

摘要

本项目设计了一款双车跟随系统，以实现在小车循迹行驶的前提下进行双车通信，避免碰撞。基于 MSP430f5529 的相关功能与增量式 PID 算法，使用七路灰度传感器实现基本的循迹功能。对于通信任务，使用蓝牙模块，设定对应的协议并调节相应串口，从而实现两车的通信指令。此外，利用激光测距模块，根据原件的固有协议返回跟随小车与领头小车之间的距离，并与 PID 算法结合控制小车的速度，实现通信避障。该方案经实验验证可行有效，能够较稳定地完成循迹与双车通信任务，两车也可以顺利避开而不发生碰撞。

关键词：MSP430f5529 增量式 PID 小车循迹 通信避障

1. 系统方案与工作原理

1.1 预期实现目标定位

设计并制作两辆智能循迹小车，可以按照指定的轨迹完成循迹运动，主要实现以下功能：

（1）单个小车能够循黑色轨迹运动，且可以根据不同控制指令完成内圈和外圈两条不同轨迹以及圈数的运动。

（2）两个小车可以进行协同通信，跟随小车根据接收到的数据完成启动、停止、变更速度等指令。

（3）跟随小车准确识别领头小车的运动状态从而自行做出调整，并且跟随小车可以与领头小车保持给定距离，避免发生碰撞。

1.2 技术方案分析

本系统主要包括：主控、循迹、防撞、通信等模块。

（1）主控模块

方案 1：采用 MSP430 微处理器，片内资源丰富。因其采用了精简指令集（RISC）结构，具有大量的可参与多种运算的寄存器以及片内数据存储器，处理能力强，功耗低，学习难度略低于 Stm32 系列微处理器，所以比较适宜运用于复杂功能的仪器仪表中。

（2）循迹模块

方案 1：采用七路灰度传感器进行识别，可以相对准确识别出黑线与白色背景，体积较小，同时可以根据相应判断函数识别岔路口，操作难度较低，易于处理。

方案 2：采用 OpenMV 视觉模块，利用 `get_regression()` 函数获得线性回归的方法循线。可以正常进行巡线，但是操作复杂，尤其是 OpenMV 分时复用，上手难度大，不易处理。

综合考虑操作难度与任务需求，选择方案 1。

（3）防撞模块

方案 1：选择智能激光测距 VL53L0 传感器 VL53L1 距离模块进行测距。该方法可以与 MSP430 微处理器协同运用，过程复杂程度相对较低，抗干扰程度较好，准确性较高。

方案 2：采用 OpenMV 并配合 TOF 光学拓展版进行测距。该方法与方案 1

效果类似，但增加了 OpenMV 的运算处理，复杂程度较高。

方案 3：采用超声波模块测距。此方法适合于距离较近的物体间的测距，准确度较高，但学习资源较少，算法设计较为复杂。

综上考虑选择方案 1。

（4）通信模块

方案 1：采用蓝牙进行无线通信，此方法较适于在较短距离内进行较为简单的无线通信。蓝牙采用串口与主控进行通信，占用引脚较少、协议较为简单，实时性强。

方案 2：采用 NRF24L01 芯片，采用 FSK 调制，无线通信最高速度可以达到 2Mbps，采用 SPI 通信。

综上使用难度以及对主控板资源的占用情况，考虑选择方案 1。

1.3 系统结构工作原理

本设计采用 MSP430f5529 单片机驱动，通过七路灰度传感器，将结果传给主控制器，由主控制器处理后驱动电机运动，在激光测距传感器等多个传感器以及蓝牙通信模块等多个模块的协同控制下，共同完成目标任务，其系统原理框图如图 1.3.1 所示。

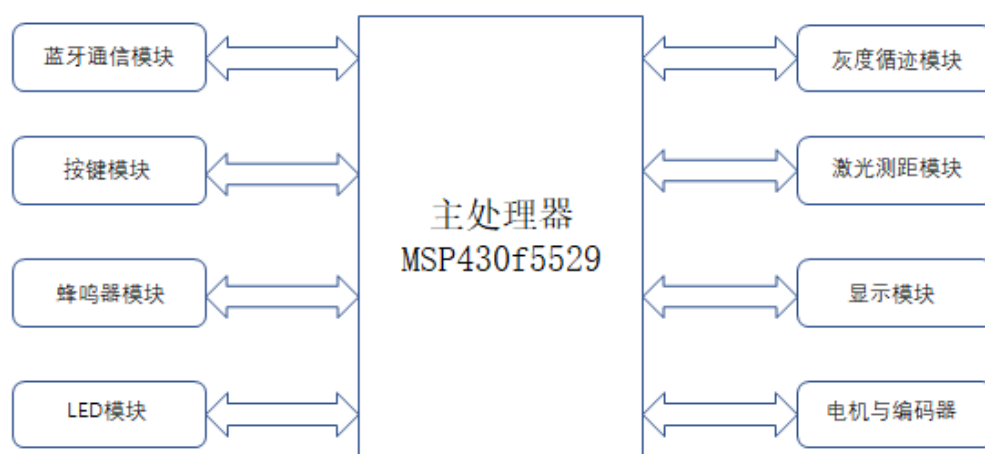


图 1.3.1 系统原理框图

2 理论分析

2.1 功能指标实现方法

（1）小车循迹

本设计采用七路灰度传感器进行循迹，通过增量式 PID 算法进行速度矫正。根据灰度传感器不相邻的指示灯熄灭的现象来判断小车当前是否经过岔路口。将

灰度传感器的采集数据传送给主控制器，以决定并调整行驶方向。

(2) 双车通信

领头小车与跟随小车通信采用蓝牙 4.2 模块 ATK-BLE01 串口，利用无线方式传送数据，应用简单，性能较好。通过蓝牙模块，可以进行双车指令、速度、位置等信息的交互。领头小车可以将前方道路状况及时反馈给跟随小车，可以使小车提前做出预判。同时当跟随小车与领头小车的距离相对较远，相对较近或领头小车已经停止时，该车会向跟随小车发送一个“数据信号”，并将其作为启动或停止指令以及速度调整指令，告知跟随小车应该加速、减速或立即停止。

(3) 双车防撞及距离控制

本设计主要采用激光测距模块进行两辆小车距离的测量。两辆小车均装有测距传感器。通过传感器获得测量距离，来判断两辆车所处的相对距离以及前后位置，调整双车速度，完成任务所给位置要求。

2.2 测量控制分析处理

(1) PID 控制算法

本题测量的关键是被控量的实际值，即期望值相比较，得到误差量，通过误差量调整系统的输出响应，执行调节控制。实际工程中，最常用的控制器为 PID 控制器，PID 控制简单，易于调节，由比例单元 P、积分单元 I、微分单元 D 构成，比例控制是 PID 控制的基础，也是 PID 调节器能够根据误差调节控制的重要环节，积分控制可以消除系统稳态误差，但也在一定程度上增加了系统超调；微分控制可加快惯性系统响应速度，减小超调，但是易于引起系统振荡。

3 模块介绍与电路示意图

3.1 关键器件性能分析

(1) 主控制器

本设计采用 MSP430f5529 微处理器，最高工作频率 24MHz，片内资源丰富，拥有多个定时器和中断，支持 ADC、DAC、LCD 液晶驱动等各种外设，广泛应用于电力电子系统设计。

(2) 电机

本设计电机采用超小 12V450 转电机，质量轻仅为 120g，最大扭矩可以达到 65kg.cm 左右，性能优异，便于做电机速度闭环，可以稳定带动轮子。

(3) 灰度传感器

本设计采用七路灰度传感器进行巡线，该灰度长 100mm，宽 33mm，相邻两个指示灯的间距为 14.33mm，在不超出规定尺寸的前提之下可以识别出更大的巡线角度偏差，循迹效果较好。

(4) 激光测距传感器

本设计采用 VL53-400 激光传感器，其体积较小、回传速率较快、测量量程为 40mm-4000mm，误差为 ± 20 mm，可以很好的满足我们的需求，也较为稳定。

(5) 电机驱动

本设计使用得科技技术的大功率电机驱动模块，最大支持 35V 的电压与 30A 的持续负载电流。同时可以接受占空比高达 98% 的 PWM 信号，并通过按键控制实现电机的正反转。

(6) 通信模块

本设计通信模块采用 ATK-BLE01 蓝牙通信模块，模块主从一体，可通过 AT 指令集与指定 MAC 地址的蓝牙模块进行配对、数据互传。同时配对一次之后上电会自动配对，不需要再次配对，波特率可选范围多，此次采用与 MSP430 主频较为匹配的 9600。

3.2 前期设计使用模块

OLED 模块：用于显示部分参数，直观性较强，可脱离上位机限制，便于调试程序。

串口通信模块：用于串口通信，实时观察较多数据，便于调试程序。

电机驱动模块：设计了电机闭环，使得小车可以更稳定的运动，便于循线与数字识别。

稳压模块：用于稳定输出电压并将处理后的电压供给各个模块，进而使各个模块安全、稳定、高效工作。

3.3 电路连线说明

(1) 循迹模块连线

本设计采用三轮小车，前轮为一个牛角轮，后轮为两个橡胶轮，分别通过两个电机连接。锂电池提供 12V 电压，通过一对稳压模块分别输出 5V 和 3.3V 电压。电机驱动的输入端连接电源，输出为 0-12V 大小不等的电压，使电机可以以不同转速带动橡胶轮旋转。LED、蜂鸣器、OLED 与七路灰度传感器和 MSP430f5529 的不同引脚连接，以便控制。

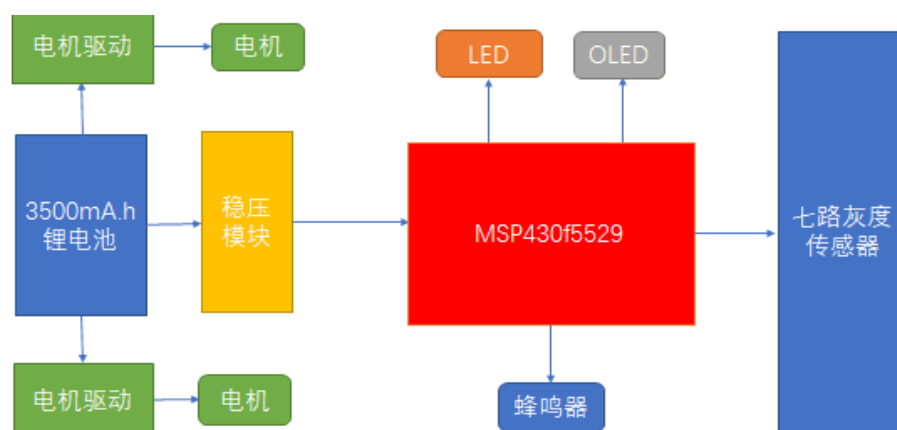


图 3.3.1 循迹模块连线示意图

(2) 双车通信模块连线

在领头小车与跟随小车上分别安装 ATK-BLE01 蓝牙通信模块，并与主处理器连接，用来发送与接收通信协议。同时，每个小车均连有 OLED 模块，用来显示小车执行的任务状态，从而判断通信是否成功。

(3) 小车防撞部分的连线

将 VL53-400 激光传感器与跟随小车的主控制板相连。跟随小车通过 OLED 显示与领头小车的距离状态。

4 系统软件设计分析

4.1 系统总体工作流程

通过灰度传感器进行小车的基础循迹、岔路识别->通过蓝牙无线模块进行双车通信->通过激光传感器进行测距并返回数据->单片机根据识别到以及接收到的数据对小车进行轨迹、速度控制，从而完成各项任务。

4.2 主要模块程序设计

循迹模块：由七路灰度传感器的测量值，并结合设定的权重值计算出当前状态的偏差量，通过增量式 PID 算法计算得到小车两轮的差速，进而更新小车的速度。当小车经过岔路口时，主控制器捕捉到灰度传感器不相邻指示灯的状态同时变化的情况，根据控制条件，按照不同的方向行驶。

测距模块：合理设计一款距离测试协议。在跟随小车上安装距离测试模块，通过激光测距传感器返回的值来计算出两车距离。参照激光测距传感器与跟随小车前端的距离和跟随小车与领头小车间的标准距离，设置距离标准值为 23.5cm。使用增量式 PID 算法，由当前距离值与标准值的偏差调整跟随小车的速度值。

通信模块：设置自主设计通信协议，设计帧头、帧尾以及所接受到数据代表的含义完成两车的独立通信。在领头小车配置好当前所需完成任务时，将会立刻向跟随小车发送所需完成的任务指令。当领头小车按下启动键时，将会立刻由发送模块向跟随小车的接收模块发送数据指令，可自行设置单次传输的数据量以及通信协议，完成两车通信任务。

4.3 关键模块程序清单

本项目设计的主要模块包括以下：

表 4.3.1 关键模块程序清单

| 文件名 | 注释 | 文件名 | 注释 |
|---------|---------|-----------------|--------|
| Motor.c | 电机驱动模块 | Encoder.c | 编码器模块 |
| Timer.c | 计时中断 | Speed_control.c | 速度控制模块 |
| Oled.c | 显示交互模块 | Beep.c | 蜂鸣器 |
| Key.c | 按键模块 | Led.c | Led 灯 |
| Laser.c | 激光与灰度模块 | Uart.c | 串口模块 |
| Ble.c | 通信模块 | | |

5. 竞赛工作环境条件

5.1 设计分析软件环境

MSP430 编程使用 IAR Embedded Workbench IDE-MSP4307.11.3 软件。

5.2 仪器设备硬件平台

仪器设备及硬件平台见表 5.2.1 所示。

表 5.2.1 仪器设备列表

| 仪器名称 | 仪器型号 | 仪器描述 | 仪器数量 |
|------|----------------|------------------------|------|
| 电源 | WANPTEK | / | 1 |
| 万用表 | VICTOR(VC890D) | / | 1 |
| 示波器 | TDS 1001B | 两通道, 40MHz, 500MS/s | 1 |

5.3 配套加工安装条件

采用电钻、锯子、各式各样的导线、螺丝刀等工具，通过结构件及螺丝螺母，

利用热熔胶和焊锡丝，将结构与电路连接起来。

5.4 测试与调节

在认真研读题目之后，按尺寸要求正确绘制场地与停止标记图并打印出图纸。整个比赛过程中使用上述图纸作为场地辅助进行测试工作，并进行多次调试，及时根据调试结果修改对应的参数。

6. 作品成效总结分析

6.1 系统测试性能指标

作品完成后，本组进行了初步测试，总体上能够通过按键的控制来切换任务。现将具体结果总结如下：

对于要求一，可以按照要求设定领头小车的速率在误差允许的范围内，且可以双车通信，循迹行驶，避免碰撞。同时，可以做到领头小车沿外圈运动一圈后在起点停车，并保证跟随小车同时停止，控制在两车间距在 $20\text{cm} \pm 6\text{cm}$ 范围内。

对于要求二，在保证上一问操作的基础上，能够灵活控制跟随小车与领头小车的距离，尽可能保证在与领头小车相距 20cm 左右的特定距离内实现跟随行驶与停止功能。

对于要求三，在保证通信避障的前提下，两车可以按照要求准确变换道路，并按照要求停车。此外，为优化小车行驶速度，我们分别设定领头小车的速度为 0.3m/s 、 0.5m/s 、大于等于 0.5m/s 小于 1.0m/s 区间的若干速度，并进行试验。运行发现，当领头小车的速度大于等于 0.3m/s 小于等于 0.6m/s 时，小车运行较为平稳，循迹基本准确且稳定，任务完成情况较好。当速度值大于该区间时，小车会出现较强扰动的现象/而且在相互超越的过程中，由于激光测距盲区，两车较易在交叉路口发生碰撞。

对于要求四，两车可以在规定的 1m/s 的速度误差范围内完成任务，同时能够准确识别停止线，按要求通信停止。

6.2 成效得失对比分析

小车整体上可以完成任务，在可以完成循迹的基础上较精准地进行通信。我们在设计过程中，更加注重程序的简洁性，通过合理地使用语句、构造模块，将任务分解成诸多部分，简化了代码量。这虽然简化了主控制板的工作压力，增加的运算处理的速度，但是取而代之的我们的代码逻辑将需要更加的严谨来避免错误，在任务路线设计过程中也带来了一定量的难度。