

第七届

## 全国大学生集成电路创新创业大赛

报告类型\*: 设计报告

参赛杯赛\*: Robei 杯

作品名称\*: 基于 FPGA 口罩识别智能机器人

队伍编号\*: CICC2437

团队名称\*: 发际线和我作对

## 基于 FPGA 的多传感器及口罩识别智能机器人

### Multi-sensor and mask recognition intelligent robot based on FPGA

团队名称：发际线和我作对

团队编号：CICC2437

团队成员：孙思原，李力，王佳伊

**简介：**飞沫传播是新型冠状病毒（新冠病毒）扩散的常见途径，病毒感染者以说话、咳嗽或者打喷嚏等方式产生的呼吸道飞沫可能会通过气体直接吸入或形成气溶胶再被吸入等途径造成其他人员感染。为了降低新冠病毒的感染概率，防止疫情的持续性扩散，在出行时期或者公共密集场所佩戴口罩是目前国内外人民采用的主流措施，同时也是最直接、最有效的措施。而机场、车站等公共交通场所由于本身较为特殊的职能性质，在全国范围内分布极为普遍，加上一一年一度的春运时期，导致此类场所的人流量既密集又持续，给新冠病毒的传播创造了诸多有利条件。为了加大新冠疫情的防控力度，目前国内的机场、车站等公共场所均配备了大量人员对人流的口罩佩戴情况进行管理。但是由于此类公共场所分布的普遍性以及职能的必要性，当下以人工监督为主、广播呼吁为辅的管理手段需要依赖不菲的人力物力支撑，不仅管理效率低下，而且造成了大量公共资源的浪费，而我们的机器人可以很好地解决这一问题。得益于深度学习理论的快速发展，除了较为成熟的图像分类领域之外，图像分割、目标检测和目标追踪等关联领域同样涌现出了很多颠覆性的算法。新冠疫情防控工作中，需要在医院、机场、车站等公共场所对人流的口罩佩戴情况实施监测，经过系统设计与调试，机器人可以达到预期的要求，随着时间的推移，机器人还可以不断的完善，可以更好的为行业服务。

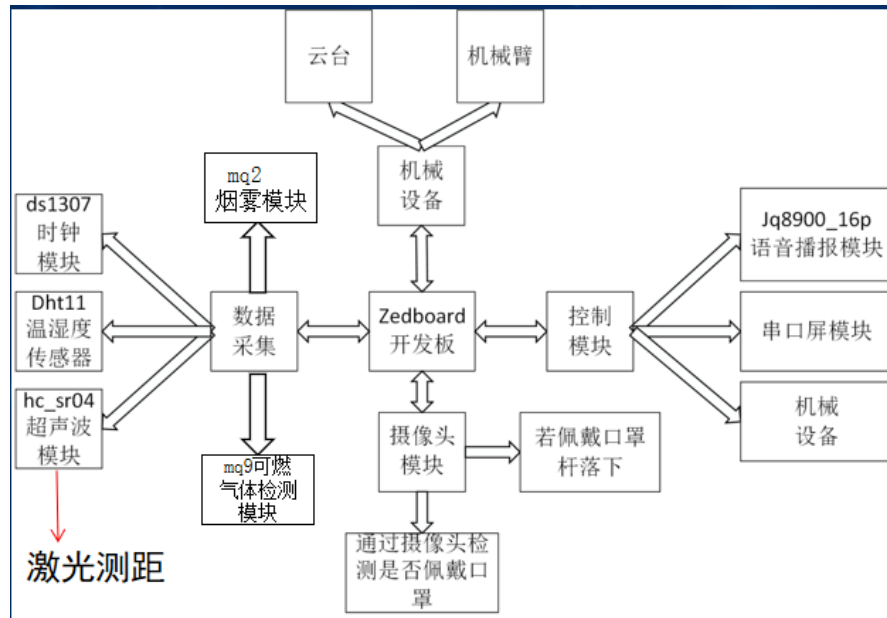
**Abstract:** Droplet transmission is a common way for the spread of the new coronavirus (new coronavirus). Respiratory droplets produced by virus-infected persons by talking, coughing or sneezing may be directly inhaled through gas or form aerosols and then be inhaled. Personnel infection. In order to reduce the probability of infection of the new coronavirus and prevent the continuous spread of the epidemic, wearing masks during travel or in public crowded places is the mainstream measure adopted by people at home and abroad, and it is also the most direct and effective measure. However, public transportation places such as airports and stations are very

common throughout the country due to their special functional nature. In addition to the annual Spring Festival travel period, the flow of people in such places is dense and continuous, which is conducive to the spread of the new crown virus. Many favorable conditions have been created. In order to strengthen the prevention and control of the new crown epidemic, a large number of personnel are currently deployed in domestic airports, stations and other public places to manage the wearing of masks by people. However, due to the ubiquity of the distribution of such public places and the necessity of their functions, the current management methods mainly based on manual supervision and supplemented by broadcast appeals need to rely on a lot of human and material resources, which is not only inefficient in management, but also causes a lot of public resources. waste, and our robot can solve this problem very well. Thanks to the rapid development of deep learning theory, in addition to the relatively mature field of image classification, many subversive algorithms have also emerged in related fields such as image segmentation, target detection, and target tracking. In the prevention and control of the new crown epidemic, it is necessary to monitor the wearing of masks by people in public places such as hospitals, airports, and stations. After system design and debugging, the robot can meet the expected requirements. As time goes by, the robot can continue. Perfect, can better serve the industry.

## 1、简介（Introduction）

飞沫传播是新型冠状病毒（新冠病毒）扩散的常见途径，病毒感染者以说话、咳嗽或者打喷嚏等方式产生的呼吸道飞沫可能会通过气体直接吸入或形成气溶胶再被吸入等途径造成其他人员感染。为了降低新冠病毒的感染概率，防止疫情的持续性扩散，在出行时期或者公共密集场所佩戴口罩是目前国内外人民采用的主流措施，同时也是最直接、最有效的措施。而机场、车站等公共交通场所由于本身较为特殊的职能性质，在全国范围内分布极为普遍，加上正值一年一度的春运时期，导致此类场所的人流量既密集又持续，给新冠病毒的传播创造了诸多有利条件。为了加大新冠疫情的防控力度，目前国内的机场、车站等公共场所均配备了大量人员对人流的口罩佩戴情况进行管理。但是由于此类公共场所分布的普遍性以及职能的必要性，当下以人工监督为主、广播呼吁为辅的管理手段需要依赖不菲的人力物力支撑，不仅管理效率低下，而且造成了大量公共资源的浪费。得益于深度学习理论的快速发展，除了较为成熟的图像分类领域之外，图像分割、目标检测和目标追踪等关联领域同样涌现出了很多颠覆性的算法。新冠疫情防控工作中，需要在医院、机场、车站等公共场所对人流的口罩佩戴情况实施监测，经过系统设计与调试，机器人可以达到预期的要求，随着时间的推移，机器人还可以不断的完善，可以更好的为行业服务。

## 2、架构设计（Organization）



## 2.1 数据采集部分

2.1.1 ds1307 时钟模块（具体内容在传感器部分）

2.1.2 Dht11 温湿度传感器（具体内容在传感器部分）

2.1.3 hc\_sr04 超声波模块（具体内容在传感器部分，为了检测行人更加准确，已更换为激光测距）

2.1.4 mq2 烟雾检测模块（具体内容在传感器模块）

2.1.5 mq9 可燃气体检测模块（具体内容在传感器模块）

## 2.2 机械设备

2.2.1 云台

主要负责实现杠杆落下或升起，使行人通过或组织通过的功能。

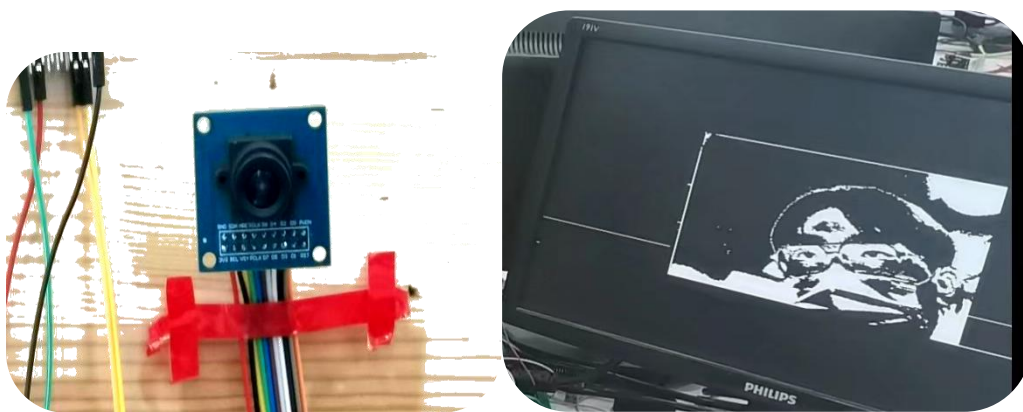
2.2.2 机械臂

当检测到人没有佩戴口罩时，实现递口罩的功能。

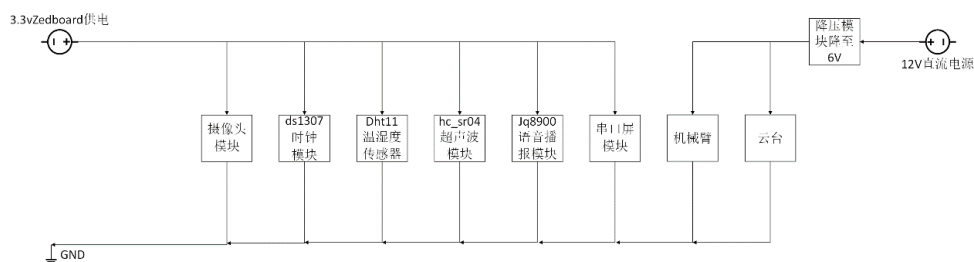
## 2.3 控制模块

2.3.1 jq8900\_16p 语音播报模块（具体内容在传感器部分）

## 2.4 摄像头模块——检测是否佩戴口罩



### 3. 控制电路



### 4.

### 传感系统

#### 4.1 DHT11 温湿度传感器



图 4.1.1 空气温湿度传感器

DHT11 数字温湿度传感器是一款含有已校准数字信号输出的温湿度复合传感器，它应用专用的数字模块采集技术和温湿度传感技术，确保产品具有极高的可靠性和卓越的长期稳定性。传感器包括一个电阻式感湿元件和一个 NTC 测温元件，并与一个高性能 8 位单片机相连接。因此该产品具有品质卓越、超快响应、抗干扰能力强、性价比极高等优点。每个 DHT11 传感器都在极为精确的湿度校验

室中进行校准。校准系数以程序的形式存在 OTP 内存中，传感器内部在检测信号的处理过程中要调用这些校准系数。单线制串行接口，使系统集成变得简易快捷。超小的体积、极低的功耗，使其成为该类应用中，在苛刻应用场合的最佳选择。产品为 4 针单排引脚封装，连接方便。

## 4.2 T0F050F 激光测距

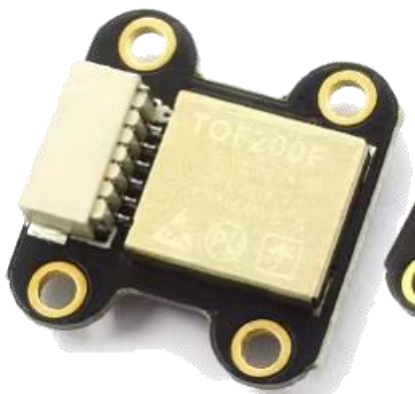
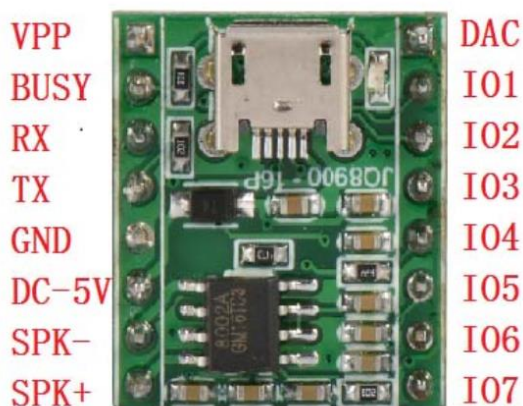


图 4.2.1

由激光二极管对准目标发射激光脉冲。经目标反射后激光向各方向散射。部分散射光返回到传感器接收器，被光学系统接收后成像到雪崩光电二极管上。雪崩光电二极管是一种内部具有放大功能的光学传感器，因此它能检测极其微弱的光信号。记录并处理从光脉冲发出到返回被接收所经历的时间，即可测定目标距离。

## 4.3 JQ8900\_16P 语音播报模块



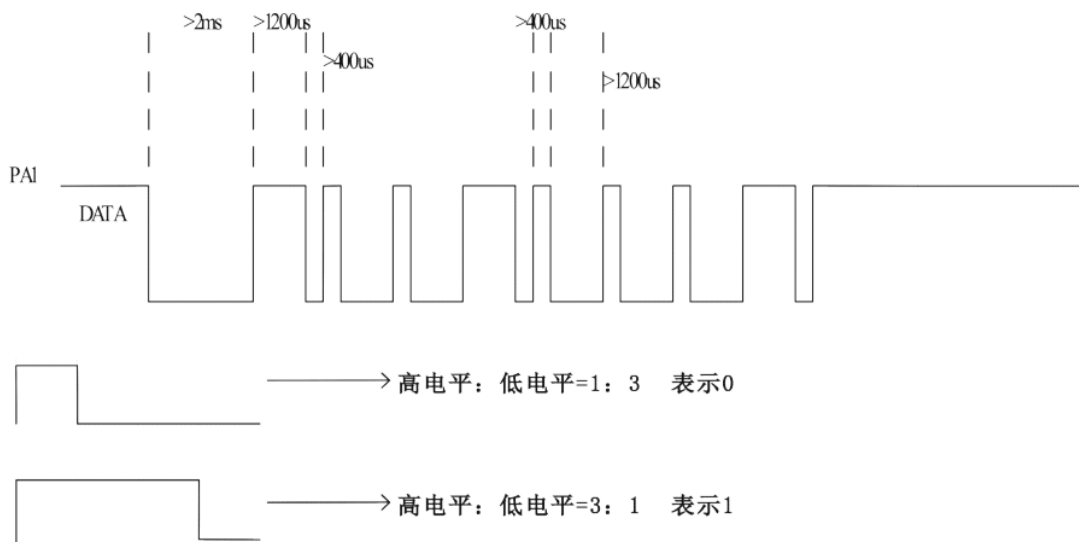
JQ8400 语音模块选用的是 SOC 方案，集成了一个 16 位的 MCU，以及一个专

门针对音频解码的 ADSP，采用硬解码的方式，更加保证了系统的稳定性和音质。小巧尺寸更加满足嵌入其它产品的需求。

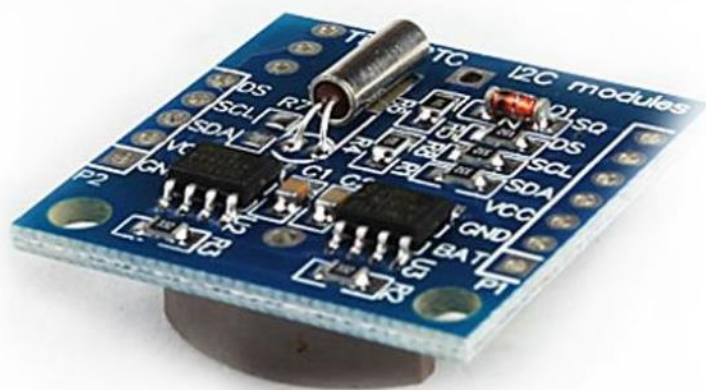
### SPI-flash 更换语音内容

此芯片最大的优势在于能够灵活的更换 SPI-flash 内的语音内容，省去了传统语音芯片需要安装上位机更换语音的麻烦，SPI FLASH 直接模拟成 U 盘，跟拷贝 U 盘一样，非常方便。使得产品研发和生产变得便捷简单。一线串口控制模式、RX232 串口控制可选，为研发提供更多的选择性。

sda 为数据发送端口，发送语音地址。先发送低位。下图范例发送的是 89H。



## 4.6 DS1307 串行实时时钟



记录年、月、日、时、分、秒、星期及日期；AM、PM 分别表示上午和下



午; 56 个字节的 NV RAM 存放数据; 2 线串口; 可编程的方波输出; 电源故障检测及自动切换电路; 电池电流小于 500nA。

**Table 2. Timekeeper Registers**

ADDRESS	BIT 7	BIT 6	BIT 5	BIT 4	BIT 3	BIT 2	BIT 1	BIT 0	FUNCTION	RANGE
00h	CH	10 Seconds			Seconds				Seconds	00–59
01h	0	10 Minutes			Minutes				Minutes	00–59
02h	0	12	10 Hour	10 Hour	Hours				Hours	1–12 +AM/PM 00–23
		24	PM/ AM							
03h	0	0	0	0	0	DAY			Day	01–07
04h	0	0	10 Date		Date				Date	01–31
05h	0	0	0	10 Month	Month				Month	01–12
06h	10 Year				Year				Year	00–99
07h	OUT	0	0	SQWE	0	0	RS1	RS0	Control	—
08h–3Fh									RAM 56 x 8	00h–FFh

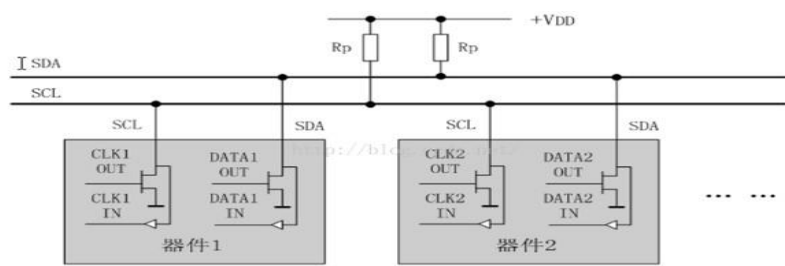
0 = Always reads back as 0.

## 4.7 IIC 通信协议

I2C(Inter-Integrated Circuit BUS) 集成电路总线, 该总线由 NXP (原 PHILIPS) 公司设计, 多用于主控制器和从器件间的主从通信, 在小数据量场合使用, 传输距离短, 任意时刻只能有一个主机等特性。是一种半双工通信方式。

IIC 的物理层

只要求两条总线线路, 一条是串行数据线 SDA, 一条是串行时钟线 SCL。每个连接到总线的器件都可以通过唯一的地址和其它器件通信, 主机/从机角色和地址可配置, 主机可以作为主机发送器和主机接收器。IIC 是真正的多主机总线, (而这个 SPI 在每次通信前都需要把主机定死, 而 IIC 可以在通讯过程中, 改变主机), 如果两个或更多的主机同时请求总线, 可以通过冲突检测和仲裁防止总线数据被破坏。传输速率在标准模式下可以达到 100kb/s, 快速模式下可以达到 400kb/s。连接到总线的 IC 数量只是受到总线的最大负载电容 400pf 限制。



## 4.8 Uart 协议简述

通用异步收发传输器(Universal Asynchronous Receiver/Transmitter), 通常称作 UART, 是一种异步收发传输器。将数据由串行通信与并行通信间作传输转换, 作为并行输入成为串行输出的芯片 UART 是一种通用串行数据总线, 用于异步通信。该总线双向通信, 可以实现全双工传输和接收。

UART 作为异步串口通信协议的一种, 工作原理是将传输数据的每个字符一位接一位地传输。

其中每一位(Bit)的意义如下:

起始位: 先发出一个逻辑”0”的信号, 表示传输字符的开始。

数据位: 紧接着起始位之后。数据位的个数可以是 4、5、6、7、8 等, 构成一个字符。通常采用 ASCII 码。从最低位开始传送, 靠时钟定位。

奇偶校验位: 数据位加上这一位后, 使得”1”的位数应为偶数(偶校验)或奇数(奇校验), 以此来校验数据传送的正确性。

停止位: 它是一个字符数据的结束标志。可以是 1 位、1.5 位、2 位的高电平。由于数据是在传输线上定时的, 并且每一个设备有其自己的时钟, 很可能在通信中两台设备间出现了小小的不同步。因此停止位不仅仅是表示传输的结束, 并且提供计算机校正时钟同步的机会。适用于停止位的位数越多, 不同时钟同步的容忍程度越大, 但是数据传输率同时也越慢。

空闲位: 处于逻辑”1”状态, 表示当前线路上没有数据传送。UART 协议传输时序如图所示:

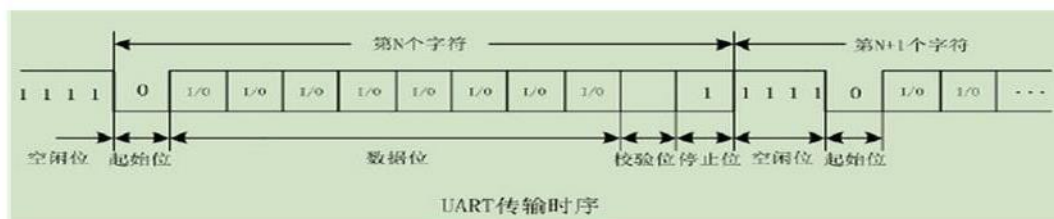


图 异步通信数据格式

发送数据过程: 空闲状态, 线路处于高电位; 当收到发送数据指令后, 拉

低线路一个数据位的时间  $T$ ，接着数据按低位到高位依次发送，数据发送完毕后，接着发送奇偶校验位和停止位（停止位为高电位），一帧数据发送结束。

接收数据过程：空闲状态，线路处于高电位；当检测到线路的下降沿（线路电位由高电位变为低电位）时说明线路有数据传输，按照约定的波特率从低位到高位接收数据，数据接收完毕后，接着接收并比较奇偶校验位是否正确，如果正确则通知后续设备准备接收数据或存入缓存。

由于 UART 是异步传输，没有传输同步时钟。为了保证数据传输的正确性，UART 采用 16 倍数据波特率的时钟进行采样。每个数据有 16 个时钟采样，取中间的采样值，以保证采样不会滑码或误码。一般 UART 一帧的数据位数为 8，这样即使每个数据有一个时钟的误差，接收端也能正确地采样到数据。

UART 的接收数据时序为：当检测到数据的下降沿时，表明线路上有数据进行传输，这时计数器 CNT 开始计数，当计数器为  $24=16+8$  时，采样的值为第 0 位数据；当计数器的值为 40 时，采样的值为第 1 位数据，依此类推，进行后面 6 个数据的采样。如果需要奇偶校验，则当计数器的值为 152 时，采样的值即为奇偶位；当计数器的值为 168 时，采样的值为“1”表示停止位，一帧数据接收完成。

一个标准的 10 位异步串行通信协议(包含 1 个起始位、1 个停止位和 8 个数据位)收发时序，如图所示：

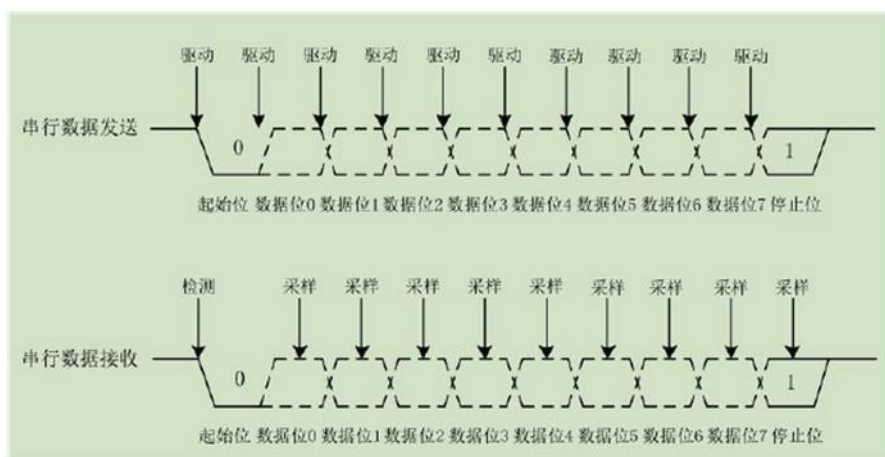


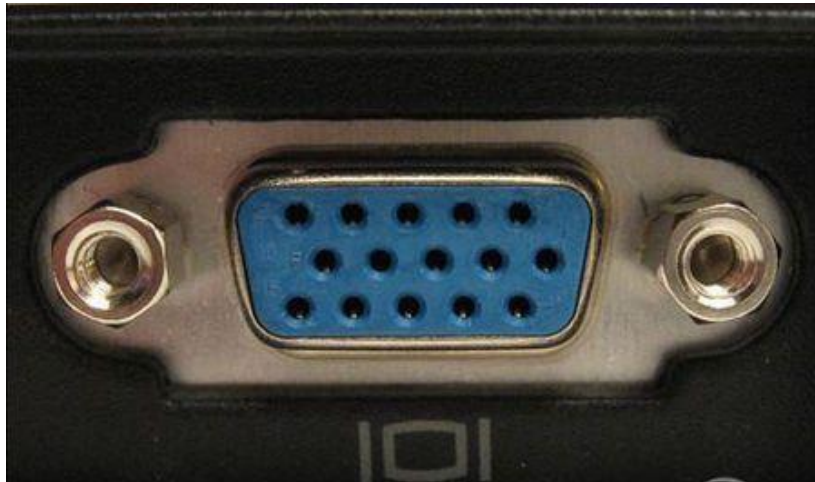
图 2.4.2 串口通讯

波特率发生器：波特率是衡量数据传输速率的指标，表示每秒传送数据的字符数，单位为 Baud。UART 的接收和发送是按照相同的波特率进行收发的。

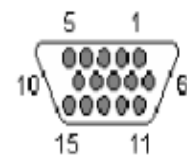
波特率发生器产生的时钟频率不是波特率时钟频率,而是波特率时钟频率的 16 倍,目的是为在接收时进行精确地采样,以提取出异步的串行数据。根据给定的晶振时钟和要求的波特率,可以算出波特率分频计数值。

## 4.9 VGA 接口协议

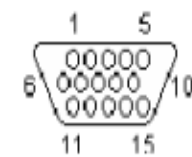
VGA (Video Graphics Array) 视频图形阵列是 IBM 于 1987 年提出的一个使用模拟信号的电脑显示标准。VGA 接口即电脑采用 VGA 标准输出数据的专用接口。VGA 接口共有 15 针,分成 3 排,每排 5 个孔,显卡上应用最为广泛的接口类型,绝大多数显卡都带有此种接口。它传输红、绿、蓝模拟信号以及场与行的同步信号。



1	RED	红色分量信号	9	+5V	电源 (未使用)
2	GREEN	绿色分量信号	10	GND	地线
3	BLUE	蓝色分量信号	11	N/C	未使用
4	N/C	未使用	12	SDA	串行数据信号
5	GND	地线	13	H SYNC	水平同步 (行同步)
6	GND R	红色分量地线	14	V SYNC	垂直同步 (场同步)
7	GND G	绿色分量地线	15	SCL	串行时钟信号
8	GND B	蓝色分量地线			



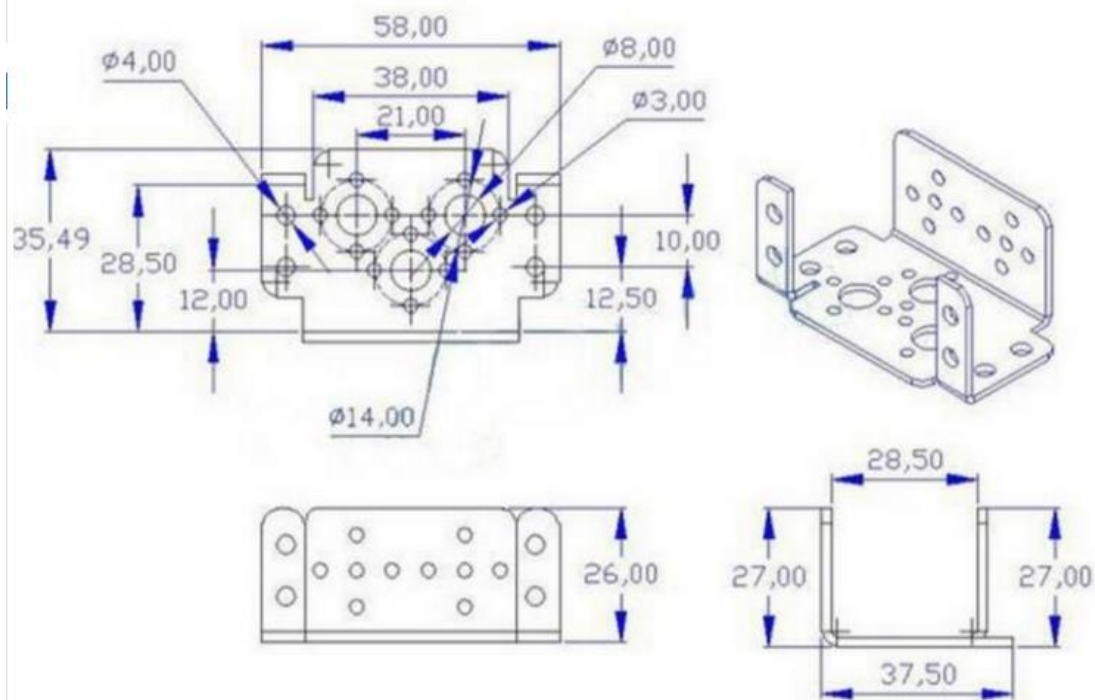
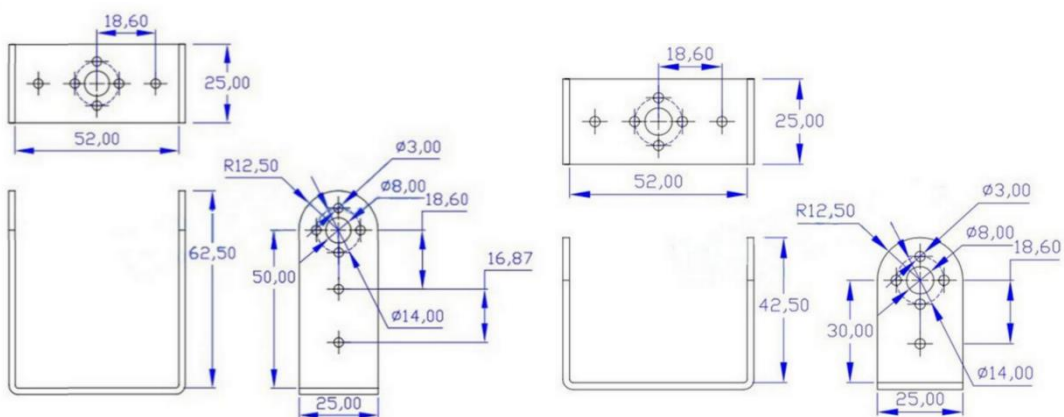
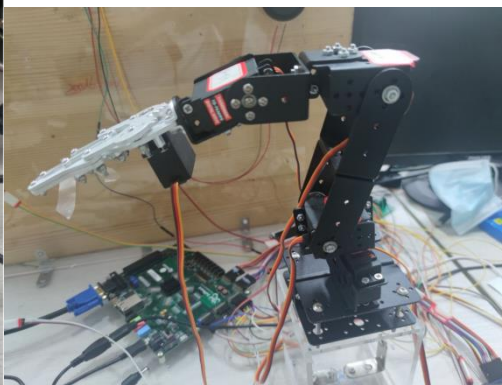
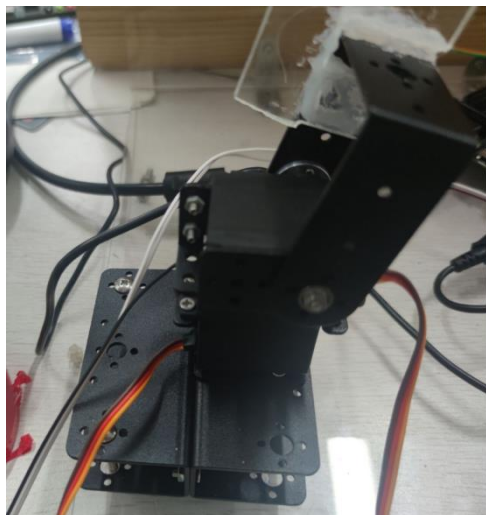
母头 (孔)




公头 (针)

5.

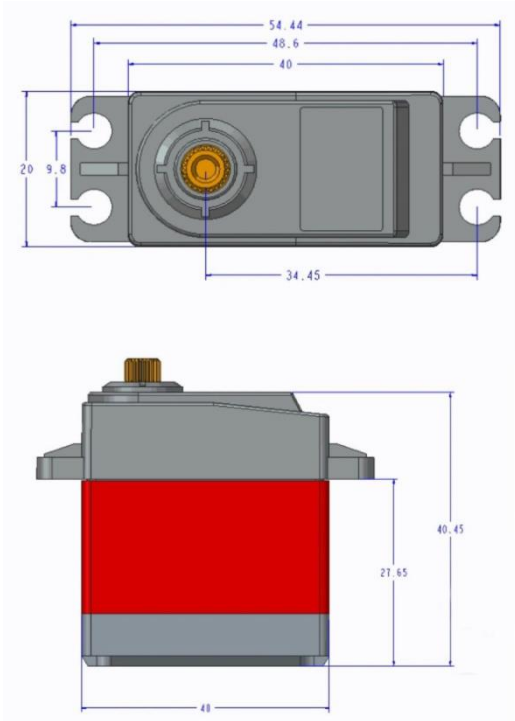
# 机械结构 (Structure)







TD-8120MG		
Volts	Torpue	Speed
4. 8V	18. 5Kg-cm	0. 18ces/60 °
6. 6V	21. 8Kg-cm	0. 14ces/60 °
Dimensions		Weight
L/H/W: 40*20*40. 5mm		65G
3P, 2BB, MG		



## 6.

## 算法系统 (Algorithm)

## 6.1 RGB 转 YCBCR

由于 rgb 格式难以对图像进行处理，所以我们首先将图像转化为 ycbcr 格式，其中，由于 rgb 的格式为 rgb565，所以我们首先将 rgb 格式转换为 rgb888，我们取的是原 rgb 的各中间位数，并与各颜色分量进行拼接。

Rgb 与 ycbcr 均为人为规定的两种颜色模式

Y: 明亮度，也就是灰阶值。“亮度”是透过 RGB 输入信号来建立的，方法是将 RGB 信号的特定部分叠加到一起。

Cb: 反映的是 RGB 输入信号蓝色部分与 RGB 信号亮度值之间的差异。

Cr: 反映了 RGB 输入信号红色部分与 RGB 信号亮度值之间的差异。

根据 ITU.BT-601 或 ITU.BT-709, 我们可以得到 rgb 与 ycbcr 的相互转换公式

$$Y' = 0.257 * R' + 0.504 * G' + 0.098 * B' + 16$$

$$Cb' = -0.148 * R' - 0.291 * G' + 0.439 * B' + 128$$

$$Cr' = 0.439 * R' - 0.368 * G' - 0.071 * B' + 128$$

$$R' = 1.164 * (Y' - 16) + 1.596 * (Cr' - 128)$$

$$G' = 1.164 * (Y' - 16) - 0.813 * (Cr' - 128) - 0.392 * (Cb' - 128)$$

$$B' = 1.164 * (Y' - 16) + 2.017 * (Cb' - 128)$$

其中每个分量都带上了“'”，这说明各个分量都进行了伽马矫正，可以弥补一些细节损失。

由于 Verilog 无法处理浮点数运算，因此我们将各个参数都乘以  $2^8$  来得到整形，然后通过向右移位八位来达到除以  $2^8$  的效果得到我们使用的最后参数。

```
assign r_8 = {rgb565[15:11], rgb565[15:13]};
```

```
assign g_8 = {rgb565[10:5], rgb565[10:9]};
```

```
assign b_8 = {rgb565[4:0], rgb565[4:2]};
```

## 6.2 二值化

在进行 ycbcr 处理后我们对每个像素点进行二值化，通过判断三个数据的值来确定该位置在 VGA 上的显示，我们通过查阅网上资料得到了蓝色的阈值，并且我们根据浅色反光更多的原理推测了一个大概的灰度阈值，一次来完成口罩的检测，使得口罩可以很容易的被检测到。



## 6.3 腐蚀与膨胀

腐蚀操作可以消除噪点，同时消除部分边界值，导致目标图像整体缩小。

膨胀操作可以使目标特征值增大，导致目标图像整体放大。（组合起来使用，可以达到更好分割独立的图形元素的目的。）



6.3.1 先腐蚀，后膨胀



6.3.2 先膨胀，后腐蚀



## 7. 系统系统整合与调试 (Integration & Test)

整合：

整合过程中我们将摄像头、机械臂和云台、多传感器、robei 进行了分模块设计，在整合时，我们首先将多传感器进行了在 FPGA 上的测试，确认没有问题后，进行了多传感器整体模块设计，并对输出端口进行了选定设计。Robei 模块时用于处理温度数据并发出相应的指令来对串口屏进行控制，以此达到 robei 成为外设模块和传感器部分交互的桥梁，起到了 robei 的主控作用，在后三个模块全部处理完毕后，我们将属于摄像头的握手信号与其余三个模块进行链接，达到整个系统整合的效果。

调试：

在整合测试过程中，我们遇到了多个模块不运动的状态，后续通过改进及测试后得到如下结论：

在最终测试中遇到了板子供压不够的现象，因此我们将机械臂的供电源更换为外接电源来保证机械臂运动正常。摄像头在单独测试的 50 次中，有百分之 70 的概率可以正确检测到口罩的存在，但是受衣服干扰较大，在联合调试中口罩识别率仅为百分之 60 左右，给其它模块的测试带了一部分影响，换为拨码开关后，整个系统完美运行率达到百分之八十五。

## 8. 未来未来发展与提升 (Future Work)

未来还需要做哪些工作，如何更加完善这个机器人，如何产生实际价值。

在此项目的完成过程中，我们通过多个模块实现了智能机器人口罩识别，在未来的发展中，首先，我们将用卷积实现口罩识别，提高机器人精度，具体做法为：搭建轻量级架构的网络，进一步导出权重参数，并在 FPGA 的 PL 端搭建 lenet 神经网络，已到达正向传播检测口罩的功能（目前已用 lenet 训练好了口罩识别）。其次，我们将利用沉芯芯片产生 PWM 波，以达到对多个机械臂驱动的目的。第三，后期我们也将继续研发更多的传感器模块，比如：利用红外检测是否为真

人，火焰传感，有害气体检测等，营造良好安全的公共环境。然后，追踪人脸使机械臂递送口罩更加灵活。最后，提高机械臂可动度，上下或转动。

当前新冠疫情的社会背景下，我们的产品研发可以利用于医院、火车站、超市等各个公共场所，监督大家佩戴口罩，以节省人力、物力、才力等资源的浪费，提高工作效率；其次，智能化口罩检测，进一步减少了人与人的接触，以达到减少新冠病毒扩散的目的。相信我们的产品有更加广阔的实际价值，可以给社会、人民带来更加便利、安全的生活环境。

## 9. 总结 (Conclusion)

在本次设计当中，我们进一步了解和熟悉 Verilog 的用法，对沉芯这块板子的结构和资源配置以及官方所提供的软件有了更加深入的了解。

我们首先了解官方提供的各个软件的各项功能以及怎样创建文件。之后我们进行了本次项目的主要设计。大概的过程分为三大步骤：明确项目所需要实现的功能、各项功能的实现方法、调试与整合。

在设计的过程中我们遇到了很多小问题，虽然通过询问老师和查阅资料，大多数都及时解决，但是由于此方面资料过于稀少，还是对项目的完成造成了很大的阻碍。设计的过程是有趣的，充实的，对于我们来说，最缺乏的就是动手能力，在我的心中，设计不是在完成任务，而是在享受思考与寻找答案的过程，当你遇到一个问题而愁眉不展，然后又通过努力，与同伴的研究商讨而找到解决方法或答案时那种喜悦的心情不亲身经历是体会不到的。经历比此次项目做出的成果更宝贵，当然检测成功时自己会有很大的成就感。经历中我们学到了方法，团结，合作，在此做类似的设计我敢肯定将会很轻松自如的。我希望在大学期间能有更多的这种机会。

## 10. 参考资料 (References)

[1] Guosheng Wu, "Simplified FPGA Design with Robei", *Worldcomp proceedings of Intern. conf. Computer design*, Las Vegas Nevada USA, pp.109-112, July 16-19, 2012

[2] 韩彬. FPGA 设计技巧与案例开发详解 (第二版). 北京: 电子工业出版社. 2016.

[3] 正点原子教你学 FPGA

[4] 版权声明: rgb 转 ycbcr 为 CSDN 博主「Rainyliuliu」的原创文章, 遵循 CC 4.0 BY-SA 版权协议, 原文链接: [https://blog.csdn.net/weixin\\_38203533/article/details/80881793](https://blog.csdn.net/weixin_38203533/article/details/80881793)

[6] 夏宇闻. Verilog 数字系统设计教程 (第三版). 北京: 北京航空航天大学出版社. 2013

[7] Verilog HDL 高级数字设计 (第二版). Micheal D.Ciletti 著, 李广军, 林水生等译, 北京: 电子工业出版社, 2014