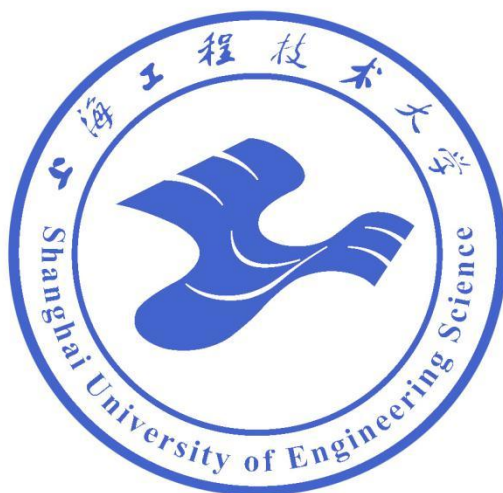


# 第十一届“恩智浦”杯全国大学生 智能汽车竞赛 技 术 报 告



学 校： 上海工程技术大学

队伍名称： Swift 6

参赛队员： 周臻辉 徐志鹏 朱少华

带队老师： 陈扬 高飞

## 关于技术报告和研究论文使用授权的说明

本人完全了解第十一届“恩智浦”杯全国大学生智能汽车竞赛关保留、使用技术报告和研究论文的规定，即：参赛作品著作权归参赛者本人，比赛组委会和恩智浦半导体公司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：周臻辉 徐志鹏 朱华

带队教师签名：陈松

日期：2016年8月15日

---

## 目录

|                            |    |
|----------------------------|----|
| 第一章 引言 .....               | 1  |
| 1.1 智能车研究背景 .....          | 1  |
| 1.2 智能车竞赛介绍 .....          | 1  |
| 第二章 设计概览 .....             | 3  |
| 2.1 整车设计思路 .....           | 3  |
| 2.2 车模整体造型 .....           | 3  |
| 2.3 智能车软件设计 .....          | 4  |
| 第三章 智能车的机械设计 .....         | 5  |
| 3.1 智能车底盘结构调整 .....        | 5  |
| 3.1 舵机安装 .....             | 6  |
| 3.2 转向轮调整 .....            | 7  |
| 3.3 智能车编码器安装 .....         | 9  |
| 3.4 智能车摄像头传感器安装 .....      | 10 |
| 3.5 后轮差速器的调整 .....         | 11 |
| 3.6 车体重心调整 .....           | 12 |
| 第四章 硬件电路设计 .....           | 13 |
| 4.1 电源模块 .....             | 13 |
| 4.2 摄像头的选择 .....           | 16 |
| 4.3 电机驱动模块 .....           | 16 |
| 4.3.1 MOSFET 驱动芯片的选择 ..... | 19 |
| 4.3.2 MOSFET 的选择 .....     | 19 |
| 4.3.3 电机驱动电路原理分析 .....     | 20 |
| 第五章 智能车软件设计 .....          | 21 |
| 5.1 电机 PID 控制 .....        | 22 |
| 5.2 舵机控制 .....             | 23 |
| 第六章 智能车系统调试 .....          | 25 |
| 6.1 开发工具 .....             | 25 |
| 6.2 串口调试工具 .....           | 26 |
| 第七章 模型车技术参数 .....          | 27 |
| 第八章 结论 .....               | 29 |
| 参考文献 .....                 | I  |
| 附录：部分代码 .....              | II |

---

## 第一章 引言

### 1.1 智能车研究背景

全国大学生智能汽车竞赛由全国有自动化专业的高等学校（包括港、澳地区的高校）参赛。竞赛首先在各个分赛区进行报名、预赛，各分赛区的优胜队将参加全国总决赛。每届比赛根据参赛队伍和队员情况，分别设立光电组、摄像头组、电磁组、创意组等多个赛题组别。每个学校可以根据竞赛规则选报不同组别的参赛队伍。全国大学生智能汽车竞赛组织运行模式贯彻“政府倡导、专家主办、学生主体、社会参与”的 16 字方针，充分调动各方面参与的积极性。

为加强大学生实践、创新能力和团队精神的培养，促进高等教育教学改革，受教育部高等教育司委托（教高司函[2005]201 号文，附件 1），由教育部高等学校自动化专业教学指导分委员会（以下简称自动化分教指委）主办全国大学生智能汽车竞赛。该竞赛是以智能汽车为研究对象的创意性科技竞赛，是面向全国大学生的一种具有探索性工程实践活动，是教育部倡导的大学生科技竞赛之一。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，激发大学生从事科学研究与探索的兴趣和潜能，倡导理论联系实际、求真务实的学风和团队协作的人文精神，为优秀人才的脱颖而出创造条件。

### 1.2 智能车竞赛介绍

该竞赛由竞赛秘书处为各参赛队提供/购置规定范围内的标准硬软件技术平台，竞赛过程包括理论设计、实际制作、整车调试、现场比赛等环节，要求学生组成团队，协同工作，初步体会一个工程性的研究开发项目从设计到实现的全过程。该竞赛融科学性、趣味性和观赏性为一体，是以迅猛发展、前景广阔的汽车电子为背景，涵盖自动控制、模式识别、传感技术、电子、电气、计算机、机械与汽车等多学科专业的创意性比赛。该竞赛规则透明，评价标准客观，坚持公开、公平、公正的原则，保证竞赛向健康、普及，持续的方向发展。

全国大学生智能汽车竞赛一般在每年的 10 月份公布次年竞赛的题目和组织方式，并开始接受报名，次年的 3 月份进行相关技术培训，7 月份进行分赛区竞

赛，8 月份进行全国总决赛。

---

## 第二章 设计概览

### 2.1 整车设计思路

按照第十一届比赛的规定，摄像头组采用的车模为 B 型车模，利用飞思卡尔公司的 32 位微控制器 MK60DN512VLL10 作为核心控制单元，采用索尼 CCD 采集赛道信息，利用 SD-5 舵机控制智能车的前进方向。

根据以上系统方案，本智能车主要包括单片机模块、电机驱动模块、传感器模块组成。各模块的作用如下：

单片机模块：采集传感器采集得到的赛道信息，并对采集得到的信息进行处理，计算出车模的前进方向，并将控制信息传送给舵机，另外对电机编码器返回的速度信息进行处理，对电机进行 PID 控制，使得小车能够按照赛道的要求完成比赛。

电机驱动模块：该模块主要用于驱动电机，完成车模的加减速控制。

传感器模块：该模块主要索尼 CCD 传感器和电机编码器组成。索尼 CCD 负责采集赛道信息，并反馈给单片机，单片机可以根据索尼 CCD 返回的信息对车模进行控制，编码器采集电机的速度信息。

### 2.2 车模整体造型

依据系统设计思路及结构图，我们开始设计硬件电路，并既定了系统设计目标：稳定、简洁，在整个系统设计过程中严格按照规范实行。

稳定性是系统设计的基础，我们对电路设计的所有环节都进行了电磁兼容性测试，做好各部分的接地、屏蔽、滤波等工作，将高速数字电路与模拟电路分开，使本系统工作的稳定性达到了设计要求。简洁是指在满足了稳定的基础上，为了尽量减轻整车重量，降低车体重心位置，应使电路设计尽量简洁，尽量减少元器件使用数量，缩小电路板面积，使电路部分重量轻，易于安装。我们在对电路进行详细彻底分析后，对电路进行了大量简化，并合理设计元件排列和电路走线，使本系统硬件电路部分的重量、面积都达到了设计要求。制作完成后的智能车整体布局如下图所示：

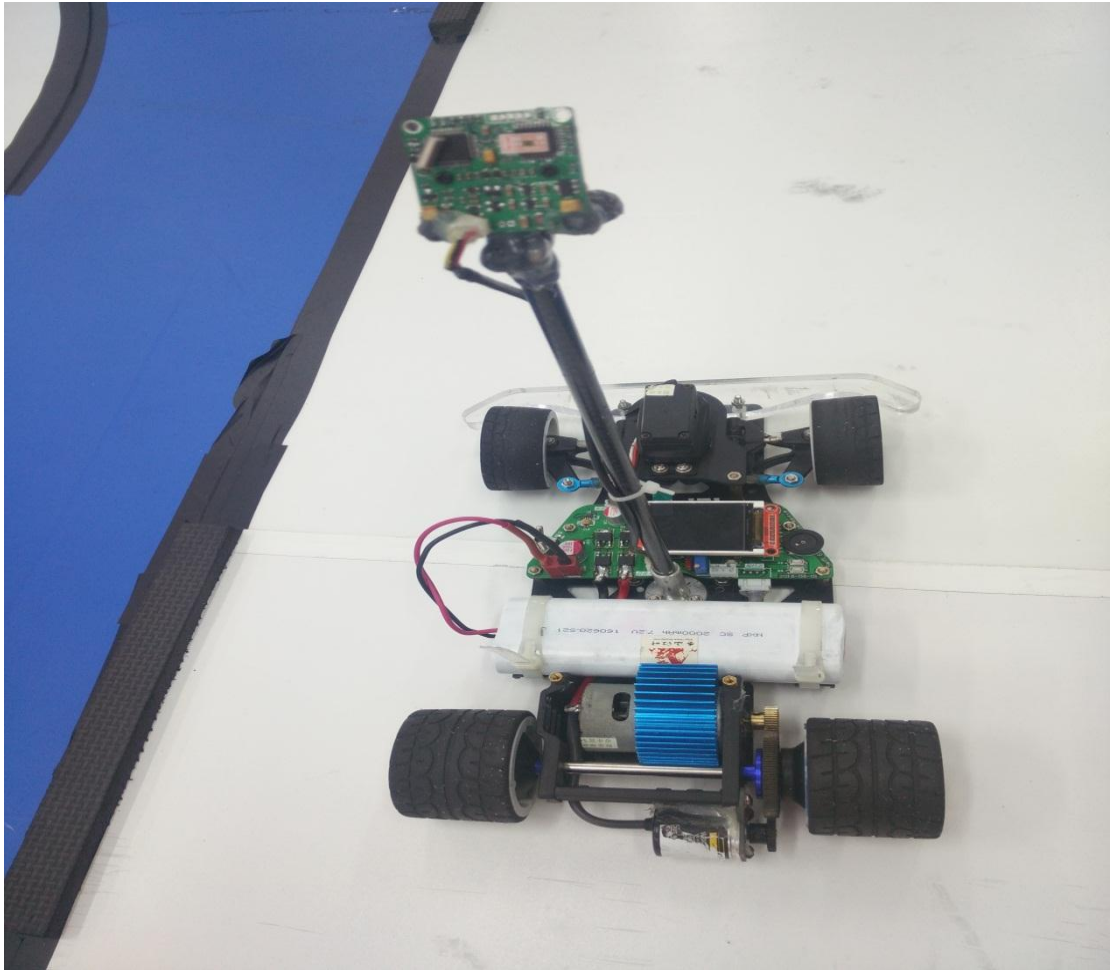


图 2.1 整车造型

## 2.3 智能车软件设计

系统硬件对于赛车来说是最基础的部分，软件算法则是赛车的核心部分。首先，赛车系统通过摄像头获取前方赛道的图像数据，同时通过编码器实时获取赛车的速度。然后 K60 利用边缘检测方法从图像数据中提取赛道黑线，求得赛车于黑线位置的偏差，接着采用 PID 方法对舵机进行反馈控制，并在 PID 算法的基础上，整合加入模糊控制算法，有利于对小车系统的非线性特性因素的控制。最终赛车根据检测到的速度，结合我们的速度控制策略，对赛车速度不断进行恰当的控制调整，使赛车在符合比赛规则情况下沿赛道快速前进。

---

## 第三章 智能车的机械设计

好的机械结构将直接影响智能车的结构稳定，和车模的高速运行时的性能。模型车的机械机构和组装形式是整个模型车身的基础，机械结构的好坏对智能车的运行速度有直接的影响。经过大量的实验经验可以看出，机械结构决定了智能车的上限速度，而软件算法的优化则是使车速不断接近这个上限速度，软件算法只有在精细的机械结构上才能够更好的提高智能车的整体性能。因此我们在规则允许的范围内，对车模进行改造，进一步提升车模机械结构的性能。前轮的束角和主销倾角对车的高速运行下的稳定性影响是最大的。舵机的灵敏程度同样对高速运行的车辆起着至关重要的作用。因此，在整车的机械结构我们进行了多方面的改进。

### 3.1 智能车底盘结构调整

本届竞赛,摄像头组采用的为 B 车模，在布局时，我们决定采用车身一体化结构，对车模的底盘进行加固，将车模的避震装置拆除，利用玻纤板直接将车模的前后两部分固定在一起，这样车模的过弯性能将得到提高。此外，我们对车模的电池位置进行了调整，将电池尽可能的后移，使得车模的重心后移，并采用了塑料支架固定电池，不仅减轻了车重，并且将电池的位置下移，使得车模的整体重心下移。另外我们还利用车模自身配备的器件将车模的底盘高度进行了降低，使得车模重心下移，保证了智能车高速行驶时的稳定性。

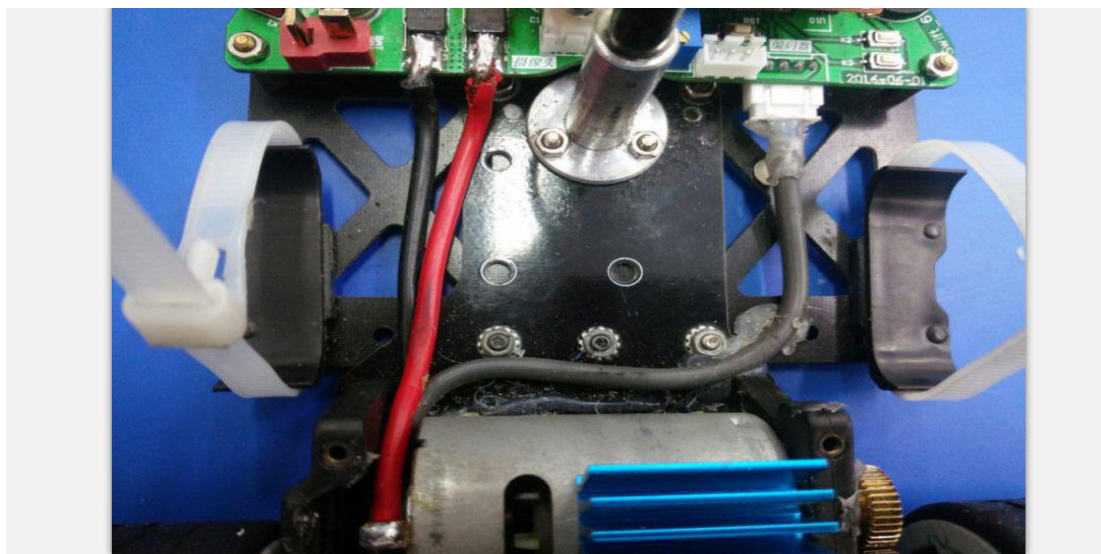


图 3.1 底盘加固





图 2.2 降低底盘高度后的侧视图

### 3.1 舵机安装

舵机转向是整个控制系统中延迟较大的一个环节，为了减小常数，通过改变舵机的安装位置，降低舵机的中心，将舵机的安装尽量低，而并非改变舵机本身结构的方法可以提高舵机的响应速度。舵机摆杆是将舵机的旋转运动转换成横摆运动的一种机构。在智能车比赛里，通过它将舵机转矩传递到连接轮子上的横拉杆，实现轮子的左右转动，从而实现转向。转向在智能车比赛中是至关重要，而摆杆的设计直接关系到智能车转向灵敏度。

从我们的测试上来看，舵机的力矩比较大，完全足以驱动前轮的转向。因此舵机的相应速度就成了关键。一个非常有效的办法是更改舵机连接件的长度。当舵机转动时，左右轮子就发生偏转。很明显，连接件长度增加，就会使舵机转动更小的转角而达到同样的效果。舵机的特点是转动一定的角度需要一定的时间。比如说，舵机转动 10 度需要 2ms，那么要使轮子转动同样的角度，增长连接件后就只需要转动 5 度，那么时间是 1ms，就能反应更快了。我们采用金属拉杆来替换原装的塑料拉杆来获得较高的强度。舵机安装如下：



图 3.3 舵机安装

### 3.2 转向轮调整

车辆在高速过弯时，转向舵机的负载会因为车轮转向角度增大而增大。为了尽可能降低转向舵机的负载，我们对舵机的安装进行了调整，并且对前轮定位也进行了相应的调整，使车辆直线行驶更稳定，转向更轻便，转向后能自动回正，减少轮胎和转向系零件的磨损。前轮是转向轮，它的安装位置由主销内倾、主销后倾、前轮外倾和前轮前束等 4 个参数决定，反映了转向轮、主销和轴等三者在车架上的位置关系。

**主销后倾：**从侧面看车轮，转向主销(车轮转向时的旋转中心)向后倾倒，称为主销后倾角。设置主销后倾角后，主销中心线的接地点与车轮中心的地面投影点之间产生距离(称作主销纵倾移距，与自行车的前轮叉梁向后倾斜的原理相同)，使车轮的接地点位于转向主销延长线的后端，车轮就靠行驶中的滚动阻力被向后拉，使车轮的方向自然朝向行驶方向。设定很大的主销后倾角可提高直线行驶性能，同时主销纵倾移距也增大。主销纵倾移距过大，会使转向盘沉重，而且由于路面干扰而加剧车轮的前后颠簸。



图 3.4 主销后倾

**主销内倾：**从车前后方向看轮胎时，主销轴向车身内侧倾斜，该角度称为主销内倾角。当车轮以主销为中心回转时，车轮的最低点将陷入路面以下，但实际上车轮下边缘不可能陷入路面以下，而是将转向车轮连同整个汽车前部向上抬起一个相应的高度，这样汽车本身的重力有使转向车轮回复到原来中间位置的效应，因而方向盘复位容易。此外，主销内倾角还使得主销轴线与路面交点到车轮中心平面与地面交线的距离减小，从而减小转向时驾驶员加在方向盘上的力，使转向操纵轻便，同时也可减少从转向轮传到方向盘上的冲击力。但主销内倾角也不宜过大，否则加速了轮胎的磨损。

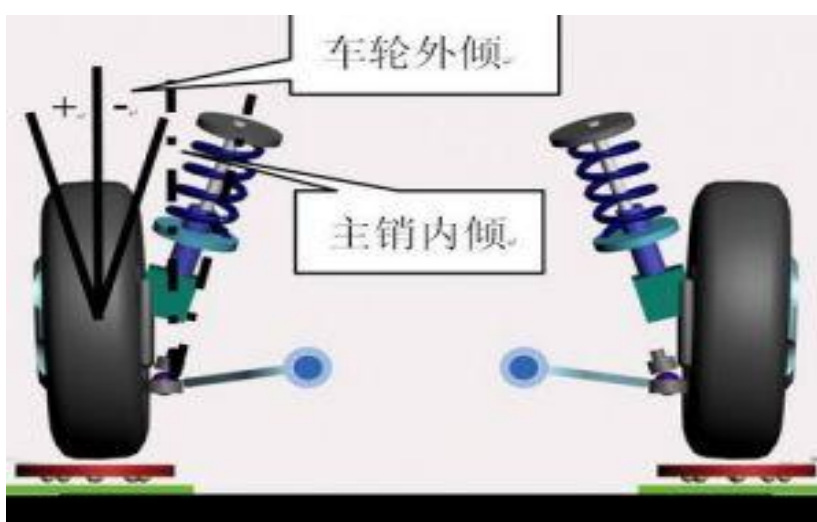


图 3.5 主销内倾

**前轮外倾：**从前后方向看车轮时，轮胎并非垂直安装，而是稍微倾倒呈现“八”字形张开，称为负外倾，而朝反方向张开时称正外倾。使用斜线轮胎的鼎盛时期，由于使轮胎倾斜触地便于方向盘的操作，所以外倾角设得比较大。现在汽车一般将外倾角设定得很小，接近垂直。汽车装用扁平子午线轮胎不断普及，由于子午线轮胎的特性(轮胎花纹刚性大，外胎面宽)，若设定大外倾角会使轮胎磨偏，降低轮胎摩擦力。还由于助力转向机构的不断使用，也使外倾角不断缩小。尽管如此，设定少许的外倾角可对车轴上的车轮轴承施加适当的横推力。

**前轮前束：**脚尖向内，所谓“内八字脚”的意思，指的是左右前轮分别向内。采用这种结构目的是修正上述前轮外倾角引起的车轮向外侧转动。如前所述，由于有外倾，方向盘操作变得容易。另一方面，由于车轮倾斜，左右前轮分别向外侧转动，为了修正这个问题，如果左右两轮带有向内的角度，则正负为零，左右两轮可保持直线行进，减少轮胎磨损。

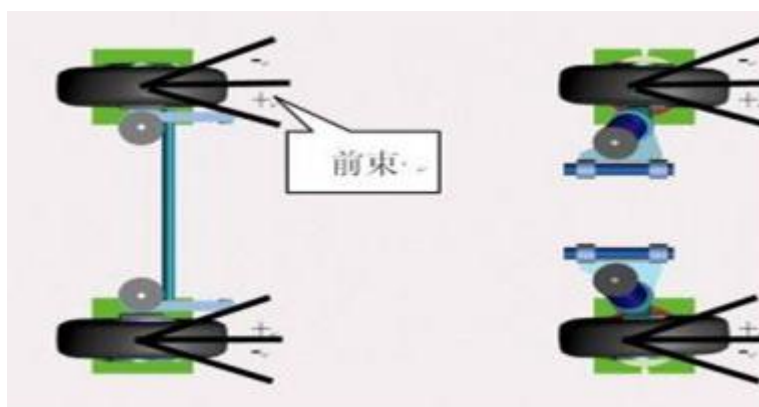


图 3.6 前束

### 3.3 智能车编码器安装

编码器（encoder）是将信号（如比特流）或数据进行编制、转换为可用以通讯、传输和存储的信号形式的设备。编码器把角位移或直线位移转换成电信号，前者称为码盘，后者称为码尺。按照读出方式编码器可以分为接触式和非接触式两种；按照工作原理编码器可分为增量式和绝对式两类。增量式编码器是将位移转换成周期性的电信号，再把这个电信号转变成计数脉冲，用脉冲的个数表示位移的大小。绝对式编码器的每一个位置对应一个确定的数字码，因此它的示值只与测量的起始和终止位置有关，而与测量的中间过程无关。



本次竞赛中，我们采用的编码器型号为欧姆龙 E6A2-CW3C，该编码器为旋转增量式编码器，输出信号为 A、B 双向输出，可以得到电机的转速和旋转方向信息，固定编码器的支架我们采用轻质玻纤板制作，该材料既可以减轻车重，同时又具备一定的刚性，保证编码器的牢固。同时，为增强编码器固定的稳定性，我们将车模后桥的横向支架打穿，将螺丝横向穿过车模后桥，使得编码器支架与车模后桥固定在一起，不易松动。



图 3.7 编码器的安装

### 3.4 智能车摄像头传感器安装

摄像头是智能车的眼睛，引导着智能车的前进，因此，摄像头的固定必须牢固，并尽可能的保证其稳定，确保在车模行驶过程中晃动程度尽可能的小，因此，在固定摄像头时，我们采用了轻质碳素杆作为摄像头的支架，固定摄像头的底座我们选用了铝材料的底座，以减小车模在行驶过程中摄像头的晃动。此外，考虑到车模的重心分布问题，我们将摄像头支架尽可能地靠近车模底盘的中心。

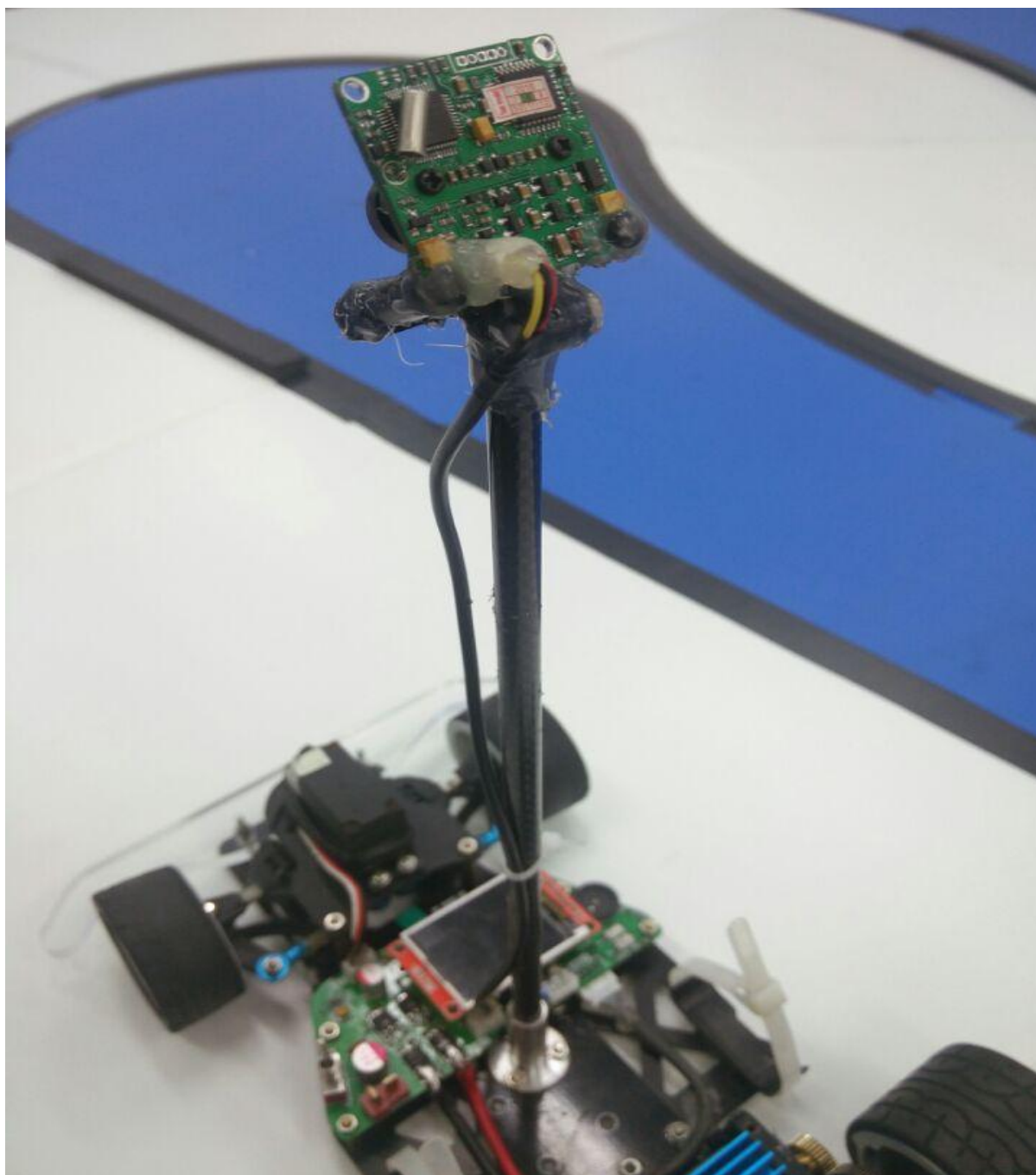


图 3.8 摄像头安装效果

### 3.5 后轮差速器的调整

差速器有差速作用和限滑作用：差速作用使两轮可以相对转动，并使两轮转动速度的平均值等于整驱动轴的转动速度；限滑作用在两轮相对转动时产生阻力，以限制两轮速度差，防止其中一个轮子发生过度打滑和空转。

在转弯的过程中，外侧轮的转弯半径大于内侧轮的转弯半径，所以外侧轮需要比内侧转的更快。如果这时差速过紧（限滑作用过大），造成两个轮子互相角力以使自己得到适当的转速，从而使总体抓地力下降。另一方面，如果差速比较松，当一个轮子失去抓地力的时候（比如通过一个起伏），会造成过度的空转，使另外一个轮子失去动力。这样会减少加速的反应。

滚珠差速通常是由两块摩擦片，夹住装有差速珠的齿轮，并有调整压力的装置（弹簧/压力片和轴承）。在差速珠和摩擦片间涂有摩擦油。差速珠可以使摩擦片相对转动，而调整压力的装置和摩擦油可以控制差速珠在摩擦片上滚动时产生的阻力。

对于滚珠差速来说，将差速拧紧，或者使用更浓的摩擦油，可以限制轮子相对转动；放松差速，或者使用更稀的摩擦油，可以使轮子更容易相对转动。一般来说，不宜使齿轮可相对于滚珠差速整体滑动，这样会损失动力，并且容易磨损差速珠和摩擦片。

### 3.6 车体重心调整

车体重心位置对赛车加减速性能、转向性能和稳定性都有较大影响。重心调整主要包括重心高度和前后位置的调整。理论上，赛车重心越低稳定性越好。因此除了摄像头装得稍高以外，其他各个部件的安装高度都很低。除此之外，车辆重心前后方向的调整，对赛车行驶性能也有很大的影响。根据车辆运动学理论，车身重心前移，会增加转向，但降低转向的灵敏度（因为大部分重量压在前轮，转向负载增大），同时降低后轮的抓地力，影响加减速性能；重心后移，会减小转向，但增大转向灵敏度，后轮抓地力也会增加，提高加减速性能。因此，确定合适的车体重心，让车模更加适应比赛赛道是很关键的。今年我们的车将电池安装在车体靠后位置，这样使得赛车的重心后移，极大地增加了赛车的转向灵活度。

## 第四章 硬件电路设计

硬件电路设计是智能车的“身体”，是软件部分的基础。硬件电路主要包括电源、传感器以及电机驱动三部分，每一部分都是十分重要的。电源部分需要保证整个系统供电稳定、可靠；传感器部分需要保证传感器返回的图像清晰、准确、有效；电机驱动部分则要保证电机的加减速性能最优化并且尽可能的减少电机对电路其他部分的干扰。

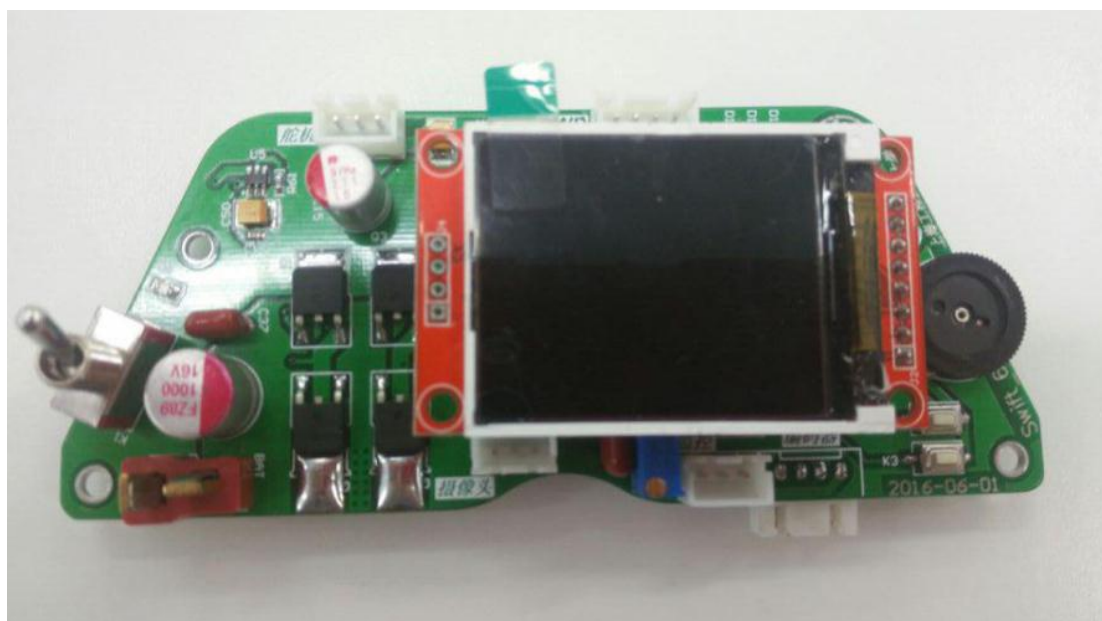


图 4.1 主板

### 4.1 电源模块

电源分为开关电源和线性电源，线性电源的电压反馈电路是工作在线性状态，开关电源是指用于电压调整的管子工作在饱和和截至区即开关状态的。线性电源一般是将输出电压取样然后与参考电压送入比较电压放大器，此电压放大器的输出作为电压调整管的输入，用以控制调整管使其结电压随输入的变化而变化，从而调整其输出电压，但开关电源是通过改变调整管的开和关的时间即占空比来改变输出电压的。从其主要特点上看：线性电源技术很成熟，制作成本较低，可以达到很高的稳定度，波纹也很小，而且没有开关电源具有的干扰与噪音，开关电源效率高、损耗小、可以降压也可以升压，但是交流纹波稍大些。



智能车的硬件电路由 7.2V/2000mAH 镍氢电池提供，其中，电机驱动芯片、摄像头模块由 12V 供电，单片机为 3.3V 供电，编码器为 5V 供电，而舵机采用 6V 供电。为保证各个模块的正常供电，由于舵机需要的电流较大，而对电源纹波的要求较低，因此舵机采用 DC-DC 开关电源供电，而传感器和单片机部分则要求电源电压稳定，电源纹波小，而功率要求相对不算太大，因此 3.3V 和 5V 供电采用线性稳压芯片供电，电机驱动芯片则采用 LM2577 升压供电由于电机启动时启动电流较大，会消耗大量的电能，因此，电池的供电电压会瞬间拉低，为保证各部分电源能够可靠工作，电源芯片的选型起着重要的作用。3.3V 的线性电源稳压芯片我们选用了 LD1086，该芯片最大可以为负载提供 1.5A 的电流。5V 稳压芯片我们采用了 LM1117-5.0，该芯片可以提供稳定的 5V 电源，且交流纹波很低，满足使用的要求。

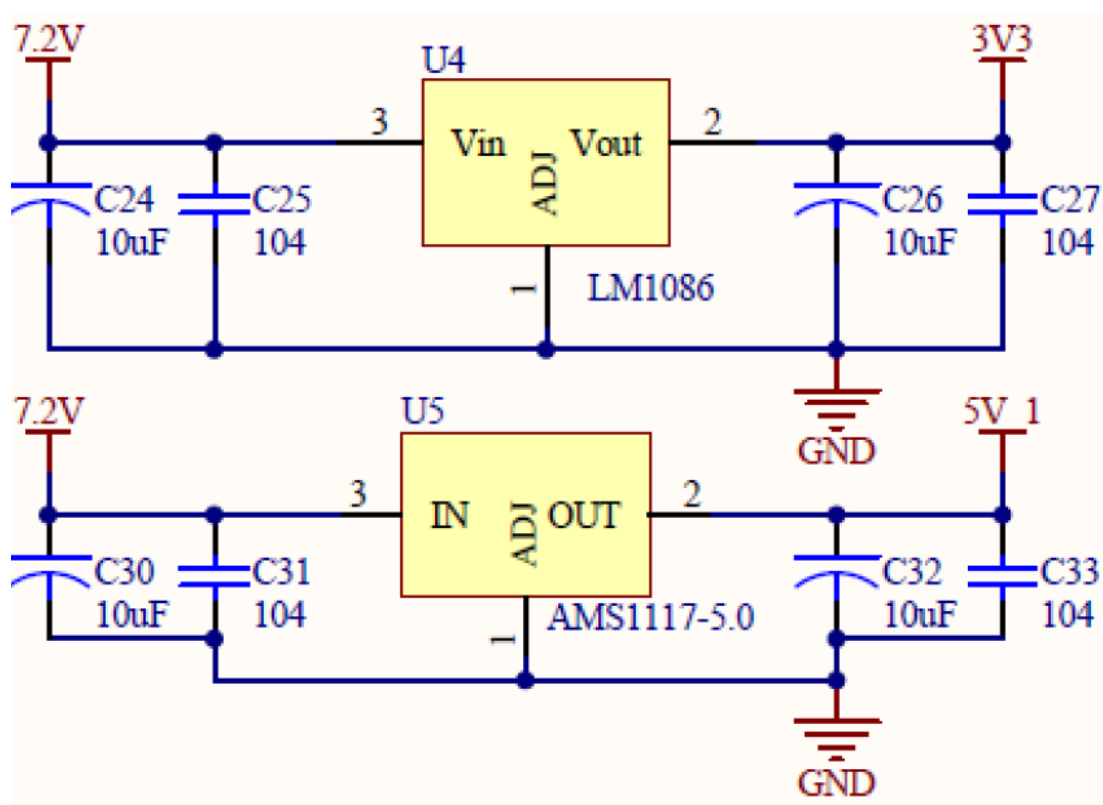


图 4.2 3.3V 和 5V 供电电路

智能车电机采用 MOS 桥驱动，MOSFET 驱动芯片采用 IR2104，该芯片的供电电压为 10V-20V，因此需要对电池提供的 7.2V 电压升压至 12V 为 IR2104 供电，升压芯片为 LM2577，该芯片可以为负载提供 3A 的电流，最高可以升压至 65V，

满足电路的使用要求。

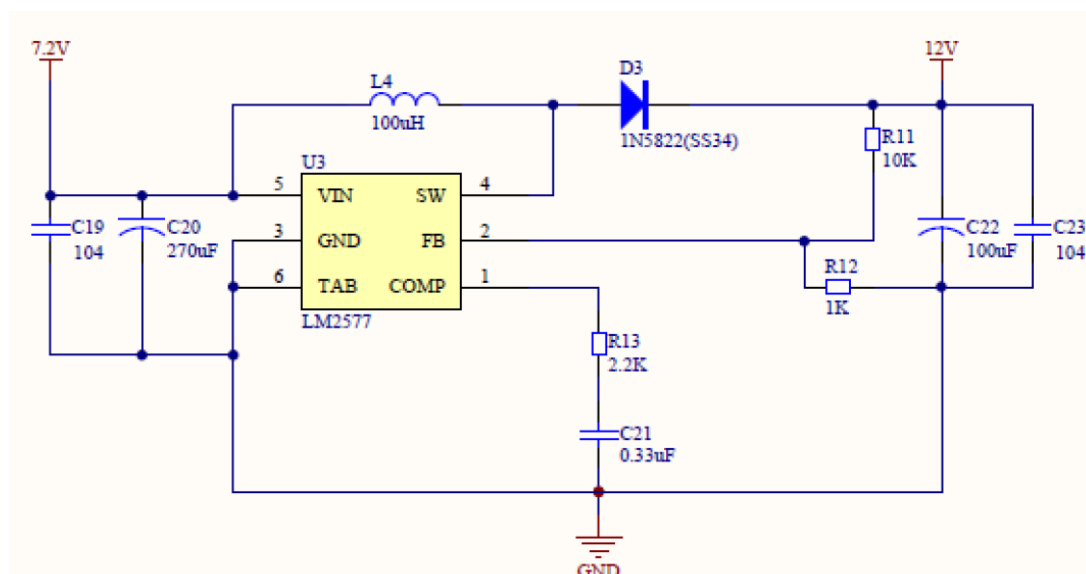


图 4.3 LM2577 升压电路

编码器需要 5V 供电，我们选用开关电源从 7.2V 降到 5V。开关电源芯片采用了 MSP 公司的 MP2307，该芯片可以为负载提供 3A 的电流，输入电压范围为 4.75V-23V，转换效率高达 95%，且交流纹波较低。

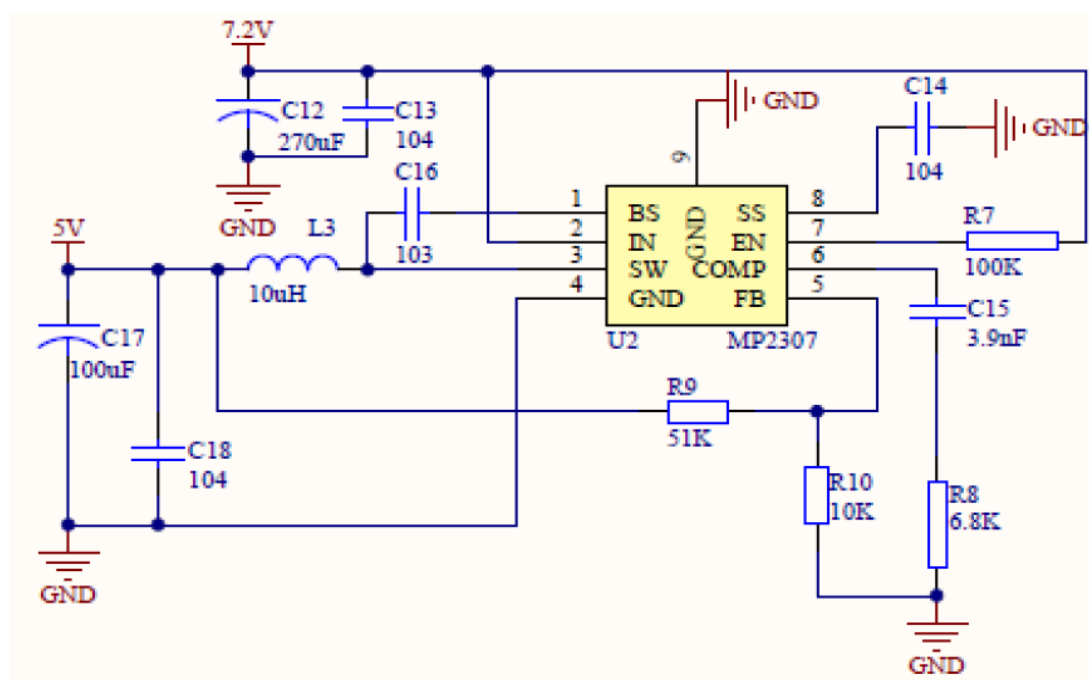


图 4.4 MP2307 降压电路

舵机内部为一伺服电机，因此舵机相对来说需要较大的驱动电流，因此，我们采用 DC-DC 开关电源为舵机供电。B 车模需要安装的舵机型号为 SD-5。我们选用 LM1085-ADJ 进行降压。

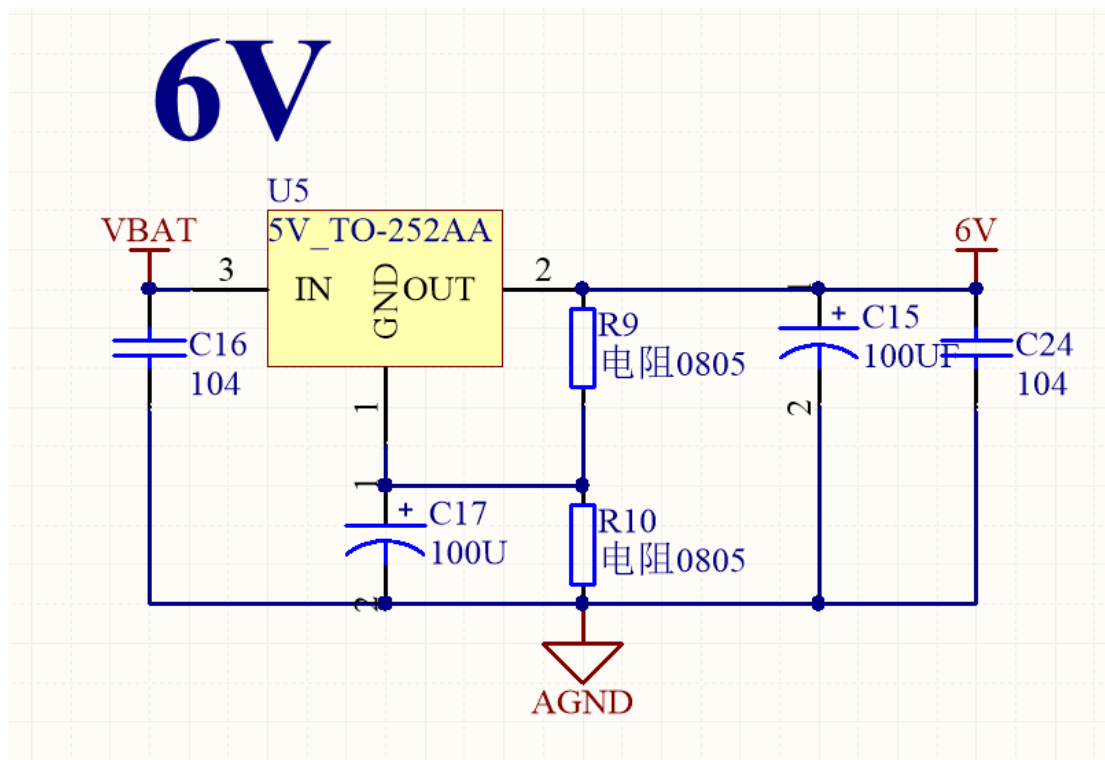


图 4.5 LM1085-ADJ 降压电路

## 4.2 摄像头的选择

摄像头传感器是智能车的“眼睛”，摄像头捕捉到的图像引导着智能车的前进，因此，该部分是智能车十分关键的一部分。本次竞赛，我们采用的索尼 CCD，使用索尼 CCD 可以获得较为宽广的视野，且图像清晰。

## 4.3 电机驱动模块

本次竞赛摄像头组的 B 车模采用的电机型号为 RS540，该电机采用 7.2V 电源供电时，最大电流为 9.71A，最大功率为 61.75W，因此，该电机的驱动电路设计尤为重要。常用的电机驱动有两种方式：一、采用集成电机驱动芯片驱动；二、采用 MOSFET 和专用集成 MOSFET 驱动芯片驱动。使用集成芯片的电路设计简单，可靠性高，但是性能受限。由于比赛电机内阻仅为几毫欧，而集成芯片内部的每个 MOSFET 导通电阻在 120 毫欧以上，大大增加了电枢回路总电阻，此

时直流电动机转速降落较大，驱动电路效率较低，电机性能不能充分发挥。由于分立的 N 沟道 MOSFET 具有极低的导通电阻，大大减小了电枢回路总电阻。另外，专门设计的栅极驱动电路可以提高 MOSFET 的开关速度，使 PWM 控制方式的调制频率可以得到提高，从而减少电枢电流脉动。并且专用栅极驱动芯片通常具有防同臂导通、硬件死区、欠电压保护等功能，可以提高电路工作的可靠性。目前常用电机驱动方案为直流电机的 H 桥驱动电路。H 桥驱动电路的内部原理解析如下：

图 4.6 所示为一个典型的直流电机控制电路。电路得名于“H 桥驱动电路”是因为它的形状酷似字母 H。4 个 MOS 管（或三极管）组成 H 的 4 条垂直腿，而电机就是 H 中的横杠。如图所示，H 桥式电机驱动电路包括 4 个 MOS 管（或三极管）和一个电机。要使电机运转，必须导通对角线上的一对 MOS 管（或三极管）。根据不同 MOS 管（或三极管）对的导通情况，电流可能会从左至右或从右至左流过电机，从而控制电机的转向。

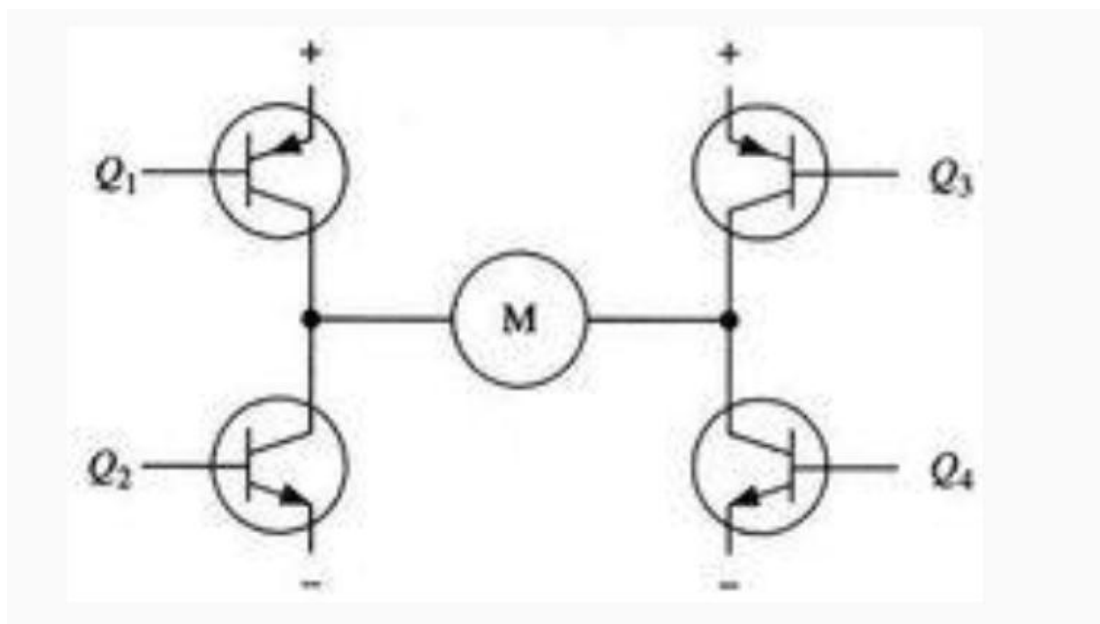


图 4.6 H 桥驱动电路

例如，如图 4.7 所示，当 Q1 管和 Q4 管导通时，电流就从电源正极经 Q1 从左至右穿过电机，然后再经 Q4 回到电源负极。按图中电流箭头所示，该流向的电流将驱动电机顺时针转动。当 Q1 和 Q4 导通时，电流将从左至右流过电机，

从而驱动电机按特定方向转动（电机周围的箭头指示为顺时针方向）。

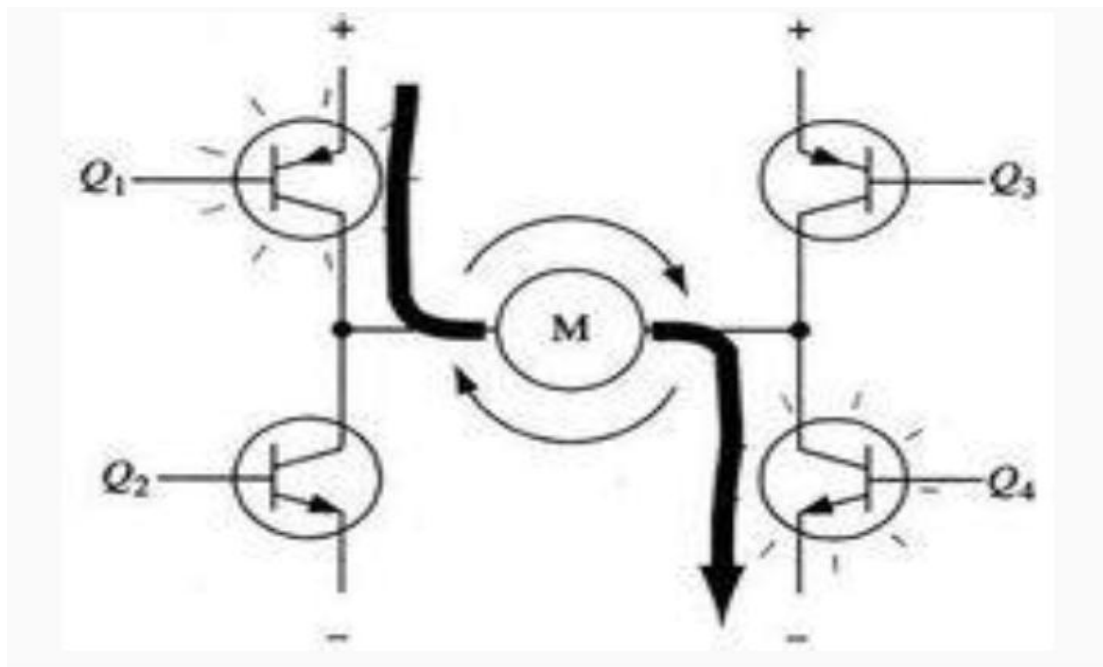


图 4.7 H 桥电路驱动电机顺时针转动

图 4.8 所示为另一对 MOS 管（或三极管）Q2 和 Q3 导通的情况，电流将从右至左流过电机。当 Q2 和 Q3 导通时，电流将从右至左流过电机，从而驱动电机沿另一方向转动（电机周围的箭头表示为逆时针方向）。

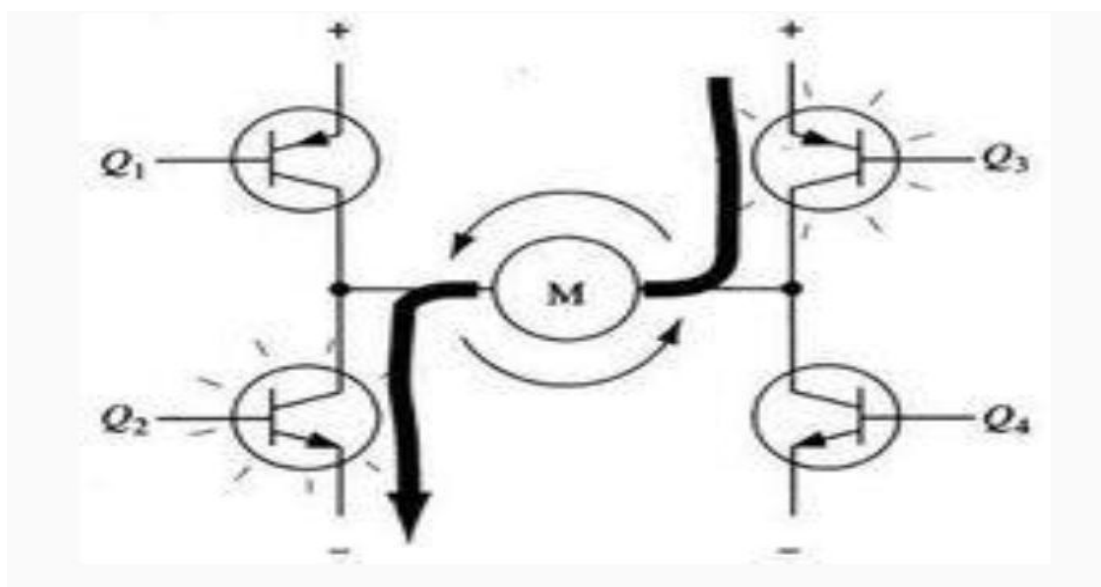


图 4.8 H 桥驱动电机逆时针转动

驱动电机时，保证 H 桥上两个同侧的 MOS 管（或三极管）不会同时导通非常重要。如果 Q1 和 Q2 同时导通，那么电流就会从正极穿过两个 MOS 管（或三极管）直接回到负极。此时，电路中除了 MOS 管（或三极管）外没有其他任何负载，因此电路上的电流就可能达到最大值（该电流仅受电源性能限制），甚至烧坏 MOS 管（或三极管）。基于上述原因，在实际驱动电路中通常要用硬件电路方便地控制 MOS 管（或三极管）的开关。

### 4.3.1 MOSFET 驱动芯片的选择

驱动 MOSFET，可以选用专用 MOSFET 驱动 IC 完成电平转换和驱动。因为 MOSFET 的栅-源极之间存在寄生电容，MOSFET 的开和关过程，是对电容的充放电过程，如果 MOSFET 的驱动电路不能提供足够的峰值电流（如 1A 的输入/输出电流），则会降低 MOSFET 的开关速度。

MOSFET 驱动芯片我们选用的型号为 IR2104。该芯片可以驱动高端和低端两个 N 沟道 MOSFET，能提供较大的栅极驱动电流，并具有硬件死区、硬件防同臂导通等功能。使用两片 IR2104 型半桥驱动芯片可以组成完整的直流电机 H 桥式驱动电路。其典型驱动电路如图 4.9 所示。

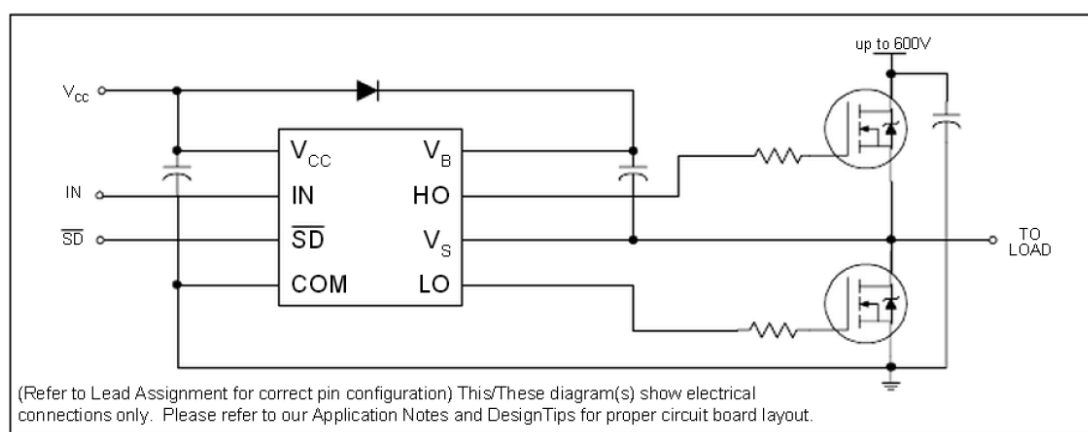


图 4.9 IR2104 典型驱动电路

### 4.3.2 MOSFET 的选择

选择 MOSFET 时主要考虑的因素有：耐压、导通内阻和封装。智能车电源是额定电压为 7.2V 的电池组，由于电机工作时可能处于再生发电状态，所以驱动部分的元件耐压值最好取两倍电源电压值以上，即耐压在 16V 以上。而导通内阻则越小越好。封装越大功率越大，即同样导通电阻下通过电流更大，但封装

越大栅极电荷越大，会影响导通速度。常用的 MOSFET 封装有 TO-220、TO-252、S0-8 等，TO-252 封装功率较大、而栅极电荷较小。经过考虑，我们选用的 MOSFET 型号为 IRFS3206PBF， $V_{DS} = 60V$ 、 $R_{DS(on) typ} = 2.4m\Omega$ 、 $R_{DS(on) max} = 3.0m\Omega$ 、 $I_D = 210A$ 。

### 4.3.3 电机驱动电路原理分析

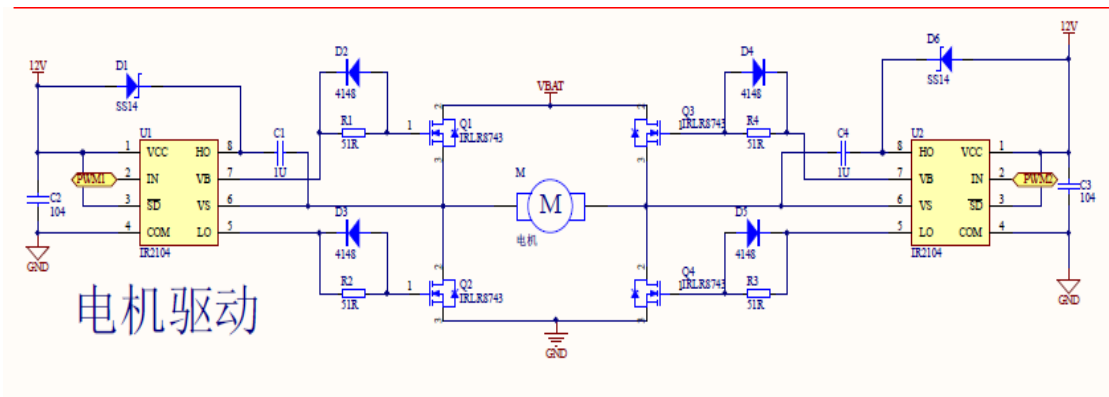


图 4.10 智能车电机驱动电路

驱动电路在 MOSFET 的栅极和驱动 IC 的输出之间串联了一个电阻。这个电阻称为“栅极电阻”，取值一般为  $10\sim 100$  欧姆不等，其作用是调节 MOSFET 的开关速度，减少栅极出现的振铃现象，减小 EMI，也可以对栅极电容充放电的限流作用。由于驱动器和 MOSFET 栅极之间的引线、地回路的引线等所产生的电感，和 IC 和 FET 内部的寄生电感，在开启时会在 MOSFET 栅极出现振铃，这是设计者不愿意得到的，一方面增加 MOSFET 的开关损耗，同时 EMC 方面不好控制。栅极电阻的引入虽然影响了 MOSFET 的开关速度，但得到可靠的栅极波形和减少 EMI。两者之间的平衡点视实际应用而定。

因 MOSFET 特性决定，MOSFET 的关断速度比开启速度慢，并大多应用希望 MOSFET 的关断速度要尽量快，因此我们在栅极上引入了二极管，当需要关闭 MOSFET 时，栅极寄生电容放电时，栅极电阻被二极管短路，所以电流不经过栅极电阻，相当于在关闭时栅极电阻不存在，这样缩短了栅极寄生电容的放电时间，即提高了 MOSFET 的关断速度。二极管使用一般的型号即可应付。对于要求更高速的应用，会使用有源主动放电，电机应用中一般不使用，这里不作介绍。

## 第五章 智能车软件设计

在编写程序过程中，为了便于调试和调用，本文将底层函数都以模块的方式封装起来，在模块中完成系统的初始化，赛道的识别，速度控制和电机控制。这样各个模块相对独立、结构清晰，便于理解，而且有利于后期修改。为了减轻单片机的处理任务，提高智能车控制的实时准确程度，本文对程序作了优化，避免了很多不必要的运算。程序流程图如图 5.1 所示。

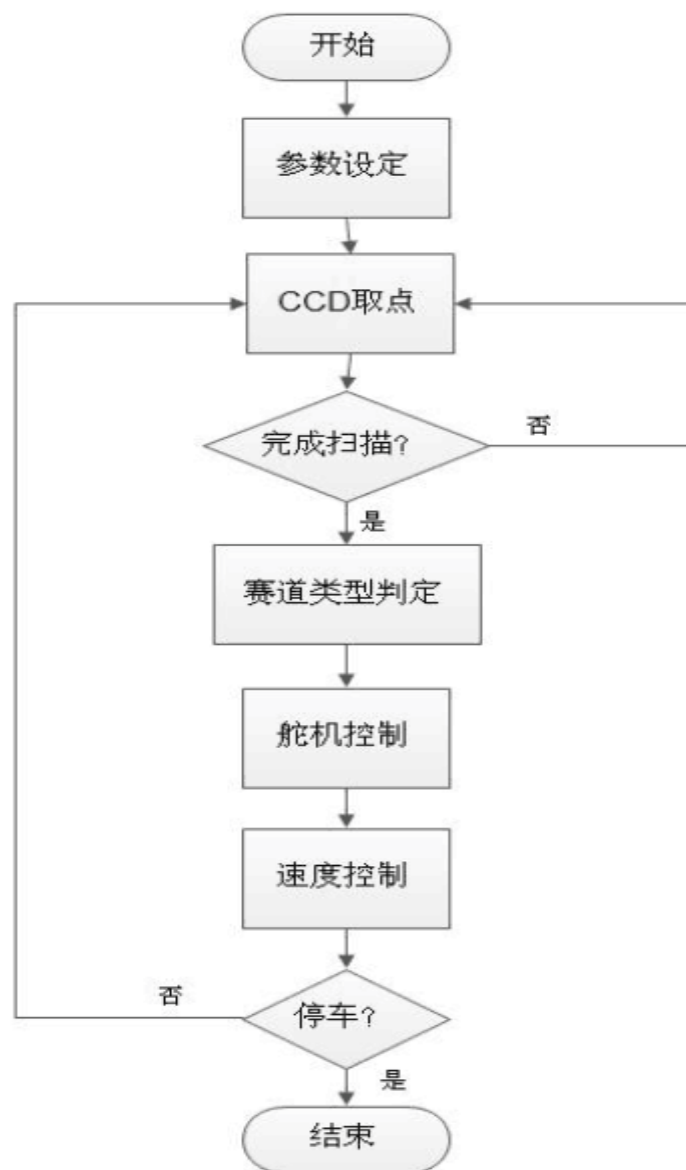


图 5.1 程序流程图



## 5.1 电机 PID 控制

智能车在行驶过程中需要时刻对电机进行变速处理，因此，对电机的控制我们采用经典的 PID 算法。

比例调节（P）作用：是按比例反应系统的偏差，系统一旦出现了偏差，比例调节立即产生调节作用用以减少偏差。比例作用大，可以加快调节，减少误差，但是过大的比例，使系统的稳定性下降，甚至造成系统的不稳定。

积分调节（I）作用：是使系统消除稳态误差，提高无差度。因为有误差，积分调节就进行，直至无差，积分调节停止，积分调节输出一常值。积分作用的强弱取决与积分时间常数  $T_i$ ， $T_i$  越小，积分作用就越强。反之  $T_i$  大则积分作用弱，加入积分调节可使系统稳定性下降，动态响应变慢。积分作用常与另两种调节规律结合，组成 PI 调节器或 PID 调节器。

微分调节（D）作用：微分作用反映系统偏差信号的变化率，具有预见性，能预见偏差变化的趋势，因此能产生超前的控制作用，在偏差还没有形成之前，已被微分调节作用消除。因此，可以改善系统的动态性能。在微分时间选择合适情况下，可以减少超调，减少调节时间。微分作用对噪声干扰有放大作用，因此过强的加微分调节，对系统抗干扰不利。此外，微分反应的是变化率，而当输入没有变化时，微分作用输出为零。微分作用不能单独使用，需要与另外两种调节规律相结合，组成 PD 或 PID 控制器。

数字 PID 闭环反馈控制系统的组成如图 5.2 框图所示。

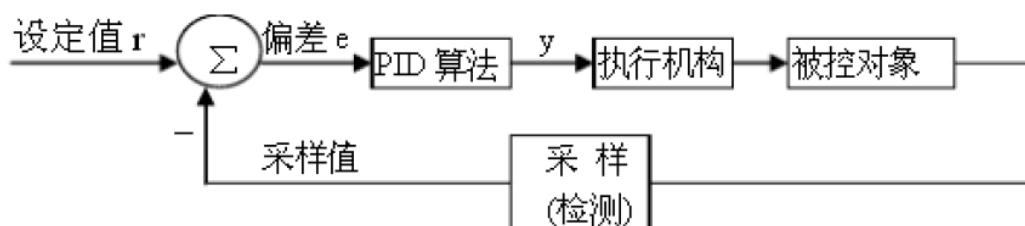


图 5.2 PID 控制系统框图

PID 控制常常采用增量 PID 算法，表达式如下：

$$y(k) = y(k-1) + \Delta y(k)$$

其中：

$y(k)$ —第  $k$  次输出的控制(信号)值

$y(k-1)$ —前一次输出的控制(信号)值

$\Delta y(k)$ —输出增量(可为正、负数)

$$\Delta y(k) = k_p * [e(k) - e(k-1)] + k_i * e(k) + k_d * [e(k) - 2e(k-1) + e(k-2)]$$

其中:

$k_p$ —比例系数

$k_i$ —积分系数

$k_d$ —微分系数

$e(k)$ — $k$  次采样时的偏差值(采样值与设定值之差)

$e(k-1)$ —第  $k-1$  次采样时的偏差值(采样值与设定值之差)

$e(k-2)$ —第  $k-2$  次采样时的偏差值(采样值与设定值之差)

上式中有  $k_p$ 、 $k_i$ 、 $k_d$  3 个系数需要确定,在实际应用中具有难度,根据前人的研究,可采用如下的简化了的经验公式:

$\Delta y(k) = k_p * [2.45e(k) - 3.5e(k-1) + 1.25e(k-2)]$ ,这样就只有一个系数  $K_p$ ,容易在实验中调整确定。

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。

## 5.2 舵机控制

在制作过程中,对舵机的控制我们采用了位置式 PD 的算法来实现,经过处理后的摄像头图像计算得到的弯道曲率和对应的舵机 PD 参考角度处理成一次线性关系,在  $K_i$  置零的情况下,舵机在这种动态随动系统对动态响应性能要求更

高。当舵机的控制只采用  $K_p$  控制时，智能车能够稳定过弯，没有震荡，增加  $K_p$  系数可以增强车模的沿线能力，并且可以使车模的转向提前，实现切弯效果。但是在高速出弯的时候车身会出现抖动，即舵机产生震荡。因此，我们引入  $K_d$  控制，加入  $K_d$  控制之后，可以使车模入弯时转向提前，出弯时转向减少，从而减小出弯的抖动，并且对大 S 弯切线以及优化连续小 S 弯车模路径很有好处。降低 P 系数而增加 D 系数可以使车模在大 S 弯内切线的程度增加，在大半径弧线中的切线量减少。通过设置 PD 系数以及调整转角曲线，可以将车模的行车线调整到一个较为理想的状态。当智能车入弯时，电机给定速度降低，当智能车出弯时，电机给定速度增加。这样可以在一定程度上使车模入弯时减速提前，出弯时加速提前。

## 第六章 智能车系统调试

### 6.1 开发工具

程序的开发是在组委会提供的 IAR 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。IAR Systems 是全球领先的嵌入式系统开发工具和服务的供应商。公司成立于 1983 年，提供的产品和服务涉及到嵌入式系统的设计、开发和测试的每一个阶段，包括：带有 C/C++ 编译器和调试器的集成开发环境 (IDE)、实时操作系统和中间件、开发套件、硬件仿真器以及状态机建模工具。

与 IAR 配套的调试器为 J-Link 仿真器，J-Link 是 SEGGER 公司为支持仿真 ARM 内核芯片推出的 JTAG 仿真器。配合 IAR EWAR, ADS, KEIL, WINARM, RealView 等集成开发环境支持所有 ARM7/ARM9/ARM11, Cortex M0/M1/M3/M4, Cortex A4/A8/A9 等内核芯片的仿真，与 IAR、Keil 等编译环境无缝连接，操作方便、连接方便、简单易学，是学习开发 ARM 最好最实用的开发工具。

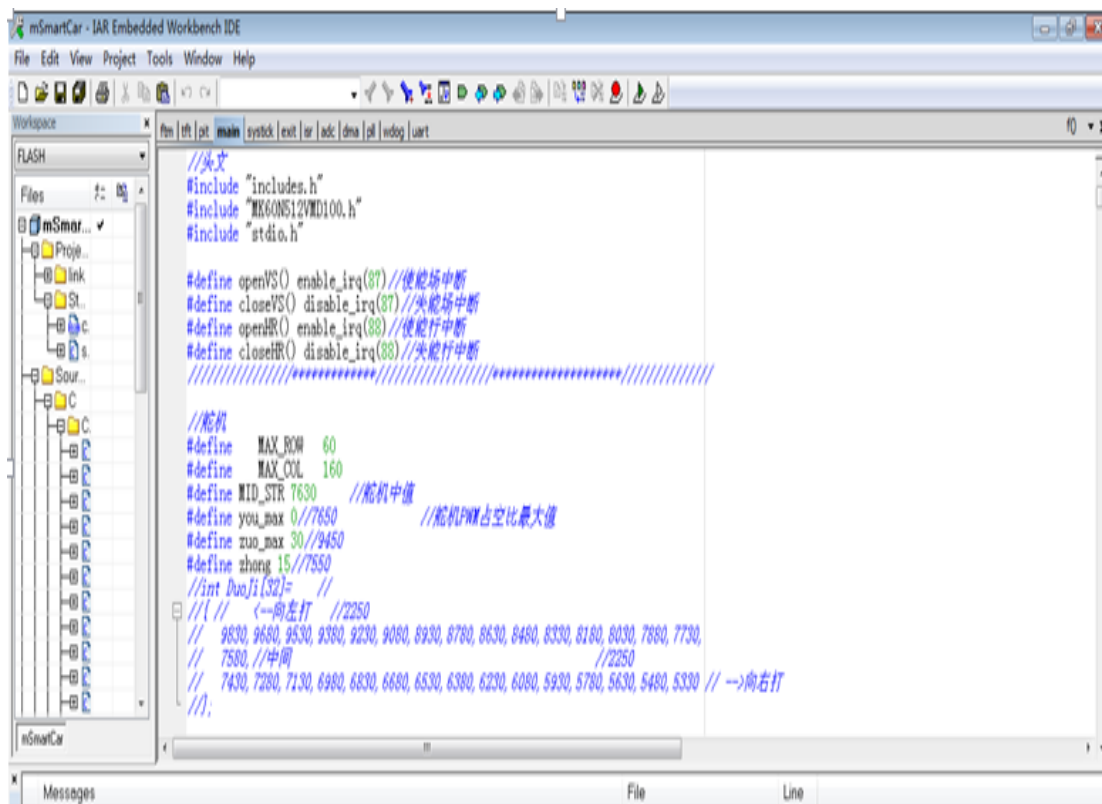


图 6.1 IAR 软件界面

## 6.2 串口调试工具

我们选用的是远程监控装置 Video DVR。

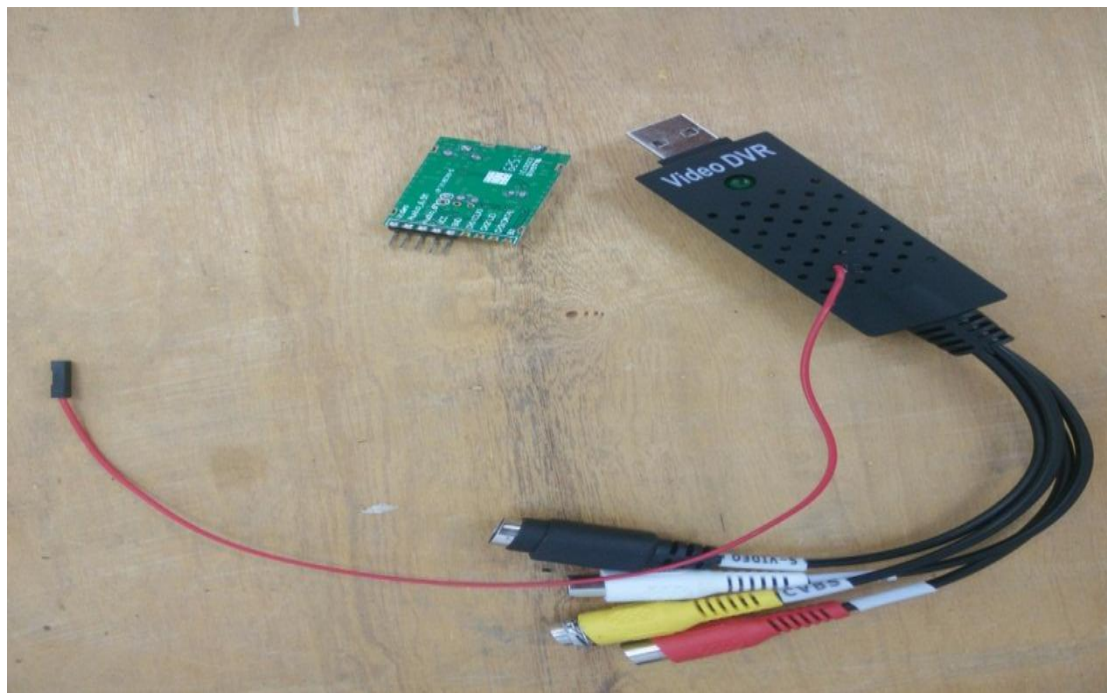


图 6.2 Video DVR

## 第七章 模型车技术参数

表 1 智能车技术参数

| 项目                  | 参数         |
|---------------------|------------|
| 赛题组                 | 摄像头组       |
| 智能车长度               | 30cm       |
| 智能车宽度               | 21cm       |
| 智能车高度               | 32.5cm     |
| 智能车重量               | 1kg        |
| 传感器类型               | 编码器、索尼 CCD |
| 传感器个数               | 2 个        |
| 电容量                 | 2000UF     |
| 除原有的驱动电机、舵机之外伺服电机个数 | 0          |
| 车模轴距/轮距             | 185mm      |
| 车模平均电流（匀速行驶）        | 3210mA     |
| 赛道信息检测频率            | 50HZ       |
| 赛道信息检测精度(近瞻/远瞻)     | 8mm/147mm  |

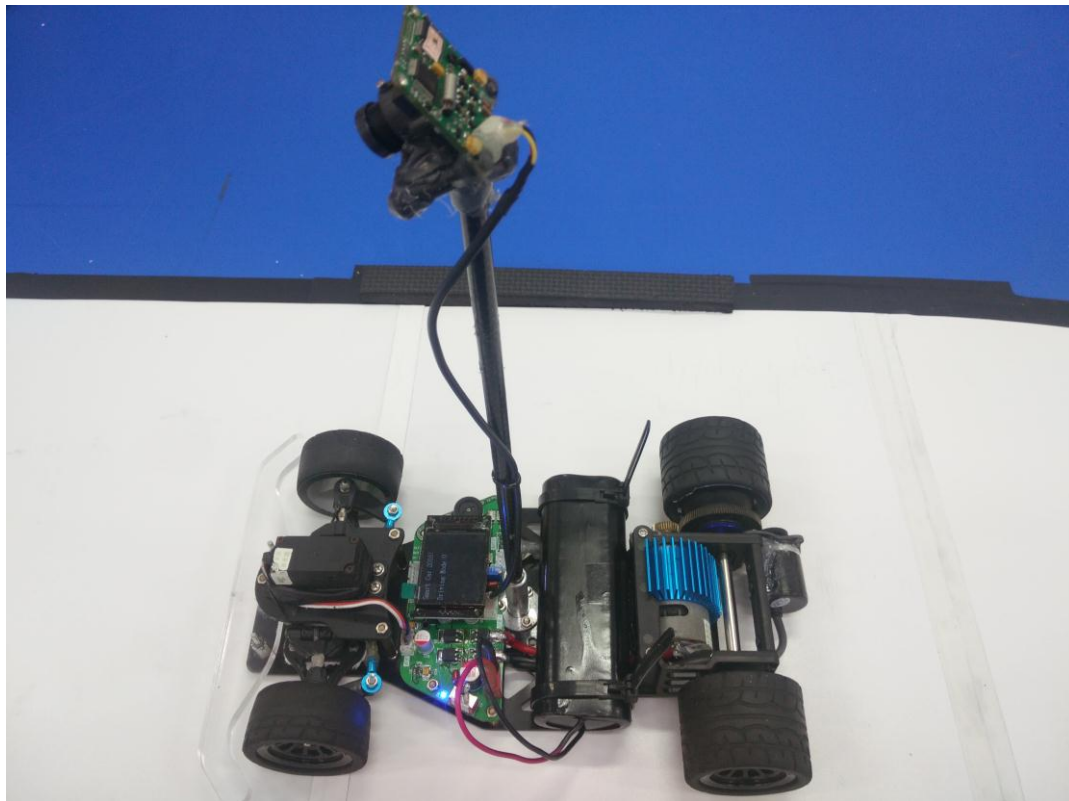


图 3 智能车外形

---

## 第八章 结论

全国大学生智能汽车竞赛已经成功举办了十届，该竞赛涵盖了控制、模式识别、传感技术、电子、电气、计算机、机械等多个学科，培养了学生的知识融合和实践动手能力。这份报告主要介绍了我们团队从做车开始到现在的一些心得体会，从机械结构调整到硬件设计再到软件设计，我们不仅将课堂上所学的内容融入到做智能车的实践中去，并且在做车的过程中收获到很多课堂上学不到的知识，我们的动手实践能力得到了极大的提高。在制作初期，我们团队遇到了各种困难，刚开始最令我们无奈的问题便是车模左右转不对称的问题，这个问题困扰了我们很久，不论我们怎样进行程序上的改进都不行，后来，经过查阅各种资料，不断地摸索前进，我们发现了机械结构的问题，前期的机械结构没有调整到位，导致了后期智能车出现了程序上无法弥补的错误，经过这一次教训，我们知道了整体调试的重要性，并且在后来的调试过程中我们出现问题之后也不仅仅是只找程序上的问题。

参加智能车比赛，是我们大学四年来最宝贵的一次经历，一部智能车就是一部完整的自动控制系统，这对于我们自动化类的专业来说，能够制作完成这部智能车是我们的骄傲。在调试过程中，每一次失败后的痛苦，每一次提速后的喜悦都令我们难以忘怀。

最重要的是锻炼了我们亲自动手、自主学习、开拓创新、团队协作的能力。团队精神显得尤为重要。每队三个人要相互鼓励相互支持相互协作。很多时候一个人的思维总是不够全面，而大家在一起交流探讨学习就能很好的发现问题解决问题。参加这次比赛对我的意志力也是一次磨砺与考验。从某种意义上说，能坚持到最后的人都是胜利者。漫长的准备过程是艰苦的乏味的，很多人中途放弃退出了，但是我们一直咬牙坚挺了过来。只要下定决心，有明确的目标，没有什么事是做不到的。



## 参考文献

- [1] 张友德 . 单片机原理与应用技术 . 机械工业出版社, 2004
- [2] 隋研 . 基于数字 PID 的智能小车控制[J] . 杂志商店, 2012. 06
- [3] 寸晓非. 基于飞恩卡尔的智能循迹车设计. 荆楚学院报, 2012. 04.
- [4] 周淑娟. 基于单片机智能寻迹小车的设计方案[J]. 工业技术与职业教育, 2011 年 6 月第 9 卷第 2 期.
- [5] 李瀚霖等. 智能小车研究与设计[J]. 科技致富向导, 2011 年 26 期.

## 附录：部分代码

```
/******  
* 名称: pid_control(int setSpeed,int pulseCount)  
* 功能: pid调节电机输出  
* 入口参数: setSpeed-目标脉冲数pulseCount-当前实际脉冲数  
* 出口参数: 无  
*****/  
void pid_control(int setSpeed,int pulseCount)  
{  
    dd_mError=d_mError;  
    d_mError=mError;  
    mError=-setSpeed-pulseCount;  
    mPwm+=(int)(mP1*(2.45*mError-3.5*d_mError+1.25*dd_mError));  
    if(mPwm>=0)  
    {  
        if(mPwm>=950)  
            mPwm=950;  
        motor_speed_pControl(mPwm);  
        motor_speed_nControl(0);  
    }  
    else  
    {  
        if(mPwm<=-950)  
            mPwm=-950;  
        motor_speed_pControl(0);  
        motor_speed_nControl(-mPwm);  
    }  
}  
/******  
**函数名: FTM2_QUAD_lint  
**功能: 正交解码计数  
**说明: 读取 FTM2_CNT 的值并清 0 计数值即可得到当前的转速, 使用 int 变量保存, 如  
        为正数则为正转, 负数则为反转  
*****/  
void FTM2_QUAD_lint(void)  
{  
    SIM_SCGC5 |= SIM_SCGC5_PORTB_MASK;  
    PORTB_PCR18= PORT_PCR_MUX(6)|PORT_PCR_PE_MASK | PORT_PCR_PS_MASK;
```

```
PORTB_PCR19= PORT_PCR_MUX(6)|PORT_PCR_PE_MASK | PORT_PCR_PS_MASK;
SIM_SCGC3|=SIM_SCGC3_FTM2_MASK;
FTM2_MODE |= FTM_MODE_WPDIS_MASK;
FTM2_QDCTRL &=FTM_QDCTRL_QUADMODE_MASK;
FTM2_CNTIN=0x0;
FTM2_MOD=0xFFFF;
FTM2_QDCTRL|=FTM_QDCTRL_QUADEN_MASK;
FTM2_MODE|= FTM_MODE_FTMEN_MASK;
FTM2_CNT=0x0;
FTM2_SC|=FTM_SC_CLKS(3);
}
```