



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 109948189 B

(45) 授权公告日 2023.05.05

(21) 申请号 201910123799.6

(22) 申请日 2019.02.19

(65) 同一申请的已公布的文献号
申请公布号 CN 109948189 A

(43) 申请公布日 2019.06.28

(73) 专利权人 江苏徐工工程机械研究院有限公司
地址 221004 江苏省徐州市金山桥经济技术开发区驮蓝山路26号

(72) 发明人 马厚雪 鲁小伟 杨超

(74) 专利代理机构 南京纵横知识产权代理有限公司 32224
专利代理师 薛海霞 董建林

G06T 7/62 (2017.01)

G06T 7/11 (2017.01)

G06T 7/33 (2017.01)

G06V 10/762 (2022.01)

G06F 30/20 (2020.01)

G01G 19/08 (2006.01)

(56) 对比文件
CN 106017320 A, 2016.10.12
CN 106932784 A, 2017.07.07
CN 108549337 A, 2018.09.18

审查员 王文聪

(51) Int. Cl.

G06T 17/20 (2006.01)

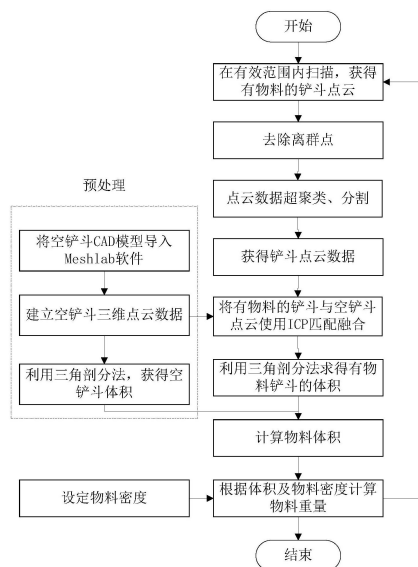
权利要求书3页 说明书7页 附图3页

(54) 发明名称

一种挖掘机铲斗物料体积与重量测量系统

(57) 摘要

本发明涉及一种挖掘机铲斗物料体积与重量测量系统,属于液压挖掘机铲斗称重技术领域,包括:激光雷达、计算装置、预处理装置、操纵显示装置。本发明使用一个激光雷达装置在挖掘机作业过程中实现铲斗中物料的动态体积与重量测量;可以对空铲斗进行有效的三维建模,在之后的挖掘作业过程中对装有物料的铲斗进行点云配准融合,解决点云数据采集受到物体遮挡等导致点云采集不完全的局限性,提高了测量精度,降低了测量装置的复杂性。



1. 一种挖掘机铲斗物料体积与重量测量系统,其特征在于,包括:

激光雷达,用于对装有物料的铲斗进行三维点云动态扫描,并将扫描到的含有地面、动臂、斗杆、铲斗、物料信息的原始三维点云数据通过通讯链路发送给计算装置;

计算装置,用于通过通讯链路接收预处理装置处理得到的空铲斗三维点云数据和空铲斗体积;通过通讯链路接收激光雷达扫描获取的含有装有物料的铲斗的原始三维点云数据;通过一系列算法处理:去噪、聚类、分割、ICP迭代融合获得只含有物料的铲斗的点云数据;计算含有物料的铲斗体积,结合空铲斗体积,计算物料的体积,根据物料的密度计算物料的重量;

预处理装置,用于对空铲斗的三维CAD结构模型进行处理,生成空铲斗三维点云数据,并计算出空铲斗的体积,将生成的空铲斗三维点云数据和计算出来的空铲斗体积通过通讯链路发送给计算装置;

操纵显示装置,用于设定不同物料的密度,并采集、显示计算装置计算的结果给操作者。

2. 根据权利要求1所述的一种挖掘机铲斗物料体积与重量测量系统,其特征在于,所述的预处理装置的工作过程为:

(1) 将空铲斗的CAD模型导入Meshlab软件,使用Meshlab软件提供的算法生成空铲斗的三维点云数据;

(2) 利用三角剖分方法把点云集分解成三角形组成的几何图形的网络;使用逐点插入法在三角网中建立拓扑结构,不断的插入新的点来形成新的三角形并更新不同三角形的相邻关系,将空铲斗分割为多个四面体;然后,根据四面体进行空铲斗体积计算;

(3) 将预处理得到的结果通过通讯链路发给计算装置。

3. 根据权利要求1所述的一种挖掘机铲斗物料体积与重量测量系统,其特征在于,结合挖掘机的具体结构尺寸和激光雷达参数,将激光雷达安装挖掘机驾驶室顶部,使得激光雷达的垂直扫描覆盖作业半径区间。

4. 根据权利要求1所述的一种挖掘机铲斗物料体积与重量测量系统,其特征在于,根据挖掘机作业半径和激光雷达的参数来确定有效扫描范围;当挖掘机动臂倾角 α_2 在 α_1 度到 α_2 度之间,斗杆与动臂之间的角度 α_3 在 α_3 度到 α_4 度之间,铲斗角度在 α_5 到 α_6 度之间,以上角度范围即是有效采集点云数据的范围。

5. 根据权利要求1所述的一种挖掘机铲斗物料体积与重量测量系统,其特征在于,计算装置中,通过一系列算法处理:去除离群点、超体聚类、CPC约束平面分割、ICP迭代、融合匹配,获得含有物料的铲斗的点云数据;利用三角剖分法计算有物料的铲斗体积,与空铲斗体积相减得到物料的体积,根据物料的密度计算物料的重量。

6. 根据权利要求5所述的一种挖掘机铲斗物料体积与重量测量系统,其特征在于,计算装置中,使用空铲斗点云数据确定铲斗的内表面和有效载荷的边界;将含有物料的铲斗点云数据与预处理得到的空铲斗点云数据匹配,使用ICP迭代最近点算法来估计相对于已知空铲斗点云数据的含有物料铲斗的点云的姿态,通过迭代求目标函数的最小值,经过矩阵变换,得到位姿的匹配的两个点云集对齐;两个点云集指的是含有物料的铲斗点云数据与预处理得到的空铲斗点数据。

7. 根据权利要求5所述的一种挖掘机铲斗物料体积与重量测量系统,其特征在于,利用

三角剖分法计算有物料的铲斗体积具体为:对有物料的铲斗进行三角剖分成四面体,计算有物料的铲斗体积。

8. 根据权利要求5所述的一种挖掘机铲斗物料体积与重量测量系统,其特征在于,使用激光扫描仪采集数据的过程是动态的,无需将铲斗固定在特定的位置。

9. 根据权利要求1所述的一种挖掘机铲斗物料体积与重量测量系统,其特征在于,所述挖掘机铲斗物料体积与重量测量系统的工作流程为:

(1) 将挖掘机的铲斗CAD模型导入meshlab软件,生成空铲斗的三维点云模型;

(2) 利用三角剖分方法得到空铲斗的体积;

(3) 通过安装的激光雷达在有效范围内对装有物料的铲斗进行扫描,获得含有地面、动臂、斗杆、铲斗、物料的原始点云数据;

(4) 对步骤(3)扫描得到的点云进行滤波,去除离群点;

(5) 采用超体聚类 and 约束平面分割的方法从含有地面、动臂、斗杆、铲斗的点云中把含有铲斗的那部分点云分割出来;获得装有物料的铲斗点云;

(6) 利用ICP算法评估相对于空铲斗点云模型的铲斗姿态,对空铲斗点云与装有物料的铲斗点云进行匹配融合;

(7) 使用三角剖分方法计算融合后的装有物料的铲斗整体的体积;

(8) 计算物料体积;

(9) 计算物料重量。

10. 根据权利要求1所述的一种挖掘机铲斗物料体积与重量测量系统,其特征在于,所述挖掘机铲斗物料体积与重量测量系统的工作流程为:

a. 将空铲斗的CAD模型导入Meshlab软件,使用软件提供的算法生成空铲斗的三维点云数据;

b. 利用三角剖分法把点空铲斗点云数据分解成三角形组成的几何图形的网络,使用逐点插入法在三角网中建立拓扑结构,不断的插入新的点来形成新的三角形并更新不同三角形的相邻关系,将铲斗最终分割为多个四面体,计算四面体的体积,获得空铲斗的体积,根据四面体体积计算空铲斗体积 $V_{空}$;

c. 在挖掘机动态作业过程中,通过安装的激光雷达在有效范围内对装有物料的铲斗进行扫描,获得含有地面、动臂、斗杆、铲斗、物料的原始点云数据;

d. 对激光雷达扫描得到的点云进行滤波,使用基于输入数据对点到临近点的距离作为判据,如果该点到临近点的平均距离在全局平均距离范围之外,则视为离群点并从数据集中移除,生成去除离群点后的点云数据;

e. 使用超体聚类算法将去除离群点后的点云数据聚类成有地面、动臂、斗杆、铲斗基本特征意义聚集的小块;采用CPC约束平面分割法利用不同小块之间的凹凸关系确定分割点,然后根据不同分割点来确定分割的平面;

f. 通过分割的平面把含有铲斗的那部分点云分割出来,获得装有物料的铲斗点云数据;

g. 使用空铲斗点云数据确定铲斗的内表面和有效载荷的边界,将含有物料的铲斗点云数据与预处理得到的空铲斗点云匹配,由于挖掘过程中的铲斗运动,新获得的含有物料的铲斗点云数据与空铲斗点云模型处于不同的坐标系,会有方向和位置的变化,使用基于最

小二乘法的最优匹配ICP迭代最近点算法来估计相对于已知空铲斗点云数据的含有物料铲斗的点云的姿态;通过ICP迭代算法得到符合目标函数要求的平移参数和旋转参数;在匹配的过程中,保证控制点的点对配准融合成功;其经过旋转矩阵R以及平移矩阵t的点云匹配目标函数的公式如下:

$$E(R, t) = \frac{1}{N} \sum_{i=0}^N \|x_i - R * y_i - t\|^2$$

其中,两个点云集,分别为空铲斗模型点云中需要匹配的点集 $X = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$ 、实时检测到的装有物料的点云中需要匹配的点集 $Y = \{y_1, y_2, \dots, y_n\}$,通过奇异值变换求出旋转矩阵R以及平移矩阵t;经过变换,两个点云集得到位姿的匹配,获得融合后的点云;

i. 利用三角剖分方法把融合后含有物料铲斗的点云集分解成三角形组成的几何图形的网络,使用逐点插入法在三角网中建立拓扑结构,不断的插入新的点来形成新的三角形并更新不同三角形的相邻关系,将含有物料的铲斗分割为多个四面体,然后,根据四面体体积计算出含有物料的铲斗体积 $V_{\text{料}}$;

j. 用步骤i计算得到的含有物料的铲斗体积减去之前空铲斗的体积得到的是物料的面积;

$$V_{\text{目标体积}} = V_{\text{料}} - V_{\text{空}}$$

k. 将物料体积与物料的密度相乘,得到物料的重量;

$$M_{\text{物料}} = \rho * V_{\text{目标体积}}$$

循环步骤d-k,即可实现挖掘机作业过程的动态体积和重量测量。

一种挖掘机铲斗物料体积与重量测量系统

技术领域

[0001] 本发明涉及一种基于激光点云的铲斗物料体积与重量测量系统,属于液压挖掘机铲斗称重技术领域。

背景技术

[0002] 挖掘机的应用领域很广泛,它能配合不同的装置进行不一样的工作。在露天采矿工程中,挖掘机可以对矿物的表面进行剥离,完成矿物的挖掘和装卸。尤其在挖掘机配合卡车装载时,如果能知道挖掘物料的重量,就可以防止配合装载运输的卡车超载或欠载,完成精确的装载。这些数据也可以进行施工数据记录,根据施工数据统计分析,合理的分配调度挖掘机,提高生产效率。

[0003] 专利CN106460372A,用于采矿挖掘设备的实际负责重量的方法和系统,基于所扫描的挖掘表面来确定挖掘表面形状,从挖掘设备识别挖掘路径,基于挖掘表面和挖掘路径来实际的计算挖掘的体积,根据密度因数计算重量。专利CN106460372A的缺点:使用多个激光雷达来扫描挖掘设备周围的挖掘表面,将扫描到的多个图像中每一个点进行集合,确定挖掘表面形状,挖掘路径中的物料受挖掘辅助设备的遮挡,需使用编码器等设备记录挖掘路径,需剔除挖掘路径中的点,计算处理复杂。

[0004] 专利CN103900669B,通过在动臂、斗杆油缸加装压力传感器,在动臂、斗杆、铲斗上加装倾角传感器和陀螺仪,根据凯恩动力学方程实现铲斗物料的动态称重。专利CN103900669B的缺点:该专利的传感器用到了倾角传感器、陀螺仪、压力传感器与数据采集模块相连接,系统较为复杂,且动力学模型中铲斗重心不好准确测量,计算的物料重量精度会有影响。

发明内容

[0005] 本发明针对现有技术的不足,提供一种挖掘机铲斗物料体积与重量测量系统,使用一个激光雷达在挖掘机作业的过程中对含有物料的铲斗进行扫描,实现具有以下特点的铲斗物料重量测量:(1)在挖掘机作业过程中即可完成重量测量;(2)可以对空铲斗进行有效的三维点云建模,在之后作业过程中对装有物料的铲斗进行点云融合,解决点云数据采集受到物体遮挡等导致点云采集不完全的局限性;(3)降低重量测量装置的复杂性,提高测量精度。

[0006] 为了实现上述发明目的,本发明采用以下技术方案:一种挖掘机铲斗物料体积与重量测量系统,其特征在于,包括:

[0007] 激光雷达,用于对装有物料的铲斗进行三维点云动态扫描,并将扫描到的含有地面、动臂、斗杆、铲斗、物料信息的原始三维点云数据通过通讯链路发送给计算装置;

[0008] 计算装置,用于通过通讯链路接收预处理装置处理得到的空铲斗三维点云数据和空铲斗体积;通过通讯链路接收激光雷达扫描获取的含有装有物料的铲斗的原始三维点云数据;通过一系列算法处理:去噪、聚类、分割、ICP迭代融合获得只含有物料的铲斗的点云

数据;计算含有物料的铲斗体积,结合空铲斗体积,计算物料的体积,根据物料的密度计算物料的重量;

[0009] 预处理装置,用于对空铲斗的三维CAD结构模型进行处理,生成空铲斗三维点云数据,并计算出空铲斗的体积,将生成的空铲斗三维点云数据和计算出来的空铲斗体积通过通讯链路发送给计算装置;

[0010] 操纵显示装置,用于设定不同物料的密度,并采集、显示计算装置计算的结果给操作者。

[0011] 所述的预处理装置的工作过程为:

[0012] (1) 将空铲斗的CAD模型导入Meshlab软件,使用Meshlab软件提供的算法生成空铲斗的三维点云数据;

[0013] (2) 利用三角剖分方法把点云集分解成三角形组成的几何图形的网络。使用逐点插入法在三角网中建立拓扑结构,不断的插入新的点来形成新的三角形并更新不同三角形的相邻关系,将空铲斗分割为多个四面体。然后,根据四面体进行空铲斗体积计算;

[0014] (3) 将预处理得到的结果通过通讯链路发给计算装置。

[0015] 所述激光雷达在设计安装位置时,结合挖掘机的具体结构尺寸和激光雷达参数,将激光雷达安装挖掘机驾驶室顶部,使得激光雷达的垂直扫描覆盖作业半径区间。

[0016] 根据挖掘机作业半径和激光雷达的参数来确定有效扫描范围;当挖掘机动臂倾角AS2在A1度到A2度之间,斗杆与动臂之间的角度AS3在A3度到A4度之间,铲斗角度在A5到A6度之间,以上角度范围即是有效采集点云数据的范围。

[0017] 计算装置中,通过一系列算法处理:去除离群点、超体聚类、CPC约束平面分割、ICP迭代、融合匹配,获得只含有物料的铲斗的点云数据;利用三角剖分法计算有物料的铲斗体积,与空铲斗体积相减,得到物料的体积,根据物料的密度计算物料的重量。

[0018] 使用空铲斗点云数据确定铲斗的内表面和有效载荷的边界;将含有物料的铲斗点云数据与预处理得到的空铲斗点云数据匹配,使用ICP迭代最近点算法来估计相对于已知空铲斗点云数据的含有物料铲斗的点云的姿态,通过迭代求目标函数的最小值,经过矩阵变换得到位姿的匹配的两个点云集合;两个点云集指的是含有物料的铲斗点云数据与预处理得到的空铲斗点云数据。

[0019] 利用三角剖分法计算有物料的铲斗体积具体为:对有物料的铲斗进行三角剖分成四面体,计算有物料的铲斗体积。

[0020] 使用激光扫描仪采集数据的过程是动态的,不需要将铲斗固定在特定的位置。

[0021] 具体地,所述挖掘机铲斗物料体积与重量测量系统的工作流程为:

[0022] (1) 将挖掘机的铲斗CAD模型导入meshlab软件,生成空铲斗的三维点云模型;

[0023] (2) 利用三角剖分方法得到空铲斗的体积;

[0024] (3) 通过安装的激光雷达在有效范围内对装有物料的铲斗进行扫描,获得含有地面、动臂、斗杆、铲斗、物料的点云数据;

[0025] (4) 对步骤(3)扫描得到的点云进行滤波,去除离群点;

[0026] (5) 采用超体聚类和约束平面分割的方法从含有地面、动臂、斗杆、铲斗的点云(即步骤(4)得到的点云)中把含有铲斗的那部分点云分割出来;获得装有物料的铲斗点云;

[0027] (6) 利用ICP算法评估相对于空铲斗点云模型的铲斗姿态,对空铲斗点云与装有物

料的铲斗点云进行匹配融合；

[0028] (7) 使用三角剖分方法计算融合后的装有物料的铲斗整体的体积；

[0029] (8) 计算物料体积；

[0030] (9) 计算物料重量。

[0031] 更具体地,所述挖掘机铲斗物料体积与重量测量系统的工作流程为:

[0032] a. 将空铲斗的CAD模型导入Meshlab软件,使用软件提供的算法生成空铲斗的三维点;

[0033] b. 建立空铲斗的三维点云数据模型;

[0034] c. 利用三角剖分法把点空铲斗点云数据分解成三角形组成的几何图形的网络,使用逐点插入法在三角网中建立拓扑结构,不断的插入新的点来形成新的三角形并更新不同三角形的相邻关系,将铲斗最终分割为多个四面体,计算四面体的体积,获得空铲斗的体积,根据四面体体积计算空铲斗体积 $V_{空}$;

[0035] d. 在挖掘机动态作业过程中,通过安装的激光雷达在有效范围内对装有物料的铲斗进行扫描,获得含有地面、动臂、斗杆、铲斗、物料的原始点云数据;

[0036] e. 对激光雷达扫描得到的点云进行滤波,使用基于输入数据对点到临近点的距离作为判据,如果该点到临近点的平均距离在全局平均距离 $A7$ 的范围之外,则视为离群点,并从数据集中移除,生成去除离群点后的点云数据;

[0037] f. 使用超体聚类算法将去除离群点后的点云数据聚类成有地面、动臂、斗杆、铲斗基本特征意义聚集的小块;采用CPC约束平面分割法对小块进行有特征意义的分割,利用不同小块之间的凹凸关系确定分割点,然后根据不同分割点来确定分割的平面;

[0038] g. 通过分割的平面把含有铲斗的那部分点云分割出来,获得装有物料的铲斗点云数据;

[0039] h. 使用空铲斗点云数据确定铲斗的内表面和有效载荷的边界,将含有物料的铲斗点云数据与预处理得到的空铲斗点云匹配,由于挖掘过程中的铲斗运动,新获得的含有物料的铲斗点云数据与空铲斗点云模型处于不同的坐标系,会有方向和位置的变化,使用基于最小二乘法的最优匹配ICP迭代最近点算法来估计相对于已知空铲斗点云数据的含有物料铲斗的点云的姿态。通过ICP迭代算法得到符合目标函数要求的平移参数和旋转参数。在匹配的过程中,保证控制点的点对配准融合成功。其经过旋转矩阵 R 以及平移矩阵 t 的点云匹配目标函数的公式如下:

$$[0040] \quad E(R, t) = \frac{1}{N} \sum_{i=0}^N \|x_i - R * y_i - t\|^2$$

[0041] 其中,两个点云集,分别为空铲斗模型点云中需要匹配的点集 $X = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$ 、实时检测到的装有物料的点云中需要匹配的点集 $Y = \{y_1, y_2, \dots, y_n\}$,通过奇异值变换求出旋转矩阵 R 以及平移矩阵 t ;经过变换,两个点云集得到位姿的匹配,获得融合后的点云。

[0042] i. 利用三角剖分方法把融合后含有物料铲斗的点云集分解成三角形组成的几何图形的网络,使用逐点插入法在三角网中建立拓扑结构,不断的插入新的点来形成新的三角形并更新不同三角形的相邻关系,将含有物料的铲斗分割为多个四面体,然后,根据四面体体积计算出含有物料的铲斗体积 $V_{料}$;

[0043] j. 用步骤i计算得到的含有物料的铲斗体积减去之前空铲斗的体积得到的是物料

的体积；

$$[0044] \quad V_{\text{目标体积}} = V_{\text{料}} - V_{\text{空}}$$

[0045] k. 将物料体积与物料的密度相乘,得到物料的重量；

$$[0046] \quad M_{\text{物料}} = \rho * V_{\text{目标体积}}$$

[0047] 循环步骤d-k,即可实现挖掘机作业过程的动态体积和重量测量。

[0048] 相对于现有技术,本发明的有益效果为:本发明使用一个激光雷达装置在挖掘机作业过程中实现铲斗中物料的动态体积与重量测量;可以对空铲斗进行有效的三维建模,在之后的挖掘作业过程中对装有物料的铲斗进行点云配准融合,解决点云数据采集受到物体遮挡等导致点云采集不完全的局限性,提了高测量精度,降低了测量装置的复杂性。

附图说明

[0049] 图1为本发明系统控制框图；

[0050] 图2为本发明激光雷达安装示意图；

[0051] 图3为本发明有效范围内激光雷达扫描采集点云数据的示意图；

[0052] 图4为本发明体积与重量计算流程图。

具体实施方式

[0053] 结合图1,为实现上述目的,一种挖掘机铲斗物料体积与重量测量系统,至少包括一台多线激光雷达、计算装置、操纵显示装置和预处理装置。

[0054] 所述多线激光雷达用于对装有物料的铲斗进行三维点云扫描,并将扫描到的含有地面、动臂、斗杆、铲斗等信息的原始三维点云数据通过通讯链路(如Ethernet)发送给计算装置。

[0055] 所述计算装置用于通过通讯链路(如USB或Ethernet)接收预处理装置处理得到的空铲斗三维点云数据和空铲斗体积;通过通讯链路(如Ethernet)接收多线激光雷达扫描获取的含有装有物料的铲斗的原始三维点云数据;通过一系列算法处理:去噪、聚类、分割、ICP迭代融合获得只含有物料的铲斗的点云数据;计算含有物料的铲斗体积,结合空铲斗体积,计算物料的体积,根据物料的密度计算物料的重量。

[0056] 所述预处理装置用于对空铲斗的三维CAD结构模型进行处理,生成空铲斗三维点云数据,并计算出空铲斗的体积,将生成的空铲斗三维点云数就和计算出来的空铲斗体积通过通讯链路发送给计算装置。所述通信链路可以是usb can网线的一种或多种,但不限于此,适应车载环境的通信链路均可。

[0057] 所述操纵显示装置用于设定不同物料的密度,并采集、显示计算装置计算的结果给操作者。

[0058] 为了获取装有物料的铲斗的点云,需要将激光雷达安装在一个有利的扫描位置。本发明结合挖掘机的结构尺寸和激光雷达参数,将激光雷达安装在挖掘机驾驶室顶前部,使得激光雷达的垂直扫描范围能够覆盖有效的挖掘作业区间,同时使得激光雷达与铲斗同处于回转平台上,减少了因车体回转对扫描点云的影响。

[0059] 为了获得含有物料的铲斗的有效扫描数据,本发明根据挖掘机作业半径和激光雷达的参数通过实验来确定有效扫描范围;当挖掘机动臂倾角AS2在A1度到A2度之间,斗杆与

动臂之间的角度AS3在A3度到A4度之间,铲斗角度在A5到A6度之间时能获得有效的铲斗点云数据(A1…A6根据具体的动臂、斗杆、铲斗尺寸由实验确定)。

[0060] 为了计算挖掘机铲斗中物料体积与重量,本发明的计算过程如下:

[0061] 首先,将挖掘机的铲斗CAD模型导入meshlab软件,生成空铲斗的三维点云模型;利用三角剖分方法对空铲斗三维点云模型进行剖分,生成四面体;计算四面体的体积,进而得到空铲斗的体积。

[0062] 其次,在挖掘机挖掘作业的过程中,使用激光雷达在有效范围内对装有物料的铲斗进行扫描;对扫描得到的点云进行滤波,去除离群点;滤波处理后的点云数据不仅包含铲斗,也包含动臂、斗杆、地面等信息。由此,为获得仅含有铲斗的点云,需要使铲斗的点云与其他挖掘臂、背景等的点云分开,本发明使用超体聚类算法对含有地面、铲斗、动臂等信息的点云进行过分割,将点云分割成具有相邻关系的众多小块;使用CPC算法对超体聚类后的点云小块进行语义分割,由相邻小块之间的中心连线向量与法线向量以及相邻小块是否连通来判断各个小块之间的凹凸关系,通过点云的凹凸信息确定分割的平面,以获得仅含有物料的铲斗点云数据。

[0063] 最后,因铲斗装有物料时,其铲斗内表面等数据无法扫描到,为确定铲斗有效边界和含有物料的铲斗完整的三维点云数据,使用迭代最近点ICP算法进行三维点云数据匹配,将含有物料的铲斗点云和空铲斗的点云数据进行融合。融合后的点云就是完整的有物料的铲斗信息的点云;同样使用三角剖分方法对融合后的点云进行分割、计算,从而求得含有物料的铲斗体积(包括铲斗体积以及物料的体积)。用有物料的铲斗体积减去空铲斗的体积即得到物料的体积;然后通过不同物料的密度来进一步求出物料重量。

[0064] 结合图2,本发明结合挖掘机的结构尺寸和激光雷达参数,将激光雷达安装在挖掘机驾驶室顶前部,使得激光雷达的垂直扫描范围能够覆盖有效的挖掘作业区的同时使得激光雷达与铲斗同处于回转平台上,减少了因车体回转对扫描点云的影响。

[0065] 结合图3,根据挖掘机作业半径和激光雷达的参数来确定有效扫描范围;当挖掘机动臂倾角AS2在A1度到A2度之间,斗杆与动臂之间的角度AS3在A3度到A4度之间,铲斗角度在A5到A6度之间,(A1…A6根据具体的动臂、斗杆、铲斗尺寸由实验确定)此范围即是有效采集点云数据的范围。在一个实施例中,以激光雷达扫描到挖斗内物料为有效范围,动臂倾角AS2在 $30^{\circ}\sim 60^{\circ}$,斗杆与动臂之间的角度AS3在 $45^{\circ}\sim 90^{\circ}$,铲斗角度AS4在 $90^{\circ}\sim 180^{\circ}$ 之间时,是有效的点云数据扫描范围。

[0066] 同时从图3也可以看出,即使在有效的扫描范围内,激光雷达扫描到的点云数据也信息复杂含有地面、动臂、斗杆、铲斗的点云信息。

[0067] 结合图4,本发明体积与重量计算分为两大部分,其中第1到3步为预处理部分,针对不同的铲斗只需要处理一次;第4到10步为计算物料体积和重量部分,可在挖掘作业过程中循环动态测量;整个流程详述如下:

[0068] (1) 首先将指定的挖掘机空铲斗CAD模型导入Meshlab软件,使用软件提供的算法将CAD模型生成空铲斗的三维点云数据;

[0069] (2) 利用三角剖分法把空铲斗点云分解成三角形组成的几何图形的网络,使用逐点插入算法在三角网中建立拓扑结构,将铲斗最终分割为多个四面体。我们在每四个点形成的四面体上求取体积从而获得整个铲斗的体积,不同四面体之间可能有共享的点和共享

的面,但没有重叠的区域(指能用于计算体积的区域),从而使得整个铲斗的体积计算准确。根据四面体体积公式计算空铲斗体积 $V_{空}$;

[0070] (3) 在挖掘机动态作业过程中,通过安装的激光雷达在有效范围内对装有物料的铲斗进行扫描,获得含有地面、动臂、斗杆、铲斗、物料等多个目标的原始点云数据。

[0071] (4) 对扫描得到的原始点云数据进行滤波处理,对扫描得到的点云进行滤波,在每一个点的邻域内求与该点的平均距离,邻域内的每一个的平均距离构成一个样本,根据样本的数据可以求得均值以及方差。其中如果某一个点的平均距离在均值之外,则认为是离群点并从数据集中移除,最终生成去除离群点后的点云数据。

[0072] (5) 使用超体聚类算法将除去离群点后的点云数据聚类成多个小块,对点云数据进行超体分割之后,采用拓展凸型准测以及完善准则算法来计算不同小块之间的凹凸关系。获得凹凸关系之后,CPC约束平面分割法对每一个点云赋予权重,凹块赋值为1,其他为0。垂直于凹边表面的点具有更高的权重,最后通过随机样本一致性算法(RanSaC)进行平面切割。

[0073] (6) 通过分割平面可以把铲斗的那部分点云从整个点云数据中分割出来,获得装有物料的铲斗点云数据。

[0074] (7) 使用空铲斗点云数据确定铲斗的内表面和有效载荷的边界,将含有物料的铲斗点云数据与预处理得到的空铲斗点云匹配,由于挖掘过程中的铲斗运动,新获得的含有物料的铲斗点云数据与空铲斗点云模型处于不同的坐标系,会有方向和位置的变化,使用基于最小二乘法的最优匹配ICP迭代最近点算法来估计相对于已知空铲斗点云数据的含有物料铲斗的点云的姿态。通过ICP迭代算法得到符合目标函数要求的平移参数和旋转参数。在匹配的过程中,保证控制点的点对配准融合成功。其经过旋转矩阵R以及平移矩阵t的点云匹配目标函数的公式如下:

$$[0075] \quad E(R, t) = \frac{1}{N} \sum_{i=0}^N \|x_i - R * y_i - t\|^2$$

[0076] 其中,两个点云集,分别为空铲斗模型点云中需要匹配的点集 $X = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$ 、实时检测到的装有物料的点云中需要匹配的点集 $Y = \{y_1, y_2, \dots, y_n\}$,通过奇异值变换求出旋转矩阵R以及平移矩阵t;经过变换,两个点云集得到位姿的匹配,获得融合后的点云。

[0077] (8) 对(7)获得融合后的铲斗点云求其体积,求解方法同步骤(2),根据四面体体积计算出含有物料的铲斗体积 $V_{料}$;

[0078] (9) 计算得到的含有物料的铲斗体积与之前空铲斗的体积相减得到的是物料的体积;

$$[0079] \quad V_{目标体积} = V_{料} - V_{空}$$

[0080] (10) 将物料体积与物料的密度相乘,得到物料的重量;

$$[0081] \quad M_{物料} = \rho * V_{目标体积}$$

[0082] 循环步骤3-10,即可实现挖掘机作业过程的动态体积和重量测量。

[0083] 本发明使用一个激光雷达的装置在挖掘机作业的过程中实现动态的物料重量计算;可以对空铲斗进行有效的三维建模,在之后作业中对装有物料的铲斗进行点云配准融合,解决点云数据采集受到物体遮挡等不完全的局限性;降低重量计算的装置复杂性,提高测量精度。

[0084] 缩略语和关键术语定义

[0085] 铲斗物料---挖掘机使用其铲斗挖掘待挖掘物料后,装载在铲斗中的物料。

[0086] 点云---在逆向工程中通过测量仪器得到的产品外观表面的点的数据集合。

[0087] 三角剖分法---把曲面剖开成曲边三角形,且任何两个这样的曲边三角形,要么不相交,要么恰好相交于一条公共边。

[0088] 离群点---是一个数据对象,它显著不同于其他数据对象,在特征空间中,离群点对象与其最近邻之间的邻近性显著偏离数据集中的其他对象与它们自己的最近邻之间的邻近性。

[0089] 超体聚类---对点云实施过分割,将场景点云化成很多小块,并研究每个小块之间的关系。本质上这种方法是对局部的一种总结,纹理,材质,颜色类似的部分会被自动的分割成一块,超体聚类有利于后续识别工作。

[0090] CPC约束平面分割---是利用不同小块之间的凹凸关系确定分割点,然后根据不同分割点来确定分割的平面,此方法能够将物体分成有意义的块。

[0091] ICP算法---基于最小二乘法的最优配准融合方法,该算法重复进行选择对应关系点对,计算最优刚体变换,直到满足正确配准融合的收敛精度要求。

[0092] 配准融合---把不同的坐标系中测得到的点云数据进行坐标系的变换,以得到整体的数据模型。

[0093] 需要说明的是,以上所述仅为本发明的实施例,并非因此限制本发明的专利范围,凡是利用本发明说明书内容所做的等效结构或等效流程变换,或直接或间接运用在其他相关技术领域,均同理包括在本发明的专利保护范围内。

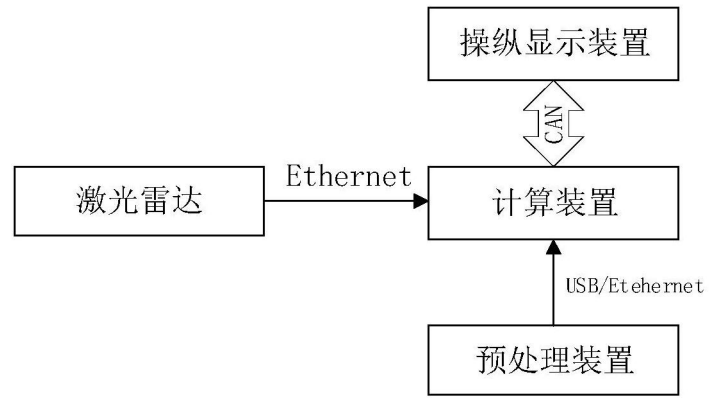


图1

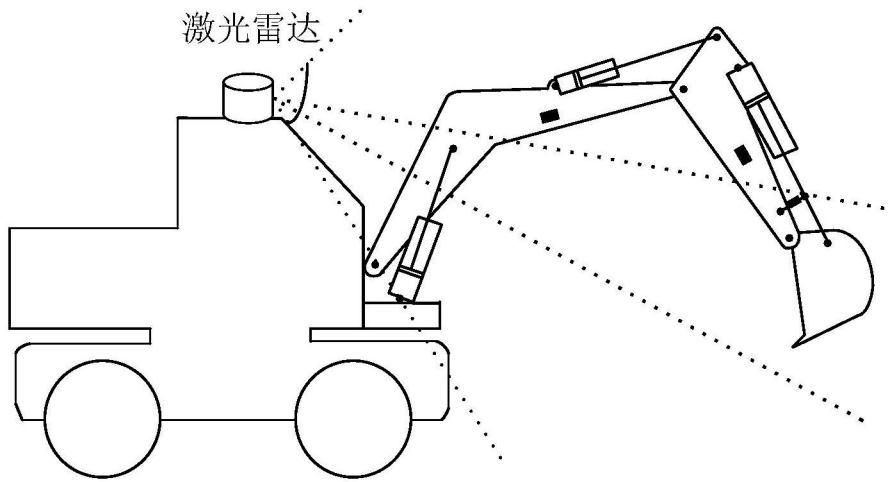


图2

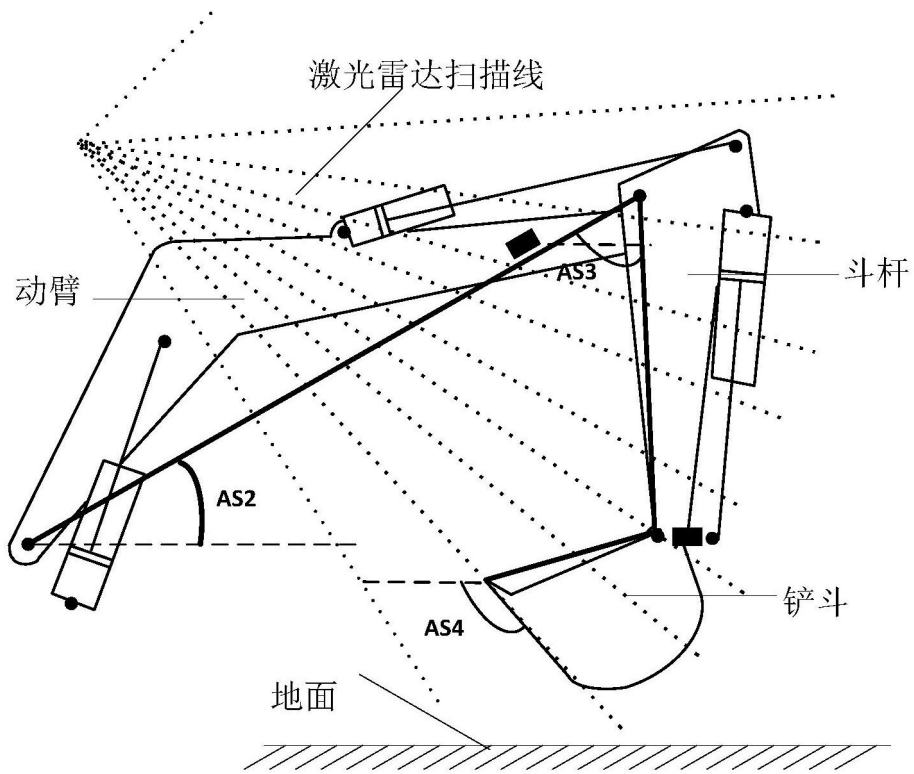


图3

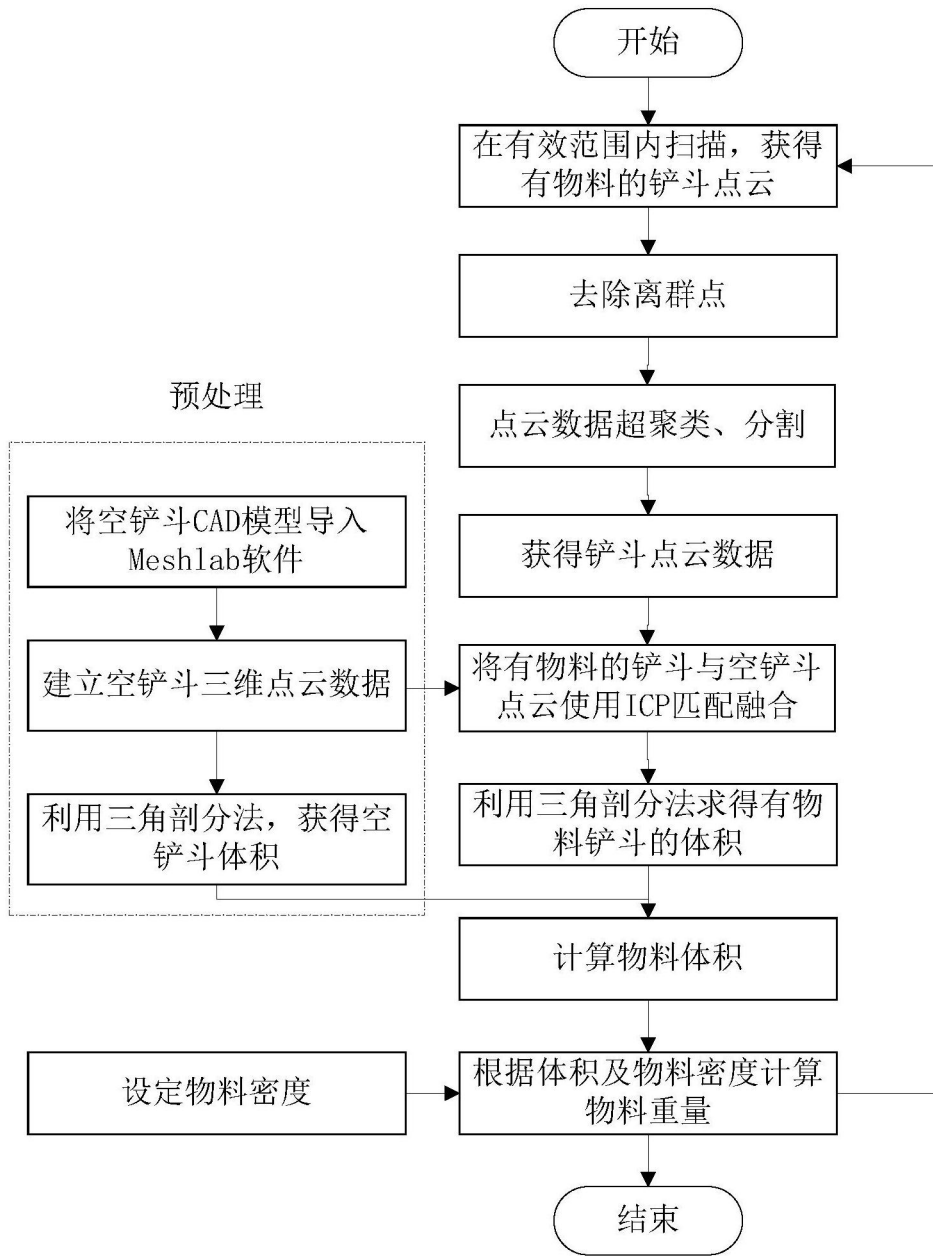


图4