流程

Fig.5 Modeling process of 3D image of postearthquake region



图 6 震后区域三维图像的虚拟重建效果图 Fig.6 Virtual reconstruction effect map of 3D image of post-earthquake region

# 2 实验分析

为了验证所提考虑视觉传达效果的震后区域三 维图像虚拟重建方法的有效性,需进行一次仿真实 验。在 Matlab环境下搭建震后区域三维图像虚拟 重建仿真平台。采用 OPNET Modeler 仿真软件对 震后区域的三维图像进行模拟,用 Windows 7 操作 系统,CPU 主频为双核 4.0 GHz,4 GB 内存的软件。 对三维重建模型的精度进行测试与分析。

#### 2.1 三维重建模型精度分析

实验选用在抗震性能实验中受到损害的装配式 密肋空心剪力墙模型实施三维图像重建检测,其具 体尺寸如图 7 所示。



Fig.7 Size of shear wall (Unit: mm)

模型与实际物体间尺寸转换比例以及本文方法 对该模型进行三维图像重建的误差分析分别如表 1 和表 2 所列。

# 表 1 模型与实体的尺度变换比例

Table 1	Scale transfer ratio of model to the object				
标顶占	A-B(Z方向)	B-C(Y方向)	F-G(X 方向)		
你顶点	/ m m	/mm	/mm		
实体	637	470	197		
模型	1.027 62	0.757 707	0.317 562		
模型尺寸放大倍	数 61.987 89	62.029 25	62.035 13		

#### 表 2 本文方法重建模型与实体尺寸间的误差

Table 2 Error between the size of reconstruction model

and	physical	dime	ension

测点	D-E /mm	H-I /mm	J-K / mm	C1 裂缝 宽度/mm	C2 裂缝 宽度/mm
实体	2010	534	804	22	28
模型	2 002.37	529.86	799.51	21.825 8	27.800 3
误差	0.380%	0.775%	0.558%	0.792%	0.713%

从表 2 能够看出,标定点和测点之间的误差均 小于 1%。因此说明通过本文方法重建的震后区域 三维图像虚拟模型整体尺寸与实际结构尺寸间的误 差远低于 1%,可见通过本文方法对震后区域的三 维图像虚拟重建结果精度高。

# 2.2 震后道路的三维图像虚拟重建效果

实验分别采用传统方法和本文方法对都汶路进

行震后三维图像虚拟重建,该公路是都江堰和汶川 县城间的一条高等级山区公路,其在汶川地震中受 到崩塌、滑坡等次生灾害的影响(图 8)。由于当时 正处于雨季,导致反复发生崩塌、滑坡以及泥石流等 一系列灾害,对当时的抢险救灾造成了一定的影响, 采用传统方法对震后崩塌道路进行三维重建如图 9 所示,采用本文方法对该段震后崩塌道路进行三维 重建如图 10 所示。



图 8 震后发生崩塌的道路 Fig.8 Collapse of the road after the earthquake



图 9 传统方法震后道路的三维重建图像 Fig.9 3D reconstruction image of post-earthquake road with the traditional method



图 10 本文方法震后道路的三维重建图像 Fig.10 3D reconstruction image of post-earthquake road with the proposed method

从图 8、图 9 和图 10 对比可以看出,采用传统 方法对震后道路进行三维重建,其重建后的图像明 显失真,细节特征难以辨识;而采用本文方法对震后 道路进行三维重建,其重建图像与原图像相差不大, 细节特征清晰,重建精度较传统方法的重建精度更 高。这是由于本文方法可将路面边界抽提出来,并 通过扫描仪的量测功能还可计算坡体的土石方量, 根据周围的山体情况以及岩石情况,能够预防次生 灾害的发生。说明采用本文方法得到的震后道路三 维图像虚拟重建效果与实际情况基本一致,视觉传 达效果理想。

## 2.3 震后湖水区域的三维图像虚拟重建效果

湖水可能会因地震形成的滑坡以及泥石流等次 生灾害发生阻塞现象,导致水位上升,湖水溢出,最 终引发大型的洪灾。运用本文方法对震后的某湖水 区域实施三维实景图像重建,首先利用三维扫描仪 对地形实施扫描,再通过去噪与建模等一系列过程 后得到震后湖水区域的三维图像虚拟重建效果图 (图 11)。



图 11 震后湖水区域的单位图像虚拟重建效果图 Fig.11 Virtual reconstruction effect map of unit image in the lake area after earthquake

分析图 11 能够看出,通过本文方法得到的震后 湖水区域精细三维虚拟图像,能够明显的观察到该 流水区域滑坡、堰塞湖等三维地形,视觉传达效 果好。

# 3 结论

本文从视觉传达效果对震后区域实施三维图像 虚拟建模,提出基于三维激光扫描技术的震后区域 三维虚拟重建方法,主要采用三维激光扫描技术中 的空间点构建得到点云图,用该图描述震后区域的 表面采样,通过三维激光扫描仪本身的坐标系扫描 震后区域,获取震后区域建筑体的表面空间位置信 息,也就是点云数据,将所有的点云数据进行合并 后,得到震后区域拼接后的整体点云图,将该图的点 云数据进行体外孤点去除、噪声点去除以及点云取 样等一系列处理,完成后进行封装、曲线组截取以及 松弛等操作,并将处理好的点云数据以 DXF 格式导 进 Sketch 中用 Sketch 模型作为参考模型,利用 photoshop处理获取的图像,在 Sketch 模型中实施 贴图操作,实现震后区域的三维图像虚拟重建,提高 震后区域三维图像虚拟重建的视觉传达效果。

## 参考文献(References)

- [1] 蔡艳.基于虚拟现实技术的激光多普勒图像三维重建系统设计
   [J].激光杂志,2017,38(8):122-126.
   CAI Yan. Design of 3D Reconstruction System for Laser
   Doppler Image Based on Virtual Reality Technology[J].Laser
   Journal,2017,38(8):122-126.
- [2] 王旸.基于重建三维地形的虚拟重建方法研究与仿真[J].计算机仿真,2016,33(9):418-421.
   WANG Yang.3D Terrain Data of Virtual 3D Reconstruction Method Rresearch and Simulation[J].Computer Simulation, 2016,33(9):418-421.
- [3] 霍林生,张耀文,李宏男.图像三维重建法在震损建筑实体建模中的应用研究[J].世界地震工程,2017,33(2):113-118.
   HUO Linsheng,ZHANG Yaowen,LI Hongnan.Application of 3D Reconstruction Method in Building Damage Modeling[J].
   World Earthquake Engineering,2017,33(2):113-118.
- [4] 李莹,林宗坚,苏国中.多视影像的城市实景三维生产关键技术
  [J].遥感信息,2017,32(1):35-39.
  LI Ying,LIN Zongjian,SU Guozhong.Key Technology of Production of City Real 3D Images[J].Remote Sensing Information,2017,32(1):35-39.
- [5] 刘丹白.关于视觉随机街景三维仿真建模研究[J].计算机仿 真,2016,33(4):438-441.

LIU Danbai.Research on Visual Random Street View 3D Simulation Modeling[J].Computer Simulation, 2016, 33(4):438-441.

[6] 邵绪强,聂霄,王保义.GPU并行计算加速的实时可视外壳三 维重建及其虚实交互[J].计算机辅助设计与图形学学报, 2017,29(1):52-61.

SHAO Xuqiang, NIE Xiao, WANG Baoyi. GPU-Based Real-

Time 3D Visual Hull Reconstruction and Virtual-Reality Interaction [J]. Journal of Computer-Aided Design & Computer Graphics, 2017, 29(1); 52-61.

- [7] 林敏,李杰.500 kV 串联补偿装置自触发及主间隙放电分散性研究[J].电力工程技术,2014,33(6):20-22.
   LIN Min,LI Jie.Research on Serf-trigging and Spark Gap Discharge Dispersion of 500 kV Series Compensator[J].Jiangsu Electrical Engineering,2014,33(6):20-22.
- [8] 廖梦怡,刘建芳.远程卫星遥感图像的三维视觉重建模型仿真 [J].计算机仿真,2015,32(7);32-35.

LIAO Mengyi,LIU Jianfang.Remote Satellite Remote Sensing Images of 3D Visual Simulation Reconstruction Model[J]. Computer Simulation,2015,32(7):32-35.

[9] 靳鸽.基于三维视觉的室内景观虚拟设计方法研究[J].现代电子技术,2017,40(24):112-114.

JIN Ge. Research on Indoor Scenery Virtual Design Method Based on 3D Vision[J].Modern Electronics Technique, 2017, 40(24):112-114.

[10] 焦其松,张景发,蒋洪波,等.基于 TLS 技术的典型建筑物震 害信息三维建模分析——以彭州市白鹿中学为例[J].国土资 源遥感,2016,28(1):166-171.

JIAO Qisong, ZHANG Jingfa, JIANG Hongbo, et al. Typical Earthquake Damage Extraction and Three-dimensional Modeling Analysis Based on Terrestrial Laser Scanning: A Case Study of Bailu Middle School of Pengzhou City[J]. Remote Sensing for Land & Resources, 2016, 28(1):166-171.

[11] 张庆.基于三维图像分析的服装设计合理性仿真[J].现代电

子技术,2017,40(11):76-79.

ZHANG Qing. Clothing Design Rationality Simulation Based on 3D Image Analysis [J]. Modern Electronics Technique, 2017,40(11):76-79.

- [12] TANG Q, YONG X U, DONG X, et al. Appraisal of Land Resources Security in the Post-earthquake Reconstruction Area of Lushan Earthquake[J]. Acta Geographica Sinica, 2015, 70 (4):650-663.
- [13] 张永奇,丁晓光,曹建平,等.关中流动重力测网的中小地震映 震能力分析[J].地震研究,2017,40(2):248-256. ZHANG Yongqi,DING Xiaoguang,CAO Jianping, et al.Seismic Capacity Analysis of Medium and Small Earthquakes of Guanzhong Gravity Network[J].Journal of Seismological Research,2017,40(2):248-256.
- [14] 黄建文,王东,廖再毅,等.基于组合赋权法和云理论的震后重 建住宅工程质量评价研究[J].中国安全生产科学技术,2016, 12(3):127-132.

HUANG Jianwen, WANG Dong, LIAO Zaiyi, et al. Evaluation on Engineering Quality of Post-earthquake Reconstruction Residential Buildings Based on Combined Weight Method and Cloud Theory[J].Journal of Safety Science and Technology, 2016,12(3):127-132.

[15] 张潜,尹耿,王玉石,等.射线追踪方法定位近震震源空间位置
[J].地震研究,2017,40(2):203-210.
ZHANG Qian, YIN Geng, WANG Yushi, et al. Near Earth-quake Locating Based on Ray Tracing Method[J]. Journal of Seismological Research,2017,40(2):203-210.