

光照强度对 Kinect v2 深度数据测量精度的影响

肖志刚 周猛祥 袁洪波 刘亚东 范才虎 程 曼
(河北农业大学机电工程学院, 保定 071001)

摘要: Kinect v2 深度测量受光照环境的影响较大,为定量分析光照因素对 Kinect v2 测量精度的影响,构建 Kinect v2 深度测量试验系统,进行了不同距离和不同光照强度下深度测量的正交试验,得出了深度数据中噪声分布的具体区域,建立了光照强度影响下深度数据修正模型,对深度测量误差进行了补偿。试验结果表明,深度数据中的噪声干扰主要存在于边缘和4个边角部分,且随着测量距离的增加和光照强度的增大向中心部分逐渐扩散,但是光照强度的影响更为显著,当光照强度超过6 500 lx时,深度数据的有效率不超过60%。利用光照强度补偿模型对深度测量数据进行修正后,深度数据测量平均相对误差缩小率为44.55%。在花生冠层信息获取中进行了应用,验证了本文数据修正模型的有效性。

关键词: Kinect v2; 深度数据; 测量精度; 光照强度; 修正模型

中图分类号: TP391.4; S24 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-1298(2021)S0-0108-10

Influence Analysis of Light Intensity on Kinect v2 Depth Measurement Accuracy

XIAO Zhigang ZHOU Mengxiang YUAN Hongbo LIU Yadong FAN Caihu CHENG Man
(College of Mechanical and Electrical Engineering, Hebei Agricultural University, Baoding 071001, China)

Abstract: Kinect v2 depth measurement is greatly affected by the lighting environment, in order to quantitatively analyze the influence of lighting factors on Kinect v2 measurement accuracy, a Kinect v2 depth measurement test system was constructed, orthogonal tests of depth measurement at different distances and different lighting intensities were conducted, the specific areas of noise distribution in depth data were derived, a depth data correction model under the influence of lighting intensity was established. The depth measurement error was compensated. The test results showed that the noise interference in the depth data mainly existed in the edges and four corner parts, and gradually spreaded to the center part with the increase of measurement distance and light intensity, but the effect of light intensity was more significant, and the effective rate of depth data did not exceed 60% when the light intensity exceeded 6 500 lx. The average relative error of depth data measurement was reduced by 44.55% after the correction of depth measurement data by using the light intensity compensation model. In addition, it was applied in peanut canopy information acquisition to verify the effectiveness of the data correction model.

Key words: Kinect v2; depth data; measurement accuracy; light intensity; correction model

0 引言

深度相机可以快速获取被测对象的彩色和深度信息,与运动恢复结构(Structure from motion, SFM)^[1-3]和双目立体视觉^[4]相比,利用深度相机获

取被测对象的三维空间结构,价格更低廉、实时性和鲁棒性更好。按照不同的工作原理,深度相机成像方式可以分为结构光和飞行时间(Time of flight, TOF)两大类,其中 Kinect v1 深度相机是结构光成像的代表,而基于 TOF 原理的 Kinect v2 深度相机在

收稿日期: 2021-07-11 修回日期: 2021-09-08
基金项目: 国家自然科学基金项目(32001412)
作者简介: 肖志刚(1970—),男,副教授,主要从事智能检测与自动控制技术研究,E-mail: xiaozhg@hebau.edu.cn
通信作者: 程曼(1982—),女,副教授,博士,主要从事精细农业和农业信息化技术研究,E-mail: chengman1982@163.com

性能上相比 Kinect v1 有了较大提升^[5]。早期深度相机的应用领域主要集中在体感游戏开发、三维人体重建、物品识别等领域,但近年来,Kinect v2 凭借其价格优势已被应用到了农业领域^[6-8]。Kinect v2 在农业领域的应用主要体现在植物表型获取、动物体尺测量、农业机械人的视觉系统 3 方面。在植物表型领域,Kinect v2 已被应用到各类植物的三维形态重构和表型信息获取上,如果树的三维重建^[8]、油菜分支的识别定位^[9]、田间玉米生长参数监测^[10]以及玉米果穗的三维重建和表型参数获取^[11]等。利用 Kinect v2 对动物进行三维形体的重构以获取准确的体尺数据也成为研究热点,如利用 Kinect v2 对奶牛进行体尺测量和体重预测^[12]。作为一款 3D 相机,Kinect v2 在机器人的视觉领域也得到了广泛应用,如与机器人机械臂的结合^[13]、室内三维地图的重建^[14]等。

随着 Kinect v2 在农业领域的广泛应用,对 Kinect v2 深度相机性能的评估工作也在广泛展开^[15-18]。当深度相机应用于复杂的田间环境时,测量环境将对深度相机的非系统误差造成巨大影响。因此,对 Kinect v2 深度相机的误差校正也是研究的热点,如牛振岐等^[19]通过建立一个三维查找表,在测量过程中通过插值方法计算每个像素点的深度,实现 Kinect v2 测量数据深度方向的误差补偿,能稳定可靠地将 Kinect v2 的平均测量误差减小到 0.8 mm 以内,HE 等^[20]提出了一种基于粒子滤波支持向量机(Particle filter – support vector machine,PF – SVM)的误差修正方法,试验结果表明,该方法能有效地将 Kinect v2 的深度误差减小到 4.6 mm。

为了让深度相机更好地应用在大田环境下,对深度相机的测量误差进行定量分析显得尤为重要。光照强度和距离是对深度相机的非系统误差造成影响的主要因素。为定量分析光照强度对 Kinect v2 深度相机测量特性造成的影响,本文通过误差分析来获取 Kinect v2 深度相机的误差分布特性,并建立数学模型对 Kinect v2 深度测量数据进行校正。

1 材料与方法

1.1 试验环境搭建

在室内无阳光直射的环境下进行试验,试验地点为河北农业大学工程训练中心实验室,试验时间为 2019 年 10 月 9 日—11 月 28 日。选用的深度相机是微软 Kinect v2,通过此相机可以得到被拍摄对象的深度图像、彩色图像以及红外图像。该深度相机的具体参数如表 1 所示。

试验过程中用三脚架支撑 Kinect v2,Kinect v2

表 1 Kinect v2 传感器参数
Tab.1 Sensor parameters of Kinect v2

	参数	数值
彩色图	分辨率/(像素×像素)	1 920 × 1 080
	帧速率/(帧·s ⁻¹)	30
深度图	分辨率/(像素×像素)	512 × 424
	帧速率/(帧·s ⁻¹)	30
	水平视场角/(°)	70
	垂直视场角/(°)	60

一端接 220 V 交流电源,另一端接计算机。通过自主编写的软件程序控制 Kinect v2 获取原始深度测量数据,并以 Excel 文件的形式进行保存。软件环境为:VS2015 开发环境,采用 C#进行编程,安装支持 Kinect v2 的 SDK,同时配置了 OpenNI 自然交互接口。

试验过程中选择 GM1020 型照度计(深圳市聚茂源科技有限公司;测量范围:0 ~ 200 000 lx,精度:± 3% rdg,实时采集速度:0.5 s/次)采集室内光照强度。选择 GLM30 型激光测距仪(上海博世智能科技有限公司;测量范围:0 ~ 40 m,精度:± 2 mm,数据返回时间:0.5 ~ 4 s)测量 Kinect v2 与墙面之间的距离,以此测量距离作为真实值,并与 Kinect v2 的测量值作比较,来评估 Kinect v2 的测量精度。

为了分析光照强度对 Kinect v2 测量精度的影响,将 Kinect v2 以不同距离平行于墙面放置。在自然光照条件下,设计了测量距离与光照强度正交试验来观察噪点(零值和误差等级以外的点统称为噪点)在光照强度由弱到强变化的情况下,Kinect v2 测量精度受光照强度的影响。

1.2 Kinect v2 深度测量精度评估试验

1.2.1 深度数据获取方法

将 Kinect v2 以一定的距离平行于光滑墙面放置,获取表达距离信息的深度矩阵,矩阵中的深度代表 Kinect v2 所在的测量平面与被测墙体之间的距离。在试验中,随着测量距离的不断增加,所需要的标准平面的面积会不断扩大,当测量距离超出 2 m 时,Kinect v2 拍摄面积将达到 12 m²,导致单个目标的像素分辨率较小,在实际应用中很少有 Kinect v2 到目标的距离超过 2 m。因此,本试验只讨论 Kinect v2 与测量平面的距离为 0.5 ~ 2 m 的情况。

为了在特定的光照强度下完成深度图像的采集,预先在室内地面上做好标尺,以便在最短的时间内完成 0.5 ~ 2 m 不同距离的深度采集,试验原理如图 1 所示。在同一光照强度下,从 0.5 m 开始测量,每次增加 0.1 m 直至 2 m,在每个位置取 10 帧数据进行深度数据分析,在不同光照条件下共采集深度

数据 1 030 组。

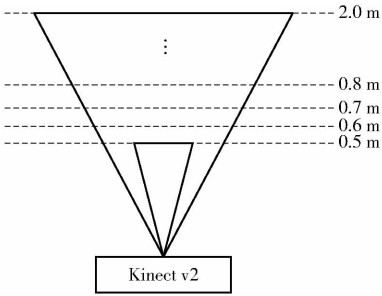


图 1 Kinect v2 在不同测量距离下获取深度数据示意图
Fig. 1 Schematic of Kinect v2 acquiring depth data at different distances

试验环境下光照强度变化曲线如图 2 所示。天气状况良好的情况下,早上室内的光照强度可以达到 1 000 lx,从早上至中午,室内光照强度介于 1 000 ~ 3 000 lx 之间。而在室外环境下,不受阳光直射的测光仪所测得的光照强度在 10 000 ~ 30 000 lx 之间,阳光直射环境下的测光仪示数大于 30 000 lx。试验过程中 Kinect v2 深度相机深度数据的采集根据太阳高度角的变化,在不同光照条件下进行循环采集,在同一光照强度条件下完成测量距离从 0.5 ~ 2 m 的深度数据采集,即视为完成一个循环。

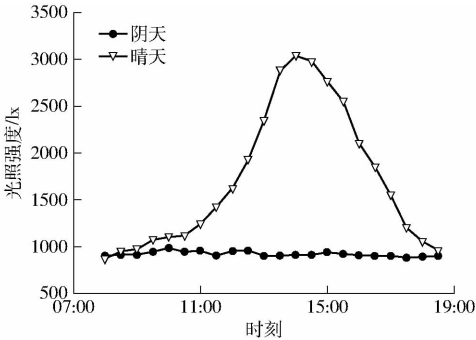


图 2 不同天气条件下的室内光照强度变化曲线
Fig. 2 Variation curves of light intensity under different weather conditions during experiment

Kinect v2 获得的深度数据以矩阵的形式保存,矩阵中每个元素代表该目标点到 Kinect v2 的距离(单位:mm)。在实际试验过程中,获取的深度数据矩阵的边缘存在一些深度为 0 的点,这些点所覆盖的范围会随着测量环境的不同而产生较大变化。在 Kinect v2 的官方文档中深度为 0 表示该位置不在 Kinect v2 的测量范围内,但试验获取的深度数据中 0 值点显然位于 Kinect v2 的测量范围内,这些点的产生是由于测量环境所引起。因此,为了准确评估 Kinect v2 深度数据测量精度,定义 1% ~ 10% 共 10 个误差等级,如当测量距离为 1 m 时,则 Kinect v2 测量的误差在 5% 以内的深度数据,即测量值在 0.95 ~ 1.05 m 之间为有效数据。按照不同的误差

等级对深度进行分级评估,将位于深度数据矩阵边缘的零值和误差等级以外的深度定义为噪点,并分析其在不同测量环境下在深度数据矩阵中的数量及分布范围。

1. 2. 2 深度数据精度评价指标

理想情况下,当深度相机拍摄一个平面时,获取的深度应该是一个恒定的距离,且深度图像应该是均匀的平面。但是在实际测量过程中,深度相机获取的深度数据存在各种噪声干扰。因此,为了分析 Kinect v2 获取的深度数据的精度及其在不同光照环境下有效数据的分布区域,定义了有效填充率作为评价指标,其计算公式为

$$\alpha = \frac{\beta}{\mu} \times 100\% \tag{1}$$

式中 α ——有效填充率,定量分析在不同测量环境下 Kinect v2 获取的有效深度数据所占的比例

β ——Kinect v2 所得的深度数据中除去噪点(深度数据中的 0 和误差等级以外的深度数据)后有效深度的数据量

μ ——Kinect v2 每次获取的深度数据总量

为了直观分析有效深度数据的分布位置,将 Kinect v2 获取的原始深度数据转换为一个二值深度图像

$$G(X,Y) = \begin{cases} 1 & (F(X,Y) \notin D) \\ 0 & (F(X,Y) \in D) \end{cases} \tag{2}$$

式中 $F(X,Y)$ ——Kinect v2 获取的原始深度数据
 X,Y ——在深度数据矩阵中深度数据所在的行数和列数

D ——噪点数据集

$G(X,Y)$ ——原始深度数据转换后的二值数据

如果原始深度数据 $F(X,Y)$ 属于噪点数据,则被赋值为 0,否则赋值为 1,则原始深度数据 $F(X,Y)$ 被转换为二值数据。因此,根据式(2)可以将 Kinect v2 获取的原始深度数据转换为一幅二值图像,并根据该二值图像分析噪点在测量范围内的分布情况。

2 结果与分析

2. 1 不同误差等级下的有效填充率

试验过程中,在不同距离和光照强度下进行了 1 030 次正交试验,获取了 1 030 组深度数据。这些深度数据被分成了 10 个不同的误差允许等级,通过对 1 030 组深度数据进行分析,得到不同允许误差等级下 Kinect v2 深度测量数据的有效填充率如表 2 所示。由表 2 可以看出,当允许误差等级为 1% 时,

表 2 不同误差等级下有效填充率的数据分析

Tab.2 Data analysis of effective filling rate under different error levels

different error levels					%
允许误差等级	平均有效填充率	最大填充率	最小填充率	浮动比例	标准差
1	16.0	21.2	6.8	68	3.9
2	31.2	42.2	14.4	66	7.6
3	47.0	61.6	21.7	65	11.0
4	61.0	82.8	29.1	65	14.3
5	74.0	93.3	36.4	61	15.7
6	81.7	97.7	43.8	55	15.6
7	86.7	99.2	50.4	49	14.0
8	90.0	99.5	56.9	43	11.7
9	92.3	99.6	63.2	37	9.4
10	93.7	99.6	67.2	33	7.9

平均有效填充率为 16%,说明 Kinect v2 的测量环境变化对深度数据精度影响较大,若要利用 Kinect v2 获取高精度的深度数据,需要对其使用环境进行严格的限定,否则很难取得有效的数据。随着允许误差等级的不断扩大,平均有效填充率也逐渐上升,当允许误差等级为 6% 时,平均有效填充率达到了 81.7%,此时 Kinect v2 对于环境的适应性大大增强,其获取的大部分深度数据是有效的。从允许误差等级为 8% 开始,平均有效填充率达到 90%,当允许误差等级上升为 10% 时,平均有效填充率达到了 93.7%,这说明在该误差等级下,Kinect v2 获取的绝大部分深度数据是可以被使用的。为说明有效填充率在不同误差等级下的变化趋势,选取光照强度为 1 573 lx,测量距离为 1.03 m 进行实验,结果得到有效填充率变化曲线如图 3 所示。从图 3 中可以看出,在允许误差等级 1%~6% 下,有效填充率显示出近似线性增长的趋势,但是当允许误差等级在 6%~10% 之间时,有效填充率的增长则变得相对缓慢。

表 3 光照强度、距离、有效填充率的相关分析

Tab.3 Correlation analysis of light intensity, distance and effective filling rate

光照强度	距离	有效填充率									
		误差等级	误差等级	误差等级	误差等级	误差等级	误差等级	误差等级	误差等级	误差等级	误差等级
		1%	2%	3%	4%	5%	6%	7%	8%	9%	10%
光照强度	1	-0.202 *	-0.669 **	-0.688 **	-0.690 **	-0.697 **	-0.704 **	-0.706 **	-0.698 **	-0.684 **	-0.661 **
距离	1	0.118	0.14	0.144	0.128	0.105	0.062	0.048	0.056	0.057	0.038

注: ** 表示相关性极显著($P < 0.01$), * 表示相关性显著($P < 0.05$)。

2.2.2 深度数据测量精度分布

Kinect v2 获取的深度数据中,有效深度的空间分布不是均匀的,图 4 为测量距离为 1 m、光照强度为 1 000 lx 下 Kinect v2 获取的深度与实际深度的误差分布情况。在整幅图像中,中心位置的测量误差

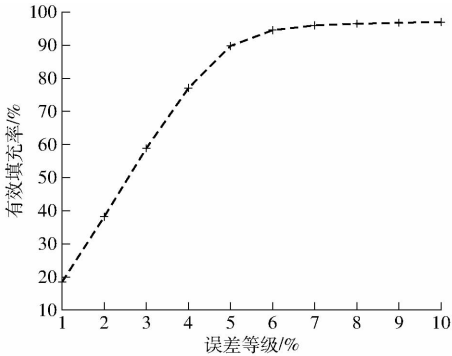


图 3 不同误差等级下的有效填充率变化曲线

Fig.3 Variation curve of effective filling rate under different error levels

2.2 光照和距离对测量精度的影响

2.2.1 相关性分析

为了明确光照强度、测量距离和有效填充率的相关性,利用皮尔逊相关性分析对这 3 个参数进行分析,结果如表 3 所示。从表 3 可以看出,光照强度和有效填充率显示出显著相关性,在 10 个不同允许误差等级下有效填充率和光照强度的相关系数 r 均接近 0.7,且相关系数为负值。这说明光照强度和有效填充率呈显著负相关关系,即随着光照强度的增加,Kinect v2 获取的深度数据中的有效数据在不断减小。此外,从表 3 还可以看出,距离和有效填充率并未呈现出显著相关关系,这说明在 Kinect v2 量程之内,测量距离对有效填充率的影响并不显著。由此可以得出,在 Kinect v2 有效测距范围内,其获取的深度数据的精度并不会随着距离的增加而发生明显的变化,即相同光照环境下不同测量距离的测量精度不会发生显著差异。但是,在相同距离条件下,不同光照强度对 Kinect v2 深度数据的测量精度影响较大。这说明 Kinect v2 使用过程中,环境光照强度影响不可忽视,特别是在室外条件下使用时,更要注意光照强度的影响。

最小,并从中心位置向外展开。离中心位置越近,则深度测量误差越小,离中心位置越远,则深度测量的误差越大,在 4 个角处深度测量的误差相对最大。

2.2.3 光照和距离对噪点分布的影响

根据表 2 和图 3 可知,允许误差等级为 6% 时,

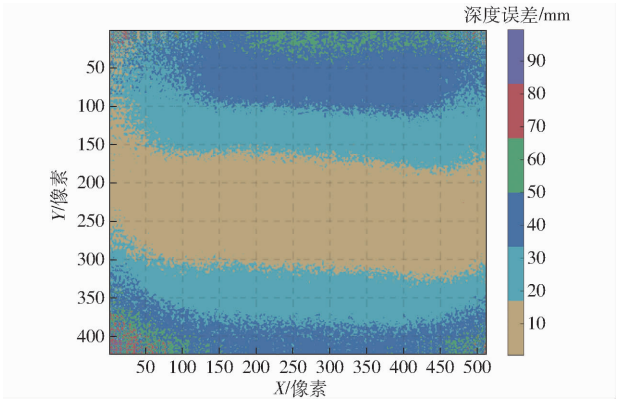


图 4 Kinect v2 获取深度与实际深度的误差分布
Fig.4 Error distribution between depth values obtained by Kinect v2 and ground truth depth values

有效填充率达到了 81.7%，而允许误差等级超过 6% 之后，有效填充率并不会显著增加。因此在允许误差等级为 6% 的情况下，分别对光照强度和距离对噪点分布造成的影响进行分析。在定义允许误差等级为 6% 时，深度测量值和实际值误差在 6% 之上的点将被作为噪声点。

图 5 为允许误差等级为 6% 时不同测量环境下的噪点分布情况。噪点分布图基于式 (2)，利用 mesh 函数和 Matlab 软件进行绘制，绘制完成后，再将生成的三维图像投影到 XY 平面进行显示。当光照强度为 145 lx 时，噪点主要分布在图像 4 个角，随着光照强度的增加，4 个角的噪点逐渐增多，且不断向中心靠拢；当光照强度增大到 4 030 lx 时，噪点变

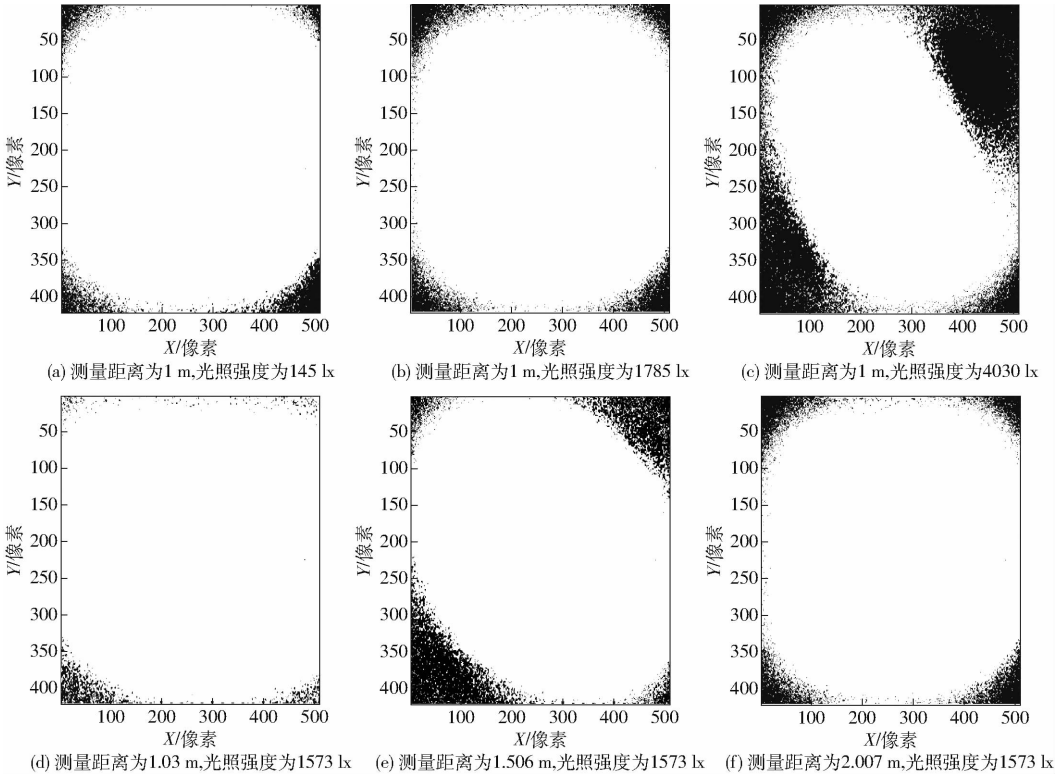


图 5 不同测量环境下的噪点分布对比

Fig.5 Noise distributions comparison of different measurement environments

得愈发密集。在相同光照强度下，距离对噪点的影响和光照强度的影响呈现出相同的趋势，即噪点从深度图像 4 个角不断向中心侵蚀，但这一变化与改变光照强度引起的变化相比较小，这一现象与相关性分析结果一致。

在光照强度 143 ~ 11 050 lx 范围内，有效填充率随光照强度的变化规律如图 6 所示。由图 6 可以看出，随着光照强度的增加，深度测量的有效性不断降低，其变化规律大致符合三次曲线。如果以有效像素比例不少于 60% 为标准，则当光照强度超过 6 500 lx 时，深度图像就会出现严重失真，导致其数据将无法被利用。因此，使用 Kinect v2 的首要事项就是考虑当前环境条件下的光照强度是否会影响其获取深度数据的准确性。

2.3 光照强度补偿模型构建

为了对光照强度影响导致的测量误差进行修正，利用得到的试验数据对光照强度、激光测距仪得到的深度、Kinect v2 获取测量值这 3 个因子进行拟合，如图 7 所示。根据拟合结果建立不同光照环境下深度数据修正模型为

$$f(u,v)=0.078-0.003u+0.913v \quad (R^2=0.94) \tag{3}$$

式中 $f(u,v)$ ——激光测距仪测量值
 u ——光照强度
 v ——Kinect v2 到被测目标的距离

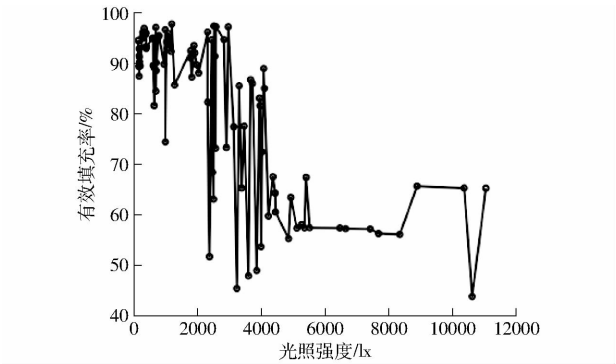


图 6 有效填充率随光照强度的变化曲线

Fig. 6 Variation of effective filling rate with light intensity

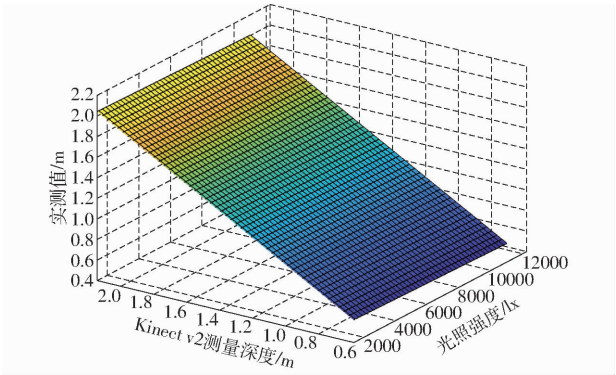


图 7 光照强度、Kinect v2 测量深度和实测值的拟合

Fig. 7 Fitting of light intensity, values of Kinect v2 and ground truth

拟合模型的 R^2 为 0.94,说明 3 个因子之间符合平面关系。为了验证数学模型的准确性,进行了 19 组验证试验,将激光测距仪得到的测量值与模型校正后得到的 Kinect v2 深度测量值进行对比,其结果如图 8 和表 4 所示。修正后的深度曲线和实测值曲线的趋势一致,证明建立的平面数学模型较为精确。从表 4 可以看出,修正后相对误差缩小率最大为 83.33%,最小为 11.11%,平均为 44.55%,这说明 Kinect v2 获取的深度测量值的误差得到了很好的补偿,深度测量误差得到了很好的修正。图 8 所示为修正后 Kinect v2 获取的深度和激光测距仪测量值的拟合程度,从图 8 可以看出两者拟合程度良好,

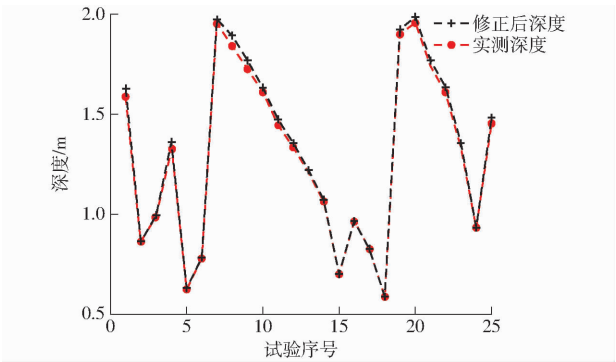


图 8 修正后的深度测量值与实测值拟合关系

Fig. 8 Fitting relationship between corrected measured depth value and ground truth

表 4 光照强度补偿模型修正前后误差比较

Tab. 4 Comparison of errors before and after correction by light intensity compensation model

序号	光照强度/ lx	Kinect v2 测量值/m	实测值/ m	修正后 深度/m	修正后相对误 差缩小率/%
1	175	1.263	1.238	1.231	72.00
2	310	1.473	1.446	1.422	11.11
3	711	1.241	1.223	1.209	22.22
4	991	1.453	1.424	1.402	24.14
5	1 066	0.913	0.910	0.908	33.33
6	1 894	1.607	1.553	1.540	75.93
7	2 320	1.320	1.288	1.276	62.50
8	2 510	1.125	1.099	1.098	26.47
9	3 310	0.844	0.838	0.839	83.33
10	3 730	1.039	1.028	1.015	18.18
11	4 030	2.001	1.821	1.892	60.56
12	4 440	0.987	0.978	0.966	33.33
13	5 270	1.408	1.329	1.348	75.95
14	6 650	0.987	0.976	0.959	54.55
15	7 420	0.987	0.976	0.957	72.73
16	7 680	0.987	0.976	0.956	81.82
17	8 350	0.987	0.975	0.954	75.00
18	8 890	1.003	0.978	0.967	56.00
19	10 370	1.003	0.976	0.963	51.85

证明了该修正模型的有效性。

3 实际场景应用

为了验证光照强度补偿模型的有效性,在实际场景中进行了验证试验。将 Kinect v2 置于花生育种温室中,在不同光照条件下获取花生冠层的彩色和深度图像,然后利用三维点云的数量和密度特性分析光照强度对花生冠层成像的影响^[21]。试验时间为 2021 年 6 月 5—7 日,试验选择 1 株盆栽花生作为试验对象。考虑到光照射方向的影响,试验设计了背光和面光 2 种情况,试验示意图如图 9 所示。

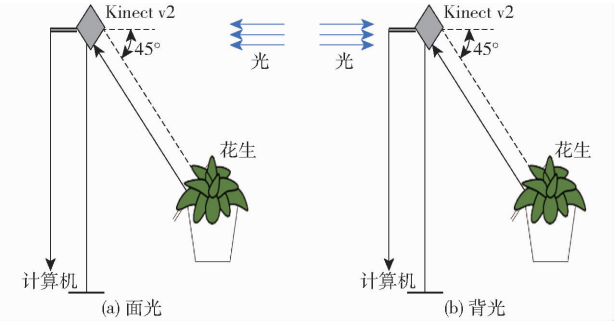


图 9 图像获取试验示意图

Fig. 9 Schematic of image acquisition test

为了定量分析光照对生成点云造成的影响,定义了点云平均距离作为评价指标,即利用点云中各点之间的距离平均值来表示点云分布的疏密程度,点云平均距离公式为

$$D_p = \min(\text{Dis}(p, q)) \quad (q = 1, 2, \dots, N; p \neq q) \quad (4)$$

$$H_{\text{mean}} = \frac{1}{N} \sum_{p=1}^N D_p \quad (5)$$

式中 p ——点云中任意一点
 q ——其他任意一个点
 $\text{Dis}(p, q)$ ——点 p 与点 q 之间的欧氏距离
 D_p ——点 p 与距其最近点的欧氏距离
 H_{mean} ——点云平均距离
 N ——点云中点的数量

由式(5)可知,点云平均距离越小,说明点在空间中分布越密集,点云的密度就越大;反之则说明点在空间中的分布越稀疏,点云的密度就越小。

3.1 光照强度对花生冠层信息获取的影响

利用 Kinect v2 在不同光照环境下对花生冠层信息进行采集,图 10、11 中从左到右依次为 RGB 图像、深度图像和 RGB-D 图像。

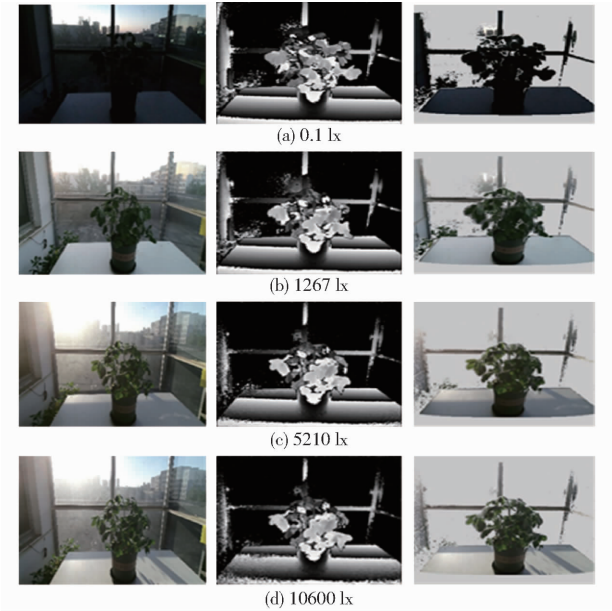


图 10 面光条件下获取的花生冠层图像信息
Fig. 10 Image information of peanut canopy obtained by facing light

从图 10 可以看出,随着光照强度的下降,RGB 图像逐渐损失了颜色信息,但是深度图像中花生冠层结构却逐渐变得清晰;当光照强度超过 5 000 lx 后,深度图像中的飞行像素大量增加,图像中花盆、叶片和桌角的轮廓边缘变得相对模糊。同等级别的光照环境下,背光拍摄的 RGB 图像中颜色信息优于面光拍摄;且当光照强度接近 6 000 lx 时,深度图像的边缘轮廓依然能清晰分辨。由此可以看出,利用 Kinect v2 获取深度图像时,同等光照强度下,背光拍摄效果更好,这是因为光线不会直射入 Kinect v2 的传感器,减少了干扰。

利用 RGB 图像和深度图像信息,进行配准后可

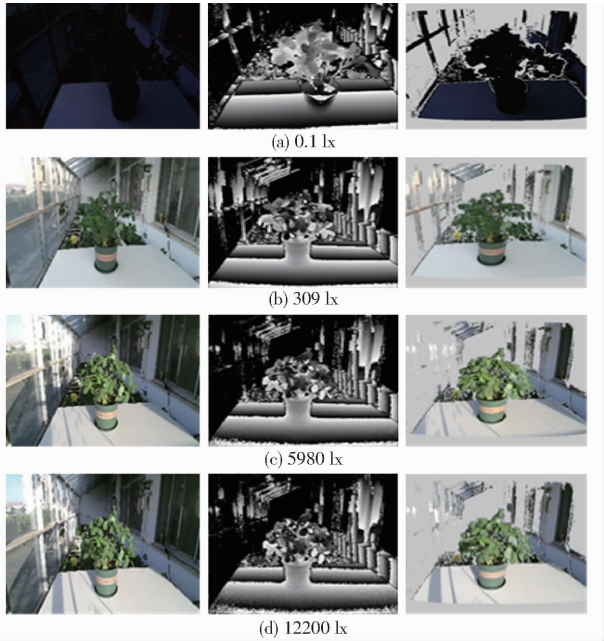


图 11 背光条件下获取的花生冠层图像信息
Fig. 11 Image information of peanut canopy obtained under backlight conditions

以融合为 RGB-D 图像,从而生成彩色三维点云。面光和背光两种情况下获取的彩色三维点云分别如图 12 和图 13 所示。在面光条件下,低强度的光照生成的点云数量更多、密度更大,但是难以保留住颜色信息;高强度的光照生成的点云虽然颜色信息更丰富,但是主体点云周围的离群点变多,点云的密度不断下降。背光条件下,如果光照强度等级相同,则会获取更多的点云数量,且主体点云的密度更大,点云形成的植物器官特征更为明显。

在不同朝向情况下,Kinect v2 获取的点云数量和点云平均距离 H_{mean} 随光照强度的变化趋势如图 14 所示。在 0 ~ 2 000 lx 范围内,随着光照强度的增加,点云数量的减少和密度下降的趋势相对剧烈,点云数量背光优于面光;2 000 ~ 6 000 lx 范围内,点云数量的减少和密度下降的趋势相对平缓,背光条件仍然优于面光条件;在背光条件下,光照强度超过 12 000 lx 时,点云数量和平均距离仍然高于面光条件下 2 000 lx 时。这一现象说明,在实际应用中,要避免光线直射 Kinect v2,尽量使其处于背向光源的状态。

3.2 光补偿模型在花生冠层高度测量中的应用

根据试验数据,利用光补偿模型修正 Kinect v2 获取的深度数据和点云信息,在此基础上计算花生冠层高度,并将修正前后得到的结果与实际测量结果进行对比,以验证光补偿模型的有效性。首先利用高精度激光测距仪对花生冠层高度进行测量,得到标准高度为 0.583 m。然后利用 Kinect v2 在不同光

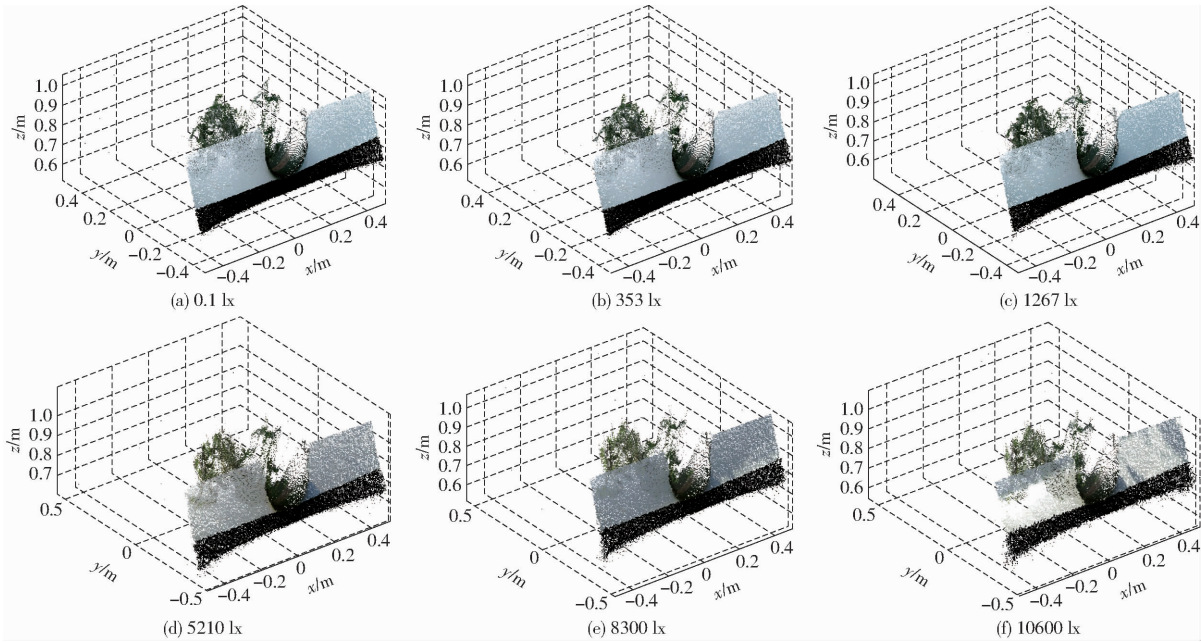


图 12 面光条件下花生冠层的彩色三维点云

Fig. 12 Three-dimensional color point clouds of peanut canopy under facing light condition

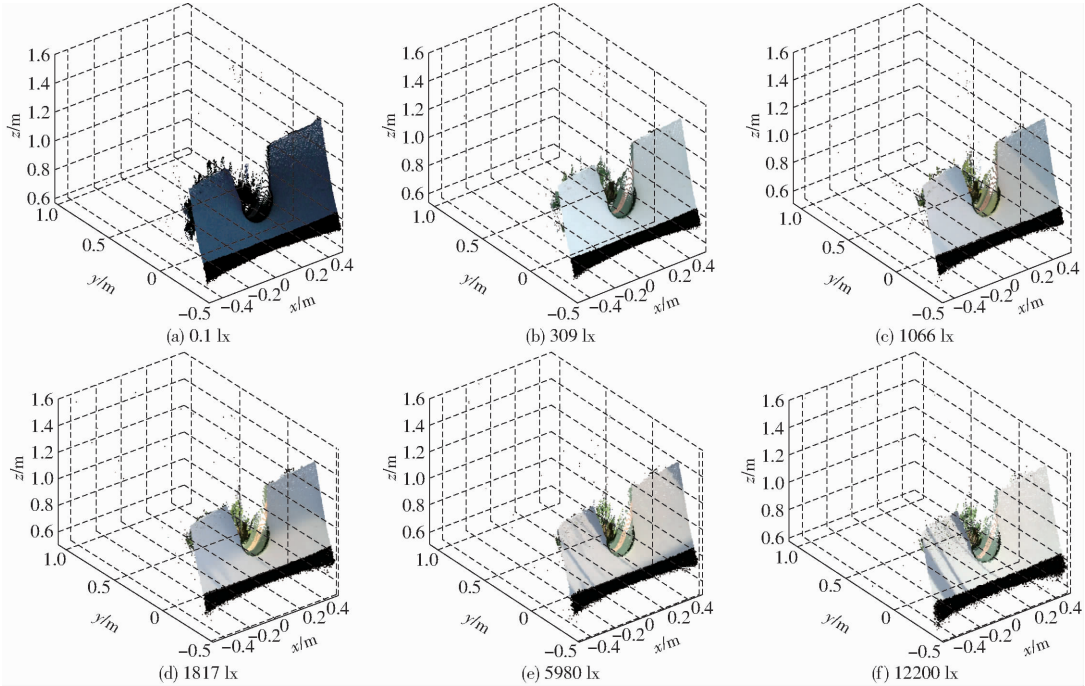


图 13 背光条件下花生冠层的彩色三维点云

Fig. 13 Three-dimensional color point clouds of peanut canopy under back light condition

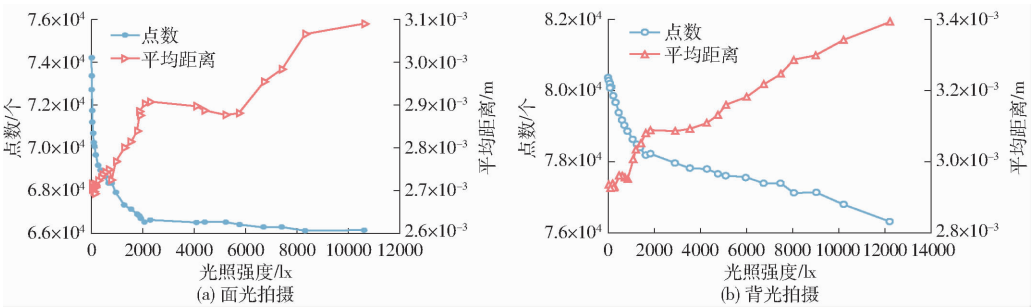


图 14 光照对点云数量和平均距离的影响

Fig. 14 Effect of illumination on number of point clouds and point cloud density

照强度下获取花生冠层点云数据,并计算冠层高度。校正前后利用点云数据得到的冠层高度如图 15 所示。从图 15 中可以看出,经过光补偿模型修正后,根据点云获取的花生冠层高度波动明显变小,更接近真实高度,且在光照强度较弱的情况下,修正效果更好。

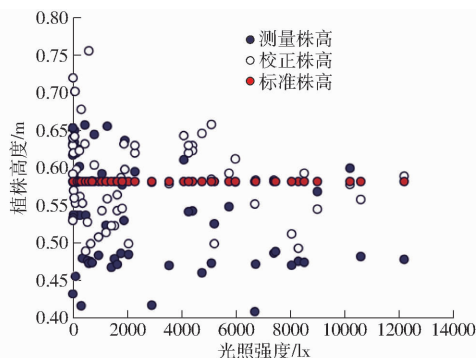


图 15 利用模型对株高进行校正结果

Fig. 15 Correction of plant height by using model

4 结束语

为了明确测量距离和光照因素对 Kinect v2 获

取数据精度的影响,设计了不同测量距离和不同光照强度条件的正交试验,共获取了 1 030 组深度数据。试验结果表明,测距 0.6 ~ 2 m 范围内,测量距离和光照强度均会对 Kinect v2 获取的深度数据造成影响,但是后者的影响显著高于前者,当光照强度超过 6 500 lx 时,深度数据的有效率不超过 60%。深度数据中的噪声干扰主要存在于图像边缘和 4 个边角部分,且随着测量距离的增加和光照强度的增大向中心部分逐渐扩散,因此,在使用 Kinect v2 获取深度数据时,应综合考虑光照因素和被测目标的大小,且被测目标最好位于 Kinect v2 深度相机的中心位置,以便获取有效数据。此外,本文还构建了一个 Kinect v2 深度数据误差修正模型,用于对光照因素的影响进行补偿,验证试验结果表明,应用该模型后深度测量的平均相对误差缩小率为 44.55%。从实际应用案例结果来看,该模型能够降低测量误差,且 Kinect v2 在背光条件下效果较好。

参 考 文 献

- [1] WU Sheng, WEN Weiliang, WANG Yongjian, et al. MVS - Pheno: a portable and low-cost phenotyping platform for maize shoots using multiview stereo 3D reconstruction[J]. Plant Phenomics, 2020(2): 1 - 17.
- [2] 柴宏红,邵科,于超,等. 基于三维点云的甜菜根表型参数提取与根型判别[J]. 农业工程学报, 2020, 36(10): 181 - 188. CHAI Honghong, SHAO Ke, YU Chao, et al. Extraction of phenotypic parameters and discrimination of beet root types based on 3D point cloud[J]. Transactions of the CSAE, 2020, 36(10): 181 - 188. (in Chinese)
- [3] 于合龙,黄浦,苏红宏,等. 基于双目视觉的植物叶片三维形态与光照度同步测量[J]. 农业工程学报, 2016, 32(10): 149 - 156. YU Helong, HUANG Pu, SU Honghong, et al. Simultaneous measurement of three-dimensional shape and illumination of plant leaves based on binocular vision[J]. Transactions of the CSAE, 2016, 32(10): 149 - 156. (in Chinese)
- [4] ZENNARO S, MUNARO M, MILANI S, et al. Performance evaluation of the 1st and 2nd generation Kinect for multimedia applications[C]//IEEE International Conference on Multimedia & Expo. IEEE, 2015.
- [5] 胡杨. 基于深度相机的叶菜类作物三维重建与生长测量方法研究[D]. 杭州:浙江大学, 2018.
- [6] LEI J, FAN X, YOU L, et al. Human detection using color and depth information[J]. Journal of Computational Information Systems, 2013, 9(15): 6011 - 6018.
- [7] CHENG T, OU Y, JIANG G, et al. Hand tracking and pose recognition via depth and color information[C]//2012 IEEE International Conference on Robotics and Biomimetics (ROBIO). IEEE, 2012.
- [8] 郑立华,麦春艳,廖巍,等. 基于 Kinect 相机的苹果树三维点云配准[J]. 农业机械学报, 2016, 47(5): 9 - 14. ZHENG Lihua, MAI Chunyan, LIAO Wei, et al. 3D point cloud registration for apple tree based on Kinect camera[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2016, 47(5): 9 - 14. (in Chinese)
- [9] 徐胜勇,卢昆,潘礼礼,等. 基于 RGB-D 相机的油菜分枝三维重构与角果识别定位[J]. 农业机械学报, 2019, 50(2): 21 - 27. XU Shengyong, LU Kun, PAN Lili, et al. 3D reconstruction of rape branch and pod recognition based on RGB-D camera[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2019, 50(2): 21 - 27. (in Chinese)
- [10] MARTIN H, BERNHARD H. Direct derivation of maize plant and crop height from low-cost time-of-flight camera measurements[J]. Plant Methods, 2016, 12(1): 50.
- [11] 王传宇,郭新宇,吴升,等. 基于计算机视觉的玉米果穗三维重建方法[J]. 农业机械学报, 2014, 45(9): 274 - 279. WANG Chuanyu, GUO Xinyu, WU Sheng, et al. Three dimensional reconstruction of maize ear based on computer vision[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2014, 45(9): 274 - 279. (in Chinese)
- [12] ANDREA P, MARCELLA G, LUIGI S, et al. A feasibility study on the use of a structured light depth-camera for three-dimensional body measurements of dairy cows in free-stall barns[J]. Sensors, 2018, 18(2): 673.
- [13] SHAH D, TANG L, GAI J, et al. Development of a mobile robotic phenotyping system for growth chamber-based studies of genotype x environment interactions[J]. IFAC Papers OnLine, 2016, 49(16): 248 - 253.
- [14] YUE Haosong, CHEN Weihai, WU Xingming, et al. Fast 3D modeling in complex environments using a single Kinect sensor[J]. Optics and Lasers in Engineering, 2014, 53: 104 - 111.
- [15] KOUROSH K, SANDER O E. Accuracy and resolution of Kinect depth data for indoor mapping applications[J]. Sensors,

- 2012,12(2):1473.
- [16] YANG L, ZHANG L, DONG H, et al. Evaluating and improving the depth accuracy of Kinect v2 for windows[J]. IEEE Sensors Journal, 2015, 15(8):4275–4285.
- [17] ELISE L, TANIA L. Assessment and calibration of a RGB-D camera (Kinect v2 sensor) towards a potential use for close-range 3D modeling[J]. Remote Sensing, 2015, 7(10):13070–13097.
- [18] ROSELL-POLO J R, AUAT-CHEEIN F, GREGORIO E, et al. Advances in structured light sensors applications in precision agriculture and livestock farming[J]. Advances in Agronomy, 2015, 133:71–112.
- [19] 牛振岐, 刘阔, 王月敏, 等. 基于像素级别的 Kinect 深度测量误差补偿方法[J]. 光电子·激光, 2016, 27(11):1169–1175.
- NIU Zhenqi, LIU Kuo, WANG Yuemin, et al. Kinect depth measurement error compensation method based on pixel level[J]. Optoelectronics Laser, 2016, 27(11):1169–1175. (in Chinese)
- [20] HE Ying, LIANG Bin, ZOU Yu, et al. Depth errors analysis and correction for time-of-flight (ToF) cameras[J]. Sensors, 2017, 17(1):92.
- [21] 刘刚, 张雪, 宗泽, 等. 基于深度信息的草莓三维重建技术[J]. 农业机械学报, 2017, 48(4):160–165, 172.
- LIU Gang, ZHANG Xue, ZONG Ze, et al. 3D reconstruction of strawberry based on depth information[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2017, 48(4):160–165, 172. (in Chinese)
- [22] 沈跃, 潘成凯, 刘慧, 等. 基于改进 SIFT-ICP 算法的 Kinect 植株点云配准方法[J]. 农业机械学报, 2017, 48(12):183–189.
- SHEN Yue, PAN Chengkai, LIU Hui, et al. Method of plant point cloud registration based on Kinect of improved SIFT-ICP[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2017, 48(12):183–189. (in Chinese)
-
- (上接第 57 页)
- [14] 胡小青, 程朋根, 聂运菊, 等. 无人机 LiDAR 在山洪灾害调查中的关键技术及应用[J]. 江西科学, 2016, 34(4):470–474.
- HU Xiaoqing, CHENG Penggen, NIE Yunju, et al. Key technology and application of UAV LiDAR in mountain flood disaster investigation[J]. Jiangxi Science, 2016, 34(4):470–474. (in Chinese)
- [15] 程溪. 微小型多旋翼无人机激光雷达 SLAM 算法研究[D]. 呼和浩特: 内蒙古工业大学, 2018.
- CHENG Xi. Research on laser radar SLAM algorithm of micro multi rotor UAV[D]. Huhhot: Inner Mongolia University of Technology, 2018. (in Chinese)
- [16] 王凯龙. GNSS 和 IMU 的室内外行人无缝导航方法研究[D]. 南昌: 南昌大学, 2018.
- WANG Kailong. Research on indoor and outdoor pedestrian seamless navigation method based on GNSS and IMU[D]. Nanchang: Nanchang University, 2018. (in Chinese)
- [17] 朱晓飞, 张连环. 飞行中惯导定位误差的修正方法研究[J]. 电子世界, 2012(23):92–93.
- ZHU Xiaofei, ZHANG Lianhuan. Research on correction method of INS positioning error in flight[J]. Electronic World, 2012(23):92–93. (in Chinese)
- [18] 阚旋, 林杨正, 辛宪会, 等. 多视几何中外参数与航测外方位元素的相互转化[J]. 海洋测绘, 2016, 36(6):75–78.
- ZHA Xuan, LIN Yangzheng, XIN Xianhui, et al. Mutual transformation between Chinese and foreign parameters in multi view geometry and exterior orientation elements in aerial survey[J]. Marine Surveying and Mapping, 2016, 36(6):75–78. (in Chinese)
- [19] WISE S M. Effect of differing DEM creation methods on the results from a hydrological model[J]. Computers and Geosciences, 2007, 33(10):1351–1365.
- [20] LI H, XU P, SHEN Y. A self-adaption fast point cloud simplification algorithm based on normal eigenvalues[C]//2014 7th International Congress on Image and Signal Processing (CISP 2014), 2014:852–856.
- [21] ZHAO L, WEI Q, EQUIPMENT A O. Research and improvement of point clouds reducing algorithm based on a set of images in progress of 3D-reconstruction[J]. Computer Engineering & Applications, 2016, 52(8):211–216, 8.
- [22] 李笑, 李宏鹏, 牛东岭, 等. 基于全球导航卫星系统的智能化精细平地系统优化与试验[J]. 农业工程学报, 2015, 31(3):48–55.
- LI Xiao, LI Hongpeng, NIU Dongling, et al. Optimization of GNSS-controlled land leveling system and related experiments[J]. Transactions of the CSAE, 2015, 31(3):48–55. (in Chinese)
- [23] 牛东岭, 李笑, 康熙, 等. 基于空间聚类的农田土地平整区域规划方法研究[J]. 农业机械学报, 2015, 46(增刊):57–62.
- NIU Dongling, LI Xiao, KANG Xi, et al. Regional planning in GNSS-controlled land leveling based on spatial clustering method[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2015, 46(Supp.):57–62. (in Chinese)
- [24] 胡炼, 杨伟伟, 许奕, 等. 基于 GPS 技术的水田平地机的设计与试验[J]. 华南农业大学学报, 2015, 36(5):130–134.
- HU Lian, YANG Weiwei, XU Yi, et al. Design and experiment of paddy field leveler based on GPS[J]. Journal of South China Agricultural University, 2015, 36(5):130–134. (in Chinese)