

自动行驶小车

摘要：本装置为一款自动行驶小车。该小车以 TI 公司微控制器 MSPM0G3507 为控制核心，通过 A4950 电机驱动完成电机控制，驱动小车运动；使用陀螺仪 JY901S 来闭环控制小车行驶的方向，采用八路灰度传感器对半圆弧线进行巡线；选用蜂鸣器和 LED 作为小车行驶状态的提示器件。最终小车能过按照要求的路径行驶、停车并进行声光提示，可以很好的满足题目要求。

关键词：轮式小车；MSPM0G3507；电机控制；传感器

一、系统方案

1.方案比较与选择

1.1 机械转向方案

方案一：舵机转向。此方案利用舵机结合阿克曼结构为车辆提供转向控制。优点是能够适配四轮结构，增强车辆的稳定性和行驶平顺性。缺点是复杂的机械结构提升了控制系统的复杂度和调试难度。

方案二：差速转向。此方案采用万向轮作为从动轮、电机作为主动轮，通过差速控制实现车辆的灵活转向，甚至支持原地转向。该方案的优点是机械结构简单，易于实现和维护，且能够在保证一定稳定性的前提下，提供高度的灵活性。缺点是稳定性不足。

方案比较与选择：对于本设计而言，希望保证整体灵活性和响应速度的前提下减小设计难度。虽然方案一在理论上能提供更高的稳定性，但其复杂的机械结构和控制难度增加了实现难度。相比之下，方案二拥有简单的机械结构和高效的转向方式，同时考虑到本设计中对稳定性的要求不高，差速转向可以在很好实现功能的同时降低设计难度。因此，基于上述分析，我们决定采用方案二作为本设计的机械转向方案。

1.2 小车定向行驶方案

方案一：GMR 角度传感器。此方案利用 GMR 角度传感器来确定小车角度，进而实现小车行驶方向的闭环控制。此方案优点是能够在静态和低速环境下提供高精度的角度测量，且噪声水平低；缺点是在高速旋转或动态变化的环境中，GMR 传感器的延迟较大；且复杂电磁环境可能干扰 GMR 传感器的正常工作，影响其测量精度。

方案二：陀螺仪 JY901S。此方案利用 JY901S 对小车的偏航角进行解算，进而根据角度的闭环控制实现小车定向行驶。此方案优点是 JY901S 能够迅速捕捉并反馈设备的姿态变化，且采用先进的滤波算法抗干扰，能够在复杂环境中保持稳定的测量性能。无论是在静态还是动态环境下，JY901S 都能提供稳定的高精度姿态信息。缺点是其成本同时也较高。

方案比较与选择：在本设计当中，希望小车能够保持更高的行驶速度同时具备更强的稳定性和抗干扰能力。在动态环境下，相比 GMR 角度传感器，JY901S 能够提供更及时的响应同时也能提供更稳定的姿态信息。因此基于以上分析，本设计决定采用 JY901S 作为小车的定向行驶方案。

2.总体方案描述

系统框图如图 1 所示，本系统由传感器模块、主控模块、动力驱动模块和人机交互模块构成。传感器部分使用 JY901S 作为角度传感模块，解算小车当前偏航角；使用灰度传感器来测量小车中心与黑线的偏差值。主控模块使用 LP-MSPM0G3507 作为主控制器，接收到传感器信号并计算误差后，根据当前选题状态分别输出两个编码电机的控制信号；动力驱动模块使用 A4950 电机驱动和编码电机来驱动小车，根据控制信号行驶、停车、巡线；使用蜂鸣器、LED 和串口屏作为人机交互模块，实现声光提示和模式选择。

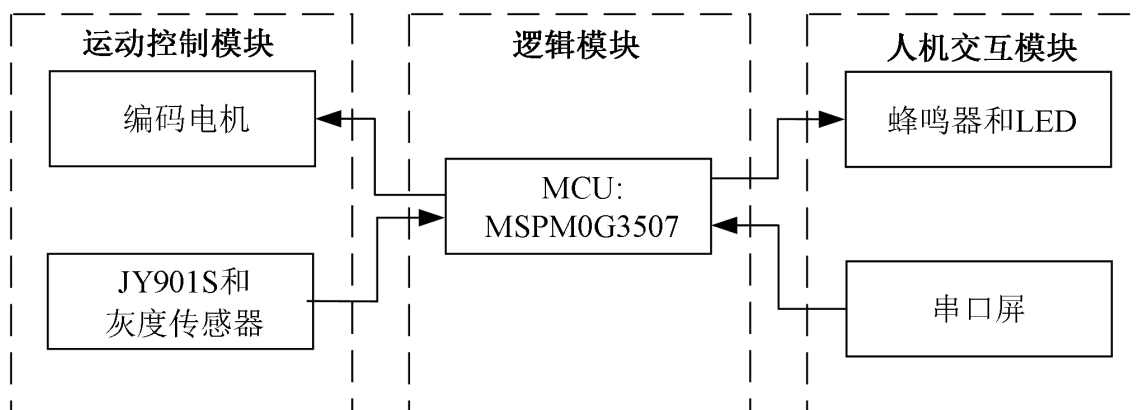


图 1 系统框图

二、理论分析与计算

1.小车自动行驶过程误差分析

1.1 机械系统误差

- (1) 车身机械结构：车身设计的刚性与精度直接影响行驶稳定性，可能导致路径偏离。
- (2) 直流电机动态特性：电机响应速度、力矩波动等特性在高速或急转时可能引入误差。
- (3) 电机与轮子安装结构：安装精度不足会导致传动效率降低，增加摩擦力误差。
- (4) 硬件外设重量：额外重量对轮子产生的压力变化，影响摩擦力，进而产生行驶误差。

1.2 传感器的静态误差和动态误差

(1) 陀螺仪 JY901S

静态误差：静止时，JY901S 的静态误差基本为 0，无显著角度误差。有略微零漂，但是其波动在小数点后两位，基本不影响小车行驶。

硬件安装误差：需保持水平安装以避免偏航角读取误差。

动态误差：小车行驶过程中，JY901S 偏航角变化灵敏带来的角度持续波动，但是可以通过调节角度环 PID 的参数消除此误差。

(2) 八路灰度传感器

静态误差：静止时，静态误差基本为 0，通过上电前校准可进一步减少。

识别误差：巡线过程中，角度偏差可能导致黑白线误判，影响当前位置判断。不过可以通过返回上一次的偏差消除此误差。

权重线性赋值：通过权重赋值减少误差，但动态环境下仍存误差累积。

2. 小车轨迹控制理论分析

2.1 空白路径分析

针对空白路线(如 A 到 B, B 到 D)，采用角度环与加速度环串级 PID 控制策略。

外环角度环：设定目标角度（如 0° 对应 A 到 B， 180° 对应 C 到 D），接收陀螺仪反馈的当前角度，计算误差后通过 PID 调节输出目标速度。若小车在起始点 A 存在一个偏转角度 θ ，如图 2，则系统会将陀螺仪反馈的偏转角度 θ 输入至角度环进行处理。特别地，对于 A 到 C 等含角度转向的路径，先预设一个向内偏转角度以校正起始姿态，随后将 β 角 ($\beta \approx 38^\circ$) 作为目标角度输入。

内环速度环：以外环输出的目标速度为输入，结合编码器实时反馈的当前速度，进行 PID 调节，输出控制电机的 PWM 值。这一环节确保电机能以精确的速度和姿态调整，实现稳定行驶。

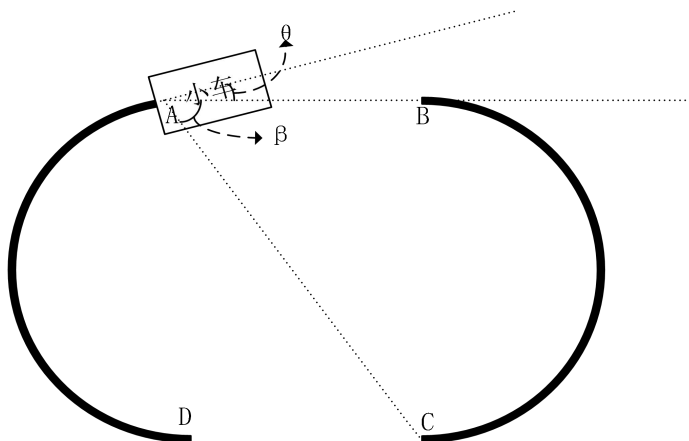


图 2 小车行驶示意图

2.2 黑线路径分析

对于黑线路径（半圆弧区域），采用基于八路灰度传感器的巡线偏差 PID 与加速度环串级 PID 结合的控制方案：巡线系统通过读取八路灰度传感器的 GPIO 值并进行线性权重赋值后求和，得到当前巡线偏差。接着，将巡线偏差与目标偏差进行比较，通过 PID 控制算

法调节输出速度增量。此速度增量与预设的基础速度相加，作为内环速度环的输入。最后，内环速度环再次通过 PID 调节，输出精确的电机 PWM 信号，驱动小车根据巡线偏差实时调整姿态，确保精确循迹。

三、电路、程序与机械设计

1. 电路设计

系统总体电路图如图 3 所示，电源 12V 锂电池通过 LM2596S 稳压分别输出 5V 作为 LP-MSPM0G3507、灰度传感器等模块的 VCC；JY901S 和灰度传感器把采集的信号反馈给 MCU 进而调整电机的控制信号；驱动 A4950 利用 12V 作为 VM，根据 MCU 输出的控制信号驱动编码电机转动；MCU 根据传感器采集的信息判断小车状态，控制 LED 和蜂鸣器进行声光提示；串口屏和按键给 MCU 传递信号用于任务的切换。

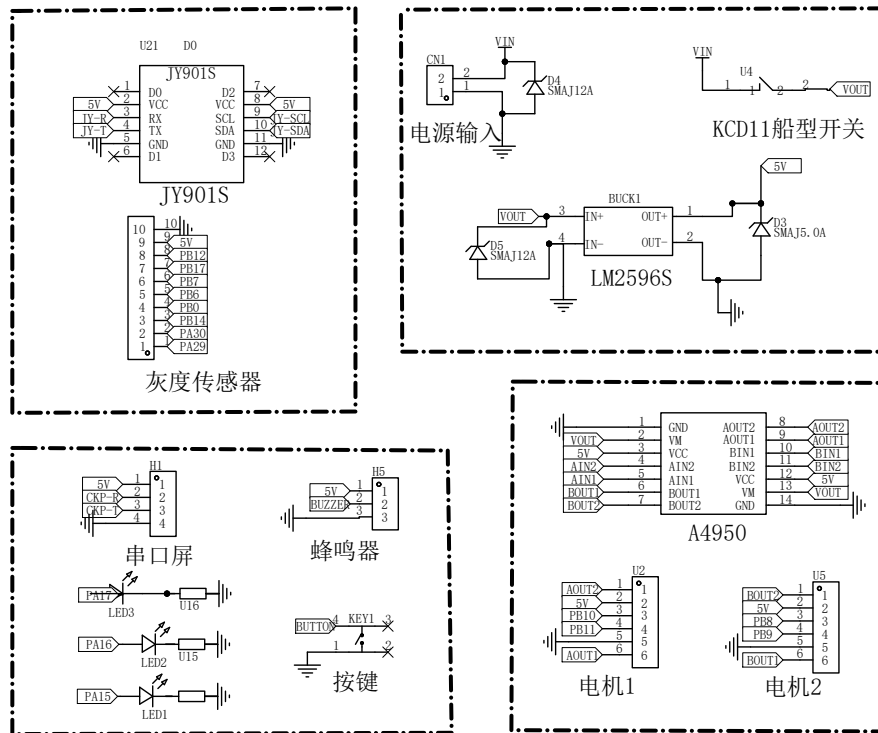


图 3 小车电路原理图

2. 程序设计

针对小车姿态调整的需求，本系统设计了两种串级 PID 控制方案，分别应用于空白区域行驶和半圆弧轨迹行驶的场景。

对于空白区域的行驶，系统采用角度环作为外环，速度环作为内环的控制策略。程序执行流程如下：首先，设定目标行驶角度和基础速度。接着，读取当前陀螺仪的偏航角，

若检测到偏航，则将偏航角从 $-180^{\circ}\sim 180^{\circ}$ 映射到负无穷到正无穷的范围，以便后续计算。映射后的偏航角作为输入，送入角度 PID 控制器，计算出目标速度。此目标速度再作为内环速度环的输入，进行进一步的 PID 调节。最终，程序输出 PWM 控制信号，调整小车行驶姿态和速度，确保按设定目标稳定行驶。此方案的具体程序框图如图 4 所示。

对于两个半圆弧的行驶，系统则采用巡线环作为外环，速度环作为内环的控制策略。程序执行流程如下：首先，设定目标行驶速度。接着，读取八路灰度传感器的 GPIO 口输出数字量，并进行偏差解算，以判断小车是否巡到黑线。若检测到黑线，则将计算出的偏差值送入巡线环 PID 控制器，调节输出目标速度值。此目标速度再送入内环速度环 PID 控制器进行进一步计算。最后，程序输出 PWM 控制信号，控制小车姿态，确保按预设目标和轨迹稳定行驶。此方案的具体程序框图如图 5 所示。

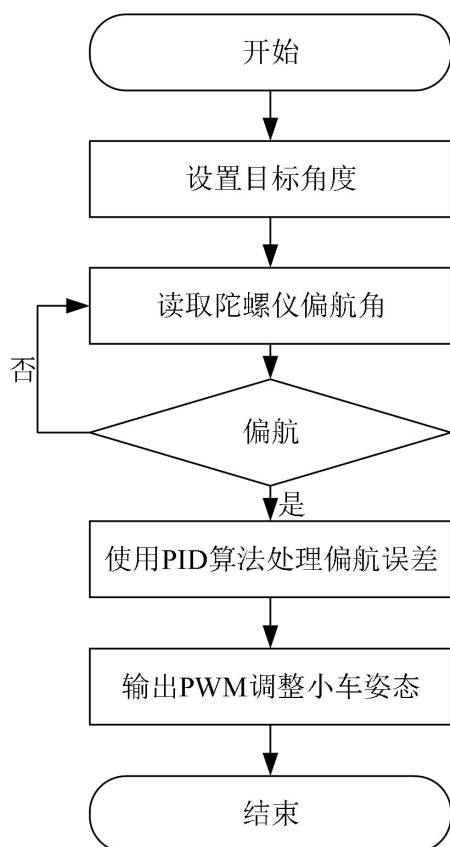


图 4 角度调整程序框图

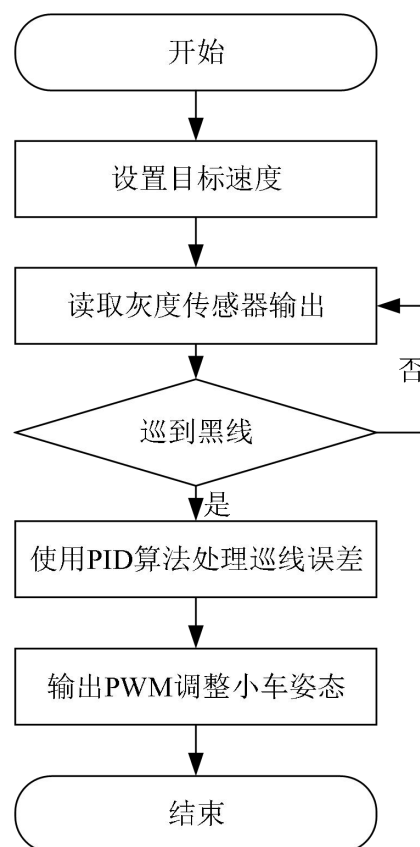


图 5 巡线程序框图

3.机械结构设计

小车主体由环氧板和铜柱构成，采用万向轮作为从动轮。小车前端装有灰度传感器，便于小车识别弧线并循线行驶；后端装有串口屏，方便各项任务之间的切换；中间部分装载 12V 锂电池和主控电路板，控制整辆小车。小车机械图如图 6 所示。

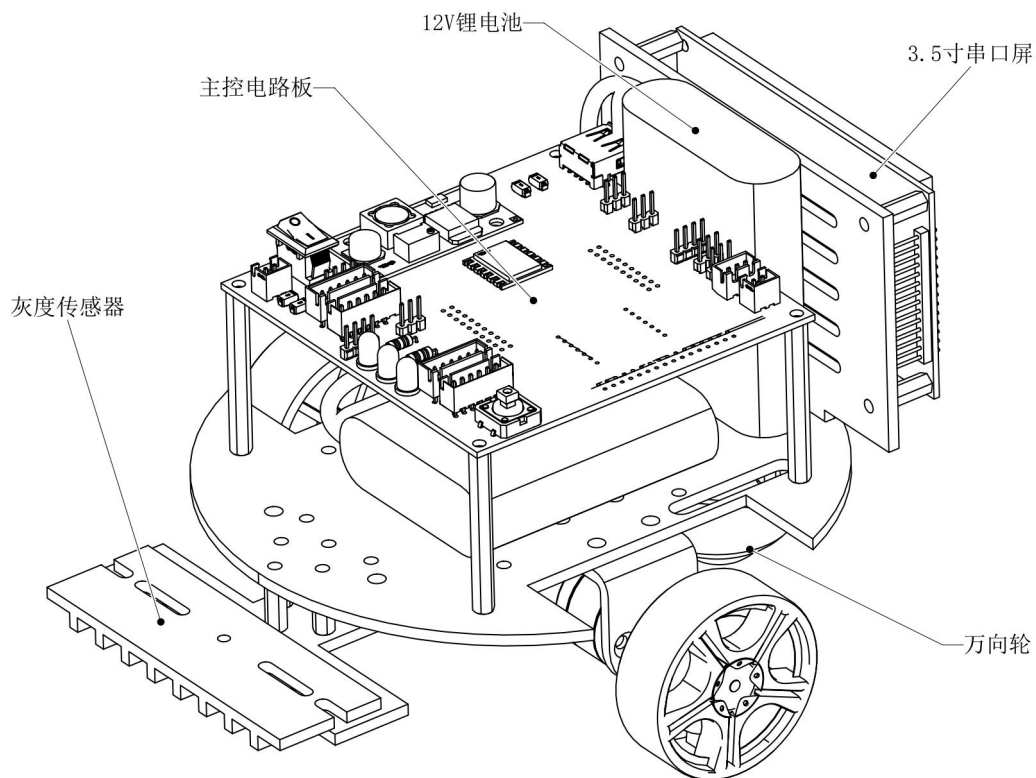


图 6 小车机械图

四、测试方案与测试结果

1.测试环境

表 1 测试器件表

测试器件名称	测试器件种类	测试器件说明
电源	UTP3305S	三通道稳压电源
其他	秒表	用于计时

2.测试方案

- (1) 将小车放在位置 A 点，让小车自动行驶到 B 点停车，停车时发出声光提示。
- (2) 将小车放在位置 A 点，让小车自动行驶到 B 点后，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，声光提示一次。
- (3) 将小车放在位置 A 点，让小车能自动行驶到 C 点后，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，声光提示一次。
- (4) 按要求 3 的路径自动行驶 4 圈停车，测量用时。

3. 测试结果与数据

(1) 将小车放在位置 A 点, 小车能自动行驶到 B 点停车, 停车时有声光提示。得到的数据如表 2 所示。

表 2 自动行驶小车任务 1 测试表

测试序号	行驶路径	投影是否覆盖顶点	停车是否有声光提示	总运动时间
1	A-B	是	是	2.87s
2	A-B	是	是	2.94s
3	A-B	是	是	2.91s

(2) 将小车放在位置 A 点, 小车能自动行驶到 B 点后, 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, 声光提示一次。得到的数据如表 3 所示。

表 3 自动行驶小车任务 2 测试表

测试序号	行驶路径	投影是否覆盖顶点	停车是否有声光提示	总运动时间
1	A-B-C-D-A	是	是	15.32s
2	A-B-C-D-A	是	是	15.46s
3	A-B-C-D-A	是	是	15.44s

(3) 将小车放在位置 A 点, 小车能自动行驶到 C 点后, 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, 声光提示一次。得到的数据如表 4 所示。

表 4 自动行驶小车任务 3 测试表

测试序号	行驶路径	投影是否覆盖顶点	停车是否有声光提示	总运动时间
1	A-C-B-D-A	是	是	18.53s
2	A-C-B-D-A	是	是	18.62s
3	A-C-B-D-A	是	是	18.66s

(4) 按要求 3 的路径自动行驶 4 圈停车，测量用时，得到的数据如表 5 所示。

表 5 自动行驶小车任务 4 测试表

测试序号	行驶路径	行驶圈数	投影是否覆盖顶点	停车是否有声光提示	总运动时间
1	A-C-B-D-A	4 圈	是	是	63.27s
2	A-C-B-D-A	4 圈	是	是	63.66s
3	A-C-B-D-A	4 圈	是	是	63.50s

4. 测试结果分析

由数据结果知，小车可以根据任务要求行驶指定的路径，且运动过程中小车投影均覆盖顶点并在顶点有蜂鸣器短暂发声和 LED 亮灯提示。小车行驶时间均在要求范围内且沿 A-C-B-D-A 行驶 4 圈的时间仅为 63.48s，可以很好满足题目要求。