

基于STM32的三角视差测量与演示装置设计

宋俊宏, 庄智颖*

东莞理工学院粤台产业科技学院, 广东 东莞

收稿日期: 2025年5月26日; 录用日期: 2025年7月10日; 发布日期: 2025年9月4日

摘要

针对当前天文科普教育领域缺乏展示天文观测原理的互动性、自动化的互动装置问题, 本文以三角测距方法为基础设计了一种基于STM32的交互式视差测量演示装置。该装置以电机、舵机和摄像头组成测距云台模块; 并通过RS485通信和CRC-16/MODBUS校验实现对编码电机的精准控制, 且利用YOLO V5进行实时目标检测。测距数据与角度信息通过STM32与PC端交互, 并在Unity 3D上开发的UI人机交互页面中实时虚拟仿真模拟及标注辅助测量线, 直观模拟三角视差现象。实验表明, 该装置具备高自动化、强互动性和可视化优势, 可有效提升天文科普教学效果。

关键词

三角测距, Unity 3D, STM32, 物体识别与跟踪

Design of a Triangular Parallax Measurement and Demonstration Device Based on STM32

Junhong Song, Chih-Ying Chuang*

Guangdong-Taiwan College of Industrial Science & Technology, Dongguan University of Technology, Dongguan Guangdong

Received: May 26th, 2025; accepted: Jul. 10th, 2025; published: Sep. 4th, 2025

Abstract

In response to the current lack of interactive and automated demonstration devices for showcasing astronomical observation principles in science education, this paper designs an STM32-based interactive parallax measurement demonstration device based on the triangulation method. The device consists of a ranging pan-tilt module composed of motors, servo motors, and a camera. It achieves precise control of the encoded motors via RS485 communication and CRC-16/MODBUS verification, while utilizing YOLO V5 for real-time target detection. The ranging data and angle

*通讯作者。

information are exchanged between the STM32 and the PC, and are virtually simulated in real-time on a UI human-machine interaction page developed in Unity 3D, with auxiliary measurement lines annotated to visually demonstrate the triangular parallax phenomenon. Experiments show that the device offers high automation, strong interactivity, and visual advantages, effectively enhancing the effectiveness of astronomical science education.

Keywords

Triangulation, Unity 3D, STM32, Object Detection and Tracking

Copyright © 2025 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

在当前的天文科普教育领域,如科学馆、天文馆、学校等科普场所,用于视差测量的演示模型和装置较为匮乏。而且现有的视差测量演示装置大多依赖于原理图或者静态模型,缺乏互动性和实时模拟能力;不能真的去模拟地球公转视角变化下恒星位移变化,难以使观众,尤其是学生对周年视差有充分的理解。此外,由于操作复杂或自动化程度不高,教师和讲解员在使用这些资源进行教学时,往往需要额外的解释和辅助材料,影响了教学质量。本装置的设计,需要涉及机械结构设计、单片机与电机驱动器和电脑通信、目标检测与跟踪、人机交互页面搭建与单片机交互等内容;国内外学者针对这些领域的内容,展开了广泛研究。

刘文龙基于 STM32F103 和 MODBUS RTU 协议开发了多驱动器协同运动控制系统,通过电机专用驱动芯片实现精准控制[1];李琳等设计了步进电机实时监测系统,结合 STM32 实现了电压、频率等参数的动态采集[2]。蔡森和李金承等分别研究了 MODBUS RTU 协议和 RS485 总线在多设备数据传输中的应用,为系统通信架构提供了参考[3][4]。谭斌等创新性地将 YOLO V5 与视差神经网络结合,通过双目摄像头图像和几何关系优化测距精度[5];费杰等通过串口通信实现了 DR 设备三维模型的控制,其 3D Max 建模与 Unity 驱动的流程为本研究提供了技术模板[6];狄磊开发的普通车床虚拟仿真系统详细探讨了 UI 设计、模型动态控制等关键问题[7]。刘玉均和冯雨轩等分别基于 Unity 3D 开发了工业机器人实训系统和果园监控系统,验证了 STM32 与 UNITY 通过串口/TCP-IP 通信的可靠性[8][9]。Wang X 等将 STM32 与传感器、YOLO 算法结合,开发了智能消毒控制系统,并应用动态调节策略,进一步拓展了目标检测的工程应用场景[10]。Xia K 等人探讨了滑环供电、电池供电和旋转变压器供电等电源、信号交互的优劣,为本文旋转部件供电方案提供参考[11]。Fajrianti ED 等通过 YOLO 与 UNITY 的交互,实现了基于深度学习的实时目标识别,验证了跨平台整合的可行性[12]。

本文重点解决演示装置的多设备协同控制、实时目标检测与虚拟仿真交互等关键问题。系统采用 STM32 作为主控芯片,通过 RS485 总线和 MODBUS RTU 协议控制步进电机,驱动测距组件进行精确位移和角度调整。在 PC 端,通过串口通信实现 STM32 与 UI 之间的数据交互,由 Pycharm 运行 YOLO V5 算法实时检测目标物体并提取坐标,再通过 Unity 3D 构建三维模型,动态展示测量过程及数据。

2. 总体方案设计

2.1. 三角测距方法

视差,是指当观察者从两个不同位置观察同一个远方物体时,该物体相对于背景的相对位置会发生

的微小变化。如果将地球在轨道上的两个位置 A 与 B、太阳 O 和恒星 E 看作一个三角形的三个顶点, 通过地球到太阳的平均距离 R、地球两个位置与太阳连线的夹角 $\Delta\theta_1$ 、测量到的视差角 $\Delta\theta_2$ 和观测恒星的仰角 θ_3 , 可以利用三角函数计算出恒星到地球的实际距离 d。三角关系平面图如图 1 所示, 其计算公式为

$$D = AB = 2 \cdot R \cdot \sin \frac{\Delta\theta_1}{2} = 2 \cdot R \cdot \sin \frac{|\theta_1 - \theta'_1|}{2} \quad (1)$$

$$AE = BE = \frac{D}{2 \cdot \sin \frac{\Delta\theta_2}{2}} = \frac{D}{2 \cdot \sin \frac{|\theta_2 - \theta'_2|}{2}} \quad (2)$$

$$d = \frac{AE}{\cos \theta_3} \quad (3)$$

其中, $\Delta\theta_1$ 通过步进电机两个位置时的不同角度参数 θ_1 和 θ'_1 做差求得, $\Delta\theta_2$ 通过云台处编码电机的两个位置时的不同角度参数 θ_2 和 θ'_2 做差求得。

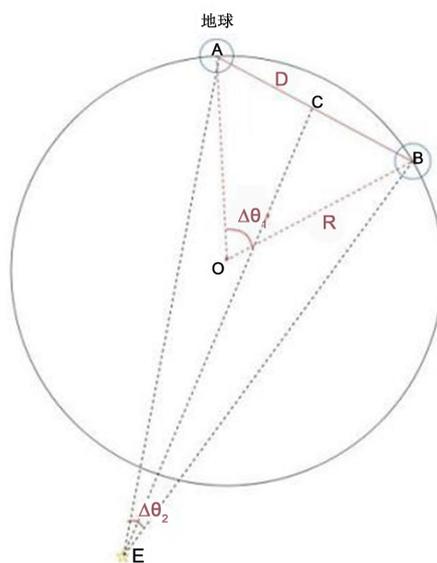


Figure 1. Parallax measurement plan of any two positions
图 1. 任意两位置视差测量平面图

2.2. 装置运行模式

在装置上电后进入待机模式, 地球模型在中心电机的带动下, 由当前位置以 $6^\circ/\text{s}$ 的速率逆时针转动回到春分点, 本装置定其为起点; 另外, 按照 24 节气将 360° 进行划分, 用来指示地球运动的位置, 其模型如图 2 所示; 在此状态下, 可进行机械原点的校准复位, 以消除长时间运转过程累积的电机、舵机读数偏差。

当按下“手动测量”按钮, 则由“待机模式”切换为“手动测量模式”, 此模式能为科普工作人员提供便捷的视差测量实操演示实验, 手动测量模式流程图如图 3 所示。在此模式下, 可以在 UI 界面上对地球位置和天文望远镜的指向进行调整, 并使所需测量目标位于望远镜视野中央; 这时可按下“移动完成”按钮, 开发板读取当下中心电机和云台电机的位置和角度, 分别记为 A、 θ_1 和 θ_2 。继续通过软件移动地球位置和天文望远镜指向, 当第二次按下“移动完成”按钮, 开发板读取该时刻中心电机、云台电机和

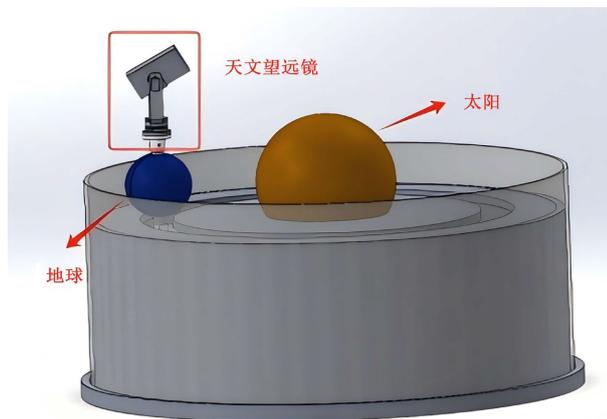


Figure 2. Model diagram of parallax measurement demonstration device
图 2. 视差测量演示装置模型图

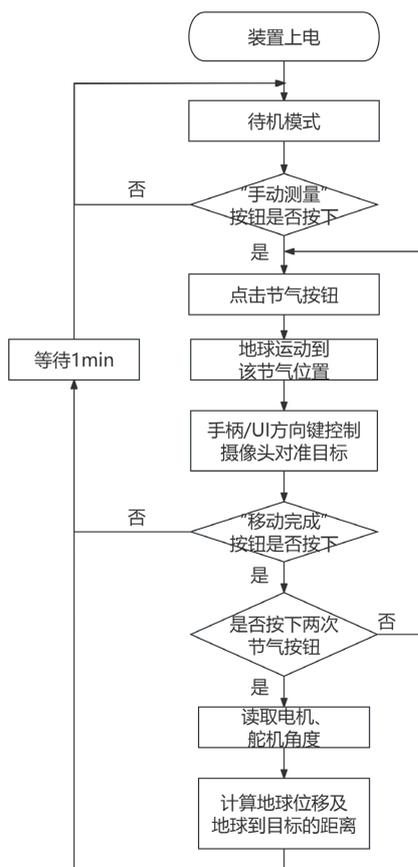


Figure 3. Flowchart of manual measurement mode
图 3. 手动测量模式流程图

舵机的位置和角度, 分别记为 B 、 θ'_1 、 θ'_2 和 θ_3 。并在 UI 界面显示地球位移及天体与地球距离的数值。在测量结果显示 1 min 无操作后, 自动退出“手动测量模式”, 进入“待机模式”。在待机模式下, 按下 UI 界面的任意节气按钮, 则切换为“自动测量模式”, 同时地球由当前位置以 $6^\circ/s$ 的速率逆时针转动到该节气的预设位置并停下。

自动测量模式下, 开启 YOLO 程序对物体进行识别与跟踪, 控制云台使得测量目标位于望远镜视野中央后。按下“移动完成”按钮并按下第二个节气按钮, 地球转动到该节气的预设位置, 并且天文望远镜画面跟踪天体并将其居中后, 开发板读取该时刻中心电机、云台电机和舵机的角度, 自动测量模式流程图如图 4 所示。完成两个位置的测量, 系统自动计算视差测量结果于软件相应位置, 以下介绍完成本系统的硬件与软件设计。

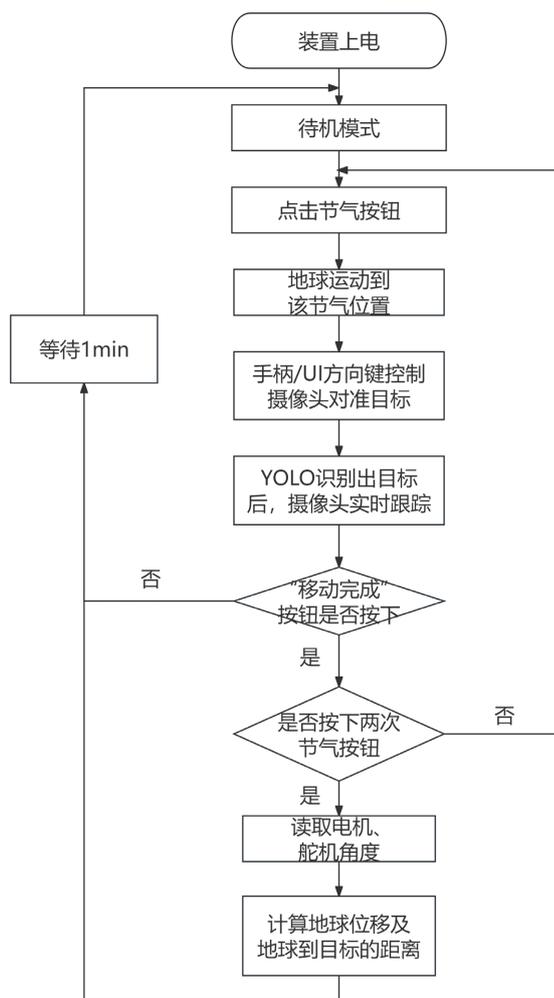


Figure 4. Flowchart of automatic measurement mode
图 4. 自动测量模式流程图

3. 系统硬件设计与实现

3.1. 机械结构设计

装置简化后是一个简单的中心铰链-杆机构, 86 闭环步进电机安装在装置的中心部分, 该部分就是装置主要的动力部分, 通过五通联轴器、杆固定太阳模型所在的平面, 并带动地球、望远镜部分进行旋转。为了计算从不同位置观察待测目标的方位角和高度角变化, 需要设计一个能够控制 2 个自由度转动和获取当前角度参数的云台, 可以通过编码电机 DM3505、舵机 SG90 和摄像头来实现。通过在地球位置和主轴位置各安装一个导电滑环来解决旋转平台的电交换问题, 装置简化建模图如图 5 所示。

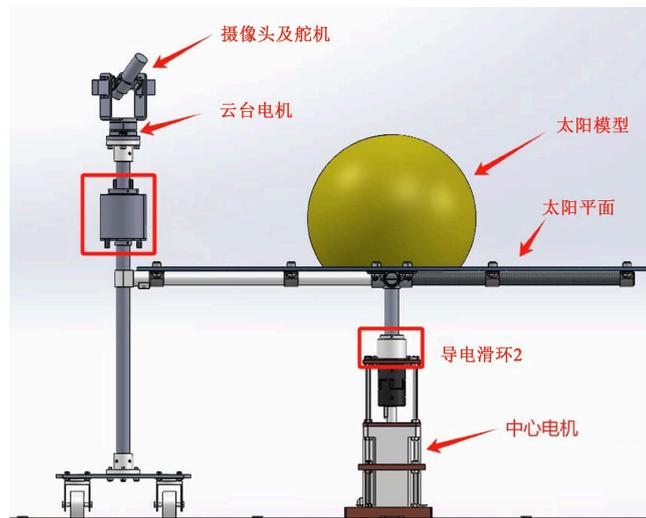


Figure 5. Simplified modeling diagram of the device
图 5. 装置简化建模图

3.2. STM32F103C8T6 主控模块

主控模块选择 STM32F103C8T6 开发板, 以此满足 1 个 ADC 数模转换器、2 个 USART 串口和 3 个定时器的调用需求, 主控模块电路图如图 6 所示。

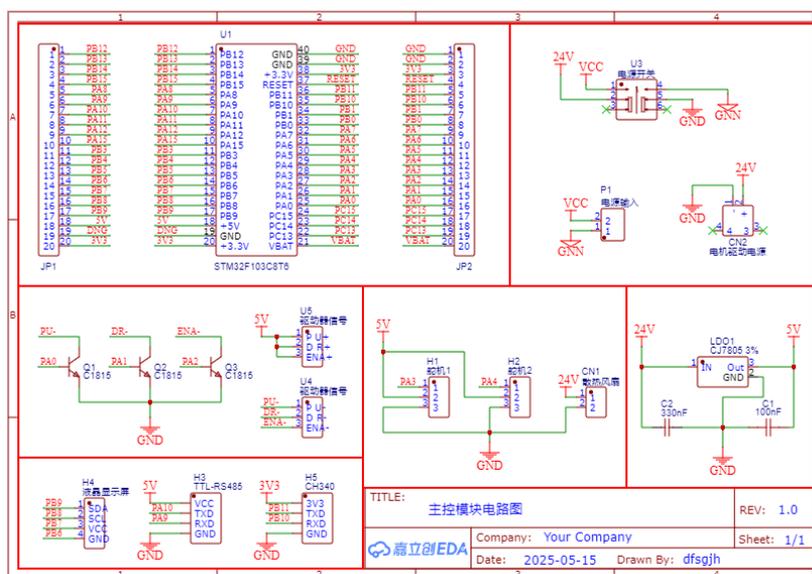


Figure 6. Master module circuit diagram
图 6. 主控模块电路图

其中 ADC 模块将双轴按键摇杆输入进来的模拟信号转换为 0~255 的数字信号; USART1 为 STM32 与 AS5048A 驱动器之间的串口通信, USART3 为 STM32 与 PC 端 UI 之间的串口通信; 定时器 Timer2 是系统的总中断程序, 每 1 ms 溢出一次, 为 PWM 信号、串口通信和 ADC 提供计数服务, 定时器 Timer4 是补充 Timer2 的 PWM 引脚不足需求, 定时器 Timer3 在每次需要长时间的等待程序中开启, 比如在自

动测量模式的某一步骤中, 如果长时间无动作, 则由 Timer3 进行打断, 切换回待机模式; 主控系统框架如图 7 所示。

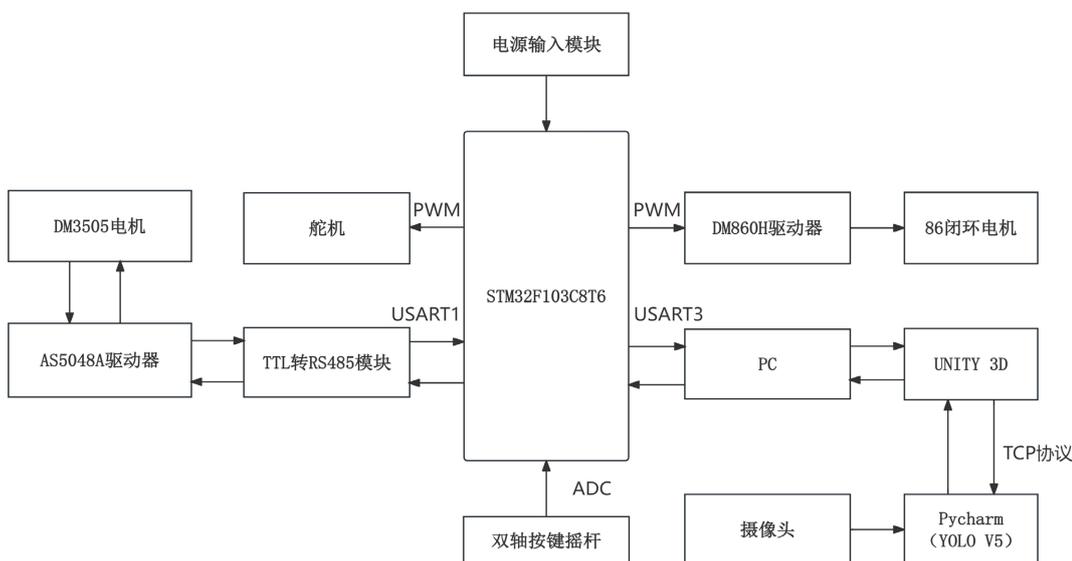


Figure 7. Main control system framework diagram
图 7. 主控系统框架图

3.3. 电机驱动方案设计

86 闭环步进电机的 DM860H 驱动器之间需要设计电路对脉冲信号、方向信号和使能信号进行处理, 才能使 STM32 通过 PWM 信号输出脉冲对驱动器进行控制, 如图 8 所示采用共阳极接法进行连接, 驱动器脉冲细分选择 8000, 此时单片机输出脉冲与驱动器接收脉冲呈 1:1 关系, 此时 STM32 输出 1 个脉冲中心电机转动 0.09°; 由于中心电机没有磁编码器, 无法获取电机实时单圈绝对角度, 所以通过对 STM32 输出的脉冲次数, 来计算电机现在的转动位置, 即每输出 4000 次脉冲信号, 则中心电机转动 360°。

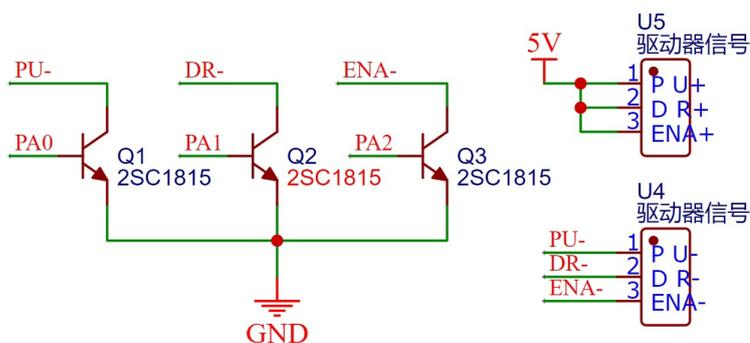


Figure 8. Common anode wiring diagram of STM32F103C8T6 and DM860H
图 8. STM32F103C8T6 与 DM860H 的共阳极接线图

编码电机 DM3505 的 AS5048A 驱动器与 STM32 进行 RS485 通信时, 需要将数据打包成 16 进制的数组形式, 包含协议头、包序号、设备地址、命令码、数据长度、数据字段和 CRC16 校验码。主要使用三个指令对编码电机进行控制: 命令码 0X0B 为读取电机系统实时数据; 命令码 0X54 为电机速度闭环控

制, 输入的参数为 int16_t 类型, 数值范围为-32768~32767, 当参数值为负数时, 电机反转; 命令码 0X56 为电机相对位置闭环控制, 电机基于当前位置相对运动的角度; 如表 1 所示。当 AS5048A 接收命令码为 0X0B 的数据包时会回传当前单圈绝对值角度、速度、电源电压等数据如表 2 所示。

Table 1. Format of the data packet for the 0X56 command code
表 1. 0X56 命令码的数据包格式

序号	字段名称	字节	内容说明(数据)
DATA[0]	协议头	1	0x3E
DATA[1]	包序号	1	0x00-0x0FF
DATA[2]	设备地址	1	0x01~0x20
DATA[3]	命令码	1	0x56
DATA[4]	数据包长度	1	0x02
DATA[5]	相对位置低字节	2	相对运动的 Count 值 int16_t 数据类型; 电机旋转一圈的 Count 值为 16384
DATA[6]	相对位置高字节		
DATA[7]	CRC16 校验低字节	2	DATA[0]~DATA[6]字节 CRC16 校验
DATA[8]	CRC16 校验高字节		

Table 2. The data packet format returned by AS5048A
表 2. AS5048A 回传的数据包格式

序号	字段名称	字节	内容说明(数据)
DATA[0]	协议头	1	0x3C
DATA[1]	包序号	1	0x00~0x0FF
DATA[2]	设备地址	1	0x01~0x20
DATA[3]	命令码	1	0x0B
DATA[4]	数据包长度	1	0x0D
DATA[5]	单圈绝对值低字节	2	电机单圈绝对值角度(uint16_t) $Angle^\circ = val*(360/16384)$
DATA[6]	单圈绝对值高字节		
DATA[7]	多圈绝对值低字节 1	4	电机多圈绝对值角度(int32_t) $Total\ Angle^\circ = val*(360/16384)$
DATA[8]	多圈绝对值字节 2		
DATA[9]	多圈绝对值字节 3		
DATA[10]	多圈绝对值高字节 4		
DATA[11]	机械速度低字节	2	电机速度(int16_t) 单位为 0.1Rpm
DATA[12]	机械速度高字节		
DATA[13]	电源电压	1	电源电压 = val*0.2 (V)
DATA[14]	系统电流	1	系统电流 = val*0.03 (A)
DATA[15]	系统温度	1	系统温度 = val*0.4 (°C)
DATA[16]	系统故障码	1	[Bit0]: 电压故障 [Bit1]: 电流故障 [Bit2]: 温度故障

续表

DATA[17]	电机运行状态	1	0: 关闭状态 1: 开环模式 3: 速度模式 5: 位置模式
DATA[18]	CRC16 校验低字节	2	DATA[0]~DATA[17]字节 CRC16 校验
DATA[19]	CRC16 校验高字节		

4. 系统软件设计

4.1. 星星检测模型训练

作为室内的三角视差演示装置, 为了贴近于天文中对远距离恒星进行视差测距, 所以购买一些星星模型作为测距的参考目标, 如图 9 所示, 并在 YOLO 模型的训练中, 将星星模型按形状分别标注为 starA (雪花片)、starB (八角星) 和 sphere (圆球), 吊顶行星灯标注为 starC。并将 starA 悬挂于装置的正上方, 作为自动测量演示模式的默认测距目标, 其他星星固定于房间的各个角落。

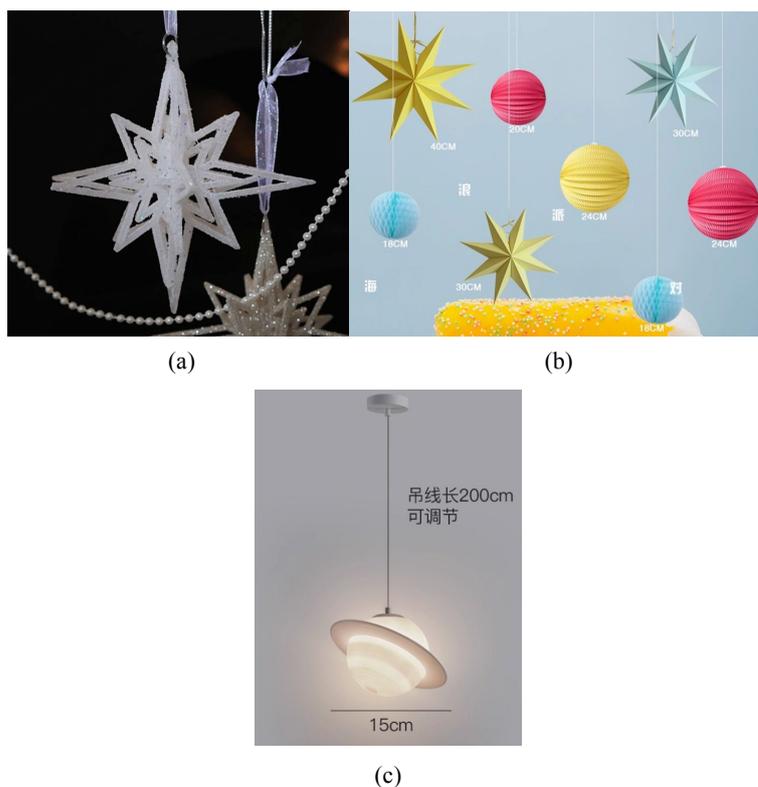


Figure 9. Star model (a) starA, (b) starB and sphere (c) starC (image source: Taobao)
图 9. 星星模型(a) starA, (b) starB 和 sphere (c) starC (图片来源: 淘宝)

LabelU 是一个图形化标注工具, 用于为图片中的目标物体绘制边界框并生成对应的标签文件; YOLO 要求标签文件为.txt 格式, 每行包含一个目标的类别编号和归一化的边界框坐标, 包含 class_id、x_center、y_center、width 和 height, 每标注一张图片都会生成同名的.txt 文件。通过拍摄实物图和在网上搜集相关的星星模型的图片, 将搜集的图片按 80%训练集、20%验证集划分到 train 和 val 文件夹中, 并创建

star.yaml 文件用来指向训练集和验证集的图片目录和标注类别数量名称。

在 YOLO V5 模型训练中, workers 为设置数据加载的线程数, 能够加快数据预处理和加载速度, 但值过大也会增加内存负担; batch-size 为设置单次迭代训练的样本数, 值越大训练越稳定, 但需要更多显存, 而值越小收敛方向可能震荡; epochs 为设置训练轮次, 不足会导致欠拟合, 过多会导致过拟合。使用指令 `--data data/star.yaml --workers 4 --batch-size 16 --epochs 100 --device 0` 设置数据加载的线程数为 4、每个批次的样本数为 16、训练轮数为 100 轮对 star 文件下的 train 和 val 文件进行训练。

初始阶段 epochs0~epochs10 时, 评估指标 precision、recall 和 mAP 均全为 0, 可能是因为模型刚开始学习, 预测能力弱, 模型未学习到有效特征; 此时验证损失 val/box_loss 和 val/cls_loss 快速下降, 高学习率快速收敛。在突破阶段 epochs15~epochs25 时, recall 从 0.11 升到 0.63; mAP@0.5 出现首次跃升, 在 23 轮由 0 升到 0.235; 验证损失 val/obj_loss 在第 20 轮附近反弹, 呈现过拟合风险。在优化阶段 epochs30~epochs50 时, precision 从 0.18 升到 0.87, 精度大幅提升; 而 mAP@0.5:0.95 由 0.017 升到 0.286, 定位能力增强; 在收敛阶段 epochs60~epochs99, mAP@0.5 由 0.59 平稳上升至 0.84; 验证损失 val/box_loss 和 val/cls_loss 稳定下降, 学习率衰减; 如图 10 所示。

recall 上升早于 mAP, 说明早期检测框质量差; 在第 20 轮附近出现的 obj_loss 验证损失震荡, 后续需要增加数据多样性; epochs98 的 mAP@0.5 = 0.83501 与 epochs99 相近但 obj_loss 更低, 训练轮数 100 轮基本满足需求, 但仍需要对比 epochs95~epochs99 多模型测试。

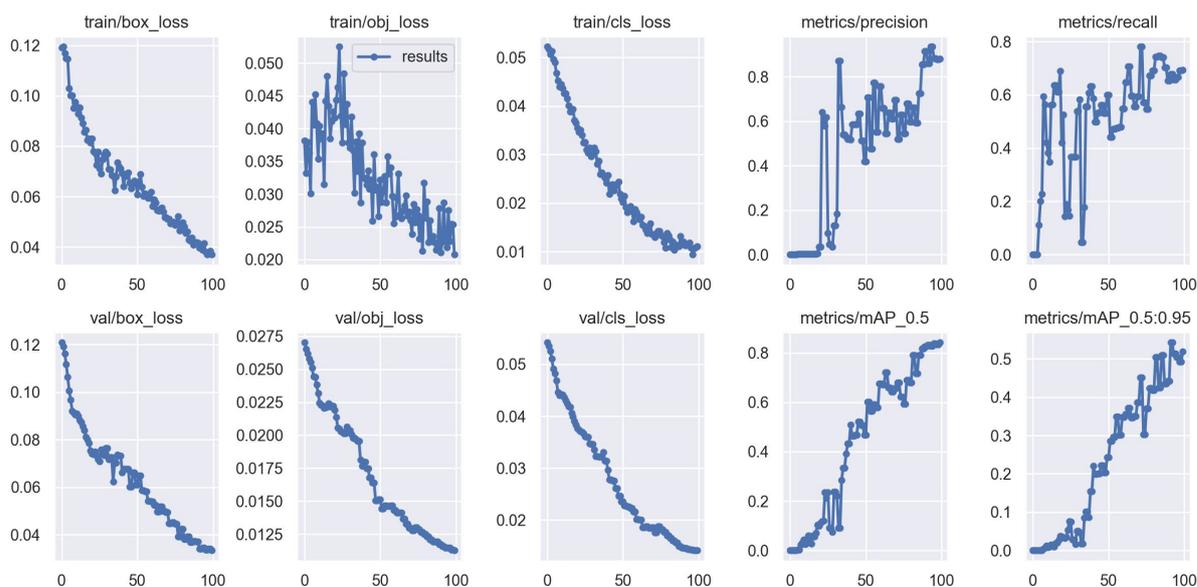


Figure 10. Result figure of model training

图 10. 模型训练结果图

类别数量分布图展示数据集中各个类别的样本数量, 帮助判断是否存在类别不平衡问题, 理想情况下, 各类别的样本数量应相对均衡。starC 和 sphere 的柱状图明显低于其他类别, 说明该类别样本不足, 可能导致模型对其学习不充分。目标宽高相关性图通过散点图展示目标宽度和高度的相关性, 分析目标的整体形状分布。如果点集中在对角线附近, 说明目标多为方形。后续进行模型训练仍需增加样本数量, 使各类别的样本数量相对均衡, 同时使用多尺度训练, 增强模型对不同尺寸的适应性。类别数量分布图和目标宽高相关性图如图 11 所示。

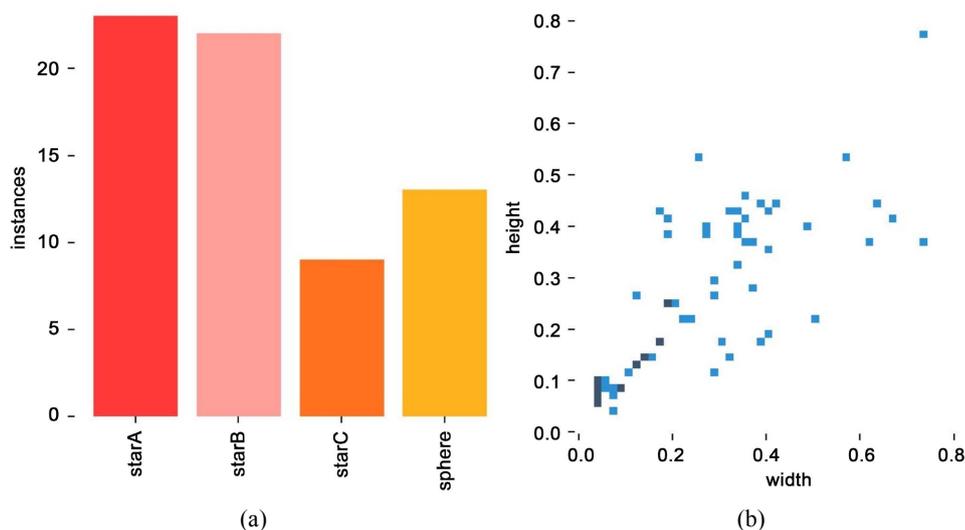


Figure 11. Category quantity distribution chart and target width-height correlation chart. (a) Category Quantity Distribution Chart; (b) Target width-height correlation graph

图 11. 类别数量分布图和目标宽高相关性图。(a) 类别数量分布图; (b) 目标宽高相关性图

Precision-Recall 曲线图展示模型在不同置信度阈值下, 精确率(Precision)和召回率(Recall)的权衡关系; 召回率表示模型能检测出多少真实目标, 精确率表示模型预测为正的样本中, 有多少是真的正样本, 两者均是越高越好。模型训练的整体表现为 $mAP@0.5 = 0.832$, 模型检测效果中等偏上; 其中 starC 曲线较高, 说明该类别检测效果很好($AP = 0.995$), sphere 曲线较低, 可能该类别样本较少或特征不明显($AP = 0.698$), 主要原因还是样本量少导致的, 如图 12 所示。

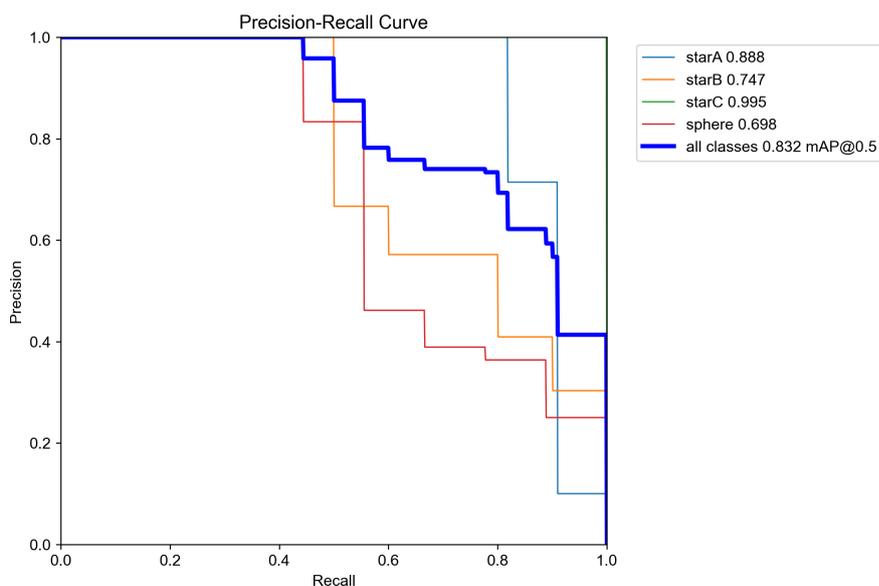


Figure 12. Precision-Recall curve chart

图 12. Precision-Recall 曲线图

F1-Confidence 曲线图展示 F1 分数, 即 Precision 和 Recall 的调和平均数, 随置信度阈值的变化; 其中模型预测的置信度(Confidence)阈值设置范围是 0~1, F1 分数范围也是 0~1, 但 F1 分数越高越好。在图

13 中可以看出, 当置信度 = 0.484 时, F1 分数达到最高 0.74; starA 和 starC 的 F1 分数较高, 说明该类别分类更准, starB 和 sphere 的 F1 分数较低, 可能误检较多。检测样图如图 14 所示。

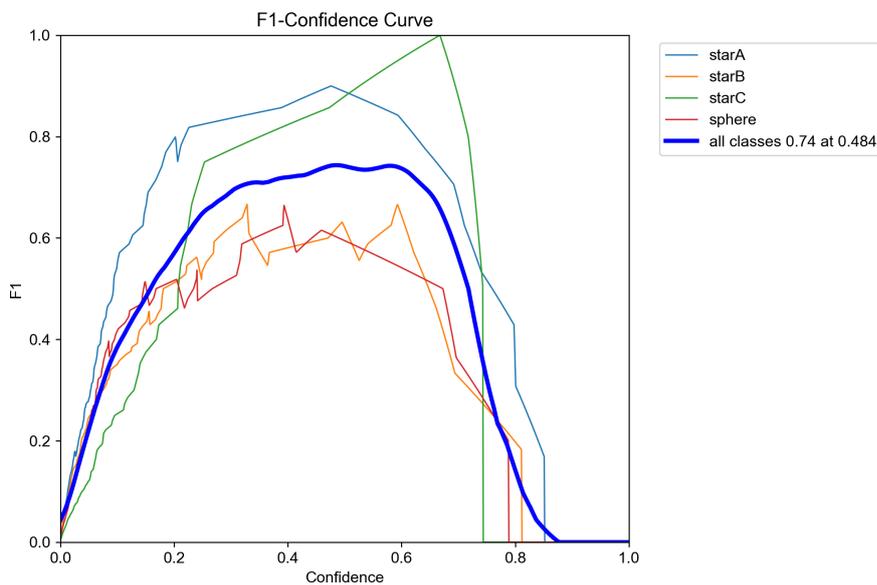


Figure 13. F1-Confidence curve chart
图 13. F1-Confidence 曲线图



Figure 14. Object recognition sample image
图 14. 物体识别样图

4.2. UI 设计

UI 框架在 Unity 3D 中搭建, 需要将 STM32 与 UI 进行串口通信, 将中心电机、云台电机和舵机的角度参数传输到 UI 当中, 同时将 UI 上的“移动完成”功能按键和节气位置按键信息回传至 STM32, 开启

下一步骤。由于 Pycharm 中运行的 YOLO V5 模型使用的是 Python 框架的代码, 需要通过 TCP 协议与 UI 中的 C# 框架进行通信。UI 中的窗格主要分为 4 个, 左上角云台的高度角和方位角, 左下角显示测距结果, 右上角显示电脑摄像头画面, 右下角显示虚拟仿真的 3D 模型, 将于后续的装置图中呈现。

在 UI 中需要嵌入摄像头画面作为测距实时影像, 同时 YOLO V5 在物体检测的过程中也需要调用摄像头; 但 Unity 和 Pycharm 同时访问同一个摄像头设备, 会导致摄像头资源冲突, 摄像头设备在同一时间只能被一个程序独占访问。为解决这一问题, 使用虚拟摄像头软件(OBS Virtual Camera)将摄像头画面共享给这两个程序, 并在两程序中指定使用虚拟摄像头。

为了在右下角的窗格中实时显示 3D 模型, 需要创建一个太阳模型和地球望远镜模型, 望远镜架设在地球上, 围绕着太阳进行公转, 将设计树下的已经悬挂好 RawImage 组件的 CameraModel 视角正对 3D 模型; 望远镜的方位角和高度角变化, 即是云台的方位角和高度角变化, 而地球公转的角度, 模拟的是中心电机的转动角度。地球和望远镜创建重合的两份, 在第一个节气位置时, 第一组地球和望远镜的位置在该帧下停止, 另一组地球和望远镜继续运动到第二节气位置。而在太阳系模型周边, 创建一圈 24 节气按钮, 作为地球运动位置指示和运动位置选择按钮, 并将按下的节气参数回传至 STM32 中进行处理, 计算两节气位置地球距离, Unity 中的日地模型和 24 节气 3D 模型, 如图 15 所示。

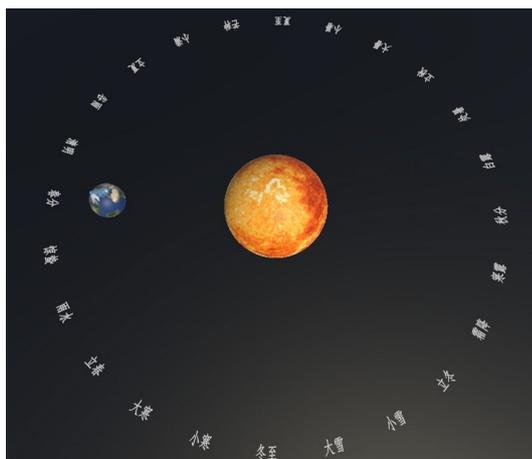


Figure 15. The Sun-Earth model and the 24-solar-term 3D model
图 15. 日地模型和 24 节气 3D 模型

5. 系统测试与分析

在装置正上方悬挂 starA, 在一侧稍远的天花板上悬挂 starB 和 sphere 作为测试, 场地布置如图 16 所示。连接电源开机后, 装置进入待机模式, 点击“春分”按钮让云台运动到起点, 且作为第一个测距位置点并开启自动测量模式。

在 UI 中点击键盘方向键, 将摄像头中心对准 starA, 点击确定后, STM32 读取中心电机、云台电机和舵机角度; 摄像头指向位置和 UI 页面如图 17 所示, 在 UI 页面中可以看到, 右上角摄像头窗格中, 已经将 starA 居于摄像头画面中央, 右下角 3D 模型中, 地球的位置恰好在“春分”位置停留。

点击第二节气位置, 此处以秋分为例, 在 UI 中第一组地球和望远镜会留在原来位置, 由第二组地球和望远镜进行运动。待装置云台运行到该位置后, 重新调整摄像头角度, 使摄像头画面中心正对 starA; 点击确认后 STM32 读取此时中心电机、云台电机和舵机角度, 同时在 YOLO V5 物体检测下, 识别出 starA, 将 starA 标注在“天体与地球距离”左侧, 并计算结果; 回顾图 1 中, 由于此时中心电机旋转角度



Figure 16. Site layout plan
图 16. 场地布置图

(即 $\Delta\theta_1$)为 180° , 云台电机一直是做向心的圆周运动, 故角度无变化; 且线段 AE 和线段 D 重合, AE 长度的两倍与此时的直径 D 相等为 80 cm, 读取的舵机高度角为 75° ; 通过计算得地球模型与 starA 的距离 d 加上摄像头旋转中心离地高度 27.5 cm 为 200.2 cm。为验证距离 d 的准确性, 需要测量 starA 离地球模型平面的垂直距离, 再通过正弦角的换算得到垂直高度为 193.4 cm。

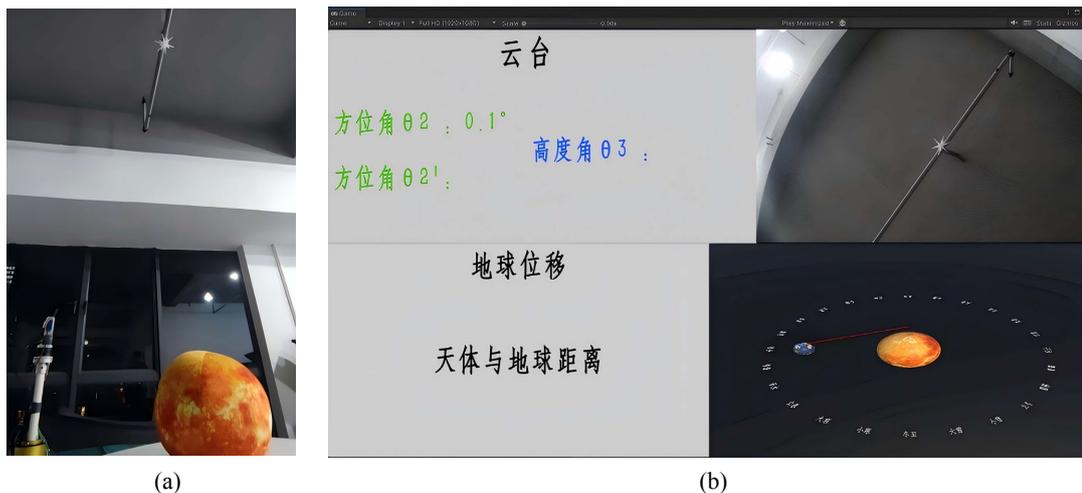


Figure 17. Diagram of the first Solar Terms device positioning (a) Camera pointing position (b) UI page
图 17. 第一节气位置装置图 (a) 摄像头指向位置 (b) UI 页面

第二个节气位置确认后, 实际测量高度和 UI 中角度、距离显示如图 18 所示, 其中在实际测量高度图片中, starA 正对着卷尺的水平高度约为 193.4 cm, 与之前换算出的垂直距离相符; UI 页面中, 右上角的窗格已经将 starA 居于摄像头画面中央, 右下角 3D 模型窗格中, 有两个地球模型, 左边“春分”旁边的地球是第一节气位置留下的, 而右边停留在“秋分”位置的地球模型, 则是第二节气位置留下的; 两个望远镜均射出一条红色实线, 交汇点代表 starA 的位置。

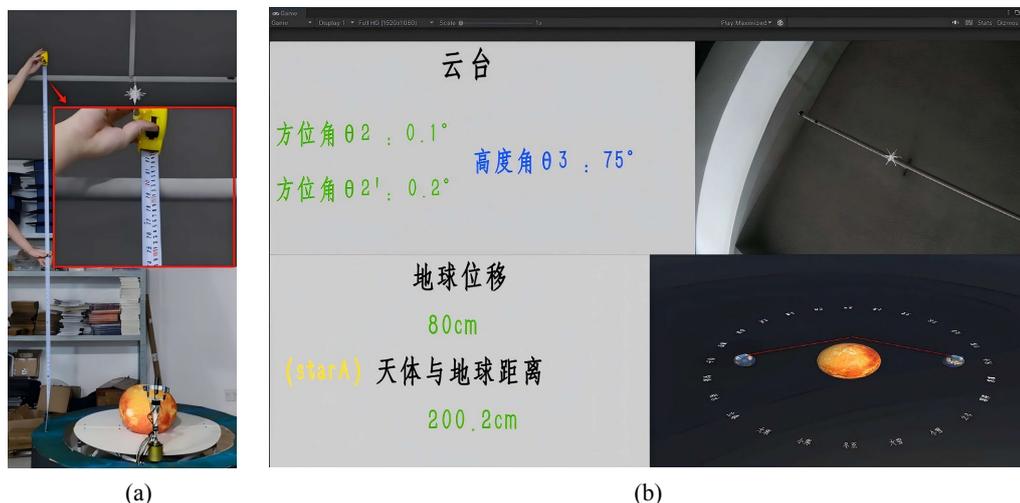


Figure 18. Diagram of the second Solar Terms device positioning (a) Actual measured height (b) UI page
图 18. 第二节气位置装置图 (a) 实际测量高度 (b) UI 页面

由于摄像头旋转中心离地高度和 starA 的垂直高度均是用卷尺测量, 造成误差较大, 后续改进将使用更精密的仪器进行修正。

6. 结论

本研究设计了一种以 STM32 为核心控制器的视差测量演示装置, 此装置以步进电机、编码电机、舵机和摄像头对日地模型和天文望远镜进行模拟, 采用 CRC16/MODBUS 校验来保证数据传输的准确性, 克服了步进电机接收脉冲实现转动但无法获取当前转动角度的缺点; 运用了导电滑环对旋转部件进行供电和信号传输, 简化了结构复杂度; 通过在 Unity 中设计 UI 页面和虚拟仿真模型, 对实物装置进行实时位置模拟, 在 UI 中实现人机交互, 提高装置的互动性和趣味性; 同时增加物体检测和跟踪功能, 让测距过程更加智能化, 也验证了 Python 语言框架和 C#语言框架下通信的可靠性。

后续研究仍需提高装置测距精度, 拓展物体检测目标类别, 让适配场合更加广阔; 完善 UI 框架的搭建, 创建电脑的可执行.exe 程序。目前使用的换算公式并不是很准确, 特别是遇到两节气位置与待测星体视线重合或比较接近的情况不适用, 而且两次运动位置, 舵机角度不一定完全等同, 导致距离换算误差较大, 这也是之后改进所要着重处理的方面。

基金项目

本研究项目开发受云南千星天文台和东莞朱雀权衡教育投资有限公司资助。

参考文献

- [1] 刘文龙. 基于 Modbus 和嵌入式的步进电机控制设计[J]. 家电科技, 2022(S1): 438-441.
- [2] 李琳, 魏立峰, 贾伟建. 基于 stm32 的步进电机实时监测系统设计[J]. 信息系统工程, 2016(2): 31-32.
- [3] 蔡淼. Modbus RTU 协议中字节型 CRC-16 算法分析与实现[J]. 物联网技术, 2015, 5(3): 35-36+39.
- [4] 李金承, 雷青松, 刘雪莲, 等. 基于单片机和 RS485 的电子工业洁净室监测系统[J]. 科技与创新, 2024(1): 28-30.
- [5] 谭斌, 王婷. YOLOv5 与视差计算算法的目标检测与测距系统设计[J]. 科学技术与工程, 2024, 24(21): 9015-9024.
- [6] 费杰, 鲁博洋, 唐鹤云, 等. 基于 Unity 与单片机的 DR 可交互仿真教学工作站的设计与应用[J]. 实验室研究与探索, 2019, 38(8): 110-113+133.
- [7] 狄磊. 基于 Unity 的普通车床虚拟仿真学习系统[D]: [硕士学位论文]. 南京: 南京邮电大学, 2019.

- [8] 刘玉均. 基于 Unity3D 的工业机器人现场编程实训仿真教学系统设计[J]. 现代计算机, 2024, 30(19): 101-105.
- [9] 冯雨轩, 王圣玥, 杨丹丹, 等. 物联网智能浇灌控制系统[J]. 计算机科学与应用, 2017, 7(4): 329-335.
- [10] Wang, X., Li, X., Du, H., *et al.* (2024) Design of an Intelligent Disinfection Control System Based on an STM32 Single-Chip Microprocessor by Using the YOLO Algorithm. *Scientific Reports*, **14**, Article No. 31686. <https://doi.org/10.1038/s41598-024-81626-1>
- [11] Xia, K., Zhu, B., Lou, Y., *et al.* (2024) A Rotary Wireless Power Transfer System with Rail-Type Coupling Structure. *IEEE Access*, **12**, 63967-63975. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2024.3393943>
- [12] Fajrianti, E.D., Panduman, Y.Y.F., Funabiki, N., *et al.* (2024) A User Location Reset Method through Object Recognition in Indoor Navigation System Using Unity and a Smartphone (INSUS). *Network*, **4**, 295-312. <https://doi.org/10.3390/network4030014>