

电子技术课程设计

总结报告

选题：仓库机器人

小组成员：张嘉玮（2016011528）

彭松浩（2016011522）

日期：2018.07.06

目录

一、选题背景及课程简介.....	3
二、方案比较与选择.....	5
三、数字系统框图.....	11
四、接口电路.....	12
五、基于 Webench 的电源电路仿真.....	22
六、功能实现.....	24
七、问题及解决方案.....	35
八、收获与反思.....	37
文献即参考资料.....	41

一、选题背景及课程简介

（一）选题背景

近年来，随着物流业的迅速发展，与之相匹配的智能仓库也越来越受各大物流企业以及电商的青睐，特别是以阿里和京东为代表的电商巨头，更是把智能仓库作为自己的核心竞争力之一。而仓库机器人则是智能仓库最重要的组成部分，近年来有大量的巨头企业和初创企业加入到了仓库机器人的研发当中。因此，在经过一番讨论和比较之后，我们选择“仓库机器人”这一题目，以智能仓库为应用场景，以移动机器人为载体，使用可编程器件 FPGA 作为移动机器人的控制系统，通过外接多路传感器获取信息，模型真实场景和情形，设计和实现仓库机器人的一些基本的功能。

（二）课题简介

在设计移动机器人的功能时，我们充分考虑实际场景和应用当中仓库机器人应该具有的基本功能和可能会遇到的情形及对应的解决方案，同时考虑成本以及可实现性，总结为以下几点：

（1）自动行驶：模拟仓库机器人在预定轨道自动行使，对应移动机器人能够按照预先搭建设计好的轨道自动行驶，并根据轨道调整前进方向。

（2）“十字路口”自动决策：模拟在行使过程当中，遇到轨道交叉点时，仓库机器人能够按照预先设定的路线做出正确的轨道转向。

（3）“防止追尾”功能：在后车遇到前车时停止前进，等待前车走出一段距离后，再继续行驶。

(4) 避让障碍物：在无轨道处行驶时，如果前方出现障碍物，移动机器人能够自动避让，防止碰撞。

(5) 跟随前进：仓库机器人能够跟随仓库管理员前进，运输货物。

(6) 称重模块：该模块用于测量小车上搭载的货物的重量。

(7) 蓝牙连接：管理员在手机端对仓库机器人的移动进行控制。

(8) 人体红外感应模块：考虑到仓库机器人在仓库来回行走，这样对于参考机器人有一定的危险，因此加入人体红外感应模块，当有行人靠近小车时，小车能够给予回应，目前以蜂鸣器作为回应的载体。

(9) 温度湿度测量模块：考虑到实际智能仓库对温度湿度要求严苛，本模块实现对仓库温度湿度的测量。

(10) 数据测量：

A. 距离测量：检测移动机器人与前方的障碍物或者前车的距离；

B. 速度检测：检测移动机器人移动的速度，也能控制速度在不同的档位；

C. 对(6)称重模块采集的数据进行分析计算，得出载物重量；

D. 温度湿度测量：实现对仓库温度湿度的测量。

E. A\B\C\D的检测到的数据，能够在FPGA数码管进行显示；。

二、 方案比较与选择

1. 自动寻迹行驶模块：

自动寻迹行驶模块需要实现的功能包括，小车能够沿着预定的轨迹行驶，且在实际仓库中必然会出现多路线选择的问题，即小车必须能前往不同的货架（如图 1 所示），将整个多路线问题分解为小车做多个十字路口决断的问题简化分析。

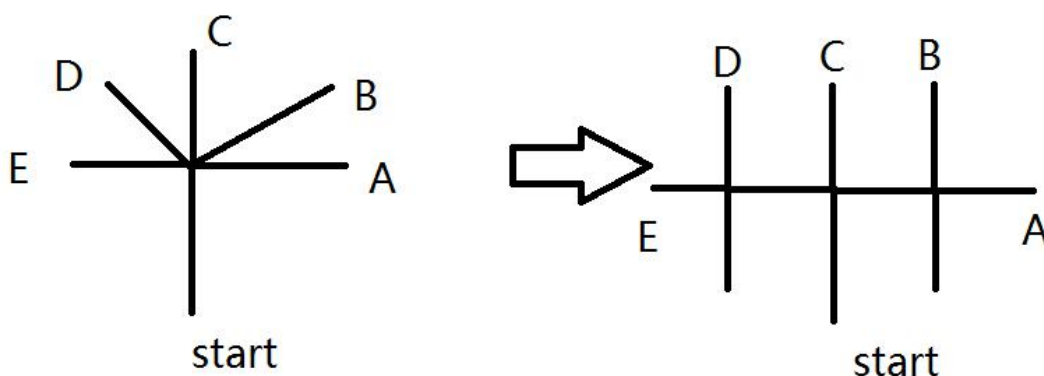


图 1

由于仓库中小车的行进路线可以多样化，设计自动寻迹行驶模块采用机器人的伺服行为和弹道式行为结合的方式，利用伺服行为的反馈控制使小车能够沿着预定的轨道前进，利用弹道式行为的规划性帮助小车在十字路口做出转弯决断。

常见的能够实现智能车自动循迹行驶功能的方法主要基于以下三大类传感器：电磁传感器、图像传感器和光电传感器。

电磁传感器需要在轨道中心布上交流载流导线，利用电磁感应原理检测其产生的交变磁场来进行路径判断，依次来控制小车沿着轨道行驶，通过磁场强弱判断小车和轨道的相对位置，再通过编程确保小车在轨道上正常行驶。

图像传感器是利用摄像头采集轨道的图像信息，通过计算机的程序分辨出轨道路线，进而控制小车的行进状态和方向；或是通过将图像信息处理后，通过 FPGA 编程确定轨道信息，再控制小车的行进。

光电传感器利用轨道和非轨道对光的反射不一来区分轨道和非轨道的差异，通过感知反射光的强弱来控制小车在白色背景下沿着黑色轨道前进。光电传感器能够通过反射光强弱判断小车和轨道的相对位置关系，确定位置关系后，利用不断的负反馈可以在小车偏离轨道之际让小车回到轨道，同时不断前进，实现小车沿着轨道前进。

电磁传感器能够基本不受环境中温度和亮度的影响，但是对小车自身产生的电磁效应和环境中存在的电磁干扰抗性不强，而且铺设轨道的成本较高，过程太过复杂。图像传感器对轨道信息的采集精度高，探测范围广，信息量大，对轨道需求小，受环境因素的影响小，但是其处理过程太过复杂，实现图像识别对程序要求极高，几乎很难用 FPGA 实现，而且很难处理其中存在的延迟问题。光电传感器相较前二者而言，传感器和轨道铺设成本最小，反馈路径短，反应速度快，但是精度不高，而且视野极小，脱离轨道后完全失去反应能力。

综上所述，由于成本和技术实现的问题，最终采用了较为简单和成本最低的基于光电传感器的自动寻迹功能，实际实验中对精度要求不高，而且车速不快，以光电传感器的灵敏度完全能够胜任。

实际设计可在小车的前端中部加三个光电传感器，分别检测左前，右前和正前方和轨道的相对关系，若仅有正前在黑线上，则继续前进；

一旦仅有左前在黑线上，则应当小角度左转（右方同理）；若出现左前和正前同时处于黑线，则应当大角度左转（右方同理）。

为实现十字路口的决断，当三个光电传感器同时处于黑线上时，则可以判定小车处于十字路口，则小车可以根据预先设好的方向前进。

2. 遇障反应系统：

仓库中遇障分为两种情况：在运输过程中遇障，仓库中为提高运输效率，运输轨道必然具有单向性，可以避免会车状况，则在轨道遇障后，只需原地等待，等待前车完成相应指令离开，本车即可继续运行；非运输过程遇障，即处于非轨道运行时，遇障后可以通过避障系统绕过障碍继续前进。

遇障的判断主要是通过测距装置来实现，测距方式包括：红外测距、视觉测距，超声波测距。

红外测距：利用三角原理实现测距。红外发射器发射成一定角度的红外光束，当红外光束碰到物体后反射，检测返回的光束获取偏移值，就能够根据三角定律算出传感器到物体的距离。

视觉测距：利用摄像头获取小车前方的图像信息，通过计算机或FPGA 设计程序测距。

超声波测距通过一对超声波的发射和接收装置进行测距。一个探头发射超声波，另一个探头接收超声波，通过测量发射和接收的时间差，结合声速，从而计算出探头与障碍物之间的距离。

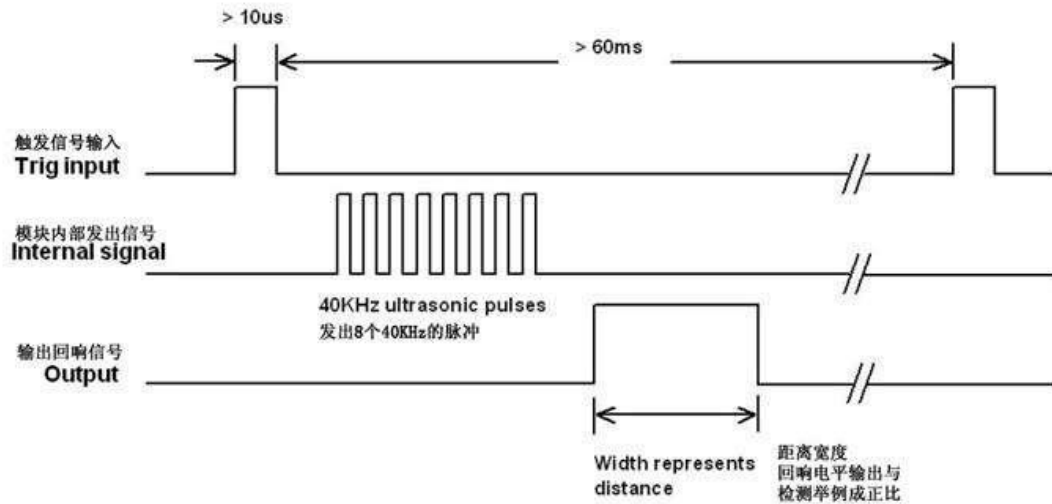


图 3

时序图表明， $10\mu s$ 的高电平脉冲可触发一次探测，若接收到回响信号，会得到一个与间隔时间成比例的高电平脉冲。在 FPGA 板中，可通过计数器来计算小车与障碍物的距离，以此实现避障与测距。

综上，使用红外测距与视觉测距精度会更高，但是成本更大，而且程序的编写更加复杂，在实验避障模块中，超声波测距的精度已经能满足要求，因此使用超声波测距。同时，超声波测距将在多个功能当中使用，有测距、跟随、避让等功能。

3. 速度测量

目前主流的智能小车测速模块主要有光电式和电磁式测速，而在智能小车领域，则是以光电式较多。红外测速是利用光电对射原理。具体器件时在轴上套一个光栅，然后左右装一个光电（红外）发射、接收管。如果发射后的信号被接受，则会出高电平；如果被辐条遮挡则产生一个低电平。而光栅上的辐条是数量已知并且均匀分布的，这样，就会收到规整的方波，进而对其进行计数，计算出小车前进的速度。

而电磁式则是一种磁传感器，一般使用霍尔效应原理，在转动轴上安装一个小磁铁，轴旋转的时候，当磁铁经过霍尔器件时，器件会产生一个低电平的脉冲，而没有经过低电平时，则是高电平。这样，通过计数低电平的数量，就可以计算出轮子转动的圈数，再结合轮子的半径等数据，就可以测得小车前进的速度。

虽然大多数智能模型小车更青睐产生模型较好的光电式测速，但是考虑到我们的应用背景是仓库机器人，其电机较大，且工作环境中可能会有灰尘和油污，所以我们选择更加实际的测速方法——电磁式。

4. 蓝牙控制模块

本环节使用通用的 HC-06 蓝牙模块实现对小车的蓝牙遥控。将 HC-06 连接在 FPGA 板上，通过 Android 设备终端与 HC-06 进行对接，通过发送不同的指令对小车的运动状态进行控制。能够实现在手机端对小车的进行如下控制：前进、后退、停止、拐弯、倒车、换挡、数据测量模块的转换等等。

5. 电机驱动模块

电机是整个系统当中一个非常重要的输出模块，其性能将直接影响功能的效果。在经过一番查阅和比较之后，我们选择内阻较小，稳定性较高的电机驱动芯片 BTS790，该芯片是英飞凌公司生产的全桥驱动芯片。而为了实现小车的前进和后退，对应电机的正转和反转，故需要两块 BTS790 芯片。而对应的电压选择 PWM 波形，通过对波形的 PWM 调制，实现对转速的控制。

6. 舵机电路模块

该模块控制小车的转向。分析来自总线的不同型号，产生不同的 PWM 波，进而对舵机进行控制。之所以使用 PWM 控制，是因为其操作灵活，控制简单，并且动态响应好，同时用方波替代正弦波，也使得输出电压更加稳定，这也是将模拟信号转化为数字信号的一种非常有效的方式。

7. 称重模块

该模块使用称重传感器，配合 AD 转换 HX711，测量仓库机器人搭载的货物的重量。本模块的核心是称重传感器，和与之相匹配的高精度 AD 转换器 HX711。

8. 人体红外感应模块

该模块使用人体红外感应器 HC-SR501，其是一款基于热释电效应的人体热释运动传感器，能检测到人体或者动物上发出的红外线。这个传感器模块可以通过两个旋钮调节检测 3 ~ 7 米的范围，5 秒至 5 分钟的延迟时间。而使用 FPGA 上的蜂鸣器作为该模块是直接输出。

9. 温度湿度测量模块

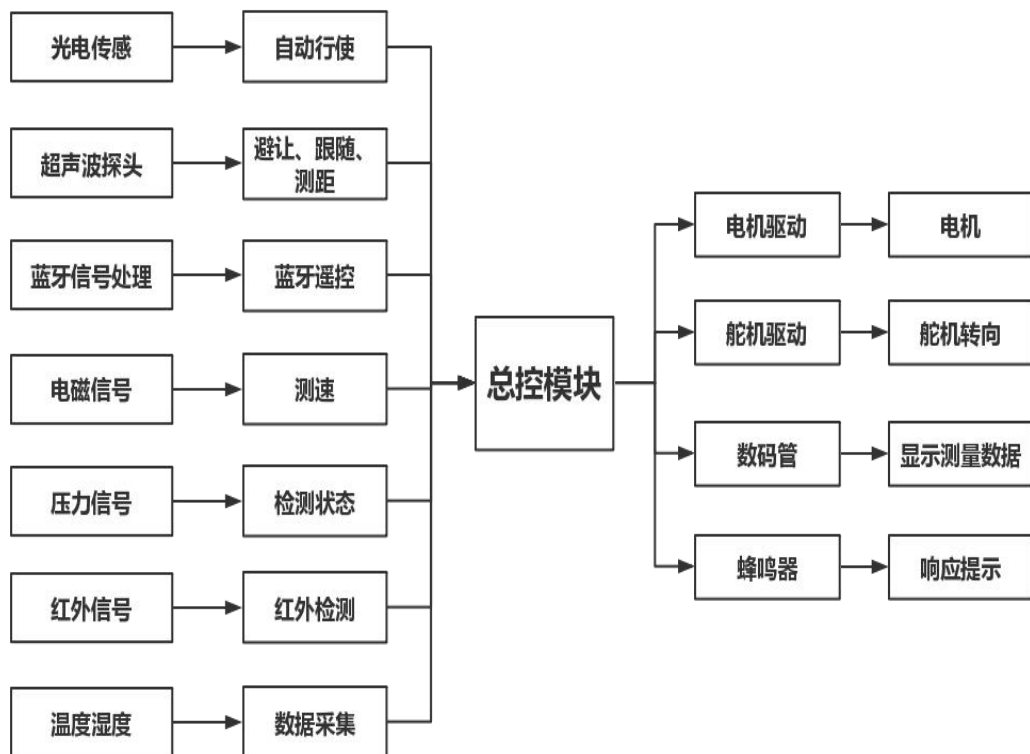
该模块使用数字温度湿度传感器 DHT11，它应用专用的数字模块采集技术和温湿度传感技术，测量数据稳定且可靠性高。而测量数据则通过数码管进行显示和输出。

10. 顶层总控模块

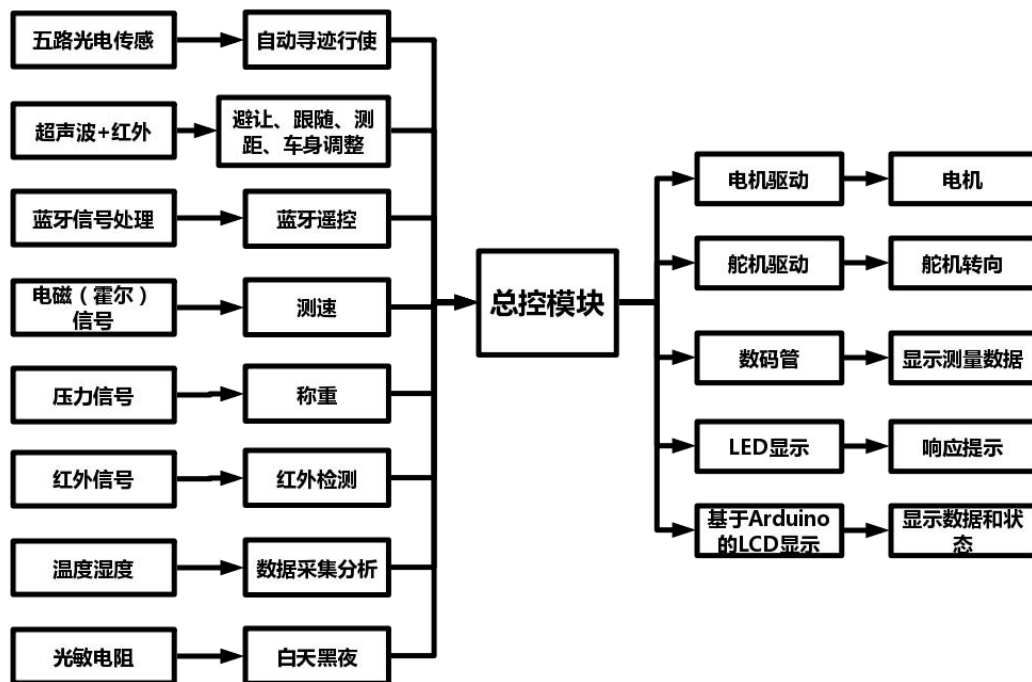
顶层总控模块用于分配信号的优先级以及产生呢输出信号。由于小车的运动状态需要在不同状态及对应的功能之间进行转换，所以需要在顶层模块当中，对信号进行由此岸及处理以及产生对应的输出信号。

三、 数字系统框图

依据功能设置以及模块划分，数字部分的系统预期框图如下图所示：



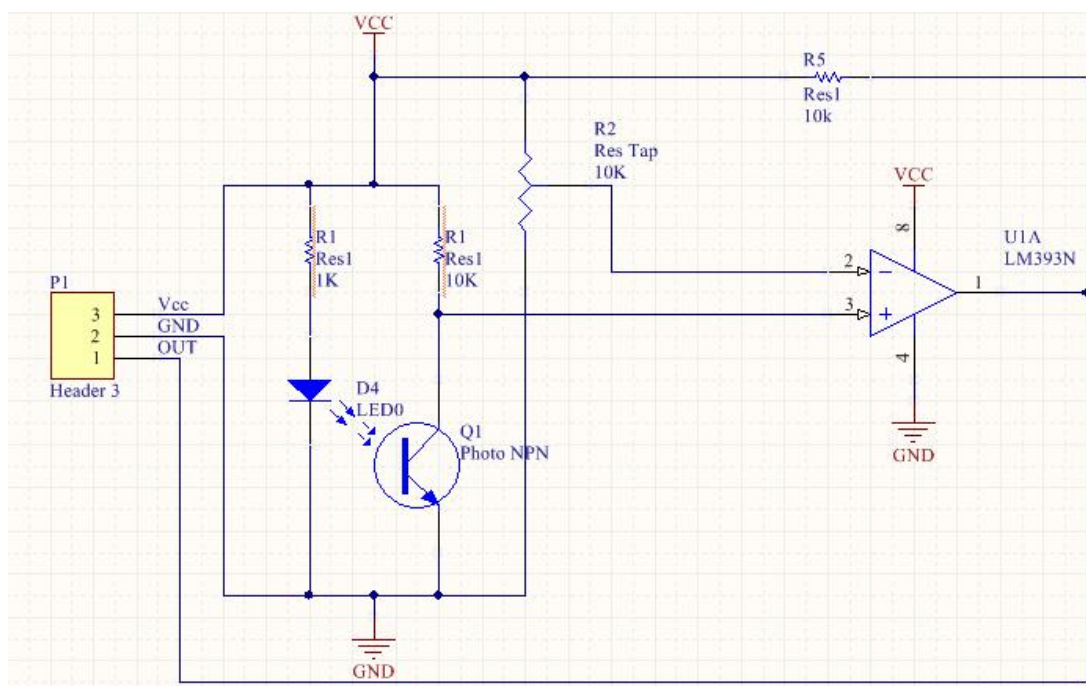
最终实现的框图：



四、接口电路

1. 光电传感器

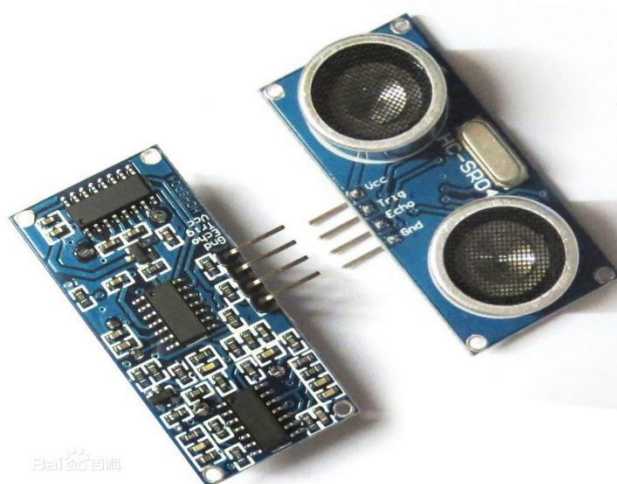
通过一个红外管与一个接收管实现对路径（黑白线）的检测。发射管发射红外线，当检测到反射的红外线时（输出电压为低电平），说明不是路径；当检测不到红外管时（输出电压为高电平），说明被“路径”吸收，即检测到了正确的路径。通过电压比较器的输出检测是否有反射信号。



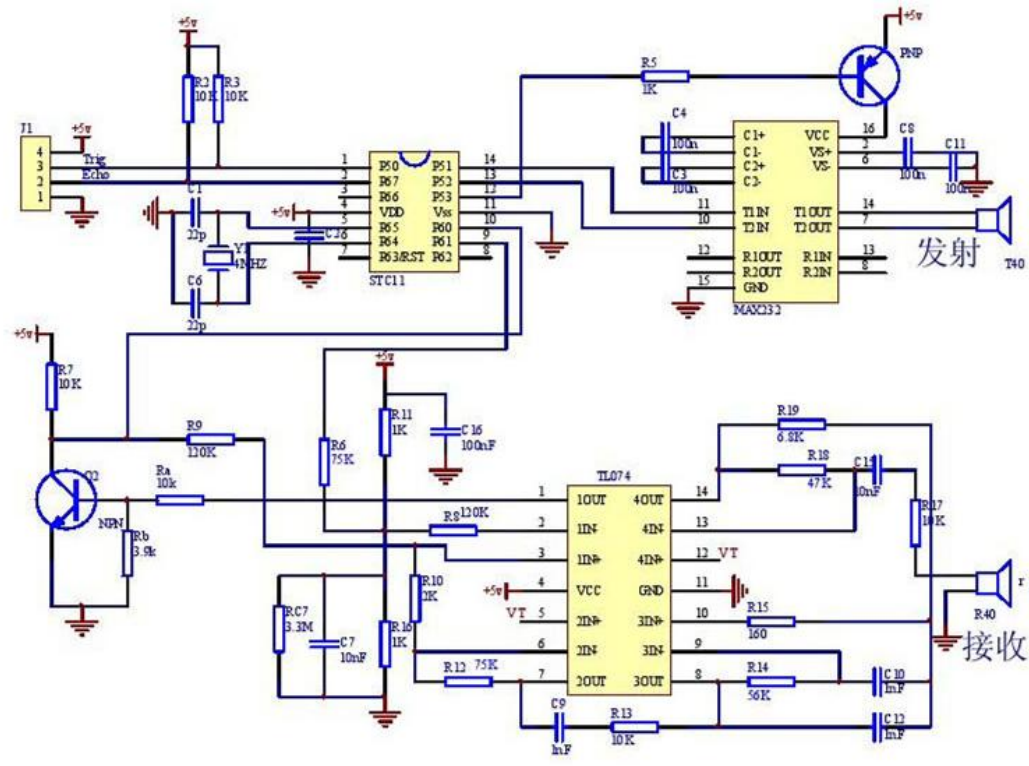
其中，该部分电路由三个接口，Vcc（3.3V）和 GND 提供电源和地线，OUT 作为输出。

2. 超声波测距

该模块直接使用封装好的超声波测距仪，如下图：



其内部电路如下图：



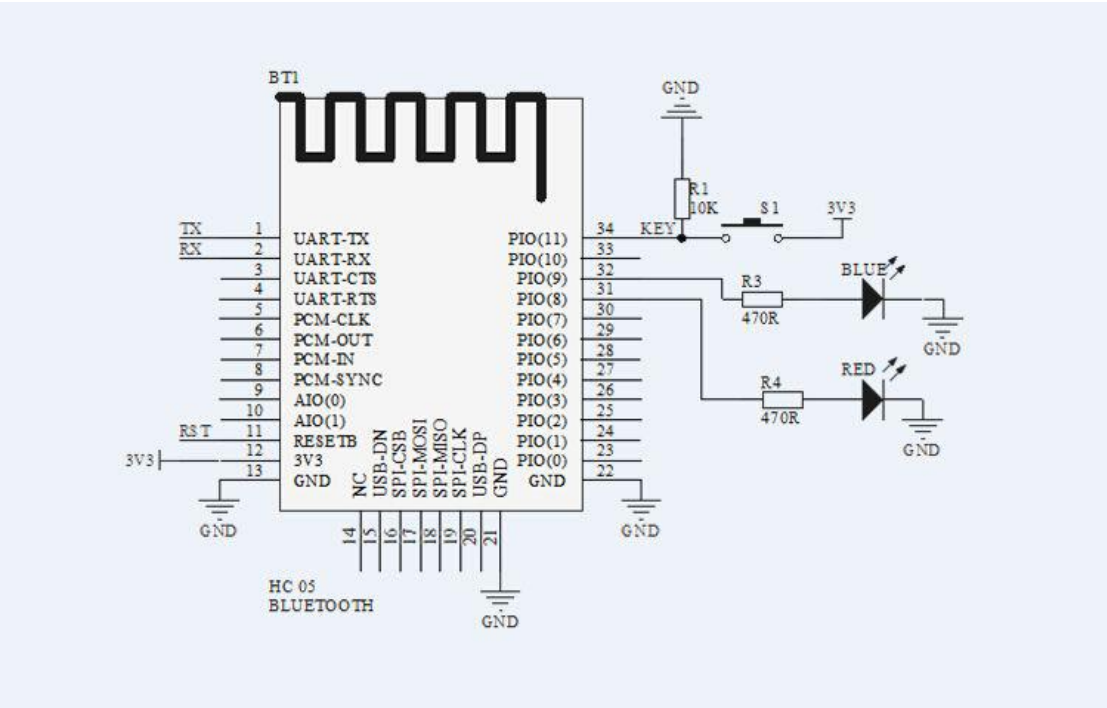
对外有四个接口，Vcc 为 5V，GND 为共地端，TRIG 为触发信号输入，ECHO 为回响信号输出。

3. 蓝牙连接模块

该部分使用 HC-06 和总线进行连接，HC-06 的外观如下图所示：



引脚如下图所示：



电气特性如下图所示：

项目	说明
接口特性	TTL，兼容 3.3V/5V 单片机系统
支持波特率	4800、9600（默认）19200、38400、57600、115200、230400、460800、921600、1382400
其他特性	从机蓝牙串口，带状态指示灯，带配对状态输出。
通信距离	10M（空旷地）
模块尺寸	16mm*31mm

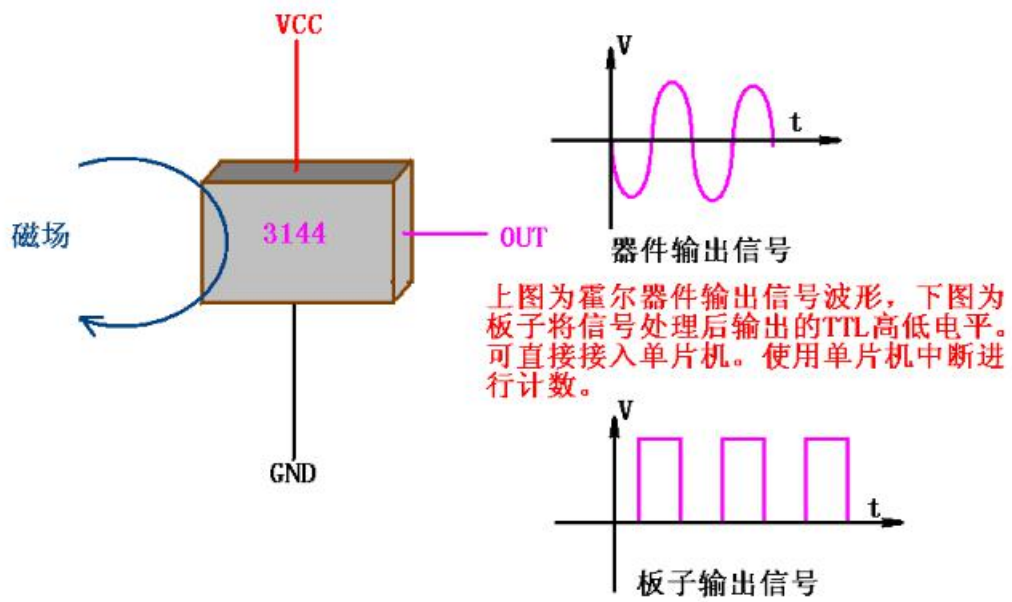
表 1.1 HC06 基本特性

项目	说明
工作电压	DC3. 3V~5. 0V
工作电流	配对中：30~40mA；配对完毕未通信： 1~8mA；通信中： 5~20mA
Voh	3. 3V@VCC=3. 3V 3. 7V@VCC=5. 0V
Vol	0. 4V(Max)
Vih	2. 4V(Min)
Vil	0. 4V(Max)

表 1.2 HC-06 电气特性

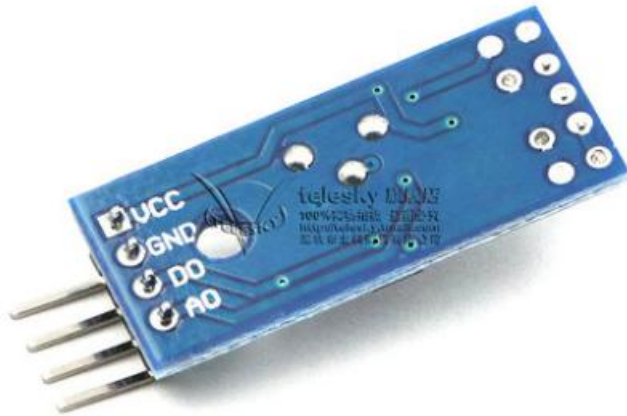
4. 测速模块

测速模块使用 3144 霍尔传感器，其基本原理如下图所示：

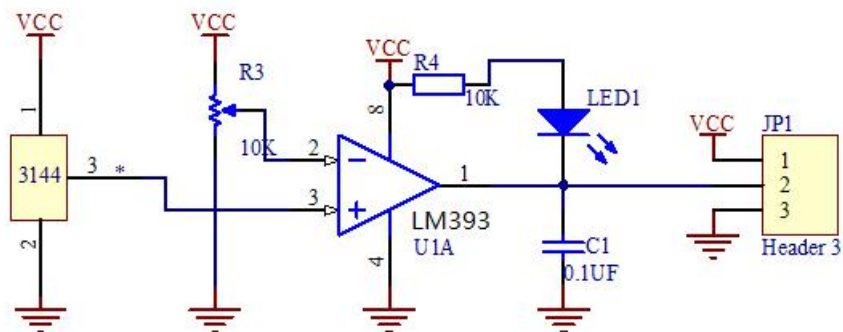


区别只是我们使用的是 FPGA 中的计数模块进行编程。

我们使用集成度 3411，其外观图如下：

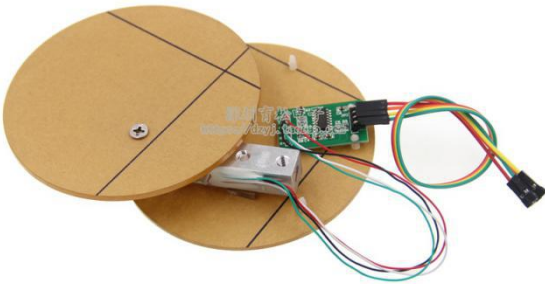


电路原理图：



根据 3411 霍尔测速元件的测速原理，之间将输出的方波接在 FPGA 的输入端，对其进行计数，即可计算出车速。

5. 称重模块

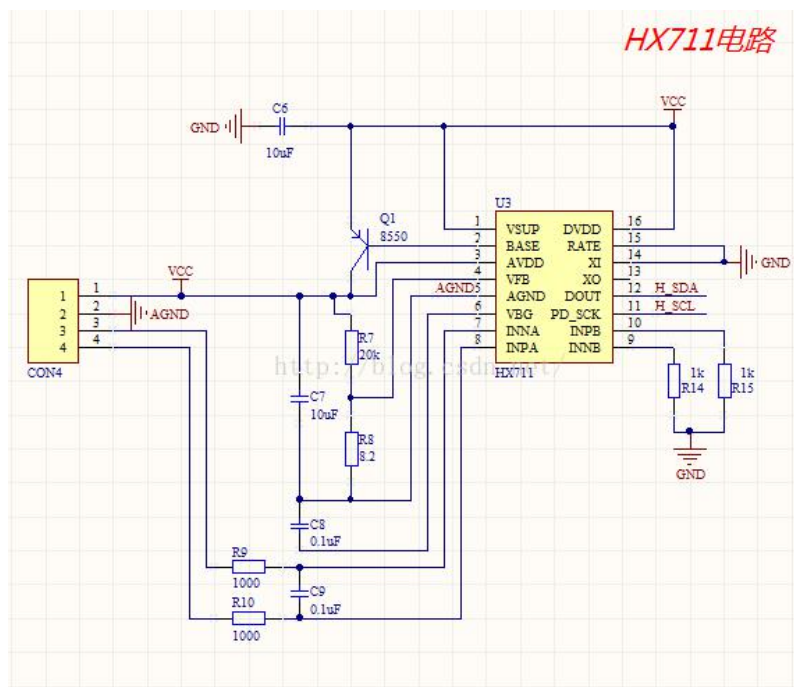


其中，压力传感器输出量为模拟电压，模拟电压大小由激励电压决定，压力学大，对应的模拟电压也越大。

而对于输出的模拟信号，再用称重传感器专用转换芯片 HX711. 该芯片集成了包括稳压电源、片内时钟振荡器等其它同类型芯片所需要的外围电路，具有集成度高、响应速度快、抗干扰性强等优点。降低了电子秤的整机成本，提高了整机的性能和可靠性。管脚图如下：

稳压电路电源	VSUP	1	16	DVDD	数字电源
稳压电路控制输出	BASE	2	15	RATE	输出数据速率控制输入
模拟电源	AVDD	3	14	XI	外部时钟或晶振输入
稳压电路控制输入	VFB	4	13	XO	晶振输入
模拟地	AGND	5	12	DOUT	串口数据输出
参考电源输出	VBG	6	11	PD_SCK	断电和串口时钟输入
通道A负输入端	INNA	7	10	INPB	通道B正输入端
通道A正输入端	INPA	8	9	INNB	通道B负输入端

电路图：

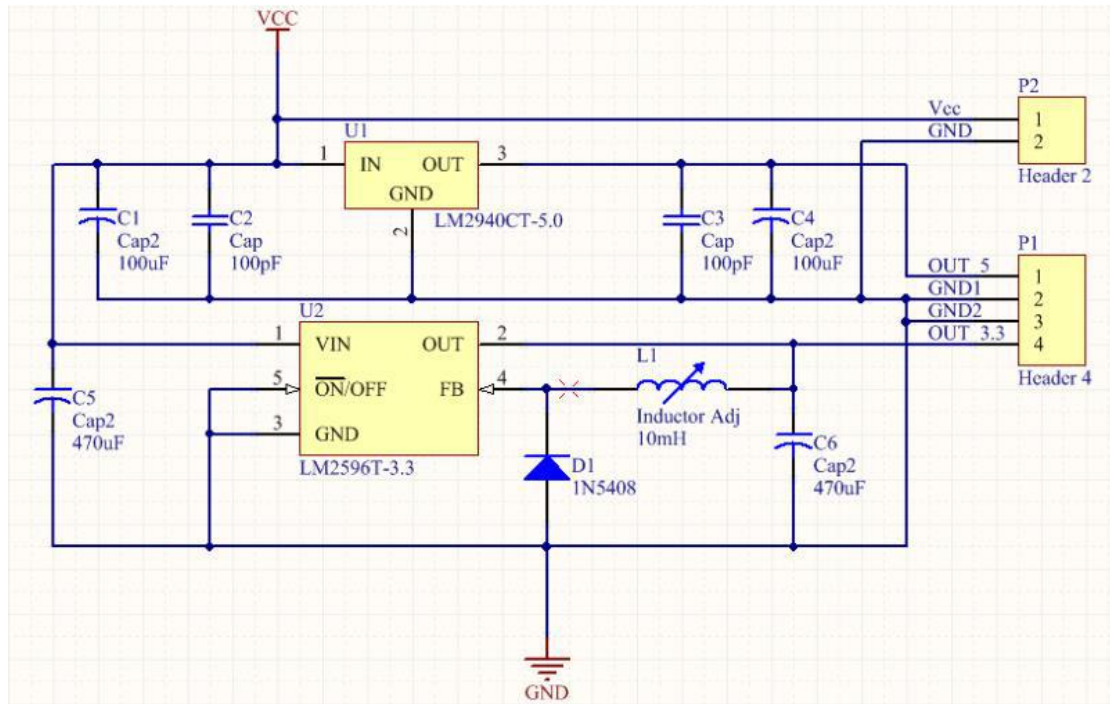


6. 电源管理电路

小车各模块所需电压如下：

模块	电压	电流
红外传感器	3.3V	20mA
超声波模块	5V	15mA
FPGA核心板	5V	500mA
霍尔传感器	5V	30mA
蓝牙模块	5V	30mA
舵机驱动	5V	200mA
电机驱动	7.2V	2.4~11.6A

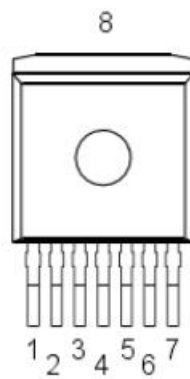
所以采用 LM2940T 和 LM2596T 稳压器，分别获得 5V 和 3.3V 的稳定电压，作为整个系统是电源电路。电路如下图所示：



7. 电机驱动电路

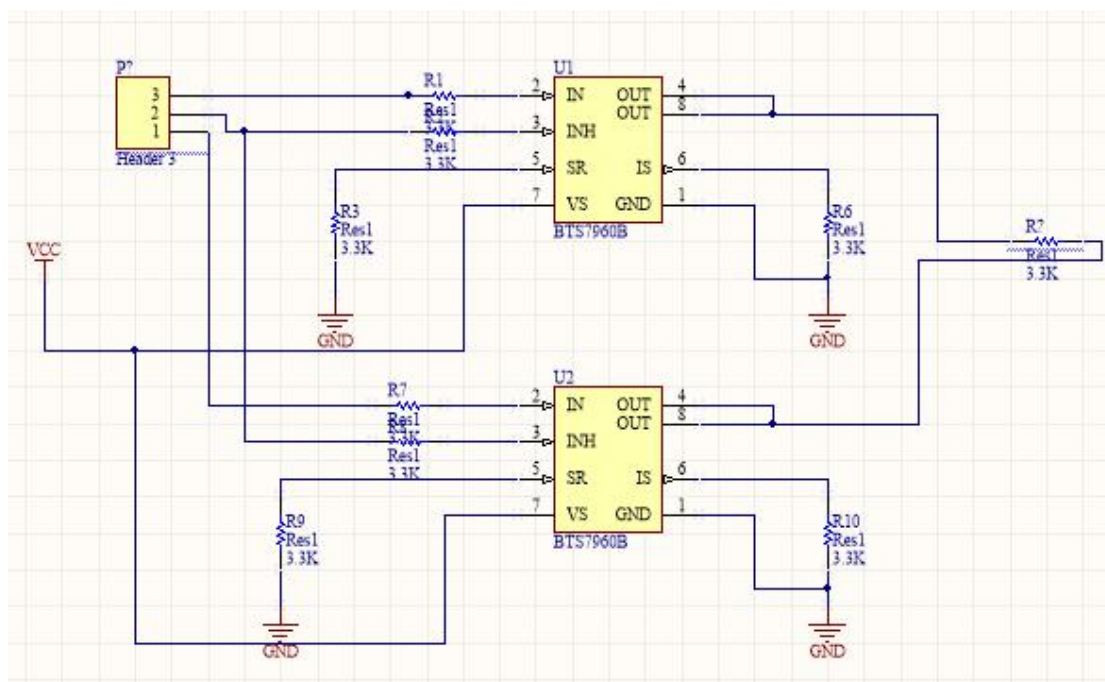
该部分使用 BTS7960B 芯片，引脚图如下：

BTS 7960B
P-TO-263-7



Pin	Symbol	I/O	Function
1	GND	-	Ground
2	IN	I	Input Defines whether high- or lowside switch is activated
3	INH	I	Inhibit When set to low device goes in sleep mode
4,8	OUT	O	Power output of the bridge
5	SR	I	Slew Rate The slew rate of the power switches can be adjusted by connecting a resistor between SR and GND
6	IS	O	Current Sense and Diagnosis
7	VS	-	Supply

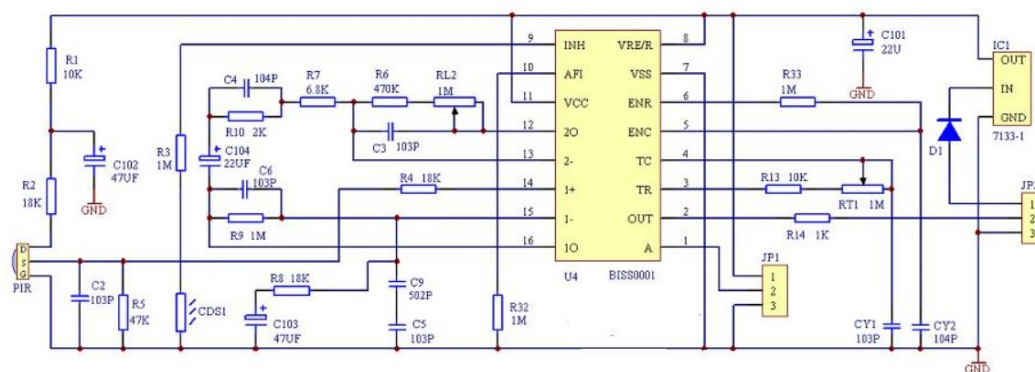
电路图：



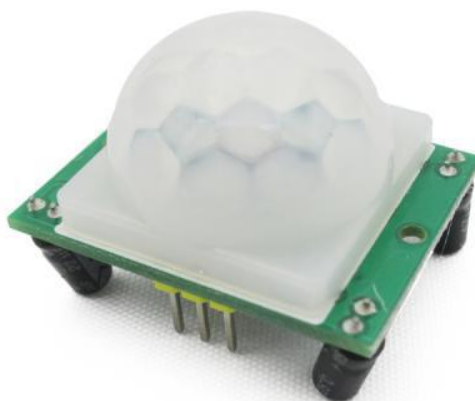
8. 人体红外感应模块

该模块使用人体红外感应器 HC-SR501，其是一款基于热释电效应的人体热释运动传感器，能检测到人体或者动物上发出的红外线。这个传感器模块可以通过两个旋钮调节检测 3 ~ 7 米的范围，5 秒至 5 分钟的延迟时间。而使用 FPGA 上的蜂鸣器作为该模块是直接输出。

电路原理图：

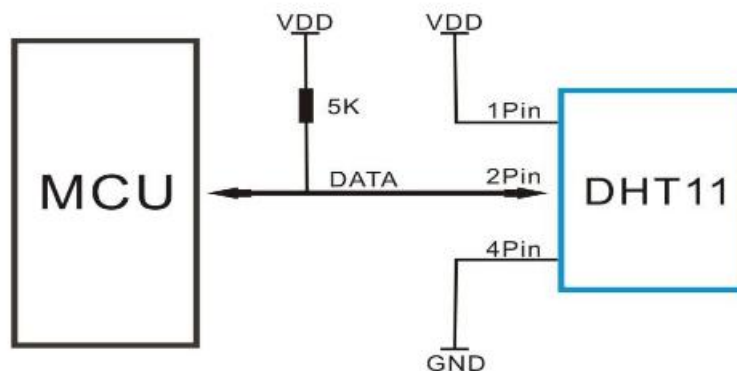


模块实物图：

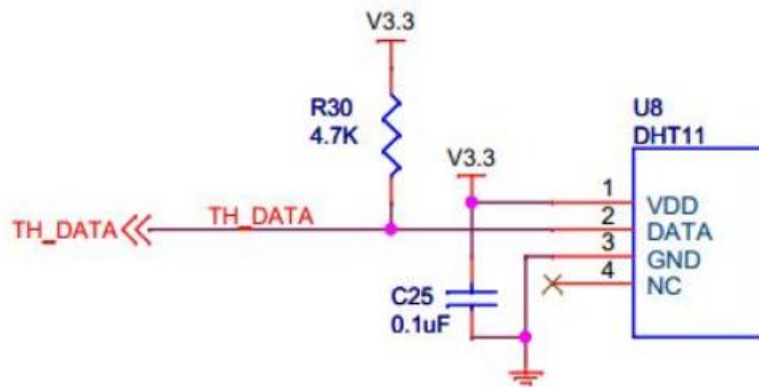


9. 温度湿度测量模块

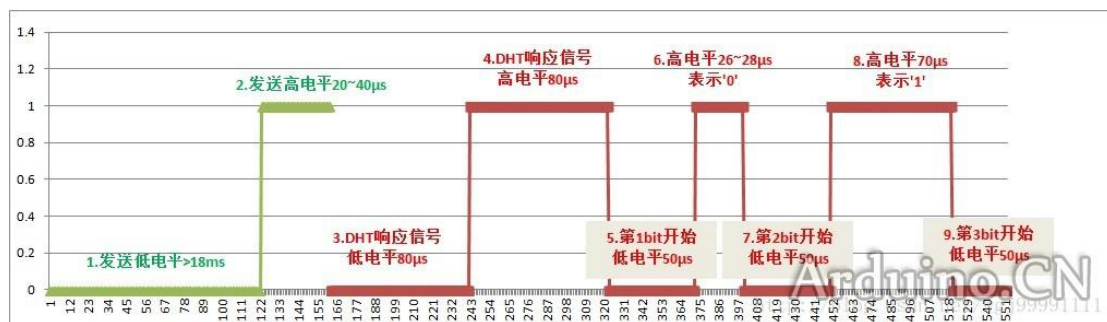
DHT11 常用电路：



接口电路图：



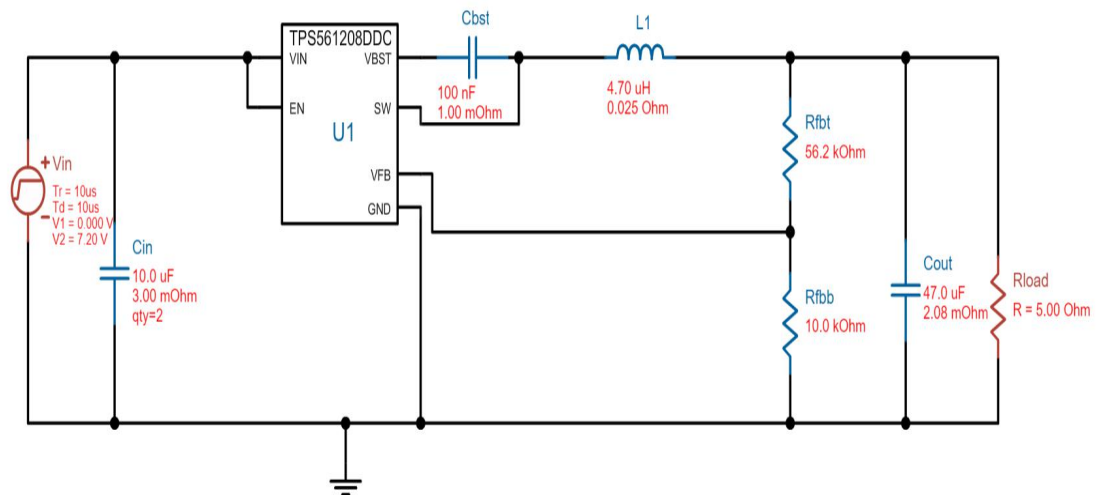
时序图：



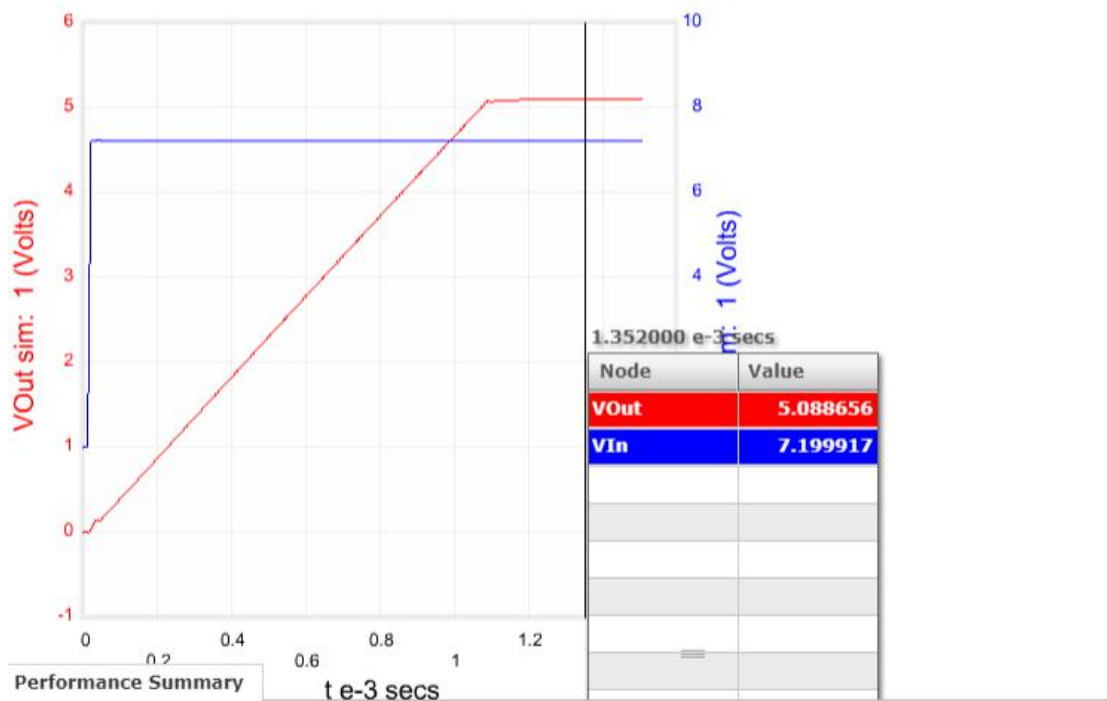
五、基于 Webench 的电源电路仿真

使用 Webench 进行电源仿真，综合性价比，最终选择使用 TPS561208 作为稳压芯片：

(1) 输出 5V、1A 的电源：

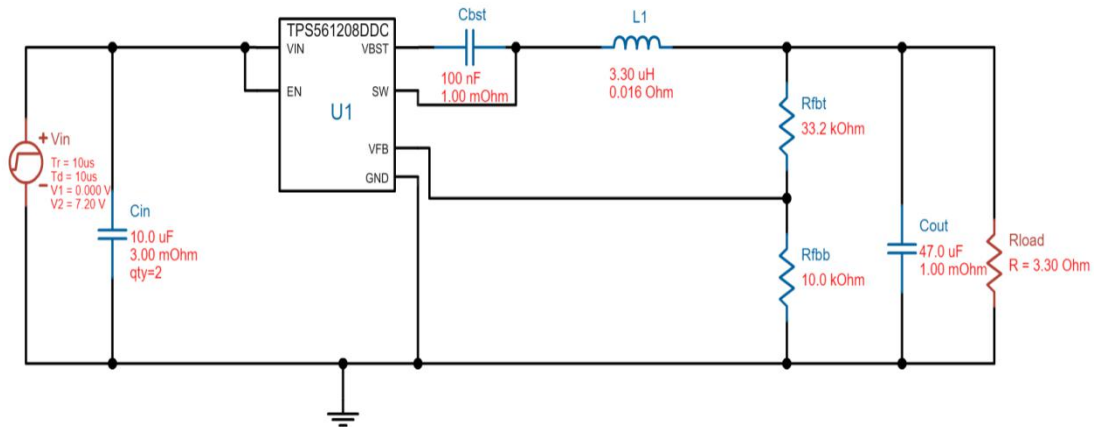


仿真结果如下：

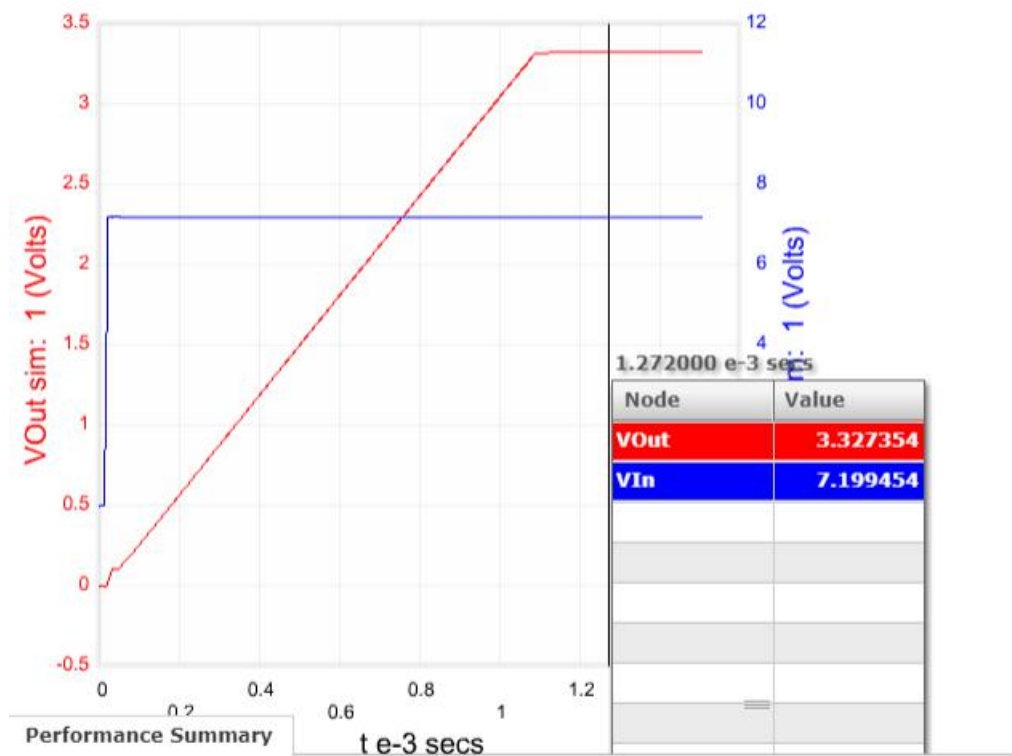


从仿真波形可以看出输出为 5V 的电源。（红线为输出，蓝线是输入）

(2) 输出 3V (1A) 的电源：



仿真结果如下：



从仿真结果可以看出，输出为 3.3V 的稳定的电压。

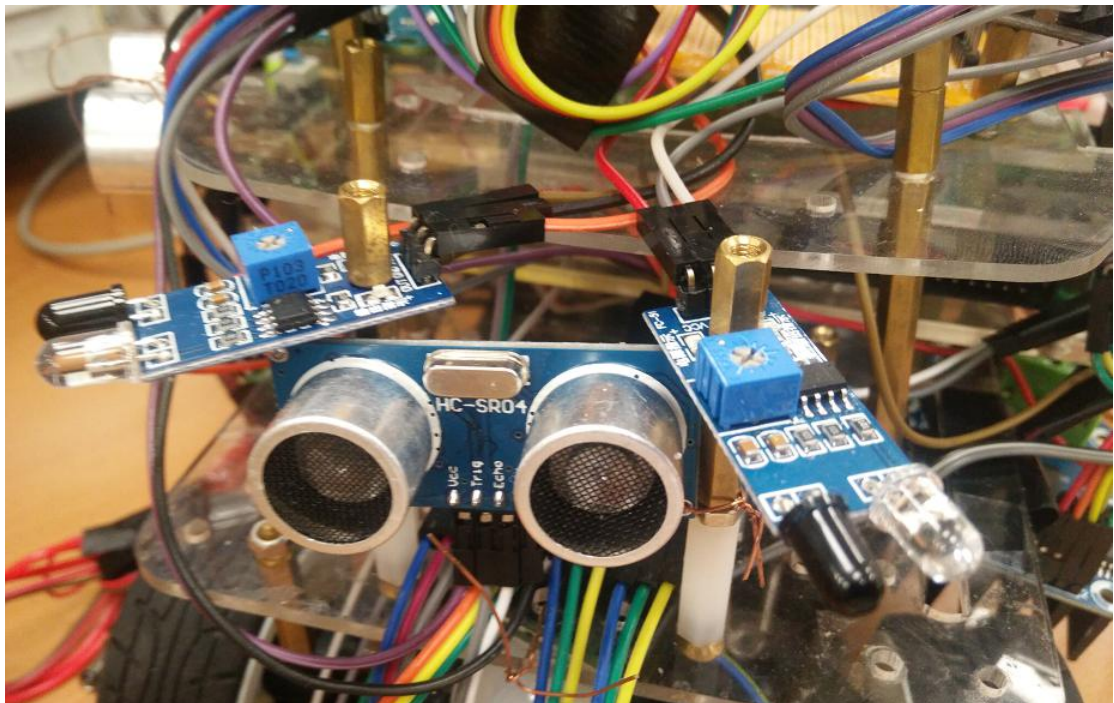
六、功能实现

1. 超声波测距模块

在综合了硬件条件以及实际情况之后，测距模块使用了超声波测距。小车使用了 4 个超声波传感器，分别位于小车的前后左右每一个

超声波模块的测距原理相同，用于数码管显示的数据是正前方超声波探头所测数据。下面正前方探头为例，详细介绍其实现方法。

根据超声波模块的测距原理，首先要给超声波探头一个大于 10us 的高电平，以触发它发射超声波，如果前方有障碍物，超声波将会被反射回来，超声波接受探头在接收到反射回来的超声波时，会发出一段与障碍物距离成正比的高电平，计算这段高电平的时间，乘以由声速决定的比例系数，即可计算出障碍物与小车之间的距离。



在测量了距离之后，并不意味着直接可以用于。因为 verilog 对于除法有局限，所以用于显示的数据并不能直接由所测数据得到，需另设算法。为提供测量的进度，我们直接使用 FPGA 板的自带 50MHz 晶振用于计数。当超声波探测器的返回信号为高电平时，开始计数。50MHz 每一个周期对应的实际距离如下：

$$\frac{1}{50 \times 10^6} s \times 340 m / s \times 0.5 = 3.4 \mu m$$

因此，在返回的高电平期间，对每一边的到来，对 3.4um 进行累加，即可得到对应的距离。本次测量，精确度带 0.01cm，设显示的数据为： $n_1n_2.n_3n_4$ ，则当累加到 100um 时， $n_4=n_4+1$ ；当 n_4 累加到 10 时， $n_3=n_3+1, n_4=n_4-10\cdots\cdots$ 以此类推。最后，将得到的四位数据，传递给显示模块，用于显示。

将上面的测量过程周期化，即可得到实时测量的效果。本次设计时，0.5s 测一次。

2. 避障模块

为了使得避障精准，适应多种避障情况，我们采用了不同传感器的配合使用，以达到不同传感器优势互补的效果，从而对各种障碍情况都能进行避让绕行。



我们使用了 4 个超声波传感器和 2 个红外传感器进行感知，避障绕行的情况有如下几种：

A. “出库”：这种情况对应的是小车前、左、右皆有障碍物，小车将倒车出库，同时，倒车时舵机是有一定角度的，这样小车将会自行出库。

B. “直角”：小车的处在直角的障碍区时，能够进行避障行进。

C. 普通障碍物：一般的，某一个方向有障碍物时，可以对其进行必然绕行。

对于以上各种情况，为了防止小车与障碍物有刮擦，我们考虑了各种情况，查阅了实际的汽车在避障时的运动轨迹，设计了多个原地车身角度调整算法，能够在原地通过左右前进、左右倒退，得到安全地避障绕行。同时，位于后方的超声波探测器也将实时监测后方障碍物的距离，防止其在倒车过程当中与后方障碍物有刮擦。

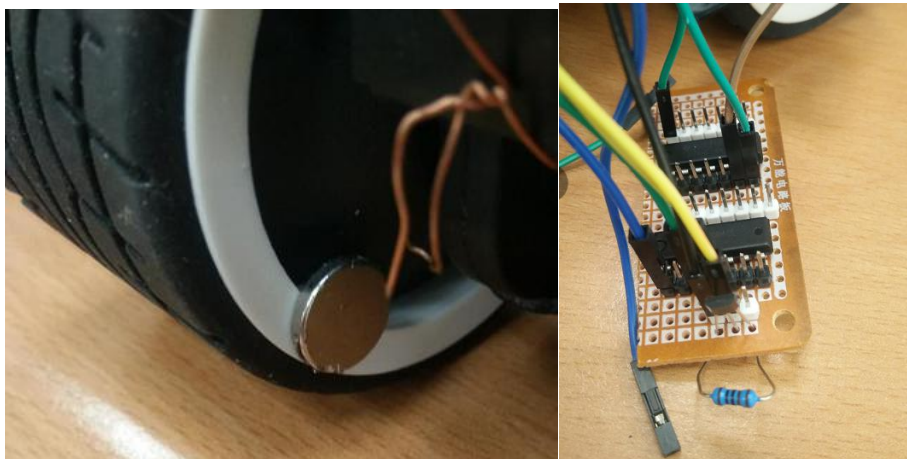
3. 跟随模块

该模块跟避障模块的实现原理基本相同，那边有障碍物往那边走，算法设计基本相同，故不再详细介绍。特殊点在其在跟随过程当中，能与被跟随者保持一定的距离。



4. 霍尔测速

霍尔测速模块，我们先是用集成的模块进行设计，后又自己搭建了测速模块，其中用到了 3144 以及放大器、反相器。其能够感知周围环境的磁场变化，我们将磁铁绑在轮子上，随车轮进行转动，进而产生变化的磁场，同时将霍尔模块固定在车轮附近，根据高低电平，进行测速。



同时在获得数码管要显示的数据时，依旧采用测距模块的方法，进行累加进位。然后将四位数据传递给显示模块，进行显示。

5. 显示以及显示控制模块

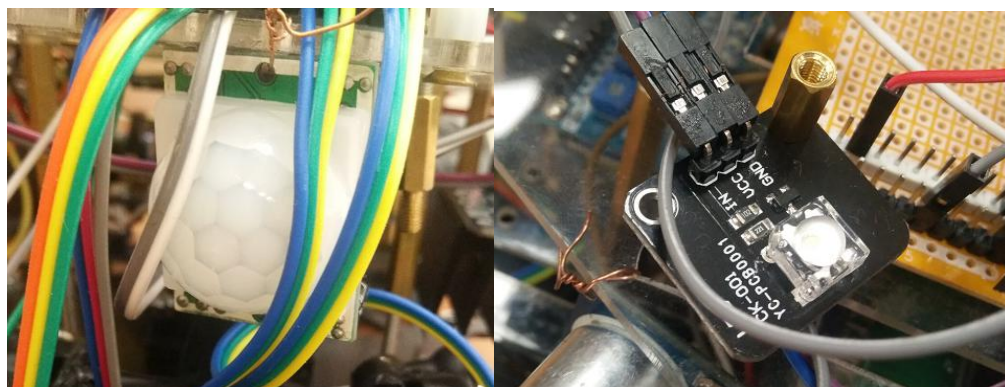
显示模块主要控制数码管的显示，使用了 250Hz 的频率进行循环扫描显示。而显示控制模块则是对显示的数据类型进行控制，实现不同数据之间的切换显示。



6. 人体红外及光感检测模块

该模块是考虑到小车在实际行进当中，为了安全而设计。该模块的感知器件有两个，人体红外传感器和光敏传感器。其中人体红外能够检测到移动的红外线（人体热辐射），光敏传感器可以感知到白天

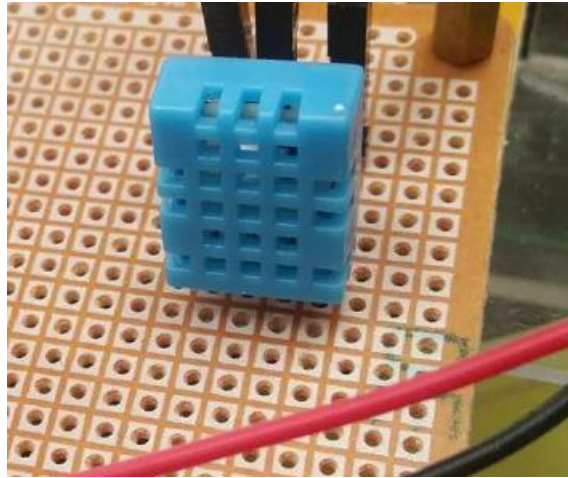
和夜晚。而该模块的输出时一个功率较大的发光 LED 灯。不仅可以用于照明，而且也为安全工作而设计。



7. 度测量模块

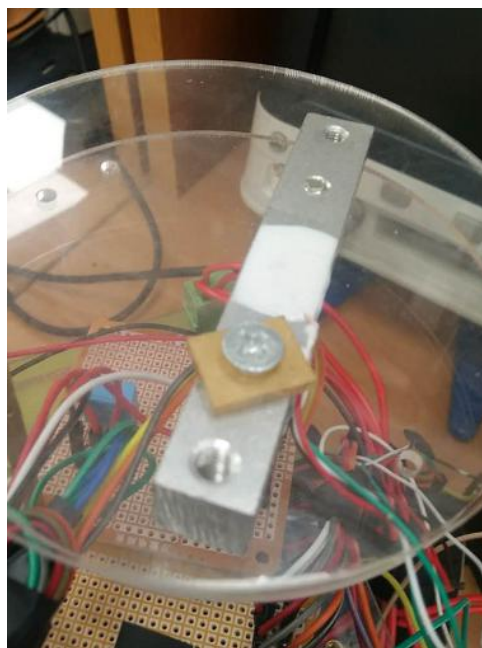
该模块使用数字温度湿度传感器 DHT11，能够对仓库的温湿度进行测量。DHT11 同超声波传感器，需要一定时间的电平进行触发。首先是大于 18ms 的低电平，接着是 20~40us，触发成功。接着 DHT11 反馈低电平和高电平各 80us。接下来，DHT11 反馈低电平 50us，标志着第一个 bit 马上出现，DHT11 反馈低电平 50us，标志着第二个 bit 马上出现……一共有 40 个 bit 位。而 0、1 信号是通过以下规则来判别的：如果高电平持续时间为 26~28us，代表 '0'；如果高电平持续时间为 70us，代表 '1'。而在具体编程时，以 50us 为界进行判断。

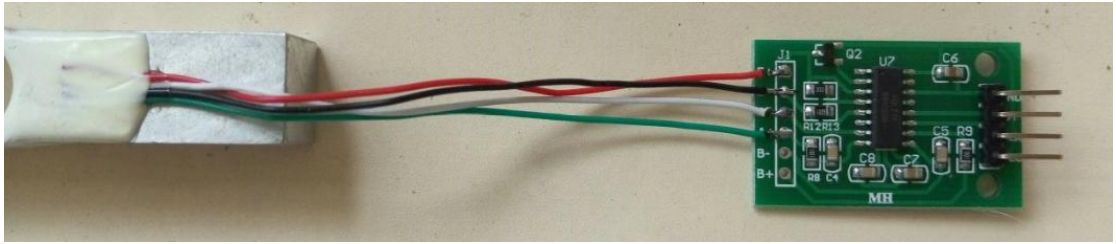
而 40 位数据中，0~7 八位表示湿度；16~23 位表示温度；32~39 位是校验码。



8. 压力传感称重模块（基于 Arduino）

该模块由压力传感器以及 A/D 转换模块 HX711 构成。传感器输出量为模拟电压量，大小由工作电压决定。我们使用了 5V 的电压，则满量程的电压为 $5V \times 1.0mV/V = 5.0mV$ 。即信号电压输出范围为 0~5mV。而施加的压力越大，输出的电压值越大。而 HX711 是一款专用的高精度电子称使用的 24 位 A/D 转换芯片。





9. 基于 Arduino 的 LED 显示

该模块使用了 LCD1602 液晶显示屏，可以显示 16*2 的字符。由于显示的数据量较少，采用了四路数据的接法。由于液晶屏的背光灯需要的电流较大，因此使用了另外的电池供电。同时使用了电位器对屏幕的对比度进行调整，以使得在不同光线条件下都可以看得清楚。



而 LED 显示屏要显示的数据有：

A. 温度和湿度：对温湿度传感器测量到的数据进行处理之后显示在液晶屏幕上。



B. 载物重量：根据 HX711 传输进来的数据，在屏幕上进行显示。

C. 小车状态：小车大体上有四种状态：蓝牙操控、避障前进、自主寻迹前进、跟随前进，为了让这几个状态能够可视化，实现了 FPGA 和 Arduino 之间的信息传递。可以通过 LED 观察到小车所处的状态。

10. 基于红外发射和接收管的循迹功能

利用五个红外传感器对铺在白色背景上的黑色轨道进行识别，当且仅当正中的红外管位于黑线上时，其直行；若左二和正中在轨，则小车偏左，应当向左做一个小角度转弯，右侧同理；而仅有左二或仅有左一在轨，小车已大幅偏离轨道或小车遇到弯道，应大角度转弯，右侧同理。设计十字路口前左右第一个红外管同时在轨，而中间三个不再轨，此时提示小车进入十字路口状态，红外管读入的信号暂时对小车无影响，小车仅根据提前设定好的方向转动，设定好进入该状态的时间，确保小车经过十字路口回到轨道后能继续按照之前的程序循迹。最终实现了小车能够沿着确定宽度的路径前进，且能够在设计好的十字路口实现向提前规定的方向转。

11. 基于 LM2940 和 LM2596 的电源管理

利用两种芯片构成电压转换电路，LM2940 构成高电压转 5V 电路，LM2596 构成高电压转 3.3V 电路并制作 PCB 板。利用两种转换后的电压为 FPGA、舵机和所有的传感器提供电源。



12. 基于 HC-05 的蓝牙遥控

利用 HC-05 蓝牙集成模块当做信号接收器，通过手机上的蓝牙串口助手发送信号来对小车的运动和小车的运动模式(蓝牙遥控、循迹、追踪、避障)进行调节，同时可以对上述的循迹模块中的十字路口决策进行方向预设。



13. 基于 BTS7960 的电机驱动

利用核心为两个 BTS7960 的电机驱动电路,根据输入的不同的 PWM 波输出不同的电平值,实现电机的加减速和正反转。



14. 电机模块

电机模块为基于 FPGA 的数字模块，其产生两种 PWM 波，能使小车前进和后退。

前级给出控制信号为 3 位二进制信号，前两位代表速度，分为三个档位，从 01, 10, 11 速度依次递增；最后一位代表方向，0 为前进，1 为后退。程序判断其获得的信号状态，产生不同的 PWM 波以驱动电机。

15. 舵机模块

舵机模块需要不断地调试，找出正中的状态，之后再以其为中心，向两侧改变 PWM 波实现小车的左右转弯。

设计三位二进制表示状态，设置七种转弯角度，以 010 为正中，000 左满，001 左半，101 左小，011 右半，100 右满，110 右小，程序判断输入的三位二进制数，使其输出不同的 PWM 波，让小车舵机产生不同的转向。

七. 问题及解决方案

1. 问题：超声波避障模块不能够按照预期的轨迹行进。

解决方案：在原本的设计时，我们使用四个超声波探头进行避障，在车速较慢且障碍物为一般的情况时，基本可以实现避障绕行。但是在直角和出库情况之下，表现的很糟糕，特别是在障碍物距离车比较近是，不能按照预期的设计行进。分析过后，发现是在较小的空间当中（特别是在出库近况下），超声波会出现回声，同时由于是每 0.5s 测量一次，因此车速较快时，表现的不好。因此我们选用了超声波和红外配合使用的方案，超声波在较小的距离内，反应足够灵敏。在调整过后，避障模块表现的很棒。

2. 问题：LCD1602 显示屏亮了，但是不显示。

解决方案：在起初连线是，我们查阅资料后，将 VEE 接地即可，但是在反复修改代码之后，显示屏还是不显示数据。于是我们果断怀疑是硬件资料有问题。最后只好在官方的资料上查阅，才发现 VEE 是调节屏幕对比度的，于是我们有连接了一个电位器，调节了 VEE 端的电压，数据显示正常了。

3. 问题：超声波模块的代码

解决方案：在之前设计代码框架时，先把用于逼真的超声波测距和避障操作分开进行，即需要将 4 个 30bit 的数据从一个模块传到另一个模块，在我们的电脑上编译的时候没有出问题，但是结果就是不对。然后在队友的电脑上编译时，报错，显示寄存器不够用。于是将原本的两个模块合并为一个模块，果然，问题迎刃而解。

4. 问题：最多的问题就是分模块正确，加在小车上之后不正确。

解决方案：问题出现最多的也是 FPGA 板子引脚出问题，有我们连接错误的，也发现了有一排引脚是直接是不同的，也建议老师进行修理。（118 号板子，最长的那一排引脚）

5. 问题：红外“不正常”

解决方案：能找到这个问题的解决方案，纯属偶然。用于避障红外二极管是接在车的上部的，我们实验室（室内）测试时，是正确的，但拿到外面就不对了。我在调试长时间之后还是不正确，于是叫队友过来，发现正确了。他走了，又不正确了……在经过反复的来来回回之后，发现是他来之后，可以把外界光线挡住。于是才发现，红外光管对外界的光线的条件很苛刻。在最后验收时，那个地方的光线还可以，没有出现这个问题。

6. 舵机模块：

原计划预设仅有五种状态，左（右）半，左（右）满，正中，但是实际运动中发现，左半的角度已经过大，小车在应该小角度转弯的地方容易冲出轨道；而满舵的状态下，小车无法正常行进。于是决定再加两种状态，再对舵机转动的角度进行微调后，小车能够向实现要求的方向转动

7. 电机模块：

此模块受到电池和车重的影响颇大，需根据电量的大小对驱动速度进行微调，实际运动过程中发现，中速档开始时偏高，之后又偏低，

慢速档（转弯、倒退时）有时不动，有时过快，之后经过对电池和车重的综合考虑，采取合适的值驱动电机，使得车速较为合适。

8. PCB:

PCB 板的制作过程问题不大，但是在使用过程中发现：无论是电源管理模块还是电机驱动模块，发热都太过明显，尤其是电机驱动模块，上电后不到 30s 就开始冒烟，芯片迅速升温，几乎融化焊锡，芯片应当是表面贴焊，普通焊法无法将芯片的高电流端与 PCB 板完好贴合，导致通路过小，发热明显，最终只能使用集成的电机驱动模块。电源管理模块发热在可控范围内，持续工作 15min 左右温度会较高，加上散热片后情况得到改善，使其能正常工作。

9. 循迹:

原计划利用三个红外管实现循迹，实际运动过程中发现，三个红外管能够传递的信息量过少，一旦小车遇到较大的弯道便无法识别，易冲出轨道，且三个红外管对十字路口的识别难度非常高，容易把十字路口当做普通弯道处理。将红外管数量提升到 5 个之后，轨道识别的精确度明显提高了，且能够精确识别到十字路口的提示信息。

10. 蓝牙:

蓝牙模块原计划使用 HC-06 进行实验，发现手机和 PC 机无法正常与蓝牙模块连接，之后采用了 HC-05 模块，并换了一个串口助手后顺利实现手机和蓝牙的正常通信。

八、收获与反思

1. 团队协作的重要性

相比于那些传感器的应用以及大量的代码,我觉得收获最大的还属和队友之间的配合和协作。在刚开始设计方案时,和队友的设计方案出现了较大的分歧,甚至“吵”了起来。但后来大家经过仔细的分析 and 比较,对不同的方案的可实现性和优势进行比较之后,能够统一意见,得出结论。这些经历在独自设计时,是不可能有的。

除了在方案设计时,在分工协作时,团队如何高效的工作也是以往没有经历过得。刚开始和队友分工不清楚,导致一个人在操作时,另一个人会无所事事,浪费了时间的同时,也会导致互相依赖,进而进度较慢。于是我们进行了明确的分工,提高了团队运行的效率,果然效果明显,遇到问题各自想办法解决,而不是等待队友解决。这一高效的工作方式,使得我们最终第一个验收且一次通过。这次高效的分工经历,必将在我们以后的工作当中,发挥重要的作用。

2. 项目从设计到实现

以前学习和实验都是老师告诉我们做什么,这次项目开放度很大,一切从零开始,方案设计的难度、实现的可能性、是否有对应的芯片、稳定性如何等等...都是需要自己考虑的。从刚开始的一头雾水到后来的高效设计,期间的经历了许许多多的弯路,虽然有点“煎熬”,但是回过头来看,正是这些煎熬的经历,才是我们真正收获的东西。这次从方案设计到最终成功实现,必将对今后的学习和工作产生深远的影响。

3. Verilog 代码的模块化

这一点经验也是源自两个学期的数电和模电实验的训练，只有模块化的设计才好调试和找问题。我们在设计整个 Verilog 代码框架是，也是充分考虑了这一点，能够分模块的决不和在一起，这也使得我们在后期的调试过程当中，能够非常方便的调节参数。我们的代码除了顶层之外，还有 20 个分模块。这虽然在编写是比较麻烦，但是在后期调试时，比较方便。

4. PCB 制作

PCB 板的制作消耗了大量的时间，需要学习 Altium Designer 来制作原理图文件，而 Altium Designer 的自带元件库只有基本的元器件，需要自己寻找要用芯片的元件库，耗时确实较长，但是自己的收获也是巨大的，又学习了一门新的软件，而且更深地接触到电子器件从原理图到实际应用的过程，也更能理解理论和实际的区别，原理图文件在 Altium Designer 中能够仿真通过并正常运行，但是在实际应用中还需要考虑实际的连接端口，电流大小和芯片的发热问题等等。这些也需要加入到 PCB 制作的考虑中，例如：PCB 实际制作完成后，在接线时发现，打的孔不够大，无法将粗导线焊到板子上，虽然最后再加工解决这些问题，但应当在制作 PCB 板的时候就考虑到这些。

5. 电机和舵机的驱动

电机和舵机的 PWM 波产生是一个较难的过程，Verilog 代码的编写过程也出现了一些 BUG，但是还好解决，但自己预先查找并设定的值和实际的驱动值相差特别大，这些需要在小车的实际调试过程中不

断改进。从这也能学到，产品的手册中给出的值只能用来粗略地估算实际过程中的范围，要与实际相符，必须自己手动测量校准。

6. 蓝牙的连接和调试

蓝牙模块的应用也是我们第一次遇到通信和串口问题，预设波特率，蓝牙连接通信，串口连接这些都是以前没有接触过的东西，编写代码和实际测试过程中都遇到了种种挫折：代码编写时，读取数据读反，蓝牙初始化时，串口连接、驱动程序，这些都需要设定，手机连接蓝牙时失败，还换了一种芯片，换了一个串口程序，历尽艰险，最终做出蓝牙模块。整个过程收获也是巨大的，第一次独立解决通信和串口问题，从一无所知到能够熟练连接运用蓝牙模块，既学习到这方面的知识，又能够享受动手安装模块并遥控小车的乐趣，受益颇丰。

参考文献：

- [1]童诗白，华成英，叶朝晖. 模拟电子技术基础：第 5 版[M]. 北京：高等教育出版社，2015.
- [2]叶朝晖. 模拟电子技术理论与实践[M]. 北京：清华大学出版社，2016.
- [3]李敏. 基于单片机的移动机器人研究[J]. 科技经济导刊，2017.
- [4]张晓峰，钟一博，李清晨，陈国定. 电磁智能车循迹算法[J]. 计算机系统应用，2014.
- [5]雷高伟，熊建斌，徐小玲. 自循迹智能小车控制系统设计[J]. Journal of Guangdong University of Petrochemical Technology. 2017. 02
- [6]潘元骁. 基于 Arduino 的只能小车自动避障系统设计与研究[D]. 西安：长安大学. 2015. 05
- [7]韩广飞. 基于视觉的智能车前方运动车辆检测与测距方法的研究[D]. 太原：太原理工大学. 2015. 06
- [8]朱思敏. 自循迹智能小车控制系统的设计与实现[D]. 浙江：浙江工业大. 2013.