

第四届

全国大学生集成电路创新创业大赛

CICIEC

Robei 杯

参赛题目： 基于 Robei EDA 工具的机器人电路控制系统

队伍编号： ALN097399

团队名称： 三个丑皮酱

目录

一 简介.....	1
二 系统构架与整合.....	2
1 系统模块概述.....	2
2 结构数据整合处理.....	3
三 摄像头采集图像模块设计.....	5
1 整体设计.....	5
2 各个模块作用.....	6
3 通信协议.....	6
四 网络通讯模块设计.....	8
1 控制原理.....	8
2 设计电路.....	8
五 机械电路设计.....	11
1 舵机控制的四自由度云台.....	11
2 电机驱动模块.....	13
六 传感器模块.....	14
1 温湿度传感器.....	14
2 人体红外模块.....	14
3 烟雾报警模块.....	14
4 超声波距离传感器模块.....	14
七 Robe i EDA.....	15
1 模块的建立.....	15
2 各个模块间的例化/连线.....	16
3 编译/EDA 自动布线.....	17
4 功能仿真波形.....	18
八 未来发展与提升.....	20
九 总结.....	21
十 参考资料.....	22

一 简介

面对未来社会人口老龄化越来越严重的情况将会变得越来越显著，青壮年人口占比减少的情况发生，老人得到的照顾越来越少。因此使用科技的力量帮助人类将会是很好的选择。

由于设计的方向是机器人，但是室外的环境太过复杂，并且设计成为机器人又有一定体积，因此我们设计的机器人主要面向在室内家中的应用场景，拥有一定的移动能力和环境检测感知能力，可以确保老人在家中的安全和看护。当老人独自在家，自己难免不方便以及会发生各种意外，因此老人在家的状态监护显得尤为重要。因此我们设计了一款面向老人在家中使用的智能监护管家机器人。

在不久的未来，5G 技术趋于成熟，人工智能越来越普遍的情况，我们设计的机器人设备第一个要做的就是连接互联网同时还要有一定的智能化的设计。其次还需要摄像头作为监护的途径之一，配合多种环境质量传感器，以及相应的机械设备来采集房间内的信息和老人的状态，确保安全。

二 系统构架与整合

1 系统模块概述

设计的机器人主要包括如图 1.1 的四个部分，分别是摄像头图像采集部分、网络通讯部分、传感器和机械控制部分。

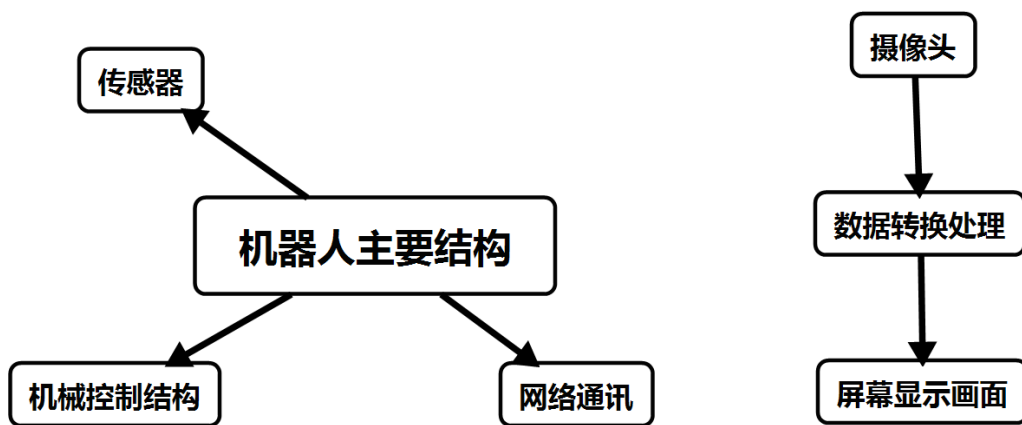


图 1.1 机器人系统组成

摄像头为机器人提供实时监控，并把画面传输到显示屏上。网络通讯可以把各个传感器采集的数据传输给 PC 上位机。同时上位机也可以通过 WiFi 无线控制机器人进行一些动作和移动的操作。PC 上位机使用 python 脚本构建了一个 TCP 协议的客户端，在机器人上使用 ESP8266 模块连接路由器同时构建为服务器模式。PC 上位机通过 WiFi 连接机器人进行数据的收发。如图 1.2 展示了上位机和机器人正在进行数据的控制收发。

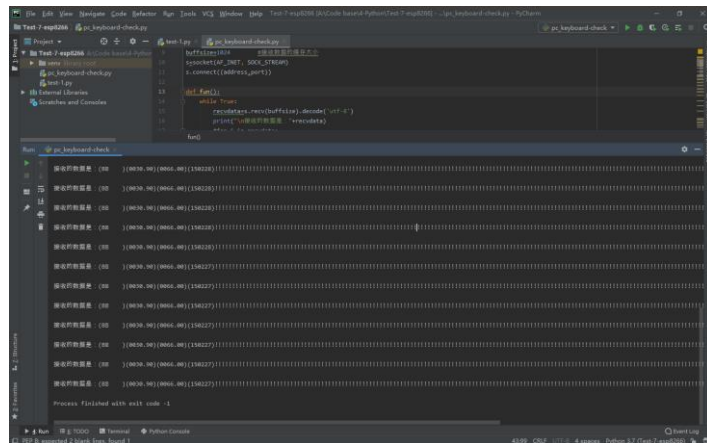


图 1.2 PC 上位机运行界面

2 结构数据整合处理

机器人系统的系统内部的图像部分和其他部分分开设计。由驱动 ESP8266 的模块为核心模块。为了方便操作和拓展,使用 ESP8266 的 AT 指令模式进行操作。使用串口和 8266 模块通讯。其他模块为了配合数据传送,输入输出全部设计成为 ASSIC 码,因此在各个模块之间传输的数据大部分都采用了 ASSIC 码的数据传输。如图 2.1 展示了机器人除了摄像头图像部分的其他模块构成的机器人系统:

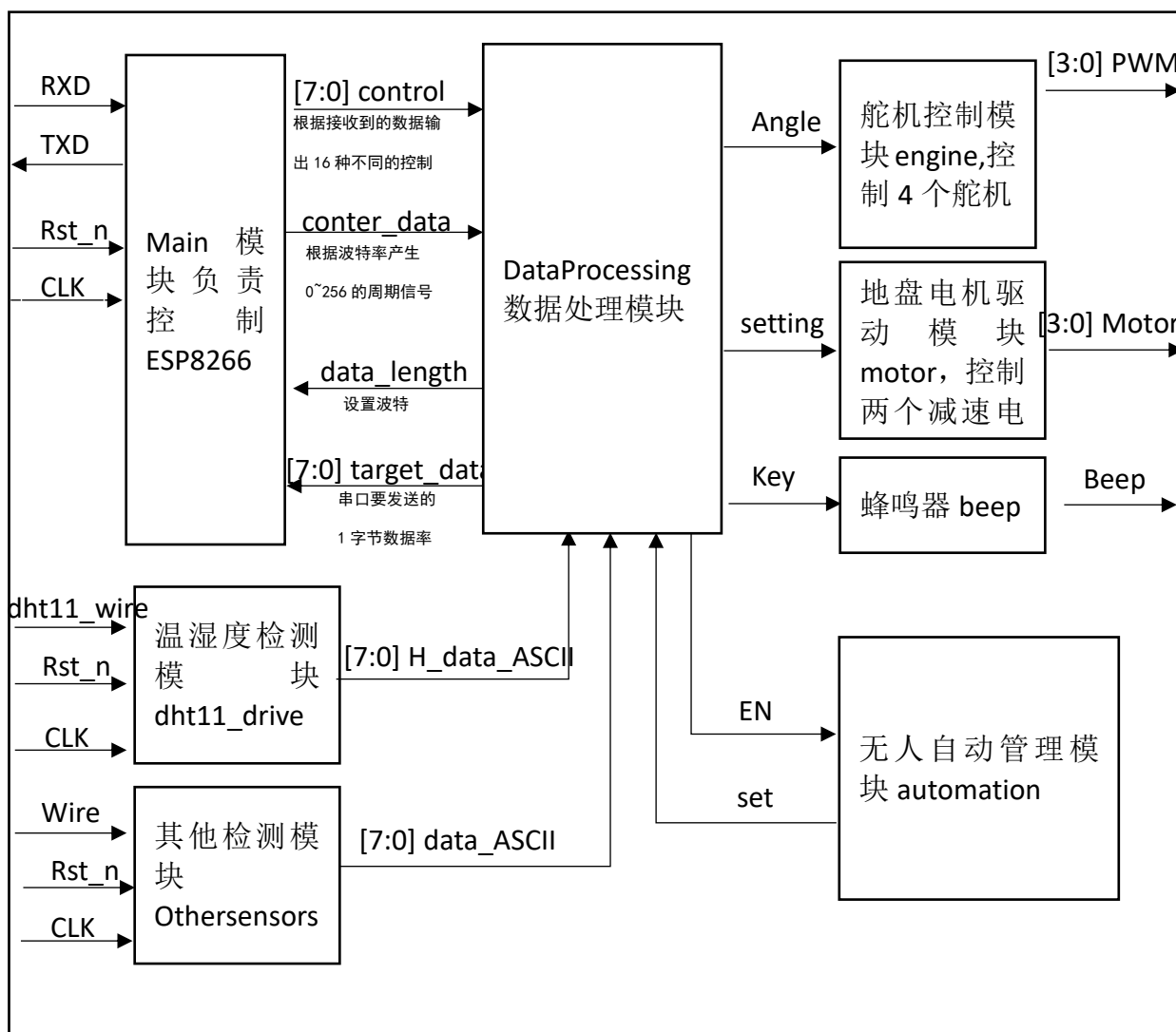


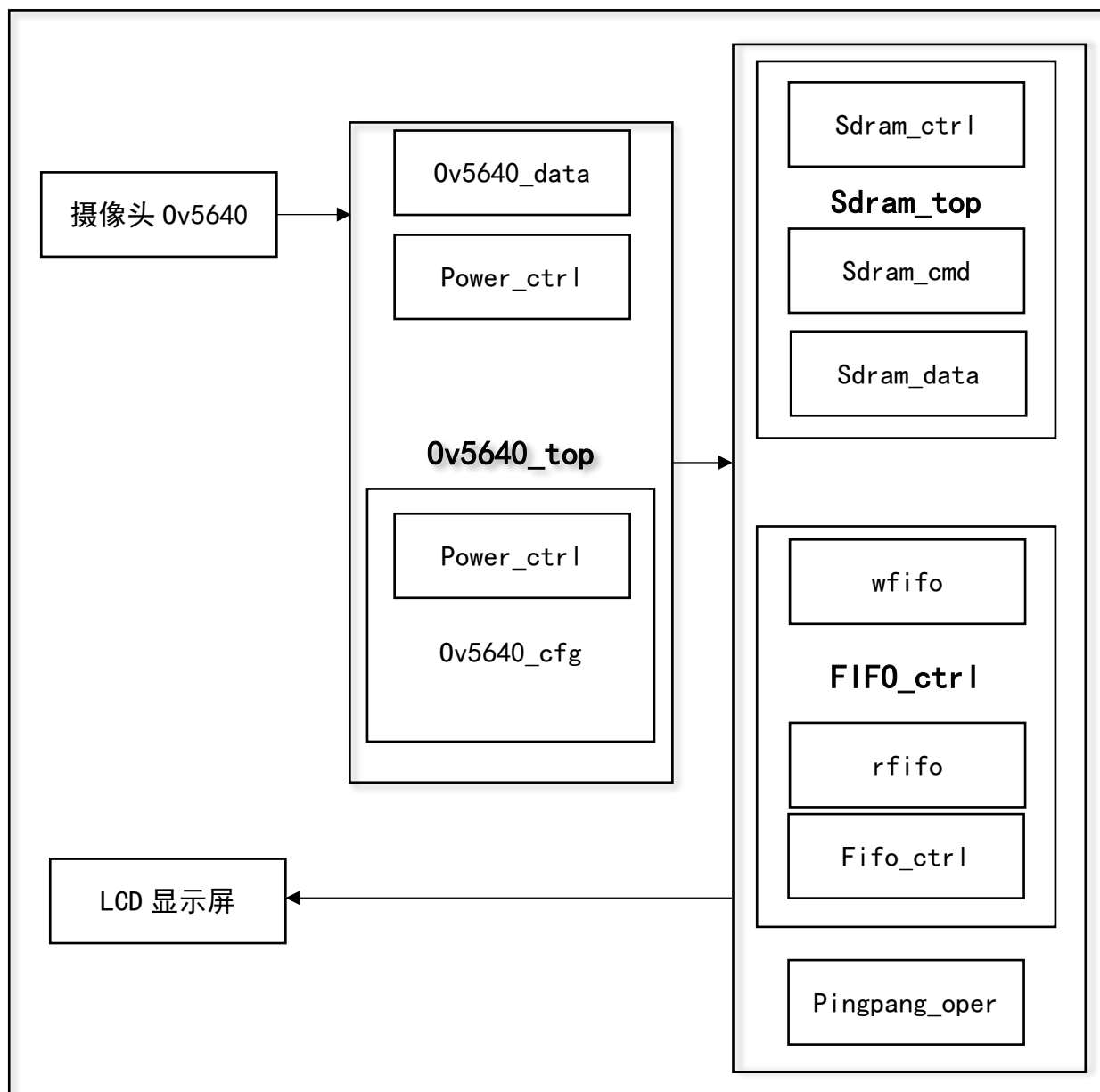
图 2.1 机器人系统构成

在没有外部控制信号的时候，机器人进入自动控制管理状态，由自动管理模块 **automation** 来控制数据处理模块，进而控制机器人完成一定的动作和指令，比如控制舵机的云台转动，自动向上位机发送温湿度，等数据。在上位机有人操作控制机器人的时候，机器人会关闭无人管理模块，通过接收上位机发送过来的数据来控制舵机和电机让机器人实现一系列的操作，比如控制机器人移动以及调整舵机的云台角度。

三 摄像头采集图像模块设计

1 整体设计

依照电路功能，将电路分为 3 个子功能模块：ov5640 驱动模块 ov5640_top，用于对 ov5640 摄像头进行上电控制、寄存器配置、接收视频流数据等功能；SDRAM 控制器模块 sdram_w_r_top，用于视频流数据的缓存及跨时钟域信号传输的功能；LCD 液晶屏的驱动模块 lcd_drive，用于将从 SDRAM 中读取的以 VGA 的格式显示于 LCD 液晶屏上，实现视频监控的功能。如下图为整体设计图：



2 各个模块作用

SDRAM 具有速度快, 容量大的优点, 其中 SDRAM_ctrl 模块负责 SDRAM 的初始化, 工作状态判定, SDRAM_cmd 根据 SDRAM_ctrl 中产生的初始化状态、工作状态来对 SDRAM 进行命令赋值, SDRAM_wr_data 对数据进行读写操作, FIFO_CTRL 通过对 FIFO 进行控制来实现跨时钟域的数据传送, pingpang_oper 对 bank 的选择模块, 选中那个 bank, 就会在那个 bank 中输入或读取一帧图像。这样做是为了防止前后帧交错出现的情况。

Power_ctrl 是 ov5640 的上电时序模块, ov5640_cfg 是对其内部的几百个寄存器就是用 SCCB 协议进行配置, 包括图像窗口设置, 像素时钟配置等。ov5640 数据接收模块主要功能是将摄像头传出的 8bit 数据合成为 16bit, 同时要舍弃前 10 帧图像数据, 是因为在配置寄存器的时候, 需要有一段生效的时间。

在 VGA 的显示中, 理想状态下同一时刻只显示一个完整的帧, 而不会出现前后两帧的交错现象, 但是在实际的帧存与 VGA 扫描中, 由于输入的视频流不一定与 VGA 相匹配, 并且在读写中由于时序的差异很难保证两者的进程一致, 所以前后帧交错出现的情况 100%会出现。采用乒乓操作可以避免这一情况, 其思路是这样的: 首先将 4 个 bank 分两组, 每组两个 bank, 其中一组为 bank0+1, 另一组为 bank2+3, 在 SDRAM 上电初期, SDRAM 会被初始化, 此时乒乓为 0, 从 bank2+3 中读出数据, bank0+1 中写入数据, 直到一帧数据写完并且一帧数据读完, 乒乓跳变为 1, 这时数据从 bank0+1 读取, 从 bank2+3 输入, 直到另一帧数据读写完, 切换乒乓值, 依次反复。

3 通信协议

摄像头与 FPGA 通过 SCCB 协议进行通信, SCCB (Serial Camera Control Bus, 串行摄像头控制总线) 是由 OV (OmniVision 的简称) 公司定义和发展的三线式串行总线, 该总线控制着摄像头大部分的功能, 包括图像数据格式、分辨率以及图像处理参数等。SCCB 与 IIC 协议类似, 是 IIC 的简化版, 如图 3.31 展示了该协议的波形图。与 IIC 不同的是在 IIC 读传输协议中, 写完寄存器地址后会有 restart 即重复开始的操作; 而 SCCB 读传输协议中没有重复开始的概念, 在写完

寄存器地址后，需发起总线停止信号，并且只能单次读。

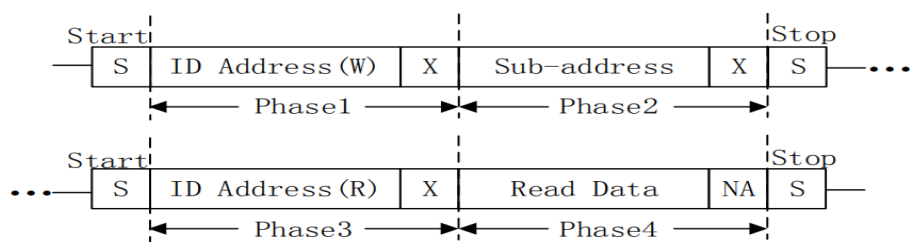


图 3.31 波形图

四 网络通讯模块设计

网络通讯模块是机器人的重要组成模块，需要结合 PC 上位机进行设计，同时还需要处理和应对上位机突然连接和突然断开的情况，网络通讯模块实现了机器人和电脑之间的无线通讯，可以把机器人获得的数据传递到 PC 上位机上，同时上位机还可以控制机器人。

1 控制原理

ESP8266 是一款面向物联网应用的高性价比、高度集成的 Wi-Fi MCU。我们使用了 AT 指令的方式，使用 FPGA 构成了一个串口模块，通过串口连接 ESP8266。

在 FPGA 开发板上建立了两个模块分别是串口的发送模块和串口的接收。分别调试好这两个模块的仿真后，使用杜邦线连接 ESP8266 模块和 FPGA 开发板，使用状态机进行控制，按照顺序向 ESP8266 发送 AT 指令，同时等待 ESP8266 发送回来的标志，完成初始化的设置以后，进入到数据收发状态，发送数据的同时通过检测接收到的字符串，判断是否接收，接收到了什么状态指令。成功的实现了使用 AT 指令来控制 ESP8266 模块进行数据的收发。

2 设计电路

对 ESP8266 模块的控制主要在 main 模块中实现，由于接收和发送的数据全是有 ASCII 码构成的字符串，所以控制 AT 指令和接收判断的数据全部使用状态机实现。如图 4.2 展示了模块内状态机的运行方式，

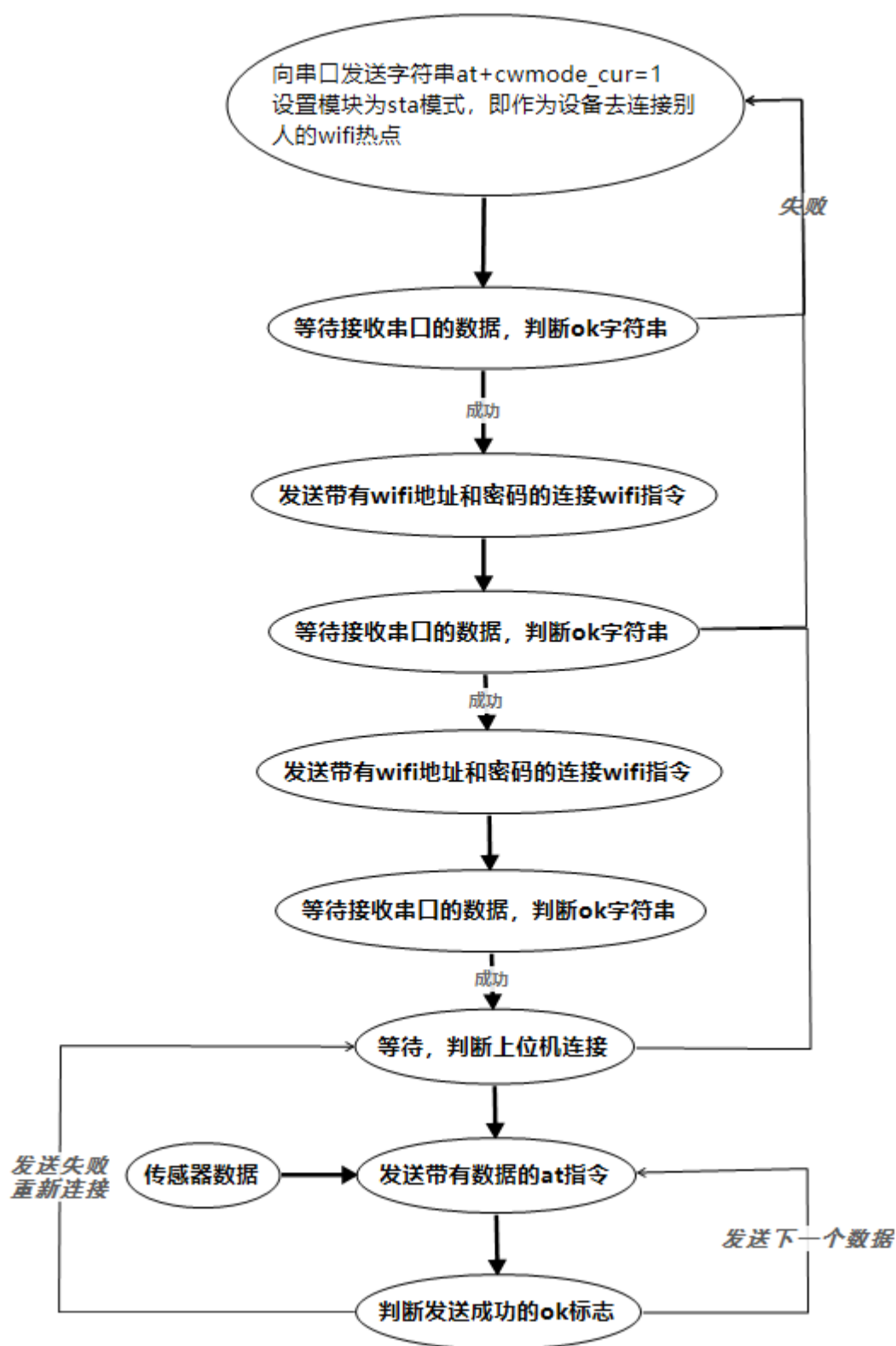


图 4.2 ESP8266 的 AT 控制指令状态机

此状态机可以分为两部分，初始化阶段、数据接收接段。在初始化接段按照顺序执行，对 ESP8266 进行了一系列的控制和初始化，完成对这个指令的发送

和判断指令的发送成功后就会进入等待状态。如果中间出现了指令发送错误的情况就会回到最开始的状态重新发送这些指令。初始化完成的等待状态后开始等待上位机的连接，判断上位机的连接后自动开始向上位机发送传感器的数据。

为了方便数据发送，设置每次发送的数据长度固定为三种模式，分别为 256 个字节、1024 个字节和 2048 个字节长度。通过状态机内部循环产生这三种长度的计数器，外部信号根据计数器的值更新字符串的发送位置，以此来一条完整的发送字符串。

完成发送一串字符串后，状态机会判断是否已经发送成功，发送成功后会进入自动重复进行发送状态。直到上位机断开后，检测到发送失败，重新进入到检测连接的状态。

五 机械电路设计

1 舵机控制的四自由度云台

我们设计的机器人设备主要的机械结构存在于摄像头部分的支架，用来驱动摄像头的不同方向的旋转，云台由四个舵机组成，可以有四个自由度，配合摄像系统对房间内的情况记录。如图 5.1.1 展示了云台的建模和实际制作的模型

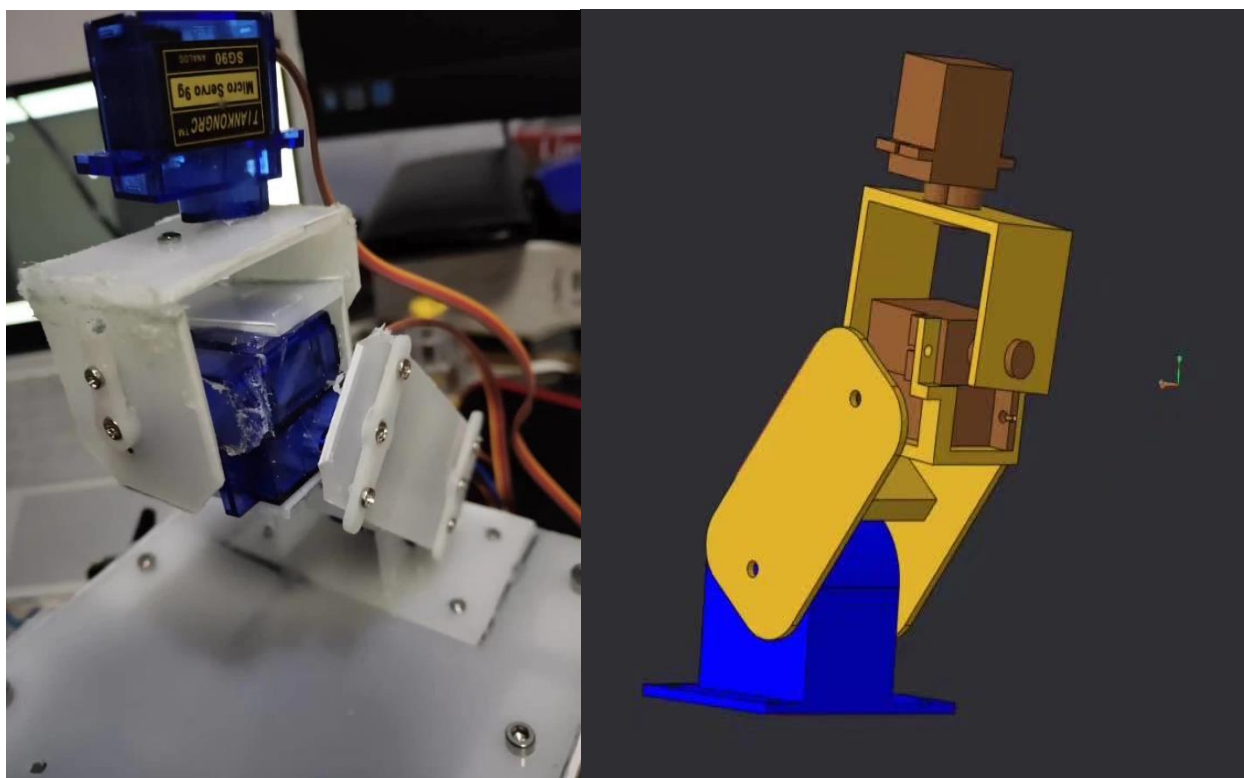


图 5.1.1 舵机云台和 3D 模型

舵机的角度控制可以由上位机或者机器人独立控。在由上位机控制时，PC 上位机通过 WiFi 连接 ESP8266，ESP8266 接收到 ASSIC 字符串，在 main 模块中把 ASSIC 字符串转换成控制舵机的角度，控制舵机的模块在检测到控制信号以后最终实现对舵机的角度控制。为了方便没有上位机的情况，在进入机器人自动控制模式下，舵机会按照每 0.5 秒的时间旋转增加角度，从而达到自动旋转云台的目的。

要控制舵机需要产生 PWM 信号，通过舵机需要根据不同频率的 PWM 信号

来改变自身的角度。在设计的模块中使用了一个计数器，产生方波，根据公式： $\text{cnt_r} \leq \text{angle_setting} * 555 + 25000$ 把外部输入的角度信号转换成合适的计数器的值。例如直接向模块内输入角度大小为 $8'd180$ ，根据系统时钟为 50MHz ，需要将其扩大 555 倍再加上 25000 ，把这个数值赋值给计数器，计数器每计数这个大小就产生一个高电平信号，输出的 PWM 信号再根据此高电平进行反转即可实现 PWM 信号输出。如图 5.1.2 展示了详细的实现过程：

```
//将输入的角度控制参数转换成可以直接用来产生计数器信号
always@(posedge clk or negedge rst_n)begin
    if(!rst_n)
        cnt_r <= s4;
    else if(angle_setting < 8'd180 && angle_setting > 8'd0)
        cnt_r <= angle_setting*555 + 25000;
    else
        cnt_r <= 0;
end

//根据计数器产生输出的PWM信号
always@(posedge clk or negedge rst_n)begin
    if(!rst_n)
        pwm <= 1'b0;
    else if(cnt < cnt_r)
        pwm <= 1'b1;
    else
        pwm <= 1'b0;
end

//计数器，产生PWM信号
always@(posedge clk or negedge rst_n)begin
    if(!rst_n)
        cnt <= 31'd0;
    else if(cnt >= s)
        cnt <= 31'd0;
    else
        cnt <= cnt + 1'b1;
end
```

图 5.1.2 详细的实现过程

通过 Robei 仿真可以查看，波形的变化，如图 5.1.3 展示了仿真的波形：

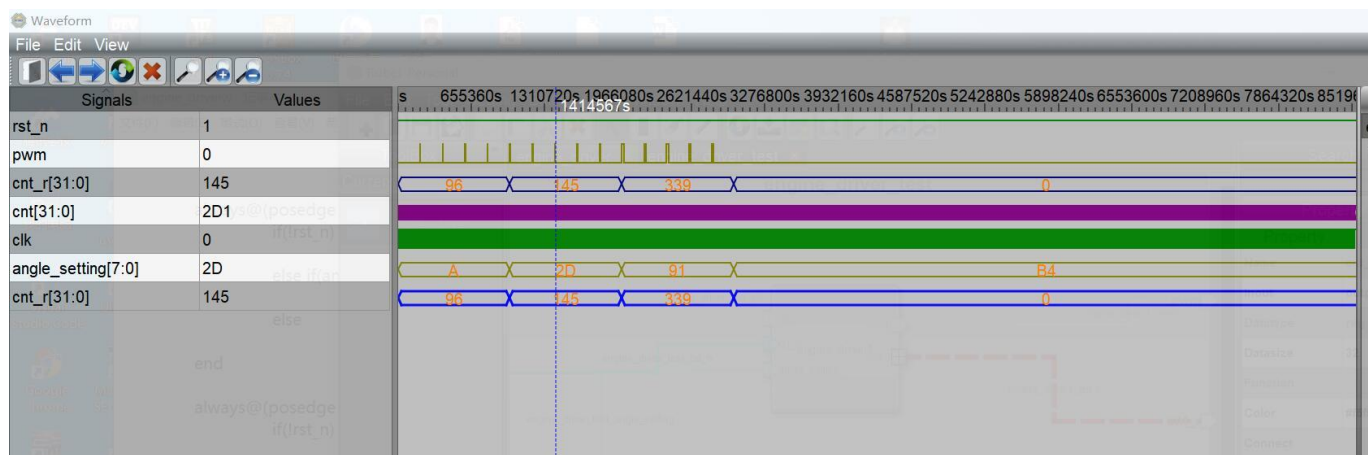
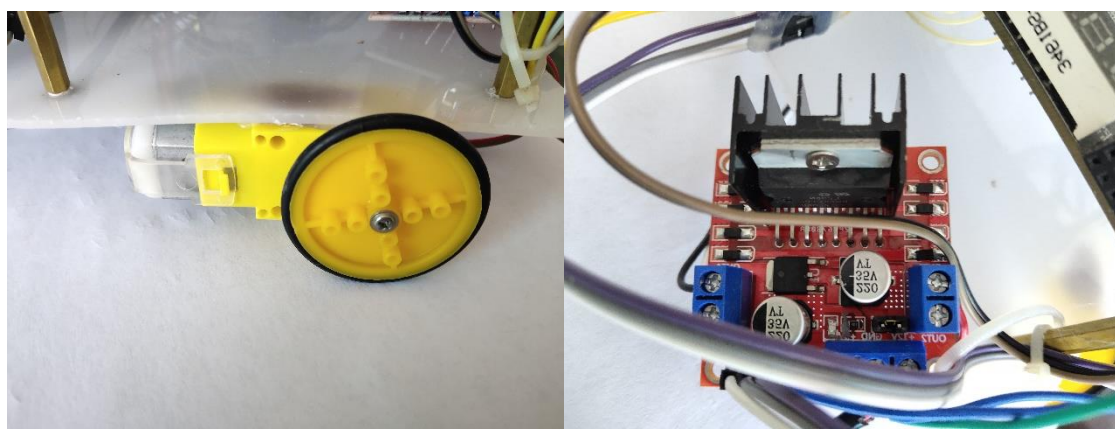


图 5.1.3 仿真波形图

从图中可以看到，随着输入角度的增加，输出的 PWM 波形也随着增加了高电平的脉冲时间。

2 电机驱动模块

电机的驱动使用了 L298N 芯片，该芯片具有耐压高，功率大，方便控制的特点，可以有两种控制方式，分别是通过 IO 的高低电平直接控制，另一种是通过 PWM 调速控制，我们仅使用了简单的 IO 控制，如需控制第一个减速电机只需要设置两个 IO 的电平一个高一个低，L298N 收到后即可输出电压驱动减速电机转动。如图 5.2.1 展示了我们使用的减速电机和电机驱动 L298N 模块：



如图 5.2.1 减速电机和电机驱动 L298N 模块

六 传感器模块

在机器人上搭载了 4 个传感器，分别是温湿度传感器 DHT11、红外人体探测模块 HC-SR501、烟雾报警传感器 MQ-135，和超声波距离传感器模块。

各个传感器的数据统一连接到数据处理模块，在此模块内均使用 ASSIC 码的方式进行传递数据，并把各个传感器获得的数据上传搭配上位机。

1 温湿度传感器

温湿度传感器 DHT11 负责采集室内的温度和湿度的数值，该传感器使用了单总线的通讯方式，需要使用 FPGA 搭建出与其通讯的电路图，通讯的时序图类似串口 RS232 的通讯方式。只不过改变了中间数据部分的结构。

2 人体红外模块

人体红外探测模块直接读取引脚的输入电平高低就可以判断传感器前方是否有人体存在。通过直接读取 IO 电平的方式获取传感器数值。

3 烟雾报警模块

烟雾报警传感器 MQ-135 模块上面集成了两种通讯方式，一种是单纯的读取 IO 的高低电平，另一个是读取 IO 的模拟量。我们使用了读取数字信号的方式。当数字引脚输出高电平的时候即为没有有害气体，当输出低电平即当前环境存在有害气体。

4 超声波距离传感器模块

当机器人自主运动时，进行距离判断，机器人和障碍物之间的距离小于 20 厘米，机器人自动检测。

七 Robei EDA

Robei EDA 工具具备可视化架构设计、核心算法编程、自动代码生成、语法检查、编译仿真与波形查看等功能。设计完成后可以自动生成 Verilog 代码，可以应用于 FPGA 和 ASIC 设计流程。可视化分层设计架构可以让工程师边搭建边编程，具备例化直观，减少错误，节约代码量等优势。大大减少了开发周期，让 EDA 工具变得方便快捷且好上手。该工具短小精悍，安装包程序不到 22M，但是能让用户体验到使用 EDA 工具的全流程，从自动代码生成、语法检查、编译仿真到波形查看，让全新的面向对象的可视化芯片设计软件如虎添翼

1 模块的建立

每个 FPGA 开发工程项目中由许多模块组成，Robei EDA 可以利用可视化界面快速构建一个模块，将输入端口和输出端口直接设置成我们需要的类型（位宽、输入/输出、wire/reg 等），还可设置为自己想要的端口颜色，设置非常的人性化如图 7.1 所示

Property	Value
Name	pwm
Inout	output
Datatype	wire
Datasize	1
Function	
Color	#f0ffff

图 7.1

可利用 graph/code 切换代码和图像界面，在 code 界面中输入自己的代码，输入输出端口无需再次定义，不然就会报错。

2 各个模块间的例化/连线

在各个模块设计完成后，需要各个模块间实例化和连线，需要将各个模块的工程文件放入同一个路径不带中文的文件夹下，便可以直接看到工程界面下的各个模块，如图 7.2 所示



图 7.2

只需要将双击这个待放置的模块，然后，点在自己想要放置的模块中间便可实例化该模块，点击导航栏中的“connect two ports”便可将两个模块的输入端口和输出端口相互连接，如果是内部定义的变量值，则可以用模块的端口设置 connect 的变量值，就可以把这个端口和变量值直接连接起来，减少了实例化的代码量，减轻的设计工程师的负担。

3 编译/EDA 自动布线

在所有的模块设计的都连接完成、在顶层文件都例化连线完成后，我们需要将该顶层文件编译，生成我们的工程所需的 verilog 代码，然后，检查设计无任何语法错误。

在导航栏中点击“refresh modle”和“compile & genegrate code”即可生成我们需要的代码并检查我们的设计中的错误。如图 7.3、7.4 分别为摄像头的 TOP 文件和机器人的 TOP 文件的顶层设计可视化效果图

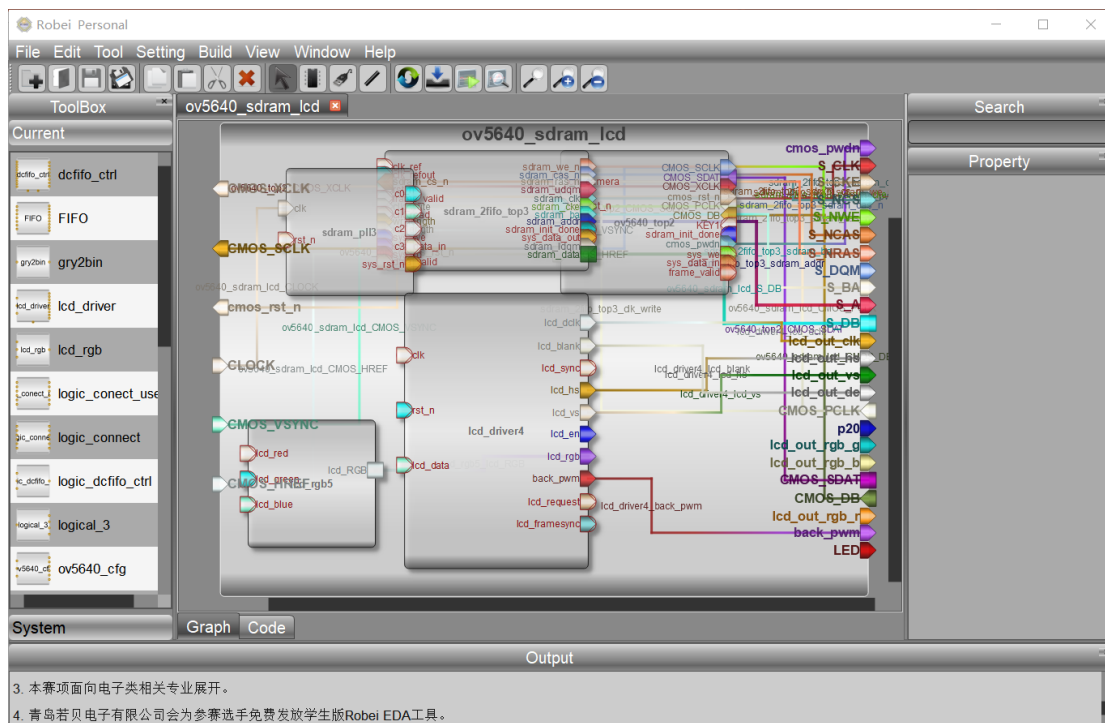


图 7.3

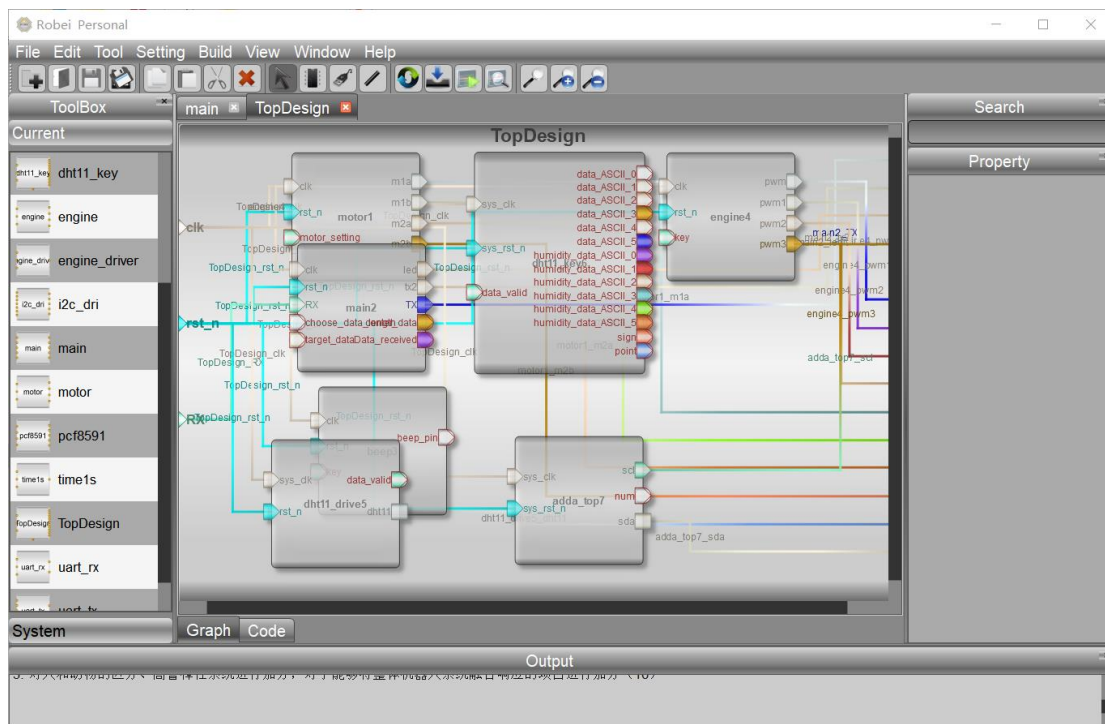


图 7.4

4 功能仿真波形

在 Robei EDA 中右键可以自己生成 testbench，端口都设置好的 testbench，只需要自己写仿真代码和连线就行，如图 7.5 为舵机仿真的代码

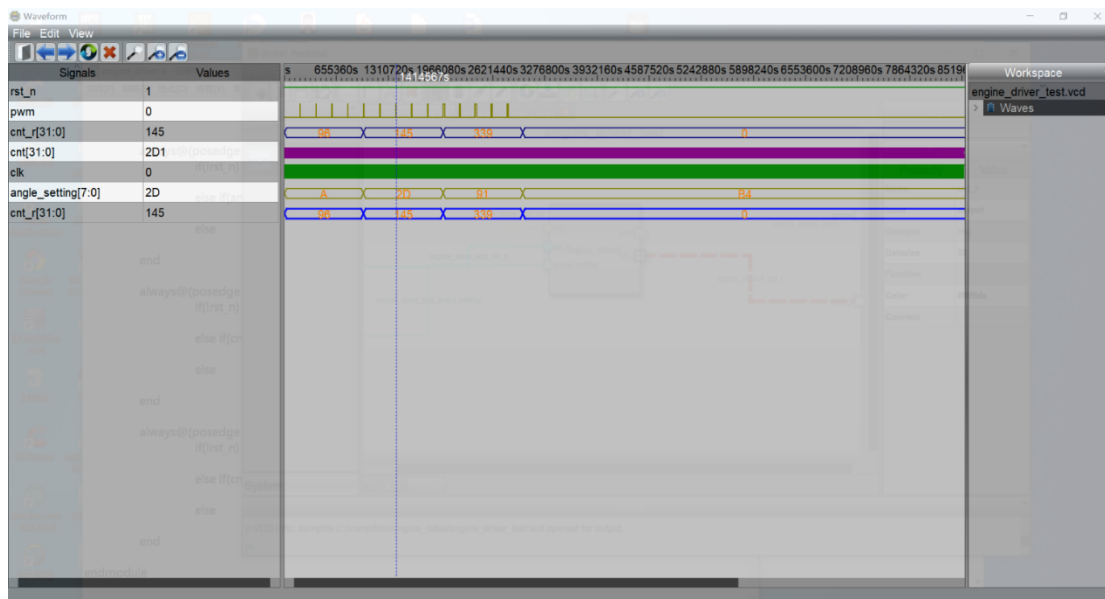
```

13 initial begin
14 rst_n = 0;
15 clk = 0;
16 angle_setting <= 0;
17 #10
18 rst_n = 1;
19 angle_setting <= 10;
20 #1000000
21 angle_setting <= 45;
22 #1000000
23 angle_setting <= 145;
24 #1000000
25 angle_setting <= 180;
26 end
27 //模拟50M时钟输入
28 always#10 clk =~clk;
29 initial #10000000 $finish;
30

```

图 7.5

点击导航栏中的“run simulate”，显示无错误，且成功生成.vcd 文件，点击“show waveform”便可查看波形如图 7.6 所示



八 未来发展与提升

如果是近十年二十年是互联网的浪潮，那么以后物联网会更多的在现在互联网的基础上大幅进步，更多的改变和提升我们的生活质量。现在已经有很多非常成熟的物联网设计，比如小米的智能家居生态。

为了结合社会的发展趋势，我们设计的机器人需要在未来实现更多类似网关，智能家庭服务机器人的方向发展。在设计中更多的加入类似 zigbee、蓝牙等物联网互联方式。

九 总结

在本次比赛中的摄像头模块设计中，首先是设计 SDRAM 模块，由于不了解它的工作时序，特性，导致存储数据非常混乱，通过查询相关资料后，从开始对它有了逐步的了解，到最后设计成功，摄像头配置模块由于搞错了寄存器配置但是显示黑屏、失真、颜色错误，在询问其他设计者时候解决了这个问题。-

而在 AD 和 DA 以及传感器和 FPGA 通信的数据流的设计部分中，小组成员使用的 PCF8591 模块，该模块的是一个 AD 和 DA 转化的模块，采用的是 IIC 通信，所以最开始就去把 IIC 通信协议完完整整的读了一遍，参考了例程代码，然后自己根据时序去写了一个 IIC 通信，时序仿真，板载仿真，在一个星期的不懈努力下，将 EEPROM 的数据给读取并成功写入，再查看 PCF8591 的数据手册，将对应的 IIC 地址和控制字写入，最终才得以成功的读取出了对应的传感器的数据。

我们小组的每个人都能够主动争取完成自己的任务，对比赛充满期待。本次疫情对我们的配合也有一定的影响，在沟通上的障碍影响到了各自书写的模块之间的设计的数据接口，导致了许多地方的错误和重复，有些模块队员之间不能一起动手完成设计，只能在模块中实现，索性经过不断的磨合和努力有了一定的效果，也锻炼出了默契，最总得以完成作品。在这个过程中我们不但学会了更多关于 FPGA 的实际应用，也学习到了新的国产 Robei EDA 的强大，更学会了团队的配合和团结，收获颇丰。

十 参考资料

《数字集成电路-电路、系统与设计(第二版)》

《深入浅出玩转 FPGA 第三版》

《FPGA 应用开发入门与典型实例》