

基于 RealSense 仓库货物体积计算方法的研究

顿启鹏, 毋涛

(西安工程大学 计算机科学学院, 陕西 西安 710048)

摘要:企业仓库中,查看可用空间量是调配货物过程中的重要环节,而对于固定的仓库,它的总容量是固定的,所以可以通过算出仓库中现有的货物量,然后两个相减即可得到剩余可用空间量。对于计算仓库货物的体积,首先使用 RealSense 深度相机获取货物场景的初始点云。由于获取的初始点云数据往往存在噪声,所以在进行货物体积计算时需要进行一些预处理。预处理后得到了货物的点云,然后利用投影法和积分法对其进行计算测量。针对仓库货物堆的大小不一问题,提出了两种方案:第一种,对于小货物堆(体积小于2立方米的货物),使用相机从上往下拍,获取货物的顶面和地面,然后通过统计分析法、投影与积分的结合得到货物体积;第二种,对于大货物堆(体积大于等于2立方米的货物)不易获取货物的顶面,使用两个有一定距离的相机获取货物堆的两个侧面,然后对方案一的方法进行变形得到货物体积。实验结果表明:该方式测得的货物体积与实际的货物体积相差不超过3%,满足目前企业仓库的需求。

关键词:点云体积;投影法;积分法;深度相机;RealSense

中图分类号:TP311.11

文献标识码:A

文章编号:1673-629X(2024)01-0071-06

doi:10.3969/j.issn.1673-629X.2024.01.011

Research on Calculation Method of Warehouse Cargo Volume Based on RealSense

DUN Qi-peng, WU Tao

(School of Computer Science, Xi'an Engineering University, Xi'an 710048, China)

Abstract:In the enterprise warehouse, viewing the amount of available space is an important link in the process of allocating cargo. As for the fixed warehouse, its total capacity is fixed, so you can calculate the existing amount of the warehouse cargo, and then the remaining available space can be obtained by reducing the two phases. For calculating the volume of the warehouse cargo, we first use the RealSense depth camera to obtain the initial point cloud of the cargo scene. Because the acquired initial point cloud data is often noisy, some preprocessing is needed during the cargo volume calculation. The point cloud of the cargo is obtained, and then calculated and measured by the projection method and integral method. In view of the different sizes of the warehouse, we propose two schemes. First, for small cargo piles (cargo with a volume less than 2 cubic meters), we use a camera to capture the top and ground of the cargo from top to bottom, and then use statistical analysis, projection, and integration to obtain the cargo volume. Second, for large cargo piles (cargo with a volume greater than or equal to 2 cubic meters), it is difficult to obtain the top surface of the cargo. Therefore, two cameras with a certain distance are used to obtain the two sides of the cargo pile, and then the method in Scheme 1 is deformed to obtain the cargo volume. The experimental results show that the difference between the volume of cargo measured by the proposed method and the actual volume of goods shall not exceed 3%, which meets the requirements of low cost and high precision measurement in the logistics site.

Key words:point cloud volume; projection method; integral method; depth camera; RealSense

0 引言

随着企业的不断扩大,仓库管理是企业的一个重点问题,如何及时地获得仓库的可用空间量,是提高企业生产效率的一大难题。目前,测量距离的机器有激光测距仪、雷达、深度相机等,仓库可用空间的计算

(体积测量)方法主要有基于点云体积的测量方法,通过投影法^[1]、最小包围盒法^[2]、体元模拟法^[3]、快速体积计算^[4]、格网法^[5]、切片法^[6]等可得到相应的数据。

激光测距仪、雷达这些设备有的价格不菲,有的体积太大,不易在仓库中使用、管理。反观深度相机

收稿日期:2023-04-08

修回日期:2023-08-10

基金项目:国家自然科学基金(青年基金)(61806160)

作者简介:顿启鹏(1997-),男,硕士研究生,通信作者,研究方向为点云体积计算;毋涛(1976-),男,博士,副教授,研究方向为智能信息处理。

(Kinect, RealSense 等) 价格客观, 简易小巧。2014 年, RealSense 深度相机^[7] 面向市场, 它的帧率是 Kinect^[8] 的两倍, 通过它可以快速得到货物到相机的距离, 故而该文选择了后者。

岳坤明等^[1] 利用雷达获取点云数据, 然后对点云进行去噪, 得到目标点云, 然后对点云构建 Delaunay 三角网, 将待测物划分成三棱柱, 计算出每一个三棱柱的体积相加, 但计算三棱柱的体积时, 进行了投影和割补, 计算复杂。李宏星等^[9] 利用简单几何法计算了 20 棵树木的树冠体积, 该测量方法简单, 但精度不高。刘金锦等^[6] 利用切片法对物体的体积进行了计算, 对点云的处理如下: 首先对点云进行获取, 接着对点云进行切片处理, 再者确定点云的轮廓边界, 然后计算每一个截面面积, 最后将每一片面的体积累加获得目标物体积。该方法步骤繁琐复杂。

由此, 该文提出了一种借助 RealSense 深度相机简单快速测得仓库货物体积的方法。该方案的第一步是利用 RealSense D435 的自动校准功能补全深度图像, 接着使用条件滤波与统计分析法等方法完成对点云的去噪处理, 然后使用均匀网格法将点云精简, 方便后续货物点云体积的计算, 最后根据货物堆的大小不一, 分别提出了两种计算方案(基于改进的投影法, 将统计分析、投影、积分做了结合)。由此, 通过获知仓库货物体积, 仓库可快速调配货物的分布, 提高效率。

1 相关工作

1.1 RealSenseD435 获取点云数据

1.1.1 RealSenseD435

该文使用的深度相机是英特尔的 RealSenseD435, 这款相机非常精巧, 其构造如图 1 所示。RealSenseD435 搭载了全面的深度处理单元, 除此之外, 具有高分辨率的分辨率、更宽阔的拍摄范围、全局快门感应器, 能获得更加全面、准确的点云数据。



图 1 RealSenseD435 相机

1.1.2 深度相机的自动校准

RealSenseD435 的相机校准功能大大地提高了拍摄数据的准确性。外界条件的改变有可能导致深度相机拍摄的照片失真, 所以常需要对相机再一次进行标定操作。RealSenseD400 此系列以上的相机可以自动

进行校准操作, 快速恢复内外参数。在此期间, 将相机置于稳定环境中, 调用其内置函数完成参数调整, 调节效果如图 2 所示。



图 2 自动校准对比

1.1.3 获取点云

通过 RealSenseD435 的标定来求出它的内外参数和畸变系数^[10]。在 RealSenseD435 自动校准后, 可以得到仓库货物堆的深度图, 然后利用 RealSenseD435 标定后得到内外参数和畸变系数生成点云坐标数据。

RealSenseD435 标定得到内部参数、外部参数, 如表 1。点云数据利用深度图的图像像素坐标根据获取的内外参数转化成现实世界中的坐标。通过相机内参计算像素点相应的相机坐标系中的坐标, 根据相机外参得到像素点在世界坐标系中的坐标。

表 1 相机内外参数

参数	名称	符号
内部参数	X, Y 轴的焦距比	f_x, f_y
	图像的中心坐标	u_0, v_0
外部参数	平移矩阵	T
	旋转矩阵	R

像素坐标系和世界坐标系相互转化如下:

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} f_x & 0 & u_0 & 0 \\ 0 & f_y & v_0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R & T \\ \mathbf{0} & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X_l \\ Y_l \\ Z_l \end{bmatrix} \quad (1)$$

其中, $Q(X, Y)$ 是像素坐标; Z 是深度值; $Q_l(X_l, Y_l, Z_l)$ 是世界坐标。

1.2 点云预处理

在 RealSenseD435 获取点云时, 外界原因(例如: 遮挡物、震动、光线等)的存在可能导致出现大量的噪点点云, 噪点点云的存在会影响后面的点云体积计算的精确度, 所以获取的初始点云不可直接计算物体的体积, 需要对初始点云进行去噪处理。该文先是使用条件滤波去除待测货物点云以外的噪点, 然后使用统计分析法去除货物点云周围的离群点。

1.2.1 条件滤波

RealSenseD435 获取点云的时候, 会将拍摄范围内的所有点云获取(包括背景), 这样就造成了得到的数

据包含大量的噪点点云。可以通过条件的设置来获取主体点云,去除背景点云。实验中 RealSenseD435 相机高度以及相机间的距离是不变的。故可使用条件滤波^[11],分别设置三维坐标下各个坐标轴的取值范围,去除每个坐标轴方向上的背景点云。

算法步骤如下:(1)当测小货物堆(体积小于2立方米的货物)时,假设相机的高度为 d_0 ,利用条件滤波,将 Z 轴上大于 d_0 的点云去除;(2)当测大货堆(体积大于等于2立方米的货物)时,相机高度为 d_1 ,货物的最大高度是 d_2 ,相机到货物的距离最近距离为 d_3 ,最远距离为 d_4 ,故而使用条件滤波将 Y 轴上最大值取 d_1 ,最小值是 $d_1 - d_2$,故取 $[d_1 - d_2, d_1]$;在 Z 轴上取 $[d_3, d_4]$ 中的点云。

图3(a)是拍摄的货物堆,图3(b)是获取的初始点云,含有待测物点云和背景点云,图3(c)是经过条件滤波后的待测物点云,去除了大部分的非测物点云。

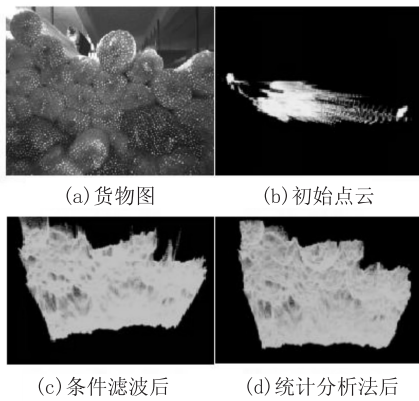


图3 点云预处理过程

1.2.2 统计滤波

在进行统计滤波前,可以利用均匀网格^[12]对条件滤波后的点云进行下采样,以此来减少统计分析^[13-14]的计算量和计算时间。RealSense 深度相机在采集待测物点云时会连带着周围的离群点扫描进去,但离群点与主体点云的附近点分布存在差别,货物点云是密集分布,噪点相对分散。

设货物点云总数是 N ,每个点云的邻近数设置成 k 。可以根据每个点云和它的近邻点的三维坐标,得到它与邻近点距离的平均值 D_i 。根据每个点云的 D_i 计算整个距离的平均值 D ,进而也得到标准差 σ ,然后根据前面的数据计算距离阈值 M 。例如:点 $Q_1(x_1, y_1, z_1)$,到它的近邻点的距离公式是:

$$d_i = \sqrt{(x_1 - x_i)^2 + (y_1 - y_i)^2 + (z_1 - z_i)^2} \quad (2)$$

点 Q_1 距离均值 D_1 为:

$$D_1 = \frac{1}{K} \sum_{i=1}^k d_i \quad (3)$$

使用上面的计算方式遍历完每个货物点云点,然

后计算整个点云的距离均值如下:

$$D = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N D_i \quad (4)$$

标准差为:

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (d_i - D)^2} \quad (5)$$

由平均值和标准差得到距离阈值为:

$$M = D + a\sigma \quad (6)$$

其中, a 为相应的阈值系数,以此来控制 M 。根据实验可得到 $d_1 > M$,该点视为离群点去除。

根据图3(c)知道,条件滤波过滤掉背景点云后,货物点云附近还存在一些的离群点。使用统计分析法过滤的效果如图3(d)所示,可以看到点云离群点减少了许多。

2 文中方法

获取的点云数据分两种情况:(1)测小货物堆(体积小2立方米的货物)体积时,采用的是相机从上往下拍,获取货物和地面的点云,如图4(a)所示;(2)测大货物堆(体积大于等于2立方米的货物)体积时,相机处于货物的两侧并且处于同一条直线上,采用两侧拍照法,获取货物对的两个侧面,如图4(b)所示。

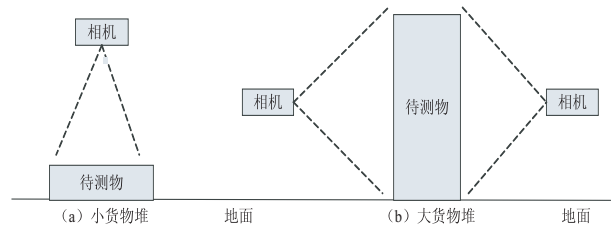


图4 大小货物堆测量方式

2.1 小货物堆体积计算

针对预处理后的货物点云,提出一种基于统计分析法、投影法与积分法^[15]结合的点云体积计算方法,在使用积分法时,选择合适的单位长度对于算法的效率和精确度至关重要,所以需要先用统计分析法得到待测物的普遍点云距离,确定单位长度,再进行处理;小货物堆的拍摄场景以及参与计算的点云如图5所示。

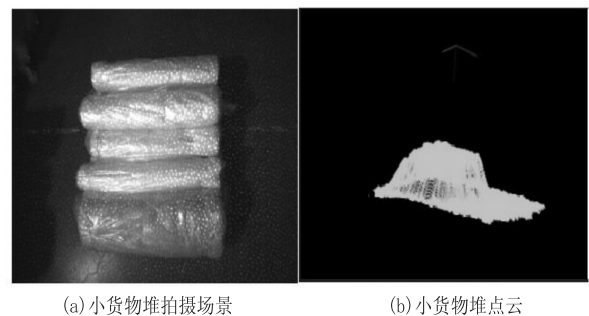


图5 小货物堆

具体步骤如下:

(1) 根据地面特征,使用 RANSAC 算法^[16-17]将预处理的点云进行平面拟合,获取地面平面函数 $ax + by + cz + d = 0$ 。

(2) 进行点云分割去除地面点云,留下待测物点云。

(3) 将待测物点云根据平面函数 $ax + by + cz + d = 0$ 投影到地面,其中对于一点 $P(x_0, y_0, z_0)$ 和在平面的投影点 $P'(x_1, y_1, z_1)$ 关系如下:因为 PP' 与平面的法线平行,故而:

$$t = \frac{x_0 - x_1}{a} = \frac{y_0 - y_1}{b} = \frac{z_0 - z_1}{c} \quad (7)$$

使用点 P 坐标表示 P' 坐标:

$$x_1 = x_0 - a * t, y_1 = y_0 - a * t, z_1 = z_0 - a * t \quad (8)$$

将其带入平面 $ax + by + cz + d = 0$ 中求得即可。

(4) 使用统计分析法获取投影点云间的平均距离 D 和相应的距离标准差 σ 。

(5) 根据步骤 4 的平均距离和标准差获取一个长度值 l 。

$$l = a * D + b * \sigma \quad (9)$$

式中, a, b 是比例系数。

(6) 求出投影点云在 x, y 的极值,确定投影范围。

(7) 根据步骤 5 得到的长度值和步骤 6 投影范围将投影面方格化。

(8) 求出每个小方格中投影点云对应的待测物点到平面的平均距离 h 。

$$d = \frac{|A * x + B * y + C * z + D|}{\sqrt{A^2 + B^2 + C^2}} \quad (10)$$

式中,点 $P(x, y, z)$ 到平面 $ax + by + cz + d = 0$ 的距离为 d 。

$$h = \frac{1}{k} \sum_{i=1}^k d_i \quad (11)$$

式中, d_i 是每个小方格中待测物点到平面的距离。

(9) 根据步骤 5 中的长度值和步骤 8 中的平均距离得到单个体积。

$$v = l * l * h \quad (12)$$

(10) 将步骤 9 中的单元体积累加得到待测物的体积。

$$V = \frac{1}{k} \sum_{i=1}^k v_i \quad (13)$$

小货物堆测量流程如图 6 所示。

2.2 大货物堆体积计算

测大型货物体积时,因相机高度原因不能再从上往下拍照,所以选择从两侧拍摄待测物的侧面,也是采用测小货物堆的方式,不过对投影和积分方式再次做了一次变形;该文使用的两个相机位置是处在一条直线

上,距离 a 米。拍摄大货物堆的两侧(见图 7(a))以及参与计算的两侧点云(见图 7(b))。

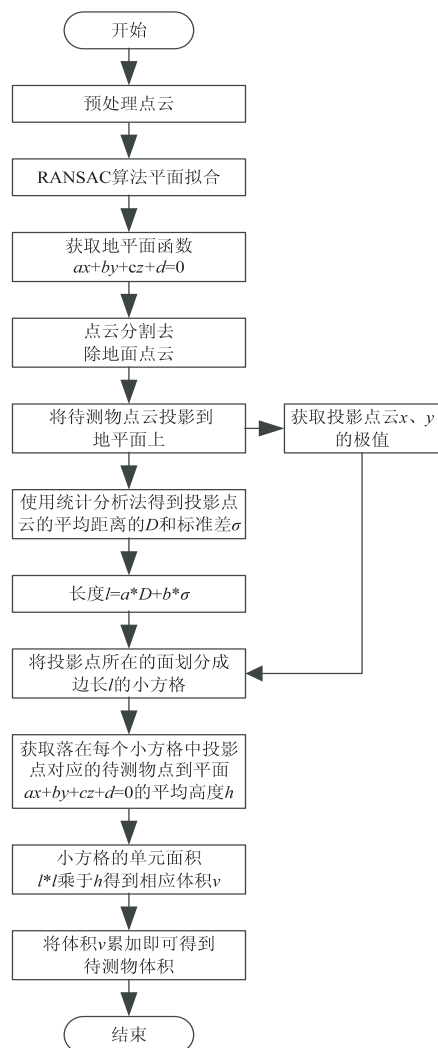
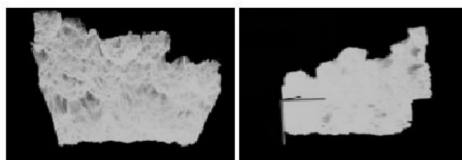


图 6 小货物堆测量流程



(a) 大货物堆两侧



(b) 大货物堆两侧点云

图 7 大货物堆

具体步骤如下:

(1) 因为两个相机相对拍摄,所以在水平方向上是相反的,先将一个相机的拍摄的点云 X 轴上的坐标取反操作。

(2) 将两个相机拍摄的点云各自投影到坐标系中

的 XOY 面上,公式与上面的一样,不在详解。

(3)使用统计分析法计算两个投影点云间的平均距离 D_0, D_1 和标准差 σ_0, σ_1 ,然后再求相应的平均值 D 和 σ 。

(4)根据步骤3的平均距离和标准差获取一个长度值 l (获取方式和小货物堆相似)。

(5)求待测物点云在 x, y 上面的极值。

(6)对投影面的点云进行积分方格化。

(7)求出每个小方格中投影点云对应的待测物点云到对应 XOY 面的平均距离 d 。

(8)求出每个单元格待测物的体积 v_i 。

$$v_i = (a - d_0 - d_1) * l * l \quad (14)$$

式中, d_0, d_1 分别是单元格内待测物两侧点云分别到两个相机的平均距离。

(9)进行累加求得待测物的体积。

大货物堆测量流程如图8所示。

3 实验结果以及分析

3.1 实验结果

该文是利用标定好的 RealSense 进行货物点云拍摄(测小货物堆使用一台,测大货物堆使用两台),实验环境为处理器 AMD Ryzen 7 5800H with Radeon Graphics(16 CPUs), ~3.2 GHz, 8.00 GB Window11 64 位的操作系统,点云库 PCL1.11.1 版本,编译环境 Visual Studio 2 019 开发平台,深度相机 RealSense D435,相应的接口版本 RealSenseSDK2.0. C++ 编程语言。利用真实的货物进行体积比较。

首先,对小货物体积采用一台相机从上往下拍的方式进行了测试,本次实验使用了5个小货物堆,然后分别使用了传统的投影法(徐欣等^[18]使用的三点高的平均值做三棱柱的高)和本实验改进的投影法做了对

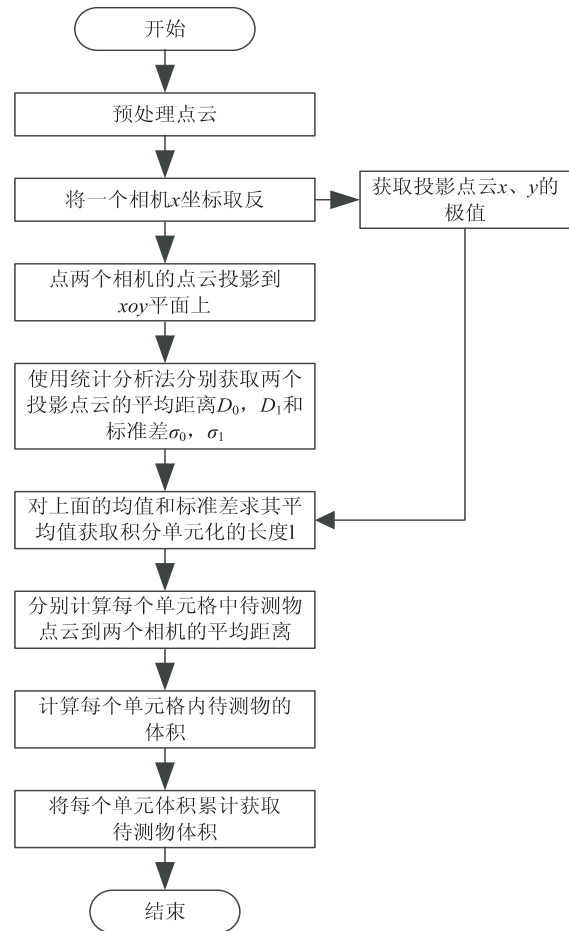


图8 大货物堆测量流程

比,并且在每个投影法的实验环境分三种:强光、光照均匀、弱光阴暗。实验结果如表2所示。

然后,对使用两个相机在大货物两侧进行拍摄进行了测试,两个相机相距4.6 m,同样使用了5个大货物堆(拍摄的大货物堆体积受拍摄场地和相机视野限制),进行试验的条件和对比方案与前者相同,实验对象以及结果如表3所示。

表2 小货物堆体积数据

货物 标号	真实体积 /m ³	文中改进的投影法/m ³			传统的投影法/m ³		
		弱光阴暗	光照均匀	强光下	弱光阴暗	光照均匀	强光下
1	0.974	1.033	0.994	0.927	1.083	1.011	0.888
2	0.500	0.520	0.509	0.471	0.530	0.518	0.460
3	1.755	1.832	1.798	1.684	1.863	1.824	1.571
4	0.948	0.993	0.971	0.893	1.012	0.984	0.862
5	1.836	1.898	1.878	1.762	1.993	1.902	1.670

表3 大货物堆体积数据

货物 标号	真实体积 /m ³	文中改进的投影法/m ³			传统的投影法/m ³		
		弱光阴暗	光照均匀	强光下	弱光阴暗	光照均匀	强光下
1	4.996	5.564	5.089	4.746	5.734	5.196	4.596
2	8.902	9.332	9.053	8.548	9.498	9.213	8.193
3	2.484	2.618	2.536	2.385	2.732	2.568	2.320
4	5.896	6.194	6.009	5.614	6.231	6.106	5.424
5	9.006	9.665	9.213	8.582	9.918	9.306	8.427

最后,选择了不同形状的货物使用文中方法进行实验(包含大小货物堆的测量),结果如表 4 所示。

表 4 不同货物形状体积数据

货物标号	货物形状	真实体积/ m^3	测量体积/ m^3	相差/%
1	圆柱	1.586	1.616	1.89
2	箱装(长方体)	1.427	1.462	2.45
3	圆柱	6.524	6.658	2.04
4	箱装(长方体)	5.556	5.678	2.20

3.2 实验分析

由表 2 和表 3 可知,在三种环境下,光照均匀情况下最佳。而在光照均匀的情况下,文中改进的投影法更接近真实货物体积值,并且测得的数据较为稳定。

测量货物的体积来源于货物的点云,不同的形状不会对结果产生影响,该论点由表 4 可知,不同形状的货物测得值稳定,且与真实值相差不超过 3%。

4 结束语

针对企业仓库计算货物的体积,使用 RealSenseD435 深度相机获取点云数据,该深度相机占地空间小,而且使用起来方便简单。在对获取的初始点云进行预处理操作后,先将待测物点云投影到平面上,然后利用统计分析法获取投影点普遍欧氏距离分布情况,确定利用积分法求取物体体积时的单元格长度,接着求取落在单元格中待测物点云到平面的平均距离,最后获取到相应的单元体积,累加获得待测物体积。经过实验证明,测得的数据与真实数据相差小于 3%,满足现在企业的使用需求。

参考文献:

- [1] 岳坤明,周大伟. 基于 Lidar 点云的货车载货体积测量应用研究[J]. 农业装备与车辆工程,2023,61(2):80-85.
- [2] 宋 洋,孙殿柱,刘晓红,等. 物体表面采样数据近似最小包围盒快速求解[J]. 农业装备与车辆工程,2012,50(4):1-5.
- [3] 郭 浩. 基于体素的植物三维重建与构型模拟[D]. 昆明:昆明理工大学,2011.
- [4] 胡晓彤,陶森柏. 基于散乱点云的快速体积计算法[J]. 天津科技大学学报,2011,26(1):67-71.
- [5] 樊仲谋,冯仲科,郑 君,等. 基于立方体格网法的树冠体积计算与预估模型建立[J]. 农业机械学报,2015,46(3):320-327.
- [6] 刘金锦,李浩军. 基于点云切片改进法的不规则物体体积

测量[J]. 光学学报,2021,41(23):133-145.

- [7] 刘青青,毋 涛. 基于 RealSense 人体多视角三维重建方法的研究[J]. 国外电子测量技术,2021,40(10):77-83.
- [8] WANG C, LIU Z, CHAN S C. Superpixel-based hand gesture recognition with kinect depth camera[J]. IEEE Transactions on Multimedia,2014,17(1):29-39.
- [9] 李宏星,刘玉春. 基于三维激光点云的树冠体积计算方法研究[J]. 城市勘测,2022(5):149-153.
- [10] 关 昭. 空间视觉相机内参标定技术研究[D]. 西安:中国科学院大学(中国科学院西安光学精密机械研究所),2019.
- [11] 李瑞雪,邹纪伟. 基于 PCL 库的点云滤波算法研究[J]. 卫星电视与宽带多媒体,2020(13):83-85.
- [12] WANG S, HU Q, XIAO D, et al. A new point cloud simplification method with feature and integrity preservation by partition strategy[J]. Measurement,2022,197:111173.
- [13] 宋肖楠,王华忠,杨 锴. 改进的统计滤波方法在地震数据处理中的应用及局限性[J]. 石油地球物理勘探,2022,57(5):1057-1065.
- [14] DARGAHI M M, LATTANZI D. Spatial statistical methods for complexity-based point cloud analysis[C]//Smart materials, adaptive structures and intelligent systems. [s. l.]: American Society of Mechanical Engineers,2020.
- [15] 吕 繁,郭晓锐,李红军. 基于散乱点云的斑点去除与体积积分算法研究[J]. 武汉纺织大学学报,2021,34(1):15-18.
- [16] ROMAN - RIVERA L R, PEDRAZA - ORTEGA J C, ACEVES-FERNANDEZ M A, et al. A robust sphere detection in a Realsense point cloud by using Z - Score and RANSAC[J]. Mathematics,2023,11(4):1023.
- [17] LI W, ZHANG Z, JIANG Z, et al. A RANSAC based phase noise filtering method for the camera-projector calibration system[J]. Optoelectronics Letters,2022,18(10):618-622.
- [18] 徐 欣,张建国,王泽民,等. 三维激光扫描技术在沥青厂站室内集料体积测量中的应用[J]. 市政技术,2022,40(5):155-159.