

引用格式:

黄金其, 黄晶晶, 谢景鑫, 肖旭, 李明, 许永伟. 基于移动式三维激光雷达的柑橘冠层结构信息的获取[J]. 湖南农业大学学报(自然科学版), 2022, 48(1): 109–113.

HUANG J Q, HUANG J J, XIE J X, XIAO X, LI M, XU Y W. Research on obtaining information of orange tree structure based on mobile 3D lidar[J]. Journal of Hunan Agricultural University(Natural Sciences), 2022, 48(1): 109–113.

投稿网址: <http://xb.hunau.edu.cn>



基于移动式三维激光雷达的柑橘冠层结构信息的获取

黄金其^{1,2,3}, 黄晶晶¹, 谢景鑫^{1,3}, 肖旭¹, 李明^{2,3*}, 许永伟^{2,3}

(1.湖南农业大学机电工程学院, 湖南 长沙 410128; 2.湖南省农业科学院农业装备研究所, 湖南 长沙 410125; 3.湖南省农业航空先进工程技术研究中心, 湖南 长沙 410100)

摘要: 基于移动式三维激光雷达, 建立了一种柑橘冠层结构信息(树高、冠幅、分枝角度)的获取方法: 1) 利用移动式三维激光雷达获取柑橘三维点云数据; 2) 选定 SOR 滤波组合(k, α)分别为(100, 0.9), (20, 1.2), (100, 0.9)对冠层残缺叶片点云和叶片边缘点云进行滤波处理; 3) 利用 Mean shift 算法求取植株点云中心结合采集点角度, 完成点云初始对准; 4) 运用 ICP 算法进行精准拼接并构建完整植株的三维模型, 提取柑橘的株高、冠幅和枝干角度信息。验证结果表明, 三维模型获取树高、冠幅、枝干角度的相对误差分别小于等于 2.5%、小于等于 4.5%、小于等于 5.5%, 判定系数 R^2 大于 0.97, 均方根误差大于 5.1。

关键词: 柑橘; 三维激光雷达; 冠层结构信息; ICP 算法

中图分类号: S666; P225.1 文献标志码: A 文章编号: 1007-1032(2022)01-0109-05

Research on obtaining information of orange tree structure based on mobile 3D lidar

HUANG Jinqi^{1,2,3}, HUANG Jingjing¹, XIE Jingxin^{1,3}, XIAO Xu¹, LI Ming^{2,3*}, XU Yongwei^{2,3}

(1.College of Mechanical and Electrical Engineering, Hunan Agricultural University, Changsha, Hunan 410128, China; 2. Agricultural Equipment Research Institute, Hunan Academy of Agricultural Sciences, Changsha, Hunan 410125, China; 3.Hunan Agricultural Aviation Advanced Technology Engineering Technology Research Center, Changsha, Hunan 410100, China)

Abstract: Based on a mobile 3D lidar, a method was established to acquire citrus canopy structure information including the tree height, the crown width, and branch angle. Firstly, using mobile 3D lidar to obtain 3D point cloud data of citrus. Secondly, select the SOR filter combination (k, α) as (100, 0.9), (20, 1.2), (100, 0.9) to filter the point cloud of the canopy incomplete leaves and the point cloud of the leaf edge. Thirdly, use the mean shift algorithm to obtain the center of the point cloud of the plant combined with the angle of the collection point to complete the initial alignment of the point cloud. Fourthly, using the ICP algorithm to accurately splicing and constructing a three-dimensional model of the complete plant, extracting three kinds of structural information such as the plant height, crown width and branch angle of citrus. The verification results show that the relative errors of tree height, crown width and branch angle obtained by the 3D model are less than or equal to 2.5%, 4.5%, and 5.5%, respectively. The determination coefficient R^2 is greater than 0.97, and the root mean square error is greater than 5.1.

Keywords: citrus; three dimensional lidar; canopy structure information; iterative closest point(ICP)

收稿日期: 2020-09-28

修回日期: 2021-08-01

基金项目: 湖南省科学技术厅项目(2018GK2013); 湖南省农业农村厅项目(湘农发[2019]26号、湘农发[2019]105号); 湖南农业大学大学生创新创业训练计划项目(2019066X)

作者简介: 黄金其(1995—), 男, 湖南长沙人, 硕士研究生, 主要从事农业智能装备研究, 1251820633@qq.com; *通信作者, 李明, 博士, 教授, 主要从事农业机器人研究, liming@hunau.net

果树冠层结构信息的获取是果树表型研究的基础,为果园的智能化管理^[1]提供依据。随着信息技术的高速发展,作物冠层结构信息获取方法的研究取得了新进展。劳彩莲等^[2]利用结构光深度相机获取玉米植株深度信息,得到植株模型。仇瑞承等^[3]利用RGB-D相机提取玉米颜色和深度信息,实现对玉米茎粗的测量。视觉技术价格低廉、设备小巧,但易受外界光照和风的干扰,室外使用受限。三维激光扫描仪具有精度高、响应快、工作稳定性好、环境适应性强等优点,其使用技术近年来发展迅速。高精度三维扫描仪主要分为固定式(地面、地基)激光扫描仪和移动式三维激光扫描仪。地面三维扫描仪在提取冠层参数^[4-5]、枝叶三维结构^[6]、生物量^[7]等方面得以利用,如郭彩玲等^[8]通过地面激光扫描仪采集苹果树的三维数据,提取枝干、果实等信息参数;刘清旺等^[9]通过飞机机载雷达数据获取树木的高度和树冠参数;管贤平等^[10]利用无人机机载三维激光雷达采集大豆点云数据并提取植株高度信息。多线三维激光雷达精度虽没有高精度三维激光扫描仪高,但成本低、速度快,在非高精度领域成为获取三维信息的研究热点^[11-12]。

笔者以柑橘为研究对象,通过获取多线三维激光雷达柑橘树点云数据及数据处理,构建完整的柑橘三维模型,提取株高、冠幅、枝条角度等表型参数,以实际测量值与模型估算值进行验证分析。

1 三维激光雷达采集柑橘冠层信息

1.1 数据的采集

三维激光雷达探测系统主要由移动采集端和PC端组成。移动采集端主要包括三维激光雷达和线性模组,其中三维激光雷达采用QUANERGY的M8型八线三维激光雷达传感器,激光波长905 nm,测程0.5~100 m,频率5~20 Hz,精度3 cm,角度分辨率(0.03~0.13)°,输出速率420 000,视场(360×20)°;线性模组包括滑台、导轨、伺服电机控制系统、控制器。PC端控制激光雷达数据采集过程并存储采集数据。

2020年3月,在湖南省农业科学院果树观测实验站,选取休眠期柑橘,在植株周围设置距植株3 m、离地高0.3 m、均匀分布的4个采集点,手工测量柑橘植株的树高、冠幅、枝干角度的基准值。每个采集点测量5次,结果取平均值。

三维激光雷达系统采集数据如图1所示。激光雷达两线夹角(γ , β),站点与植株的距离为 L ,冠幅为 D ,激光雷达的移动距离为 S , $S=L(\tan 6\beta-\tan 5\beta)$ 。

为保证植株点云轮廓的完整,设置采集间距为 l ,采集次数为 S/l 。

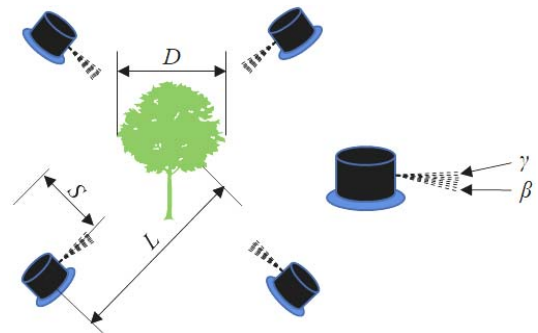


图1 激光雷达采集柑橘冠层数据

Fig.1 The principle to collect citrus canopy data by using lidar

开启激光雷达后,在点云显示中找到柑橘树的位置,确定激光雷达移动位置和方向,通过控制线性模组移动激光雷达,采集柑橘冠层点云数据。

1.2 数据处理

1.2.1 三维点云数据的预处理

初始数据格式为q00,使用QUANERGY配套软件Q-View转换为常用格式PCD。根据采集间距确定多帧数据位置关系,其中含较多其他空间信息和地面点云数据,通过柑橘树与激光雷达的位置关系设定点云坐标的阈值范围,去除非植株点云数据。

1.2.2 点云处理

采集数据时,由于采集设备测量误差、外界干扰等因素的影响,会出现一系列的噪声点和植株边缘离群点。M8型三维激光雷达采集数据时,在水平方向数据分布较为密集,垂直方向较为稀疏。根据数据分布与噪声点,采用SOR滤波组合去除噪声点,流程如图2所示。

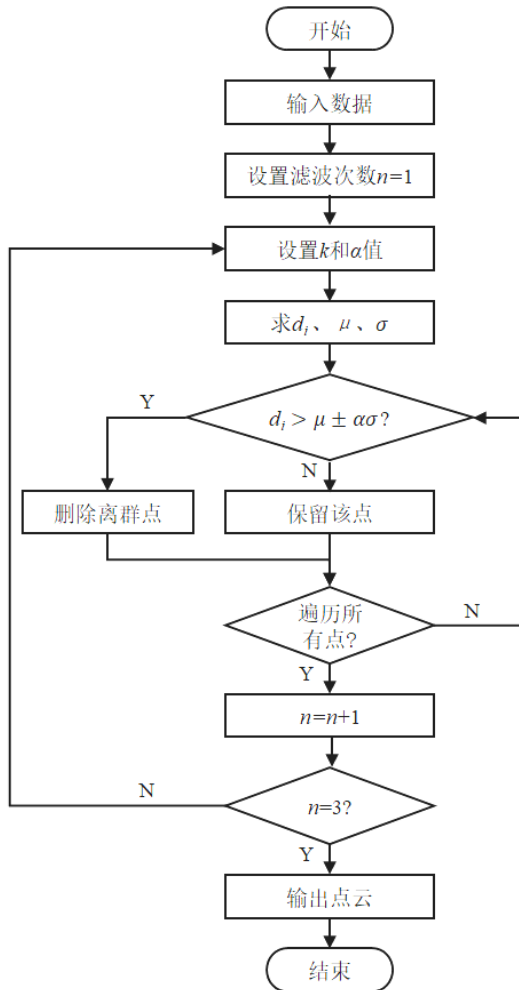


图 2 SOR 滤波流程

Fig.2 Flow chart of SOR filtering

1) 通过图像初步试验处理设置每个点的邻域大小, 即 k 值; 通过去噪轮廓缩小效果设置 α 值。求出每一个点云与周围点云的平均距离 d_i 。

$$d_i = \frac{1}{k} \sum_{j=1}^k \sqrt{(x_i - x_j)^2 + (y_i - y_j)^2 + (z_i - z_j)^2} \quad (1)$$

均值 μ 和标准差 σ 将决定点云形状。

$$\mu = \sum_{i=1}^n \frac{1}{n} d_i \quad (2)$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (d_i - \mu)^2} \quad (3)$$

2) 将平均距离 d_i 在 $\mu \pm \alpha\sigma$ 之外的噪声点从数据集中去除。 α 和 k 决定离群点位置分布和数量, 因此, 柑橘植株点云的分布需选择合适的组合 (k, α) 去噪。第 1 次滤波选取一个估算平均距离的 k 值, 保证轮廓不变的 α 值, 去除残缺叶片点云; 第 2 次滤波设定较小 k 值, 合适的 α 值, 去除枝叶边缘轮廓点。第 3 次滤

波选择与第 1 次参数, 去除小块噪声点。

1.3 柑橘树点云匹配

由于柑橘冠层数据是从 4 个采集点获取, 柑橘树点云数据只有部分重合且空间位置不同, 因此, 直接运用 ICP 算法^[13-14]可能会出现局部点云不匹配的情形, 因而提出一种中心点结合角度的初始匹配方法, 使 2 片点云获得较好的匹配位置, 再通过 ICP 算法缩小 2 点云中对应点集距离。

如图 3 所示, 分别对点云 1、点云 2 进行不变特征点搜索, 搜索点云数据均值中心; 根据所测对象中心位置的一致性, 提取点云 1、点云 2 数据的均值中心拟合作为点云 1、点云 2 的中心; 根据相邻点云 1、点云 2 间夹角及方向, 求出转换矩阵参数 R 及平移参数 T ; 最后, 根据转换参数 (R, T) 将相邻点云 1、点云 2 转换到同一空间坐标系中, 完成点云初始匹配。

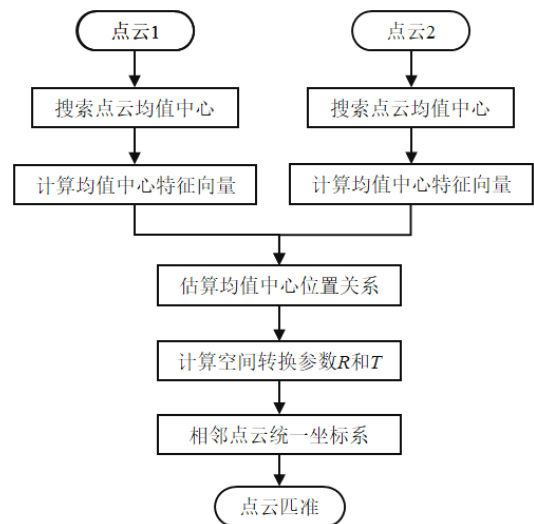


图 3 点云匹配流程

Fig.3 Flow chart of initial registration

1.3.1 均值中心估计及点云精准匹配

柑橘树体特征点较多且不同视角存在叶片遮挡, 较难提取点云公共特征点, 拟采用 Mean shift 算法^[15-16]提取点云的均值中心, 找到点云之间共同的中心, 结合采集点角度进行初始匹配, 解决特征点提取难题, 再通过 Mean shift 算法计算点云均值中心。

运用 Mean shift 算法从点云中提取均值中心, 通过各点云均值中心得出旋转轴心, 相邻点云间旋转角度为 θ , 通过采集点相邻角度与均值中心, 可获取旋转矩阵参数与平移参数 (R, T) 。选取基准面,

依次按旋转矩阵及平移参数(R , T)拼接点云, 完整柑橘树点云, $P=p_1+p_2+p_3+p_4$ 。

式中: P 为完整的柑橘树点云; p_1 、 p_2 、 p_3 、 p_4 为4个采集点云。

运用ICP算法进一步寻找两点云间的点集对应关系, 达到两片点云精准匹配的效果。

2 柑橘冠层信息点云滤波和重建

通过QUANERGY M8型三维激光雷达获取柑橘树体点云数据, 将多帧点云融合得到单面树点云。通过柑橘树坐标设定阈值, 去除非树点云, 用SOR滤波算法去除噪声点及离群点。图4-a为柑橘点云背景去除后原始点云; 经过多组滤波参数对比, 图4-b为 $k=100$ 、 $\alpha=0.9$ 时的滤波效果; 图4-c为第2次 $k=20$ 、 $\alpha=1.2$ 时的滤波效果; 图4-d为第3次 $k=100$ 、 $\alpha=0.9$ 时的滤波效果。经3次滤波处理, 图4-d比图4-a、图4-b、图4-c减少了采集时的离群点、叶片边缘噪声和处理过程中的离群点, 得到精简的单面橘树点云。

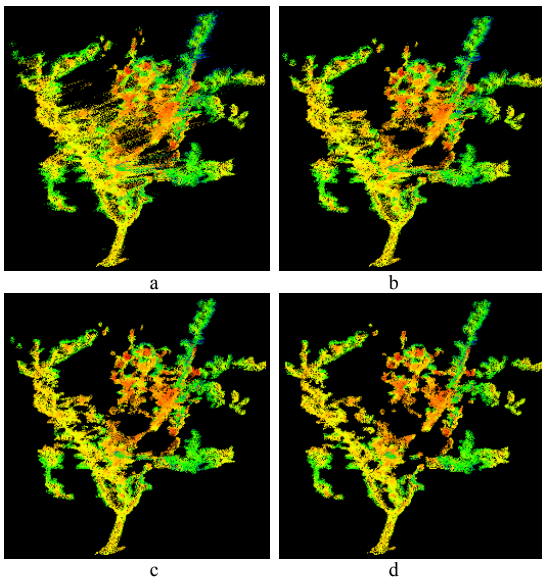


图4 柑橘植株点云滤波过程
a 原始点云; b $k=100$, $\alpha=0.9$ 滤波; c $k=20$, $\alpha=1.2$ 第二次滤波; d $k=100$, $\alpha=0.9$ 第3次滤波。

图4 柑橘植株点云滤波过程
Fig.4 Point cloud filtering process

确定各均值中心坐标, 结合旋转角度 θ 得出旋转矩阵为:

$$\begin{bmatrix} 0.664 & 0.138 & 0.642 & 0.319 \\ -0.042 & 0.920 & -0.154 & 0.053 \\ -0.655 & 0.081 & 0.661 & 0.669 \\ 0.000 & 0.000 & 0.000 & 1.000 \end{bmatrix}$$

将4个采集点获取的点云数据依次处理、匹配, 获取柑橘树模型, 如图5所示。由图5-a中位置部分重叠的点云得到图5-b中两面点云匹配的点云, 丰富了重叠部位的枝叶点云, 图5-d是获取的柑橘树点云模型, 具有图5-c柑橘树体的基本轮廓。

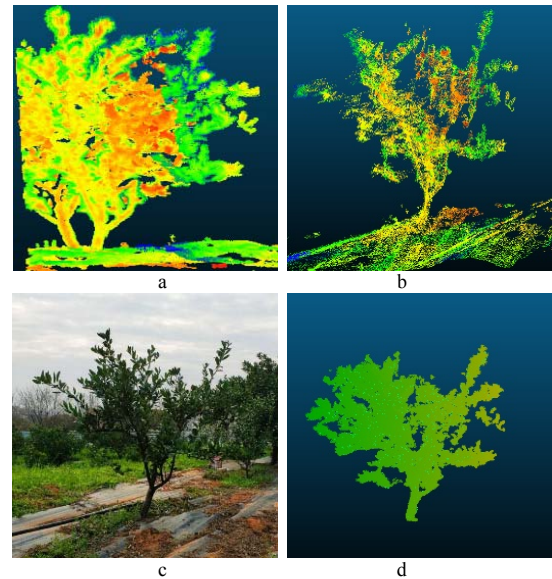


图5 点云重建效果
a 匹配前; b 匹配后; c 柑橘树体; d 柑橘树体重建。

图5 点云重建效果

Fig.5 Reconstruction effect of point cloud

3 柑橘冠层信息获取结果

基于柑橘三维点云模型提取柑橘株高、冠幅、枝干生长角度, 用判定系数(R^2)和均方根误差及平均相对误差评价模型精度, 结果如表1及表2所示。模型对树高、冠幅和枝干角度的估算值与实测值具有较好一致性, $R^2 \geq 0.97$; 平均相对误差分别为1.19%、3.07%、3.43%。枝干角度的平均相对误差最大, 达到了5.2%。造成这种误差的主要原因, 一是户外采集数据, 风向及风力大小和其他环境因素对点云数据准确性有影响; 二是由于柑橘植株枝干为非规则形态, 角度实际测量值存在一定偏差, 但从整体看, 冠层3个参数的平均相对误差小于3.5%, 较真实地反映了柑橘树冠层的结构信息。

表 1 橘树的测量参数

Table 1 Measurement parameters of orange trees

植株编号	树高/cm		冠幅/cm		枝干角度/(°)	
	实测值	提取值	实测值	提取值	实测值	提取值
1	136.15	139.02	163.1	169.67	71.5	68.33
2	125.20	124.30	130.1	131.73	67.5	69.79
3	91.43	92.70	107.8	110.16	54.5	55.28
4	114.30	112.96	178.8	186.52	35.2	37.04
5	113.43	114.06	106.7	110.49	56.7	58.21

表 2 基于移动式三维激光雷达的柑橘冠层信息的评价参数

Table 2 Evaluation parameters of citrus canopy information based on mobile 3-D lidar

名称	判定系数(R^2)	均方根误差/cm	平均相对误差/%	最大相对误差/%
树高	0.99	1.60	1.19	2.1
冠幅	0.99	5.01	3.07	4.3
枝干角度	0.97	2.08	3.43	5.2

4 结论

建立了一种基于移动式三维激光雷达获取柑橘树冠层结构信息的方法。

基于点云数据,通过单株柑橘树三维坐标阈值设定以及组合滤波方式去除噪声点,得出效果较好的 k 和 a 的组合参数(100, 0.9), (20, 1.2), (100, 0.9)。利用 Mean shift 算法求得点云的均值中心、相邻点云位置关系;完成点云的匹准,得到三维点云模型。

试验结果表明,基于模型提取的柑橘冠层参数与实测值具有良好的吻合性,最大相对误差 $\leq 5.20\%$,均方根误差 < 5.1 ,判定系数 $R^2 > 0.97$,平均相对误差 $< 3.5\%$,能较真实地反映柑橘冠层的结构信息,且测量速度较快,操作方便。

参考文献:

[1] PIBOULE A, COLLET C, FROCHOT H, et al. Reconstructing crown shape from stem diameter and tree position to supply light models I. Algorithms and comparison of light simulations[J]. Annals of Forest Science, 2005, 62(7): 645–657.

[2] 劳彩莲, 杨瀚, 李鹏, 等. 基于消费级深度相机的玉米植株三维重建[J]. 农业机械学报, 2019, 50(7): 222–228.

[3] 仇瑞承, 苗艳龙, 季宇寒, 等. 基于 RGB-D 相机的单株玉米株高测量方法[J]. 农业机械学报, 2017, 48 (增刊 1): 211–219.

[4] KHOSRAVIPOUR A, SKIDMORE A K, WANG T, et al. Effect of slope on treetop detection using a LiDAR Canopy height model[J]. ISPRS Journal of Photogrammetry

and Remote Sensing, 2015, 104: 44–52.

[5] 程曼, 蔡振江, Ning Wang, 等. 基于地面激光雷达的田间花生冠层高度测量系统研制[J]. 农业工程学报, 2019, 35(1): 188–195.

[6] 马利霞, 郑光, 何维, 等. 叶方向 3 维空间分布的地面激光雷达反演与分析[J]. 遥感学报, 2015, 19(4): 609–617.

[7] BABCOCK C, FINLEY A O, ANDERSEN H E, et al. Geostatistical estimation of forest biomass in interior Alaska combining landsat-derived tree cover, sampled airborne lidar and field observations[J]. Remote Sensing of Environment, 2018, 212: 212–230.

[8] 郭彩玲, 宗泽, 张雪, 等. 基于三维点云数据的苹果树冠层几何参数获取[J]. 农业工程学报, 2017, 33(3): 183–189.

[9] 刘清旺, 李增元, 陈尔学, 等. 利用机载激光雷达数据提取单株木树高和树冠[J]. 北京林业大学学报, 2008, 30(6): 83–89.

[10] 管贤平, 刘宽, 邱白晶, 等. 基于机载三维激光扫描的大豆冠层几何参数提取[J]. 农业工程学报, 2019, 35(23): 96–103.

[11] EHLERT D, HEISIG M. Sources of angle-dependent errors in terrestrial laser scanner-based crop stand measurement[J]. Computers & Electronics in Agriculture, 2013, 93: 10–16.

[12] 张漫, 苗艳龙, 仇瑞承, 等. 基于车载三维激光雷达的玉米叶面积指数测量[J]. 农业机械学报, 2019, 50(6): 12–21.

[13] BESL P J, MCKAY H D. A method for registration of 3-D shapes[J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis & Machine Intelligence, 1992, 14(2): 239–256.

[14] SHARP G C, LES S W, WEHE D K. ICP Registration using invariant features[J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 2002, 24(1): 90–102.

[15] CHENG Y. Mean shift, mode seeking, and clustering[J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 1995, 17(8): 790–799.

[16] COMANICIU D, MEER P. Mean shift: a robust approach toward feature space analysis[J]. IEEE Trans Pattern Analysis & Machine Intelligence, 2002, 24(5): 603–619.

责任编辑: 罗慧敏

英文编辑: 吴志立