
第十三届“恩智浦”杯全国大学生 智能汽车竞赛

技 术 报 告

学 校：北京科技大学

队伍名称：北京科技大学两轮直立组

参赛队员：尹旭阳

王远航

绳浩兵

带队教师：杨珏

马飞

关于技术报告和研究论文使用授权的说明

本人完全了解第十三届“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。

绝浩兵

参赛队员签名：2远航 尹旭阳

带队教师签名：杨玉 马飞

日期：2018年8月19日

第一章	引 言	1
第二章	方案设计	3
2.1	系统总体方案的选定	3
2.2	系统总体方案的设计	3
第三章	智能汽车机械结构调整与优化	5
3.1	智能汽车车体机械建模	5
3.2	智能汽车传感器的安装	5
3.2.1	速度传感器的安装	5
3.2.2	车模倾角传感器	6
3.3	重心高度调整	6
3.3.1	电路板的安装	6
3.3.2	电池安放	6
3.4	其他机械结构的调整	6
3.5	小结	7
第四章	智能汽车硬件电路设计	8
4.1	主控板设计	8
4.1.1	电源管理模块	8
4.1.2	电机驱动模块	9
4.1.3	接口模块	14
4.2	智能汽车传感器	14
4.2.1	电感传感器的原理	15
4.2.2	磁传感器信号处理电路	15
4.2.3	磁传感器的布局原理及改进	18
4.2.4	陀螺仪	20

4.2.5 加速度传感器.....	20
4.2.6 速度传感器.....	21
4.3 键盘, OLED 显示屏	22
4.4 小结.....	23
第五章 智能汽车控制软件设计.....	25
5.1 电感采集传感器路径精确识别技术	25
5.2 寻线行驶算法实现	26
定位算法.....	26
5.3 弯道的处理	29
5.3.1 弯道策略分析	29
5.3.2 对速度的闭环控制.....	29
5.4 小结	30
第六章 开发工具、制作、安装、调试过程说明.....	32
6.1 开发工具.....	32
6.2 调试过程.....	32
6.2.1 上位机系统.....	32
6.2.2 控制算法的参数整定.....	33
第七章 模型车主要参数.....	36
7.1 智能汽车外形参数.....	36
7.2 电路部分参数.....	36
7.3 传感器个数以及种类.....	36
7.4 赛道信息检测精度、频率	36
结 论.....	- 37 -
参考文献.....	39

附录 程序源代码.....	40
---------------	----

第一章 引言

全国大学生智能汽车竞赛是以“立足培养、重在参与、鼓励探索、追求卓越”为指导思想，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，使用飞思卡尔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。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。

自从第五届出现磁导组开始到今年第十三届比赛，电磁小车已经在智能车的赛道上奔驰了九年，从第六届取消了前瞻长度的限制，电磁车速度开始有了质的飞跃，第七届改成直立状态行走以其独特魅力和新的技术挑战让参赛者向往不已；第八届改回四轮行进方式并采用了 A 车模，小车的速度再次出现大幅提升；到第十届同样是四轮行进并采用了 B 车模进行双车追逐；到第十一届再次改成直立行走并且可以选择 D 车模和 E 车模，小车的观赏性与难度都增加许多。随着电磁小车的传感器及传感器布局都已经几近相同，考验车手的更多的将是细节和控制算法。

在这份报告中，我们小组通过对小车设计制作整体思路、电路、算法、调试、车辆参数的介绍，详尽地阐述了我们的思想和创意，具体表现在电路的创新设计，以及算法方面的独特想法，而对单片机具体参数的调试也让我们付出了艰辛的劳动。这份报告凝聚着我们的心血和智慧，是我们共同努力后的成果。

在准备比赛的过程中，我们小组成员涉及控制、模式识别、传感技术、汽车电子、电气、计算机、机械等多个学科，这次磨练对我们的知识融合和实践动手能力的培养有极大的推动作用，在此要感谢清华大学，感谢他们将这项很有意义的科技竞赛引入中国；也感谢北京科技大学相关学院对此次比赛的关注，我们的成果离不开学校的大力支持及指导老师悉心的教导；还要感谢的是和我们一起协作的队员们，协助，互促，共勉使我们能够走到今天。

第二章 方案设计

本章主要简要地介绍智能车系统总体设计思路，在后面的章节中将整个系统分为机械结构、控制模块、控制算法等三部分对智能车控制系统进行深入的介绍分析。

2.1 系统总体方案的选定

根据竞赛规则相关规定，智能车系统采用大赛组委会统一提供的 D 型车模，以飞思卡尔半导体公司生产的 32 位微控制器

KEA 作为核心控制器，在 IAR 开发环境中进行软件开发。赛车利用加速度计和陀螺仪分别获取当前赛车的角度和角速度，由车体前方的电磁传感器采集，经内部 AD 进行模数转换后，输入到控制核心，用于赛车的运动控制决策。通过编码器测速模块来检测车速，并采用 KEA 的输入捕捉功能进行脉冲计数计算速度和路程；电机转速控制采用 PID 控制，通过 PWM 控制驱动电路调整电机的转速，完成智能车速度的闭环控制。此外，还增加了键盘作为输入输出设备，用于智能车的角度和方位控制。

2.2 系统总体方案的设计

根据以上系统方案设计，赛车共包括六大模块：KEA 主控模块、传感器模块、电源模块、电机驱动模块、速度检测模块辅助调试模块。各模块的作用如下：

1. KEA 主控模块：作为整个智能车的“大脑”，将采集电感传感器、编码器等传感器的信号，根据控制算法做出控制决策，驱动两个直流电机完成对智能车的控制。

2. 传感器模块：是智能车的“眼睛”，可以通过一定的前瞻性，提前感知前方的赛道信息，为智能车的“大脑”做出决策提供必要的依据和充足的反应时间。

3. 电源模块：为整个系统提供合适而又稳定的电源。

4. 电机驱动模块：驱动两个直流电机完成智能车的加减速控制和转向控制。

5. 速度检测模块：检测反馈智能车后轮的转速，用于速度的闭环控制。
6. 辅助调试模块：主要用于智能车系统的功能调试、赛车状态监控等方面。

第三章 智能汽车机械结构调整与优化

智能汽车各系统的控制都是在机械结构的基础上实现的，因此在设计整个软件架构和算法之前一定要对整个模型车的机械结构有一个全面清晰的认识，然后建立相应的数学模型，从而再针对具体的设计方案来调整赛车的机械结构，并在实际的调试过程中不断的改进优化和提高结构的稳定性。本章将主要介绍智能汽车模型车型的机械结构和调整方案。

3.1 智能汽车车体机械建模

此次竞赛选用的是东莞博思公司生产的智能车竞赛专用模型车(D1 型模型车)，配套的电机型号为 RS-380。智能车的控制采用的是双后轮驱动方案。智能车的外形大致如下：

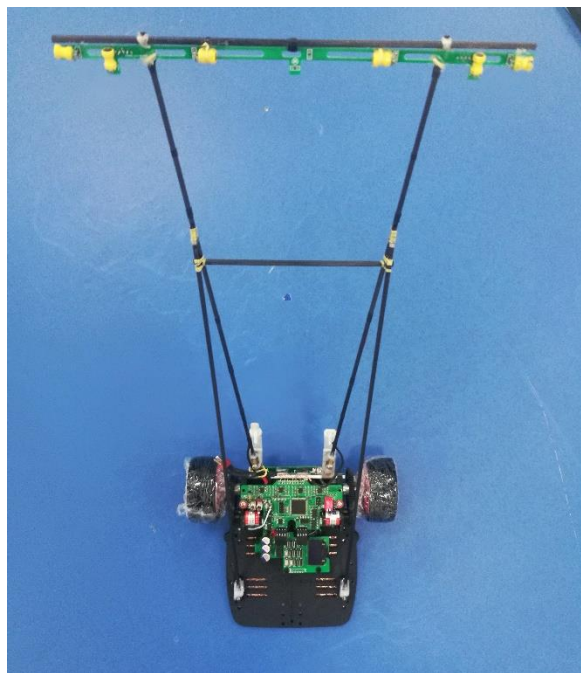


图 3.1 智能汽车外形图

3.2 智能汽车传感器的安装

3.2.1 速度传感器的安装

速速度传感器我们使用了龙邱编码器，安装在 D 车模设计的编码器固定位置，安装可靠性高，且便于安装和拆卸。

3.2.2 车模倾角传感器

车模倾角传感器包括陀螺仪和加速度计。它们都是表贴元器件，单独固定在一块小电路板上，然后将其与车身相互固定，从而保证检测数据的可靠性。

3.3 重心高度调整

重心的高度是影响智能车稳定性的因素之一。当重心高度偏高时，智能车在转弯过程中会发生抬轮现象，严重时甚至翻车。因此，从小车稳定性出发，我们尽量降低重心高度，从而保证小车可靠稳定。

3.3.1 电路板的安装

为了使小车具有较好的稳定性及转向性能，我们在搭建小车时尽量选择降低重心，因此也将电路板安装在了电机上方，从而实现降低重心，提高小车的稳定性。

3.3.2 电池安放

同样为实现降低重心，提高小车稳定性的目的，我们制作了两片铝条，然后固定在电机上方，进而用于固定电池，最大程度的降低了小车的重心。

3.4 其他机械结构的调整

另外，在模型车的机械结构方面还有很多可以改进的地方，比如说车轮、传感器的保护等方面。由于直立小车的直立行驶及转向都是通过后轮实现的，因此当小车在转向时，模型车的轮胎与轮毂之间很容易发生相对位移，可能导致在加速时会损失部分驱动力，而且使小车的状态不稳。因此，我们在实际调试过程中对车轮进行了粘胎处理，可以有效地防止由于轮胎与轮毂错位而引起的驱动力损失的情况。

为了保护模型车传感器支架，在车模机械设计的时候，我们增添了防撞保护装置，使一旦车模倾倒或者失控，防撞保护装置可保护车模机械的安全性，保证小车状态的稳定性。

3.5 小结

模型车的性能与机械结构有着非常密切的联系。良好的机械结构是模型车提高速度的关键基础。在同等的控制环境下，机械机构的好坏对其速度的影响十分显著。我们非常重视对智能汽车的机械结构的改进，经过大量的理论研究和实践，我们小车的大部分质量都集中在两轮前后，达到降低重心的目的，从而提高了小车整体的稳定性和可靠性。

第四章 智能汽车硬件电路设计

4.1 主控板设计

4.1.1 电源管理模块

首先了解一下不同电源的特点，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止区即开关状态的。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，纹波也很小，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。

电源模块对于一个控制系统来说极其重要，关系到整个系统是否能够正常工作，因此在设计控制系统时应选好合适的电源模块。竞赛规则规定，比赛使用智能汽车竞赛统一配发的标准车模用 7.2V 2000mAh Ni-cd 供电，而单片机系统、陀螺仪和加速度传感器均使用的是 3.3V 的电源。编码器需要 5V 电源，智能汽车电压调节电路示例见图 4.1。

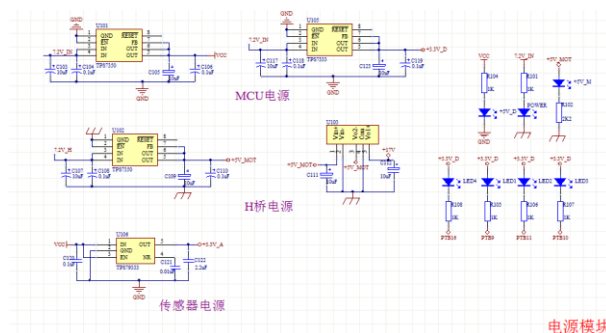


图 4.1 电源管理模块原理图

5V 电源模块用于为 74HC08, 74HC14, 光电对管供电。常用的电源有串联型线性稳压电源（LM2940、TPS 系列、7805 等）和开关型稳压电源（LM2596、LM2575、AS1015 等）两大类。前者具有纹波小、电路结构简单的优点，但是效

率较低，功耗大；后者功耗小，效率高，电流大，但电路却比较复杂，电路的纹波大。本次电路 5V 的电源分成 2 个稳压芯片来提供，一个为 H 桥芯片 IR2184S 提供 5V 电源，另一个为速度传感器和逻辑转换芯片提供电源。由于本次使用的是 KEA 单片机和电感采集传感器。这些模块均要求使用 3.3V 电源。3.3V 电源也分为 2 个电源，一个为传感器供电，另一个为单片机，键盘，拨码开关供电。总体上来说，我们电源的分离是为了减小传感器电源的稳定。电感采集传感器，加速度计都是模拟传感器，电源的纹波将影响传感器的性能。减小电源的纹波的大小可以保证传感器的可靠性。

4.1.2 电机驱动模块

本次电磁直立组需要驱动 2 个电机，驱动的设计尤为重要。常用的电机驱动有两种方式：一、采用集成电机驱动芯片；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，飞思卡尔公司的 33886 型芯片性能较为出色，该芯片具有完善的过流、欠压、过温保护等功能，内部 MOSFET 导通电阻为 120 毫欧，具有最大 5A 的连续工作电流。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。

1. 专用栅极驱动芯片的选择：

IR 公司号称功率半导体领袖，所以我们主要在 IR 公司的产品中进行选择。其中 IR2184 型半桥驱动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 IR2184 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。由于其功能完善，价格低廉容易采购，所以我们选择它进行设计，如图 3.2 所示。

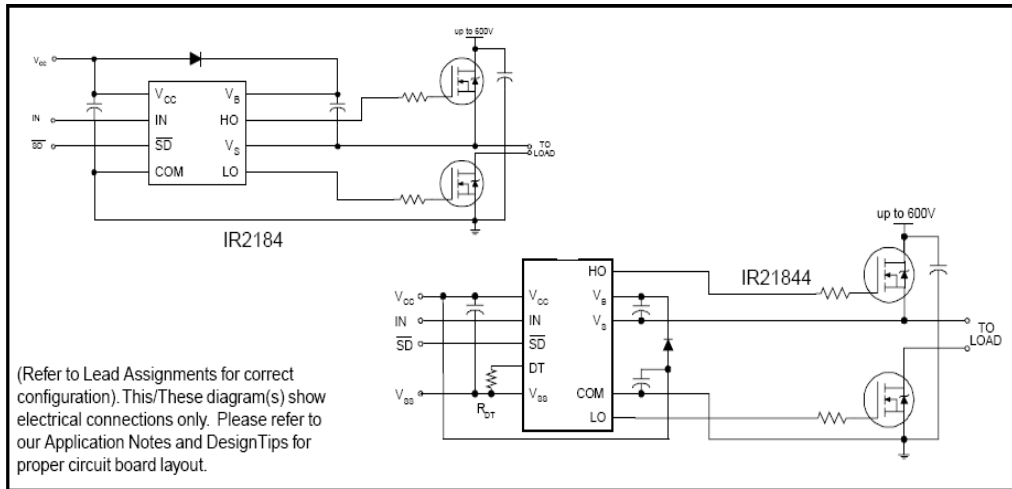


图 4.2 IR2184 应用图

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。智能汽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、SO-8 等，TO-252 封装功率较大、而栅极电荷较小。于是我们最终选择了 IR 公司 TO-252 封装的 LR7843 型 N 沟道 MOSFET， $V_{DS} = 55$ 伏、 $R_{DS(on)} = 8.0$ 毫欧、 $I_D = 110$ 安。

3. 控制逻辑电路设计:

IR2184 的控制信号有两个管脚：IN 和 SD。IR2184 输入输出信号关系图如图 3.3 所示：

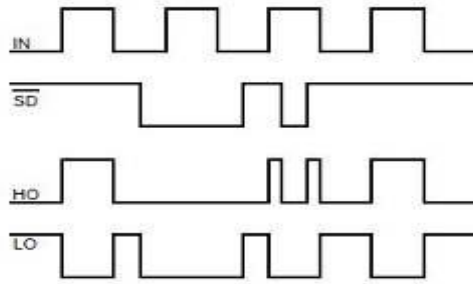


图 4.3 IR2184 输入输出关系图

而当两片 IR2184 驱动如图 3.4 所示可逆桥式电路时，其真值表为表 3.1：

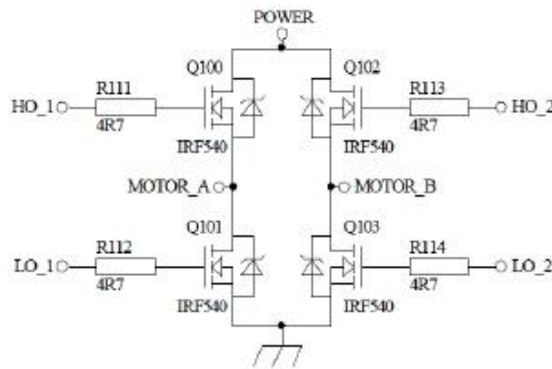


图 4.4 可逆桥式电路

表 4.1 可逆桥式电路中 IR2184 输入输出信号真值表

状态	输入				输出			
	I N1	S D1	I N2	S D2	H O1	L O1	H O2	L O2
正 转	H	H	L	H	H	L	L	H
反 转	L	H	H	H	L	H	H	L

上								
桥臂	H	H	H	H	H	L	H	L
制动								
下								
桥臂	L	H	L	H	L	H	L	H
制动								
关								
闭	X	L	X	L	L	L	L	L

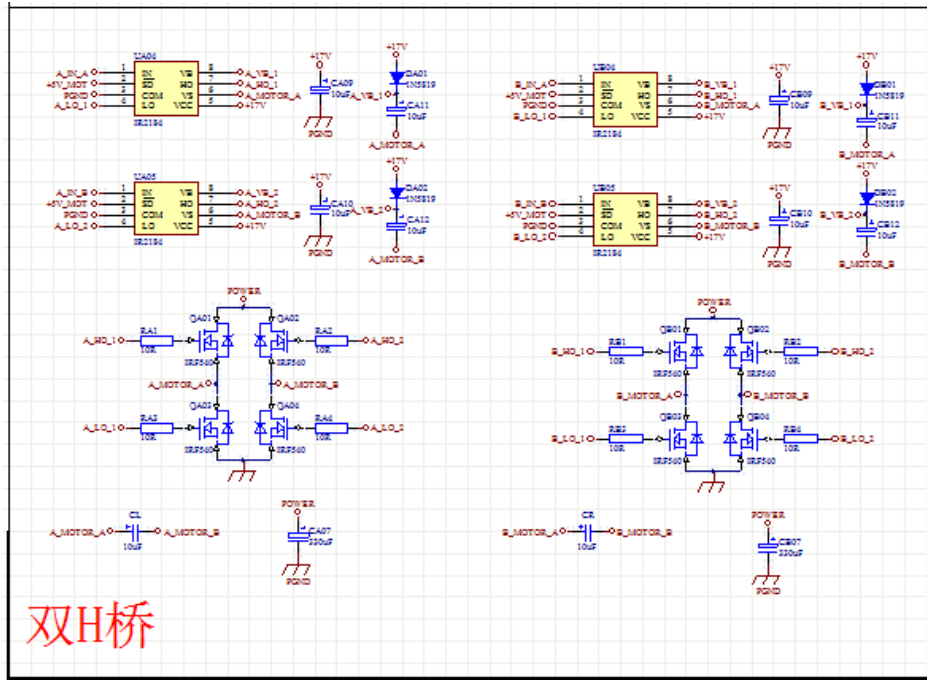


图 4.5 单极性桥式电路

我们用两片 IR2184 及四个 MOSFET 组成全桥的电机驱动电路，并且采用单极性的控制模式，PWM 的占空比在 0% 之时电机速度为零，0~100% 控制转速，H_D 信号控制转向。

4、驱动电路的原理分析及元件参数确定

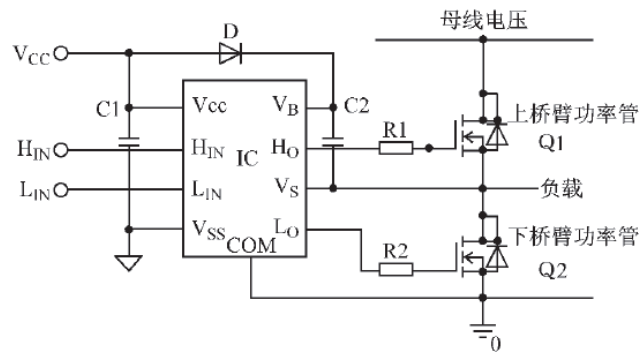


图 4.6 电机驱动分析图

这个驱动设计单从信号逻辑上分析比较容易理解，但要深入的理解和更好的应用，就需要对电路做较深入的分析，对一些外围元件的参数确定做理论分析计算。图 3.6 中 IC 是一个高压驱动芯片，驱动 2 个半桥 MOSFET。 V_b, V_s 为高压端供电； H_o 为高压端驱动输出；COM 为低压端驱动供电， L_o 为低压端驱动输出； V_{ss} 为数字电路供电。此半桥电路的上下桥臂是交替导通的，每当下桥臂开通，上桥臂关断时 V_s 脚的电位为下桥臂功率管 Q2 的饱和导通压降，基本上接近地电位，此时 V_{cc} 通过自举二极管 D 对自举电容 C2 充电使其接近 V_{cc} 电压。当 Q2 关断时 V_s 端的电压就会升高，由于电容两端的电压不能突变，因此 V_b 端的电平接近于 V_s 和 V_{cc} 端电压之和，而 V_b 和 V_s 之间的电压还是接近 V_{cc} 电压。当 Q2 开通时，C2 作为一个浮动的电压源驱动 Q2；而 C2 在 Q2 开通期间损失的电荷在下一个周期又会得到补充，这种自举供电方式就是利用 V_s 端的电平在高低电平之间不停地摆动来实现的。由于自举电路无需浮动电源，因此是最便宜的，如图所示自举电路给一只电容器充电，电容器上的电压基于高端输出晶体管源极电压上下浮动。图 2.6 中的 D 和 C2 是 IR2184 在脉宽调制（PWM）应用时应严格挑选和设计的元器件，根据一定的规则进行计算分析；并在电路实验时进行调整，使电路工作处于最佳状态，其中 D 是一个重要的自举器件，应能阻断直流干线上的高压，其承受的电流是栅极电荷与开关频率之积，为了减少电荷损失，应选择反向漏电流小的快恢复二极管，芯片内高压部分的供电都来自图中自举电容 C2 上的电荷；为保证高压部分电路有足够的能量供给，应适当选取 C2 的大小。

MOSFET 具有相似的门极特性，开通时需要在极短的时间内向门极提供足够的栅电荷，在自举电容的充电路径上，分布电感影响了充电的速率，下桥臂功率管的最窄导通时间应保证自举电容有足够的电荷，以满足栅极所需

要的电荷量再加上功率器件稳态导通时漏电流所失去的电荷量.因此,从最窄导通时间为最小值考虑,自举电容应足够小;综上所述,在选择自举电容大小时应考虑,既不能太大影响窄脉冲的驱动性能;也不能太小影响宽脉冲的驱动要求,应从功率器件的工作频率、开关速度、门极特性等方面进行选择、估算后调试而定。

4.1.3 接口模块

1.模数转换接口

由于 KEA 的内部 AD 比较精确,我们在测试外部 AD 后结果显示其结果与内部 AD 相差不大,而且方差较内部 AD 更大,当然这也有可能是测试方法有问题。内部 AD 较外部 AD 可以简化电路设计,综合考虑这下我们还是决定使用内部 AD,考虑到我们所使用的传感器数量,引出 8 路 AD。

2. 陀螺仪接口

陀螺仪在保持车身的平衡方面极其重要,为了方便更换,我们并未将陀螺仪直接画在主板上。由于使用的是单片机本身的 AD,所以陀螺仪的接口很简单。电路如下所示。

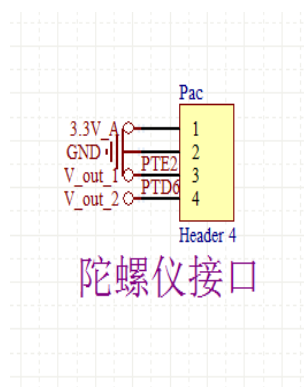


图 4.7 陀螺仪接口

4.2 智能汽车传感器

由于今年比赛规则对电磁平衡组的传感器有明确的规定,所以我们在传感器的选择上没有花费时间。对于传感器的优化,我们也主要是传感器对环境的适应性方面做了一些工作。

根据竞赛组委会的相关规定，我们选用磁传感器，磁传感器的应用首先在于选型，为了找出适合的磁传感器，我们查阅了许多的产品资料，进行了大量的电感测试，发现只有在 10mH 电感中，得到感应电动势曲线是较为规整的正弦波，频率和赛道电源频率一致，为 20kHz，幅值较其他型号的大，且随导线距离变化，规律为近大远小。其他电感得到信号不好，频率幅值变化杂乱，不宜采用。

4.2.1 电感传感器的原理

根据电磁学，我们知道在导线中通入变化的电流（如按正弦规律变化的电流），则导线周围会产生变化的磁场，且磁场与电流的变化规律具有一致性。如果在此磁场中置一由线圈组成的电感，则该电感上会产生感应电动势，且该感应电动势的大小和通过线圈回路的磁通量的变化率成正比。由于在导线周围不同位置，磁感应强度的大小和方向不同，所以不同位置上的电感产生的感应电动势也应该是不同。据此，则可以确定电感的大致位置。

4.2.2 磁传感器信号处理电路

确定使用电感作为检测导线的传感器，但是其感应信号较微弱，且混有杂波，所以要进行信号处理。要进行以下三个步骤才能得到较为理想的信号：信号的滤波，信号的放大，信号的检波。

1) 信号的滤波

比赛选择 20kHz 的交变磁场作为路径导航信号，在频谱上可以有效地避开周围其它磁场的干扰，因此信号放大需要进行选频放大，使得 20kHz 的信号能够有效的放大，并且去除其它干扰信号的影响。使用 LC 并联谐振电路来实现选频电路（带通电路），如图 4.8 所示。

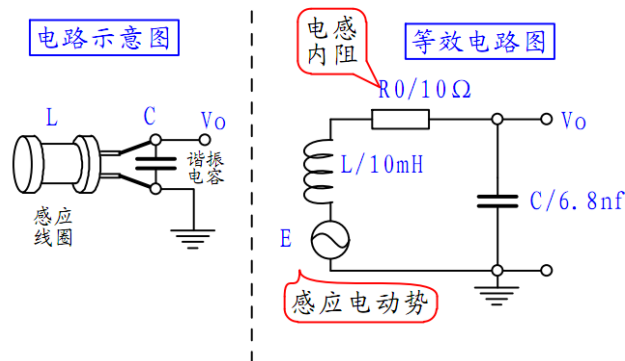


图 4.8 LC 并联电路

其中，E 是感应线圈中的感应电动势，L 是感应线圈的电感值，R0 是电感的内阻，C 是并联谐振电容。电路谐振频率为：

$$f = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \quad (4.1)$$

已知感应电动势的频率 $f=20\text{kHz}$ ，感应线圈电感为 $L=10\text{mH}$ ，可以计算出谐振电容的容量为 $C=6.33\times 10^{-9}\text{F}$ 。通常在市场上可以购买到的标称电容与上述容值最为接近的电容为 6.8nF ，所以在实际电路中选择 6.8nF 的电容器作为谐振电容。

2) 信号的放大

由第一步处理后的电压波形已经是较为规整的 20kHz 正弦波，但是幅值较小，随着距离衰减很快，不利于电压采样，所以要进行放大，官方给出的如下参考方案即用三极管进行放大，但是用三极管放大有一个不可避免的缺点就是温漂较大，而且在实际应用中静电现象严重。

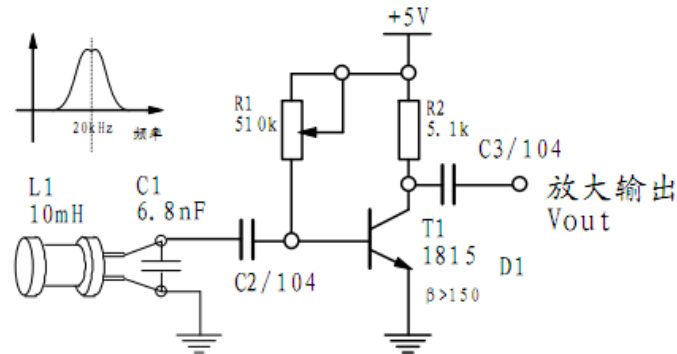


图 4.9 共射三极管放大电路

因此我们放弃三极管放大的方案，而是采用集成运放进行信号的放大处理，集成运放较三极管优势是准确受温度影响很小，可靠性高。集成运放放大电路有同相比比例运算电路和反相比比例运算电路，我们在实际中使用反相比比例运算电路。由于运放使用单电源供电，因此在同相端加 $v_{cc}/2$ 的基准电位，基准电位由电阻分压得到。

3) 信号的检波

测量放大后的感应电动势的幅值 E 可以有多种方法。最简单的方法就是使用二极管检波电路将交变的电压信号检波形成直流信号，然后再通过单片机的 AD 采集获得正比于感应电压幅值的数值。

我们采用的为竞赛组委会给出的第一种方案即使用两个二极管进行倍压检波。倍压检波电路可以获得正比于交流电压信号峰峰值的直流信号。为了能够获得更大的动态范围，倍压检波电路中的二极管推荐使用肖特基二极管或者锗二极管。由于这类二极管的开启电压一般在 $0.1\sim 0.3V$ 左右，小于普通的硅二极管 ($0.7V$)，可以增加输出信号的动态范围和增加整体电路的灵敏度。这里选用常见的肖特基二极管 1N5817。

最终方案确定如下

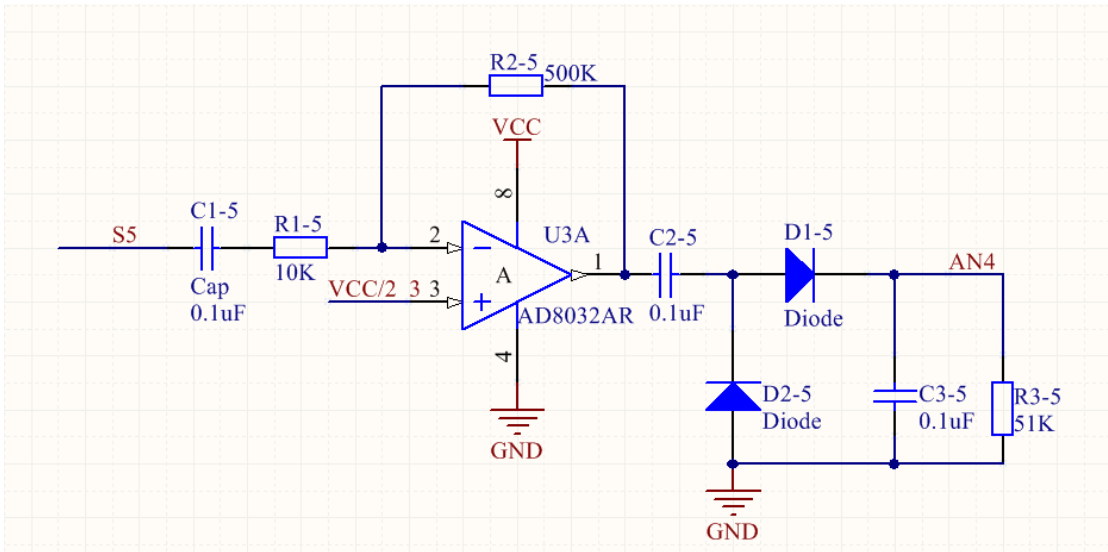


图 4.10 最终方案

4.2.3 磁传感器的布局原理及改进

对于直导线，当装有小车的中轴线对称的两个线圈的小车沿其直线行驶，即两个线圈的位置关于导线对称时，则两个线圈中感应出来的电动势大小应相同、且方向亦相同。若小车偏离直导线，即两个线圈关于导线不对称时，则通过两个线圈的磁通量是不一样的。这时，距离导线较近的线圈中感应出的电动势应大于距离导线较远的那个线圈中的。根据这两个不对称的信号的值，即可调整小车的方向，引导其沿直线行驶。

对于弧形导线，即路径的转弯处，由于弧线两侧的磁力线密度不同，则当载有线圈的小车行驶至此处时，两边的线圈感应出的电动势是不同的。具体的就是，弧线内侧线圈的感应电动势大于弧线外侧线圈的，据此信号可以引导小车拐弯。

另外，当小车驶离导线偏远致使两个线圈处于导线的一侧时，两个线圈中感应电动势也是不平衡的。距离导线较近的线圈中感应出的电动势大于距离导线较远的线圈。由此，可以引导小车重新回到导线上。

由于磁感线的闭合性和方向性，通过两线圈的磁通量的变化方向具有一致性，即产生的感应电动势方向相同，所以由以上分析，比较两个线圈中产生的感

应电动势大小即可判断小车相对于导线的位置，进而做出调整，引导小车大致循线行驶。

采用双水平线圈检测方案，在边缘情况下，其单调性发生变化，这样存在一个定位不清的区域（如图 3.11 箭头所指）。同一个差值，会对应多个位置，不利于定位。另外，受单个线圈感应电动势的最大距离限制，两个线圈的检测广度很有限。

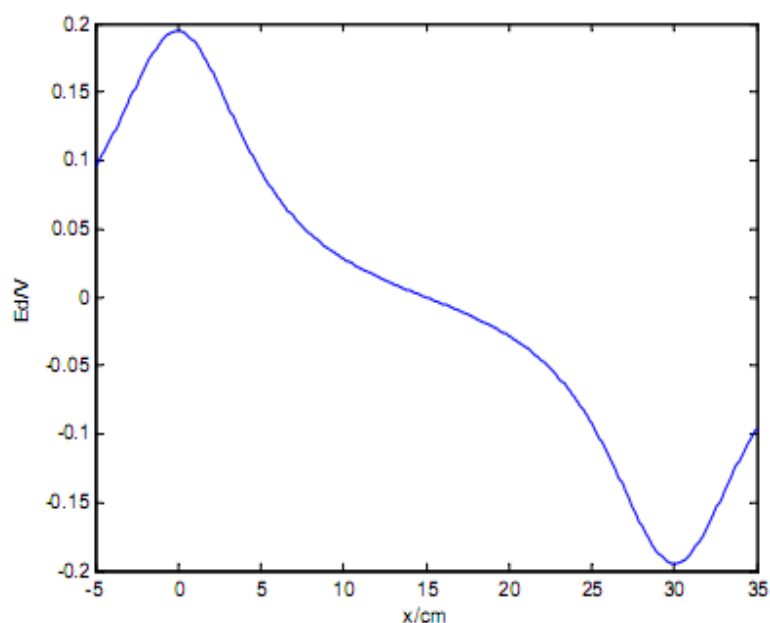


图 4.11 双线圈差值法有定位不清区域

现提出一种优化方案：4 个水平放置的电感按“一”字排布，每一边 2 个电感相距约为 7.5cm（见图 4.12），这样覆盖赛道范围约为 25cm。4 个“一”字排布的电感可以大大提高检测密度和广度，向前有两个电感，最可以提高前瞻，改善小车入弯状态和路径。

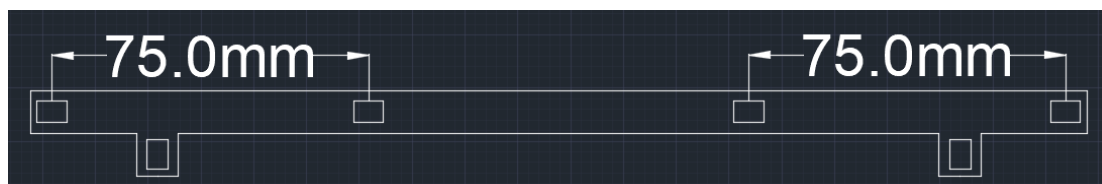


图 4.12 电感排布检测方案

4.2.4 陀螺仪

今年大赛没有规定陀螺仪的型号，但是经过挑选，还是选择恩智浦的 FXAS21002，加速度计使用 MMA7361。

FXAS21002 陀螺仪是一款小型、低功耗的三轴数字陀螺仪，带有 16 位 ADC 分辨率。有比较小的体积和高的灵敏度，集成低通滤波器使主应用程序能限制数字信号带宽和噪声。其工作电压范围为 1.95~3.6V。其工作电路如图 3.10 所示。

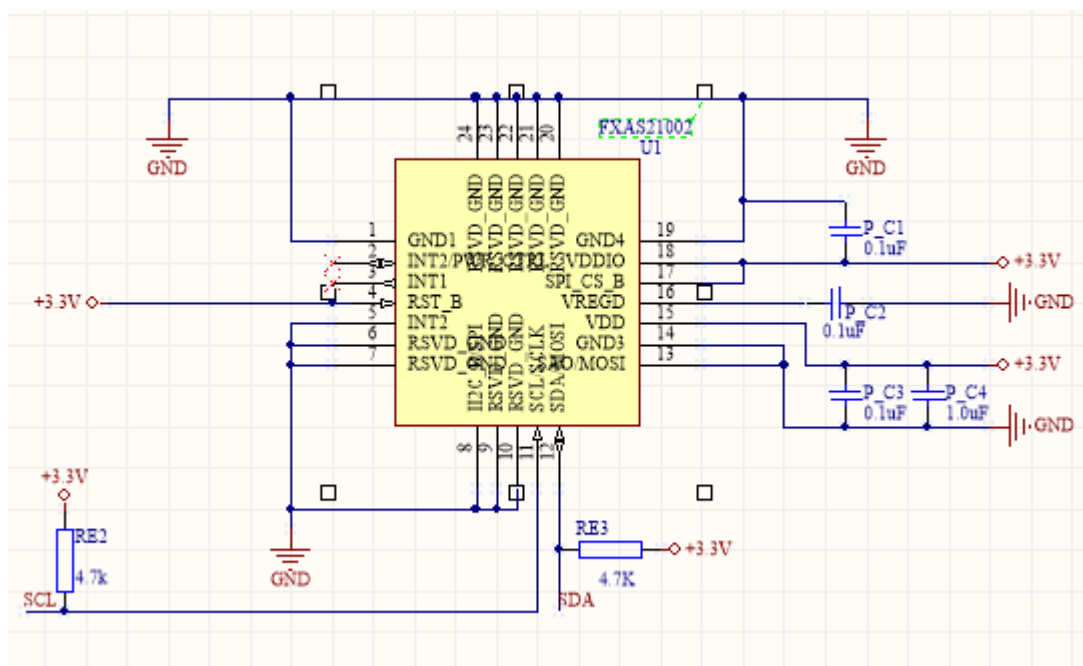


图 4.13 陀螺仪电路图

4.2.5 加速度传感器

由于陀螺仪有严重的温度漂移，对陀螺仪的积分并不能得到当前车身的准确的角度。也就无法控制车身的平衡，因此为了得到当前的车身角度，必须使用加速度计。我们使用的是 MMA7361，MMA7361 具有工作电压第（2.2~3.6V），灵敏度高(800mv/g)的特点。MMA7361 是三轴加速度计。其三个输出信号与对应的轴的加速度成比例。陀螺仪的输出不需要接放大电路，唯一的外围器件就是低通滤波电路，由于输出后没有负载，仅作为 ADC 的信号，这里采用官方的 (1K,0.1uF)的无源低通滤波。电路如图 3.11 所示。

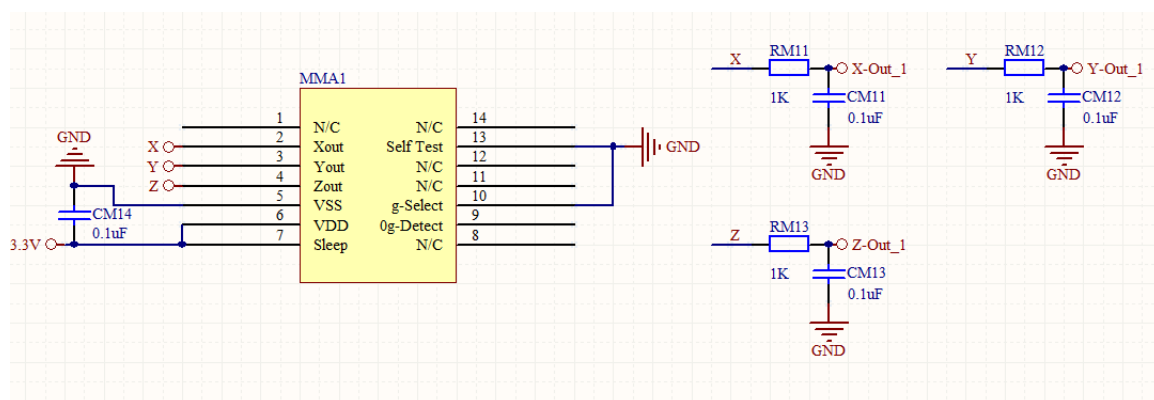


图 4.14 加速度计原理图

4.2.6 速度传感器

为了使用闭环控制，我们在汽车模型上附加了编码器。和其他元件相比，选用编码器可以使电路更加完善，信号更加精确。编码器功耗低，重量轻，抗冲击抗震动，精度高，寿命长，非常实用。编码器内部无上拉电阻，因此编码器接口出需要设计上拉电阻。同时为了保证波形的稳定，主控板上使用了 74HC14 非门隔离。KEA 自身具有正交解码功能，因此这里无需使用任何外围计数辅助器件，只需要将接口连接到单片机上相应的接口即可。接口如图 3.11 和图 3.12 所示。

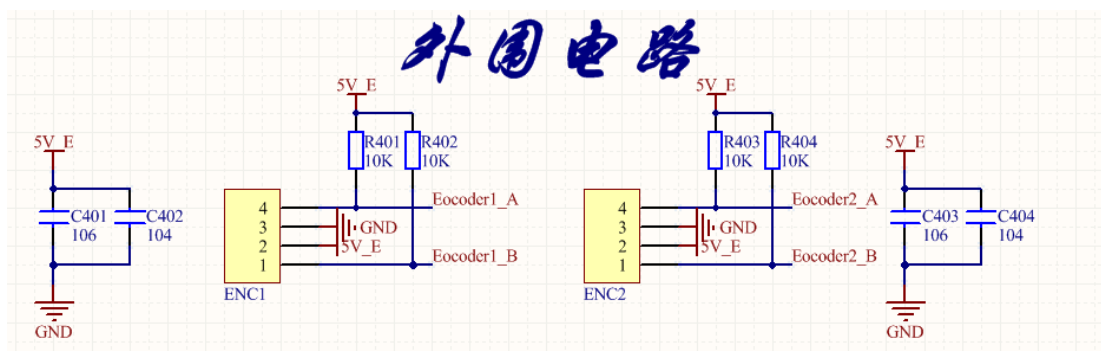


图 4.15 对管的接口部分

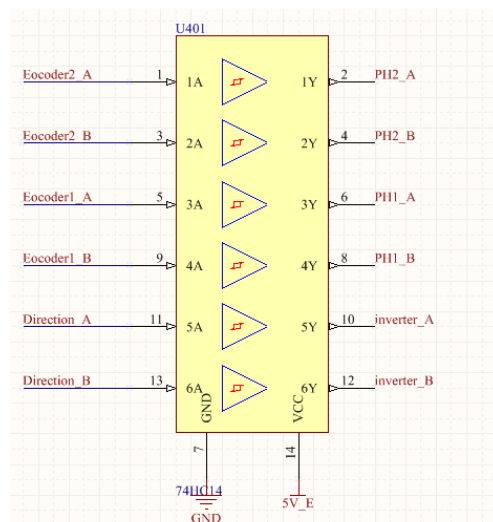


图 4.16 非门

4.3 键盘，OLED 显示屏

在调试过程之中，我们需要实时的了解与掌握一些车的运行状态，比如说传感器的状态，编码器的返回值等，调试时用 OLED 显示屏将这些参数显示出来，让我们实时的监测车的状态，从而做出判断，这样很大程度的方便了对车的调试。有时候需要对参数作修改处理，如果每修改一个数据就下载一次程序的话，就会浪费时间，这时应用键盘，它就起到一个人机交互的作用。

我们选用 CH455 控制芯片，它可以动态驱动 4 位数码管或 32 只 LED 同时还可以进行 28 键的键盘扫描。

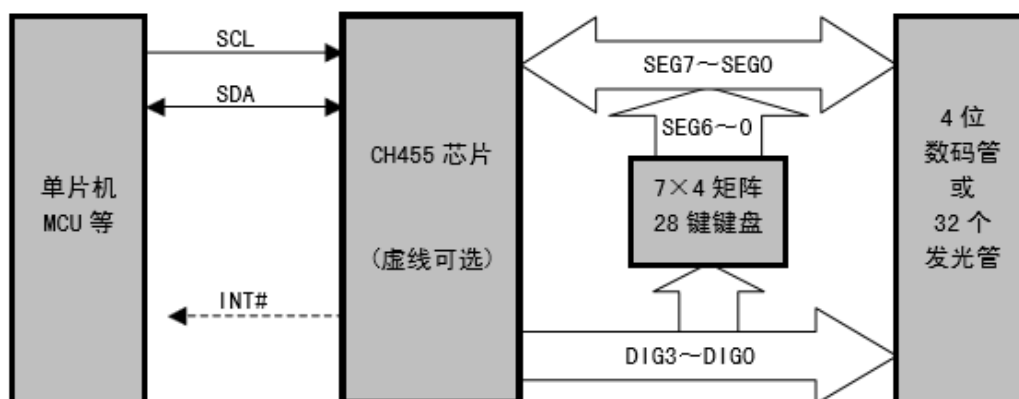


图 4.17 CH455 内部功能框图

引脚号		引脚名称	类型	引脚说明
DIP18/SOP18	SOP16			
11	14	VCC	电源	正电源，持续电流不小于 150mA
4	8	GND	电源	公共接地，持续电流不小于 150mA
9、10 12、13 14、15 16	12、13 15、16 1、2 3	SEG0 ~SEG6	三态输出 及输入	数码管的段驱动，高电平有效， 键盘扫描输入，高电平有效，内置下拉
17	4	SEG7	输出	数码管的小数点段驱动输出，高电平有效， 7 段模式下的键盘中断输出，低电平有效
1、5 6、7	5、9 10、11	DIG0 ~DIG3	输出	数码管的字驱动，低电平有效， 键盘扫描输出，高电平有效
3	7	SDA	内置上拉 开漏输出 及输入	2 线串行接口的数据输入和输出， 内置上拉电阻
2	6	SCL	输入	2 线串行接口的数据时钟，内置上拉电阻
18	无	INT#	内置上拉 开漏输出	键盘中断输出，低电平有效
8	无	ISET	输入	段电流上限调整，悬空为默认设置

图 4.18 CH455 管脚说明

4.4 小结

硬件电路是模型汽车系统的必备部分。只有稳定的硬件电路才能保证程序的正确控制。为此，我们在设计电路之时，考虑了很多问题，采用了模拟部分与数

字部分隔离等措施。我们的硬件电路的设计思想是在保证正确检测信号的前提下，尽可能精简电路。

第五章 智能汽车控制软件设计

主程序流程图：

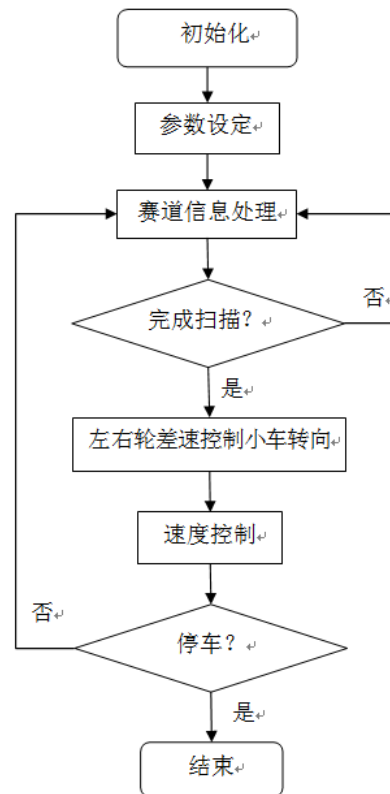


图 5.1 程序流程图

5.1 电感采集传感器路径精确识别技术

编写采集函数 `SensorCollection()`，其功能为控制 AD 采集某个通道（对应某个电感）的电压值，然后读出该值返回给函数。

由于系统中存在噪声或干扰，进行算法滤波抑制和防止干扰是一项重要措施。在这里选择“加权递推平均滤波法”。定义一个循环队列，把连续取 N 个采样值入队，假设队列的长度为 N ，每次采样到一个新数据放入队尾，队满后对首数据出队原队首位置成为队尾并入队（即始终保持队列中的 N 个数据为最新）。越接近现时刻的数据，权取得越大。把队列中的 N 个数据进行加权平均运算，就可

获得新的滤波结果。特点是给予新采样值的权系数越大，则灵敏度越高，但信号平滑度越差。优点是适合采样周期较短的系统，改变权重即可调整灵敏度。

该滤波器采集某一通道数据 N 次，然后进行滤波计算，流程图如图 5.2 所示：

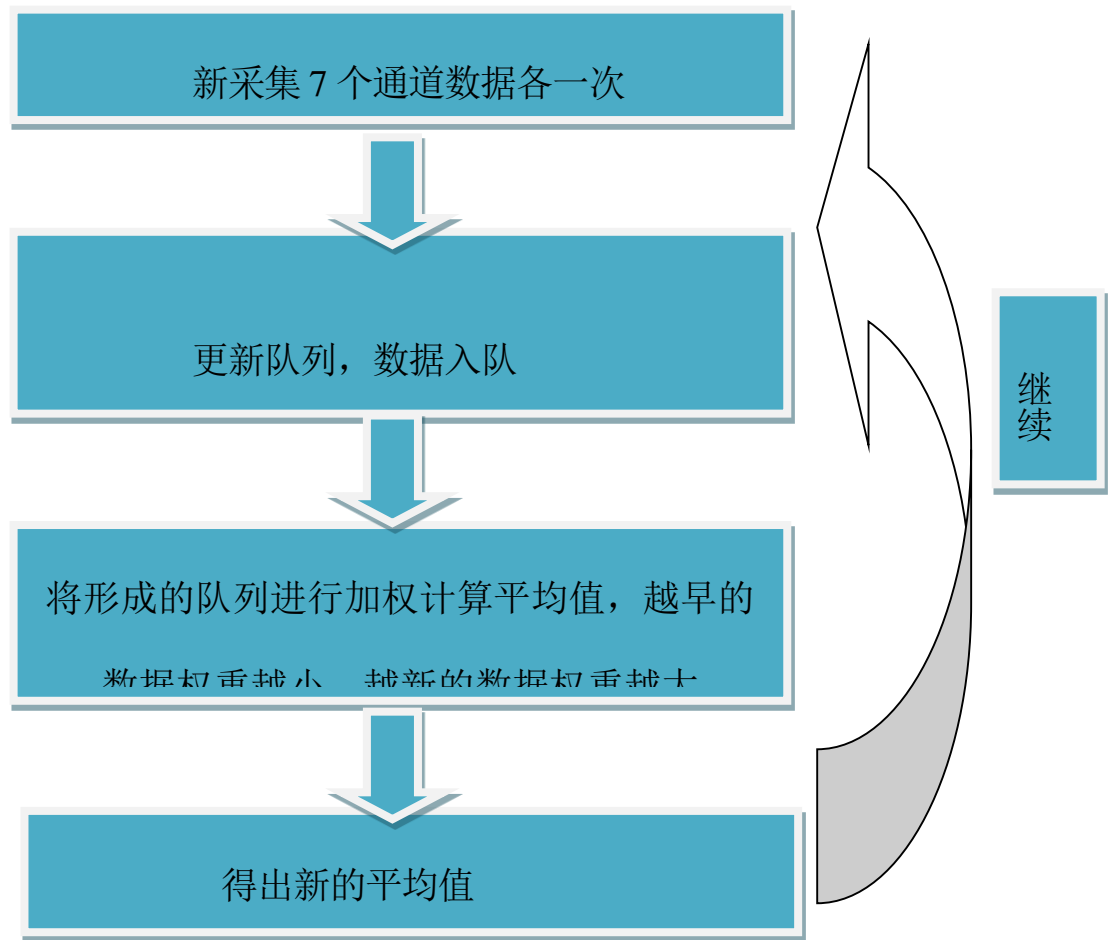


图 5.2 加权递推平均滤波流程图

5.2 寻线行驶算法实现

定位算法

图 3.12 所示传感器的寻线原理：某一时刻，采 4 个“一”字排布的电感的感应电动势，找出一个感应电动势最大的电感（计为 M ），导线必然会离这个电感最近。然后读出该电感相邻左右两个电感的值（分别计为 L 和 R ）。会有以下三种情况：

当 L 值大于 R 值，说明导线在 L 和 M 之间；

当 L 值小于 R 值，说明导线在 R 和 M 之间；

当 L 值约等于 R 值，说明导线在 M 正上。

对于特殊情况，如 M 在最左或最后，缺相邻的 L 或 R ，可直接将导线位置定位于 M ，且由 M 值大小得出远离程度。该情况说明传感器偏离赛道很严重。

以上这种通过找感应电动势最大的电感 M 和相邻电感 L 和 R 在确定电感和导线的相对位置的方法，是一种初步的定位方法。这里再次深化讨论，先设立一个阈值 T ，分两种情况：

当 $|L \text{ 值} - R \text{ 值}| < T$ ，即 L 值约等于 R 值，说明导线在 M 正上，得出确切位置；

当 $|L \text{ 值} - R \text{ 值}| > T$ ，说明导线在 M 和 L 或者 M 和 R 之间。

此定位算法，在直道上的作用比较明显，但在弯道不足以适用所有类型的弯道。所以，在此基础上，引入在弯道计算偏移比较明显的中间标定差值法，即：在直道处进行中间电感 M 的标定，取其标定值与实时值作差。用此方法得到的在弯道处偏移的曲线如图 4.2 所示：

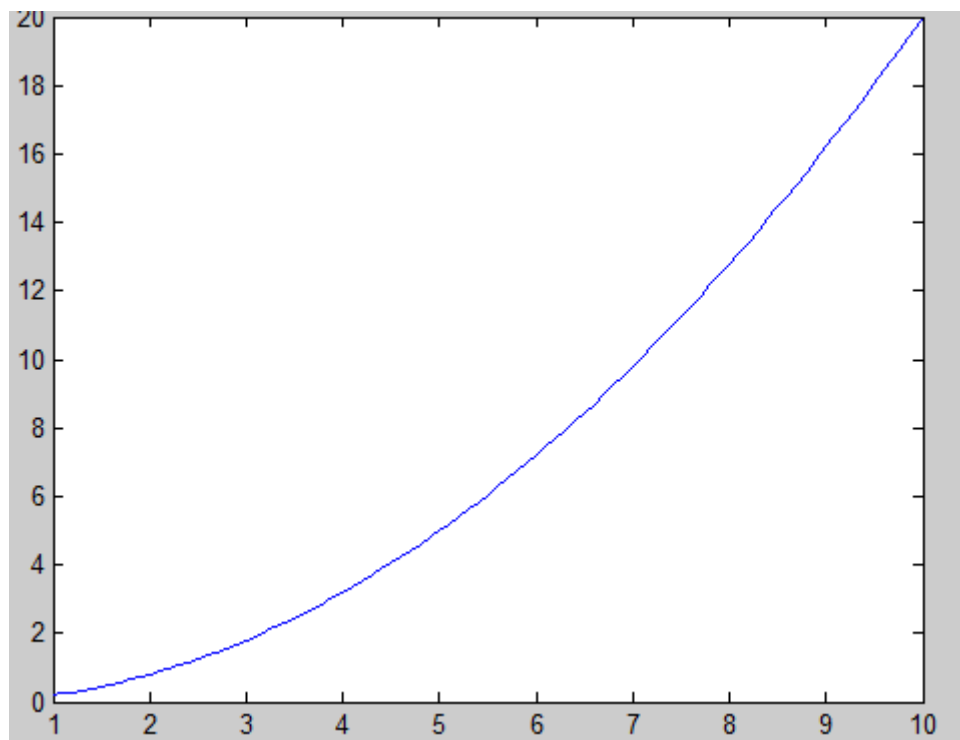
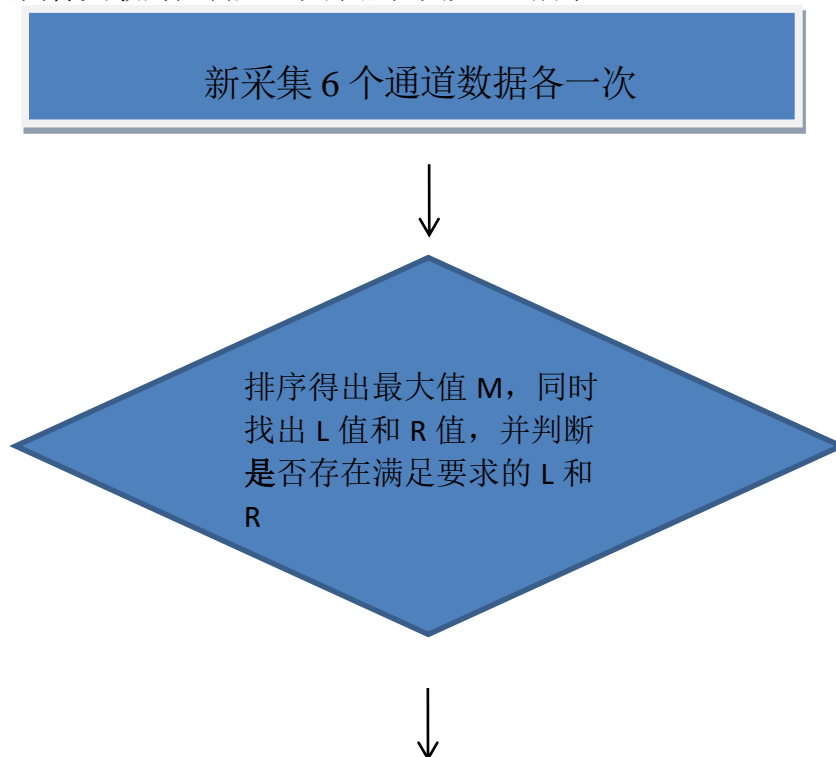


图 5.2 标定算法计算的偏移拟合曲线

将以上 6 电感位移算法与中间电感标定差值算法综合计算，即可得到直道和弯道同样灵敏的控制量。程序流程图如 5.3 所示。



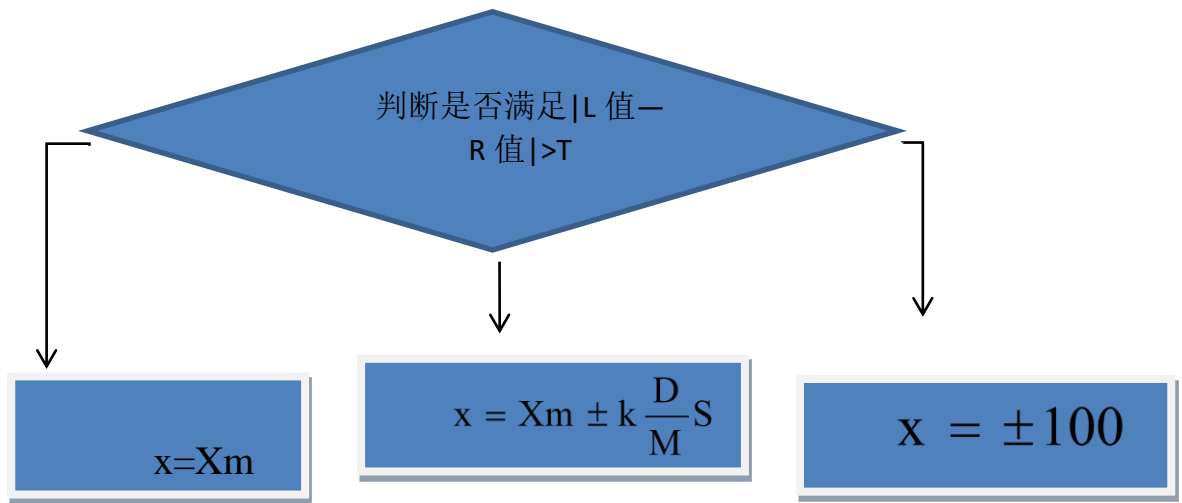


图 5.3 传感器定位六电感算法流程图

5.3 弯道的处理

5.3.1 弯道策略分析

其中，切弯路径主要决定了车辆是选择内道过弯还是外道过弯。切内道，路径最短，但是如果地面附着系数过小会导致车辆出现侧滑的不稳定行驶状态，原因是切内道时，曲率半径过小，同时速度又很快，所以模型车需要的向心力会很大，而赛道本身是平面结构，向心力将全部由地面的摩擦力提供，因此赛道表面的附着系数将对赛车的运行状态有很大影响。切外道，路径会略长，但是有更多的调整机会，同时曲率半径的增加会使得模型车可以拥有更高的过弯速度。

5.3.2 对速度的闭环控制

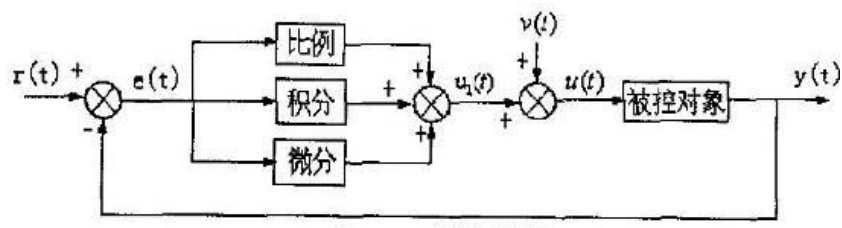


图 5.4 PID 控制工作原理

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，将小车转向的 **PID** 控制简化成 **PD** 控制。本方案中通过双电机的差速控制采用位置式的 **PD** 控制，速度闭环控制采用了增量式 **PID** 控制。在本方案中，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。

5.4 小结

本章详细介绍了智能汽车的控制软件的设计和思路。传感器部分重点介绍了电感采集传感器的原理和算法。在控制策略上主要介绍了 **PID** 控制理论和对弯道信息的处理和控制在。

第六章 开发工具、制作、安装、调试过程说明

6.1 开发工具

程序的开发是在 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 Embedded Workbench（简称 EW）的 C/C++ 交叉编译器和调试器是今天世界最完整的和最容易使用专业嵌入式应用开发工具。EW 对不同的微处理器提供一样直观用户界面。EW 今天已经支持 35 种以上的 8 位/16 位 32 位 ARM 的微处理器结构。

EW 包括：嵌入式 C/C++ 优化编译器，汇编器，连接定位器，库管理员，编辑器，项目管理和 C-SPY 调试器中。使用 IAR 的编译器最优化最紧凑的代码，节省硬件资源，最大限度地降低产品成本，提高产品竞争力

6.2 调试过程

6.2.1 上位机系统

要分析车模在赛道行驶的实时情况，必须采集小车在行驶过程中各个功能模块的实时数据，我们采用的是用 SD 卡存储实时数据，然后用上位机分析。它是调试的必备工具，包括软件和硬件部分

1) 硬件方面

设计 KEA 从片用于接收单片机传来的实时数据并写入 SD 卡，在单片机最小系统上，已经设计了 SPI 接口。二者之间通过 SPI 传输数据。

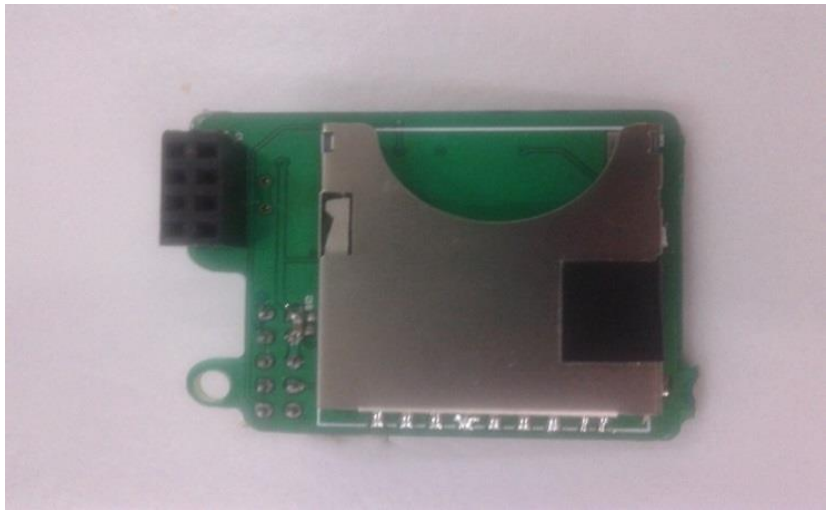


图 6.1 KEA 从片

2) 软件方面:

用 Matlab 编写一个简单的上位机接收程序（见图 6.2），车模在赛道跑时，数据写入 SD 卡，跑完后用上位机读取 SD 卡中的数据进行处理。

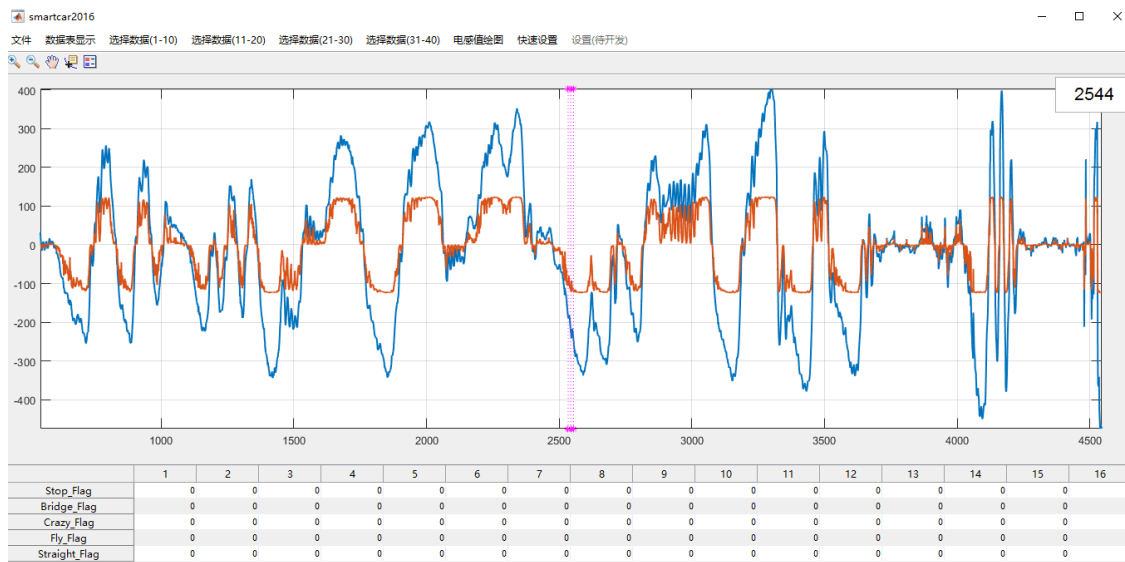


图 6.2 上位机程序界面

相对应的，要在车模的单片机中加入下位机程序部分，在每次采集完数据后使用 SPI 模块，将数据发到 KEA 从片。

6.2.2 控制算法的参数整定

运用 PID 控制的关键是调整三个比例系数，即参数整定。PID 整定的方法有两类：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。由于智能车整个系统是机电高耦合的分布参数系统，并且要考虑赛道具体环境，要建立精确的智能车运动控制数学模型有一定难度，而且对车身机械结构经常进行不断修正，模型参数变化较频繁，可操作性不强；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，采用了这种方法。

1) 方向控制算法的参数整定

方向控制采用位置式 PID 控制。将积分项系数 K_i 设为 0，发现车能在直线高速行驶时仍能保持车身非常稳定，没有震荡，所以没有必要使用 K_i 参数。该控制方案调整为 PD 控制。 K_p 和 K_d 参数由工程整定得出，经过多次试验，得到一组稳定快速的参数为 10 和 20。

设置合适的调节范围 $LOCA_MAX$ 。在车模中上，边界值由舵机转角的最大值决定。经试验测量为控制舵机的 PWM 波占空比寄存器变化为 200 时，达到舵机最大转角。故 $LOCA_MAX = 200$

调节合适的调节死区，死区太小会造成调节不灵敏，太大则调节过于频繁。经试验测量设为 2 时较为适合。

2) 速度控制算法的参数整定

速度控制采用增量式 PID 控制，同样采用上一小节的工程整定法。经多次试验得出， K_p ， K_i ， K_d 分别取 30，3，2，调节死区 $V_DEADLINE$ 设置为 1，调节范围设置为 950（全速时为 1000），车模行驶直道和弯道加减速反映迅速，整体速度良好。

第七章 模型车主要参数

7.1 智能汽车外形参数

经过改装后，智能汽车的外形参数为：

车长：380mm；车宽：250mm；车高：350mm；车重：936g

7.2 电路部分参数

我们小组所改造的智能车采用一块比赛标准 7.2V 电池供电。

7.3 传感器个数以及种类

我们改造的智能车共使用 6 个 10mH 的电感，编码器各 2 个，霍尔元件 3 个

7.4 赛道信息检测精度、频率

赛道信息检测精度是 2mm，频率是 5us

结 论

全国大学生智能汽车竞赛已经成功举办了十二届，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。

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，以及最重要的控制算法的创新思想。

在传感器布局，我们分析了前几届中出现的电感排布方法，综合考虑到程序的稳定性、简便性，我们最后敲定了现在的电感排布，并通过反复实践决定了传感器的数量和位置。

在电路方面，我们以模块形式分类，在电源管理，电机驱动，接口，控制，信号采集，传感器这六个模块分别设计，在查找资料的基础上各准备了几套方案；然后我们分别实验，最后以报告中所提到的形式决定了我们最终的电路图。

在算法方面，我们使用 C 语言编程，利用比赛推荐的开发工具调试程序，经过小组成员不断讨论、改进，终于设计出一套比较通用的，稳定的程序。在这套算法中，我们结合路况调整车速，做到直线加速，弯道减速，保证在最短时间跑完全程。

在这几个月的备战中，在场地、经费方面都的到了学校和学院的大力支持，在此特别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老师。同时也感谢比赛组委会能组织这样一项很有意义的比赛。

现在，面对即将到来的大赛，在历时近五个月的充分准备之后，我们有信心在比赛中取得优异成绩。也许我们的知识还不够丰富，考虑问题也不够全面，但是这份技术报告作为我们五个月辛勤汗水来的结晶，凝聚着我们小组每个人的心血和智慧，随着它的诞生，这份经验将永伴我们一生，成为我们最珍贵的回忆。

尤其是在第十三届比赛规则改动如此之大时，我们讨论分析了很多传感器方案，并且进行了多种方案的不断尝试，其中程序员在更新算法上付出了很大的努力！

我们相信通过这段时间的辛勤努力和付出，我们一定能在此次比赛中取得优异的成绩！

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
- [12] 张文春. 汽车理论[M]. 北京. 机械工业出版社. 2005

附录 程序源代码

```
void main(void)
{
    DisableInterrupts();           //关闭中断

    system_init();                 //系统初始化

    ScheduleInit();

    EnableInterrupts();           //打开中断

    for(;;)
    {
        SET_PWM_MOTL(-300);
        SET_PWM_MOTR(-300);
    }
}

void system_init() //系统初始化
{

    pll_init(1);
    gpio_init();
    pwm_init();
    interrupt_init();
```

```
    timer_init();  
    uart_init();  
    i2c_init();  
    spi_init();  
    spi1_init();  
    adc_init();  
    pulse_counter_init();  
    PIDInit();  
    flash_init();  
    CarStatusInit();  
    ChoiseInit();  
}
```

```
void system_start()  
{  
    EnableInterrupts;  
  
    for(;;)  
    {  
        if (SensorReceived_Flag)  
        {  
            Servo_exe();  
            SensorReceived_Flag = 0;  
        }  
    }  
}
```

```
    }  
}  
  
void servo_exe()  
{  
  
    int32 Sum_Left;  
    int32 Sum_Right;  
  
    /*****参数计算  
    *****/  
    Sum_Left = AD[0]/2 + AD[2] + AD[3];  
    Sum_Right = AD[5] + AD[6] + AD[1]/2;  
  
    Servo = Sum_Left - Sum_Right;;    //左减右用于直道补偿  
  
    If(Servo > 0)  
        ServoOther = AD[4]/mid_ad;    //中间电感值除以标定值用于弯道转  
向  
    else  
    {  
        ServoOther = -1* AD[4]/mid_ad;  
    }
```

$AllServo = Servo * x + ServoOther * y;$ //x, y 可调 //x, y 为系数, 可调。

$sPID.Ref = AllServo * speed_buf / 500 + speed_base;$ //speed_buf 可调

$CarCon.motor = PID(&sPID); \backslash$

$SET_PWM_SER(AllServo);$

$SET_PWM_MOT(CarCon.motor);$

}

$void\ pit_0(void)$ //中断程序

{

$SensorCollection();$

$SensorReceived_Flag = 1;$

}