

基于三维激光扫描技术的矿石料堆点云识别与分析

王勇¹, 杨支海¹, 姜智², 张元清³, 姜勇³

(1. 云南驰宏锌锗股份分公司会泽冶炼分公司, 云南会泽 654211; 2. 青岛港湾职业技术学院, 山东青岛 266404;

3. 矿冶科技集团有限公司, 北京 100160)

[摘要] 本文以地下巷道矿石料堆为研究对象, 提出了一种基于三维激光扫描技术的矿石料堆点云识别与分析方法。通过对铲装机构和矿石料堆轮廓分析, 搭建了某型号铲运机的车载三维激光扫描系统, 并对矿石料堆进行三维激光扫描, 获取了地物点云数据, 通过对点云数据进行去噪、滤波、配准等处理, 保证了数据的有效性和实用性, 最终利用基于边界的点云分割算法把地物信息分离出来, 实现了对矿石料堆的有效识别, 验证了该技术的准确性。该方法在工程实践领域具有广阔的应用前景。

[关键词] 三维激光; 扫描技术; 点云; 矿石料堆

[中图分类号] TP24

[文献标志码] B

[文章编号] 1003-8884(2022)02-0023-05

DOI: 10.19611/j.cnki.cn11-2919/tg.2022.02.006

矿山机械装备的自动化、智能化控制是实现智慧矿山的关键环节, 而地下铲运机的自主铲装则是实现智慧矿山采矿自动化的重要一步^[1]。如何高效实现地下铲运机自主铲装功能是目前各大矿山企业和科研院所都在专研的技术方向, 而自主铲装功能实现的首要环节是要完成对矿石料堆的有效识别^[2]。

本文基于三维激光扫描技术, 利用三维激光传感器对矿石料堆进行扫描并实时处理其轮廓点云信息, 再用 PCL 库在 Ubuntu 系统中对其进行点云数据滤波、配准、点云分割及高效存储等一系列处理, 从而进一步得到矿石料堆的三维深度信息。之后利用这些点云数据进行矿石料堆的轮廓处理; 利用料堆轮廓三维信息, 结合某铲运机铲装特性, 完成铲运机铲装轨迹规划, 从而得到铲装点和目标铲装曲线, 为实现自主铲装提供理论参考和技术支持。

1 矿石料堆铲装机构及料堆轮廓

铲运机矿石堆料铲装机构为正转六连杆机构(如图 1 所示), 由铲斗、动臂、连杆、摇臂、转斗油缸和动臂油缸等结构组成^[3]。整个铲装机构铰接在车架上, 铲斗通过连杆和摇臂与转斗油缸铰接, 用于装卸物料, 动臂与车架及动臂油缸铰接, 用以升降铲斗。铲斗的翻转和动臂的升降均采用液压操纵。铲斗斗尖轨迹的运动控制由动臂油缸、转斗油缸及车辆的前进位移控制, 实际工作装置控制过程中直接控制对象应为两油缸驱动及车辆前进位移。

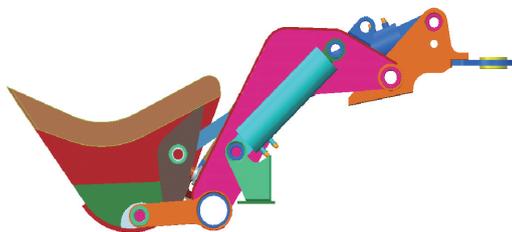


图 1 矿石料堆铲装机构示意图

受矿石类型、场地、处理工艺等因素影响, 料堆轮廓形状不一, 如图 2 所示。通常情况下料堆轮廓大致分为以下几种情况: C_1 曲线矿石料堆因矿石堆积方式的特殊性造成曲线外凸, 料堆外挤。 C_2 曲线为正常状态下的料堆轮廓, 可近似认为坡度是料堆安息角。 C_3 曲线表示料堆因粒度太小而造成下滑导致的曲线凹陷^[4]。

[收稿日期] 2021-12-09

[作者简介] 王勇(1977—), 男, 云南会泽人, 高级工程师, 研究方向为矿山冶炼装备。

[基金项目] 十三五国家重点研发计划项目(2018YFC0604402)

[引用格式] 王勇, 杨支海, 姜智, 等. 基于三维激光扫描技术的矿石料堆点云识别与分析[J]. 有色设备, 2022, 36(2): 23-27.

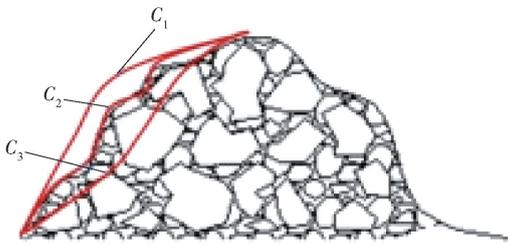


图 2 矿石料堆轮廓曲线示意图

铲装矿石物料过程示意图如图 3 所示。

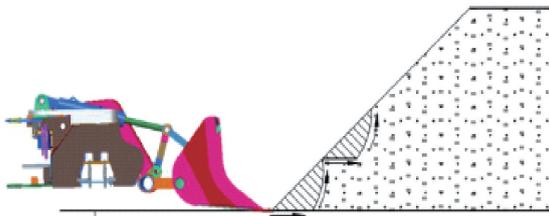


图 3 铲装矿石物料过程示意图

2 基于三维激光扫描技术的车载系统建模

2.1 三维激光扫描技术

三维激光扫描技术是 20 世纪末发展起来并投入实际应用化的一种非接触主动空间信息获取技术。其工作原理为：激光扫描仪在其内部自装电动马达的驱动下，由激光器以高速等角度发射激光束并通过反射物折返后接收激光束，通过计算飞行时间（或相位差）获得扫描仪中心到地物表面的距离，再通过一系列空间坐标变换获得高精度密集点云^[5]。

按照维度主要可以分为线阵激光扫描仪和面阵激光扫描仪^[6]。线阵激光扫描仪所发射的激光束限制在一条扫描线上，只有与地物保持相对运动的状态下才能获取必要的三维信息，其适用方法主要分为两类：一类是固定传感器，对动态目标进行探测；另一类是搭载在移动平台上，在行进过程中获得地物的三维坐标。面阵三维激光扫描仪借助水平和竖直两个伺服马达等角度运动，能在保持自身静止的情况下，获得周围地物密集点云，也可搭载在移动载体上，在运动过程中获取周围地物三维点云。

2.2 车载三维激光扫描系统坐标标定与转换

把车载激光扫描系统当作一个刚体，车辆在行进的过程中，其自身的绝对位置和姿态是时刻变化的，相应的载体坐标系的位置和方向也是时刻变化的，但载体坐标系和激光传感器坐标之间的关系是

固定的。激光传感器坐标系与载体坐标系不重合，存在三个距离偏移量 $\Delta x, \Delta y, \Delta z$ 以及三个坐标轴旋转偏移量 $\Delta\alpha, \Delta\beta, \Delta\gamma$ 。要把激光传感器坐标系转化到其他坐标系，需进行空间坐标转换，里面涉及到这六个参数变量的标定^[7]。

假设有两个三维空间直角坐标系 $O-XYZ$ 和 $O^1-X^1Y^1Z^1$ ，如果把 $O-XYZ$ 坐标系下的一点 A 转化为 $O^1-X^1Y^1Z^1$ 坐标系下的 A^1 ，则需要进行空间坐标变换。一般流程是先旋转变换，再平移变换，在这里定义 X, Y, Z 轴旋转角为 $\Delta\alpha, \Delta\beta, \Delta\gamma$ ，平移量为 $\Delta x, \Delta y, \Delta z$ ，可进行以下坐标转换：

$$\begin{bmatrix} X^1 \\ Y^1 \\ Z^1 \end{bmatrix} = R(\alpha)R(\beta)R(\gamma) \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \Delta X \\ \Delta Y \\ \Delta Z \end{bmatrix} = R \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \Delta X \\ \Delta Y \\ \Delta Z \end{bmatrix} \quad (1)$$

$$R(\alpha) = \begin{bmatrix} \cos \alpha & 0 & -\sin \alpha \\ 0 & 1 & 0 \\ \sin \alpha & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad (2)$$

$$R(\beta) = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \beta & \sin \beta \\ 0 & -\sin \beta & \cos \beta \end{bmatrix} \quad (3)$$

$$R(\gamma) = \begin{bmatrix} \cos \gamma & \sin \gamma & 0 \\ -\sin \gamma & \cos \gamma & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (4)$$

根据式(1)空间坐标转换原理，先把点云数据转换到激光传感器坐标系下，再由激光传感器坐标系进行载体坐标系转化，逐一有序转化，可以得到点云数据坐标在任一坐标系下的位置信息。

2.3 车载三维激光扫描系统的搭建

车载三维激光扫描系统是将车辆作为搭载平台，集成三维激光传感器、IMU、GPS 等装置，在车辆行驶过程中采集扫描目标地物的三维信息^[8]。结合某地下铲运机，三维激光扫描器安装方式如图 4 所示，激光扫描仪为水平放置，利用其水平方向 360° 、垂直方向 30° 扫描范围对矿石料堆进行扫描。

车载三维激光扫描试验系统如图 5 所示：铲运机在行驶过程中，首先通过 SLAM 全局定位与建图后由 IMU 记录车辆的俯仰、偏航等相对姿态信息得到其相对位置信息；车载三维激光传感器获取地物到激光传感器中心的距离，实时获取目标地物表面的几何信息^[9]。之后利用三维激光传感器对矿石料堆进行扫描并实时编码处理信息，通过 PCL 库在

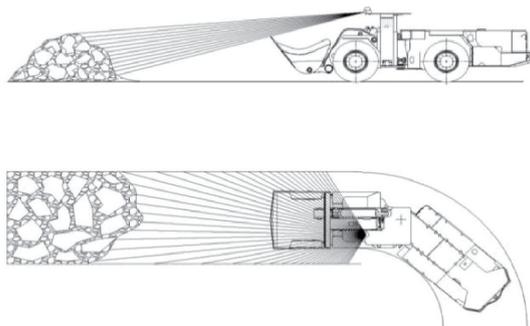


图4 车载三维激光扫描系统示意图

Ubuntu 系统中对其进行点云数据滤波、配准、点云分割及高效存储等一系列处理^[10],进一步得到矿石料堆的三维深度信息。

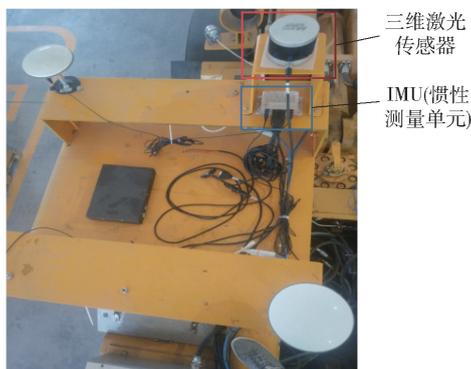


图5 车载三维激光扫描试验系统

3 点云数据的处理与分析

3.1 点云数据的存储与调用

激光传感器获得的点云数据为一系列散乱,无序的空间点,相互之间没有直接关联的空间拓扑关系,并且点云数据量达到上百万个,因此需要对其进行空间存储方便调用。采用空间八叉树建立点云数据空间拓扑关系,方便点云数据的高效利用^[11]。针对点云数据存储和调用,这里利用 PCL(Point Cloud Library)C++ 编程库。PCL 中包含了与点云处理有关的通用算法和数据组织结构,在 PCL 中有专门的 *autofcore* 模块可以对点云数据进行存储和管理,PCL 框架如图 6 所示。

3.2 点云数据的处理分析

三维激光传感器对矿石料堆及其周边环境扫描得到点云数据,进行空间管理后需要对点云数据去噪、滤波、配准等处理,保证数据有效实用性更强。

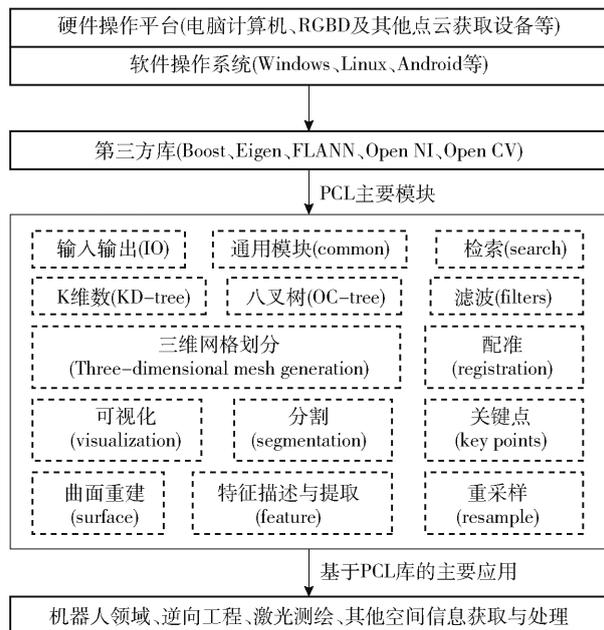


图6 PCL 架构图

先利用坐标变换的方法对点云数据进行位置信息处理,采用曲线检查法和体素滤波法对矿石料堆进行点云噪点和失真点的剔除,并保证点云数据的平滑。同时利用点云配准 ICP 算法对其进行点云数据的拼接匹配^[12]。之后为了分离矿石料堆和地面点云信息,利用基于边界的点云分割算法把地物信息分离出来,为后续自动铲装轨迹的规化作准备。

某地下矿山巷道矿石料堆实景如图 7 所示,铲运机搭载的三维激光扫描系统对该矿山巷道进行扫描测试,获得巷道地物点云数据处理后的轮廓图如图 8 所示。



图7 地下巷道地物信息分割图

4 结论

(1)提出了一种基于三维激光扫描技术的矿石料堆点云识别与分析方法,可实现对矿石料堆的有

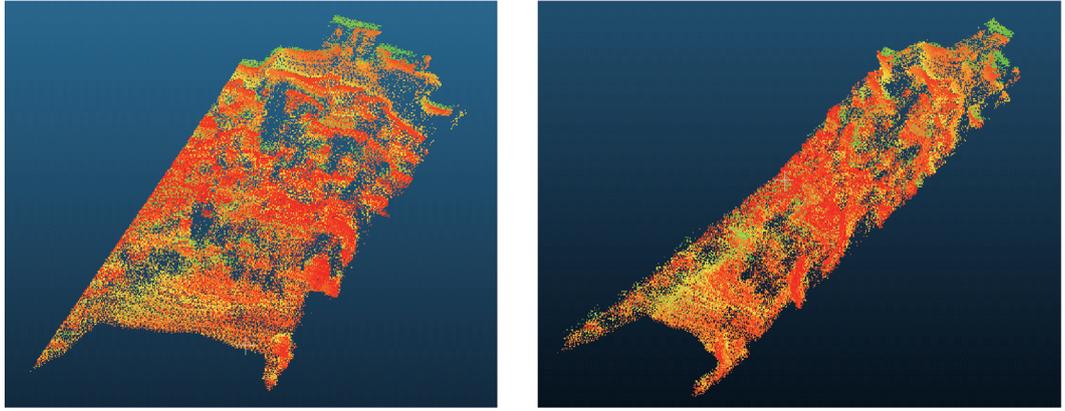


图 8 地物点云数据分割图

效识别,为自主铲装轨迹规划提供理论参考和设计依据。

(2)基于三维激光扫描技术,搭建了某型号铲运机的车载激光扫描系统,为后续矿石料堆的数据采集和处理分析提供依据,也为最终的巷道试验提供支撑。

(3)针对矿石料堆进行三维激光扫描点云数据的处理与分析。由于料堆点云数据的海量特点,为了保证能其时效性,对点云数据进行管理存储,采用空间八叉树建立点云数据空间拓扑关系,实现了点云数据的高效利用;运用坐标变换的方法对点云数据进行位置信息处理,采用曲线检查法和体素滤波法对矿石料堆进行点云噪点和失真点的剔除,保证了点云数据的平滑;同时利用点云配准 ICP 算法对其进行点云数据的拼接匹配。通过对真实巷道矿石料堆扫描试验,获得了矿石料堆和地面点云信息,利用基于边界的点云分割算法把地物信息分离出来,验证了该技术的准确性。

[参考文献]

[1] 李建国. 地下铲运机自主行驶及卸载的控制研究[D]. 北京:北京科技大学,2016.

- [2] 钟荣康. 装载机自动铲装作业轨迹控制器研发[D]. 杭州:浙江大学,2011.
- [3] 郭鑫,付薛洁,严勃,等. 基于模糊 PID 控制理论的地下铲运机工作机构运动轨迹研究[J]. 中国矿业,2019,28(S2):451-454.
- [4] 张子才. 散货料堆的实时三维成像方法[J]. 上海交通大学学报,2009,26(02):25-29.
- [5] 黄有,郑坤,刘修国,等. 三维激光扫描仪在测算矿方量中的应用[J]. 测绘科学,2012,37(3):90-92.
- [6] 赵煦. 基于地面三维激光扫描点云数据的三维重建方法研究[D]. 武汉:武汉大学,2010.
- [7] 张彪. 基于三维激光传感器的移动机器人室内未知环境三维地图创建[D]. 上海:上海交通大学,2014.
- [8] 李娜. 基于 GPS/INS 组合测姿方法研究[D]. 沈阳:沈阳理工大学,2015.
- [9] 黄有,郑坤,刘修国,等. 三维激光扫描仪在测算矿方量中的应用[J]. 测绘科学,2012,37(3):90-92.
- [10] 岑子政. 基于八叉树的车载激光点云数据建筑物立面建模算法研究[D]. 北京:首都师范大学,2016.
- [11] 王增涛. 三维点云数据处理平台设计[D]. 大连:大连理工大学,2014.
- [12] 李恒星. 激光雷达点云特征分析与数据分割[D]. 西安:西安电子科技大学,2014.

Ore Stockpile Point Cloud Identification and Analysis Based on 3D Laser Scanning Technology

WANG Yong, YANG Zhi-hai, JIANG Zhi, ZHANG Yuan-qing, JIANG Yong

Abstract: In this paper, one type of ore stockpile point cloud identification and analysis method based on 3D laser scanning technology is proposed, taking the ore stockpile in underground drift as the research

object. By analyzing the bucketing mechanism and the profile of the ore stockpile, one certain type of LHD is built with vehicle-mounted 3D laser scanning system. This system is used to 3D laser scan the ore stockpile to obtain the cloud data of these points, and such data is subjected to noise elimination, filtering and registration to guarantee their effectiveness and practicability. Finally, the boundary-based point cloud segmentation algorithm is used to separate the information of the points, thereby realizing the effective identification of ore stockpiles and also verifying the accuracy of this technology. This method has broad application prospects in engineering practice.

Key words: 3D laser; scanning technology; point cloud; ore stockpile



(上接第 22 页)

BCl₃-sourced Low Pressure Boron Diffusion Equipment and Process Study

LONG Hui, ZHAO Zhi-ran, LI Ming, GUO Liang-quan

Abstract: Low-pressure boron diffusion device with BCl₃ as doping source is one of the important manufacturing equipment of N-type TOPCon solar cells. Its process features uneasy control of gas transportation, strong corrosiveness of process gas, high requirement in reaction cleanliness and high-temperature tail gas. In view of such characteristics, this paper optimizes the gas path system and adds the gas path heat tracing to ensure the accuracy and stability of BCl₃. At the same time, the full-quartz furnace door adopted and the water-cooled flange and air-cooled flange added can effectively eliminate metal ion contamination and improve the minority carrier life as well as the efficiency of solar cells. Moreover, the full-wrapped water cooling, filter element filtration and wash function doubles the filter element replacement cycle and the service life of the vacuum pump. This paper also studies the diffusion square resistance and defect rate under different insertion methods. Compared with the downstream vertical insertion method, the horizontal insertion method has the advantages of large diffusion square resistance range of the upper, middle and lower silicon wafers in the same quartz boat, and low black-edge defect rate after they are made into battery.

Key words: boron diffusion; BCl₃; low pressure; square resistance; black edge

