

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 & Robei EDA 工具的可重构智能陪护机器人

队伍编号\*: CICC4996

团队名称\*: 泰深

## 基于 Robei EDA 工具的可重构智能陪护机器人设计

### Reconfigurable Escort Robot Design with Robei EDA Software

团队名称：泰深

团队编号：CICC4996

团队成员：李知恩，李松阳，李昀臻

**简介：**随着科技的不断发展，老年人的陪护工作正由人工迈向智能化。为了提高医护人员的工作效率、保障老年人的生活体验，本团队设计了一种基于 Robei EDA 工具的可重构智能陪护机器人。设计基于 Robei EDA 工具进行 FPGA 开发，实现视觉、语音、超声测距、光线、温度和湿度的多传感信息融合。同时，配合多自由度机械臂控制与运动避障控制，实现高灵敏与可靠性并存的智能陪护，可以完成人机交互、自动避障、药物运输、温湿度显示、自动照明等看护工作。经过模拟环境测试，显示该机器人可以满足预期的看护需求，且系统可重构行和算法可移植性强，通过适当改造，可适应不同环境与需求。

**Abstract:** With the continuous development of science and technology, the care work of the elderly is moving from artificial to intelligent. In order to improve the work efficiency of medical staff and guarantee the life experience of the elderly, we designed a reconfigurable intelligent escort robot based on Robei EDA tool. FPGA development was carried out based on Robei EDA tool to realize multi-sensor information fusion of vision, speech, ultrasonic ranging, light, temperature and humidity. At the same time, combined with the control of multi-degree of freedom mechanical arm and movement obstacle avoidance control, the intelligent escort with high sensitivity and reliability can be realized, which can complete the care work of human-computer interaction, automatic obstacle avoidance, drug transportation, temperature and humidity display, automatic lighting. The simulation environment test shows that the robot can meet the expected nursing needs, and the system reconfigurable lines and algorithm portability are strong, through appropriate transformation, can adapt to different environments and needs.

**关键字：**Robei EDA，陪护机器人，FPGA，多传感信息融合

**Key Words:** Robei EDA , Escort robot, FPGA, Multi-sensor information fusion

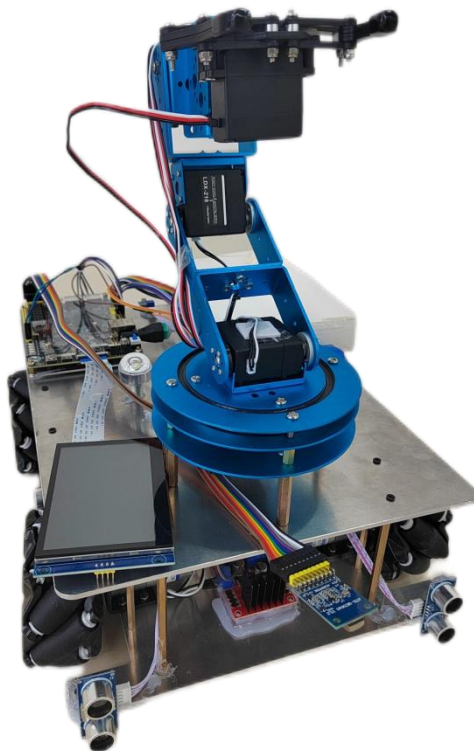


图 1 智能看护机器人外观

## 一、简介（Introduction）

截至 2021 年末，中国全国 60 周岁及以上老年人口 26736 万人，占总人口的 18.9%；全国 65 周岁及以上老年人口 20056 万人，占总人口的 14.2%。全国 65 周岁及以上老年人口抚养比 20.8%，这既反映了我国人口老龄化的既定现实，也揭示了我国如今的社会隐患。

而针对这一现状，民政局发布了《关于开展特殊困难老年人探访关爱服务的指导意见》，而其中所提及的主要目标，即是到 2023 年底前，基本建立特殊困难老年人探访关爱服务机制，各省（自治区、直辖市）结合实际出台实施方案；到 2024 年底，探访关爱服务普遍有效开展；到 2025 年底，确保特殊困难老年人月探访率达到 100%，失能老年人能够得到有效帮扶，探访关爱服务机制更加健全，老年人的获得感、幸福感、安全感进一步增强。

而作为当代大学生，响应国家号召，为关爱留守老人作出贡献本就是我们应该尽的义务，而基于这一点，我们组便计划基于 FPGA 设计一台能为留守老人、失能老人解决日常简单起居问题的可重构机器。

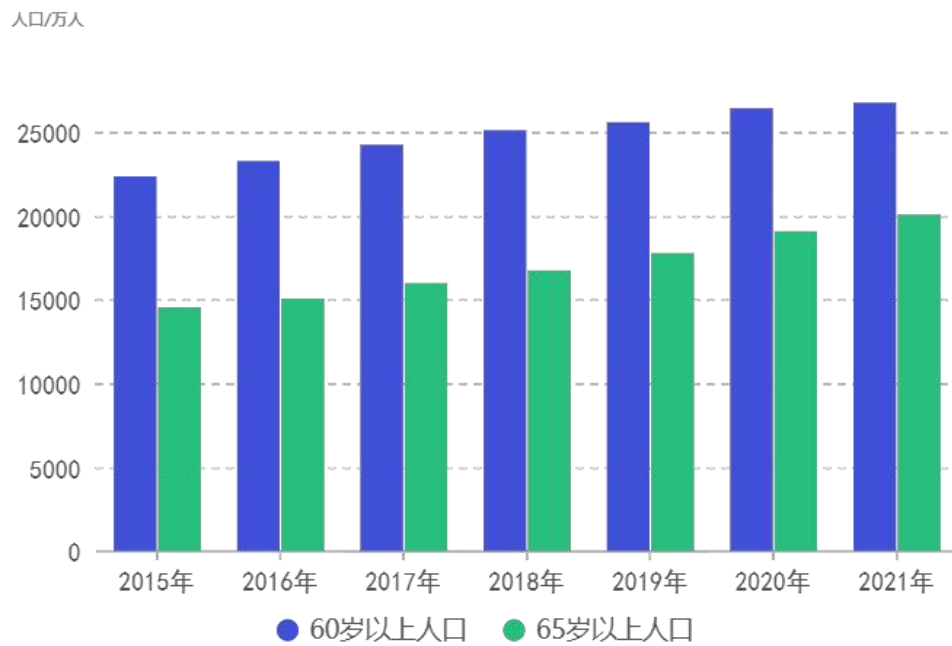


图 2-1 2015-2021 年全国 60 周岁以上老年人数量统计

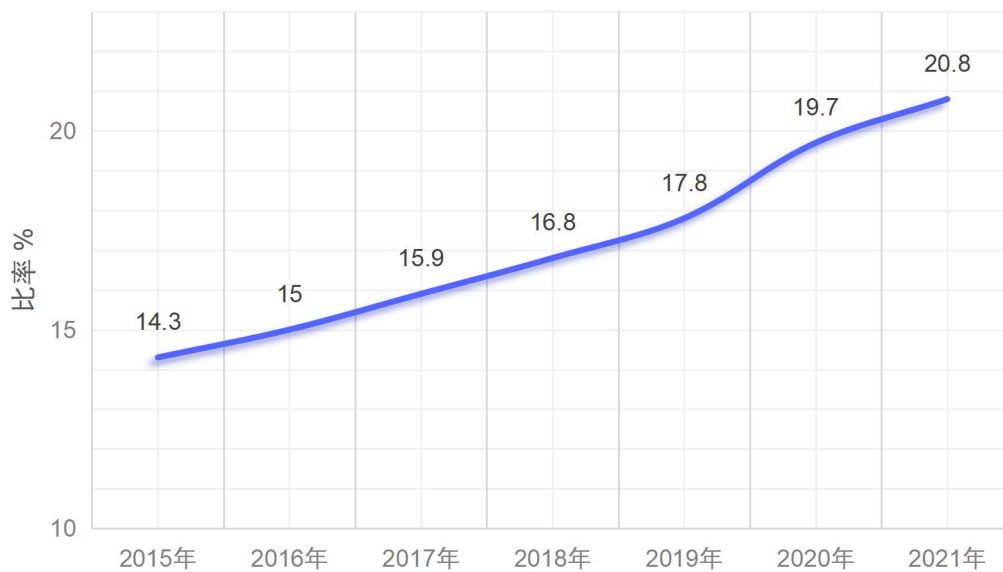


图 2-2 2015 年-2021 年全国 65 周岁及以上老年人口抚养比

且在当前社会,关于留守老人的关怀机器人于国内市面上几乎都只具有通话和健康检测的功能,同质化严重,只能称作智能手机的简化版,并不能真正为老人解决生活中的不便,而国外此类机器人大多面向幼儿,搜寻不到同类产品。而再结合我国人口老龄化的国情,我们团队认为此类老年陪护机器人具有较大的潜在市场和社会意义。

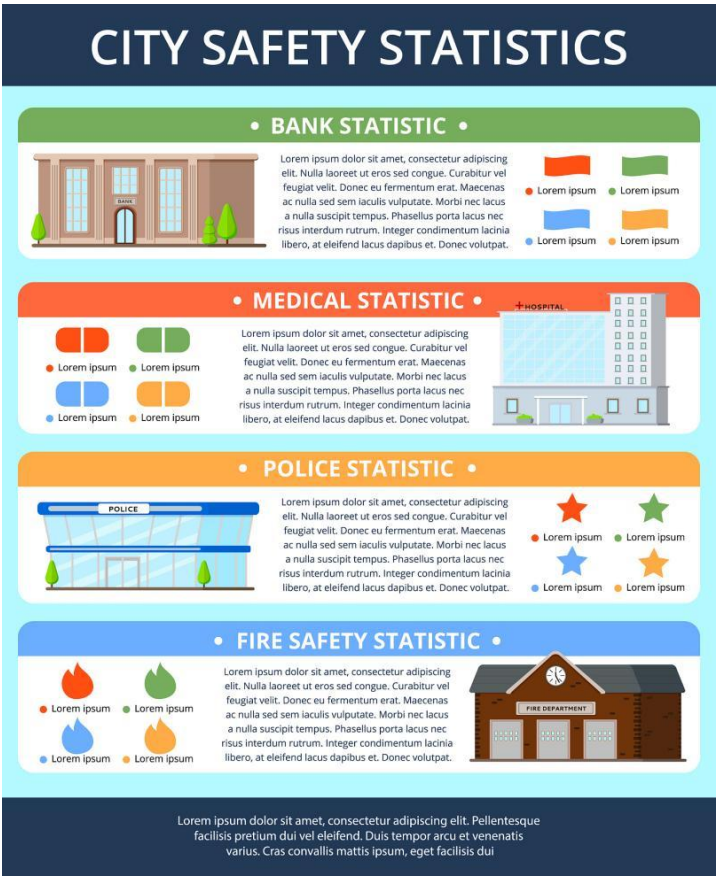


图 3-1 城市安全统计



没有老年陪护机器人的搜索结果。  
请尝试检查您的拼写或使用更多常规术语

**需要帮助?**  
[访问帮助部分](#) 或 [联系我们](#)

图 3-2 国内外养老机器人产品

## 二、架构设计（Organization）

主控制板 Xilinx-xc7a35tfgg484-2 开发板完成整个系统的所有功能，包括视频图像采集与识别、机械臂抓取与投放控制、机器人移动避障控制、语音识别、温湿度显示和照明控制，采用了二值化算法、数字滤波算法、特征值匹配算法、自动避障深度优先算法，可独立完成留守老人陪护功能。

（一）全设计占用资源如下图所示：

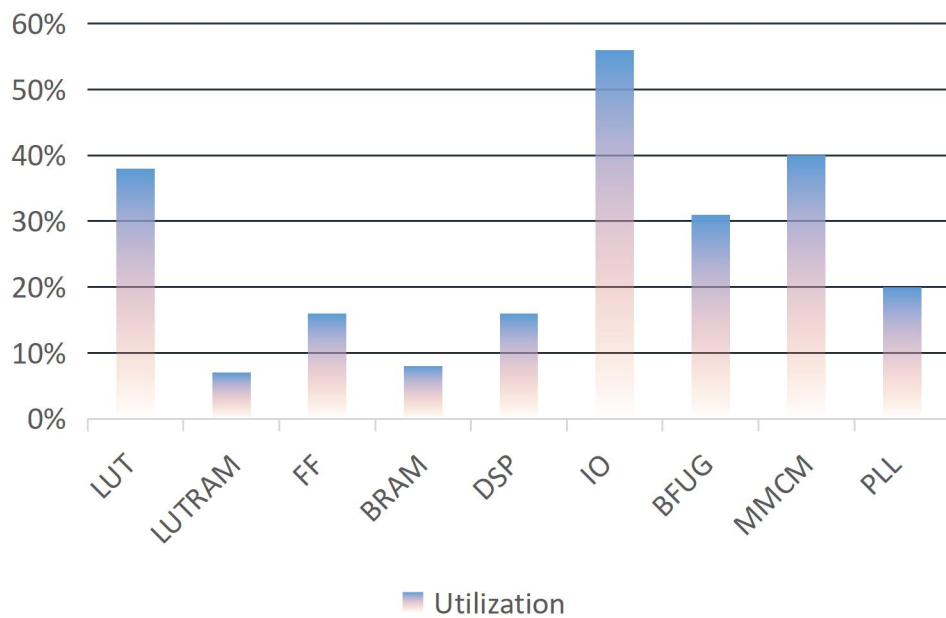


图 4 工程资源占用

（二）整体架构设计如下图所示：

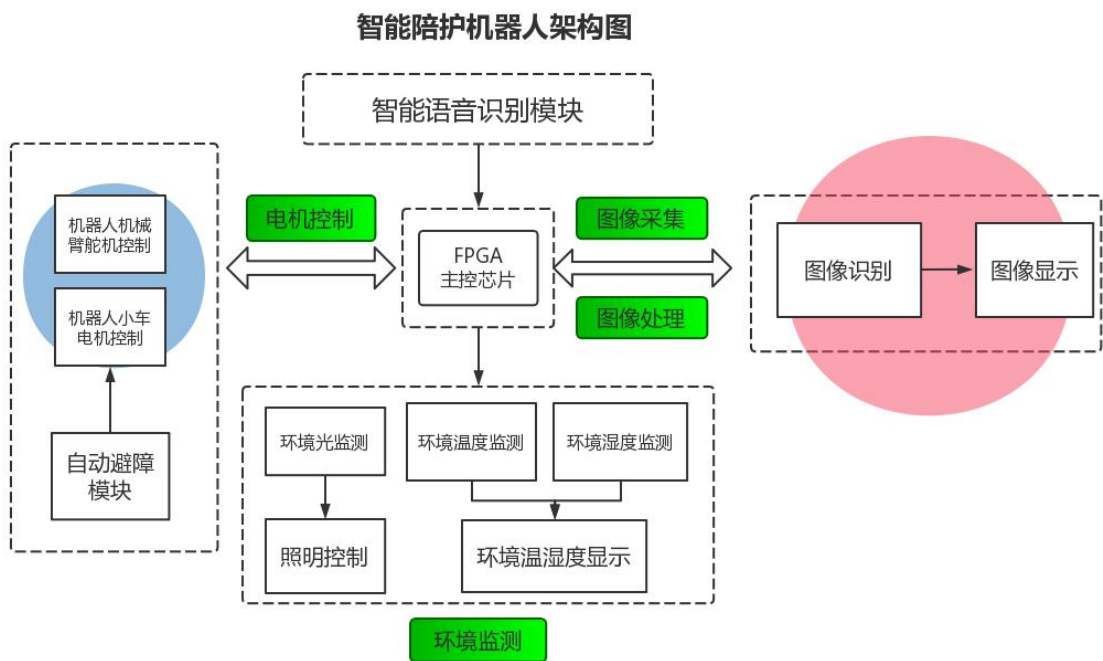


图 5-1 机器人整体架构

(三) 各模块架构图如下：

①图像识别与处理模块：

设计目的：使得机器人可以通过数字识别需要获得的物品。

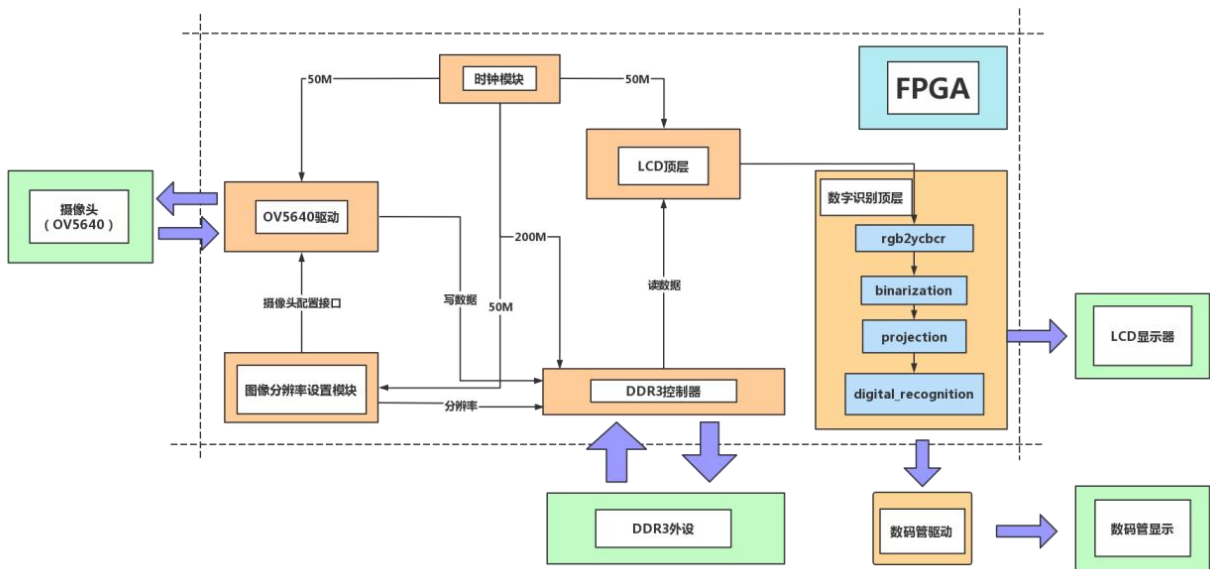


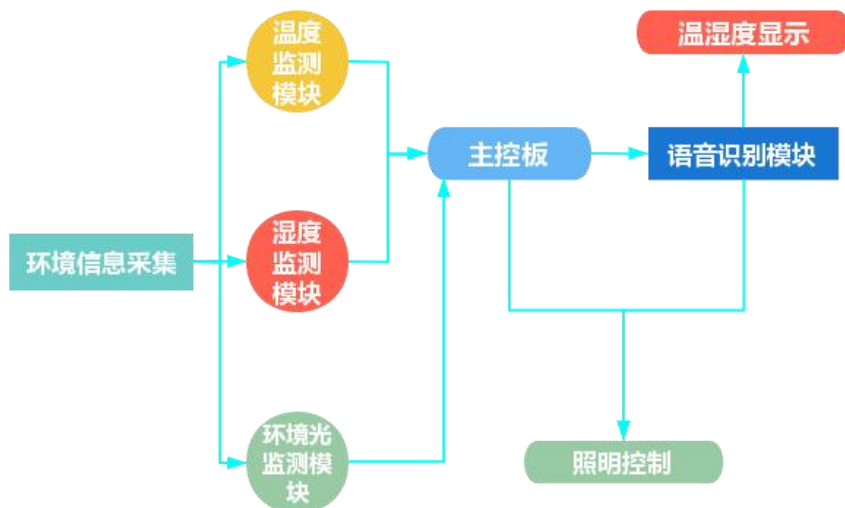
图 5-2 图像识别与处理模块架构

②环境监测模块：



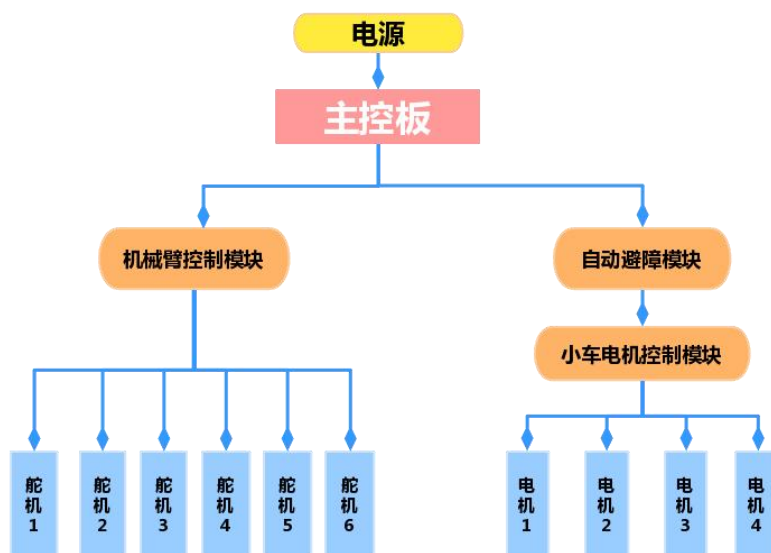
设计目的：使得老人可通过语音控制了解当前气候，且可为老人在黑暗环境下自动提供光源，可解决如老人在起夜时看不清路的类似生活问题。

温湿度与照明控制，以及环境光监测架构图如下。



### ③电机控制模块：

设计目的：使得老人可通过机器人抓取所需的物体，让腿脚不便老人可简单获取所需物品，避障模块可让机器人避开家中的常见障碍。





#### ④智能语音识别模块：

设计目的：使得老人能够仅通过说话控制机器人，便于老年群体的使用。

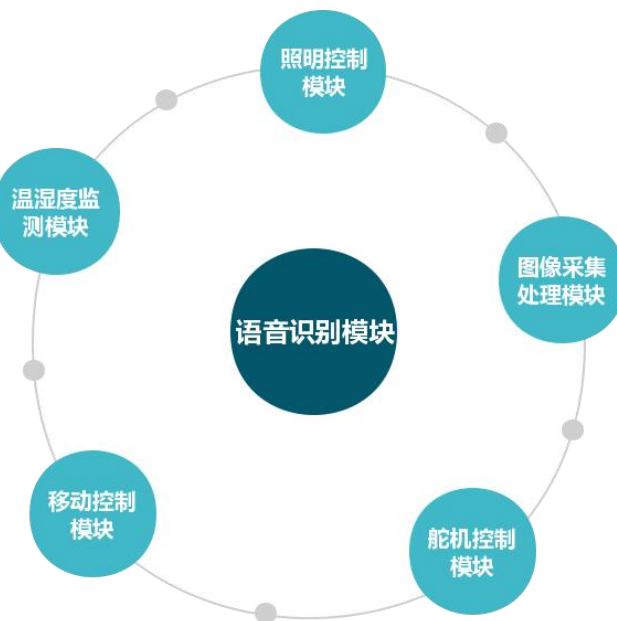


图 5-5 语音识别模块架构

### 三、控制电路（Controller）

#### 1. 顶层控制电路的 Robei 设计实现：

首先，机器人的顶层控制电路 Robei 实现如下：

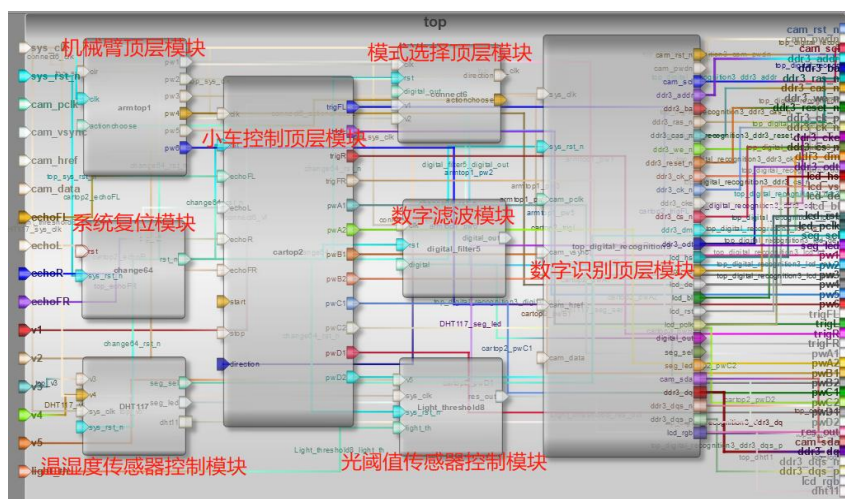


图 6-1 顶层控制电路

其中：armtop 为机械臂顶层控制模块，change 为系统复位模块，DHT11 为温湿度传感器控制模块，cartop 为小车控制顶层模块，connect 为机器人模式选

择顶层模块，digital\_filter 为数字滤波模块，Light\_threshold 为光阈值传感器控制模块，top\_digital\_recognition 为数字识别顶层模块。

## 2. 图像识别处理模块的控制电路 Robei 设计实现：

首先，图像识别处理模块的 Robei 实现如下：

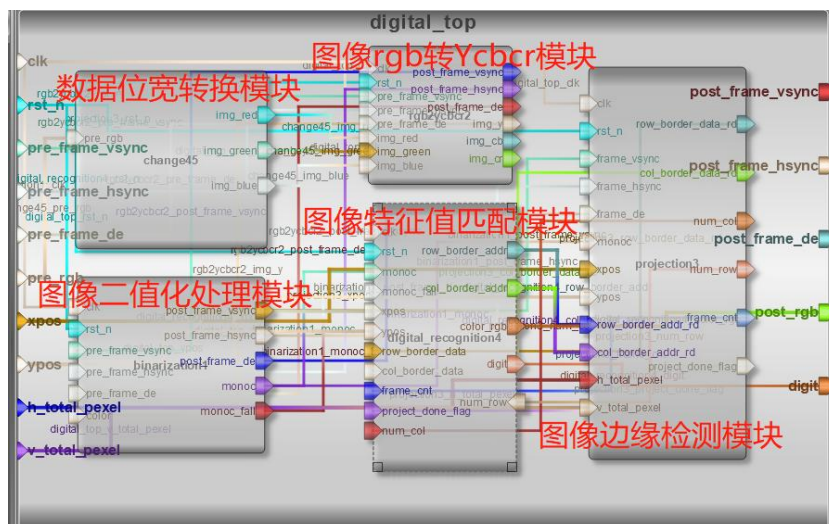


图 6-2 图像识别处理模块控制电路

其中：change 为数据位宽转换模块，binarization 为图像二值化处理模块，rgb2ycbcr 为图像 rgb 转 Ycbcr 模块，digital\_recognition 为图像特征值匹配模块，projection 为图像边缘检测模块。

## 3. 环境监测模块的控制电路 Robei 设计实现：

### ① 温湿度监测：

首先，机器人的温湿度监测 Robei 实现如下：

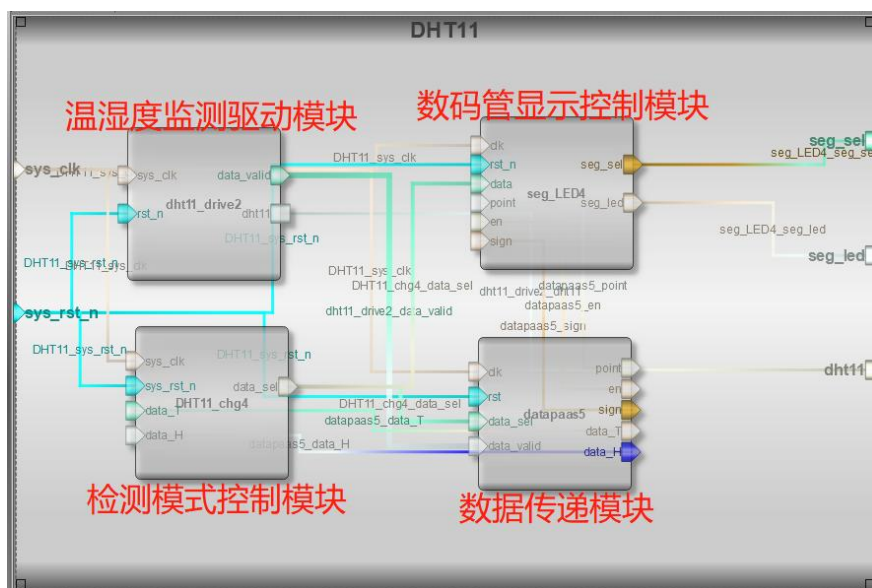


图 6-3 温湿度监测模块控制电路

其中：DHT11\_drive 模块为传感器的驱动模块，seg\_led 为数码管显示温湿度模块，DHT11\_chg 为传感器接收外部语音控制模式变化模块，datapass 即为数据传输模块。

## ②环境光监测：

首先，机器人的温湿度监测 Robei 实现如下：

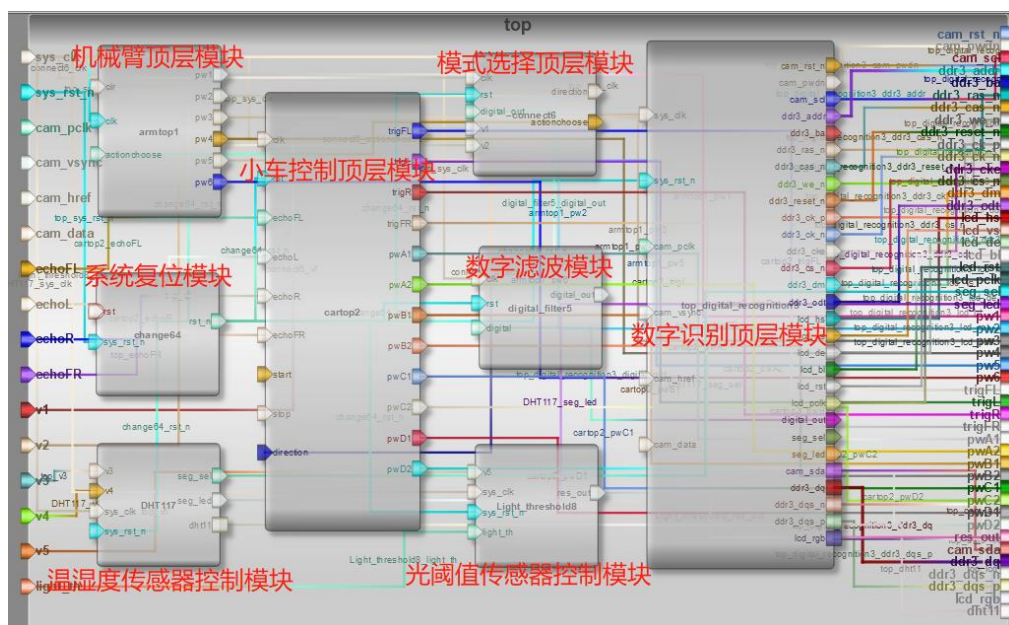


图 6-4 环境光监测模块控制电路

其中：光阈值传感器控制模块直接由顶层的输入和语音识别模块进行控制。

#### 4. 电机控制模块的控制电路 Robei 设计实现：

##### ①机械臂控制：

首先，机械臂控制的 Robei 实现如下：

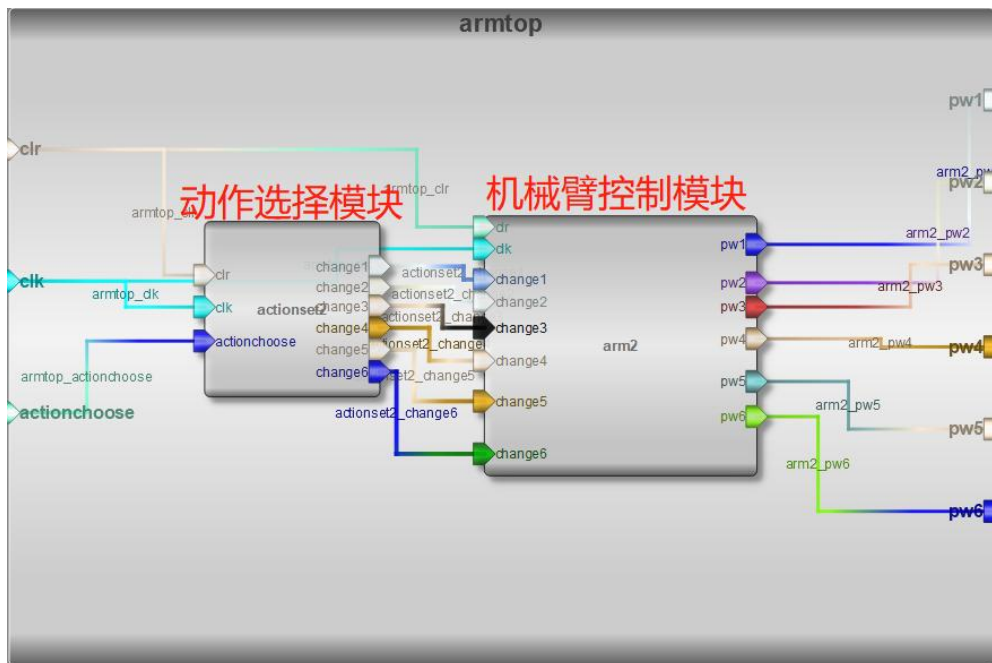


图 6-5-1 机械臂控制模块控制电路

其中：actionset 模块为机械臂的动作选择模块，arm 则为机械臂控制模块，通过 actionset 输出动作选择信号，并让 arm 模块加以反应，以此来控制机械臂。

而 arm 内部结构如下：

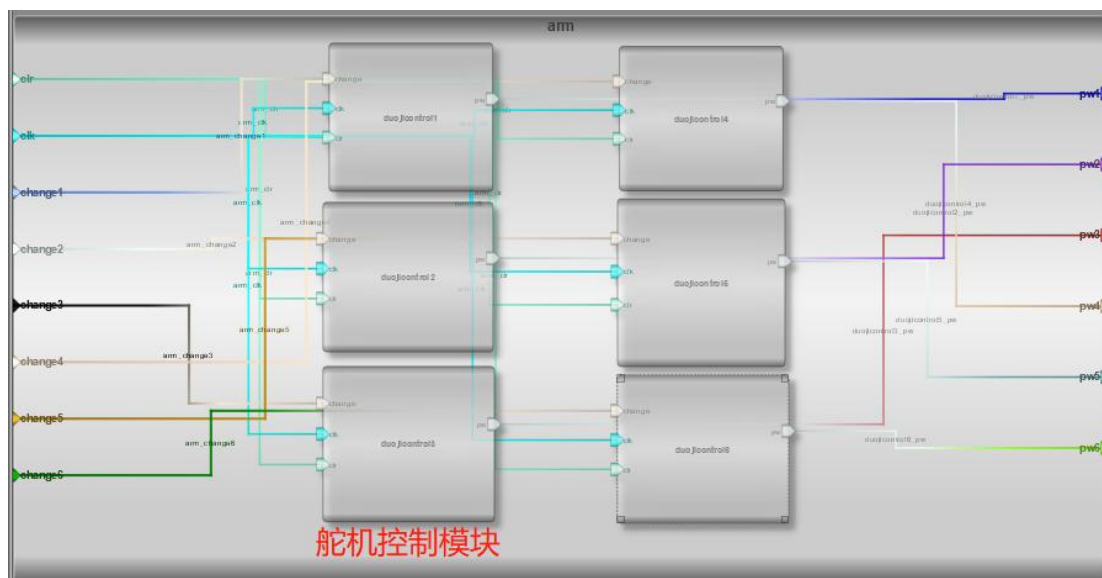


图 6-5-2 舵机控制模块控制电路

其中：duojicontrol 为舵机控制模块，arm 即是由六个舵机控制模块向机械臂



输出 pwm 波进行控制的模块。

## ②机器人小车控制：

首先，机器人小车控制的 Robei 实现如下：

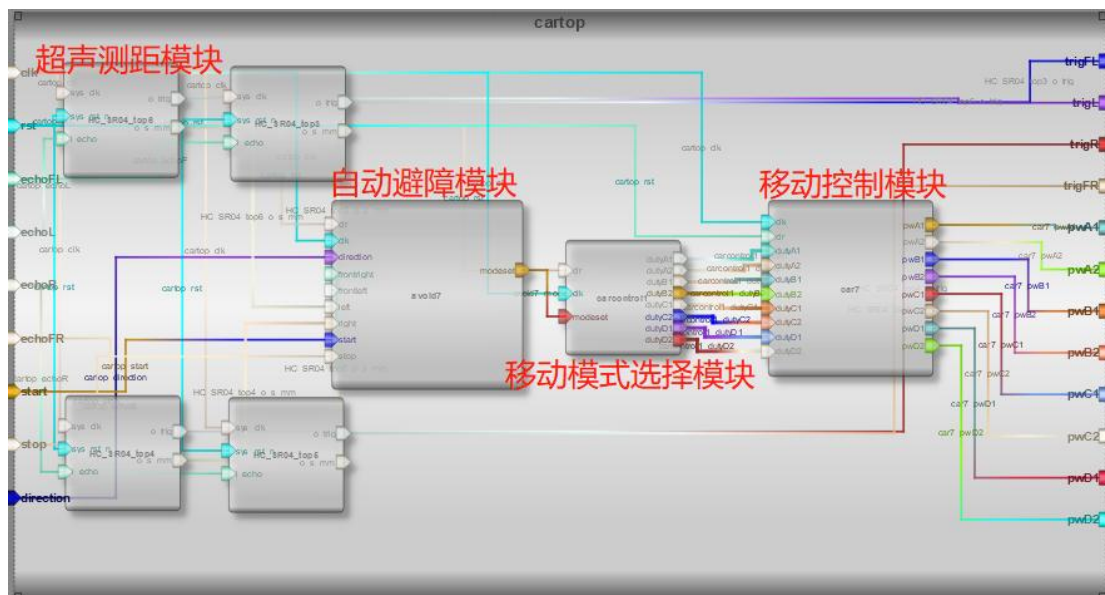


图 6-6-1 机器人小车控制模块控制电路

其中：左侧四个模块为超声测距传感器 HC\_SR04 的驱动模块，中间的 avoid 为小车的自动避障模块，而 carcontrol 为小车的移动模式选择模块，最后的 car 即为小车的电机控制模块，而超声测距模块的 Robei 实现会在，四、传感系统中给出，而 car 模块的内部结构如下：

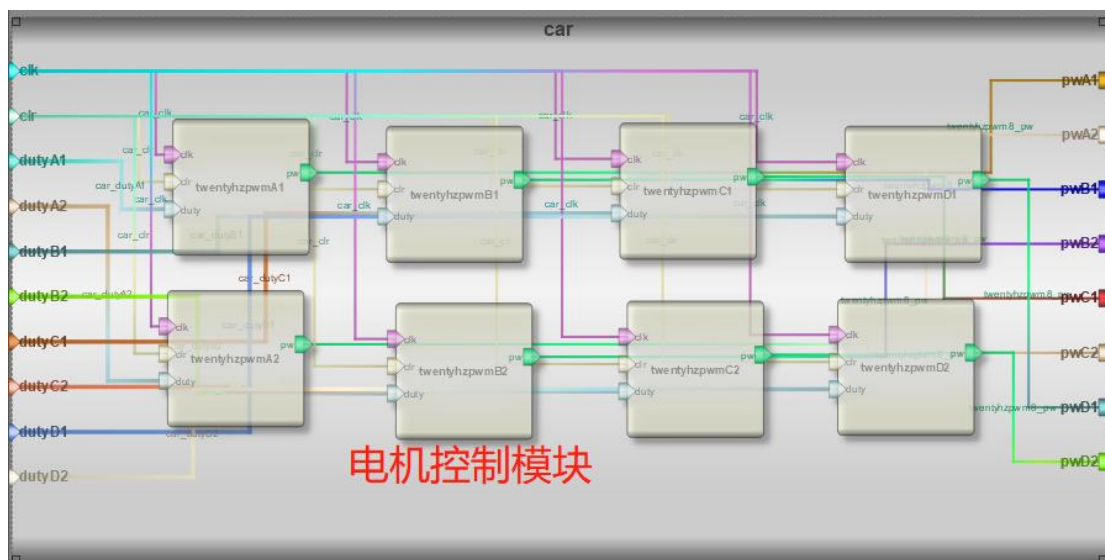


图 6-6-2 小车电机控制模块控制电路

其中：twentyhzpwm 即为 pwm 输出模块，本模块即由 8 个 pwm 输出模块构成，控制外部电机正反转，从而控制麦克纳姆轮。

## 四、传感系统（Sensor）

本机器人共采用了 5 类传感器，分别为摄像头、温湿度传感器、光阈值传感器、超声测距传感器、智能语音识别模块，接下来将按顺序介绍：

### 1. 摄像头：

①选用摄像头型号为：OV5640

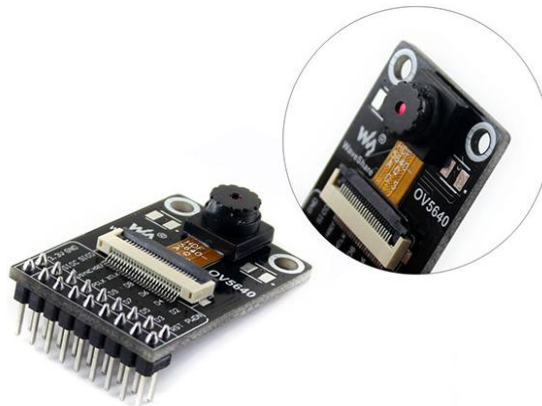


图 7-1-1 摄像头 OV5640

②摄像头的管脚排列如下图所示：

表 1 摄像头管脚排列

数据	管脚	描述
cam_data[0]	C14	摄像头数据 0
cam_data[1]	B13	摄像头数据 1
cam_data[2]	C13	摄像头数据 2
cam_data[3]	D15	摄像头数据 3
cam_data[4]	D14	摄像头数据 4

cam_data[5]	E14	摄像头数据 5
cam_data[6]	E13	摄像头数据 6
cam_data[7]	F13	摄像头数据 7
cam_pclk	F14	摄像头时钟
cam_rst_n	C15	摄像头复位
cam_pwn/	F16	cmos 电源休眠模式选择信号/
cam_sgm_ctrl		cmos 时钟选择信号（0：使用引脚 XCLK 提供的时钟 1：使用摄像头自带的晶振提供时钟）
cam_vsync	E16	摄像头场信号
cam_href	B15	摄像头行信号
cam_scl	D16	摄像头 scl
cam_sda	B16	摄像头 sda

### ③器件简介如下：

摄像头简称 CCM，是影像捕捉至关重要的电子器件，简单来说，是一种将物体的光信号转换为可以读取和储存的数字信号的一种器件，主要由镜头、VCM 马达、底座、IR 滤光片、图像传感器、电路板等部件组成。

### ④OV5640 的技术参数如下：

- a. 工作电压范围：-核心 1.5V±5%  
-模拟 2.6~3.0V（2.8V 典型）  
-I/O：1.8V/2.8V
- b. 输出形式：8-/10-bit RGB RAW output
- c. 输入时钟频率：6~27MHz
- d. 镜头大小：1/4"



e. 工作温度：-30℃~70℃

⑤的驱动电路如下图所示：

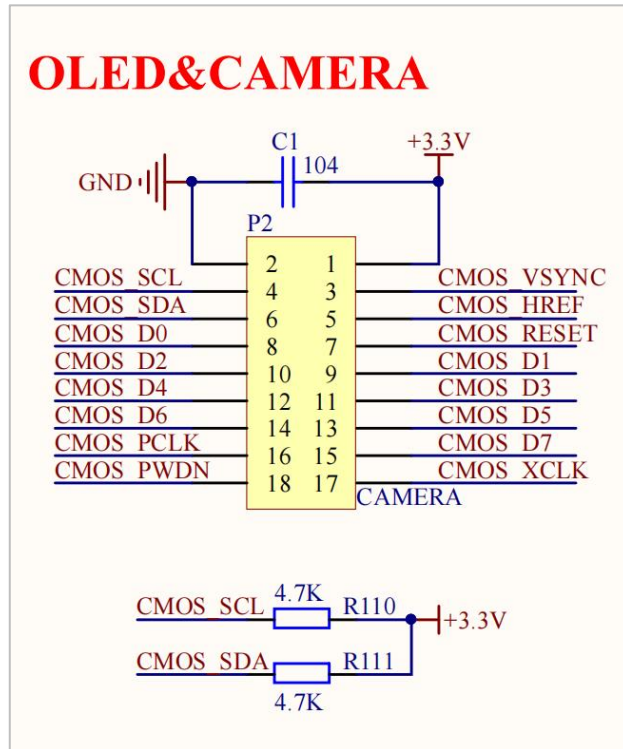


图 7-1-3 摄像头驱动电路

⑥Robei 实现：

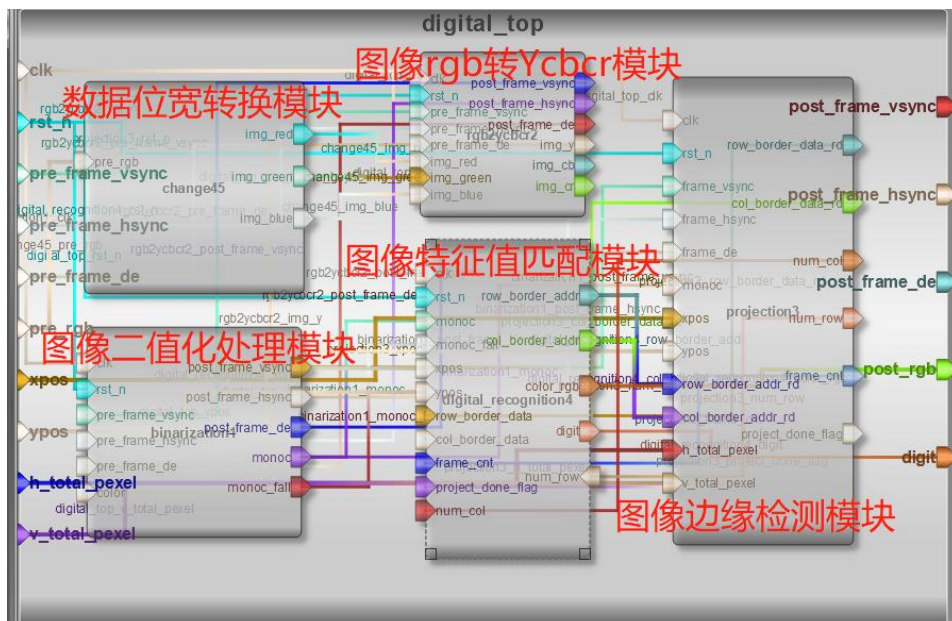


图 7-1-4 摄像头控制电路 Robei 实现

其中：change 为数据位宽转换模块，binarization 为图像二值化处理模块，rgb2ycbcr 为图像 rgb 转 Ycbcr 模块，digital\_recognition 为图像特征值匹配模块，projection 为图像边缘检测模块。

## 2. 温湿度传感器：

### ①选用传感器型号为：DHT11

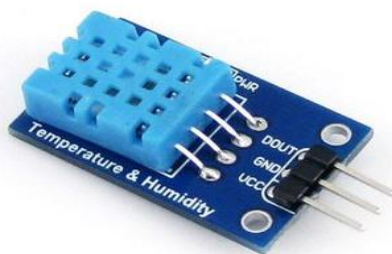


图 7-2-1 DHT11

### ②器件简介如下：

DHT11 是一款湿温度一体化的数字传感器。该传感器包括一个电阻式测湿元件和一个 NTC 测温元件，并与一个高性能 8 位单片机相连接。通过单片机等微处理器简单的电路连接就能够实时的采集本地湿度和温度。DHT11 与单片机之间能采用简单的单总线进行通信，仅仅需要一个 I/O 口。传感器内部湿度和温度数据 40Bit 的数据一次性传给单片机，数据采用校验和方式进行校验，有效的保证数据传输的准确性。DHT11 功耗很低，5V 电源电压下，工作平均最大电流 0.5mA。

### ③DHT11 的技术参数如下：

- 工作电压范围：3.3V-5.5V
- 工作电流：平均 0.5mA

- 输出：单总线数字信号
- 测量范围：湿度 20~90%RH，温度 0~50℃
- 精度：湿度±5%，温度±2℃
- 分辨率：湿度 1%，温度 1℃

④DHT11 的管脚排列如下图所示：

表 2 DHT11 管脚排列

数据	管脚	描述
Dout	M20	单总线串行输出

⑤DHT11 的驱动电路如下图所示：

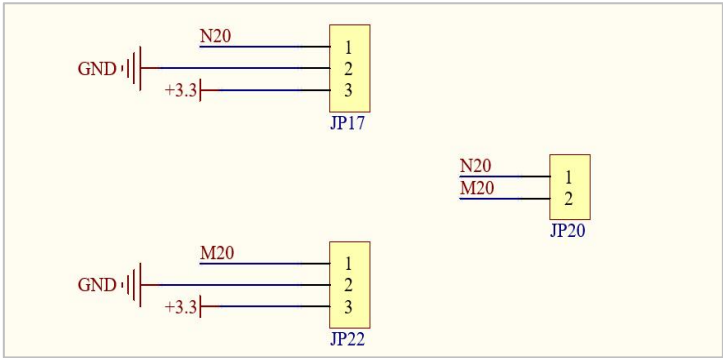


图 7-2-3 DHT11 驱动电路

⑥Robei 实现：

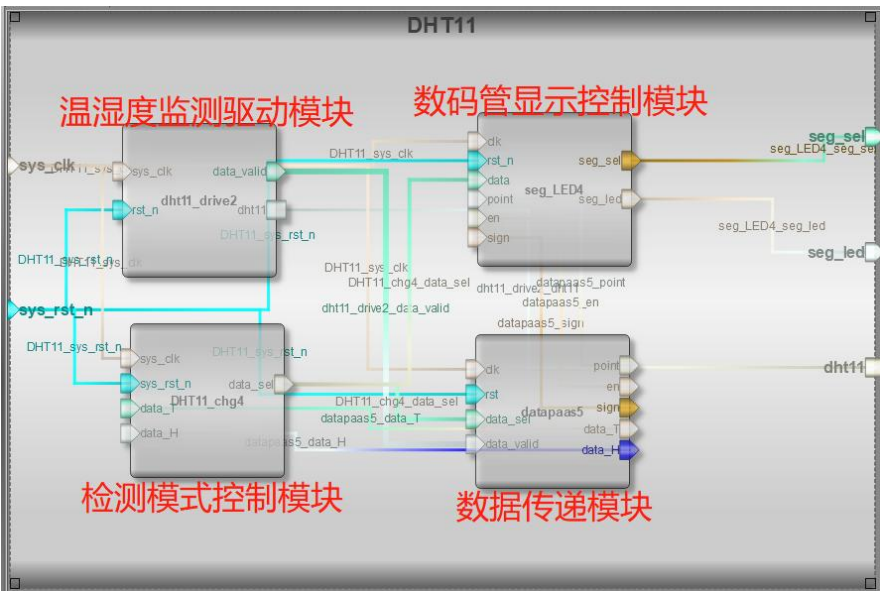


图 7-2-4 DHT11 控制电路 Robei 实现

其中：DHT11\_drive 模块为传感器的驱动模块，seg\_led 为数码管显示温湿度模块，DHT11\_chg 为传感器接收外部语音控制模式变化模块，datapass 即为数据传输模块。

### 3. 光阈值传感器（由电压比较器和光敏电阻组成）：

①选用电压比较器型号为：LM393

②器件简介如下：

光敏电阻是用硫化镉或硒化镉等半导体材料制成的特殊电阻器，其工作原理是基于内光电效应。光照愈强，阻值就愈低，随着光照强度的升高，电阻值迅速降低，亮电阻值可小至  $1\text{K}\Omega$  以下。光敏电阻对光线十分敏感，其在无光照时，呈高阻状态，暗电阻一般可达  $1.5\text{M}\Omega$ 。光敏电阻的特殊性能，随着科技的发展将得到极其广泛应用。

③传感器的管脚排列如下图所示：

表 3 光阈值传感器管脚排列

数据	管脚	描述
D0	N20	光敏传感器数字输出

④该传感器的驱动电路如下图所示：

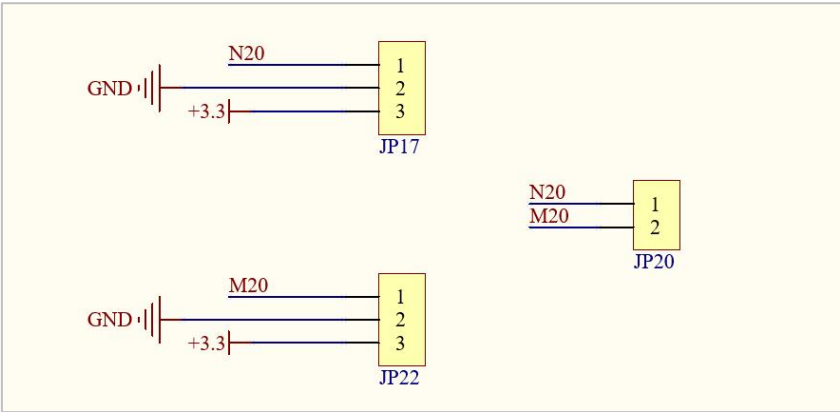


图 7-3-2 光阈值传感器驱动电路

⑤Robei 实现：

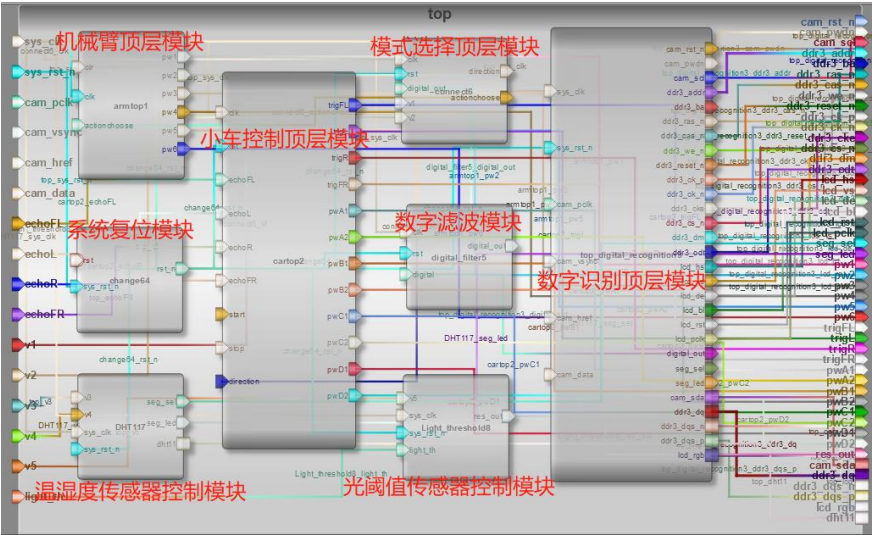


图 7-3-3 光阈值传感器控制电路 Robei 实现

其中：光阈值传感器控制模块直接由顶层的输入和语音识别模块进行控制。

4. 超声测距传感器：

①选用传感器型号为：HC-SR04



图 7-4-1 HC-SR04

## ②器件简介如下：

HC-SR04 超声波距离传感器的核心是两个超声波传感器。一个用作发射器，将电信号转换为 40 KHz 超声波脉冲。接收器监听发射的脉冲。如果接收到它们，它将产生一个输出脉冲，其宽度可用于确定脉冲传播的距离。

## ③HC-SR04 的技术参数如下：

- 工作电压范围：5V
- 工作电流：平均 15mA
- 运行频率：40Khz
- 测量范围：2—400cm
- 精度：3mm
- 测量角度：15°
- 触发输入信号：10μS TTL 脉冲
- 尺寸：45 x 20 x 15 毫米

## ④HC-SR04 的管脚排列如下图所示：

表 4 HC-SR04 管脚排列

数据	管脚	描述
Trig1	G21	传感器 1 触发
echo1	D19	传感器 1 回声
Trig2	K21	传感器 2 触发
echo2	H22	传感器 2 回声
Trig3	M21	传感器 3 触发
echo3	L21	传感器 3 回声
Trig4	F18	传感器 4 触发
echo4	D17	传感器 4 回声

⑤HC-SR04 的驱动电路如下图所示：

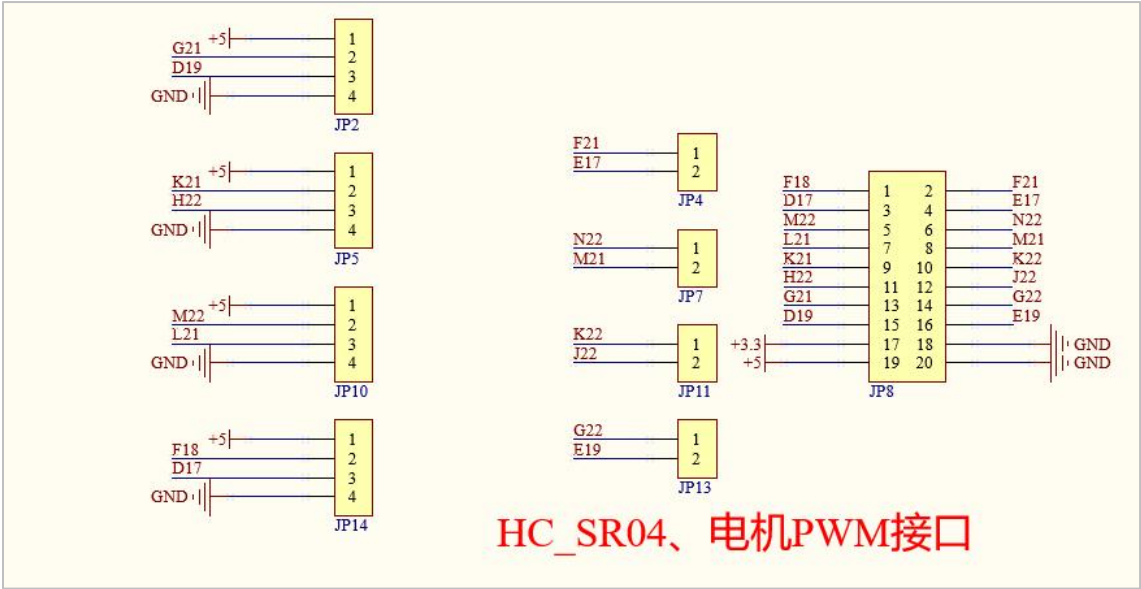


图 7-4-3 HC-SR04 驱动电路

⑥Robei 实现：



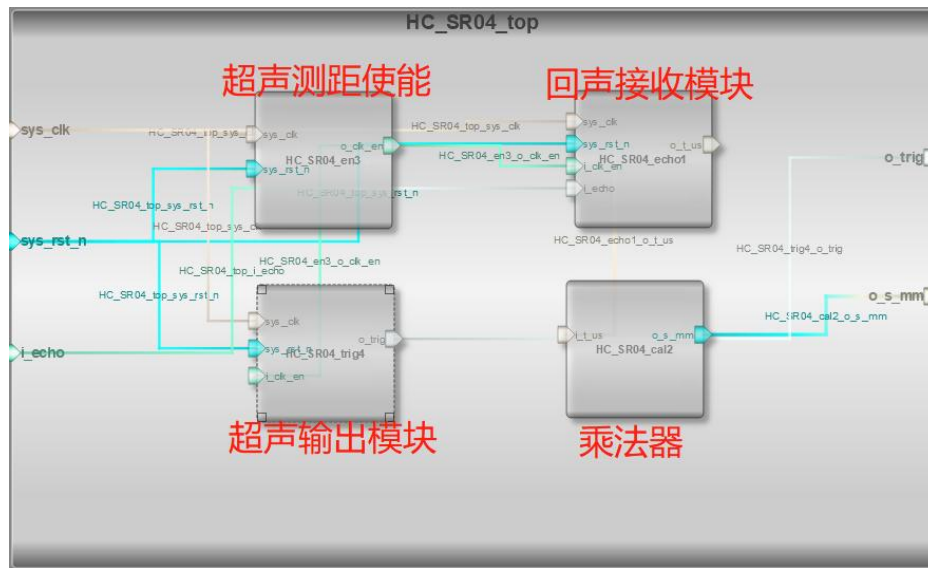


图 7-4-4 HC-SR04 控制电路 Robei 实现

其中：HC\_SR04\_en 为超声测距使能模块，HC\_SR04\_echo 为回声接收模块，HC\_SR04\_trig 为超声输出模块，HC\_SR04\_cal 为乘法器。

## 5. 智能语音识别模块：

①选用传感器型号为：SU-03T

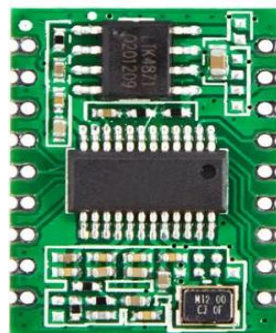


图 7-5-1 SU-03T

②器件简介如下：

SU-03T 是一款低成本、低功耗、小体积的离线语音识别模组，能快速应用于智能家居，各类智能小家电，86 盒，玩具，灯具等需要语音操控的产品。

③SU-03T 的技术参数如下：

- 工作电压范围：供电电压 3.6V ~ 5.5V，一般 5V 供电，供电电流 >200mA
- 工作电流：平均 60mA
- IO 口：8
- 支持接口类型：UART/GPIO/ADC/PWM/SPI /I2S/I2C
- 工作温度：-20 °C ~ 85°C

④SU-03T 的管脚排列如下图所示：

数据	管脚	描述
A25	T20	语音输入 1
A26	K16	语音输入 2
A27	F20	语音输入 3
B2	M20	语音输入 4
B3	N19	语音输入 5

图 7-5-2 SU-03T 管脚排列

⑤SU-03T 的驱动电路如下图所示：

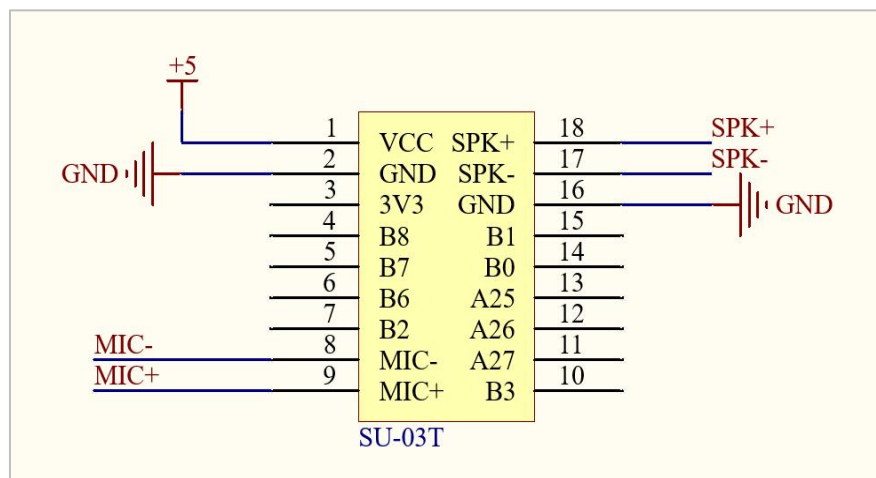


图 7-5-3 SU-03T 驱动电路

⑥Robei 实现：

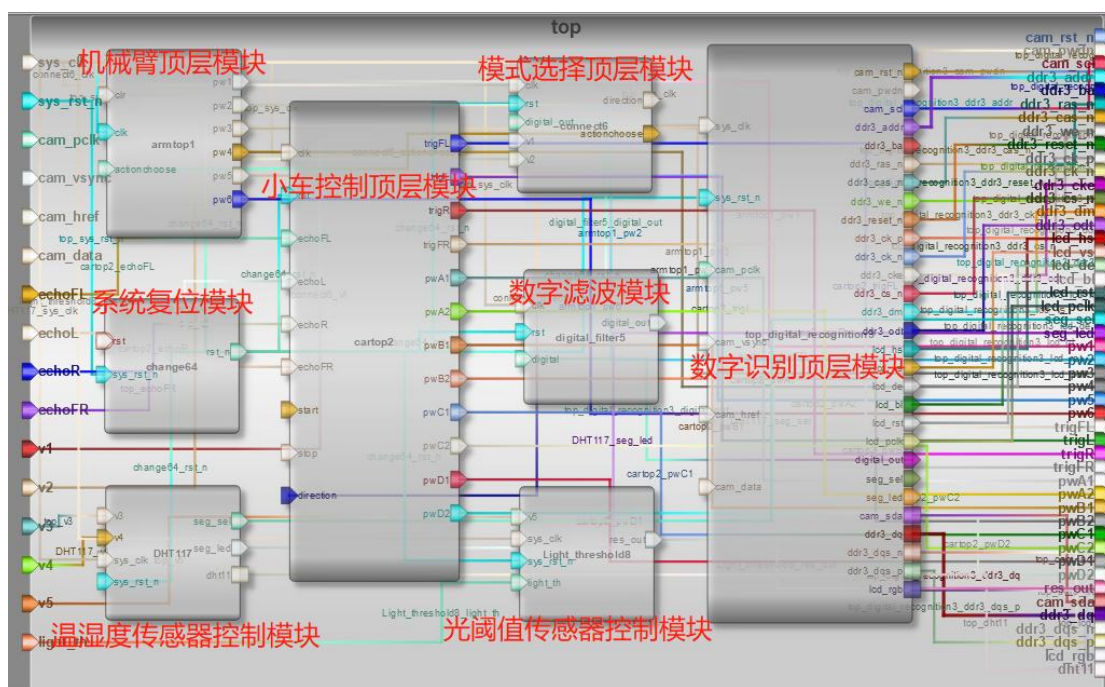


图 7-5-4 SU-03T 控制电路 Robei 实现

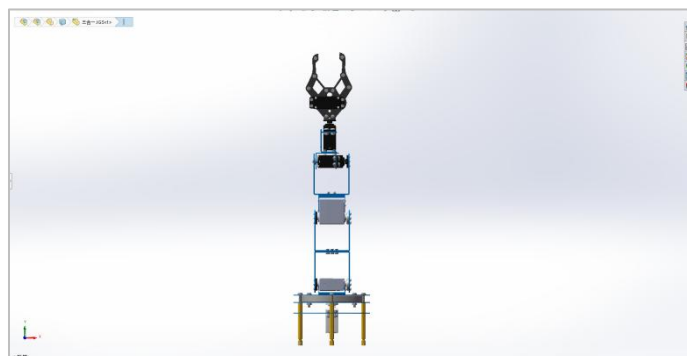
其中：语音模块直接在外部分接收到语音后输入高低电平进入控制电路，直接对多个顶层模块进行控制。

## 五、机械结构（Structure）

本机器人共具有机械结构包括：六自由度机械臂、电机驱动麦克纳姆轮、铝合金小车底盘，接下来将按顺序介绍：

### 1. 六自由度机械臂：

#### ①机械结构图：



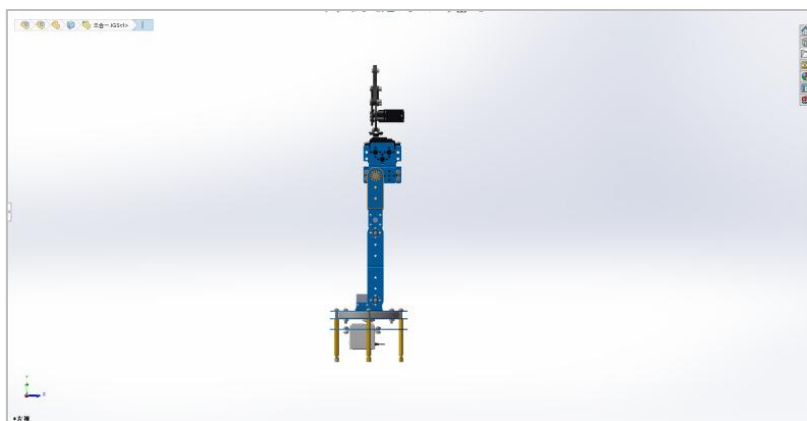


图 8-1-1 机械臂主视图



图 8-1-2 机械臂侧视图



图 8-1-3 机械臂俯视图

## ②结构特色：

具有六个舵机，使得机械臂获得了极高的自由度。

## ③控制模块实现：

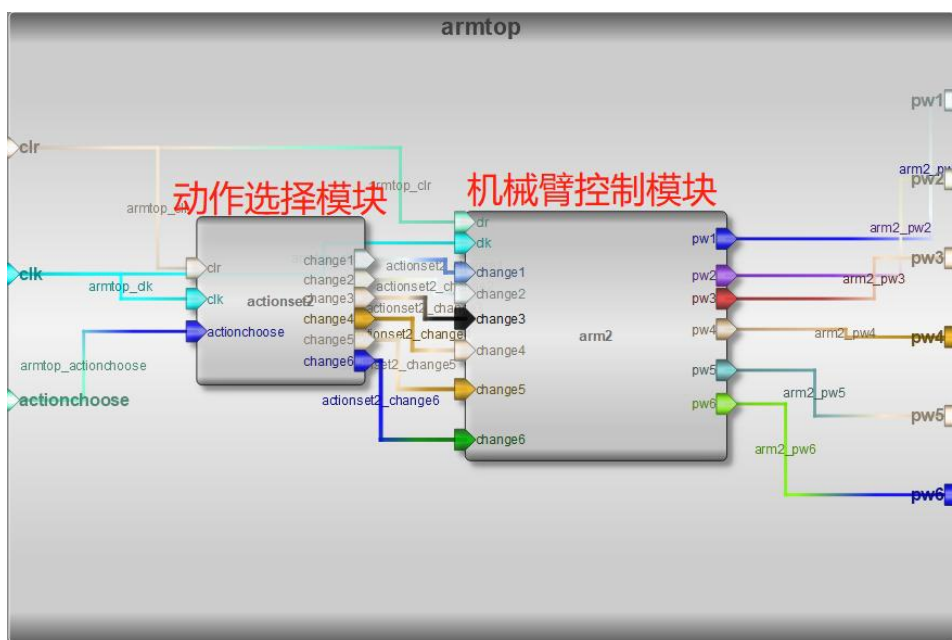


图 8-1-4 机械臂控制电路 Robei 实现

其中：actionset 模块为机械臂的动作选择模块，arm 则为机械臂控制模块，通过 actionset 输出动作选择信号，并让 arm 模块加以反应，以此来控制机械臂。

而 arm 内部结构如下：

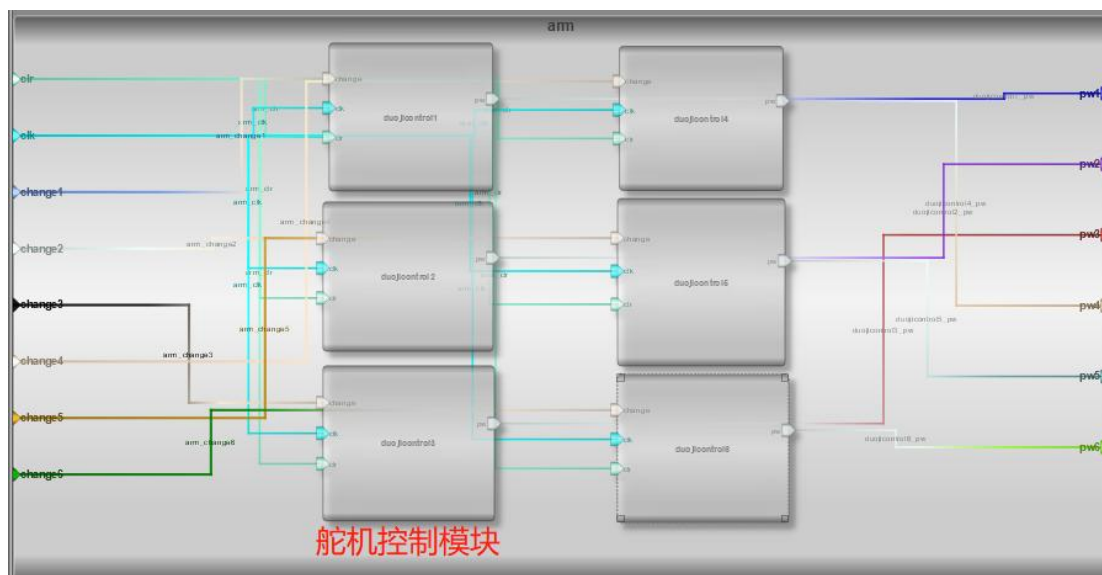


图 8-1-5 舵机控制电路 Robei 实现

其中：duojicontrol 为舵机控制模块，arm 即是由六个舵机控制模块向机械臂输出 pwm 波进行控制的模块。





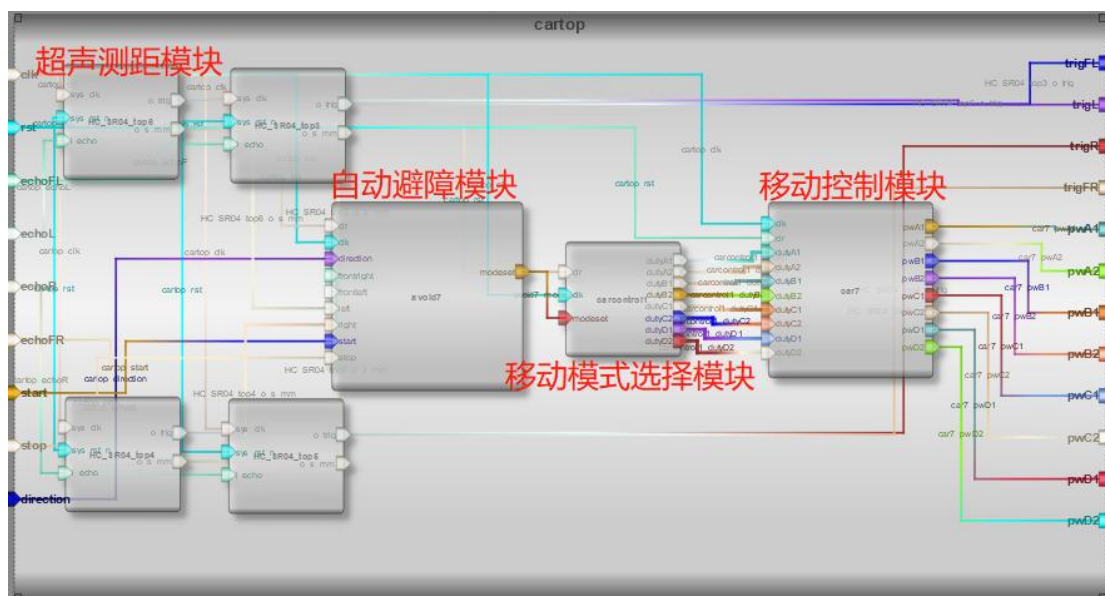


图 8-2-3 麦克纳姆轮控制模块 Robei 实现

其中：左侧四个模块为超声测距传感器 HC\_SR04 的驱动模块，中间的 avoid 为小车的自动避障模块，而 carcontrol 为小车的移动模式选择模块，最后的 car 即为小车的电机控制模块，而超声测距模块的 Robei 实现会在，四、传感系统中给出，而 car 模块的内部结构如下：

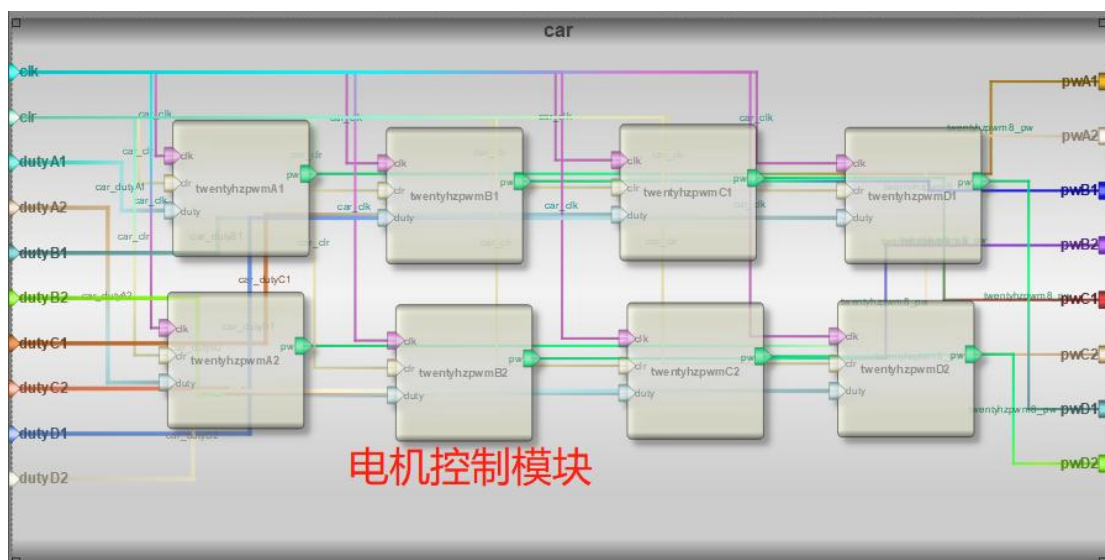


图 8-2-4 电机控制模块 Robei 实现

其中：twentyhzpwm 即为 pwm 输出模块，本模块即由 8 个 pwm 输出模块构成，控制外部电机正反转，从而控制麦克纳姆轮。

### 3. 铝合金小车顶板与底板：



①机械结构图：

小车顶板三视图如下：

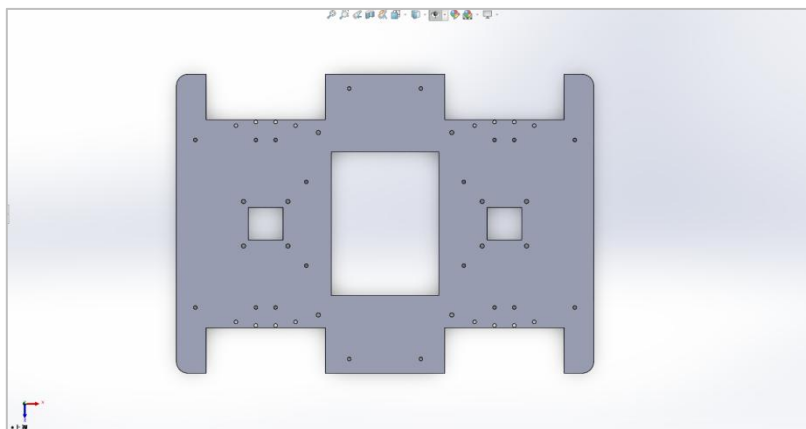


图 8-3-1 小车顶板主视图

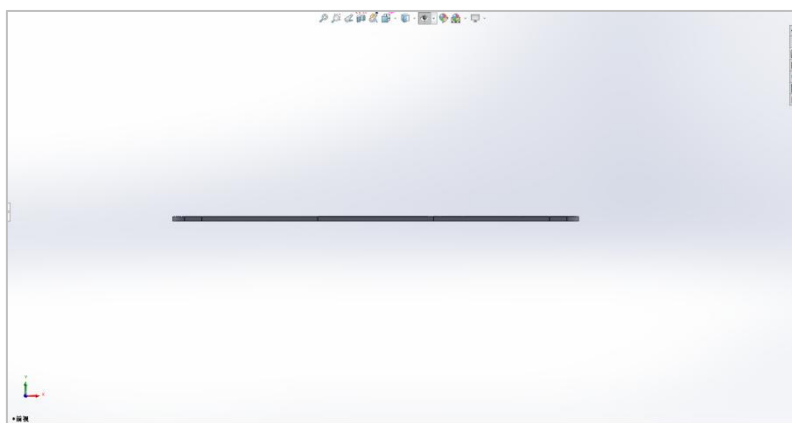


图 8-3-2 小车顶板侧视图

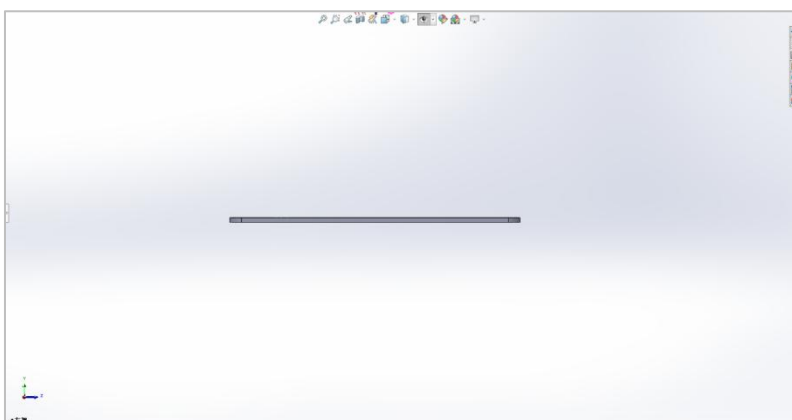


图 8-3-3 小车顶板俯视图

小车底板三视图：

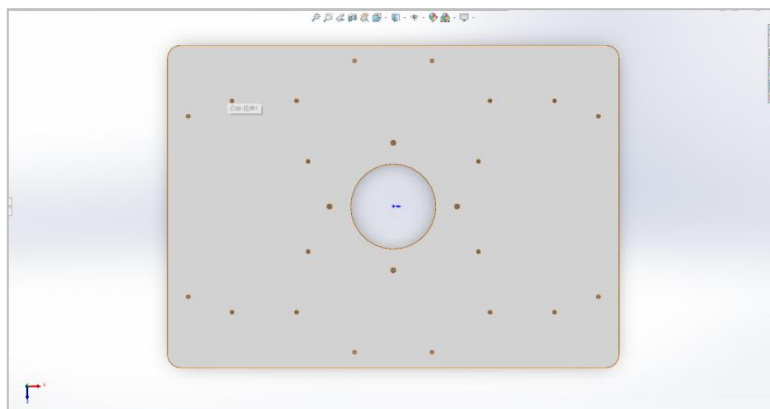


图 8-3-4 小车底板主视图

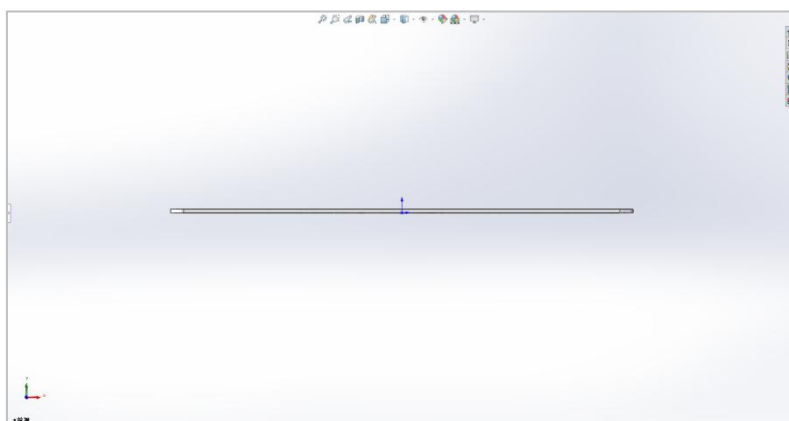


图 8-3-5 小车底板侧视图

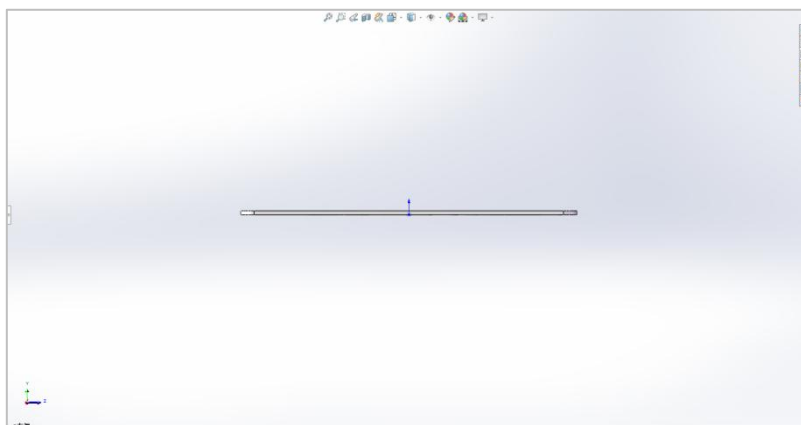


图 8-3-6 小车底板俯视图

## ②结构特色：

采用铝合金底板，耐压性好。

## 六、算法系统 (Algorithm)

本机器人共具有图像识别与处理，环境监测，电机控制与避障，智能语音识别四大功能模块，而各模块的算法流程将会在下文按顺序给出。

首先，各模块算法流程图如下：

### ①图像识别与处理模块：

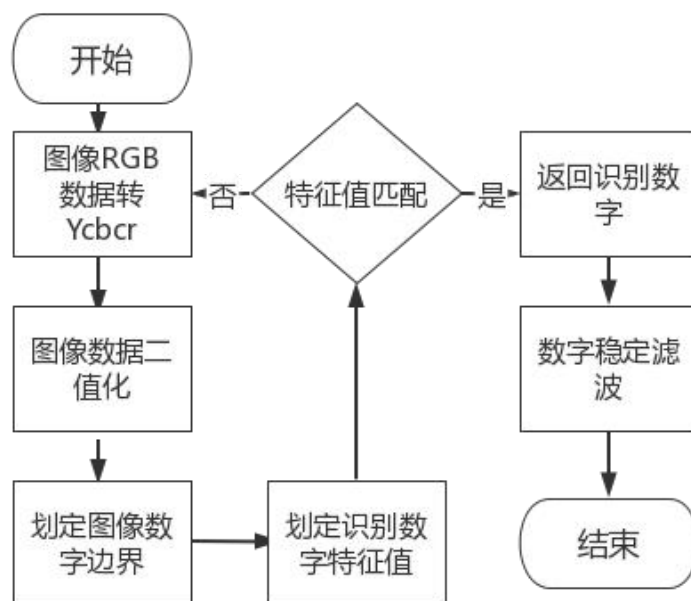


图 9-1 图象识别处理模块算法流程图

算法简介：图像数据先由 rgb2ycbcr 模块将 RGB 转化为 YCbCr，然后进行二值化处理，得到二值图像，对二值图像进行水平垂直投影即图像分割，得到各个数字的水平和垂直边界，将数字边界信息送入特征识别模块进行特征匹配，从而识别图像中的数字。

### ②环境监测模块：

算法简介：温湿度监测模块主要受到语音信号的控制，并随语音信号的变化而改变，而环境光监测模块既受到当前环境光强度的影响，同时也能被外来语音信号控制。

温湿度与照明控制，以及环境光监测的算法流程图：

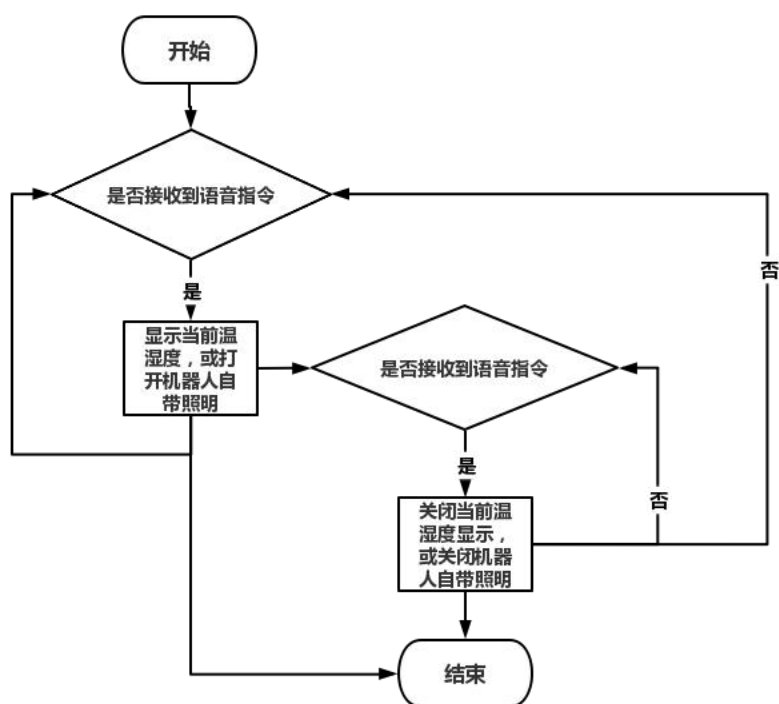


图 9-2-1 环境温湿度监测模块及照明控制算法流程图

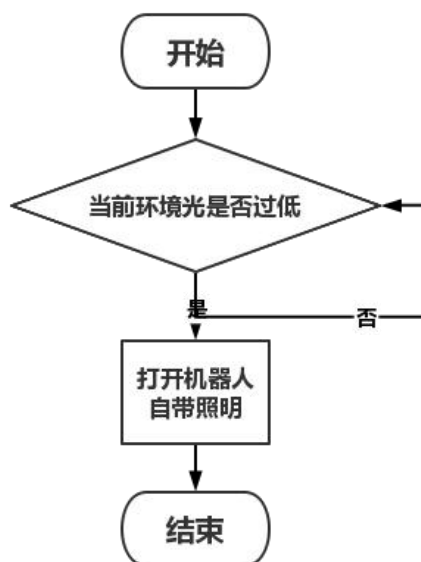


图 9-2-2 环境光监测模块算法流程图

### ③小车自动避障以及电机控制模块算法流程图：

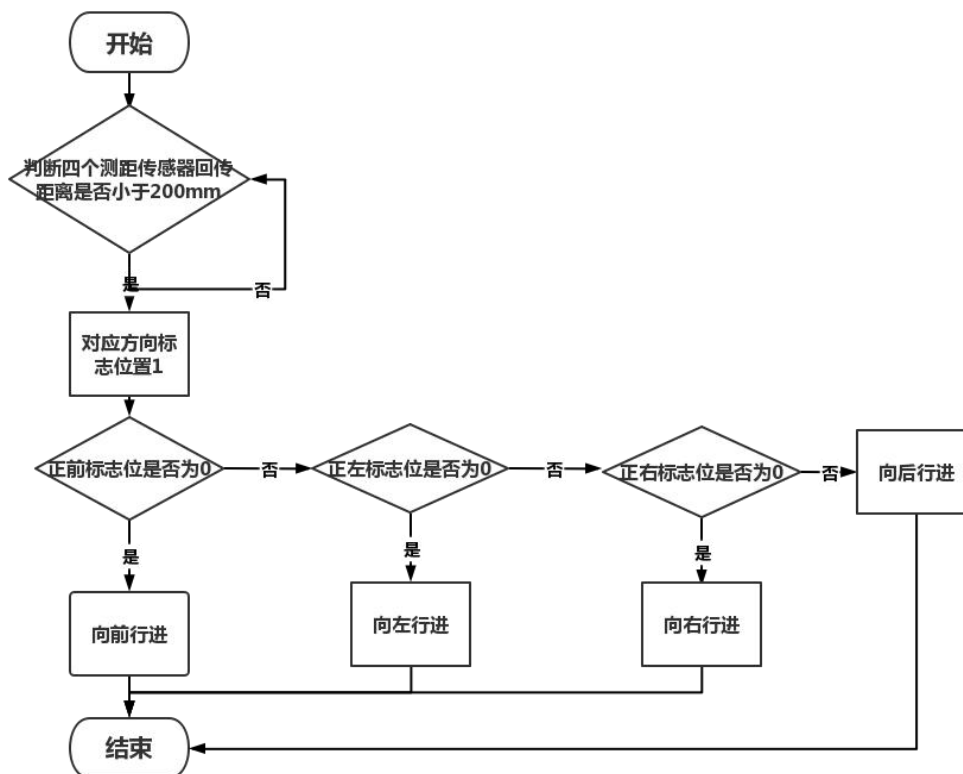


图 9-3-1 小车避障算法流程图

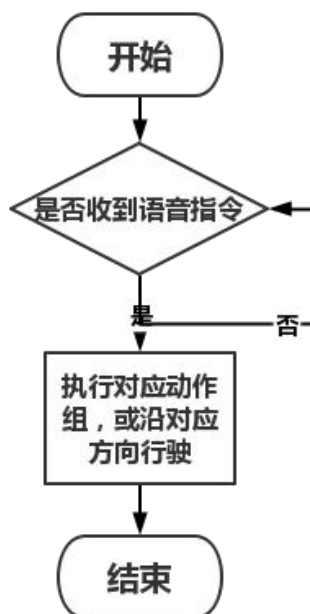


图 9-3-2 电机控制算法流程图

算法简介：电机控制模块中，机械臂舵机控制和小车电机控制主要受到外界语音控制，而小车的自动避障模块同时会受到超声测距信号的控制，且在避障模

块中，小车的行进采取深度优先算法。

#### ④智能语音识别模块：

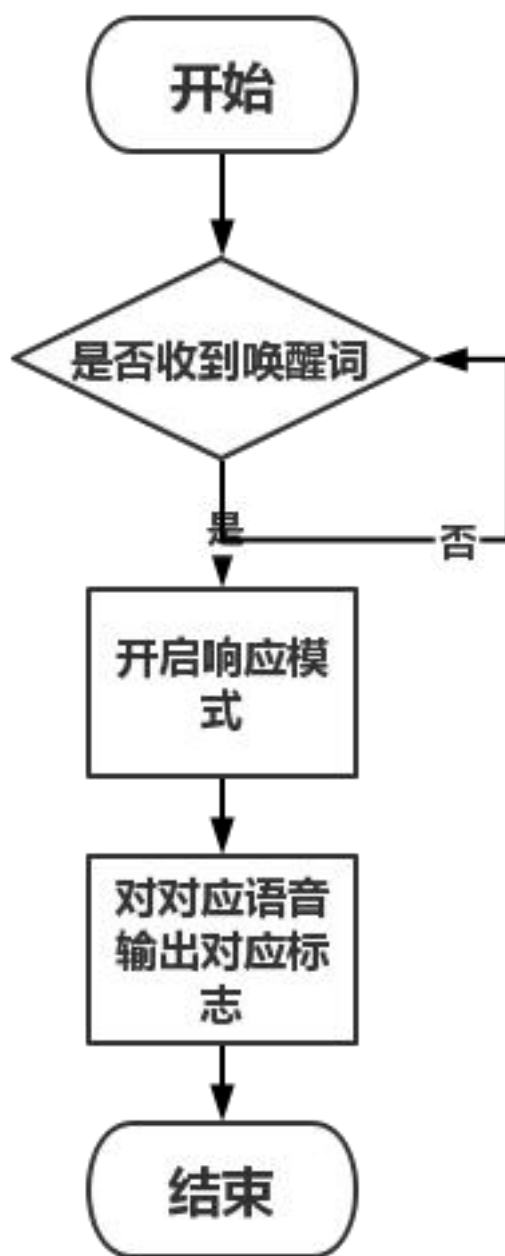


图 9-4 语音控制算法流程图

算法简介：语音识别模块主要通过外界语音信号进行唤醒和输出控制。

## 七、系统整合与调试（Integration & Test）

在本部分中，各模块的测试情况将按图像识别、环境温湿度监测、环境光监测、机械臂取放物品、小车自动避障的顺序给出：

### 1. 图像识别测试：

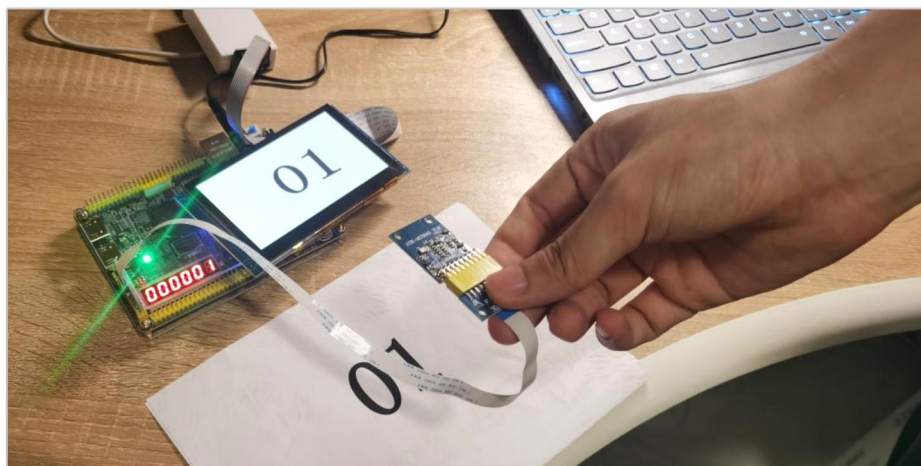


图 10-1 图像识别测试记录

如图所示，摄像头可准确识别数字，并显示于 LCD 屏幕和数码管上，更详细的测试情况请查看提交资料中的视频演示。

### 2. 环境温湿度监测测试：

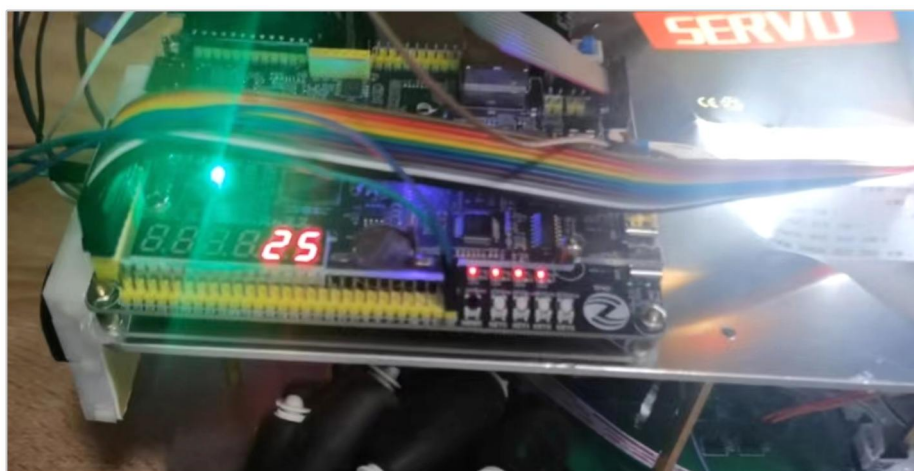


图 10-2-1 环境温度测试记录



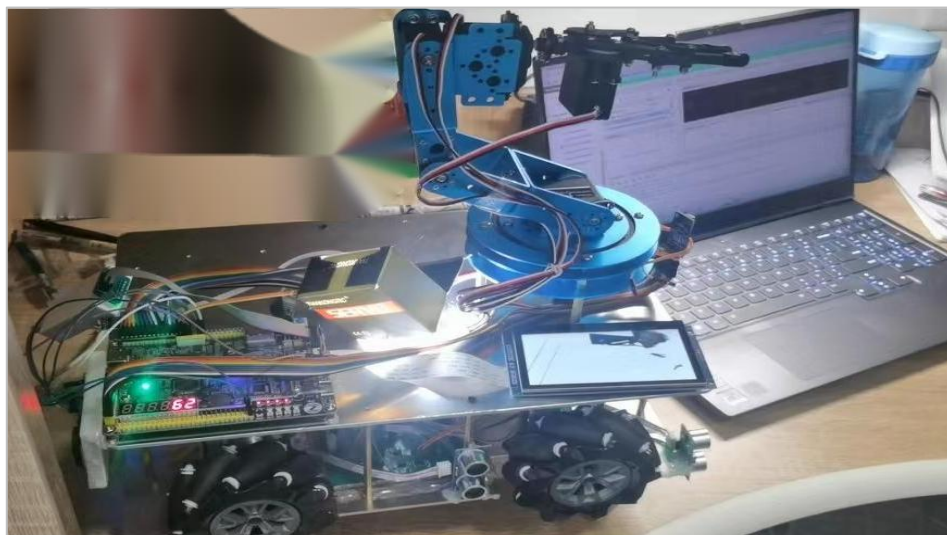


图 10-2-2 环境湿度测试记录

如图所示，数码管可准确显示当前室温和湿度，更详细的测试情况请查看提交资料中的视频演示。

### 3. 环境光监测测试：

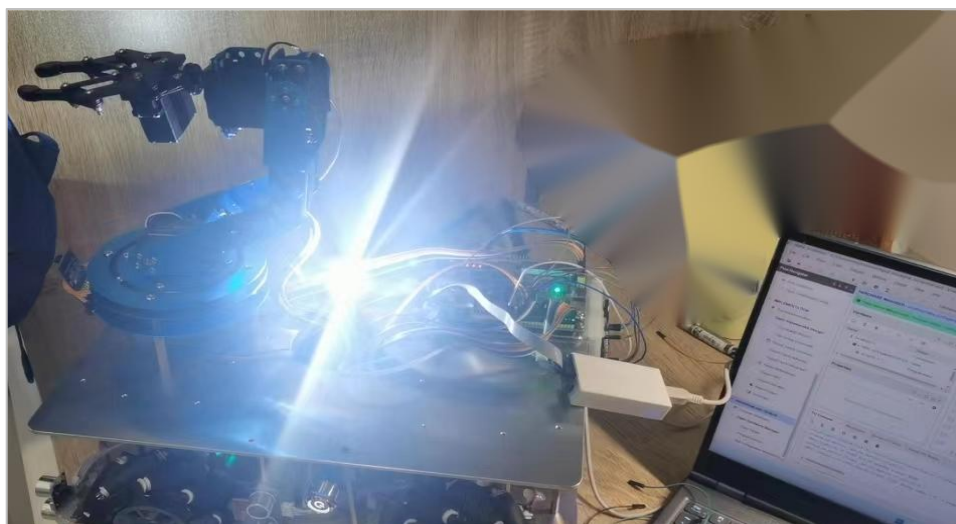


图 10-3-1 语音打开照明测试记录

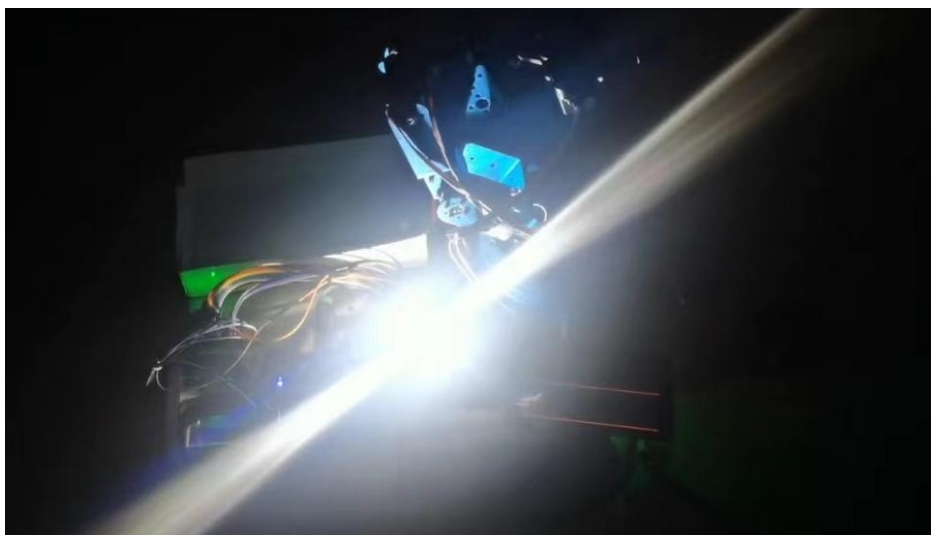


图 10-3-1 环境光监测测试记录

如图所示，机器人既可识别语音后打开照明，且能够在环境光较低的情况下自动打开照明，更详细的测试情况请查看提交资料中的视频演示。

#### 4. 机械臂取放物品测试：

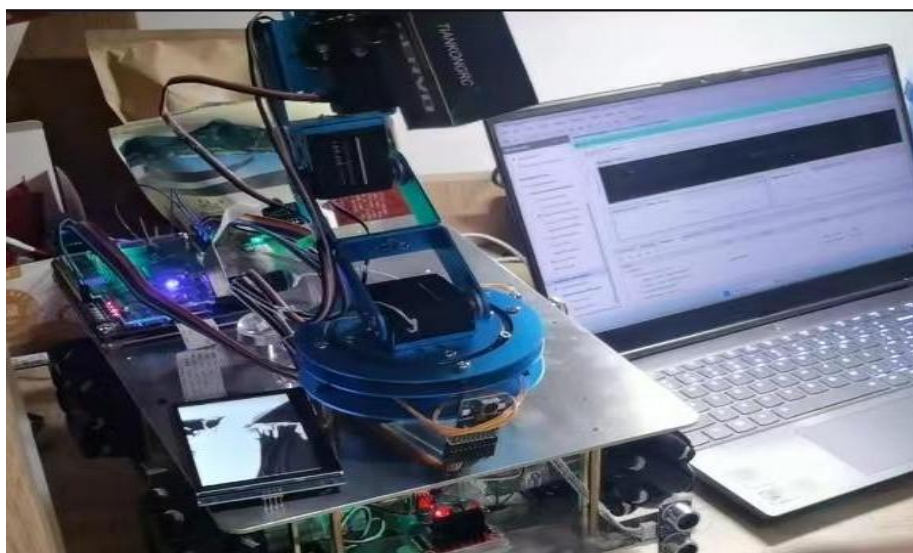


图 10-4 机械臂取放物品测试记录

如图所示，可稳定取放物品，更详细的测试情况可查看提交资料中的视频演示。

## 5. 小车自动避障测试：

测试演示：

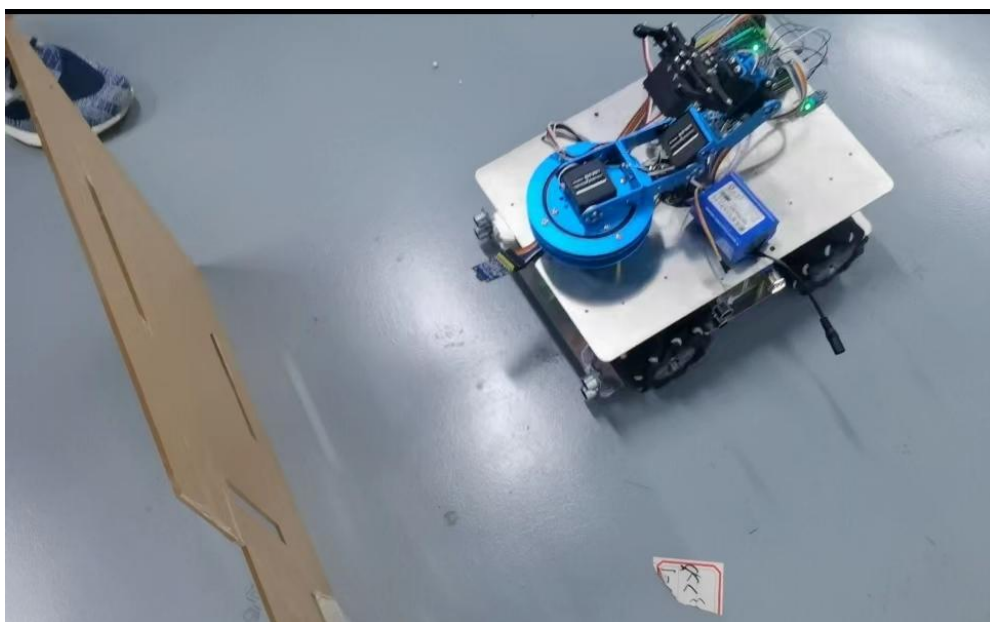


图 10-5-1 小车遇到障碍

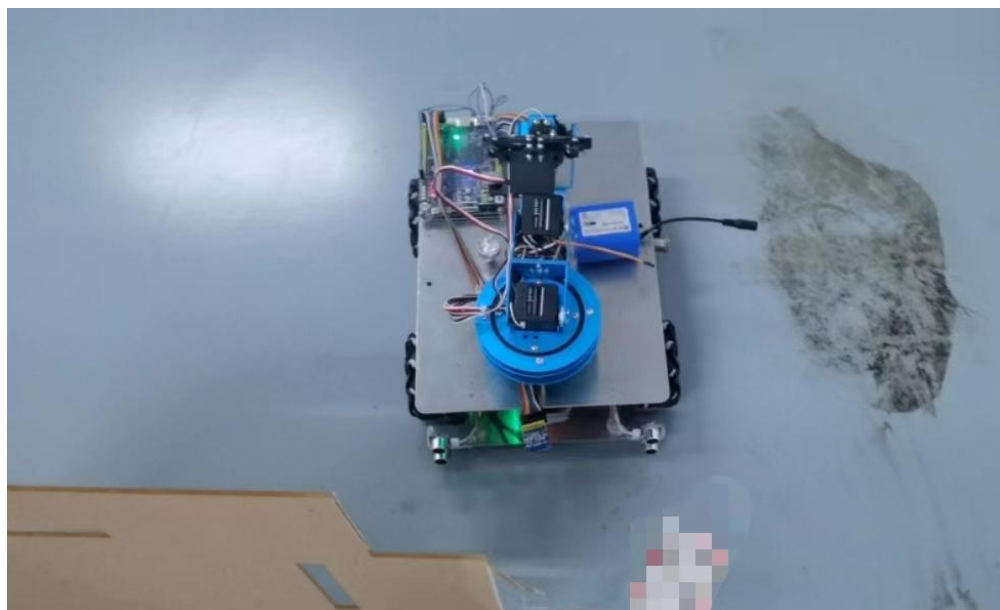


图 10-5-2 小车避开障碍

如图所示，小车可感知前方的障碍并避开，更详细的测试情况可查看提交资料中的视频演示。

## 八、未来发展与提升 (Future Work)

对于本机器人，我们团队认为未来还需要完善的部分主要有以下几点：

1. 增加温湿度的语音播报功能，以及天气预报功能，让老人可以更加直接地了解到当前的气候，并辅以智能提醒功能，提醒老人增衣保暖。
2. 完善物体识别与记录，为老年人记录常用物品所在位置，便于为老人取得所需物品，且当机器人不便抓取物品时，也可提醒老人所需物品的位置。
3. 增加手势识别功能，为语言障碍老人提供机器人的使用方法。
4. 增添通信功能，便于留守老人子女与老人进行通话。
5. 增添自动充电台，且让机器人能够在电量不足时自动寻路回到充电台进行充电，便于老年人的使用。
6. 外壳与机械结构的优化设计，通过多功能机械臂的使用，以及加装更安全美观的外壳，降低老人的使用隐患，并提升机器人的现有功能。
7. 增添留守老人信息记录与云同步，便于政府统计留守老人情况，给予留守老人更进一步的支持。

## 九、总结 (Conclusion)

随着我们团队工作的进行，至此项目也仅是刚刚起步。目前我们设计的这一款基于 Robei EDA 工具的留守老人陪护机器人目前基本完成了初赛的预期目标。

该机器人实现了环境监测（温湿度以及环境光监测）、自主避障行走、机械部取放物品、物体识别与图像处理、人机语音交互控制等功能。

而在整个项目设计过程中，我们合理分工并根据要求规划时间进度。在项目初期，小组在查阅相关资料后确定项目设计方向，并多次与指导老师进行讨论，直至确定命题，以目前人口老龄化加剧，留守老人持续增长的背景下，推出一款留守老人陪护机器人，旨在为家庭结构复杂的家庭减轻照顾老年人的负担，和让留守老人能够提高生活质量，提高生活幸福感；项目中期，小组成员开始分模块进行项目设计，图像处理和电机控制处理是我们重点设计的方向；在项目调试期间，小组成员采用分-总的方式进行测试工作，以保证发生错误后能够最快速地解决；最后在初赛收尾工作时，由于小组成员在平时设计时大多保存了设计过程

的记录，所以在收尾总结时省去大量时间，再加上指导老师多次的耐心修改，收尾工作完成地很顺利。

## 十、参考资料（References）

[1] 钟杭,孙浩,龚蓓蕾.基于 Robei EDA 工具的多功能可重构机器人设计[J].电子产品世界,2022,29(01):77-81.

[2] 《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

[3] <http://robei.com>