



地面三维激光扫描系统现状及发展评述

习晓环¹, 骆社周¹, 王方建^{1,2}, 王成¹

(1. 中国科学院 对地观测与数字地球科学中心, 北京 100094;

2. 中国科学院 研究生院, 北京 100049)

摘要:介绍了地面三维激光扫描仪的工作原理、特点以及目前国内市场上主流地面三维激光扫描仪的性能指标,分析了其中存在的问题;进一步指出当前地面三维激光扫描仪硬件系统研制和数据处理中亟待解决的问题,以期对国内用户在仪器选型和使用时提供帮助,对我国地面三维激光扫描仪硬件系统研制和数据处理软件开发提供借鉴和参考。

关键词:地面三维激光扫描仪;点云数据;三维模型

中图分类号: P237

文献标志码: B

文章编号: 1672-4623 (2012) 06-0013-03

三维激光扫描技术兴起于20世纪80年代,其革命性的数据获取方式不仅极大地提高了人们获取空间三维信息的效率,而且其丰富的产品形式满足了不同行业领域和不同应用目的的需要^[1]。三维激光扫描系统集成激光扫描仪、数码相机、软件及附属设备,可以非接触、快速获取地物目标的三维点云数据和纹理(影像)数据,经过数据处理以及三维建模,构建扫描对象的真三维数字模型,为空间信息数据库提供丰富的数据源^[2]。正是由于这些优点,三维激光扫描技术自问世以来就得到了飞速发展,目前在一些发达国家已经商业化和产业化,系列产品相继上市,而市场上几乎没有自主知识产权的同类国内产品。在强烈的应用需求推动下,国内已经有上百家单位和公司引进了不同型号的三维激光扫描设备,开展了大量的应用研究和工程项目。但是面对琳琅满目的国外产品,其性能指标五花八门,软件及数据处理各有千秋,给用户带来诸多不便。本文简要介绍了地面三维激光扫描仪的工作原理、特点和硬件系统情况,并对其中存在的问题和未来发展进行了详细分析,提出了对策和建议。

1 三维激光扫描仪工作原理与特点

1.1 工作原理

地面三维激光扫描仪主要由激光扫描仪、控制器、电源和软件等组成,其中激光扫描仪综合了激光测距仪与角度测量系统,同时还集成了数码相机、仪器内部控制和校正系统等。通过记录激光束从发射到反射回系统的时间差(或相位差),计算扫描仪到被测物体的距离(S) (见图1);仪器内置的精密时钟控制编码器保证系统可以同步测量出每个激光脉冲横向扫描角度

值(α)和纵向扫描角度值(θ);通过计算可得到被测物体的三维空间坐标^[3]。

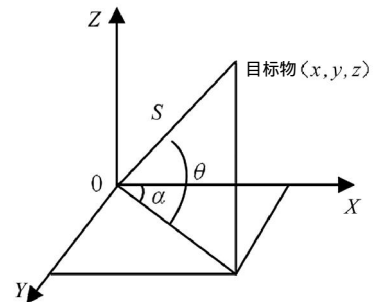


图1 三维激光扫描仪工作原理

目标物的三维坐标公式如下:

$$\begin{cases} X = S \cos \theta \cos \alpha \\ Y = S \cos \theta \sin \alpha \\ Z = S \sin \theta \end{cases}$$

1.2 系统特点

1) 主动、非接触工作方式。三维激光扫描仪是主动式探测系统,可以对目标进行非接触式扫描,因而在扫描过程中可以不受扫描环境空间和时间的约束,也无需对目标物体表面进行任何处理就可以获取到真实可靠的数据,特别适用于文物、古建、危险目标和环境(崩塌地、矿坑),以及人员难以到达区域的三维信息获取。

2) 数据采集速率高,点云密度高。三维激光扫描仪能在短时间内获取目标物的海量点云数据,一些基于相位式的扫描仪,其扫描速度已经达到120万 pts/s,扫描点间隔达到了1 mm左右,这些都是传统测量手段难以比拟的^[4]。

3) 数据精度高,信息丰富。地面三维激光扫描仪的测距精度已经可以达到2 mm (100 m处,一次单点

收稿日期: 2012-04-13

项目来源: 国家自然科学基金面上资助项目(40871197);中国科学院百人计划专项资助项目。

扫描), 模型表面的精度也可达 2 mm^[5]。这些点云数据还包含了激光反射强度信息, 系统携带的高分辨率数码相机还同时获取了扫描对象的彩色纹理影像, 为目标的分类、识别和建模提供真实可靠的信息。

4) 扫描对象信息完整。只要制定好周密的扫描方案, 利用三维激光扫描仪就可以获取目标物的完整信息, 不存在传统测绘中的补漏问题, 从而减少了劳动强度, 节约了资金, 提高了工作效率。

5) 数字化采集, 兼容性好。三维激光扫描仪直接获取目标物的三维坐标和纹理信息, 易于后期处理、输出和保存。

2 市场上的主要产品及性能特点

目前市场上的地面三维激光扫描仪种类繁多, 按扫描方式可归为 2 大类, 即脉冲式和相位式, 其中脉冲式占市场绝大多数份额, 主要生产厂商有奥地利的 RiegI、瑞士的 Leica、加拿大的 Optech 等, 优点是扫描距离长(目前最远射程可达 6 km)。相位式扫描仪市场份额相对较少, 主要有美国的 Surphaser、FARO, 德国的 Z+F、Leica 也有相位式产品, 其优点是激光发射频率高, 扫描速度快(最高可达 120 万 Hz), 测距精度高, 但扫描距离相对较短。

表 1 列出了目前市场上常见的地面三维激光扫描仪厂商, 并以应用相对广泛的产品型号为例, 介绍其有关指标。一般来说, 扫描仪的射程越长测距精度相应会降低。在所有脉冲式激光扫描仪中, RiegI 的 VZ400 发射频率最高, 扫描速度最快, 高精度全景扫描 2 min 即可完成; Optech 的脉冲频率最低。相位式扫描仪的扫描精度普遍较高(平均可达 $\pm 2 \text{ mm}@25\text{m}$), 其中美国的 Surphaser 是所有扫描仪中激光发射频率最高的, 可达 120 万点/s, 其次是 Faro 的 97.6 万点/s。无论哪种扫描方式的仪器, 其扫描速度会随所设定的激光发射频率而变化, 太阳光和室外光线对扫描点数和精度影响不大, 用户可根据自己的应用需求选择适用的产品型号。

3 当前地面三维激光扫描仪存在的问题

3.1 缺乏自主知识产权的硬件设备

从表 1 可以看出, 当前国内市场上的主流地面三维激光扫描仪都是从国外引进的, 其直接后果是设备价格昂贵。表 1 所列的仪器价格多在 70~150 万, 某些型号甚至超过 200 万。国内虽然在工业应用方面已经有比较成熟和商业化的产品, 但在工程应用方面还未有成熟的产品上市。面对国内日益强烈的应用需求,

2007 年在中国科学院知识创新工程重要方向项目支持下, 中科院光电研究院研制了一套地面三维激光扫描仪原理样机; 2011 年底, 中科院上海光学精密机械研究所与杭州中科天维有限公司联合推出了“地基全视景三维成像激光扫描仪”^[6], 并进行了多次扫描试验。这些样机距离用户需要的、具备全套技术解决方案的地面三维激光扫描仪还有较长的路要走。加快自主知识产权的硬件设备商业化和产业化进程, 这是改变国外产品在国内市场垄断地位、降低其高昂价格的重要途径。

3.2 仪器性能指标不一

当前市场上的地面三维激光扫描仪品牌众多、型号各异, 但是分析发现, 一些重要指标都没有一个比较权威机构的鉴定和标准, 扫描仪的发射频率、最大射程和测距精度没有一个统一的评价标准, 基本都靠各个厂家或者用户自己来判定。以测距精度为例, 有些厂家宣称射程 8 m 处的精度, 有些则提 25 m、50 m 或者 100 m 处的精度; 有些厂家提单点测距精度, 有些则提多次重扫描复精度。再如脉冲频率, 大部分厂家都提激光发射频率, 但对于用户, 更关心的是扫描仪在单位时间内能够接收到的激光点数量, 因为虽然激光脉冲频率很高, 但可能扫描仪只能接收一部分, 其余都被散射或反射掉了。另外关于最大射程指标, 除个别仪器能达到标称值外, 多数仪器都很难达到其标称的最高指标。诸如此类, 给用户选型和使用带来诸多不便。

3.3 扫描控制 and 数据处理软件

目前市场上的三维激光扫描仪都集成了各自厂家开发的扫描控制软件, 如 RiegI 的 RiScan Pro、Leica 的 Cyclone、FARO 的 SCENE 和 Topcon 的 ScanMaster 等, 数据后处理软件或者厂商自己开发, 或者综合利用一个或多个第三方软件(如 PointCloud Kubit、Polyworks 等); 而且一些软件还需要基于 MicorStation、CAD 等平台工作, 给用户使用和处理数据带来诸多不便。同时这些软件价格昂贵, 如 1 套 Cyclone6.0 报价在 20 多万元, 1 套 RiScan Pro 也需要 12 万元左右, 购买设备就需要同时购买其自带的软件。因此开发通用的、功能强大的、商业化的数据处理软件是市场和用户的迫切需求。

3.4 海量数据管理与处理效率

随着激光脉冲频率越来越高, 完成一个工程项目的扫描往往会获取数亿甚至上百亿的点云数据, 不仅占用大量的空间, 且数据处理速度慢, 同时数据的快速可视化也是当前数据处理中面临的难题。另外为了

表 1 当前市场主流地面三维激光扫描仪型号及性能指标汇总表

	Leica 瑞士	Riegl 奥地利	Optech 加拿大	Faro 美国	Surphaser 美国	Z+F 德国	Topcon 日本	Trimble 美国
产品型号	HDS C10 ^[5]	VZ400 ^[7]	ILRIS-3D ^[8]	FOCUS 3D ^[9]	Surphaser 25HSX ^[4]	Imager 5010 ^[10]	GLS-1500 ^[11]	Trimble GX ^[12]
扫描类型	脉冲式	脉冲式	脉冲式	相位式	相位式	相位式	脉冲式	脉冲式
最大脉冲频率 pts/s	5 万	30 万	3 500	97.6 万	120 万	101.67 万	3 万	5 万
波长(nm)	532	1 550	1 535	905	685	1 350	1 535	690
激光等级	3 级	1 级	1 级	3R 级	3R 级	1 级	1 级	3R 级
射程(m)	0.1~300	1.5~600	3~1 700	153	0.2~70	0.3~187	330	350
视觉范围(H × V)	360 ° × 270 °	360 ° × 100 °	360 ° × 110 °	360 ° × 305 °	360 ° × 270 °	360 ° × 320 °	360 ° × 70 °	360 ° × 270 °
测距精度	2 mm@100 m	2 mm@100 m	7 mm@100 m	2 mm@25 m	0.5 mm@8 m	1 mm@50 m	4 mm@150 m	7.2 mm@100 m
扫描控制及数据处理软件	Cyclone & Cloudworks	RiScan Pro	ILRIS-3D Polyworks	SCENE & Pointtools EDIT & Geomagic & Rhinoceros	SurphExpress	Laser Control & Light FormModeller	ScanMaster	Rimble FX Controller & 3Dipos RealWorks
数码相机	内置	外置	内置	内置	-	外置	内置	内置
工作温度	0 ~40	0 ~40	0 ~40	5 ~40	5 ~45	-10 ~45	0 ~40	5 ~45
应用领域	测绘工程 地形、滑坡监测 ;公路、铁路、河道测绘 桥梁、隧道、大坝测量与变形监测 ;矿山等面积及体积计算 ;建筑物、文物古迹数字化与保护修复 ;紧急服务业 ;交通事故、犯罪现场等数据采集 ;数字城市等							
兼容第三方软件	Pointcloud Kubit; RapidForm; Polyworks; (Raindrop) Geomagic; Realwoks 等							

注：激光等级，根据激光对人体造成的伤害程度来分类：1 级激光属低能量级激光设备，对人体安全且避免静电危险；3 级激光是连续的激光波，人眼直视有危险。

获取相对真实的三维模型和效果，需要将仪器获取的二维影像与点云模型的进行纹理映射（配准）；对于复杂物体，往往需要大量的人机交互或人工操作，不仅工作量巨大、耗时耗力，而且模型的精度也很难保证。因此需要开发高效的数据压缩算法和自动化程度较高的配准软件，实现海量点云的有效管理，提高配准精度和模型构建的自动化程度。

4 结 语

三维激光扫描技术作为一种新兴的空间信息数据采集手段，能够快速、精确地完成复杂表面的测量，实现目标的真实记录，并对目标进行高密度、高精度的三维量测。因而随着激光扫描技术的不断发展成熟及应用需求的增加，三维激光扫描技术的应用领域和范围也将会不断扩大，成为空间三维信息获取最重要的手段之一。当前亟待改变国外地面三维激光扫描设备垄断国内市场的局面，尽快研制出自主知识产权的硬件设备，同时建立规范化的仪器性能指标体系，并开发通用的、功能强大的扫描管理与数据处理软件，这样才能满足越来越多的用户需求，推动地面三维激光雷达扫描技术及其应用朝着更广阔的领域和方向发展。

参考文献

[1] 臧克. 地面三维激光雷达应用处理关键技术研究[D]. 北京：

首都师范大学, 2007

[2] 马立广. 地面三维激光扫描仪的分类与应用[J]. 地理空间信息, 2005, 3(5): 60-62

[3] 余明, 丁辰, 过静琚. 激光三维扫描技术用于古建筑测绘的研究[J]. 测绘科学, 2004, 29(5): 69-70

[4] Basic Software, Inc. 3D Scanner Surphaser Brochure[EB/OL]. <http://www.surphaser.com/PDFs/Brochure.pdf> 2012-4-10

[5] Leica Geosystem. Leica ScanStation C10 Brochure_en[EB/OL]. http://hds.leica-geosystems.com/en/Leica-ScanStation-C10_79411.htm 2012-4-11

[6] 上海光学精密机械研究所. 地基全视景三维成像激光扫描仪 [EB/OL]. http://www.siom.cas.cn/xxbs/201111/t20111108_3392228.html 2012-4-11

[7] RIEGL. 3D System Configuration Riegl VZ-400[EB/OL]. <http://riegl.com/products/terrestrial-scanning/produktdetail/product/scanner/5/>, 2012-4-11

[8] OPTTECH, Inc. ILRIS-3D 大地激光扫描仪 [EB/OL]. http://www.zhinc.com.cn/cp/optech_3d.htm, 2012-4-11

[9] ONROL, Inc. FARO Focus3D[EB/OL]. <http://www.onrol.com/chanpinxinxi/2011-06-14/84.html>, 2012-4-11

[10] ZF UK Laser Limited. Z+F Imager 5010[EB/OL]. <http://www.zf-uk.com/products/zf-imager5010> 2012-4-11

[11] TOPCON. GLS-1500 -Laser Scanner[EB/OL]. [http://www.positionpartners.com.au/brochures/Leaflet % 20GLS-1500_A4% 20English-EN-low-final.pdf](http://www.positionpartners.com.au/brochures/Leaflet%20GLS-1500_A4%20English-EN-low-final.pdf) 2012-4-12

[12] Trimble. Trimble GX 3D[EB/OL]. <http://www.trimble.com/cn/survey/trimblegx.aspx> 2012-4-11

第一作者简介：习晓环，硕士，副研究员，研究方向为激光雷达遥感及应用。

Considerations on High Education of Geodetic Cartography and Surveying and China's Geographic Information Industry Development

by NING Jinsheng

Abstract The paper gave some considerations on high education reform of geodetic cartography and surveying in China. As an example, geodetic cartography professional education mode of surveying and mapping engineering was discussed. Finally, China's geographic information industry development was reviewed.

Key words geodetic cartography ,high education ,geographic information industry (Page:1)

Processing Method of Mapping Satellite-1 Image

by HE Zhonghuan

Abstract To meet the DOM production needs of the national 1:50 000 database dynamic update project, this article aimed at the processing method of Mapping Satellite-1 data, including satellite images fusion, block adjustment, DOM automatic production and secondary correction. By this way, massive DOM data meeting accuracy requirements can be quickly acquired. It provides base map for the subsequent DLG field annotation.

Key words Mapping Satellite-1 ,Clustered Image Processing System , satellite images fusion ,block adjustment ,DOM automatic production (Page:4)

Database Technology of Massive Logging Data Management in Petroleum Geology

by SHI Wei

Abstract In petroleum geology study, it is need to analyze a large number of well logging data, and draw a single well histogram and the associated well profile. Then, it is to be calculated, compared, and analyzed the mass of geological data in order to analyze the sedimentary facies and depositional environment. At present, due to the massive growth of the geological data, the conventional Excel-spreadsheet management model has been difficult to meet the needs of production or scientific research. This paper introduced a way of massive logging data management and information extraction technology such as data processing in drawing a histogram and single factor extraction, especially by fast querying, modifying, deleting, statistic sing and computing, etc of Access relational database technology. Flexible using of the Access data which greatly improves efficiency enhanced data accuracy and flexibility. Practice had proved that the method was a viable scientific computing, and could be promoted in the use of Earth Sciences research.

Key words database ,Access ,logging ,massive data (Page:7)

Accurately Record of Japan Ms6.0 Earthquake by Absolute Gravimeter

by XIAO Fan

Abstract Japan Ms6.0 earthquake happened when the FG5 absolute gravity gravimeter were observing at Sheshan base station. The observation data shows that the change of absolute gravity value by earthquake is about $-16 \mu \text{gal}$. It has positive significance for the earthquake prediction and evaluating the harm of the earthquake.

Key words absolute gravity measurement ,earthquake ,data processing (Page:10)

Current Status and Development of 3D Terrestrial Laser System

by XI Xiaohuan

Abstract The authors introduced its working principle briefly and various typical types of 3D terrestrial scanners and their specifications in detail. Accordingly, there were so many different values about the same configuration which would make customers confuse in using the instrument. The authors raised the problems about these systems configurations of 3D terrestrial scanners in market, and difficulties involving in data processing and digital model building in order to help users choose and use the scanners properly. Meanwhile, we hope the comments will give some references and suggestions for the R&D of the future 3D terrestrial scanners in China.

Key words 3D terrestrial laser scanner ,points cloud ,3D model

Research on Implementation Strategy of Intelligent Service of Spatial Information

by PENG Bing

Abstract Turning processing functions into Web services and making them intelligent have become one of the major trends in the field of spatial information. Focusing on related technologies that intelligent services of spatial information were involved in, this paper did a comprehensive study on contents of implementation ways of spatial information services, the user profile model of intelligent services, and measurement methods of utility degrees of intelligent services of spatial information. It provided a workable solution program for intelligent services of spatial information.

Key words Web Service ,WebGIS ,user profile model , intelligent service of spatial information (Page:16)

Analysis of Terrain Factors for Landslide Hazards and Collapse Hazards in Pengzhou Based on GIS

by FAN Juan

Abstract In this paper, we used GIS technologies and DEM data to analyze Pengzhou geological hazards based on ArcGIS platform. The study area was located in Pengzhou, northwest of Sichuan Province. Aided by ArcGIS, we figured out the terrain factors including elevation and Relief Amplitude, and then analyzed the relationship between landslides, collapse and the terrain factors. The main conclusions are as followed. Such region corresponds to the type of landscape is the hillside area of higher elevation. The results show that the use of GIS technology, combined with digital terrain model, correlation analysis of the digital terrain model of the terrain, landslides and other geological disasters factor , test analysis results are reliable, and have a certain reference to the disaster prevention and mitigation.

Key words ArcGIS, landslides hazards, collapse hazards, elevation, topographic relief amplitude (Page:19)

Research and Application Development of Buffer Analysis Based on MapGIS K9 IMS

by HAO Ming

Abstract Based on the bottom of the large Geographic Information System platform MapGIS K9, on the basis of all kinds of technology in the Internet, MapGIS K9 IMS platform is a comprehensive functions, easy to use, features, outstanding, performance and stability of the Internet Geographic Information System development platform. In this platform basis, combining with the needs of the project, this article developed buffer analysis and introduced the development process and experience.

Key words MapGIS K9 IMS, buffer analysis, Qinghai-Tibet plateau, WebGIS (Page:22)

Woodland "One Map" Database Construction of Anhui Province

by YANG Youchang

Abstract Based on the existing multi-source data, woodland "one map" database construction of Anhui province idea was described in this paper from technical route and solutions of key questions and so on. It was purpose to provide technical reference for other provinces and cities to the database construction.

Key words CoreIDRAW data conversion ,woodland "one map", database (Page:26)

Construction Method of Zhongshan Digital City Line Map Spatial Database

by SHEN Chuanming

Abstract Through the elaboration of Zhongshan digital city line map spatial database construction process as well as in the process of problems and solutions, this paper explored a practical digital city line map spatial database construction method, established a unique and efficient database construction technology system.

Key words digital city ,digital line map ,spatial database (Page:29)

Extraction of Landscape Information in Freshwater Lake Wetlands Based on Vegetation Index Model

by XIA Shuang

Abstract Gaoyou Lake wetland is one of important wetlands in