

第七届

## 全国大学生集成电路创新创业大赛

报告类型\*: 作品报告

参赛杯赛\*: Robei 杯

作品名称\*: 智慧医药系统

队伍编号\*: CICC2571

团队名称\*: 长安掠夺者

## 目录

1、简介 (Introduction)	5
2、架构设计 (Organization)	6
2.1 摄像头、图像处理模块	7
2.2 控制电路 (Controller)	7
2.3 机械臂	8
3、传感系统 (Sensor)	9
3.1 传感器选型	9
3.1.1 10V5640 摄像头	9
3.1.2 DHT11 温湿度传感器	10
3.1.3 TOF200F 激光测距传感器	11
3.1.4 超声波测距传感器	11
3.1.6 光敏电阻传感器模块	13
3.1.7 火焰传感器模块	13
3.1.8 人体红外传感器	13
3.1.9 语音识别传感器	14
3.1.10 红外避障	15
3.1.11 循迹模块	15
3.1.12 语音播报	16
3.1.13 串口屏	16
3.2 协议驱动	17
3.2.1 UART 通信协议	17
3.2.2 IIC 通信协议	19
3.2.3 SPI 通信协议	21
3.2.4 VGA 显示协议	24
4、机械结构 (Structure)	26
4.1 直流电机	26
4.2 直流电机驱动器	27
4.3 机械臂	28
5、算法系统 (Algorithm)	29
5.1 RGB 转 YCBCR	29
5.1.1 RGB 简介	29
5.1.2 YCbCr 简介	29
5.2 二值化	30
5.3 腐蚀与膨胀	31
5.4 竖直投影与水平投影	31
5.4.1 背景知识	31
5.4.2 OTSU 算法	31
5.4.3 水平垂直投影	32
5.5 数字特征算法	33
6、系统整合与调试 (Integration & Test)	33
7、未来发展与提升 (Future Work)	34
7.1 精确度	34

7.2 成本.....34

7.3 多数据分析.....34

7.4 多领域应用.....34

8、总结 (Conclusion) .....35

9、参考资料 (References) .....35

## 基于 Robei EDA 工具的智慧医药系统

### Reconfigurable Robot Design with Robei EDA Software

团队名称：长安掠夺者

团队编号：CICC2571

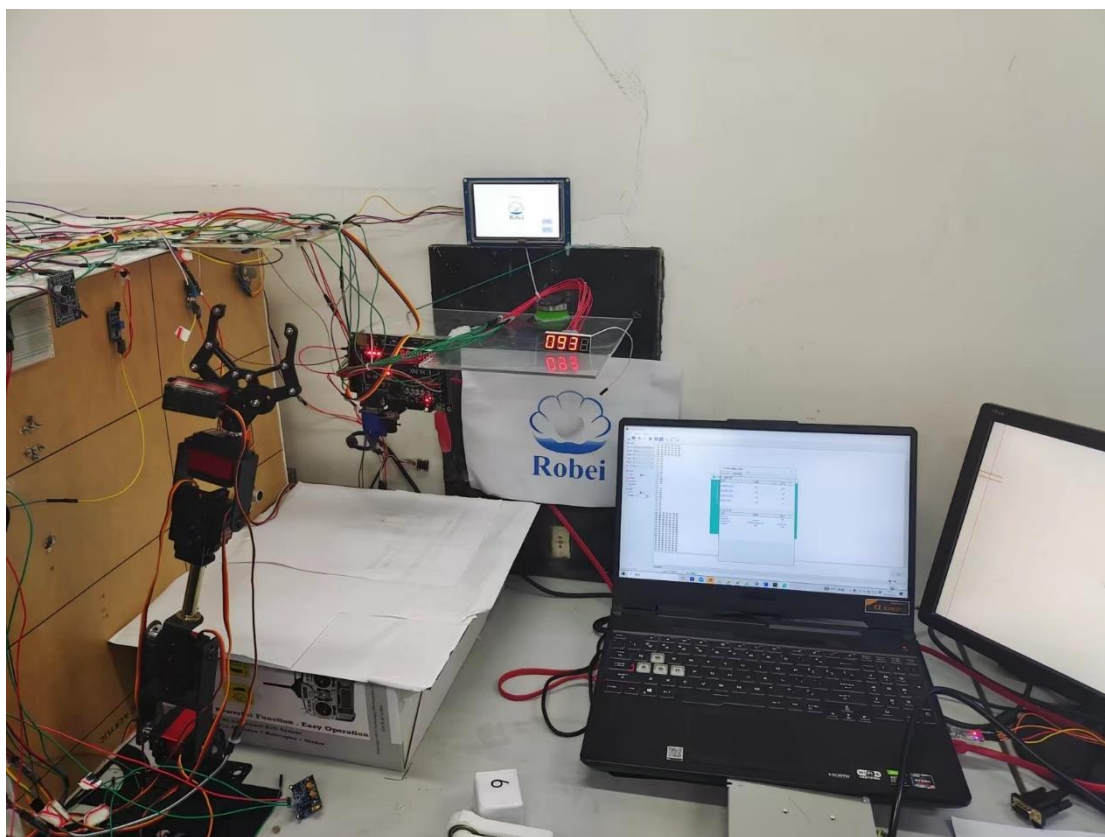
团队成员：李鑫，李奔江，刘昆儒

**简介：**基于对医药行业的分析，发现机器人在医疗方面能够使人类摆脱枯燥重复的劳动，但是市面上已有的机器人并不能够满足灵活多变的机器人需求，预估市场容量有较大的空间。本团队设计的可重构智慧医药系统适用于多种领域，应用串口屏，语音识别及多种通信方式，具有识别，分拣，监控，报警，交互的功能，可以达到提升工作效率，节省人力物力财力的目的，符合当前市场的需求。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:** Based on the analysis of the pharmaceutical industry, it is found that robots can free humans from boring and repetitive labor in medical treatment, but the existing robots on the market cannot meet the needs of flexible robots, and it is estimated that the market capacity has a large space. The reconfigurable smart medicine system designed by the team is suitable for a variety of fields, the application of serial port screen, voice recognition and a variety of communication methods, with the functions of identification, sorting, monitoring, alarm, interaction, can achieve the purpose of improving work efficiency, saving manpower, material and financial resources, in line with the current market demand. After system design and debugging, the robot can meet the expected requirements, and over time, the robot can be continuously improved, which can better serve the industry.

**关键字：**Robei 机器人 EDA FPGA

**Key Words:** Robei Robot EDA FPGA



## 1、简介（Introduction）

近年来，医疗与健康已经成为人们广泛关注的话题。并且随着集成电路与人工智能的发展，科技在医疗中发挥着越来越大的作用。对此，我们基于对医疗行业的分析，发现智慧取药系统能够让医护逐渐摆脱重复的人力劳动，可以让医疗资源更高效的应用，以便更好的服务人类，只需要在终端进行传输命令就可以实时控制系统，同时控制摄像头及相关设备的工作，系统拥有多种传感器，通过多传感器的融合，使该系统拥有多种环境感知能力，同时将信息可以传送至终端，同时该系统拥有报警功能，当环境出现异常时，系统会触发报警系统提醒异常情况。

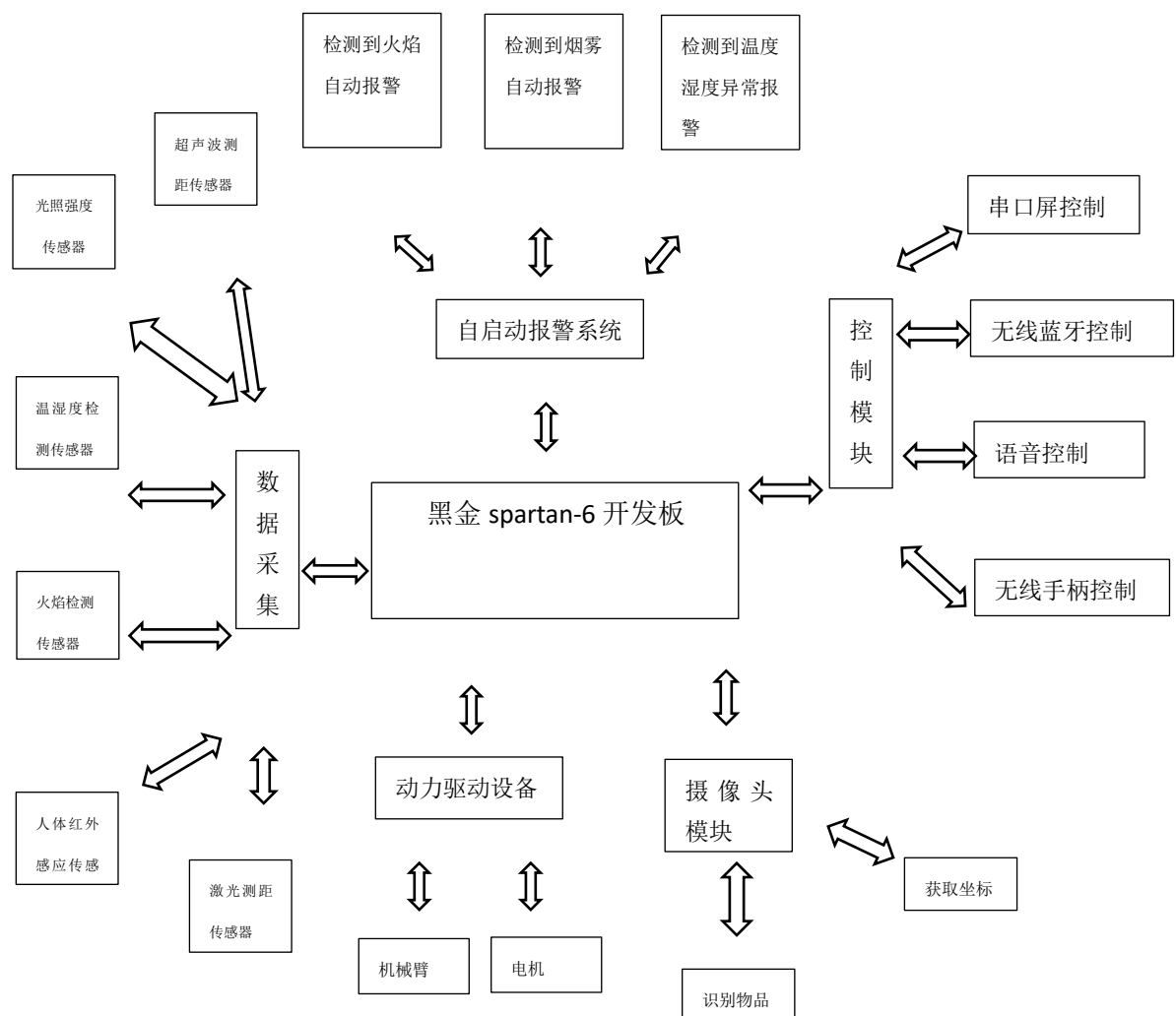
在医疗领域，有些医疗垃圾或者环境比较危险，人无法直接接触到达，基于可重构，该系统可以被搭载于可移动平台，通过无线蓝牙终端发出指令来控制平台及机械臂的运动实现远程处理工作，同时将收集到的环境信息传输至无线终端上，达到监测环境的功能以及更好控制移动平台的作用。同时，对于医院取药等大量简单重复性工作，以及近年来医护比例的现况，通过人工智能

机器人取药可以节约大量的医疗资源，并且提升医院接待患者的效率。促进医疗事业的发展。

该系统同时可使用串口屏，语音识别，语音播报，只有在串口屏输入密码进入系统后才可使用该系统，大大的提升了安全性，语音识别语音播报大大的提升了人机交互的能力，为操作系统提升了便利。通过各系统之间的紧密配合，可以在简单、便利的帮助患者在医院取到药品的同时帮助医院预防火灾，有毒气体等巨大伤害事件，同时通过内网加密，更好的保护患者的隐私安全。

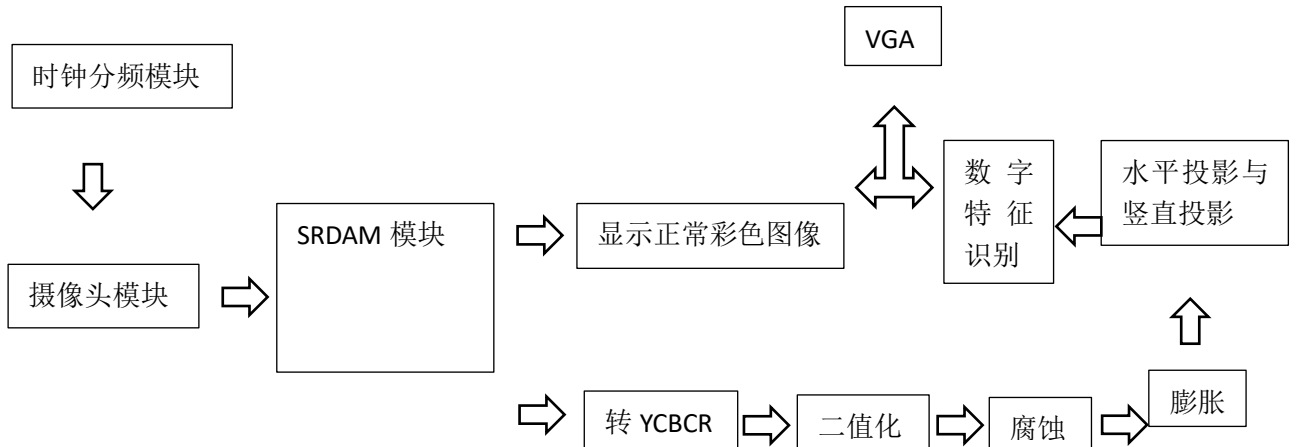
经过系统设计与调试，智慧医药系统可以达到预期的要求，随着时间的推移，此系统还可以不断的完善，可以更好的为行业服务。

## 2、架构设计（Organization）



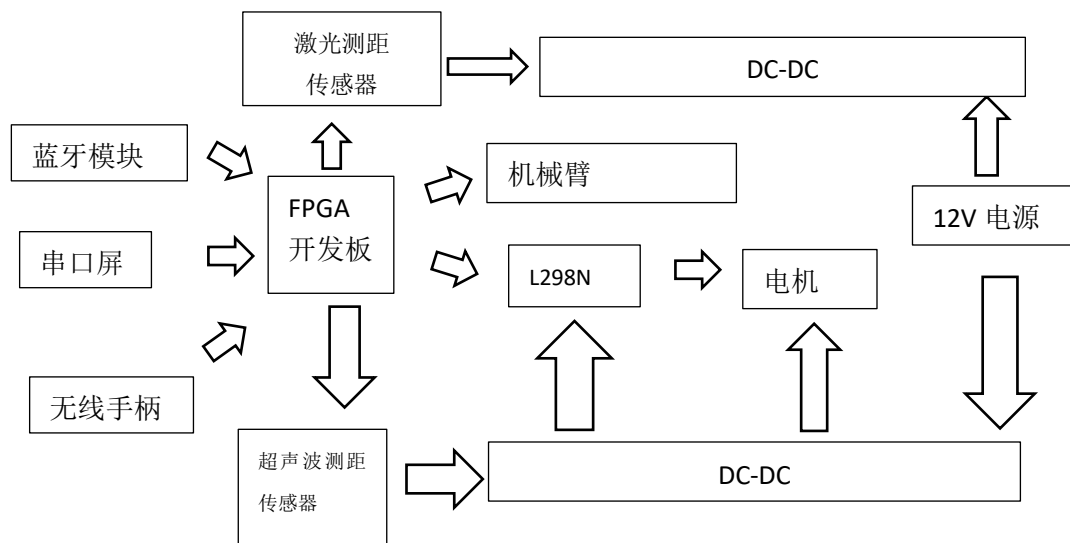
本作品的整体架构框图如上所示，重点详细的模块介绍如下：

## 2.1 摄像头、图像处理模块



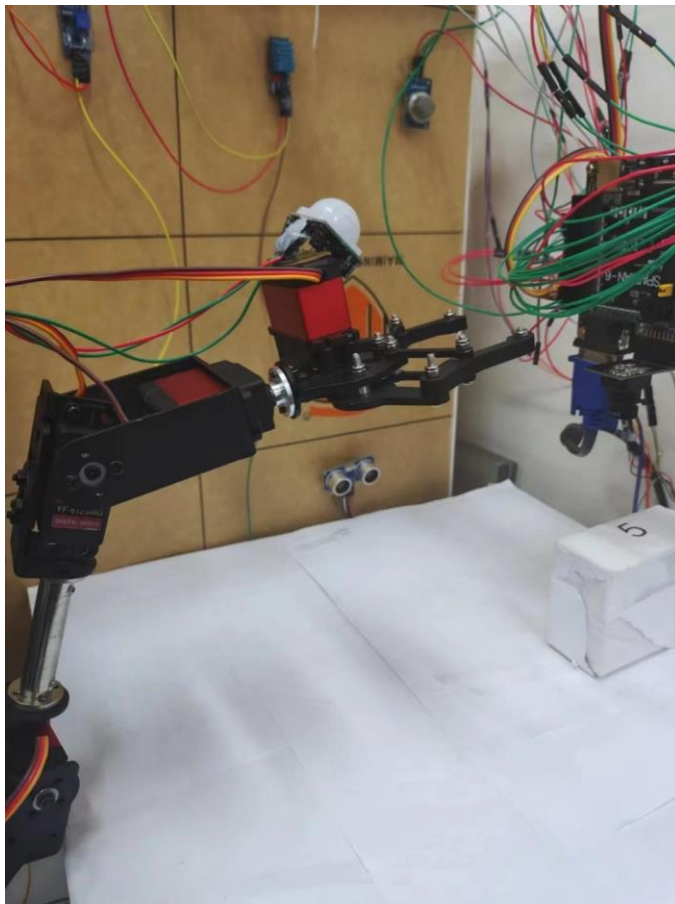
系统由 OV5640、SDRAM 两模块构成，通过配置 OV5640 不断提取 RGB 值并通 过 FIFO 存放入 SDRAM 当中读取，后对数据进行实时逐帧处理，以达到动态捕捉 目标的位置并输出其坐标值的功能。首先将从 SDRAM 读出的数据从 RGB565 转换成 RGB888, 然后将其从 RGB 转成 YCBCR 的格式，同时算出目标特征颜色的 CB, CR 的阈值，阈值是通过将目标的图片生成 mif 文件然后取出其中分布最多的最大和最小值，然后算出其 CBCR 的值，该范 围就是目标特征的阈值。然后通过该阈值将图象二值化，得到二值化图像后，由 于外部因素图象会出现一些噪点，然后通过开运算，即先腐蚀再膨胀来滤除多余 的图象噪点，但是由于非目标上也会出现目标颜色，所以需要对目标有效点进行 计数，当大于一定的阈值后，认定该目标为有效目标，否则舍弃该目标，该阈值 通过试验得到最佳阈值。为了得到目标物体的像素点坐标，然后对提取目标的数字特征识别目标并与所需目标进行比对，从而实现对目标的识别及获取坐标。

## 2.2 控制电路 (Controller)

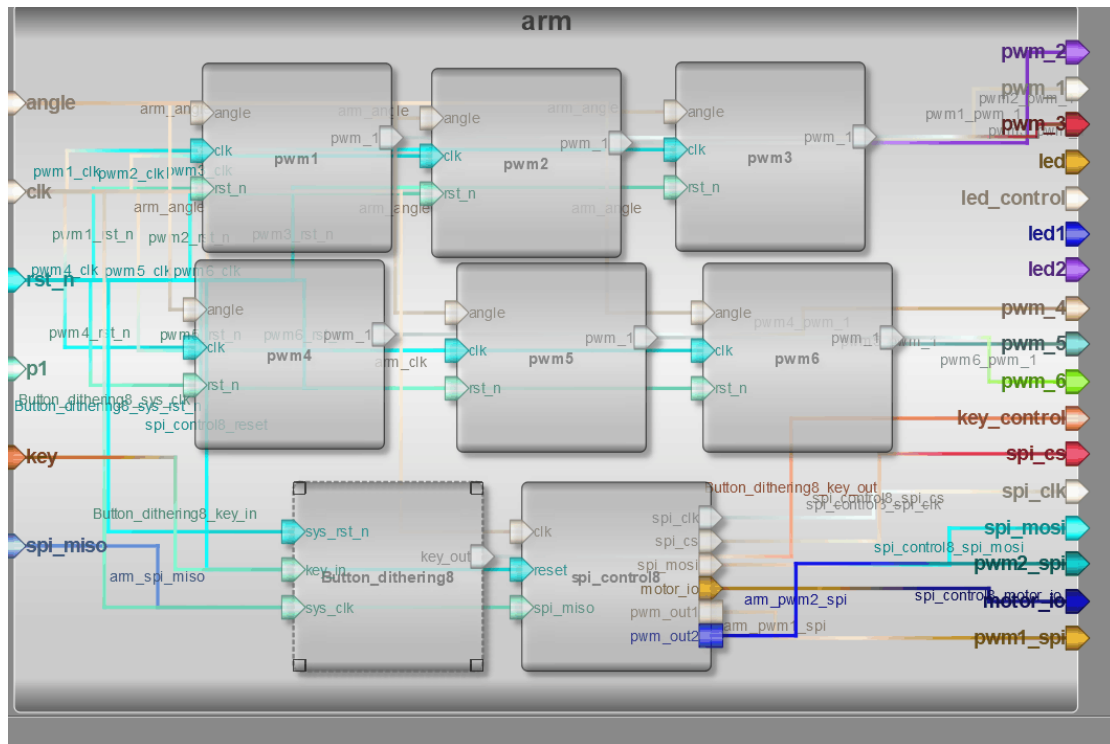


控制电路有 FPGA 开发板，控制机械臂，点击与各传感器及其模块组成。由 FPGA 开发板控制蓝牙模块、串口屏、无线手柄、超声波传感器、激光测距传感器、机械臂、L298N 等模块，控制智能机器人完成对药品的抓取与与运输。

## 2.3 机械臂



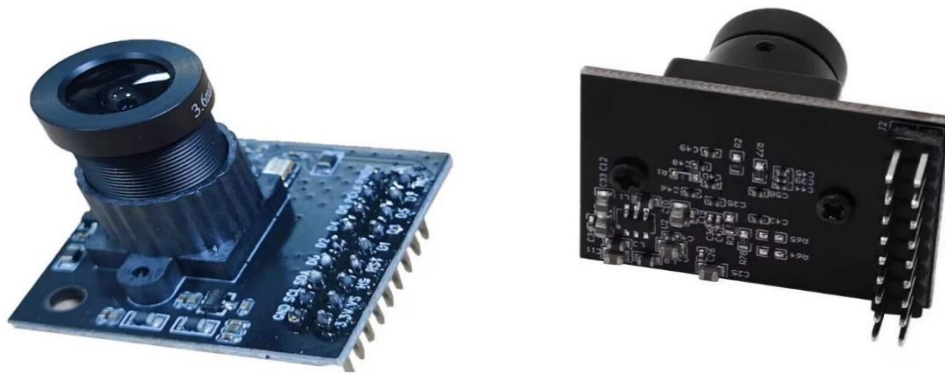




### 3、传感系统（Sensor）

#### 3.1 传感器选型

##### 3.1.1 10V5640 摄像头



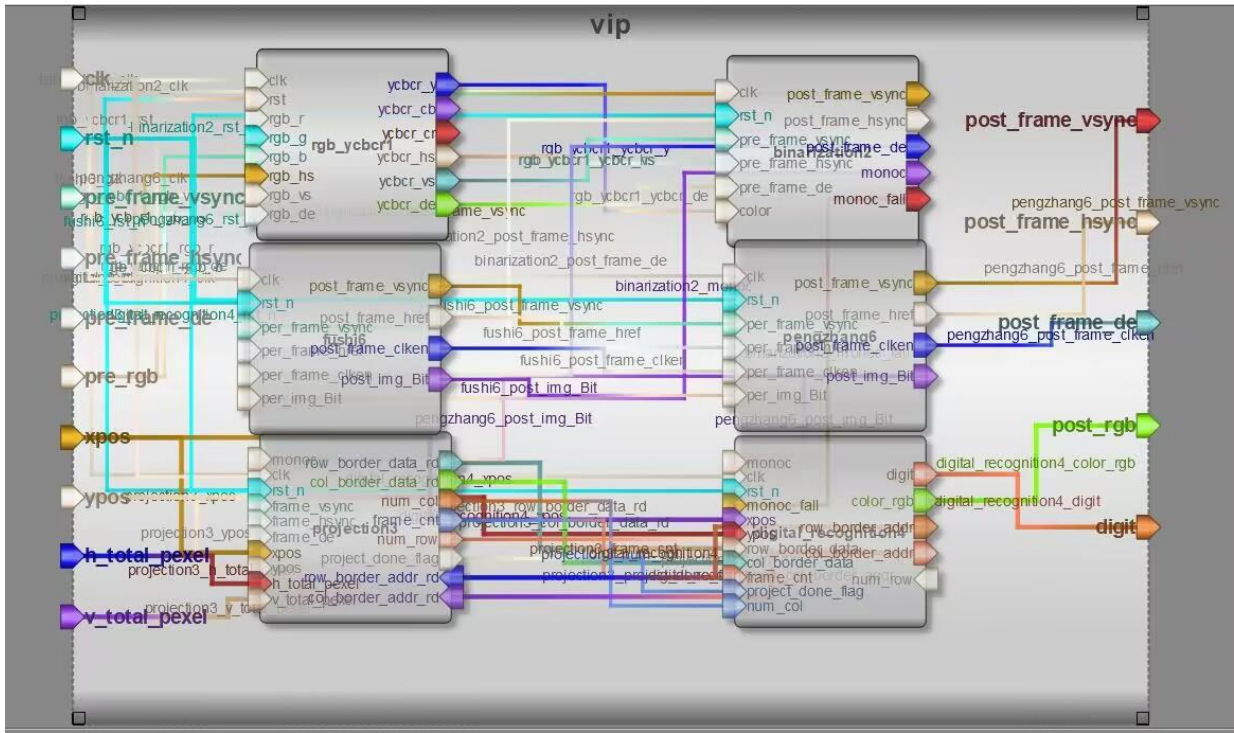
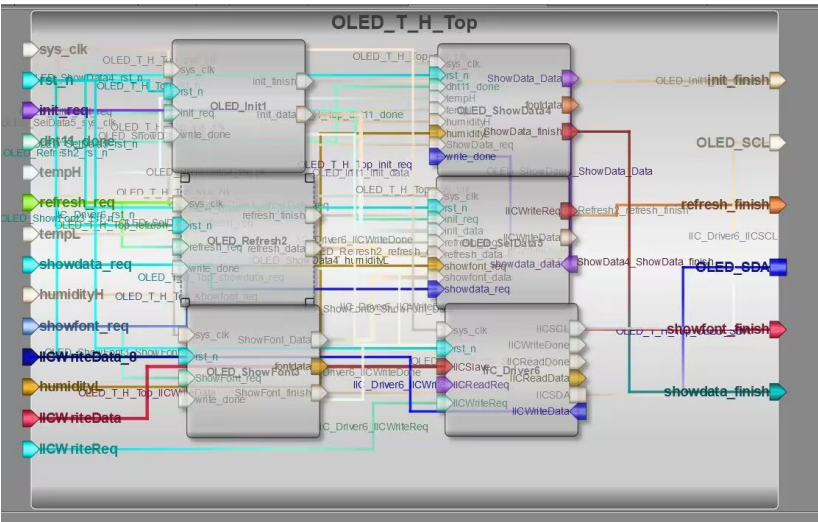


图 0V5640

3. 1. 2 DHT11 温湿度传感器



图 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 3 针单排引脚封装，连接方便。

### 3. 1. 3TOF200F 激光测距传感器



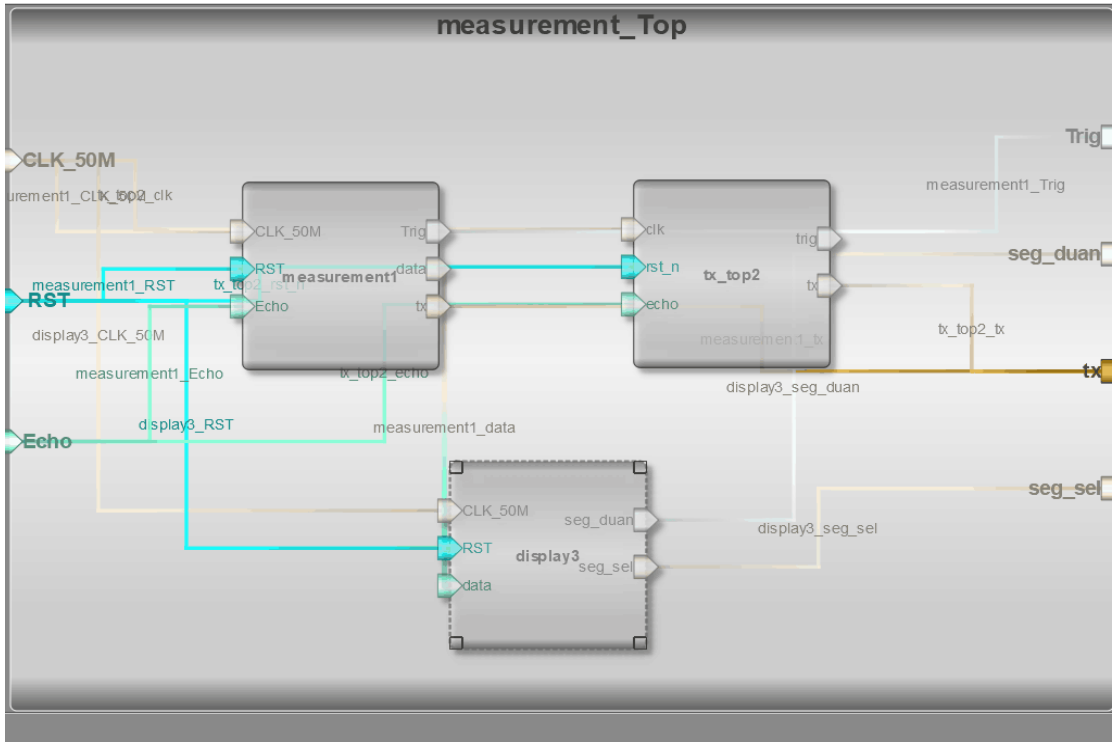
图 TOF 激光测距传感器

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。

### 3. 1. 4 超声波测距传感器



图 超声波测距传感器



超声波是震动频率高于 20khz 的机械波。它具有频率高、波长长短、绕射现象小、方向性好、能够成为射线而定向传播等特点。本模块一个控制口发一个 10us 以上的高电平，就可以在接收口等待高电平输出。一有输出就可以开定时器计时，当此口变为低电平时就可以读定时器的值，此时就为此测距的时间，方可算出距离。如此不断的周期测，就可以达到移动测量的值了。

3.1.5 烟雾检测传感器



图 烟雾检测传感器

MQ135 气体传感器所使用的气敏材料是在清洁空气中电导率较低的二氧化锡(SnO<sub>2</sub>)。当传感器所处环境中存在污染气体时，传感器的电导率随空气中污染气体浓度的增加而增大。使用简单的电路即可将电导率的变化转换为与该气体浓度度相对应的输出信号。

MQ135 气体传感器对氨气、硫化物、苯系蒸汽的灵敏度高，对烟雾和其它有害气体害气体的监测也很理想。这种传感器可检测多种有害气体，是一款适合多种应用的

低成本传感器。

### 3.1.6 光敏电阻传感器模块

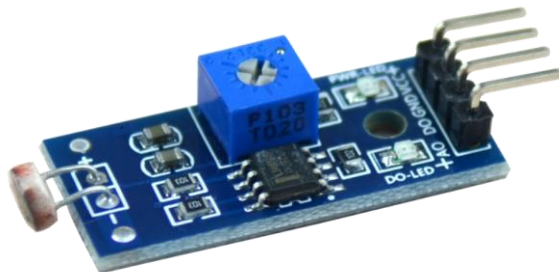


图 光敏电阻传感器

光敏传感器是最常见的传感器之一，它的种类繁多，主要有：光电管、光电倍增管、光敏电阻、光敏三极管、太阳能电池、红外线传感器、紫外线传感器、光纤式光电传感器、色彩传感器、CCD 和 CMOS 图像传感器等。国内主要厂商有 OTRON 品牌等。光传感器是目前产量最多、应用最广的传感器之一，它在自动控制和非电量电测技术中占有非常重要的地位。最简单的光敏传感器是光敏电阻，当光子冲击接合处就会产生电流。

### 3.1.7 火焰传感器模块

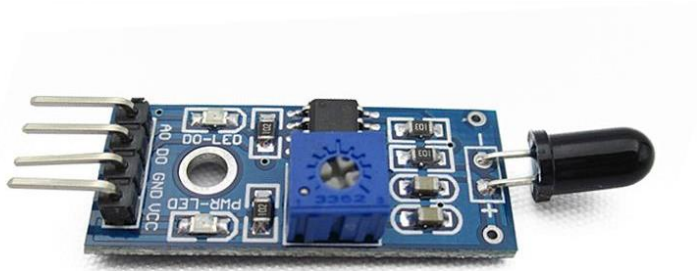


图 火焰传感器

火 火焰传感器是机器人专门用来搜寻火源的传感器，当然火焰传感器也可以用来检测光线的亮度，只是本传感器对火焰特别灵敏。火焰传感器利用红外线对火焰非常敏感的特点，使用特制的红外线接受管来检测火焰，然后把火焰的亮度转化为高低变化的电平信号，输入到中央处理器中，中央处理器根据信号的变化做出相应的程序处理。

### 3.1.8 人体红外传感器





图 人体红外传感器

压电陶瓷类电介质在电极化后能保持极化状态，称为自发极化。自发极化随温度升高而减小，在居里点温度降为零。因此，当这种材料受到红外辐射而温度升高时，表面电荷将减少，相当于释放了一部分电荷，故称为热释电。将释放的电荷经放大器可转换为电压输出。这就是热释电传感器的工作原理。

某些晶体，例如钽酸锂、硫酸三甘肽等受热时，晶体两端会产生数量相等、符号相反的电荷。1842 年布鲁斯特将这种由温度变化引起的电极化现象正式命名为“pyroelectric”，即热释电效应。红外热释电传感器就是基于热释电效应工作的热电机红外传感器其结构简单坚固，技术性能稳定，被广泛应用于红外检测报警、红外遥控、光谱分析等领域，是目前使用最广的红外传感器热释电传感器的滤光片为带通滤光片，它封装在传感器壳体的顶端，使特定波长的红外辐射选择性地通过，到达热释电探测元+在其截止范围外的红外辐射则不能通过。

### 3.1.9 语音识别传感器



图 语音识别传感器

YS-LDV7 模块为一体化语音识别模块，可对用户的语音进行识别。支持中文音素识别，可任意指定中文识别词条(最好小于 8 个字)。识别词条个数为 50 句。可对 0.2 秒至 3.2 秒的语音命令进行响应，响应时间约为 0.4 秒至 1.2 秒。安静环境下，标准普通话，识别率大于 95%。其与计算机或者单片机之间采用串口进行通讯，模块串口采用的是 3.3V/5.0V TTL 电平标准进行通信。模块参数如下图：

型号: YS-LDV7  
名称: 一体化语音识别模块  
规格: 43\*29.7MM  
供电电压: 5V (内部工作电压 3.3V)  
待机电流: 30MA  
识别时电流: 45MA  
IO 口输出: 高电平为 3.3V  
通信方式: 串口通信 (5V TTL 电平, 不可直接接 RS232、RS485)

### 3.1.10 红外避障



图 红外避障

红外避障模块利用光反射原理，模块前端拥有一个红外发射管和一个红外接收管。模块通电后红外发射管向前方不断发射一定频率的红外线，红外线遇到前方障碍物时，射线返回被接收管接收，此时 OUT 输出低电平。如前方无障碍物，射线未被反射，则 OUT 输出高电平。

### 3.1.11 循迹模块

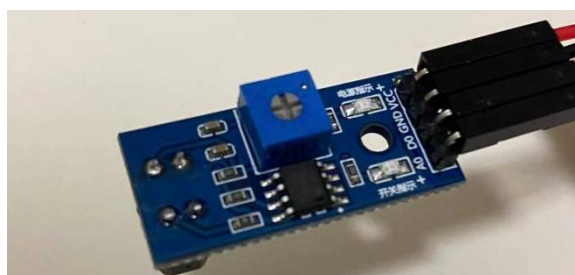


图 循迹模块

模块上配有一个输出指示灯，部分模块还有电源指示灯，我们主要关注输出指示灯。红外发射器一直发射红外线，红外线经发射后被接收，此时输出低电平，输出指示灯点亮。黑色是不反射红外线的，也就是说循迹模块遇到黑线，模块输出高电平，输出指示灯熄灭。当然除了遇到黑线熄灭，当距离太远红外线反射后检测不到，此时指示灯也会熄灭。那么如果要循迹，模块离地面要近，在没有遇

到黑线时确保指示灯长亮，一旦指示灯熄灭就说明遇到黑线了。

### 3.1.12 语音播报



图 SYN6288

- 支持 GB2312、GBK、BIG5 和 UNICODE 内码格式的文本
- 每次合成的文本量最多可达 200 字节
- 支持多种控制命令，包括：合成，停止，暂停合成，继续合成，改变波特率等
- 支持休眠功能，在休眠状态下可降低功耗，支持多种方式查询芯片状态。
- 支持串口数据通讯接口，支持三种通信波特率：9600, 19200, 38400
- 支持 16 级音量调整，播放文本的前景音量和播放背景音乐的背景音量可分开控制。
- 可通过发送控制标志调节词语语速，支持 6 级词语语速调整。
- 芯片内固化有多首和弦音乐、提示音效和针对某行业领域的常见语音提示音。
- 内部继承 19 首声音提示音，23 首和弦提示音，15 首背景音乐
- 内置 10bit 推挽式、可独立供电的功放，进行数模 DAC 输出

### 3.1.13 串口屏

#### 1) 串口屏原理

串口屏将复杂的事情变简单，用户只需要通过串口发送一个命令字符串同样发送其他的命令就可以完成汉字以及图片的显示。串口屏是由液晶



屏+开发板+存储器三部分构成的，由计算机将图片和汉字点阵通过 GpuMaker 程序预先存储到串口屏的存储器中，然后由开发板通过串口发送指令调用显示就可以，编程部分会变得很简单。

## (2) 通信原理

我们在串口屏与 FPGA 信息交互时使用了 UART 通信协议。计算机和外部设备的连接，基本上使用了两类接口：串行接口和并行接口。并行接口是指数据的各个位同时进行传送，其特点是传输速度快，但当传输距离远、位数又多时，通信线路变复杂且成本提高。串行通信是指数据一位位地顺序传送，其特点是适合于远距离通信，通信线路简单，只要一对传输线就可以实现双向通信，从而大大降低了成本。当串口屏被操作者触摸，会有一系列指令数据发出，将发出的信息传送给 FPGA 进行综合处理，FPGA 也会反馈给串口屏一系列数据。在这样的信息传输过程中是以 UART 通讯协议进行通信的。

## 3.2 协议驱动

### 3.2.1 UART 通信协议

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：

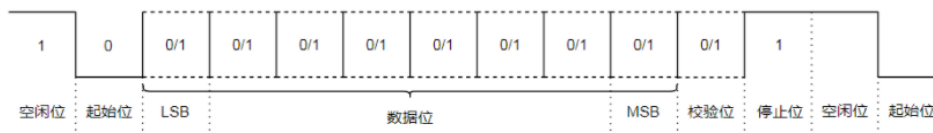


图 异步通信数据格式

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。如果需要进行奇偶校验，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

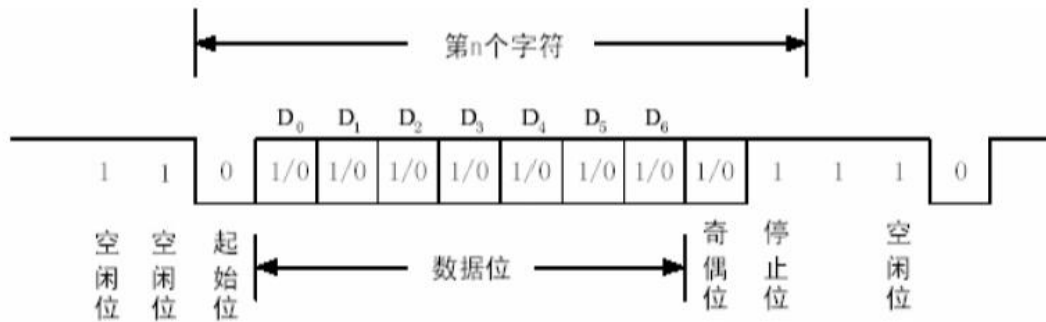


图 串口通讯

**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。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。

### 3.2.2 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。

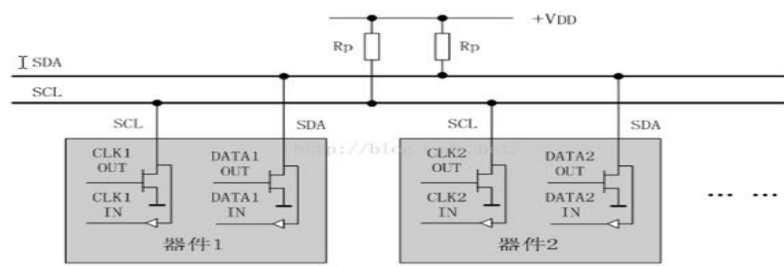


图 典型 IIC 接口

IIC 的协议层

a. 数据的有效性:

在时钟的高电平周期内，SDA 线上的数据必须保持稳定，数据线仅可以在时钟 SCL 为低电平时改变。

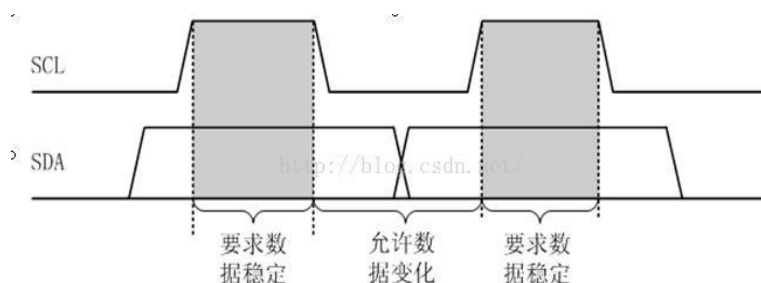


图 数据的有效性

b. 起始和结束条件

起始条件：当 SCL 为高电平的时候，SDA 线上由高到低的跳变被定义为起始条件，结束条件：当 SCL 为高电平的时候，SDA 线上由低到高的跳变被定义为停止条件，要注意起始和终止信号都是由主机发出的，连接到 I2C 总线上的器件，若具有 I2C 总线的硬件接口，则很容易检测到起始和终止信号。总线在起始条件之后，视为忙状态，在停止条件之后被视为空闲状态。

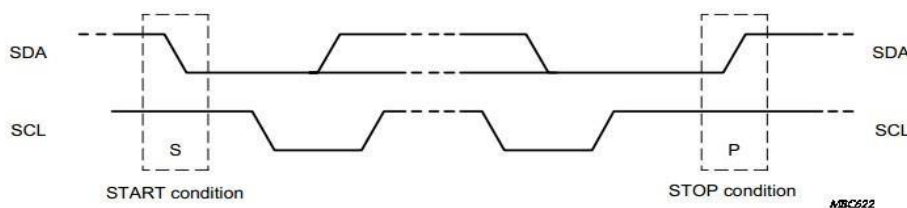


图 起始和结束条件

应答:

每当主机向从机发送完一个字节的的数据，主机总是需要等待从机给出一个应答信号，以确认从机是否成功接收到了数据，从机应答主机所需要的时钟仍是主机提供的，应答出现在每一次主机完成 8 个数据位传输后紧跟着的时钟周期，低电平 0 表示应答，1 表示非应答。

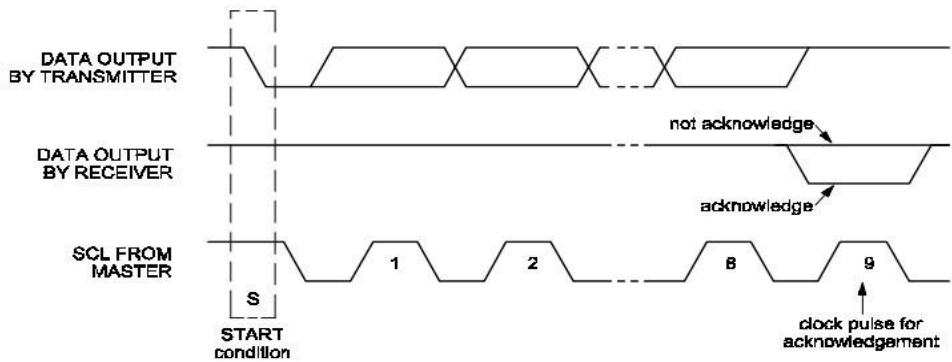


图 IIC 总线的响应

I2C 总线上传送的数据信号是广义的，既包括地址信号，又包括真正的数据信号。在起始信号后必须传送一个从机的地址（7 位），第 8 位是数据的传送方向位（R/T），用“0”表示主机发送数据（T），“1”表示主机接收数据（R）。每次数据传送总是由主机产生的终止信号结束。但是，若主机希望继续占用总线进行新的数据传送，则可以不产生终止信号，马上再次发出起始信号对另一从机进行寻址。

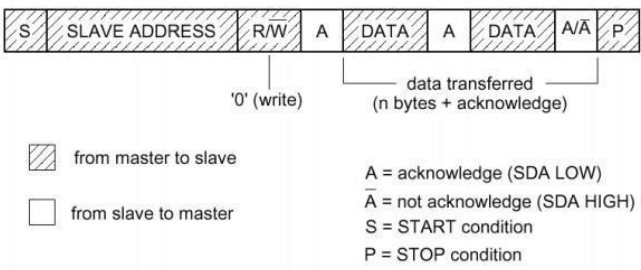


图 数据帧格式

### 3.2.3 SPI 通信协议

SPI 的英文全称为 Serial Peripheral Interface，顾名思义为串行外设接口。SPI 是一种同步串行通信接口规范，主要应用于嵌入式系统中的短距离通信。该接口由摩托罗拉在 20 世纪 80 年代中期开发，后发展成了行业规范。

它以主从方式工作，这种模式通常有一个主设备和一个或多个从设备，有

三线制和四线制之分。信号线包括 SDI(串行数据输入 Serial Digital IN)、SDO(串行数据输出 Serial Digital OUT)、SCLK(时钟)、CS(片选)。

- SDO/MOSI - 主设备数据输出, 从设备数据输入
- SDI/MISO - 主设备数据输入, 从设备数据输出
- SCLK - 时钟信号, 由主设备产生
- CS/SS - 从设备使能信号, 由主设备控制。

当有多个从设备的时候, 因为每个从设备上都有一个片选引脚接入到主设备机中, 当主设备和某个从设备通信时将需要将设备片选引脚电平拉低(一般低有效)。

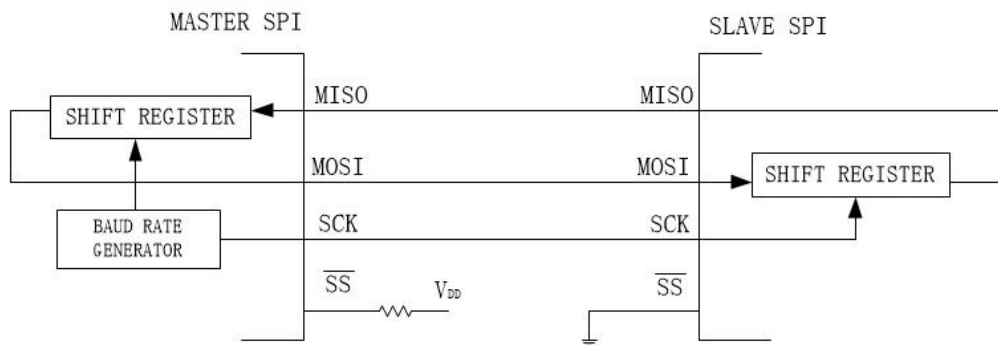


图 硬件结构

**数据传输:** 在 SPI 通信中, SPI 主机设备以从机设备支持的频率通过 SCLK 线给到 SPI 从机设备, 这也意味着从机是无法主动向主机发送数据的, 只能主机轮询向从机发或者从机设备主动通过一个 I/O 口来告知主机数据到达。

在 SPI 每个时钟周期内, 都会进行一次全双工数据的传输。主机通过 MOSI 线上发送 1bit 时, 从机也会在读取到之后通过 MISO 线发送 1bit 数据出去。这说明, 即使只进行单工通信, 也会保持此通信顺序。

SPI 传输通常涉及到两个给定了字长的移位寄存器。例如在主机、从机中的 8bit 的移位寄存器。它们以虚拟环形拓扑连接, 数据通常先从最高有效位被移出。在时钟沿, 主机和从机都移出 1bit 数据从传输线上给到对方。在下一个时钟边沿来到时, 双方的接收器再对传输线上的该 bit 进行采样, 并将其设置为移位寄存器的新的最低有效位。在寄存器位被移出和移入后, 主机和从机交换了寄存器值。如果需要交换更多数据, 则重新加载移位寄存器并重复该过程。传输可以持续任意数量的时钟周期。完成后, 主机停止切换时钟信号。

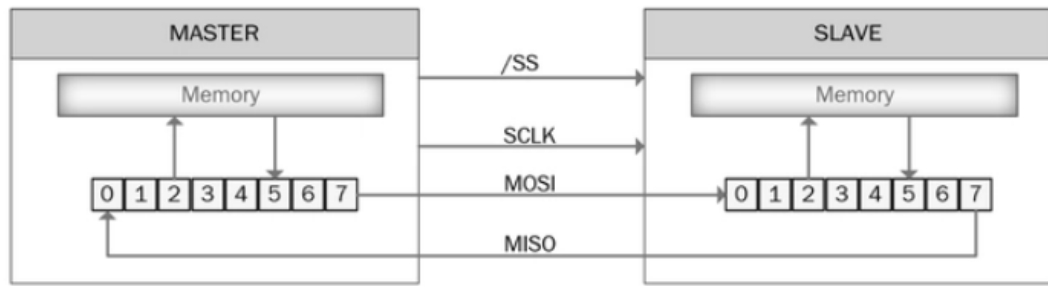


图 主从机交互移位寄存器

通信流程:

1. SPI 主机首先将 SS 或 CS 线拉低，以此来告知 SPI 从机通信开始。
2. 主机通过发送 SCLK 时钟信号，来告知从机即将进行的读写操作。这里的 SCLK 时钟信号是由 SPI 的模式来决定是高电平还是低电平有效的，这点在稍后会进行介绍。
3. 主机(Master) 将要发送的数据写到发送数据缓存区 (Memory)，缓存区经过移位寄存器 (0 ~ 7)，串行移位寄存器通过 MOSI 信号线将字节一位一位地移出去传送给从机，同时 MISO 接口接收到的数据经过移位寄存器一位一位地移
4. 从机(Slave) 也将自己的串行移位寄存器 (0 ~ 7) 中的内容通过 MISO 信号线返回给主机。同时通过 MOSI 信号线接收主机发送的数据，这样，两个移位寄存器中的内容就被交换。

通讯模式：SPI 通信有 4 种不同的模式，不同的从设备可能在出厂是就是配置为某种模式，这是不能改变的；但我们的通信双方必须是工作在同一模式下，所以我们可以对我们的主设备的 SPI 模式进行配置，通过 CPOL（时钟极性）和 CPHA（时钟相位）来控制我们主设备的通信模式时钟极性 CPOL 是用来配置 SCLK 的电平出于哪种状态时是空闲态或者有效态，时钟相位 CPHA 是用来配置数据采样是在第几个边沿：

CPOL=0，表示当 SCLK=0 时处于空闲态，所以有效状态就是 SCLK 处于高电平时；  
 CPOL=1，表示当 SCLK=1 时处于空闲态，所以有效状态就是 SCLK 处于低电平时；  
 CPHA=0，表示数据采样是在第 1 个边沿，数据发送在第 2 个边沿；  
 CPHA=1，表示数据采样是在第 2 个边沿，数据发送在第 1 个边沿。

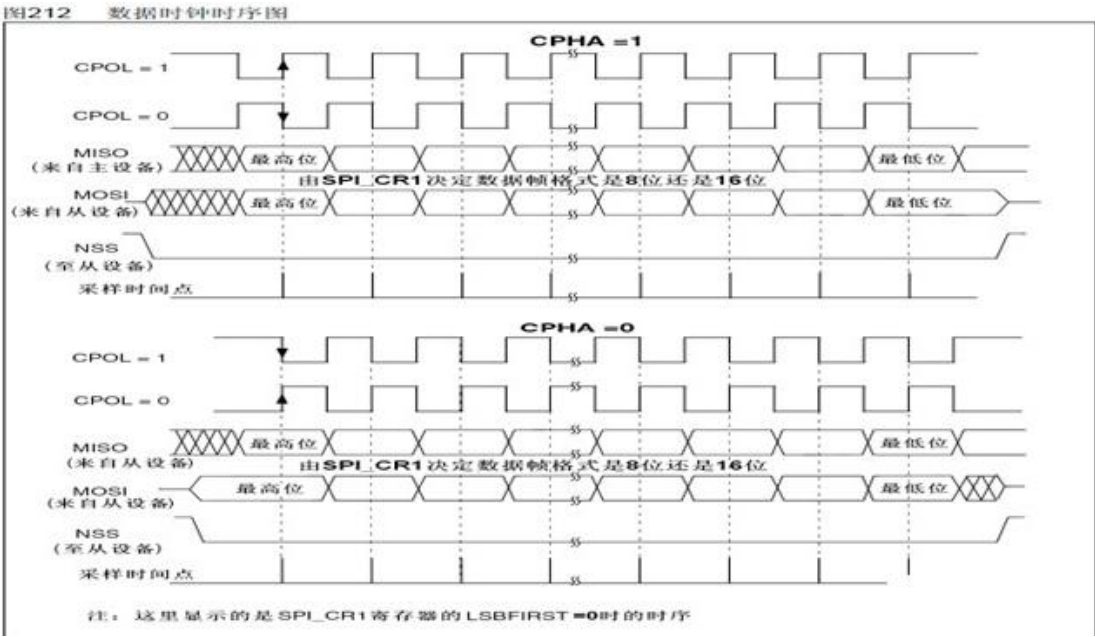


图 SPI 通讯模式

3.2.4 VGA 显示协议

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。

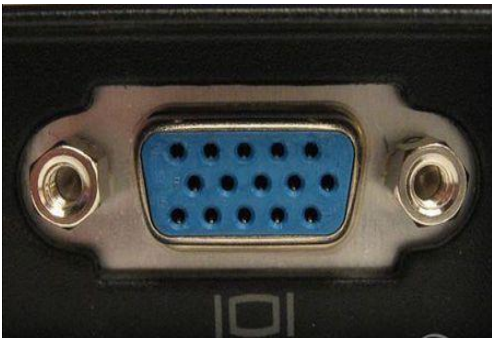


图 2.2.12 VGA 接口实物图



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）

图 2.2.13 VGA 引脚图及各引脚功能介绍

VGA 协议简述

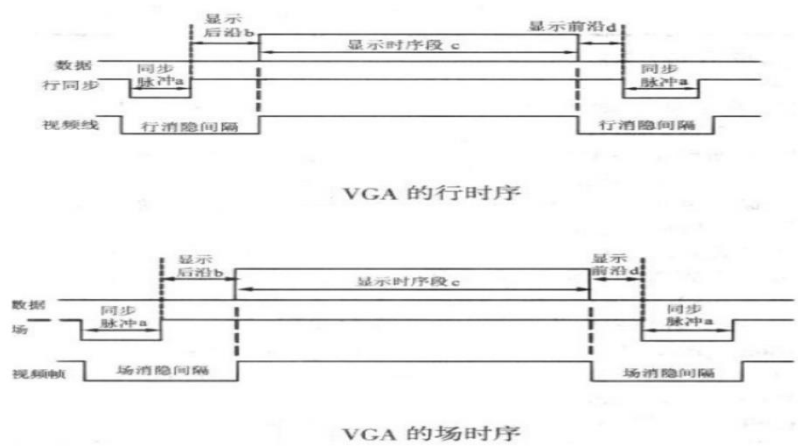


图 2.2.14 VGA 协议时序图

VGA 中定义行时序和场时序都需要同步脉冲、显示后沿、显示时序段和显示前沿四部分。VGA 工业标准显示模式要求：行同步，场同步都为负极性，即同步脉冲要求是负脉冲。

由 VGA 的行时序可知：没一行都有一个负极性行同步脉冲，是数据行的结束标志，同时也是下一行的开始标志。在同步脉冲之后为显示后沿，在显示时序段显示器为亮的过程，RGB 数据驱动一行上的每一个像素点，从而显示一行。在一行的最后为显示前沿。在显示时间段之外没有图像投射到屏幕是插入消隐信号。

同步脉冲、显示后沿和显示前沿都是在行消隐间隔内，当消隐有效时，RGB 信号无效，屏幕不显示数据。

## 4、机械结构（Structure）

### 4.1 直流电机

直流电动机是将直流电能转换为机械能的电动机。因其良好的调速性能而在电力拖动中得到广泛应用。直流电机由定子和转子组成。当直流电源通过电刷向电枢绕组供电时，电枢表面的 N 极下导体可以流过相同方向的电流，根据左手定则导体将受到逆时针方向的力矩作用；电枢表面 S 极下部分导体也流过相同方向的电流，同样根据左手定则导体也将受到逆时针方向的力矩作用。这样，整个电枢绕组即转子将按逆时针旋转，输入的直流电能就转换成转子轴上输出的机械能。由于直流电机拥有调速性能好，起动力矩大。可以均匀而经济地实现转速调节，所以在位置，速度等控制领域得到广泛应用。所谓“调速性能”，是指电动机在一定负载的条件下，根据需要，人为地改变电动机的转速。直流电动机可以在重负载条件下，实现均匀、平滑的无级调速，而且调速范围较宽。



图 直流电机

电机长度	电机直径	输出轴直径	输出轴长	电压范围	转速	
					6V	12V
38mm	27.5mm	2.3mm	12mm	6-12V	3000r/min	6000r/min

4.2 直流电机驱动器

L298N 型电机驱动器

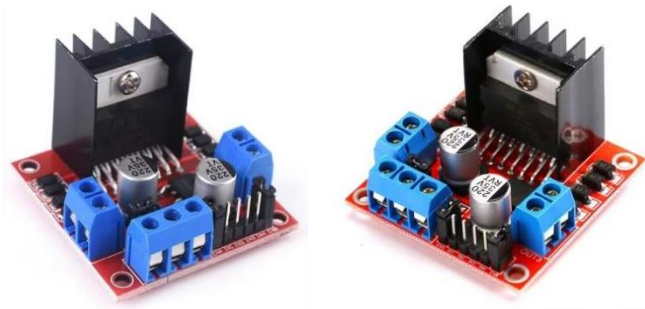


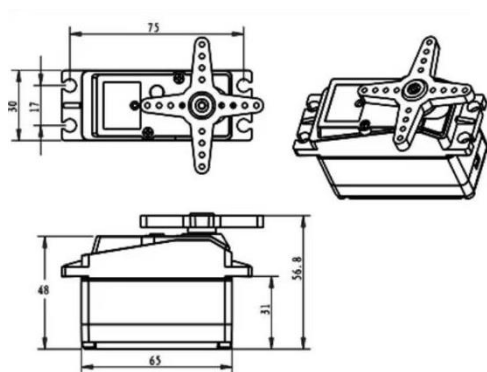
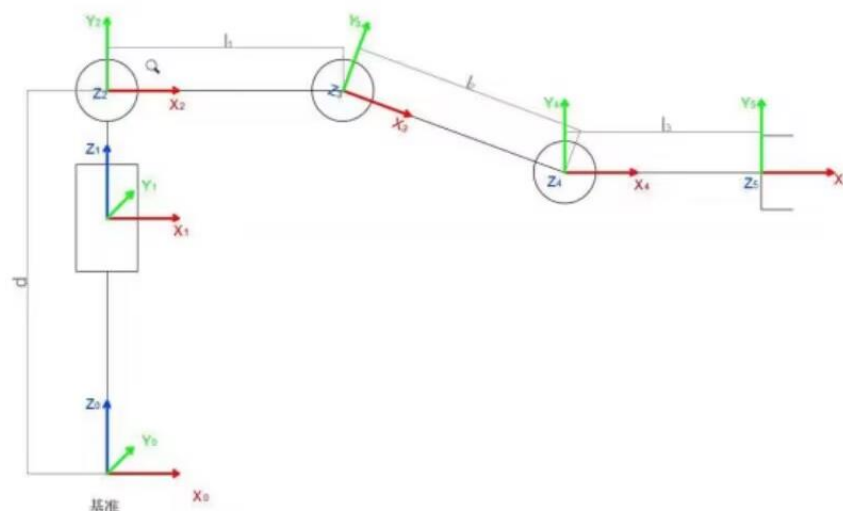
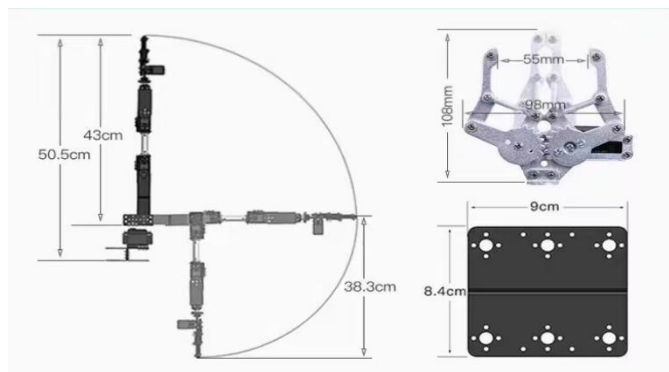
图 L298N 型电机驱动器

该驱动器是一款接受高电压的电机驱动器，直流电机和步进电机都可以驱动。一片驱动芯片可同时控制两个直流减速电机做不同动作，操作简单、稳定性好，可以满足直流电机的大电流驱动条件。在 6V 到 46V 的电压范围内，提供 2 安培的电流，并且具有过热自断和反馈检测功能。输出电流为 2A，最高电流 4A，最高工作电压 50V，可以驱动感性负载，如大功率直流电机，步进电机，电磁阀等等，特别是其输入端可以与单片机直接相连，从而很方便地受单片机控制。当驱动直流电机时，可以直接控制步进电机，并可以实现电机的正转和反转，实现此功能只需要改变输入端的逻辑电平。为了避免电机对单片机的干扰，本模块加入光耦，进行光电隔离，从而使系统能够稳定可靠的工作。

驱动器接口功能和使用如下：

直流电机	旋转方式	IN1	IN2	IN3	IN4
MOTOR-A	正转(调速)	1/PWM	0		
	反转(调速)	0	1/PWM		
	待机	0	0		
	刹车	1	1		
MOTOR-B	正转(调速)			1/PWM	0
	反转(调速)			0	1/PWM
	停止			0	0
	刹车			1	1

### 4.3 机械臂



工作电压	6V	7.4V	8.4V
待机电流	4mA	5mA	6mA
空载转速	0.17sec/60°	0.15sec/60°	0.13sec/60°
堵转扭矩	58 Kg-cm	65 Kg-cm	70 Kg-cm
堵转电流	3.5A	5A	6.2A

## 5. 算法系统 (Algorithm)

### 5.1 RGB 转 YCBCR

在对图像进行处理时，要提取 Y 分量（又叫做灰度值），它的效果相当于把彩色图像转化为黑白图像，彩色图像中一个像素中有 RGB 三种颜色分量，对图像处理时不好处理，一般是把 RGB 图像转为 YCbCr 图像类型，对 Y 分量进行处理。在转为 YCbCr 格式时，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。

#### 5.1.1 RGB 简介

RGB 色彩模式是工业界的一种颜色标准，是通过对红(R)、绿(G)、蓝(B)三个颜色通道的变化以及它们相互之间的叠加来得到各式各样的颜色的，RGB 即是代表红、绿、蓝三个通道的颜色，这个标准几乎包括了人类视力所能感知的所有颜色，是目前运用最广的颜色系统之一。

R: 红色通道 (Red)

G: 绿色通道 (Green)

B: 蓝色通道 (Blue)

#### 5.1.2 YCbCr 简介

YCbCr 或 Y'CbCr 有的时候会被写作：YCBCR 或是 Y'CBCR，是色彩空间的一种，通常会用于影片中的影像连续处理，或是数字摄影系统中。Y' 为颜色的亮度(luma)成分、而 CB 和 CR 则为蓝色和红色的浓度偏移量成份。Y' 和 Y 是不同的，而 Y 就是所谓的流明(luminance)，表示光的浓度且为非线性，使用伽马修正编码处理。

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

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

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

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

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

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

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

上式各个符号都带了一撇, 表示该符号在原值基础上进行了伽马校正, 伽马校正有助于弥补在抗锯齿的过程中, 线性分配伽马值所带来的细节损失, 使图像细节更加丰富, 使图像的层次更加明晰。

由于需要进行浮点数乘法, 而 FPGA 无法进行浮点运算。在此, 我们选择将定点小数转换成整数, 我们选择保留 8 位精度, 即扩大 2 的 8 次方, 得到结果后在除以 2 的 8 次方, 即右移 8 位得到我们需要的参数。

例: 0.183

$$0.183 * 2^8 = 47$$

parameter para\_0183\_8b = 10'd47;

运算后取高 8 位, 相当于右移 8 位取低 8 位

```
assign y_out = y_out_reg[15:8];
```

```
assign cb_out = cb_out_reg[15:8];
```

```
assign cr_out = cr_out_reg[15:8];
```

## 5.2 二值化

一幅图像包括目标物体、背景还有噪声, 要想从多值的数字图像中直接提取出目标物体, 最常用的方法就是设定一个阈值 T, 用 T 将图像的数据分成两部分: 大

于  $T$  的像素群和小于  $T$  的像素群。这是研究灰度变换的最特殊的方法，称为图像的二值化。在进行完 YCbCr 处理后，我们选择对每一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推测了一个大概的灰度阈值，来使得目标物品更容易被检测到。

### 5.3 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。

“结构元素”又称为核，其中核心，叫做“锚点”，我们经过测试，发现  $3 \times 3$  的核腐蚀膨胀效果最好



原图

腐蚀

膨胀

我们在经过开运算，闭运算的测试后，采用开运算处理效果更满足我们的需求。

### 5.4 竖直投影与水平投影

#### 5.4.1 背景知识

图像对应方向的投影，就是在该方向取一条直线，统计垂直于该直线（轴）的图像上的像素的黑点数量，累加求和作为该轴该位置的值；基于图像投影的切割就是将图像映射成这种特征后，基于这种特征判定图像的切割位置（坐标），用这个坐标来切割原图像，得到目标图像。

#### 5.4.2 OTSU 算法

OTSU 算法是由日本学者 OTSU 于 1979 年提出的一种对图像进行二值化的高效算法。最大类间方差法是由日本学者大津于 1979 年提出的，是一种自适应的阈值确

定的方法,又叫大津法,简称 OTSU。它是按图像的灰度特性,将图像分成背景和目标 2 部分。背景和目标之间的类间方差越大,说明构成图像的 2 部分的差别越大,当部分目标错分为背景或部分背景错分为目标都会导致 2 部分差别变小。因此,使类间方差最大的分割意味着错分概率最小。对于图像  $I(x, y)$ ,前景(即目标)和背景的分割阈值记作  $T$ ,属于前景的像素点数占整幅图像的比例记为  $\omega_0$ ,其平均灰度  $\mu_0$ ;背景像素点数占整幅图像的比例为  $\omega_1$ ,其平均灰度为  $\mu_1$ 。图像的总平均灰度记为  $\mu$ ,类间方差记为  $g$ 。假设图像的背景较暗,并且图像的大小为  $M \times N$ ,图像中像素的灰度值小于阈值  $T$  的像素个数记作  $N_0$ ,像素灰度大于阈值  $T$  的像素个数记作  $N_1$ ,则有:

$$\omega_0 = N_0 / (M \times N) \quad (1)$$

$$\omega_1 = N_1 / (M \times N) \quad (2)$$

$$N_0 + N_1 = M \times N \quad (3)$$

$$\omega_0 + \omega_1 = 1 \quad (4)$$

$$\mu = \omega_0 * \mu_0 + \omega_1 * \mu_1 \quad (5)$$

$$g = \omega_0 (\mu_0 - \mu)^2 + \omega_1 (\mu_1 - \mu)^2 \quad (6)$$

$$\text{将式(5)代入式(6),得到等价公式: } g = \omega_0 \omega_1 (\mu_0 - \mu_1)^2 \quad (7)$$

采用遍历的方法得到使类间方差最大的阈值  $T$ ,即为所求。

Otsu 算法步骤如下:

设图象包含  $L$  个灰度级  $(0, 1, \dots, L-1)$ ,灰度值为  $i$  的的象素点数为  $N_i$ , 图象总的象素点数为  $N = N_0 + N_1 + \dots + N_{L-1}$ 。灰度值为  $i$  的点的概为:  $P(i) = N(i) / N$ 。

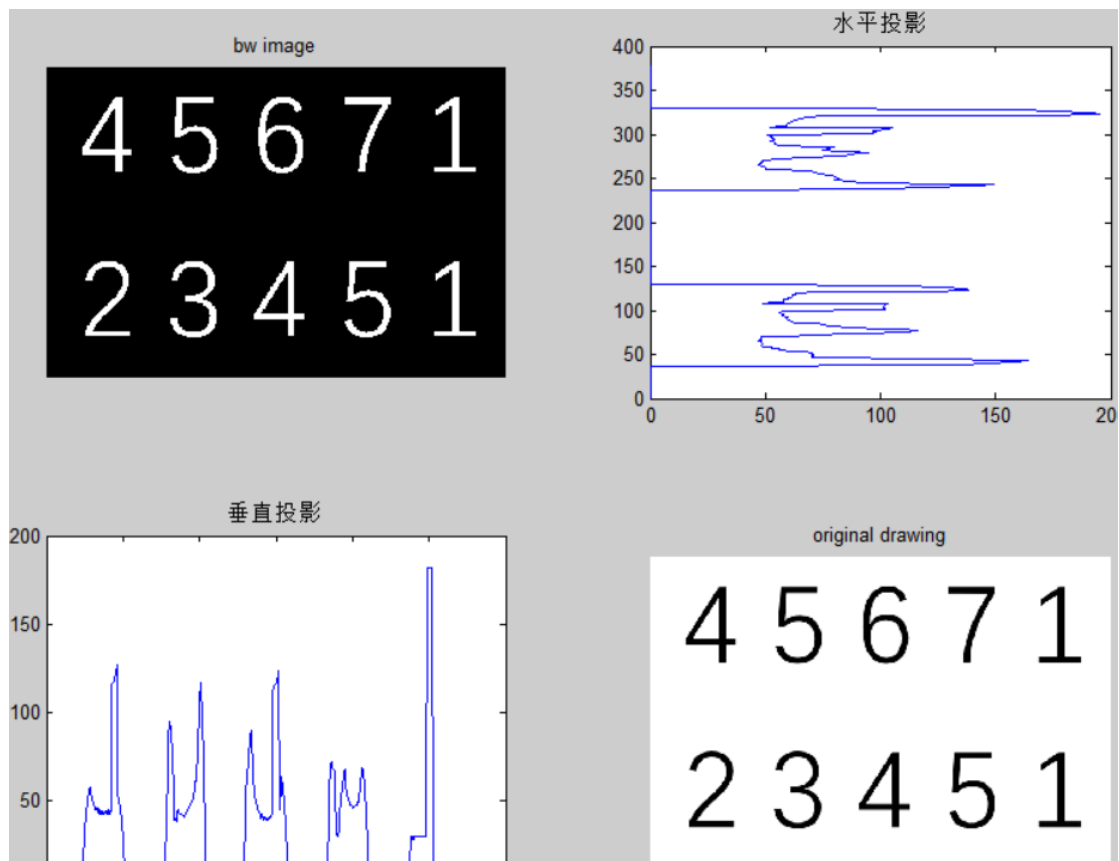
门限  $t$  将整幅图象分为暗区  $c_1$  和亮区  $c_2$  两类,则类间方差  $\sigma$  是  $t$  的函数:

$\sigma = a_1 * a_2 (u_1 - u_2)^2$  式中,  $a_j$  为类  $c_j$  的面积与图象总面积之比,  $a_1 = \sum_{i=0}^t P(i)$ ,  $a_2 = 1 - a_1$ ;  $u_j$  为类  $c_j$  的均值,  $u_1 = \sum_{i=0}^t (i * P(i)) / a_1$ ,  $u_2 = \sum_{i=t+1}^{L-1} (i * P(i)) / a_2$ ,  $t+1 \rightarrow L-1$  该法选择最佳门限  $\hat{t}$  使类间方差最大,即:令  $\Delta u = u_1 - u_2$ ,  $\sigma_b = \max \{a_1(t) * a_2(t) \Delta u^2\}$ 。

### 5.4.3 水平垂直投影

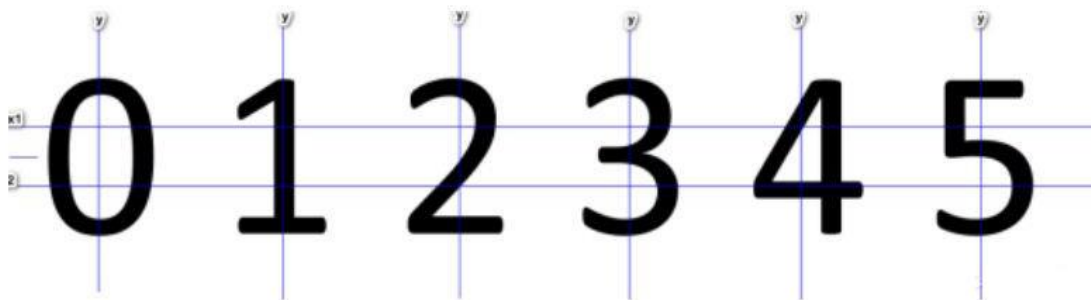
水平投影是指二维图像按列向  $x$  轴方向投影垂直投影是指二维图象按行向  $y$  轴方向投影投影的结果可以看成是一维图像。





### 5.5 数字特征算法

我们采用基于数字特征的算法进行数字的识别，通过图像采集模块采集到图像，对每个数字的边界定位然后进行数字特征的提取和统计来完成对数字的识别，完成图像信息到数字信息的转化。



## 6、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、多传感器、移动平台进行了分模块设计，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。在另外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：在最终测试中机械臂工作状态并不正常，检测后发现是电压问题，因此我们将机械臂的供电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 85 的概率可以正确检测到识别物体，但是受光线等外部环境的影响较大，在联合调试中识别率仅为百分之 70 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 85。

## 7、未来发展与提升（Future Work）

### 7.1 精确度

在目标识别中，对目标的特征可以提取的更加充分，比如识别目标的形状，或者其他一些可以精准识别的特征，用卷积来实现对目标的识别，以此来对目标识别的更加准确。同时，可以对机械臂的动作进行细分，更加精准的抓取识别物品，实现更加精细的工作。通过各传感器与算法之间的配合，进一步提升机械臂的精确度。

### 7.2 成本

制作一个总平台，通过该平台可以将很多个该系统的数据通过无线传输到一个总系统中，以便于各个系统可以实时共享信息监控达到一总控制实现人工成本的降低。同时，由于设备有限，本作品只采用了一个主机，而蓝牙模块可以实现一对多的控制，所以在未来我们可以尝试用大量的从机设备做更多工作，该系统的工作效率，达到资源利用的最大化。

### 7.3 多数据分析

本系统目前利用各种通信协议，已经实现了串口屏，语音识别，蓝牙，无线遥控进行简控制。目前拥有多种传感器配合采集数据，后期可以对采集到的数据进行相关分析，融合出一套更加适合本系统的信息采集存储处理平台，达到更好控制的作用。

### 7.4 多领域应用

可以将本系统应用于其他领域，更改识别对象及执行程序，可以适应多个领域，完成各种任务，服务更多行业。

## 8、总结（Conclusion）

为了本次比赛，我们总共准备了几个月，从最开始选题到组内成员分工，再到完善一些功能，然后再整合整个工程，最后再调试整个作品，从中也收获了很多很多。我们选这个题的灵感来源于日常生活中去医院，看到医院里面的药品取用耗费许多人力，然后我们就想到可以设计一个无人自动取药分拣系统，通过顶层直接控制，减少人工的劳作。在设计整个作品的过程中，由于我们是第一次做出完整的作品，缺乏经验，以前做的都是一些小模块，通过本次比赛，我们增加了许多小模块，将那些小模块变成一整个系统，积累了许多相关部分的经验，当然其中遇到的困难，问题也是非常多的，从简单的舵机转速控制，到像素坐标到舵机转动坐标，从单个传感器的控制，到所有传感器整合进入整个系统，从单目摄像头驱动，到实现图像处理，尽管我们遇到的麻烦有很多，过询问老师和查阅资料，与队友研究讨论得到解决方案并成功解决问题后们所获得的那种成就感与欣慰喜悦是令我们十分充实的，在实现作品的过程中也无形的提升了我们的动手能力，也学到了 ROBEI 软件的使用，从中积累的经验也是非常宝贵的，也感受到了团队合作的重要性。希望我们的作品可以为医院药房的相关问题提供改善，可以更加广泛的被使用，以便于更好的服务大众。通过这次比赛，我们学到了很多，也锻炼了自己的自学能力和动手能力以及团队合作能力，在接下来的日子里，我们组会改善我们的作品，实现其可扩展之处，同时增加自己的知识储备，学习更多的 FPGA 有关的知识，完善作品也完善自己。相信经过此次设计后，我之后在做此类设计时会变得更加轻松，希望在大学期间我们能够拥有更多这样的比赛机会。

## 9、参考资料（References）

- [1] 《7 天搞定 FPGA-Robei 与 Xilinx 实战》：2016 年电子工业出版社出版，ISBN：978-7-121-29310-9

- [2] 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
- [3] 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
- [4] 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.
- [5] 王道宪. CPLD/FPGA 可编程器件应用与开发[M]. 北京: 国防工业出版社, 2003.
- [6] 侯伯华, 数字系统设计基础[M]. 西安电子科技大学出版社, 2000
- [7] SDRAM 详细介绍 <https://www.cnblogs.com/wzx19970918/p/15729087.html>
- [8] YCBCR 与 RGB 转化  
[https://blog.csdn.net/weixin\\_38203533/article/details/80881793](https://blog.csdn.net/weixin_38203533/article/details/80881793)