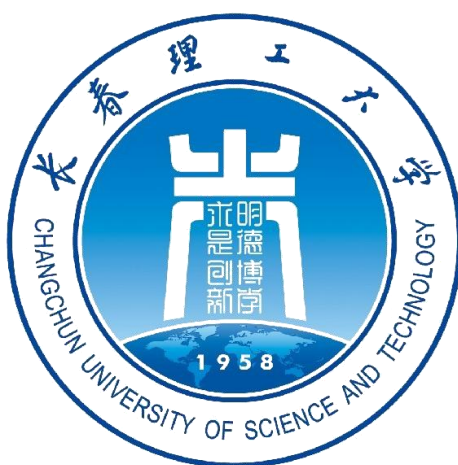




第十一届“恩智浦”杯全国大学生智能 汽车竞赛技术报告



学 校：长春理工大学

队伍名称：追风四队

参赛队员：徐杰，张富强，潘亚星

带队教师：王頔，姚广宇

关于技术报告和研究论文使用授权的说明

本人完全了解第十届“恩智浦”杯全国大学生智能汽车邀请赛关于保留、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： 张富强

带队教师签名： 王颖

日期： 2016.8.15

目录

摘要	1
引 言	2
第一章 系统总体设计	3
1.1 系统概述	3
1.2 整车布局	4
第二章 机械结构的搭建	5
2.1 舵机安装	5
2.2 转向轮的定位	6
2.2.1 主销后倾角	6
2.2.2 主销内倾角	7
2.2.3 车轮外倾角	8
2.2.4 前轮前束	8
2.3 车模重心	10
2.4 编码器的安装	10
2.5 摄像头的安装	11
2.6 偏振片的安装	12
2.7 齿轮啮合及差速调整	13
第三章 硬件电路设计	13
3.1 K10 最小系统	13
3.2 电源设计	14
3.3 电池电压检测模块	16
3.4 驱动电路设计	17
第四章 赛道元素处理	19
4.1 图像提取与处理	19
第五章 软件控制算法	20
5.1 整体控制	20
5.2 PID 算法的引入与改进	20
5.3 增量式 or 位置式	22

第六章 上位机开发与调试	23
6.1 开发工具	23
6.2 调试工具	24
6.2.1 蓝牙无线调试	24
6.2.2 上位机调试	24
6.2.3 声光辅助调试	25
总结	26
参考文献	27
附录：程序源码	28

摘要

本文设计的智能车系统以 MK10DN512VLL10 微控制器为核心控制单元，通过 CMOS 摄像头检测赛道信息，使用模拟比较器对图像进行硬件二值化，提取黑色引导线，用于赛道识别；通过光电编码器检测模型车的实时速度，使用 PID 控制算法调节驱动电机的转速，实现了对模型车运动速度的闭环控制。为了提高模型车的速度和稳定性，使用 C 语言、LABVIEW 上位机、SD 卡模块、键盘模块等调试工具，进行了大量硬件与软件测试。实验结果表明，该系统设计方案确实可行。

关键字： MK10DN512VLL10, CMOS, PID, C, SD 卡

Abstract

In this paper, design of the intelligent vehicle system with MK10DN512VLL10 micro controller as the core control unit, by CMOS camera to detect the track information, using the analog comparator to hardware binarization image, extraction of black guide line, used for track recognition; Through the photoelectric encoder testing model vehicle real-time speed, using PID control algorithm to adjust the speed of the drive motor, realizing the closed-loop control of model car speed. In order to improve the speed and stability of the model car, using C language, the LABVIEW PC, SD card module, keyboard module debugging tools, such as a lot of hardware and software testing. The experimental results show that the design of the system is really practical.

Keywords: MK10DN512VLL10, CMOS, PID, C, the SD card

引 言

全国大学生“恩智浦”杯智能汽车竞赛是以“立足培养、重在参与、鼓励探索、追求卓越”为宗旨，鼓励创新的一项科技竞赛活动。竞赛要求在规定的汽车模型平台上，使用恩智浦半导体公司的微控制器作为核心控制模块，通过增加道路传感器、电机驱动模块以及编写相应控制程序，制作完成一个能够自主识别道路模型汽车。智能汽车竞赛的赛道路面为宽度不小于 45cm 的白色面板，赛道两侧边沿有宽为 25mm 的连续黑线作为引导线。参赛队员的目标是模型汽车需要按照规则以最短时间完成单圈赛道。

在本次比赛中，本组使用大赛组委会统一提供的竞赛车模 B 车模，采用恩智浦 32 位微控制器 MK10DN512VLL10 作为核心控制单元，自主构思控制方案及系统设计，融合摄像头图像采集处理、电机驱动输出、路径控制，最终实现一套能够自主识别路线，并且可以实时输出车体状态的智能车控制系统。

在制作小车的过程中，我们对小车的整体构架进行了深入的研究，分别在机械结构、硬件和软件上都进行过改进，硬件上主要是考虑并实践各种传感器的布局，改进驱动电路，软件上先后进行了几次大改，小车的寻线方式采用适应性较强的优化的位置加权的方法。控制算法上，从 PID 到 Bang-Bang,再到模糊 PID 都进行了一些研究。

在这份报告中，我们主要通过对整体方案、机械、硬件、算法等方面的介绍，详细阐述我队在此次智能汽车竞赛中的思想和创新。具体表现在电路的创新设计、算法以及辅助调试模块等方面的创新。我队成员在准备比赛的过程中，队员查阅了大量的专业资料，反复地调试汽车模型的各项参数。所有队员都为此次智能汽车竞赛付出了艰苦的劳动。

第一章 系统总体设计

1.1 系统概述

智能车系统的总体工作模式为：CMOS 图像传感器拍摄赛道图像，经过信号处理模块进行硬件二值化，二值化图像信号、奇偶场信号、行同步信号输入到 MK10DN512VLL10 微控制器，进行进一步处理获得主要的赛道信息；通过光电编码器来检测车速，并采用 MK10DN512VLL10 输入捕捉功能进行脉冲计算获得速度和路程；转向舵机采用 PD 控制；驱动电机采用 PID 控制，通过 PWM 控制驱动电路调整电机的功率；而车速的目标值由默认值、运行安全方案和基于图像处理的优化策略进行综合控制。

根据智能车系统的基本要求，我们设计了系统结构图，如图 1.1 所示。在满足比赛要求的情况下，力求系统简单高效，因而在设计过程中尽量简化硬件结构，减少因硬件而出现的问题。

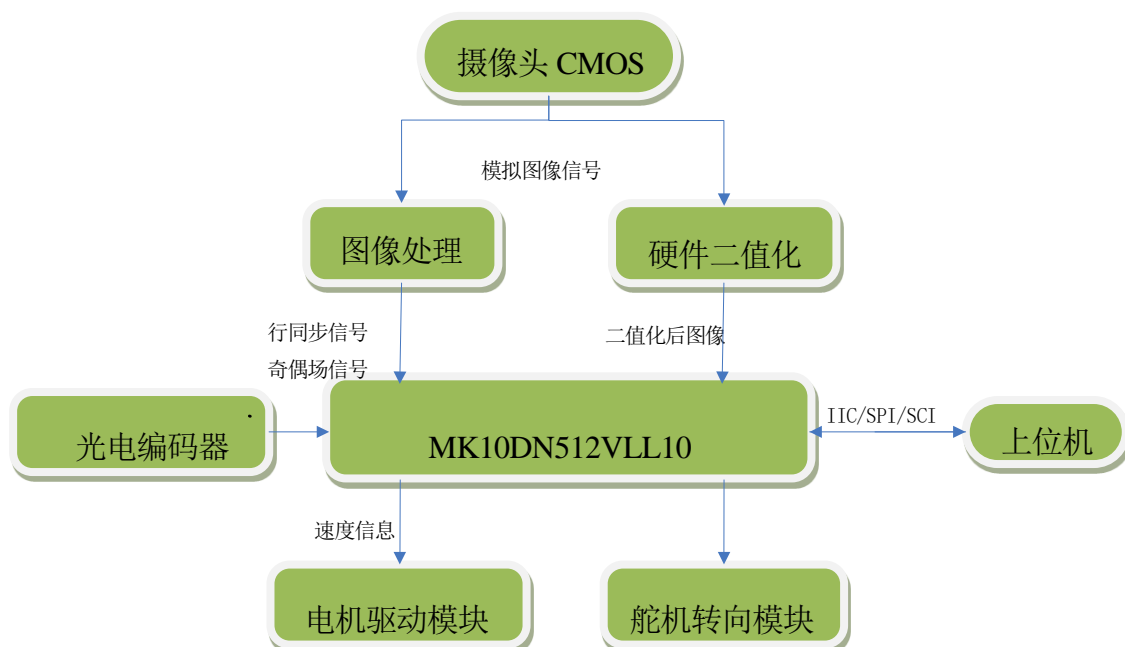


图 1.1 智能车系统结构图

1.2 整车布局

今年模型车的整车布局本着轻量化设计，如图 1.2.具有以下特点：

- （1）架高舵机并直立安装，以提高舵机响应速度；
- （2）主板低位放置，降低赛车重心；
- （3）采用强度高、质量轻的材料制作摄像头支架；
- （4）摄像头后置于模型车的中间部分，减少赛车前方盲区。

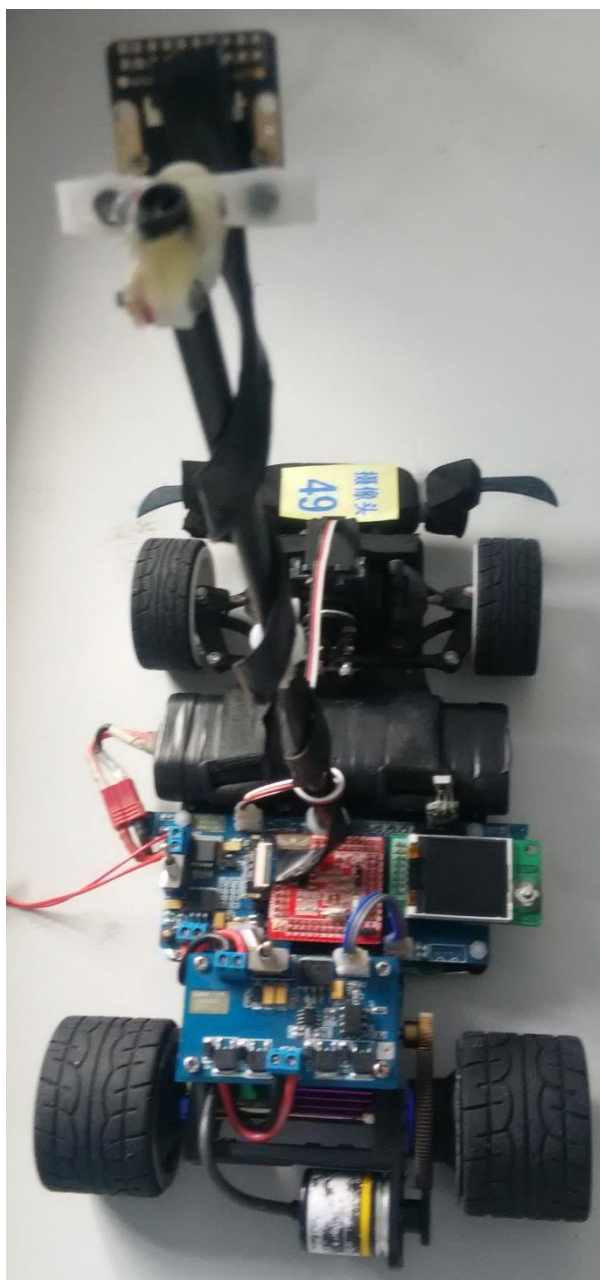


图 1.2 智能车整车布局

第二章 机械结构的搭建

2.1 舵机安装

舵机安装直接关系到车模是否能快速灵敏地转向的问题。如果舵机调整不到位，将很大程度上限制转向角度和转向响应速度。

舵机安装有两种方式，一种是卧式安装，另外一种为立式安装。

卧式安装为车模默认安装方式，但这样安装会使左右两边轮子连杆不等长，根据杠杆原理可知舵机对长连杆轮子用的力要大些，因此造成了舵机对左右两边转向响应时间不一样。另外由于卧式安装会使连杆与水平面呈现一定角度，从力学知识可以知道在轮子转向获得的力只是舵机施加在连杆上力的一个水平方向上的分力。

立式安装把舵机架高，增长了力臂，使得小车反应更加灵活，但增大了阻力，力的作用减小。因此，根据舵机性能和实际情况确定高度，将舵机立式正放，不仅提高了其响应速度，还增加了小车底盘空间，易于安放电路板，降低小车重心。根据舵机形状制作了一个小巧坚固的舵机支架，支架边缘尽量少，以减少整车的重量，避免影响赛车提速。然后将支架以合适的高度固定在底盘上。如图 2.1 所示。

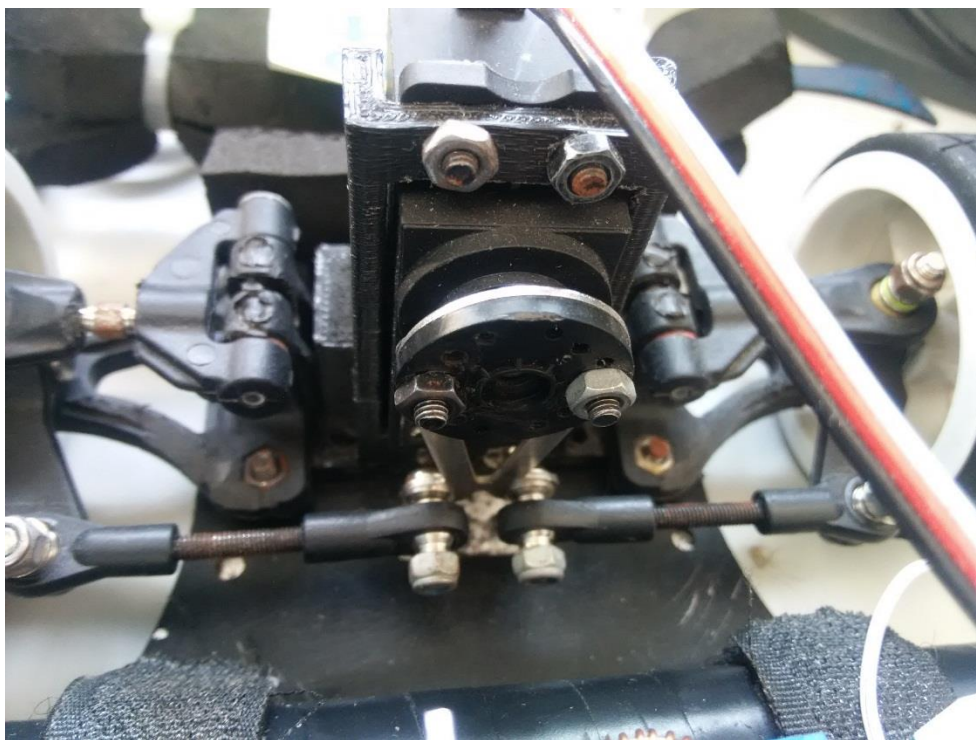


图2.1 舵机安装示意图

2.2 转向轮的定位

现代汽车在正常行驶过程中，为了使汽车直线行驶稳定，转向轻便，转向后能自动回正，减少轮胎和转向系零件的磨损等，在转向轮、转向节和前轴之间须形成一定的相对安装位置，叫车轮定位，其主要的参数有：主销后倾、主销内倾、车轮外倾和前束。智能车竞赛模型车的四项参数都可以调整，但是由于模型车加工和制造精度的问题，在通用的规律中还存在着一些偶然性。

2.2.1 主销后倾角

所谓主销后倾，是将主销（即转向轴线）的上端略向后倾斜。从汽车的侧面看去，主销轴线与通过前轮中心的垂线之间形成一个夹角，即主销后倾角。主销后倾的作用是增加汽车直线行驶时的稳定性和在转向后使前轮自动回正。由于主销后倾，主销（即转向轴线）与地面的交点位于车轮接地点的前面。这时，车轮所受到的阻力的作用点总是在主销轴线之后，相当于主销拖着车轮前进。这样，就能保持行驶方向的稳定性。当车转弯时，由于车轮所受阻力作用线，不通过主销轴线，这样，车轮所受阻力在主销方向有力矩作用产生，迫使车轮自动偏转直到车轮所受阻力作用线通过主销轴线，此时，车轮已回正，这就是转向车轮的自动回正功能。

主销后倾角越大，方向稳定性越好，自动回正作用也越强，但转向越沉重。汽车主销后倾角一般不超过 3° ，由前悬架在车架上的安装位置来保证。现代轿车由于采用低压宽幅子午线轮胎，高速行驶时轮胎的变形加大，接地点后移，因此主销后倾角可以减小，甚至为负值（变成主销前倾），以避免由于回正力矩过大而造成前轮摆振。模型车通过增减垫片的数量来改变主销后倾角的，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，转弯反应迟滞，所以设置为 0° ，以便增加其转向的灵活性。

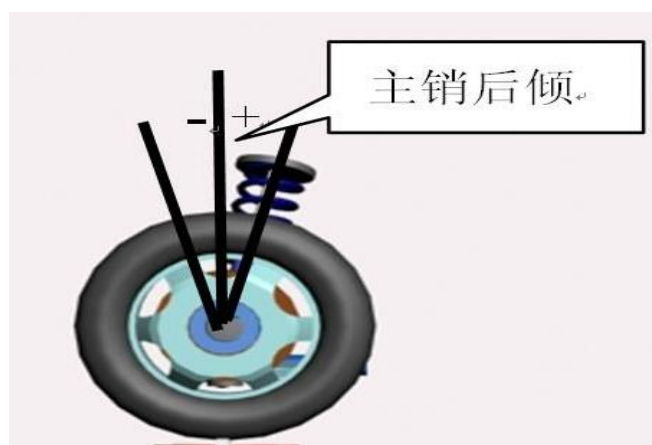


图 2.2.1 主销后倾角

2.2.2 主销内倾角

所谓主销内倾，是将主销（即转向轴线）的上端向内倾斜。从汽车的前面看去，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。主销内倾的作用是使车轮转向后能及时自动回正和转向轻便。对于模型车，通过调整前桥的螺杆的长度可以改变主销内倾角的大小，由于过大的内倾角也会增大转向阻力，增加轮胎磨损，所以在调整时可以近似调整为 $0^{\circ} \sim 3^{\circ}$ 左右，不宜太大。主销内倾和主销后倾都有使汽车转向自动回正，保持直线行驶的功能。不同之处是主销内倾的回正与车速无关，主销后倾的回正与车速有关，因此高速时主销后倾的回正作用大，低速时主销内倾的回正作用大。

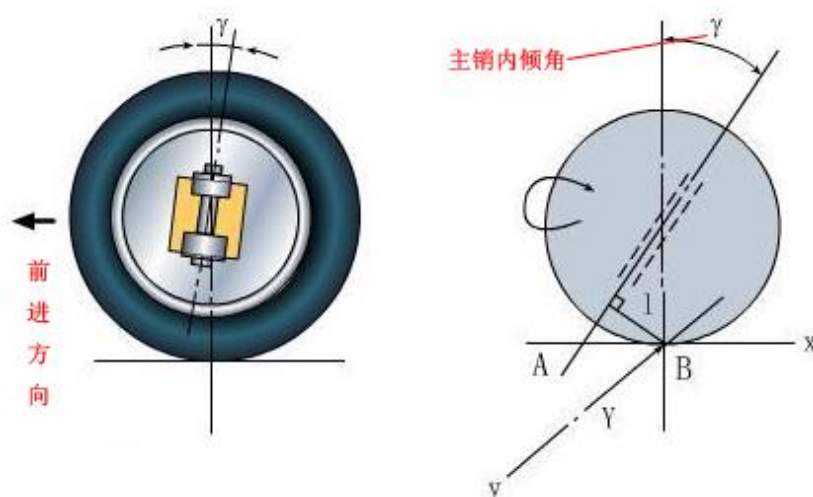


图 2.2.2 主销内倾角

2.2.3 车轮外倾角

前轮外倾角是指通过车轮中心的汽车横向平面与车轮平面的交线与地面垂线之间的夹角，对汽车的转向性能有直接影响，它的作用是提高前轮的转向安全性和转向操纵的轻便性。在汽车的横向平面内，轮胎呈“八”字型时称为“负外倾”，而呈现“V”字形张开时称为正外倾。如果车轮垂直地面一旦满载就易产生变形，可能引起车轮上部向内倾侧，导致车轮联接件损坏。所以事先将车轮校偏一个正外倾角度，一般这个角度约在 1° 左右，以减少承载轴承负荷，增加零件使用寿命，提高汽车的安全性能。

模型车提供了专门的外倾角调整配件，近似调节其外倾角。由于竞赛中模型主要用于竞速，所以要求尽量减轻重量，其底盘和前桥上承受的载荷不大，所以外倾角调整为 0° 即可，并且要与前轮前束匹配。

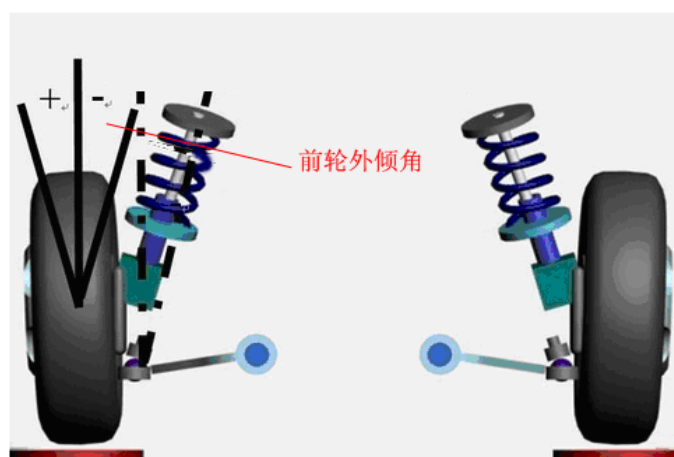


图 2.2.3 前轮外倾角

2.2.4 前轮前束

所谓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。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。像内八字那样前端小后端大的称为“前束”，反之则称为“后束”或“负前束”。在实际的汽车中，一般前束为 0.12mm 。

在模型车中，前轮前束是通过调整伺服电机带动的左右横拉杆实现的。主销在垂直方向的位置确定后，改变左右横拉杆的长度即可以改变前轮前束的大小。在实

际的调整过程中，我们发现较小的前束，约束 02mm 可以减小转向阻力，使模型车转向更为轻便，但实际效果不是十分明显。

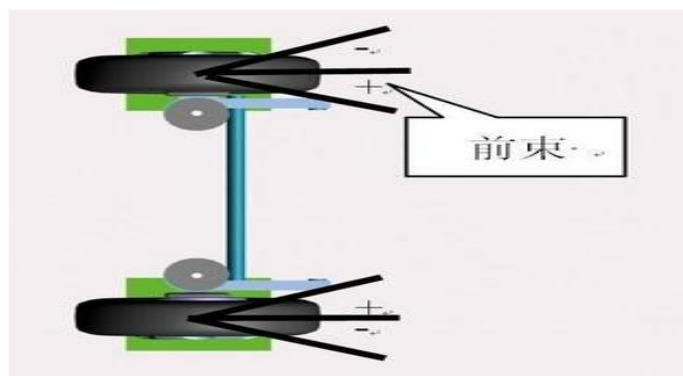


图 2.2.4 前轮前束

虽然模型车的主销后倾角、主销内倾角、车轮外倾角和前束等均可以调整，但是由于车模加工和制造精度的问题，在通用的规律中还存在着不少的偶然性，一切是实际调整的效果为准。

转向机构在车辆运行过程中有着非常重要的作用。合适的前桥和转向机构可以保证在车辆直线行驶过程中不会跑偏，能保证车辆行驶的方向稳定性；而在车辆转向时，合适的转向机构可以使车辆自行回到直线行驶状态，具有好的回正性。正是由于这些原因，转向系统优化设计成为智能车设计中机械结构部分的重点，直接关系到赛车能否顺利地完比赛。在实际操作中，我们通过理论计算的方案进行优化，然后做出实际结构以验证理论数据，并在实际调试过程中不断改进。

在模型车制做过程中，赛车的转向是通过舵机带动左右横拉杆来实现的。转向舵机的转动速度和功率是一定，要想加快转向机构响应的速度，唯一的办法就是优化舵机的安装位置和其力矩延长杆的长度。由于功率是速度与力矩乘积的函数，过分追求速度，必然要损失力矩，力矩太小也会造成转向迟钝，因此设计时就要综合考虑转向机构响应速度与舵机力矩之间的关系，通过优化得到一个最佳的转向效果。经过最后的实际的参数设计计算，最后得出一套可以稳定、高效工作的参数及机构。

转向轮的定位主要是由主销内倾角，主销后倾角，车轮前束角这三个角决定。对于主销内倾角，主要作用是产生与转向相反的力矩，让车转完后的回正性增强，同时在转弯时车轮与地面的接触情况会更好。对于主销后倾角，由于车是后轮转向，

它与前轮转向不同，经过分析和实验我们选择了负的后倾角，对车的回正性更好。转向轮定位如图 2.2.5 所示。



图 2.2.5 转向轮定位

另外，我们的车模的控制要求整个系统十分精确，所以车模本身存在的间隙就会对车在高速运行的情况下产生很大影响，尤其是转向桥部分。所以对于轴承与轴的间隙，主销与其配合的零件之间的间隙等，都应该尽量去减少，我们对此进行加薄垫片或垫纸等处理。

2.3 车模重心

车模在搭建完之后，测量整个车模的质心分布，目的是保证整个重心在车模轴线上，保证左右转弯的对称性。同时还应该尽量降低车模重心高度，防止车模行驶时发生侧翻，提高车的极限转弯速度。对此，我们分析整个车模后，在规则允许范围内，我们适当的降低了底盘的高度，同时注意降低电路板和电池的高度，最大限度的降低重心，增加车运行的稳定性。

2.4 编码器的安装

对于我们的车而言，我们采用编码器来采取速度的返回值进行闭环控制，编码器的安装也成了机械的一个任务。为了保证编码器工作的稳定，能够正确的反应当前电机的转速，我们采用了如图 2.4 的装法：

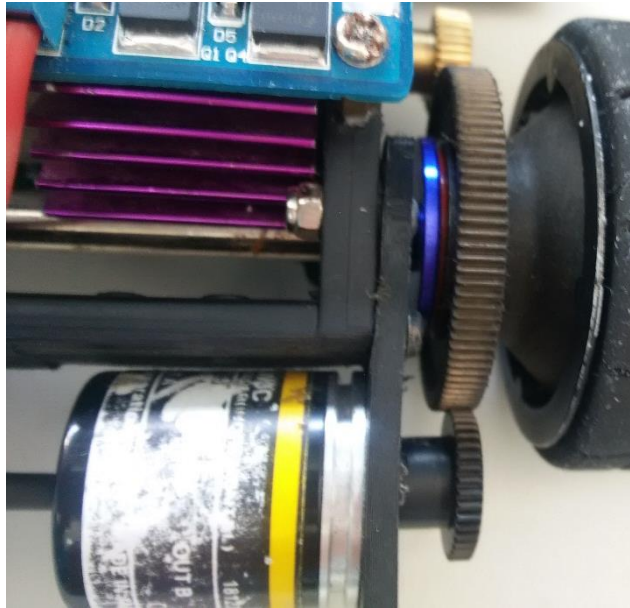


图 2.4 编码器安装

这样安装，能够直接反映出电机齿轮的转速，在安装过程中，保证齿轮之间的良好啮合，能够保证编码器的正常工作，是速度的返回值更加稳定。

2.5 摄像头的安装

摄像头的安装至关重要，摄像头的安装位置及高度会影响一辆车的性能好坏，可以说是整车的眼睛。有了它，小车才能识别前方的道路，才能正确前行。

为了合理的确定摄像头的安装位置以及其安装高度，我们需要考虑许多问题。

首先，是整车的重心。摄像头安装的太高的话，摄像头的视野会变得比较宽，黑线变得很细甚至在图像的远端根本采集不到黑线。同时受到的干扰和抖动都很强烈。更为严重的是，摄像头过高会使整车的重心变高，这样，车的稳定性就会大大下降。当小车遇到急弯的时候，便会发生翻车现象，使得小车不能以高速通过弯道，从而使小车的极限速度受到限制。这是我们不愿看到的，我们便将摄像头的高度尽量降低。然而，我们又发现问题，摄像头过低又会使摄像头的视野变窄，使其无法看到整个赛道，图像变形严重，且容易反光，在过弯时“丢线”现象比较严重。故经过多次测量并分析，最终我们选定了一个较为合理的高度，大约 32 厘米。

其次，是车模的安装位置。摄像头若安装在车身前端，会使摄像头视野变得很远，容易提前看到赛道的类型，作出预判。但太靠前的话，会使整车的稳定性降

低，小车高速行驶时会出现“扭动”现象，而过弯时，“甩尾”现象比较严重。若将摄像头位置挪到车模后面，则视野会变近，且小车在转弯时会变得很迟钝。故综合考虑，我们将摄像头安装在车模的重心位置附近。这样，摄像头的视野比较开阔，而且小车在转弯时也比较灵活。

此外，摄像头的固定也很重要。摄像头支架的选取，支架与车模的固定，摄像头与支架的固定等，都会对小车的性能造成很大的影响。我们选取轻质碳杆作为摄像头的支架，我们购买合适的器件将支架和车模牢牢的固定在一起，防止小车在运行过程中摄像头抖动。我们还将摄像头和支架进行紧固，防止摄像头上下左右的移动。摄像头的安装如图 2.5：

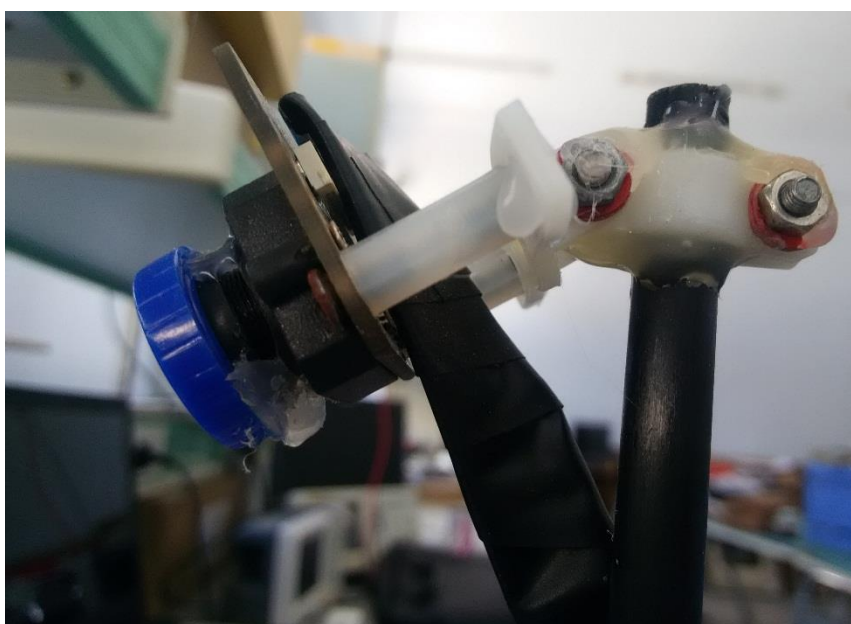


图 2.5 摄像头的安装

2.6 偏振片的安装

赛道的反光会引起许多不利变化，如起跑线的误识别，赛道丢失。根据反射光均为偏振光的原理，为减少赛道反光对赛道信息的判断，我们使用了偏振片，滤掉大部分反射光，使赛道信息提取更加准确。虽然使用偏振片会使摄像头接收到光强度会减少一半，但经过实测发现并不影响对赛道信息的有效提取，而且发现偏振片的效果十分显著。

2.7 齿轮啮合及差速调整

对于智能车而言，调节电机齿轮啮合以及差速器对于小车的综合机械性能有非常的大影响。首先，电机与差速齿轮啮合主要是调整两齿轮的齿间距，合适齿间距能够减少两齿轮的磨损，延长其使用寿命，尤其是对于车模中两种材料不同的齿轮来说。齿轮传动部分安装不恰当，会增大电机驱动后轮的负载；齿轮配合间隙过松则容易打坏齿轮过紧则会增加传动阻力。所以我们在电机安装过程中尽量使得传动齿轮轴保持平行，传动部分轻松、流畅，不存在卡壳或迟滞现象。调整时，对电机赋以恒定的转速，再将固定电机的螺丝松开，用手前后移动电机，同时注意听两齿轮啮合转动时发出的声音，以转动时发出的声音最小且饱满纯净为宜，此时的齿间距认为是最佳。

然后，驱动桥的差速为双差速结构，调整主要是对包括滚珠、差速片、橡胶垫圈，轴承等在内的零件以及差速器轴向的松紧程度进行调节。由于差速器是完全裸露在外面的，同样容易卷入脏东西而加速磨损，因此也应该定期清理差速器的各个零件减小磨损并更换差速滚珠保证其圆度。差速轴向的松紧程度对于小车转向的灵敏性有很大影响，过松的差速可能使转向很灵敏出现过度转向，过紧的差速可能使转向很吃力出现转向不足。评定差速器好坏的方法是给电机恒定转速使其带动后桥转动，用手握住单边轮另一侧轮能够反向转动且车轮的跳动度小，双手握住两轮中间差速齿轮不能够转动。

第三章 硬件电路设计

3.1 K10 最小系统

MK10DN512VLL10 是基于 ARM® Cortex™-M4 具有超强可扩展性的低功耗、混合信号微控制器。第一阶段产品由五个微控制器系列组成，包含超过两百种器件，在引脚、外设和软件上可兼容。每个系列提供了不同的性能，存储器和外设特性。通过通用外设、存储器映射和封装的一致性来实现系列内和各系列间的便捷移植。Kinetis 微控制器基于飞思卡尔创新的 90 纳米薄膜存储器（TFS）闪存技术，具有独特的 Flex 存储器（可配置的内嵌 EEPROM）。Kinetis 微控制器系列

融合了最新的低功耗革新技术，具有高性能、高精度的混合信号能力，宽广的互连性，人机接口和安全外设。飞思卡尔公司以及其他大量的 ARM 第三方应用商提供对 Kinetis 微控制器的应用支持。其基本特性为：

- 电压范围 1.71V - 3.6V
- 温度范围 (TA) -40 to 105° C
- 32 位 ARM Cortex-M4 内核
- 支持 DSP 指令
- 嵌套向量中断控制器 (NVIC)
- 异步唤醒中断控制器 (AWIC)
- 调试和跟踪
- 2 引脚串口调试 (SWD)
- IEEE 1149.1 JTAG 调试
- IEEE 1149.7 简洁 JTAG
- 端口跟踪接口单元 (TPIU)
- 闪存片和断点单元 (FPB)
- 数据检测和跟踪单元 (DW)
- 指令跟踪宏单元 (ITM)

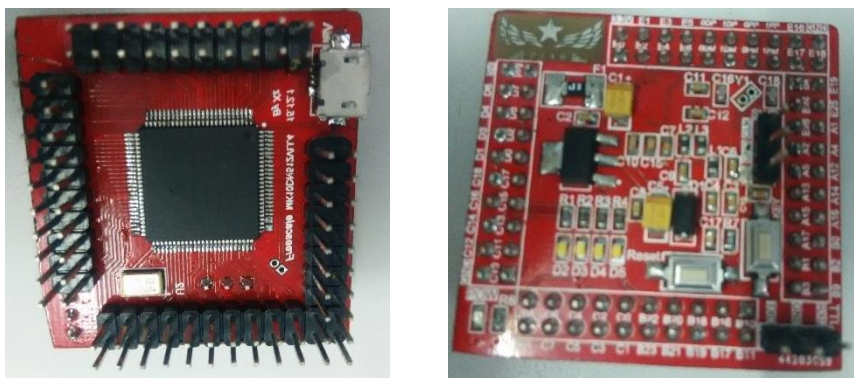


图 3.1 K10 最小系统

3.2 电源设计

小车电源主体及分配情况分为以下几个部分：电机直接使用电池电压给驱动供电，舵机、编码器、蓝牙等需要 5V 供电，摄像头、TFT 彩屏、红外对管等需要 3.3V 供电。5V 电压我们采用的是输出电压固定的低压差三端稳压器 LM2940，

LM2940 其特点是输出电压为 5V；输出电流为 1A；输出电流为 1A 时，最小输入输出电压差小于 0.8V，最大输入电压 26V；工作温度-40~+125 摄氏度；内含静态电流降低电路，电流限制，过热保护，电池反接和反插入保护电路，更为安全，在使用过程中也发现该降压芯片也较为稳定，且比较便宜。但是由于舵机响应不够故对于舵机采用单独供电；SD-5 舵机采用开关电源芯片 LM2596，该芯片外围电路设计较为简单，最大输出电流达到 3A，开关频率为 150KHZ，能够充分满足舵机的需求。对于 3.3V 电压我们是将 LM2940 输出电压供给 AMS1117 产生 3.3V 电压 AMS1117 芯片在市场上价格较为低廉，技术相对成熟。电源模块电路如下图所示。

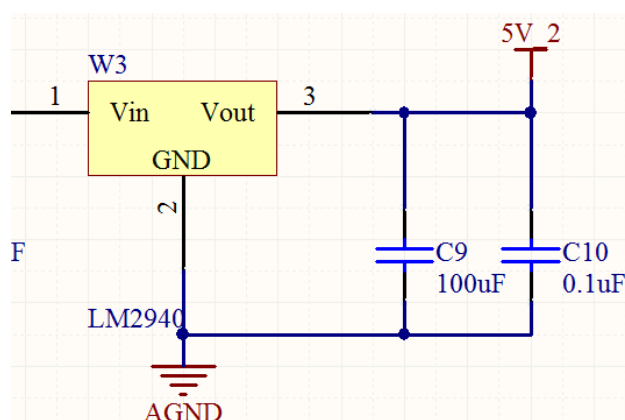


图 3.2.1 5V 电压稳压电路

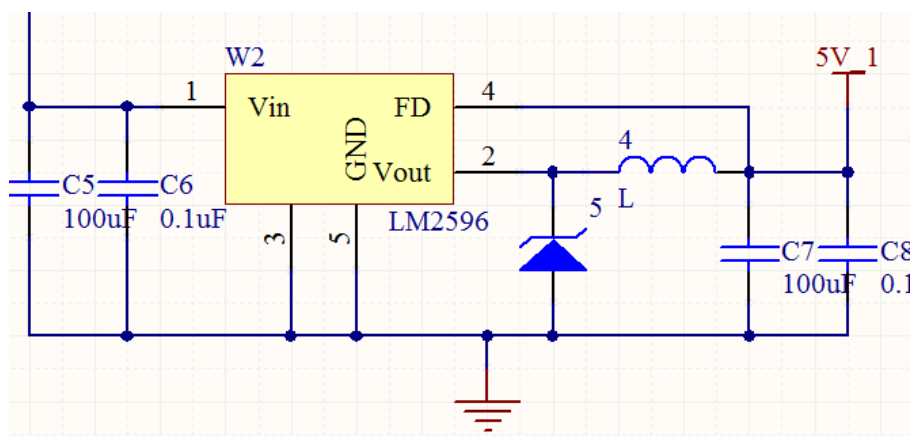


图 3.2.2 舵机供电电路

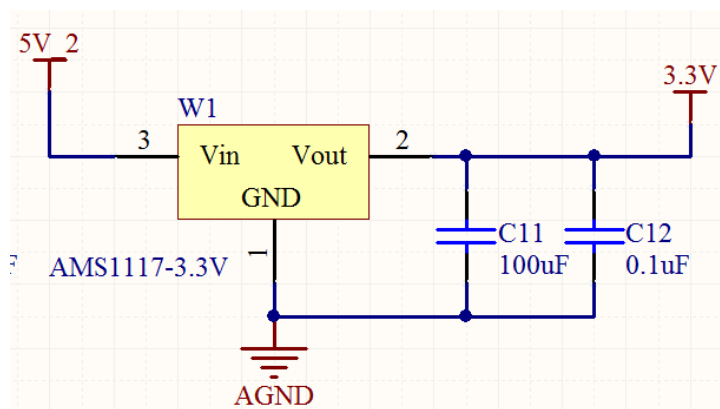


图 3.2.3 3.3V 电压稳压电路

3.3 电池电压检测模块

电池耗尽时，时常需要用万用表检测。为了方便监测电池电压，我们采用电阻分压核心板采 AD 的方式读取电池电压。电路如图：

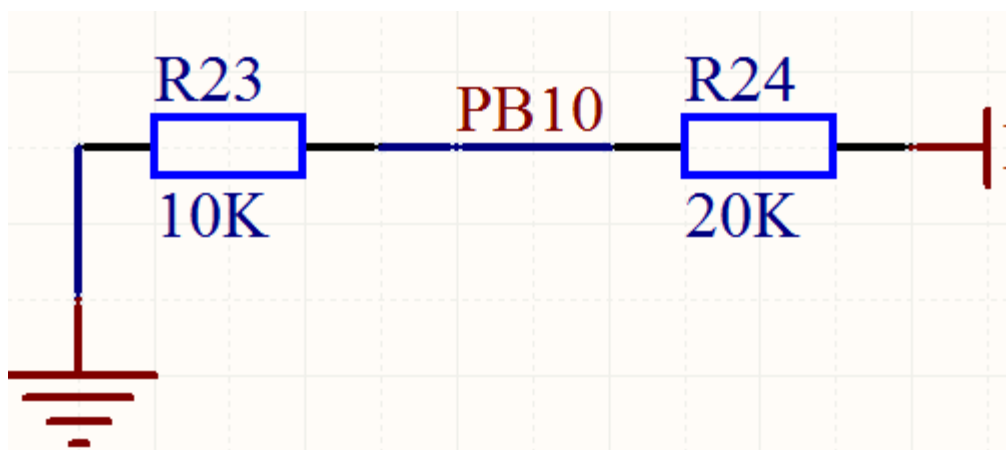
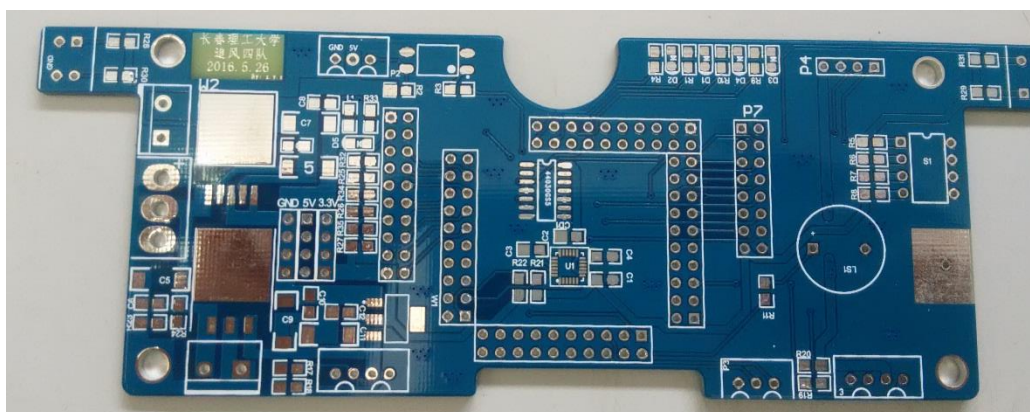
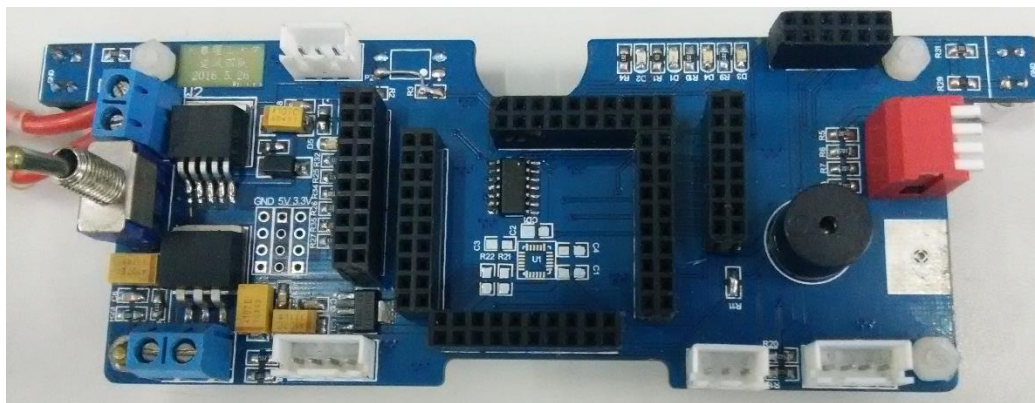


图 3.3.1 电池电压检测

主控板电路实物图如下：





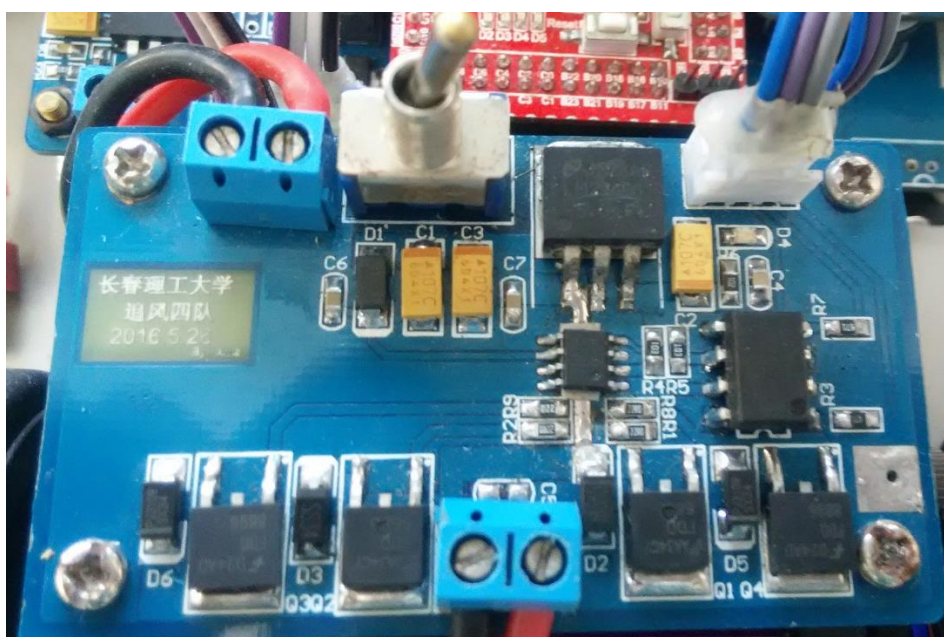
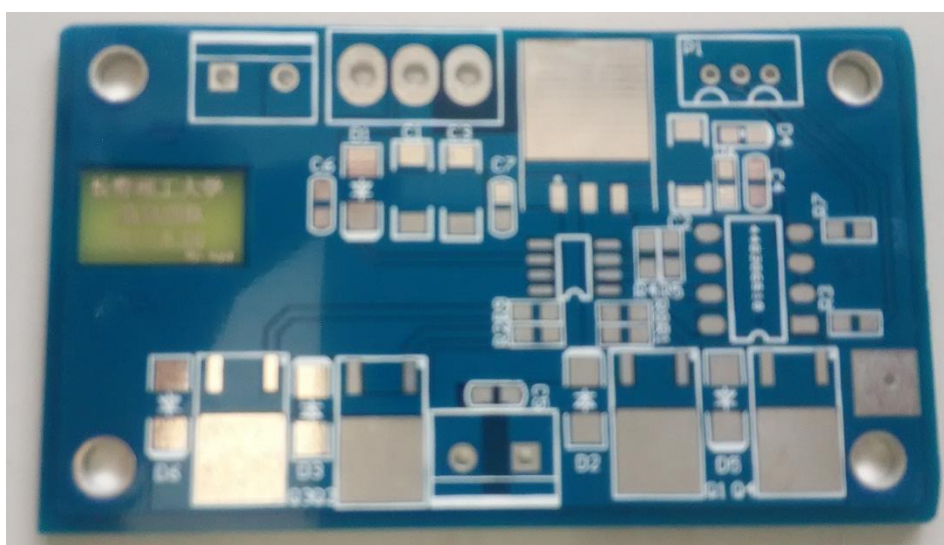
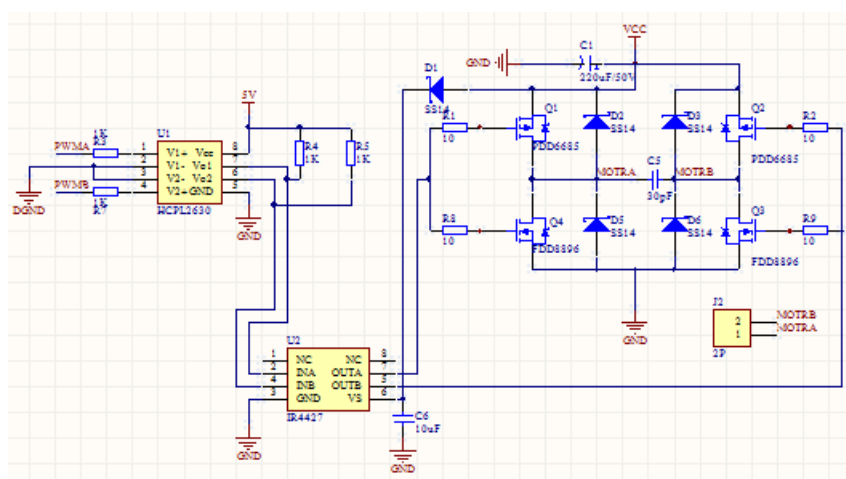
3.4 驱动电路设计

一个好的驱动模块电路对于竞速比赛的重要性是不言而喻的，较好的加速与制动能力对小车平均速度的提高有很大帮助。电机的速度与施加的电压成正比，输出转矩则与电流成正比。对直流电机的控制是一个挑战，因为必须在工作期间改变直流电机的速度。一般的，直流电机高效运行的最常见方法是施加一个 PWM（脉宽调制）方波，其通-断比率对应于所需速度。电机起到一个低通滤波器作用，将 PWM 信号转换为有效直流电平。PWM 驱动信号很常用，因为使用微处理器的控制器很容易产生 PWM 信号。虽然用精确的脉冲宽度可以调节电机的速度，实际应用中的 PWM 频率却是可变的，应对其进行优化，以防止电机颤抖，发出耳朵听得到的噪声。

常用的电机驱动有两种方式：一、采用集成电机驱动芯片；二、采用 N 沟道 MOSFET 和专用栅极驱动芯片设计。市面上常见的集成 H 桥式电机驱动芯片中，7960 是在比赛中非常常用的驱动芯片，是半桥驱动，所以要实现正反转控制需要两片。单片的驱动能力 43A, 7970 单片的驱动能力 68A。但是由于比赛电机内阻仅为几毫欧，使用集成芯片会经常出现发热量大的情况，降低了电机的效率和控速的稳定性。所以我们采用了分立的 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。

在栅极驱动芯片选择方面，我们选择 IR4427 芯片，4427 芯片可以驱动两个半桥，提供较大的驱动电流，并有硬件死区，防止同桥臂导通。使用一片 IR4427 可以构成一个 MOS 管全桥驱动电路。为防止电机反冲电流烧坏单片机，故加光耦进行隔离，而电机驱动 PWM 频率较高为 20KHZ 左右，故采用高速光耦 HCPL2630。

下图为电机驱动实物图。



第四章 赛道元素处理

4.1 图像提取与处理

摄像头组的核心部分为左右边线的提取，从而推算出中心线的位置，引导车子的行进方向。我们使用了 ov7725 这款数字摄像头，返回的是二值化图像，不用在程序算法上二值化图像，大大节省了我们的调车时间。



直道



大 s 弯

边线提取，中心线推算思路：

1. 近处图像较远处图像可靠，所以边线由近到远提取

- 2.近十行先从中间向两边进行边沿搜索，找到边沿，确保近处图像有效
- 3.之后的行采用边沿跟踪，根据上一行的黑线位置动态地确定本行黑线的搜索范围，搜索黑线，节省时间
- 4.若连续几行的左右线都找不到，判断为十字弯，进行左右线的延伸，直至再找到有效的边线；若连丢几行的次数较多时，则认为是虚线小 s，但是对于小 s 我们并没有进行特殊处理，车模依然能以很好的路径通过小 1s
- 5.若左右边线均找到，该行中心线直接为左右边线之和的二分之一；若某一边线丢失，则默认为最值，然后再以同样的方法求取中线。
- 6.推算完中心线后可对中心线进行一定的修正，更符合实际

第五章 软件控制算法

5.1 整体控制

电机的控制其实说简单点，就是根据舵机转角的二次关系，再按照图像的特点动态计算二次曲线的最高点和最低点，这样能既能保证在舵机小转角时以较快速度运行，又能避免直道入弯道时减速不及时的特点，这样计算出需要达到的理想速度，再以此速度与当前实际速度作比较，结合增量式 PID 作出是该加速还是该减速，该猛加速还是全速反刹的判断。

舵机转角的控制就是按照提取出的中线，选取部分固定行，计算出推算的中线与图像中线的累计偏差值，然后再按照经典的 PD 控制来确定舵机的转角。

5.2 PID 算法的引入与改进

舵机的控制以及电机的控制都不同程度的结合了 PID 算法，故将 PID 算法讲解如下：

PID 控制策略其结构简单，稳定性好，可靠性高，并且易于实现。其缺点在于控制器的参数整定相当繁琐，需要很强的工程经验。相对于其他的控制方式，在成熟性和可操作性上都有着很大的优势。所以最后我们选择了 PID 的控制方式。在小车跑动中，因为不需要考虑小车之前走过的路线，所以，我们舍弃了 I 控制，将小车舵机的 PID 控制简化成 PD 控制。速度闭环控制采用了增量式 PID 控制。参数调节使用试凑法来确定控制器的比例、积分和微分参数。试凑法是通过闭环试

验，观察系统响应曲线，根据各控制参数对系统响应的大致影响，反复试凑参数，以达到满意的响应，最后确定 PID 控制参数。试凑不是盲目的，而是在控制理论指导下进行的。在控制理论中已获得如下定性知识：

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于积分时间常数 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。

试凑法的具体实施过程为：

（1）整定比例部分 将比例系数由小变大，并观察相应的系统响应，直至得到反应快、超调小的响应曲线。如果系统静差小到允许范围，响应曲线已属满意，那么只需比例控制即可，由此确定比例系数。

（2）如果在比例控制基础上系统静差不能满足设计要求，则加入积分环节，整定时首先置积分时间为很大值，并将经第一步整定得到的比例系数略微缩小（如缩小为原值的 0.8），然后减小积分时间，使得在保持系统良好动态的情况下，静差得到消除，在此过程中，可根据响应曲线的好坏反复改变比例系数和积分时间，以期得到满意的控制过程，得到整定参数。

(3) 若使用比例积分控制消除了静差，但动态过程经反复调整仍不能满意，则可加微分环节，构成比例、积分、微分控制器。在整定时，先置微分时间为零，在第二步整定基础上增大，同样地相应改变比例系数和微分时间，逐步试凑以获得满意的调节效果和控制参数。

5.3 增量式 or 位置式

在电机的控制中，我们分别尝试和对比了位置式 PID 和增量式 PID，经过对比和分析，最终选择了增量式 PID，现将调试过程中的心得和各自的优势与劣势告知于读者。

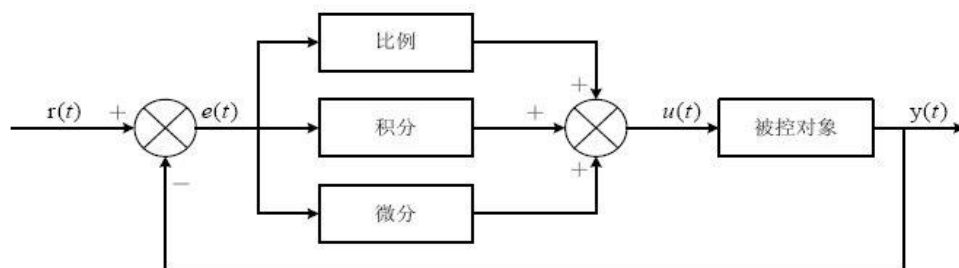
位置式 PID 的特点为： $e(t)$ 作为 PID 控制的输入， $u(t)$ 作为 PID 控制器的输出和被控对象的输入。所以模拟 PID 控制器的控制规律如下公式，原理图如图所示。

$$u(t) = K_p \left[e(t) + \frac{1}{T_i} \int_0^t e(\tau) d\tau + T_d \frac{de(t)}{dt} \right]$$

式中： k_p —— 控制器的比例系数

T_i —— 控制器的积分时间，也称积分系数

T_d —— 控制器的微分时间，也称微分系数



位置式 PID 控制原理图

增量式 PID 特点为：

$$\Delta u_n = K_p(e_n - e_{n-1}) + K_i e_n + K_d(e_n - 2e_{n-1} + e_{n-2})$$

$$u_n = u_{n-1} + \Delta u_n$$

其中, Δu_n 为第 n 次输出增量; e_n 为第 n 次偏差; e_{n-1} 为第 $n-1$ 次偏差; e_{n-2} 为第 $n-2$ 次偏差, 在上次输出量的基础上加上当前 s 计算出的变化量。

运用位置式 PID 会感觉控速很连贯, 不会有明显的加速和减速, 因此车子看上去会比较流畅; 运用增量式 PID 时会明显感觉到车子加速和减速特别迅猛, 入弯时速度会减得特别猛, 出弯时速度会很快加到预期速度。通过调整增量式 PID 的参数后可以得到一个比较好的加减速效果, 这样在入弯时会以一个比较慢的速度平稳的过弯, 然后出弯时立刻加速, 加到一个很快的速度, 这样车子适应性强, 过弯时安全平稳, 正因为这个特点, 我们选择了增量式 PID。

第六章 上位机开发与调试

6.1 开发工具

Keil MDK, 也称 MDK-ARM, Realview MDK、I-MDK、uVision4 等。目前 Keil MDK 由三家国内代理商提供技术支持和相关服务。

MDK-ARM 软件为基于 Cortex-M、Cortex-R4、ARM7、ARM9 处理器设备提供了一个完整的开发环境。MDK-ARM 专为微控制器应用而设计, 不仅易学易用, 而且功能强大, 能够满足大多数苛刻的嵌入式应用。

MDK-ARM 有四个可用版本, 分别是 MDK-Lite、MDK-Basic、MDK-Standard、MDK-Professional。所有版本均提供一个完善的 C / C++ 开发环境, 其中 MDK-Professional 还包含大量的中间库。

在软件开发过程中, 通常需要经过以下几个步骤:

- 新建: 创建新项目, 源文件;
- 编辑: 按照一定的规则编辑源代码, 注释;
- 编译: 将源代码编译成机器码, 同时还会检查语法错误和进行编译优化;
- 链接: 将编译后的独立的模块链接成一个二进制可执行文件;
- 调试: 对软件进行测试并发现错误;

在软件开发中, 每个过程都会用到不同的工具。如果每个工具都单独存在, 这样就会给开发人员带来很多不便。所以 Keil Software 公司为开发人员提供了非常方便的集成开发环境。开发人员可以在同一个工作平台上完成以上全部的工作。

6.2 调试工具

6.2.1 蓝牙无线调试

在调试过程中经常需要发送实时数据，以观察车模的运行状态或寄存器值，我们采用蓝牙模块，有效传输 10 米，满足调试需求。

6.2.2 上位机调试

我们实验室专门为此次比赛编写了 LABVIEW 上位机，以便在做车过程中的调试。可以随时修改上位机功能，实现私人订制化，大大节省了做车的时间。

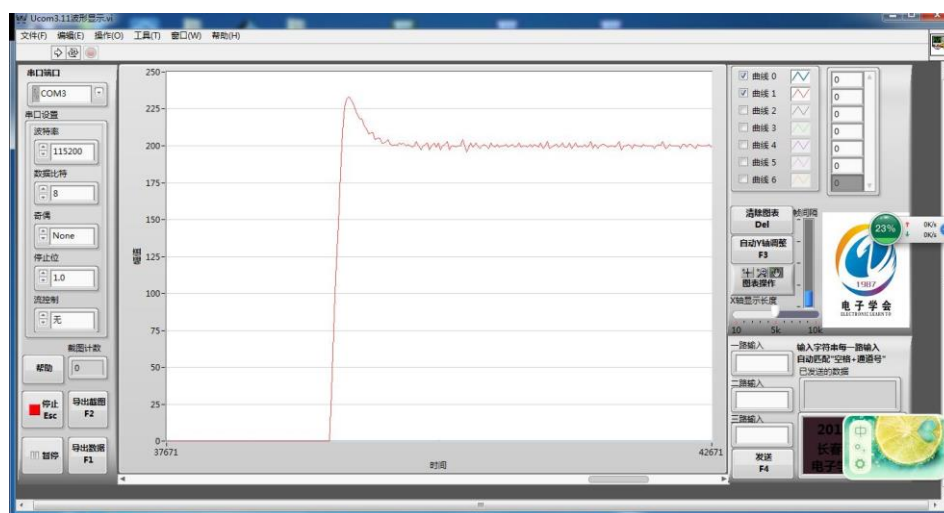


图 6.2.2.1 PID 调试上位机界面

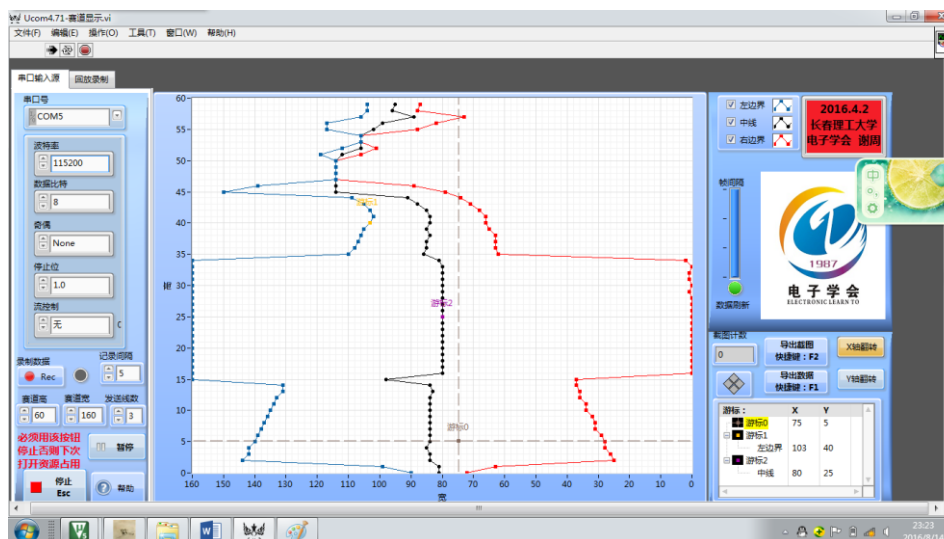


图 6.2.2.2 十字赛道元素

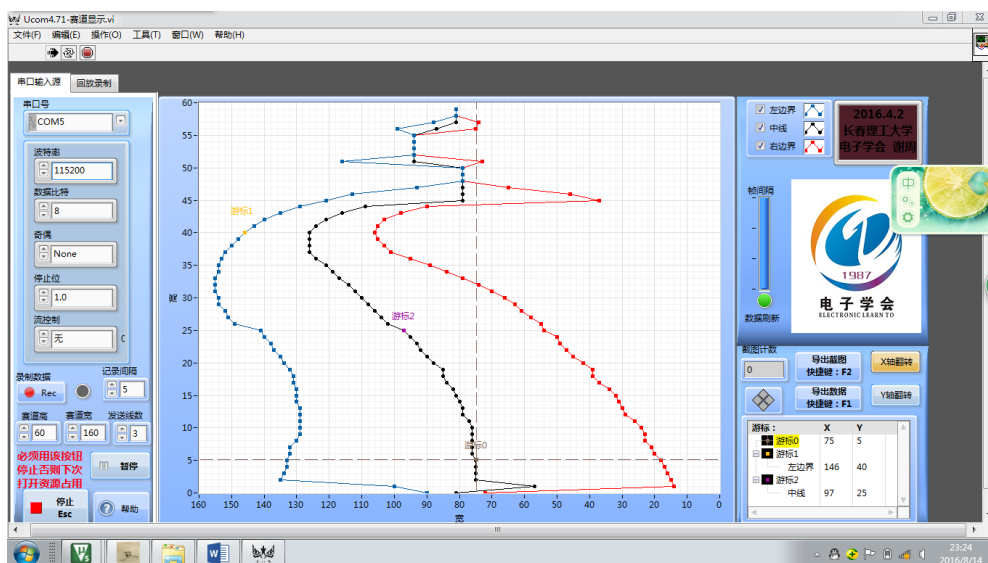


图 6.2.2.3 大 S 赛道元素

摄像头图像处理上位机界面

6.2.3 声光辅助调试

我们在主控板上加装了蜂鸣器，结合最小系统板上的 LED，通过不同的声光提示来表示不同的赛道模式，这样可以有效的弥补蓝牙串口在数据传输实时性上的不足。

总结

本文详细介绍了基于 CMOS 摄像头寻迹的智能车系统方案。以恩智浦半导体公司生产的 Kinetis 系列 32 位处理器 MK10DN512VLL10 为核心控制器，采用基于摄像头的图像采样获取赛道图像信息，通过窗口算法提取赛道，求出小车与赛道的位置偏差，采用 PID 方式对舵机转向进行反馈控制。通过速度传感器对小车形成速度闭环的 PID 控制。

文中分章节分别介绍了小车车模的改装、机械结构的调整和优化，赛车各个硬件模块的工作原理、设计思路和改进方案，并且详细的叙述了整个智能车系统的开发工具，软件和各个调试模块的设计方法和使用方法。

在硬件方面包括了电源分模块供电、光电编码器测速和 H 桥驱动电路等部分，软件方面包括边沿检测算法，窗口算法，舵机及电机 PID 调节和 SD 卡上位机下位机等部分。

总结整个设计过程，不仅使我们得到了对已有知识进行实践的机会，更培养了一定的科研能力，拓宽了知识面，同时我们小组在智能车制作的过程中学会了发现问题，分析问题和解决问题的能力，我们大家互相配合，锻炼了团队精神。展望未来，智能车技术在以恩智浦杯智能汽车竞赛为背景下必然会有广泛的应用。

参考文献

- [1] 卓晴, 黄开胜, 邵贝贝. 学做智能车: 挑战“飞思卡尔”杯[M]. 北京: 北京航空航天大学出版社, 2007.3.
- [2] 谭浩强 C 语言程序设计[M], 北京: 清华大学出版社. 2005 年 7 月第三版.
- [3] 童诗白, 华成英. 模拟电子技术基础[M]. 北京. 高等教育出版社. 2000.
- [4] 邵贝贝. 单片机嵌入式应用的在线开发方法 [M]. 北京. 清华大学出版社. 2004.
- [5] 刘金琨. 先进 PID 控制 MATLAB 仿真 (第 3 版) [M]. 北京. 电子工业出版社. 2011.
- [6] 陶永华 新型 PID 控制及其应用, 机械工业出版社, 2002.
- [7] 仇慎谦, PID 调节规律和过程控制, 江苏科学技术出版社, 1987.12.
- [8] 王晓明. 电动机的单片机控制 [M] . 北京: 北京航空航天大学出版社. 2002.

附录：程序源码

```
int main()
{
    Init();                                     //
    while(SCREEN_Debugge==1)
    {
        Debugge_Page();
    }
    while(1)
    {
        Beyond_Path();
        Stop_check();
        Image_Process();
    }
}

void HardFault_Handler(void)
{
    TPulse=0;
    PEout(1)=0;
    PEout(0)=0;
    PEout(3)=0;
    PEout(2)=0;
    BuzzerOn;
}

void Init(void)
{
```



```

    SystemCoreClockUpdate();
    GPIO_Clock_Init();
    LED_BEEP();
    FLASH_Init();
    UART_Init(115200);
    IrDA_Init();
    OV7725_Init();
    Image_Collect();
    SPI_Init(1);
    SCREEN_Init();
    PWM_Init();
    PWM_Control(1,0);
    PWM_Control(0,0);
    SERVO_Init();
SERVO_Control(ServomMiddle);
    CATCH_Clock_Init();
    PIT_Init();
    PIT_Time(3500);
    ADC_Init();
}

void Beyond_Path(void)
{
    if (Speed_Count>7000&&((PTE->PDIR >>5)& 0x01) == (uint32_t)1)
    {
        if( TPulse&&ADC_Get_Ir(ADC0_SE13_PB3)>=TLAD&&ADC_Get_Ir(ADC
0_SE12_PB2)>=TRAD )
        {
            TPulse=0;

```

```

        PEOut(1)=0;
        PEOut(0)=0;
        PEOut(3)=0;
        PEOut(2)=0;
        DelayMs(500);
        while(1)
        {
            PWM_Control(1,0);
            PWM_Control(0,0);
            Image_Process();
        }
    }
}

```

```

void Stop_check(void)
{
    if (((PTE->PDIR >> 4)& 0x01) == (uint32_t)1)
    {
        if(Stop_Sign==2)
        {
            BuzzerOn;
            DelayMs(80);
            Stop_Sign=0;
            TPulse=0;
            BuzzerOff ;
            DelayMs(500);
            while(1)
            {

```

```

        PWM_Control(1,0);

        PWM_Control(0,0);

        Image_Process();

    }

}

}

if(HongwaiX==30)
{
    TPulse=0;

    BuzzerOn ;

    DelayMs(500);

    while(1)
    {
        PWM_Control(1,0);

        PWM_Control(0,0);

        Image_Process();

    }

}

}

void LED_BEEP(void)
{
    GPIO_Mode_Init(PORTE,0,K60PinAlt1,K60GPIO_Mode_OPPH);
    GPIO_Mode_Init(PORTE,1,K60PinAlt1,K60GPIO_Mode_OPPH);
    GPIO_Mode_Init(PORTE,2,K60PinAlt1,K60GPIO_Mode_OPPH);
    GPIO_Mode_Init(PORTE,3,K60PinAlt1,K60GPIO_Mode_OPPH);
    GPIO_Mode_Init(PORTE,4,K60PinAlt1,K60GPIO_Mode_IPU);
    GPIO_Mode_Init(PORTE,5,K60PinAlt1,K60GPIO_Mode_IPU);
    GPIO_Mode_Init(PORTE,16,K60PinAlt1,K60GPIO_Mode_IPU);

```

```

GPIO_Mode_Init(PORTE,18,K60PinAlt1,K60GPIO_Mode_IPU);
GPIO_Mode_Init(PORTB,11,K60PinAlt1,K60GPIO_Mode_OPPL);
}

```

```

void Image_Process(void)
{
    if(Image_CollectOk==1)
    {
        Image_Middle_Line ( (uint8_t **)Image1_collect);
        Image_CollectOk=0;
    }
    else if(Image_CollectOk==2)
    {
        Image_Middle_Line ( (uint8_t **)Image2_collect);
        Image_CollectOk=0;
    }
}

```

```

void Debugge_Page(void)
{
    Key_Read();
    if(SCREEN_PageCount==1)
    Show_Menu_Page();
    if(SCREEN_PageCount==3)
    Show_Menu_Page2();
    else if(SCREEN_Image==1)
    Show_Image_Page();
    else if(SCREEN_Value==1)
    Show_Value_Page();
}

```

```
    else if(SCREEN_Speed==1)
        Show_Speed_Page();
    else if(SCREEN_Direction==1)
        Show_Direction_Page();
    else if(SCREEN_Other==1)
        Show_Other_Page();
}
```