

文章编号: 1674-5566(2023)05-1006-09

DOI: 10.12024/jsou.20230604239

基于双目视觉的无人补料装置测距技术

颜 麟, 曹守启

(上海海洋大学 工程学院, 上海 201306)

摘 要: 基于双目视觉技术, 研究一种适用于无人补料设备的目标检测及测距技术, 设计了高精度的目标检测识别和双目测距方法, 并进行了相关仿真实验。实验结果表明, 使用改进后的识别定位算法平均准确率为 99.53%, 双目相机在距离补料装置 40~90 cm 时, 测距相对误差为 0.59%~1.26%, 可以有效辅助近距离定位补料装置, 较好地满足了补料装置与料仓的对接功能要求, 对提高补料装置的自动化水平具有积极意义。

关键词: 自动补料车; 补料装置; 目标检测; 双目测距

中图分类号: S 951.2 **文献标志码:** A

水产养殖业是我国的传统产业, 承担着满足优质蛋白供给的重要任务, 对保障国家粮食安全至关重要^[1-4]。如今随着水产养殖饲料和劳动力成本的上升, 养殖自动化成为了水产养殖业的发展趋势^[5-8]。在自动化养殖系统中, 物料补给自动化是关键。无人补料车作为无人养殖场中的自动化饲料转运工具, 可以通过定位系统和预设程序前往指定位置。然而, 当补料车与补料设备对接时, 经常由于无法实时感知补料车与补料口的精确距离, 导致对接精度不符合要求, 从而造成补料失败。本文针对这一现实需求, 对补料装置的识别与测距问题进行了研究。

目标检测和视觉测距方法已被广泛应用于各种场景。这些方法结合了计算机视觉和机器学习技术, 能够准确检测和定位目标。目标检测是计算机视觉中的重要研究内容, 它的目的是在图像或视频中准确定位和分类出感兴趣的目標^[9]。视觉测距是指利用计算机视觉技术从图像或视频中估计目标距离的过程。常见的视觉测距方法包括单目视觉、双目测距、立体视觉和结构光等技术^[10]。李玮峰^[11]完成了基于机器视觉的油桶自动灌装系统的研究, 提出了基于灰度图像和彩色图像处理的方法来识别和定位大桶油的偏心灌口保护盖, 以供机械手进行自

动取盖和扣盖操作。这项研究为大桶油自动灌装生产线提供了新的技术方法。池涛等^[12]提出了基于单目视觉的水产养殖智能投喂系统, 他们在投喂设备上安装了单目相机, 通过采集食场内的目标图像, 并利用零阶图像矩单目深度测距算法, 驱动投喂设备前往目标食场实施投喂。原培新等^[13]通过图像预处理和模板匹配技术识别列车中的目标把手, 并利用特征检测和匹配算法恢复双目相机的位姿信息, 提出了基于 SAD 和 Census 局部融合的立体匹配算法, 通过计算目标把手的深度信息实现了三维重建。杨淀等^[14]完成了基于 YOLOv5 的野战医疗方舱转运自动导引车的目标检测和测距方法, 利用 YOLOv5 模型实现方舱的目标检测, 并利用双目测距方法来定位方舱, 这有效提高了方舱转运自动导引车的定位性能, 进一步提升了野战方舱医院的部署速度。

本研究目标是基于目标检测与测距技术, 开发出一种可靠的补料装置识别与测距方法。针对该目标构建了补料装置数据集, 使用 YOLOv7 模型进行目标检测, 使用 SGBM 立体匹配算法进行双目测距。通过该方法, 可实现对补料装置的可靠识别和距离测量。

收稿日期: 2023-06-15 修回日期: 2023-08-23

基金项目: 上海市崇明区农业科创项目(2021CNKC-05-06)

作者简介: 颜 麟(1998—), 男, 硕士研究生, 研究方向为机器视觉、图像处理、测距算法开发技术。E-mail: 2940301325@qq.com

通信作者: 曹守启, E-mail: sqcao@shou.edu.cn

版权所有 ©《上海海洋大学学报》编辑部(CC BY-NC-ND 4.0)

Copyright © Editorial Office of Journal of Shanghai Ocean University (CC BY-NC-ND 4.0)

<http://www.shhydx.com>

1 无人补料车及补料装置设计

1.1 无人补料过程

本研究将目标检测和双目测距技术应用于无人养殖场的补料过程。在无人补料场景下,补料车根据预设的路线图进行移动。当补料车接近目标补料设备时,利用安装在补料车上的双目相机,我们可以

进行目标检测,以识别补料装置。通过测距程序,获取无人补料车与补料装置补料口之间的距离。

随着补料车逐渐靠近补料装置,深度相机会实时获取距离信息,从而及时更新补料车的定位信息。这一过程对于补料车准确对准补料口并完成补料操作起到了辅助作用。补料过程流程图如图 1 所示。

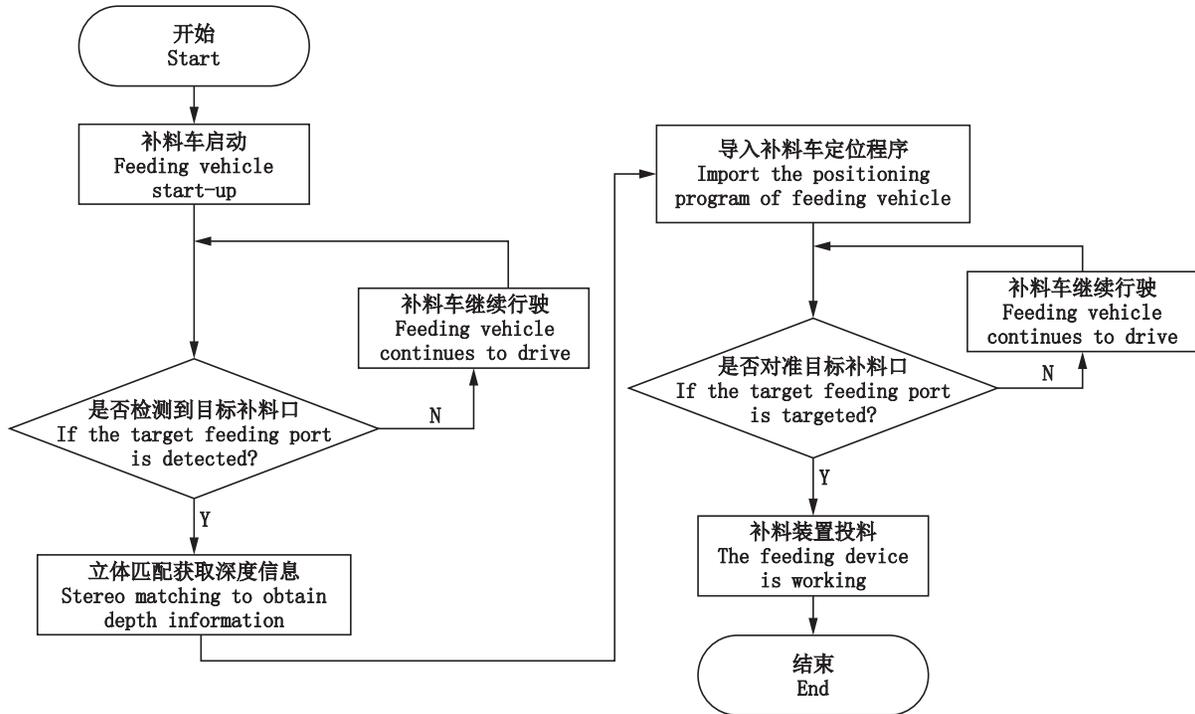
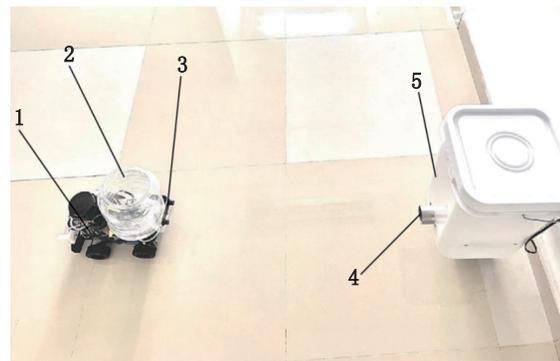


图 1 补料车补料过程流程图
Fig. 1 The feeding process flow chart of feeding vehicle

1.2 补料车及补料装置设计

我们将 ROSMASTER 智能车作为无人补料车的主体,搭载接料桶平稳地行驶到补料装置的位置,通过车上搭载的双目相机完成测距任务。双目相机采用 HBV-178-2 S2.0 图像的采集,CMOS 型号为 OV9732,具有 2 560×720 的分辨率,110°的视角,焦距为 21 mm,基线长度为 60 mm。双目相机实物图如图 2 所示,补料车补料实物图如图 3 所示。

无人补料装置由料仓、下料机构和控制装置



1. 补料车;2. 接料桶;3. 双目相机;4. 出料口;5. 储料仓。
1. Feeding vehicle; 2. Feeding barrel; 3. Binocular camera; 4. Discharge port; 5. Storage silos.

图 3 补料车补料过程实物图
Fig. 3 Top view of feeding device



图 2 HBV-178-2 S2.0 双目相机
Fig. 2 HBV-178-2 S2.0 binocular camera

组成,如图 3 所示。设计的料仓容积为 22 L。

料仓底部是下料机构,它包括下料挡板、转动轴、螺旋输送杆、步进电机和出料口。料仓底

部采用V型设计,角度为 120° ,并向出料口倾斜,避免下料过程中饲料堆积导致出料不稳定的问题。

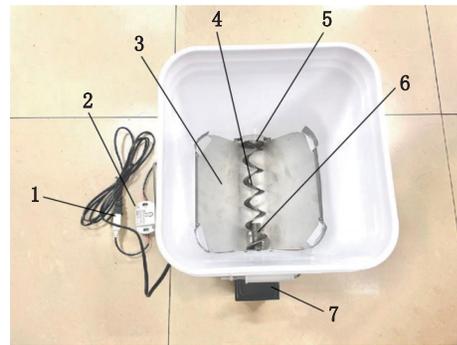
补料装置的电机采用外置设计,通过步进电机驱动螺旋输送杆,将饲料输送至出料口。控制装置使用支持Wi-Fi和蓝芽的智能开关,用户可以通过下载并安装相应的eWeLink App来实现远程操控。通过智能开关,用户可以调节出料速度和出料时间。补料装置的俯视图如图4所示。

2 补料装置的识别和测距方法

2.1 补料装置目标检测

在补料车行驶过程中,为了测量补料车与目标补料装置的距离,首先进行储料仓和补料口的目标检测。目标检测是计算机视觉中的任务,旨在区分图像或视频中的目标区域和非感兴趣区域,并确定

目标的种类^[15]。目标检测基本流程如图5所示。



1. 电源插头;2. 智能开关;3. 下料挡板;4. 螺旋输送杆;5. 出料口;6. 转动轴;7. 步进电机。
1. Power plug; 2. Intelligent switch; 3. Blanking baffle; 4. Screw conveying rod; 5. Discharge port; 6. Rotating shaft; 7. Stepper motor.

图4 补料装置俯视图

Fig. 4 Top view of feeding device

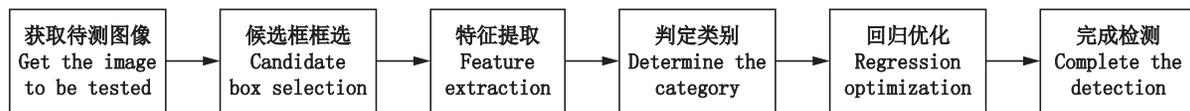


图5 目标检测基本流程图

Fig. 5 Basic flow chart of target detection

基于深度学习的目标检测算法可以分为基于候选区域的算法(如R-CNN系列)和基于回归分析的算法(如YOLO系列和SSD系列)。YOLO系列算法通过一个神经网络模型直接输出检测结果,只需要进行一次目标检测的过程,因此结构简单且计算效率高^[16]。特别是YOLOv7,在保持高精度的前提下,能够实现超过30FPS的实时检测速度。相比YOLOv5,YOLOv7在相同的模型规模下表现出更好的精度,同时在检测速度和准确性方面都表现出色,更适用于本研究实际使用场景。

选择使用YOLOv7作为目标检测模型,以实现补料口和储料仓的准确识别。

2.2 补料装置双目测距

双目测距是一种用于计算物体距离的方法,通过使用两个摄像头同时拍摄同一补料装置的图像,利用摄像头之间的基线距离和每个相机拍摄到的图像中物体的位移,可以计算出补料车到补料装置的距离^[17]。下面是双目测距的基本流程,如图6所示。

相关定义为:左右相机标定,对左右相机进

行单独的标定,以获取相机的内参和畸变系数;双目标定,在完成左右相机的标定后,通过计算左右相机之间的旋转矩阵和平移矩阵,以及相机的内参和畸变系数进行。立体匹配与视差图:使用立体匹配算法对左右相机的图像进行匹配,以找出两个图像中相同点的对应关系。通过这些对应点的差异,生成视差图。深度计算:根据视差图和双目标定参数,计算出物体的深度信息^[18]。

2.2.1 摄像头标定

摄像机参数标定是计算机视觉领域的一个关键问题,常用的标定方法包括人工标定、基于MATLAB工具箱的标定和基于OpenCV的自标定方法^[19-20]。相较于其他方法,使用Bouguet的MATLAB标定工具箱进行立体标定在精度和鲁棒性方面具有更大的优势^[21]。本研究采用了该方法进行相机参数标定,并将标定结果导入OpenCV中进行后续的图像校准和匹配工作。根据经验,当标定误差在0.2个像素以下时,可被视为达到可用的精度^[22]。实验中,使用高精度铝制棋盘格作为标定板,并使用20组图像数据进行标

定,结果表明,标定平均误差为0.149 4个像素,达到了预期的标定精度要求。标定板的照片如图7所示。

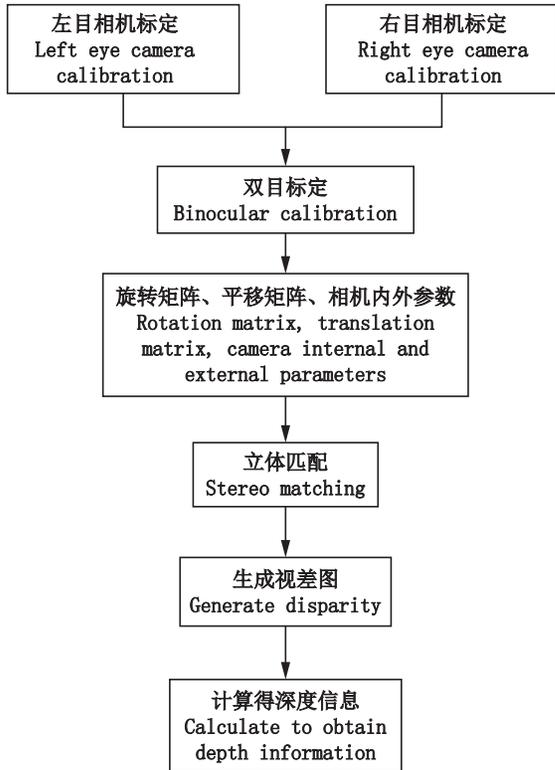


图6 双目测距流程图

Fig. 6 Binocular ranging flow chart

2.2.2 立体匹配

立体匹配算法是计算机视觉中用于从一对图像中找到对应点以获得深度信息的技术。根据像素搜索范围和匹配策略的不同,立体匹配算法可以分为全局立体匹配算法、半全局立体匹配算法和局部立体匹配算法^[23-24]。

全局立体匹配算法需要处理全部像素,计算复杂度较高,具有较高的匹配准确性^[25]。半

全局立体匹配算法在保持全局准确性的同时,通过限制搜索范围和引入约束条件等方式降低计算复杂度。局部立体匹配算法速度较快,但对噪声和纹理等因素较为敏感,准确性稍低^[26-27]。

根据对检测对象的现场环境和对高测距精度和高实时性的要求,选择半全局立体匹配算法(Semi-Global Block Matching, SGBM)。该算法的流程为:(1)对输入图像进行预处理,使用Sobel算子进行边缘检测,生成新的图像。(2)计算BT(Birchfield-Tomasi)代价值,将预处理后的图像与原始图像的代价值进行融合。通过Sobel预处理和BT代价值的计算融合,以保留更多的边缘细节信息。(3)对上述得到的代价值进行领域求和(成块运算),提高匹配的鲁棒性。(4)将领域求和后的代价值用于SGM(Semi-Global Matching)算法的优化。SGM算法能够综合考虑不同像素点的代价值,并进行一致性约束,从而提高匹配结果的准确性。(5)进行视差计算和视差后处理步骤,最终生成视差图。视差计算采用赢者通吃(WTA)算法,将最匹配的像素点作为视差值。(6)视差图的后处理包括置信度检测、亚像素插值和左右一致性检测。置信度检测用于剔除错误的视差值,亚像素插值可以使物体表面的视差更加平滑,左右一致性检测用于消除由于左右遮挡而引起的视差错误^[28-30]。

SGBM算法的流程图如图8所示。通过采用SGBM算法,可以在满足高测距精度和高实时性要求的同时,获取图像对的深度信息,为后续的三维重建提供基础。



图7 标定板图像

Fig. 7 Calibration board image

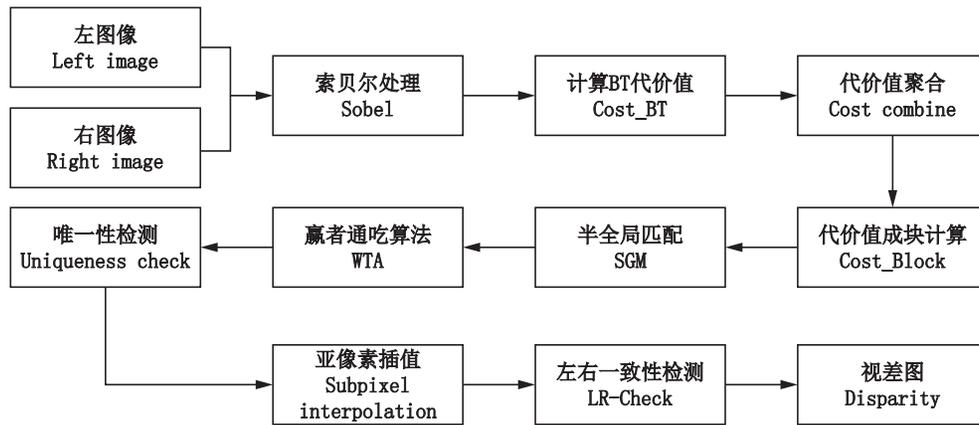


图8 SGBM算法流程图
Fig. 8 SGBM algorithm flow chart

2.2.3 视差计算与三维重建

图9为双目视觉的测量模型,在标准立体相机模型中,左右相机的成像平面是平行且共面的。图9中, O_l, O_r 是左右相机的光学中心, Z 轴平行于摄像头的光轴,垂直于成像平面 XOY 。 f 是两个相机的焦距, b 是双目相机的基线, p_l, p_r 分别为摄像机坐标系下目标点 $p(x_c, y_c, z_c)$ 在两相机成像平面的映射点,图像坐标 $P_l = (x_l, y_l), P_r = (x_r, y_r)$ 。标准立体模型下两个相机的光学中心处于同一水平线,所以视差 $d = x_l - x_r$ 。

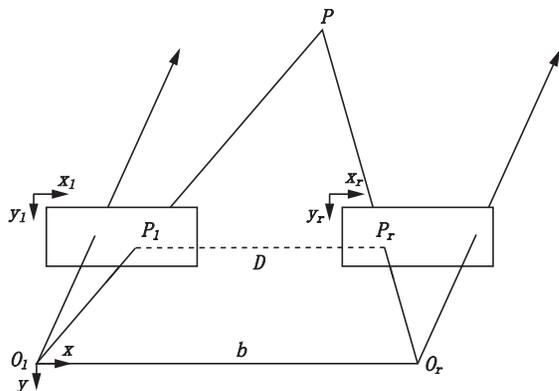


图9 双目视觉测量模型
Fig. 9 Binocular vision measurement model

目标点与两个摄像机光心以及成像点构成两个相似三角形,根据三角形相似定理可得深度信息表示如式(4)。

$$\frac{b}{z_c} = \frac{b - (x_l - x_r)}{z_c - f} \Rightarrow z_c = \frac{f \cdot b}{x_l - x_r} = \frac{f \cdot b}{d} \quad (4)$$

进一步可知P在摄像机坐标系下的三维坐标,表示如式(5):

$$\begin{cases} x_c = \frac{x_l \cdot b}{d} = \frac{x_l \cdot z_c}{f} \\ y_c = \frac{y_l \cdot b}{d} = \frac{y_l \cdot z_c}{f} \end{cases} \quad (5)$$

3 YOLOv7检测补料装置的仿真实验

为了进行模型训练,创建一个用于目标补料装置的数据集。该数据集来自补料车在行驶中通过摄像头拍摄的视频帧截图,总共包含739张图片。这些图片被分为训练集和测试集,其中训练集包含600张图片,测试集包含139张图片。我们使用Make Sense在线标注工具对训练集中的所有图片进行了标注。我们将补料仓标签命名为“feedbin”,将补料口标签命名为“hole”。如图10所示,为数据集标注界面。

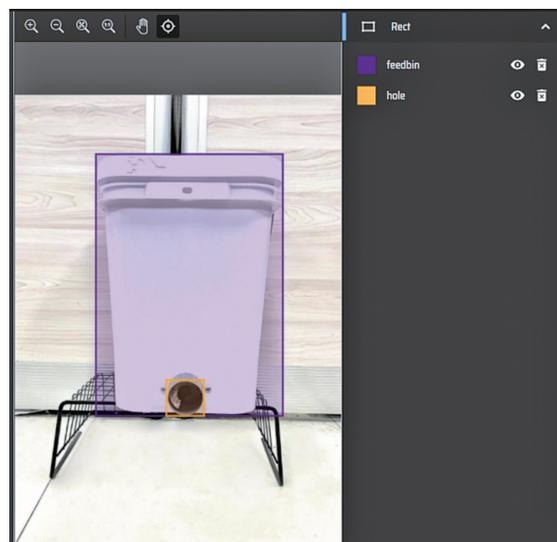


图10 数据集标注界面
Fig. 10 Data set annotation interface

试验过程中,我们预设了训练次数为 200 次,完成训练后,记录模型的训练结果,如图 11 所示。通过对各项参数进行观察,发现它们逐渐趋于稳定,曲线也显示出良好的拟合状态。Precision、Recall、mAP_0.5 和 mAP_0.5:

0.95 等指标被广泛应用于目标检测模型的评估中,这几项指标均已趋于 1 并稳定。使用 YOLO v7 模型对训练数据进行训练所得到的模型可被应用于无人补料车进行补料装置的检测和测距。

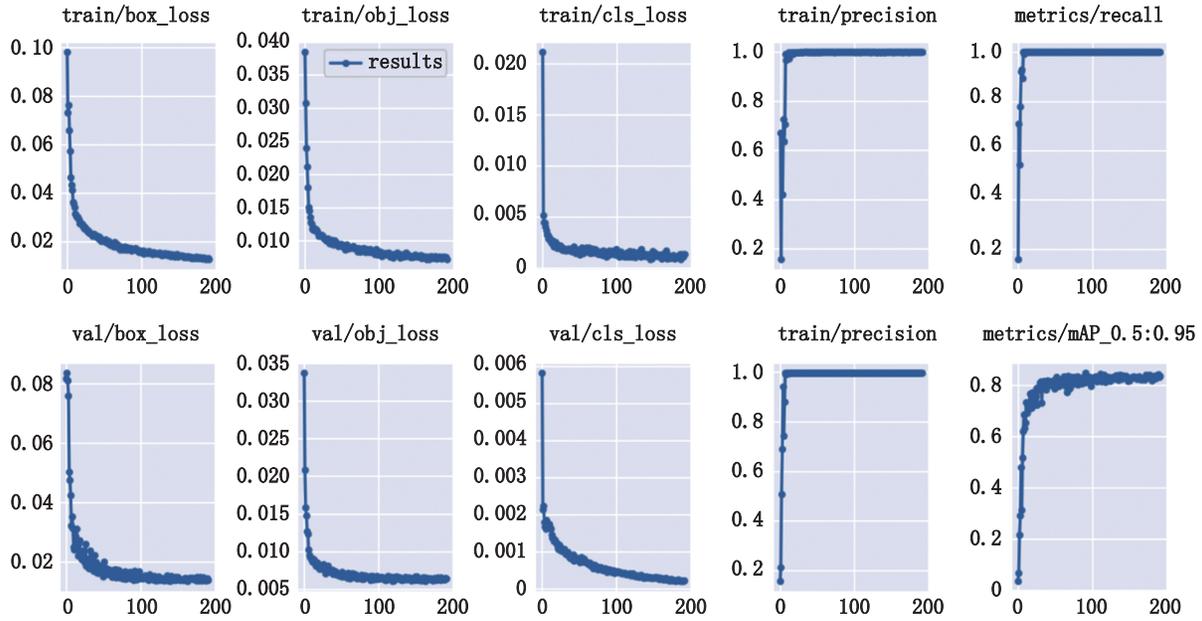


图 11 YOLOv7 训练过程中参数变化趋势图

Fig. 11 YOLOv7 parameter variation trend diagram during training

4 测距实验设计与分析

使用双目相机采集了 739 个样本,其中包括补料装置的储料仓和补料口。在实验开始时,启动目标检测及测距程序,对补料装置进行了检测识别和测距,并与激光测距仪(测量精度±2 mm)的测量结果进行了比较。激光测距仪的值作为真实值,与双目测距的测量值进行误差分析。使用 YOLO v7 模型进行补料装置的目标检测识别,通过前文介绍的立体匹配和测距算法获得了补料装置的深度信息,实现识别和深度信息的输出。本实验共记录了 13 组数据结果,具体数据如表 1 所示。

由表 1 和图 12 可知,当补料车与补料装置相距 40 cm 至 90 cm 时,相对误差在 0.59% 至 1.26%,绝对误差在 0.33 至 0.67 cm,测距误差较小、测距精度较高。当距离 30 cm、35 cm 时,相对误差分别为 14.90%、6.77%,绝对误差分别为 4.47 cm、2.37 cm,测距误差较大,测距精度较差,测距误差随距离减小而增大。

表 1 双目测距实验结果

Tab. 1 Binocular ranging experimental results

真实值 True value/cm	测量值 Measured value/cm				绝对误差 Absolute error/cm	相对误差 Relative error/%
	1	2	3	平均值 Mean		
30	34.4	34.2	34.8	34.47	4.47	14.90
35	38.0	37.9	37.2	37.37	2.37	6.77
40	40.4	40.2	40.7	40.43	0.43	1.08
45	45.6	45.4	45.1	45.37	0.37	0.82
50	50.6	50.9	50.4	50.63	0.63	1.26
55	55.3	55.4	55.6	55.33	0.33	0.60
60	61.1	60.6	60.8	60.50	0.50	0.83
65	64.7	64.1	64.5	64.43	0.57	0.88
70	70.6	70.4	70.9	70.63	0.63	0.90
75	75.4	75.9	75.6	75.63	0.63	0.84
80	79.8	80.2	80.6	80.53	0.53	0.66
85	85.2	85.4	84.8	85.67	0.67	0.79
90	89.6	90.2	90.8	90.53	0.53	0.59

经过分析发现,在无人补料车接近补料装置的过程中,当距离小于 40 cm 时,由于近距离相机畸变较大,测距精度较差。在 40 cm 至 90 cm 的范围内,测距精度较好,相对误差在 0.59% 至 1.26%

之间,测距可靠性较高。当距离大于90 cm时,测距精度较差,测量数据与真实值的偏差随距离增大而增大。受到摄像头硬件的限制,远距离目标的识别可靠性和准确性较低。

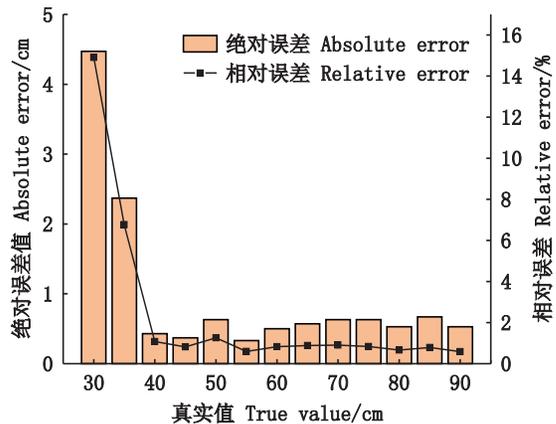


图 12 测量值与真实值的误差

Fig. 12 Error between measured value and true value

通过较近距离补料装置的识别和测距,我们发现检测补料装置的平均准确率较高,且耗时较短。这表明双目相机可以较好地应用于无人补料车对补料装置的目标检测和测距系统中,辅助补料车相对于补料装置的定位,引导补料车实现精确对准,从而便于实现自动化补料的目标。

6 结论

针对无人补料车在近距离定位性能下降、难以准确对准补料装置的问题,提出了基于YOLO v7的无人补料车对补料装置目标检测及测距方法,旨在提高补料车到补料装置的定位精度。该方法首先利用补料装置的数据集对YOLO v7模型进行训练,得到一个能够较好地检测补料装置的模型。将该模型与双目相机测距功能相结合,形成补料装置的目标检测及测距方法。实验结果表明,该方法在1 m范围内能够准确检测到补料装置,实现高精度的测距,相对误差在0.59%至1.26%之间。这一方法显著提高了补料车对补料装置的定位能力。补料装置目标检测及测距方法研究及其应用对于实现无人养殖设备自动补料功能具有重要意义。

参考文献:

[1] 张文博,马旭洲. 中国水产品的可持续供给[J]. 上海海

洋大学学报, 2022, 31(5): 1304-1316.

ZHANG W B, MA X Z. Sustainable supply of aquatic food in China[J]. Journal of Shanghai Ocean University, 2022, 31(5): 1304-1316.

[2] 景新,樊树凯,史颖刚,等. 室内工厂化水产养殖自动投饲系统设计[J]. 安徽农业科学, 2016, 44(11): 260-263, 300.

JING X, FAN S K, SHI Y G, et al. Design of automatic feeding system for indoor factory [J]. Anhui Agricultural Sciences, 2016, 44(11): 260-263, 300.

[3] 张文博,马旭洲. 2000年来中国水产养殖发展趋势和方向[J]. 上海海洋大学学报, 2020, 29(5): 661-674.

ZHANG W B, MA X Z. China's aquaculture development trends since 2000 and future directions [J]. Journal of Shanghai Ocean University, 2020, 29(5): 661-674.

[4] 鲁泉,陈新军. 改革开放40年来中国渔业产业发展及十四五产量预测[J]. 上海海洋大学学报, 2021, 30(2): 339-347.

LU Q, CHEN X J. Development of Chinese fishery industry in 40 years of reform and opening up and production forecast in the 14th five-year plan [J]. Journal of Shanghai Ocean University, 2021, 30(2): 339-347.

[5] 胡庆松,朱皓,李俊. 虾蟹养殖池塘机械化研究现状及发展趋势[J]. 上海海洋大学学报, 2022, 31(5): 1216-1223.

HU Q S, ZHU H, LI J. Research progress and development trend of mechanization of shrimp and crab breeding pond [J]. Journal of Shanghai Ocean University, 2022, 31(5): 1216-1223.

[6] 王萍,张丽珍,陈雷雷,等. 基于CFD的虾塘投饵船浮态及稳性分析[J]. 上海海洋大学学报, 2022, 31(1): 261-268.

WANG P, ZHANG L Z, CHEN L L, et al. Analysis of floating state and stability of shrimp pond bait boat based on CFD [J]. Journal of Shanghai Ocean University, 2022, 31(1): 261-268.

[7] 赵圣涛,常青,刘慧,等. 物联网在工厂化水产养殖中的应用分析[J]. 渔业现代化, 2019, 46(4): 8-13.

ZHAO S T, CHANG Q, LIU H, et al. Analysis on application of Internet of Things in industrial aquaculture [J]. Fishery Modernization, 2019, 46(4): 8-13.

[8] 袁凯,庄保陆,倪琦,等. 室内工厂化水产养殖自动投饲系统设计与试验[J]. 农业工程学报, 2013, 29(3): 169-176.

YUAN K, ZHUANG B L, NI Q, et al. Design and experiments of automatic feeding system for indoor industrialization aquaculture [J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2013, 29(3): 169-176.

[9] 尹宏鹏,陈波,柴毅,等. 基于视觉的目标检测与跟踪综述[J]. 自动化学报, 2016, 42(10): 1466-1489.

- YIN H P, CHEN B, CHAI Y, et al. Vision-based object detection and tracking: A review [J]. Acta Automatica Sinica, 2016, 42(10): 1466-1489.
- [10] 蒋萌,王尧尧,陈柏. 基于双目视觉的目标识别与定位研究[J]. 机电工程, 2018, 35(4): 414-419.
- JIANG M, WANG Y Y, CHEN B. Recognition and orientation of object based on binocular vision [J]. Journal of Mechanical & Electrical Engineering, 2018, 35(4): 414-419.
- [11] 李玮峰. 基于机器视觉的自动灌装系统油桶灌装口的识别与定位技术研究[D]. 深圳: 深圳大学, 2018.
- LI W F. Machine vision based detection and location technology for filling of drum oil [D]. Shenzhen: Shenzhen University, 2018.
- [12] 池涛,庞云剑,沈晓晶. 水产养殖智能投喂系统中单目视觉测量的研究[J]. 山东农业大学学报(自然科学版), 2019, 50(6): 980-985.
- CHI T, PANG Y J, SHEN X J. Research on monocular vision measurement in intelligent aquaculture feeding system [J]. Journal of Shandong Agricultural University (Natural Science Edition), 2019, 50(6): 980-985.
- [13] 原培新,蔡烜,曹文伟,等. 基于双目立体视觉的列车目标识别和测距技术[J]. 东北大学学报(自然科学版), 2022, 43(3): 335-343.
- YUAN P X, CAI D, CAO W W, et al. Train target recognition and ranging technology based on binocular stereoscopic vision [J]. Journal of Northeastern University (Natural Science), 2022, 43(3): 335-343.
- [14] 杨璇,曲鹏涛,吴航,等. 基于 Yolo v5 的野战医疗方舱转运自动导引车目标检测及测距方法[J]. 军事医学, 2023, 47(2): 92-96.
- YANG D, QU P T, WU H, et al. Target detection and measurement method for field medical shelter-transporting AGV based on Yolo v5 [J]. Military Medical Sciences, 2023, 47(2): 92-96.
- [15] 宋爽,张悦,张琳娜,等. 基于深度学习的轻量化目标检测算法[J]. 系统工程与电子技术, 2022, 44(9): 2716-2725.
- SONG S, ZHANG Y, ZHANG L N, et al. Lightweight target detection algorithm based on deep learning [J]. Systems Engineering and Electronics, 2022, 44(9): 2716-2725.
- [16] 刘俊明,孟卫华. 基于深度学习的单阶段目标检测算法研究综述[J]. 航空兵器, 2020, 27(3): 44-53.
- LIU J M, MENG W H. Review on single-stage object detection algorithm based on deep learning [J]. Aero Weaponry, 2020, 27(3): 44-53.
- [17] 祝琨,杨唐文,阮秋琦,等. 基于双目视觉的运动物体实时跟踪与测距[J]. 机器人, 2009, 31(4): 327-334.
- ZHU K, YANG T W, RUAN Q Q, et al. Real-time tracking and measuring of moving objects based on binocular vision [J]. Robot, 2009, 31(4): 327-334.
- [18] 沈彤,刘文波,王京. 基于双目立体视觉的目标测距系统[J]. 电子测量技术, 2015, 38(4): 52-54.
- SHEN T, LIU W B, WANG J. Distance measurement system based on binocular stereo vision [J]. Electronic Measurement Technology, 2015, 38(4): 52-54.
- [19] 杨景豪,刘巍,刘阳,等. 双目立体视觉测量系统的标定[J]. 光学精密工程, 2016, 24(2): 300-308.
- YANG J H, LIU W, LIU Y, et al. Calibration of binocular vision measurement system [J]. Optics and Precision Engineering, 2016, 24(2): 300-308.
- [20] 张曦,黄亮,徐洋,等. 基于 MATLAB 中 calibration toolbox 的相机标定应用研究[J]. 微型机与应用, 2011, 30(14): 31-33.
- ZHANG X, HUANG L, XU Y, et al. Application of camera calibration based on MATLAB calibration toolbox [J]. Microcomputer and its Applications, 2011, 30(14): 31-33.
- [21] 迟德霞,王洋,宁立群,等. 张正友法的摄像机标定试验[J]. 中国农机化学报, 2015, 36(2): 287-289, 337.
- CHI D X, WANG Y, NING L Q, et al. Experimental research of camera calibration based on ZHANG's method [J]. Journal of Chinese Agricultural Mechanization, 2015, 36(2): 287-289, 337.
- [22] 汪珍珍,赵连玉,刘振忠. 基于 MATLAB 与 OpenCV 相结合的双目立体视觉测距系统[J]. 天津理工大学学报, 2013, 29(1): 45-48.
- WANG Z Z, ZHAO L Y, LIU Z Z. Binocular stereo vision distance measurement system based on a combination of MATLAB and OpenCV [J]. Journal of Tianjin University of Technology, 2013, 29(1): 45-48.
- [23] 白明,庄严,王伟. 双目立体匹配算法的研究与进展[J]. 控制与决策, 2008, 23(7): 721-729.
- BAI M, ZHUANG Y, WANG W. Progress in binocular stereo matching algorithms [J]. Control and Decision, 2008, 23(7): 721-729.
- [24] 陈炎,杨丽丽,王振鹏. 双目视觉的匹配算法综述[J]. 图学学报, 2020, 41(5): 702-708.
- CHEN Y, YANG L L, WANG Z P. Literature survey on stereo vision matching algorithms [J]. Journal of Graphics, 2020, 41(5): 702-708.
- [25] 陈华,王立军,刘刚. 立体匹配算法研究综述[J]. 高技术通讯, 2020, 30(2): 157-165.
- CHEN H, WANG L J, LIU G. A survey of stereo matching algorithms [J]. Chinese High Technology Letters, 2020, 30(2): 157-165.
- [26] 林森,殷新勇,唐延东. 双目视觉立体匹配技术研究现状和展望[J]. 科学技术与工程, 2017, 17(30): 135-147.
- LIN S, YIN X Y, TANG Y D. Research status and prospect of binocular stereo matching technology [J].

- Science Technology and Engineering, 2017, 17 (30) : 135-147.
- [27] 赵晨园, 李文新, 张庆熙. 双目视觉的立体匹配算法研究进展[J]. 计算机科学与探索, 2020, 14(7): 1104-1113.
- ZHAO C Y, LI W X, ZHANG Q X. Research and development of binocular stereo matching algorithm [J]. Journal of Frontiers of Computer Science and Technology, 2020, 14(7): 1104-1113.
- [28] DENG C G, LIU D Y, ZHANG H D, et al. Semi-global stereo matching algorithm based on multi-scale information fusion[J]. Applied Sciences, 2023, 13(2): 1027.
- [29] HAMZAH R A, IBRAHIM H. Improvement of stereo matching algorithm based on sum of gradient magnitude differences and semi-global method with refinement step [J]. Electronics Letter, 2018, 54(14): 876-878.
- [30] 赵成星, 张晓玲, 杨宇. 基于SGBM半全局立体匹配算法的三维重建[J]. 激光杂志, 2021, 42(4): 139-143.
- ZHAO C X, ZHANG X L, YANG Y. 3D reconstruction based on SGBM semi-global stereo matching algorithm[J]. Laser Journal, 2021, 42(4): 139-143.

Ranging technology of unmanned feeding device based on binocular vision

YAN Lin, CAO Shouqi

(College of Engineering, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China)

Abstract: Based on binocular vision technology, a target detection and ranging technology suitable for unmanned feeding equipment is studied. A high-precision target detection and recognition and binocular ranging method was designed, and related simulation experiments were carried out. The experimental results show that the average accuracy of the improved recognition and positioning algorithm is 99.53%. When the binocular camera is 40 cm to 90 cm away from the feeding device, the relative error of ranging is between 0.59% and 1.26%, which can effectively assist the short-distance positioning feeding device. It better meets the docking function requirements of the feeding device and the silo, and has positive significance for enhancing the automation level of the feeding device.

Key words: automatic feeding car; feeding device; target detection; binocular ranging