

第五届“飞思卡尔”杯全国大学生 智能汽车竞赛

技术报告

学 校：哈尔滨工业大学

队伍名称：光电之星

参赛队员：郭霄亮

孙晓光

陈 岩

带队教师：王雷、王立欣

关于技术报告和研究论文使用授权的说明

本人完全了解第一届“飞思卡尔”杯全国大学生智能汽车邀请赛关保留、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：

带队教师签名：

日 期：

摘 要

本文介绍了光电之星为第五届“飞思卡尔”杯全国大学生智能汽车邀请赛而设计的智能车系统。文中介绍了该智能车系统的软、硬件结构及其开发流程。

该智能车系统以 MC9S12XS128 作为整个系统信息处理和控制命令的核心，运用激光传感器识别小车的状态，在此信息上进一步处理以控制舵机的转向，通过实时比较控制算法实现闭环反馈控制，测试表明，该智能车能够很好的跟随黑色引导线，可以实现对应于不同形状的道路予以相应的控制策略，可快速稳定的完成整个赛道的行程。

关键字：MC9S12XS128；激光；闭环反馈控制；速度控制；PID；摇头

目录

第一章 引言

- 1.1 智能车的发展历史
- 1.2 智能车竞赛内容和主要研究

第二章 总体方案设计

- 2.1 机械方面的总体设计
- 2.2 硬件方面的总体设计
- 2.3 软件方面的总体设计

第三章 赛车车体机械结构设计

- 3.1 舵机位置的调整
- 3.2 码盘的安装
- 3.3 电路板的固定
- 3.4 前排激光的安装
- 3.5 其他的安装

第四章 赛车硬件系统设计

- 4.1 核心板的设计
- 4.2 电源模块的设计
- 4.3 电机驱动模块的设计
- 4.4 输入模块的设计
- 4.5 测速电路的设计
- 4.6 激光电路的设计
- 4.7 寻起跑线电路的设计

第五章 赛车软件设计

5.1 寻起跑线电路的设计

5.2 速度控制策略

5.3 坡度识别策略

5.4 起跑线识别策略

5.5 抗干扰性略波算法

第六章 开发工具和调试说明

6.1 开发工具的说明

6.2 调试过程

第七章 模型车主要参数

7.1 智能车外形参数

7.2 智能车功耗及电容的总量

7.3 其他主要参数

参考文献

第一章 引言

1.1 智能车的发展历史

智能车的研究始于20世纪50年代初美国 Barrett Electric 公司开发出的世界上第一台自动引导车辆系统(Automated Guided Vehicle System, AGVS)。1974年,瑞典的Volvo Kalmar轿车装配工厂与Schiinder-Digitron公司合作,研制出一种可装载轿车车体的AGVS,并由多台该种AGVS组成了汽车装配线,从而取消了传统应用的拖车及叉车等运输工具。20世纪80年代,伴随着与机器人技术密集相关的计算机、电子通信技术的飞速发展,国外掀起智能机器人研究热潮,其中各种具有广泛应用前景和军用价值的移动式机器人受到西方各国的普遍关注。

全国大学生智能汽车竞赛是在统一汽车模型平台上,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、设计电机驱动电路、编写相应软件以及装配模型车,制作一个能够自主识别道路的模式汽车,按照规定路线行进,以完成时间最短者为优胜。该竞赛涵盖了控制、模式识别、传感技术、电子、电气、计算机、机械等多个学科交叉的大学生课外科技创意性比赛。

1.2 智能车竞赛内容和主要研究

全国大学生智能汽车竞赛已经成功举办了三届,比赛规模不断扩大、比赛成绩不断提高。该竞赛涵盖了控制、模式识别、传感技术、电子、电气、计算机、机械等多个学科交叉的大学生课外科技创意性比赛。通过比赛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。赛车采用飞思卡尔16位微控制器MC9S12XS128作为核心控制单元,由学生自主构思控制方案及系统设计,包括传感器信号采集处理、控制算法及执行、动力电机驱动、转向舵机控制等,完成智能车工程制作及调试。为完成本系统,主要做得内容分为以下几部分:

- (1) . 对车模机械部分进行详细的分析和调整;
- (2) . 分析控制电路各模块的要求, 计算出各模块器件的参数, 设计完成硬件控制电路;
- (3) . 通过传感器采集赛道信息;
- (4) . 对数据进行分析, 设计控制算法并编写控制程序。

第二章 总体方案设计

赛车的性能主要由机械结构，硬件和软件三部分决定。机械结构是赛车能够行驶的根本，赛车有了一定的机械结构，再加上相应的硬件和软件，就构成了一个完整的系统。

2.1 机械方面的总体设计

智能车的机械调整作为最基础的硬件其重要性是首位的，由于今年采用了新的车模，车模结构较复杂，可以改动的地方变得更加少，所以以往有关于调整车模的经验对于今年的比赛来说显得至关重要，所以我们首先仔细阅读了过往几年的技术报告作为参考，我们车模的机械调整主要分为：舵机位置的调整；编码器的安装；寻线板及摇头舵机的安装；电路板的固定；前排激光的安装。

2.2 硬件方面的总体设计

1) 主控使用飞思卡尔公司的 112 引脚的 MC9S12XS128 芯片，因为其引脚 IO 多，可以控制的外围较多的外围设备。

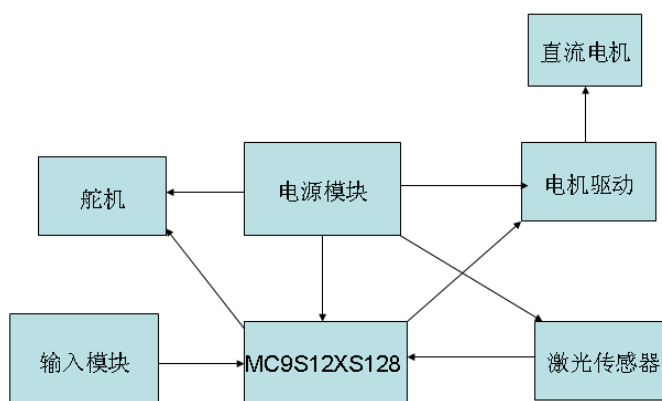


图 2-1 硬件总体图的设计

2) 电源模块，通过 7.2 伏的总电源根据不同的模块采用不同的稳压方案，用到了线性稳压，由于 7.2V 较低我们采用低压差线性稳压。

单片机 5V 供电用线性稳压；舵机采用 6V 供电，采用低压差线性稳压；

3) 电机驱动，由于电机电流较大，工作电流 3-5A，所以采用英飞凌公司生产的半桥芯片 BTS7960。

4) 输入模块采用拨码开关

5) 激光传感器采用可接收 160KHz 的频率的激光传感器，激光采用红色激光管，通过 PWM 对其进行调制。

此外还有码盘等测速器件。

2.3 软件方面的总体设计

软件控制分为速度的控制和转型的控制。其中速度闭环如图 2-2，转向闭环如图 2-3：

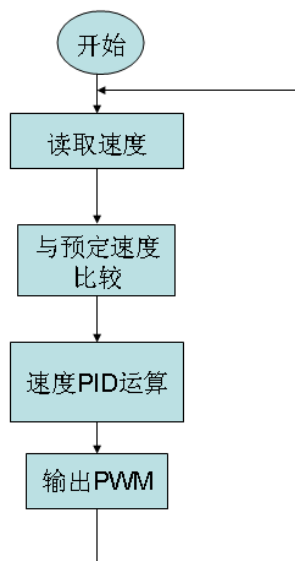


图 2-2 速度闭环

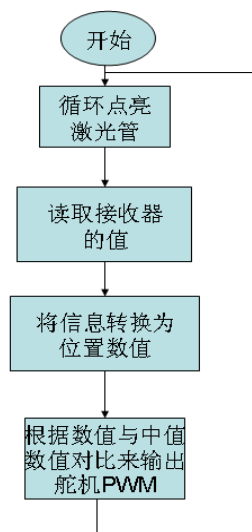


图 2-3 转型闭环

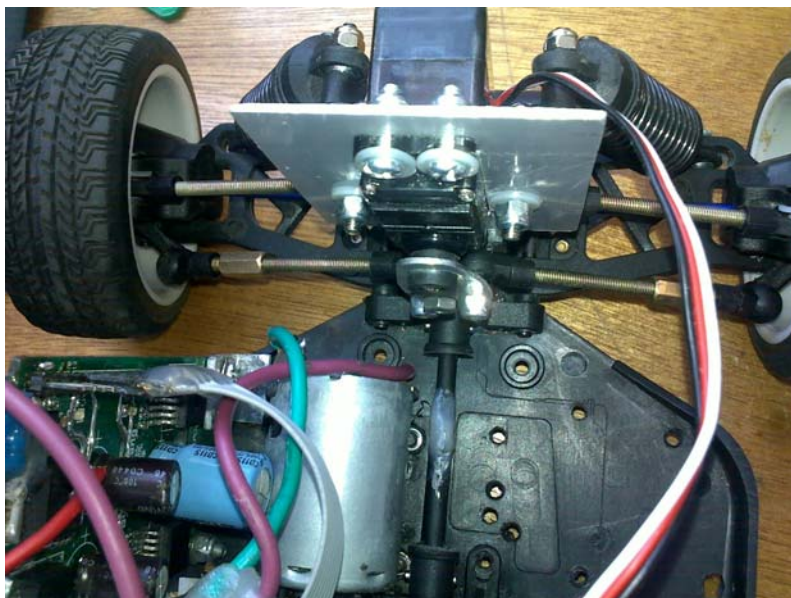
软件除了两个闭环还包括策略。策略应用简单的根据寻线来改变速度值。

第三章 赛车车体机械结构设计

智能车的机械调整作为最基础的硬件其重要性是首位的，由于今年采用了新的车模，车模结构较复杂，可以改动的地方变得更加少，所以以往有关于调整车模的经验对于今年的比赛来说显得至关重要，所以我们首先仔细阅读了过往几年的技术报告作为参考，我们车模的机械调整主要分为：舵机位置的调整；编码器的安装；寻线板及摇头舵机的安装；电路板的固定；前排激光的安装。

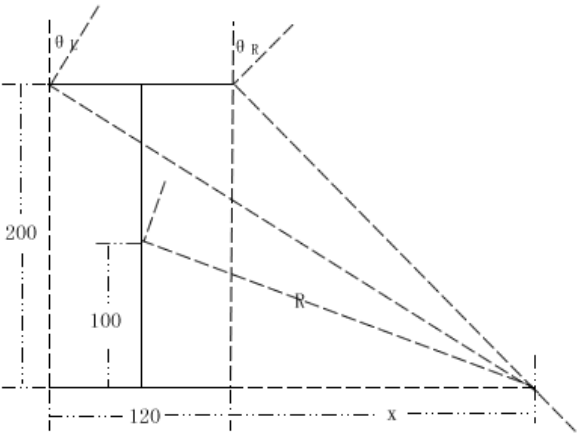
3.1 舵机位置的调整

今年采用了新的舵机，但是舵机的性能不是很理想，而且车模多级初始位置的那种安装方案采用了空间连杆，根据力学原理空间连杆的效率小，这样就造成了力传递过去的就非常少，而且这种舵机的力矩小，造成整体机构反应速度慢。因此，我们将原先的空间连杆机构改成现在这种平面连杆机构，同时加长连杆的长度，提高反应速率。但是这种改动同时破坏了原有车模的稳定性，造成前桥的结构不完整，在智能车高速过弯时和加减速时前桥会发生形变，这种形变是极其有害的。因此在改动舵机位置的同时，我对前桥也进行了加固。对避震器进行了锁死处理。使整个车体近似于一个刚体没有变形的可能。



且在调整连杆时注意两前轮的转角的不同，理想的转向模型，是指在轮胎不打滑时，忽略左右两侧轮胎由于受力不均产生的变形，忽略轮胎受重力影响下的

变形时车辆的转向建模。在这种理想的模型下，车体的转向半径可以计算得到。

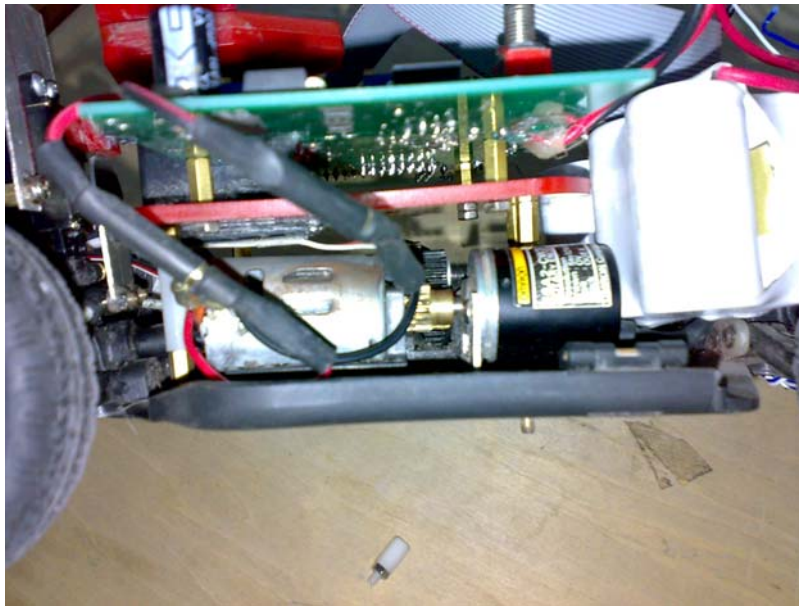


智能车转向示意图

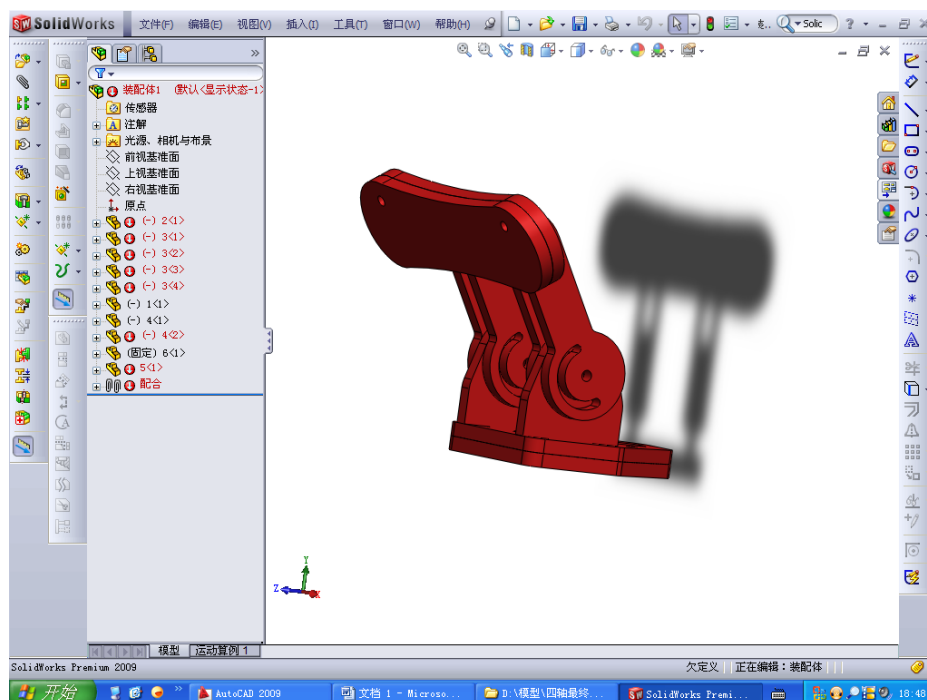
转向如图所示，假设智能车系统为理想的转向模型，且其重心位于其几何中心。车轮满足转向原理，左右轮的轴线与后轮轴线这三条直线必然交于一点。转向机构在车辆运行过程中有着非常重要的作用。合适的前桥和转向机构可以保证在车辆直线行驶过程中不会跑偏，能保证车辆行驶的方向稳定性；而在车辆转向时，合适的转向机构可以使车辆自行回到直线行驶状态，具有好的回正性。正是由于这些原因，转向系统优化设计成为智能车设计中机械结构部分的重点，直接关系到赛车能否顺利地完比赛。在实际操作中，我们通过理论计算的方案进行优化，然后做出实际结构以验证理论数据，并在实际调试过程中不断改进。

3.2 码盘的安装

作为反馈的提供者，编码器安装的精度直接影响到测速的准确和对速度控制的准确度。今年的车模所留下的安装编码器的空间有限，所以对我们选型提出了更高的要求。最终我们选择了欧姆龙公司产的 E6A2—CWZ3C 200p/r 的增量型编码器。配了 21 齿精密铜齿轮。安装时主要听声音，当声音柔和时，说明安装适当且不丢转。具体安装情况如下图：



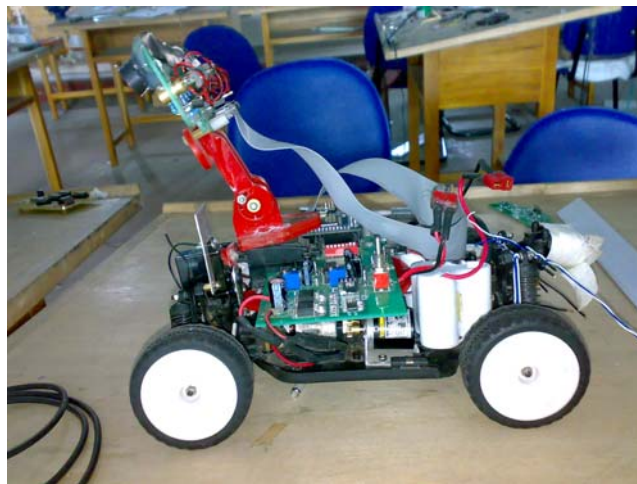
为了提高智能车的稳定性，我们决定采用双舵机的方案，增加一个摇头舵机，机构设计比较简单，就是固定舵机，保持其稳定，同时注意精度和安装位置。因为安装位置和精度直接影响到车子的对中性，因此我们选用机加工件，利用激光切割做了激光和摇头舵机的架子，机构如图：



由于车底

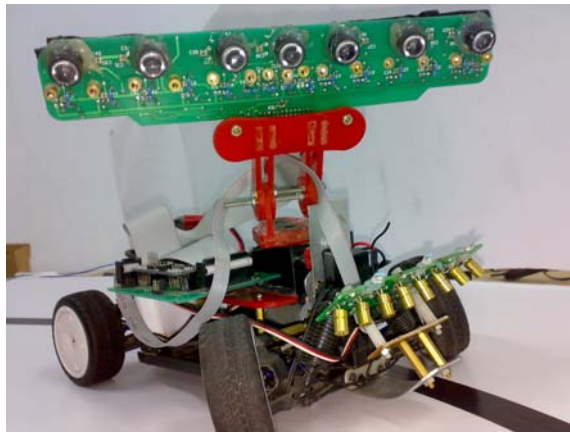
3.3 电路板的固定

由于车底盘空间较小，而且空间比较复杂，如果想完全放到底盘上难度较大且对驱动电路的散热提出了更高要求，因此我们把电路板做成了一块，整体放到了电机的上面。虽然提高了重心但是接口明了，提高了我们的调试效率。如下图：



3.4 前排激光的安装

前排激光主要用于起跑线的检测，但是考虑到要上坡，不能在上坡时接触到跑道，所以需要调整前排激光安装的高度。安装如下图：



3.5 其他的安装

车模为四驱三差速，前后各有一个差速箱，中间也有一个差速箱。这样的好处是当一个或几个轮子发生堵转时，不会使电机堵转，这样既保护了电机也保护了电路，同样这样的不好是，当一个轮子发生了打滑，整个车也不能跑。由于差速箱采用行星轮系做差速，结构较复杂，而且做工较精致，我们就没有改动整个传动部分，只是在差速箱上钻了一个小眼定期向差速箱里注入固体润滑液，保护齿轮和传动机构，延长其寿命减少机械磨损。同时注意将车的底盘进行了整体加固。加装了保险杠。

第四章 赛车硬件系统设计

4.1 核心板的设计

S12 系列单片机 MC9S12XS128 是硬件系统的核心部分，用于赛车的整体控制，包括信息的采集处理和输出。其最小系统如下所示：

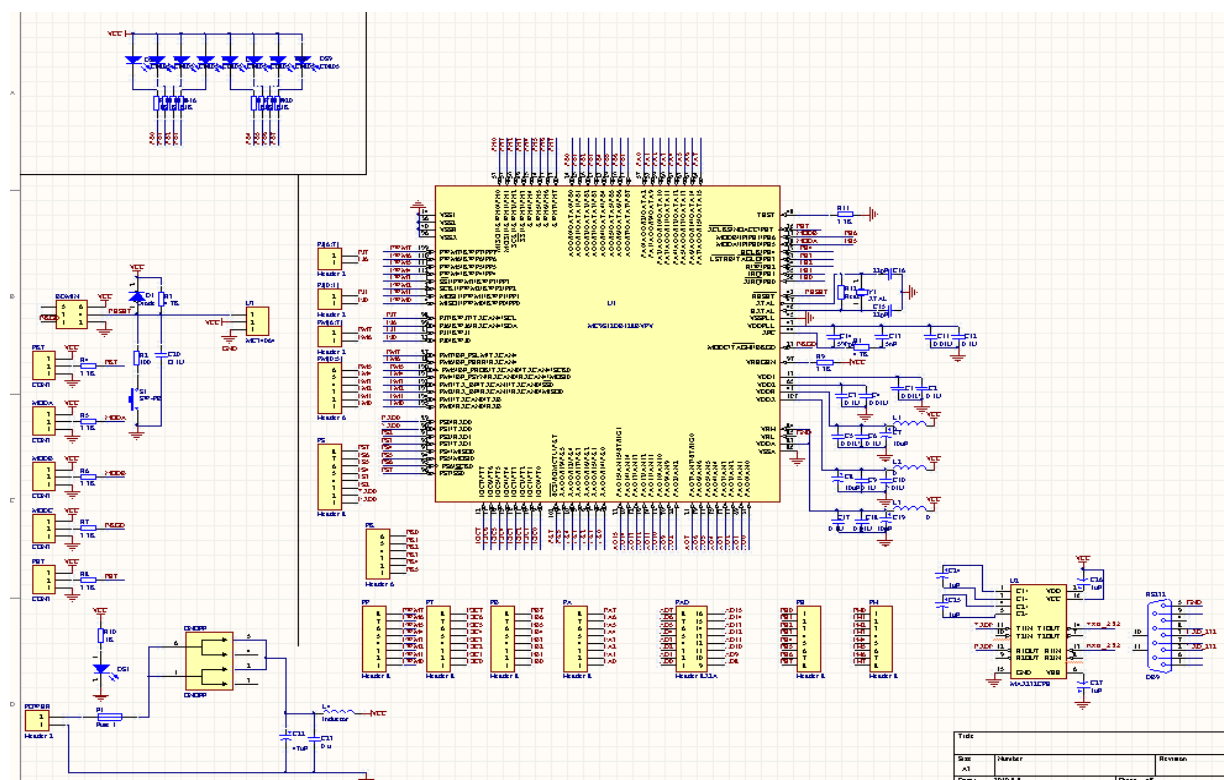


图 4-1 最小系统板

4.2 电源模块的设计

由于激光较红外的耗能小，且为 5V 供电，电源模块采用低压差线性稳压芯片 LM2940-5 和 LM2941。

LM2940 可以输出可以输出 1A 的电流，可是他的输入输出端得压差可以最低达到 0.5V。

LM2941 为可调的低压差输入稳压器，输出电压为 5V 到 20V。

所以 LM2940 为整个系统的 5V 系统（包括电机逻辑供电，激光管，传感器）供电，LM2941 给舵机供电。电机供电直接加在 7.2V 电源上。

鉴于可靠，我们采用两块 LM2940，一块给单片机，码盘，电机驱动的逻辑电平，另一块供给激光及其接收器。

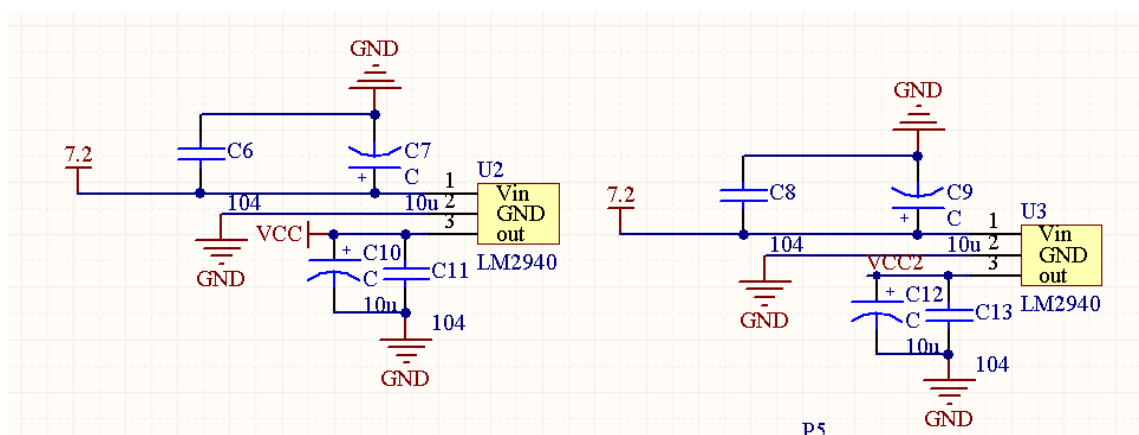


图 4-2 LM2940 原理图

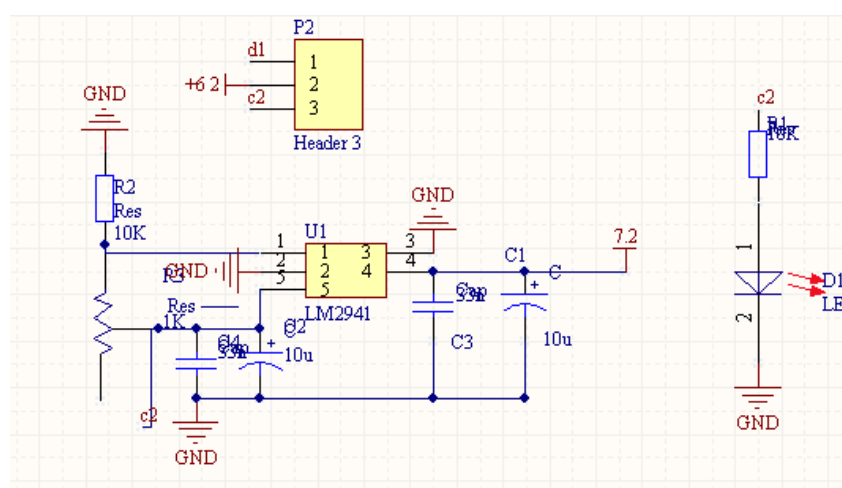


图 4-3 LM2941 原理图

4.3 电机驱动模块的设计

电机采用 H 桥驱动，市场上有许多集成的电机驱动芯片，还可以自己用分立的 MOS 管达 H 桥。

由于用分立的 MOS 管自己做驱动电路相对复杂，可靠性会下降，容易出现

问题。选用 freescale 公司的 MC33886 电机驱动集成芯片，驱动电流仅为 5A 左右，由于本届车模采用四驱，电流较大。也可以采用两片 MC33886 并联，但容易出现一个发烫另一个不发烫的情况。所以最终选用了英飞凌公司的半桥集成芯片 BTS7960。BTS7960 可以达到 43A 的电流，而且内阻较小，效率非常高，其中逻辑电路已经集成其中，使得驱动控制十分简单。

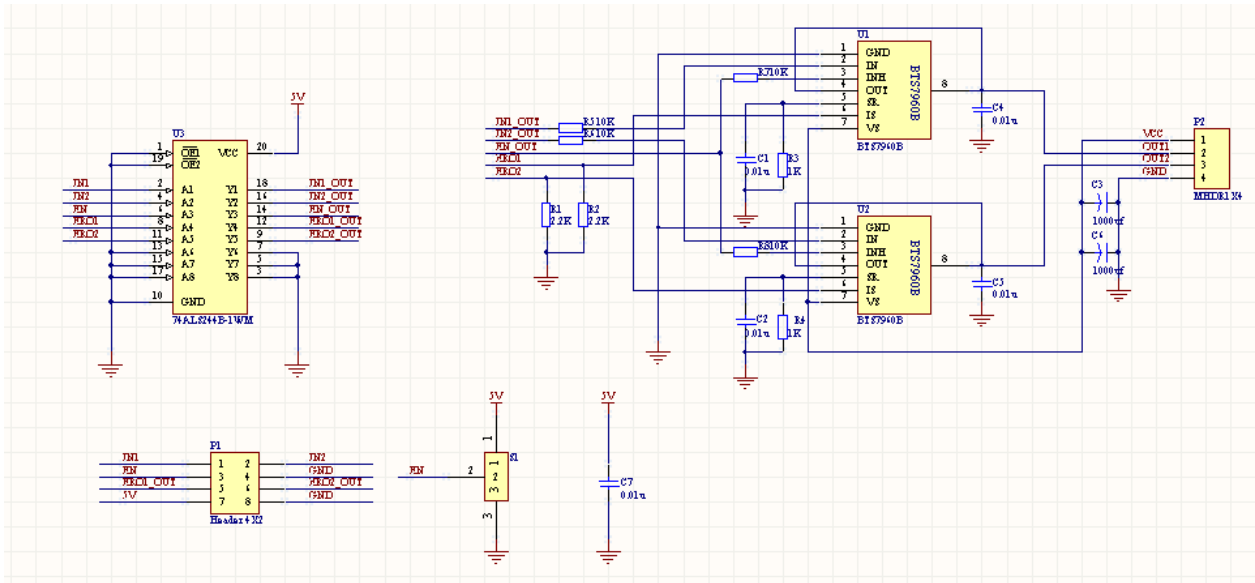


图 4-4 电机驱动模块

电机驱动与 MCU 之间通常需要进行光耦隔离，不然容易烧掉 MCU，但光耦体积较大，采用 74HC224 进行简单的隔离。

4.4 输入模块的设计

输入采用拨码开关，不用加防抖程序，编程简单，拨码开关接触可靠，不会出现干扰，适合对智能车不同模式的设置。其电路图如图所示

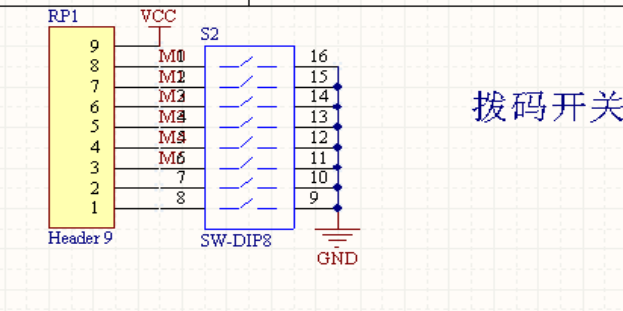


图 4-5 拨码开关

4.5 测速电路的设计

测速使用欧姆龙的 200 线旋转编码器，其有 A、B 两相联接。输出的两路信号相位差 90 度，通过这两组脉冲不仅可以测量转速，还可以判断旋转的方向。为了增加测速的精度，将 A、B 相加在异或门的两个输入端，将输出接单片机。使得 200 线编程 400 线。可以使得测速的频率提高。

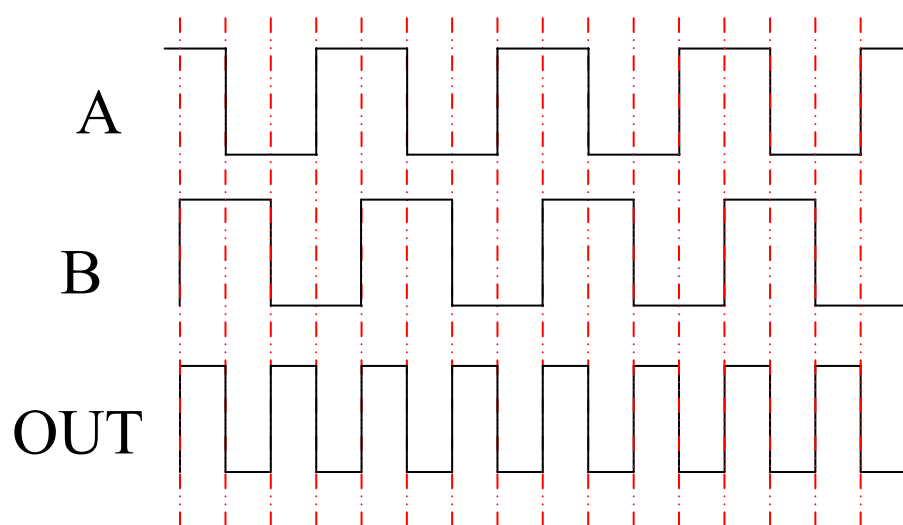


图 4-6 倍频的时序图

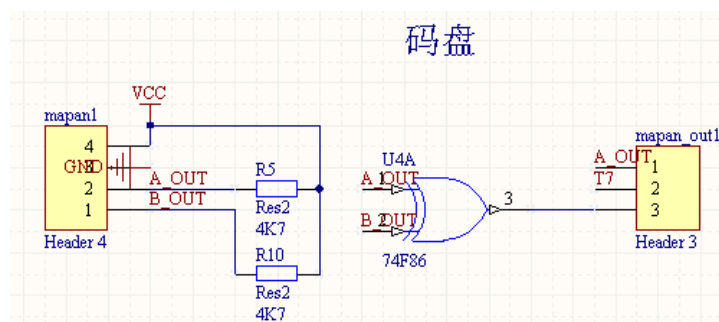


图 4-7 码盘硬件电路图

异或逻辑通过 7486 实现，通过跳帽来选择是否倍频，

4.6 激光电路的设计

在确定智能车总体方案时，我们选择光电传感器的方案。为了获得更大前瞻距离，为控制系统后续处理赢得更多的时间，在从众多光电传感器中选择了大前瞻的激光传感器，前瞻距离可以达到普通光电传感器的数倍甚至十几倍，完全满足竞赛的要求。

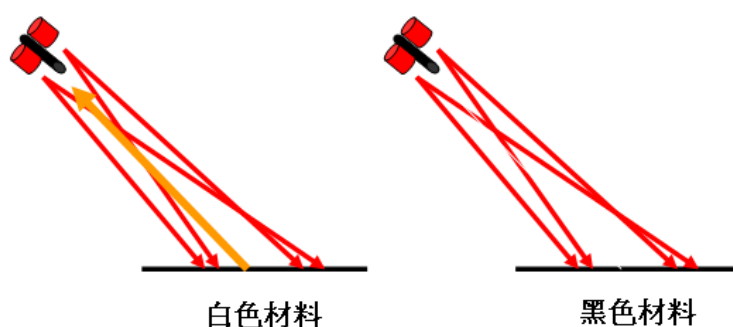


图 4-8 循迹原理和激光电路

4.7 寻起跑线电路的设计

由于激光的前瞻较远，用其判断起跑线容易误判，所以我们加了简单的光电传感器来检测起跑线的检测。

第五章 赛车软件设计

5.1 寻起跑线电路的设计

5.1.1 激光的发射与接收方案

我们采用 15 个激光，由于一个接收器可以接收 2-3 个激光的信号，所以采用 7 个激光传感器。对激光进行分时点亮，跟据接收器在某个时间段接

收到得信号，就识别出黑线位于哪个激光器的下面。

5.1.2 信号的量化算法

根据激光器检测到得信号，可以判断黑线位于车的那个方向，进而调整舵机，怎么将其采到的信号量化为车体偏移量。应用散转的算法，避免一些复杂的计算。

激光接收到得信号	偏移的量化值 ReVal
0000000000000001	0
0000000000000010	1
0000000000000100	2
0000000000001000	3
0000000000010000	4
0000000000100000	5
0000000001000000	6
0000000010000000	7
0000000100000000	8
0000001000000000	9
0000100000000000	10
0001000000000000	11
0010000000000000	12
0100000000000000	13

1000000000000000	14
------------------	----

7 为期望值 (Mid)。

5.1.3 舵机转向的实现算法

通过测量值减去期望值来表示偏移量，

$Err = ReVal - Mid$ 。

偏差乘以一个 K_p 得到舵机的 PWM 控制信号的脉冲宽度的改变量。

$Pwm = pwm0 + K_p * Err$;

为了使得转向根据有灵活性和适应性， K_p 的取值不是定值，进行分段处理。

Abs (Err)	K_p
0-3	4
3-5	7
5-7	10

5.1.4 摇头舵机的控制算法

其算法和转向的算法是一致的，只是参数的不同。

偏差乘以一个 K_{p1} 得到舵机的 PWM1 控制信号的脉冲宽度的改变量。

$Pwm1 = pwm0 + K_{p1} * Err$;

为了使得转向根据有灵活性和适应性， K_p 的取值不是定值，进行分段处理。

Abs (Err)	K_{p1}
0-3	2
3-5	5

5-7	7
-----	---

这样可以增加激光管横向的扫描的范围。也使得实际转向的 K_p 处以一个动态调整的状态，增加了其稳定性。

5.2 速度控制策略

5.2.1 速度 PID

速度控制采用增量式 **PID** 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 Δu_k 。当执行机构需要的控制量是增量，而不是位置量的绝对数值时，可以使用增量式 PID 控制算法进行控制。

$$\begin{aligned}
 \Delta u_k &= u_k - u_{k-1} = Kp(e_k - e_{k-1} + \frac{T}{Ti}e_k + Td \frac{e_k - 2e_{k-1} + e_{k-2}}{T}) \\
 &= Kp(1 + \frac{T}{Ti} + \frac{Td}{T})e_k - Kp(1 + \frac{2Td}{T})e_{k-1} + Kp\frac{Td}{T}e_{k-2} \\
 &= Ae_k + Be_{k-1} + Ce_{k-2}
 \end{aligned}$$

其中

$$\begin{aligned}
 A &= Kp(1 + \frac{T}{Ti} + \frac{Td}{T}); \\
 B &= Kp(1 + \frac{2Td}{T}); \\
 C &= Kp\frac{Td}{T}。
 \end{aligned}$$

5.2.2 速度改变策略

为了使得小车跑的平均速度最大，不能在全程使用一个速度。在转弯的时候应当适当的减速，在直道的时候加速。怎么识别直道和弯道。我们可以根据转

向控制中的 error 值来建立速度策略。

$$\text{SpdPID1.Ref} = \text{VV} - (\text{StrPID1.Err} * 6);$$

速度的给定值和 error 值成线性的关系。

5.3 坡度识别策略

车在上坡的时候，激光传感器会出现盲区，即会有多个传感器探测到黑线，把这个标志作为识别坡道的方法，为了滤除干扰，进行多次采集识别。

5.4 起跑线识别策略

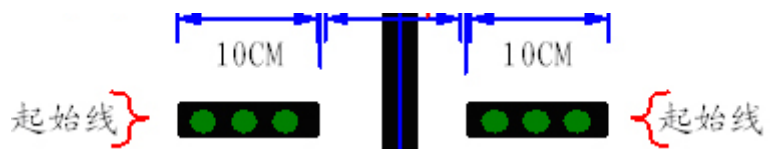


图 5-1

由于循迹激光的前瞻较大，用来作为起跑线的识别容易识别错误，所以运用八个激光的小板进行起跑线的判断。起跑线如图所示，所有会有 2 个激光看到白的，且看到白黑的变换次数为 4 次，以此进行判定。

5.5 抗干扰性略波算法。

由于无论是激光还是光电传感器，跑道外的干扰不可避免。为了避免干扰，我们减少了扫描的宽度。即下一时刻的扫描范围是以这一时刻的寻线结果有关。

第六章 开发工具及调试说明

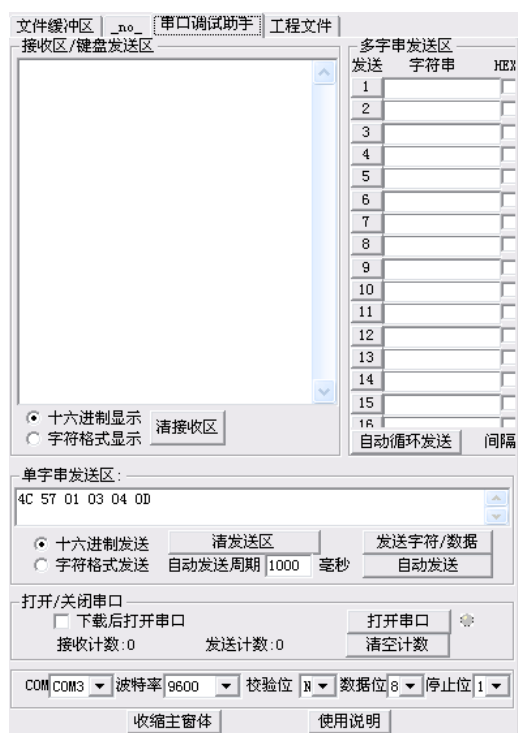
6.1 开发工具的说明

程序的开发是在组委会提供的 CodeWarrior IDE 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。

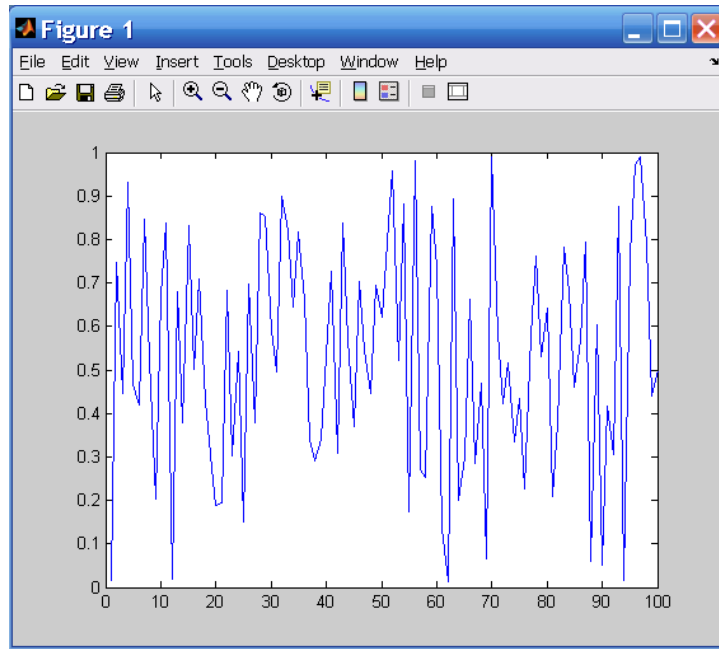
CodeWarrior for S12 是面向以 HC1 和 S12 为 CPU 的单片机嵌入式应用开发软件包。包括集成开发环境 IDE、处理器专家库、全芯片仿真、可视化参数显示工具、项目工程管理器、C 交叉编译器、汇编器、链接器以及调试器。

6.2 调试过程

主要是用无线串口，将速度和偏移量发到上位机软件上进行调试，应用软件使用 STC 的串口调试软件，其界面如下：



计算数据，描绘曲线应用 MATLAB 软件。



第七章 模型车的主要参数

7.1 智能车外形参数

车长：27cm

车宽：25cm

车高：24.5cm

车重量：2Kg

7.2 智能车功耗及电容的总量

功耗：50W

电容总量：约 1800uF

7.3 其他主要参数

传感器个数机种类：

激光传感器： 9 个

光电传感器： 1 个

外增舵机：增加一个摇头舵机

赛道的检测精度：1cm

检测频率：10ms

参考文献

- [1] 邵贝贝. 嵌入式实时操作系统[LC / OS- II (第 2 版)][M]. 北京. 清华大学出版社. 2004
- [2] 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
- [3] 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
- [4] 臧杰, 阎岩. 汽车构造[M]. 北京. 机械工业出版社. 2005
- [5] 安鹏, 马伟. S12 单片机模块应用及程序调试[J]. 电子产品世界. 2006. 第 211 期. 162-163
- [6] 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
- [9] 沈长生. 常用电子元器件使用一读通[M]. 北京. 人民邮电出版社. 2004
- [10] 宗光华. 机器人的创意设计与实践[M]. 北京. 北京航空航天大学出版社. 2004
- [11] 张伟等. Protel DXP 高级应用[M]. 北京. 人民邮电出版社. 2002