

三维激光扫描

数据处理理论及应用

◎ 张会霞 朱文博 编著



电子工业出版社
PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY
<http://www.phei.com.cn>

三维激光扫描数据处理 理论及应用

张会霞 朱文博 编著

电子工业出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京·BEIJING

内 容 简 介

本书详细地论述了地面和机载三维激光扫描系统原理及数据处理理论,并提出了几种新的数据组织方法。同时,结合实例分别对地面三维激光扫描系统和机载 LIDAR 系统从数据获取到处理以及最后的模型建立的操作方法进行了阐述,并说明了地面三维激光扫描系统和机载 LIDAR 系统的应用领域。另外,对常用的两种数据处理软件进行了介绍,并分厂商对目前常用的地面三维激光扫描仪器进行介绍和对比分析。

本书作为测绘、地理信息系统以及相关专业科研人员学习参考书,也可作为测绘工程专业、遥感专业、GIS 专业高校师生的教材和参考书。

未经许可,不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。

版权所有,侵权必究。

图书在版编目(CIP)数据

三维激光扫描数据处理理论及应用 / 张会霞, 朱文博编著. —北京: 电子工业出版社, 2012.12
ISBN 978-7-121-18930-2

I. ①三… II. ①张… ②朱… III. ①三维—激光扫描—数据处理—研究 IV. ①TN27

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2012) 第 271212 号

责任编辑: 秦绪军

文字编辑: 张莹

印刷: 三河市双峰印刷装订有限公司

装订: 三河市双峰印刷装订有限公司

出版发行: 电子工业出版社

北京市海淀区万寿路 173 信箱 邮编 100036

开本: 720×1 000 1/16 印张: 14 字数: 266.1 千字

印次: 2012 年 12 月第 1 次印刷

定 价: 39.00 元

凡所购买电子工业出版社图书有缺损问题,请向购买书店调换。若书店售缺,请与本社发行部联系,联系及邮购电话:(010) 88254888。

质量投诉请发邮件至 zltz@phei.com.cn, 盗版侵权举报请发邮件至 dbqq@phei.com.cn。

服务热线:(010) 88258888。

前 言

三维激光扫描技术是继 GPS 技术之后又一项测绘新技术，已成为空间数据获取的重要技术手段之一。自 1997 年第一台地面三维激光扫描仪问世后，国外生产厂商相继推出不同型号的地面三维激光扫描仪，国内厂商也积极地投入到地面三维激光扫描仪的生产中，地面三维激光扫描技术在国内的应用越来越普遍，目前主要应用在文物保护、古建筑重建、数字城市、地形测量、矿山测量、桥梁测量等方面。

最早的激光雷达测距技术应用可以追溯到 20 世纪 60 年代 (Link, 1969; Robin, 1966)，随后激光雷达的发展受到了电子、计算机、高速和大容量存储设备等技术的极大推动，从 1995 年开始，机载激光雷达技术开始走出实验室而走向商用化和产业化 (Flood, 2001)。随着测量精度的不断提高，激光测距技术的应用已经从简单的距离测量发展到测距扫描成像。LIDAR 市场的发展十分迅速，据统计，目前全球正使用的 LIDAR 设备超过了 200 套，国内正在使用的 LIDAR 设备也超过了 20 套，包括了世界上所有的主流商业产品。

在应用方面，机载激光雷达系统获得的主要数据是三维激光脚点坐标（距离信息数据），以此为基础构成了数字表面模型 (DSM)，并结合一些其他性质的信息。其主要产品和应用有：通过滤波生成数字高程模型 (DEM)；测绘地形图；绘制石油管道、电力线等专题图；对地面目标进行自动分类；自动提取高密度城市地区的房屋和道路；三维城市景观建模，并用于虚拟现实；海岸地带地形测绘，包括沙丘和湿洼地，监测海岸变化及动态侵蚀情况；城市规划；自然灾害三维实时监测；GIS 数据采集；土地剖面测量等。

全书分为 8 章。从地面激光扫描和机载 LIDAR 两个部分展开讨论，内容包括：

第 1 章绪论。主要介绍地面三维激光扫描技术的发展及其研究现状、三维激光扫描技术的应用领域、三维激光扫描的特点，以及与其他相关技术的关系。

第 2 章地面三维激光扫描系统基本原理。主要介绍三维激光扫描系统的组成、三维激光扫描系统的基本工作原理、三维激光扫描仪的分类、三维激光扫描数据处理原理、三维激光扫描仪及数据处理的主要误差分析，对三维激光扫描仪获取的点云数据的组织与索引进行研究探讨。

第 3 章地面三维激光扫描系统的应用。主要介绍了三维激光扫描技术在古建筑物保护、文物保护、地形测绘、道路测量、边坡监测、数字校园等方面的应用。

第4章地面三维激光扫描数据处理软件。主要介绍了 Cyclone 软件的特点及各个模块的功能。同时,对 Polywork 软件进行了介绍,包括该软件的模块及各模块的操作,并给出了 Polywork 软件处理数据的一般流程。

第5章地面三维激光扫描仪。主要介绍了 Leica 公司生产的系列三维激光扫描仪的特点及其技术指标,Reigl 公司生产的系列三维激光扫描仪及其技术指标,Trimble 公司生产的扫描仪的特点,Optech 公司生产的三维激光扫描仪及其技术指标,并对不同厂家三维激光扫描仪的主要技术指标进行对比。

第6章机载 LIDAR 系统概述。主要介绍了目前国内机载 LIDAR 技术的发展和应用情况,以及 LIDAR 技术的特点与优势。

第7章机载 LIDAR 外业和内业数据处理流程。主要介绍了机载 LIDAR 技术的外业数据获取和内业数据处理流程,以及 DEM、DOM、DLG 数据的制作。

第8章机载 LIDAR 数据的应用及集成。包括点云数据的应用,以及 LIDAR 数据成果的具体应用,最后对多源三维激光扫描数据的融合和集成技术进行了介绍。

本书第1~4章由太原师范学院城市与旅游学院张会霞编写,第5~8章由山西农业大学资源环境学院朱文博编写。本书编写的过程中,在技术应用部分得到了相关单位从业人员的大力支持,解决了一些技术难点,在此深表感谢。

限于作者的水平和时间有限、书中难免有疏漏和不足之处,恳请专家和读者批评指正。

编者

反侵权盗版声明

电子工业出版社依法对本作品享有专有出版权。任何未经权利人书面许可，复制、销售或通过信息网络传播本作品的行为；歪曲、篡改、剽窃本作品的行为，均违反《中华人民共和国著作权法》，其行为人应承担相应的民事责任和行政责任，构成犯罪的，将被依法追究刑事责任。

为了维护市场秩序，保护权利人的合法权益，我社将依法查处和打击侵权盗版的单位和个人。欢迎社会各界人士积极举报侵权盗版行为，本社将奖励举报有功人员，并保证举报人的信息不被泄露。

举报电话：(010) 88254396；(010) 88258888

传 真：(010) 88254397

E-mail: dbqq@phei.com.cn

通信地址：北京市万寿路 173 信箱

电子工业出版社总编办公室

邮 编：100036

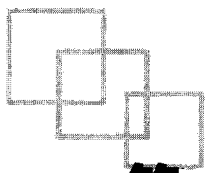
目 录

第 1 章 绪论	1
1.1 地面三维激光扫描技术概述.....	1
1.2 地面三维激光扫描技术的发展与研究.....	2
1.2.1 点云数据的存储组织研究现状.....	3
1.2.2 点云数据的坐标配准研究现状.....	5
1.2.3 点云数据的特征提取研究现状.....	6
1.3 地面三维激光扫描技术的应用.....	7
1.4 地面三维激光扫描技术的特点及与其他相关技术的关系.....	10
1.4.1 地面三维激光扫描技术的特点.....	10
1.4.2 地面三维激光扫描技术与摄影测量的区别.....	11
1.4.3 地面三维激光扫描技术与传统测绘的比较.....	12
第 2 章 地面三维激光扫描系统基本原理	13
2.1 地面三维激光扫描系统的组成及基本工作原理.....	13
2.1.1 地面三维激光扫描系统的基本工作原理.....	13
2.1.2 三维激光扫描仪的分类.....	16
2.2 典型的地面三维激光扫描系统.....	18
2.3 地面三维激光扫描系统数据的结构及特点.....	21
2.4 地面三维激光扫描数据处理理论.....	25
2.4.1 数据获取.....	26
2.4.2 数据缩减.....	27
2.4.3 坐标纠正.....	32
2.4.4 数据滤波.....	40
2.4.5 数据分割.....	42
2.4.6 三角网格建立.....	45
2.4.7 三维建模.....	48
2.4.8 纹理映射.....	50
2.5 地面三维激光扫描仪及数据处理的主要误差分析.....	54

2.5.1	系统本身构造误差	54
2.5.2	测量误差	54
2.5.3	坐标配准误差	57
2.6	点云数据的组织与索引	58
2.6.1	基于 B 树和 Hilbert 曲线的空间索引	58
2.6.2	基于线性四权树的格网索引	66
2.6.3	基于八权树与 B 树的点云数据的组织与索引	71
第 3 章	地面三维激光扫描系统的应用	76
3.1	古建筑保护	76
3.2	文物保护	78
3.3	地形测绘	80
3.4	道路测量	82
3.5	边坡监测	85
3.6	数字校园	87
第 4 章	地面三维激光扫描数据处理软件	92
4.1	Cyclone 软件	92
4.1.1	Cyclone 软件特点	92
4.1.2	Cyclone 模块介绍	93
4.2	Polyworks 软件	101
4.2.1	PolyWorks 软件特点	102
4.2.2	PolyWorks 模块介绍	103
4.2.3	PolyWorks 软件处理数据一般流程	106
第 5 章	地面三维激光扫描仪	109
5.1	Leica 公司产品	109
5.1.1	ScanStation C10、C5 三维激光扫描仪	109
5.1.2	HDS8800 三维激光扫描仪	111
5.1.3	HDS6200 三维激光扫描仪	111
5.1.4	Leica 公司系列产品参数	112
5.2	Trimble 公司产品	113
5.3	Riegl 公司产品	114
5.3.1	VZ-4000 三维激光扫描仪	114
5.3.2	VZ-1000、VZ-400 等三维激光扫描仪	115

5.3.3 Riegl 公司系列产品参数	117
5.4 Optech 公司产品	117
5.5 不同厂家三维激光扫描仪的主要技术指标	121
第 6 章 机载 LIDAR 系统概述	123
6.1 机载 LIDAR 硬件系统	123
6.2 机载 LIDAR 技术的特点和优势	126
6.2.1 LIDAR 技术的特点	126
6.2.2 LIDAR 技术的优势	127
6.2.3 LIDAR 技术与传统航空摄影测量的区别	129
6.3 机载 LIDAR 技术的国内外研究和应用现状	130
第 7 章 机载 LIDAR 外业和内业数据处理流程	135
7.1 机载 LIDAR 外业数据获取	135
7.1.1 LIDAR 设备指标分析	136
7.1.2 飞行设计特点	140
7.1.3 飞行设计流程	140
7.1.4 地面控制	141
7.1.5 数据采集	142
7.2 机载 LIDAR 内业数据处理	143
7.2.1 数据预处理	143
7.2.2 数据后处理	158
7.3 数据成果的制作	168
7.3.1 DEM 制作	168
7.3.2 DOM 制作	178
7.3.3 DLG 制作	183
第 8 章 机载 LIDAR 数据的应用及集成	188
8.1 机载 LIDAR 点云数据的应用	188
8.2 机载 LIDAR 数据成果的应用	190
8.2.1 DEM 应用	191
8.2.2 DOM 应用	195
8.2.3 DLG 应用	199
8.3 多源扫描数据的集成应用	200
8.3.1 机载、车载及地面激光扫描集成技术	203

8.3.2 多源扫描数据集成·····	204
8.4 机载 LIDAR 技术展望·····	207
参考文献·····	209



第 1 章 绪 论

1.1 地面三维激光扫描技术概述

三维激光扫描技术 (3D Laser Scanning Technology) 是一种先进的全自动高精度立体扫描技术。它是用三维激光扫描仪获取目标物表面各点的空间坐标, 然后由获得的测量数据构造出目标物的三维模型的一种全自动测量技术。三维激光扫描技术是继 GPS 之后的又一项测绘新技术, 已成为空间数据获取的重要技术手段。

三维激光扫描技术是一项新兴的获取物体空间数据的方式, 同传统的测量手段相比, 三维激光扫描技术可以连续、自动、快速地采集大量的目标物表面三维点数据, 即点云 (Point Clouds), 因此具有许多独特的优势, 例如: ①数据获取速度快, 实时性强; ②数据量大, 精度高; ③主动性强, 能全天候工作; ④全数字特征, 信息传输、加工、表达容易。它的工作过程实际上就是不断的数据采集和处理过程, 通过具有一定分辨率的空间点所组成的点云图来表达系统对目标物表面的采样结果。传统的测量方式是单点采集数据, 获取的是单点数据, 而三维激光扫描技术不需要合作目标, 因此可以自动、连续、快速地获取目标物表面密集采样点数据, 从而提高了测量的效率, 拓宽了测绘技术应用领域。

目前, 国际上有几十家三维激光扫描仪制造商, 已生产出多种型号的三维激光扫描仪, 包括微观、短距离、中距离、长距离的三维激光扫描仪。微观、短距离的三维激光扫描技术已经很成熟, 主要应用于工业产品的模具、汽车模型、手机模型的设计与制造, 精度已达到 $1\mu\text{m}$ 。长距离的三维激光扫描技术在获取空间目标点数据方面获得了新的突破, 主要应用于大型建筑物的测量、数字城市、地形测量、矿山测量和机载激光测高等方面, 并且有着广阔的应用前景。

国内对三维激光扫描技术的研究起步较晚, 研究的内容主要集中在微观和短距离的领域中, 这几年, 随着三维激光扫描技术在国内应用的逐步增多, 国内很多科

研究院和大专院校正在加快三维激光扫描技术的理论与技术方面的研究，并取得了一定的成果。

在过去的几年内，机载激光扫描系统的应用领域，已从获取数字表面模型拓宽到三维对象模型的获取 (Maas, 2001)。机载激光扫描系统在产品和应用方面已日趋成熟，如瑞典的 TopEye 机载系统、加拿大 Optech 公司的 ALTM1020GG 系统、美国的 Fli-Map1 系统等都已经应用于快速获取大面积三维地形数据等方面。

地面激光扫描仪这几年发展的也很快，日本东京大学于 1998 年进行了地面固定激光扫描系统的集成与实验，取得了良好的效果，该大学和科研机构正在积极着手展开较大规模的研究工作。此外，美国、法国和中国香港大学以及国内的一些大学和科研机构正在积极进行这方面的研究工作。清华大学提出了三维激光扫描仪国产化战略，并且研制出了三维激光扫描仪样机，并通过了国家“863”项目验收。北京大学的视觉与听觉信息处理国家重点实验室三维视觉计算与机器人小组在这方面做了不少研究。北京建筑工程学院使用加拿大 Optech 公司生产的 ILRIS-3D 三维激光扫描仪在故宫数字化项目中做出了重要贡献。

利用三维激光扫描仪获得的点云数据建立的三维模型与传统航空摄影测量方法建模相比，数据获取速度更快，建立的三维模型更精确，这种三维场景模型在古建筑重建、虚拟现实、地形勘测、数字城市、城市规划、智能交通等诸多领域有着广阔的应用前景和价值，同时也是三维激光扫描技术发展的一个重要方向。

近年来，三维激光扫描技术已成为测绘领域一个新的研究热点。在软件方面，不同厂家的三维激光扫描仪都带有自己的系统软件，Leica 公司生产的 HDS 系列三维激光扫描仪的系统软件 Cyclone，将数据采集、管理和建模集成在一起，优于常规光学测量仪器、近景摄影测量以及人工测量方法。还有其他三维激光扫描数据处理软件，如 Geomagic、Polywork 软件等，这些软件都各有所长，主要用于逆向工程产品建模，在国内针对点云数据建模软件开发的还比较少。

1.2 地面三维激光扫描技术的发展与研究

三维激光扫描技术经过几十年的发展，硬件技术比较成熟，国外公司生产了许多商用的三维激光扫描仪和数据处理软件，这些三维激光扫描仪的扫描距离近到 0.8m (如 Mensi 公司出产的 S25 型三维激光扫描仪)，远到 6 000m (如 RiegI 公司生产的 LPM-321 型三维激光扫描仪)，部分仪器还内置了数码相机，在获取目标物空间

坐标与反射率的同时,还获得颜色信息。Leica 公司生产的 ScanStation 2、HDS6000 三维激光扫描仪还具有全站仪的功能,架在已知点上、后方交会等方法都可使用。

三维激光扫描仪以及数据处理的理论和方法在工业模具制造以及工业逆向工程领域已经比较成熟。近几年,随着中、远距离的三维激光扫描仪的出现,拓宽了它的应用领域,这使得三维激光扫描技术在土木工程、数字城市、矿山测量、城市规划、虚拟现实等领域具有广阔的应用前景。

国内,在硬件技术方面,基于脉冲测距法的三维激光扫描技术是目前最先进的高新集成技术之一,国内对这方面的硬件研究目前还很少。在数据处理方面,国内的研究逐渐增多,中国香港大学以及国内的一些大学和研究机构正在积极进行这方面的研究,并且取得了一定的研究成果。三维激光扫描仪的应用逐渐增多,各个测绘部门也开始使用三维激光扫描仪用于测量领域。

1.2.1 点云数据的存储组织研究现状

三维激光扫描仪从物体表面获取的点云数据随着采样时间间隔的减小,数据量不断增加,大量的点云数据不仅加大了系统负荷,而且大大降低了后续处理效率。系统软件采集的点云数据导入普通的建模软件,由于数据量庞大几乎无法运行。因此,采用何种数据结构组织点云数据,成为数据处理、模型建立的关键。

激光扫描生产了大量多维点云数据,这些数据需要有效的存储和组织,为了支持计算和表面模型重构,大量的数据结构必须能执行特殊的空间索引和操作,Thomas Brinkhoff 提出用持久稳固的数据结构来代替主存数据结构对点云进行组织,用多维的空间访问方法来组织点云数据,提出了点访问方法和矩形访问方法。

点访问方法主要有格网文件和等级 Hash 树两种方法,格网文件(Nievergelt et al., 1984)是一个基于 Hashing 原理用格网目录替代 Hash 函数的一种多维点访问方法。格网文件存储非均匀或相关分布的点。用格网文件分割空间具有下面属性:①数据库块描述的区域是矩形的。②数据空间完全被块区域覆盖。③块区域不重叠。Hash 树是一种多维点树,Hash 树的典型例子是 BANG 文件,BANG 文件是一个等级树,树的上部分是目录,而叶节点存储数据,目录节点的块区域是基于一个格网结构并被一个矩形所表示,与传统的格网文件相比,块区域不表示完整的矩形区域,在同一节点下小块区域内藏的小矩形被从矩形移除,块区域的形状是不规则的且包含几个不相连的区域。Hash 树的另一个例子是 buddy (Seeger & Kriegel, 1990), buddy 树也是一个等级树,具有目录节点包含矩形块区域,区域不需要覆盖整个数据空间

的特点。

矩形访问方法,是由 Thomas Brinkhoff 提出的用 R 树或者它的变种树 R*树以及 RR*树组织多维点的一种空间访问方法。指出空间访问方法是动态的索引结构支持点的插入、修改与删除,它支持数据在外存永久性的存储。矩形点访问方法适合二维、三维或多维点。它们支持基本空间查询的有效处理。基本的空间查询有:点查询与区域查询, K 近邻的计算,空间连接。

Eric Wahl 提出快速搜索三维点云的变化区域方法,提出了八叉树和平衡二叉树,八叉树是把一个立体空间按等级分割为八块,高等级节点不包含三维点,只有叶子节点包含三维点,其他节点被用来遍历这棵树。因此,索引可被解释为寻找八叉树从上到下的一条路径。在平衡二叉树中,只有元子单元需要作为树节点被实现,单元的索引依然按照位置进行编码,这种位置独立于数据的输入次序与空间次序,等级高的单元不需要额外分配节点。平衡二叉树的内存消耗比八叉树要低,八叉树的缺点是内存消费高,但对于大数据集,平衡二叉树加工方法更复杂些。

国内,路明月提出采用规则八叉树与平衡二叉树相结合的嵌套复合结构进行组织,规则空间八叉树结构将点云数据所“占据”空间的外包罗六面体按照八叉树的思想进行等格网规则分割,并通过坐标对比,将点数据层层深入,归属于八叉树的叶子节点中,八叉树的中间节点仅作为数据归属(检索)的“通道”,而不进行点数据的存储。对存储于叶子节点中的点云数据采用平衡二叉树进行二次组织,以解决点云数据量分布不均匀时在数据密集的叶子格网中进行坐标点的二次查询的耗时问题。在点数据检索时,首先根据三维坐标判断其所属八叉树的叶子格网,然后根据二叉树结构对该叶子格网中的点数据进行二次检索。在进行邻域搜索时,提取当前坐标点所在二叉树节点的若干前驱和后续节点,再配合空间八叉树结构做进一步的筛选即可获得其邻域点集。但是在数据写入时,需要进行多次比较,以确定存放的位置,所以初始化的速度较慢。黄先锋从数据组织的角度提出实时绘制大规模 LIDAR 点云数据的方法,通过构建顺序四叉树使点云数据均匀分布在四叉树的节点上,实现快速的数据筛选。

Liu Hua 提出一种实现雷达数据数据库管理的方法,这种方法是采用八叉树分割数据空间,由于数据量大,要求排序,大数据集耗费大量时间,所以不能构建全局 KD 树,只能构建局部 KD 树,即在每个八叉树数据节点构建一个局部 KD 树。在数据组织中,精确控制 KD 树节点的大小,为了有效的显示点云数据,定义了显示精度,基本的思路是通过计算投影后节点数据的大小,判断一个节点是否被显示。讨论屏幕缓冲方法,使得 KD 树从前向后遍历,可以减少点的显示数量增加显示速度,需要

指出的是这种方法适合远离视点或者非常密的点云数据。

1.2.2 点云数据的坐标配准研究现状

目前国内外对点云数据的坐标配准进行的研究比较多,已经有成熟的软件,如 Cyclone 6.0 软件,它的拼接精度达到 2~3mm; Polyworks 软件的拼接精度则更高。目前最常用的坐标配准算法主要有四元数配准算法,六参数或七参数配准算法,迭代最近点法(ICP)。

四元数配准法,从空间变换的角度看,配准就是从一个坐标系到另一个坐标系的刚体变换,需要解决旋转矩阵 R 和平移向量 T 的问题。1986 年 Faugeras 和 Hebert 提出了用四元数概念进行配准,应用一组四元数表示三个旋转参数。提出点集到点集的坐标系匹配的近似方法(PSTPS)。该类方法的优势在于它可以直接求解刚性变换而不需要一个初始的位姿估计,处理过程是严密的数学解算过程,不需要迭代。该方法已经广泛地应用于众多领域的三维激光扫描数据的配准中。

六参数(或七参数)配准算法需要解决三个旋转参数、三个平移参数、一个尺度参数的问题。在两个三维直角坐标系中,通过坐标轴的旋转与平移,实现三个坐标轴与参考坐标系的轴向一致,以及两个坐标系原点重合。与普通测量中的小角度旋转不同,这里的旋转是大角度旋转,计算旋转参数的过程较复杂,通过测量平差求出六个参数。与四元数配准法不同,它是一种非严密的数学方法,可以通过增加配准数据的约束条件来提高计算的精度。

迭代最近点法又称为 ICP 配准法,1992 年 Besl 和 Mckay 提出了 ICP 方法,它的思路是首先假设得到一个初始的位姿估计,再从一个扫描点集中选取一定数量的点,并在相邻的扫描点集中寻找出这些点的对应点。通过对这些对应点对间的距离最小化来求得一个变换,通过严密解算重新计算最近点点集,迭代计算直到目标函数值不再变化,才停止迭代。ICP 方法主要用于自由形态曲面和表面的三维形状的配准。ICP 搜索最近点的方法有点到点的最近点搜索法、点到面的最近点搜索法、点到投影的最近点搜索法。Besl 和 Mckay 对 ICP 的迭代收敛方面做了改进,也称为 ICP 加快算法 AICP (Accelerated Iterative Closest Point)。

国内翟瑞芳等从摄影测量的角度,用影像匹配的方法在影像上找到同名点,再映射到空间方,同时利用空间相似变换和相对定向分别剔除空间方和像方的粗差,可获得相邻坐标系空间相似变换参数,将相邻的坐标系的点统一到同一个坐标系,这种方法在不需要人工干预的情况下获得较高精度。2005 年郑德华提出基于建筑物

点线面几何特征约束的配准方法 (GFC), 实质是在六参数配准模型中增加不等线性约束条件, 建筑物表面的三维激光扫描数据存在严格的点、线、面的几何特征, 针对建筑物的这些几何特征, 可以列出约束条件式。由此得到 GFC 配准方法的数学模型主要有误差方程组、模型参数约束条件和不等线性约束条件组成, 通过测量平差求出六个参数, 完成坐标纠正。何文峰提出了基于平面特征的深度图像配准方法, 先对每幅深度图像作一个基于平面的分割, 从而提取出其中的平面特征, 在两幅相邻的分割后的深度图像中指定若干组对应的平面特征, 利用四元数法可以计算出这两个坐标系之间的变换。采用四元数配准算法, 需要进行严密的数学解算, 同名点的选择至关重要, 采用特征面到特征面的配准算法, 先通过分割算法, 找出对应的特征面, 再根据特征面计算纠正参数, 完成坐标纠正。对于特征明显的目标物, 这种方法也可行, 但对于特征不明显的目标物或分割不精确的特征面, 这种方法的误差比较大。

1.2.3 点云数据的特征提取研究现状

从点云数据中提取几何要素, 研究方法中有基于边的方法和基于表面的方法。基于边的方法是从点云数据中探测边界点, 然后拟合到线。基于表面的方法是用局部表面属性作为一个相似性度量, 合并空间上相近的以及有相似表面属性的点, 这些表面包括平面以及曲面, 如圆柱、球面、圆锥等, 目前三维激光扫描软件采用的主要是基于表面的方法。

直接利用三维激光扫描数据实现目标三维重建的一种方法是提取目标物特征点, 如边界点、转角点等, 由特征点构建特征线和特征面, 从而重建三维目标。对于特征提取的研究, 国内外学者近年来研究建筑物的特征提取, 建筑物主要是由光滑平面构成, 转角基本为直角, 立面垂直于地面, 对于提取特征点、线、面, 构造三维模型提供了条件。George Vosselman 等人, 对机载和地面三维激光扫描获取的点云数据做了大量的研究工作, 尤其在城市三维景观建模中做了大量的研究, 提出了建筑物几何要素如窗户、门、屋顶的提取方法, 通过语义提取较高水平的要素, 然后对激光扫描数据进行分割, 以便属于同一平面的点聚集在一起。最后, 把每一分割面跟不同建筑物要素的约束条件相比较确定这一面表示哪种要素, 通过算法自动提取门、窗等要素。

2000 年 N·E·Pears 对线段的三维激光扫描数据进行了分割表示并运用扩展卡尔曼滤波进行三维激光扫描数据的线特征提取。在工业逆向工程领域中, 1999 年 Vincent Harry Chan 应用视觉神经网络补充了图像分割方法, 运用模糊逻辑算法迭代

拟合了几何曲面数据,运用参数模型和拓扑信息建立 CAD 模型,并进一步运用前向反馈神经网络提取特征信息。2001 年 Jian Bing Huang 在工业制造领域中研究高密集点云数据的特征提取、CAD 模型的建立理论和方法。Jen Pang Peng 根据三维投影方式研究了三维模型的特征提取过程。日本东京大学的 Dinesh 研究了直接从距离影像中提取相关几何特征(如道路、建筑物等)和纹理的相关算法及各种模板等。

国内,阳道善等人也提出了规则表面自动识别方法,该方法主要运用点云数据的二维密度特征分析进行数据处理。武汉大学李必军利用车载激光扫描数据进行了建筑物特征提取研究,提出了一套基于建筑物几何特征的信息挖掘方案,可以直接从激光扫描数据中提取建筑物的平面外轮廓信息。路兴昌等人应用平面分割和 Hough 变换对目标物识别并提取特征点、线、面,从而建立三维模型。

1.3 地面三维激光扫描技术的应用

三维激光扫描技术在国内的应用逐渐增多,应用领域也越来越广,主要应用在文物保护、古建筑重建、虚拟现实、地形勘测、数字城市、城市规划、智能交通、矿山测量等领域。Leica 公司的 HDS 三维激光扫描仪的应用领域如图 1.1 所示。随着三维激光扫描仪的普及,未来的应用领域将会越来越广。

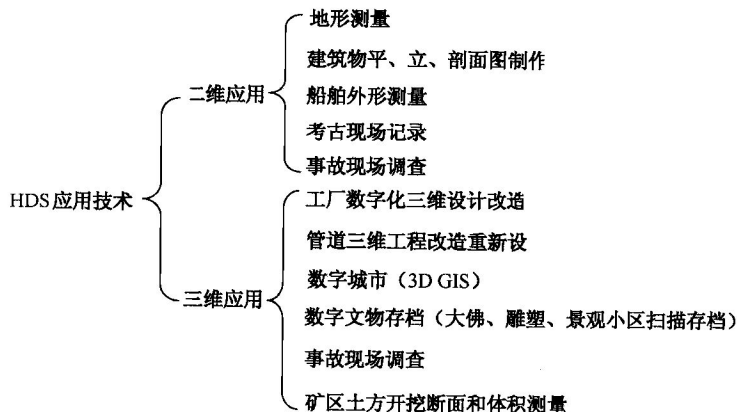


图 1.1 HDS 三维激光扫描仪的应用领域

近几年,三维激光扫描在国内的应用领域逐渐增多,在地形地貌测量、矿山开采、土木工程、水利、水电、公路、铁路、电站、建筑工程、滑坡监测、泥石流监测、河水和海水对港口码头和堤坝的侵蚀变化、隧道施工过程中扫描(超、欠挖等)、桥梁和隧道