



基于激光点云数据的 三维建模应用实践

谢宏全 谷风云 李勇 孙美萍 著



WUHAN UNIVERSITY PRESS
武汉大学出版社

江苏省一级重点建设学科测绘科学与技术
则泰测绘地理信息教育出版基金资助出版

基于激光点云数据的 三维建模应用实践

谢宏全 谷风云 李勇 孙美萍 著



WUHAN UNIVERSITY PRESS

武汉大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

基于激光点云数据的三维建模应用实践/谢宏全等著. —武汉: 武汉大学出版社, 2014. 11

ISBN 978-7-307-14710-2

I. 基… II. 谢… III. 数据处理—研究 IV. TP274

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2014)第 249771 号

责任编辑: 鲍 玲 责任校对: 鄢春梅 版式设计: 马 佳

出版发行: 武汉大学出版社 (430072 武昌 珞珈山)

(电子邮件: cbs22@whu.edu.cn 网址: www.wdp.whu.edu.cn)

印刷: 武汉中远印务有限公司

开本: 720 × 1000 1/16 印张: 16 字数: 220 千字 插页: 7

版次: 2014 年 11 月第 1 版 2014 年 11 月第 1 次印刷

ISBN 978-7-307-14710-2 定价: 45.00 元

版权所有, 不得翻印; 凡购我社的图书, 如有质量问题, 请与当地图书销售部门联系调换。

真三维时代的到来

——为《基于激光点云数据的三维建模
应用实践》一书而作的序

从混沌初分，到睁眼看世界，大自然一直是人类赖以生存和成长的必要环境。大自然在滋养我们的同时，同样也给我们带来了痛苦和磨难。认知、探索、研究和改造大自然已成为人类永恒的主题。人们在不同的时代，采用文字、图形、绘画、照相及摄影等不同手段来描述和再现大自然的缤纷色彩，但是采用这些方法制作出来的效果都是平面的，不能真实地表达事物本来的三维特征。随着人类文明的进步，科技的发展更是日新月异，三维激光扫描技术的出现，真正拉开了人类真三维时代的序幕。

“三维激光扫描技术是一门新兴的测绘技术，是测绘领域继GPS技术之后的又一次技术革命。”三维激光扫描是一种快捷的、非接触式的测绘手段，实现对事物现场真实的高精度的三维数据采集，包括被扫描对象的几何特征，三维空间结构、颜色、表面纹理等信息。扫描所获得的点云数据经处理后可供分析、研究计算、设计规划、场景复原等进一步应用。这项技术作为新兴的测量手段，目前已经应用于文物保护、古建筑修复、地质灾害、地震监测、核工业、水利水电、露天矿山、智慧城市等多个领域。其中，在文物保护方面的应用相对比较成熟，已成功应用于长城复测、吴哥窟遗产保护、故宫修缮、秦始皇兵马俑的扫描、乐山大佛的三维数字化记录等大型文物工程。文物是先辈们留给我们的弥足珍贵的文化信息，是研究人类生命起源、记录人类发展轨迹和探寻人类未来发展的最可靠的物证来源，无法复制，不可替代。

我从事三维激光扫描事业的应用与推广已有十余年的时间，通过三维激光扫描技术的应用，野外三维数据的获取技术已趋于成

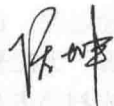
熟。目前最大的难点，在于后期海量点云数据的处理、拼接和三维建模。近年来，淮海工学院谢宏全教授一直在攻克这方面的技术难关，孜孜不倦，从未间断，并取得了一定的成果。去年，我们还曾经合作出版了《地面三维激光扫描技术与工程应用》一书。近一年来，谢宏全教授率领的团队对连云港海清寺的阿育王塔、万年宝鼎、关圣帝君像、石螭趺、浮雕长廊等古建筑进行了三维测绘和建模处理。大量的理论与实践相结合，辛勤的汗水汇聚成《基于激光点云数据的三维建模应用实践》一书。本书在激光点云数据建立目标物的三维模型方面取得了技术上的突破性进展，为中国相关技术人才的培养提供了不可或缺的技术资料。

无论是测绘成果还是其他领域的视觉表现，从表达手法上来说都将会逐渐地从二维升级到三维的层面，三维激光扫描技术会得到越来越广泛的应用，也会有越来越多的技术人员参与其中。三维激光扫描虽然可以真实地记录和还原事物本身，但先人们留给我们的东西却越来越少。两千年前，项羽的一把大火烧毁了绵延三百里的阿房宫；四百年前，李闯王同样也是用一把大火烧毁了大明王朝两百五十年的皇家宫殿；一百五十年前，一帮强盗还是用一把大火烧毁了我们的万园之园——圆明园。“千古江山，英雄无觅，孙仲谋处。舞榭歌台，风流总被，雨打风吹去。”

时间飞逝，迫在眉睫，我呼吁让更多的人更早更快更好地掌握这项技术，测绘江山，扫描天下，用故宫博物院胡锺主任的一句话：“我们虽然不知道六百年以前的故宫什么样，但我们可以让六百年以后的子孙们看到我们现在故宫的样子。”

正如他所说，三维激光扫描技术可以做到！此书的面世，恰逢其时！

教育部高等学校测绘学科教学指导委员会委员
北京则泰集团总裁



2014年10月29日于北京

前 言

地面三维激光扫描技术是一门新兴的测绘技术,是测绘领域继 GPS 技术之后的又一次技术革命。目前,三维激光扫描设备在性能方面不断提升,在价格方面却逐步下降,因此性价比越来越高。20 世纪末,测绘领域也掀起了三维激光扫描技术的研究热潮,目前该项技术已经成为空间数据获取方面重要的技术手段,为测量和研究目标构筑物的三维信息带来了方便。地面三维激光扫描技术作为新兴的测量手段,目前已经应用于古文物保护、数字城市建设、建筑监测等多个领域。

三维激光扫描技术因其在测量中能将各种物体表面的点云数据快速、准确地测量到计算机中,且在记录位置信息的同时记录物体表面反射率,使重构的三维实体更加生动,而经常被用于建筑物测量维护与仿真、位移监控和外观结构三维建模、设计与维护分析和景观三维测量与工程建设相关的众多领域。目前,基于激光点云数据的三维建模有两种类型的软件:一种是扫描仪随机自带的软件;另一种是专业数据处理软件,主要用于点云数据的处理和建模等方面,多为第三方厂商提供。目前国外的专业建模软件应用较多,而国内的软件开发刚刚起步,数量较少并且市场占有率较低。

在国内,对于利用激光点云数据建立目标物的三维模型方面,许多学者进行了系统研究,并取得了一定的研究成果。但是三维激光扫描仪在国内的应用还处于起步阶段,目前还存在许多问题。为推动三维建模技术的发展,相关技术人才的培养是非常重要的。目前公开出版的中文技术资料非常有限。

淮海工学院测绘工程学院在 2012 年 5 月购置的徕卡 C10 三维激光扫描仪已投入教学与科研使用,并且课题组进行了系统的应用

研究——对连云港市海清寺内有代表性的文物和学校校园内有代表性的对象进行扫描,获取点云数据,利用建模软件完成扫描目标的三维模型。作者将近两年来课题组的研究成果撰写成书。另外,河北水文工程地质勘察院于2013年9月购置徕卡C10三维激光扫描仪,并且做了露天矿山、地质灾害、河道应用、海岸带精细模型应用研究的项目,本书选择石灰岩矿与地质灾害的项目做简要介绍。

全书共11章,第1章简要阐明了研究背景与意义、国内外研究现状、研究对象概况、三维建模技术方法;第2章至第6章分别介绍了海清寺的阿育王塔、万年宝鼎、关圣帝君像、石罍、浮雕长廊三维建模的技术方法;第7章至第9章分别介绍了淮海工学院苍梧校区的欣园亭、化工工程学院实验楼、测绘工程学院集中办公区三维建模的技术方法;第10章至第11章分别介绍了石灰岩矿与地质灾害体的三维建模与应用技术方法。

本书由谢宏全、谷风云、李勇与孙美萍合著。其中,第1章至第3章由谢宏全撰写;第6章、第8章与第9章由谷风云撰写;第4章、第5章与第7章由孙美萍撰写。第10章与第11章由李勇撰写。在书稿的撰写过程中,测绘工程学院地理信息系统专业学生做了大量的基础研究工作,主要有陈民坤、徐晨、孙凌峰、蔡森欣、刘川、褚飞、李洋、邵田田同学。全书由谢宏全统稿。

在本书撰写过程中,感谢淮海工学院周立教授的大力支持;感谢连云港市海清寺主持昌林法师在扫描过程中提供的帮助;感谢北京则泰集团公司提供仪器使用与软件技术上的帮助;还要感谢2014届测绘工程专业学生葛鲁勇在获取点云数据与后处理方面对参与研究的地理信息系统专业学生提供的技术指导;最后感谢武汉大学出版社王金龙先生在本书出版过程中提供的帮助。同时对引用文献的作者表示感谢。

基于激光点云的三维建模技术还处于初级阶段,还存在一些技术问题亟待解决,加之作者水平有限,错误与不当之处在所难免,恳切期望专家、学者和所有读者批评指正。

作者

2014年9月

目 录

1 绪论	1
1.1 研究背景与意义	1
1.2 国内外研究现状	2
1.2.1 国外研究现状	2
1.2.2 国内研究现状	3
1.3 研究对象简介	4
1.3.1 海清寺简介	4
1.3.2 淮海工学院苍梧校区简介	7
1.4 三维建模技术方法	7
1.4.1 点云数据获取	7
1.4.2 点云数据的三维建模技术	8
1.5 本章小结	12
2 海清寺阿育王塔三维建模应用研究	13
2.1 阿育王塔简介	13
2.2 激光点云数据获取	16
2.2.1 扫描技术方案设计	16
2.2.2 野外点云数据获取	17
2.3 点云数据处理	23
2.3.1 点云数据拼接	23
2.3.2 点云噪声处理	25
2.3.3 点云统一化处理	26
2.4 基于 SketchUp 的三维建模	27
2.4.1 点云数据格式转换	27

2.4.2	点云数据导入	27
2.4.3	三维建模的步骤	27
2.5	基于 VRay 的渲染	34
2.5.1	模型贴纹理	34
2.5.2	模型渲染	36
2.6	阿育王塔的专题图绘制	41
2.7	本章小结	44
3	海清寺万年宝鼎三维建模应用研究	45
3.1	万年宝鼎简介	45
3.2	点云数据采集	46
3.2.1	采集方案的制定	47
3.2.2	采集方案的实施	48
3.3	点云数据处理	49
3.3.1	点云数据拼接	49
3.3.2	点云噪声处理	51
3.3.3	点云统一化	51
3.3.4	宝鼎点云漫游	51
3.3.5	宝鼎点云分割和输出	52
3.4	基于 Geomagic 的三维建模	55
3.4.1	点阶段	55
3.4.2	多边形阶段	59
3.4.3	形状阶段	64
3.4.4	精度分析	69
3.4.5	纹理映射及贴图	71
3.5	本章小结	72
4	海清寺关圣帝君像三维建模应用研究	74
4.1	关圣帝君像简介	74
4.2	点云数据获取	76
4.2.1	采集方案的制定	76

4.2.2 点云数据获取流程	77
4.3 点云数据处理	79
4.3.1 点云数据拼接	79
4.3.2 点云噪声处理	79
4.3.3 点云统一化	80
4.4 关圣帝君像三维模型重建	80
4.4.1 点处理阶段	81
4.4.2 多边形处理阶段	82
4.4.3 曲面阶段	84
4.4.4 精度分析	87
4.4.5 纹理贴图	88
4.5 本章小结	90
5 海清寺石龕趺三维建模应用研究	91
5.1 石龕趺简介	91
5.2 点云数据采集	94
5.2.1 采集方案的制定	94
5.2.2 采集方案的实施	95
5.3 点云数据处理	97
5.3.1 点云数据拼接	97
5.3.2 点云除噪与统一化处理	98
5.4 石龕趺三维模型重建方法	101
5.4.1 基于 Imageware 的底座三维建模方法	102
5.4.2 基于 Geomagic 的石龕趺三维建模方法	109
5.5 本章小结	112
6 海清寺浮雕长廊三维建模应用研究	113
6.1 浮雕长廊简介	113
6.2 点云数据获取	114
6.2.1 点云数据获取方案设计	114
6.2.2 野外数据获取	115

6.3 点云数据处理	117
6.3.1 点云数据拼接	117
6.3.2 点云噪声处理	118
6.3.3 点云数据统一化	118
6.3.4 点云数据输出	118
6.4 基于 Geomagic 的三维模型重构	119
6.4.1 点处理阶段	119
6.4.2 多边形模型修饰	123
6.4.3 形状阶段	127
6.4.4 纹理映射及贴图	131
6.4.5 精度分析	133
6.5 本章小结	135
7 基于 Pro/ENGINEER 的欣园亭三维建模应用研究	136
7.1 欣园亭简介	136
7.2 点云数据获取方法	138
7.2.1 扫描方案设计	138
7.2.2 获取点云数据的技术流程	139
7.3 点云数据处理	139
7.3.1 点云数据拼接	139
7.3.2 点云噪声处理	140
7.3.3 点云数据分割	140
7.4 基于 Pro/E 的三维建模方法	142
7.4.1 欣园亭顶部的建模	142
7.4.2 欣园亭底座的建模	151
7.4.3 走廊的建模	155
7.5 模型拼接	157
7.6 基于 3ds Max 的模型渲染	157
7.7 本章小结	158

8 基于 SketchUp 的实验楼三维建模应用研究	159
8.1 实验楼简介	159
8.2 点云数据的获取与处理	160
8.2.1 扫描方案设计	160
8.2.2 野外扫描获取点云数据	161
8.2.3 点云数据处理	161
8.3 基于 SketchUp 的三维建模方法	163
8.4 基于 3ds Max 的模型渲染	167
8.5 本章小结	174
9 基于 SketchUp 的集中办公区三维建模应用研究	175
9.1 测绘学院集中办公区简介	175
9.2 点云数据获取	177
9.2.1 技术方案设计	177
9.2.2 获取点云数据技术流程	177
9.3 点云数据处理	179
9.3.1 点云数据拼接	179
9.3.2 点云噪声处理	180
9.3.3 点云数据统一化	180
9.4 基于 SketchUp 的三维模型重构	180
9.4.1 点云数据导入	181
9.4.2 三维建模流程	181
9.5 基于 3ds Max 的模型渲染	196
9.5.1 办公区外墙 3ds Max 渲染	196
9.5.2 办公区渲染效果	198
9.6 本章小结	201
10 基于 Cyclone 的露天矿山三维建模应用研究	202
10.1 露天矿山简介	202
10.2 野外点云数据获取	203
10.2.1 坐标基准选择	203

10.2.2	野外数据获取方法	203
10.3	内业数据处理	204
10.3.1	点云数据导入	204
10.3.2	球形标靶定位	205
10.3.3	点云附加照片	205
10.3.4	点云数据拼接	205
10.3.5	点云数据的去噪滤波	207
10.3.6	点云数据的优化抽稀	208
10.4	基于 Cyclone 的 TIN 模型构建	208
10.5	矿山开采量计算	209
10.6	本章小结	212
11	基于 Geomagic 的黄安村地质灾害三维建模应用研究	213
11.1	黄安村地质灾害点简介	213
11.2	野外点云数据的获取方法	214
11.3	内业数据处理	215
11.3.1	点云数据导入	215
11.3.2	球形标靶定位	215
11.3.3	点云附加照片	216
11.3.4	点云数据拼接	216
11.3.5	点云数据的去噪滤波	217
11.3.6	点云数据的优化抽稀	217
11.3.7	点云数据导出	218
11.4	基于 Geomagic 的三维模型构建	218
11.5	三维模型成果应用	221
11.5.1	大比例尺地形图制作	221
11.5.2	断面图的绘制	223
11.5.3	灾害评估及规划设计	223
11.6	本章小结	224

主要参考文献.....	225
-------------	-----

附录：部分彩图

图 2-24 图 2-34	233
图 3-8 图 3-39	234
图 4-9 图 4-22	235
图 5-35 图 5-36	236
图 6-27 图 6-28	237
图 7-6 图 7-33	238
图 7-36 图 8-6 图 8-7	239
图 8-22 图 9-9 图 9-11	240
图 9-37 图 9-38 图 9-39	241
图 9-58 图 10-2 图 10-8	242
图 10-15 图 11-3 图 11-5	243
图 11-10 图 11-14	244

1 绪 论

1.1 研究背景与意义

三维激光扫描技术是一种非接触式的扫描技术，能够采集到目标对象表面的三维信息。该项技术突破了传统的测量方法，因此又被称为“实景复制技术”，现已成为空间数据获取方面的重要技术手段，为测量和研究目标构筑物的三维信息提供了更为便捷的技术支持。三维激光扫描技术作为新兴的测量手段，目前已经应用于古文物保护、数字城市建设、建筑监测等多种领域。

三维激光扫描技术在测量中能将各种物体表面的点云数据快速、准确地测量到计算机中，且在记录位置信息的同时记录物体表面反射率，使重构的三维实体更加生动，因此三维激光扫描技术经常用于建筑物测量维护与仿真，位移监控和外观结构三维建模，设计与维护分析和景观三维测量与工程建设相关的众多领域。

本书将重点研究以激光点云数据为主要数据源，在文物保护与数字校园建设中三维模型构建的技术方法。

在文物应用方面，三维激光扫描仪能以不接触文物的手段获取文物的三维点云信息，利用这些点云信息重构三维模型，便于长期保存、查阅和交流，使研究者能够在不直接接触文物的情况下，进行直接的研究。有了这些三维模型，也给文物复制提供了便利条件。利用三维建模软件，可以对规则或者不规则物体快速、准确地建立目标物体的三维可视化模型，这种功能是传统的测绘技术所不具备的。因此，三维激光扫描技术将会在文物保护方面得到越来越广泛的运用。

“数字校园”是构建“数字城市”的重要组成部分之一,“数字校园”的建设与发展,可以促进校园地理信息可视化,让用户简单快捷、清晰明了地了解校园概况,为“数字城市”的研究奠定基础。近年来,“三维数字校园”技术逐渐成熟,通过三维模型可以让用户直观、逼真地感受物体,使用户“身临其境”地感受到虚拟校园的魅力。利用激光点云数据进行的校园三维建模技术得到了广泛的应用。

淮海工学院测绘工程学院在 2012 年 5 月购置的徕卡 C10 三维激光扫描仪投入教学与科研使用后,课题组进行了系统的应用研究,对连云港海清寺内的 5 件文物和学校校园内的 3 个有代表性的对象进行扫描获取点云数据,利用建模软件构建扫描目标的三维模型。

1.2 国内外研究现状

1.2.1 国外研究现状

激光技术在 20 世纪 90 年代被引入三维测量领域后,它在速度、精度、操作性等方面表现出了绝对的优势。1997 年,El-Hakim 等人做了试验,在一个小车上固定安装激光扫描仪和 CCD 相机,组成一个简易的硬件扫描平台,形成了一个数据采集和配准系统,用这个简易的平台可以实现室内场景的三维建模,地面三维激光扫描技术也就形成了。

目前,生产地面三维激光扫描仪的公司主要以国外为主,有代表性的主要有:瑞士的 Leica 公司,奥地利的 Riegl 公司,加拿大的 Optech 公司,美国的 Trimble 公司与 FARO 公司等。利用点云数据进行三维建模需要专业的软件支持,目前能够实现三维点云数据建模的主要有两种类型的软件:一种是扫描仪随机自带的软件,既可以用来获取数据,也可以对数据进行一般的处理,如徕卡扫描仪附带的软件 Cyclone;另一种是专业数据处理软件,主要用于点云数据的处理和建模等方面,多为第三方厂商提供,如 Geomagic、

SketchUp、Imageware、PolyWorks、3ds Max 以及 PointCloud 等软件。

在国外,目前地面三维激光扫描技术已经到达一个稳定的阶段,也被广泛地应用于各个行业,并形成了具有相当大规模的产业。同时,对于文物保护也有相应的研究,如国外的 CyArk 项目,这个项目是为解决文化遗产日益消失问题而创建的,创始人是本·凯萨拉(Ben Kacyra),他计划用数字化扫描技术在网络上建立世界上 500 个名胜古迹。

1.2.2 国内研究现状

近几年,国内高校与企业加大研发力度,有代表性的公司主要有广州中海达卫星导航技术股份有限公司下属的武汉海达数云技术有限公司、北京北科天绘科技有限公司、广州思拓力测绘科技有限公司等,同时开发了相关三维建模的软件,但是目前市场占有率不高。

与此同时,相关部门也非常重视技术应用,并且已经取得了一定的进展。如中国计量科学研究院与江苏省计量科学研究院共同起草的《地面激光扫描仪校准规范》已经由国家质量监督检验检疫总局在 2013 年 5 月 13 日发布,同年 8 月 13 日实施。2013 年 9 月 26 日《地面三维激光扫描作业技术规程》制定项目启动,目前正在制定中。

在国内,三维激光扫描技术的应用非常广泛,许多学者也进行了相关研究,并取得了一定的研究成果。

三维激光扫描技术在文物保护领域中的应用研究是比较早的,在工作原理、数据处理技术和方法以及应用实践等方面,都取得了相当大的进展和较好的效果。随着三维激光扫描技术的发展和推广应用范围的推广,近年来,三维激光扫描技术在文物保护和考古工作中被不断地使用,为文物保护工作提供了新的技术支持,为研究三维激光扫描技术在文物保护中的应用提供了更多资料。在石窟、壁画、岩画、古建筑、馆藏文物、遗址文物考古等方面已经有很多成功的案例,例如,数字乐山大佛、故宫数字化保护、白马寺齐云