
第十七届全国大学生
智能汽车竞赛

技 术 报 告



学 校：集美大学诚毅学院

队伍名称：深閔远拓

参赛队员：康泽豪 黄祥演 押星

指导老师：杨璐、胡奕彬

关于技术报告和学术论文使用授权的说明

本人完全了解全国大学生智能汽车竞赛关保留、使用技术报告和学术论文的规定，即：参赛作品著作权归参赛者本人，比赛组委会可以在相关主页上收录并公开参赛作品的设计方案、技术报告以及参赛模型车的视频、图像资料，并将相关内容编纂收录在组委会出版论文集中。

参赛队员签名： 康泽豪
黄泽海
押星

带队教师签名： 杨理路
胡秋林

日 期： 2022.8.10

摘要

本文详细介绍了集美大学诚毅学院深阔远拓小队参赛队员在第十七届全国大学生智能汽车竞赛完全模型组中的系统方案，包括硬件电路设计、机械结构设计、巡线算法以及识别算法的设计等。本小车采用大赛组委会统一指定的 I 型车模，AI 小车以嵌入式设备 EdgBoard FZ3B 为控制核心,英飞凌 Tc264 为下位机，USB 摄像头采集赛道信息进行寻迹，在国赛中使用神经网络快速完成多分类任务，并让车模做出对应动作。在硬件电路的设计上主要应用了低压差线性稳压电路、运算放大器以及半桥驱动 H 桥电路；在寻迹算法设计中使用大津法获取图像阈值进行二值化、使用左右手爬边算法寻找赛道边界，之后用 PID 算法使小车追踪目标值达到理想效果；在智能识别算法设计中，我们搭建卷积神经网络、训练神经网络模型来识别赛道元素。在算法实现时，我们使用 Linux 环境编写 C++ 语言代码,通过数据采集、数据增强等方法训练出可在移动端部署轻量级 cnn 模型 mobilenetv1，设计出了一款能完成所有识别任务的智能小车。

关键词：摄像头寻迹，智能识别，mobilenetv1

Abstract

This article details the system scheme of the participants of the Deep Hong Yuantuo Team of Chengyi College of Jimei University in the complete model group of the 17th National College Students Intelligent Automobile Competition, including hardware circuit design, mechanical structure design, line patrol algorithm and recognition algorithm design. This car adopts the I-type car model uniformly designated by the organizing committee of the competition, the AI car takes the embedded device EdgBoard FZ3B as the control core, Infineon Tc264 as the lower computer, the USB camera collects track information for traceability, and uses the neural network to quickly complete the multi-classification task in the national race, and let the car model make corresponding actions. In the design of hardware circuits, low-dropout linear regulator circuits, operational amplifiers and half-bridge drive H-bridge circuits are mainly used. In the design of the tracing algorithm, the Otsu method is used to obtain the image threshold for binaryization, the left and right hand climbing algorithm is used to find the track boundary, and then the PID algorithm is used to achieve the desired effect of the car tracking target value; In the design of intelligent recognition algorithm, we build convolutional neural networks and train neural network models to identify track elements. In the implementation of the algorithm, we use the Linux environment to write C++ language code, through data acquisition, data enhancement and other methods to train the deployment of lightweight cnn model mobilenetv1 on the mobile side, and design a smart car that can complete all identification tasks.

Keywords: Camera tracking, intelligent recognition, mobilenetv1

目录

引言	1
第一章 系统方案设计概述	3
1.1 系统结构	3
1.2 系统介绍	4
第二章 车模整体结构设计	5
2.1 基础车模介绍	5
2.2 传感器的选择	5
2.3 电池的选择	5
2.4 小车机械结构设计	5
2.5 车模结构设计	7
2.5 小车整体图片	12
第三章 硬件电路设计	15
3.1 单片机系统设计	15
3.2 主板设计	15
3.2.2 主板外设部分设计	17
3.3 驱动板设计	18
3.4 按键板设计	21
3.5 整体电路拼版效果	22
第四章 基于嵌入式的巡线算法说明及代码设计介绍	23
4.1 程序运行流程	23
4.2 图像采集与应用	23
4.3 赛道类型识别与处理	25
4.4 控制方案选择	27

第五章 赛道导引标志识别方案设计介绍	33
5.1 导引标志介绍	33
5.2 模型选取	33
5.3 引导标志识别方案	34
第六章 开发工具、制作、安装、调试过程说明	37
6.1 VSCODE 开发工具	37
6.2 opencv 开发工具	38
第七章 模型车主要技术参数说明	41
结论与感悟	43
参考文献	45
附录	I

引言

全国大学生智能汽车竞赛是由教育部高等学校自动化专业教学指导委员会主办全国大学生智能汽车竞赛。该竞赛以“立足培养，重在参与，鼓励探索，追求卓越”为指导思想，旨在促进高等学校素质教育，培养大学生的综合知识运用能力、基本工程实践能力和创新意识。智能车竞赛涉及多个领域：自动控制、模糊识别、传感器技术、电子电气、计算机技术、机械与汽车等多个学科，为大学生提供了一个充分展示想象力和创造力的舞台，吸引着越来越多来自不同专业的大学生参与其中，激发了大学生的创新思维，对于其实践、创新能力和团队精神的培养具有十分最重要的价值。该竞赛分竞速赛、创意赛和技术方案竞赛三类比赛。

第一章 系统方案设计概述

“完全模型”智能小车作为一个整体系统，包括机械结构、硬件电路和软件算法三个主要部分。对这三个部分分别统筹设计是贯穿始终的原则，机械结构部分的设计将决定智能小车速度的最终极限，硬件电路将为智能小车提供实现机械潜能所必需的能源、检测手段及控制能力，软件设计针对输入进行处理最终实现对智能车机械和电路的控制。

1.1 系统结构

根据今年智能车竞赛完全模型组的竞赛规则，对于完全模型组摄像头的使用有两种方案。方案一是使用一个摄像头串行任务；方案二是使用两个摄像头并行任务。方案一使用的一个摄像头的优点是减少 USB 带宽占用率，对于资源分配要求不高；但是其缺点是 AI 元素的识别和巡线任务需要串行，无法以高帧率完成元素识别和巡线任务，速度上限低。方案二使用的双摄优点是双摄像头多线程并行，可以在高帧率的情况下完成 AI 元素识别和赛道巡线，速度上限高。经过理论分析以及实验，本团队最终使用方案二，方案二系统结构如图 1.1 所示。

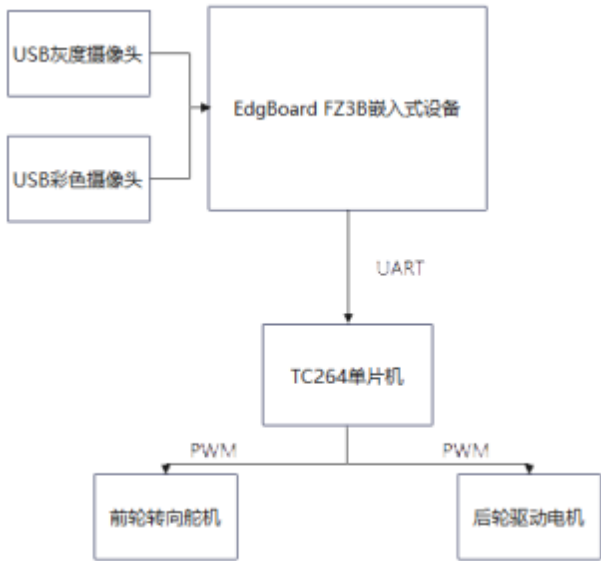


图 1.1 系统结构框图

1.2 系统介绍

本智能小车的总体工作模式为：多线程分别获得两个 USB 摄像头传感器所采集到的每一帧赛道图像，以灰度摄像头采集到的图像处理后的信息为基础进行寻迹（如图 1.2 所示），用编码器来检测小车速度，获取小车的实时位置以及状态；通过 PID 算法控制前轮舵机转向角度以及后轮电机来调整小车的位置以及速度，使得小车在赛道上以较好的姿态快速运行^[1]。

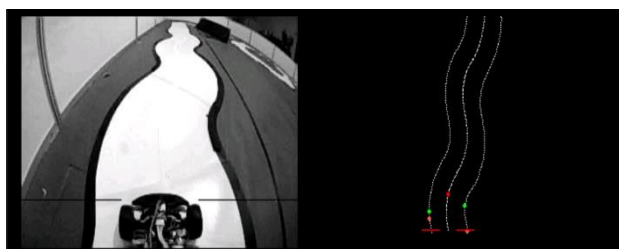


图 1.2 灰度摄像头循迹图

以彩色摄像头采集到的图像处理后的信息检测道 AI 元素进行路径拟合（如图 1.3 所示）。结合灰度摄像头和彩色摄像头两个线程决策信息通过串口与 TC264 进行通信，控制车模完成识别导航任务。为了让小车完成此任务，我们力求系统稳定简洁高效，无论在硬件还是在软件上面都尽量简化结构、力求高效。

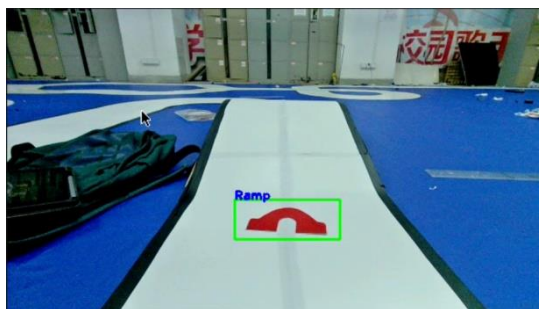


图 1.3 彩色摄像头 AI 元素识别

第二章 车模整体结构设计

2.1 基础车模介绍

第十七届全国大学生智能汽车竞赛“完全模型”组的指定车模是 I 车模，其对称性好，舵机安装方便，车模具有快速灵敏，精度高、响应快、动力强劲、抓地力强、刚性足以及重心等优势。I 车模尺寸为 $316 \times 190 \times 110\text{mm}$ ，轮胎尺寸为 $26 \times 62\text{mm}$ ，通过对轮胎适当的填充海绵和进行封胎处理，使车模具有较好的减震性，可以提供更大的摩擦力。I 车模采用后轮单驱为动力，前轮舵机做转向控制：驱动电机为 RS-555，额定电压12V，额定转速12000rpm，；舵机型号为 CS-3120 舵机，6.8V电压时扭力可达 $17.5\text{kg} \times \text{cm}$ ，动作速度为 $0.14 \pm 0.02\text{sec}/60^\circ$ ，响应快、精度高。

2.2 传感器的选择

为保证车模可以及时获取赛道信息、及时作出响应，我们采用灰度摄像头作为寻迹传感器，配合、编码器等位置、速度传感器，完成“完全模型组”的基础寻迹任务。对于 AI 识别任务，我们采用彩色摄像头作为识别传感器，通过小车的移动，完成找传统循迹、AI 任务。

2.3 电池的选择

为满足各种执行器以及传感器供电需要，考虑小车重心问题，我们采用 3S 航模锂电池进行供电，为了保证小车有足够的爆发以及续航能力，我们选用容量为 2200、c 数为 40 的航模锂电池。通过合理选择电池位置以调节车体重心，使得小车重心符合后驱车运动规律，加减速性能较好。

2.4 小车机械结构设计

2.4.1 车模转向结构设计

1、舵机的安装

舵机安装方式有立式和卧式两种，比较两种方式发现，立式安装在舵机旋转相同的角度时转过的角度更小，所以立式安装舵机转向响应更快。舵机安装时要

保证左右对称，这样可以保证舵机左右转向时力臂相等且处于最大范围，提升了舵机的响应速度。经理论分析，功率等于速度与扭矩的乘机，加大转向速度必然减少输出扭矩，扭矩过小会造成迟钝，所以安装时必须考虑到转向机构的响应速度与舵机扭矩之间的关系，获得最佳转向效果。

2、车轮定位

车模的两个后轮同轴受到限位，无法调整，与智能车的前进方向保持平行，因此要改变智能车与地面的接触方式，调试出利于车转向、直线的四轮定位，只能通过调整前轮倾角各定位参数来实现。它的安装位置主要是由主销内倾、主销后倾和前轮前束三个项目决定。

主销后倾是指在纵向平面内主销轴线与地面垂直线之间的夹角，向前为负，向后为正。它在车辆转弯时会产生与车轮偏转方向相反的回正力矩，使车轮自动恢复到原来的中间位置上。所以，主销后倾角越大，车速越高，前轮自动回正的能力就越强，模型车通过增减黄色垫片数量来改变主销后倾角。由于竞赛所用的转向舵机力矩不大，过大的主销后倾角会使转向变得沉重，转弯迟滞^[2]。所以我们修改主销后倾大致 $1\sim 2^\circ$ 。调整后如图 2.1。



图 2.1 调整后的主销后倾

主销内倾是将主销的上端向内倾斜。从车前方看去，主销轴线与通过前轮中心的垂线之间形成一个夹角，即主销内倾角。轮胎调整为倾斜以后直线行走的时候是轮胎内侧着地，而当过弯的时候，由于惯性车体会要向弯道外侧倾斜，而这时候的外侧轮胎如果倾斜角度事先调整得当则正好可以胎面着地，从而使车辆在弯道获得最佳抓地力。使车轮转向能及时自动回正和转向轻便。调整后如图

2.2。



图 2.2 调整后的主销内倾

车轮前束是指两轮之间的后距离数值与前距离数值之差，也指前轮中心线与纵向中心线的夹角。从上往下看，两个车轮指向的方向在前端指向内称为车轮前束，指向外的则称为车轮后束。前轮前束的作用是保证汽车的行驶性能，减少轮胎的磨损。前轮在滚动时，其惯性力自然将轮胎向内偏斜，如果前束适当，轮胎滚动时的偏斜方向就会抵消，轮胎内外侧磨损的现象会减少。调整后如图 2.3。



图 2.3 调整后的前轮前束

2.5 车模结构设计

2.5.1 车壳结构介绍

我们本次比赛车壳是通过 3d 打印来进行制作，材料选用白色韧性树脂，即使整个车壳壁厚只有 1.5mm 也不容易破损，1.5mm 的壁厚在保证能够顺利打印的同时也能够保证车壳足够轻，最后车壳的总重量在 301g 左右。整体外形根据内部结构高度来尽量压低车壳高度，并采用流线型设计减小风阻如图 2.4。

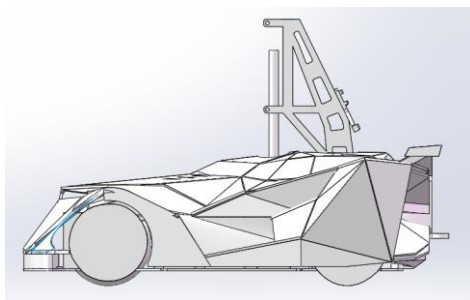


图 2.4 车模整体结构

整个车壳为方便安装分为两个部分四个零件，分为可拆卸和固定两大部分如图 2.5，每部分各两个零件，固定部分的零件通过螺栓锁在车模前后，可拆卸部分为考虑摄像头的拆卸会导致位置变化的问题，将可拆卸分成两部分及车顶和车壳。可拆卸部分都是通过直径 10mm 厚 2mm 的磁铁进行连接，保证了足够可靠性的同时也保证了车壳的拆卸不容易损伤车壳并且能够轻松拆解。磁铁的安装通过车壳上的预设孔通过热熔胶进行固定，能够更好的控制磁铁的吸力的大小。

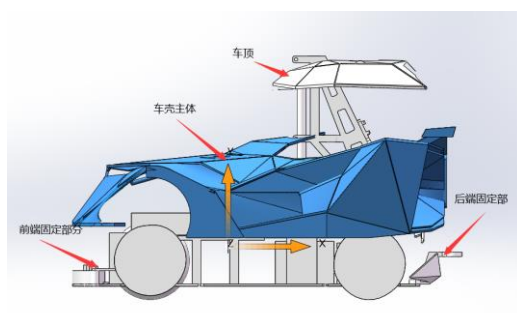


图 2.5 车壳安装爆炸视图

2.5.2 车模零件优化

(1) 计算卡和电池固定

我们对车模原有的零件根据实际情况进行改良如图 2.6，相较于官方的模型我们降低了计算卡固定平台的高度，将电池平放，将车模整体重心降低。结构也进行了轻量化设计。

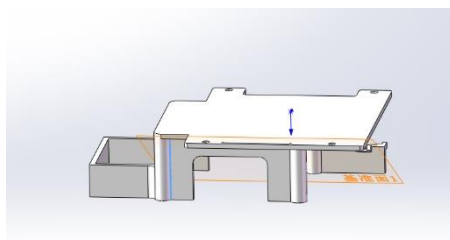


图 2.6 计算卡及电池固定

(2)摄像头加固

车模在坡道、弯道、加速、减速时摄像头安装的杆会有一定的变形，因此增加了固定的辅助零件如图 2.7 图 2.8，并进行了轻量化设计最后重量控制在 30g 以内。

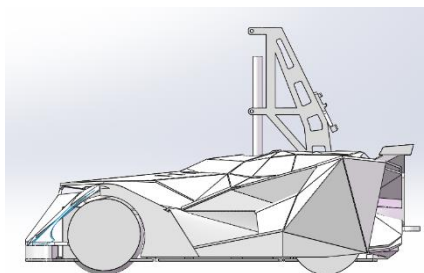


图 2.7 摄像头加固安装示意

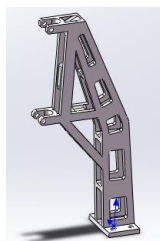


图 2.8 摄像头固定

(3)屏幕及按键固定

对于屏幕和按键需要露在外面方便观察操作，并且拆卸车壳时不能和车模有相对移动，就将其与摄像头固定零件固定在一起如图 2.9，拆装车壳时不进行拆卸也不会影响到车壳的拆卸。

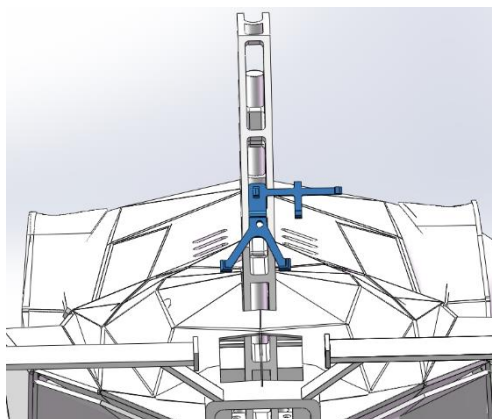


图 2.9 屏幕及按键固定

本次智能车大赛设计的智能车外壳正视图、侧视图、俯视图分别如图 2.10、2.11、2.12 所示。



图 2.10 正视图



图 2.11 侧视图



图 2.12 俯视图

2.5.3 车模重心设计

为提高车模的抓地力、防止车模过弯时侧翻，我们合理的配置了车模的重心。由于车模是后轮驱动，前轮转向，所以要求小车尽量前轻后重，查阅大量资料我们得知后驱车模最好的前后重量比例为 4:6 使车模拥有合适的重心。

2.5.4 车模传感器的设计安装

本车模设计主要使用了 USB3.0、USB2.0 摄像头、陀螺仪等传感器。关于摄

像头的安装，我们采取碳素杆固定的方式，将其架设在镜头中心距地面 30cm 左右的位置，以获取较好的视野；关于陀螺仪的安装，我们采取焊接在主板上的方式，将其架设在车模左端。以上传感器大体安装位置如图 2.13 所示。



图 2.13 车模实物结构图

2.5.5 系统电路板的固定及连接

本车模电磁板使用铜柱固定，并使用软排线将其与主板连接，主板与分电板采取打孔的方式，利用铜柱固定于车模底盘，以获取较好的重心。运放板与驱动板则使用胶枪分别粘贴至电磁板下方与电机上方。

2.6 小车整体图片

本次智能车大赛设计的智能车的外形侧视图和俯视图分别如图 2.14 和 2.15 所示。



图 2.14 侧视图

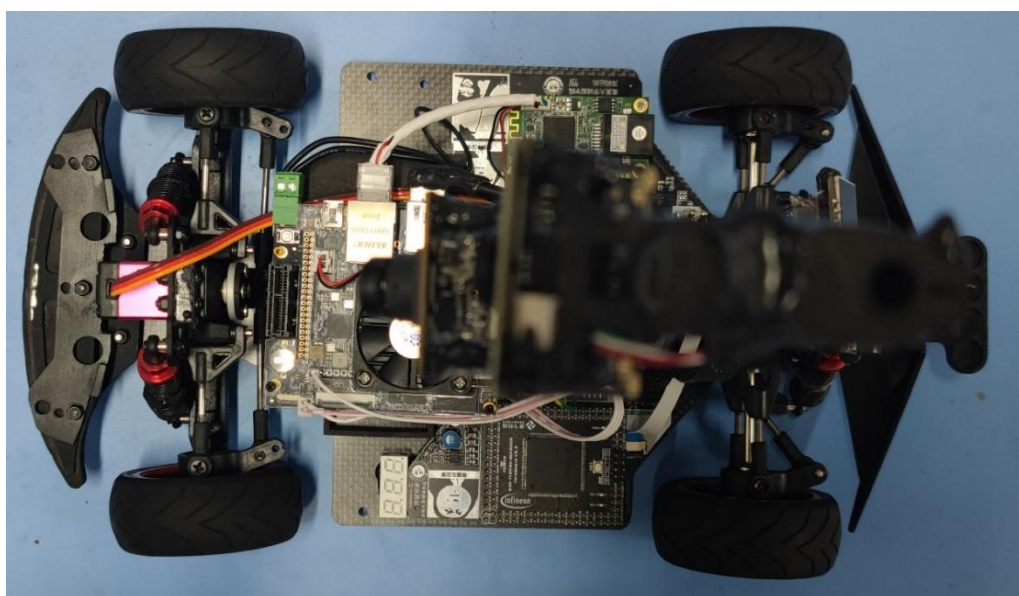


图 2.15 俯视图

第三章 硬件电路设计

硬件是软件系统的基础，一个良好、稳定、安全的硬件环境可以提高小车的整体性能，也能保证小车能平稳快速的行驶。我们在整个小车硬件系统设计过程中严格按照规范进行。本着可靠、高效的原则，在满足传感器和执行器要求的情况下，尽量使用原理简单、能耗低的电路，设计电路时在保证电路稳定性的前提下使电路板整洁美观。

3.1 单片机系统设计

单片机最小系统是智能车系统的核心控制部件，单片机也被称为单片微控制器，属于一种集成式电路芯片。在单片机中主要包含 CPU、只读存储器 ROM 和随机存储器 RAM 等，多样化数据采集与控制系统能够让单片机完成各项复杂的运算，无论是对运算符号进行控制，还是对系统下达运算指令都能通过单片机完成。由于智能识别任务需要很多外设以及执行器，为了达到快速处理复杂赛道信息、同时控制多种执行机构的目的，我们采用具有更高性能 TC264D-40F200W BC 芯片。原理图如图 3.1 所示。

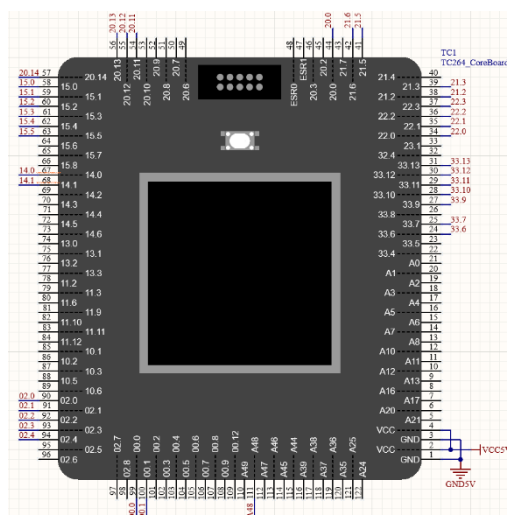


图 3.1 单片机系统原理图

3.2 主板设计

主板的是小车的主控制板，其作用为为单片机系统提供电源以及引出外设。

3.2.1 主板电源部分设计

电源模块为系统的 CPU、传感器、执行器提供所需要的电源。设计中，除了考虑电压范围和电流容量等基本参数之外，还需要考虑电路的复杂程度、电源转换效率、以及如何防止干扰等问题。可靠而且稳定的电源方案是整个系统稳定可靠运行的基础^[3]。

系统的总供电由额定电压为 11.1V、满电电压为 12.6V 的三串放电倍率为 30C 航模锂电池提供，可以直接为电机供电。为了满足不同电路模块对电压以及电流的需求，本电路的电源模块包括多个稳压模块：

5V 供电：

由于最小单片机系统、激光雷达、RGB 灯及 3.3V 低压差线性稳压都需要 5V 供电，由于使用 5V 供电的外设中存在大电流器件，我们使用 TPS5430 将 11.1V-12.6V 的电压稳压在 5V 为外设供电。

TPS5430 是一款 DC-DC 异步降压芯片，其输入的电压范围为 5.5V-36V，开关频率为 500kHz。可以提供最大 3A 的负载电流，在输入电压为 12V，输出电压为 5V 时，它的转换效率高达 90%。我们使用该芯片为一个单片机核心板、激光雷达和一组 RGB 灯供电，电路原理图如图 3.2 所示。

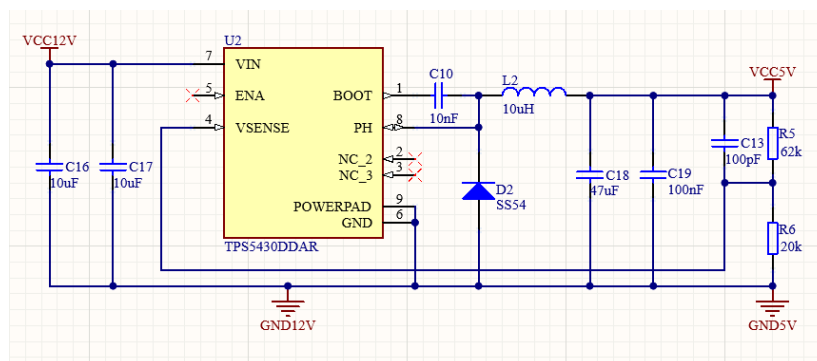


图 3.2 TPS5430 稳压原理图

3.3V 供电：

对于 IPS 屏、蜂鸣器、按键、陀螺仪及编码器需要 3.3V 供电。我们使用 RT-9013-33GB 将 5V 电压降至 3.3V 输出。

RT-9013-33GB 是立锜公司的 RT9013 系列中稳压在 3.3V 的一款低压差线性

稳压器件，在输入电压为 5V 的情况下，它能输出误差不超过 1% 的 3.3V 电压，并且在封装为 SOT-23-5 的小封装条件下能够持续输出电流高达 500mA 的电流。其原理图如图 3.3 所示。

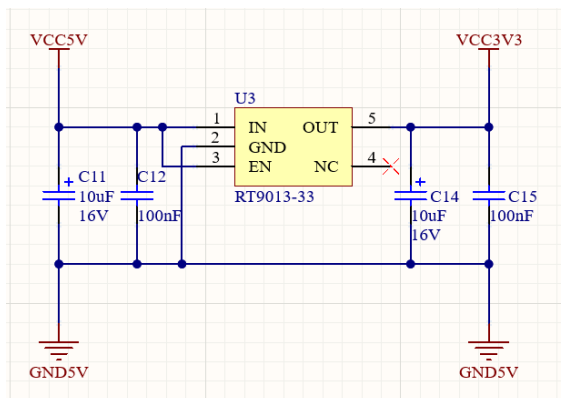


图 3.3 RT9013-33GB 稳压原理图

6.79V 供电：

对于转向用的 CS-3120 舵机需要 4.8-6.8V 的电压，为保证转向舵机的正常使用以及反应速度，我们使用 TPS5430 将电源电压输出为 6.79V。TPS5430 的参数以在上文介绍，不再赘述。其原理图如图 3.4 所示。

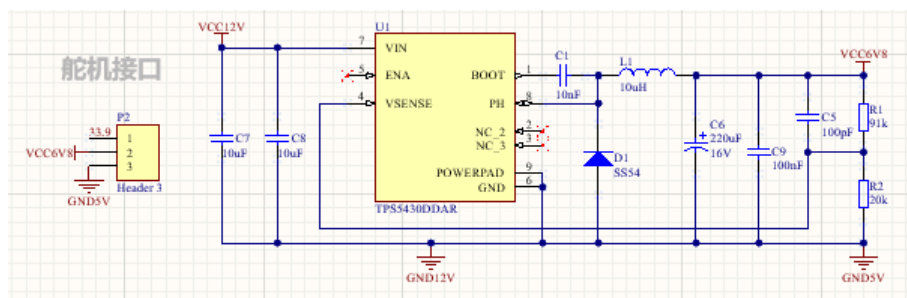
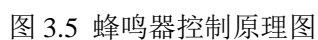


图 3.4 TPS5430 稳压原理图

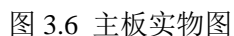
3.2.2 主板外设部分设计

主板外设部分设计主要由外设接口以及简单的开关电路组成，将外设接口引出方便外设与单片机系统进行连接。

外设包括:编码器、按键、IPS 屏、蜂鸣器、激光雷达、串口、电流采样、电压采样接口等，其中特殊的接口有：IPS 屏采用 1.14 寸 IPS 液晶彩屏、电压采样采用 ADC 接口、控制电机引脚采用两路 PWM 控制接口。为控制蜂鸣器，我们



为了降低车的重心，通过合理设计电路，在保证电路所有功能都可以实现的情况下，将器件全放置在顶层并且尽量使电路板整洁美观，主板如图 3.6 所示。



驱动板的作用是可以由单片机发出的 PWM 信号来控制一个 RS-555 电机的转速。我们在编程时选择用 PWM 的占空比来控制电机转速，为达到此目的，我们选用经典半桥电路来控制电机。由于电机是由锂电池直接供电，所以电源电压为 11.1-12.6V，为满足半桥栅极驱动芯片以及其他电路的供电需求，驱动板中还

应设有稳压模块。由于电机的转速、扭矩与电压、电流有着直接的关系，为了更加直接的控制电机旋转，我们需要实时采集流经电机的电流大小，因此在驱动板中加入了电压、电流采样电路^[4]。

3.3.1 驱动板供电设计

除电机及 IR2184S 芯片直接由锂电池供电外，电流采样芯片以及缓冲芯片需要 3.3V 供电，因此驱动板的供电设计应该需要一个 3.3V 稳压电路。

本电路中的 3.3V 供电主要将锂电池的 11.1-12.6V 电压转化为稳定的 3.3V 电压。该模块主要为缓冲芯片和电流采样芯片供电，所需电流不大，且有较大的压差，为了电路的可靠性，我们选用 MP2451DT-LF-Z 来进行降压供电。

MP2451DT-LF-Z 是一款 SOT23-6 小封装异步降压芯片，且负载电流最大可达 1A，其开关频率高达 2MHz，因此在较高的压差下他也能保持 90% 的转换效率及较低的纹波电压。外部电路皆可用小封装电感电容，节省电路板面积，并且芯片稳定性好、电压精度高，满足设计要求。具体电路如图 3.7 所示。

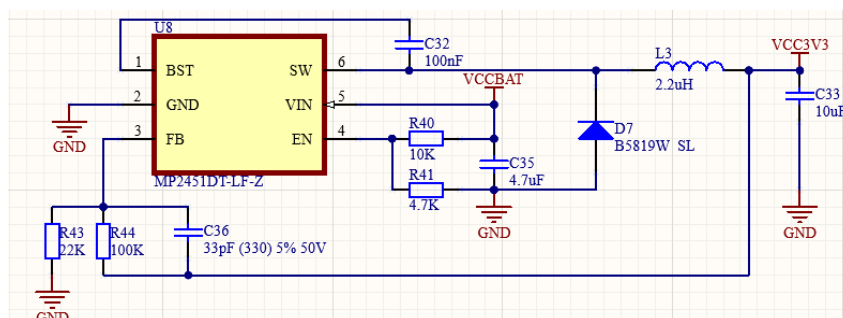


图 3.7 驱动板 3.3V 稳压电路

3.3.2 H 桥驱动电路及缓冲电路设计

H 桥电路是使用四个 MOS 管来控制电机正转或反转的电路，连接电源正极和连接电源负极的两个 MOS 管同时导通时，电流则流经两个 MOS 管给电机通电。由于启动电机所需的瞬时电流可达到 15A 以上，所以我们需要选择低内阻大电流 MOS 管，本设计中 MOS 管选择 TPH1R403NL，其封装小且开关频率高、内阻低允许通过电流大，满足设计要求。为了用单片机输出的信号控制 MOS 管的导通，我们选取了英飞凌的半桥栅极驱动芯片 IR2184S，通过控制给驱动芯片信号的占空比来平均通电时间从而控制平均电压来控制电机转速。半桥驱动电路的原理图如图 3.8 所示。

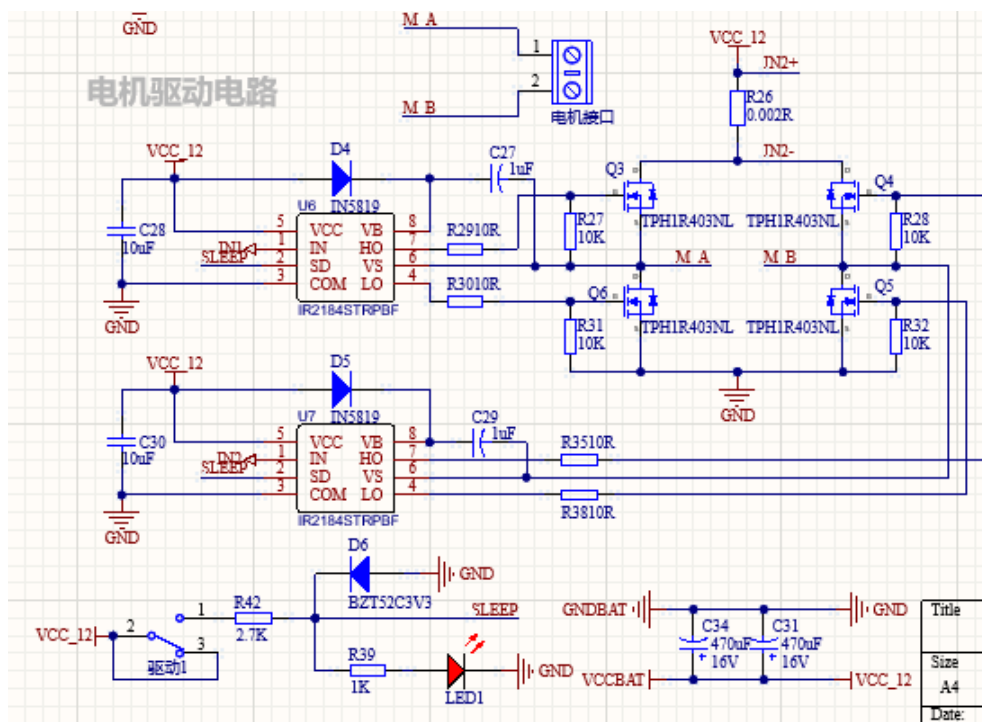


图 3.8 半桥驱动电路原理图

缓冲电路的设计是为了能够使 PWM 信号能够同步到达,防止 PWM 信号突然跳变,对电机产生冲击,防止电机损坏。缓冲电路原理图如图 3.9 所示。

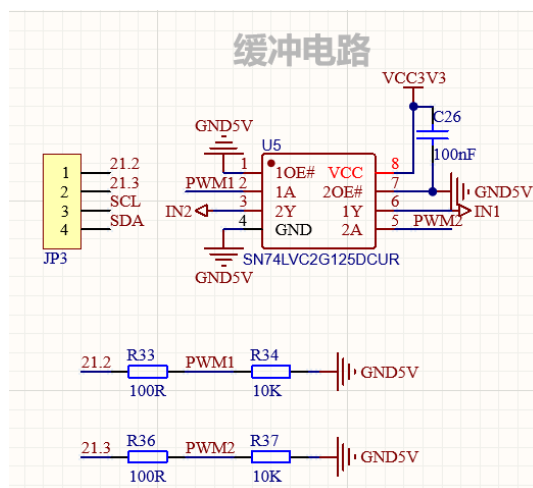


图 3.9 缓冲电路原理图

3.3.3 电压、电流采样电路

为了精准控制电机转速，我们采用电机电流闭环的方式控制电机。所以我们需要检测电流的大小并传输给单片机。在检测电流时我们采用 INA3221 电流检

测芯片。该芯片是一款高侧电流采样芯片，通过 I²C 协议与单片机通信，该芯片能够测量 0V 至+26V 范围内变化上的电流，且具有高精度特性，其偏移电压最大为 $\pm 80 \mu\text{V}$ ，增益误差最大为 0.25%，额定运行稳定高达 125℃，能够在驱动板上稳定的运行。电流采样电路原理图如图 3.10 所示。

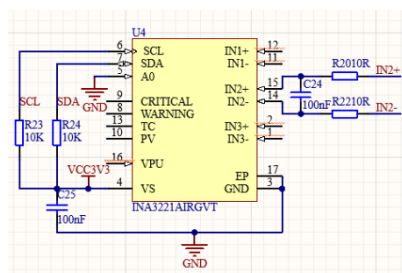


图 3.10 电流采集电路原理图

3.3.4 驱动板实物图

驱动板电路如图 3.11 所示。

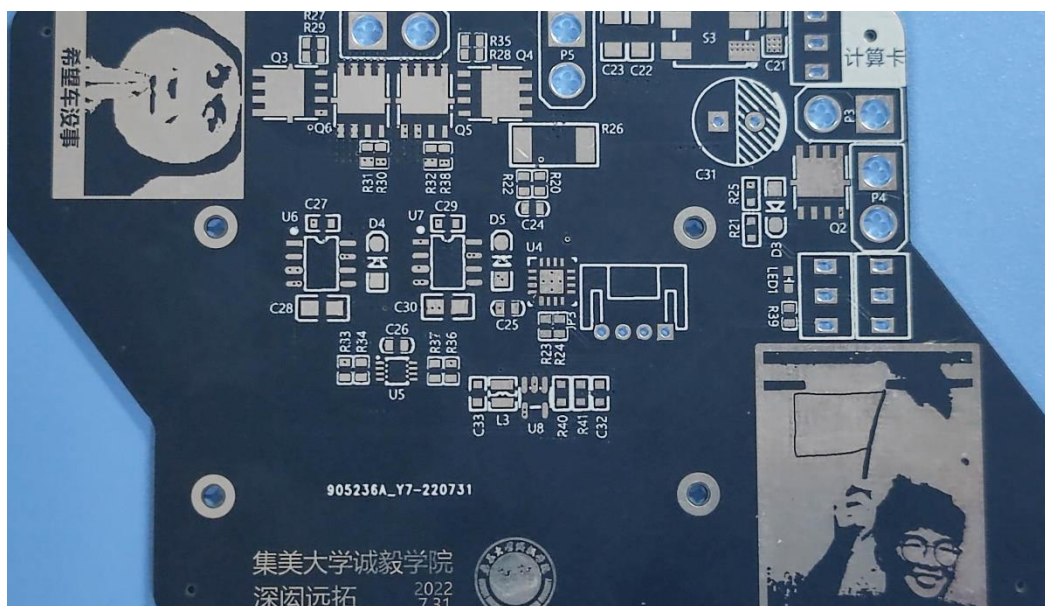


图 3.11 驱动板实物图

3.4 按键板设计

按键板是独立于其他电路板的按键模块，包括一个五向按键及一个三路拨码开关，方便调试小车，按键板的实物图如图 3.12 所示。

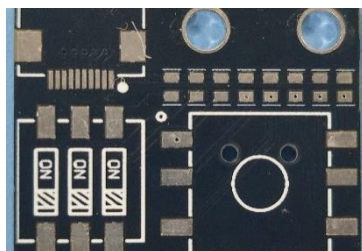


图 3.12 按键板实物图

3.5 整体电路拼版效果

整体电路拼版效果如图 3.13 所示。

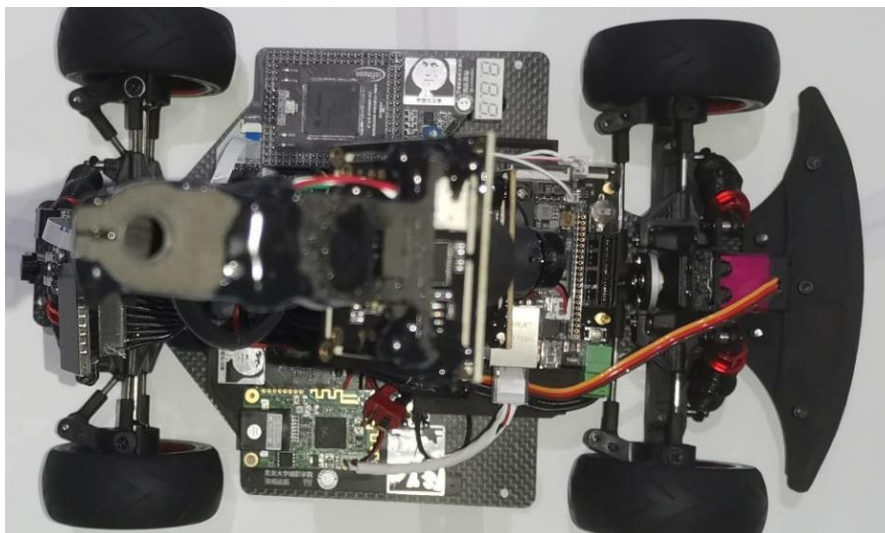


图 3.13 整体电路拼版效果

第四章 基于嵌入式的巡线算法说明及代码设计介绍

4.1 程序运行流程

系统运行可执行程序后首先略过图像不稳定帧，驶离车库。灰度摄像头运行巡线算法，当第二次经过斑马线后，驶入车库，程序整体运行流程如图 4.1 所示。

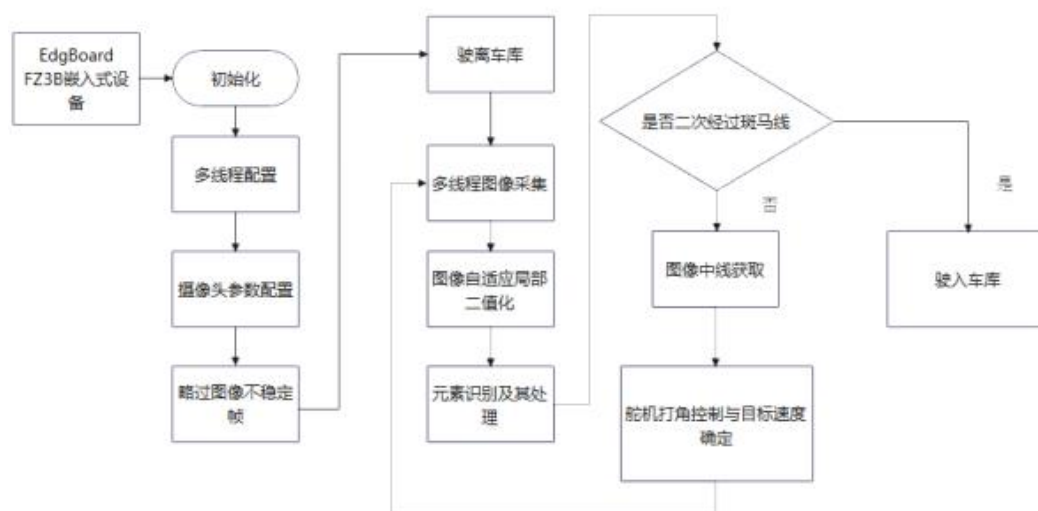


图 4.1 程序整体运行流程

4.2 图像采集与应用

4.2.1 图像的失真与校正

本次比赛我们使用了一个 170° 的广角镜头以获得更大的视野范围，然而广角镜头通常会有一定的畸变（如图 4.2 所示），所以需要镜头进行标定和去畸变。

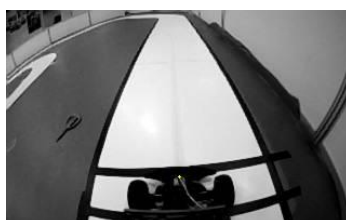


图 4.2 直道图像

4.2.2 相机标定与矫正

标定是对特定的相机成像模型中的参数进行拟合的过程。而常用的相机包括针孔相机模型(Pinhole Camera Model)、鱼眼相机模型(Omnidirectional Camera Model)。为了方便，我们使用 MatLab 对相机进行标定，而 MatLab 对上述两种相机模型都有支持。直道矫正后图像如图 4.3 所示。



图 4.3 直道矫正后图像

4.2.3 透视变换

透视变换主要用于将一个平面从视角 A 变换到视角 B。即从平面在视角 A 的图片中，生成一张“假”的图片，这张“假”图片中的平面正好和视角 B 下的图片相同。注意，这里提到了“一个平面”，这意味着不在同一个平面上的点是不满足这个变换的。使用透视变换，我们可以将相机斜向下得到的赛道图像变换成完全的俯视图。由于赛道正好在地平面上，满足同一平面的要求，所以可以使用透视变换完成。直道逆透视后图像如图 4.4 所示。



图 4.4 直道逆透视后图像

4.2.4 边线二值化方案

我们采用 SJTUAuTop 团队提出的“迷宫法”进行边线提取（如图 4.5）所示。

由于赛道的边界线是一条连续的曲线（良好的二值化是前提），所以我们并不需要每次都从图像中央开始向左右两侧进行扫描，而是仅仅在图像下侧扫描一次，得到边界线的起始点后，沿着边界线“一直走”即可。而这个“一直走”的具体做法则是参考走迷宫的“右（左）手法则”。

想象在边界线的起始点处有一个面朝图像上方的小人，黑色像素为墙，白色像素为路，小人保持左（右）手扶墙向前走，直到走到图像边缘或者走到步数的上限，而其走过的路径即为赛道边线。

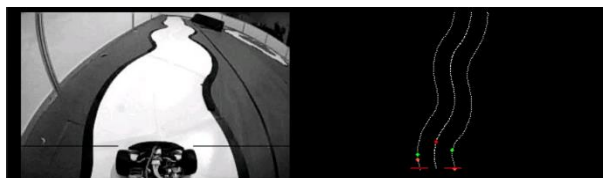


图 4.5 边线提取图像

4.3 赛道类型识别与处理

根据提取到的赛道中线，可将赛道分为以下几个元素，并根据赛道元素进行相应的控制。

4.3.1 直道的识别及处理

直道的左右边界对称度高，有效边线信息多（如图 4.6 所示）。对于赛道中的直道，车速应该相对更高，且直道是方向控制中最好处理的一种情况。



图 4.6 直道图像

4.3.2 普通弯道的识别及处理

弯道会有一侧丢失信息，另一侧呈现边界斜率递增的情况。遇到弯道时，转向角只受弯道的弯曲程度影响，但是距离弯道多远就开始转弯却需要受到当前速度的影响，而且速度越快，越是要提前得多，所以智能车转弯提前多少（也即偏差计算行）就由速度控制。弯道图像如图 4.7 所示。



图 4.7 弯道图像

4.3.3 十字处理

十字：关于十字元素，我们将其分为两个状态，发现十字，进十字。

发现十字（如图 4.8）：当车模距离十字元素较近，但仍处于十字外时，我们可以查询到左右两侧边线的两个直角点，利用两个直角点往上搜索十字远线。

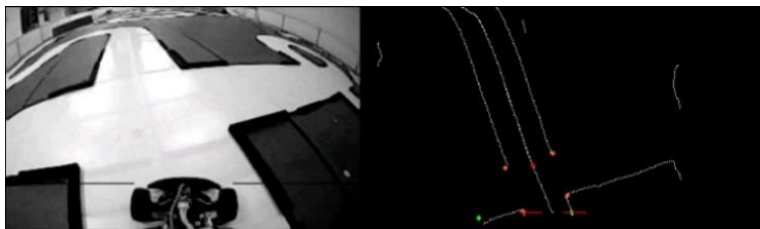


图 4.8 发现十字图像

进十字（如图 4.9）：当车模处于十字元素中时，继续往上搜索远线。

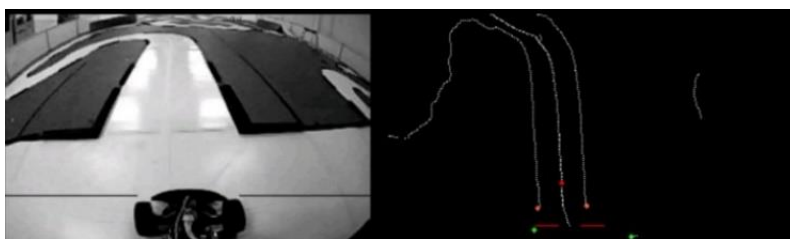


图 4.9 进十字图像

4.3.4 圆环的识别及处理

圆环：关于圆环元素，我们将其分为五个状态，发现圆环，进入圆环，圆环行驶中，出圆环，圆环结束。

发现圆环（如图 4.10）：当边线呈现单边长直道单边有直角点并且搜索不到斑马线时，即为发现圆环。



图 4.10 发现圆环图像

进入圆环（如图 4.11）：发现圆环后一边边线经历先丢线后有线的过程，即为进入圆环。

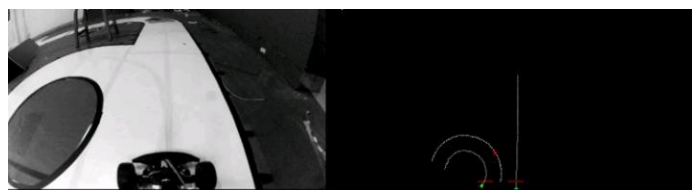


图 4.11 进入圆环图像

圆环行驶中（如图 4.12）：进入圆环后另外一边边线经历先丢线后有线的过程，即为圆环行驶中。



图 4.12 进入圆环图像

出圆环（如图 4.13）：圆环行驶中发现一边出现 L 角点即为出圆环。

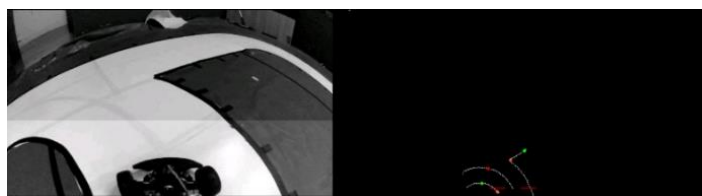


图 4.13 出圆环图像

圆环结束（如图 4.14）：当 L 角点所处边线经历先丢后有状态即为圆环结束。

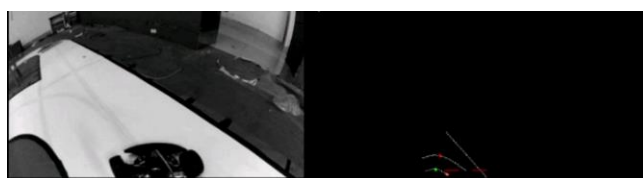


图 4.14 圆环结束图像

4.4 控制方案选择

我们使用位置式 PD 算法控制舵机打脚，使用 ADRC 算法控制电机稳定在目标速度。

在工程实际中，应用最为广泛的调节器控制规律为比例、积分、微分控制，简称 PID 控制，又称 PID 调节。PID 控制器问世至今已有近 70 年历史，它以其结构简单、稳定性好、工作可靠、调整方便而成为工业控制的主要技术之一。当被控对象的结构和参数不能完全掌握，或得不到精确的数学模型时，控制理论的其它技术难以采用时，系统控制器的结构和参数必须依靠经验和现场调试来确

定，这时应用 PID 控制技术最为方便。即当我们不完全了解一个系统和被控对象，或不能通过有效的测量手段来获得系统参数时，最适合用 PID 控制技术。PID 控制，实际中也有 PI 和 PD 控制。

PID 控制器是一种线性控制器，它根据给定值与实际输出值构成控制偏差。将偏差的比例(P)、积分(I)和微分(D)通过线性组合构成控制量，对被控对象进行控制，故称 PID 控制器，原理框图如图 4.15 所示。

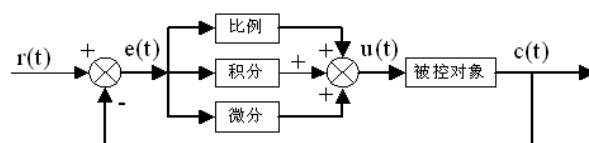


图 4.15 PID 控制器原理框图

在计算机控制系统中，使用的是数字 PID 控制器，控制规律为：

$$e(k) = r(k) - c(k) \quad (\text{公式 1})$$

$$u(k) = K_p \left\{ e(k) + \frac{T}{T_i} \sum_{j=0}^k e(j) + \frac{T_d}{T} [e(k) - e(k-1)] \right\} \quad (\text{公式 2})$$

式中

k——采样序号， $k = 0, 1, 2, \dots$ ；

$r(k)$ ——第 k 次给定值；

$c(k)$ ——第 k 次实际输出值；

$u(k)$ ——第 k 次输出控制量；

$e(k)$ ——第 k 次偏差；

$e(k-1)$ ——第 k-1 次偏差；

K_p ——比例系数；

T_i ——积分时间常数；

T_d ——微分时间常数；

T ——采样周期。

简单说来，PID 控制器各校正环节的作用如下：

比例环节：及时成比例地反映控制系统的偏差信号，偏差一旦产生，控制器立即产生控制作用，以减少偏差。

积分环节：主要用于消除静差，提高系统的无差度。积分作用的强弱取决于积分时间常数，越大，积分作用越弱，反之则越强。

微分环节：能反映偏差信号的变化趋势(变化速率)，并能在该偏差信号变得太大之前，在系统中引入一个有效的早期修正信号，从而加快系统的动作速度，减小调节时间。

数字 PID 控制算法通常分为位置式 PID 控制算法和增量式 PID 控制算法。

4.4.1 位置式 PID

位置式 PID 中，由于计算机输出的 $u(k)$ 直接去控制执行机构(如阀门)， $u(k)$ 的值和执行机构的位置(如阀门开度)是一一对应的，所以通常称公式 2 为位置式 PID 控制算法。

位置式 PID 控制算法的缺点是：由于全量输出，所以每次输出均与过去的状态有关，计算时要对过去 $e(k)$ 进行累加，计算机工作量大；而且因为计算机输出的 $u(k)$ 对应的是执行机构的实际位置，如计算机出现故障， $u(k)$ 的大幅度变化，会引起执行机构位置的大幅度变化，这种情况往往是生产实践中不允许的，在某些场合，还可能造成严重的生产事故。因而产生了增量式 PID 控制的控制算法，所谓增量式 PID 是指数字控制器的输出只是控制量的增量 $\Delta u(k)$ 。

4.4.2 增量式 PID

当执行机构需要的是控制量的增量(例如：驱动步进电机)时，可由式 2 推导出提供增量的 PID 控制算式。由式 2 可以推出式 3，式 2 减去式 3 可得式 4。

$$u(k-1) = K_p \{ e(k-1) + \frac{T}{T_i} \sum_{j=0}^{k-1} e(j) + \frac{T_D}{T} [e(k-1) - e(k-2)] \} \quad (\text{公式 3})$$

$$\begin{aligned} \Delta u(k) &= K_p \{ [e(k) - e(k-1)] + \frac{T}{T_i} e(k) + \frac{T_D}{T} [e(k) - 2e(k-1) + e(k-2)] \} \\ &= K_p \Delta e(k) + K_I e(k) + K_D [\Delta e(k) - \Delta e(k-1)] \end{aligned} \quad (\text{公式 4})$$

$$\text{式中 } \Delta e(k) = e(k) - e(k-1); \quad K_I = K_p \frac{T}{T_i}; \quad K_D = K_p \frac{T_D}{T}$$

公式 4 称为增量式 PID 控制算法，可以看出由于一般计算机控制系统采用恒定的采样周期 T ，一旦确定了 K_P 、 T_I 、 T_D ，只要使用前后三次测量值的偏差，即可由式 4 求出控制增量。

增量式 PID 具有以下优点：

(1) 由于计算机输出增量，所以误动作时影响小，必要时可用逻辑判断的方法关掉。

(2) 手动/自动切换时冲击小，便于实现无扰动切换。此外，当计算机发生故障时，由于输出通道或执行装置具有信号的锁存作用，故能保持原值。

(3) 算式中不需要累加。控制增量 $\Delta u(k)$ 的确定仅与最近 k 次的采样值有关，所以较容易通过加权处理而获得比较好的控制效果。

但增量式 PID 也有其不足之处：积分截断效应大，有静态误差；溢出的影响大。使用时，常选择带死区、积分分离等改进 PID 控制算法。

4.4.3 PID 参数整定

运用 PID 控制的关键是调整 K_P 、 K_I 、 K_D 三个参数，即参数整定。PID 参数的整定方法有两大类：一是理论计算整定法。它主要是依据系统的数学模型，经过理论计算确定控制器参数；二是工程整定方法，它主要依赖工程经验，直接在控制系统的试验中进行，且方法简单、易于掌握，在工程实际中被广泛采用。由于智能车系统是机电高耦合的分布式系统，并且要考虑赛道的具体环境，要建立精确的智能车运动控制数学模型有一定难度，而且我们对车身机械结构经常进行修正，模型参数变化较为频繁，理论计算整定法可操作性不强，最终我们采用了工程整定方法。此外，我们先后实验了几种动态改变 PID 参数的控制方法。

4.4.4 转向舵机的 PID 控制算法

对于舵机的闭环控制，我们采用了位置式 PID 控制算法，根据往届的技术资料 and 实际测试，经过反复测试，我们选择的 PID 调节策略是：

(1) 将积分项系数置零，我们发现相比稳定性和精确性，舵机在这种随动系统对动态响应性能的要求更高。更重要的是，在 K_I 置零的情况下，我们通过合理调节 K_P ，发现车能够在直线高速行驶时仍能保持车身非常稳定，没有振荡，基本没有必要使用 K_I 参数；

(2) 微分项系数 K_D 使用定值，原因是舵机在一般赛道中都需要较好的动态响应能力；

(3) 对 K_P ，我们使用了在程序中具体代码如下：

$$K_p = \left(\frac{e^{-|error|} - 1}{e^{-|error|} + 1} \right) / 2 + 0.5) * \text{bas_kp} \quad 5$$

其中，error 是中心位置与中心值的偏差,bas_kp 为基准 Kp

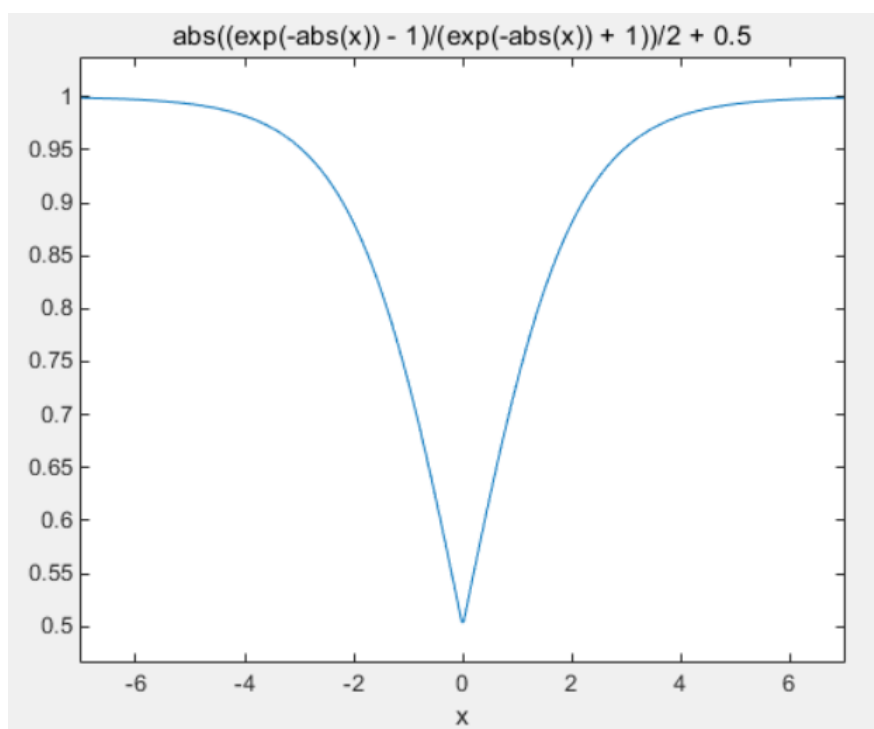


图 4.16 中点偏差和动态 Kp 值的函数曲线

中点偏差和动态 Kp 值的函数曲线如图 4.16 所示，经过不断调试，最终我们选择了一组 PD 参数，得到了较为理想的转向控制效果。

第五章 赛道导引标志识别方案设计介绍

5.1 导引标志介绍

完全模型组比赛赛道以室内循环赛道为基础，赛道材质，赛道规格均保持一致。在导引方式上完全保留室内循环赛道的导引方式，并在此基础上添加完全模型组任务导引标志和锥桶，引导车模完成完全模型组赛道任务。

5.2 模型选取

模型选取：MobileNet 系列：由于 Edgeboard 的计算资源十分的有限，在使用 yolov3，以原生的 Darknet 做主干特征提取网络时在 Edgeboard 的帧率仅仅只能到 3FPS，这在本次比赛中是完全不够用的。因此我们将目光转向轻量级神经网络 Mobilenet，虽然 PaddDetection 0.5 版本也支持 GhostNet，但 GhostNet 在数据表现上不如 Mobilenet，常见移动端模型的精度指标与其预测耗时的变化曲线如图 5.1 所示。

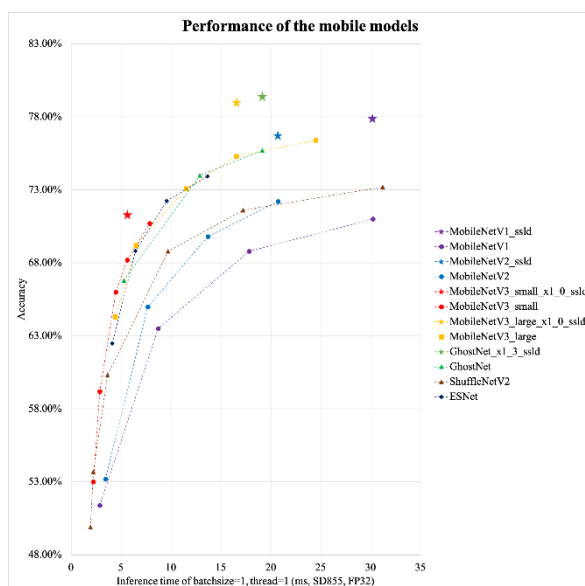


图 5.1 移动端模型的精度指标与其预测耗时的变化曲线图

可以很明显看到 Ghostnet 在具耗时的情况下仍比 mobilenetv3_small 的精度要小。因此我们选择使用 Mobilenet 系列，Mobilenet 系列采用分组卷积和逐点卷积的方式去替代了传统卷积，以此达到减少参数数量的效果^[5]。深度可分解卷积如图 5.2 所示。



图 5.2 深度可分解卷积

现阶段 PaddleDetection 支持的 Mobilenet 系列只有 v1 和 v3 及其相关变种。为什么没有 v2 呢？因为 v3 就是在 v2 之上修改，v2 相较于 v1 和 v3 的大参数量也未表现出优势。因此一般讨论都是在 v1 和 v3 中进行。v3 论文作者也提出：在 v2 的最后卷积通道上进行通道数减半，对精度几乎没有影响，暗示着 v2 作为特征提取主干网络具有一定的冗余性。

再详细看 Mobilenet 系列中的区别，Mobilenet 系列数据对比图如图 5.3 所示。

Network	Top-1	Madds	Params
V1	70.6%	575M	4.2M
V2(1.0)	72.0%	300M	3.4M
V2(0.35)	60.8%	59.2M	1.6M
V2(1.4)	74.7%	585M	6.9M
V3-Small(1.0)	67.4%	66M	2.9M
V3-Small(0.75)	65.4%	44M	2.4M
V3-Large(1.0)	75.2%	219M	5.4M
V3-Large(0.75)	73.3%	155M	4M

图 5.3 Mobilenet 系列数据对比图

5.3 引导标志识别方案

对于引导标志的识别，大部分同学都会采用在 MobilenetV1 基础网络上加上 SSD 或者 YOLO 检测器去定位图像中定位分类图像中引导标志的种类以及位置，通过实践和分析我们发现除了锥桶（非白色赛道上引导标志）是属于目标检测任务，白色赛道上的引导标志其实属于分类任务，这样我们就可以在赛道上调用分类模型快速的识别出引导标志的种类，进入锥桶区再调用目标检测模型进行导航，减速通过。

5.3.1 目标检测

在深度学习中,特征提取需要由特有的特征提取神经网络来完成,如 VGG、MobileNet, ResNet 等,这些特征提取网络往往被称为 Backbone。通常来讲在 Backbone 后面接全连接层(FC)来执行分类任务。但 FC 对目标的位置识别乏力。经过算法的发展,当前主要以特定的功能网络来代替 FC 的作用,如 Mask-Rcnn、SSD、SSDlite、YOLO 等^[6,7]。

对于此次完全模型组任务中目标检测任务相对简单(用于检测锥桶),所以我们选择的是时延比较低的 MobileNet-SSD (Mobilenet-SSD 整体结构如图 5.4 所示)

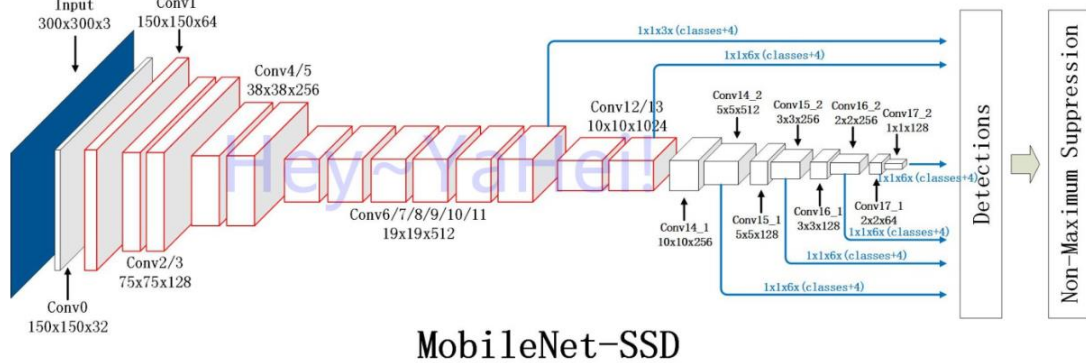


图 5.4 Mobilenet-SSD 整体结构图

可以看出, conv13 是骨干网络的最后一层,作者仿照 VGG-SSD 的结构,在 Mobilenet 的 conv13 后面添加了 8 个卷积层,然后总共抽取 6 层用作检测。

提取默认框的 6 层为 conv11, conv13, conv14_2, conv15_2, conv16_2, conv17_2,该 6 层 feature map 每个 cell 产生的默认框个数分别为 3, 6, 6, 6, 6, 6。也就是说在那 6 层的后边接的用于坐标回归的 3*3 的卷积核(层名为 conv11_mbox_loc……)的输出个数(num output)分别为 12, 24, 24, 24, 24, 24, 24^[8]。

那 6 层后边接的用于类别得分的 3*3 卷积核(层名为 conv11_mbox_conf……)的输出个数为 3*21(类别为 21 类, 3 个默认框) = 63, 126, 126, 126, 126, 126。

5.3.2 分类任务

对于此次完全模型组任务,在白色赛道上的引导标志我们采用了 MobileNet – OPENCV,即利用赛道上引导标志是红色并且利用找轮廓函数分割出来的 BOX 四个坐标点都在白色赛道的特征，将引导标志分割成 ROI，然后利用飞桨的 PddleLite 喂给 MobileNet 进行推理分类。（如图 5.5 所示）

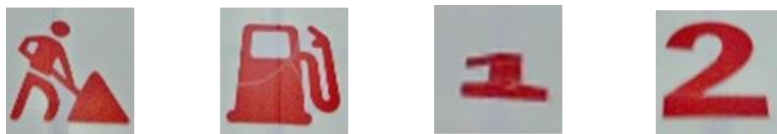


图 5.5 分割效果图

本团队通过 Mobilenet-SSD + MobileNet – OPENCV 两种不同推理方式，在状态机逻辑的串连下，基本可以很好完成此次完全模型组 AI 部分的目标检测以及分类。

第六章 开发工具、制作、安装、调试过程说明

6. 1VSCODE 开发工具

6. 1. 1 开发环境以及安装调试过程

在对程序进行开发和软硬件联调的过程中需要一整套的软件开发与调试工具。程序的开发是在 Visual Studio Code 下进行的，包括源程序的编写、编译和链接，并最终生成可执行文件。包括集成开发环境 IDE、处理器专家库、全芯片显示

工具、项目工程管理器、C 交叉编译器、汇编器、链接器以及调试器如图 6.1 所示。

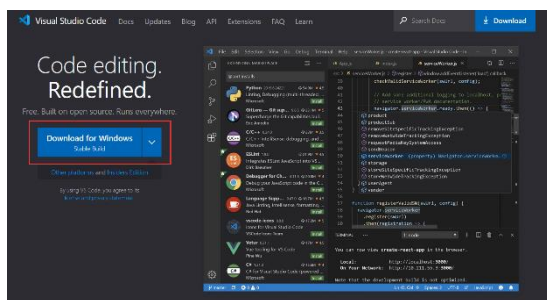


图 6.1 VSCODE 界面

安装远程连接 ssh 的拓展包如图 6.2.

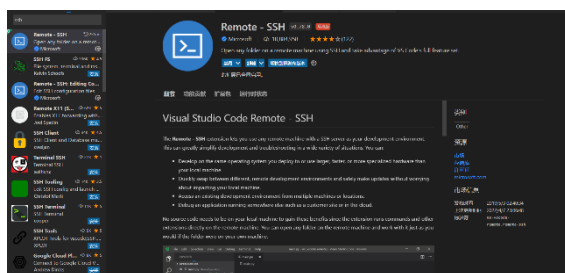


图 6.2 安装远程连接 ssh 的拓展包

6. 1. 2 上位机

采用山外的上位机软件获取图像，使用山外的虚拟示波器获取当前电机闭环参数，通过不断调整参数和调试波形，我们得到了适合的当前小车的 ADRC 参数，让电机响应快而且速度稳定。如图 6.3 所示。

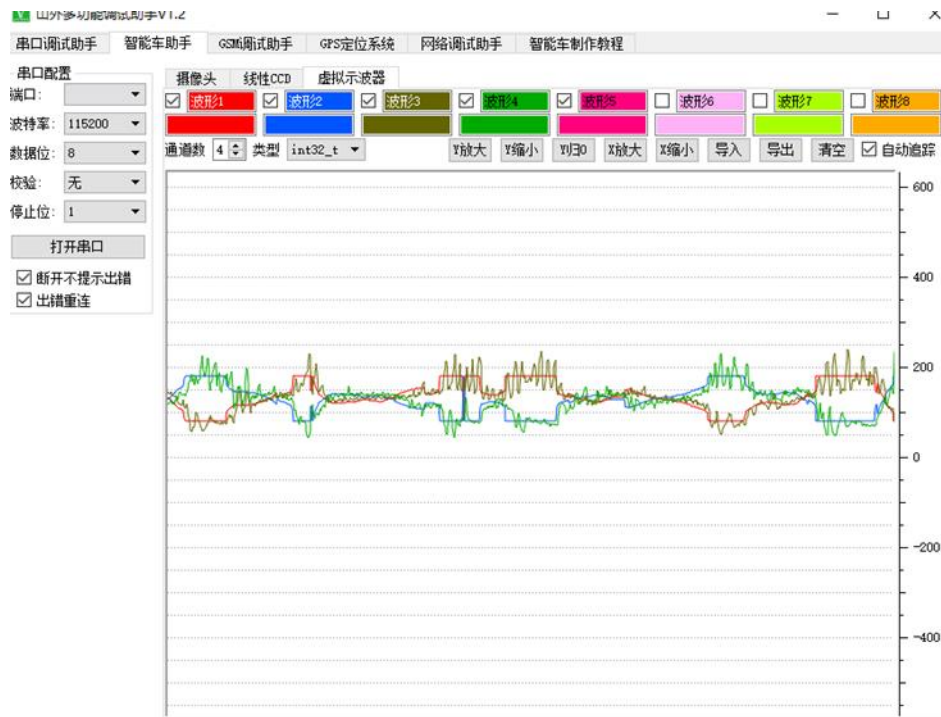


图 6.3 调试工具界面

6.2 opencv 开发工具

6.2.1 开发环境——pycharm 安装以及调试

PyCharm 是一种 Python IDE，带有一整套可以帮助用户在使用 Python 语言开发时提高其效率的工具，比如调试、语法高亮、Project 管理、代码跳转、智能提示、自动完成、单元测试、版本控制。此外，该 IDE 提供了一些高级功能，以用于支持 Django 框架下的专业 Web 开发。主要界面如下图

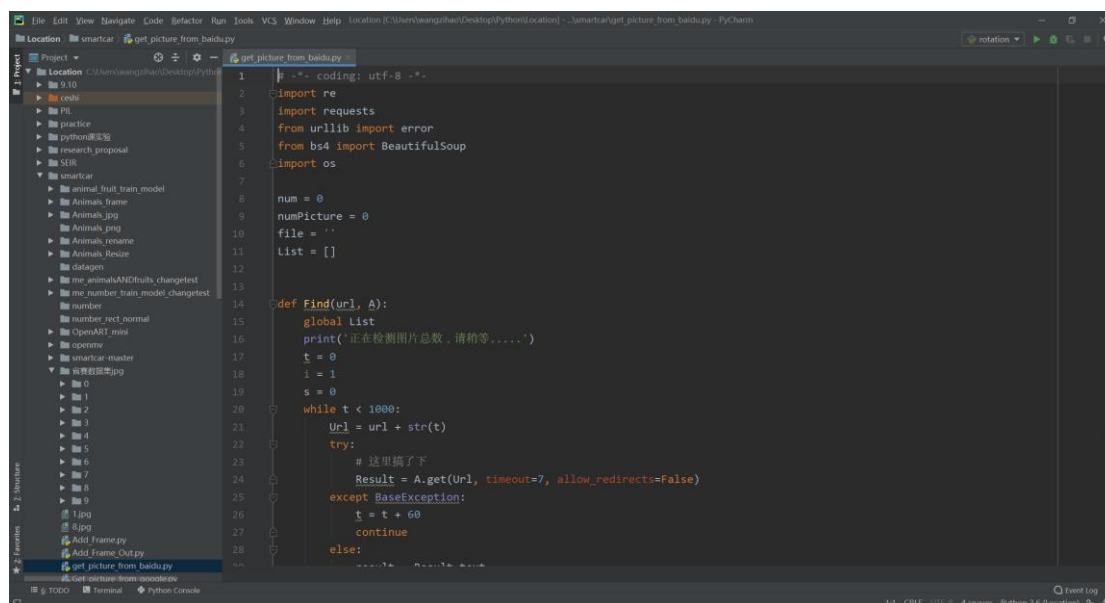
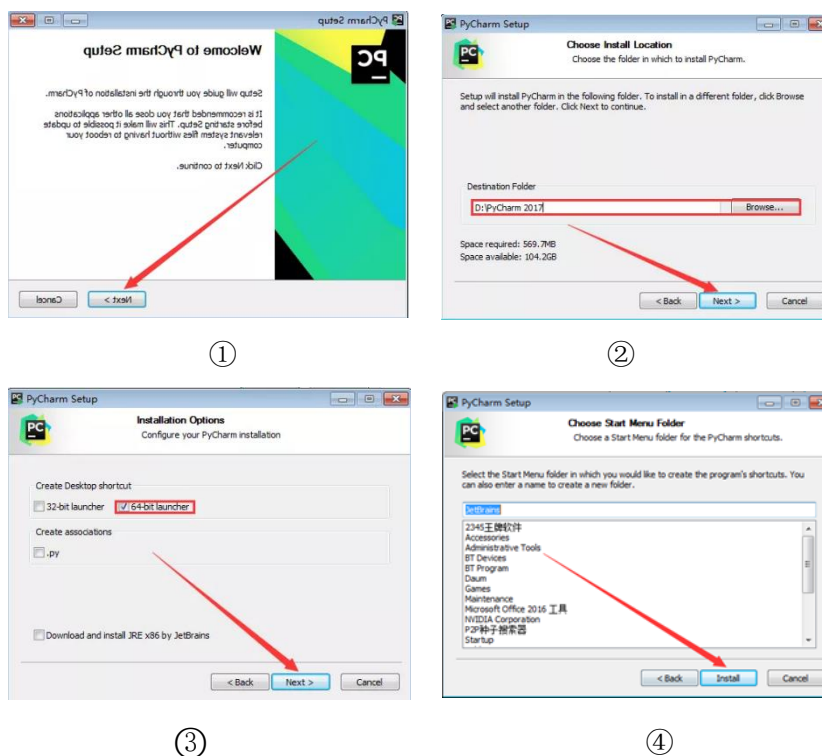


图 6.4 pycharm 界面

由于深度学习方面的知识主要采用 Python 作为主要编程语言，故我们选择了 PyCharm 作为编译器，进行程序的调试 (如图 6.5 所示)。

PyCharm 安装步骤见下面①②③④⑤⑥图组。



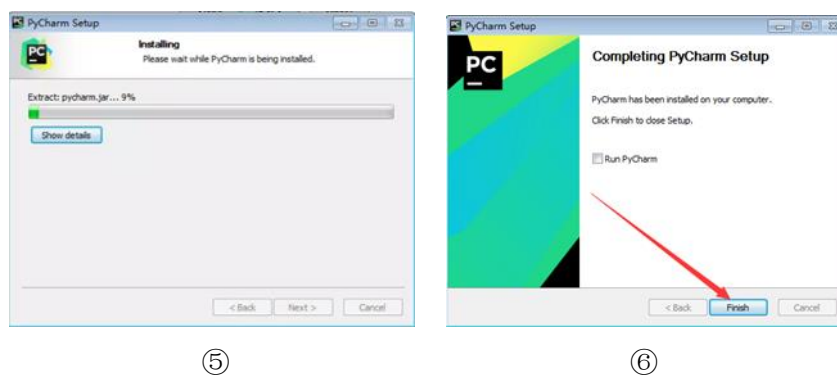


图 6. 5pycharm 安装

第七章 模型车主要技术参数说明

模型车基本参数	长	300mm
	宽	180mm
	高	340mm
	车重	1323g
	带载	大于 12W
传感器	电感	7 个
	USB2.0 摄像头	1 个
	USB3.0 摄像头	1 个
	总钻风摄像头	1 个
	编码器	2 个
除了车模原有的驱动电机、舵机之外伺服电机个数		0
赛道信息检测	检测精度	1.65cm
	检测频率	200Hz

结论与感悟

在此份技术报告中，我们主要介绍了准备比赛时的基本思路，包括机械、电路、控制算法的创新思想。在机械结构方面，我们分析了舵机转向系统的改进办法，对前轮倾角进行一系列的改动。在电路方面，我们以模块形式分类，在最小系统、主板、电机驱动、电池使用、电磁采集等模块分别设计，经过不断实验，最后决定了最终的电路图。在循迹程序方面，我们使用 C 语言编程，利用开发工具调试程序，经过小组成员不断讨论、改进，终于设计出一套比较通用稳定的程序。在这套算法中，我们结合路况调整车速，做到直道加速、弯道减速，保证在最短时间内跑完全程。

在备战过程中，我们遇到了很多挫折，一次次的困难见证了我们这个小队艰难的蜕变。非常感谢深阅智能车队这个像家一样的地方，更要感谢一直支持和关注智能车比赛的学校和学院领导以及各位指导老师、指导学长。感谢比赛组委会能组织这样一项有意义，堪称工科生盛会的比赛，即使面对如此大的疫情压力，依然保证了比赛的顺利进行。也感谢南京信息工程大学志愿者与老师们为本次比赛的付出，没有你们的辛勤付出，本届国赛也无法顺利的举办。

在备战过程中，我们也遇到了许多可以共同进步的车友，感谢东北大学秦皇岛分校完全模型一队的一路陪伴与技术分享，感谢上海交通大学 Autop 战队的无私开源，也感谢所有帮助过我们的车友，希望我们都能有一个美好的未来，也祝智能车竞赛能够越办越好！

参考文献

- [1]卓晴,黄开胜,邵贝贝.学做智能车 [M] 北京 :北京航空航天大学出版社, 2007.
- [2]赵先奎 汽车前轮定位 [M] 黑龙江 :黑龙江出入境检验检疫局, 2008.
- [3] 康华光,张林. 电子技术基础模拟部分 [M].北京 :高等教育出版社,2021.
- [4]李宁,刘启新 电机自动控制系统 [M] 北京 :机械工业出版社, 2003
- [5].<https://zhuanlan.zhihu.com/p/391252945> 第 16 届智能车智能视觉组-上海交通大学 AuTop 战队开源汇总
- [6] <https://aistudio.baidu.com/aistudio/projectdetail/3854983> 武汉理工大学 - 熊兵智能车完全模型组从零带你部署 Edgeboard
- [7] 孔锐, 谢玮, 雷泰. 基于神经网络的图像描述方法研究[J]. 系统仿真学报, 2020, 32(04):601-611.
- [8]邱锡鹏 神经网络与深度学习 [M] 北京 :机械工业出版社, 2020.3.

附录

PCB 文件

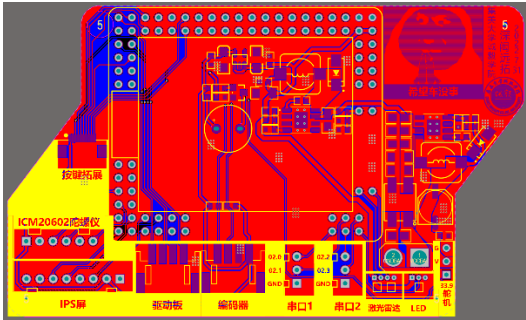


图 A-1 主板 2D 图

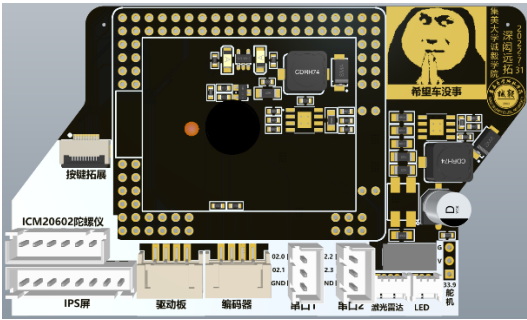


图 A-2 主板 3D 图

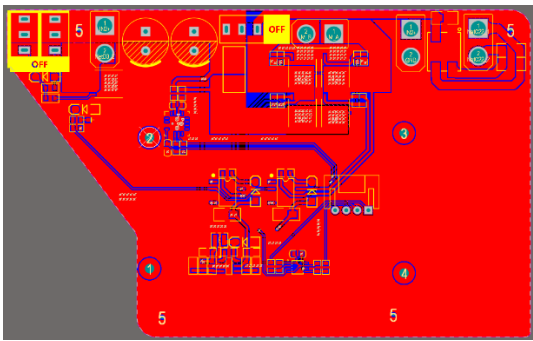


图 A-3 驱动板 2D 图

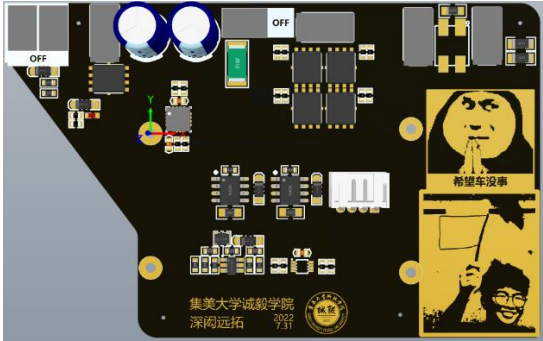


图 A-4 驱动板 3D 图

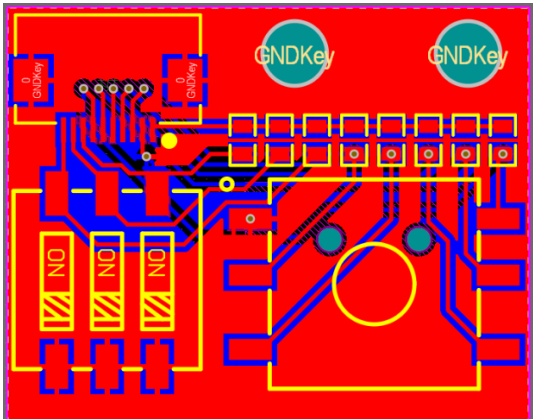


图 A-5 按键板 2D 图

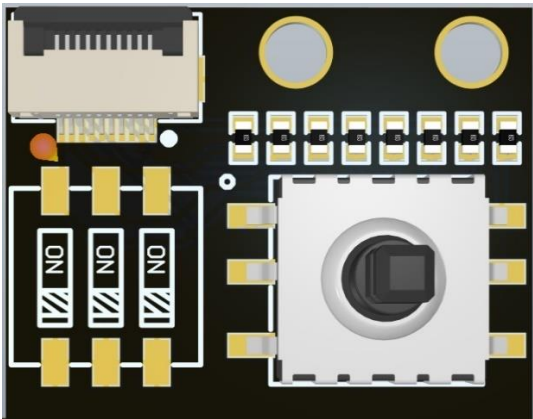


图 A-6 按键板 3D 图

原理图

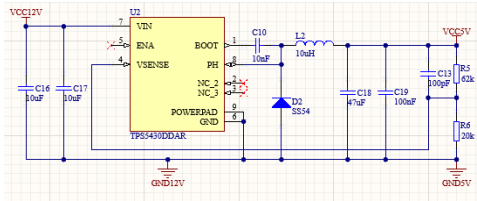


图 B-1 稳压电路 12.6V-5V 原理图

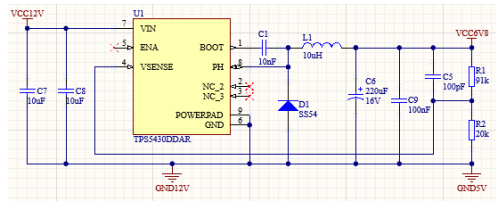


图 B-2 稳压电路 12.6-6.8V 原理图

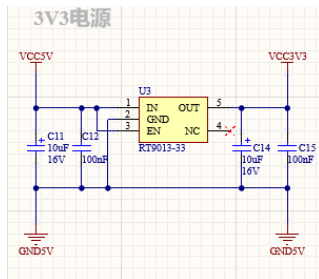


图 B-3 稳压电路 5V-3.3V 原理图

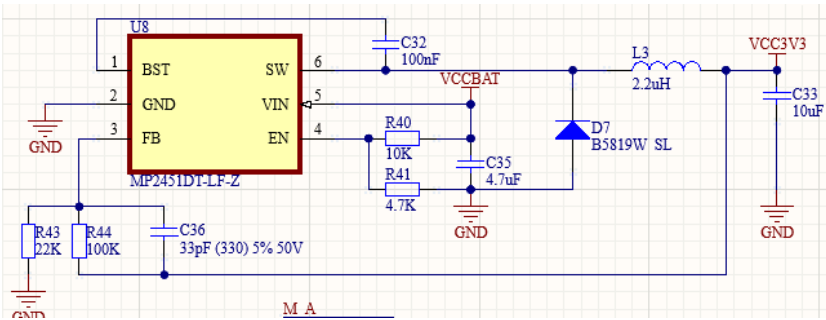


图 B-4 稳压电路 12.6V-3.3V 原理图

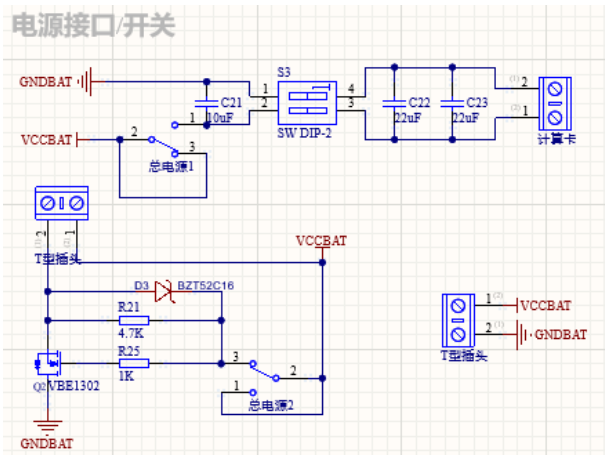


图 B-5 电源开关原理图

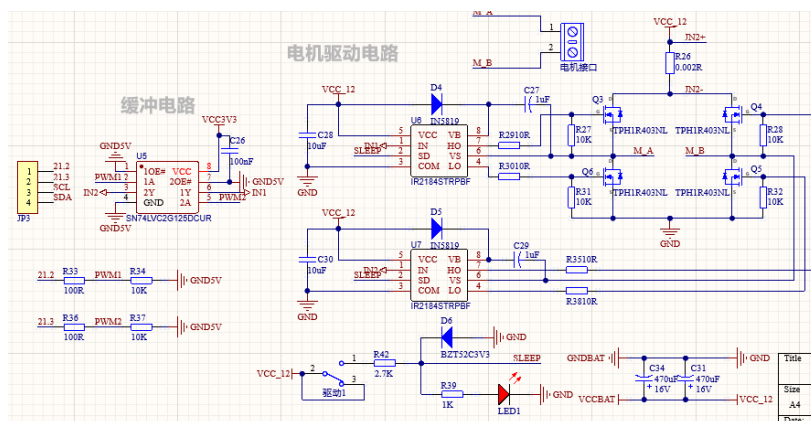


图 B-6 全桥驱动原理图

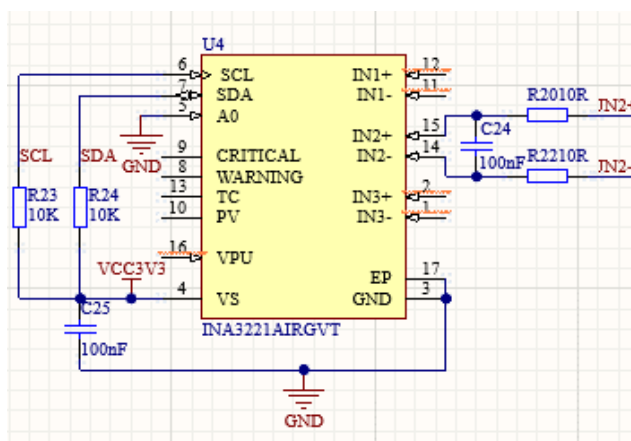


图 B-7 电流采样原理图