



西安交通大学
XI'AN JIAOTONG UNIVERSITY

计算机控制专题实验

智能车控制系统设计 II

小组成员	学号	班级	电话
张晓宇	2211410812	自动化 2101	18534918183
白柯渊	2211410814	自动化 2101	15392542186
程世民	2211211976	自动化 2101	15831379872
毛韵迪	2213311076	自动化 2101	13567723801

小组成员信息表

指导教师：景州

实验地点：西一楼 A306 室

实验时间：9~16 周周一 14: 30~18:00

报告提交时间：2024-06-17

目 录

1 控制系统的硬件构成与接线	1
1.1 硬件设备	1
1.2 控制系统的控制原理与硬件框架	1
1.3 连线图及说明	2
2 控制流程图与 Labview 设计过程	4
2.1 控制流程图	4
2.2 Labview 设计过程	4
3 WIFI 热点访问与手机参数控制画面	5
3.1 手机控制运动状态	5
3.2 手机控制循迹模式	6
4 控制逻辑与信号处理方法	6
4.1 语音控制	6
4.2 红外传感器与循迹算法	8
4.3 超声传感器与避障算法	11
5 控制器与整定规律	13
5.1 控制器	13
5.2 参数整定规律	13
6 遇到的问题与解决方法	14
7 实验总结、建议与分工	14
7.1 实验总结	14
7.2 实验建议	15
7.3 实验分工	15

1 控制系统的硬件构成与接线

1.1 硬件设备

计算机一台，控制器开发平台 NI myRIO 一块、小车一台、L298N 电机驱动模块两个、语音模块一个、四路红外传感器一个、HC-SR04 超声模块一个、SG90 超声波云台舵机一个、电池两个、导线若干。

1.2 控制系统的控制原理与硬件框架

首先将四个轮子的电机（电机线+与电机线-）接到两个 L298N 电机驱动模块上，再将驱动模块的使能端与 myRIO 相接，这样能够可以通过软件来控制四个轮子的转动与姿态。

将四个轮子的编码器（编码器 A 相、编码器 B 相）与 myRIO 相接，这样能够在软件上观察并控制轮子的转速。

分别将四路红外传感器、语音模块、超声模块及舵机与 myRIO 相接，这样能够用软件控制各传感器工作。

最后，将 L298N 的 12V 供电、GND、5V 供电，以及编码器的正极与 GND、以及各个传感器的供电端与 GND 通过面包板连接起来。

通过上述硬件框架，可以实现通过软件随时观测轮子的速度与姿态，并可根据传感器观测到的信息来对轮子进行控制，从而实现巡线或避障的效果。

此外，将程序框图中的变量设置为共享变量，再通过 WiFi 热点的连接，就可以在手机上修改参数，从而实现对小车进行无线控制。

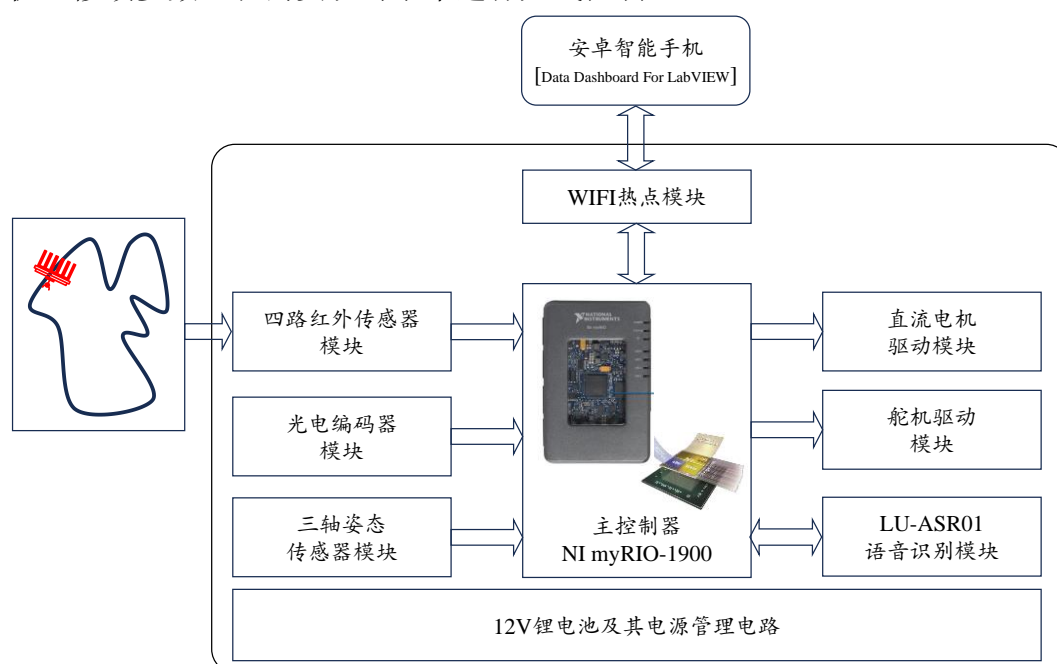


图 1-1 硬件构成框图

1.3 连线图及说明

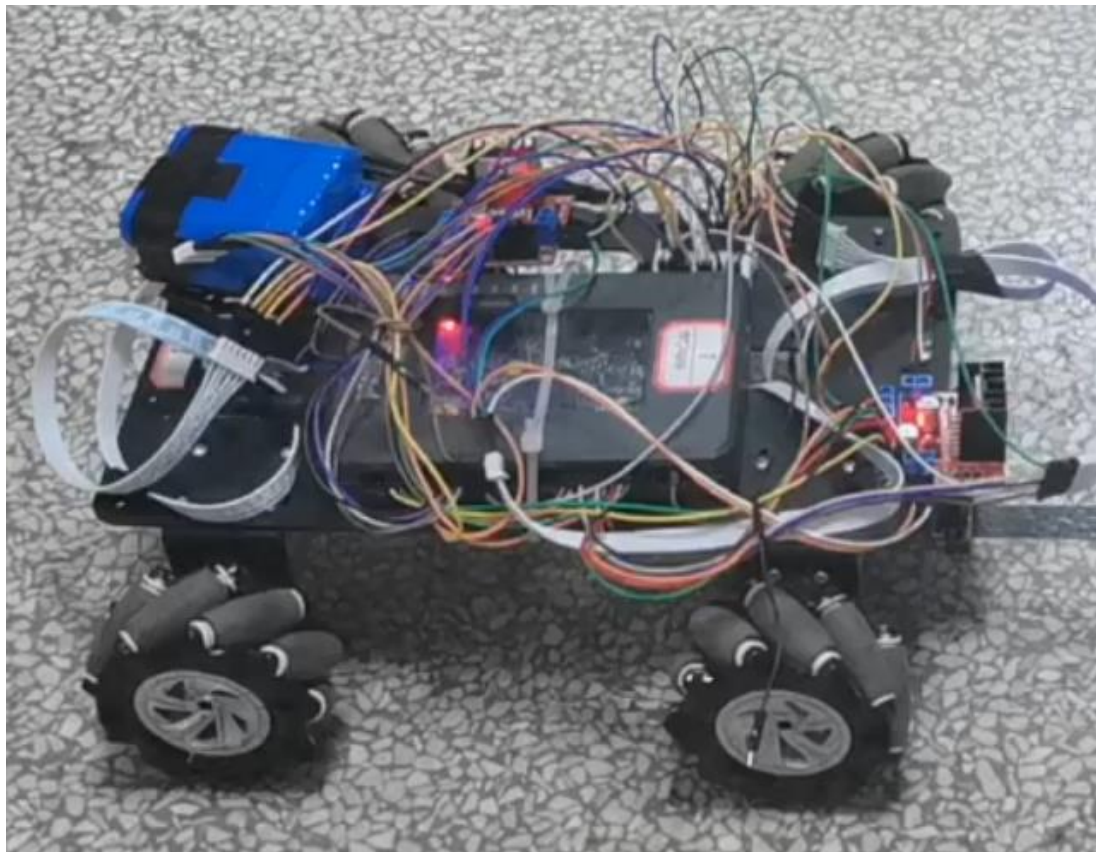


图 1-2 系统硬件结构及接线图

详细接线说明：

电机：

左前轮与右前轮的两个电机的电机线+与电机线-分别接同一个 L298N 电机驱动模块的输出 A 与输出 B 口；左后轮与右后轮的两个电机的电机线+与电机线-分别接另一个 L298N 电机驱动模块的输出 A 与输出 B 口。

编码器：

左前轮的编码器 A、B 相分别接 c 的 dio0 和 dio2

右前轮的编码器 A、B 相分别接 c 的 dio4 和 dio6

左后轮的编码器 A、B 相分别接 a 的 dio11 和 dio12

右后轮的编码器 A、B 相分别接 b 的 dio11 和 dio12

每个编码器的正极都接面包板上的 5v；每个编码器的 GND 都接面包板上的地。

L298N 电机驱动模块：

两个前轮的电机驱动模块：INA、INB 分别接 A 的 PWM0 与 PWM1，IN1~IN4 分别接 B 的 DIO0~DIO3。

两个后轮的电机驱动模块：INA、INB 分别接 B 的 PWM1 与 PWM0，IN1~IN4 分别接 A 的 DIO0~DIO3。

每个驱动模块的 12V 供电端都接面包板上的 12V；每个驱动模块的 GND 都接面包板上的地、每个驱动模块的 5V 供电端都接面包板上的 5V。

四路红外传感器：

X1~X4 分别接 B 相的 DIO4~ DIO7。

VCC 接面包板上的 5V，GND 接面包板上的地。

语音模块：

IN1 接 A 相的 DIO4，IN2 接 A 相的 DIO5。

HC-SR04 超声模块：

Trig 接 A 相的 PWM2；Echo 接 A 相的 DIO4。

VCC 接 5V 供电，GND 接地。

2 控制流程图与 Labview 设计过程

2.1 控制流程图

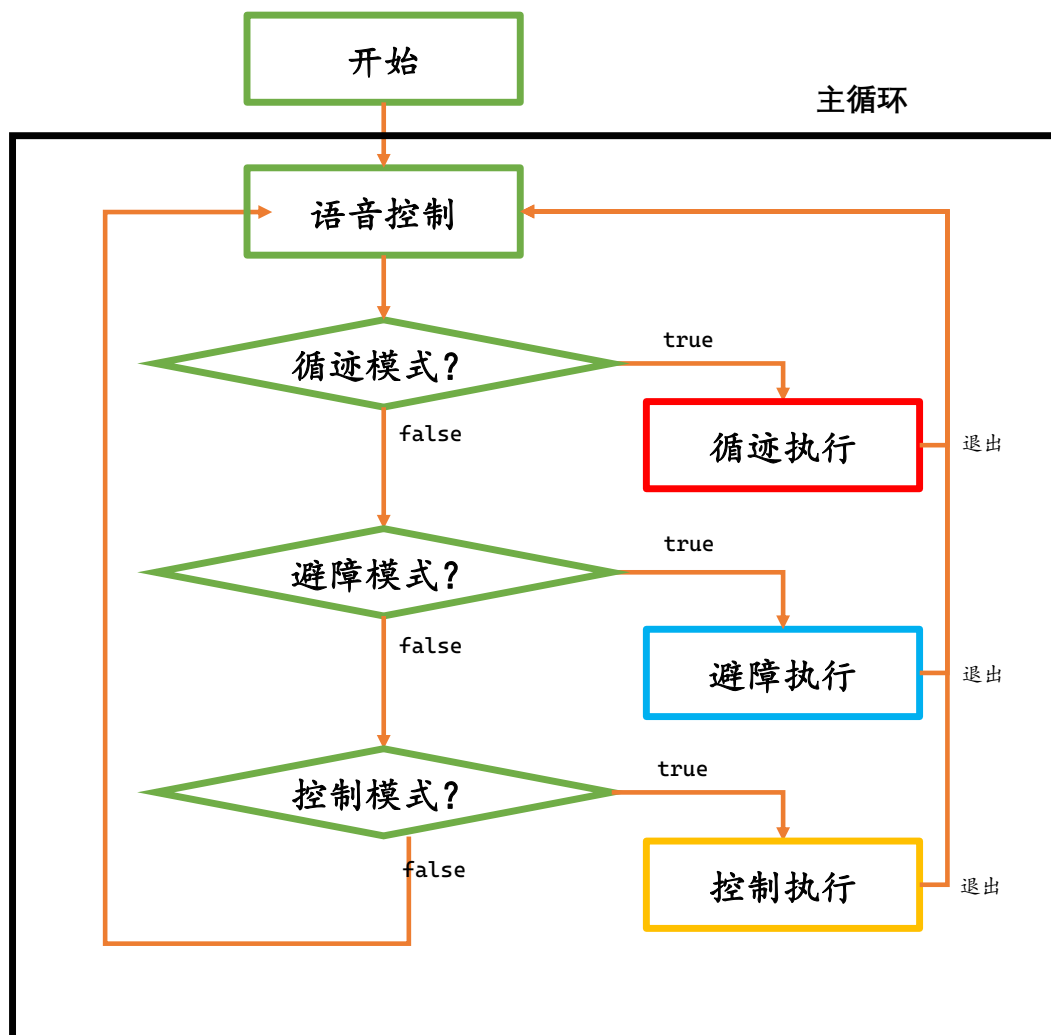


图 2-1 系统控制流程图

2.2 Labview 设计过程

实验基于自底向上的设计逻辑进行设计与完善。

(1) 基于实验 1 的小车基本控制基础上进行丰富与完善，添加复杂功能，我们先对红外传感器、语音传感器和超声传感器进行基本的调试与试验，编写了相关程序并了解其工作原理。

(2) 循迹模块设计：通过红外传感器将 $x1-x4$ 参数作为输入，

采用条件框对于不同的状态进行两轮间的差速输出设定，将其输入至速度控制模块从而实现寻迹。但是由于小车转弯半径较大，路径中的某些弯道仅靠差速无法成功寻迹，故加入反转，将差速输出给 PID 函数，当 PID 所输出的控制量大于某一门限时，加入反转，解决了转弯半径大的问题。通过经验法整定好 PID 参数之后，小车可

以较为灵敏且快速流畅地实现路线寻迹。

(3) 寻迹功能完成后，进行语音模块设计，对于相应的状态与功能进行标志语的设定。

(4) 超声测距与避障模块：测距利用微秒计数器计数，通过发射超声波，通过计算后加以滤波得出距离；避障通过循环使舵机不停摆头转动，对于三个角度的距离状态进行记录，根据左中右的测量结果进行相应的避障反映。

(5) 各个模块设计完成后将其综合至一起，完成了软件方面的设计。

3 WIFI 热点访问与手机参数控制画面

3.1 手机控制运动状态

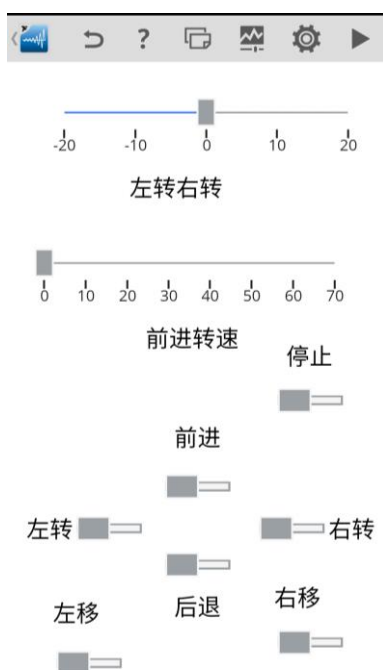


图 3-1 手机控制运动状态画面

其中前进转速控制运动过程中小车四个轮的平均速度，而左转右转则用来控制小车轮子间的车速，以用来控制小车的左移与右移的幅度，而多个开关则用来控制小车的各种运动状态，以完成对左移右移、前进后退等多种运动状态的控制，并同时采用 PID 使转速改变时过渡更平滑。

3.2 手机控制循迹模式



图 3-2 手机控制循迹模式画面

其中 `setv` 用于控制小车前进时轮子的平均转速，开关按钮则用于控制小车是否进入循迹模式，而前进则用来控制小车的启动，同时可以直接利用手机调节小车循迹中的 `PID` 参数，以便调出一个控制效果最优的 `PID`，而 `offsetx` 则用于控制小车在循迹状态下的最大速度。这样就在一个面板中很好实现了小车循迹和正常运动状态的控制目标。

4 控制逻辑与信号处理方法

4.1 语音控制

语音控制的原理就是将用手机控制的信号转化为语音模块串口的输出，语音模块将接收到的语音信号转换为引脚电压的变化，并通过数据线传输给 `myRIO`，从而引起 `myRIO` 的控制响应。

从设计思路，由于 `myRIO` 上还能使用的 `dio` 接口不多，故在达成控制目的的前提下尽量减少串口的使用。用 `I/O1` 端口控制循迹模式的打开与关闭，用 `I/O2` 端口控制避障模式的打开与关闭，用 `I/O3` 端口来控制语音控制端口的打开与关闭，即用语音去控制前进后退左移右移左转右转等各种运动状态，在 `I/O3` 端口打开时，由于语音控

制小车运动状态时运动模式较多，需要占用多种端口输出状况，为了减少端口使用，这时占用 I/O1 与 I/O2 并启用 I/O4，将各运动状态配置成不同的端口输出，并在退出语音控制状态时对各端口置零，以清除在语音控制时对 I/O1 端口以及 I/O2 端口占用带来的影响。

语音控制小车运动姿态共有 7 种，所以可以使用三个 IO 组合，实现对 7 种状态的控制。状态分配表如下。

A	B	C	状态
0	0	0	初始化
0	0	1	左转
0	1	0	右转
0	1	1	左移
1	0	0	右移
1	0	1	后退
1	1	0	停止
1	1	1	前进

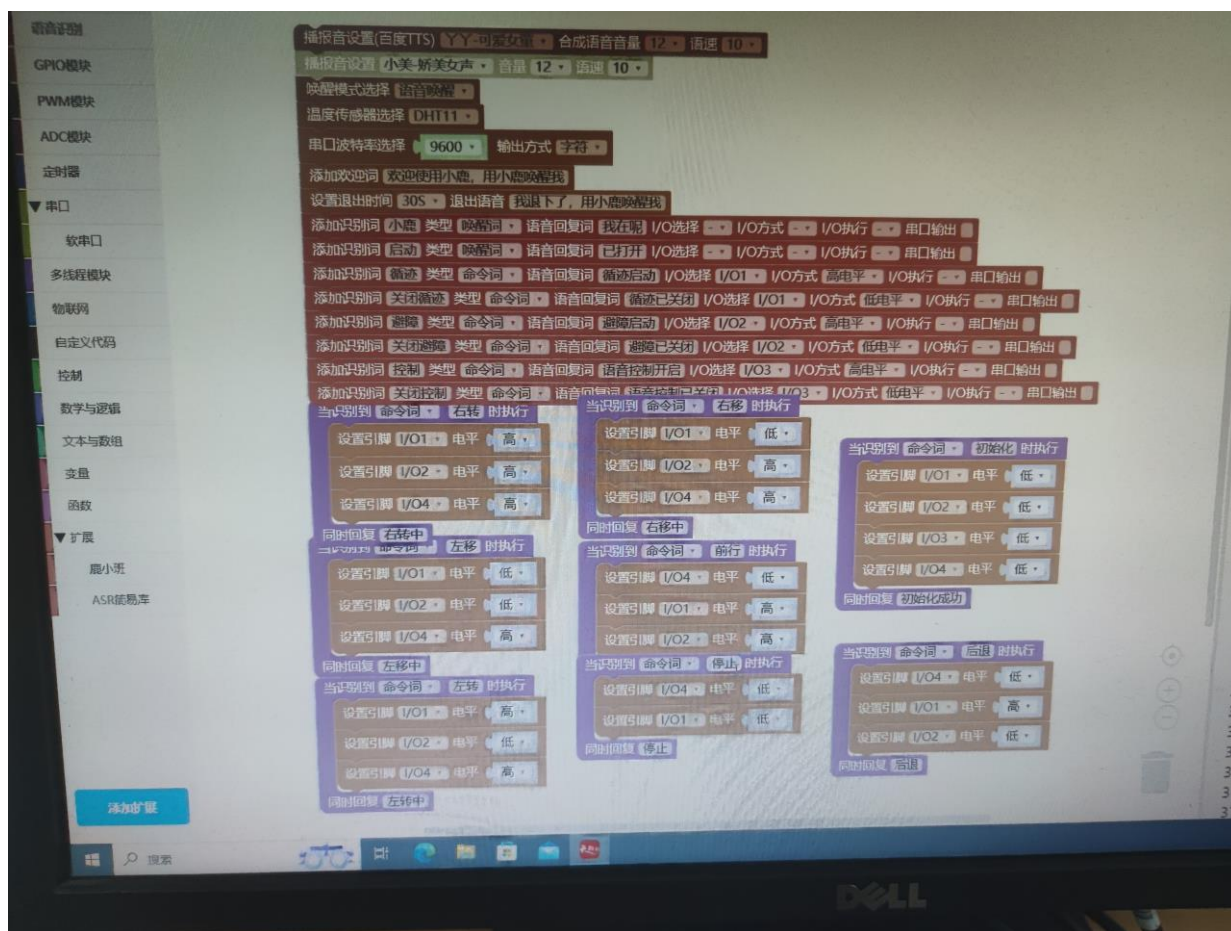


图 4-1 语音控制程序图

4.2 红外传感器与循迹算法

本次实验使用四路红外传感器实现小车循迹的功能，基于两轮差速的思想控制小车的左转右转。首先通过四路红外传感器得到四位的二进制状态，不同的状态组合代表不同等级的车身偏置，偏左或者偏右，偏转等级等。输出的偏差等级输入 PID 差速控制器，实现高精度连续的差速控制，保证车行进姿态的稳定。输出差速后，通过速度解算模块，得到电机转速大小和转动方向。输入速度控制与姿态控制子 v_i 中，实现车身的矫正。将差速平均分配到两边轮子上，实现更小转弯半径。如果输出为 0000，则说明小车红外传感器丢线，这时让偏转等级保持原来的状态，实现丢线以后自动寻线。

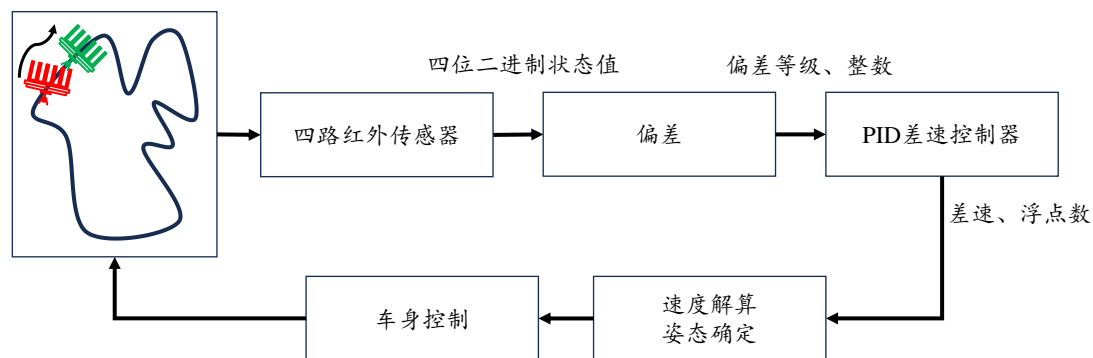


图 4-2 循迹模式框架图

四路红外传感器输入四路状态值，依据状态值确定车身姿态（轻微、中度、严重偏左、偏右），确定输出变量，差速 PID 控制器实现对两轮差速的控制，达到放大差速控制精度的目的。

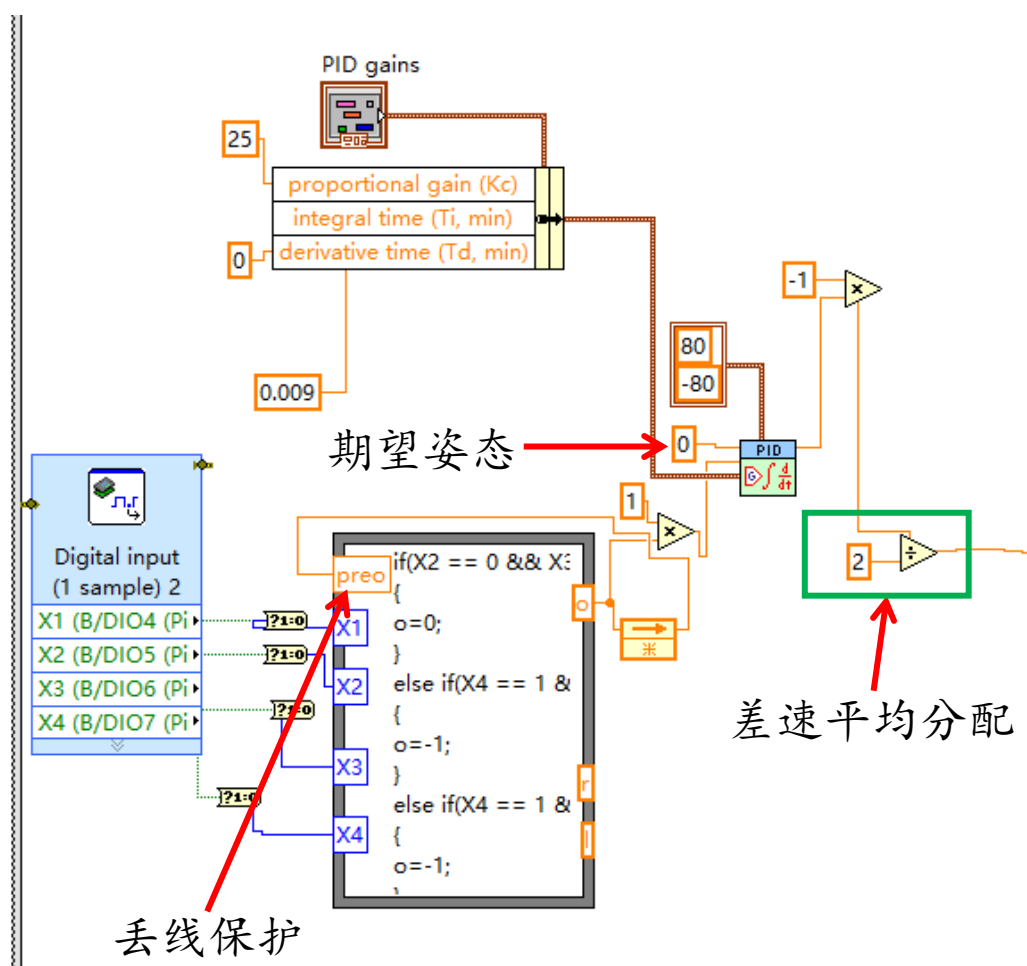


图 4-3 红外传感器及差速控制器结构图

PID 差速控制器输出的差速，将平均分配到两边轮子，并且设置速度限制，防止速度过大导致超调严重。实验所得最佳参数为基础速度 23，最大速度限制 30。两轮速度调整示意图见图 4-3。

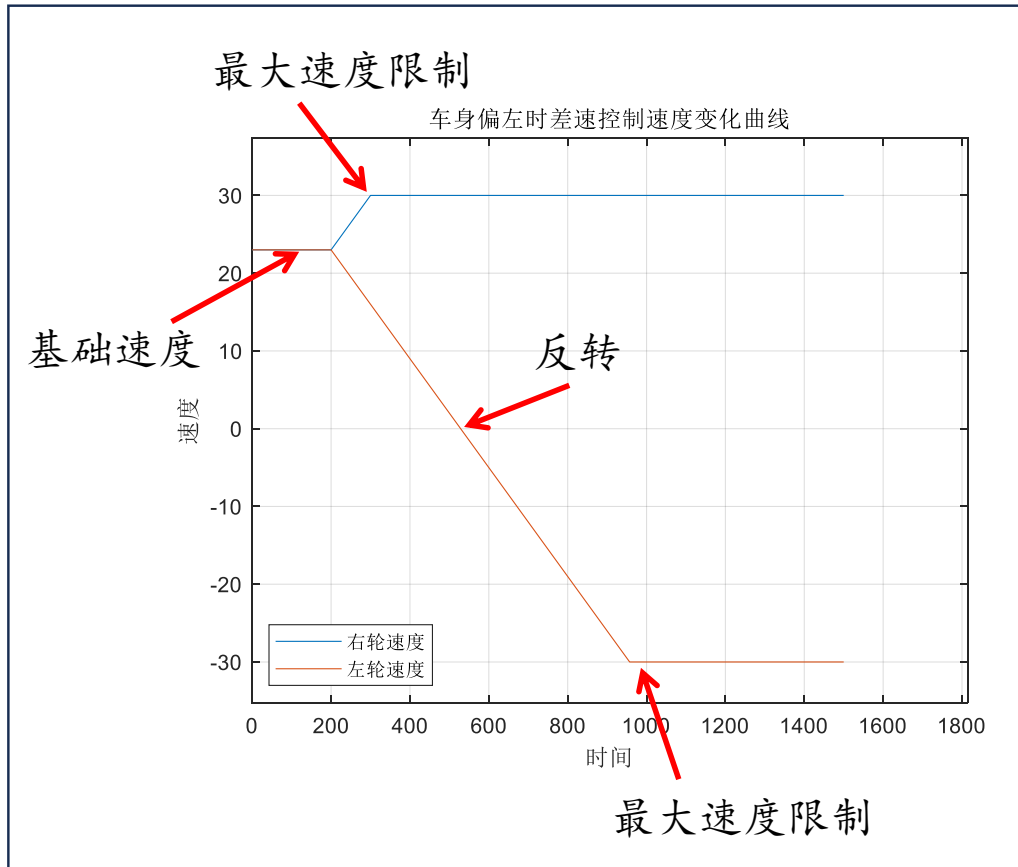


图 4-4 循迹模式速度解算示意图

循迹模式速度、姿态控制结构如下图所示。其中速度解算公式如下：

$$V_r = |(V_{base} + V_{offset}) \% V_{max}|$$

$$V_l = |(V_{base} - V_{offset}) \% V_{max}|$$

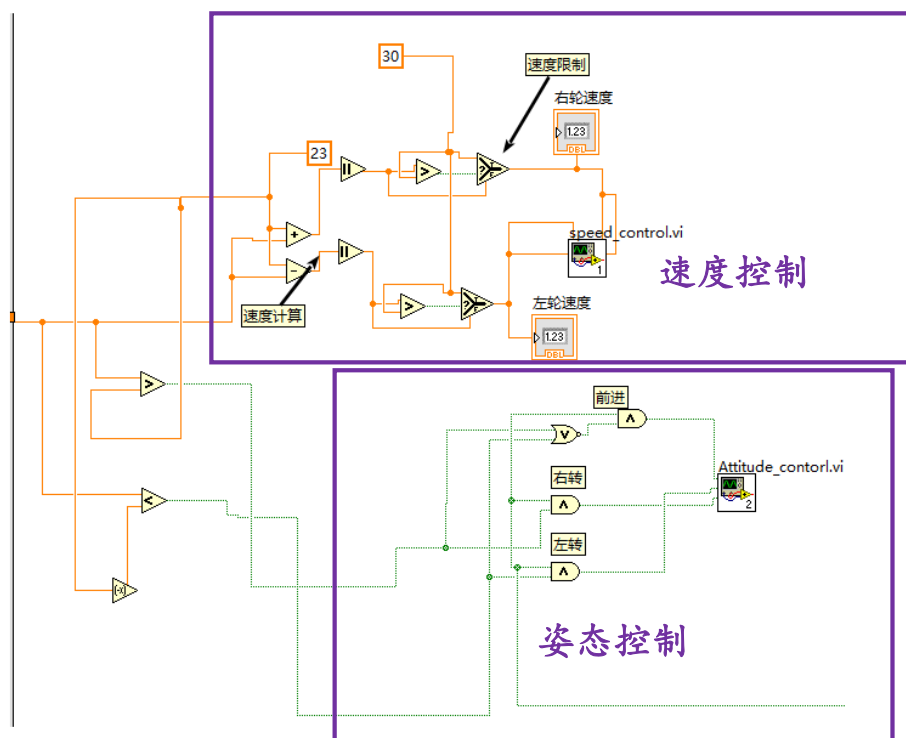


图 4-5 循迹模式速度、姿态控制结构图

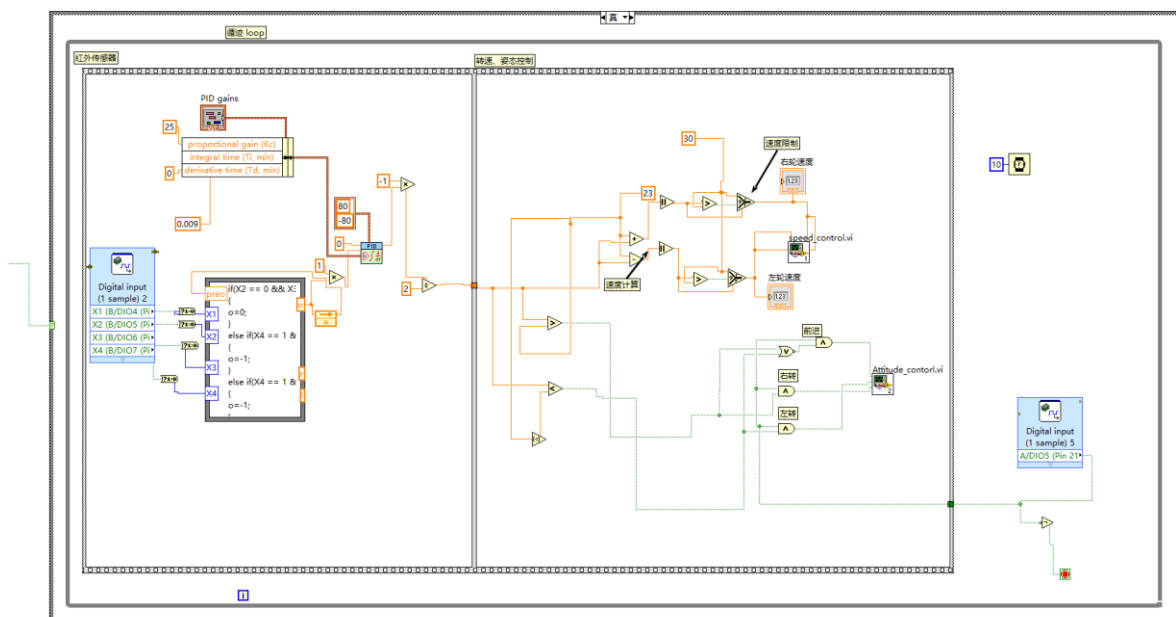


图 4-6 循迹模块结构图

4.3 超声传感器与避障算法

超声波是一种频率比较高的声音，指向性强，超声波测距的原理是利用超声波在空气中的传播速度为已知，测量声波在发射后遇到障碍物反射回来的时间，根据发射和接收的时间差计算出发射点到障碍物的实际距离。

测距的公式表示为： $L=CT$ ， L 是测量距离的长度， C 为超声波在空气中的传播速

度， T 是测量距离传播的时间差，也就是发射到接受时间数值的一半。

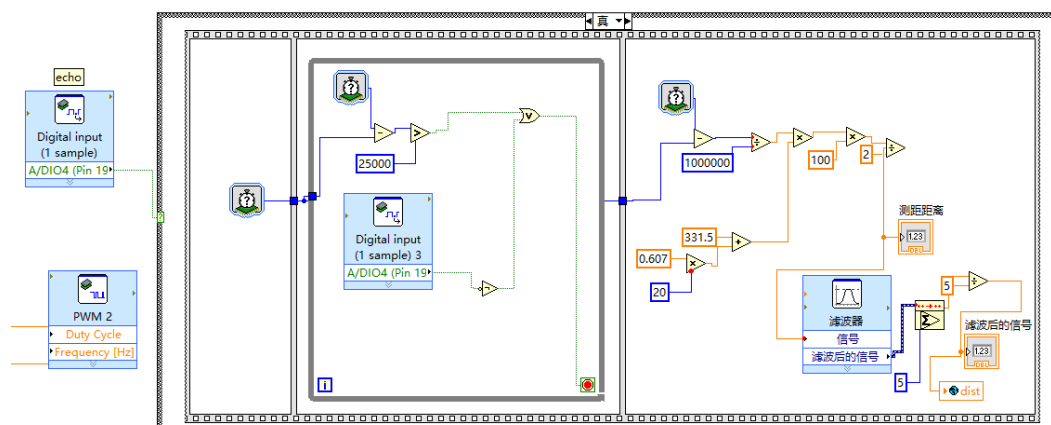


图 4-7 超声测距结构图

通过舵机的不断扫描，实现全方位的障碍测距，当舵机旋转至特定角度时，此时的测距就是对应方向的障碍物距离，本次实验取三个方向的距离，与设定的距离阈值比较，输出三位的二进制编码，再依据状态编码，确定小车此时的障碍方向，采取相应的姿态控制。状态分配表如图 4-9 所示。

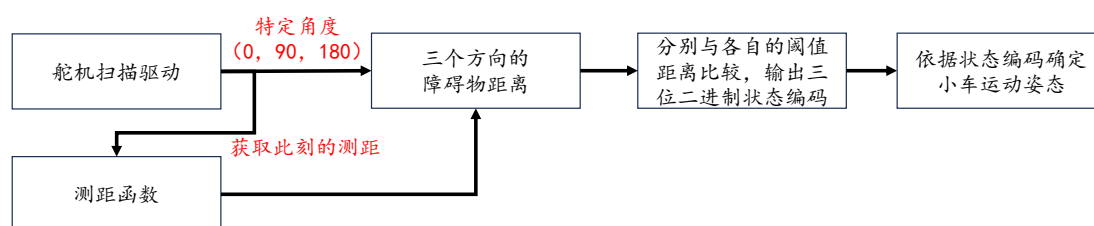


图 4-8 避障模式框架图

L	M	R	状态
0	0	0	前进
0	0	1	左转
0	1	0	后退
0	1	1	左转
1	0	0	右转
1	0	1	前进
1	1	0	右转
1	1	1	后退

图 4-9 避障状态分配

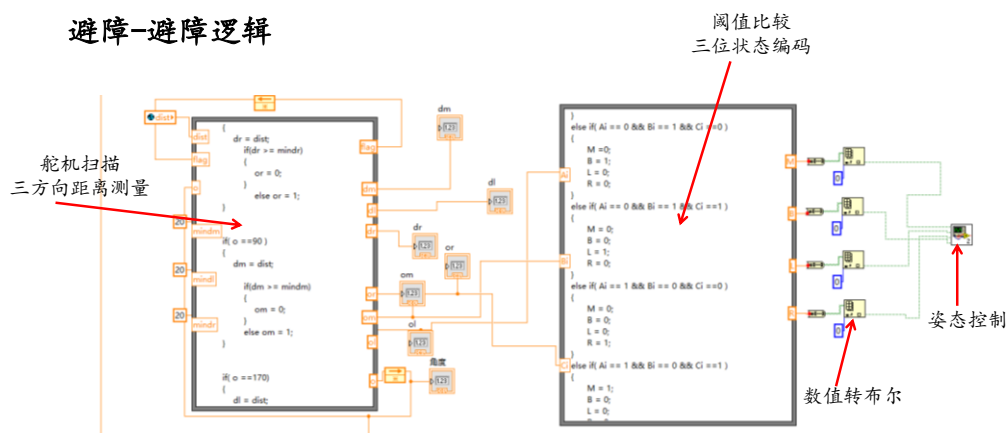


图 4-10 避障控制程序图

5 控制器与整定规律

5.1 控制器

本次实验使用 PID 控制器，实现电机转速闭环控制和循迹模式下差速的控制。PID 控制器有三个关键控制参数：比例、积分、微分系数。

比例控制：调整系统的开环增益，提高系统的稳态精度，加快速度响应。比例系数增大，使时间常数和阻尼系数减小。过大的开环增益会使系统的超调量增大，稳定裕度变小，甚至使系统变得不稳定。

积分控制：可以提高系统的型别，消除或减小系统的稳态误差。积分控制是靠对误差的积累消除稳态误差，使得系统的反应速度降低。简单引入积分控制可能造成系统结构不稳定，通常与比例控制一同作用。

微分控制：具有超前作用，可以增大系统的相位裕度与幅值穿越频率，加快系统的响应速度，但因幅值增加而放大系统内部的高频噪声。微分控制反映误差的变化率，只有当误差随时间变化时微分才起作用，故微分不单独使用，而是构成比例微分、比例积分微分控制共同作用。

5.2 参数整定规律

Step1:整定比例系数。置积分、微分系数为 0。将比例系数由小变大，使系统响应曲线略有超调。如果此时系统的稳态误差已落入误差带范围内，则系统只使用比例控制即可。

Step2:整定积分系数。在比例控制的基础上，若系统还有较大的稳态误差，则需要加入积分控制。首先将调好的比例系数衰减 10%~30%，再将积分系数由小到大调节，直到稳态误差落入误差带内为止。

Step3:整定微分系数。在稳态误差消除的基础上，若系统的瞬态性能还是不能满

足要求，可酌情加入微分控制。使微分系数从小到大增加，反复调试，直至满足各个性能指标的要求为止。

本次实验只需 PI 控制器即可实现很好的控制效果。

6 遇到的问题与解决方法

问题 1：接线不熟练，每次开始实验都花费很长间接线。

解决方法：接线不熟练的根本原因是不知道硬件模块的工作原理。通过重新学习理解硬件模块的工作原理，知道了电机、编码器、驱动模块、各个传感器是怎么相互联系起来的，接线就会熟练很多。

问题 2：硬件设备经常出问题，并且排查时很不容易。

解决方法：由于这次实验用到的硬件设备很多，接的线也比较多，所以经常有各种各样的硬件问题。当出现问题后，我们先检查是否有线松了。很多问题都是线松引起的。接着，如果小车轮子速度明显变慢，那么检查电池是否还有电，可能是电压不够了。如果这些都没查出问题，那么检查一下接线是否正确。通过这些方法，基本能排查出硬件设备的问题。

问题 3：小车在巡线时很抖，不连贯。

解决方法：我们通过加入 PID 控制来解决小车抖动的问题。通过调试 PID 参数，我们最终实现了比较好的控制效果，小车能够比较快速且稳定地完成巡线，基本没有抖动。

问题 4：避障模块效果较差

解决方法：避障模块的效果取决于超声传感器的精度与控制算法的选择。开始时我们的超声传感器精度不佳，这可能是由于没有进行平均值滤波。在我们进行了平均值滤波以后，避障效果有了一定的提升。控制算法的选择可能也存在一定问题，但是由于课时有限，最终我们也未寻找到最优的控制算法，导致最终避障效果一般。

7 实验总结、建议与分工

7.1 实验总结

1. 通过这几周的实验，我们成功设计和搭建了一个能够通过语音控制，根据四路红外传感器信号进行自主巡线、根据超声传感器信号进行简单避障的小车系统。整体而言，巡线任务完成得很好，而避障效果一般，这可能是由于控制方案的选择、传感器精度等原因导致的。

2. 巡线算法的选择对于巡线精度与速度至关重要。最初我们并未使用 PID 算法，这导致我们的小车巡线时摇摆不定，不够流畅。于是我们使用了一种基于 PID 控制的

算法，通过不断调整电机速度和方向来保持小车在线路上的稳定行驶。这种算法在实验中表现出良好的效果。

3.在本次实验中，我们小组成员收获很多。首先，通过设计和搭建智能小车系统，我们提高了在硬件搭建、传感器应用、控制算法等方面的技术能力。其次，在实验过程中，我们遇到了各种问题，如硬件连接、软件调试等。通过解决这些问题，我们提高了自己的问题解决能力和实践能力。最后，通过这次实验，我们提升了团队协作能力。

7.2 实验建议

1.可以在硬件方面进行一些改进，如使用更高精度的传感器（提升视觉模块的像素、提升超声模块的准确性、提升四路红外传感器对黑色道路的检测精度），提升电池续航能力等。

2.可以提升环境的多样性。如可以在室内、室外不同类型的环境中测试，能够更好地评估小车的性能。也可以设置不同类型和复杂度的障碍物，或者改变小车工作的光照条件等等，以此来训练和检测小车的工作能力。

7.3 实验分工

张晓宇：主要程序的编写、参数调试、程序讲解 PPT 制作

白柯渊：硬件设备搭建、超声部分的程序编写、完成实验报告

程世民：硬件设备搭建、参数调试、视频录制与剪辑、报告制图

毛韵迪：语音模块的实现、手机控制界面、完成实验报告