



智能小车设计指导

第二版 预览版

第二版的大致编写工作已经完成，由于时间仓促，同时很多同学又急切需要第二版，因此提前公布预览版，如果有什么意见或建议欢迎通过本书中提供的联系方式和我们联系，我们会在最终的正式版中改正。

编著：河海大学常州校区计算机与信息学院学生科协

第二版说明

本书自去年编写第一版之时就已经有计划还要写第二版了，去年的第一版取得了很好的效果，去年的第一版由于时间仓促，难免有很多疏漏之处，今年在开学之前我就联系科协的几位有经验的同学共同编写第二版。第二版以第一版为基础，在功能上做了完善，细节上做了补充，主要修改如下：

1. 新加入摄像头、激光管、电磁、算法等内容，方便学有余力的同学进行下一步的学习。
2. 基础部分对芯片的原理，电路设计进行了更加详细的介绍，不只告诉刚入门的同学要怎样做，还想告诉为什么要这样做。
3. 程序设计部分加入一些简单的程序和仿真，方便入门的同学学习。
4. 修改了上一版中的一些错误，对内容安排有所调整。

本书的基础部分（第一版内容）主要由孙浩、顾丽萍完成，摄像头部分由尹海峰完成，电磁部分由李永强完成，算法部分由宋加才完成，最终由孙浩进行统稿。

本书凝聚着作者的心血，希望大家能够充分利用，针对于各位本书以下几点需要特别补充说明：

1. 本书不是为了给各位读者提供一个成熟的模板和电路供大家使用，我更希望大家能够以书中的内容作为参考，弄清楚其中的原理，根据自己的理解完成设计，而不是照搬电路图。
2. 第二版虽然在内容上有所扩充，但是并不能作为唯一参考，本书只是想告诉大家设计方法和原理，更多的还需要各位读者自己查阅相关参考书和网上的资料。
3. 最终完成智能车设计需要综合单片机编程、模数电、Protel 设计、电路焊接、自动控制算法设计等多方面内容，因此需要团队协作，协调掌握，需要有所偏重但是不能只会某一样。
4. 虽然我们提供了较为完善的资料，但是没有一成不变的设计，希望各位读者能够发挥自己的创新精神，积极探索，寻找新的方法。
5. 如果你正在阅读本书，最起码说明你对智能小车的设计感兴趣，但是如果完成后面的设计需要的更多的是坚持。希望各位读者能够有一颗恒心，最终完成设计。

由于时间仓促和我们的水平有限，如果在阅读的过程中发现什么错误或者有什么好的建议欢迎通过下面的联系方式联系我们，真诚期待您的反馈。

孙浩

2010 年 9 月

联系我们

计信科协论坛：<http://xinxikexie.uueasy.com> (资料发布、问题讨论-推荐)

计信科协资料下载服务器：<ftp://10.1.12.41> (限内网访问需要断掉客户端，具体访问方法见科协论坛)

科协人人网：<http://www.renren.com/jxkx>

实验室：实验楼 A217 创新实验室

由于人数较多，QQ 群加一个即可。

计信科协 QQ 讨论群：83940327

电子设计部 QQ 讨论群：83159175

智能车交流 QQ 讨论群：70385417

智能车交流飞信群：31373778

有什么意见或者建议欢迎大家通过以上沟通渠道及时向我们反馈。

目录

第一章 初识智能小车.....	1
1.1 常见的两种类型.....	1
1.2 智能小车的基本结构.....	1
第二章 车体设计.....	3
2.1 小车的拆卸.....	3
2.2 舵机的安装.....	3
2.3 车体的整体布局.....	4
第三章 硬件设计.....	5
3.1 电源模块设计.....	5
3.1.1 智能车电源设计要点.....	5
3.1.2 低压差稳压芯片 LM2940 简介.....	5
3.2 单片机最小系统设计.....	6
3.2.1 单片机最小系统简介.....	6
3.2.2 51 单片机最小系统设计.....	6
3.3 循迹模块设计.....	9
3.3.1 红外光电管的工作原理.....	9
3.3.2 检测电路设计.....	10
5.4.2 光电检测部分的发挥设计.....	12
3.4 舵机转向模块设计.....	12
3.4.1 舵机的工作原理.....	12
3.4.2 常见舵机简介及使用注意事项.....	13
3.5 后轮电机驱动模块设计.....	14
3.5.1 H 桥驱动电路的工作原理.....	14
3.5.2 常用 H 桥集成电路芯片 L298.....	16
3.6 测速模块.....	17
第四章 程序设计.....	18
4.1 PWM 的相关知识.....	18
4.1.1 PWM 简介以及实现.....	18
4.1.2 51 单片机产生 PWM 波.....	19
4.2 舵机的控制.....	21
4.3 后轮电机的控制.....	22
4.4 程序总体的设计.....	22
4.5 程序设计的发挥与拓展.....	23
第五章 测试与调试.....	24
5.1 测试与调试.....	24
5.2 智能车的测试步骤.....	24
第六章 车速的测量.....	26
6.1 车速测量的重要性.....	26
6.2 车速测量的几种方式.....	26
6.2.1 霍尔传感器检测.....	26

6.2.2 反射式光电检测	26
6.2.3 透射式光电检测	26
6.3 车速测量的单片机实现	27
第七章 摄像头的使用	28
7.1 摄像头工作原理及简介	28
7.2 模拟摄像头视频分离电路设计	29
7.3 摄像头选型	30
7.4 摄像头安装	32
7.5 基本视频信号采集	32
7.5.1 使用单片机内部 A/D 转换。	34
7.5.2 使用外部 A/D 转换器	35
7.5.3 使用模拟电路对 PAL 信号进行转化（参考北京科技大学 CCD 一队）	36
第八章 电磁传感器的使用	38
8.1 智能汽车电磁组简介：	38
8.2 20KHz 电源参考设计方案	38
8.2.1 电源技术指标要求	38
8.2.2 电源组成	39
8.2.3 功率输出电路	40
8.2.4 恒流控制	42
8.2.5 参考设计电路	42
8.2.6 电源调试	43
8.2.7 注意事项	44
8.3 电磁组传感器及模路径检测设计参考方案	44
8.3.1 设计原理	44
8.3.2 磁场检测方法	45
8.3.3 电路设计	48
8.3.4 传感器的设计与调试	52
8.3.5 检测方案	54
8.4 软件部分的简要流程图	56
8.5 结束语	57
第九章 激光传感器的使用与设计	58
9.1 激光传感器的工作原理和驱动	58
9.2 激光传感器的选用与注意事项	58
9.3 激光管的布局 and 安装	58
第十章 算法设计	60
10.1 摄像头组处理算法	60
10.1.1 黑线提取算法	60
10.2 车体控制算法	62
10.2.1 PID 算法	62
10.2.2 预判算法	63

基础部分

本部分主要介绍制作智能小车所需要最基本的软硬件相关知识，本部分在讲解基础知识以及设计原理的同时也提供了典型的应用电路，方便初学者进行制作。希望读者能够认真阅读，广泛查阅资料，弄清楚各模块的原理之后再动手制作。

第一章 初识智能小车

1.1 常见的两种类型

首先既然是小车就要有一个最基本的转向和驱动功能，对于一般电子设计常用的小车如下图所示，图 1.1 为常见的两种小车，首先是第一种，这种小车的优点在于可以获得很大的速度，由于转向采用的是舵机所以缺点就在于要想转弯一定要有一定的转角。这类小车就是校内智能小车比赛和飞思卡尔采用的类型，通常为后轮直流电机驱动+前轮舵机转向的方式，但是也有例外，像 2007 年的全国大学生电子设计竞赛中的电动车跷跷板一题，为了达到精确的控制效果，很多人将后轮改为步进电机驱动。

后一种是在本届全国电赛中我们的小车，我们采用的是双步进电机+双万向轮的方式，当然也有采用直流电机+万向轮的方式，这类的小车的优点在于转弯不需要转角，可以原地转弯，其次是可以精确控制小车行进路线，缺点是无法获得很大速度，这种小车在本文中不再叙述。

这两种小车都有各自的优点，使用步进电机还是用直流电机驱动也要根据具体的竞赛题来选择，直流电机的优点在于控制简单，转速快，缺点在于无法控制转过角度，可能要和很多外部传感器配合使用，增加了硬件的设计难度。步进电机的优点在于角度、转速可控，可以开环控制，缺点在于控制较为麻烦，无法实现较高的速度。本书将以飞思卡尔智能汽车为参考，介绍智能车的相关基础知识。



图 1.1 智能车常见的两种类型

1.2 智能小车的基本结构

在下面的文章中我将以上图的第一种小车为例介绍一下智能小车的结构。

如图 1.2 所示，小车的结构主要分为以下几个部分：

1. 循迹模块：用于探测黑线的位置，基础由若干个光电管组成，通过反射红外线的变化判断黑线的有无。高年级的同学建议尝试使用摄像头等作为传感器。
2. 舵机转向模块，通过一定占空比的方波控制舵机转过的角度，舵机具有力矩大，响应速度快等特点，在航模，机器人等设计中应用非常广泛，舵机的控制也是智能小车程序设计的重要部分。
3. 电机驱动模块，由于单片机输出的电流有限，无法直接驱动电机进行工作，因此需要通过专用的电路进行驱动，只要单片机给出相应的控制信号，便可控制电机工作，本文以较为常用的 H 桥驱动芯片 L298N 为例，鼓励大家自行选择更合适的驱动方案。
4. 单片机模块，根据使用的传感器和控制策略的不同，单片机的选择也不同，对于低年级刚入门的同学可以使用 51 单片机，有一定基础的同学可以使用性能稍强的 AVR 系列，高年级同学推荐使用 MSP430 或者 S12 等其他性能更强的单片机。

5. 电源模块，由于小车采用电池供电，因此合理的设计一个电源模块是小车稳定运行的前提。

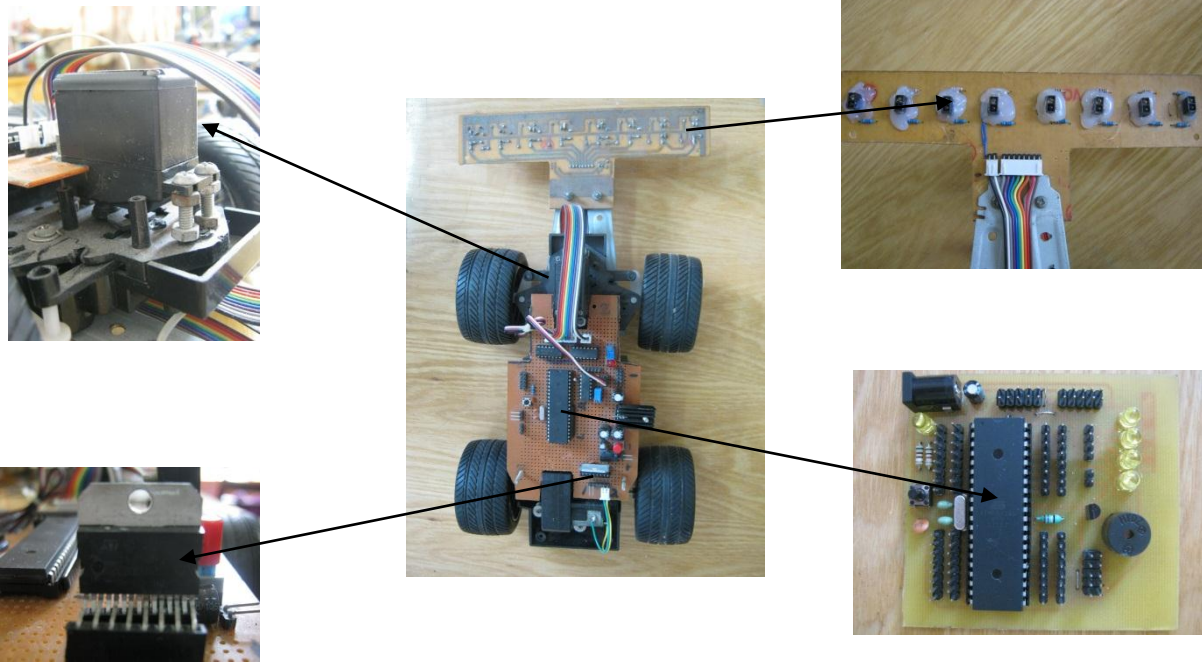


图 1.2 智能小车的基本结构

以上只是针对小车结构的一个简单介绍，要完成整体的设计每一部分都很重要，在后面文章中我会依次详细叙述。

第二章 车体设计

2.1 小车的拆卸

这一点不用多说，一般选用的是带有无线遥控功能的可转向的玩具车，所以第一步就是拆掉除了后轮驱动电机之外的所有多余部分，其次就是在拆卸的时候要充分的考虑到自己的安装要求，切不可盲目，也没必要留着多余的部件。

2.2 舵机的安装

完成了玩具车的拆卸之后要做的第二步就是安装舵机，现在市场上卖的玩具车虽然也具有转向功能，但是前轮的转向多是依靠直流电机来驱动，无论向哪个方向转都是一下打到底，无法控制转过固定的角度，因此根据我们的设计需求，需要将原有的转向部分替换成现有的舵机，以实现固定转角的转向。舵机的实物图如图 2.1 所示。

需要说明的是由于小车系玩具车改装，在安装舵机是需要合理的利用小车的结构，将舵机安装牢固，同时还需注意合理利用购买舵机是附赠的齿轮，从而将舵机固定在合适的位置。舵机的安装方式有俯式、卧式多种，不同的安装方法力臂长短、响应速度都有所不同，这一点请自己根据实际情况合理选择，图 2.2 为舵机的安装图。



图 2.1 舵机实物图



图 2.2 舵机安装图

舵机安装过程中有一点需要尤其注意，由于舵机不是 360° 可转的，因此必须保证车轮左右转的极限在舵机的转角范围之内。

舵机安装完毕之后就可以对小车的转角进行控制了，但是由于玩具车的车体设计往往限制了小车的转角，因此可以对小车进行局部的“破坏”来增大前轮的转角，要知道在比赛中追求速度的同时一个大的转角对小车的可控性会有一个很大的提升，如图 2.3 所示，就是对增加小车转角的一个改造，这是我在去年小车比赛中的用法。将阻碍前轮转角的一部分用烙铁直接烫掉。

但是这种做法也有风险，由于你的改造会破坏小车的整体结构，有可能会对小车的硬件结构造成破坏，因此如果你的小车在改造之后显得过于脆弱的话那你就需要对你的小车采取些加固措施了。



图 2.3 增加车轮转角的方法

2.3 车体的整体布局

除了舵机的安装,车体的整体布局也是很重要的一方面,好的布局不仅能够增强小车的美观性,也能够提高小车的整体性能。首先是电路板的放置,很多自己搭建的电路板要合理的安装在小车上,还要考虑到比赛过程中可能的冲撞给电路板带来的损害,在电路板的安装中尤其注意循迹模块的安装,由于循迹模块安装在小车的前部,伸出车体的长短都有讲究在设计时要有所考虑。其次是电池的放置,由于电池较重,电池的放置直接影响到小车的重心,在追求速度的比赛中对电池安装的位置也要有所考虑,具体的优劣这里只做提醒,不多叙述。

第三章 硬件设计

3.1 电源模块设计

3.1.1 智能车电源设计要点

电源是整个系统稳定工作的前提，因此必须有一个合理的电源设计，对于小车来说电源设计应注意两点：

1. 与一般的稳压电源不同，小车的电池电压一般在 6-8V 左右，还要考虑在电池损耗的情况下电压的降低，因此常用的 78 系列稳压芯片不再能够满足要求，因此必须采用低压差的稳压芯片，在本文中以较为常见的 LM2940-5.0 为例。
2. 单片机必须与大电流器件分开供电，避免大电流器件对单片机造成干扰，影响单片机的稳定运行。

现在各种新型的电源芯片层出不穷，各位读者可以根据自己的需求自行选择电源芯片，对于本设计应该主要注意稳压压差和最大输出电流两个指标能否满足设计要求。

3.1.2 低压差稳压芯片 LM2940 简介

LM2940 系列是输出电压固定的低压差三端端稳压器；输出电压有 5V、8V、10V 多种；最大输出电流 1A；输出电流 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 $-40\sim+125^{\circ}\text{C}$ ；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。同时 LM2940 价格适中而且较容易购买，非常适合在本设计中使用。

LM2940-5.0 封装和实物图如图 3.1 所示。

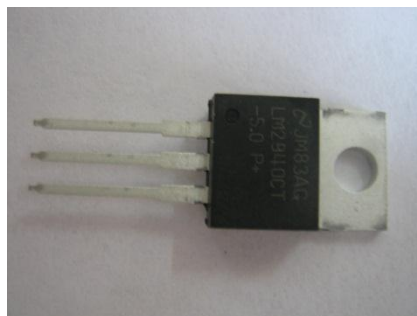
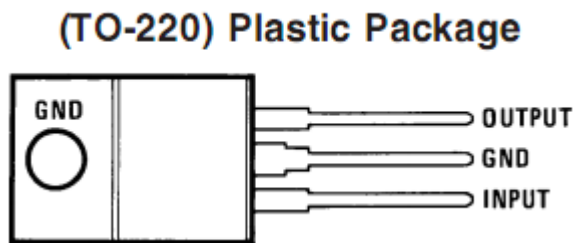


图 3.1 LM2940 封装和实物图

从封装可以看出 LM2940-5.0 与 78 系列完全相同，实际应用中电路也大同小异。图 3.2 为参考电路图。

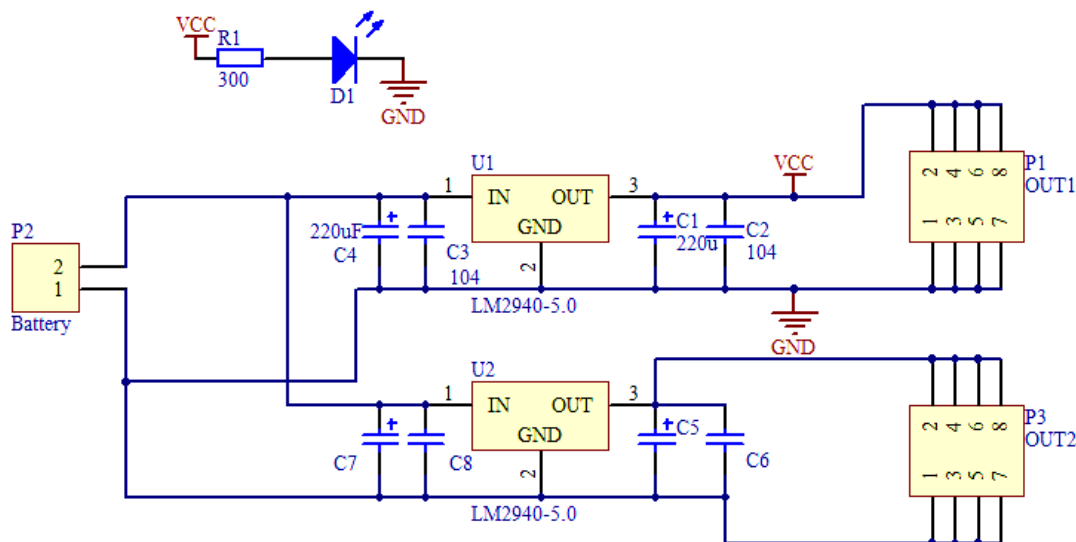


图 3.2 LM2940 参考电路图

如图 3.2 所示，采用两路供电，这样可以使用其中一路单独为单片机，指示灯等供电。另外一路提供 L298N、光电管、舵机的工作电压，L298N 的驱动电压由电池不经任何处理直接给出。舵机可以用 6V 供电，也可以直接用 5V 供电。

3.2 单片机最小系统设计

3.2.1 单片机最小系统简介

单片机是小车的控制中心，单片机最小系统的合理设计是小车平稳运行的前提，所谓最小系统，就是能够保证单片机运行的最精简的硬件设计，由于设计时间有限，不可能设计一块统一规划，功能刚好符合要求的电路板，因此需要设计若干系统板组合使用。在本次竞赛中各位选手可以根据需要选择不同的单片机，如果使用摄像头作为传感器则可以使用飞思卡尔的 S12 系列单片机，如果是使用其他传感器则可以使用 MSP430、AVR 等系列单片机，具体的型号还需要各位自行选择，对于初学者 51 单片机也能够满足基础需求，51 系列单片机建议选择 AT89S51 等型号。

在设计单片机最小系统时需要注意以下几点：

1. 需要合理考虑调试过程中的扩展需要，正常情况下需要将所有 IO 口引出，同时需要注意单片机电源设计，保证最小系统能够稳定供电。
2. 合理集成相应的外围模块，如几个 LED 显示，蜂鸣器等，这些小部件可能觉得无关紧要，但是在调试的时候能够带来很大方便。
3. 最好将程序的下载接口集成在最小系统上，这样会极大的方便小车的调整与测试。这一点对于贴片式封装的单片机不考虑，但是对于 51、AVR 等单片机却经常让初学者忽略。

如图 3.3 所示，为 51 单片机的最小系统参考电路图。

3.2.2 51 单片机最小系统设计

为了照顾刚入门的同学这里我只着重叙述 51 单片机最小系统的设计，AVR 的设计和 51 有许多共同之处，这里我只给出参考，不做重点叙述。建议大家能够根据自己的需求独立设计自己的单片机最小系统，方便以后的竞赛和学习使用。

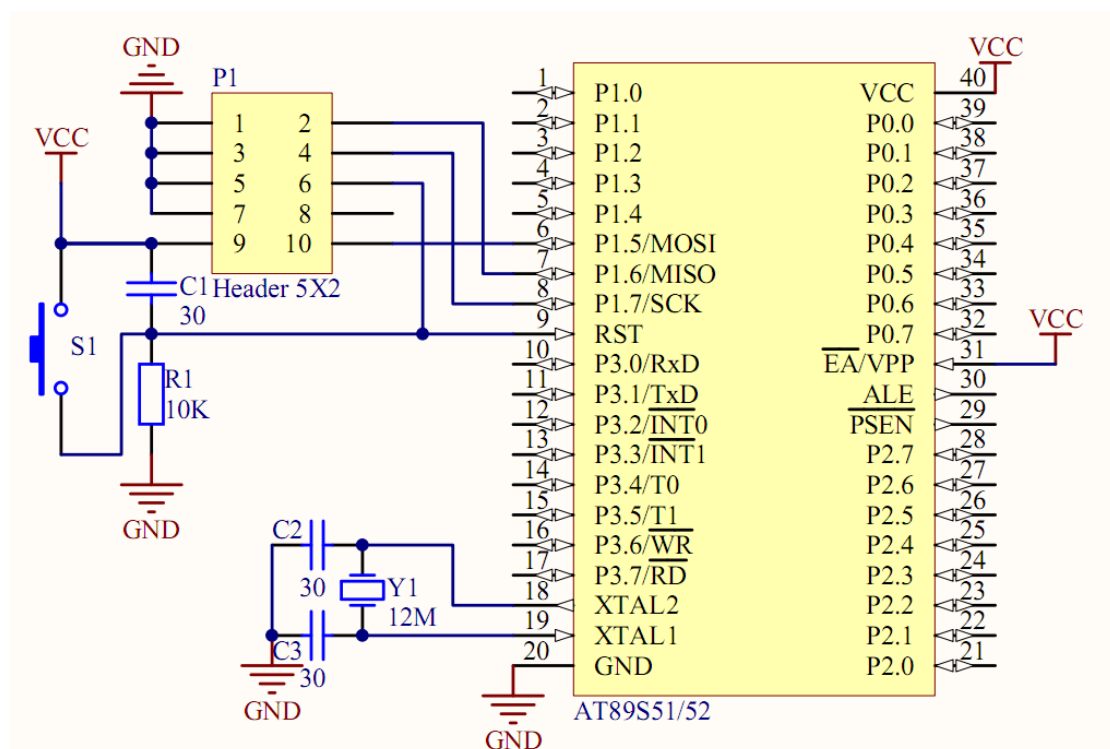


图 3.3 51 单片机最小系统

图 3.3 中的 51 单片机最小系统由以下几个部分组成：

1. 晶振电路，单片机要想工作必须有一个外部的时钟源，这个时钟源由外部晶振产生，具体电路为图中的 Y1、C2、C3，在做电路板时应注意晶振和电容要靠近 18 脚和 19 脚放置，如果放置过远可能会造成晶振不能起振，或工作不稳定。典型值为 C2、C3 30pF，Y1 12M。
2. 复位电路，复位电路包括上电复位和手动复位两部分，51 系列单片机多为高电平复位，也就是说 RST（9）脚上只要有持续两个机器周期以上的高电平就能使单片机复位，因此上电复位的原理就是利用电容充电的一段时间将复位脚拉至高电平，使单片机完成复位，C1 可以选用 104 或 105 之类的瓷片电容，R1 在电容充电结束后将复位脚拉至低电平，保证单片机正常工作。
3. ISP 下载接口，改下载接口在实际制作时可以用双排的 5*2 的排针代替，电路是根据标准的 ISP 下载线来设计的，与常用的并口下载线，串口下载线和笔记本用的 USBASP 下载线兼容，只需将下载线接口插到本接口上就可以直接向单片机烧写程序，免去了不断拔插单片机芯片的烦恼，这一点也是我一直向会员推荐的，无论是 51 还是 AVR 都非常方便。

ISP 的下载接口在设计时应注意以下两点，否则可能会造成程序下载的失败。

1. 下载线接口中的电源尽量和单片机共用一个电源。
2. 下载线接口中用到的 P1.5~P1.7 脚不要连接数码管等外部器件，如果要连接外部器件可以设计为可插拔的方式，防止影响程序的下载，或者将 P1 口分配为读取按钮开关状态等方式。

对于下载线有几点说明：

1. 51 和 AVR 常用的是 ISP 下载方式，也就是上面介绍的接口，实物接口如图 3.4 所示，常用的有分为并口下载线，串口下载线和 USB 下载线，一般台式机建议使用并口下载线，速度快而且稳定，图 3.5 为并口下载线实物图。
2. 购买并口下载线时应注明 51/AVR ISP 下载线或 stk200/stk300 下载线，购买 USB 接口的下载线时一般的名称为 USBASP，特别是在网上购买时应注意区分。

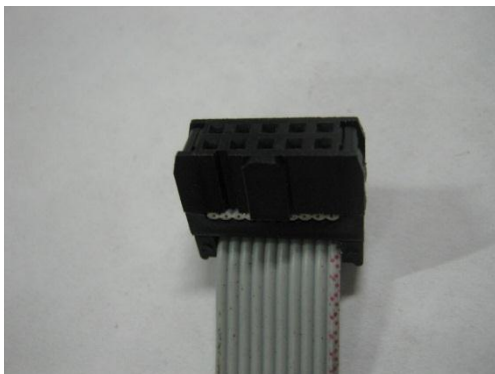


图 3.4 接口

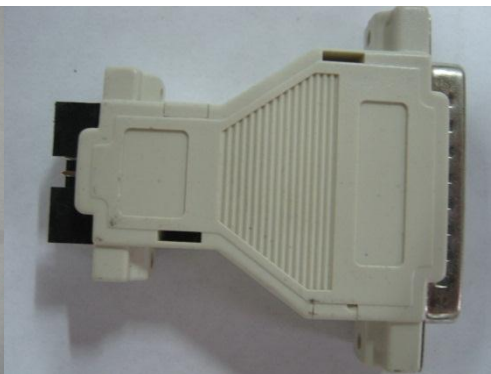


图 3.5 并口下载线

51 的最小系统还应特别注意第 31 脚（如图）应拉高，31 脚 EA 脚为内外存储器的选择脚，由于我们只用内部存储器，因此需要将此脚连至高电平，这一点非常重要，很多人的单片机无法工作也往往是由于疏忽这一点引起。另外还有一点要引起注意的是 P0 口，与其他几组 I/O 口不同，P0 口没有内部上拉电阻，因此如果驱动 LED 等外部器件时可以在 P0 口加上 10K 的排阻，而实际结果也证明加外部上拉电阻的方式有助于增强端口的驱动能力。

AVR 单片机的最小系统和 51 类似，但是 AVR 有更为强悍的功能，AVR 可以只需电源不需任何外接电路即可工作，以 ATmega16 为例，内部具有可配置的 1-8M 时钟源，并且可以自动上电复位，当然除非在不得已的情况下，其他情况还是建议有相应的外部电路。AVR 的最小系统设计可以参照 51 的设计，像晶振电路，下载线接口都与 51 相同，但是应注意以下两点：

1. AVR 为低电平复位，因此复位电路上有所异同。
2. 接了外部晶振以后再写下载程序时应注意配置好对应的熔丝位，否则可能造成芯片锁死。

我建议大家可以根据自己的需要用 Protel 设计自己的最小系统，这样不仅调试方便也完全没必要花钱去购置一套开发板，而且在以后的学习中也方便使用。图 3.6 为我自己制作的 AVR 最小系统板。在这个系统板上我们放置了 ISP 接口，在线仿真用的 JTAG 接口和便于外部器件取电的五组电源接口，通知放置了四组指示灯和一个蜂鸣器，每组 I/O 口用两排排针引出，两排排针之间留有一定的间距便于插头的插拔。为了使电路板小巧美观，部分电阻电容采用贴片式封装。以上是我们再设计这块最小系统时的考虑，总之无论设计如何，都要用稳定易用为标准，没必要一味的追求大而全。在全国电设的比赛中我们单片机系统全都采用这块板，而实际的结果也证明这块板子也完全满足我们的要求。

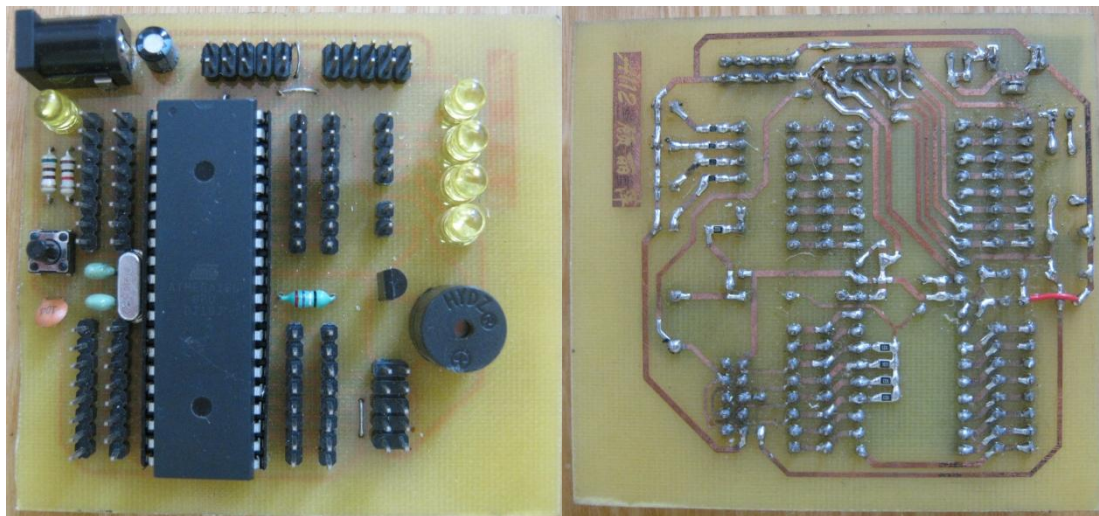


图 3.6 自己制作的最小系统板的正反面

3.3 循迹模块设计

3.3.1 红外光电管的工作原理

在本设计中我们采用红外一体式发射接收器，红外一体式发射接收器市场价格在 1~几元不等，图 3.7 所示的是较为常见的一种。这种是将发射管和接收管放置在一个塑料壳内，发射管和接收管的直径都为 3mm，如果追求大功率更远的探测距离也可以购买单独的发射和接收管，但是对于一般设计来说图中的红外发射和接收器已经足够。当然如果追求大功率更远的探测距离也可以购买单独的发射和接收管，但是注意相应的管上要注意套上热缩管等隔离器件以消除临近发射管的干扰。系统中我们设计反射距离在 2cm 左右，此时探测环境都在检测电路板的阴影之下，不易受到其它光线的干扰。传感器都选用 RPR220 反射红外传感器。该封装形状规则，便于安装。没有强烈日光干扰(在有日光灯的房间里) 探测距离可达 5cm 以上，完全能满足探测距离要求。

红外一体式发射接收器由于感应的是红外光，常见光对它的干扰较小，是在小车、机器人等制作中广泛采用的一种方式。红外一体式发射接收器检测黑线的原理为，由于黑色吸光，当红外发射管发出的光照射在上面后反射的部分就较小，接收管接收到的红外线也就较少，表现为电阻比较大，通过外接的电路就可以读出检测的状态，同理当照射在白色表面时发射的红外线就比较多，表现为接收管的电阻就比较小。

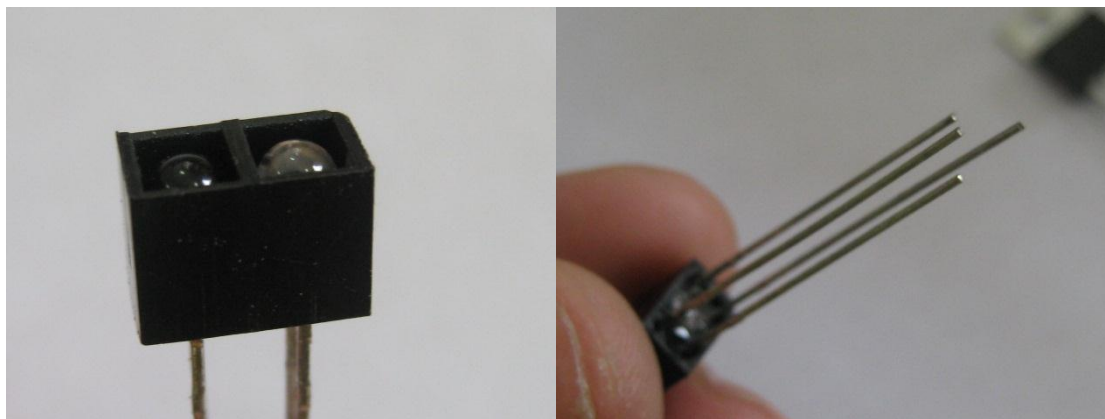


图 3.7 红外光电管的顶部和尾部图

仔细观察可以发现，上图红外光电管分为两部分，一部分为无色透明类似于 LED，这是红外的发射部分，给他通电后能够产生人眼不可见的红外光，另外一部分为黑色的红外接收部分，它的电阻会随着接收到红外光的多少而变化，由于它们也是二极管，因此可以用判断二极管的方法辨别极性，判断光电管好坏最简单的测试方法为用万用表的欧姆档连接接收管的两端，然后将接收管放入台灯下观察阻值的变化，如果用的是指针式万用表的话则黑表笔的一端为正极，同时注意电阻的变化幅度。一般引脚的正负放置可能有所差异，上图的光电管经过我的测试发射管长脚的一端为正，而接收端长脚的一端为负，这个自己在使用之前一定要自己测试一下。另外测试红外发光管的好坏还有一个比较巧妙的方法，那就是利用你的手机摄像头，红外线由于波长较长，在人眼的可视范围之外，但是却仍然在手机摄像头的可视范围之内，因此可以用打开手机的拍照功能，看一下便清楚了，这也是红外夜视摄像头的原理。

红外光电管由于感应的是红外光，常见光对它的干扰较小，是在小车、机器人等制作中广泛采用的一种方式。红外光电管检测黑线的原理为，由于黑色吸光，当红外发射管发出的光照射在上面后反射的部分就较小，接收管接收到的红外线也就较少，表现为电阻比较大，通过外接的电路就可以读出检测的状态，同理当照射在白色表面时发射的红外线就比较多，表现为接收管的电阻就比较小。

3.3.2 检测电路设计

上面介绍了红外光电管检测黑线的基本原理，图 3.8 为红外检测的基本电路图。LM339 类似于增益不可调的运算放大器。每个比较器有两个输入端和一个输出端。两个输入端一个称为同相输入端，用“+”表示，另一个称为反相输入端，用“-”表示。用作比较两个电压时，任意一个输入端加一个固定电压做参考电压（也称为门限电平，它可选择 LM339 输入共模范围的任何一点），另一端加一个待比较的信号电压。当“+”端电压高于“-”端时，输出管截止，相当于输出端开路。当“-”端电压高于“+”端时，输出管饱和，相当于输出端接低电位。两个输入端电压差别大于 10mV 就能确保输出能从一种状态可靠地转换到另一种状态，因此，把 LM339 用在弱信号检测等场合是比较理想的。LM339 的输出端相当于一只不接集电极电阻的晶体三极管，在使用时输出端到正电源需要接一只电阻（称为上拉电阻，选 3-15K）。选不同阻值的上拉电阻会影响输出端高电位的值。因为当输出晶体三极管截止时，它的集电极电压基本上取决于上拉电阻与负载的值。另外，各比较器的输出端允许连接在一起使用。对于图 3.8 有几个注意点：

1. 图中的 LM393 为专业的电压比较器，一片 LM393 内部含有两路比较器，相同的还有 LM339，两者的不同点在于 LM339 内部有四路比较器，因此如果做 8 路红外光电管的话可以采用两片 LM339，相对就简化了电路。
2. 如果采用 LM339 或 LM393 在送单片机的输出端需加约 2K 欧姆的上拉电阻连至 5V，这样才能保证比较器在输出高电平时有 5V 左右的高电平输出，这一点很容易被忽略，应当引起注意，详细请查找芯片的说明文档。
3. 图中 R1、R2 的选择，R1 为限流电阻，不同大小的限流电阻决定了红外发射管的发射功率，R1 越小，红外发射管的功率就越大，多个并联后小车的能耗也就大幅增加，但是同时增加了光电管的探测距离，因此可以根据自己的测试情况选择合适的限流电阻，R2 为分压电阻，R2 的选择应当尤为注意，切不可机械的照搬某一个电路图，直接套用上面的阻值，R2 的选择和采用红外接收管的内阻有关，由于 R2 和接收管构成分压电路，因此 R2 的大小和接收管的电压变化有关，具体的选择只需按照分压的原理进行一下简单的计算就可以，这里不再赘述。按照图 3.8 所示，若电路工作正常在光电管在黑线和白纸上移动式则在图中 R2 的上端也就是 LM339 的 4 脚应该有明显的电压变化，良好的情况下电压变化可以达到 3-4V，电压变化非常明显，如果电压变化不明显，可以尝试着更换 R2 的阻值。

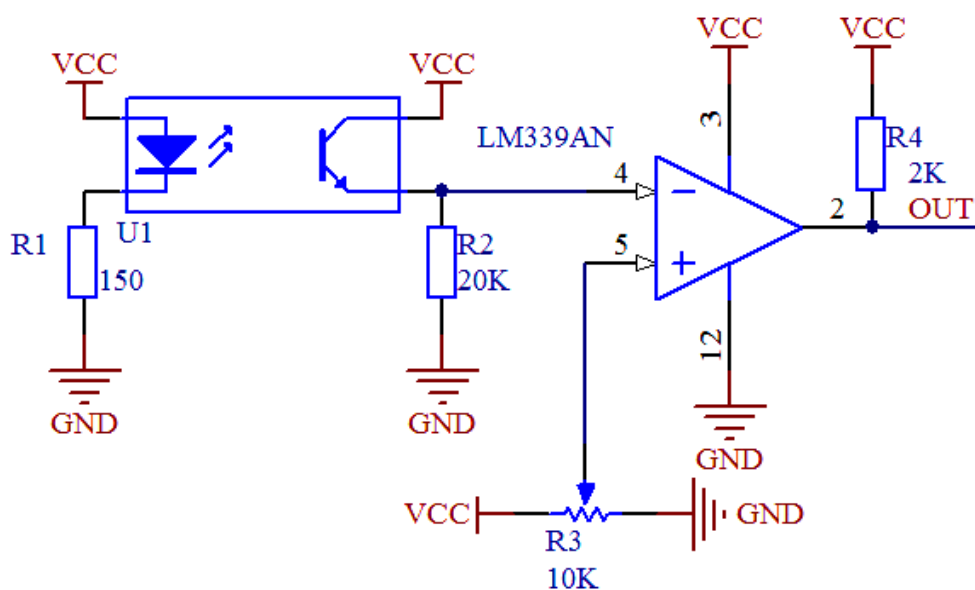


图 3.8 循迹电路电路图

4. 图 3.8 是采用专业的电压比较器，实际上也有很多电路图也有采用 LM358 或者 LM324 之类的运放，这一点其实无关紧要，LM393 的引脚和 LM358 兼容，而且不需要在输出脚外加上拉电阻，实际运用中各有优劣可以自行选择。
5. 图中的 R3 为分压电阻，为比较器提供参考电压，具体参考电压的设定应根据 R2 上端的电压来决定，如③中介绍，假如输入脚的电压变化为 1.7~4.7V 则参考电压就可以设定在 3V 左右，在实际应用过程中可以根据当前的环境状况进行调整。对于比较器可以单独用一个电位器（图中 R3）分压提供参考电压，如果为了简化电路也可以几路电压比较器共用一路参考电压，各有优劣可以自行选择。
6. 对于 51 单片机由于没有内置 AD 建议采用比较器的方式，而对于 AVR 等他内置 AD 的单片机或者采用片外 AD 芯片则可以直接输入变化的电压量，通过单片机 A/D 端口直接读取。通过单片机的 A/D 口直接读取电压的变化量，不仅可以简化外部电路，同时还能保留红外接收管的连续变化电压信息，通过软件算法进行位置细化，不仅可以得到更精确的位置信息，还可以消除环境光线的影响。但是同时也就加重了软件设计的难度。

通过上面的介绍相信大家对于红外循迹也就有了一个简单的了解，也就会发现上面的电路也不是唯一的了，建议大家不要局限于上面的电路自己设计更好的循迹电路。

介绍完单个红外管的电路设计，接下来就该介绍多个并联的设计了，只有多个红外光电管并联才能够起到良好的检测效果，在实际应用中光电管的排列方式，排列间距都有讲究，一般来说“一”字型的排列已经能够满足我们的要求如图 3.9 所示。设计者亦可以尝试不同的排列方式和间距之间的优劣，这里只做简单提示。

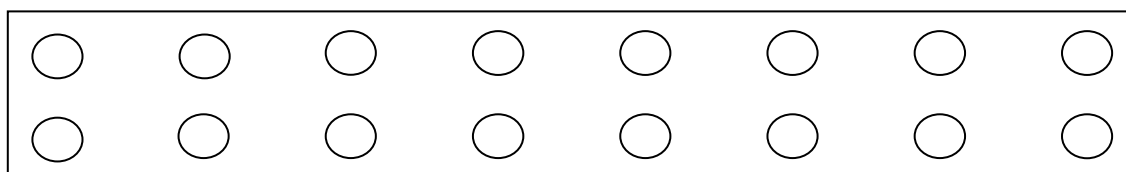


图 3.9：光电管布局图

如果采用比较器的方式比较器也可以放置在循迹模块的电路板上，也可以放置在主板上，图 3.10 为我以前设计的四路循迹模块实物图。建议大家也可以采用 PCB 的方式设计循迹模块。

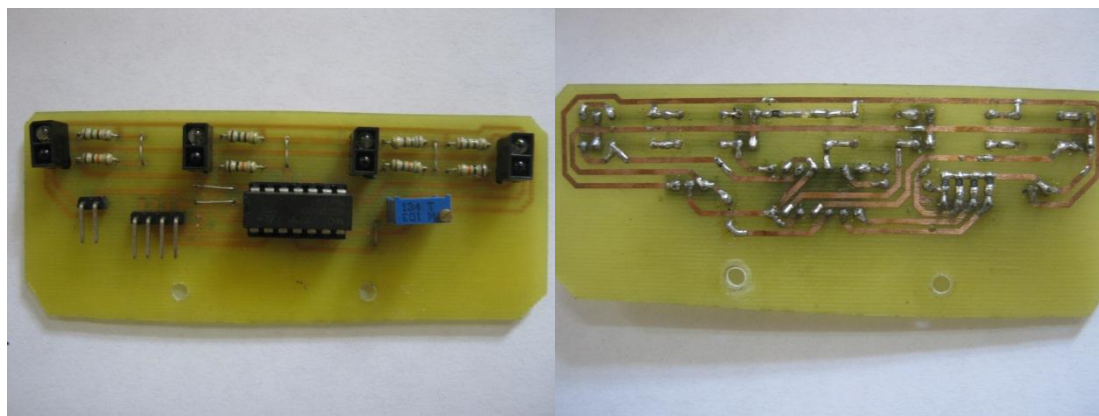


图 3.10 四组光电管组成的循迹模块正反面

在设计传感器的排列是还有一点需要考虑的就是传感器之间的距离，通常两个传感器之间的距离和黑线的宽度相近，但是也不一定所有的间距都相同，为了扩大检测的范围两侧的排布略微稀疏，从而在检测范围和检测精度之间取一个平衡，如图 3.11 所示为八个传感器组成的印制电路板 PCB 设计图。

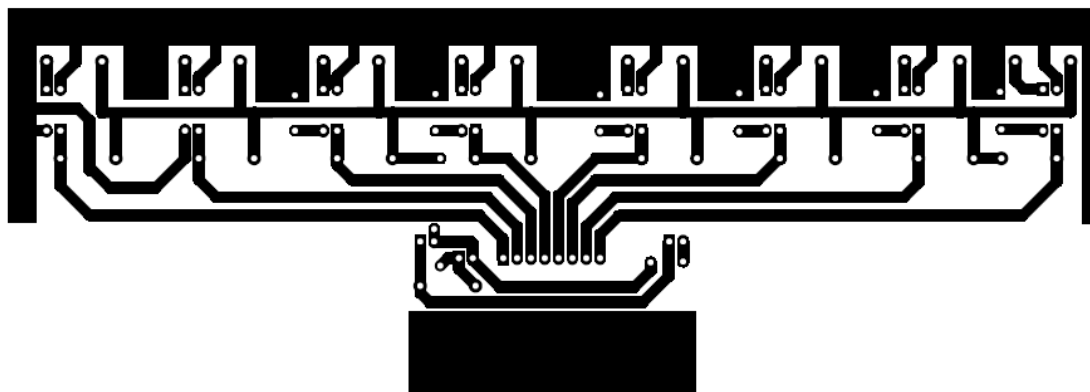


图 3.11 设计完成的印制 PCB 效果图

对于传感器的安装也需要具体考虑，正常情况下，安装完成后离地面的高度大概在 2cm 左右，高度越高，对于每个传感器来说红外光能够照射到的范围也就越大，但是由于每个红外发射管的功率有限，接收到的也就越少，可能会影响接收的效果，如果将传感器扬起还可以获得一定的前瞻性，因此需要根据发射管的功率和实际型号调整到一个合适的值。

5.4.2 光电检测部分的发挥设计

以上介绍了光电检测电路的基本组成，上面的电路能够完成基本的检测功能，在过去几届校区的比赛中采用最多的也是这种方式，但是上面的电路也有明显的缺点：

1. 检测距离较短，前瞻性较差。
2. 所有光电管一直处在工作状态，功耗较大使电池的续航时间降低

如果想消除以上的缺点可以从以下几个方面考虑：

1. 使用大功率分离式红外光电管或激光管等其他检测器件（激光管在后面会有介绍）。
2. 将红外光进行调制发射，增大探测距离。
3. 各管轮流扫描工作，减小功耗。

以上只是针对学有余力的同学一些提示性的建议，有兴趣的同学可以在原有的基础之上进行改进。

3.4 舵机转向模块设计

3.4.1 舵机的工作原理

一般来讲，舵机主要由以下几个部分组成，舵盘、减速齿轮组、位置反馈电位计 5k、直流电机、控制电路板等。

工作原理：控制电路板接受来自信号线的控制信号，控制电机转动，电机带动一系列齿轮组，减速后传动至输出舵盘。舵机的输出轴和位置反馈电位计是相连的，舵盘转动的同时，带动位置反馈电位计，电位计将输出一个电压信号到控制电路板，进行反馈，然后控制电路板根据所在位置决定电机的转动方向和速度，从而达到目标停止。

舵机的基本结构是这样，但实现起来有很多种。例如电机就有有刷和无刷之分，齿轮有塑料和金属之分，输出轴有滑动和滚动之分，壳体有塑料和铝合金之分，速度有快速和慢速之分，体积有大小三种之分等等，组合不同，价格也千差万别。例如，其中小舵机一般称作微舵，同种材料的条件下是中型的一倍多，金属齿轮是塑料齿轮的一倍多。需要根据需要选用不同类型。

舵机的输入线共有三条，红色中间，是电源线，一边黑色的是地线，这两根线给舵机提供最基本的能源保证，主要是电机的转动消耗。电源有两种规格，一是 4.8V，一是 6.0V，分别对应不同的转矩标准，即输出力矩不同，6.0V 对应的要大一些，具体看应用条件；另外一根线是控制信号线，

舵机的控制信号为周期是 20ms 的脉宽调制 (PWM) 信号, 其中脉冲宽度从 0.5ms-2.5ms, 相对应舵盘的位置为 0—180 度, 呈线性变化。也就是说, 给它提供一定的脉宽, 它的输出轴就会保持在一个相对应的角度上, 无论外界转矩怎样改变, 直到给它提供一个另外宽度的脉冲信号, 它才会改变输出角度到新的对应的位置上。舵机内部有一个基准电路, 产生周期 20ms, 宽度 1.5ms 的基准信号, 有一个比较器, 将外加信号与基准信号相比较, 判断出方向和大小, 从而产生电机的转动信号。由此可见, 舵机是一种位置伺服的驱动器, 转动范围不能超过 180 度, 适用于那些需要角度不断变化并可以保持的驱动当中。比方说机器人的关节、飞机的舵面等。

常见的舵机厂家有：日本的 Futaba、JR、SANWA 等，国产的有北京的新幻想、吉林的振华等。现举 Futaba S3003 来介绍相关参数，以供大家设计时选用。之所以用 3003 是因为这个型号是市场上最常见的，也是价格相对较便宜的一种（以下数据摘自 Futaba 产品手册）。

重量(Weight): 37.2 g

出力矩(Output torque): 3.2 kg.cm (4.8V) 4.1 kg.cm (6.0V)

舵机是小车转向的控制机构，具有体积小、力矩大、外部机械设计简单、稳定性高等特点，无论是在硬件还是软件舵机设计是小车控制的重要组成部分，舵机的主要工作流程为：控制信号→控制电路板→电机转动→齿轮组减速→舵盘转动→位置反馈电位计→控制电路板反馈。图 3.11 为舵机的实物图。

图 3.11 舵机实物图

对于舵机的连接有以下注意以下两点:

的单片机时而且打算使用快速 PWM 功能时，应将信号线连接到对应的引脚。

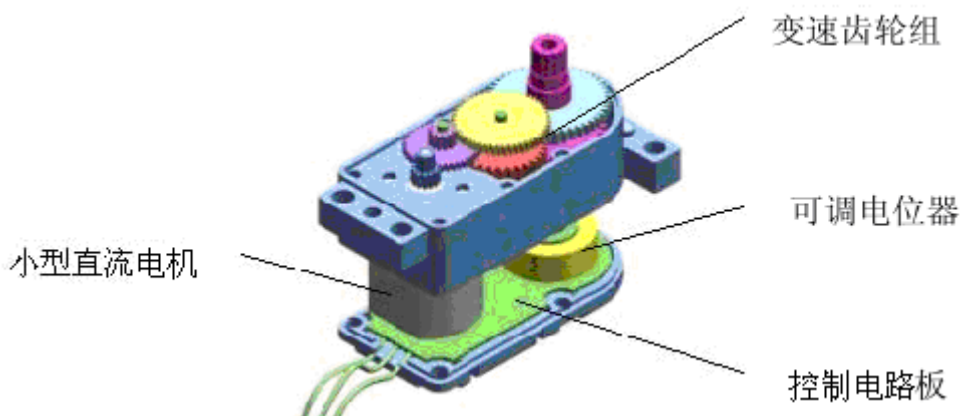


图 3.12 舵机内部结构图

3.5 后轮电机驱动模块设计

3.5.1 H 桥驱动电路的工作原理

前面已经提到过，由于单片机的驱动能力不足，无法驱动像电机这样的大功率外部器件，因此必须外加驱动电路。电机常用的驱动芯片很多，在本设计中我们选用硬件设计简单，驱动效率较高的 L298N 作为电机驱动芯片，在介绍 L298N 之前有必要介绍一下 H 桥电路。

H 桥驱动电路是较为常见的一种，图 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。

如图 3.13 所示，H 桥式电机驱动电路包括 4 个三极管和一个电机。要使电机运转，必须导通对角线上的一对三极管。根据不同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。由于 H 桥电路可以很方便的实现电机正反转的驱动因此应用广泛。

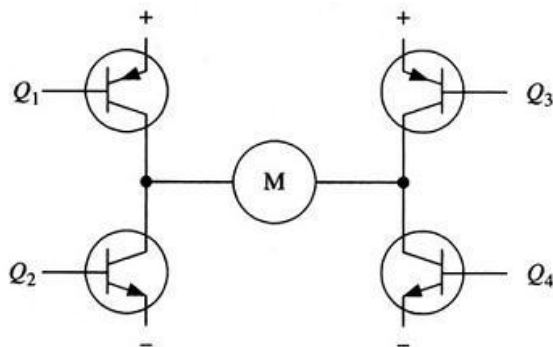


图 3.13 典型 H 桥驱动电路

要使电机运转，必须使对角线上的一对三极管导通。例如，如图 3.14 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。当三极管 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。

图 3.15 所示为另一对三极管 Q2 和 Q3 导通的情况，电流将从右至左流过电机。当三极管 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。

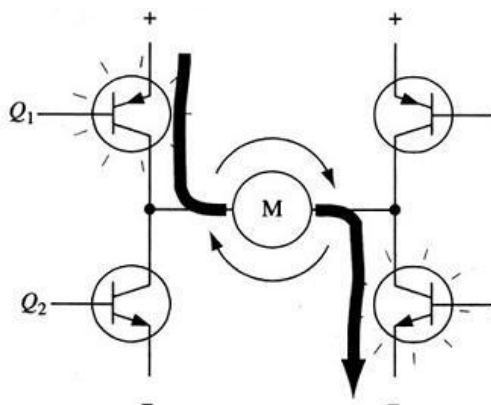


图 3.14 H 桥驱动电机正转

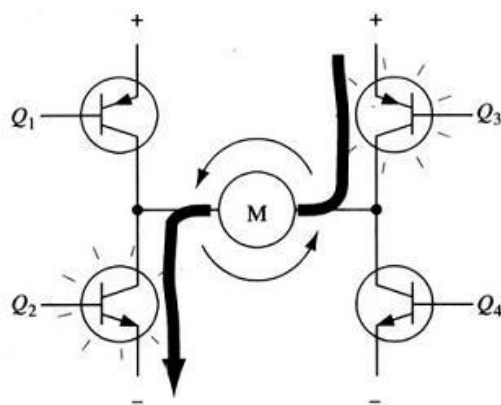


图 3.15 H 桥驱动电机反转

驱动电机时，保证 H 桥上两个同侧的三极管不会同时导通非常重要。如果三极管 Q1 和 Q2 同时导通，那么电流就会从正极穿过两个三极管直接回到负极。此时，电路中除了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三极管的开关。

图 3.16 所示就是基于这种考虑的改进电路，它在基本 H 桥电路的基础上增加了 4 个与门和 2 个非门。4 个与门同一个“使能”导通信号相接，这样，用这一个信号就能控制整个电路的开关。而 2 个非门通过提供一种方向输入，可以保证任何时候在 H 桥的同侧腿上都只有一个三极管能导通。

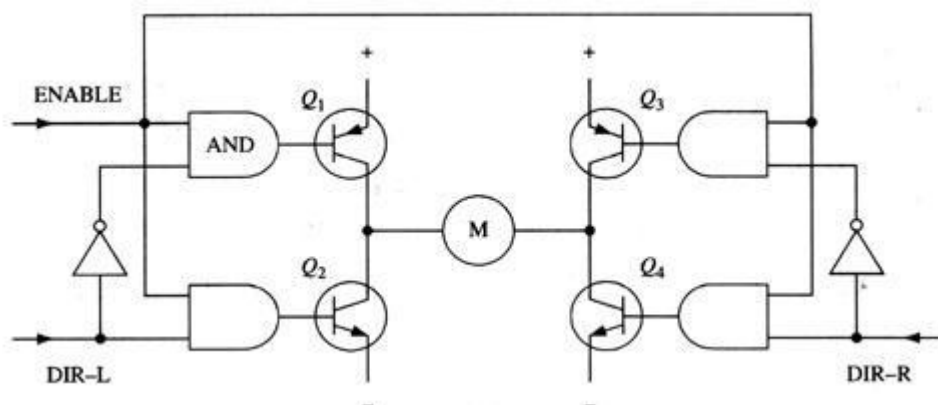


图 3.16 改进后的 H 桥驱动电路

采用以上方法，电机的运转就只需要用三个信号控制：两个方向信号和一个使能信号。如果 DIR-L 信号为 0，DIR-R 信号为 1，并且使能信号是 1，那么三极管 Q1 和 Q4 导通，电流从左至右流经电机（图 3.17）；如果 DIR-L 信号变为 1，而 DIR-R 信号变为 0，那么 Q2 和 Q3 将导通，电流则反向流过电机。

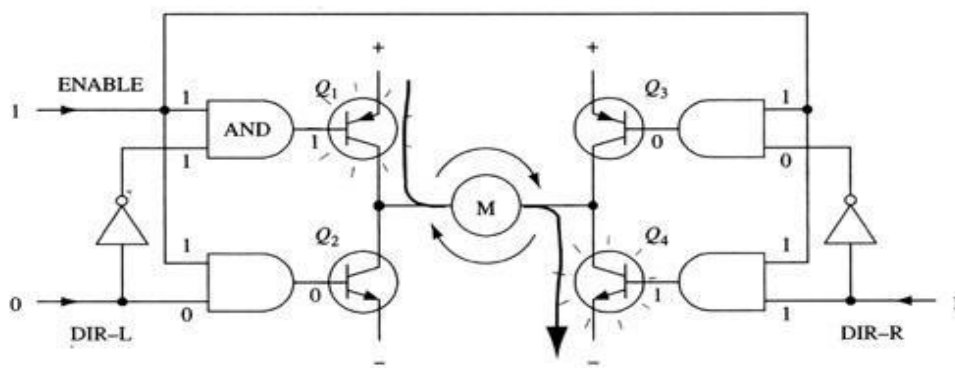


图 3.17 驱动电机转动时的信号示意图

3.5.2 常用 H 桥集成电路芯片 L298

H 桥电路虽然有着诸多的优点，但是在实际制作过程中，由于元件较多，电路的搭建也较为麻烦，增加了硬件设计的复杂度。

由于 H 桥电路有诸多的优点，但是在实际制作过程中电路又比较麻烦，因此在本设计中我们采用 H 桥集成电机驱动芯片 L298。L298N 的工作原理和以上介绍的 H 桥相同，引脚图如图 3.13 所示：

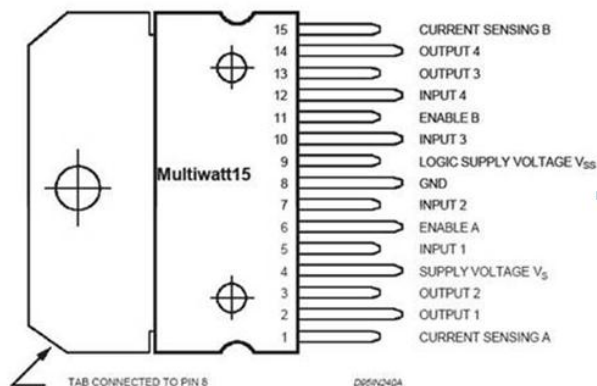


图 3.13 L298 引脚图

L298N 是 ST 公司生产的一种高电压、大电流电机驱动芯片。该芯片采用 15 脚封装。主要特点是：工作电压高，最高工作电压可达 46V；输出电流大，瞬间 峰值电流可达 3A，持续工作电流为 2A；额定功率 25W。内含两个 H 桥的高电压大电流全桥式驱动器，可以用来驱动直流电动机和步进电动机、继电器线圈等感性负载；采用标准逻辑电平信号控制；具有两个使能控制端，在不受输入信号影响的情况下允许或禁止器件工作有一个逻辑电源输入端，使内部逻辑电路部分在低电压下工作；可以外接检测电阻，将变化量反馈给控制电路。使用 L298N 芯片驱动电机，该芯片可以驱动一台两相步进电机或四相步进电机，也可以驱动两台直流电机。L298 的参考电路图如图 3.14 所示。

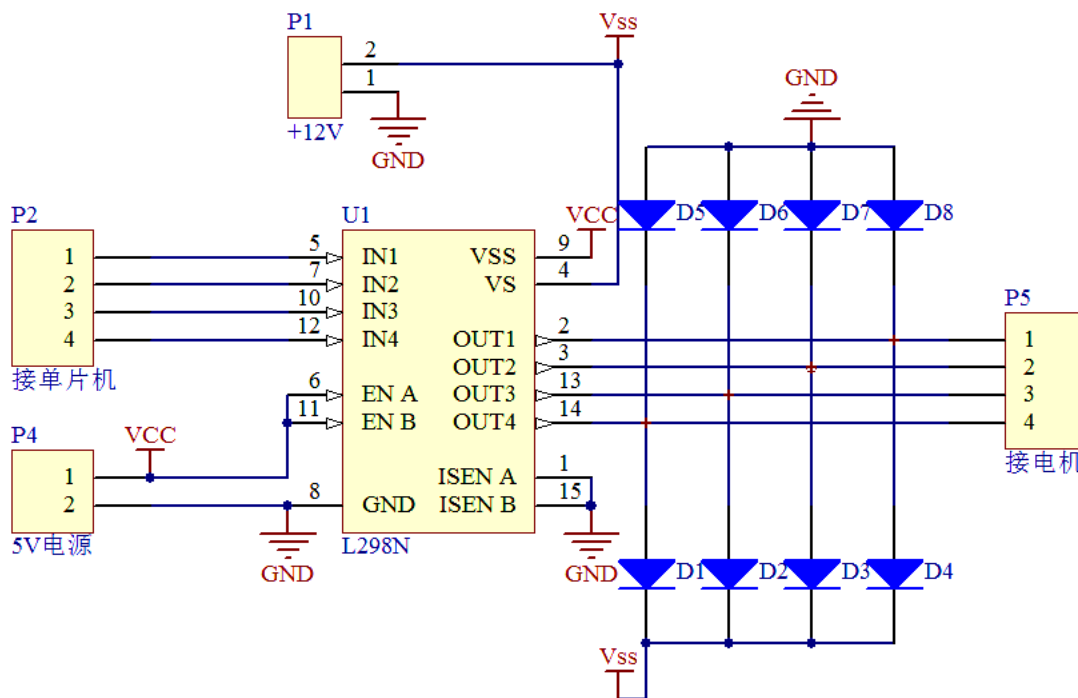


图 3.14 L298 参考电路图

对于以上电路图有以下几点说明：

1. 电路图有两个电源，一路为 L298 工作需要的 5V 电源 VCC，一路为驱动电机用的电池电源 VSS。

2. 1 脚和 15 脚有的电路在中间串接大功率电阻，可以不加。
3. 图中连接了两路电机，P2 和 P5 是一一对应关系，如果只驱动一路电机可以连接对应的 12 或者 34 脚。
4. 八个续流二极管是为了消除电机转动时的尖峰电压保护电机而设计，简化电路时可以不加。
5. 6 脚和 11 脚为两路电机通道的使能开关，高电平使能，所以可以直接接高电平，也可以交由单片机控制。
6. 由于工作时 L298 的功耗较大，可以适当加装散热片。

3.6 测速模块

在飞思卡尔的小车中，测速是必不可少的一部分，但是在校内的比赛中测速应用较少。初学者可以不考虑速度，对小车进行开环控制。而如果加入速度反馈则不仅仅是速度测量的事情，更重要的是结合相应的控制算法，这样速度反馈才有意义，在本章中只做简单介绍，详细的内容可以参加本书第六章。

测速较为常用的有

- 1.测速发电机。
- 2.转角编码盘。
- 3.反射式光检测。
- 4.透视式光电传感器。
- 5.霍尔传感器。

上述的方法中，测速发电机输出电压信号可由 A/D 端口读取，其余的要利用单片机内部的定时器/计数器模块进行测量。软件的工作量会有所增大。不同的测速方式使用的速度范围也有所不同，从稳定性和成本的角度上考虑可以采用后三种方式，具体的实施方法这里不做叙述。但是有一点需要说明，一个好的测速模块是为算法服务的，因此在搭建测速模块构成反馈的同时必须有相应的算法设计，这样小车的整体性能才能够得到提高，测速模块的加入才有意义。

第四章 程序设计

4.1 PWM 的相关知识

4.1.1 PWM 简介以及实现

PWM 听起来很专业其实在本文所讲的应用中很简单，专业一点的讲就是脉冲宽度调制，说白了也就是占空比可变的脉冲波形。也就是说用单片机产生一定周期的方波，而且方波中高电平的时间可以自己调整，这就是 PWM 波。示波器上显示的图形如图 4.1 所示。

之所以在这里先将 PWM 的相关知识是因为在智能小车的设计中 PWM 是很重要的一个应用，首先舵机的控制就是给一定占空比的方波来实现不同的转角的，其次后轮电机的调速也是通过不同占空比的方波来实现。

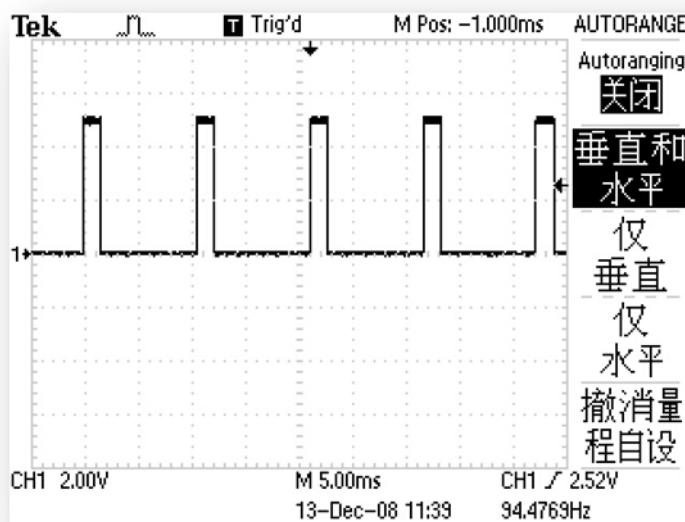


图 4.1

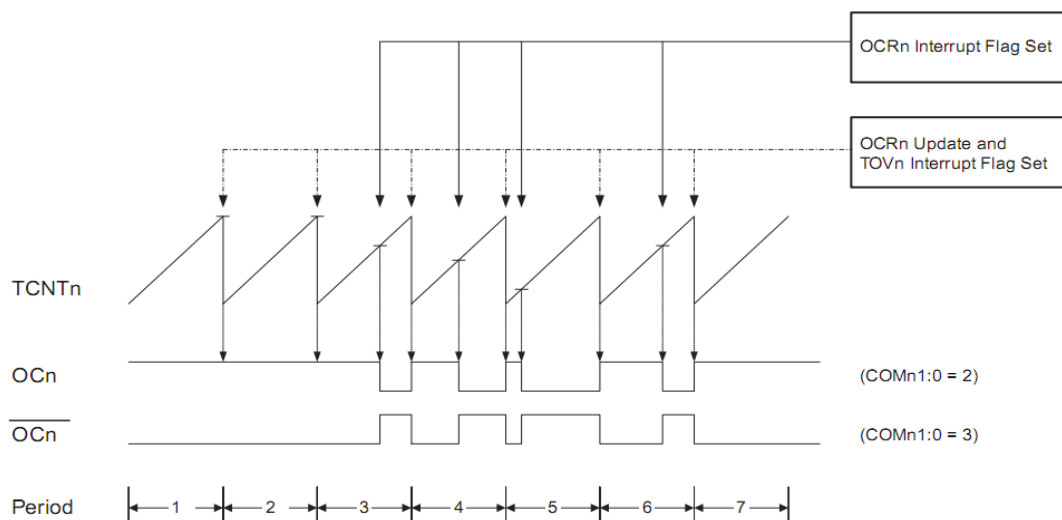
对于 PWM 波的产生不同的单片机虽然有不同方式但是大致的原理是一样的，对于 51 单片机由于没有自带 PWM 波产生的寄存器因此需要通过软件的方式来实现。AVR 的单片机虽然自带快速 PWM 波的模式，在软件设计上可以有部分的简化但在本质上还是一样的。下面以 ATmega16 的技术文档中快速 PWM 模式的一个图来说明以定时器计数的方式产生 PWM 波的原理。如图 4.2 所示。

从图 4.2 可以看出快速 PWM 波的产生其实就是一个计数匹配的过程，以上图为例 TCNTn 中的数值随着每进一次中断记一次数，当数值和另一个寄存器 OCRn 中的数值相等时就将固定的引脚 Ocn 清零（变为低电平），当 TCNTn 计数到最大值（如果是 8 位定时器则为 0xFF）再次将 OCRn 置位，因此只要定好每次进入中断的时间和寄存器 OCRn 的值就可以产生一定频率和一定占空比的 PWM 波。

51 单片机也可以采用相同的方式，有所不同的是 51 单片机中并没有上面所提到的寄存器，因此需要自己设定一些变量进行计数。在设置定时器时应注意以下两点：

- ①合理选择进入中断的时间和计数上限。
- ②计数上限和最终的 PWM 频率的选择应由外部器件的具体要求决定。

对于程序的详细写法这里没办法做详细的说明以上给出了思路，请自己参考程序设计的相关书籍。



.图 4.2 快速 PWM 模式时序图

4.1.2 51 单片机产生 PWM 波

程序初始化：定时器 0 和定时器 1 都采用方式 1,16 位的计数方式，计时时间到后进入中断，进入中断时间为 0.04ms，为此特地写了一个简化的程序用来验证 PWM，51 单片机的 PWM 的程序如下：

```
#include<AT89X51.H>

#define Moto1 P2_0           //驱动电机信号的输出端口
#define Moto2 P2_1
#define Duoj P2_4           //舵机信号的输出端口

unsigned char D_count,D_num;
unsigned char M_count,M_num;

void main()
{
    Moto1=1;
    P2_2=0;
    Duoj=1;
    TMOD=0x11;               //Timer0 和 Timer1 同时配置为模式 1,16 位计数模式
    TH0=(65536-40)/256;      //定时器初值设置
    TL0=(65536-40)%256;      //
    TH1=(65536-2000)/256;
    TL1=(65536-2000)%256;
    TR0=1;                   //允许定时器 0 计数
    ET0=1;                   //允许定时器 0 溢出中断
    TR1=1;
    ET1=1;
    EA=1;                    //开启总中断
    D_num=25;
```

```

    while(1)
    {

    }
}
void t0() interrupt 1
{
    D_count++;
    if(D_count==D_num)
        Duoj=0;
    if(D_count==250)
    {
        D_count=0;
        Duoj=1;
    }
    TH0=(65536-40)/256;           //重装初值
    TL0=(65536-40)%256;
}
void t1() interrupt 3
{
    M_count++;
    if(M_count==M_num)
    {
        Moto2=1;
    }
    if(M_count==5)
    {
        M_count=0;
        Moto2=0;
    }
    TH1=(65536-2000)/256;
    TL1=(65536-2000)%256;
}

```

利用 Proteus7.4 SP3 软件进行仿真，仿真电路如所示图 4.3 所示。

通过仿真图大家也能够看出来，利用相关的软件进行仿真其实非常容易，因此特别推荐大家在做软件时能够充分利用各种工具软件如 Proteus、Multisim 等进行先期的验证。Proteus 的仿真结果如图 4.4 所示。

Proteus 等软件的使用这里不过多介绍，但是仍然希望大家注意一点，对于程序希望大家能够彻底看懂，从基础看起，要大致弄懂每一句话，每一个数值的来源，切勿生搬硬套。另外上面所介绍的是针对 51 单片机的程序注意是依靠定时器的计数来产生，像 AVR 等多数稍微高级一点的单片机都带有硬件 PWM，因此可以直接配置相关的寄存器，这样能够简化程序提高效率。

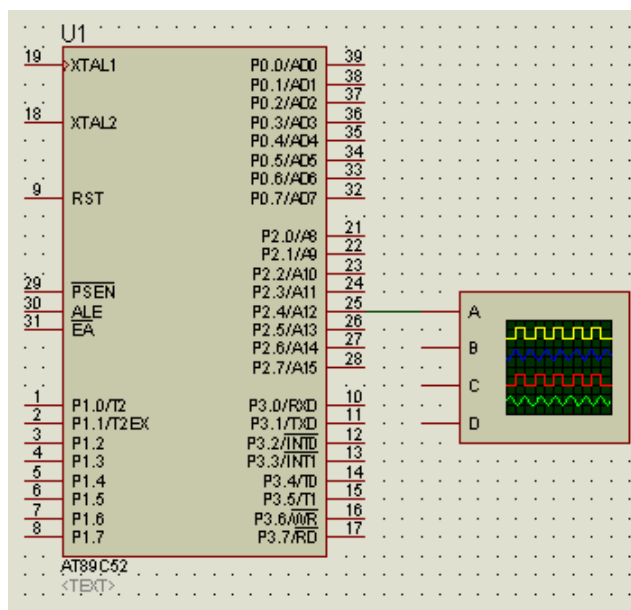


图 4.3 Proteus 仿真图

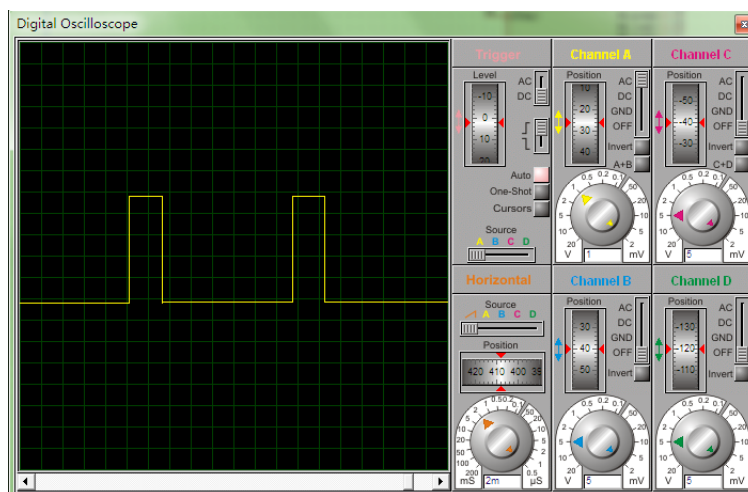


图 4.4 Proteus 中的示波器观察程序的运行结果

4.2 舵机的控制

前面已经有过介绍说舵机转过的角度是由一定占空比的方波来控制的，图 4.5 给出了舵机的转角和高电平占空比关系图。由图可知：对舵机的控制信号是由一串周期 18-20ms，其中高电平时间 1-2ms 的方波信号组成。当高电平时间为 1ms 时舵机左转 60°，当高电平时间为 2ms 时舵机右转 60° 转过的其他角度与高电平的时间呈线性关系。也就是说每 0.1ms 的高电平变化就会影响舵机 12° 的转角，因此这也就是我在上一节中提到的要合理设置定时器频率和计数上限的原因。

对于舵机控制的程序设计有以下两点需要注意：

1. 在舵机安装完成后你无法保证舵机 0° 的转角刚好就是车轮指向正前方，因此上图中的 0° 也就没有任何意义，设计者必须根据小车的安装情况设定自己的参考点。
2. 在实际应用中可能无法做到舵机的连续可调，可以设定固定的几个转角，当然如果设定的转角数越多舵机的转向过渡就会显得越平滑控制效果就越好。
3. 实际应用中舵机可能各有不同，方波的周期也不一定是严格的 20ms，因此在小车的控制之前先要写一段测试程序对你的舵机进行转角测试，同时也为程序的编写提供数据。

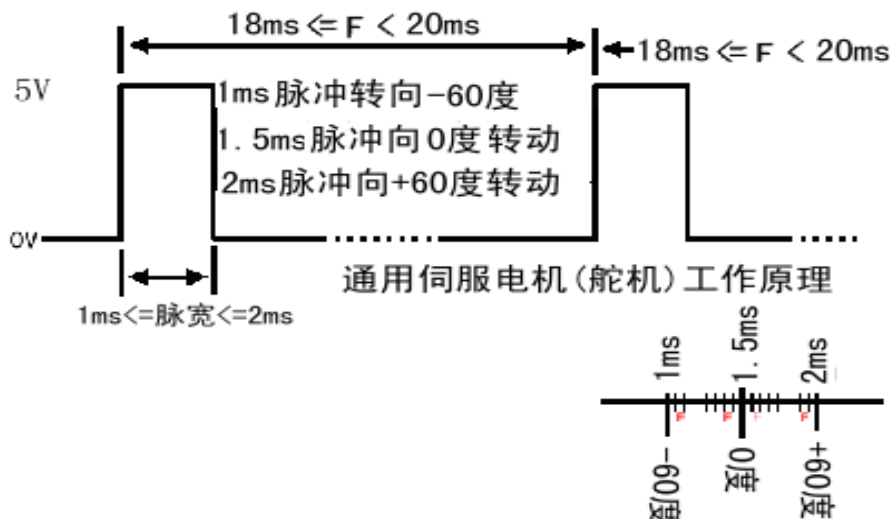


图 4.5 舵机的 PWM 控制信号

4.3 后轮电机的控制

前面已经讲过后轮电机有单片机通过驱动芯片进行驱动，那么对后轮电机的控制很显然也就包括了方向和速度的控制。方向的控制很简单，电路图如图 3.14 所示，前面说过电机和至单片机的 1234 四个是一一对应的，其中 12 是一个通道，使能由 ENA 脚控制，高电平有效，34 是第二个通道，使能由 ENB 控制。因此可以把电机接在 12 脚上（图 3.14 中 P5 的 12 脚），因此如果接单片机的 12 脚分别接在 51 单片机的 P1.0, P1.1 两脚如果在程序中令 P1.0 = 1; P1.1 = 0; 电机正转，则 P1.0 = 0; P1.1 = 1; 电机反转，而如果在程序中对 P1.0 或 1.1 脚产生一个 PWM 波来控制，那么不同的占空比就会让电机具有不同的速度。

对于电机的调速控制有以下两点说明：

- ①应注意选择合适的控制频率，过高可能导致电机不转，频率过低可能使电机间歇性转动。
- ②使用不同占空比的 PWM 波控制电机时有时虽然在空转的情况下电机速度降低但是同时带负载的情况会严重降低，所以在以往的比赛经常出现的有的小车在转弯时出现跑不动的情况，因此应注意选择频率和占空比。

4.4 程序总体的设计

对于简单的智能小车程序设计来说一般都采用查询的方式，即先查询光电管的状态，然后根据光电管的状态选择舵机的控制信号，控制舵机转过一定角度，同时控制后轮的转速变化。具体是设计各有不同如简单的 if 语句轮流判断或者 switch 语句都可以实现类似的功能，因此程序的一般结构为：

头文件

全局变量定义

中断服务函数

主函数

 端口定时器设置

 死循环

 查询光电管状态

 设定舵机转过角度

 设定后轮转动方向和速度

虽然一般程序的结构大致如此,但是还是有很多可以优化的地方,如简单的查询方式效率过低,可以将光电管可能的状态,舵机 PWM 波的值,后轮 PWM 的值三者设为三个长度相同的对应数组,这样就可以以 for 循环查询的方式将三者对应起来,提高了效率,同时还可以拓展可能出现的情况。具体的程序我认为绝非三言两语能够总结的也不是一时半会能够学会的,在这里我只能提供一个方向和大致的思路,真正完善的程序设计还是要建立在大量实践的基础之上。

4.5 程序设计的发挥与拓展

前面已经说过程序设计的思路,在硬件设计中也讲过测速模块的设计,因此在程序设计中我还是将它放在发挥与拓展的部分中,对于测速一般有两种方式,实际上着两种方式还是建立在对定时器的灵活使用之上,一种是定时计数,即在规定的时间内计数测速模块采集到的脉冲次数,二是定数计时,即计数到一定的次数时去计算所用的时间,无论哪种方法一般都是两个定时器配合使用,即一个计数,一个计时。有的单片机具有输入

说完测速,下面想说的是算法的优化,也许这个小车过于简单,还谈不上什么算法不算法的,但是仍然有很多技巧值得我们去学习去摸索。在控制方面最简单的一点估计就不用我多说了——转弯减速,直道加速,这是小车最基本的部分,而如果配合测速模块这一点又有很多可以设计的地方,在不同的速度情况下遇到转弯采取什么样的处理方式又有所不同。举个例子,我见过一个设计,他的转弯设计为刹车的方式,所谓刹车就是直接让电机倒转一定时间再恢复即可起到刹车的效果。这一点也算是一个小小的发挥,对于长直道加速后的一个急转弯这一招很有效,小车甚至能够以一个很漂亮的摆尾转过去,但是当遇到一个半圆形车道时就出现了小车不停刹车的状况,这一点就是在设计上不够完善。因此在做类似的发挥设计时应当尤其注意。

除此之外还有在光电管状态判别上的优化,因为小车的运行情况相对来说比较恶劣,因此在程序设计时还要充分考虑到各种可能出现的情况并在程序中加以限制或过滤,只有这样小车才能有一个平稳的运行效果。

对于扩展这一块目前只介绍那么多,在本书的发挥部分有更为详细的介绍,感兴趣的同学可以去关注。

第五章 测试与调试

5.1 测试与调试

首先我想有必要强调一下测试与调试的重要性，如果忽略这两个环节往往会绕很多弯路造成很大麻烦，因此希望大家认真对待。

首先说测试，何为测试，测试就是检验元件好坏，电路能否正常工作，因此特别是在硬件设计中，开始一个模块设计之前和完成一个模块设计之后都要进行测试。在设计之前很多同学刚入门，对很多元器件没有搞清楚，基本的封装和引脚都不清楚就轻率的进行焊接和画 PCB 板，最终浪费了大量时间并对心理造成负面影响。因此在动手之前请务必查清楚所用元件资料，不清楚的利用手头的仪器进行测试。在稍微复杂一点的电路设计之前可以先搭建其中的一部分电路，测试一下是否正常，然后在进行总的电路设计。这样循序渐进的进行设计可以节省时间保证电路的正确性。同样，程序方面的设计也是如此。没见过哪个牛人上来就是哗哗的把整个程序都写好的，基本上都是从最简单的程序开始，慢慢的调试和扩充。电路设计之后的测试也同样重要，特别是和程序有关的外围检测、驱动等模块，如果不排除硬件故障在调试的时候很难让你分清到底是硬件还是软件的问题，因此硬件设计完成之后首先需要测试硬件能够正常工作，这样在遇到问题时才能够排除硬件的干扰找出问题的所在。

测试完成之后再谈调试部分，所谓调试就是在基本功能实现的基础之上调整参数，实现最佳的性能。真正从比赛的角度上来说需要在调试上花一定的时间。如果从总的角度上来说大家在做的时候可以先做一个模块，基本功能实现后可以去尝试在原有的基础之上扩展并提高性能，最后根据前一阶段的测试结果有针对性的重新设计电路板，最终将硬件部分测试下来，后面的时间主要就可以从软件的角度去调整参数。

另外需要强调一点就是，在硬件设计阶段就要留出参数选择接口和指示模块，如使用拨码开关作为参数选择使用 LCD 作为信息显示，同时也可以留出无线通讯端口如无线串口模块方便后期的参数采集和调试。同时针对赛场上的突发状况需要在软件中预置几种状况，最起码要预置几种速度选择，这样一旦在比赛是初始方案无法正常运行可以及时通过车身上的拨码开关等选择另一种方案，这一点希望大家在硬件设计的时候就要考虑进去。

5.2 智能车的测试步骤

对于小车的整体来说测试要按照模块来进行，一般我认为应分为以下几个步骤：

- ①首先测试电源的工作情况，各个模块能否得到良好供电。
- ②光电管安装完成后按照第三章中的方法依次测试每个光电管的电压变化情况，完成后根据测试数据调节电位器选择合适的参考电压然后依次测量比较器或运放的输出端有无根据检测到黑线的情况产生相应的电平变化，若没有则检查相应的电路和元件好坏，测试成功后进行下一步。
- ③检查单片机能否正常的烧写程序和工作。
- ④用单片机产生不同占空比的信号控制舵机进行转角测试，找出小车转向的参考点和对应的 PWM 设置参数。
- ⑤测试后轮电机的工作情况，并试验在不同频率和占空比的情况下电机的驱动能力。
- ⑥将光电管和舵机联合，编写程序测试转向情况。
- ⑦编写测试程序让小车初步运行。
- ⑧反复测试各参数变化对小车的影响，找出最有效的配置。
- ⑨对小车运行过程中各种可能出现的情况进行测试，发现问题、找出解决方法。
- ⑩整理数据，优化算法和程序设计。

发挥部分

本部分补充介绍了摄像头、激光管、电磁传感器的基本原理，对电路的设计、信号采集、信号处理等方面都有介绍，同时对算法方面也略有涉及。由于此部分内容是针对有基础的同学，因此更多介绍的是一种方法、一种思路，具体的实现方法还需要大家自行设计。介绍内容供大家参考，也希望大家不要局限于本书内容，积极发挥。

第六章 车速的测量

6.1 车速测量的重要性

为了使得赛车能够平稳地沿着赛道运行，需要控制车速，使赛车在急转弯时速度不至过快而冲出赛道。通过控制驱动电机上的平均电压可以控制车速，但是如果开环控制电机转速，会受很多因素影响，例如电池电压、电机传动摩擦力、道路摩擦力和前轮转向角度等。这些因素会造成赛车运行不稳定，通过速度检测，对车模速度进行闭环反馈控制，即可消除上述各种因素的影响，使得车模运行得更稳定。

车速检测的方式有很多种，例如用测速发电机、转角编码盘、霍尔传感器检测、反射式光电检测和透射式光电检测。测速发电机、转角编码盘精度比较高，但是价格比较贵，常用在飞思卡尔智能汽车竞赛当中，不过多介绍。

6.2 车速测量的几种方式

6.2.1 霍尔传感器检测

霍尔传感器检测主要通过霍尔效应来实现的，磁铁在接近霍尔传感器时传感器会产生一个高电平，通过检测一定时间内检测到的高电平，可计算出对应的速度量。示意图如图 6.1 所示。

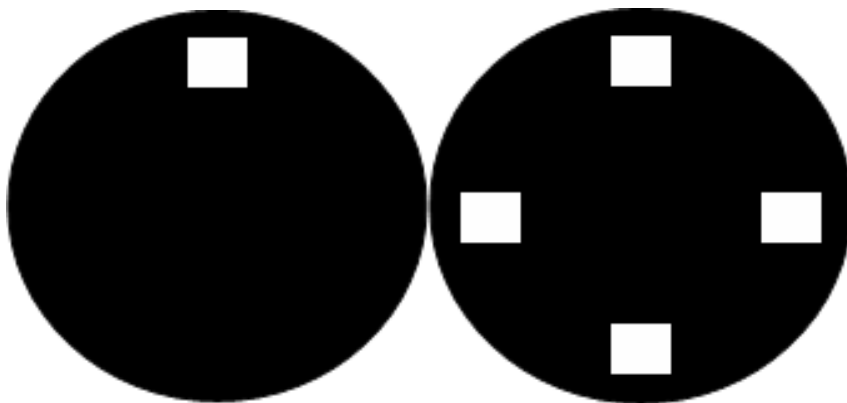


图 6.1 霍尔传感器安装示意图

6.2.2 反射式光电检测

反射式光电检测比起霍尔传感器来说精度得到了很大的提高。原理同光电式检测一样。具体的电路图可以参照 3.3 节循迹模块的设计，图 6.2 为检测用的黑白条纹。

6.2.3 透射式光电检测

透射式光电检测可以使测量精度大大地提高，原理同光电式检测一样，主要优势在于机械结构上的稳定。电路原理仍和前面介绍的循迹模块相同，可以参照 3.3 节电路进行设计这里不再赘述，安装方式如图 6.3 所示。

除了以上介绍的几种方式之外常用的还有光电编码器、测速发电机等多种方式，但是较为简单而且成本较低的主要就是上面介绍的三种，其他的在这里就不做介绍。

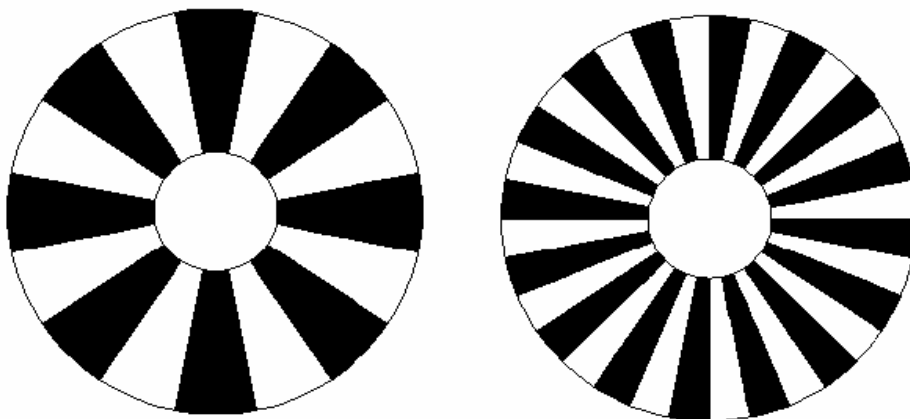


图 6.2 黑白相间的反射条纹



图 6.3 透射式光电检测电路的安装

6.3 车速测量的单片机实现

在上一小节中主要介绍了测速的几种方式，那么究竟怎样才能让单片机知道速度是多少，其实原理都是一样的。上面介绍的三种方法都是将速度转化成脉冲的方式，速度增加时测速期间所采集到的脉冲频率也增加，因此无论用的是哪一种方法在本质上都是测量频率。那么对于普通单片机来说测量频率无外乎两种方法，单位时间内测量脉冲个数和固定的脉冲个数测量所用时间，两种方法都可以用，需要根据自己的实际情况去选择。这两种方法一般都需要两个定时器配置使用，而有一个定时器有必须用来产生 PWM 波，因此在定时器的使用上需要做一个规划。对于有些单片机带有输入捕获功能（AVR 很多就有，更高级就不用说了）因此可以使用硬件上的输入捕获功能来测量脉冲电平的时间，这也是很方便的一种方法。但是在选用和配置寄存器时应注意合理选择，防止定时器溢出。

第七章 摄像头的使用

7.1 摄像头工作原理及简介

摄像头的工作原理是：按一定的分辨率，以隔行扫描的方式采集图像上的点，当扫描到某点时，就通过图像传感芯片将该点处图像的灰度转换成与灰度一一对应的电压值，然后将此电压值通过视频信号端输出。信号如图 7.1 所示，摄像头连续地扫描图像上的一行，则输出就是一段连续的电压信号，该电压信号的高低起伏反映了该行图像的灰度变化。当扫描完一行，视频信号端就输出一个低于最低视频信号电压的电平（如 0.3V），并保持一段时间。这样相当于，紧接着每行图像信号之后会有一个电压“凹槽”，此“凹槽”叫做行同步脉冲，它是扫描换行的标志。然后，跳过一行后（因为摄像头是隔行扫描的），开始扫描新的一行，如此下去，直到扫描完该场的视频信号，接着又会出现一段场消隐区。该区中有若干个复合消隐脉冲，其中有个远宽于（即持续时间长于）其它的消隐脉冲，称为场同步脉冲，它是扫描换场的标志。场同步脉冲标志着新的一场的到来，不过，场消隐区恰好跨在上一场的结尾和下一场的开始部分，得等场消隐区过去，下一场的视频信号才真正到来。摄像头每秒扫描 25 幅图像，每幅又分奇、偶两场，先奇场后偶场，故每秒扫描 50 场图像，所以摄像头扫描周期是 20ms。奇场时只扫描图像中的奇数行，偶场时则只扫描偶数行。

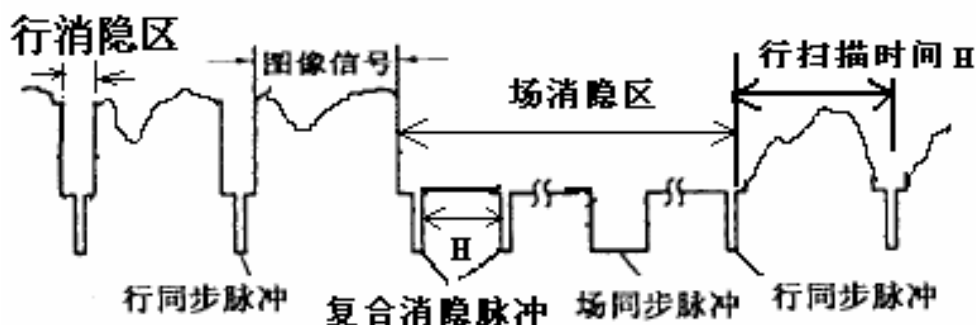


图 7.1 摄像头视频信号

摄像头有两个重要的指标：有效像素和分辨率。分辨率实际上就是每场行同步脉冲数，这是因为行同步脉冲数越多，则对每场图像扫描的行数也越多。事实上，分辨率反映的是摄像头的纵向分辨能力。有效像素常写成两数相乘的形式，如“320x240”，其中前一个数值表示单行视频信号的精细程度，即行分辨能力；后一个数值为分辨率，因而有效像素=行分辨能力×分辨率。

值得注意的是，通常产品说明上标注的分辨率不是等于实际分辨率（即每场行同步脉冲数），而是等于每场行同步脉冲数加上消隐脉冲数之和。因此，产品说明上标注的“分辨率”略大于实际分辨率。我们要知道实际的分辨率，就得实际测量一下。

通过 S12 单片机的定时器模块对单个脉冲的下降沿和上升沿间隔、两相邻脉冲上升沿间隔进行计时，可得每行信号和每个脉冲持续的时间。实际测得所用摄像头（1/3 Omni Vision CMOS）的时序参数见表 7.1。

从测得的结果可知，该摄像头扫描的每场中有 320 行信号，其中第 23 行到 310 行是视频信号，第 311 行到下一场的第 22 行是场消隐信号。在视频信号区，每行信号持续的时间相同，约为 62us；每行的行同步脉冲持续时间也相同，约为 4.7us。而在场消隐区，每行持续的时间会有所变化，每行对应的消隐脉冲持续的时间，尽管其中大多数为 3.5us，但也有变化。在场消隐区中，第 320 行的消隐脉冲持续的时间远长于其他消隐脉冲的时间，此脉冲即为场同步脉冲。

表 7.1 摄像头时序参数

信号属性	行序数	行持续时间	行同步脉冲持续时间	消隐脉冲持续时间
场消隐区	1-4	23us		3.5us
	5	27.3us		8us
	6	37.3us		3.5us
	7-10	29.8us		3.5us
	11-22	62us		4.7us
视频信号区	23-310	62us	4.7us	
场消隐区 (场同步脉冲)	311-314	62us		4.7us
	315	62us		3.5us
	316-319	29.8us		3.5us
	320	53.4us		28us

7.2 模拟摄像头视频分离电路设计

要有效地对视频信号进行采样，首先要处理好的问题是如何提取出摄像头信号中的行同步脉冲、消隐脉冲和场同步脉冲。这里有两种可行的方法。第一，直接通过单片机 AD 进行提取。因为行同步脉冲、消隐脉冲或场同步脉冲信号的电平低于这些脉冲以外摄像头信号的电平，所以据此可设定一个信号电平阈值来判断 AD 采样到的信号是否为上述三类脉冲。第二，就是给单片机配以合适的外围芯片，此芯片要能够提取出摄像头信号的行同步脉冲、消隐脉冲和场同步脉冲以供单片机作控制之用。

考虑到单片机的速度有限，而一些脉冲的间隔时间又较短，同时为了减轻其处理负担，我们采用了第二种方法进行信号提取。LM1881 视频同步信号分离芯片（简称 LM1881）可从摄像头信号中提取信号的时序信息，如行同步脉冲、场同步脉冲和奇、偶场信息等，并将它们转换成 TTL 电平直接输给单片机的 I/O 口作控制信号之用。LM1881 的端口接线方式如图 7.2 所示。

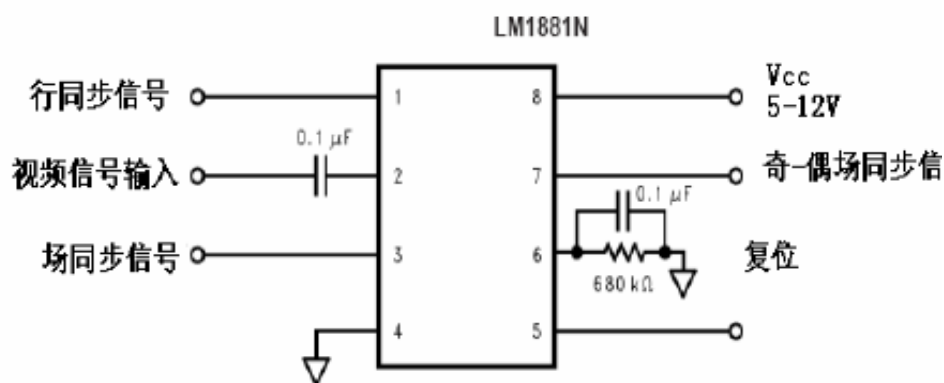


图 7.2 LM1881 连接图

其中，引脚 2 为视频信号输入端，引脚 1 为行同步信号输出端。引脚 3 为场同步信号输出端，当摄像头信号的场同步脉冲到来时，该端将变为低电平，一般维持 230us，然后重新变回高电平（如图 3 中的 c）。引脚 7 为奇、偶场同步信号输出端，当摄像头信号处于奇场时，该端为高电平，当处于偶场时，为低电平。事实上，不仅可以用场同步信号作为换场的标志，也可以用奇、偶场间的交替作为换场的标志。

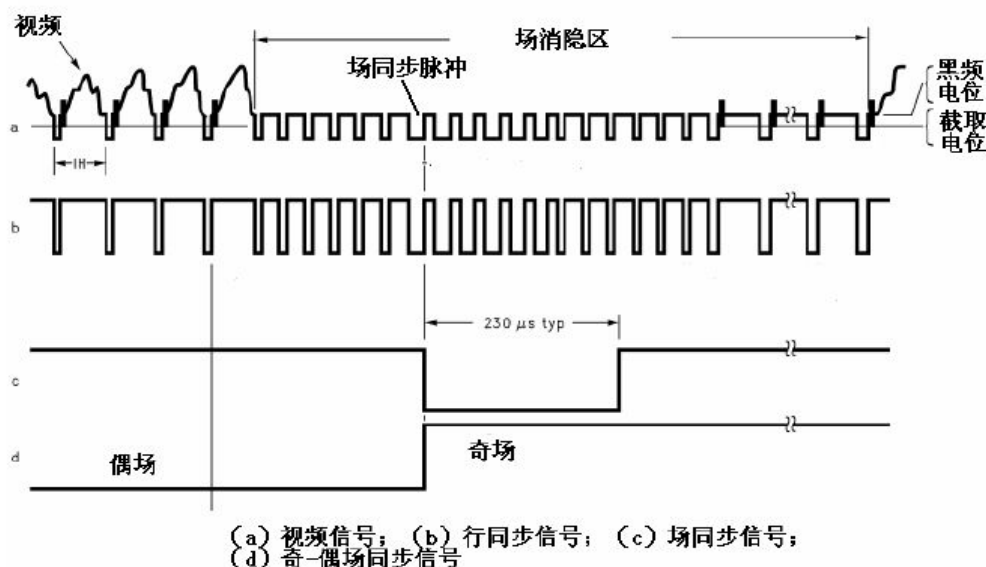


图 7.3 LM1881 信号时序图

由 LM1881 及其外围电路构成的摄像头采样电路如图 7.4 所示。摄像头视频信号端接 LM1881 的视频信号输入端，同时也接入单片机的一路 AD 转换端口。LM1881 的行同步信号端（引脚 1）接入单片机，采用脉冲捕捉方式获取行同步信号，也可以采用硬件中断获取。同时将 LM1881 的场同步信号也接入单片机（建议接到外部中断引脚），这样，可以获取场信号和行同步信号，从而判断每场图像是否采集完。

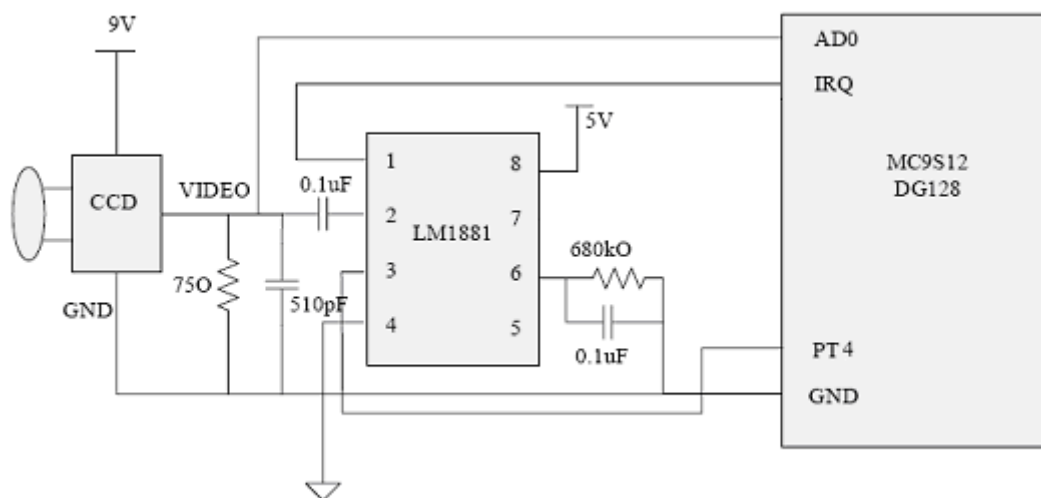


图 7.4 摄像头采样电路图

7.3 摄像头选型

目前市面上常见的摄像头主要有 CMOS 和 CCD 两种，按输出又可分为数字摄像头和模拟摄像头。模拟摄像头多为 CCD 的，按不同档次分辨率不同。CMOS 摄像头大多为数字摄像头。不管 CCD 或 CMOS，基本上两者都是利用硅感光二极管（photodiode）进行光与电的转换。这种转换的原理与具备“太阳能”电子计算机的“太阳能电池”效应相近，将光影像转换为电子数字信号。比较 CCD 和 CMOS 的结构，ADC 的位置和数量是最大的不同。简单的说，CCD 每曝光一次，在快门关闭后进行像素转移处理，将每一行中每一个像素（pixel）的电荷信号依序传入“缓冲器”中，由底端的线路引导输出至 CCD 旁的放大器进行放大，再串联 ADC 输出；相对地，CMOS 的设计中每个像素旁就

直接连着 ADC（放大兼类比数字信号转换器），讯号直接放大并转换成数字信号。两者优缺点比较如图 7.5 所示。

	CCD	CMOS
灵敏度	同样面积下高	感光开口小，灵敏度低
成本	成本高	CMOS 整合集成，成本低
解析度	连接复杂度低,解析度高	低，新技术高
噪点比	单一放大，噪点低	百万放大，噪点高
功耗比	需外加电压，功耗高	直接放大，功耗低

图 7.5 CCD 和 CMOS 比较

由于构造上的基本差异，我们可以列出两者在性能上的表现之不同。CCD 的特色在于充分保持信号在传输时不失真（专属通道设计），透过每一个像素集合至单一放大器上再做统一处理，可以保持资料的完整性；CMOS 的制程较简单，没有专属通道的设计，因此必须先行放大再整合各个像素的资料。针对智能车系统来说，CCD 摄像头具有对比度高、动态特性好的优点，但需要工作在 12V 电压下，对于整个系统来说过于耗电；CMOS 数字摄像头体积小，耗电量小，图像稳定性较高，但是对光线的要求较高，容易受到外界环境光的影响。建议在初学的情况下可以使用 CCD 模拟摄像头进行图像视频信号采集，推荐淘宝上一款单板模拟摄像头如图 7.6 所示。

飞思卡尔智能车 SONY黑白CCD单板机摄像头,中心校准,送镜头



一口价：120.00元
快递：10.00元
商家承诺：如实描述

您现在查看的是宝贝快照
该宝贝在2010年07月16日 19点49分30秒已被编辑。
[点此查看最新宝贝详情](#)

所在地区：广东深圳
宝贝类型：全新

掌柜档案
zg93365 和我联系
卖家信用：3847
卖家好评率：100.0%
买家信用：124
买家好评率：100.0%
注册时间：2006年04月15日

[挑选更多商品](#)
[进入掌柜店铺](#)

宝贝详情 付款方式 售后服务

图 7.6 单板摄像头

图像传感器: 1/3"SONY CCD

有效像素: CCIR:500(H)×582(V) EIA:510(H)×492(V)

感光面积: 4.8mm×3.6mm

信号系统: PAL（模拟信号）

水平清晰度: 420 电视线

最低照度: 0.1Lux/F1.2

增益控制: 自动

背光补偿: 自动

电子快门: 自动

快门速度: 1/50 (1/60) —1/100,000 (秒)

白平衡: 自动跟踪白平衡

信噪比: 大于 48db (AGC OFF)

视频输出: 1.0Vp-p, 75Ω(BNC)

工作电压: DC12V±10%

工作电流: 100mA

尺寸 (MM) : 38×38/32×32

标配 3.6MM 镜头, 配 3P 连接线 (需要开发票的另收 5 个税点)

3P 线定义:

红线-----电源

黑线-----地

黄线-----信号

测试方法:

1、将红黑线接上 DC12V 电源后, 将信号线和地线接入普通电视机 AV 输入端, 通过电视机可看到 CCD 摄像头采集的图像。

2、通电后, 使用示波器观测信号线电平, 将看到标准的 PAL 信号曲线。

图中摄像头网址链接为 <http://item.taobao.com/item.htm?id=4804519458>。本链接仅作参考。

为了使 CCD 模拟摄像头工作, 需要给其加上 12V 电压, 通常使用的电池仅为 7.2V 左右, 所以需要加上 5V 升 12V 的升压模块来为摄像头供电, 常用的升压模块淘宝网址为 <http://item.taobao.com/item.htm?id=6651551480>。

7.4 摄像头安装

摄像头的安装位置应合适选取。安装位置太低, 会导致视域不够广阔, 影响寻线的有效范围, 同时容易产生赛道反光; 安装位置太高, 导引线会变得过窄而无法被检测到, 而且赛车系统会因重心抬高而稳定性变差, 同时盲区会变大。安装示意图如图 7.7 所示。

安装位置合适的一个标准是: 在此位置的拍摄范围能满足控制的需要。控制的策略简单, 则所需的拍摄范围就可以小一些; 反之策略复杂, 需获得的赛道信息较多, 则拍摄范围就应大一些。整车效果图如图 7.8 所示。

7.5 基本视频信号采集

该视频采集过程是基于 CCD 模拟摄像头来进行的, 同样适用于 CMOS 中极少数模拟摄像头, 关于数字摄像头 (常用的 OV7620 等) 如有兴趣的同学可以自己去查找资料学习, 这方面不再论述。

模拟摄像头一般输出的黑白全电视信号为 PAL 制式模拟信号, 所以必须经过相应的图像处理模块进行相应转换之后才能由单片机进行处理, 解决方案有以下三种, 下面将依次介绍。

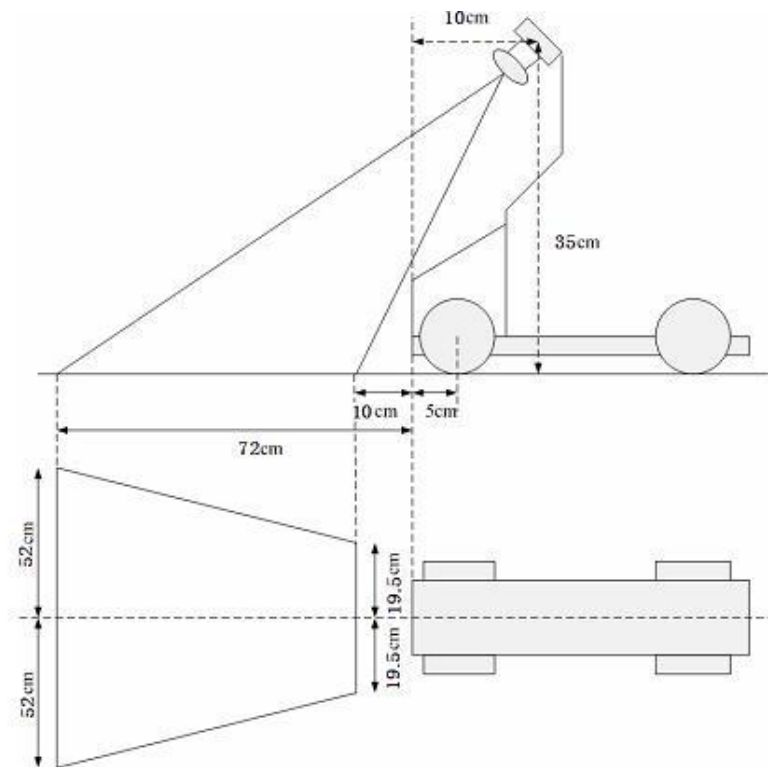


图 7.7 摄像头安装示意图

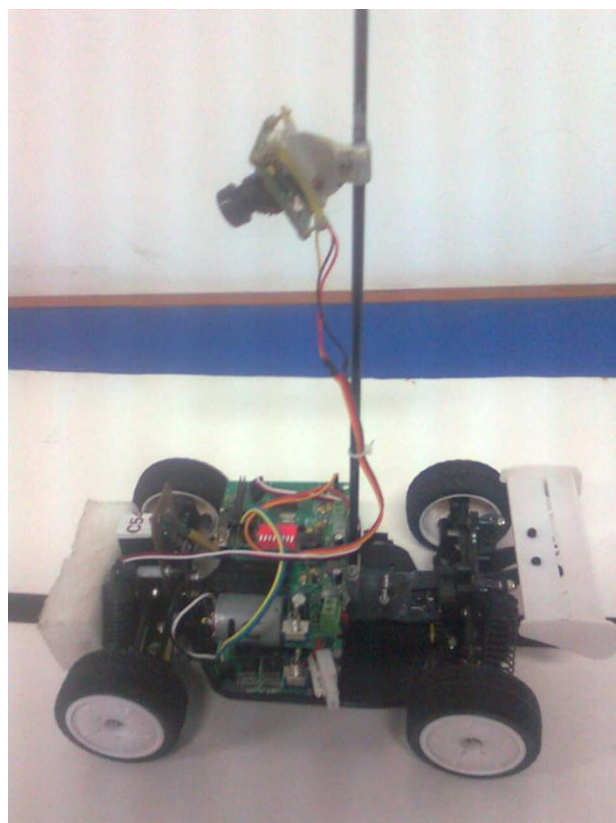


图 7.8 整车效果图

7.5.1 使用单片机内部 A/D 转换。

如果使用的单片机具有 A/D 转换器的功能，可以使用内部 AD 转换。实际使用发现，如果在单片机工作频率不够、AD 转换速率不够快的情况下，每行图像采集的点数较少，使得图像分辨率不高。在要求不是非常高的情况下，该方法还是可行的。以飞思卡尔 MC9S12XS128 为例，由于摄像头行同步信号接到了 S12 单片机的外部中断 IRQ 引脚，所以当每行视频信号到来时，会产生一个中断。此时如果需要采集该行，就开始进行 AD 转换。程序如下：

```
// AD 初始化，选用 AD0
void ADInit()
{
    ATDOCTL2=0xC0;    //启动 AD0 1100
    ATDOCTL3=0x08;    //转换序列长度为 1
    ATDOCTL4=0x81;    //时钟采样时间 ATDCLOCK=BUS/2*(PRS+1) 采集模量 8 位 2 进制 总分频为 4
    ATDOCTL5=0xA0;    //选择通道
    ATDODIEN=0x00;    //数字信号输入使能
}
```

实际采集过程中不可能一幅图像所以行都进行采集，第一时间不够用，如果为了时间够用的话可能会降低横向分辨率，而且单片机的 RAM 有限，不可能存储所有的信息；第二，实际比赛过程中不需要所有行的信息都知道，只需要采集一些特殊行或者一幅图像的前多少行就可以了。所以行中断函数常用来进行选择采集一幅图像的哪些有用行。考虑到摄像头在采集图像时有梯形失真，所有选择采集的有用行要合理进行选择，以尽量减小失真度。如果要求不高，可以每隔固定的几行进行采集。如：

```
(中断初始化函数省略)
#define VIDEO ATDODR0L // 经过 AD 转换的视频信号
#define LINELENG 40 // 每行采样点数
#define ROWLENG 10 // 总共采集行数
#define ROWSTART 40 // 每场开始行
#define INTERVAL 20 // 采集间距
#pragma CODE_SEG __NEAR_SEG NON_BANKED
// 行中断处理程序
void interrupt 11 IC3_ISR()
{
    // 清除行同步中断标志位
    TFLG1_C3F = 1;
    // 行中断计数器 +1
    HsCnt++;
    // 到达开始采集行开始采集，每隔 INTERVAL 采集一次
    if((HsCnt >= ROWSTART) && (HsCnt % INTERVAL == 0) && (RowImgCnt < ROWLENG))
    {
        // 初始化 AD
        ADInit();
        // 将每行指定数量的数据暂存
        for(line = 0; line < LINELENG; line++)
        {
```

```

        while(!ATD0STAT1_CCF0);
        Buffer[line] = VIDEO;
    }
    // 中止 AD 转换
    ATD0CTL2 = 0x00;
    // 行采集计数 +1
    RowImgCnt++;
    // 将行数据存入场图像数组
    for(linestore = 0; linestore < LINELENG; linestore++)
    {
        ImageData[RowImgCnt - 1][linestore] = Buffer[linestore + 2];
    }
}
// 判断是否采集完毕
if(RowImgCnt >= ROWLENG)
{
    // 禁止行中断
    ISR_HsDis();
    // 一场采集完毕，将标志位置 1
    VsGetflag = 1;
}
}

```

通过上述程序可以看出，每幅图像采集 10 行，每行 40 个点，每两行之间间隔 20 行，这样就可以在短时间将一幅图像大致完整的采集出来，同时还有舵机控制和速度控制，并保证所有的时间和在 20ms 以内，因为一旦 20ms 来到，场中断触发，程序将会跳到场中断函数。一般场中断函数主要用来准备下一幅图像采集的准备工作，如：

```

#pragma CODE_SEG __NEAR_SEG NON_BANKED
// 场中断处理程序
void interrupt 15 IC7_ISR()
{
    // 清楚场同步中断标志位
    TFLG1_C7F = 1;
    // 初始化行同步中断计数器
    HsCnt = 0;
    // 初始化行图像计数器
    RowImgCnt = 0;
    // 禁止场中断
    ISR_VsDis();
    // 打开行中断
    ISR_HsInit();
}

```

7.5.2 使用外部 A/D 转换器

TLC5510 是美国德州仪器(TI) 公司生产的 8 位高速 A/D 转换器，它可提供最大 20Mpsps 的采样

The diagram shows the TLC55510 IC with the following connections:

- Pin 1 (GND):** Connected to ground.
- Pin 2 (DGND):** Connected to ground.
- Pin 3 (D1(LSB)):** Connected to D1.
- Pin 4 (D2):** Connected to D2.
- Pin 5 (D3):** Connected to D3.
- Pin 6 (D4):** Connected to D4.
- Pin 7 (D5):** Connected to D5.
- Pin 8 (D6):** Connected to D6.
- Pin 9 (D7):** Connected to D7.
- Pin 10 (D8(MSB)):** Connected to D8.
- Pin 11 (VDD):** Connected to the +5V supply.
- Pin 12 (CLK):** Connected to the CLK signal.
- Pin 13 (VDD):** Connected to the +5V supply.
- Pin 14 (VDD):** Connected to the +5V supply.
- Pin 15 (REFTS):** Connected to the +5V supply.
- Pin 16 (VDD):** Connected to the +5V supply.
- Pin 17 (VDDA):** Connected to the +5V supply.
- Pin 18 (VDDA):** Connected to the +5V supply.
- Pin 19 (ANALOG IN):** Connected to the ANALOG IN signal.
- Pin 20 (AGND):** Connected to ground.
- Pin 21 (AGND):** Connected to ground.
- Pin 22 (REFBS):** Connected to ground.
- Pin 23 (REFB):** Connected to ground.
- Pin 24 (DGND):** Connected to ground.

Power supply filtering components include capacitors C9, C10, C11, C12, C13, C14, and C15, and inductors L1, L2, and L3.

7.5.3 使用模拟电路对 PAL 信号进行转化 (参考北京科技大学 CCD 一队)

实际的比较器电路选择要根据实际情况，通过选择好适当的参考电压，摄像头视频信号在经过比较器电路之后输出不同的高低电平。合适的参考电压下，输出信号接入单片机 IO 口，黑线和白线对应的比较器输出信号正好相反，由于单片机普通 IO 口的操作速度很快，能满足绝大多数情况下的采集速度，故能够通过检测 IO 口的高低电平来判断黑线白线，再通过更加具体的滤波算法来过滤掉噪点等其他无用信息。正常检测时，可以把每一行读到的多个高低电平信号存到数组中去，可以自定义一个二维数组，存储行列信号，然后进行信号的分析处理。

但是一直出现的是0不代表你的摄像头一定是好的,因为你发回来的数组默认的缺省值都是0,所以检测摄像头的好坏或者是否工作至关重要。

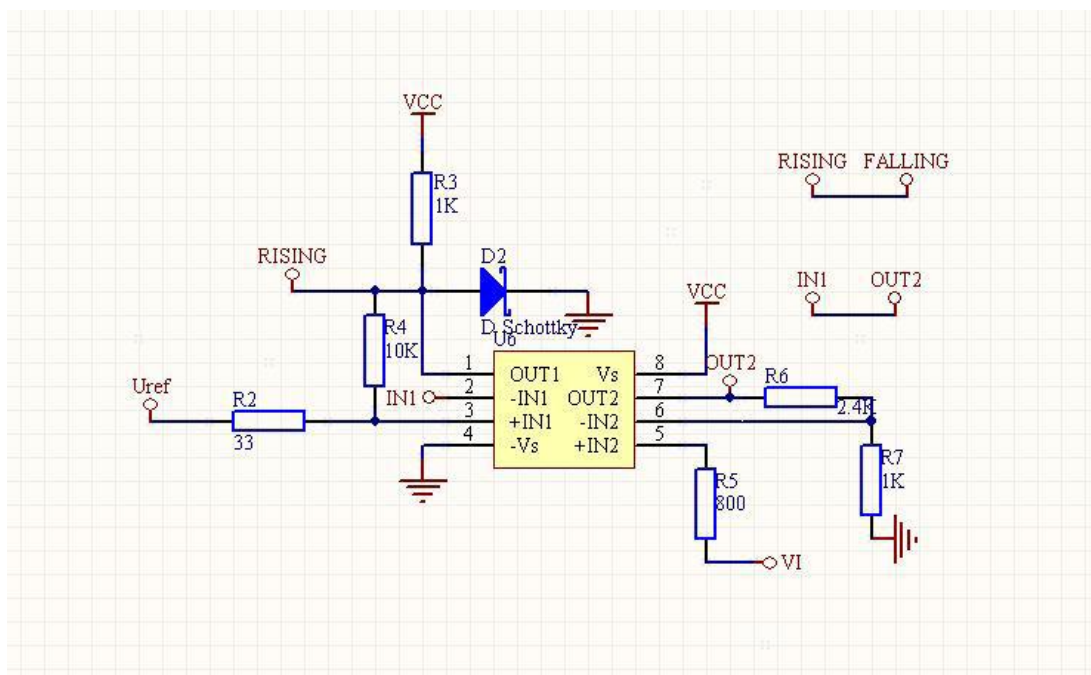


图 7.11 第二代可变参考电压比较器电路

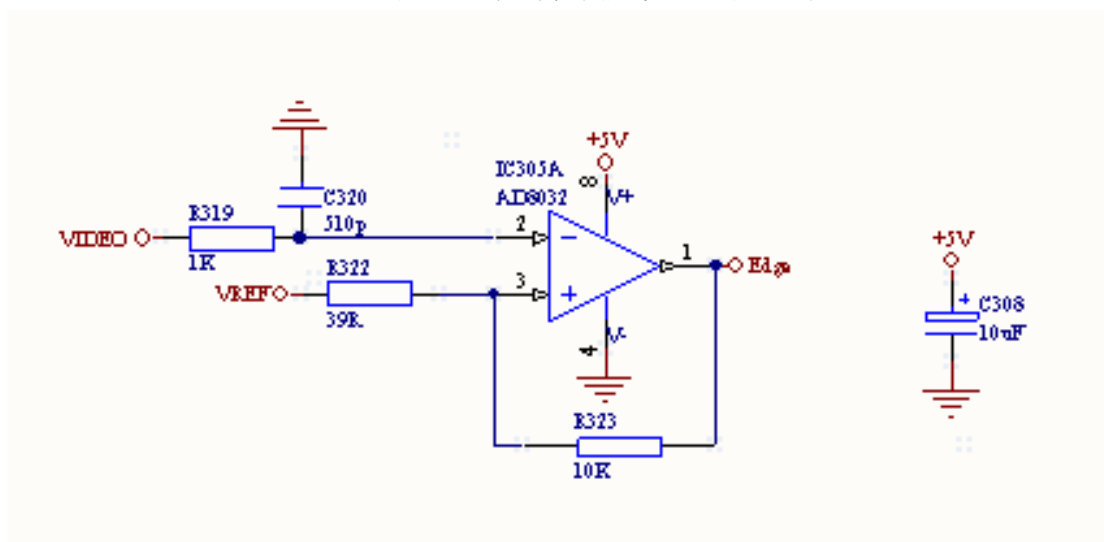


图 7.12 第三代边沿检测比较器电路

如果你有扎实的基础，可以去研究一下动态的参考电压，这样可以使得智能车能够克服不同光线不同环境的影响。

第八章 电磁传感器的使用

8.1 智能汽车电磁组简介：

第五届全国大学“飞思卡尔杯”智能汽车竞赛新增加了“电磁组”。根据比赛技术要求，电磁组竞赛，需要选手设计的智能车能够检测到道路中心线下电线中 20KHz 交变电流产生的磁场来导引小车沿着道路行驶。在平时调试和比赛过程中需要能够满足比赛技术要求的 20KHz 的交流电源驱动赛道中心线下的线圈。同时参赛选手需要自行设计合适的电磁传感器来检测赛道信息完成智能寻迹功能。

关于电磁组的几点说明：

1. 智能车制作是一个涵盖电子、电气、机械、控制等多个领域和学科的科技创新活动。简单点来说可以将其分为硬件电路（包括电源、MUC 控制部分、电机驱动、传感器）、机械、算法三方面的设计。电磁组在机械方面可以参照光电组的设计方案，这里不再赘述。本设计指导只讲述 20KHz 电源、电磁传感器设计方案以及部分算法。
2. 本次校区小车比赛第一次加入电磁组部分，所以我们力求尽可能的多讲一些理论原理，让大家制作起来心里清楚明白。低年级组的同学由于还没有学习模电、高频等课程，可以先不用注重理论细节，我们会给出成熟的设计方案供大家参考。
3. 电磁组是全国新添的竞赛项目，大多数参赛队尚处于摸索阶段，我们的相关经验也不太丰富，希望各参赛选手多多思考，多查查工具书，全国智能车网站上也能找到一些有用的入门级的资料，选手们可以去参阅。

8.2 20KHz 电源参考设计方案

8.2.1 电源技术指标要求

根据官网关于电磁组赛道说明，20KHz 电源技术要求如下：

1. 驱动赛道中心线下铺设的 0.1-0.3mm 直径的漆包线；
2. 频率范围：20K±2K；
3. 电流范围：50-150mA；

图 8.1 是赛道起跑区示意图，在中心线铺设漆包线。

首先分析赛道铺设铜线的电抗，从而得到电源输出的电压范围。我们按照普通的练习赛道总长度 50m，使用直径 0.2mm 漆包线。在 30 摄氏度下，铜线的电阻率大约为 0.0185 欧姆平方毫米/米。计算可以得到中心线的电阻大约为 29.4 欧姆。

按照导线电感量计算公式： $L = 2l \times \ln \frac{4l}{d} - 0.75$ (nH)。其中 l, d 的单位均为 cm。可以计算出直径为 0.2mm，长度 50 米的铜线电感量为 131 微亨。对应 20KHz 下，感抗约为 16.5 欧姆。

可以看出，线圈的电感量小于其电阻值。由于导线的电感量与铺设的形状有关系，上述计算所得到的电感量不是准确数值。另外，我们可以在输出时串接电容来抵消电感的感抗。所以估算电源电压输出范围的时候，我们不再特别考虑线圈的电感对于电流的影响。

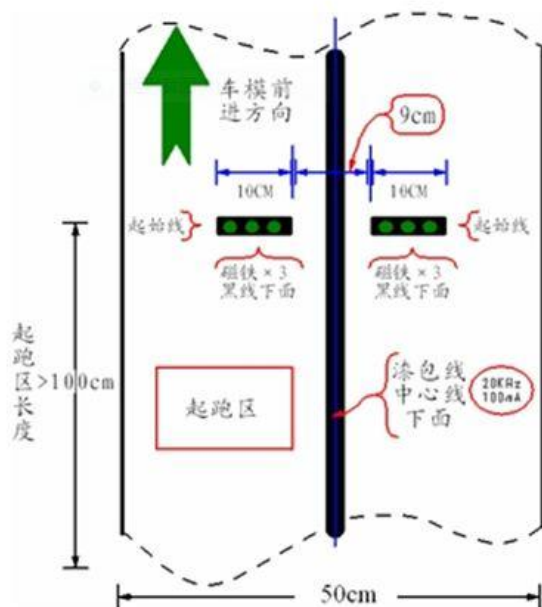


图 8.1 竞赛跑道起跑区示意图

为了方便设计,我们设计电源输出电压波形为对称方波。由于线圈电感的影响,线圈中的电流为上升、下降沿缓变的方波波形。如图 8.2 所示:

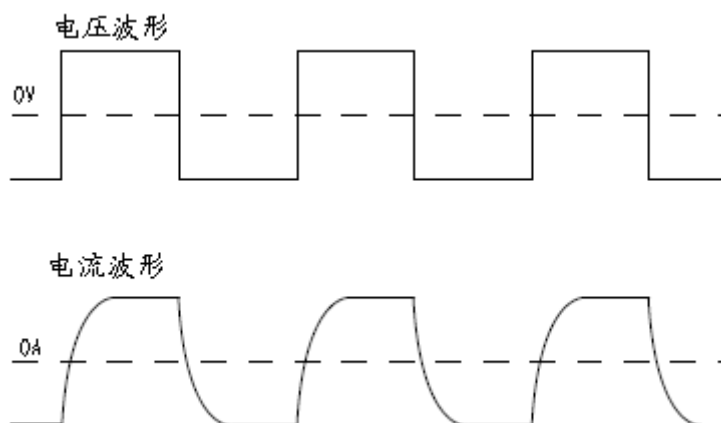


图 8.2 线圈驱动电压与电流示意图

对于电阻为 29.4 欧姆的赛道导线，流过 100mA 的电流，电压峰值应该大于 3V。考虑到赛道长度有可能进一步增加、漆包线的直径减少等原因，设计电源输出电压的峰值为 6V。在输出电流为 150mA 的时候，电源输出功率大约为 0.9W。

8.2.2 电源组成

电源电路包括振荡电路、功率输出电路、恒流控制电路以及电源等组成。如图 8.3 所示。

图 8.3 各分部功能可以采用不同的电路实现。下面分别给出官网电流源各模块的参考设计方案。

振荡电路

产生中心频率为 20KHz 的对称方波信号。为了满足功率输出电路的需要，输出极性相反的信号，可以使用普通的 555 时基电路产生振荡信号，也可以使用简易的单片机产生振荡信号。为了方便调试，信号频率能够在一定范围内进行调整。

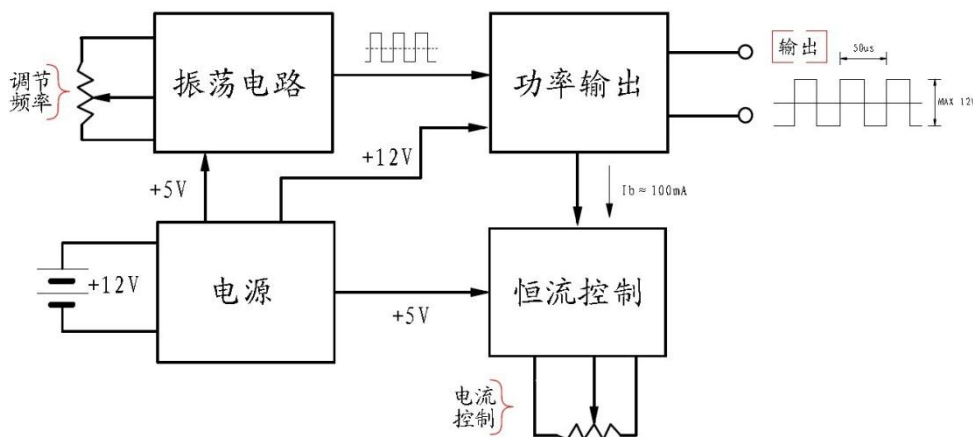


图 8.3 电源组成框图

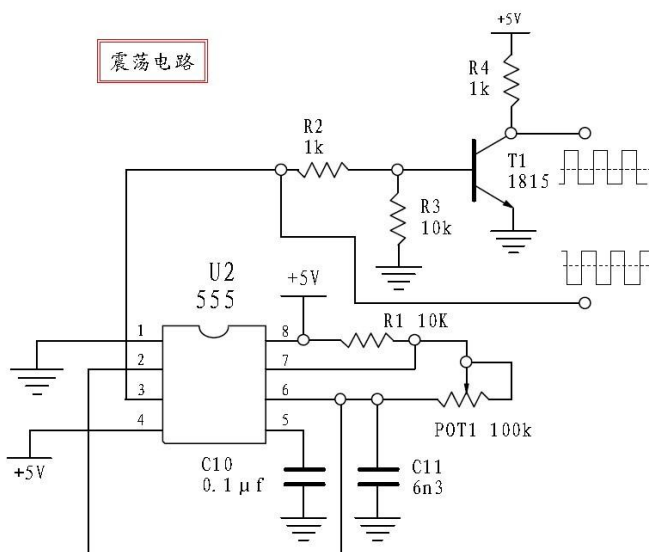


图 8.4 由 555 时基电路组成的振荡电路

555 多谐振荡器原理请大家参考数电课本，实际外围电路电路参数需要自己设定，不一定要和官方给的一样。1815 相当于一个反向器，为闭环回路提供信号源。

555 电路较为简单，如果想更精确的产生 20KHz 当然也可以用单片机来产生所需信号，同时还可以外部连接显示接口显示当前的输出频率、输出电流的大小。

8.2.3 功率输出电路

由于输出驱动信号电压、电流、频率较大，需要一定输出功率驱动跑道线圈，因此最后需要功率输出电路。可以采用分立大功率晶体管搭建输出电路，也可以使用的电机驱动桥电路集成模块。选择时需要注意电路的频率响应应该大 20KHz，输出功率大于 2W。在制作时需要注意电路的散热。图 8.5-8.7 分别绘出了三种不同的功率输出电路，大家可以作为参考。

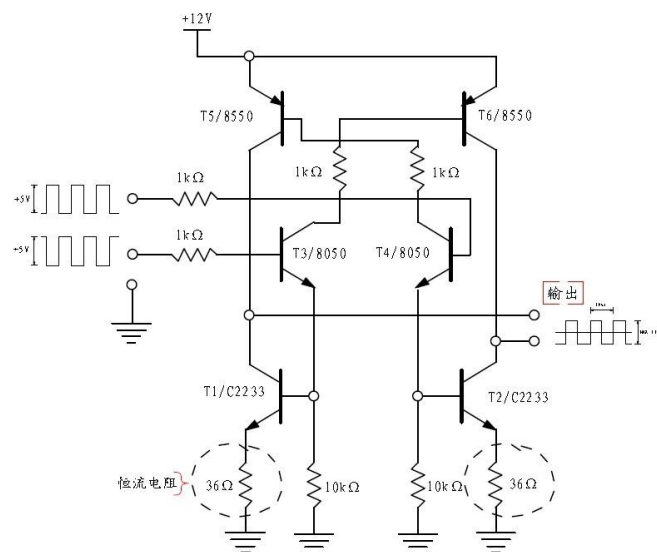


图 8.5 基于分立元件的功率输出电路

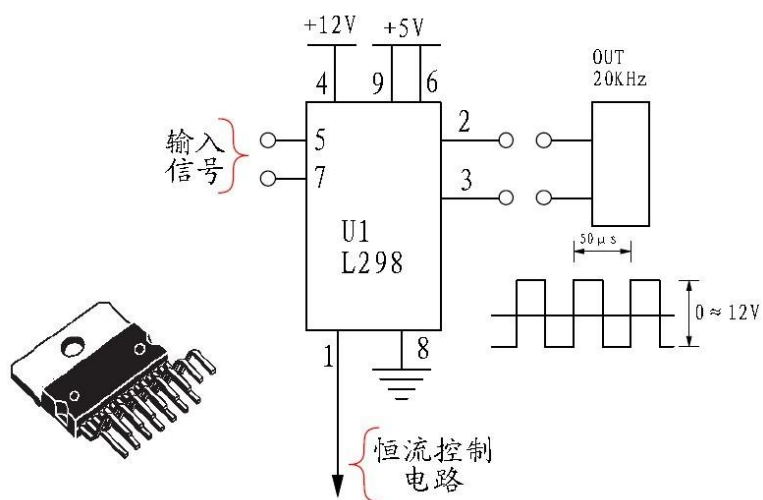


图 8.6 由 L298 组成的功率输出电路

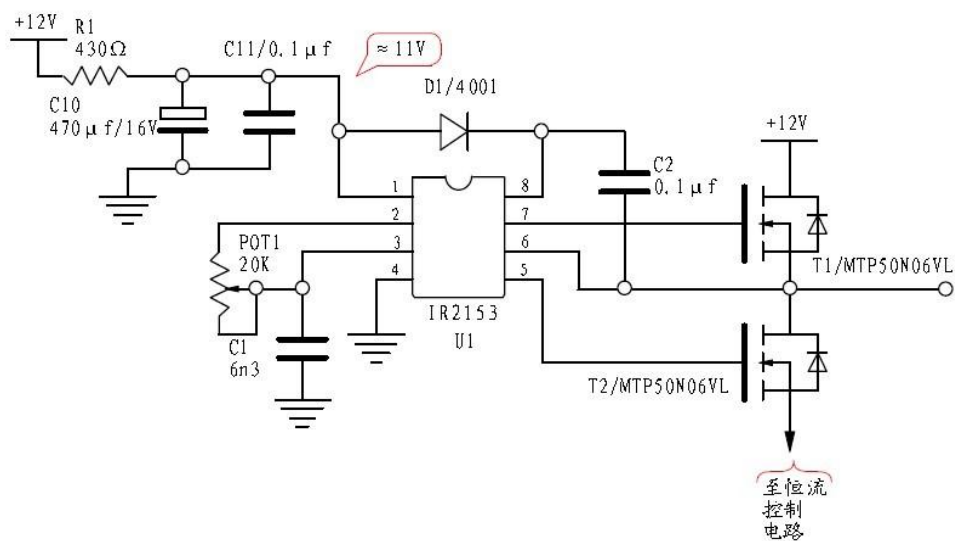


图 8.7 基于 VMOS/IR2153 功率输出电路

在图 8.7 电路中, IR2153 一方面内部集成了类似于 555 的时基振荡电路以及 VMOS 管驱动电路。

8.2.4 恒流控制

恒流电路控制输出电流在 100mA 左右稳定, 不随着电源的变化而发生波动。上述功率输出模块可以为负载--即赛道漆包线环路提供足够的功率, 但不能控制输出电流的大小(输出电压已确定, 频率确定), 所以需要设计一个恒流控制电路, 来调节功率输出模块电流的大小。

根据比赛规则的要求, 恒流输出控制不需要特别的精确。一般要求不高的情况下可以使用限流电阻控制电流的稳定。

也可以利用晶体管的在放大区集电极的恒流特性进行控制。如图 8.8 所示:

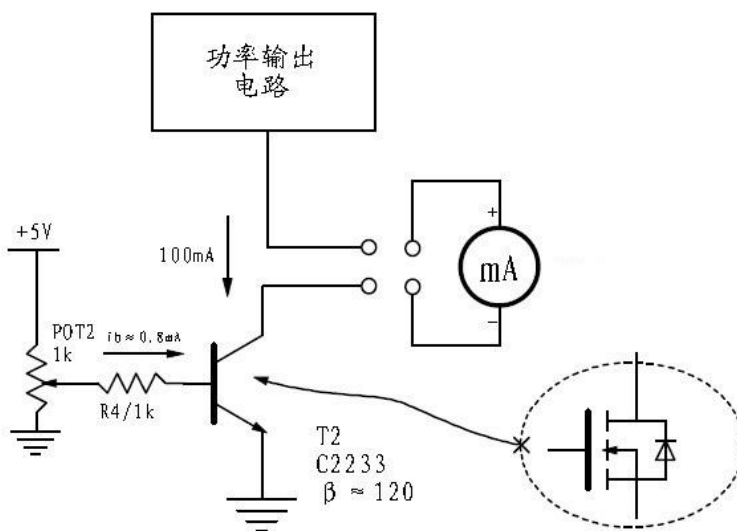


图 8.8 利用晶体管进行恒流控制

晶体管可使用大功率双极性晶体管, 也可以使用功率 MOS 管。从电流设定 稳定性和恒流特性来看, 使用功率双极性晶体管更好。

电源部分提供电路中所需要的各种低压稳压电源。保证信号振荡电路和恒流控制电路的稳定性。可以使用一般稳压集成电路实现。

8.2.5 参考设计电路

下面给出 mixspace 组的电源设计方案供大家参考, 电路如图 8.9 所示。电路设计可以有很多的组合方式, 大家可以根据自己的理解和经验自行设计。

实际电路图的说明:

设计 PCB 时最好给 C2233 音频功率管留足散热片的空间, 它和 L298 一样是电路中主要的发热器件。

555 震荡电路的参数也不一定要和上图一样, 可以根据公式 $f \approx \frac{1.43}{(R_A + R_B)C}$ 计算出电阻的大小, 只要便于调节的参数均可。

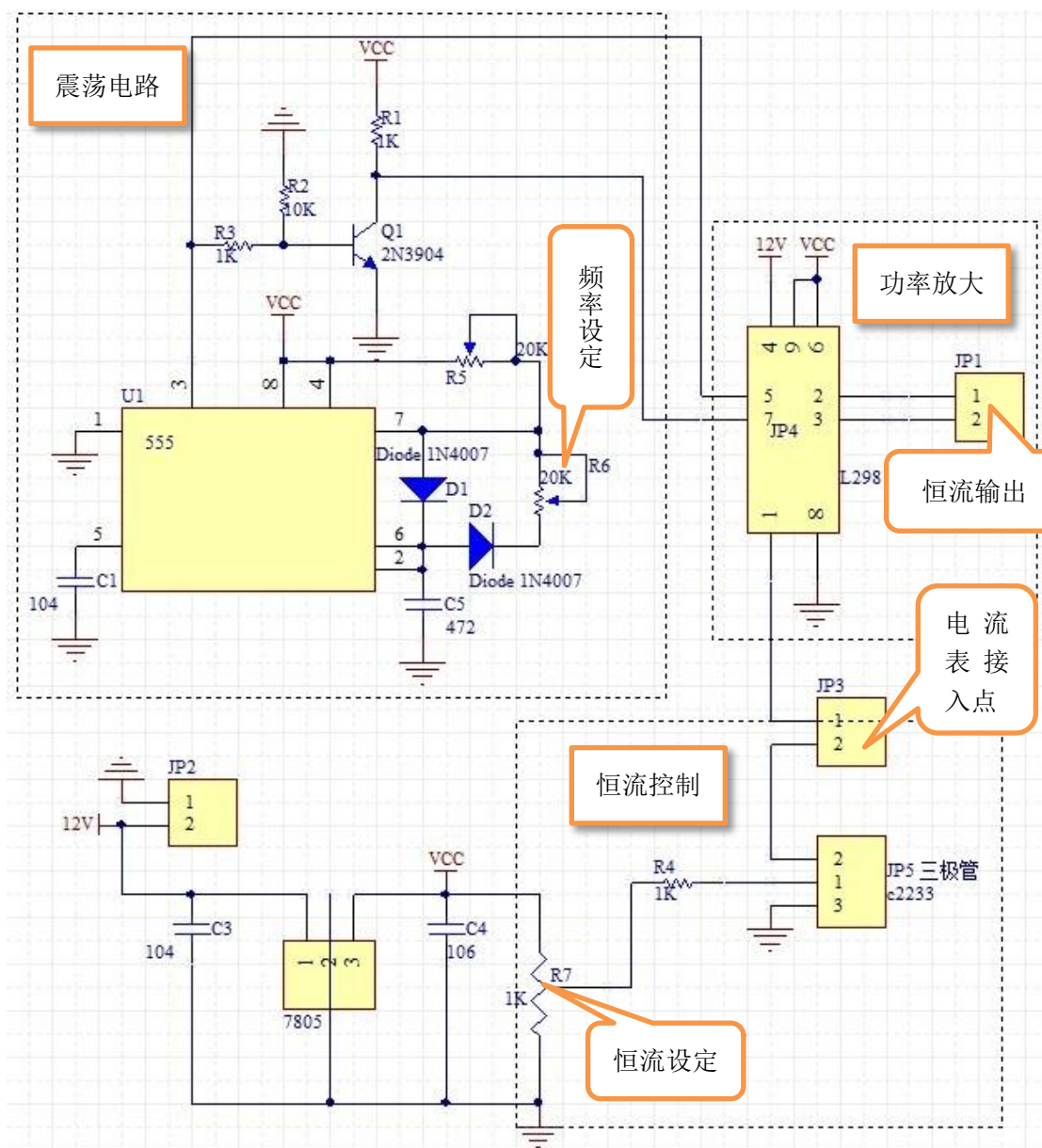


图 8.9 参考设计电路

8.2.6 电源调试

8.2.6.1 输出电流调试

调节恒流设定电位器，使得输出电流在 100mA 左右。外部负载电阻在 10 和 100 欧姆的时候，都应该在 50-150mA 之内。（注意：所接负载电阻必须要是大功率的，而且要充分考虑到它的散热性，千万不能直接接上一般的直插式电阻就去测电流，会爆掉的！水泥电阻如果有较大阻值的话可以考虑用它作为恒流源负载）实际调试时候可以空载下将电流表串入功率管集电极测量，效果是一样的。

8.2.6.2 输出频率调试

可使用示波器或者具有频率测量的万用表测量输出电压的频率。外接 10 欧姆的负载进行测量负载上电压的频率。调节频率设定电位器使得电源频率输出在 $2 \pm 2\text{kHz}$ 。调试完毕后，使得电源在接入跑道线圈之下连续工作 1 个小时，电源输出的电流、频率都不会漂移出要求的范围，则所设计的电源满足要求。

8.2.7 注意事项

(1) 功率管散热

在外部负载比较小的时候，电路中功率输出晶体管、恒流控制晶体管上的功耗比较大。特别是在整个电路的电源电压较高（比如+12V）的时候，需要对于功耗比较大的晶体管进行合理的散热，以提高电源的工作热稳定性。

(2) 串接谐振电容

当赛道比较长的时候，赛道线圈的电感较大，可以在赛道线圈连接中通过串联电容抵消赛道线圈的感抗。具体电容的大小可以根据实际测量赛道的电感进行匹配。

8.3 电磁组传感器及模路径检测设计参考方案

8.3.1 设计原理

电磁组比赛赛车模需要能够通过自动识别赛道中心线位置处由通有 100mA 交变电流的导线所产生的电磁场进行路径检测。除此之外在赛道的起跑线处还有永磁铁标志起跑线的位置。

1、导线周围的电磁场

根据麦克斯韦电磁场理论，交变电流会在周围产生交变的电磁场。智能汽车 竞赛使用路径导航的交流电流频率为 20kHz，产生的电磁波属于甚低频（VLF）电磁波。甚低频频率范围处于工频和低频电磁波中间，为 3kHz~30kHz，波长为 100km~10km。如图 8.10 所示：

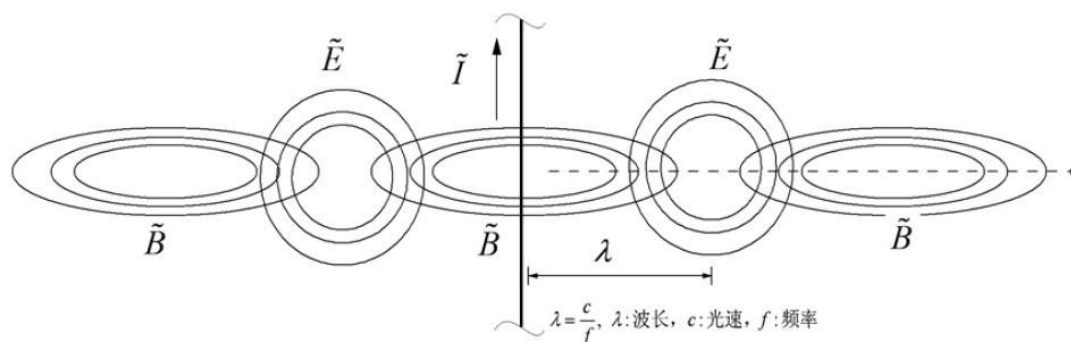


图 8.10 电流周围的电磁场示意图

导线周围的电场和磁场，按照一定规律分布。通过检测相应的电磁场的强度和方向可以反过来获得距离导线的空间位置，这正是我们进行电磁导航的目的。

由于赛道导航电线和小车尺寸 l 远远小于电磁波的波长 λ ，电磁场辐射能量 很小（如果天线的长度 l 远小于电磁波长，在施加交变电压后，电磁波辐射功率正比于天线长度的四次方），所以能够感应到电磁波的能量非常小。为此，我们将导线周围变化的磁场近似缓变的磁场，按照检测静态磁场的方法获取导线周围的磁场分布，从而进行位置检测。

由毕奥-萨伐尔定律知：通有稳恒电流 I 长度 L 的直导线周围会产生磁场，距离导线距离为 r 处 P 点的磁感应强度为：

$$B = \int_{\theta_1}^{\theta_2} \frac{\mu_0 I}{4\pi r} \sin \theta d\theta \quad (\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} \text{TmA}^{-1}) \quad (1)$$

$$\text{由此得：} B = \frac{\mu_0 I}{4\pi r} (\cos \theta_1 - \cos \theta_2)$$

对于无限长直电流来说，上式中 $\theta_1 = 0, \theta_2 = \pi$ ，则有 $B = \frac{\mu_0 I}{4\pi r}$

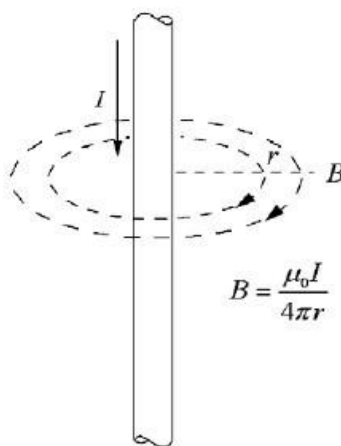


图 8.11 无限长导线周围的磁场强度

8.3.2 磁场检测方法

我们有很多测量磁场的方法, 磁场传感器利用了物质与磁场之间的各种物理效应: 磁电效应(电磁感应、霍尔效应、磁致电阻效应)、磁机械效应、磁光效应、核磁共振、超导体与电子自旋量子力学效应。下面列出了一些测量原理以及相应的传感器:

1. 电磁感应磁场测量方法: 电磁线磁场传感器, 磁通门磁场传感器, 磁阻抗磁场传感器。
2. 霍尔效应磁场测量方法: 半导体霍尔传感器、磁敏二极管, 磁敏三极管。
3. 各向异性电阻效应 (AMR) 磁场测量方法。
4. 载流子自旋相互作用磁场测量方法: 自旋阀巨磁效应磁敏电阻、自旋阀三极管磁场传感器、隧道磁致电阻效应磁敏电阻。
5. 超导量子干涉 (SQUID) 磁场测量方法: SQUID 薄膜磁敏元件。
6. 光泵磁场测量方法: 光泵磁场传感器。
7. 质子磁进动磁场测量方法。
8. 光导纤维磁场测量方法。

以上各种磁场测量方法所依据的原理各不相同, 测量的磁场精度和范围相差也很大。我们需要选择适合车模竞赛的检测方法, 除了检测磁场的精度之外, 还需要对于检测磁场的传感器的频率响应、尺寸、价格、功耗以及实现的难易程度进行考虑。

在下面所介绍的检测方法中, 我们选取最为传统的电磁感应线圈的方案。它具有原理简单、价格便宜、体积小(相对小)、频率响应快、电路实现简单等特点, 适应于初学者快速实现路径检测的方案。

通电导线周围的磁场是一个矢量场, 场的分布如图 8.12 所示。如果在通电直导线两边的周围竖直放置两个轴线相互垂直并位于与导线相垂直平面内的线圈, 则可以感应磁场向量的两个垂直分量, 进而可以获得磁场的强度和方向。

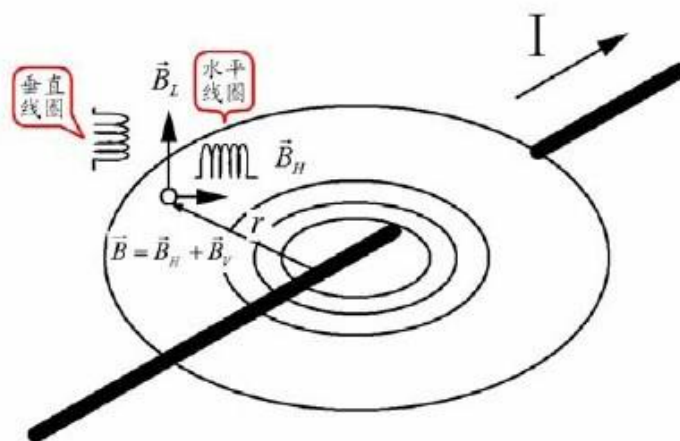


图 8.12: 导线周围的感应电磁场

导线中的电流按一定规律变化时, 导线周围的磁场也将发生变化, 则线圈中 将感应出一定的电动势。根据法拉第定律, 线圈磁场传感器的内部感应电压 E 与磁场 $B(t)$ 、电磁线圈的圈数 N 、截面积 A 的关系有:

$$E = (NA) \times (\mu_0 \mu_r) \frac{dB(t)}{dt} = - \frac{d\Phi(t)}{dt}$$

感应电动势的方向可以用楞次定律来确定。由于本设计中导线中通过的电流频率较低, 为 20kHz, 且线圈较小, 令线圈中心到导线的距离为 r , 认为小范围内磁场分布是均匀的。再根据图 3 所示的导线周围磁场分布规律, 则线圈中感应电动势可近似为:

$$E = - \frac{d\Phi(t)}{dt} = \frac{k dI}{\bar{r} dt} = \frac{K}{\bar{r}}$$

即线圈中感应电动势的大小正比于电流的变化率, 反比于线圈中心到导线的距离。其中常量 K 为与线圈摆放方法、线圈面积和一些物理常量有关的一个量, 具体的感应电动势常量须实际测定来确定。

双水平线圈检测方案

不同的线圈轴线摆放方向, 可以感应不同的磁场分量。我们先讨论一种最简单的线圈设置方案: 双水平线圈检测方案。在车模前上方水平方向固定两个相距 L 的线圈, 两个线圈的轴线为水平, 高度为 h , 如图 8.13 所示。

为了讨论方便, 我们在跑道上建立如下的坐标系, 假设沿着跑道前进的方向为 z 轴, 垂直跑道往上为 y 轴, 在跑道平面内垂直于跑到中心线为 x 轴。xyz 轴满足 右手方向。假设在车模前方安装两个水平的线圈。这两个线圈的间隔为 L , 线圈的高度为 h , 参见下图 8.14 所示。左边的线圈的坐标为 (x, h, z) , 右边的线圈的位置 $(x-L, h, z)$ 。由于磁场分布是以 z 轴为中心的同心圆, 所以在计算磁场强度的时候我们仅仅考虑坐标 (x, y) 。由于线圈的轴线是水平的, 所以感应电动势反映了磁场的水平分量。根据公式 (2) 可以知道感应电动势大小与 $\frac{h}{x^2+h^2}$ 成正比。

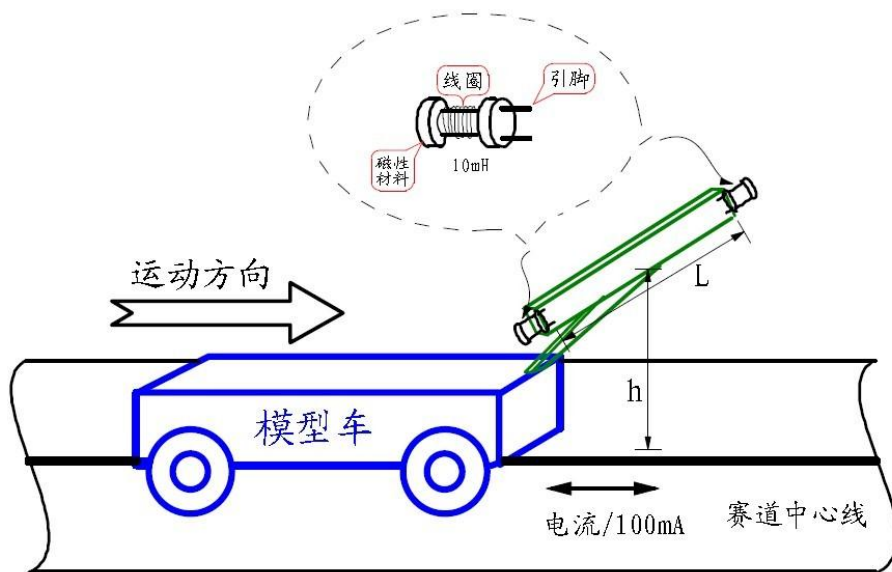


图 8.13 双水平线圈检测方案

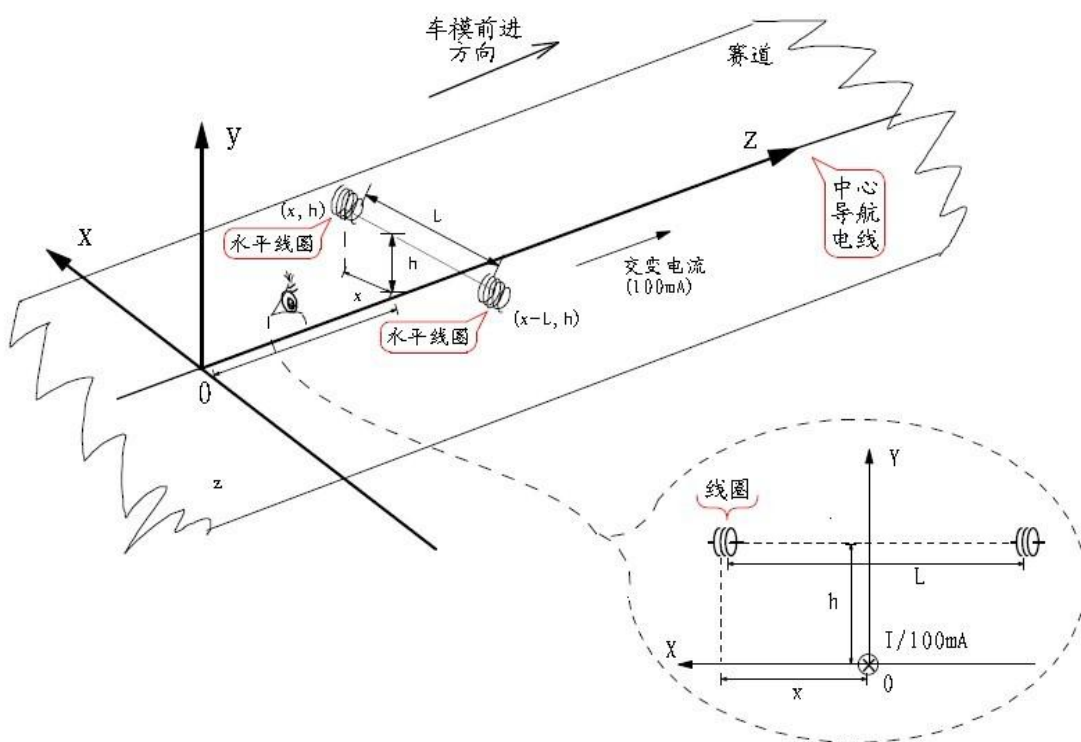


图 8.14 感应线圈的布置方案

假设 $h = 5\text{cm}$, $x \in (-15, +15)\text{cm}$, 计算感应电动势 $E = \frac{h}{x^2 + h^2}$ 随着线圈水平位置 x 的变化取值, 如下图 8.15 所示:

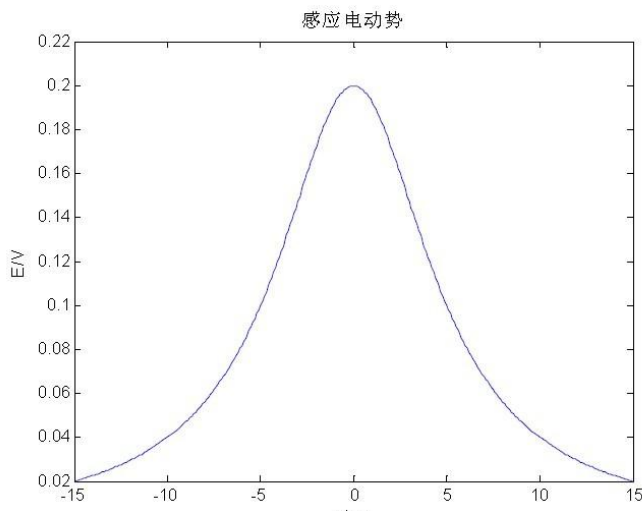


图 8.15 线圈中感应电动势与它距导线水平位置 x 的函数

如果只使用一个线圈，感应电动势 E 是位置 x 的偶函数，只能够反映到水平位置的绝对值 $|x|$ 的大小，无法分辨左右。为此，我们可以使用相距长度为 L 的两个感应线圈，计算两个线圈感应电动势的差值：

$$E_d = E_1 - E_2 = \frac{h}{h^2 + x^2} - \frac{h}{(x-L)^2}$$

下面假设 $L = 30\text{cm}$ ，计算两个线圈电动势差值 E_d 如图 8.16 所示：

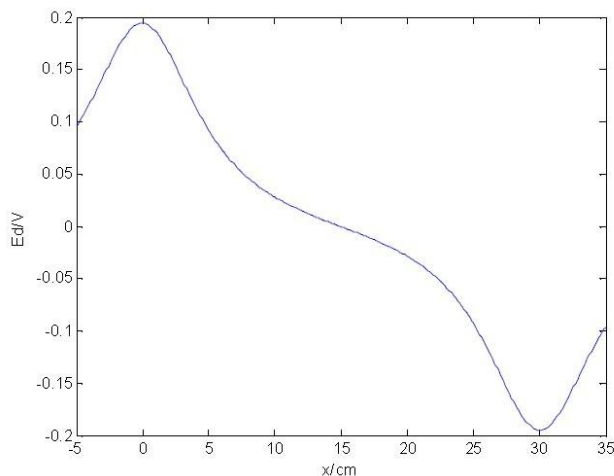


图 8.16 感应电动势差值 E_d 与距离 x 之间的函数

从上图可以看出，当左边线圈的位置 $x=15\text{cm}$ 的时候，此时两个线圈的中心恰好处于跑道中央，感应电动势差值 E_d 为 0。当线圈往左偏移， $x \in (15, 30)$ ，感应电动势差值小于零；反之，当线圈往右偏移， $x \in (0, 15)$ ，感应电动势大于零。因此在位移 $0 \sim 30\text{cm}$ 之间，电动势差值 E_d 与位移 x 是一个单调函数。可以使用这个量对于小车转向进行负反馈控制，从而保证两个线圈的中心位置跟踪赛道的中心线。通过改变线圈高度 h ，线圈之间距离 L 可以调整位置检测范围以及感应电动势的大小。

8.3.3 电路设计

8.3.3.1 设计部分

从上面检测原理可以知道，测量磁场核心是检测线圈的感应电动势 E 的幅值。电磁传感器的设计主要包括：感应线圈的选择、信号选频放大、整流与检测等几个方面，将会涉及到电磁场与波、高频、模电等相关学科的知识点，这里不再详细的给出各个方案的具体论证过程，直接给出电路设计系统框图

和成熟的实际电路。检测电路组成如图 8.17 所示：

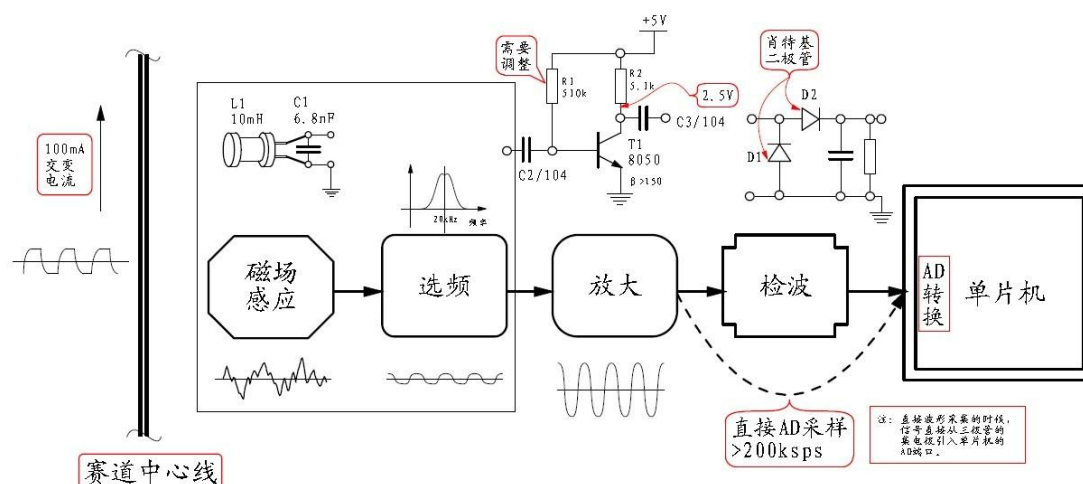


图 8.17 检测电路系统框

图 8.17 中虚线部分可以看做另一种方案，即：信号放大以后直接通过单片机 AD 采样，而不经检波环节，电路框图如图 8.18 所示：

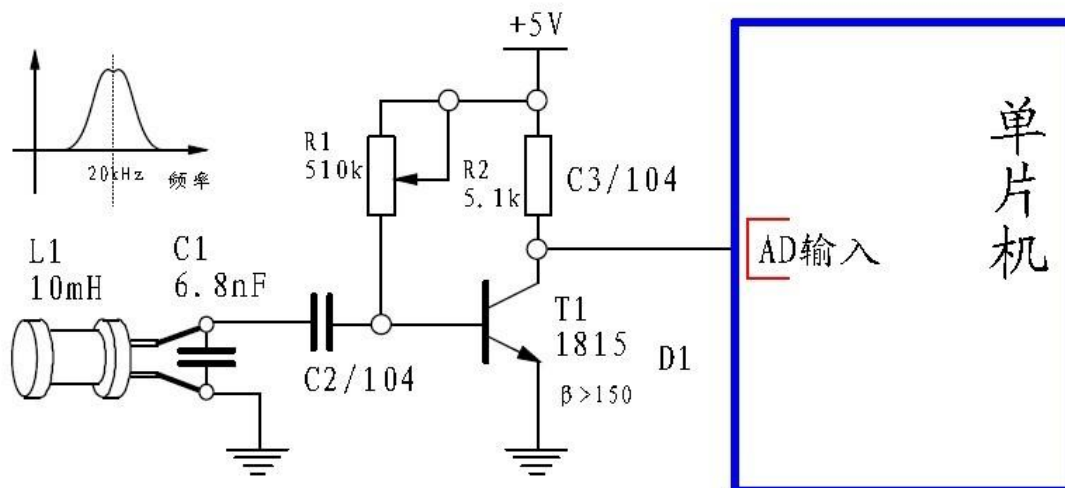


图 8.18 直接采集放大信号

说明：黑色原理图为官网给出参数，具体的参数要根据线圈选型等实际情况自己设定

两种方案各有优势。倍压检波电路可以获得正比于交流电压信号有效值的直流信号，处理起来很方便。缺点是由于电容的充放电，信号突变时有延迟，这种现象尤其在入弯时更明显，使系统的响应变慢。而直接采集放大信号的方案则有效的克服了这一缺点，但信号处理起来没有有效值检波那种方案简单,而且对 AD 性能的要求也较高。我们华东赛区比赛时使用的是图 10 所示方案。河海常州“7 号风队”用的是检波以后再送入 AD 处理信号的方案，事实证明也是可行的。下面给出两种方案的实际电路图，如图 8.19 和图 8.20 所示。

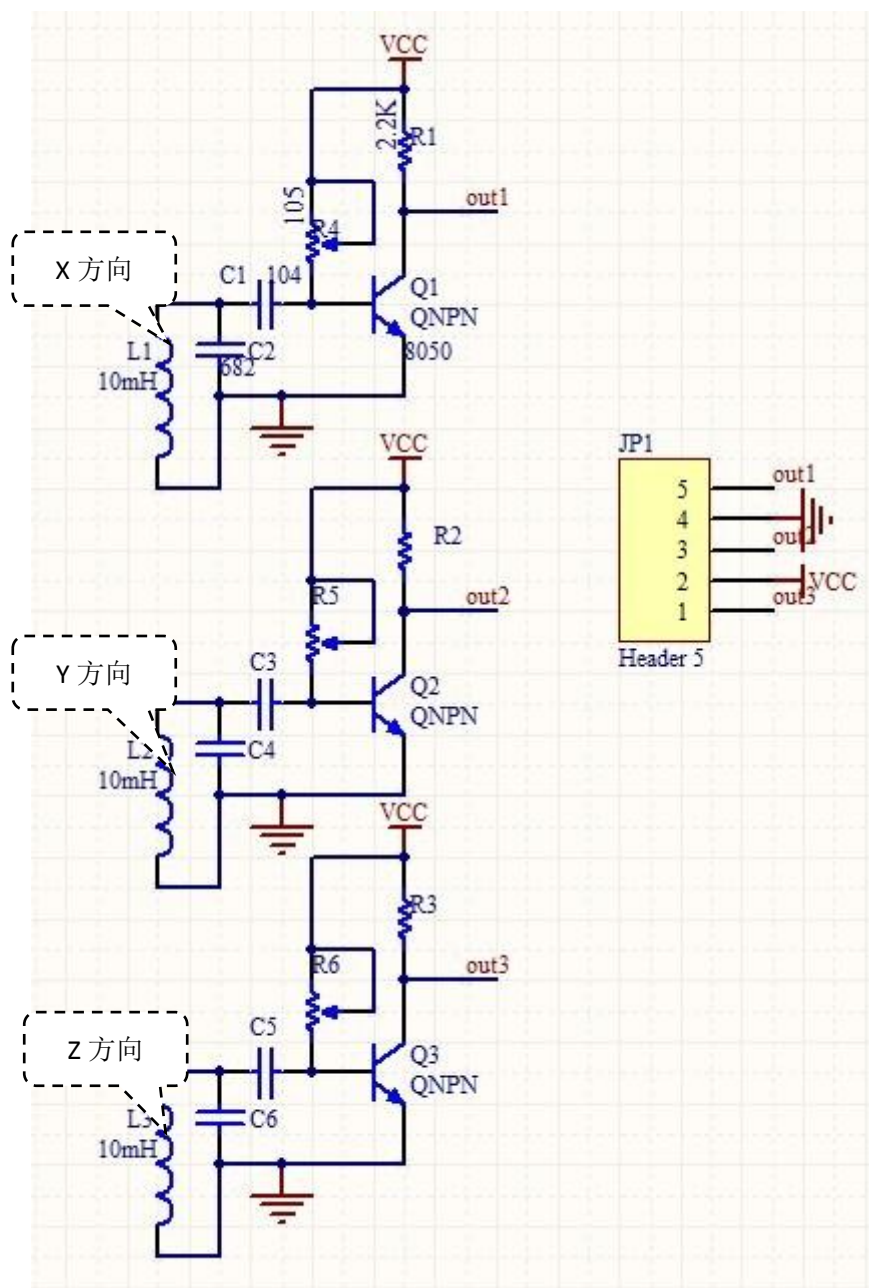


图 8.19 直接采集放大信号三维电磁传感器电路图

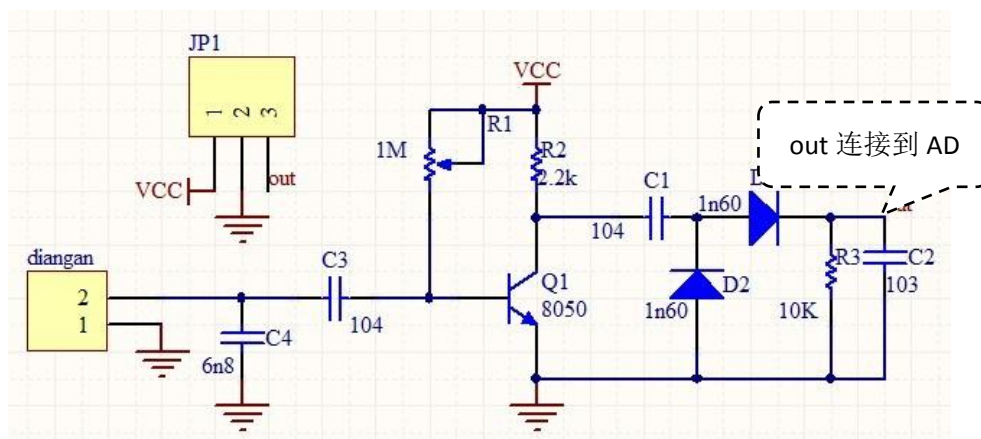


图 8.20 检波方案

8.3.3.2 对于实际电路图的说明

电感线圈我们采用的是标准化的“工字型”电感线圈，这种线圈感应面积大，灵敏度好，缺点是体积较大。实践证明这种电感线圈综合效果还不错，实际上我们只用两个水平的线圈（即图 6 的 x 轴方向）就可以完成寻迹功能，速度和稳定性达到校区水平。缺点是互感现象严重。不过也有很多参赛队用直插式小体积的电感（外形和一般直插式电阻一样，不过比电阻大些），河海常州“7 号风队”就用的是这种电感。它的一个很明显的优点就是体积小，性能没试过，鼓励大家尝试更多的选型方案。

去比赛时我们只用到水平方向两个线圈（即图 8.14 中的 x 轴和 z 轴方向）。竖直方向的线圈可以用来检测前方是否有弯道，也就是提高电磁组前瞻性的解决方案之一。我们当时用单个竖直的传感器检测，在直道入弯处可以有 30~40cm 的前瞻性，但实际跑的过程中数据无法有效地利用。加入竖直线圈以后在入弯和十字交叉时检测到的信号是相似的，因此无法区分一般弯道和十字交叉。这样 x 轴方向的线圈用来判断小车偏离跑道的程度，信号再经过 MCU 的处理控制舵机的转向。

现在来说明 z 轴方向线圈的作用。先看小车中心线与赛道重合时的情况：为了便于说明原理，这里只考虑磁场在水平面的投影，竖直方向不予考虑。小车在直道上的示意图如图 8.21 所示：

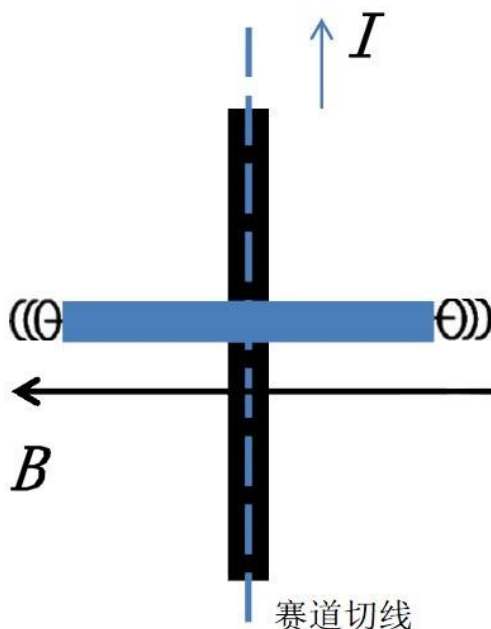


图 8.21 小车中心线与赛道重合时

容易得出：磁场在水平方向的分量（ x 和 z 轴）全部落在 x 轴上， z 轴磁场为 0。再来看小车在过弯道时的示意图，如图 8.22 所示。

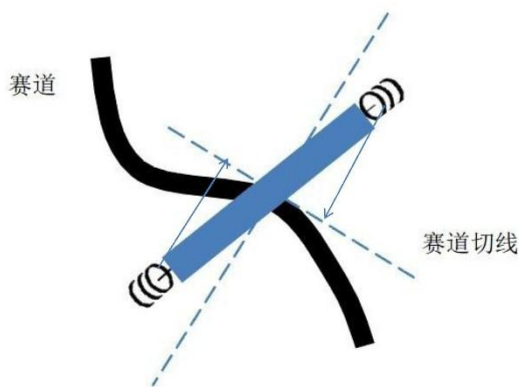


图 8.22 小车在过弯道时示意图

大家可以看到只用两个水平（ x 轴）线圈时，过弯时两线圈检测到感应电动势的大小可能很接近，而且此时不能反映所有水平方向磁场的信息，因为水平方向（ z 轴）的磁场不为 0！所以这时很自然的想到了利用 z 轴线圈来减小传感器提取赛道信息不完整而使舵机误动作或转向延迟。

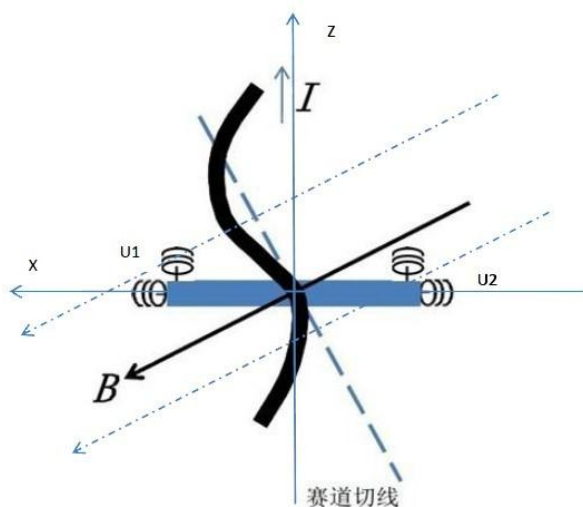


图 8.23 有 z 轴线圈时过弯示意图

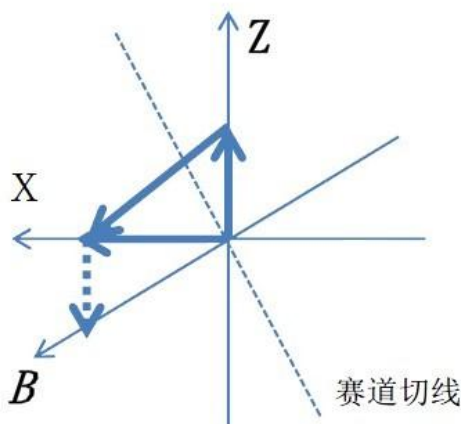


图 8.24 U1 位置两水平线圈过弯时磁场分部

这样通过计算 x 和 z 轴线圈的平方和就可以算出 U1 位置处磁场水平分量。这相当于对信号的软件放大，而且使信号精度更高。实际上完全可以参照杭电的传感器布局，使用一个线圈相对于 x 轴 45° 放置，就可以达到图 15 所示传感器布局的效果。因为采用的是相同的电感线圈，可以认为它的电气特性完全相同。用一个这样的线圈就可以提取整个水平方向的磁场信息。

根据官网的说明，不同方向同一位置的线圈算为一个传感器。这个“同一个位置”没有明确的限定，靠的近一点、做在同一个板子上就可以了。

8.3.4 传感器的设计与调试

实物如图 8.25 所示：

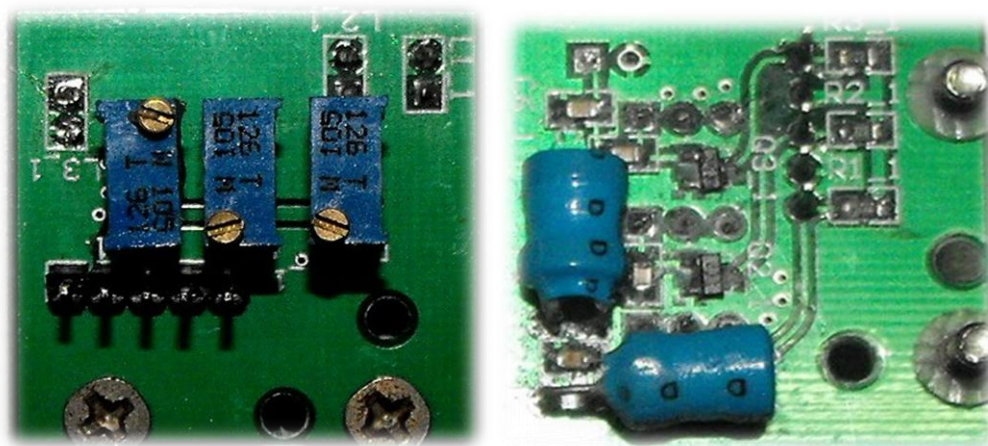


图 8.25 直接放大电路实物图（正反两面）

说明：大家可以看到，比赛时我们只用到两个线圈，竖直方向的拆掉了。
放大电路如图 8.26 所示：

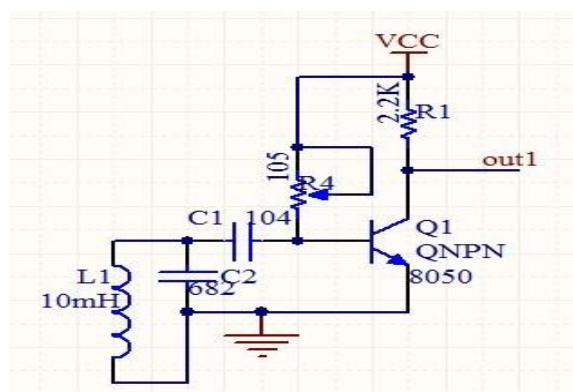


图 8.26 放大电路

电路焊接完毕后，只要调节图 11 中可调电阻 R4，使得三极管集电极电压处于 2.5V 左右即可。
将上述放大电路的感应电感放在通有 100mA、20kHz 导线周围，使用示波器观察电路的输出与输入信号，如图 8.27 所示：

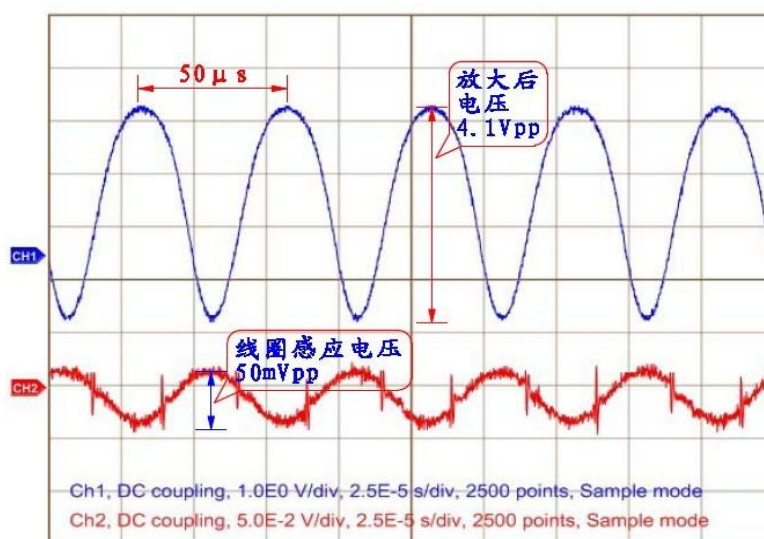


图 8.27 放大电路的输入、输出波形

通过图 8.27 可以看出,放大电路的放大倍数大约为: $A = \frac{4.1}{0.05} \approx 82$ 倍。所得的电压信号可以直接连入单片机的 AD 转换接口进行采集就可以。但这种方案对 AD 转换速率要求较高。这样 AD 输入的交流信号的平均值在 2.5V, 变化范围在 0-5V, 满足单片机 AD 转换的需要。

8.3.5 检测方案

8.3.5.1 基本思路

以直接采集放大信号的传感器方案为例,赛道信号为 20kHz 方波,在采集信号时只要保证单片机的 AD 采集速率大于 20kHz 的 5-10 倍,连续采集 5-10 个周期的电压信号(大约 100 数据左右),就可以直接从采集的数据中最大值减去最小值获得信号的峰峰值。假设采集了 128 个数据:

$x_i, x = 1, 2, \dots, 128$, 计算信号的峰峰值 V_{P-P} 可以有下式计算:

$$x_{max} = \max(x_i, x = 1, 2, \dots, 128)$$

$$x_{min} = \min(x_i, x = 1, 2, \dots, 128)$$

$$V_{P-P} = x_{max} - x_{min}$$

上面计算方法由于只应用了数据的最大值、最小值, 所得结果容易受到噪声的影响, 所以还可以通过计算数据交流信号的平均值、有效值反映信号的幅值:

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^{128} x_i}{128}, \quad x_{ave} = \frac{\sum_{i=1}^{128} |x_i - \bar{x}|}{128}, \quad x_e = \frac{\sum_{i=1}^{128} (x_i - \bar{x})^2}{128}$$

上面所计算得到的, x_{ave} 、 x_e 等都与信号的峰峰值成单调关系, 所以也可以用来进行计算位置差值信号。

8.3.5.2 经验体会

如果采用直接放大信号的传感器方案, 要满足信号采集的需要, MUC 片内 AD 或者外部 AD 的数据转换时间要能达到 5us, 将近 1MSPS! 传统的 AVR 单片机已远远不能满足需求了(最高分辨率时采样率 15 kSPS), msp430f149 的片内 AD 刚好 200 ksps, 基本满足需求, 飞思卡尔 MC9S12XS128 转换速率达到 3us, 也可以胜任信号采集的需求, 不过价格昂贵。这样的话就需要外部 AD 来完成信号采集。而且还要考虑到线圈的个数会有多个, 所以外部 AD 的通道数也需考虑, 串行和并行看大家自己的习惯。我们华东赛区比赛用的是 AD 公司的 8 输入串行 spi 通信模数转换器 AD7928, 转换率 1MSPS, 基准电压芯片用的是 AD780, 总价在 40 元左右。

而如果采用放大检波方案的话, 对 AD 就没有什么那么高的要求了。不仅设计的成本大幅降低, 而且软件上的复杂度也会大大降低, 直观地看只需要采一次数据就可以提取当前磁场信息。所以如果条件有限, 推荐大家使用放大检波的方案, 但这种方案在硬件上会复杂一些, 需要的调试工作量也会大一些。从检波二极管的选择, 到滤波电路参数的计算, 都需要有较高模、高频电基础。不过这更具挑战性, 更能锻炼自己的能力! 为了减轻低年级同学的设计工作量, 我们也给出了已经调试过的电路, 如图 12 所示, 供大家参考。

其实不管是 CCD 组、光电组还是电磁组, 在软件方面的基本思路是一致的。通过传感器提取赛道信息, 通过软件方面的手段计算出当前小车偏离赛道的程度记为“ Δ ”, 要求高的话, 像“飞思卡尔杯”的话再加入速度反馈, 综合考虑当前速度大小和偏离赛道程度“ Δ ”, 控制舵机的转向和电机的加减速。有了“ Δ ”和速度传感器返回的值, 至于当前“ Δ ”下舵机转多大, 电机加速还是减速, 加多少减多少, 这就需要软件的算法来计算了。最常见的就是 PID 和棒棒算法了, 另外模糊控制理论在智能车控制领域也用得比较多。算法方面校区智能车设计指导书第二版会有讲解, 这里就不说了。本指导只讲从 AD 提取赛道信息到得出“ Δ ”, 以及在整个程序设计时应该注意的问题, 软件整体的设计思路。

除了利用上述的 x_{ave} 、 x_e 做差可以计算出 Δ 外, 也有其他方法。大家不必拘泥于上面的方法。

8.3.5.3 起跑线检测

关于路径检测方法，这里还想说说怎样检测起跑线。电磁组检测起跑线的方法与光电、CCD 组的不同，通过硬件即可完成，相对也比较简单，所以放在后面讲。我们再来看看官网给的起跑线示意图，如图 8.28 所示：

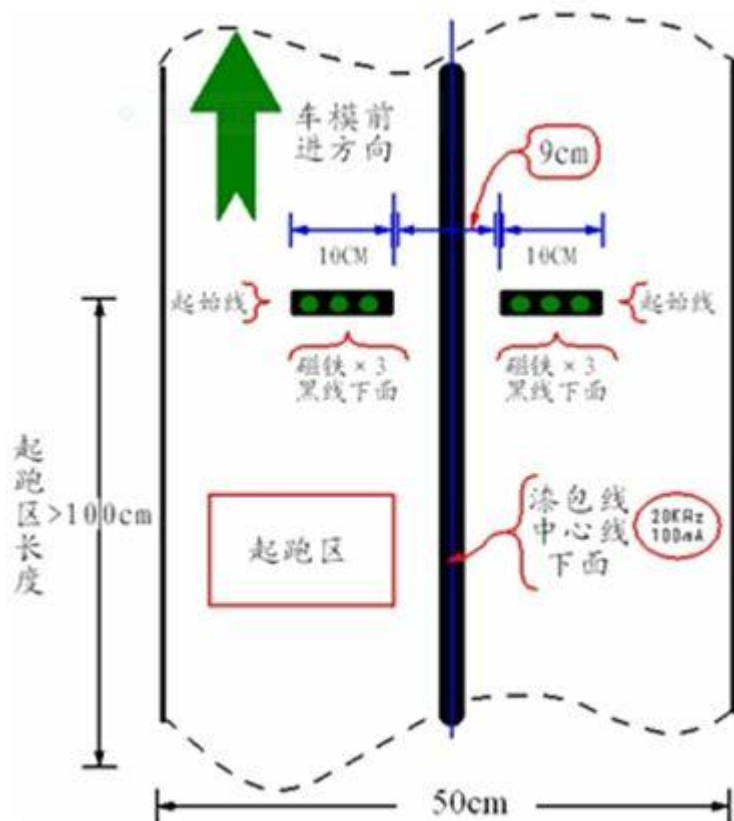


图 8.28 起跑线示意图

如图 8.28 所示，起跑线下面均匀的放置有 6 个永磁体，磁体放置极性不确定。磁体参数：直径 7.5 - 15mm，高度 1-3mm，表面磁场强度 3000-5000Gs。磁体表面磁场强度相对赛道产生的磁场非常大（经过计算赛道磁场强度在 10^{-3} Gs 数量级），完全可以不考虑小车会在非起跑线区域检测起跑线。检测起跑线的传感器通常选用干簧管。干簧管相当于一个磁敏开关，分为常开和常闭类型。工作原理很简单，干簧管里面的磁性导电簧片受到足够大的磁场磁化以后相互吸合在一起来完成一次开关的动作。

电磁组要检测起跑线，只要干簧管受经过起跑线时受到的磁场作用达到一定程度就可以。考虑到磁体极性不确定，但归纳起来就三种情况：

A、同侧三个磁体表面都为同极性



B、相邻两两磁体极性不同



C、只有相邻两个磁体极性相同



经过理论分析和实际测试发现：

每个磁体表面中线处磁场为 0 或者很小，干簧管经过单个磁体表面时不能发生动作，即存在盲区。

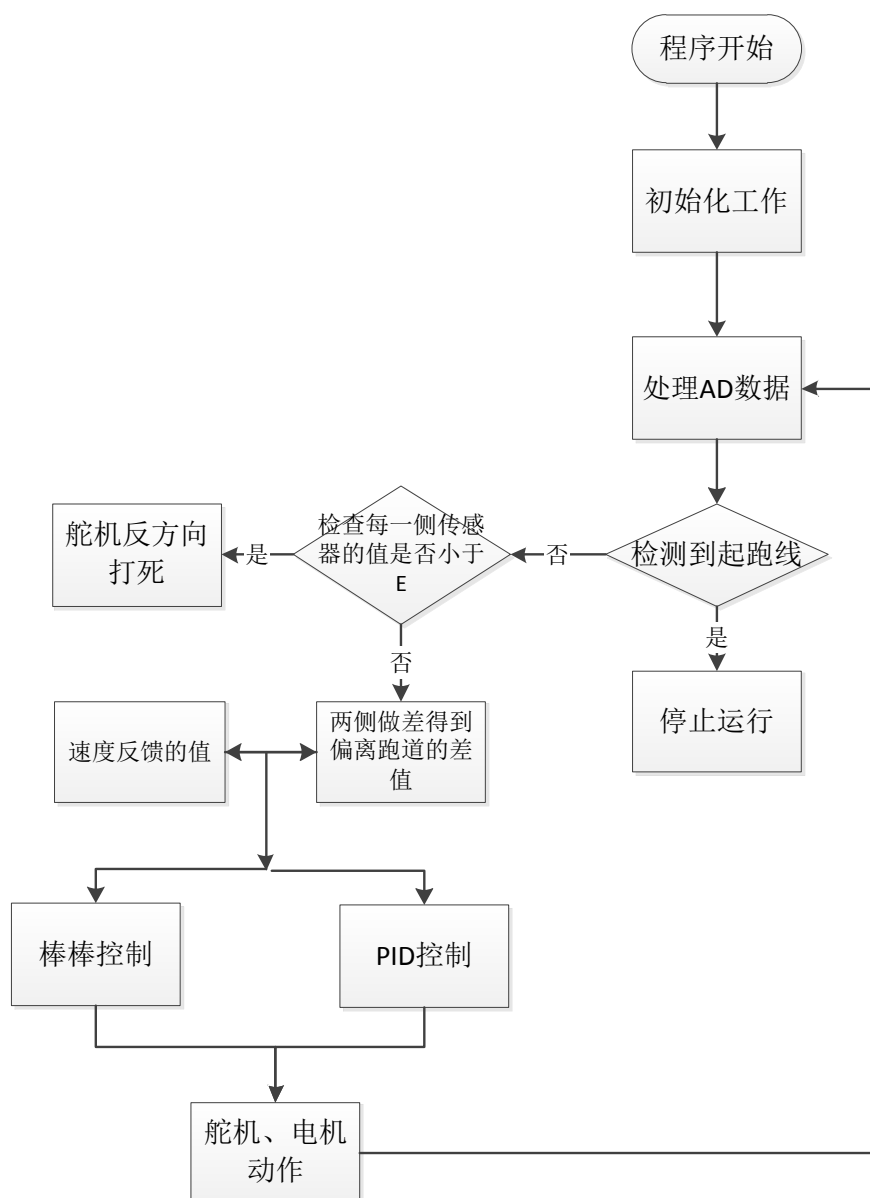
同名磁体中垂线上磁场为 0。

两磁体中心相距 2.5cm，在小车左右两侧各放一个干簧管显然是不行的，考虑最坏的情况，两个相邻的干簧管中心位置不能是 2.5cm 和 2.5/2cm 的整数倍。这样的话，每侧各用两个就可以了。设计时可以把干簧管并连在一起，左右共两组，任何一路导通都可以向 MCU 输送检测起跑线的信息。实物图如度 8.29 所示：



图 8.29 干簧管检测起跑线实物图

8.4 软件部分的简要流程图



8.5 结束语

本章通过使用最简单的感应线圈的方式检测导线周围的交变磁场，只用两个水平面方向的感应线圈就可以检测到车模相对于中心线的偏移量，从而控制车模沿着道路行驶。检测磁场、电场的方法多种多样，合理选择不同种类的传感器、通过不同的布局增加车模的检测路径的前瞻性和稳定性，将会在车模竞赛中取得换大的优势。

关于电磁车前瞻性问题的解决方案请参照卓晴老师写的《基于磁场检测的寻线小车传感器布局研究》一文。

第九章 激光传感器的使用与设计

作为新型传感器，激光传感器与传统的红外传感器在很多方面有很大的差异。红外传感器的工作原理比较简单，这里不作详细说明。本章主要介绍激光传感器的优缺点及常用的驱动电路，由于激光管和其他传感器类型有很多共同之处，因此在这里不做过多叙述，其他方面的设计请参考之前的相关章节。

9.1 激光传感器的工作原理和驱动

激光传感器的驱动电路由发射部分和接收部分组成。发射部分有一个震荡管发出 180KHZ 频率的震荡波后，经过三级管放大，点亮激光管；接收部分是由一个相匹配 180KHZ 的接收管接收返回的光强，经过电容滤波后直接接入单片机的 I/O 口，检测返回电压的高低。由于激光传感器使用了调制原理，接收管只能接收相同频率的反射光。因而可以有效避免可见光对激光的干扰。

激光传感器的工作原理和红外光电管类似，当发射管发出的光束落在黑色地面时黑色地面会吸收大部分发射的光线，而白色地面则不会吸收大部分反射光线。所以接收管接收的光强会有所区别，进而导致接收管的特性曲线发生变化程度不同，而从外部看可近似认为接收管两端输出的电阻不同，进而经分压后的电压就不一样，就可以将黑白路面区分开来。

9.2 激光传感器的选用与注意事项

激光传感器的驱动电路其实比较简单，但效果确因激光的不同会有很大的差异。选择好功率较大的激光管可以增加前瞻，但价格也很贵。校内比赛可以选用便宜的激光管 2 到 3 元左右，大概能达到 20CM 左右（接收管加透镜的情况下）比较稳定的前瞻。但要注意一般这种管子耐压比较低，可能有必要增加限流电阻，阻值大小根据实际情况而定。

在进行激光管的设计时应注意以下几点：

1. 调制管是利用光起振的，所以必须要将调制管安装在受光面较大的位置，不要置于板底背光的地方。
2. 激光在焊接前，如果激光的焦距可调，应先将光斑在较远处（至少 1m 以上）调到最小。
3. 激光焊接固定时，电烙铁的稳定控制在 270℃ 到 300℃ 之间，电烙铁要充分接地。最好断电后，利用电烙铁的余温焊接。
4. 激光管焊接时要一边焊一边调整激光管的位置，使所有的管子照射尽量在同一条线上。
5. 为了增大接收管的接收距离，可在接收管上加透镜。一般加了透镜的接收管可以实现一个接收管对多个发射管（程序上不是同时点亮所有激光，而是以扫描的方式点亮激光的），但这种情况下对焦是个比较麻烦的事，需要调试者不但要细心还要有足够的耐心。

9.3 激光管的布局 and 安装

激光管和普通红外管相比最大的优势是有较大的前瞻性，因此设计者需要充分的利用这一优点，在激光管的布局上可以采用普通的单排方式，也可以使用双排的方式，这个需要大家安装自己的设计需求去设计。

在安装方面，安装的越高，能够获得的前瞻性也就越远，但同时会抬高车的重心对车的运行不利，因此需要合理选择车的安装位置。图 9.1 为河海海声队智能车整体效果图。此车采用了双排激光管布局，同时上一排的激光管安装在舵机上可以随着前轮的转动而同步转动。总之能够创新的地方很多，希望大家能够认真思考、敢于挑战。

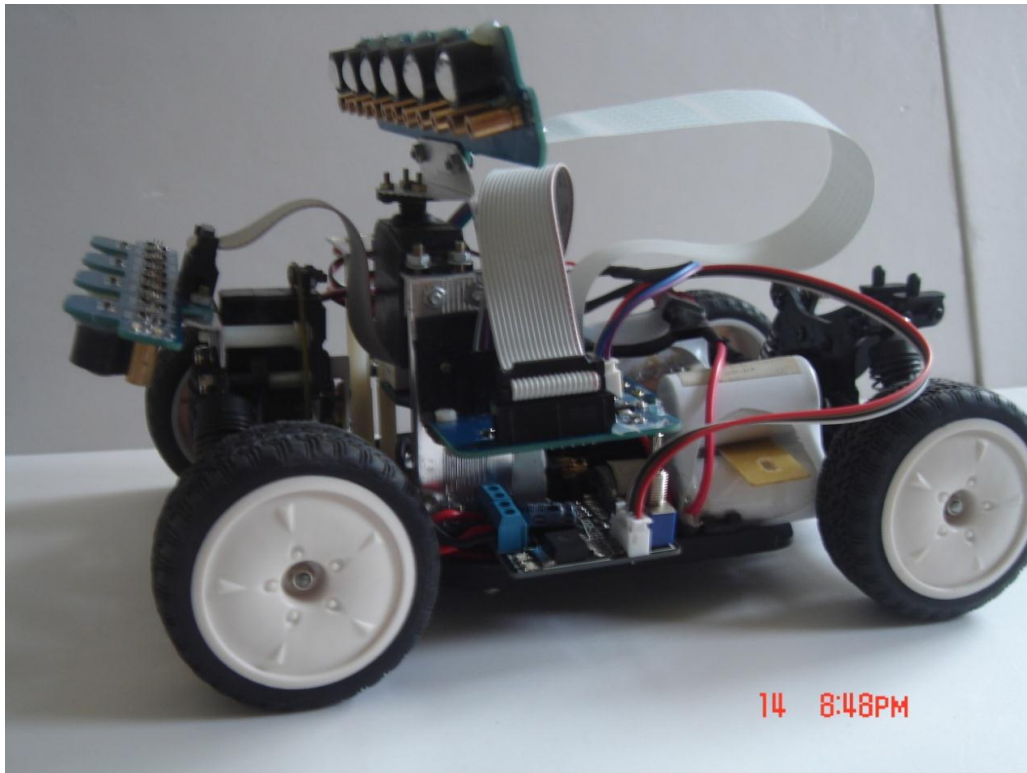


图 9.1 2010 河海海风队智能车整体效果图

第十章 算法设计

10.1 摄像头组处理算法

10.1.1 黑线提取算法

目标指引线（即赛道上的黑线）的宽度相对整个赛道较窄，因此只要提取目标指引线的某些特征点，就能放映出指引线的形状。我们可以对采集到的视频数据中每列黑线的中间点或边缘点作为该列的特征点。在下面的黑线提取算法中，二值化算法才采用的是中间点作为特征点，直接边缘检测法和跟踪边缘检测法采用的是边缘点作为特征点。

10.1.1.1 二值化算法

算法的思路是：设定一个阈值 $value$ ，对于视频信号矩阵中每一行，从左至右比较各像素和阈值的大小。若像素值大于等于阈值，则判定该像素对应的是白色赛道；反之，则判定对应的是目标指引线。记下第一次和最后一次出现像素小于阈值是像素点的列号，算出两者的平均值，以此作为该行上目标指引线的位置。

二值化算法流程图如图 10.1 所示。

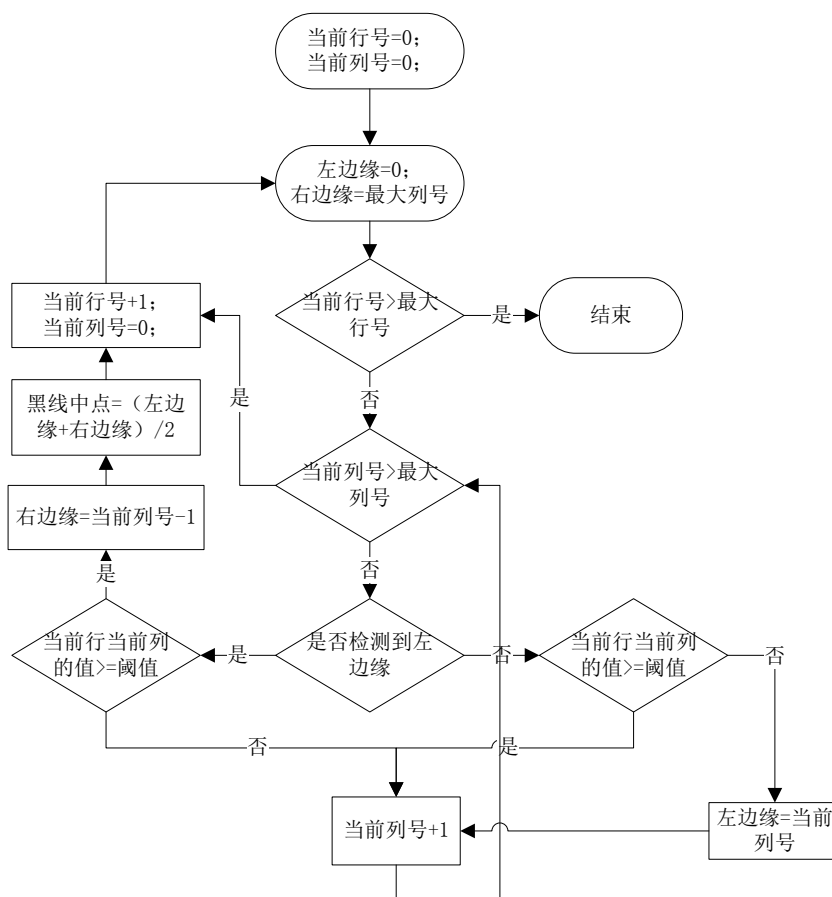


图 10.1 二值化算法流程图

该算法的思路简单，具体实现时还可以一旦检测到左边缘后就退出该行扫描，这样上面的流程图将变的更简洁。但是这种提取算法稳定性较差，当拍摄图像中只有目标指引线一条黑线时，还能准确提取出目标指引线，但当光强有大幅度的变化，或者图像中出现其他黑色图像的干扰时，该算

法提取的位置就有可能与目标指引线的实际位置偏离较大。

实际使用时需要将该算法加以改进，以增强其稳定性。比如可以使用该算法找出每行中出现的黑块数量，然后再对提取出的黑块使用合适的滤波算法，这样做可以提高该算法的稳定性。

10.1.1.2 直接边缘检测算法

算法的思路是：设定一个阈值，对于视频信号矩阵中每一行，从左至右求出相邻两像素的差值（左减右）。若差值大于阈值，则判定下一个的像素对应的是目标指引线的左边缘，以此像素点作为该列的特征点，记录下此像素点的列号，作为该行上目标指引线的位置。当然，可能出现差值始终小于阈值的情况，此时一种方法是令该行上目标指引线位置为 0，通过进一步滤波或拟合来修正；另一种方法是让该行上目标指引线位置和通过上一场视频数据求得的位置一样。

直接边缘检测算法流程图如图 9.2 所示。

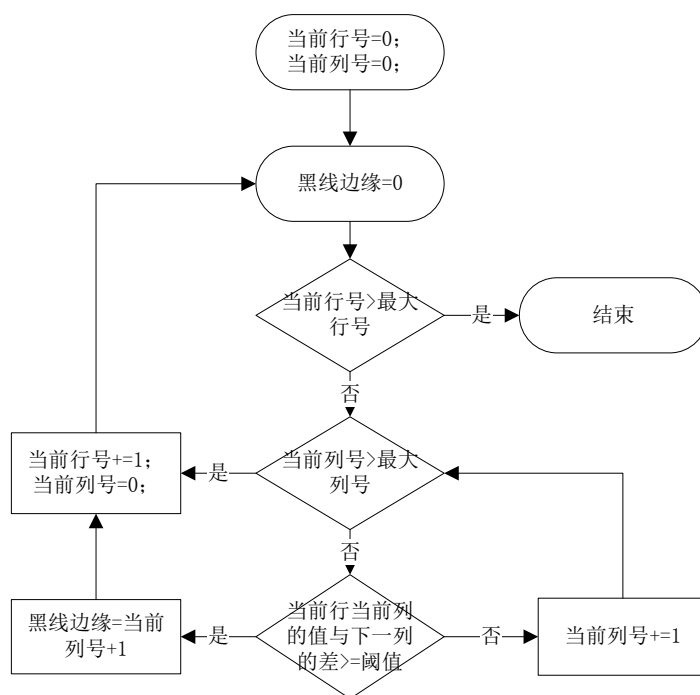


图 10.2 边缘检测算法流程图

该算法较二值化方法而言，抗环境光强变化干扰的能力更强，同时还能削弱或消除垂直交叉黑色指引线的干扰。因为该算法在视频信号矩阵中是由左至右来寻找目标指引线的左边缘的，所以当黑色图像出现在目标指引线左方时，该算法无法排除干扰，而当其出现在右方时，则可以排除干扰。

实际使用时可以对该算法稍加改进，当一行处理完为找到黑线边缘时，再通过对比左边缘值与一固定阈值（类似二值化算法中的阈值）比较，确定其时候是黑线边缘。为增强稳定性可以利用相邻行黑线边缘值相近的特点进行合理的滤波。

10.1.1.3 跟踪边缘检测算法

这种算法跟 9.1.1.2 小节介绍的直接边缘检测算法一样，也是寻找出目标指引线的左边缘，仍然用左边缘的位置代表目标指引线的位置。但跟踪边缘检测从视频信号矩阵每行中寻找左边缘的方法与上一小节介绍的不同。因为目标指引线是连续曲线，所以相邻两行的左边缘点比较靠近。跟踪边缘检测正是利用了这一特性，对直接边缘检测进行了简化。其思路是：若已寻找到某行的左边缘，则下一次就在上一个左边缘附近进行搜寻。这种方法的特点是始终跟踪每行左边缘的附近，去寻找下一列的左边缘，所以称为“跟踪”边缘检测算法。

该算法在首行边缘检测正确的前提下，该算法具有较强的抗干扰性，能更有效地消除垂直交叉黑色指引线的干扰，以及指引线外黑色图像的影响，始终跟踪目标指引线。另外，较之前两种算法，跟

踪边缘检测算法的时间复杂度更低，因此效率更高。但值得注意的是第一行的左边缘位置对整个目标指引线的搜寻影响很大，一旦它的位置和实际导引线偏差较大，就会产生一连串的错误，这是不可容忍的。

实际使用时，在对第一行黑线边缘的提前尤为重要，可结合上幅图像中的黑线边缘值对当前第一行的黑线边缘进行滤波处理。

10.1.1.4 中值滤波和曲线拟合

虽然采用了边缘检测的方法进行黑线提取，但由于赛道缝隙或其他黑色像点的干扰，仍会使得某些行的黑线位置发生跳变。为了解决这一问题，增加算法的稳定性，可以采用中值滤波和曲线拟合的方法对前面获取的黑线位置进行处理。

中值滤波的思想是：对于某行的黑线位置，如果它的位置正好在前后两行的中间，则保留原有位置；否则，以这三行中黑线位置居中的代替该行黑线位置。如图 5.11 所示，利用中值滤波消除单个的毛刺，但对连续两个以上的毛刺不能滤除。

曲线拟合的思路是：判断每行黑线位置与整幅图像黑线平均位置的偏差，如果偏差大于某个数值，就将该点标记为无效点，此处的黑线位置用前后最近两个有效点的黑线位置的算术平均替代。

10.1.1.5 小结

本节中介绍的四种算法，各有其优缺点。在使用时不要拘泥于某一种算法，结合硬件资源合理利用各种算法的优点，取长补短。可以达到意想不到的效果。上述算法中有一个量比较重要，就是阈值。阈值的选取直接关系到目标线提取的正确性，摄像头拍摄到图像近端和远端是有差异的，往往一个阈值很难适应整幅图像。所以可以采用动态阈值的方法来改善目标线的提取算法的稳定性和适应性。

10.2 车体控制算法

车体控制算法是整个系统的核心，直接影响到小车在赛场上的表现。根据比赛经验，一般到后期基本上都是调试这部分的内容。目前常用的控制算法主要有：PID 算法、预判算法、模糊控制算法和赛道记忆算法。个人认为不应将赛道记忆作为一种算法提出来实现，因为个人感觉有作弊的嫌疑，其实这个算法往往也不好，特别是赛道比较大时。结合摄像头的特点下面主要介绍 PID 算法和预判算法。

10.2.1 PID 算法

PID 控制是工程实际中应用最为广泛的调节器控制规律。问世至今 70 年多年来，它以其结构简单、稳定性好、工作可靠、调整方便而成为工业控制的主要技术之一。

单位反馈的 PID 控制原理框图如图 10.3 所示。

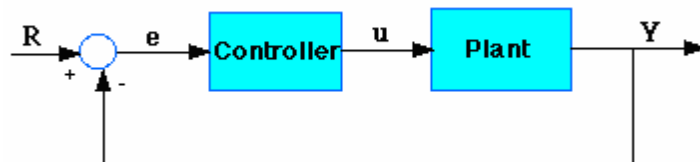


图 9.3 单位反馈的 PID 控制原理框图

e 代表理想输入与实际输出的误差，这个误差信号被送到控制器，控制器计算出误差信号的积分值和微分值，并将它们与原误差信号进行线性组合，得到输出量 u。

$$\mu = K_p e + K_i \int e dt + K_d \frac{de}{dt}$$

其中， K_p 、 K_i 、 K_d 分别称为比例系数、积分系数、微分系数。u 接着被送到了执行机构，这样就

获得了新的输出信号 Y 。这个新的输出信号被再次送到感应器以发现新的误差信号，这个过程就这样周而复始地进行。运用 PID 控制的关键是调整三个比例系数，即参数整定。PID 控制器参数整定的方法很多，概括起来有两大类：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。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、易于掌握，在工程实际中被广泛采用。

一般来说，增大比例系数能够减小上升时间，并减小稳态误差，但不能消除。增大积分系数能够消除稳态误差，但会使瞬时响应变差。增大微分系数能够增强系统的稳定特性，减小超调，并且改善瞬时响应。以上简要介绍了 PID 算法的原理和特性，实际过程中，由于传感器是按一定间隔周期获取位置信息的，因此必须将连续 PID 控制离散化，这样得到的就是数字 PID 算法。

在实际编程实现时主要需要保存上一幅图像黑线特征值。这里简单以一段程序来表示在实际编程时如何实现 PID 算法。

```
P_error = CurrentMidPlace - ImageMidLine;//静态误差量
```

```
D_error = CurrentMidPlace - PreMidPlace;//微分量
```

```
I_error += P_error;//积分量
```

```
PID = Kp*P_error + Ki*I_error + Kd*D_error;
```

其中 CurrentMidPlace、PreMidPlace 是当前图像和上一幅图像选取的参考行的黑线特征值，ImageMidLine 为固定的参考值（根据实际算法需要可以动态修改）。Kp、Ki、Kd 是比例参数，需要根据实际情况调试得出。这里的控制对象主要是舵机，电机也可以用类似的算法处理。

实际经验：当积分系数为 0，微分系数相对比例系数较小时，小车性能较好。同时发现，小车在直道上时比例系数应适当小些，这样不会产生“蛇形”现象；弯道上比例系数应适当大些，这样能避免小车在高速入弯后冲出赛道。为了最大程度上发挥摄像头的大前瞻的优点，可以用预判算法（也叫赛道识别算法）来对前方的赛道进行预判，根据赛道的类型来确定 P、I、D 的参数 Kp、Ki、Kd 的值，并可以达到合理优化车速的目的。

10.2.2 预判算法

赛道预判能力可以说是摄像头所特有的功能，对于整个车子的行走路线有很大的影响。所以赛道预判也是图像处理的一个重要的部分。赛道预判是在前面黑线提取的基础上来做的。赛道预判算法每一个组都可能不一样，没有一个经典的典范，所以在这里我只能就自己所了解得几种算法来谈一谈。我归纳总结一下可以为：拐点算法和斜率算法两种算法。

拐点算法的思想：对提取的黑线特征点逐个扫描（也可间隔扫描，视情况而定），记录下路径中拐点的个数以及各拐点对应的行号。然后再根据得到的拐点数和拐点与拐点之间的偏差值可以判断出赛道的基本类型。若拐点为零，则可以判为直道或直道入弯，然后再对截取一段计算出路径的偏差值，通过将偏差值与设定的阈值相比较来确定是直道还是直道入弯道。

这种算法在赛道类型的判断上准确性比较高，处理复杂度适中，可以考虑使用。

斜率算法的思想：从提取的黑线路径中选取特定的三行（视情况而定）的黑线特征值，最好选取的行与实际间隔距离相等。计算出相邻的黑线特征值的偏差，这里的偏差就是赛道的斜率，根据斜率的值可以判断出赛道的基本特征。

这种算法在赛道类型的判断上准确性一般，处理复杂度低。