本文引用格式：梅红樱,杜仕博,陈雪鹏,等.基于 OpenMV 的二维云台控制与追踪系统[J].自动化与信息工程,2025,46(6):40-47.
MEI Hongying, DU Shibo, CHEN Xuepeng, et al. A two-dimensional gimbal control and tracking system based on OpenMV[J]. Automation & Information Engineering, 2025,46(6):40-47.

基于 OpenMV 的二维云台控制与追踪系统*

梅红樱[1,2]　杜仕博[1,2]　陈雪鹏[1,2]　薛远赫[1,2]　孙棣[1,2]
孙光磊[1,2]　陈耀龙[1,2]　孙树祥[1,2]　文桦[1,2]　温华[1,2]

（1.黄淮学院电子信息学院/驻马店市太赫兹技术重点实验室，河南 驻马店 463000
2.黄淮学院/河南省智慧照明重点实验室，河南 驻马店 463000）

摘要：针对运动目标控制与追踪系统存在的复杂度高、追踪精度低且成本高等问题，提出基于 OpenMV 的二维云台控制与追踪系统。该系统由运动目标控制和运动目标自动追踪两个子系统组成：通过 OpenMV 摄像头采集矩形边框和红色激光笔光斑的坐标信息，并输入到 STM32-F103ZET6 单片机；该单片机结合 PID 算法控制二维云台旋转，使红色激光笔沿着矩形边框移动，绿色激光笔追踪红色激光笔；当红色、绿色激光笔光斑距离小于设定阈值时，系统即判定目标已被成功追踪，并触发声光报警信号。实验结果表明，该系统具有成本低、耗时短、追踪精度高等特点，为基于计算机视觉的控制与追踪系统提供参考方案。

关键词：OpenMV；二维云台；目标追踪；PID 控制；STM32

中图分类号：TP273　　**文献标志码：**A　　**文章编号：**1674-2605(2025)06-0006-08

DOI：10.12475/aie.20250606　　开放获取

A Two-dimensional Gimbal Control and Tracking System Based on OpenMV

MEI Hongying[1,2]　DU Shibo[1,2]　CHEN Xuepeng[1,2]　XUE Yuanhe[1,2]　SUN Di[1,2]
SUN Guanglei[1,2]　CHEN Yaolong[1,2]　SUN Shuxiang[1,2]　WEN Hua[1,2]　WEN Hua[1,2]

(1.Zhumadian Key Laboratory of Terahertz Technology, School of Electronic Information, Huanghuai University, Zhumadian 463000, China　2.Henan Key Laboratory of Smart Lighting, Huanghuai University, Zhumadian 463000, China)

Abstract: Aiming at the problems of high complexity, low tracking accuracy, and high cost in moving target control and tracking systems, a two-dimensional gimbal control and tracking system based on OpenMV is proposed. This system consists of two subsystems: moving target control and automatic moving target tracking. The OpenMV camera captures the coordinate information of the rectangular frame and the red laser pointer spot, which is then input into the STM32-F103ZET6 microcontroller. This microcontroller, combined with the PID algorithm, controls the rotation of the two-dimensional gimbal, causing the red laser pointer to move along the rectangular frame while the green laser pointer tracks the red one. When the distance between the red and green laser spots is less than a set threshold, the system determines that the target has been successfully tracked and triggers an audible and visual alarm signal. Experimental results show that the system features low cost, short time consumption, and high tracking accuracy, providing a reference solution for computer vision-based control and tracking systems.

Keywords: OpenMV; two-dimensional gimbal; target tracking; PID control; STM32

0　引言

计算机视觉是指通过数字图像或视频获取、处理、分析和理解视觉信息，使计算机能够模拟人类视觉系统功能的技术，被广泛应用于无人驾驶、医学诊断、工业生产、安全监控、农业等领域[1-3]。目标控制与追踪是计算机视觉领域的重要分支，其通过传感器识别

* 基金项目：黄淮学院 2019 年度高等教育教学改革研究项目（2019XJGLX0173）；黄淮学院 2024 年度高等教育教学改革研究项目（2024XJGZLX34）；黄淮学院专创融合课程（34132603）；黄淮学院青年骨干教师资助计划（501618401002）。

AUTOMATION & INFORMATION ENGINEERING

目标并提取特征；利用相关算法估计目标当前状态并预测其未来轨迹；根据目标当前状态与预期状态的偏差设计控制指令，并通过执行器调整目标行为，确保其按照预期状态运行。相较于传统的传感器数据融合追踪方法，其具有成本低、耗时短、追踪精度高等特点。文献[4]通过图像采集、手势检测与分割、特征提取、手势分类等步骤的视觉手势识别，实现了高效的人机交互。文献[5]采用多特征融合技术和卡尔曼粒子滤波算法，实现多个复杂场景的目标追踪任务，追踪精度比传统追踪方法提高约 4%。

二维云台是目标控制与追踪系统的核心部件之一，可确保目标始终处于视野范围内，其控制与追踪精度决定了目标控制与追踪的效果和可靠性。文献[6]在 A8 mini 云台系统中，结合 AI 技术实现了目标的实时跟随与捕捉，并通过实时对焦与变倍突出显示目标，确保目标始终处于画面中心且清晰可见。文献[7]提出的二维精密转台采用大尺寸中空及正交设计方法，能够支持俯仰和垂向旋转两轴的高精度、无限制旋转运动，适用于激光雷达、空中目标追踪等领域。文献[8]针对计算机数字控制加工过程中自由曲线轮廓追踪误差大的问题，提出了模糊 PID 控制器，并通过改进的粒子群优化算法调整其参数，提升了双轴轮廓追踪精度。文献[9]提出一种面向复杂环境的运动目标追踪与控制算法，能够在光照变化、遮挡等复杂条件下实时准确地追踪目标，并有效控制其运动轨迹。文献[10]提出一种结合双闭环控制和自适应卡尔曼滤波的机器人追踪与操控策略，提高了动态环境下的追踪精度和操作稳定性。然而，上述方法在实际应用中仍面临若干挑战，如光照、遮挡物等环境条件发生变化时，系统性能可能受影响，导致追踪精度下降；模糊逻辑和神经网络等算法通常依赖复杂的调参过程以及大量的训练数据，增加了开发成本和技术难度。

为解决二维云台控制与追踪系统在复杂环境下的高稳定性及低资源需求，本文提出基于 OpenMV 的二维云台控制与追踪系统（以下简称二维云台控制与追踪系统）。该系统利用 OpenMV 摄像头配合 STM32-F103ZET6 单片机（以下简称 STM32 单片机）及二维云台实现目标的控制与追踪，为基于计算机视觉的控制与追踪系统优化设计提供参考方案。

1　系统设计思路

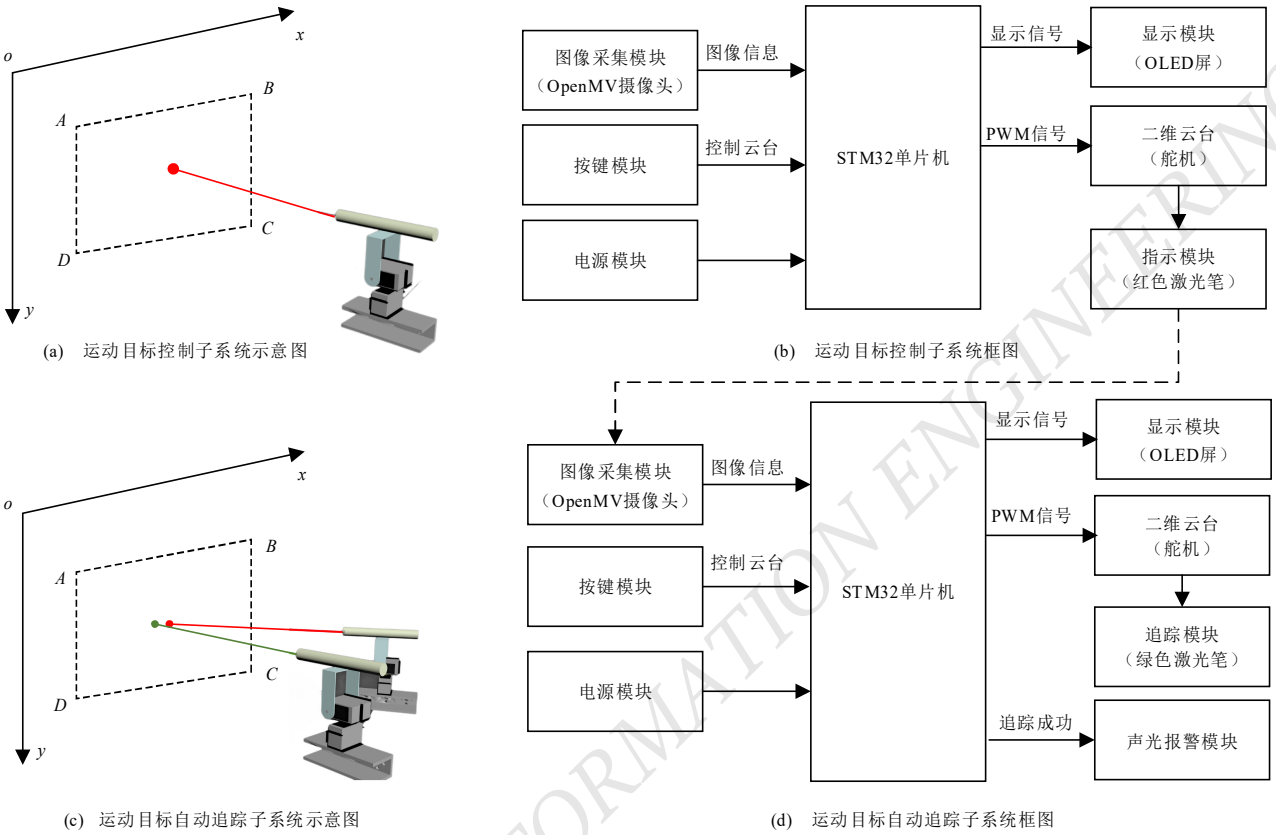
二维云台控制与追踪系统以 1 m 外显示屏上粘贴的矩形边框为研究对象。该矩形边框由宽 1.8 cm 的黑工胶带粘贴而成，长、宽分别为 29.7、21.0 cm。二维云台搭载的 OpenMV 摄像头为系统识别部件；红色和绿色激光笔为系统指示部件，即在红色激光笔绕矩形边框运动，绿色激光笔追踪红色激光笔的基础上，利用闭环控制原理优化二维云台的控制性能，实现目标的控制与追踪。该系统主要由运动目标控制子系统和运动目标自动追踪子系统组成，其示意图及框图如图 1 所示。

运动目标控制子系统以成像画面（显示屏）的左上角为坐标原点建立直角坐标系，示意图如图 1(a)所示。该子系统主要由主控模块（STM32 单片机）、图像采集模块（OpenMV 摄像头）、按键模块、电源模块、显示模块（OLED 屏）、二维云台（舵机）、指示模块（红色激光笔）等组成，系统框图如图 1(b)所示。其中，OpenMV 摄像头采集显示屏上矩形边框 4 个顶点的坐标信息，并通过串口发送给 STM32 单片机；在电源模块和按键模块的协助下，二维云台根据 STM32 单片机发送的指令，将红色激光笔光斑位置从矩形中心点（从屏幕的任意位置复位到矩形中心点）移动到 A 点，然后沿矩形边框顺时针方向依次经过 B、C、D 点；同时，红色激光笔光斑在显示屏上的坐标信息实时显示在 OLED 屏上。

运动目标自动追踪子系统采用与运动目标控制子系统相同的坐标系建立方式，示意图如图 1(c)所示。该子系统主要由主控模块（STM32 单片机）、图像采集模块（OpenMV 摄像头）、按键模块、电源模块、显示模块（OLED 屏）、二维云台（舵机）、追踪模块（绿色激光笔）、声光报警模块等组成，系统框图如图 1(d)所示。其中，OpenMV 摄像头实时识别红色激光笔光斑的坐标信息；二维云台根据红色激光笔光斑的坐标信息动态调整绿色激光笔光斑的位置，以实

AUTOMATION & INFORMATION ENGINEERING

现绿色激光笔对红色激光笔的追踪功能；当追踪误差小于设定阈值 2 cm 时，追踪成功，声光报警模块触发报警信号和点亮警示灯，并将红色、绿色激光笔光斑的坐标信息实时显示在 OLED 屏上。



(a) 运动目标控制子系统示意图　(b) 运动目标控制子系统框图

(c) 运动目标自动追踪子系统示意图　(d) 运动目标自动追踪子系统框图

图 1　二维云台控制与追踪系统示意图及框图

红色、绿色激光笔与运动目标自动追踪子系统中的 OpenMV 摄像头分别固定在各自的二维云台上；运动目标控制子系统中的 OpenMV 摄像头固定在系统稳定架上。二维云台由各自的按键模块进行启动和暂停操作，以方便测量光斑位置。另外，红色激光笔功率为 1 000 mW，波长为 650 nm ± 10 nm，直射距离为 1 000 m；绿色激光笔功率为 5 000 mW，波长为 532 nm ± 10 nm，直射距离为 2 000 ~ 5 000 m；红色、绿色激光笔的光斑直径为 2 mm；显示屏选用热塑型高分子材料，能够有效减少激光笔成像时光斑扩散和光晕现象，且不反光。

2　基本原理

2.1　闭环控制原理

闭环控制原理是一种通过反馈机制来自动调节系统性能的方法[11-12]。本文在控制红色激光笔绕矩形边框运动或绿色激光笔自动追踪红色激光笔的过程中，二维云台控制与追踪系统采用闭环控制原理来确定激光笔光斑的位置。

PID 算法是闭环控制系统常用的一种控制策略，其通过调整控制量（比例系数 K_P、积分系数 K_I、微分系数 K_D）来最小化系统误差。若激光笔光斑的位置误差记为 $e(t)$，那么比例、积分和微分部分的输出分别为

$$P_{\text{output}} = K_P \cdot e(t)$$

$$I_{\text{output}} = K_I \cdot \int_0^t e(\tau)\,\mathrm{d}\tau$$

$$D_{\text{output}} = K_D \cdot \frac{\mathrm{d}e(t)}{\mathrm{d}t}$$

AUTOMATION & INFORMATION ENGINEERING

比例部分可根据激光笔光斑的位置误差 $e(t)$进行反馈调整，比例系数 K_P 越大，调整速度越快，其位置误差越小；但比例系数 K_P 过大，会造成二维云台速度状态突变，导致激光笔移动状态不稳定。积分部分通过累积位置误差 $e(t)$，减小系统稳态误差。微分部分通过计算位置误差 $e(t)$的变化率来调节激光笔光斑的角速度，用于预测位置误差的变化趋势并进行超前调整，以改善系统的动态性能。比例、积分和微分三部分的总传递函数记为

$$G(s)=K_P+\frac{K_I}{s}+K_D\cdot s$$

式中：s 为复频率变量。

如果总传递函数 $G(s)$的动态误差在合理范围内（系统的稳态误差介于 1°~2°之间，超调量≤10%，调节时间≤ 0.3 s，扰动恢复时间≤ 0.5 s），表明二维云台控制与追踪系统已获得较优的 K_P、K_I 和 K_D 参数（K_P= 2.0，K_I= 0.05，和 K_D= 0.3），能够有效控制二维云台的旋转角度，具有较好的追随与抗干扰效果。闭环控制原理框图如图 2 所示。

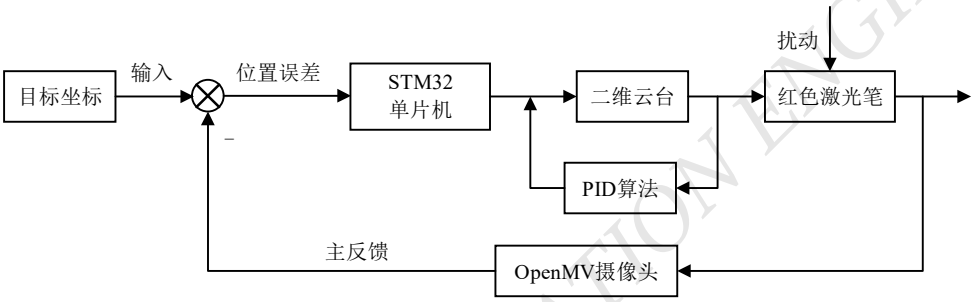


图 2　闭环控制原理框图

在运动目标控制子系统中，给定矩形边框顶点 A 一个初始位置作为目标坐标信息，同时 OpenMV 摄像头通过路径识别得到一个 A 点坐标信息，这两个坐标信息可能存在位置误差；将该位置误差输入到 STM32 单片机中；STM32 单片机基于 PID 算法对该位置误差进行实时计算和调整，并驱动二维云台控制红色激光笔光斑更精确地指向矩形边框的 A 点，从而实现红色激光笔的运动控制功能。在此过程中，系统通过 PID 算法有效抑制了外界噪声干扰及硬件误差等因素的影响，实现了高精度的目标定位与控制。

在运动目标自动追踪子系统中，绿色激光笔也采用上述相同的闭环控制原理自动追踪红色激光笔。

2.2　运动轨迹纠正原理

在运动目标控制子系统中，需要控制红色激光笔光斑沿矩形边框移动。假设红色激光笔光斑的起点为 $A(X_1,\ Y_1)$，终点为 $B(X_2,\ Y_2)$，目标点为 $E(X_4,\ Y_4)$，OpenMV 摄像头识别的红色激光笔光斑位置为 $P(X_3,\ Y_3)$，运动轨迹纠正原理如图 3 所示。

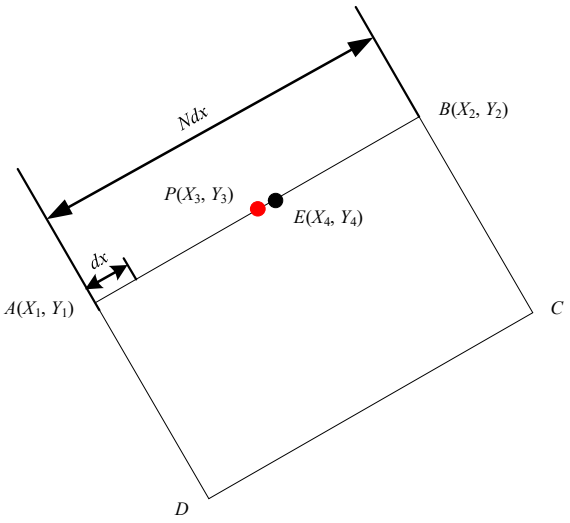


图 3　运动轨迹纠正原理图

在 A、B 两点之间进行插值操作，插值数量为 N，则目标点 E的运动轨迹为$\{X_1+1dx, X_1+2dx, \ldots, X_1+Ndx\}$。其中，$dx=(X_2-X_1)/N$、$dy=(Y_2-Y_1)/N$。

E、P 两点之间的距离为 $\sqrt{(X_3-X_4)^2+(Y_3-Y_4)^2}$，如果该距离小于设定阈值 3 mm，则认为 E、P 两点重合，目标点 E 切换到下一个点，直至到达终点 B。

在运动目标自动追踪子系统中，绿色激光笔追踪红色激光笔，其运动轨迹纠正原理与运动目标控制子系统类似，但不需要插值操作。OpenMV 摄像头实时检测到红色激光笔光斑的位置后，二维云台驱动绿色激光笔光斑进行相应的移动。

2.3 二维云台旋转原理

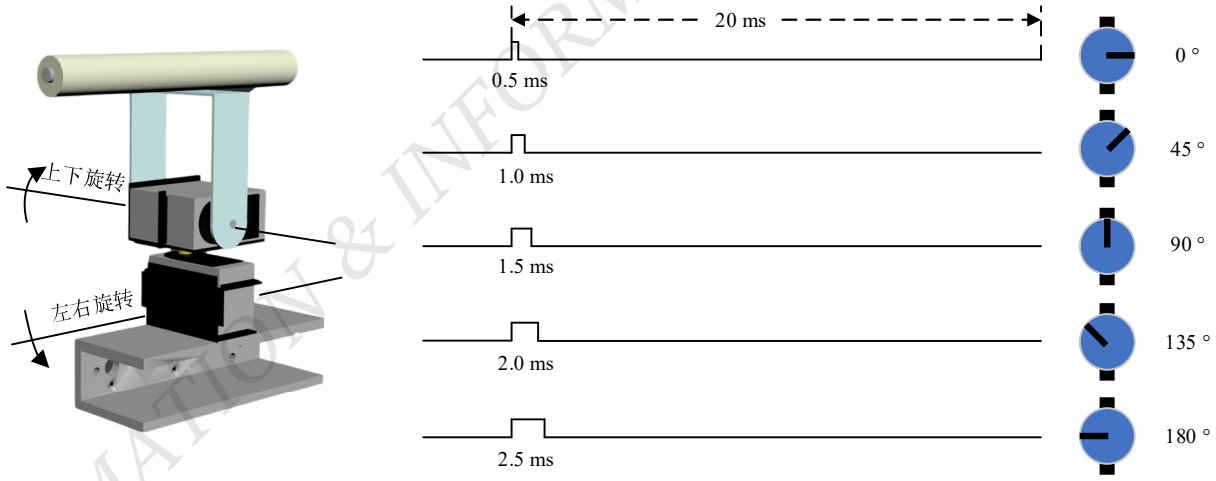
本文采用 2 个上下放置的 Tower ProMG995 舵机[13-14]组成二维云台，实现激光笔的左右、上下旋转，实物图如图 4(a)所示。该舵机是一款基于脉冲宽度调制（pulse width modulation, PWM）信号控制的 180° 模拟舵机，采用金属齿轮组和闭环反馈系统实现高扭矩角度定位。当二维云台控制与追踪系统向伺服驱动器发送控制信号时，输出轴可以旋转到特定位置。该系统采用的主时钟频率 CK_{PSC} 为 72 MHz，预分频数 PSC 为 719，自动重装寄存器 ARR 为 1 999，则 PWM 频率 $f=CK_{PSC}/(PSC+1)/(ARR+1)=50$ Hz，PWM 周期 $T=20$ ms，舵机脉冲宽度设定为 20 ms。

舵机 PWM 脉冲宽度范围为 0.5～2.5 ms，对应控制的舵机旋转角度为 0°～180°，控制脉冲宽度与舵机旋转角度成比例关系，即

$$\frac{t-0.5}{2}=\frac{\alpha}{\alpha_{\max}}$$

式中：t 为舵机的脉冲宽度，α 为舵机的旋转角度，$\alpha_{\max}$ 为舵机的最大旋转角度（180° ）。

当二维云台控制与追踪系统向舵机发送的脉冲宽度为 0.5 ms 时，舵机旋转角度为 0°；当发送的脉冲宽度为 1.0 ms 时，舵机旋转角度为 45°；当发送的脉冲宽度为 1.5 ms 时，舵机旋转角度为 90°。舵机脉冲宽度与旋转角度的对应关系如图 4(b)所示。



(a) 二维云台的实物图　　(b) 脉冲宽度与旋转角度的对应关系

图 4 二维云台的实物图及脉冲宽度与旋转角度的对应关系

2.4 OpenMV 图像处理

二维云台控制与追踪系统中的 2 个 OpenMV 摄像头分别用于识别矩形边框和红色激光笔光斑的坐标信息。矩形边框识别流程主要包括初始化 OpenMV 摄像头、图像预处理、图像边缘检测、图像采集、矩形边框灰度化二次处理、矩形边框轮廓检测、优化调试和矩形边框坐标点识别等 8 个步骤[15-16]，如图 5 所示。最后，通过四元检测算法输出矩形边框顶点坐标，从而准确识别矩形边框。

AUTOMATION & INFORMATION ENGINEERING

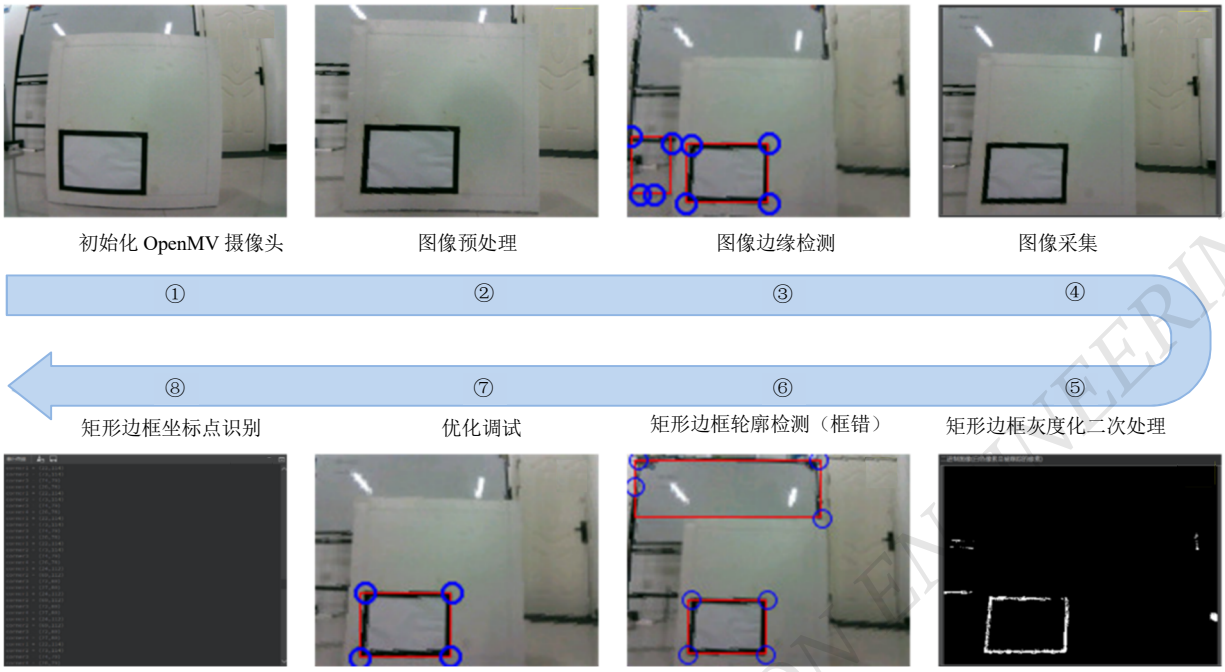


图 5　矩形边框识别流程图

红色激光笔光斑坐标信息识别通过 LAB 色彩空间、二值化处理、颜色阈值设定等操作，最终确定红色激光笔光斑中心坐标。OpenMV 摄像头识别的矩形边框坐标与红色、绿色激光笔光斑运动轨迹如图 6 所示。

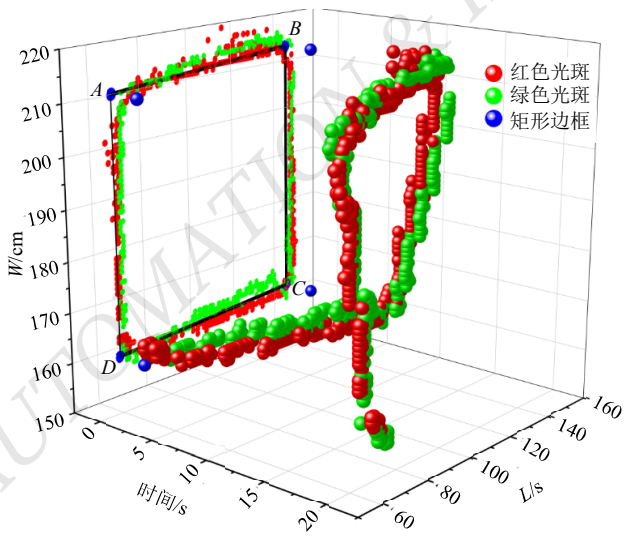


图 6　矩形边框坐标与红色、绿色激光笔光斑运动轨迹

由图 6 可知，红色、绿色激光笔光斑在矩形边框 A 点的聚集贴合度较低，这是因为激光笔光斑初始位置在显示屏中心点，通过旋转二维云台，将光斑位置从中心点移动到 A 点的过程中，舵机旋转速度较快，而 OpenMV 摄像头采集光斑坐标信息有时间延迟。针对此情况，本文采用软硬件协同优化方案。在硬件方面，将稳压模块的输出电压从 12 V 降到 5 V，从而减小二维云台的输出电流；在软件方面，减小比例系数 K_p，降低二维云台瞬时响应速度，在合理范围内增加二维云台转动轴的阻尼系数，在保证运动精度的同时，实现二维云台的移动平滑降速。

3　实验测试及分析

在标准电子实验室环境下（温度为 25 ℃±2 ℃，湿度为 60%±5%，环境光照强度 500 lx±50 lx），对二维云台控制与追踪系统的运动目标控制和自动追踪的准确性、稳定性以及所用时间进行了多次测试，随机挑选了 8 次测试结果进行列举，如表 1 所示。

AUTOMATION & INFORMATION ENGINEERING

表 1　实验测试结果

测试项目	第一次	第二次	第三次	第四次	第五次	第六次	第七次	第八次	平均值
红色激光笔光斑复位位置与中心点的距离/cm	1.50	1.30	1.10	1.00	0.90	0.70	1.20	1.40	1.14
红色激光笔沿矩形边框顺时针移动一周的时间/s	22	20	16	14	16	14	18	16	17
红色激光笔光斑与矩形边框的距离/cm	1.6	1.4	0.9	1.1	0.6	1.4	0.8	1.0	1.1
绿色激光笔追踪红色激光笔的时间/s	1.200	1.200	1.000	1.400	1.800	1.100	1.300	1.200	1.275
绿色与红色激光笔光斑之间的距离/cm	1.600	2.000	1.900	1.500	1.700	1.400	1.700	1.600	1.675

由表 1 可知：红色激光笔沿矩形边框顺时针移动一周的平均时间为 17 s，红色激光笔光斑与矩形边框距离的平均值为 1.1 cm，表明运动目标控制子系统的边缘偏移量（2 cm）和运动轨迹周期达到设计要求（30 s）；绿色激光笔追踪红色激光笔的平均时间为 1.275 s（小于 2 s），且追踪成功后发出声光提醒，绿色激光笔光斑与红色激光笔光斑之间距离的平均值为 1.675 cm（小于 3 cm，绿色激光笔光斑与红色激光笔光斑距离差的二维点线图如图 7 所示），表明运动目标自动追踪子系统响应速度和追踪精度均满足系统性能要求。

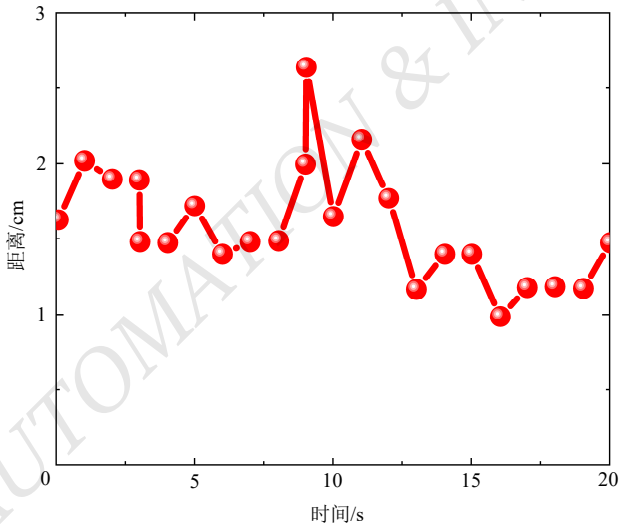


图 7　绿色激光笔光斑与红色激光笔光斑距离差的二维点线图

在实验测试过程中，如下情况可能影响测试结果：

1） 当红色激光笔投射在黑工胶带上时，由于红色激光笔功率小于绿色激光笔，且黑工胶带吸光能力较强，在 OpenMV 摄像头的成像画面中常检测不到红色激光笔光斑；解决此问题的方法包括：设置 OpenMV 摄像头的图像色彩格式为 RGB565、图像大小为 160×120 帧、曝光时间为 1 ms；将显示屏分辨率设置为 QVGA，以提高图像分辨率；关闭白平衡和自增益，采用原始感光元件传感器采集数据，使系统适应不同的光源环境；

2） 二维云台控制激光笔沿矩形边框移动的过程中，投射在黑工胶带上的光斑会出现超出边框的现象，这主要由舵机响应迟钝、图像处理延迟、系统控制算法误差和环境干扰等因素导致；解决此问题的方法包括：优化实验测试条件，如采用冷光源、减小磁场干扰等；提高舵机响应速度，如采用低延迟舵机；减小图像处理延迟，如降低 OpenMV 图像分辨率（QVGA 320×240）；减小系统控制算法误差，适当调低比例系数 K_p，并将积分时间 t 增加 30%~40%，这样系统既能减小过冲，防止超调现象出现，又能保持控制和追踪精度；抑制环境干扰；在 OpenMV 摄像头上添加红光或绿光滤光片。

4　结论

为解决现有二维云台控制与追踪系统的复杂度高、精度低及成本高等问题，本文提出一种基于 OpenMV 的二维云台控制与追踪系统。该系统由运动

AUTOMATION & INFORMATION ENGINEERING

目标控制与运动目标自动追踪两个子系统构成。两个子系统均配有 OpenMV 摄像头，用于捕捉矩形边框和运动目标的位置信息；采用闭环控制原理，利用 PID 算法来控制二维云台旋转，确保红色激光笔沿矩形边框移动，绿色激光笔自动追踪红色激光笔。实验结果证明，通过优化 PID 参数、调整舵机的脉冲宽度及 OpenMV 摄像头参数，可提升系统的控制与追踪精度，且整个过程耗时较短，为开发基于计算机视觉技术的运动目标控制与追踪系统提供有价值的参考方案。未来研究可以进一步探索如何将此类技术应用于更多场景，如工业自动化或安全监控等领域。

©The author(s) 2024. This is an open access article under the CC BY-NC-ND 4.0 License (https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/)

参考文献

[1] 李媛媛.计算机视觉技术在无人驾驶汽车中的应用[J].汽车测试报告,2024(4):26-28.

[2] 眭亚楠.人工智能辅助神经退行性疾病的诊断和治疗[C]//阿尔茨海默病防治协会,国际老年痴呆协会中国委员会.2021年国际阿尔茨海默病及相关病学术大会论文集,[出版者不详],2021:2.

[3] 刘相池.基于计算机视觉的建筑施工安全监控方法[D].天津:天津大学,2019.

[4] QI J, MA L, CUI Z, et al. Computer vision-based hand gesture recognition for human-robot interaction: a review[J]. Complex & Intelligent Systems, 2024,10(1):1581-1606.

[5] ZHANG N, WU C, WU Y, et al. An improved target tracking algorithm and its application in intelligent video surveillance system[J]. Multimedia Tools and Applications, 2020,79: 15965-15983.

[6] XU Y, LIU Y, LI H, et al. A deep learning approach of intrusion detection and tracking with UAV-based 360° camera and 3-axis gimbal[J]. Drones, 2024,8(2):68.

[7] 霍汉林,王劲松,王国名,等.二维激光跟踪转台轴系设计及动态形变误差修正[J].光学精密工程,2024,32(14):2200-2210.

[8] JI Wei, CUI Xiang, XU Bo, et al. Cross-coupled control for contour tracking error of free-form curve based on fuzzy PID optimized by improved PSO algorithm[J]. Measurement and Control, 2022,55(7-8):807-820.

[9] 王新成,游亿哲,姚嘉明.面向复杂环境的运动目标追踪与控制算法分析[J].电子技术,2024,53(6):34-35.

[10] 邢景揚,李芳芳,金灵雨,等.基于双闭环与自适应卡尔曼滤波的目标追踪系统[J].自动化与仪表,2024,39(11):43-46.

[11] 周瓒,徐海荣.基于串级 PID 闭环控制的飞行控制原理仿真实验[J].电子制作,2019(21):52-54.

[12] 徐浭基,王峥,邹佳民,等.基于 OpenMV 摄像头的运动目标控制与自动追踪系统设计与实现[J].现代电子技术,2024,47(17):166-172.

[13] 关开荣,葛嘉骏,张治敏.基于 STM32 的自动分拣机器人研发[J].金属矿山,2024(12):223-230.

[14] 高志远,晏芙蓉.基于 PID 算法的电动舵机控制系统仿真与优化[J].船舶工程,2024,46(S1):290-296.

[15] 关志艳.基于 OpenMV 的运动目标控制和自动追踪系统的设计[J].山西电子技术,2024(5):40-43.

[16] 张天灿.基于STM32芯片和OpenMV摄像头的自动系统设计[J].信息记录材料,2024,25(5):82-84;87.

作者简介：

梅红樱，女，1990 年生，博士研究生，副教授，主要研究方向：电子系统设计。E-mail: hymei_hh@163.com

杜仕博，男，2003 年生，本科，主要研究方向：电子科学与技术。E-mail: 853041402@qq.com

陈雪鹏，男，2003 年生，本科，主要研究方向：电子科学与技术。E-mail: 2843174322@qq.com

薛远赫，男，2004 年生，本科，主要研究方向：电子科学与技术。E-mail: 1826319552@qq.com

孙棣，男，2002 年生，本科，主要研究方向：电子科学与技术。E-mail: 2077036404@qq.com

孙光磊，男，2003 年生，本科，主要研究方向：电子科学与技术。E-mail: 2081161250@qq.com

陈耀龙，男，2006 年生，本科，主要研究方向：电子科学与技术。E-mail: 1423262769@qq.com

孙树祥，男，1990 年生，博士研究生，副教授，主要研究方向：电子系统设计。E-mail: 787064507@qq.com

文桦，女，1969 年生，硕士研究生，教授，主要研究方向：电子系统设计。E-mail: 963476715@qq.com

温华，男，1995 年生，博士研究生，讲师，主要研究方向：电子系统设计。E-mail: 1017458434@qq.com

AUTOMATION & INFORMATION ENGINEERING