

基于 FPGA 的灾害救援机器人

徐堃尧 田少骅 王彦斌

第一部分设计概述

1.1 设计目的

基于对互联网、通信以及抗震救灾行业的分析，发现机器人能够为人类带来灾后搜救以及通信的服务，市面上的现有的抗震搜救设备不能够满足灵活多变的机器人需求，在中国各地很多灾难在发生时，情况复杂，难以做到全面救援，在灾后通常会进行搜救。灾后的场地危险未知，往往是人类不能轻易踏足之地，因此设计一款灾后搜救的机器人是良好选择。

1.2 应用领域

最直接的应用领域就是灾害救援，机器人可以在地震、火灾、泥石流等灾害现场，探测受困人员的位置、状态、需求，提供紧急物资和信号，降低救援人员的风险和成本。机器人可以在一些危险或者难以到达的环境中，如核电站、化工厂、地下矿井等，进行温湿度、有毒气体、辐射等环境参数的检测，及时发现异常情况，保障人员和设备的安全。

1.3 主要技术特点

机器人使用了 Xilinx 的 SPARTAN-6 系列芯片以及 ISE 设计工具对机器人控制电路进行了设计和仿真，展示了各个模块的 RTL 电路图，验证了电路的正确性和可靠性。同时机器人使用了温湿度传感器、人体感应传感器、超声波传感器、震动传感器、有毒气体传感器等，可以对灾区的环境和受困人员进行多方面的检测和响应。还使用了四个舵机驱动的机械臂，可以实现手动的物资夹取和放置，将紧急物资送达受困人员。机器人使用了红外遥控器和红外接收头，可以实现简单的人工控制和自动避障模式切换，可以通过红外遥控器控制机器人的前后左右移动，暂停和自动驾驶模式。

1.4 关键性能指标

- (1) 温湿度检测：机器人可以检测灾区的温度和湿度，并显示在 Lcd 显示屏，以了解受灾人员的生存环境。
- (2) 人体感应：机器人可以通过 HC-SR501 传感器感应灾区是否有人体存在，并通过无缘蜂鸣器报警，以确定受灾人员的位置和数量。
- (3) 震动检测：当有震动时，通过 SW-1801P 模块向 FPGA 芯片发送信息，通过观察发送的频率可以大体判断出地震等灾害后现场的剧烈程度。
- (4) 有毒气体检测：当检测到有毒气体时，DO 口输出低电平，用于检测救灾地区的有害气体，供救援人员做好防护，也可据此确定送进的紧急避毒物资。
- (5) 电机驱动：机器人可以通过 L293N 芯片驱动四个直流减速电机，实现机器人的前后左右移动，同时配备两个电池组，保证机器人的动力充足。
- (6) 机械臂控制：机器人可以通过四个舵机驱动一个机械臂，实现机械臂的手动的物资夹取和放置，可以根据指示，自动将紧急物资送达受灾人员。
- (7) 红外遥控：机器人可以通过红外遥控器和红外接收头，实现简单的人工控制和模式切换，可以通过红外遥控器控制机器人的前后左右移动，暂停和自动驾驶模式。
- (8) 超声波测距：机器人可以通过 HC-SR04 模块实现超声波测距和避障功能，可以根据测得的距离调整机器人的行驶方向，避免碰撞到障碍物。

1.5 主要创新点

- (1) 基于 FPGA 的灾后救援机器人：设计了一种利用 Xilinx 的 SPARTAN-6 系列芯片实现的灾后搜救机器人，该机器人具有多种功能，如温湿度检测、震动、人体、超声波测距、红外遥控、电机驱动、机械臂控制等，可以在灾难发生后自动或远程控制机器人进行搜救工作。
- (2) Xilinx 系列芯片以及设计工具：使用了 Spartan-6FPGA 进行控制电路进行了设计和仿真。它具有良好的性能、低功耗、丰富的 I/O 接口和可靠的设计工具支持。
- (3) 机械臂控制模块：使用了四个舵机驱动的机械臂，可以实现自动或手动的物资夹取和放置，可以根据指示，自动将紧急物资送达受困人员。机械臂的结构

稳定，可以实现简单的抓取和移动。

第二部分系统组成及功能说明

2.1 整体介绍

如下图 2.1 所示，为灾害救援机器人的架构设计示意图。

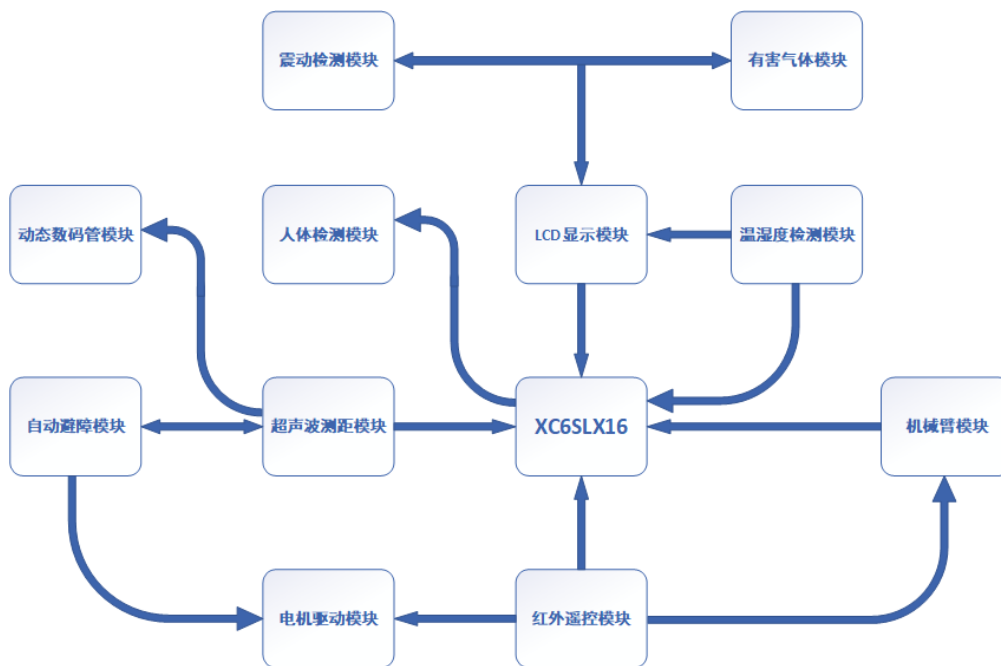


图 2.1：架构设计示意图

我们的智能抗震小车以 XC6SLX16 作为主芯片，各个模块之间有非常密切的联系，包括动态数码管模块、身体检测模块、LCD 显示模块、温湿度检测模块、自动避障模块、超声测距模块、机械臂模块、电机驱动模块、红外遥控模块、有害气体检测模块、震动检测模块。

电机驱动模块采用 L293D 芯片对直流减速电机控制，同时配备两个电池组，保证了机器人的动力充足，电机驱动可以通过红外遥控进行手工控制，通过红外遥控对小车进行行进方向的控制；同时还具备自动避障的功能，超声波测距模块 HC-SR04 进行控制自动驾驶。

机械臂模块由四个舵机组成，通过分别控制四个舵机的 PWM 可以控制舵机的手工转向和自动夹取物品的功能，当人体检测模块检测到生命信号时，可以使用红外控制机械臂自动夹取物品，可以实现简单的抓取，用于将紧急的生命物资

运送给受灾人员。

温湿度模块采用 DHT11 温湿度传感器进行温湿度检测，震动检测模块采用 SW-1801P 进行震动检测，有毒气体检测采用 MQ-135 空气质量传感器，并且将检测到的值显示在 LCD 屏幕上。其中温度采用“Temp”显示摄氏温度、湿度采用“Humi”显示，当小车遭遇摇晃时 MD 的显示为“1”、否则显示为“0”，

红外遥控用于简单地人工控制救援小车的，也可通过遥控器切换到自动行驶模式。

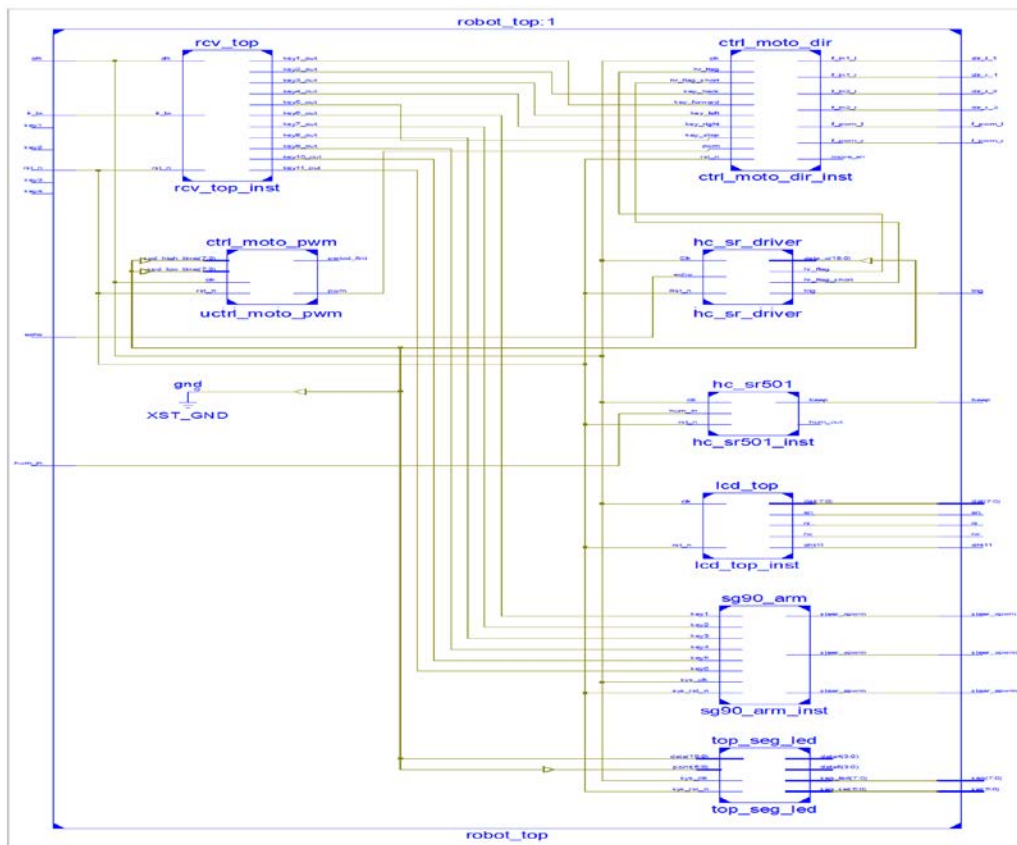


图 2.2: 顶层架构图

如上图 2.2 所示，为灾害救援小车的顶层仿真 RTL 图，从图中，我们可以发现，抗震搜救车的电路中主要由 11 个模块，从 RTL 仿真图中我们可以发现这写模块是紧密相连的，这些模块分别是动态数码管模块、身体检测模块、LCD 显示模块、温湿度检测模块、自动避障模块、超声测距模块、机械臂模块、电机驱动模块、红外遥控模块、有害气体检测模块、震动检测模块。

2.2 各模块介绍

在灾害救援小车一共有 8 个模块，其中有 5 个传感器模块，分别是超声波测距传感器 HCSR04、温湿度传感器 DHT11、人体感应模块 HC-SR501、空气质量传感器 MQ-135、震动传感器 SW-1801P，以及电机驱动模块和红外遥控模块。

2.2.1 超声波测距传感器

如下图 2.3 所示，我们使用 HC-SR04 超声波传感器模块来实现机器人在救援地区的避障，确保机器人能实现自动行驶。

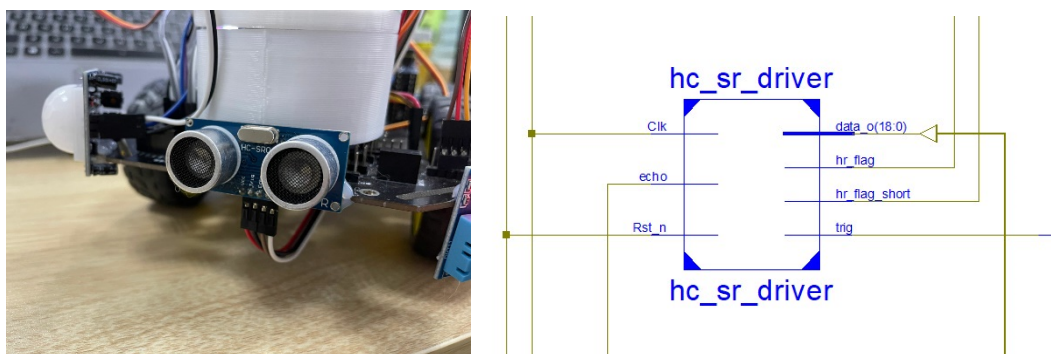


图 2.3：超声测距模块的实物图和 RTL 图

① 工作原理：

I. 给超声波模块接入电源和地。

II. 给脉冲触发引脚（trig）输入一个长为 20us 的高电平方波。

III. 输入方波后，模块会自动发射 8 个 40KHz 的声波，与此同时回波引脚（echo）端的电平会由 0 变为 1。IV. 当超声波返回被模块接收到时，回波引脚端的电平会由 1 变为 0。V. 根据声音在空气中的速度为 340 米/秒，即可计算出所测的距离

②应用：将超声波测到的距离存入一个变量中，当距离小于一定值时则令机器人转弯，从而实现简单避障。

超声波测距的数值通过数码管动态实时显示结果，数码管显示的原理，视觉暂留原理，我们数码管总共有 6 个数码管，如果让这些数码管同时显示会占用大量的管脚，因此我们将 6 个数码管轮流显示，两个数码管显示的时间间隔很小，这样人眼看起来就是 6 个数码管同时显示。

2.2.2 温湿度传感器

如下图 2.4 所示，我们使用的是温湿度传感器 DHT11。

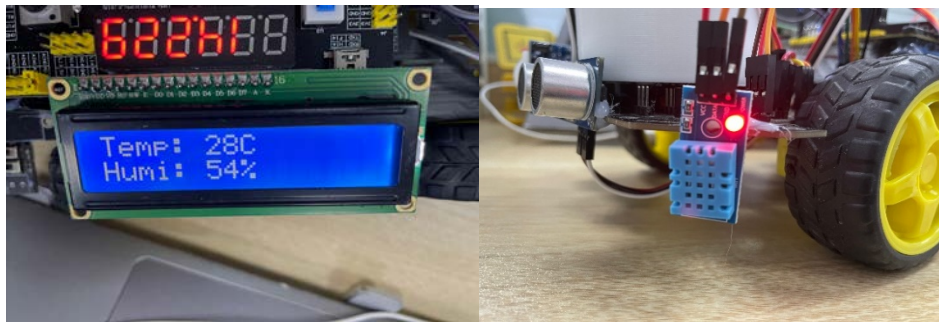


图 2.4：温湿度传感器及 LCD 显示实物图

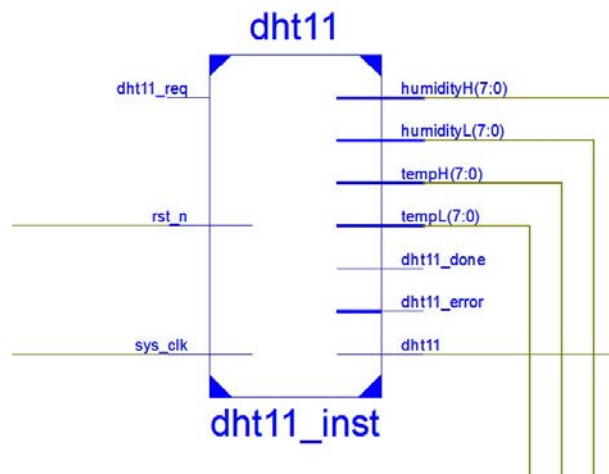


图 2.5：温湿度模块 RTL 图

①工作原理：DHT11 数字温湿度传感器是一款含有已校准数字信号输出温湿度复合传感器。传感器包括一个电阻式感湿元件和一个 NTC（负温度系数热敏电阻器）测温元件，并与一个高性能 8 位 MCU 相连接。

② FPGA 首先发送一次开始信号，拉低数据线，保持至少 18ms 时间；

然后拉高数据线保持 20~40us 时间，随后开始读取 DHT11 的响应；如果操作正确的话，DHT11 会拉低数据线，保持 80us 时间，作为响应信号；接下来 DHT11 会拉高数据线，保持 80us 时间，随后开始输出有效数据。DHT11 共输出 40bit 有效数据，每 1bit 数据都是以 50us 低电平开始，高电平的持续时间作为判断数据位的条件。当数据位为 0 时，高电平的持续时间为 26~28us；当数据位为 1 时，高电平的持续时间为 70us。

③应用：用于获取搜救地区的温度和湿度，显示在 LCD 屏幕上并将数据通

过，以防温度湿度不适引起受灾人员的身体状况，也可根据此确定送进的紧急物资。

DHT11 采用单总线通信，一次可以传输 40 个数据，温度的整数位、温度的小数位、湿度的整数位、湿度的小数位、校验位，FPGA 发送开始信号之后 DHT11 开始运行，发送 40bit 的数据，FPGA 接收数据之后，将接收的数据转化到十进制，再通过 LCD 显示。

2.2.3 人体感应模块

如下图 2.6 所示，我们采用的是 HC-SR501 模块来感应人的存在。

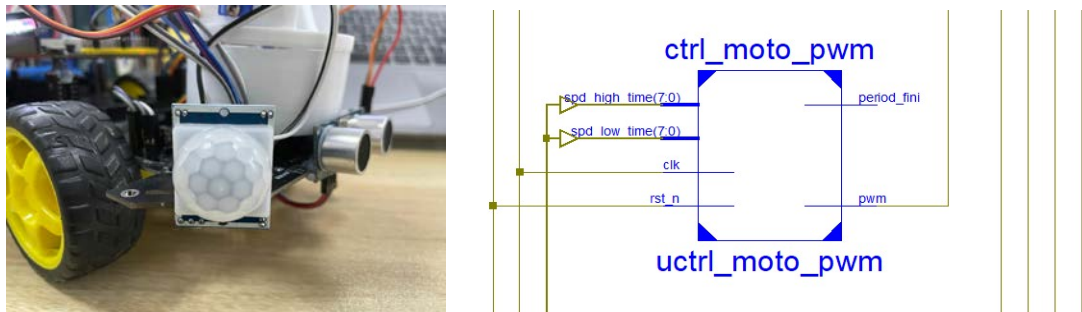


图 2.6: 人体检测模块实物图和 RTL 图

① 工作原理：

② I.可设两种触发方式：

A.不可重复触发方式：感应输出高电平后，延时时间一结束，输出将自动从高电平变为低电平。

B.可重复触发方式：感应输出高电平后，在延时时间段内，如果有人体在其感应范围内活动，其输出将一直保持高电平，直到人离开后才延时将高电平变为低电平(感应模块检测到人体的每一次活动后会自动顺延一个延时时间段，并且以最后一次活动的时间为延时时间的起始点)。

II.感应模块在每一次感应输出后(高电平变为低电平)，紧跟着 8s 左右的封锁时间，在此时间段内感应器不接收任何感应信号。

②应用：为适应实际应用，设为可重复触发方式。当检测到灾区有受灾人员时，通过蜂鸣器报警，以告知外部人员。

2.2.4 电机驱动模块

如下图 2.7 所示，我们驱动采用 L298N 芯片。

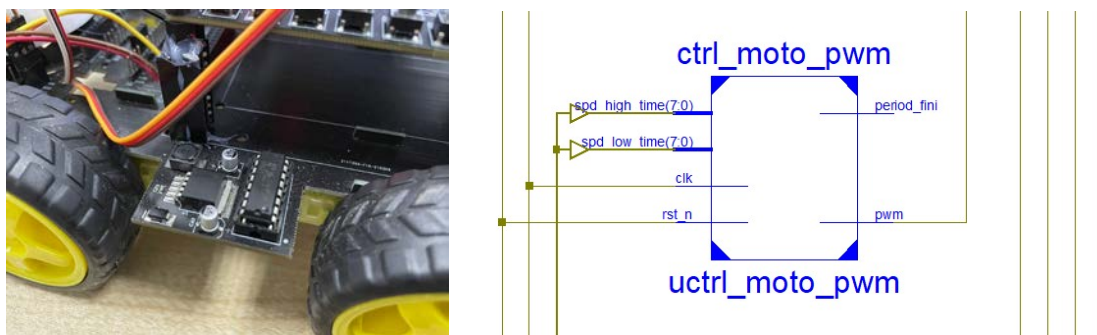


图 2.7：电机驱动模块实物及 RTL 图

①我们采用的是直流减速电机，该电机具有低功耗，高效率等优点，效果稳定。

②电机的驱动使用了 L293D 芯片，L293D 是一种高电压、大电流电机驱动芯片，可以用来驱动直流电机，我们选择直接对模块的 IN 口设置高低电平来进行驱动。只需将一侧的两个 IO 口电平置为一高一低即可输出电压驱动减速电机转动。

③同时我们采用了两个电池组作为 L293D 的外加电源，保证了机器人的动力。

④同时我们的电机只有 L293D 控制，不过我们的 L293D 则可以通过红外遥控，超声波模块和 ESP8266 模块同时控制。

2.2.5 红外遥控模块

如下图 2.8 和图 2.9 所示，为红外遥控模块的实物图和 RTL 图。

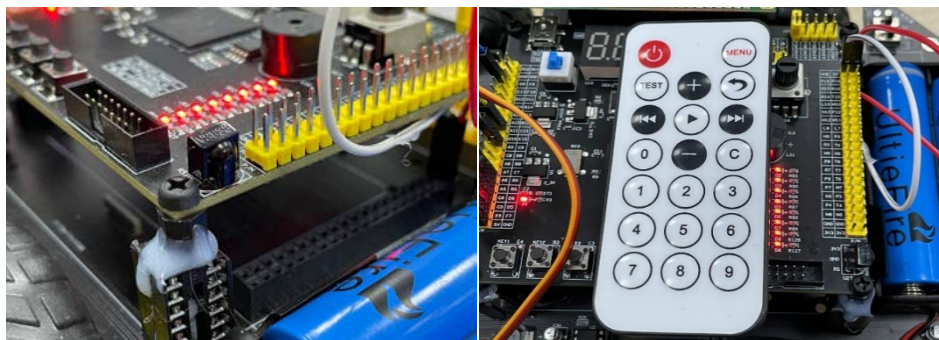


图 2.8：红外遥控模块遥控和接受端实物图

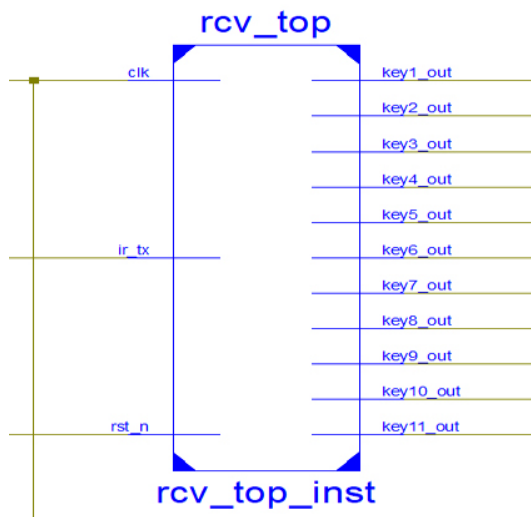


图 2.9: 红外遥控模块 RTL 图

①红外遥控和红外接收头简介：

I.红外遥控是一种无线、非接触控制技术，具有抗干扰能力强、信息传输可靠、功耗低、易实现等显著特点。红外遥控器的编码目前广泛使用的是：NEC 协议和 PhilipsRC-5 协议，我们使用的是 NEC 协议。

II.红外接收头通常被厂家集成在一个元件中，成为一体化红外接收头。内部集成了红外监测二极管、自动增益放大器（AGC）、带通滤波器、解调器等电路。红外接收头通过红外监测二极管，将光信号转换成电信号，经过电路调制之后，最终输出可以被 FPGA 采集的 TTL 电平信号。

②NEC 协议简介：NEC 协议采用 PPM 调制的形式进行编码，数据的每一位脉冲长度为 560us，由 38KHz 的载波脉冲进行调制，推荐的载波占空比为 1/3 至 1/4。有载波脉冲的地方，其宽度都为 560us，而载波脉冲的间隔时间是不同的。逻辑 1 的载波脉冲+载波脉冲间隔时间为 2.25ms 逻辑 0 的载波脉冲+载波脉冲间隔时间为逻辑 1 的一半，也就是 1.125ms。NEC 协议传输数据时低位在前，一个信息的发送由 9ms 的 AGC 载波脉冲开始，用于在早期的 IR 红外接收器中设置增益；紧接着是 4.5ms 的空闲信号；随后是地址码和控制码。地址码和控制码分别传输了两次，第二次传输的地址码和控制码都是反码，用于对地址码和控制码做校验，当然，也可以直接忽略地址码反码和控制码反码。每次信息都 33 是按照同步码（9ms 载波脉冲+4.5ms 空闲信号）、地址码、地址反码、控制码和控制反码的格式进行传输。

③应用：我们使用红外遥控对机器人进行简单的人工控制及模式设置，按下四个箭头键可以控制机器人向前后左右方向行驶。按下中间暂停键可以使机器人进入自动驾驶状态。按下其它键可使机器人停下来。

2.2.6 机械臂控制模块

如下图 2.10 所示，为机械臂控制模块的实物图以及 CAD 图。

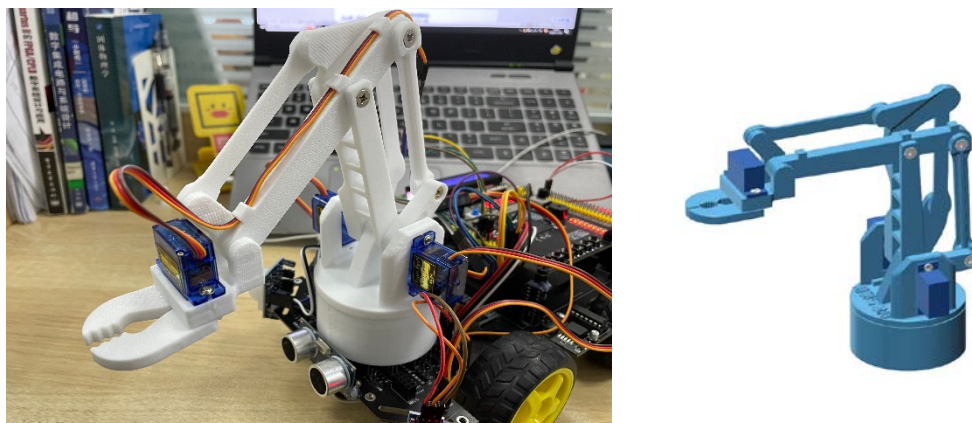


图 2.10：机械臂实物图及 CAD 图片

我们采用的是四舵机驱动的机械臂板块，四舵机的加持使机械臂在各个方向都能得到较好的伸展。机械臂自身结构严谨，每个部分都由很多零件固定，这样每当舵机驱动停止时机身都能被稳住。

机械臂还可以实现自动夹取的功能，当机械臂收到红外信号后，机械臂会实现自动夹取物体的功能。

2.2.7 有害气体检测模块

如下图 2.11 所示，我们采用的是 MQ-135 空气质量传感器。

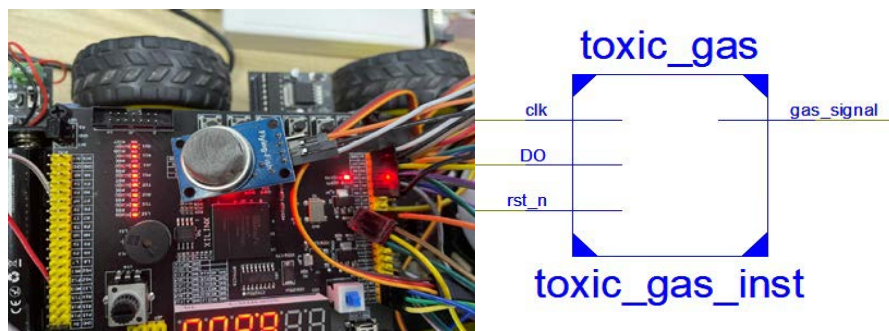


图 2.11：有害气体传感器实物图和 RTL 图

①工作原理：当检测到有毒气体时，DO 口输出低电平。

②应用：用于检测救灾地区的有害气体，供救援人员做好防护，也可据此确定送进的紧急避毒物资。

2.2.8 震动检测模块

如下图 2.11 所示，为震动传感器实物图和 RTL 图。我们采用的是 SW-1801P 震动传感器来检测震动级别。

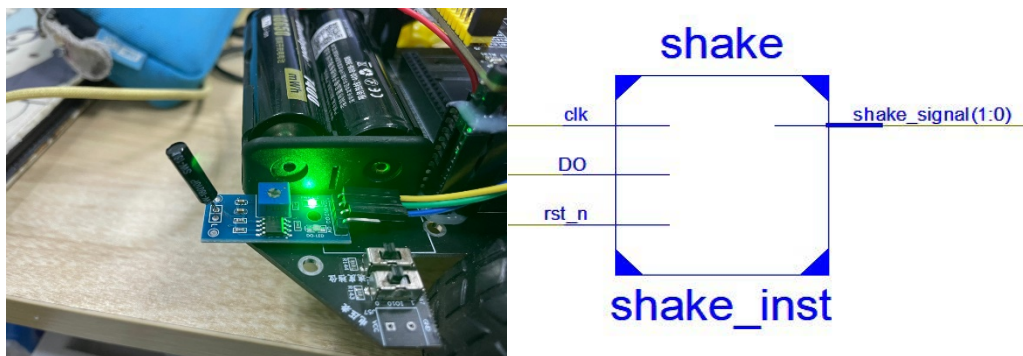


图 2.11：震动传感器实物图和 RTL 图

①工作原理：当检测到有震动时，DO 口输出低电平。

②应用：当有震动时，通过 SW-1801P 模块向芯片发送信息，通过观察发送的频率可以大体判断出地震等灾害后现场的剧烈程度。当震动传感器检测到震动时，他的电位会有 0 变成 1，因此我们通过检验 1 秒时间内，振动传感器 1 点位持续时长来检验震动的强弱，我们一次为依据将震动分为三档。

第三部分完成情况及性能参数

（1）避障模块：

使用红外遥控的前后左右和暂停可以改变小车的运动轨迹。通过多次实际测试，灾害救援小车可以顺利躲避障碍物，我们截取躲避视频中的两帧图片进行展示。如下图 3.1 所示，为我们测试过程截取的躲避两个障碍物的瞬时图片。



图 3.1：超声波避障

(2)动态数码管：

如下图 3.2 所示，是对超声波传感器测试结果的动态显示。通过与我们使用测量工具的实际测量值做对比，发现超声波测距模块得到的距离十分准确。

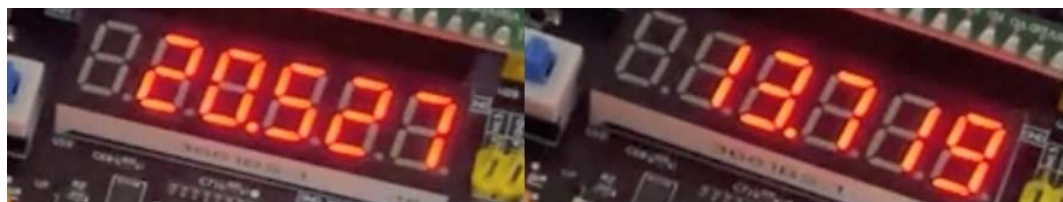


图 3.2：数码管显示超声波测距示意图

(3)温湿度模块：

如下图 3.3 所示，当手指摁住温湿度传感器时，LCD 显示模块，温度和湿度数值持续上涨。我们通过水银温度计以及湿度测试仪器对室温进行测量，发现与传感器测得的温度以及湿度十分吻合。



图 3.3：温湿度测试 LCD 显示示意图

(4)红外遥控模块：

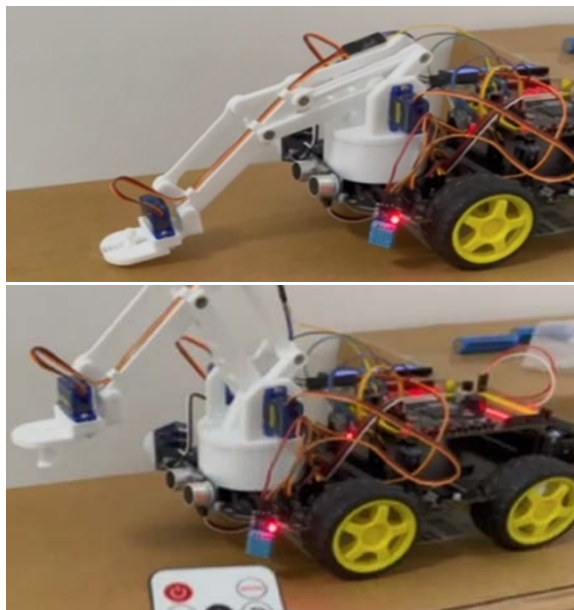


图 3. 4：机械臂抓取释放示意图

红外遥控模块控制小车的方向以及机械臂的抓取。不同的按键控制小车的前后左右以及暂停，机械臂中不同舵机的转向。在实际测试中，对小车和机械臂的遥控都较为流畅。

第四部分总结

4.1 可扩展之处

(1) 加入图像采集，使得机器人通过摄像头实时采集灾区的图像，并通过摄像头模块将图像无线传输到 PC 端，以观察灾区的情况和受灾人员的健康状况。

(2) 使用 ESP8266 网络通讯模块来实现多项数据的无线传输，包括温湿度、人体、有毒气体、人声、图像等，从而实现通过 WIFI 与 PC 端或手机端进行远程的交互和控制。

(3) 加入更多的传感器如环境光检测：机器人可以通过 AP3216C 传感器检测灾区的环境光强度，并根据光强度的变化控制 LED 灯的开关，以提供灾区的照明和标识。人声检测：机器人可以通过 LD3320 语音识别模块检测灾区是否有人发出呼救声，并通过 ESP8266 模块将信息无线传输到 PC 端，以响应受灾人员的求救信号。

(4) 加入算法实现机械臂的自动识别抓取等功能，使得机械臂实现更加精准的控制，提升机器人在不同环境的作业能力。

4.2 心得体会

准备 FPGA 创新设计竞赛的过程中，我们都收获了很多。抱着积极参赛的态度我们参加了此次竞赛。最初，一切对于我们来说都是茫然的，无论是设计方向还是软件的使用，我们都很陌生。但我们没有轻言放弃，逐步探索，一点点的完成了比赛。在备赛过程中，我们也遇到了很多苦难。比如在板子的选择上，就耗费了很长时间。最初选择的板子，不仅功能少而且学习起来十分困难，经商量许久，我们换到了一个好用的板子。随后我们开始学习软件，并时常用一些小程序来进行硬件测试，学习很长一段时间后，我们开始进入正式的设计过程，部分传感器的使用也让我们费足脑筋，众多的通讯协议成为我们设计路上最大的困难，在我们的坚持下，最终还是克服了困难，完成任务！

EDA 设计对于我国集成电路的发展具有重要意义，经此我们不仅熟练掌握了一款 EDA 软件，也熟悉了 FPGA 的开发流程。同时，我们也认识到了团队合作和团结的重要性，正是我们信心一致，才能解决诸多难题。

总的来说，这次比赛我们收获颇丰！

第五部分参考文献

- [1]肖希,尹得智,王文俊等.基于 FPGA 的 LCD 驱动器设计与实现[J].兵工自动化,2022,41(02):57-59+64.
- [2]向云峰,王秀莲.基于 FPGA 的步进电机驱动控制系统的研究与设计[J].南方农机,2023,54(13):148-151.
- [3]韩德强,王新雨,杨淇善.一种串联机械臂多轴同步控制方法的研究与实现[J].电子技术应用,2023,49(08):119-124.DOI:10.16157/j.issn.0258-7998.233778.
- [4]李磊,任文杰.基于 FPGA 的六轴机械手驱动控制系统设计与测试[J].电气传动,2019,49(12):52-57.DOI:10.19457/j.1001-2095.dqcd19112.
- [5]张金. 基于 FPGA 的多环境参数在线监测系统的研发[D].西安工业大学,2022. DOI:10.27391/d.cnki.gxagu.2021.000075.
- [6]郭宁,张涛,师晓云等. 基于 FPGA 的噪音及温度智能感知研究[C]//上海市声学学会,西安声学学会.2019 年上海-西安声学学会第六届声学学术交流会议论文集. [出版者不详],2019:4.DOI:10.26914/c.cnkihy.2019.061237.

第六部分附录

```

/*=====*\
    Filename: robot_top.v
    Description: 顶层文件
    Target Devices: XC6SLX16-2FTG256-2C
    Tool versions: ISE 14.6(nt64/P.68d)
\*=====*/

module robot_top(
    //时钟及复位
    input                clk        ,//50MHZ
    input                rst_n      ,//复位信号，低电平有效
    //按键控制
    input                key1       ,
    input                key2       ,
    input                key3       ,
    input                key4       ,
    //电机 pwm 控制
    output               dir_l_1    ,//控制左前电机正转或反转
    output               dir_l_2    ,//控制左后电机正转或反转
    output               dir_r_1    ,//控制右前电机正转或反转
    output               dir_r_2    ,//控制右后电机正转或反转
    output               f_pwm_l    ,//左电机 pwm
    output               f_pwm_r    ,//右电机 pwm
    //超声波测距
    input                echo       ,//回声信号用于超声波测距
    output               trig       ,//触发测距信号
    //动态数码管
    output [7:0]         seg        ,//段选信号
    output [5:0]         sel        ,//位选信号
    //hc_sr501 人体检测及蜂鸣器
    input                hum_in     ,//hc_sr501 检测输入口
    output               beep       ,//蜂鸣器输出通过 hc_sr501 判断是否有人
    //lcd1602 显示屏
    output [7:0]         dat        ,//LCD 的 8 位数据口
    output               rs         ,//数据命令选择信号，高电平表示数据，
    低电平表示命令
    output               rw         ,//读写标志，高电平表示读，低电平表示写，
    该程序我们只对液晶屏进行写操作
    output               en         ,//LCD 的控制脚
    //红外遥控
    input                ir_tx      ,//红外接收信号，用于红外遥控
    //机械臂控制

```

```

output          steer_xpwm,//舵机 1 控制上升下降
output          steer_ypwm,//舵机 2 控制夹取松开
output          steer_zpwm,//舵机 3 控制底部旋转
//有害气体检测
input           DO1,
//震动检测
input           DO2,
//dht11 温湿度检测
inout           dht11
);

wire            key1_out;
wire            key2_out;
wire            key3_out;
wire            key4_out;
wire            key5_out;

wire            key6_out;
wire            key7_out;
wire            key8_out;
wire            key9_out;
wire            key10_out;
wire            key11_out;
wire            pwm                ;//pwm 电机输出
reg [2:0]  ctrl_cnt=0                ;//用来存储小车运行状态
wire  [3:0] data4                    ;//数码管第四位
wire  [3:0] data5                    ;//数码管第五位
reg      flag=0                    ;//flag 标志位判断小车是否在运行
wire [18:0] line_data                ;
wire      hr_flag                    ;
wire      hr_flag_short              ;
wire      sg90_en                    ;//机械臂使能信号

// //按键控制
// key_xd Ukey1_xd(
//     .clk          (clk),
//     .rst_n         (rst_n),
//     .key_in        (key1),
//     .key_out       (key1_io)
// );
// key_xd Ukey2_xd(
//     .clk          (clk),
//     .rst_n         (rst_n),
//     .key_in        (key2),
//     .key_out       (key2_io)
// );
// key_xd Ukey3_xd(

```

```
//      .clk                (clk),
//      .rst_n              (rst_n),
//      .key_in              (key3),
//      .key_out             (key3_io)
// );
// key_xd Ukey4_xd(
//      .clk                (clk),
//      .rst_n              (rst_n),
//      .key_in              (key4),
//      .key_out             (key4_io)
// );
// key_xd Ukey5_xd(
//      .clk                (clk),
//      .rst_n              (rst_n),
//      .key_in              (key5),
//      .key_out             (key5_out)
// );

//红外遥控
rcv_top rcv_top_inst(
    .clk                (clk      ),
    .rst_n              (rst_n    ),
    .ir_tx              (ir_tx    ),
    .key1_out           (key1_out),
    .key2_out           (key2_out),
    .key3_out           (key3_out),
    .key4_out           (key4_out),
    .key5_out           (key5_out),
    .key6_out           (key6_out),
    .key7_out           (key7_out),
    .key8_out           (key8_out),
    .key9_out           (key9_out),
    .key10_out          (key10_out),
    .key11_out          (key11_out),
    .sg90_en            (sg90_en)
);

//电机 pwm
ctrl_moto_pwm uctrl_moto_pwm(
    .clk                (clk ),
    .rst_n              (rst_n),
    .spd_high_time      (10 ),//高电平时间
    .spd_low_time       (75 ),//低电平时间
    .period_fini        (      ),
    .pwm                (pwm   ) //脉冲信号
);
```



```

//lcd 显示
lcd_top lcd_top_inst(
    .clk          (clk ),//系统时钟输入 50M
    .rst_n        (rst_n),//复位，低电平有效
    .dat          (dat ),//LCD 的 8 位数据口
    .rs           (rs  ),//数据命令选择信号，高电平表示数据，低
电平表示命令
    .rw           (rw ),//读写标志，高电平表示读，低电平表示写，
该程序我们只对液晶屏进行写操作
    .en           (en ),//LCD 的控制脚
    .DO1          (DO1  ),
    .DO2          (DO2  ),
    .dht11        (dht11)
);

//超声波
hc_sr_driver hc_sr_driver(
    .Clk          (clk          ),
    .Rst_n        (rst_n        ),
    .echo          (echo          ),//接收的回声信号用
于计算距离
    .trig          (trig          ),//触发测距信号
    .data_o        (line_data    ),//检测距离，保留 3 位小数，
单位：cm
    .hr_flag       (hr_flag       ),//距离长检测标志信号，25cm
产生
    .hr_flag_short (hr_flag_short ) //距离短检测标志信号，10cm
产生
);

//动态数码管
top_seg_led top_seg_led(
    .sys_clk       (clk          ),
    .sys_rst_n     (rst_n        ),
    .data          ({ 1'b0,line_data } ),//数码管显示信号
    .point         (6'b001000    ),//小数点显示，第三位显示
小数点
    .seg_sel       (sel          ),//位选信号
    .seg_led       (seg          ),//段选信号
    .data4         (data4        ),//数码管第四位
    .data5         (data5        ) //数码管第五位
);

//自动避障
ctrl_moto_dir ctrl_moto_dir_inst(

```

```

        .clk                (clk                ),
        .rst_n              (rst_n              ),
        .key_forward        (key1_out           ),//前进按键
        .key_back           (key2_out           ),//后退按键
        .key_left           (key3_out           ),//左转按键
        .key_right          (key4_out           ),//右转按键
        .key_stop           (key5_out           ),//暂停按键
        .pwm                (pwm                ),
        .hr_flag            (hr_flag            ),
        .hr_flag_short      (hr_flag_short      ),
        .f_in1_l            (dir_l_1           ),
        .f_in2_l            (dir_l_2           ),
        .f_in1_r            (dir_r_1           ),
        .f_in2_r            (dir_r_2           ),
        .f_pwm_l            (f_pwm_l            ),//左电机 pwm
        .f_pwm_r            (f_pwm_r            ),//右电机 pwm
        .move_en            (                    ) //是否移动的判断信
号
    );

//人体检测
hc_sr501 hc_sr501_inst(
    .clk                (clk                ),
    .rst_n              (rst_n              ),
    .hum_in             (hum_in             ),//输入
    .hum_out            (                    ),//输出持续的高电平
    .beep               (beep               ) //输出蜂鸣器
);

//机械臂 sg90 舵机控制
sg90_arm sg90_arm_inst(
    .sys_clk            (clk                ),
    .sys_rst_n          (rst_n              ),
    .key1               (key6_out           ),//按键 1 上升
    .key2               (key7_out           ),//按键 2 下降
    .key3               (key8_out           ),//按键 3 夹取
    .key4               (key9_out           ),//按键 4 松开
    .key5               (key10_out          ),//按键 5 左转
    .key6               (key11_out          ),//按键 6 右转
    .sg90_en            (sg90_en            ),
    .steer_xpwm          (steer_xpwm),
    .steer_ypwm          (steer_ypwm),
    .steer_zpwm          (steer_zpwm)
);

endmodule

```