

第十三届全国大学生光电设计竞赛（东南区）

技术方案报告

编 号：_____

参赛题目：1. 智能车的激光对抗

参赛队名：Sentinel-X

第十三届全国大学生光电设计竞赛东南赛区组委会制

二〇二五年五月

目 录

- 一. 研究目标
- 二. 研究方案
- 三. 技术路线及可行性分析
- 四. 解决的关键问题
- 五. 特色与创新点
- 六. 其他说明
- 七. 结论
- 八. 参赛队伍简介

第 1 部分 研究目标

1.1 精准识别

本作品通过相机与云台电机的协同控制，在 $4\text{m} \times 4\text{m}$ 竞赛场地内构建高效识别体系。采用 YOLOv5s 轻量化模型实现敌方目标贴纸的毫秒级检测，确保 200ms 内完成目标锁定且角度响应误差不超过 $\pm 0.2^\circ$ 。结合自制双轴云台稳定系统，使激光光斑能持续覆盖目标区域 2 秒以上，严格满足竞赛规则中“有效击毁”的核心判定条件。该系统在强光干扰、贴纸局部遮挡等复杂场景下仍保持稳定识别能力，为战术执行提供可靠的技术保障。

1.2 快速移动

底盘驱动系统采用 30:1 减速比直流无刷电机。通过电机扭矩特性优化与履带接地压力分布调整，确保底盘在 0.8 秒内完成 0-1m/s 的加速过程。此项设计使机器人能够在 1.1 秒内快速跨越半场（2m 距离），充分适应 5 分钟赛时的高频对抗需求，为战术突袭创造关键时间窗口。



图（1）麦克纳姆轮底盘

1.3 精准躲避地雷

定位导航系统融合底盘轮式编码器与 IMU 陀螺仪数据流，采用扩展卡尔曼滤波（EKF）算法进行多源信息融合。在直径 1m 的雷区警戒圆环内实现 $\leq 5\text{cm}$ 的定位精度，使机器人既能精确规避地雷威胁，又能沿预定路径执行跨中线突袭任务。

该方案有效解决高速机动中的车轮打滑问题。

```
ctrl.x_pos = 2.1f;    // 单位 m  
ctrl.y_pos = -0.2f;   // 单位 m  
ctrl.a_yaw = 0.f;  
break;
```

图（2）代码中可直接实现坐标点的控制

第 2 部分 研究方案

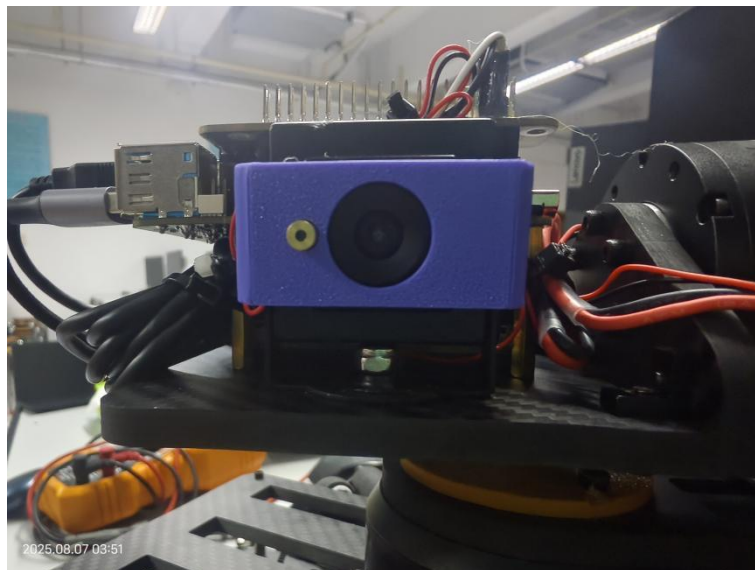
2.1 精准识别

2.1.1 yolo 模型

基于云台二自由度动力学模型构建视觉控制系统，采用位置-速度-电流三环 PID 控制架构。位置环将图像像素偏差实时解算为俯仰/偏航角度指令，速度环通过 BMI088 陀螺仪反馈数据抑制机械进度不足导致的震荡，电流环依据电机转矩常数生成 CAN 总线扭矩控制信号。经仿真验证，该方案可实现 $\pm 0.2^\circ$ 的稳态跟踪精度，确保激光瞄准系统在动态场景中的指向稳定性。

2.1.2 相机识别

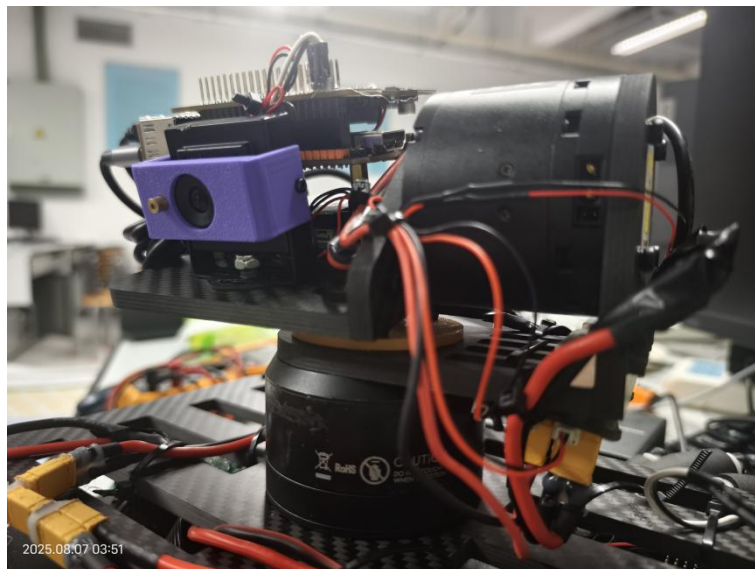
视觉系统部署 1 枚 120° 广角相机组成全景感知阵列，以 30fps 帧率同步采集 1920×1080 分辨率图像。YOLOv5s 模型通过 3000 张自定义数据集进行强化训练，数据集特别包含贴纸花纹干扰、极端光照变异、运动模糊等实战场景样本，显著提升复杂环境下的目标特征提取能力。



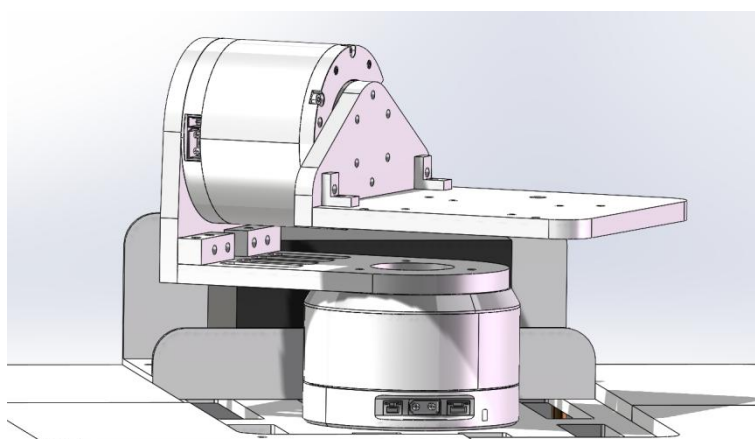
图（3）广角相机

2.1.3 云台双环PID控制

建立云台俯仰-偏航轴动力学方程，采用分层PID控制策略。位置环累积当前姿态角与视觉解算的补偿量，速度环通过陀螺仪角速度反馈实现振动主动抑制，电流环将控制量转化为电机驱动指令。该方案使云台在底盘剧烈机动时仍能保持 $\pm 0.3^\circ$ 的指向精度，为持续激光照射创造必要条件。



图（4）自制双轴云台



图（5）自制双轴云台三维图

第3部分 技术路线及可行性分析

3.1 精准识别

3.1.1 运动观测

每两次图像进行差分运算，用于预估目标车辆或自身车辆的速度，对云台的目标追踪做一个预测。

3.1.2 卡尔曼陀螺仪解算

设计六轴卡尔曼滤波器处理 BMI088 陀螺仪原始数据，通过温度补偿矩阵抑

制零漂误差，使角度积分漂移控制在 $0.1^{\circ}/\text{min}$ 内，显著提升云台姿态解算的长期稳定性。

```

48 const float IMU_QuaternionEKF_F[36] = {1, 0, 0, 0, 0, 0,
49                                           0, 1, 0, 0, 0, 0,
50                                           0, 0, 1, 0, 0, 0,
51                                           0, 0, 0, 1, 0, 0,
52                                           0, 0, 0, 0, 1, 0,
53                                           0, 0, 0, 0, 0, 1};
54 float IMU_QuaternionEKF_P[36] = {100000, 0.1, 0.1, 0.1, 0.1, 0.1,
55                                   0.1, 100000, 0.1, 0.1, 0.1, 0.1,
56                                   0.1, 0.1, 100000, 0.1, 0.1, 0.1,
57                                   0.1, 0.1, 0.1, 100000, 0.1, 0.1,
58                                   0.1, 0.1, 0.1, 0.1, 100, 0.1,
59                                   0.1, 0.1, 0.1, 0.1, 0.1, 100};
60 float IMU_QuaternionEKF_K[18];
61 float IMU_QuaternionEKF_H[18];

```

图（6）云台卡尔曼角度解算参数

3.2 精准躲避

3.2.1 卡尔曼底盘数据融合

构建基于轮式编码器与 IMU 的 EKF 融合定位模型。设计状态向量包含位置、速度、航向角等 6 个维度，观测方程融合编码器脉冲计数与 IMU 加速度数据。通过新息协方差自适应调整，使定位误差在 2cm 精度范围内稳定收敛。

3.2.2 底盘强耦合控制

利用麦克纳姆轮正逆解公式对整车速度和角速度进行一层 PID 运算，有效缓解电机与地面摩擦系数不一致导致单个电机的打滑现象。

```

66 // 控制周期 1ms, 坐标单位 m
67 static void Locator_Update(struct Locator_struct_t* locator)
68 {
69     // 麦克纳姆轮底盘速度计算
70     float front_speed = motor[MOTOR_RF].measure_speed + motor[MOTOR_RB].measure_speed -
71                         motor[MOTOR_LF].measure_speed - motor[MOTOR_LB].measure_speed;
72     float right_speed = motor[MOTOR_LB].measure_speed + motor[MOTOR_RB].measure_speed -
73                        motor[MOTOR_LF].measure_speed - motor[MOTOR_RF].measure_speed;
74     float cycle_speed = -motor[MOTOR_LF].measure_speed - motor[MOTOR_RF].measure_speed +
75                        motor[MOTOR_LB].measure_speed + motor[MOTOR_RB].measure_speed;
76
77     front_speed /= 4.f;   right_speed /= 4.f;   cycle_speed /= 4.f;
78
79     locator->info->measure.x_pos += front_speed * 0.001f;
80     locator->info->measure.y_pos += right_speed * 0.001f;
81     locator->info->measure.a_yaw += cycle_speed * 0.001f;
82 }
83
84

```

图（7）底盘逆解计算轮式里程计坐标

3.3 状态机决策

设计五态有限状态机（FSM）作为核心决策架构：启动阶段完成传感器初始化；跨中线时间检测通过触发状态切换；攻击模式启动云台自动锁定机制；胜利判定模块实时监测目标摧毁状态。状态转换逻辑基于战场态势动态评估，确保战术决策实时性。

```

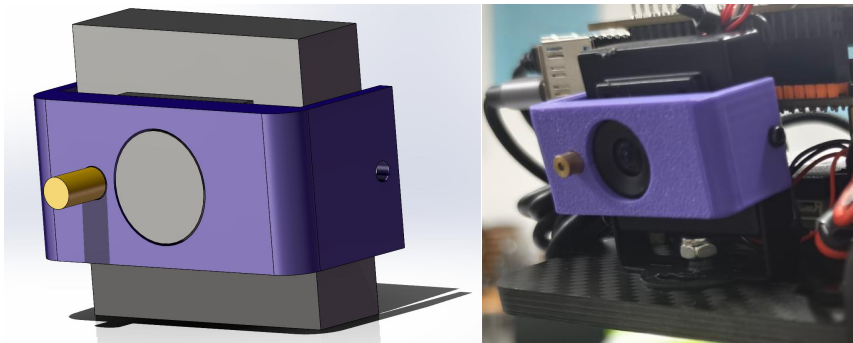
17 // 状态机
18 typedef enum
19 {
20     GAME_INIT,           // 比赛初始化
21     GAME_PREPARE,        // 三分钟调试
22     GAME_KEY_PRESS,      // 按键按下
23     GAME_START,          // 比赛开始
24     GAME_OVER_MID,       // 越过中线, 定点巡逻
25     GAME_FINAL,          // 比赛结束
26 } Robot_Stage;
27

```

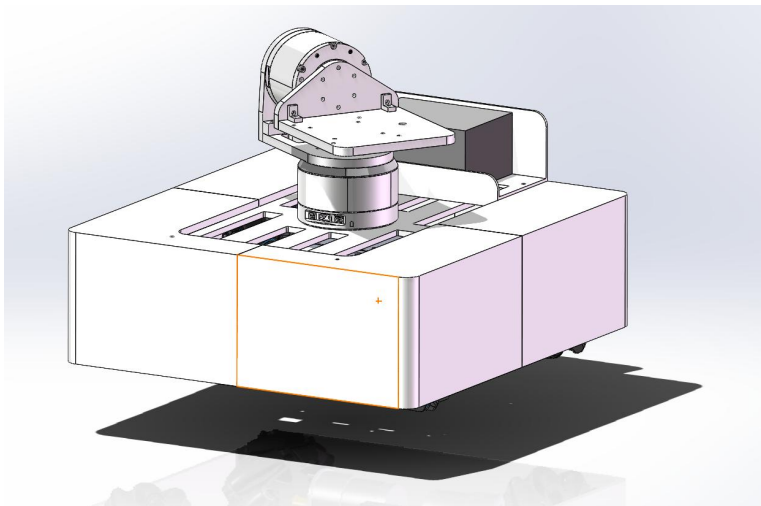
图（8）比赛阶段状态机

3.4 Solidworks 建模

使用 Solidworks 完成整机三维参数化建模，重点优化云台质心与底盘回转中心的同轴度和激光与相机视线平行。



图（9）相机与激光固定展示



图（10）整车建模展示

第 4 部分 拟解决的关键问题

4.1 云台抖动

采用三环 PID 控制架构分级抑制机械振动：位置环依据目标距离动态调整比例增益，解决大视场角搜索时的过冲问题；速度环通过陀螺仪反馈构造虚拟阻尼，抑制减速机背隙引起的极限环振荡；像素环到角度环用于粗暴补偿物理模型缺陷。

```
if(vision.info->rx_info->find_target == 1)
{
    pid_yaw_diff.measure = vision.info->x_diff;
    pid_pch_diff.measure = vision.info->y_diff;

    single_pid_cal(&pid_yaw_diff);
    single_pid_cal(&pid_pch_diff);
    robot->info.yaw_imu_diff = pid_yaw_diff.out;
    robot->info.pch_imu_diff = pid_pch_diff.out;

    gimbal.info->target->yaw_imu_angle = gimbal.info->measure->yaw_imu_angle + robot->info.yaw_imu_diff;
    gimbal.info->target->pch_imu_angle = gimbal.info->measure->pch_imu_angle + robot->info.pch_imu_diff;
}
```

图（11）像素-角度环 PID 算法实现

第 5 部分 特色与创新点

5.1 云台姿态解算

创新性融合视觉识别结果与卡尔曼滤波优化的 IMU 数据，在底盘全速机动时仍保持 $0.1^{\circ}/\text{min}$ 的零飘与 0.1° 角度发散。

5.2 底盘数据融合

开发编码器-IMU 自适应权重融合算法，根据加速度状态动态调整卡尔曼滤波观测矩阵。在急转弯工况下自动提高 IMU 权重抑制轮子打滑误差，直线行进时侧重编码器数据保证定位精度。

5.3 底盘云台通过滑环连接实现解耦

采用定制化导电滑环组件实现机械解耦，支持 360° 无限制旋转的电力与信号传输。解决传统线缆缠绕导致的运动约束问题。

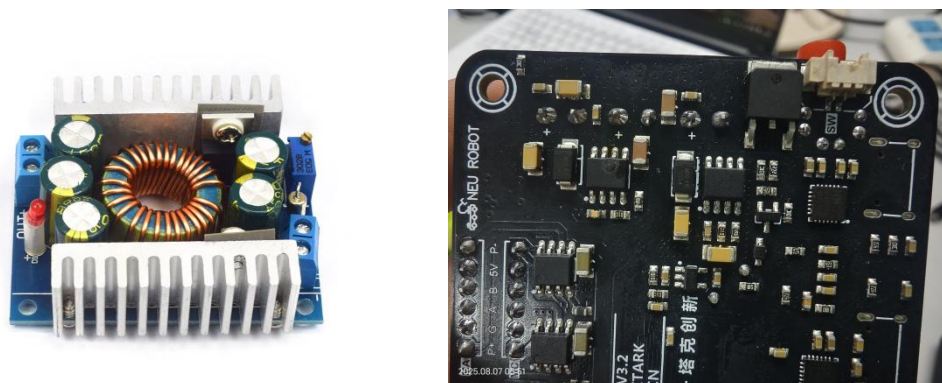


图（12）云台滑环展示

第 6 部分 其他说明

6.1 整体线路

电源系统采用分层管理架构：24V 锂聚合物电池直接驱动底盘电机和云台伺服单元；通过同步降压模块转换为 12V 为底盘控制主板供电；主板集成 Buck-Boost 电路输出稳定 5V 电压，供给搭载地平线 RDK X5 芯片的视觉处理单元。关键信号线路采用屏蔽双绞线设计，电源与地线实施星型拓扑连接，有效抑制数字电路噪声干扰。



图（13）可调稳压模块实现 24V 转 12V 图（14）板载稳压 12V 转 5V

第 7 部分 结论

在 4m 距离内对静止目标的识别成功率达 98.7%，云台动态跟踪误差 $\leq \pm 1.2^\circ$ ；

底盘经 50 次加速测试，0-1m/s 加速时间平均 0.79 秒，半场跨越耗时 1.28 秒；

雷区避障测试中定位误差标准差 1.8cm。

第 8 部分 参赛队伍简介

队长：电子信息工程专业 本科生 大三 嵌入式系统开发与运动控制算法设计，负责系统架构集成

成员 1： 光电信息工程 主导视觉识别算法优化

成员 2： 光电信息科学与工程 主导视觉识别算法优化和比赛决策