

摘要

本作品设计并制作了一个基于 TI MSPM0G3507, AI8051U, 与 K230 的自行瞄准装置。系统由循迹小车与多角度云台组成, 集成了灰度传感器, 视觉模块, 驱动模块等, 实现了赛题要求的循迹与自动瞄准功能。

在算法方面, 我们采用了 PID 控制, 互补滤波等算法, 在瞄准环节, 我们对图像进行识别, 并控制云台运动实现瞄准功能, 通过 ADC 采样获得灰度传感器模拟量并做处理, 实现了闭环控制小车循迹, 完成了题目要求你的各项任务。

经过测试, 系统在各种条件下均表现出良好的稳定性和可靠性, 能够顺利完成既定任务。结果分析表明, 该系统具备较高的实用性和可靠性, 适用于自动驾驶小车等领域。本次设计和制作具有良好的可行性, 软硬件结合的方案展现了明显的优势

关键词: 智能视觉; 自动循迹小车; PID 控制; 单片机

目录

1	系统方案设计	3
1.1	系统方案描述	3
1.2	方案论证与选择	3
1.2.1	主控制器件的论证与选择	3
1.2.2	关键模块/技术方案的论证与选择	3
2	系统理论分析与计算	4
2.1	核心理论/模型分析	4
2.2	关键算法分析	4
2.3	相关参数计算	4
3	电路与程序设计	5
3.1	电路设计	5
3.1.1	AI8051U 核心电路	5
3.1.2	TI MSPM0G3507 核心电路	5
3.2	程序设计	5
3.2.1	主程序设计思路	5
3.2.2	循迹程序流程图	6
3.2.3	瞄准程序流程图	6
4	测试方案与结果分析	6
4.1	测试方案	6
4.2	测试结果与数据	7
4.3	误差/性能分析	7

1 系统方案设计

1.1 系统方案描述

本系统以 TI MSPM0G3507 微控制器为核心，主要由电源模块、主控模块、传感器模块、驱动模块以及执行机构等部分组成。系统整体功能框图如图1所示。

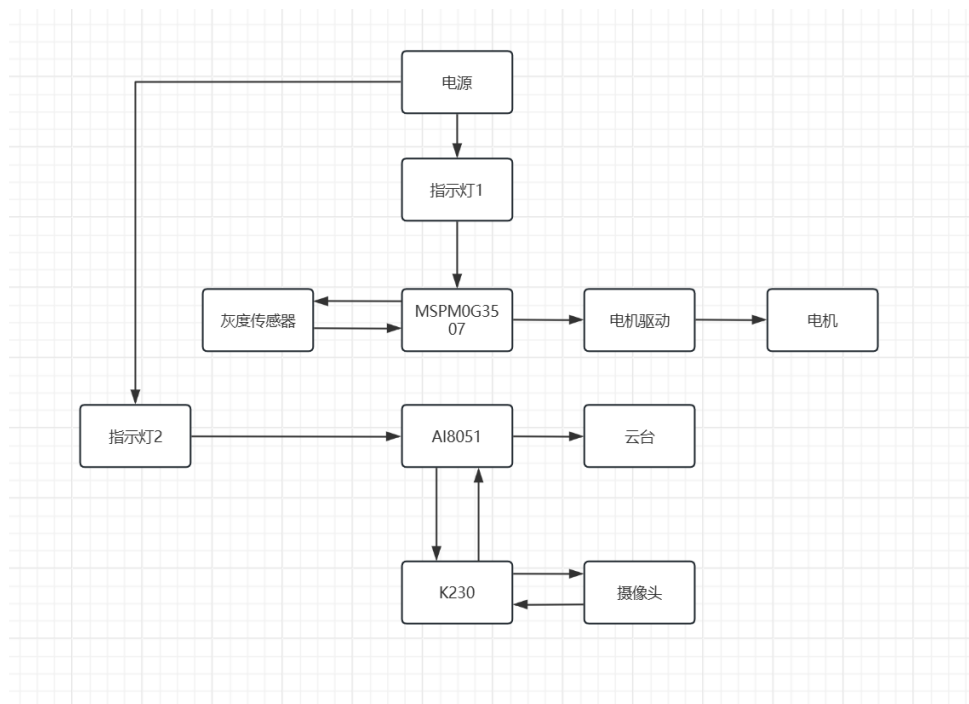


图 1: 系统整体功能框图

1.2 方案论证与选择

1.2.1 主控制器件的论证与选择

方案一：使用 AI8051U 搭配 STM32 对二维云台进行控制，优点：开发更灵活，资源丰富。缺点：复杂度更高，需要进行双核通讯，调试难度更高。

方案二：使用 K230 对二维云台进行控制，优点：可直接输出 PWM 信号控制舵机，库函数丰富，历程多。缺点：实时性受限，高速状态下的响应不够快。

结论：综合考虑本题对响应速率与外设，定时器资源的需求，最终选取方案一为我们的最终方案

1.2.2 关键模块/技术方案的论证与选择

二维云台为本题的关键模块之一，经过初步思考与讨论有以下两个方案：

方案一：使用 180° 舵机完成二维云台的搭建。优点：控制简单，只需要输入 PWM 即可对舵机实现控制。自带齿轮箱，不用自己装传动结构。缺点：只有 180° 转角，且控制精度低，力矩低。

方案二：使用步进电机完成二维云台的搭建。优点：能精准控制角度 (最小 1.8° 一步), 可控角度更大, 力矩更大, 且可以通过细分驱动实现更小精度的控制。缺点：高速下力矩不高, 且会出现丢步的现象。

结论：综合本题对控制精度，与控制角度的需求，最终选择方案二，使用步进电机搭建二维云台。

2 系统理论分析与计算

2.1 核心理论/模型分析

本系统主要基于自动控制理论与信号处理理论。控制部分采用经典 PID 控制理论，实现对小车运动和云台角度的精确调节。信号处理部分采用互补滤波算法对传感器数据进行融合，提高姿态估算的准确性。视觉识别部分基于色块识别原理，通过图像处理算法提取目标色块，实现自动瞄准。ADC 采样用于将模拟信号（如灰度传感器输出）转换为数字信号，便于后续处理。

2.2 关键算法分析

本系统关键算法包括：

- **PID 控制算法：**用于小车循迹和云台角度控制。其连续形式为：

$$u(t) = K_p e(t) + K_i \int_0^t e(\tau) d\tau + K_d \frac{de(t)}{dt} \quad (1)$$

其中， $u(t)$ 为控制输出， $e(t)$ 为目标与实际的误差， K_p 为比例系数， K_i 为积分系数， K_d 为微分系数。

- **互补滤波算法：**用于融合加速度计和陀螺仪数据，提高姿态估算精度。其基本公式为：

$$\theta = \alpha(\theta_{gyro}) + (1 - \alpha)(\theta_{acc}) \quad (2)$$

其中， θ 为最终估算角度， θ_{gyro} 为陀螺仪积分角度， θ_{acc} 为加速度计计算角度， α 为权重系数 ($0 < \alpha < 1$)。

- **色块识别算法：**通过摄像头采集图像，利用阈值分割、形态学处理等方法提取特定颜色区域，计算色块质心坐标，实现目标定位。主要流程包括：

1. 图像采集与预处理（如去噪、色彩空间转换）。
2. 设定目标颜色阈值，进行二值化分割。
3. 形态学操作去除噪声。
4. 计算色块的质心坐标，作为云台控制的目标。

- **ADC 采样算法：**将灰度传感器等模拟信号通过模数转换器采集为数字量，常用采样公式：

$$V_{in} = \frac{ADC_{value}}{2^n - 1} \times V_{ref} \quad (3)$$

其中， V_{in} 为输入模拟电压， ADC_{value} 为采集到的数字值， n 为 ADC 位数， V_{ref} 为参考电压。

2.3 相关参数计算

1. **PID 参数整定：**通过实验法对循迹小车转向环 K_p 、 K_i 、 K_d 进行调节，最终选取 $K_p = 50$ ， $K_i = 0$ ， $K_d = 5$ 。

2. **互补滤波权重系数：**根据实验， α 一般取 0.96，可兼顾陀螺仪短时精度和加速度计长期稳定性。

3. **色块识别阈值：**通过采集目标色块的 HSV 值，设定 $H \in [100, 130]$ ， $S \in [80, 255]$ ， $V \in [80, 255]$ 。

3 电路与程序设计

3.1 电路设计

3.1.1 AI8051U 核心电路

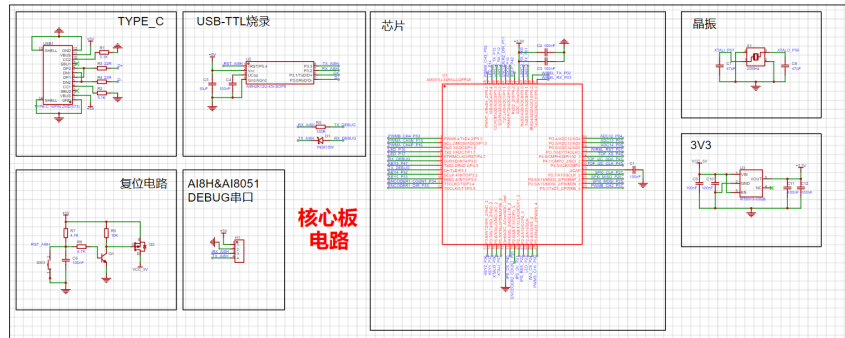


图 2: AI8051U 核心电路板原理图

3.1.2 TI MSPM0G3507 核心电路

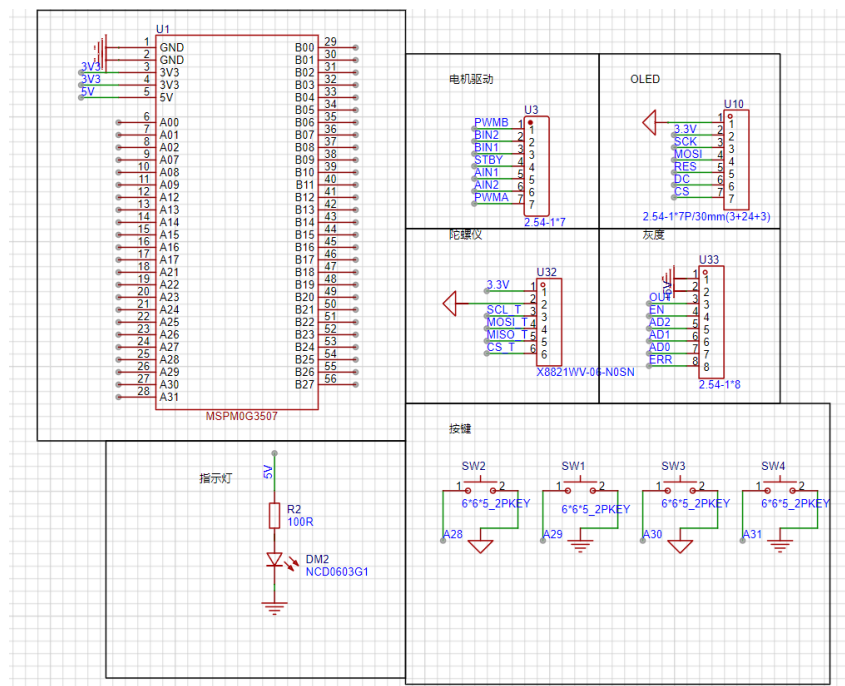


图 3: TI MSPM0G3507 核心电路板原理图

3.2 程序设计

3.2.1 主程序设计思路

瞄准模块：摄像头检测圆形标靶将圆心坐标与画幅中央坐标做差分解，计算输出控制二维云台将激光笔面瞄准靶心。循迹模块：周期从八路灰度传感器 ADC 读取模拟量，基于加权平均算法计算车辆偏离黑线的成都，加入转向环 pid 差速控制转向完成循迹。

3.2.2 循迹程序流程图

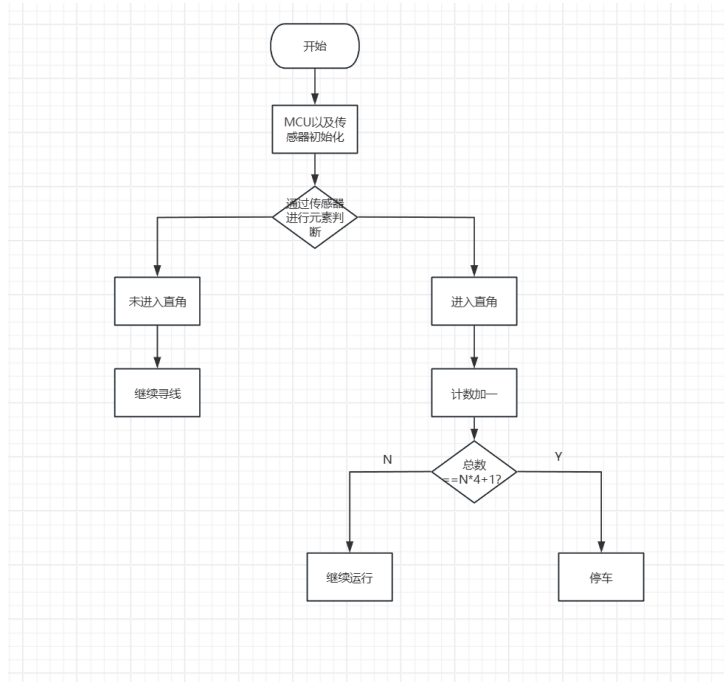


图 4: 循迹程序流程图

3.2.3 瞄准程序流程图

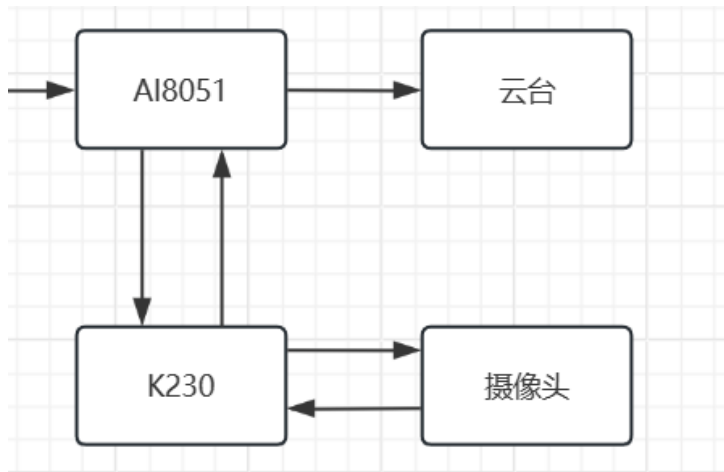


图 5: 瞄准程序流程图

4 测试方案与结果分析

4.1 测试方案

- **测试环境:** 行驶场地采用白色哑光喷绘布制作, 行驶赛道无标记, 环境光线均匀, 与赛题要求一致。
- **测试仪器:** 示波器、万用表、频谱仪、秒表、卷尺、笔记本电脑、摄像头等。

• 测试方法:

1. 循迹性能测试: 将小车置于赛道起点, 启动后观察其循迹能力, 记录通过指定路线所用时间和偏离轨迹次数。
2. 自动瞄准测试: 在不同角度和距离下, 测试云台对目标色块的自动识别与瞄准能力, 记录识别成功率和响应时间。
3. 抗干扰能力测试: 在不同光照、背景和噪声干扰下, 测试系统的稳定性和鲁棒性。
4. 模块功能测试: 分别对传感器、驱动、通信等模块进行单独测试, 确保各模块功能正常。
5. 数据记录: 关键数据用笔记本电脑和仪器实时记录, 便于后续分析。

4.2 测试结果与数据

表 1: 测试项 (1) 循迹性能测试 (要求: 小车能稳定完成赛道循迹)

测试序号	完成时间 (s)	是否偏离	是否满足要求
1	15.6	否	是
2	16.9	否	是
3	15.2	否	是

表 2: 测试项 (2) 自动瞄准测试 (要求: 识别率 >95%, 响应时间 <1s)

测试序号	识别成功率 (%)	响应时间 (s)	是否满足要求
1	98	0.85	是
2	97	0.90	是
3	99	0.80	是

表 3: 测试项 (3) 抗干扰能力测试 (要求: 系统稳定运行)

测试序号	干扰类型	是否异常	是否满足要求
1	强光照	否	是
2	背景杂色	否	是
3	人为干扰	否	是

4.3 误差/性能分析

1. 传感器噪声与漂移: 传感器在长时间运行后可能出现零点漂移或噪声干扰, 影响姿态估算和循迹精度。改进方法: 采用高精度传感器, 增加滤波算法, 定期校准。
2. 光照变化影响视觉识别: 环境光照变化大时, 色块识别准确率下降。改进方法: 优化图像预处理算法, 增加自适应阈值。
3. 步进电机丢步: 云台高速运动时步进电机可能丢步, 导致瞄准误差。改进方法: 合理设置加减速曲线, 选用闭环步进电机或加装编码器反馈。