

第五届“飞思卡尔”杯全国大学生 智能汽车竞赛

技 术 报 告



河北理工大学轻工学院

College of Light Industry, Hebei Polytechnic University

学 校：河北理工大学轻工学院

队伍名称：飞思嘉杭

参赛队员：刘佳杭 侯 宇 齐晓岚

带队教师：刘佳宇 吴宝江

关于技术报告和研究论文使用授权的说明

本人完全了解第五届全国大学生“飞思卡尔”杯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，比赛组委会和飞思卡尔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：刘佳杭

侯 宇

齐晓岚

带队教师签名：刘佳宇

吴宝江

日 期：2010 年 8 月 8 日

摘 要

本文以第五届“飞思卡尔”杯全国大学生智能汽车竞赛为背景，着重研究了智能小车控制系统的软、硬件结构及设计开发过程。智能车核心控制器采用飞思卡尔公司的 MC9S12XS128MAA 高性能 16 位单片机，单片机开发平台为 CodeWarrior IDE 5.0 for XS128，车模采用大赛组委会统一规定的四轮驱动高仿真车模。

本文介绍了智能小车控制系统的软件和硬件设计及全部开发过程。整个系统包含了对车模机械的改造和设计、硬件电路的设计和试验、程序算法的制定和优化等方面。车模机械部分由上、下两排激光传感器构成，上排激光传感器作为循迹传感器，下排激光传感器用于识别上坡和识别起跑线，同时下排传感器也作为车子姿态的一个基准，用来修正摇头舵机的积累误差。智能车以 MC9S12XS128MAA 作为核心控制器实现对上、下排传感器的切换控制。整个系统利用上、下排激光管反射回来的激光强弱判断是白色跑道区域还是黑线，然后将其所采集的信号转换为高低电平传送给主控芯片，速度方面采用一个 500 线增量式光电编码器来实时反馈脉冲，利用单片机的脉冲累加器采集速度。最后主控芯片 MC9S12XS128 综合激光采集的路面信息和编码器采集的速度信息，利用 PID 算法实现上排摇头舵机的转角、转向舵机的转角控制及电机的调速。

经实际场地测试，该系统可以很好的适应大、小“S”弯，蛇形弯，“十”字交叉大回环，坡道等不同类型的赛道。在实际 米的测试赛道中，速度可达到 2.85M/S。

关键词：飞思卡尔智能车，MC9S12XS128MAA 单片机，激光传感器，摇头舵机，光电增量式编码器，PID 算法

目 录

摘 要	1
第一章 引 言	1
1.1 概述	1
1.2 模型车设计主要思路	1
第二章 机械结构调整与传感器结构布置	3
2.1 引言	3
2.2 机械结构调整	3
2.2.1 前轮倾角调整	3
2.2.2 模型车底盘调整	4
2.3 激光管的布局与安装	5
2.3.1 辅助激光传感器的布局与安装	5
2.3.2 主激光传感器的布局与安装	5
2.4 电路板及其他硬件的安装	6
2.4.1 前轮舵机的安装	6
2.4.2 前轮舵机力臂设计与安装	7
2.4.3 光电编码器的安装	8
2.4.4 系统主板的安装	8
2.5 本章小结	9
第三章 硬件电路的设计制作	10
3.1 引言	10
3.2 单片机最小系统的设计	10
3.3 电源电路的设计	12
3.3.1 整体设计	12
3.3.2 单片机最小系统稳压电路	13
3.3.3 上、下排激光传感器稳压电路	13
3.3.4 摇头舵机和转向舵机稳压电路	14
3.3.5 电源电路设计注意事项	14
3.4 电机驱动电路设计	14
3.5 激光传感器电路设计	16
3.5.1 激光传感器调制发射电路	16
3.5.2 激光传感器接收电路	17
3.5.3 电路设计注意事项	18
3.6 测速模块电路的设计	19
3.7 本章小结	20
第四章 控制程序的设计	21

4.1 引言	21
4.2 主程序设计	21
4.2.1 主程序结构	21
4.2.2 主程序运行	22
4.3 循迹子程序	22
4.3.1 赛道类型的识别	22
4.3.2 赛道信息的提取和转换	24
4.4 随动舵机的控制程序设计	25
4.5 转向舵机的控制程序的设计	26
4.6 速度控制子程序设计	26
4.6.1 速度采集程序的设计	27
4.6.2 速度控制程序设计	27
4.7 本章小结	28
第五章 开发工具及模型车调试过程	28
5.1 引言	29
5.2 智能车软件编写、编译和调试环境	29
5.2.1 工程的创建	29
5.2.2 BDM调试	31
5.3 智能车调试过程	32
5.4 本章小结	34
第六章 车模主要技术参数说明	35
6.1 车模主要参数	35
6.2 机械部分其它参数	35
6.3 电路中芯片的种类及数量	36
6.4 其它技术参数	36
6.5 设计过程中用到的主要软件工具	36
第七章 总 结	37
参考文献	39
致 谢	40

第一章 绪 论

1.1 引言

全国大学生智能汽车竞赛是教育部、财政部资助的大学生竞赛项目之一。竞赛由高等学校自动化专业教学指导分委员会主办，清华大学承办，飞思卡尔半导体公司协办，已成功举办四届。比赛以迅猛发展的汽车电子为背景，涵盖了控制、模式识别、传感技术、电子、电气、计算机、机械等多个学科交叉的科技创意性比赛，旨在培养大学生对知识的把握和创新能力，以及从事科学研究的能力。

全国大学生“飞思卡尔”杯智能汽车竞赛是在规定的模型汽车平台上，使用飞思卡尔半导体公司的 8 位、16 位微控制器作为核心控制模块，通过增加道路传感器、电机驱动电路以及编写相应软件，制作一个能够自主识别道路的模型汽车，按照规定路线行进，以完成时间最短者为优胜。

在上一届比赛经验的基础上，本届比赛继续沿用激光传感器技术，但是由于大赛车模的更换，导致车模型的参数发生变化，所以激光发射管和接收管的选择变得尤为重要。并对机械电路进行了重新的调整和设计，更加的可靠稳定。

1.2 模型车设计主要思路

模型车机械部分改装主要涉及随动舵机选择与安装，底盘降低技术，底盘加固技术等。

随动舵机的选择与安装：本车将采用单片机控制舵机摆头从而使一排激光头的光点中心恰好处于赛道的黑线上，实现时刻跟踪黑线，不会出现丢线的情况。底盘降低技术主要是将减震去掉，并通过改用其它支撑杆实现模型车的减震作用。通过该技术，成功的将车底盘降低 2cm。由于模型车的底盘较软，当模型车处于高速运行时，可能导致车模的轻微变形，从而使车模在转弯时难以控制。因此，通过对车模底部加装一贯穿整个车模的铝片进行底盘加固，成功的解决了该问题。

模型车的电路部分设计包括单片机最小系统电路、电源电路、电机驱动电路、传感器调制发射电路和接收电路等。



本模型车的控制整体思路为：采用两排激光传感器作为路面信息采集传感器，上排激光传感器具有大前瞻，用于识别黑线，保证时刻跟踪黑线。但当车子有稍微震动的时候，就会造成上排激光的不稳定，同时也不能很好的反映车子的当前姿态和路面状态，此时切换到下排激光传感器辅助判断，下排主要负责采集车子当前的姿态、起跑线的识别和上坡的辅助识别，扫描周期为 2MS。上排激光发射部分采用调制发射，距离更远，更加节省功耗。首先，以激光中心传感器作为基准，通过黑线偏移中心激光光点的距离，以 3MS 为一周期进行采集信息、判断黑线的趋势。然后，根据此偏移量作为摇头舵机的输入，利用 PID 算法控制摇头舵机。最后，转向舵机根据 PWM 值，控制前轮的转向。同时以 2.5MS 为一周期利用光电增量式编码器测量车子的瞬时速度。主控芯片 XS128 将综合激光光点的偏移距离、摇头舵机的 PWM 值、转向舵机的转角和编码器的脉冲数等信息，利用 PID 控制算法，完成对模型车的循迹控制。

第二章 机械结构调整与传感器结构布置

2.1 引言

整个模型车的改装分为两大部分：一个是机械结构的调整；另一个是传感器的合理布局。模型车的机械结构调整主要围绕着三点原则“质量小、重心低、结构牢”。传感器的安装则根据传感器要实现的功能进行合理布置。

第一、质量小：简化硬件电路，简化车模构架，降低车身总重量。

第二、重心低：去掉模型车双侧减震，用固定支架代替，角度可调。降低车身 2cm。

第三、结构牢：前轮倾角调整，提高车模在行驶中的稳定性；采用固定铝板固定整个车模底部，加固车身。其它硬件部分的固定与电路板的安装。

第四、传感器布置：采用上、下两排传感器实现赛道及黑线信息采集，避免丢线导致误动作。

2.2 机械结构调整

车模机械部分主要做了以下调整：1) 前轮倾角调整；2) 车模底盘调整。对前轮的调整，目的是模型车直线运行时有效减小摩擦力，而模型车过弯时增大侧向摩擦力。后轮对转向不起决定作用，因此不予调整。车模底盘调整主要是降低底盘并加固，保证稳定性。

2.2.1 前轮倾角调整

综合参照车辆工程理论和测试结果，为使车模在高速过弯是保持车模稳定，过弯及时到位，车模的前轮安装要有一定的角度位置要求。也就是通常说的前轮定位。包括主销内倾、前轮外倾和前轮后束。

1) 主销内倾

主销内倾可使直线行驶时前轮接地面积减小，有效减少摩擦力。而当转弯时，主销内倾会使外侧轮内侧触地、内侧轮外侧触地，但由于向心力作用车体外倾，则两前轮会均改为全轮触地，大大增加了转弯时的侧向摩擦力。

2) 前轮外倾



前轮外倾和主销内倾合作可进一步缩短车轮着地点与主销轴线和地面交点间的距离，减小前轮转向时需克服的摩擦力矩。

3) 前轮后束

当车转弯时，外侧轮转弯半径较大，内侧轮转弯半径较小。前轮后束恰好有机地实现了这一要求，使转弯时非必须摩擦力降到最低。保证了车以最佳姿态过弯，同时减小了舵机的压力，起到了保护舵机的作用。

前轮定位角度允许有一定的偏差，但数值要在一定的范围内。否则起不到应有的效果，并会带来一系列的弊病。前轮定位如图 2.1 所示。

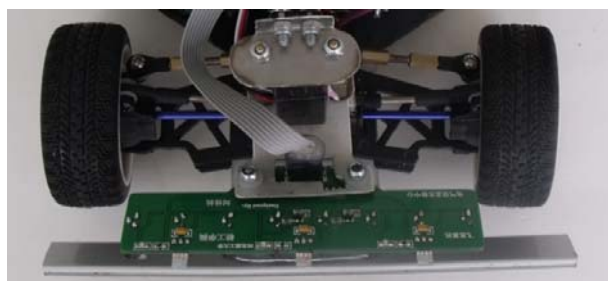


图 2.1 前轮定位图

2.2.2 模型车底盘调整

由于模型车底盘较软，在高速过弯时发生严重形变，影响了车的整体姿态和稳定性。因此，我们用 1mm 厚的铝板将地盘加固，效果图如图 2.2 所示。同时将四轮的悬挂调低至 10mm，通过螺丝与地盘做紧固连接，去除了减震装置，如图 2.3 所示。这样做首先可使车稳定性增强，保证高速过弯时车体变形较小，整车平稳过弯；其次降低悬挂可以降低车辆重心，高速行进时保证车辆平稳，过弯时避免侧翻；去除减震，可以在过弯时减少侧倾，使向心力平均分配至四轮，增大侧向摩擦力，提高高速过弯稳定性。

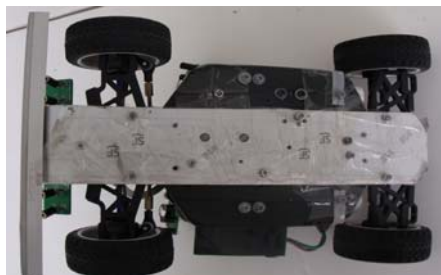


图 2.2 底盘加固后效果图

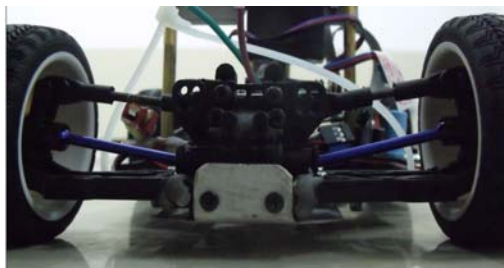


图 2.3 去掉减震后效果图

2.3 激光管的布局与安装

由于选用激光作为传感器来识别路径，传感器既可以离地面很近，又可以架的很高，把光点打的很远，返回来的信号用来识别路径。在上一届竞赛中，我们采用一排激光，传感器架直接架在车模上不摆头。同时用红外传感器加以辅助识别路径。经过实际跑道测试，将传感器架直接架在车模上时，在模型车快速入弯情况下，使黑线丢失，导致模型车状态不稳定。

根据上一届的经验，激光传感器布置方案定为：采用的是双排激光传感器综合检测赛道及周边环境信息，其中上排激光传感器为主传感器，下排激光传感器为辅助传感器。并将上排激光传感器架在舵机上，进行摆头。它能根据黑线的位置来调整自己的角度以保证时刻看到黑线，从而顺利完成路径识别的任务。

2.3.1 辅助激光传感器的布局与安装

下排激光传感器作为辅助传感器，主要负责车子当前姿态的识别、起跑线检测以及坡道中辅助循迹。经过多次试验，下排安装 8 个激光发射管、3 个激光接收管就能够完成路径识别任务。激光管采用单循环发射，扫描周期为 2ms。发射管均匀分布，两两之间间距为 2cm，接收管也是均匀分布，间距为两个发射管间距。经实际测试 3 个接收管能够覆盖到赛道断面，所以下排不采用发射管与接收管对应的方式。对于激光管的安装，将其直接固定于车身之前，离地面大概 5cm。下排激光管布局电路板实物图如图 2.4 所示。

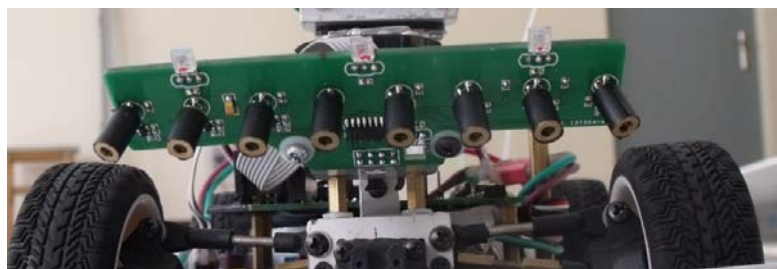


图 2.4 下排激光管布局实物图

2.3.2 主激光传感器的布局与安装

上排激光管作为主传感器，用于赛道识别。共 5 个接收管 15 个发射管。发射管均匀分布，两两之间距离为 ，接收管也是均匀分布，间距为三个发射管的间距。板子总长度为 ，下面留下 用作固定。整体排列紧凑。激光管对



应方式为 1 个接收管对 3 个发射管。上排激光管布局电路板实物图如图 2.5 所示。



图 2.5 上排激光管布局实物图

对于激光管的安装，需将激光电路板固定连接在随动舵机上，并保证连杆的竖直与激光电路板的水平且左右对称。激光电路板的俯角可任意调节，同时激光管上有聚焦透镜可以旋转或拉近，最高前瞻可到到 1.1m。安装好后的上排激光管如图 2.6 所示。

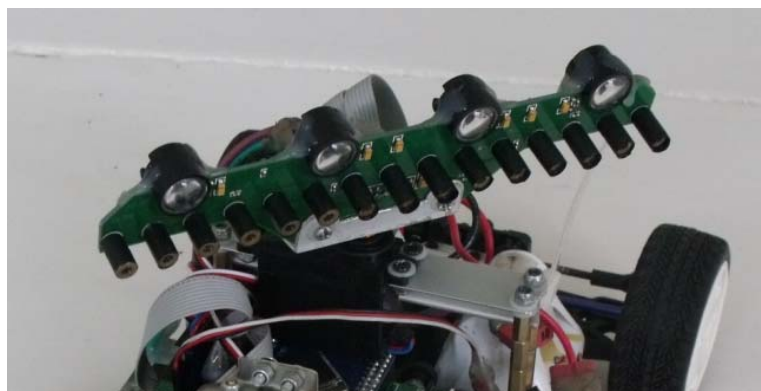


图 2.6 安装好透镜后的上排激光管

2.4 电路板及其他硬件的安装

2.4.1 前轮舵机的安装

前轮舵机可以采用立放或者横放的形式。立着放舵机转动力臂长，能以小角度转动带给前轮较大的角度，但是灵活性欠佳。横着放占据模型车大片面积，并且影响传感器上的随动舵机的放置。

经过多种测试，采用了竖立式固定舵机的方式。这样的好处是减少虚位、节约空间，便于舵机的传动力力充分地传递到前轮，防止力矩的损失。采用双铜柱固定方式，可方便快捷地更换舵机。双层铜柱构造可方便更改舵机高

度，以便测试最佳舵机位置。舵机固定地盘与车体连接采用四点螺丝固定，稳定可靠。安装好后如图 2.7 所示。

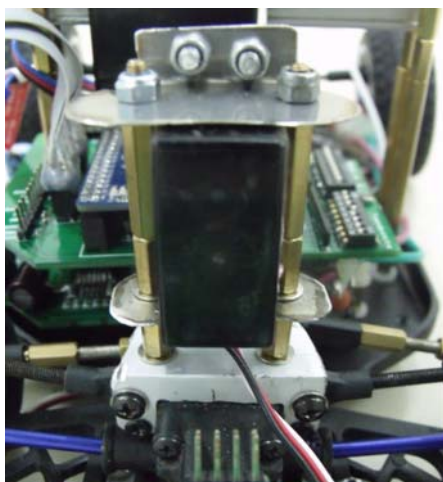


图 2.7 安装好的前轮舵机

2.4.2 前轮舵机力臂设计与安装

比赛提供的 B 车舵机 T170A 响应时间较长，严重影响到了入弯打轮速度。但输出力矩足够，所以可以通过加长舵机输出力臂的方法来提高舵机的响应速度。我们将力臂加长至 3cm，舵机摆动相同的角度时，因为杠杆效应前轮转向角度增大，转弯更加灵活、及时。力臂的长度是需要试验来测定的，过长会导致力矩减小，转弯费力，力臂过短又会影响反映速度，要综合考虑。改装好后如图 2.8 所示。



图 2.8 力臂加长示意图



2.4.3 光电编码器的安装

为了实现系统闭环控制，必须测量当前速度值作为反馈信号。通过多种选择与比较，最后选用 500 线 AB 两相光电编码器，当采样时间在 2.5MS 的时候，可以返回 100 多个脉冲，PID 控制精度足够。编码器固定用了一片 PCB 板。安装好后的编码器如图 2.9 所示。

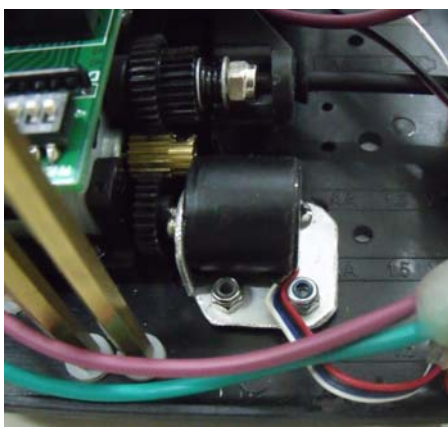


图 2.9 编码器安装图

2.4.4 系统主板的安装

绘制 PCB 板的时候，就充分考虑空间问题，以及安装的方便性的问题。系统主板要紧贴车模底板以降低重心，由于更改了舵机的安装方式，PCB 最后确定安装在电机的上方，分上下两层，充分利用了 B 车模微小的空间。如图 2.10 所示。



图 2.10 系统主板的安装

2.5 本章小结

车模机械结构总体均衡，架构轻巧，结构牢固。车身前方放置两个舵机，使车模整个重心靠前。前轮舵机采用竖直放置的形式，上排传感器架于随动舵机之上。下排传感器紧贴地面 3CM 放置。总体来说，该模型车结构紧凑，重心低，利于控制。车模总体外形如图 2.11 所示。

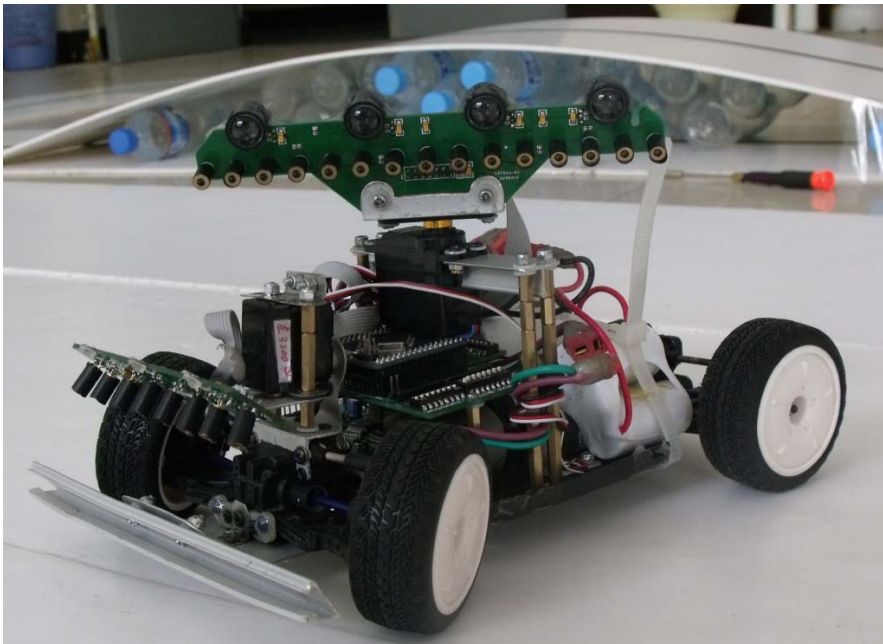


图 2.11 车模总体外形

第三章 硬件电路的设计制作

3.1 引言

从整个系统上考虑：软件驾驭硬件，要想提高小车速度，软件要调的好，而硬件上的一些优化可以在很大程度简化软件的编写。本届智能车的系统整体结构图如图 3.1 所示。将电路分成几个模块——单片机最小系统，电源电路，电机驱动电路，传感器电路，测速电路以及系统主板电路。

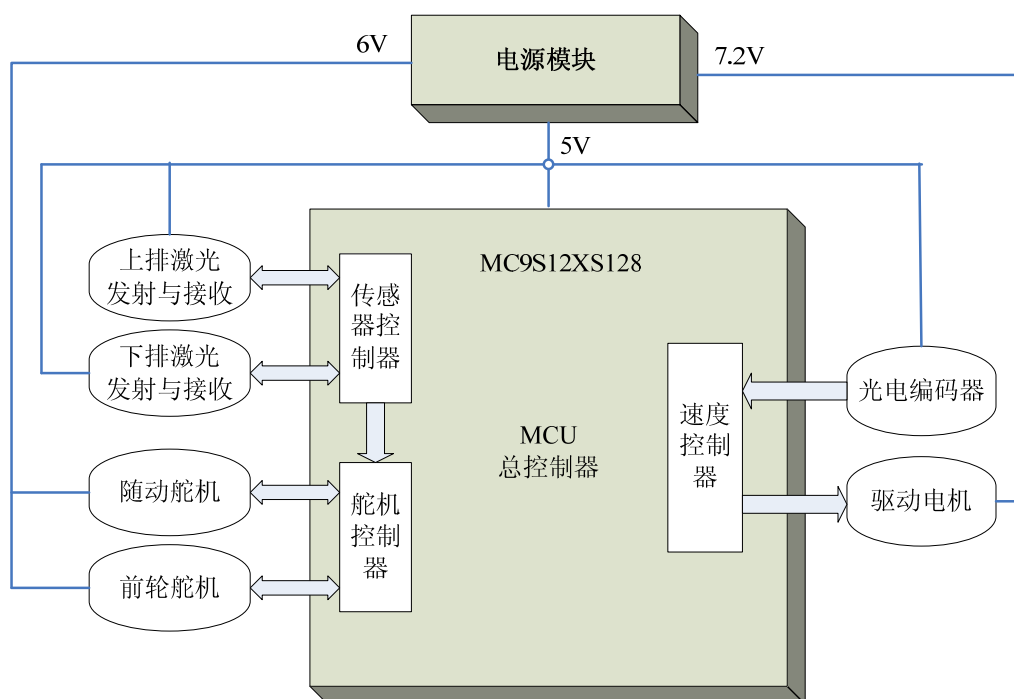


图 3.1 系统电路整体结构图

3.2 单片机最小系统的设计

单片机最小系统是智能车的核心，设计时必须充分考虑抗干扰、防静电和运行的稳定性。MC9S12XS128 单片机内部各个模块的电源都已经从单片机内部引出，只有 PLL 电路使用内部的稳压，其他各个部分都要自己外接电源，外接各模块电源必须通过 0 欧电阻或者电感隔离开，防止外部电源波动影响单片机正常工作。图 3.2 为单片机最小系统板 PCB 图。

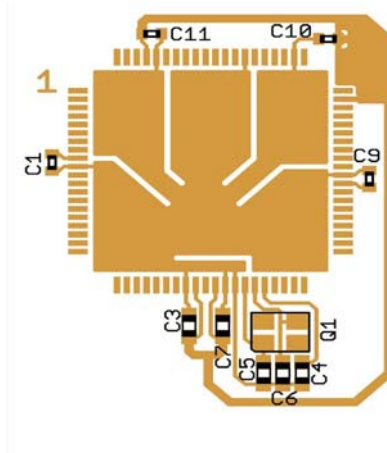


图 3.2 最小系统板 PCB 布线图及实物图

为方便软件上参数调节，将最小系统板上的引脚全部利用排针引出，同时最小系统板上搭配一个波动开关和 8 个 LED 指示灯，避免改变一个参数就重新为单片机烧程序。最小系统板电路图如图 3.3 所示。

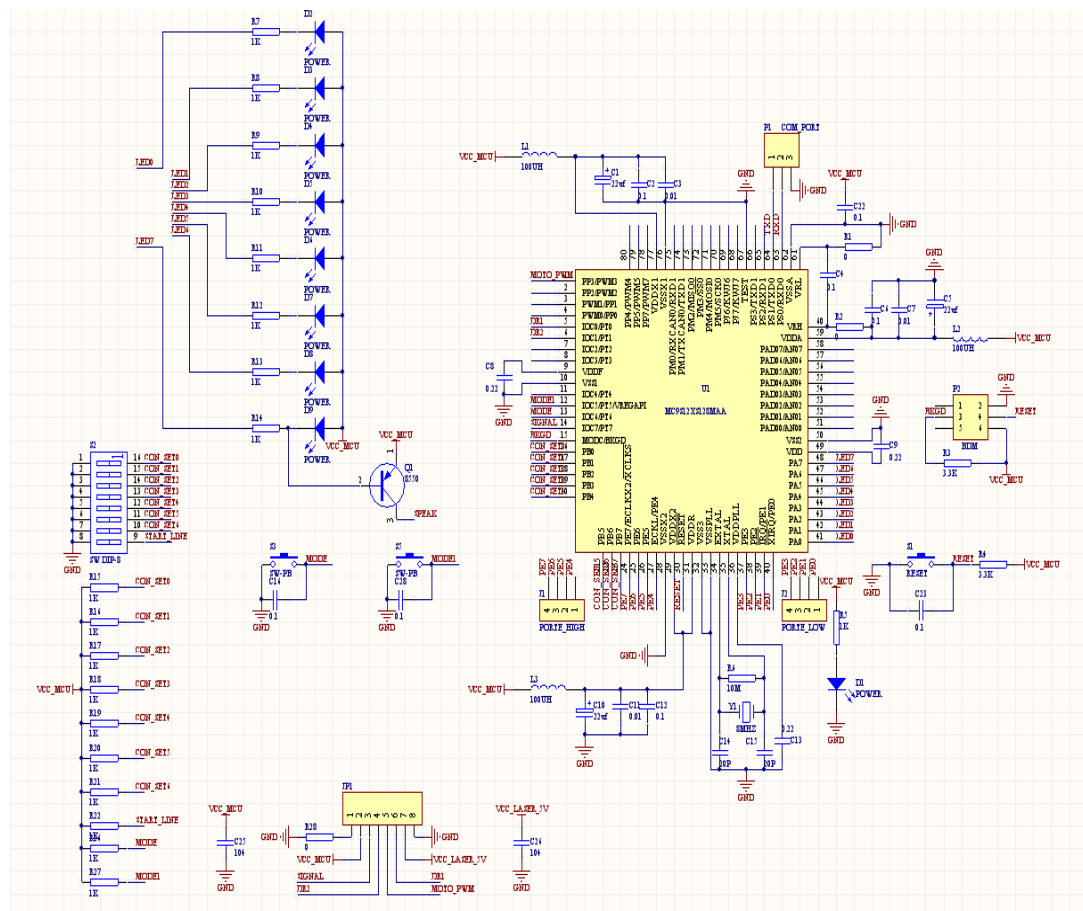


图 3.3 最小系统板电路图

3.3 电源电路的设计

3.3.1 整体设计

系统要稳定工作，首先电源要稳定。只有一个稳定可靠的电源才能保证单片机及其周围各个外设的正常工作。系统中有多路电源，7.2V、6V、5V 等。电源电路总体框图如图 3.5 所示。

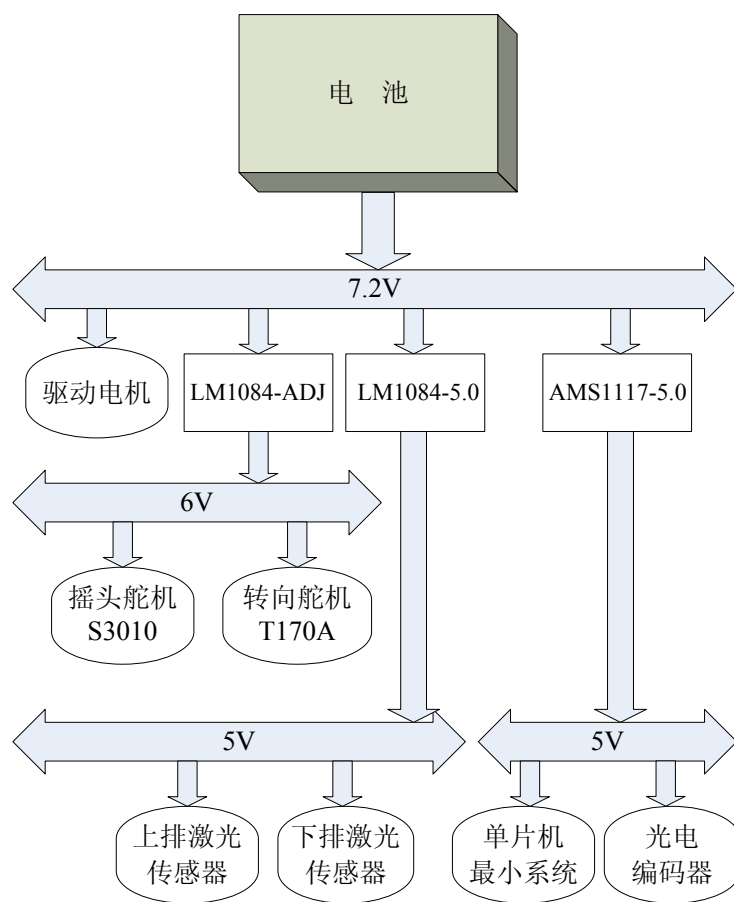


图 3.5 电源电路总体框图

经过实际测试，电源电路设计方案如下：

- 1) 单片机最小系统和光电增量式编码器正常工作电流在 100MA 左右，选用小积小、低压差线性稳压芯片 AMS1117-5.0，既能节省 PCB 空间，同时也满足要求。

- 2) 上排和下排激光传感器，采用分时调制发射，同一时间点亮的激光管数目有 3 个，工作电流只有 110mA 左右，但是考虑点亮的瞬间电流会比较大，最后经过试验，确定选取低压差线性最大电流能达到 3A，电压为 5V 的 LM1084-5.0。使用过程中没有发热现象，效率比较高，而且还满足大前瞻激光发射大电流要求。
- 3) 摇头舵机我们采用 S3010，因为摇头舵机的特殊性，具体在后面的模块会重点讲解。我们这里采用了 LM1084-ADJ 可调电源线性稳压模块，电压稳压到 6V 提供摇头舵机工作。
- 4) 今年更换了新车模，转向伺服机也进行了更换，型号为 T170A，此舵机已经完全不同 S3010，力矩减小，体积减小，并且严格限制供电电压到 6V，否则就会有烧坏的危险。这里同样采用 LM1084-ADJ 稳压到 6V 进行供电。

3.3.2 单片机最小系统稳压电路

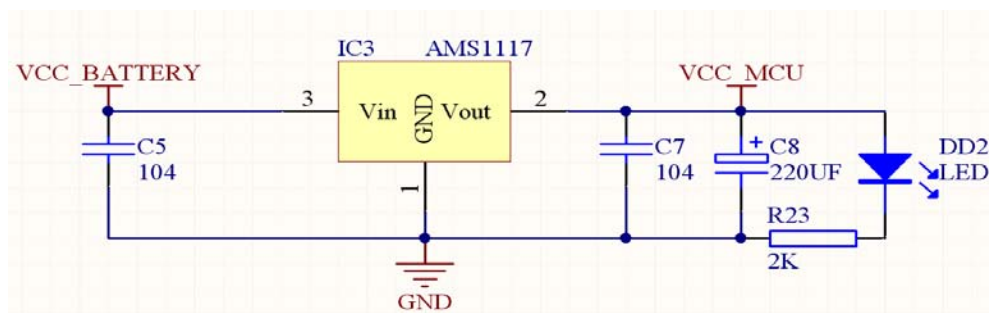


图 3.4 单片机最小系统稳压电路

3.3.3 上、下排激光传感器稳压电路

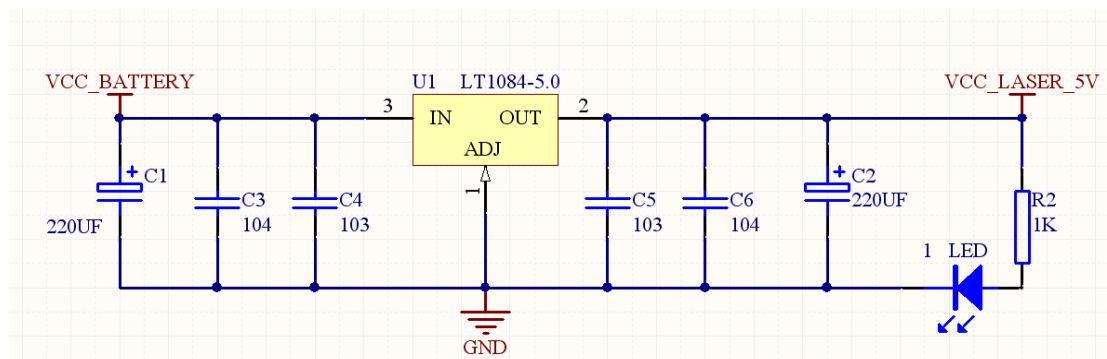


图 3.5 上、下排激光传感器稳压电路

3.3.4 摇头舵机和转向舵机稳压电路

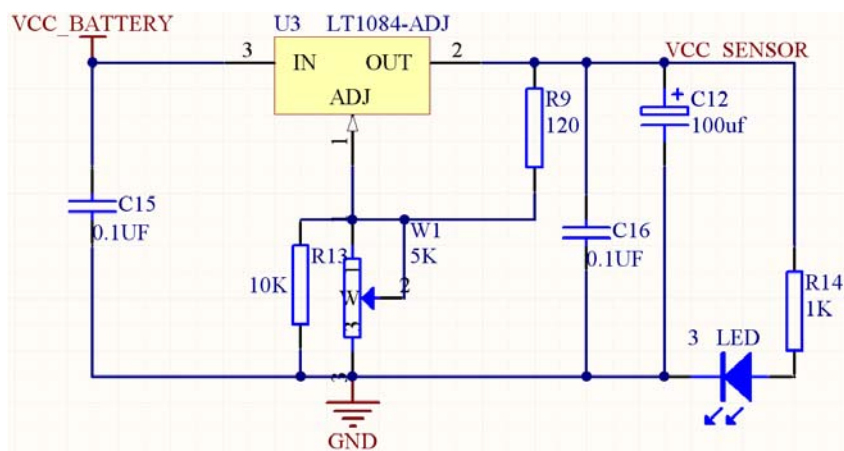


图 3.6 摇头舵机和转向舵机稳压电路

3.3.5 电源电路设计注意事项

- 1) 设计电源电路的 PCB 板时，一定要将足够大的区域覆铜来帮助电源模块散热，这样能保证系统稳定性。
- 2) 经由电池到达电机驱动电源部分的走线一定要粗，并且进行漏锡操作，然后适当的补锡。防止大电流烧断引线，造成系统的工作不正常。
- 3) 保证电路板洁净，防止掉落杂物短路电路板电源模块，造成电路板损坏。

3.4 电机驱动电路设计

对于电机驱动电路，可以使用半桥、全桥专用电机驱动模块 MC33886、BTS7960 或 BTS7970，还可以自己动手用 MOS 管搭一个 H 桥电路。MC33886 使用方便，电机驱动能力强，但内阻较大，价格太高。综合考虑体积、性能和稳定性等因素，最后模型车使用 BTN7970 作为电动机驱动芯片，采用两个 BTN7970 联立构成全桥。BTN7970 封装如图 3.7 所示，BTN7970 管脚分配见表 3.1。该电路体积小，发热量小，内部自带保护。经过试验，再点击正转、反转、连续反转刹车和阻转都不会使得驱动电路发热严重，控制性能优越。驱动电流能达到 68A，内阻只有 $7\text{m}\Omega$ 左右。电机驱动电路如图 3.8 所示。

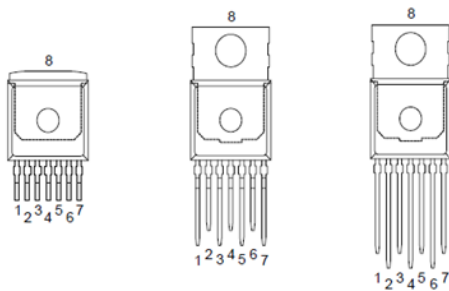


图 3.7 BTN7970 封装图

表 3.1 BTN7970 管脚分配表

Pin	Symbol	I/O	Function
1	GND	-	Ground
2	IN	I	Input Defines whether high- or lowside switch is activated
3	INH	I	Inhibit When set to low device goes in sleep mode
4,8	OUT	O	Power output of the bridge
5	SR	I	Slew Rate The slew rate of the power switches can be adjusted by connecting a resistor between SR and GND
6	IS	O	Current Sense and Diagnostics
7	VS	-	Supply

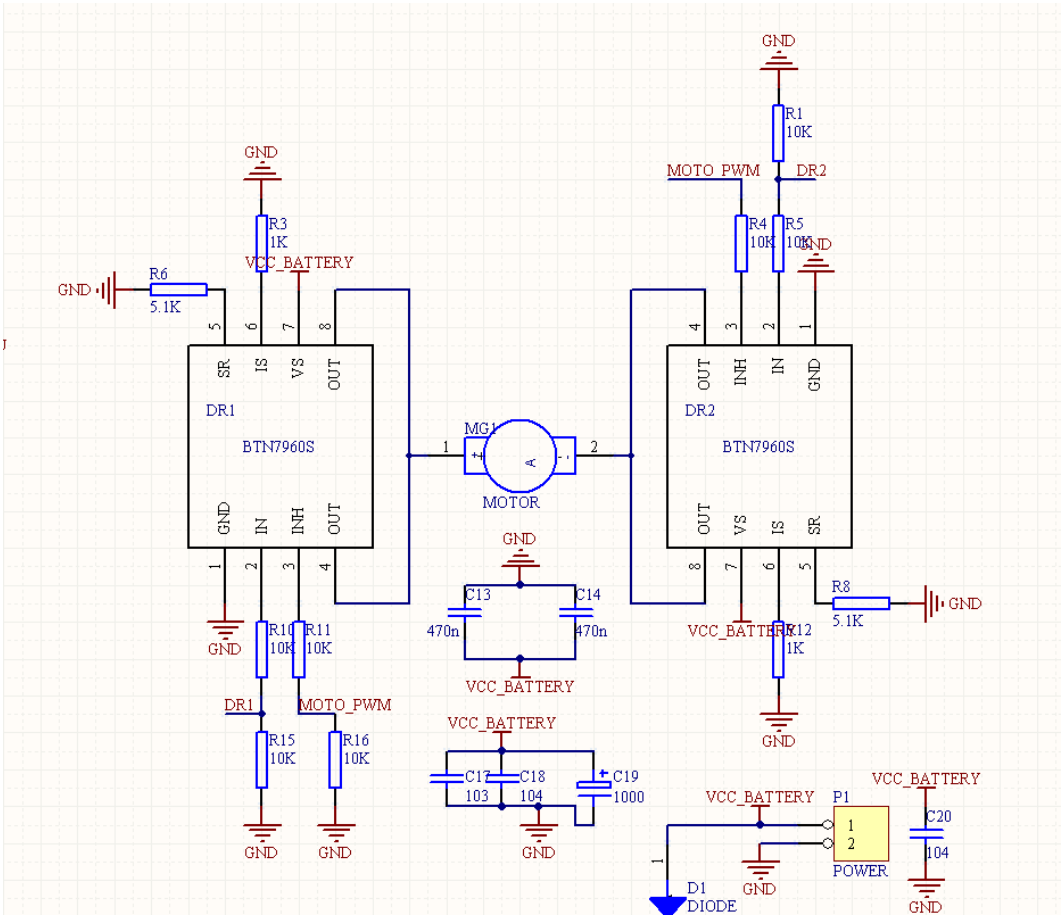


图 3.8 电机驱动电路

下面介绍一下控制引脚的作用：VCC_BATTERY 是连接电池的正极，GND 连接负极。DR1 和 DR2 是控制电机正反转的，当 DR1 为高电平时，BTN7970 的高端 MOS 导通，那么相当于电动机的 1 脚和 VCC_BATTERY 连接，当 DR1 为低电平时，相当于电动机的 1 脚接 GND，以此类推 DR2 的功能，所以只有当 DR1 和 DR2 极性相反时，电机就可以完成正转反转操作了，同时 MOTO_PWM 是 BTN7970 驱动芯片的使能端，当 MOTO_PWM 为高电平时，BTN7970 正常工作，当为低电平时，BTN7970 截止，停止工作，脉冲调制信号通过控制芯片的使能来实现对电动机的调速。

根据 BTN7970 的参数说明可知，BTN7970 最高开关频率可以达到 20KHZ，经过大量试验测试，发现当 PWM 频率在 18K 的时候，驱动电路响应和性能是最好的，因此电机 PWM 驱动频率为 18KHZ。

3.5 激光传感器电路设计

激光传感器好比模型车的眼睛，是整个系统采集赛道信息的核心。在设计调试激光传感器电路的过程中，一共经历了三个版本。前两版都因在实际跑道中测试中存在不足之处而进行了相应的改进。第一版的前瞻最远距离只能达到 30CM，第二版前瞻距离能够达到最远 70CM，第三版前站距离最远能够达到 1.1M。最终，经过调整和优化，使得激光传感器性能能够完成赛道全部信息采集的任务。

3.5.1 激光传感器调制发射电路

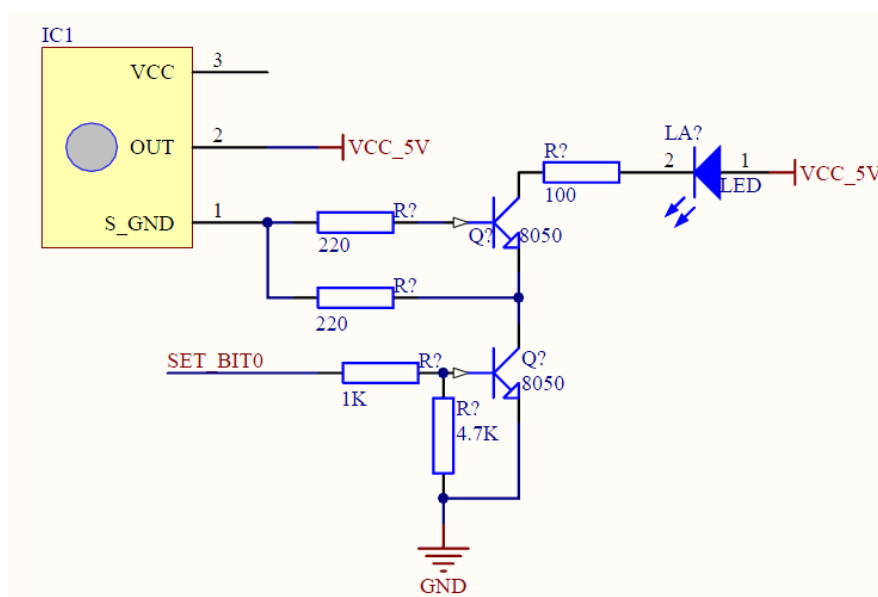


图 3.9 激光传感器调制发射电路图

图 3.9 中, IC1 是一个调制管, 当按照电路连接以后, 1 脚会输出一个调制频率为 160KHZ, 占空比大约为 30% 的方波, 然后通过上面的三极管 8050 放大驱动激光发射管 LED。下面的三极管 8550 负责选通 LED 是否工作, 当 SET_BIT0 为低电平时, 8050 截止, 调制管和 LED 不工作, 当为高电平时, 8050 导通, 调制电路工作, 激光开始发送调制光。100 Ω 电阻是激光管的限流电阻, 这个电阻的阻值需要根据不同的激光发射管经试验来确定, 过大会造成前瞻距离很近, 过小会造成流过激光的电流过大, 烧毁激光发射管。每个激光管的最大发射电流不能超过 30MA。

激光调制发射有两个目的, 第一: 增加激光的发射能量, 因为调制发射瞬间的能量很大, 可以发送很远的距离, 第二: 多个激光如果同时发射, 电流会很大, 调制发射还可以节省电能。

当电源电压波动的时候, 单独依靠限流电阻来限制电流, 安全性受到挑战。因此, 为每个激光管都设计了恒流电路, 通过激光头的 LD 光电流反馈端反馈给恒流电路, 然后调节电流, 从而达到恒定发射电流的目的, 实际测试效果好。

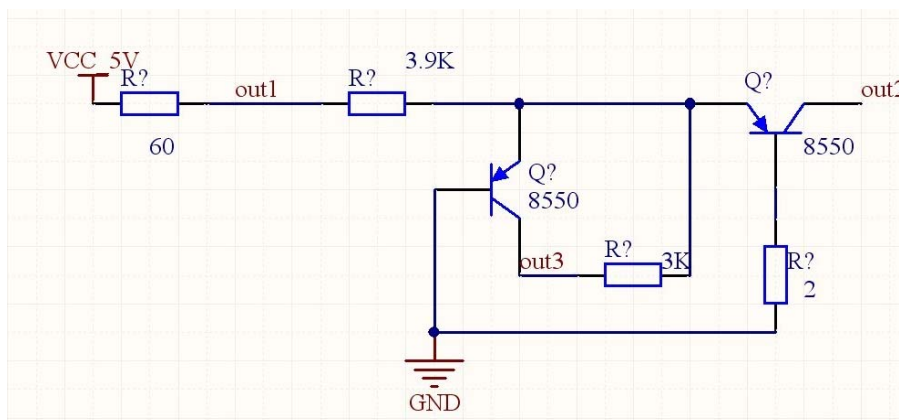


图 3.10 激光发射管恒流电路

3.5.2 激光传感器接收电路

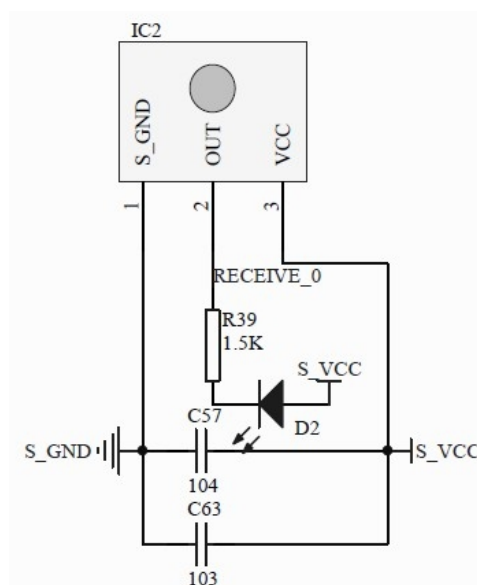


图 3.11 激光传感器接收电路

图 3.11 为激光信号接收和处理电路，IC2 为一体化的接收管，结构图如图 3.12 所示。

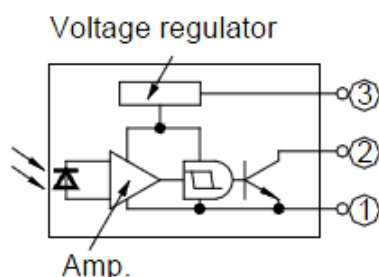


图 3.12 IC2 内部结构图

接收管直接输出 TTL 电平，图 3.11 中的 D2 用来调试，当调试完毕后，将 LED 去掉，将 1.5K 电阻直接上拉到 VCC_5V。最后 RECEIVE_0 直接连接到单片机的 I/O 口。赛道中不是黑线的区域，接收管接收到返回的激光信号，此时输出为低电平；当遇到黑线，没有收到返回的激光信号，输出为高电平。只需要查询单片机的 I/O 口高低电平状态就可以判断出赛道信息。

3.5.3 电路设计注意事项

- 1) 如果激光 PCB 电路板设计合理，那么在不使用透镜的时候，激光前瞻就可以达到 30CM 以上，所以传感器电路的 PCB 设计尤其重要。
- 2) 当电源线引线超过 5CM 以后，必须与 GND 之间并联一个 0.1UF 电

容，避免周围电路对电源的影响，因为激光接收管对电源要求很高，电源的波动会造成灵敏度降低，接收距离变短。

- 3) 电源必须是线性稳压电源芯片，不能是开关稳压电源芯片，电源的高稳定性是制作大前瞻激光的重要因素。

3.6 测速模块电路的设计

要实现对模型车的闭环控制，需要时刻检测模型车当前速度，所以需使用速度传感器将模型车当前速度反馈给单片机，经常使用的测速传感器有以下几种：

- 1) 测速电动机：其实就是普通的一个电动机，将电动机的轴连接到车子传动轴或者车子的电机上，测速电动机随着电动机的转动而转动，转速的快慢决定测速电动机所产生的电压，然后通过 AD 采样、量化，根据转换的结果大小来判断速度的快慢。
- 2) 光电编码盘：通过一个带有孔的光栅，将光栅放在光电发射管和接收管之间，配合比较器电路，将光电接收管的电压变化转变为高低电平变化给单片机，单片机根据单位时间内高低电平的数量来判断速度的快慢。
- 3) 光电编码器：光电编码器是一个封闭的光电编码盘，相比后者优点非常多，长时间使用稳定性高，适应能力强。同时精度也很高，能够达到 500 线、1024 线、2048 线甚至更高。唯一不足就是价格是前两者的好几倍甚至几十倍。

综上对比，我们考虑到系统的稳定性、PID 反馈控制的精度和车子自身体积的限制，最后选用 500 线 AB 两相光电编码器，当采样时间在 2.5MS 的时候，可以返回 100 多个脉冲，PID 控制精度足够，效果非常好。光点编码器电路如图 3.13 所示。

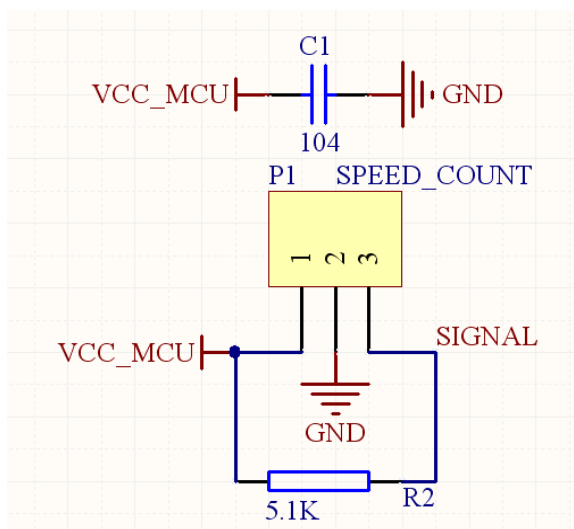


图 3.13 光电编码器电路

图 3.13 中 VCC_MCU 为 5V 电压, SIGNAL 是编码器的脉冲输出端, SIGNAL 和 VCC_MCU 之间接一个 5.1K 上拉电阻, 然后将 SIGNAL 连接到单片机的 PT7 口, 进行脉冲累加测量。

3.7 本章小结

硬件电路对整个系统的稳定性有着至关重要的作用。而电源电路则是重中之重。因此在电源电路设计过程中, 选用多种低压差线性稳压芯片 AMS1117-5.0、LM1084-5.0 和 LM1084-ADJ 等, 保证电源的稳定性。单片机最小系统是智能车的核心, 设计时充分考虑了抗干扰、防静电和运行的稳定性。电机驱动电路使用 BTN7970 作为电动机驱动芯片, 并采用两个 BTN7970 联立构成全桥。该电路体积小, 发热量小, 内部自带保护。激光传感器电路设计包含激光调制发射电路、激光发射恒流电路以及激光接收电路。测速模块最后选用 500 线 AB 两相光电编码器, 当采样时间在 2.5MS 的时候, 可以返回 100 多个脉冲, PID 控制精度足够, 效果非常好。

最后对所有电路进行整体布局, 按电路实现的功能进行分模块绘图制作, 通过排针、排母, 排线或杜邦线连接在一起, 整体架构稳定可靠。

第四章 控制程序的设计

4.1 引言

硬件赋予模型车躯体，则软件算法赋予模型车的思维，最终的结果就是让模型车以最稳、最快的速度跑完整个赛道。软件的流程如下：路径识别→舵机打角→速度控制。

软件设计应该根据激光传感器返回来的赛道信息、光电编码器返回的速度信息和舵机的转角来控制车子的转弯、加速减速和随动的转动等。

4.2 主程序设计

4.2.1 主程序结构

主程序为一个大的循环体，包含赛道信息提取与变换、随动舵机摆角控制模块，前轮舵机打角控制模块以及速度控制模块等。主程序流程图如图 4.1 所示。

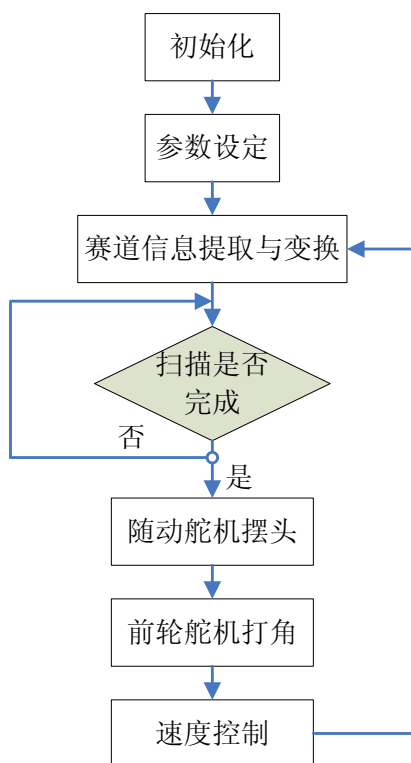


图 4.1 主程序流程图

4.2.2 主程序运行

开机后，对所有硬件进行初始化，完成之后，PPT 定时中断，对激光管扫描发射，并接收信号进行采样保存。

在扫描完之后，开始处理采样数据，并计算出当前黑线与车身的相对位置。单片机根据当前位置决定随动舵机摆角的大小以保证紧跟黑线。单片机再根据上舵机PWM值与光点所得到的位置综合给出下舵机的PWM值。

单片机根据随动舵机的打角，经过复杂运算与处理得到速度期望值，并结合当前速度值对电机控制如加速、减速、电机反转和反向刹车制动等。速度控制采用PID控制算法实现闭环控制。

4.3 循迹子程序

4.3.1 赛道类型的识别

赛道识别，即使模型车能够分辨当前的路径为是直道、十字线、起跑线、或者坡道。首先分析一下赛道信息。

当前路径是直道、弯道、十字线、起跑线时，传感器识别黑线情况，分别如图 4.2、4.3、4.4、4.5 所示：

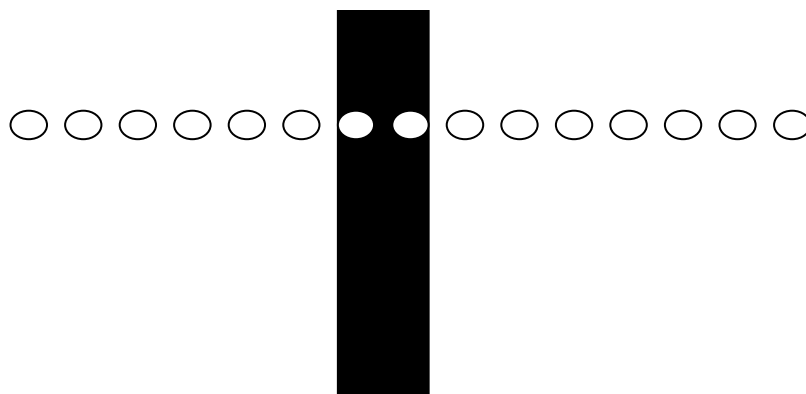


图 4.2 激光传感器位于直道

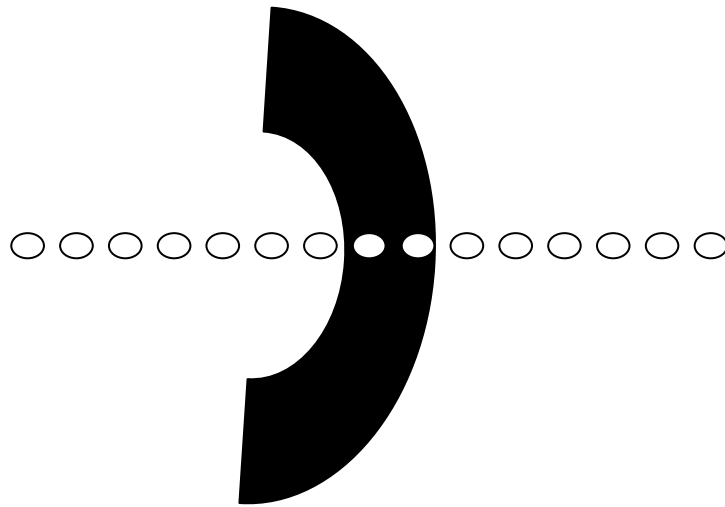


图 4.3 激光传感器位于弯道

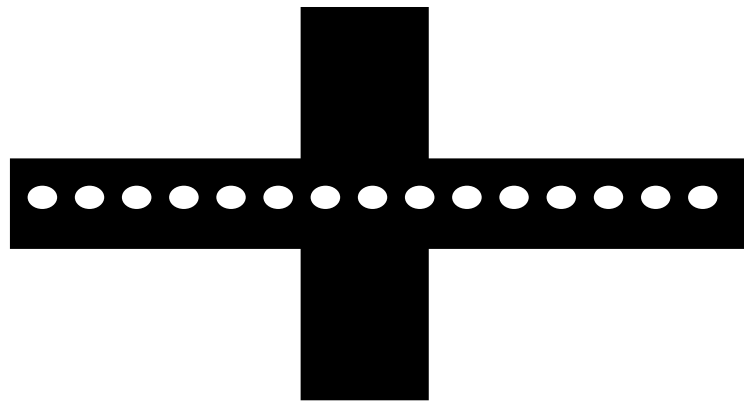


图 4.4 激光传感器位于十字线

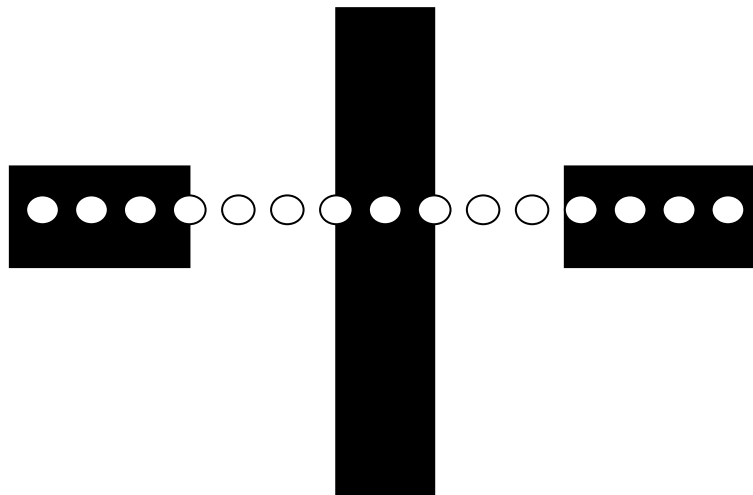


图 4.5 激光传感器位于起跑线



根据图 4.2、4.3、4.4、4.5 进行分析，假定传感器照射到黑线记做 1，照射到白色 KT 板记做 0，通过对各个传感器状态进行异或操作，我们可以得出：

- 1) 当传感器位于直到和弯道的时候，总的传感器的状态跳变 2 次。
- 2) 当传感器位于十字线的时候，总的传感器的状态跳变 0 次。
- 3) 当传感器位于起跑线上的时候，总的传感器的状态跳变 4 次。

计算传感器跳变的程序算法如下：

```
for(temp_num=0;temp_num<14;temp_num++)
{
    if(laser_flag[temp_num]^ laser_flag[temp_num+1])//逐次进行异或操作
        Jump++;//判断跳变次数
}
```

laser_flag 数组里面保存的是当前的 15 个传感器所采集的赛道状态值，黑线为 1，白线为 0。Jump 是跳变次数标志。每当相邻的传感器状态不同，Jump 就加 1。然后通过 if () else () 语句来判断车子当前做行走的道路类型。

坡道的识别和处理：

通过关闭电机，用手推车上坡，同时用无限串口向计算机返回传感器的各个状态，发现当刚好上坡到 2/3 的时候，传感器全部打向空中，激光接收管接收不到任何信号，此时的状态相当于激光管全部照射到黑线，那么根据此状态就可以判断车子是否上坡。

当判断为上坡以后，就切换到下排激光引导小车进行循迹行走。为了安全，当识别为上坡，要适当的减一点速度，防止小车姿态因为速度过高难以调整。

4.3.2 赛道信息的提取和转换

当前赛道的信息取决于车子当前偏移黑线中心的距离，这个偏移程度就要靠激光传感器来识别。赛道信息提取思路为：将上排激光传感器的 15 个点划分为-14,-12,-10,-8,-6,-4,-2,0,2,4,6,8,10,12,14，一共十五个坐标。通过不同激光管在黑线上就能计算出当前的偏移坐标值，这个坐标值就是车子实际偏离的大小。同时下排激光传感器检测车子近处的偏移程度，然后综合上下排传感器的偏离

程度，计算车子相对偏移大小，经过单片机处理，来控制车子的加速、减速、刹车、转角等动作。

由于接收透镜的接收范围很大，可以同时接收 5 个甚至 7 个激光发射管的信号，所以为了避免干扰，我们采用分时发射，就是在一个时间周期内，将发射管分成 6 组，每组将间隔最远的 3 个或者 2 个激光管点亮，每次点亮的时间为 500US，那么整个扫描周期就是 3MS。

一个周期采集完毕以后，要对传感器的原始状态进行处理，我们规定当激光传感器照射到黑线记做 1，白线记做 0，15 个传感器分别赋予对应的权值，当有 2 个或者 3 个激光传感器照射到黑线的时候，对它们的权值取平均值，最后单片机通过最终的偏移值计算出控制摇头舵机、转向舵机和速度分配值。具体算法公式为：

```
for(temp_num=0;temp_num<15;temp_num++)
{
    if(laser_flag[temp_num])
    {
        laser_num++;
        laser_sum+=laser_quanzhi[temp_num];
    }
}

laser_location=laser_sum/laser_num;
```

Laser_num 是计算一共有几个传感器在黑线上，laser_sum 是计算所有在黑线上传感器的偏移值，laser_location 是计算激光传感器的平均偏移值。

4.4 随动舵机的控制程序设计

在模型车整个行驶过程中，舵机会不停的摆头，使得上排激光的中心一直照在黑线上。将上排传感器固定在随动舵机上，根据传感器偏离黑线的多少，来控制随动舵机的转动，用来补偿偏移程度。相当于一个比例控制。

舵机摆头的实际工作过程是：假定中间第八个激光传感器作为中心，当车一入弯时，光点中心便会偏离黑线，黑线马上会被编号小于 6 或者大于 7 的点



检测到。设想当第三个传感器检测到黑线，此时舵机会以一个增量加过来使得光点中心与黑线处于同一位置，即随动舵机带动传感器向中间第八个转动。当转动到第四个传感器检测到黑线以后，单片机又会给随动舵机一个对应第四个传感器所对应的舵机转角，那么接下来就是第五个、第六个、第七个，最后转动到第八个，就不会再转动。虽然舵机转角是一个离散给定的，而且每次都是一个固定的值，但是单片机处理速度和舵机摇头速度非常快，可认为是连续变化的，平滑的。经过若干个周期舵机会打到稳定位置。

接下来就涉及到一个问题，就是摇头舵机转动的速度，转动的速度是靠比例来控制的，比例越大，单次转动的角度越大，速度也就越快，但是抖动就越大，反之，比例越小，单次转动的角度越小，速度也就越慢，抖动比较小，转动平滑。所以对于转动速度的分配，我们通过一系列的试验来验证，最后确定这个速度的快慢跟车速有着紧密的联系，当车速较高时，直道入弯，如果摇头舵机转动较慢，会造成转向延迟严重，车子就会飞出去，这个问题不是控制的问题，而是摇头舵机转动速度跟不上。本模型车通过读取编码器的脉冲值大小，来限定这个摇头比例，从而解决这个问题。当车速较快的时候，摇头速度也加快，车速较慢时，摇头速度也降低。

4.5 转向舵机的控制程序的设计

经过实际测试，转向舵机的控制思路是：转向舵机的打角是根据上面摇头舵机的打角来控制，当上面随动舵机的 PWM 占空比值超过一定范围后，先计算出上面舵机值与中心值的偏差，然后将这个偏差量再乘以一个系数得到的值作为打角的参考量，同时，我们根据当前黑线相对激光光点的位置，为每个位置赋予一个偏差。只要将上面的参考量与偏差量之和加到前轮舵机 PWM 上，使舵机正常打角。例如上面摇头舵机转动 10 度，偏差 3 度，那么下面舵机就要相应的转动 13 度。上面的随动舵机是靠比例（P）控制实现的，下面转向舵机采用的比例微分控制（PD）控制。

对于这种打角方式，如果参考量的系数与每个光点的偏量选择合理，那么，前轮舵机就会在连续的小弯道上走近似直线，而在单侧大弯道上提前打角，切着内道走。根据高速档和低速档，两档的参数是不一样，以适应入弯情况。

4.6 速度控制子程序设计

4.6.1 速度采集程序的设计

速度采集模块需要定时采集速度，根据相同时间内的脉冲数多少来判定速度的快慢，因而我们单独开了一个 PIT 中断，中断定时周期为 2.5MS，那么每当经过 2.5MS，就读取脉冲累加器计数器 PACNT 的值，然后将此值传递给 PID 函数中的反馈速度，通过与给定速度的比较，完成对速度的闭环控制。

脉冲累加器初始化函数如下：

```
void Init_Event_Count(void)
{
    PACTL = (1<<PAEN); //脉冲累加器启动，外部发生一次下降沿
    就计数一次。外部编码器连接到 IOC7.
    //在中断里读取 PACNT 的值就是脉冲个数。读取后清零 PACNT。
}
```

中断中脉冲的读取和处理：

```
#pragma CODE_SEG __NEAR_SEG NON_BANKED
void interrupt 68 timer2(void)
{
    PITTF|=0X04; //clear interrupt falg
    speed_back = PACNT; //返回速度值
    SetSpeed();
    speed_back=0;
    PACNT = 0; //速度归零
}
```

Speed_back 变量是反馈的速度，用来传递给 PID 函数；SetSpeed（）函数是速度给定和 PID 控制函数；这里要注意的就是，当进行完毕速度读取，PACNT 寄存器一定要清零，防止脉冲的错乱。

4.6.2 速度控制程序设计

所谓速度控制，就是智能车可以根据路况信息调整速度，判断是该加速、



减速，还是该刹车。

速度控制策略是：通过记录 30 次历史偏移数据，对这些数据进行统计分析，模糊的限定传感器偏移在一定范围内就是直道，超过范围就是弯道，同时弯道根据偏移的程度变化来区分是大弯道还是小弯道。

对于速度的控制，采用 BANG-BANG 算法和 PID 算法相结合，当没有达到指定速度时，采用 BANG-BANG 算法给车子加全速，当入弯速度过快时候，给车子加全速反转刹车。这样车子就有一个非常快速的响应。保证加速够快够猛，减速够快够稳。

4.7 本章小结

软件部分是整个控制系统的核心。软件上主要有以下几个难点：

- 1) 怎样判断采样的赛道信息的有效性；
- 2) 怎样控制好两个舵机；
- 3) 怎样使速度控制配合好舵机打角。

本章节讲解了解决了以上几个难点，工作过程如下：初始化后，进行扫描，开始处理采样数据，并计算出当前黑线与车身的相对位置。单片机根据当前位置决定随动舵机摆角的大小以保证紧跟黑线。单片机再根据随动舵机PWM值与光点所得到的位置综合给出前轮舵机的PWM值。经过复杂运算与处理得到速度期望值，并结合当前速度值对电机控制如加速、减速、电机反转和反向刹车制动等。速度控制采用PID控制算法实现闭环控制。

第五章 开发工具及模型车调试过程

5.1 引言

前面几章一直是在为系统制定方案以及方案的细化。但整个系统的完善主要还是在系统的现场调试。在细分的每个模块中，大部分都涉及有众多参数，对这些参数的确定就需要软硬件联合调试。而这过程就需要一整套开发调试环境和工具。包括程序源代码的编辑以及编译环境，参数调节与设定工具等。

5.2 智能车软件编写、编译和调试环境

主要开发环境是 Metrowerks 公司专门为飞思卡尔 XS128 系列芯片设计的 Codewarrior IDE，可从飞思卡尔半导体公司相关网页上下载到 CW_S12_v5.0_Special.exe。双击安装时它会先解压安装文件到 C:\Documents and Settings\Administrator\Local Settings\Temp\CodeWarrior for S12(X) V5.0 文件夹中，再运行其中的 setup.exe 文件。

Codewarrior IDE集成代码编辑工具，工程编译工具以及目标芯片下载与调试工具。与开发其它单片机一样，使用Codewarrior IDE开发MC9S12XS128先要创建工程，下面是我们使用Codewarrior IDE的一个实例：

5.2.1 工程的创建

打开Codewarrior IDE，创建一个新工程，界面如图5.1所示。

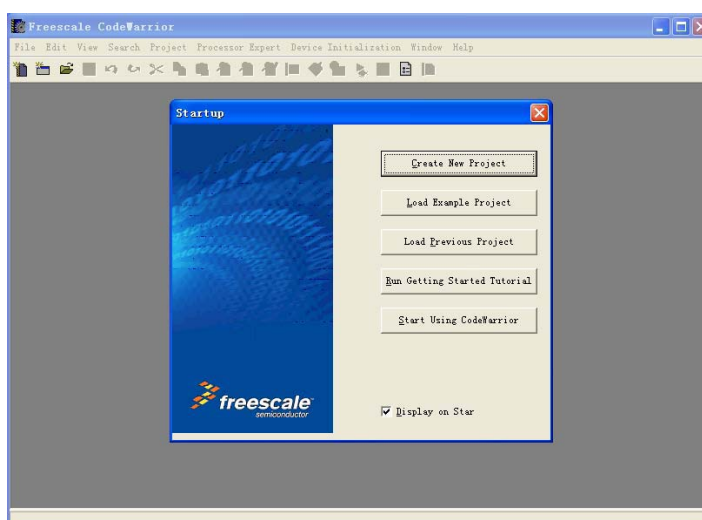


图5.1 利用Codewarrior IDE创建一个新工程



选择目标芯片型号以及芯片与电脑的连接方式，选择MC9S12XS128MAA以及“TBDML”项，如图5.2所示。

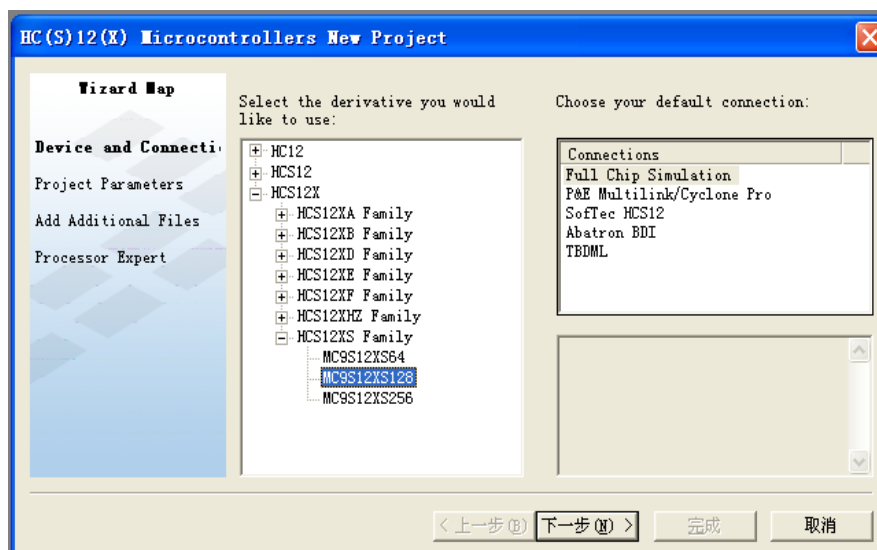


图5.2 选择目标芯片及连接方式

选择程序编写所用语言，以及填写创建的工程名和保存路径，如图5.3所示。

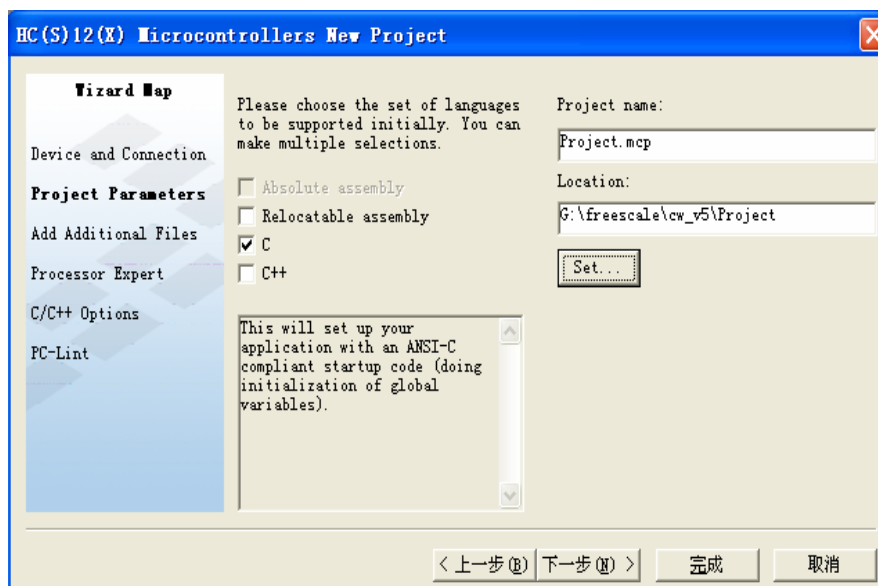


图5.3 选择工程编写所用语言及工程保存路径

接下来的以默认设置直道完成，完成之后，会出现工程文件管理窗口，如图5.4所示。

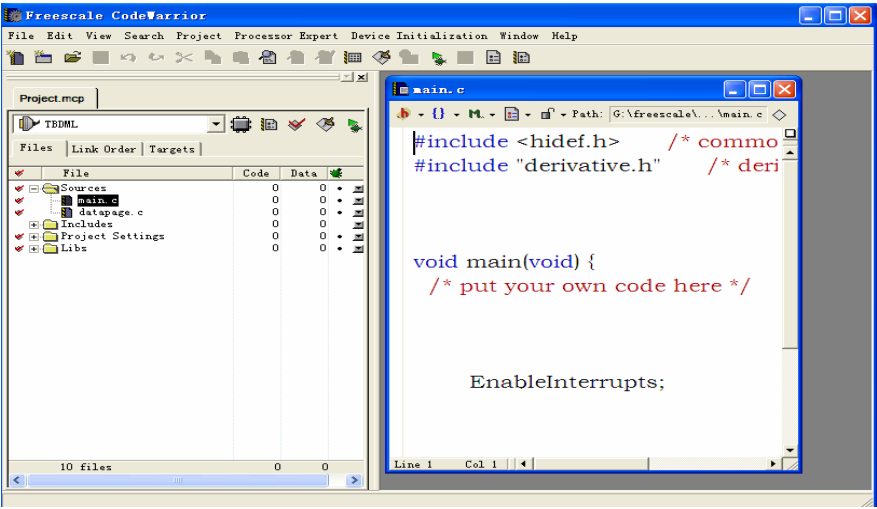


图5.4 成功创建一个工程

5.2.2 BDM调试

在成功编译之后，选择Debug按钮，进入调试环境，即启动了Hiwave.exe。出现如下窗口，点击“确定”按钮，如图5.5所示。



图5.5 下载新程序

之后BDM会自动擦出芯片FLASH，如图5.6所示。

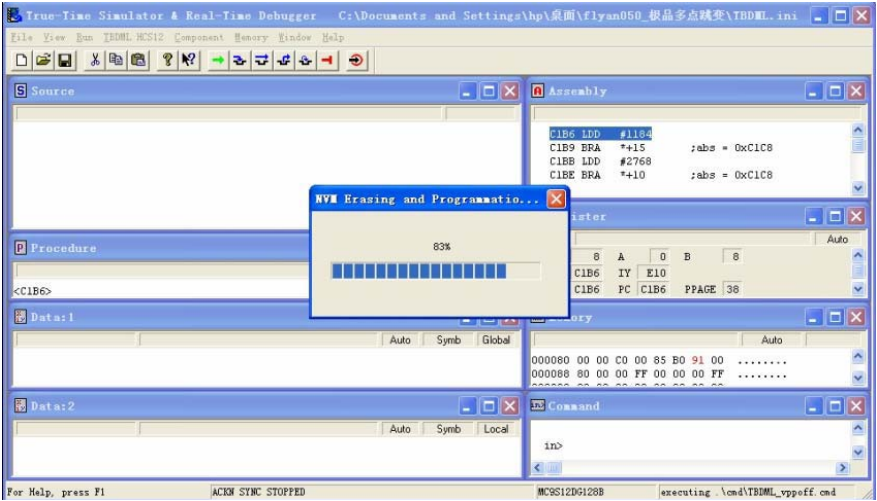


图5.6 擦出芯片Flash



再下载新程序如图5.7所示。

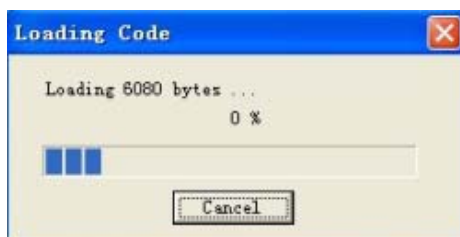


图5.7 下载新程序

下载完成后，进入BDM调试界面，如图5.8所示。

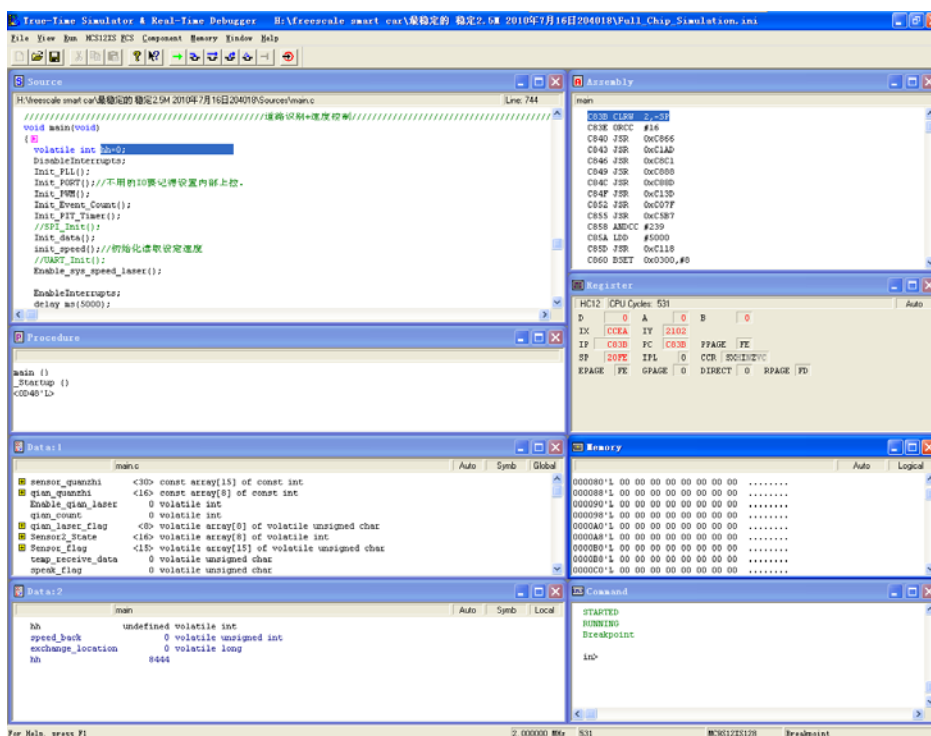


图5.8 BDM程序调试界面

在调试的数据窗口中可以看到单片机内部一些被用到的寄存器以及程序中定义的全局变量。

5.3 智能车调试过程

基本工作完成之后，开始进入实际赛道调试阶段。车模的调试主要利用了一个无线串口模块，通过无线串口，在模型车实际运行过程中返回传感器状态、反馈速度、摇头舵机转角和转向舵机转角等信息。将这些数据发送到计算机，通过串口调

试助手显示这些信息，最后绘制出小车的实际运动轨迹，分析模型车的姿态，然后进行参数的调整。

电机 PID 控制参数非常不好整定，如果经过试验测定的话，缺少一个合适的判定标准，为此制作了一个上位机接口，通过 C#和 MATLAB 的连接，接收串口传递的实时反馈速度，绘制出电机运转的曲线，根据曲线去整定 PID 的三个参数。软件界面如图 5.9 所示。

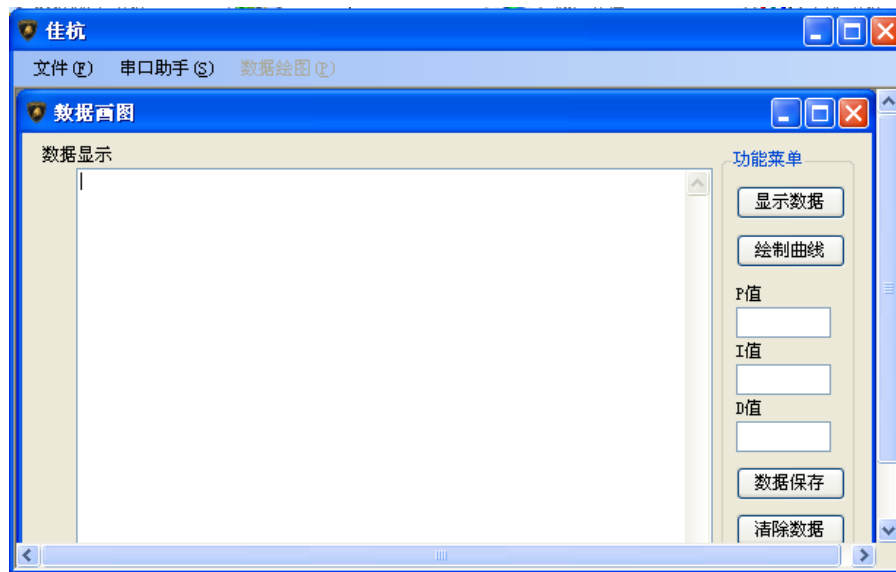


图 5.9 软件调试界面

经过反复调整参数，得到较满意的 PID 整定曲线，如图 5.10 所示。

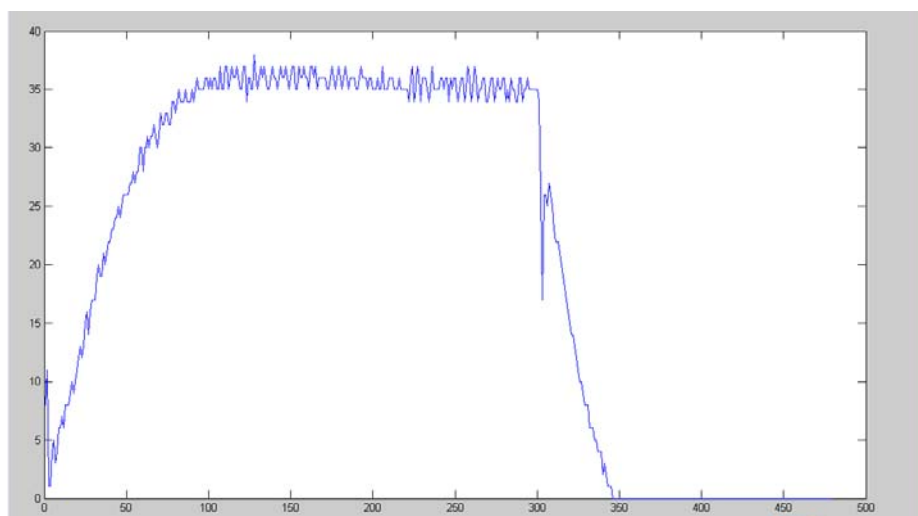


图 5.10 PID 响应曲线



图 5.10 为光电编码器反馈的速度曲线。车子给定速度是 35cm/s，横坐标是时间，单位是 ms。当时间到达 100MS 的时候，车子基本稳定到 35cm/s 的速度，加速性能很好，中震荡较小，稳定性较好。当给定速度为 0，能够在 50ms 的时间内迅速将速度限制到 0，减速性能也很好。

5.4 本章小结

在调试的过程中，尝试了多种赛道，大 S，小 S，十字交叉，坡道等。尽管之前的问题想的足够仔细，但也遇到了一些问题，如激光摆头的抖动会导致舵机在中心位置左右颤动，激光光点的宽度等。通过调 PID 参数，在摆头动作过快时，适当的增加以下阻尼比，从而增加了舵机的阻力，使得舵机能够稳定下来。对于光点宽度的问题，根据不同的赛道情况，对光点宽度进行调整，变窄、变密，避免光点照赛道外面，失去控制。

第六章 车模主要技术参数说明

6.1 车模主要参数

表 6-1 车模主要技术参数

名称	参数
车模总质量	1.8 Kg
车模长度	29.0 cm
车模宽度	18.0 cm
车模高度	18.0 cm
电路总功耗	60 W
电路电容器总容量	1988.6 μ F
传感器	激光
传感器个数	7 个激光接收管、光点编码器 1 个
外加伺服电机	1 个
赛道信息检测精度	1.2 cm
赛道信息检测周期	3 ms

6.2 机械部分其它参数

表 6-2 机械部分其它参数

名称	参数
前轮距	15CM
后轮距	15.5CM
前后轮距	17.5CM
电机轴齿轮齿数	14
编码器齿轮数	25
编码器精度	500 线
激光管俯角	10°



6.3 电路中芯片的种类及数量

表 6-3 电路中芯片的种类及数量

芯片名称	使用数量	功能简述
MC9S12XS128	1	微控制器
74LS138	2	激光管的分时点亮控制
AMS1117-5.0	1	低压差线性 5V 稳压芯片
LM1084-5.0	1	低压差线性 5V 稳压芯片
LM1084-ADJ	1	可调 6V 稳压芯片
BTN7970	2	PN 半桥

6.4 其它技术参数

表 6-4 其它技术参数

名称	参数
上排激光最大前瞻距离（离前轮）	1.1M
上排激光光点宽度	2MM
上排激光光点间距	2CM
下排激光光点宽度	2MM
下排激光光点间距	2CM

6.5 设计过程中用到的主要软件工具

表 6-5 设计过程中用到的主要软件工具

名称	功能描述
Codewarrior IDE	飞思卡尔 HCS12 系列单片机集成开发环境
AVR	ATmel mega16 开发工具
Altium Designer	PCB 图设计环境
Matlab 7.0	整定 PID 参数

第七章 总 结

本报告详细阐述了第五届全国大学生智能汽车大赛模型车系统设计方案。主要包含模型车机械机构改装、激光传感器循迹方法，传感器随动舵机转向控制策略，前轮舵机打角控制策略以及速度控制算法及实现。

分析整个车模系统，我们在车模硬件及软件上都有许多改进与创新。系统上主要有以下特色：

1) 采用上排激光管作为循迹传感器。相比单排激光而言，大大提高了前瞻距离和系统的稳定性。激光前瞻已经提高到1.1米，大前瞻是保证高速度的前提条件。

2) 采用下排激光管作为辅助传感器。以激光管作为赛道辅助传感器，检测起跑线以及在坡道上辅助循迹。双排激光传感器方案，赛道信息检测更加准确、可靠。系统整体性能得以提高。

3) 使用传感器随动舵机加前轮舵机双舵机方案。相比其它激光方案，使用了随动舵机，激光管可以左右兼顾，激光光点时刻跟踪黑线。双舵机打角保证不丢线。配合激光的大前瞻，更加有利于速度的提升。

4) 采用自己制作的单片机最小系统板。自己制作的单片机最小系统板，尺寸小，重量轻。即减轻了车模总重量，方便了其它硬件布局。使得整个硬件系统布局更简洁，性能更稳定。

5) 增加了无线串口调试能让调试过程更方便，简洁。与Matlab相配合的接口调试电路，通过实时反馈回赛道信息，对PID参数进行实时整定，提高了系统对不同赛道的适应能力。

6) 以激光光点在赛道上的返回信息和随动舵机的角度综合作为路况信息。这种赛道信息获取方式有很大的灵活性，使我们对打角和速度控制都有很多灵感可以发挥。

7) 软件编写上，让单片机内部只开一个中断，作为系统的参考时钟。避免中断太多，程序指针的来回跳变，提高程序的稳定性。同时，采用PID算法控制前轮舵机打角，对路径进行了很好的优化，缩短了车模在赛道上的运行时间。



但是纵观车模的整体设计，还有几个方面值得进一步研究改进：

1) 单片机最小系统板电路。我们所用的单片机最小系统板是将所有的I/O口都引出来，但是实际应用中并没有都用到。我们可以将最小系统板做的更小，只引出有用引脚，并且可以把BDM接口和串口接口做在板子上；

2) 测速传感器。在车模上，我们采用光电编码器作为速度反馈，也可以做其它的尝试，像是对射式光栅。编码器虽然好用，但是价格高，重量也不轻。而对射式光栅虽然没有编码器精度高，但是用它测速完全够用了，最重要的是它可以减轻整个车模重量；

3) 路径识别系统。虽然转头激光路径识别有大前瞻，跟线好等优点，但是若增加至三排的激光探测更能够提高小车的稳定性，增大激光路径识别的最远距离能够提高速度、优化行车路线。

总结整个车模设计过程，我们可算是当过木匠，当过机械工，当过硬件工程师也做过软件工程师……在比赛后期，我们基本上不分黑夜白天的一直在赛道上调试车模。通过这次比赛，我们不仅得到了软硬件结合的锻炼机会，更多的是培养了我们的创新能力。

参考文献

- [1] Freescale 公司 MC9S12XS Family Reference Manual, Rev. 1.09, 2009.9
- [2] 第四届全国大学生“飞思卡尔”智能汽车竞赛 北京科技大学中冶队技术报告, 2009
- [3] 第四届全国大学生“飞思卡尔”智能汽车竞赛 杭州电子科技大学_钱江一号队(光电组)_技术报, 2009
- [4] 卓晴, 黄开胜, 邵贝贝.《学做智能车》 北京-北京航空航天大学出版社, 2007
- [5] 孙同景, 陈桂友.《Freescale 9S12 十六位单片机原理及嵌入式开发技术》 北京-机械工业出版社, 2008
- [6] 孙同景, 陈桂友 Freescale 9S12 十六位单片机原理及嵌入式开发技术, 北京-机械工业出版社, 2008
- [7] 邵贝贝. 单片机嵌入式应用的在线开发方法. 北京-清华大学出版社 2004 年10 月第1 版
- [8] 王威. HCS12微控制器原理及应用北京-北京航空航天大学出版社 2007
- [9] 李宁, 刘启新. 电机自动控制系统北京-机械工业出版社, 2003
- [10] 谭浩强. C++程序设计北京-清华大学出版社 2004
- [11] 潘松, 黄继业. 现代数字电路基础教程北京-科学出版社 2008
- [12] 魏彪, 盛新志. 激光原理及应用重庆-重庆大学出版社 2007
- [13] 王水平. 开关稳压电源原理及设计 北京-人民邮电出版社 2008
- [14] 仇慎谦. PID调节规律和过程控制南京-江苏科学技术出版社
- [15] TI公司. Use of Rail-to-Rail Operational Amplifiers / Application Report 1999
- [16] infineon公司. BTS7970 Rev2.0/ Datasheet 2006
- [17] 赵先奎. 汽车前轮定位 黑龙江 黑龙江出入境检验检疫局 2008
- [18] CyberSmart队. 第二届“飞思卡尔”杯全国大学生智能汽车邀请赛技术报告,上海: 上海交通大学 2007
- [19] 超越者队. 第四届“飞思卡尔”杯全国大学生智能车大赛技术报告杭州 杭州电子科技大学信息工程学院 2009

致 谢

本次竞赛是在学院领导、老师的悉心关怀和指导下完成的！从最初的传感器选型与方案确定，到后来的软硬件联合调试。我们的技术不断完善，思想不断成熟。领导的关心和老师的鼓励是我们努力奋斗、踏实工作的动力！对院领导的鼓励与关心表示由衷的感谢！

首先，特别感谢学院对这次比赛的重视，感谢学院教务处对我们比赛的大力支持。有了你们的支持，才有了赛车在跑道上的飞驰！

其次，我们要感谢吴宝江老师和刘佳宇老师的悉心教导。从整体的指导和安排，到传感器的选择，都得到了老师们热情的指导，在此表示深深的谢意！

感谢与我们并肩作战的许金钢老师、张怡老师、孟明川老师、丁琦同学、侯宇同学、齐晓岚同学等，他们在各自领域所做的工作以及提出的各种意见和建议，拓展了我们的思路和视野。

最后，飞思嘉杭队所有成员对理解、关心和帮助我们进步的师长、亲友们表示深切的敬意和诚挚的感谢！