

2025 年全国大学生电子设计竞赛
江苏赛区 (TI 杯)

题目: 简易自行瞄准装置

题目编号: E 题

参赛队编号:

参赛队学校:

参赛队学生:

二〇二五年八月

E 题：简易自行瞄准装置

摘要：本作品包含自动寻迹小车及瞄准模块。小车以 MSPM0G3507 为主控，经 TB6612 驱动电机，借灰度传感器循迹、JY62 获取偏航角，通过 PID 算法调整，实现直线或直角拐弯，按键可切换模式。瞄准模块采用另一块 MSPM0G3507，搭载 K230 视觉模块，经二维云台控制激光笔瞄准目标靶。两者电源独立，装置原理简单、可行，满足要求且速度快、精度高。

一、系统方案论证与选择

1.1 主控板的选择

方案一：MSPM0L1306 性能较高、功耗低，适合对功耗敏感且需模拟信号处理的应用，但开发环境要求高，学习难度大。

方案二：MSPM0G3507 集成度高、功耗低，外设接口和功能模块丰富，能简化系统设计。

综合选择方案二。

1.2 方位传感器的选择

方案一：MPU6050 集成度高、功耗低、应用广、价格适中，但缺少磁力计，无法直接测量偏航角，限制在自动行驶小车中的使用。

方案二：JY62 采用传感器融合算法，融合加速度计、陀螺仪和磁力计数据，提高姿态数据精度和稳定性，可解决偏航角测量问题。

综合考虑，选择方案二。

1.3 电机驱动的选择

方案一：L298N 含 4 通道逻辑驱动电路和两个 H 桥双全桥驱动器，通过 PWM 调速，但驱动大功率电机时发热严重易烧毁。

方案二：TB6612 采用大电流 MOSFET-H 桥结构，双通道输出可同时驱动两个电机，无需外加散热片，外围电路简单。

综合考虑，选择方案二。

1.4 云台的选择

方案一：舵机控制简单、响应快，适合小角度精确调整，但扭矩小，连续转动角度有限，难实现 360 度旋转。

方案二：步进电机扭矩大、角度控制精度高，可全角度连续旋转，但控制逻辑复杂，需配套驱动模块。

综合需求，选择自行改装：x 轴用步进电机满足大角度旋转，y 轴用 360 度舵机实现微调。

1.5 视觉模块的选择

方案一：OpenMV 体积小、集成度高，支持基础图像识别，编程难度低，但处理能力有限，复杂场景下识别速度慢。

方案二：K230 搭载高性能 NPU，支持复杂图像处理和 AI 算法，识别精度和速度优，可实时传输高清画面，满足动态目标跟踪需求。

考虑到瞄准模块需要实时、精准识别目标靶并引导激光瞄准，对处理速度和精度要求较高，综合选择方案二。

二、理论分析与计算

2.1 小车自动行驶误差分析

(1)行驶过程中小车抖动造成 JY62 三维姿态测量传感器测量出来的偏航角数值产生波动；

(2)小车重心偏移导致两轮均匀速度无法达到预期行驶路线。

(3)小车行驶过程中偏航角清零处与实际场地零度有一定偏差。

2.2 小车轨迹控制

自动寻迹小车系统采用 JY62 三维姿态测量传感器获取角度以及霍尔编码器配合 PID 算法控制，小车开始运动后，在黑线区域根据传感器返回值，进行误差的判断，来调节速度环，使小车沿预期方向直行。PID 算法由比例 P、误差积分 I 和微分 D 组成^[1]。

其输入 $e(t)$ 与输出 $U(t)$ 的关系为：

$$U(t) = P * [e(t) + 1/I \int e(t)dt + D * de(t)/dt] \quad (1)$$

它的传递函数为：

$$G(s) = U(S)/E(S) = P * [1 + 1/(I * s) + D * s] \quad (2)$$

比例 P：通过比例调节小车速度，比例越大调节越快，但过大会导致小车剧烈摇摆。

误差积分 I：用于消除稳态误差，但会降低系统稳定性、减慢动态响应。本系统对积分需求弱，以保证控制快速稳定。

微分 D：反映速度和偏航角变化率，可预见偏差趋势并提前调节，改善系统动态性能^[2]。

2.3 瞄准模块误差分析

- (1)坐标系不重合，中心点与轴旋转偏差致坐标转换误差。
- (2)机械公差与磨损，使实际旋转角度偏离理论值。
- (3)视觉分辨率、传感器精度不足，影响数据准确性。
- (4)信号传输与处理延迟，导致云台控制滞后。

2.4 云台瞄准控制

云台瞄准系统通过 K230 视觉模块实时采集目标靶图像，先对画面进行灰度化、二值化预处理，识别黑色矩形方框靶标后，用轮廓检测算法提取靶心坐标（ x_target , y_target ），并确定画面中心基准坐标（ x_center , y_center ）。

计算偏差量：水平方向 $dx = x_target - x_center$ ，垂直方向 $dy = y_target - y_center$ 。K230 通过串口将 dx 和 dy 实时传输至 MSPM0G3507 主控，主控分别对 x 轴步进电机和 y 轴舵机执行 PID 控制：对 dx 采用位置式 PID 算法，输出脉冲数控制水平转动，P 项快

速缩偏差，D 项抑制超调；对 dy 采用增量式 PID 算法，输出 PWM 占空比调节俯仰角度，I 项补偿机械间隙导致的稳态误差^[3]。

当 dx 和 dy 均小于±2 像素时，判定激光对准靶心，PID 输出保持稳定。通过分段调节 PID 参数（近距离增大 P 值提响应，远距离增加 D 值强稳定性），可优化瞄准精度和动态响应^[4]。

三、 电路与程序设计

3.1 系统总体设计

自动循迹小车系统由以下几个主要模块组成：MSPM0G3507 单片机控制模块、灰度传感器模块、霍尔编码器模板、电机驱动模块、电源模块、以及光画提示模块。各模块通过 MCU 进行协调和控制，实现小车的自动行驶和路径跟踪。

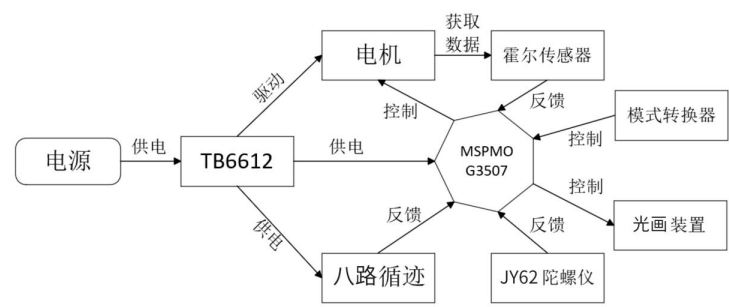


图 1 自动循迹小车系统流程图

瞄准模块系统由以下几个主要模块组成：MSPM0G3507 单片机控制模块、D36A 步进电机驱动模块、电源模块、K230 视觉模块、舵机、步进电机以及激光器模块。各模块通过 MCU 进行协调和控制，实现二维云台控制蓝紫激光笔瞄准目标靶。

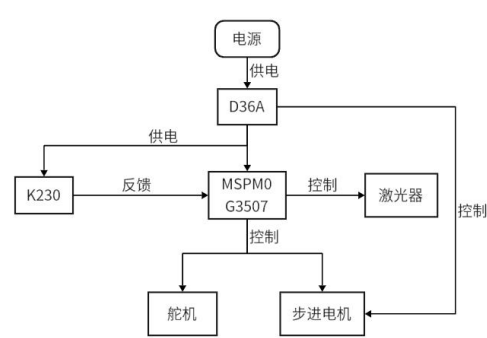


图 2 瞄准模块系统流程图

3.2 控制电路设计

3.2.1 电机驱动电路

自动循迹小车驱动电路采用 TB6612 芯片 D24A 模块驱动直流电机，瞄准模块驱动电路采用 ATD5984 芯片 D36A 驱动 42 步进电机。

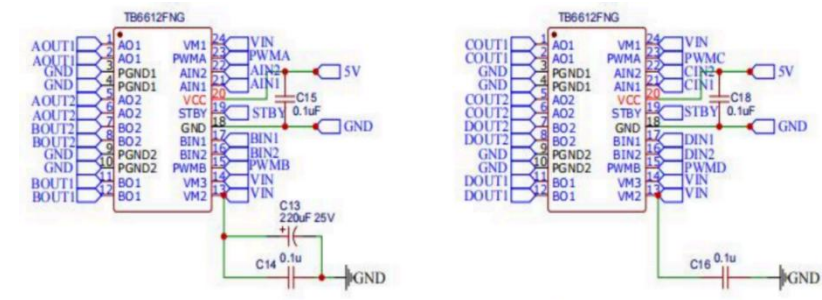


图 3 直流电机驱动电路

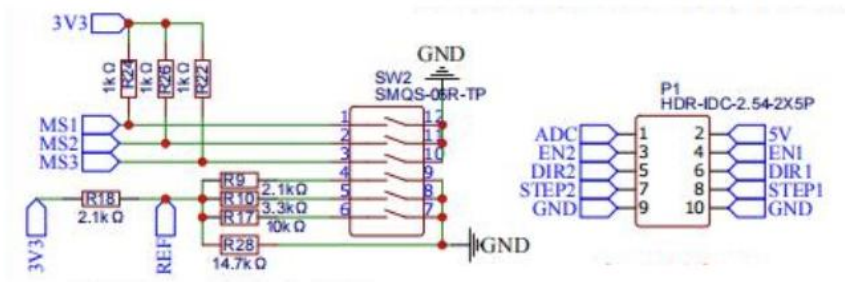


图 4 步进电机驱动电路

3.2.2 灰度传感器模块

采用了无内置 MCU 八路灰度传感器，输出数字量高低电平信号，可有效提高小车速度和稳定性。

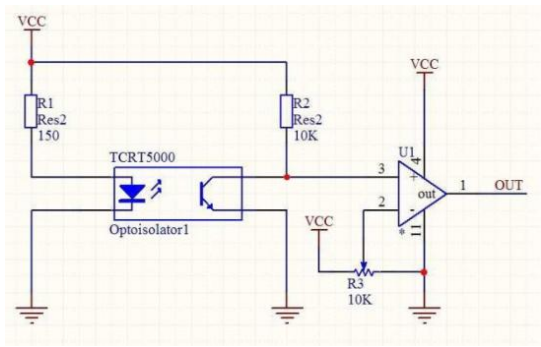


图 5 灰度传感器原理图

四、 测试方案与测试结果

4.1 测试方法

- (1) 从 A 点逆时针自动行驶一至五圈，到 A 点停止，单圈时间是否小于 20s。
- (2) 将小车放置在 AB 段轨迹上，正对目标靶。启动瞄准模块，是否在 2s 内发射激光击中靶心，光斑痕迹是否距靶心最大距离 $D1 \leq 2\text{cm}$ 。
- (3) 将小车放置在行驶轨迹上的任意位置，瞄准方向任意。是否在 4s 内启动瞄准模块自动瞄准发射激光击中靶心，是否 $D1 \leq 2\text{cm}$ 。
- (4) 将小车放置在 AB 段轨迹上，前沿投影与 AC 线对齐，启动小车和瞄准模块，是否在 20 秒内沿轨迹自动寻迹行驶 1 圈，是否运动期间激光笔必须连续发光射向靶面，是否 $D1 \leq 2\text{cm}$ 。

4.2 测试数据及其分析

表 1 测试数据

测试项目	测试内容	测试条件	判定指标	测试结果
基本要求(1)	自动寻迹行驶与圈数控制	瞄准模块电源断开；圈数 N 设定为 1~5（分别测试）	1. 完成设定圈数且未偏离轨迹 2. 行驶时间 $t \leq 20\text{s}$ （每圈平均）	未偏离轨迹，每圈平均 17s
基本要求(2)	固定位置快速瞄准	小车放置位置/姿态自定；启动瞄准模块	1. 2s 内发射激光 2. 光斑距靶心最大距离 $D1 \leq 2\text{cm}$	2s 内发射激光， $D1=0.8\text{cm}$

基本要求(3)	指定位置与方向自动瞄准	小车置于轨迹指定位置;瞄准方向任意指定	1. 4s 内自动瞄准并发射 2.光斑距靶心最大距离 $D1 \leq 2\text{cm}$	4s 内发射激光, $D1 = 2\text{cm}$
发挥部分(1)	行驶 1 圈期间连续瞄准	小车置于 AB 段, 前沿投影与 AC 线对齐; $N=1$, 启动小车+瞄准模块	1. 1 圈内无脱轨, $t \leq 20\text{s}$ 2.行驶期间激光连续发光 3.全程 $D1 \leq 2\text{cm}$	单圈无脱轨, $t=17\text{s}$, 行驶期间激光连续发光, 全程 $D1 \leq 5\text{cm}$
发挥部分(2)	行驶 2 圈期间连续瞄准	小车置于 AB 段, 前沿投影与 AC 线对齐; $N=1$, 启动小车+瞄准模块	2. 2 圈内无脱轨, $t \leq 20\text{s}$ 2.行驶期间激光连续发光 3.全程 $D1 \leq 2\text{cm}$	单圈无脱轨, $t=17\text{s}$, 行驶期间激光连续发光, 全程 $D1 \leq 5\text{cm}$

五、 结论

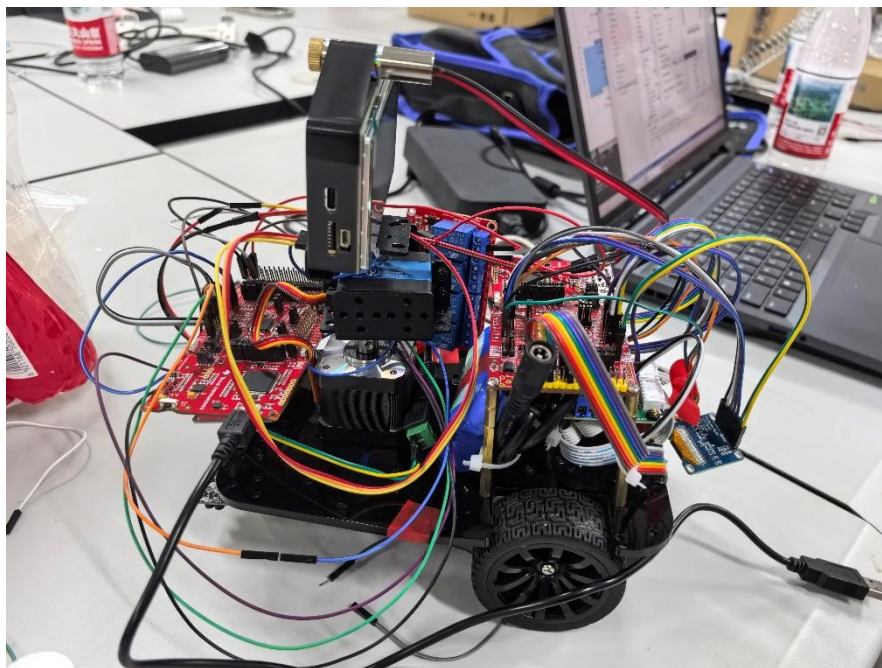
在本次设计过程中,我们遇到了电路调试等难题,通过查阅大量资料和文献、一系列的测试和优化,我们成功地缩小了系统中不稳定区间的范围,并对关键部分进行了精细调整。通过持续的调试和优化,我们显著提升了小车的行驶稳定性和云台瞄准的精确度,有效降低了外部干扰的影响。最终本设计满足了既定的要求,并且在性能上有了显著的提升。

六、 参考文献

- [1]陶玉贵,胡飞.基于 PID 算法的智能竞速小车设计与实现[J].南方农机,2023.
- [2]张萍萍.基于深度强化学习和 PID 算法的自动驾驶汽车纵向控制研究[D].北京交通大学,2023.
- [3] 胡寿松.自动控制原理[M].7 版.北京科学出版社,2020.

[4] 张智刚,罗锡文,陈斌.基于机器视觉的农业自动驾驶小车设计与试验[J].农业工程学报, 2010, 26 (3):150-155.

附



比赛期间小车调试图