

# 《工程实践创新项目 I》

## 作品设计报告

学生 A 姓名：李思进	学号：2021270901014	贡献度（总和不超过 100%）：40%
学生 B 姓名：简芸琦	学号：2021270903006	贡献度（总和不超过 100%）：30%
学生 C 姓名：刘美芳	学号：2021270901008	贡献度（总和不超过 100%）：30%

### 一、系统设计

#### 1.1 设计目标

项目名称：害羞机器人

##### 1.1.1 最初方案的交互方式

基础功能：摸他就怂，逼他就跑，没人就停。当手摸机器人头（顶）部时或靠近机器人四周时，机器人会表现害羞、发出语音；如果四周有人且距离较近，还会同时启动电机运动逃离，一定距离后停下；其他时候机器人不会动，会露出开心的神情。

拓展功能（可选）：摸头按压 2 次以上后，变成遥控车，可遥控机器人运动（WiFi）

##### 1.1.2 最终实现的效果和功能（全部完成且有更多创意）：

###### • 基本功能：害羞机器人

我是害羞机器人，有人靠近我，我会离你而去，离得越近，我就逃得越快。你来追我，我还会发声抱怨。人类看不到后面的动静，我也一样，只有你从后面偷袭我（摸我头），我才能感受到，并说你坏坏，叫喊“你们太坏了!!”如果周围一直没人，我会开始自在地转圈圈跳舞，自我陶醉暂不社恐，有人靠近时，我又会立刻停下并躲避。你追，我跑，我插翅就逃。我会在屏幕上显示检测到的距离、心情和将要走的方向，也会显示一个嘴型，开心就会笑，害羞时会撇嘴显示不满。

###### • 拓展功能：遥控车

摸头遮光三秒，进入遥控车模式。我会建立 WiFi，你可以在屏幕上看到 WiFi 的 SSID 和密码，连接，进入显示的地址即可控制机器人前进后退、左右转向。还有三档速度可以切换。

###### • 构思创意 1：自我安全保护

后面没有超声波，就像人一样，如果不看后面会撞墙，提醒人走路要看路，不要分心，骑车开车也要眼观六路确保安全。在学校人车密集场所，安全意识尤为重要。所以在制作小车时也考虑了安全。小车在周围距离过近时不会再移动并诉苦、报警。哪怕是在遥控模式，超声波模块也会工作。如果当前前方距离已经很近，且仍收到向前的命令，害羞机器人也不会向前移动，以保证机器人自身的安全和结构稳定。

###### • 构思创意 2：跳舞

虽然我是害羞机器人，但是如果一直没有人（10s）来烦我，我就回进入自己的世界，比较自在开始转圈跳舞，但若被人看到，我就会立刻停下，不再表演，继续躲避人类。

##### 1.1.3 参数详情

###### • 基础功能详细参数

机器人前、左、右三个方向有超声波测距。取三个方向距离最小值为有人靠近的方向。若人从前方靠近，机器人会后退；若从侧面靠近，机器人会先把头转向到人靠近的一侧再后退。

三个方向中最小距离、速度档位、占空比关系

最小距离 $d$ (cm)	速度档位	占空比
$d \geq 75$ 保持 10s(跳舞)	正常	62.5%
$40 \leq d < 75$	停止	停止
$35 \leq d < 40$	慢	52.7%
$26 \leq d < 35$	正常	62.5%
$18 \leq d < 26$	快	66.4%
$d < 18$	最快	74.2%

• 摸头（背后偷袭）判定条件：

光敏电阻输出电压在 1.4V~2.5V（不含）时判断正在摸头，将说话：“你们太坏了！”

• 远程控制启动条件

光敏电阻输出电压达到一次 2.5V 以上，且在接下来连续 3s 保持 2.3V 以上，进入远程控制状态，否则判断为摸头。

• 远程控制操作

向前、向后、向左、向右。松开按钮时自动停止，按中间停止按钮亦可停止。

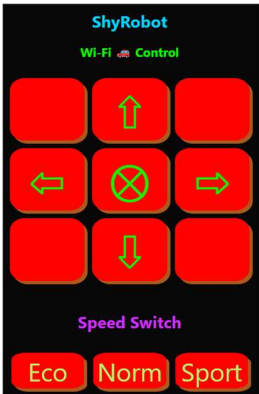


图 1.1 控制网页端实际效果

图中有 Eco(环保节能)，Norm（正常速度），Sports（运动模式，快速）。默认为正常速度。各个档位详细参数如下：

表 1.1 远程控制时速度档位详细参数

显示模式	ECO	NORM	SPORTS
对应档位	慢	正常	最快
对应占空比	52.7%	62.5%	74.2%

• 自我保护功能参数

安全距离：10cm，若三个方向距离障碍物的距离都小于 10cm，将启动自我保护。在遥控状态下，如果前方距离已经小于等于 10cm 且仍收到前进指令，将不会运动且不再接受控制指令并播放警报。警报播放结束后，恢复接受控制指令，此时可以倒退或左右转向。

- 屏幕表情显示

如果没有人靠近，机器人是开心状态；有人靠近，机器人是害羞状态。开心状态屏幕显示微笑嘴唇，害羞状态屏幕显示撇嘴。

#### 1.1.4 设计思想（为什么这样做）：

1. 实现害羞的基本属性。利用超声波测距、光敏电阻检测环境信息，利用扬声器播放牢骚控诉、屏幕显示嘴巴上下扬、运动状态输出反馈信息，最大程度展现其害羞的属性。
2. 确保机器人本身的安全。在距离障碍物很近的时候，机器人就不会再移动，防止撞上墙壁等造成自身结构损坏。只有保护好自己和完整性，玩具才有了更高的质量，才能具有更持久的可玩性。
3. 具有一定的现实意义。前文所述，人看不到后面，所以它也没有后方的测距，提醒人在走路骑车交通过程中要注意安全，眼观六路，走路不观景，观景不走路。
4. 实现更高的可玩性。遥控车是小孩子很喜欢的玩具，就算我们已经这么大了，自己利用单片机已有的功能做出一个遥控车具有一定的现实和成长意义，从玩耍者变为制作者，像从乙方变成甲方，拥有一定的技术和技能达到自己想要的目的。

#### 1.2 方案对比与选择

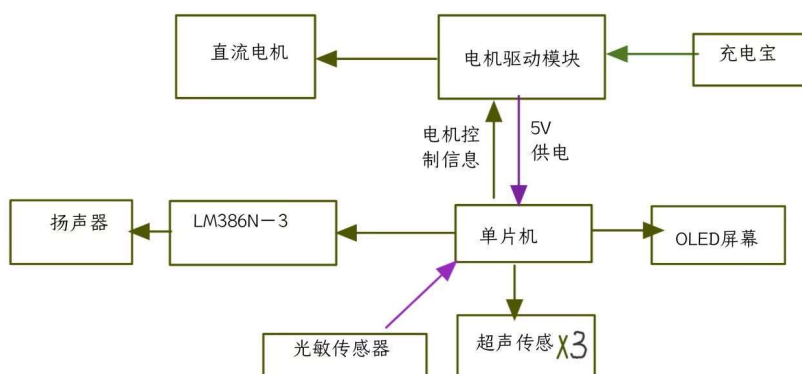


图 1.2 模块框图

##### 1.2.1 各个模块的功能及要求

- 超声波：检测各个方向的距离发送给单片机处理，决策接下来的运动方向、速度。对于 100cm 以内的数据要检测准确，反射面为平面时误差在 5cm 以内。

- 光敏：检测是否有人在摸头，判定时候进入远程遥控模式。对于摸头、遮光动作能输出相应的信号变化。

- OLED 屏：在顶端小字输出各个单片机收到的各个超声波检测的距离数据、单片机决策后的运动方向、嘴部表情动作。要求显示清晰明亮，屏幕刷新迅速。

- 扬声器：播放害羞状态下的牢骚、播放远程控制状态下切换高速速度档位时的提示音。要求播放音量足够，人能够听清。

- 电机驱动：接受单片机的运动方向和运动速度信号，控制左右两个电机转动。要求运动速度稳定，可以准确执行指令。

- 单片机：处理输入数据，进行决策，控制屏幕显示、扬声器播放音频、进行自我保护、利用自带的 WiFi 功能建立热点以实现手机远程控制。要求信息处理、决策、输出及时，程序稳定运行。

### 1.2.2 方案选择

#### 1.2.2.1 运动功能实现方案选择

在确定方案的时候，我们向老师请教了运动方案的问题，有多种实现运动的方式。

方案一：步进电机

步进电机是一种可以控制转动角度的电机，可以实现精确控制转动角度，进而控制行走路径，缺点是价格较高，且控制难度较大

方案二：舵机+电机

这种方案需要四个轮子，前两个轮子负责转向，由舵机驱动，后两个轮子负责前进或者后退，由电机驱动。优点是逻辑简单，在售卖的玩具车一般都是采用这种方案，缺点是成本较高，需要四个轮子，既需要舵机又需要电机，有一定的控制难度，还不能实现原地转向。

方案三：两个平行直流电机+从动轮

这种方案需要两个电机和从动轮，也能实现运动功能。如果需要转向，只需要两个轮子朝相反的方向运动，就能在原地更改朝向。除此之外还有控制简单、成本可控的优点。缺点是从动轮需要一定时间和距离才能在主动轮的带动下转到运动方向，控制不如步进电机精准。

最终我们选择了方案三，因为使用的电机数量少，仅使用两个主动轮就实现了前进后退、调整方向的功能，并且实现难度相对更低，只需要得到转一圈的时间就能通过设定运动（高电平）时间实现转动的角度控制。

#### 1.2.2.2 模式切换方案选择

方案一：

模块：光敏传感器检测上方是否被光遮挡，如果遮挡完全，则会进入遥控模式

优点：非遥控模式稳定，不会突然触发遥控模式；并且全黑（遮挡）容易操作，对外形损坏不大；电路相对简单，减少 PCB 出现问题的可能。

缺点：全黑环境塑造有一定的不确定性与难度，在强光下手不一定能遮住并成功触发。

方案二：

模块：压敏传感器，如果手触碰到机器人上表面，且触发压敏传感器，则会触发遥控模式；

设计要求：精确检测出除噪声外的压力，从而触发 WIFI 遥控模式。

优点：能够模拟抓住机器人的实际情景，互动性及趣味性更强。

缺点：噪声检测不太容易，需要大量的测试；电路相对复杂，会引入放大器。

最后我们选择了方案一，既能简化电路，又不影响实际交互。

#### 1.2.2.3 运动决策方案选择

方案一：运动一定距离后停下

这是最初方案的想法，实现难度简单，但是可玩性较低，每次都运动一样的距离，交互太死板，并且如果最初在该距离内就有障碍物，机器人就会撞上障碍物，并不智能。

方案二：根据输入距离数据动态调整

如果距离较远，就动慢一点；距离较近，就动快一点。这种方案符合人的逻辑：如果危机很远，人往往意识不到，危机近，人会一惊一乍。这样的交互更加生动，并且不会撞墙，如果人离他远去，他会立刻判断为安全，不再移动，反映延迟低，效果好，缺点是实现动态调整运动策略技术实现难度较大。

最好我们选择了方案二。可玩性对于最终效果的呈现十分重要，通过减少程序单次循环的时间长度，尽可能增加检测频率，实现响应速度快、延迟低的动态交互。

### 1.3 电路系统设计

#### 1.3.1 整体设计

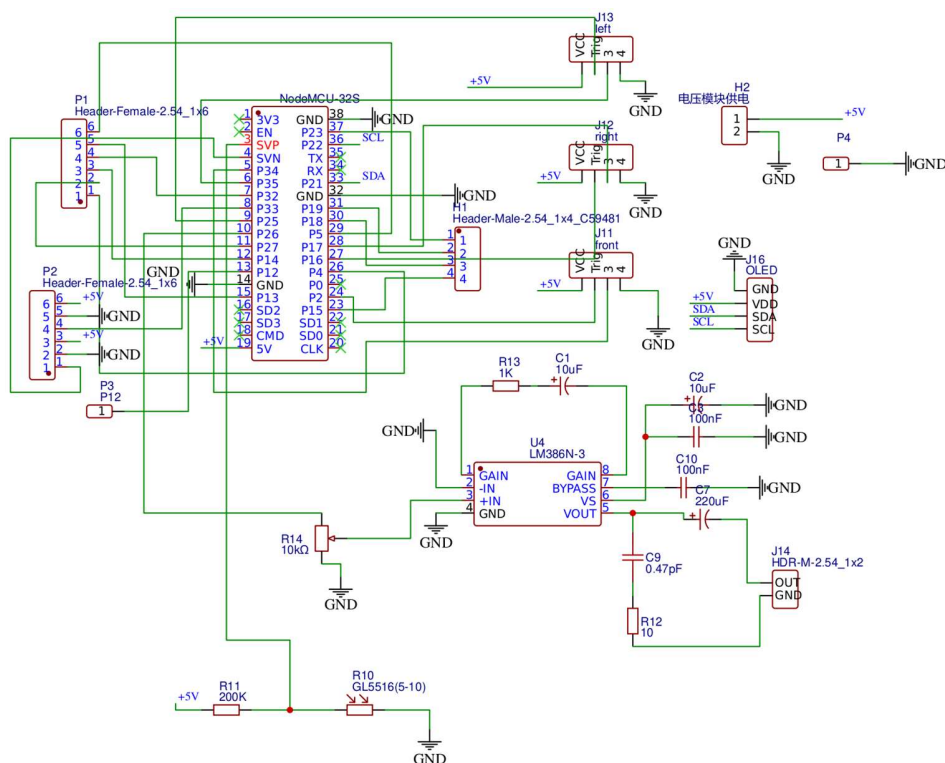


图 1.3 最终的电路设计原理图

#### 1.3.2 模块与元件选择

选用光敏 5516Cds 电阻，简单有效，并且在演练阶段已经熟练使用。

传感器的接口电路要求能够直接给单片机传输数据。由于频率不高，杜邦线和 PCB 上的走线已经具备足够的抗干扰性能。

滤波电路和放大电路主要用在扬声器，即 LM386 电路放大电路，和输出的电容滤波电路，由于 LM386 电路具有低失真率并且工作电压位于 4—12V 完全位于单片机工作电压范围之内，故采用。

对于滤波电路，主要需要去耦合电路，和输出去直流电路，可以达成目的并且结构简单。

其余电路：超声测距电路 OLED 电路 L298N 电机驱动电路。（主要是提供 5V、GND 接口和模块与单片机的连接电路）

### 1.3.3 电源电路的设计

通过充电宝给电机驱动模块供电，再由电机驱动模块分别给单片机和电机供电驱动。小车需要 12V 供电，实测最大功率 24W，功率较大，使用了现成的支持 12V 输出的充电宝进行供电，比淘宝电池更安全，容量更大，也降低了采购成本。

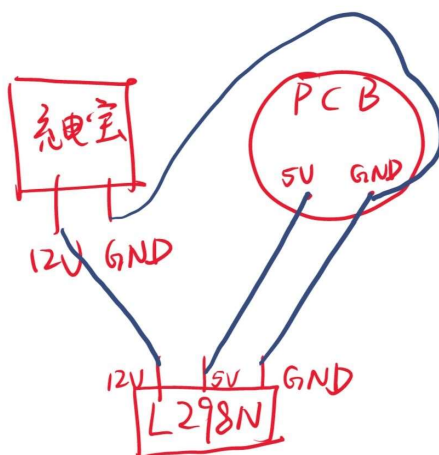


图 1.4 电源电路连接方式

### 1.3.4 主要性能指标

电源输出功率足够、稳定，能够驱动所有模块运行。

单片机能够准确接受各个模组的信息，也能准确稳定发送信息给输出模块执行，各个模组信息传递不会出现干扰。

超声波，OLED 能正常工作；扬声器顺利地发出声音，并且能够听清。

可能影响因素：PCB 布线间距、线材能承受的最大电流。

## 1.4 机械结构设计

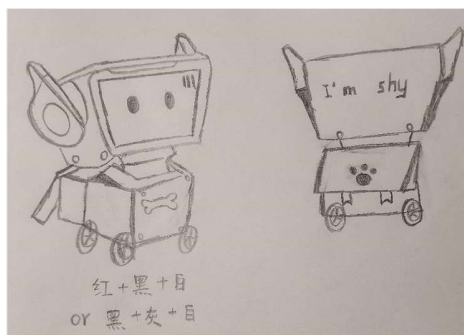


图 1.5 造型设计

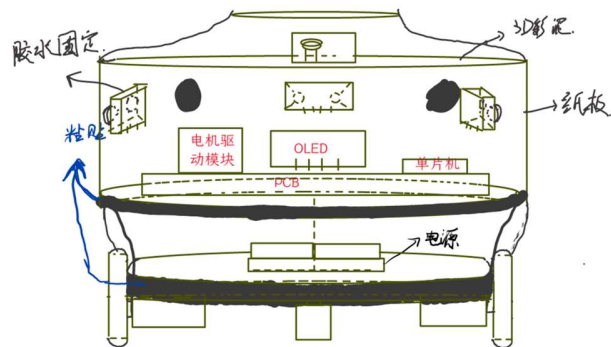


图 1.6 结构设计

#### 1.4.1 材料工艺

全部手工制作，外观使用的材料有快递纸盒，马克笔，丙烯颜料，小车的基本结构就是购买了一个底座，用于摆放一些原件；工艺就是主动唤醒死亡的艺术细胞，使用勉勉强强的绘画技术进行绘制，根据器件的摆放调整外观。

#### 1.4.2 考虑的要素及限制

小车本身的结构及要实现功能所需的电路原件(有很多引线)等对外形的限制比较大。小车底座是圆形的，本身纸板包装比较困难，尤其是固定方面，固定不稳小车的行动也会受限。

#### 1.4.3 设计思想

小车的头部呈现方形，体积较小，放在顶部，纸盒是比较轻的，防止小车的重心不稳；原本小车的身体设计成方形纸盒，小车中部放置核心原件，用方形纸盒包装可以遮丑。但在实践中发现这种包装会影响轮胎，遮盖一些重要器件，影响功能，于是最后根据需求和遮挡的部分进行剪裁，将超声波，屏幕等根据外形合理放置，尽量不突兀。外形上做到了基本还原设计方案，并根据实际情况进行了一定优化。

全部使用废弃的快递盒纸板进行裁剪设计，绿色环保，节约成本。结合网络影视剧(科幻片，动画片)及现实生活中可爱型机器人的形象，充分考虑小车的结构及功能，将原本机器人较为僵硬的外形进行合理改造。设计了背包，耳朵等结构，总体上契合可爱的设计理念。用丙烯颜料上色，呈现绚丽缤纷的色彩。



图 1.7 外壳材料工艺展示

### 1.5 程序软件设计

#### 1.5.1 程序流程图



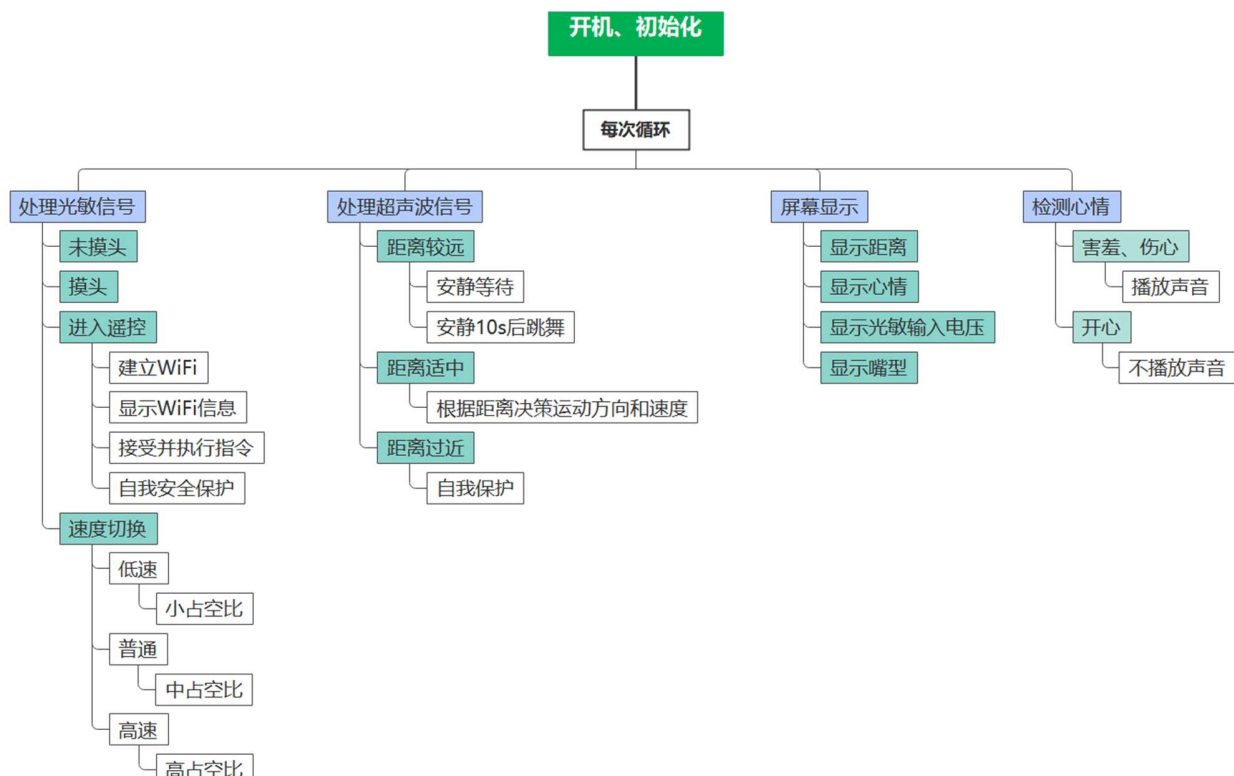


图 1.8 程序流程图

### 1.5.2 程序主要框架解释

• 信号的输入：三个超声波传感器：通过接受 `echotime` 得到距离。头顶上的光敏电阻：通过 `digitalRead()` 读取电压，从而知道是不是有人在摸头。

• 信号的处理：运动决策：选择语句，针对不同的距离，给出不同的决策速度、决策方向、处理显示内容。

• 屏幕显示：使用了 `SSD1306` 的函数库和 `U8g2lib` 库函数，简化了显示输出的代码。先在程序中准备好输出的内容，最后将所有内容传送到屏幕上实现一次刷新。

```
display.clear();
display.setFont(ENGLISHFONT);
display.drawString(0,12,itoa( int(floor( BrightVolt*10 )) ,buffer,10));
display.drawString(40,0,itoa(LeftDistance,buffer,10));
display.drawString(60,0,itoa(FrontDistance,buffer,10));
display.drawString(80,0,itoa(RightDistance,buffer,10));
if(DIRECTION==STOP){display.drawString(100,0,"STOP");}
if(MOOD==HAPPY) ...
if(MOOD==SHY) ...
if(MOOD==UNSAFE) ...
display.display();
```

图 1.9 屏幕显示部分代码

• 远程控制：这次工创发放的单片机 `ESP32` 自带 `WiFiAP` 功能，可以自己建立 `WiFi` 热点。设计好网页将其储存在单片机上，手机访问对应的网址 (`192.168.4.1`) 即可获取网页 `HTML` 数据，网页中有 `JavaScript` 代码方便实现按钮操作。按下和松手时都会执行一个函数，该函数可以把按下按键的信息通过 `TCP` 连接发送给单片机，单片机根据接受到的信息进行运动。

有一点别有用心：在创建 `WiFi` 时，`WiFi` 的名字加入了随机值，所以每次启动的 `WiFi` 名字是不同的，防止有人以前连接过单片机，这次启动还会自动连接，导致控制权被抢占或干扰。有了这个随机值，在控制前就必须先看到屏幕上显示的内容 (`WiFi` 信息)，才能连接，从而一定程度上防止他人 `hack`。



### 1.5.3 迭代过程的更多方案

- 曾尝试方案一：多线程 FreeRTOS 的 xTaskCreate()。

我们需要检测距离，决策，控制运动，播放声音，屏幕显示，其中一些操作需要尽可能并行。最方便的方式是使用 FreeRtos 提供的多任务。使用后发现多任务功能有时会出 bug，CPU 因为资源有限无法执行而报错，单片机自动重启，解决这个问题后还会有单片机 I2C 输出不稳定的问题，导致屏幕这种需要精确输出信号的设备显示错乱花屏，所以放弃该方案。最后理清操作和反馈逻辑，尽可能单线程执行。

```
/* Multi thread attempt */

xTaskCreate(
    DetectDistance,
    "detectron",
    4096,
    NULL,
    1,
    NULL);

xTaskCreate(
    WhileMove,
    "moving",
    4096,
    NULL,
    1,
    NULL);

/* End of Multi thread*/
```

图 1.10 多线程部分代码示例

- 曾尝试方案二：超链接型的网页端控制。

这样的网页比较简陋，曾在验证技术可行性时使用。因为遥控功能属于可选的拓展功能，难度较大，故先验证了远程控制的可行性，再去尽可能优化远程控制时的网页设计提升交互体验。最终成品中，网页使用按键控制，操作简单，可玩性更高。

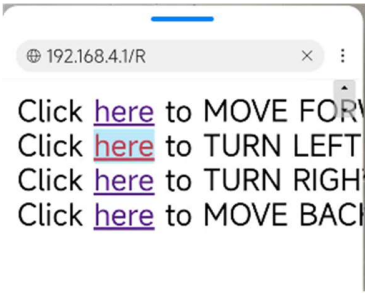


图 1.11 验证可行性时的网页端设计

### 1.5.4 设计要求

各个功能之间不造成干扰，屏幕能显示稳定清晰的画面，对于输入的相应及时，延迟低，输入信息变化后能及时做出相应调整，音频播放完整清晰，手机遥控响应及时。

## 二、系统的制作与调试

### 2.1 机械结构的制作与调试

机械结构采用铜柱和螺丝螺母固定，提前在 PCB 上打对应大小（M3）的孔，电机驱动自带螺丝孔，这样可以将所有元件通过螺丝固定牢固。搭建时按从下到上分层搭建，确保下层已经搭建稳定完好后再继续搭建，以确保机械结构符合设计要求。

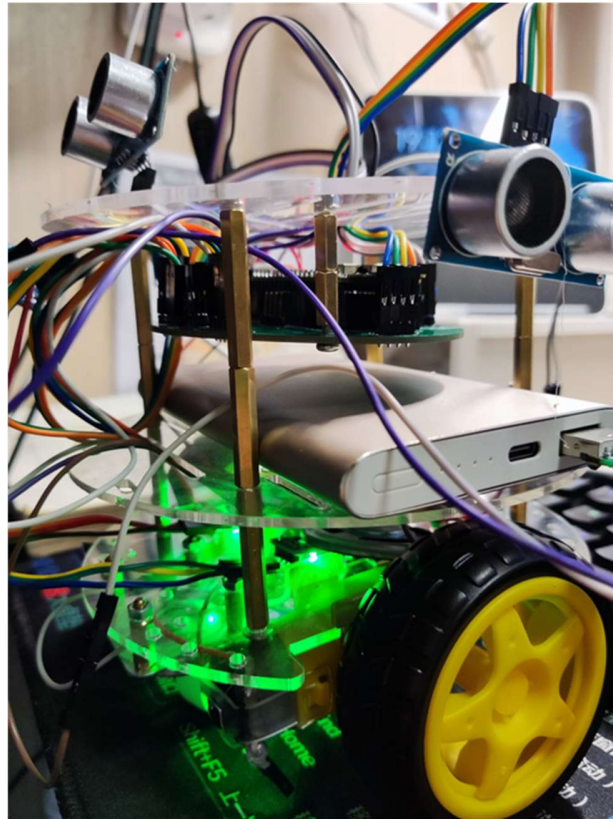


图 2.1 机械实物图

问题 1：空间利用。

由于害羞机器人整体比较迷你，所以必须在有限的空间中塞下所有元件，这对空间利用提出了很高的要求。比如最底层，经过不断尝试最后将电机驱动倒置，提升了空间的利用率。电机驱动自身形状有一块凸起，会比较高，所以采用了这种方法，将其放在了适宜的位置。又比如 PCB 板的放置，如图 (2.1) 所示，将其悬空，将没用到的空间利用了起来。

问题 2：结构稳定性问题。

主要是外壳与内部几层薄板之间的粘贴不够稳固。原因是每一层的厚度小，纸板和塑料板直接粘贴的面积不够大，所以我们多角度方向粘贴外壳，从各个方向进行固定，也使用了多种胶：透明胶、双面胶、强力胶，防止外壳脱落。

检验指标：

1. 运动时的平衡，不会前倾后倒侧翻。
2. 运动状态的正常：前后左右均匀平整，轮胎不会打滑。

## 2.2 电路系统的制作与调试

整个过程中我们制作了两版电路，第一个用于验证和试错，验证成功并找到缺点后，我们制作了更稳定更简洁的第二版电路用在成品上。

验证第一版电路的方法主要是分模块，按节点调试。对于没有成功运行的模块，我们对该模块从前往后进行检测，检测各个节点的电压，看是哪里断了，哪个元件坏了。

### 2.2.1 第一版本电路：

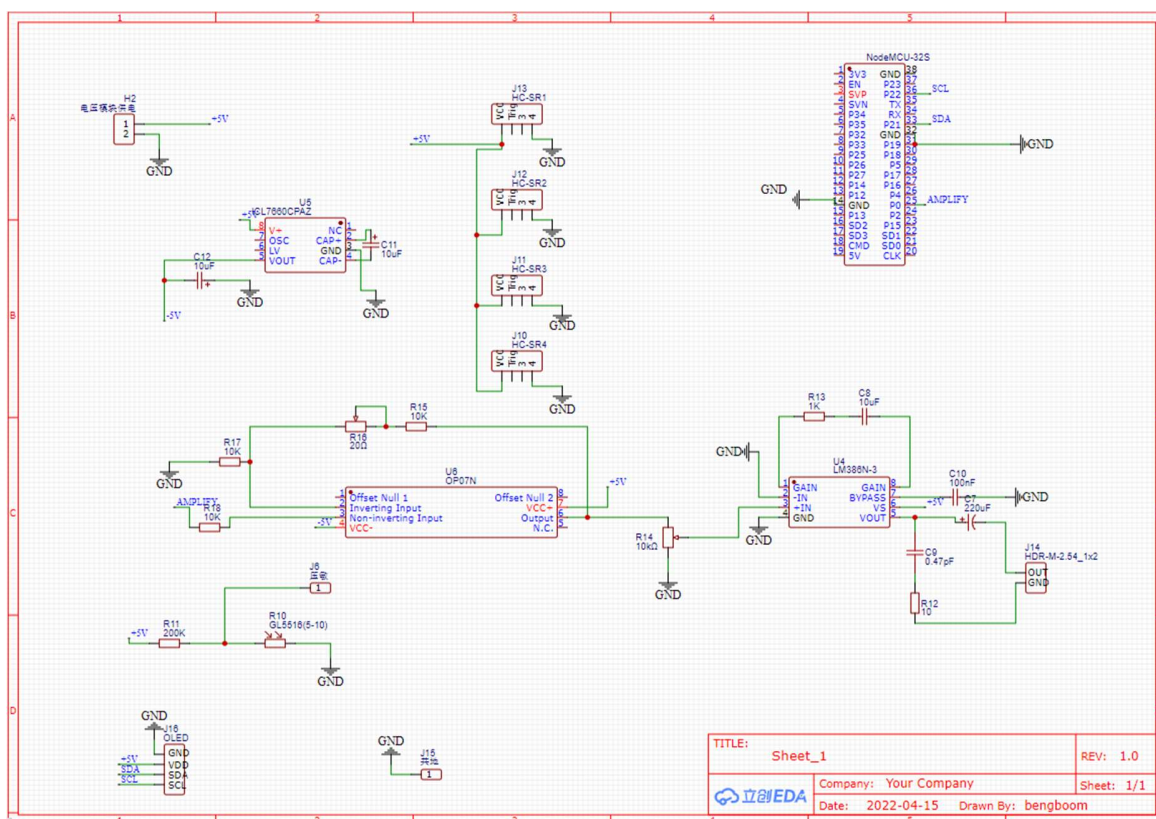


图 2.2 第一版本电路原理图

电路冗余问题：由于组内沟通出现歧义，Speaker 电路前增加了 Amp 放大电路,属于多余，后续迭代解决。

音频电路的调试：在调试音频电路时遇到了无声音的问题，最后发现是因为 PCB 板设计时，扬声器的 GND 端标注了 GND,但没和地的网络连接，所以无法播放。

单片机引脚连接问题：没有提前确定好单片机引脚（事实证明这是正确的，因为有的单片机引脚不支持输入，最初的设想有误），导致线路连接比较复杂，每一个元件都要找到单片机对应的引脚号并连上。后续将在PCB上连好线路，元件一排的针脚可以直接连到PCB一排针脚上，大幅简化连线操作。

### 2.2.2 第二版本电路

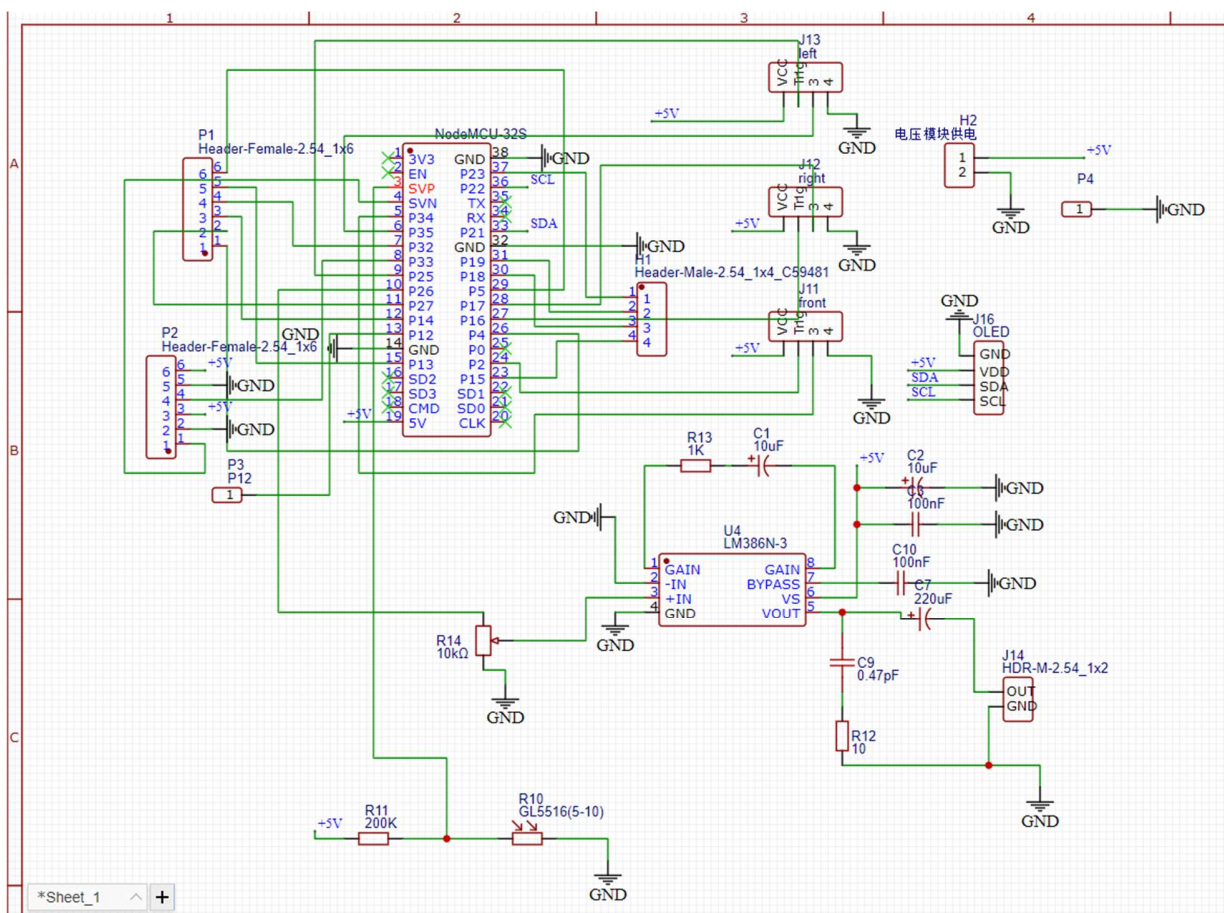


图 2.3 第二版本电路原理图

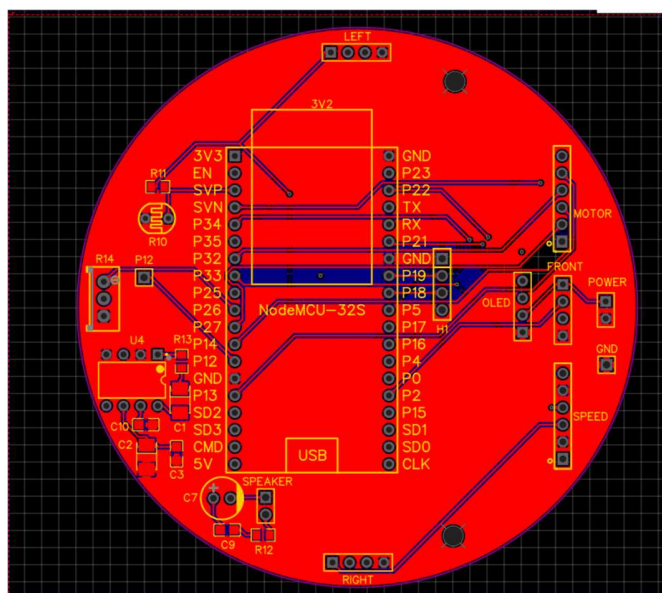


图 2.4 第二版本 PCB 板设计图



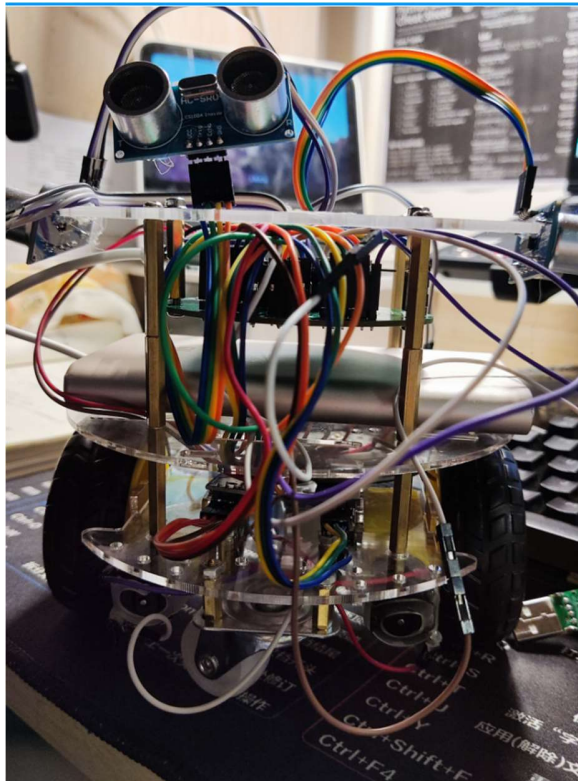


图 2.5 电路搭建及线路连接实物图

第二版本，我们已经确认了单片机的引脚连接，并已经通过第一版电路验证了可行性，于是在 PCB 板上就已经连接好单片机与各个模块的引脚的电路，这样可以大大简化后续模块安装时的工作。单片机与各个模组之间使用杜邦线连接。由于 PCB 板设计时考虑了模组摆放位置，线路的交叉就会相对较小，插拔也更方便。例如：超声波模组需要连接四个端口，这四个端口在 PCB 板上也是按顺序设计的，直接把四根线将好后插上去就行，而不用去 PCB 板上寻找每个接口的位置。

同时，我们还考虑了 PCB 板在机器人中的摆放，发现用螺丝和铜柱固定会比较方便，于是在 PCB 板上打好了大小位置适宜的孔，方便后续结构制作。

## 2.3 单片机程序的编写与调试

### 2.3.1 模块功能

整个程序分为两个文件，一个是主程序，一个是定义（库函数）。将所有单片机引脚定义和音频文件都卸载库函数里面，可以简化主程序的长度，使主程序更专注于逻辑（输入、决策、输出）

主程序分为：`setup()`，`loop()`，`MOVE()`

- `setup()` 即是初始化，定好输入输出模式，初始化所有模组、引脚。

- 每次 `loop()` 包含三个部分：

- (1) 输入：检测距离和光敏数据；

- (2) 决策：根据输入信息决定接下来的操作：运动方向和速度、心情状态和屏幕显示内容准备（渲染）；

- (3) 输出：刷新屏幕，控制移动，根据心情播放声音。

- `MOVE()` 中控制电机转动的速度和方向，内含不同运动方向的针对两个电机控制端的高低电平输出语句和 PWM 输出语句，进而控制机器人运动的方向和速度。

拓展功能包含几个初始化函数和信息接受与处理函数：

- `handleroot()`, `handleNotFound()`, `RemoteControl()` 为 WiFi 控制功能启动和初始化函数
- `onWebSocketEvent()`, `processCarMovement()` 为接受与处理手机发送的信息的函数。  
`processCarMovement()` 再向下调用 `MOVE()` 函数，实现不同方向不同速度运动的执行。

网页存储于定义库函数中的字符数组中，访问链接 `handleroot()` 会处理访问请求，将网页数据发送到手机上进行渲染。手机端在按下和离开按钮时都会执行一个给单片机发送消息的函数（这个函数是网页内置的，是网页的一部分），消息包含运动方向和速度档位数据，单片机就可以根据这个消息执行指令。

### 2.3.2 调试遇到的问题

引脚功能问题：在测试的过程中发现有些模块工作不正常，经过交换引脚后工作正常。最后找到原因：有的引脚不支持输入或输出。通过重新定义引脚解决了该问题。

GPIO	Input	Output	Notes
0	<span>pulled up</span>	<span>OK</span>	<span>outputs PWM signal at boot</span>
1	<span>TX pin</span>	<span>OK</span>	debug output at boot
2	<span>OK</span>	<span>OK</span>	connected to on-board LED
3	<span>OK</span>	<span>RX pin</span>	HIGH at boot
4	<span>OK</span>	<span>OK</span>	
5	<span>OK</span>	<span>OK</span>	<span>outputs PWM signal at boot</span>
6	<span>X</span>	<span>X</span>	connected to the integrated SPI flash
7	<span>X</span>	<span>X</span>	connected to the integrated SPI flash
8	<span>X</span>	<span>X</span>	connected to the integrated SPI flash
9	<span>X</span>	<span>X</span>	connected to the integrated SPI flash
10	<span>X</span>	<span>X</span>	connected to the integrated SPI flash
11	<span>X</span>	<span>X</span>	connected to the integrated SPI flash
12	<span>OK</span>	<span>OK</span>	<span>boot fail if pulled high</span> ★
13	<span>OK</span>	<span>OK</span>	
14	<span>OK</span>	<span>OK</span>	<span>outputs PWM signal at boot</span>
15	<span>OK</span>	<span>OK</span>	<span>outputs PWM signal at boot</span>
16	<span>OK</span>	<span>OK</span>	
17	<span>OK</span>	<span>OK</span>	
18	<span>OK</span>	<span>OK</span>	
19	<span>OK</span>	<span>OK</span>	
21	<span>OK</span>	<span>OK</span>	
22	<span>OK</span>	<span>OK</span>	
23	<span>OK</span>	<span>OK</span>	
25	<span>OK</span>	<span>OK</span>	
26	<span>OK</span>	<span>OK</span>	
27	<span>OK</span>	<span>OK</span>	
32	<span>OK</span>	<span>OK</span>	
33	<span>OK</span>	<span>OK</span>	
34	<span>OK</span>		<span>input only</span>
35	<span>OK</span>		<span>input only</span>
36	<span>OK</span>		<span>input only</span>
39	<span>OK</span>		<span>input only</span>

图 2.6 参考资料：单片机引脚功能图

更多问题在第一部分程序软件设计（1.5.3）中已经提到，并给出了解决方案，这里不再重复。

### 2.3.3 调试方法

分功能调试：写多个程序，每个程序只对应一个功能或一个输出关系，每个功能分别调试。



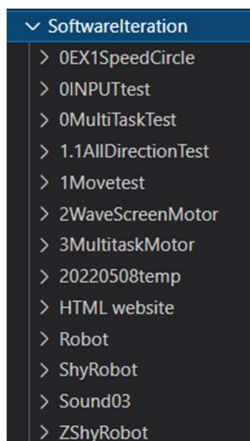


图 2.7 程序调试和迭代过程

从图中可见，这里有针对输入的调试程序、单独针对运动的调试程序、针对各个方向运动的调试程序、单独针对屏幕显示的调试程序、单独针对网页控制的调试程序、单独针对音频播放的调试程序。经过了很多次迭代，最初的每个程序只是确定单个模块工作正常，后来逐步实现多模块配合，最终形成整个输入->决策->输出系统。

循序渐进的程序系统搭建和调试方法，提高了完成程序的效率。在这样的方法的帮助下，核心代码完成时间大约 2-3 天。

### 三、系统测试与结果分析

#### 3.1 测试方法

主要采用交互测试。利用人和塑料板从各个方向靠近机器人，观察机器人运动状态、屏幕显示信息、观察运动速度。

运动状态和速度代表了：运动功能的完好和稳定性、运动逻辑正确性。

屏幕显示信息代表了：屏幕显示功能的完好性、稳定性。

再测试光敏电阻功能：先摸头偷袭，播放声音，说明音频播放功能正常。

再长时间捂住头，切换模式，可以建立 WiFi，连接后可以控制，说明拓展功能 WiFi 控制功能正常。

#### 3.2 测试数据与现象

##### 3.2.1 迭代测试过程中的测试现象：

- 左右轮转速不一

调整左右轮 PWM 占空比的比值，多次调节找到尽可能走直线的比例。左右轮转速不一可能和小车重心不在中轴线上和电机自有性质有关。

表 3.1 占空比比值调节数据记录表

PWM 占空比	直行运动的实际状态
1:1	稍微向右偏
1:1.1	稍微向左偏
1:1.05	基本笔直

最终找到最适合的左右轮占空比：1:1.05。将其写在左右轮 PWM 输出的语句中，得到更优程序。

#### • 打滑现象

前后辅助轮结构不同，导致机器人底盘前后完全平整，主动轮与地面接触性能不好，导致有一定的打滑现象，最后调整螺丝、铜柱、固定方式调平了底盘，使其平整，不再打滑。

### 3.2.2 最终成品的测试现象：

经过多次系统联调和软硬件迭代，整个系统越来越好，交互也越来越容易、准确，可玩性越来越高，当测试达到可玩、可展示的要求且再次检查所有模块和程序无误后即可将该版本作为最终成品。

最终的成品已经解决了测试迭代过程中发现的问题，各个模块均工作正常，具有很好的可玩性和交互体验。人来，他会正常播放声音，并开始远离人，直到足够安全。远程控制模式下，得益于 TCP 协议的优异性，响应极其灵敏，延迟低，运动准确。自我安全保护功能正常工作，在距离障碍物很近时，不会再继续朝着障碍物方向移动。跳舞功能触发正常，若很久都没人理他，可以触发跳舞功能，在原地摇摆转圈，且退出正常。

### 3.3 结果分析

交互测试的证据和数据即是人的真实评价和反馈。在当天的实际展示中，很多同学都给出了好评，觉得很好玩，但也具有一些问题，比如会有人来问机器人说的是什麼内容，本身音频电路输出音量和清晰度就有限，在当时的嘈杂的教室中就更难听清，需要我先告诉他们真实内容，再结合脑补，体验者才知道。

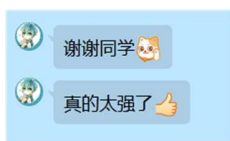


图 3.3 来自同学的赞许

在投票环节，各位同学们在了解到每个组的作品情况的基础上，投票给自己最喜欢的作品。其中的第六组的“害羞机器人”吸引了许多同学围观，在有人靠近它的时候，它会一边说出“人类好讨厌”，一边害羞的退后，它还可以在手机的控制下，自由运动，实现原地转圈跳舞。除此之外，桌上足球游戏，保龄球游戏，以及测数的哑铃、识别音符的唱片机、打鼓的音游等等也都吸引了在场同学与老师的目光。



图 3.4 公众号推文评价

在当时体验作品的同学中，大约 90% 的同学觉得作品很好玩，但也有 90% 的同学表示听不清楚它在说什么。参加结课展示的部分老师也体验了我们的作品，认为“响应及时、延迟低”。

所以作品的可玩性足够，各个功能完好，运行稳定，但在声音播放上仍存在一些问題，由于声音播放占整个作品的比重一般，所以整个作品总体也可以以较好状态运行。

### 3.4 问题和改进空间

#### 3.4.1 扬声器音频播放清晰度有改进空间。

LM386 具有较大的直流偏移，造成音频播放清晰度不够或声音不够。这是由电路设计决定的，也是因参考电路板的局限性造成的。最后我们通过程序里写入偏移量并不断调整偏移量和电位器阻值，使扬声器在不失真的情况下输出更大的音量。但“马不如瘦死的骆驼”，倘若使用更好的音频播放方案、有更好的音频放大电路，就能实现更好的音频播放效果。

#### 3.4.2 闭环控制的实现。

机器人已经具备了左右轮速度检测功能（安装了模组，但最终成品的实现未使用），但还未实现闭环控制。原因是 PID 控制具有一定专业性，难以在较短时间内达到较好效果，所以最终使用的是人工调整左右电机占空比。倘若实现了基于检测自身运动速度的闭环控制，运动路线和转向角度将更加精确。

## 四、总结与心得

最终，我们做出了令人满意的作品。



图 4.1 成品图

简芸琦：

我主要负责电路方面，焊接方面的工作。刚开始的时候，大家都不知道做什么，经过在创客上搜索相关的作品，想到做一个害羞的机器人，从无到有还是迈出了第一步。我刚刚提出这个运动方案时，组员其实也不太有信心，但我之前有做过小车，只是在程序方面出现问题最终成品很不满意，这一次还是十分相信队友的程序能力，所以极力推荐给结构实现等方面后大家齐心还是完成了。

在我的环节中，很繁琐的是焊接过程，很多次因为焊锡堵住了焊盘的孔，为了正常焊接手都被烫伤了好几次，但在一次又一次地焊接改板等等，焊接技术和耐心都得到了锻炼，最后一个板子 2h 就能够全部焊接完成。另外便是电路板的设计，课后通过视频，知乎，学长教学等环节勉强设计出了第一版，但由于制作时沟通不当，我设计时出现了纰漏，当时板子焊接完没办法发出声音，我一整个人崩溃，属于什么也不想干，其他组员便帮忙解决，在此我深感歉意。但不得不说，工创设置在这么前面真的很离谱，很多电路

内容根本没学，有关处理自激问题，滤波问题，功率放大问题完全无从下手，如果要自己学习会耗费很多时间仅仅是提前学习，就整个时间安排上显得非常低效。（前两次课讲过，但有一说一，对于电路知识储备很少的情况下，老师所给出的电路完全做不来；想要 2 节课飞速听懂也完全不可能，下来自己看也没办法针对性解决）

最后我钦佩、感谢我的队友们，感谢他们的不懈努力，不厌其烦，在工创里的付出。

刘美芳：

说实话我感觉我懂的东西相较之下不是很多吧，通俗的说就是我比他们菜，感觉本人最大的贡献也就是外形设计和一部分连接问题了，平时可能就是做一些力所能及的事情，提一些想法，多听听他们的意见。外形方面的话刚开始我的想法是使用超轻黏土，根据一些玩具的外观进行构造。后来小车的外部结构让我打消了这个想法，就改用硬纸板绘画了，就直接拿起几百年没碰过的颜料开始尝试。中途也出现了很多问题吧，小车结构的复杂，引线之多，超过了我的预期，纸板绘画的效果其实也并不好，最后小车架构出来了，大家就一起解决外形方面的问题，他们也给我提了很多新奇有创意的想法，最终整体的外形基本达到预期值。

工创过程中我尝试了自己焊接一部分元件，虽然有时候效果并不理想；因为电路分析没学很多，我对电路的原理似懂非懂，后来在知识的丰富过程中我理解了其中的一部分。小车的整体架构比较成功，非常感谢其余两个组员的付出与心血。

工创其实给了我们很多下马威，一开始就收到了老师的“质疑”和“嘲讽”，后来让我印象最深的就是老师说车跑不起来，直白一点就是这个车要么无厘头乱跑，要么就跟穿了足力健老人鞋一样自由飞翔后散架。这也让我一度怀疑人生，的确，制作过程是出现了这些问题，声音，速度控制这些也出现过亿点点问题。好在大家血压控制得挺好的，心态也比较平稳，也敢于试错，面对疾风。包括课程中间的进度展示一度让我瑟瑟发抖，就跟“判刑”“写忏悔书”一样，没抽到的时候简直是皆大欢喜。

总而言之，大家都活过来了，挺好的，工创也是一次磨练的好机会，也是我目前遇到的挑战性很大的课程了，最后，非常非常感谢队友的帮助。

李思进：

在最初确定方案的时候，有轮子、会移动的机器人这个方案曾遭到质疑，认为控制电机的难度很大，还需要负反馈使其移动方向正确。知道难度大之后，我们展开了长久的讨论，曾抱怨过一些组输入输出关系简单和制作难度简单的方案为什么也能通过，而我们的方案比较复杂，制作难度更高，还会遭到质疑，迟疑许久后，我们还是决定接受挑战，坚持做车。

制作作品的过程也是不断学习的过程。这个过程中，我学习了 Arduino 的基本操作、一些库函数的使用，观看了一些国内外的教学网站和作品实例，以及相关的开源的工程文件和源代码，再将他们用在自己的作品中。观看学习了 PCB 板制作，电路跑通播放出声音的时候，我也非常激动——我们组的进度又走了一大步。

通过一个个模组的测试和优化，再写出一个总程序形成整个系统，我们的成品可以具备方案中所有的功能，包括附加功能。附加功能中，在我第一次按下手机上的移动按钮之前，一切都还是未知的，不知道她能不能动。第一次测试的过程中，我摸头切换模式，紧张地连接 ShyRobot，当我第一次按下前进按钮，机器人动了，我的内心充满了激动。小时候喜欢的遥控车，现在我们自己做出来了，还是利用单片机的 WiFiP 功能，把单片机的功能发挥到了极致，按键操作也已经足够的简单明了。

工创课程也十分锻炼团队协作的能力，我的焊接手艺不好，也较缺乏艺术细胞，但我们通过团队协作的方式取长补短，有队友焊接，有队友做外观造型……有队友给我焊接好的电路用于调试，有队友拿着画好的外壳直接安装，正是每个人发挥自己的长处，一起学习才能做出好的作品。在第一版电路中，我们还是出了一点沟通表述不准确造成的问题，但在后面我们更加重视、关心他人工作的进度。频繁的队内交流也让我们每个人都能对项目整体进度有清晰的了解。没有良好的团队协作，就难以做出惊艳的作品。除了

组内成员，也有组外的同学提供帮助和技术支持。除此之外，还有老师、学长和其他同学对方案 and 制作过程提出的宝贵建议，正是吸取了这些建议，才有了最后的成品。

总的来说，通过工创课程能学到很多东西，既能学到技术，也能锻炼工程能力。工程即是在现实因素的影响下，方案要在各个方面的性能之间做取舍，最终做出一个达到平衡的作品。单片机算力有限、项目经费有限、材料有限、可以用到的技术有限、传感器有限……但在这些有限之中，用无限的想象力和创造力不断探索、取舍、克服重重困难就是工创的意义。

五、附录

6.1 展示视频（这个有剪辑，比拷贝的更好看）

B 站直接观看：<https://www.bilibili.com/video/BV1xY4y1L7Ec>

百度网盘链接：<https://pan.baidu.com/s/1SZ0jpgzWyIbXS1qWqAo24Q>

提取码：6666

6.2 工程项目文件 Github 链接

其中 Code 文件夹含最终成品源码

Sjin-Lee/Electronic\_Engineering\_1: 电子科技大学英才实验学院工创 1 项目 (github.com)

([https://github.com/Sjin-Lee/Electronic\\_Engineering\\_1](https://github.com/Sjin-Lee/Electronic_Engineering_1))

6.3 成本费用详情

物料及价格清单

物品	价格
小车结构	22.60
电机驱动	13
电源	8.9
超声波模组	8.76
屏幕	7.95
连接物	5.8
PCB	0
外壳	0
采购总计	67.01
---	---
试错、损坏、备用件	117
项目总计	184

小车成品总价略低于 150 元，项目总进程略超 150 元。例如：发放的单片机不计入采购总值，但计入成品物料总值。