

## 自动行驶小车

**摘要：**本装置为自动行驶小车系统。该系统以 TI 公司微控制器 MSPM0G3507 为控制核心，通过 TB6612 电机驱动完成电机控制，驱动小车运动。采用灰度传感器识别黑色赛道，将误差值反馈给主控制器。主控制器运用 PID 算法处理误差值，控制直流电机，从而控制小车自动闭环行驶。选用陀螺仪测定领航角度，实现空白区域小车沿指定路线闭环运动。最终，自动行驶小车可以在规定时间内按指定要求行驶，可以实现在指定点停车的功能，在指定的行驶状态中准确地发出蜂鸣器提示和 LED 亮灯提示。

**关键词：**PID 闭环控制；惯性导航；自动行驶；电机控制

## 一、系统方案

### 1.1 小车角度检测方案选择

**方案一：**陀螺仪角度闭环控制。陀螺仪优点是可以提供非常高的角速度和角度测量精度，反应灵敏；缺点是长时间使用会出现零点漂移，且需要复杂的校准和数据处理算法。

**方案二：**电机编码器闭环控制。电机编码器优点是实现角度检测简单；缺点是精度较低，如若出现轮胎打滑现象，会导致误差累计。

**方案比较与选择：**实际测量时，方案一陀螺仪在测试前校准后，其精度足以达到题目要求；而方案二虽实现较为简易，但电机编码器精度不足，无法到达题目要求，因此选择方案一。

### 1.2 电机选择

**方案一：**步进电机。步进电机优点是步距稳定，转矩较大，没有回程差，控制简单；缺点是高负载时容易“丢步”，开环控制无法对此作出修正。

**方案二：**直流电机。直流电机优点是转速较高，在负载较大的情况下，可以通过闭环反馈维持稳定运转；缺点是使用相对复杂，控制精度依赖反馈调节。

**方案比较与选择：**本次驱动小车需要较大扭力与及时调整小车姿态，步进电机容易出现“丢步”，而直流电机可以通过编码器闭环反馈进行调节，消除外界环境的影响，故选择更稳定的直流电机。

### 1.3 系统总体方案设计

系统以 TI 公司的 MSPM0G3507 为主控芯片，通过串口屏实现人机交互，实现小车由 A 点行驶到 B 点停止、绕圈行驶、绕“8 字”行驶多圈的任务。同时可通过串口屏实现陀螺仪校准、调参的功能。使用 5 路光电对管与陀螺仪作为辅助巡线模块，5 路光电对管实时反馈小车中心相对黑线的偏差，陀螺仪实时反馈小车领航角。系统使用 LED 与蜂鸣器作为指示模块，小车行驶经过地图上 A，B，C，D 四点时进行声光提示。MSPM0G3507 主控模块接收到 5 路模拟灰度传感器与陀螺仪发送的信息，通过 PID 算法调整两直流电机的转速，从而控制小车运动。系统总体设计方案设计框图如图 1 所示。

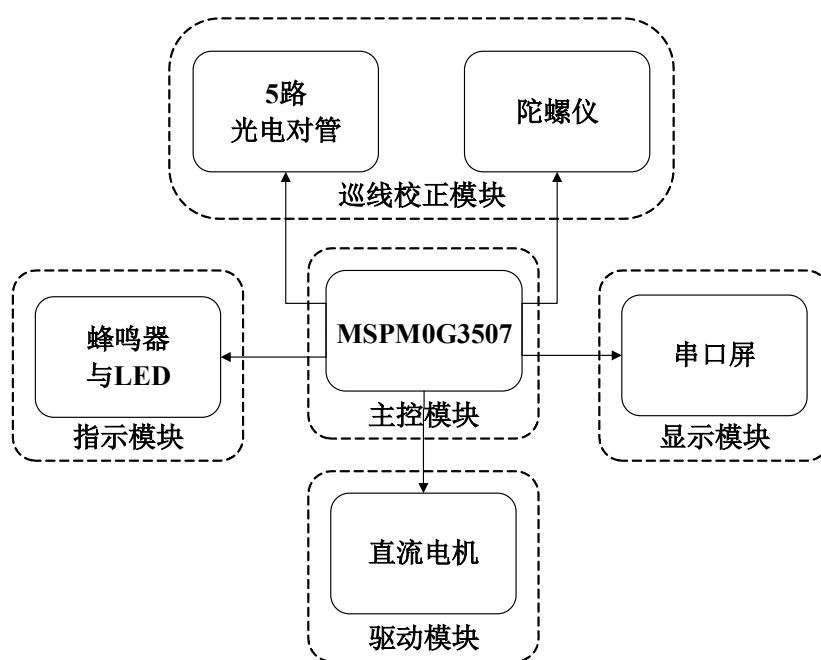


图 1 系统框图

## 二、理论分析与计算

### 2.1 行驶小车机械结构

行驶小车机械结构外观如图 2 所示。小车整体结构为前轮驱动后轮转向的三轮模型，车体投影长宽为 230mm \* 140mm，车体高度 140mm，行驶小车长宽高均符合题目要求。

车体前部固定安装一对直流电机驱动的橡胶轮。后轮为球头万向轮。陀螺仪安装在车体前部，主控板安装在车体后部，串口屏安装在车体顶部。

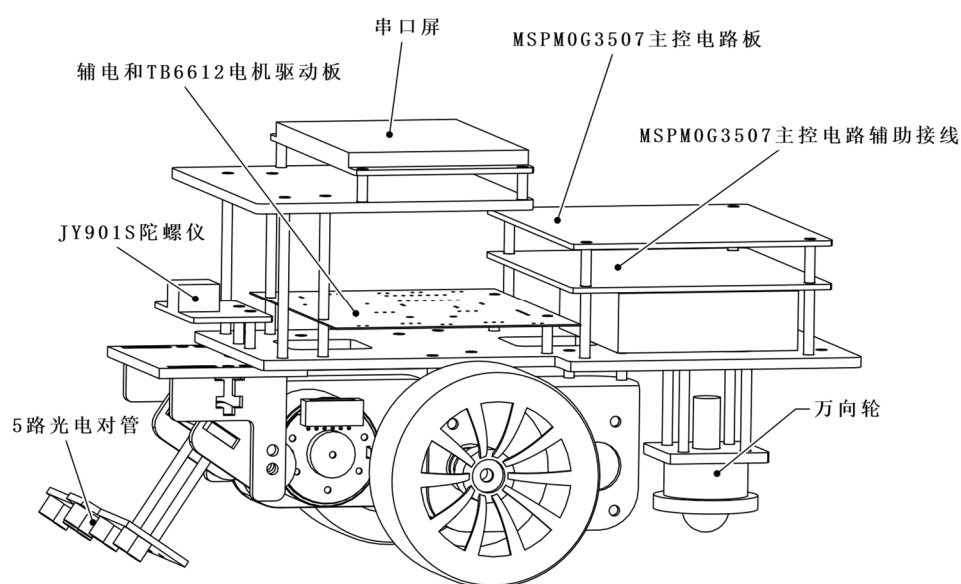


图 2 行驶小车机械结构外观图

## 2.2 运动控制

小车的运动模型为二轮差速模型，如图 3 所示，设轮距为  $L$ ，左右轮速度分别为  $V_1$ ， $V_2$ ，左右轮偏转角度分别为  $\theta_1$ ， $\theta_2$ ，航向角为  $\alpha$ 。

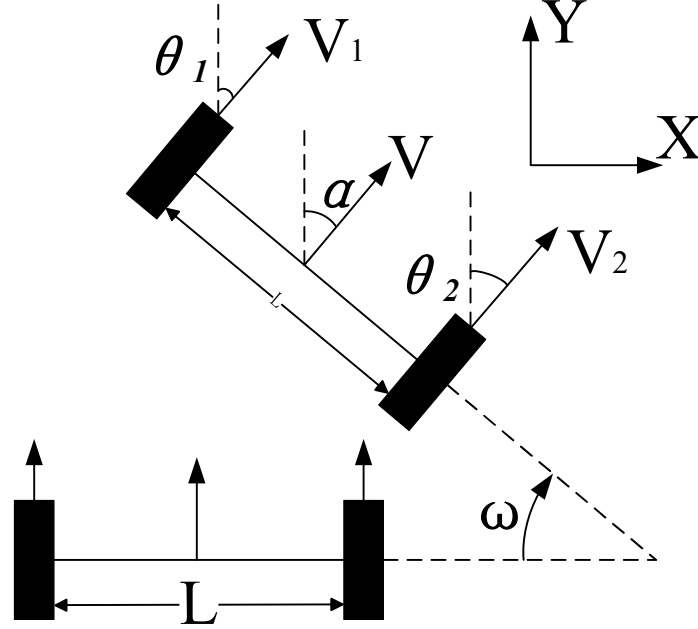


图 3 运动模型

轮轴中点的速度分量分别为：

$$v_x = \frac{1}{2}(v_1 \cos \theta_1 + v_2 \cos \theta_2) \quad (1)$$

$$v_y = \frac{1}{2}(v_1 \sin \theta_1 + v_2 \sin \theta_2) \quad (2)$$

轮轴的角速度为：

$$\omega = \frac{v_2 \cos \theta_2 - v_1 \cos \theta_1}{L}$$

故航向角关于时间的函数为：

$$\alpha(t) = \int \omega dt + \alpha_0$$

## 2.3 小车姿态解算及 PID 控制

行驶任务需要用到 Z 角的场景包括，小车在白色区域沿直线行驶，转向时确定车头转向。在白色区域，系统采用陀螺仪进行小车姿态解算，串口读取陀螺仪输出数据进行处理。小车行驶依靠航向角（Z 角），航向角解算公式是

$$Z = (\text{YawH} \ll 8 | \text{YawL}) / 32768 * 180^\circ \quad (3)$$

YawH 为领航角高八位数据，YawL 为领航角低八位数据。小车每次行驶任务开始前，设置 Z 角为 0 度，以获取行驶小车绝对位置，并进行姿态调整。在半圆弧线部分，使用 5 路光电对管进行巡线。当检测到黑色弧线时向主控制器发送低电平，主控制器对接收到的传感器情况进行解算，判断小车中轴偏离弧线的程度，并将其反馈值代入巡线环 PID 进行计算。PID 计算的流程图如图所示。

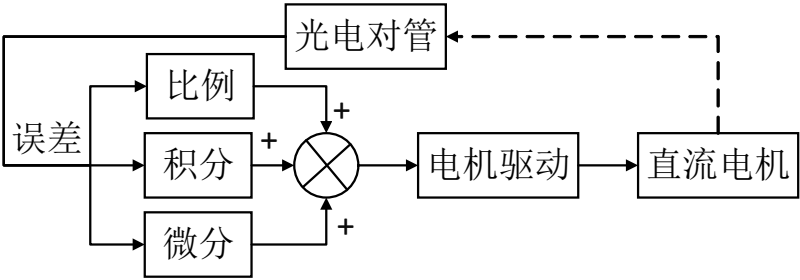


图 4 PID 流程图

### 三、电路与程序设计

#### 3.1 硬件电路设计

本系统主要用到的硬件电路是直流电机驱动电路。选择使用 TI 公司的 DRV8872 直流电机驱动芯片，外围电路如图 5 所示：

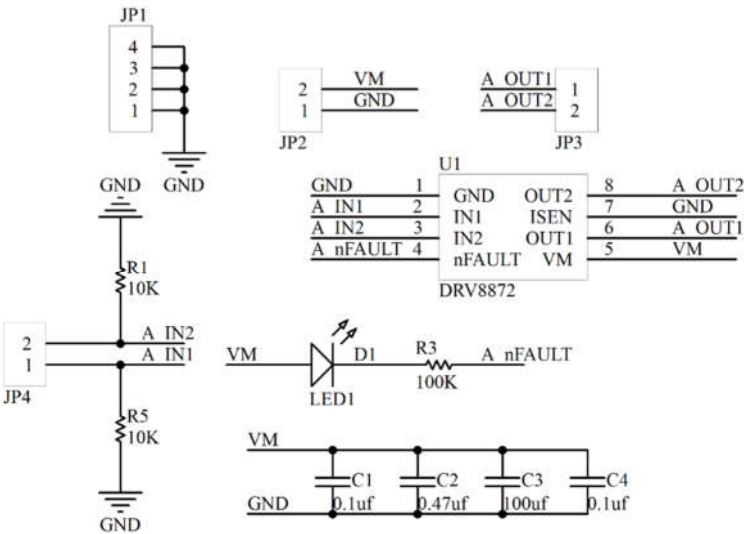


图 5 电机驱动电路

其中 VM 为 12V 输入电压，A\_IN1 与 A\_IN2 为两路 PWM 信号输入，连接主控制器，A\_OUT1 与 A\_OUT2 为电机驱动的输出，连接电机的两个输入端。当有信号输入时，电机驱动将根据输入的信号来驱动电机。

### 3.2 程序设计

陀螺仪标定与选题后，小车在白色区域自动行驶，在黑色路线巡线行驶。未修正小车电机编码器误差，主控制器接收陀螺仪与 5 路光电对管传送的小车的位置信息及与黑色赛道的位置关系信息，运用 PID 算法处理后输出 PWM 信号，控制小车正确运动，实现自动行驶的功能。自动行驶小车的程序流程图如图 6 所示。

/

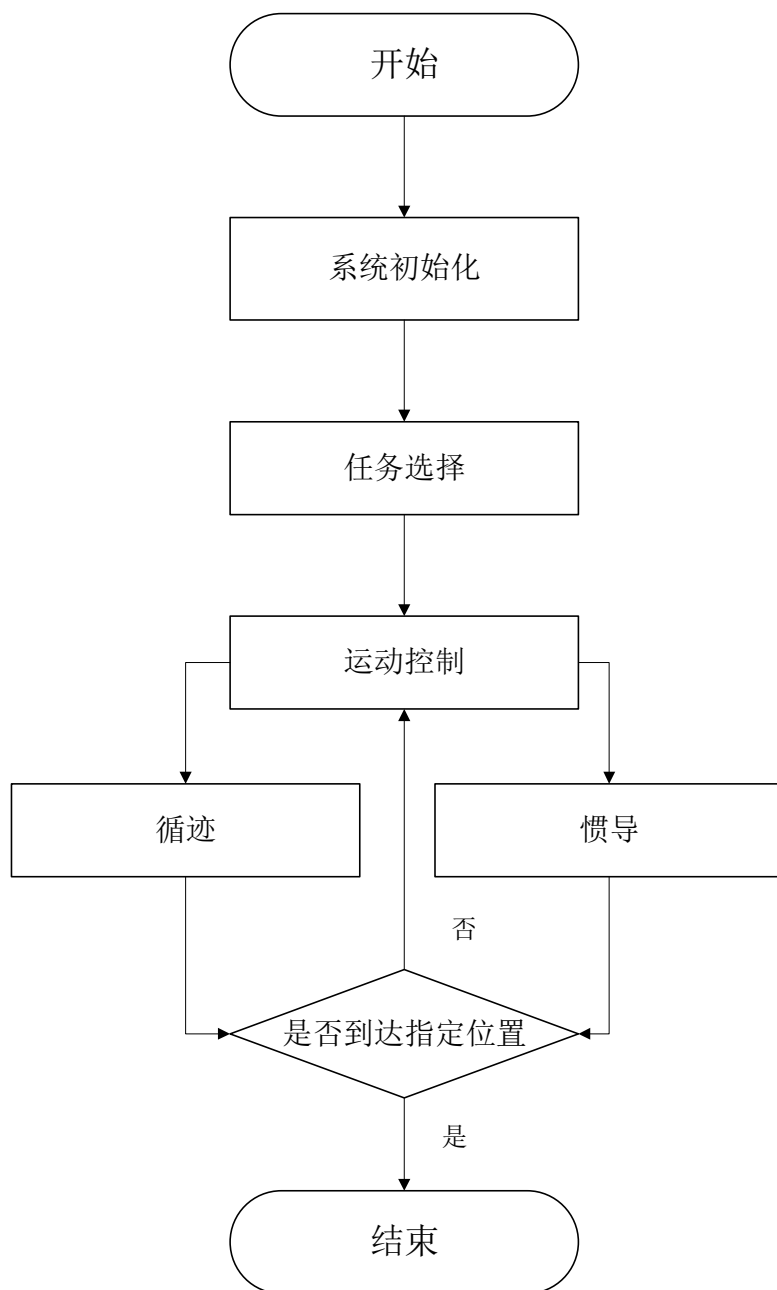


图 6 程序流程图

## 四、测试方案与结果

### 4.1 测试环境

表 1 测试环境

测试器件名称	测试器件种类	测试器件说明
电源	12V 可充电锂离子电池	用于提供 12V 电源
秒表	卡西欧	HS-70W 型秒表
米尺	田岛	L19-50

### 4.2 测试方案

(1) 将小车放在位置 A 点, 小车行驶到 B 点停车, 停车时蜂鸣器发出声音, 持续时间 2s, 绿色 LED 发光。计时总用时。

(2) 将小车放在位置 A 点, 小车自动行驶到 B 点, 再沿半弧线行驶到 C 点, 再由 C 点自动行驶到 D 点, 最后沿半弧线行驶到 A 点停车, 每经过一个点, 蜂鸣器发出声音, 持续时间 2s, 绿色 LED 发光。计时小车行驶完一圈用时。

(3) 将小车放在位置 A 点, 小车自动行驶到 C 点, 沿半弧线行驶到 B 点, 再由 B 点自动行驶到 D 点, 最后沿半弧线行驶到 A 点停车。每经过一个点, 蜂鸣器发出声音, 持续时间 2s。计时小车行驶完一圈用时。

(4) 行驶小车按要求 (3) 的路径自动行驶 4 圈停车, 计时总用时。

### 4.3 测试结果与数据

(1) 将小车放在位置 A 点, 小车行驶到 B 点停车。得到的数据如表 1 所示。

表 1 自动行驶小车任务 1 运动测试表

测试序号	路径行驶设定	总运动时间
1	由 A 点行驶到 B 点	9.85s
2	由 A 点行驶到 B 点	10.14s
3	由 A 点行驶到 B 点	9.98s

(2) 小车放在位置 A 点，自动行驶到 B 点，再沿半弧线行驶到 C 点，再由 C 点自动行驶到 D 点，最后沿半弧线行驶到 A 点停车。得到的数据如表 2 所示。

**表 2 自动行驶小车任务 2 运动测试表**

测试序号	路径行驶设定	总运动时间
1	行驶一整圈	20.34s
2	行驶一整圈	19.89s
3	行驶一整圈	21.54s

(3) 小车放在位置 A 点，自动行驶到 C 点，沿半弧线行驶到 B 点，再由 B 点自动行驶到 D 点，最后沿半弧线行驶到 A 点停车。得到的数据如表 3 所示。

**表 3 自动行驶小车任务 3 运动测试表**

测试序号	路径行驶设定	总运动时间
1	“8 字”行驶一整圈	30.46s
2	“8 字”行驶一整圈	31.58s
3	“8 字”行驶一整圈	29.60s

(4) 行驶小车按要求(3)路径自动行驶 4 圈停车。得到的数据如表 4 所示。

**表 4 自动行驶小车任务 4 运动测试表**

测试序号	路径行驶设定	总运动时间
1	“8 字”行驶四整圈	120.56s
2	“8 字”行驶四整圈	121.98s
3	“8 字”行驶四整圈	119.64s

#### 4.4 测试结果分析

由数据结果可知，自动行驶小车可以根据设定要求，在规定时间内完成各项任务。小车在行驶过程中，经过四个点时顺利发出声光提示。自动行驶小车在行驶过程中，顺利完成由 A 点行驶到 B 点停止并发出声光提示、从 A 点开始行驶一圈回到 A 点停止、由 A 点开始行驶绕“8 字”行驶一圈回到 A 点停止、由 A 点开始行驶绕“8 字”尽快行驶四圈回到 A 点停止的任务，行驶过程中每经过一个点，声光提示一次。满足题目要求。