
第十届“飞思卡尔”杯全国大学生 智能汽车竞赛

技 术 报 告



中南民族大学

学 校：中南民族大学

参赛队名：奔跑的兔子

参赛队员：姜太思 向渐升 李炜

带队老师：张俊敏 陈勉

关于技术报告和学术论文使用授权的说明

本人完全了解第十届“飞思卡尔”杯全国大学生智能汽车邀请赛关保留、使用技术报告和学术论文的规定，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：_

目录

引言.....	1
第一章 系统总体设计.....	2
1.1 小车的设计理念.....	2
1.2 系统结构.....	2
第二章 小车机械结构说明.....	3
2.1 小车整体布局展示.....	3
2.2 舵机的安装.....	4
2.3 摄像头的安装.....	4
2.4 底盘高度调整.....	4
2.5 编码器安装.....	5
2.6 电池的安裝.....	6
2.7 灯塔接收模块的安装.....	6
第三章 硬件电路设计.....	8
3.1 PCB板展示.....	8
3.2 电源电路设计.....	8
3.2.1 最小系统液晶供电.....	9
3.2.2 舵机供电.....	9
3.2.3 其他器件供电.....	10
3.3 图像采集电路.....	10
3.4 电机驱动模块.....	11
3.5 键盘液晶模块.....	11
3.6 灯塔接收模块.....	12
第四章 软件系统设计.....	14
4.1 数字信号采集.....	14
4.2 图像信息处理.....	15
4.2.1 路径信息采集及处理方法.....	15
4.2.2 特殊情况处理.....	16
4.3 控制策略.....	19
4.3.1 经典PID控制算法介绍.....	19
4.3.2 伺服电机转向控制算法.....	20
4.3.3 直流电机控制算法.....	21
结论.....	24
参考文献.....	25

引言

飞思卡尔智能车竞赛作为一个将理论与实践相结合的竞速比赛，无疑对大学生来说，是充满魅力的。它不仅仅需要的是专业课知识，还需要大胆的创新实践与团队协作精神。所以，参加飞思卡尔智能车竞赛是一件很有意思的事情。

为了提高同学们的素质与实践能力，我校积极组队参加第十届“飞思卡尔”杯全国大学生智能汽车竞赛。经过一年的时间，在老师和学长的指导下。我们尝试各种不同的机械结构与控制算法，努力将小车做的更简洁，更稳定，噪音更小。其中包括驱动电路与主板的分离与否，摄像头的高度与倾斜角度，舵机臂的长短，电池的位置与重心调整还有编码器的安装，以及算法中打角的控制方式，速度控制等等。最终使小车在赛场能取得不错的成绩。下面将系统详细的对小车各个部分的结构设计做一个介绍。

第一章 系统总体设计

1.1 小车的设计理念

为了保证车模各个电路模块的稳定运行，不仅需要选取合适的运用电路，还要有精心的PCB 板布局，使电路的干扰降到最低。合理的布局会使接线更明朗，小车看起来更简洁。

还需考虑车模的整体布局，考虑到质量的分布，电路板的位置，电池的位置需要经过精心的计算。舵机的位置选取会影响舵机臂的长短，这对舵机的灵敏度有影响。摄像头的位置会影响前瞻的远近。总的来说布局需要不断的实践和创新。

重心也是不能忽视的。尽量降低重心能有效防止因为弯道速度过快引起的小车侧翻问题，从而提高了小车的速度。

最后还需考虑降低车模本身的摩擦力。其中包括前轮的松紧程度，找到一个摩擦力很小同时又不会因为太松而晃动的位置。编码器齿轮与后轮齿轮调节到一个合适的位置。

以上设计理念相互配合、相互影响，通过精心设计后使小车整体达到比较理想状态。

1.2 系统结构

本次比赛摄像头组采用大赛组委会统一指定的 C 型车模，以 Freescale 半导体 公司生产的 32 位单片机 MK60N512VMD100 为核心控制器,赛车采用 ov5116 摄像头对赛道进行检测，获取道路信息确定赛车当前位置，用 PD 方式对舵机进 行控制。同时通过编码器获取当前速度，采用模糊控制实现速度闭环。

系统结构图如图 1-1 所示：

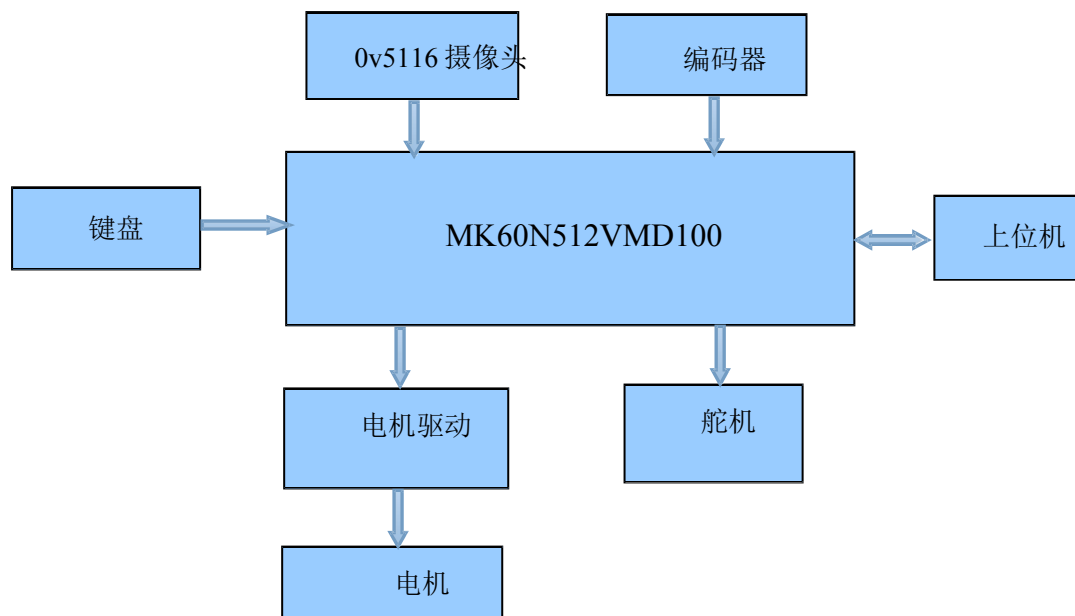


图 1-1 系统结构图

第二章 小车机械设计说明

2.1 小车整体布局展示

如图 2-1 所示。



图 2-1 车模整体展示图

2.2 舵机的安装

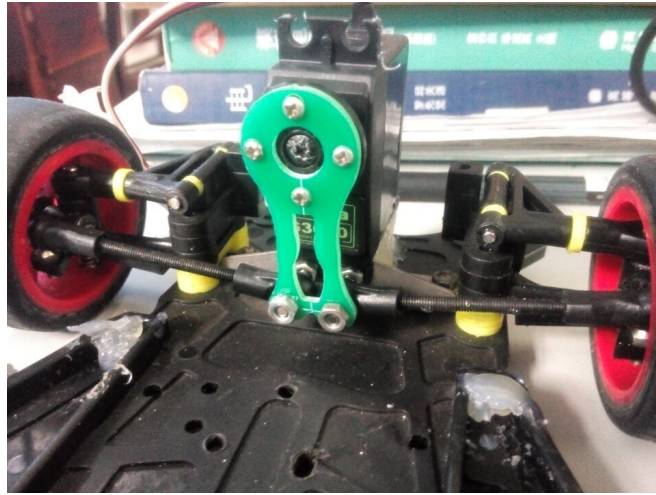


图 2-2 舵机安装图

转向舵机安装的好坏决定了车体在转弯时所能达到的极限速度，安装时主要考虑的因素有：重心、最大转角、等效力臂长度、响应速度、极限拉力等因素。

我们采用的是立式安装，大多数学校都采用了这种安装方法。这种安装方法不太稳定，我们在舵机下面垫了两层 KT 板用于减小固定孔的受力。

图中的舵机臂是我们自己订做的，如图 2-3 所示：

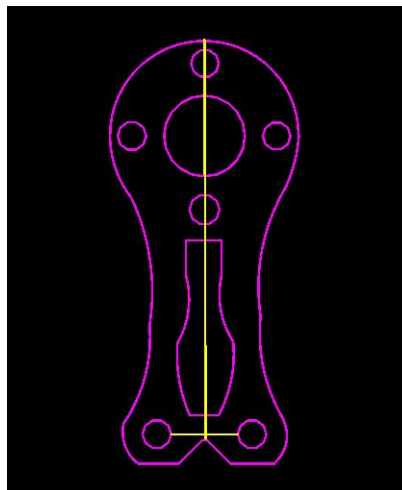


图 2-3 舵机臂

2.3 摄像头的安装

最开始我们将摄像头安装在车的前段，紧贴舵机的地方。这种安装方法前瞻更长，可以看的更远，但是盲区太大导致十字弯道容易窜道。最后将摄像头的位置移到中间，如图 2-4 所示。

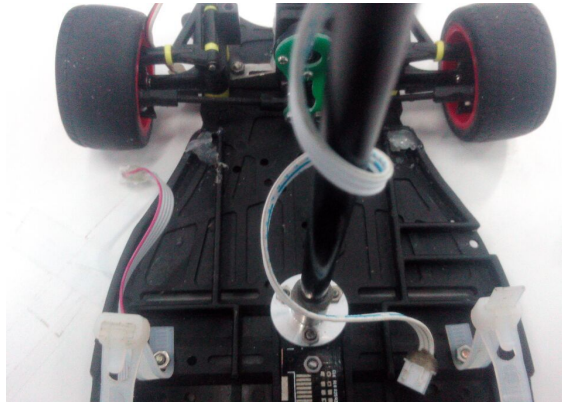


图 2-4 摄像头安装位置

摄像头的高度 26CM。采用 ov5116 摄像头。



图 2-4 ov5116 实物图

2.4 底盘高度调整

将底盘高度适当的降低可以起到降低整体重心的作用。降低重心可以有效的防止小车在弯道处侧翻。换言之，降低底盘可以提高小车在弯道的速度。我们将原本车模的一个垫片增加到三个垫片，有效的降低了底盘高度。



图 2-5 底盘高度调整

2.5 编码器的安装

我们采用自制的安装架用来固定编码器。这种安装架可以调节编码器齿轮与电机齿轮之间的间距。合适的间距能有效的减小齿轮之间的摩擦力。

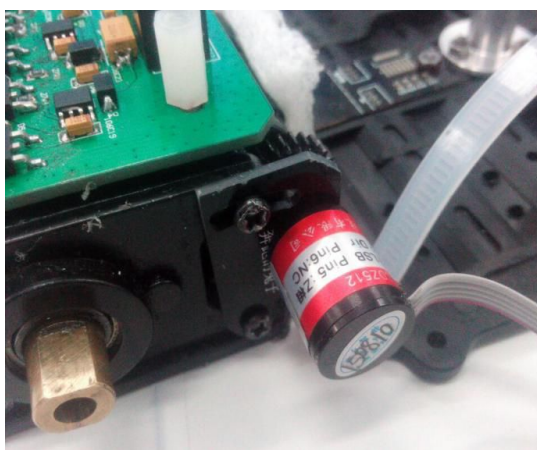


图 2-6 编码器安装

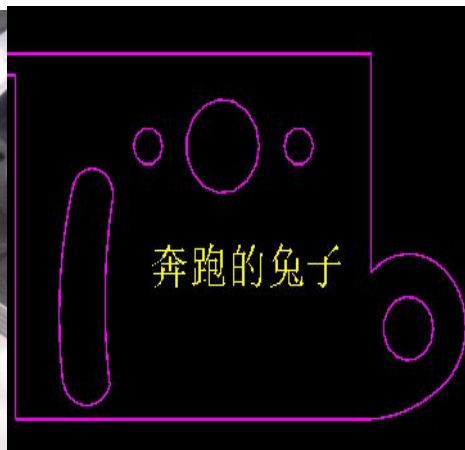


图 2-7 编码器支架

2.6 电池的安裝

在整个车模中，电池的重量占了很大一部分。重心靠后能使舵机打角更畅，小车高速如弯时能及时反应。所以我们将电池放在紧靠电机的位置，同时将底盘纹路削平，使电池尽量低。



图 2-8 削低底盘

2.7 灯塔就收模块

灯塔的高度在 10CM， 所以将接收模块放在舵机上， 差不多离地面正好 10CM 的地方。

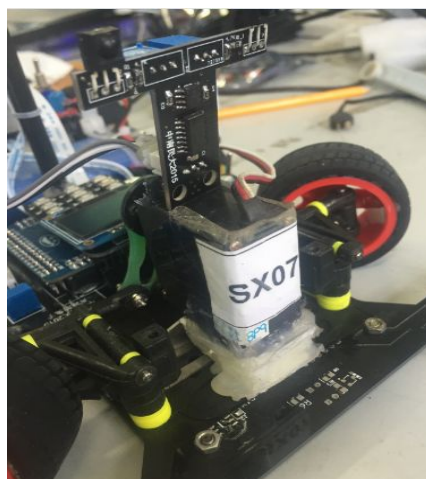


图 2-9 接收模块安装

第三章硬件电路设计

3.1 PCB 板展示

我们尝试各种 PCB 布局之后，最终决定采用主板与驱动板分离的形式。这种布局将驱动和主板分离开，能减少驱动部分对主板的干扰。同时驱动部分放在尾部能将车的重心往后移，使小车跑起来更稳定。

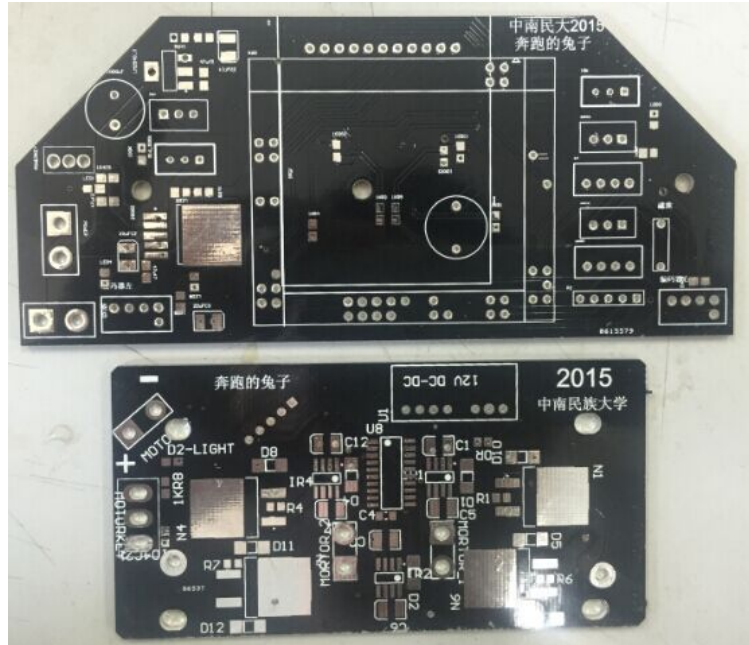


图 3-1 PCB 板

3.2 电源电路设计

电源电路是整个电路正常工作的基础，因此设计稳定可靠的供电电路显得尤为重要，除了采用相应稳压芯片对电路供电以外，电路的布局也很重要，要求提高电源的稳定性，减少干扰。各个电源模块如下图所示

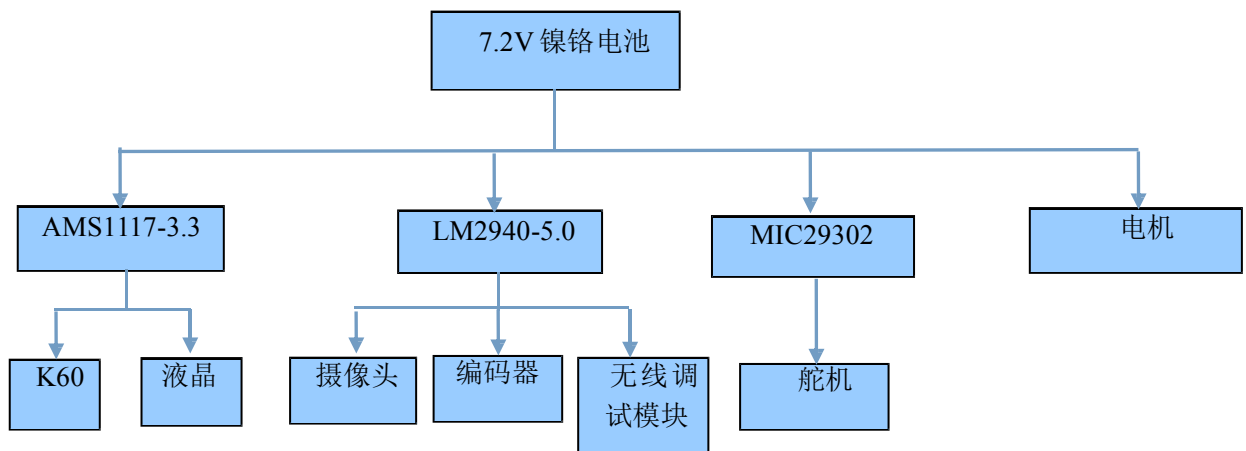


图 3-2 电源电路整体设计图

3.2.1 最小系统液晶供电

由于 MK60N512VMD100 可以超频到 200M，可以使用 DMA 模块采集图像，图像清晰无噪点，于是我们队摒弃了传统的 XS128，采用的是 MK60N512VMD100 作为主控芯片，芯片使用 3.3V 供电，由于 3.3V 供电输入输出压差太大会导致 3.3V 稳压芯片发热严重，需要将电池电压 7.2V 稳到 5V 再将 5V 稳到 3.3V 给小系统供电。调试工具采用液晶，可以显示当前模型车返回的数据，同样采用 3.3V 供电，供电电路如图 3-3 所示：

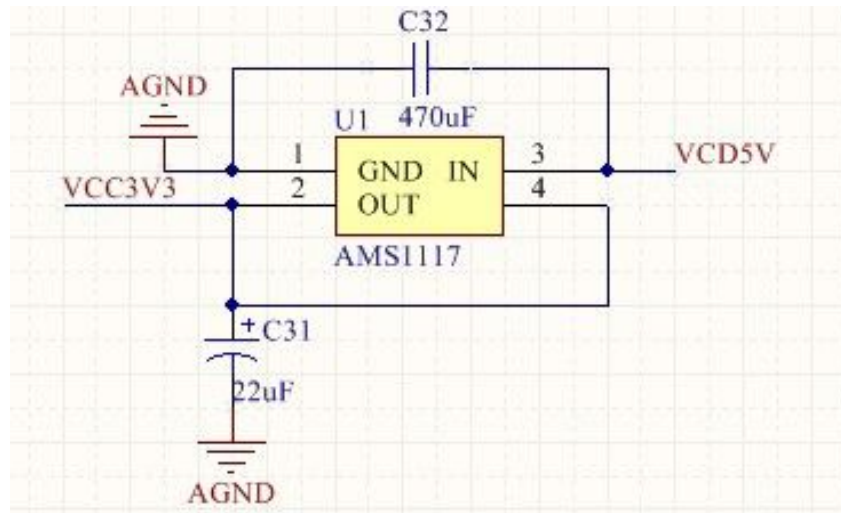


图 3-3 3.3V 稳压电路

3.2.2 舵机供电

C 车模使用 3010 舵机，工作电压为 6V，一般来说舵机供电电压越高反应越灵敏，但是电压太高就会烧掉舵机。在舵机能承受的电压范围内，我们采用 6V 可调稳压芯片供电，舵机供电电路设计如图 3-4 所示：

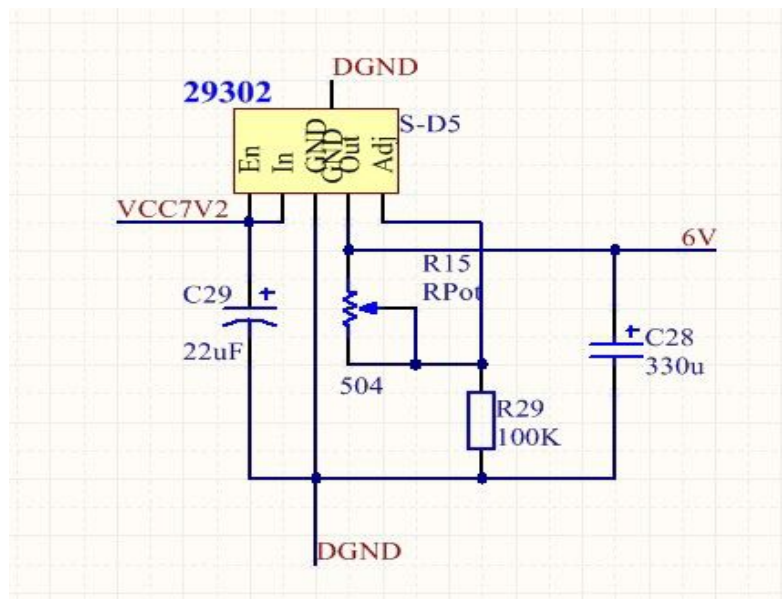


图 3-4 6V 稳压电路

3.2.3 其他器件供电

除了以上两部分供电电路外，还有编码器，键盘，无线调试模块等需要 5V 供电，我们采用低压差稳压芯片 LM2940-5.0 供电，其具有大电流（最大能提供 1A 电流）、低功耗、电路简单的特点。电机模块直接采用电池 7.2V 供电。LM2940-5.0 供电电路如图 3-5 所示：

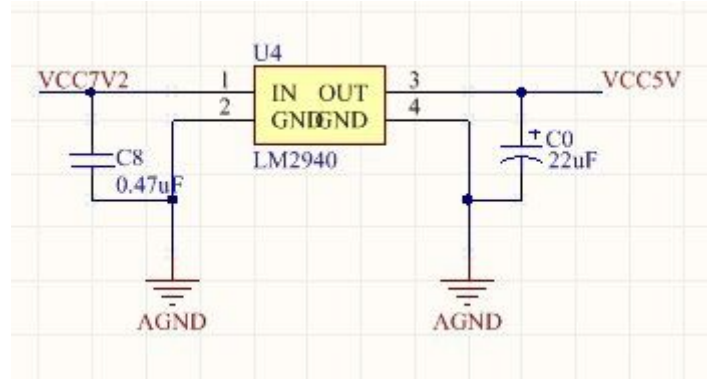


图 3-5 5V 稳压电路

3.3 图像采集电路

摄像头采用 ov5116 采集图像。摄像头视频信号中除了包含图像信号之外，还包括了行同步信号、行消隐信号、场同步信号、场消隐信号以及槽脉冲信号、前均衡脉冲、后均衡脉冲等。因此，若要对视频信号进行采集，就必须通过视频同步分离电路准确地把握各种信号间的逻辑关系。我们使用了 LM1881 芯片对黑白全电视信号进行视频同步分离，得到行同步、场同步信号。下图为 LM1881 运用电路。

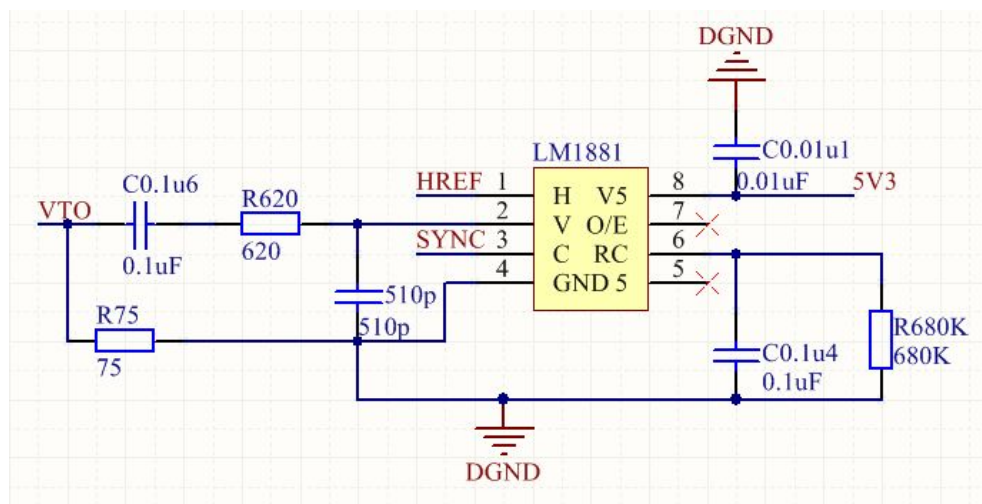


图 3-6 视频分离电路

由于摄像头输出为 5V，需要将行同步信号，场同步信号，像素同步信号接 1K 电阻连到单片机，对单片机进行保护。

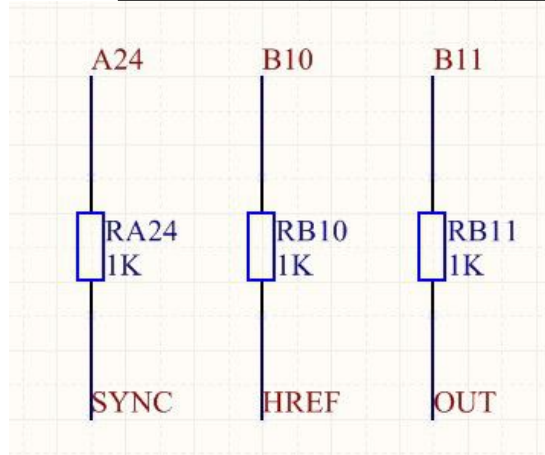


图 3-7 单片机引脚保护

3.4 电机驱动模块

电机驱动模块我们用 MOSFET 管 7843 和 MOSFET 驱动芯片 IR2104 搭建了 H 桥驱动电路。MOS 管驱动电路电流很大，驱动能力很强，可以带给电机强有力的动力。IR2104 外接电源模块 WRB0512S。WRB0512S 为其提供 12V 电压，具有刹车使能功能。3 态 8 位缓冲器 74LS244 用来暂存控制信号。

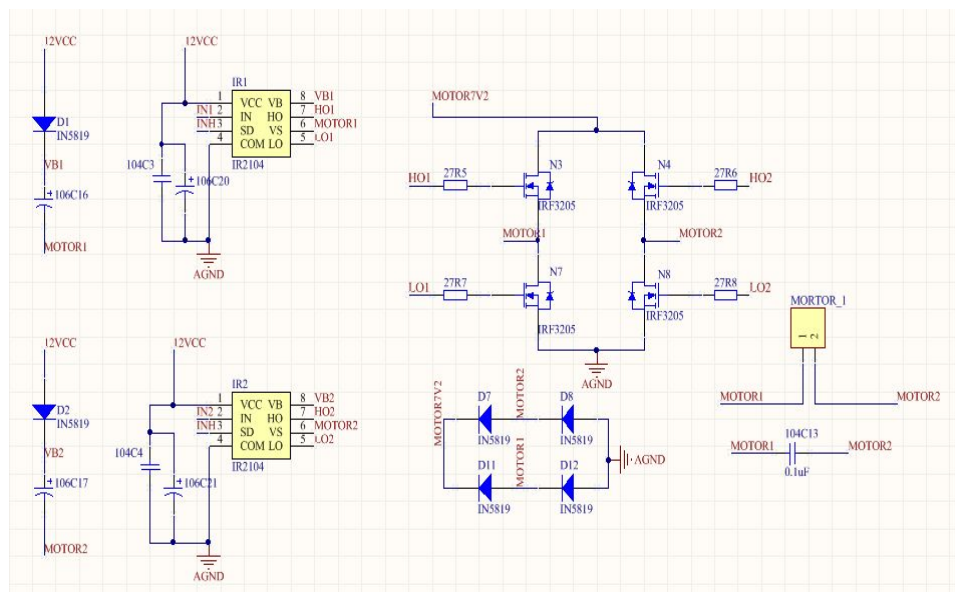


图 3-8 电机驱动电路

3.5 键盘液晶模块

在调试初期我们采用四位一体的数码管来显示智能车当前数据，由于数码管 显示内容比较少，我们改为采用 OLED 液晶，OLED 小巧方便相对于数码管显示内 容大大增加。键盘我们采用键盘控制芯片 CH451，CH451 是一个整合了数码管显 示驱动和键盘扫描控制以及 μP 监控的多功能外围芯片。CH451 内置 RC 振荡电路， 可以动态驱动 8 位数码管或者 64 位 LED，具有 BCD 译码、闪烁、移位等功能；同 时还可以进行 64 键的键盘扫描；CH451 通过可以级联的串行接口与单片机等交换 数据；并且提供上电复位和看门狗等监控功能。我们采用了 6

个按键对智能车进行功能选择，键盘电路图如下图 3-12 所示：

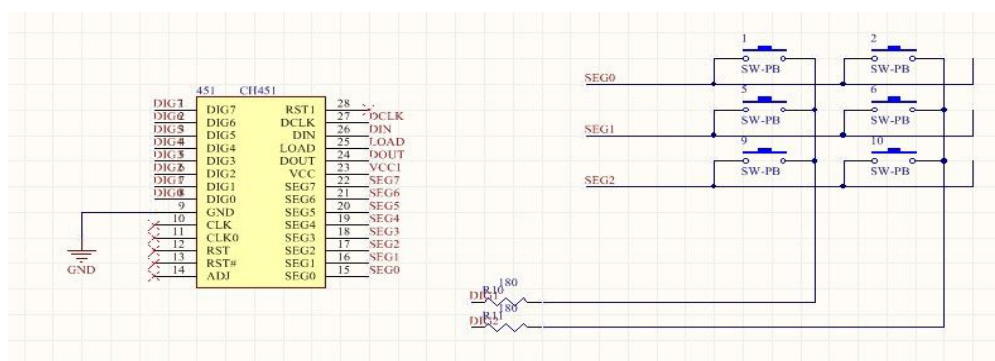


图 3-9 键盘电路图

下图为液晶与键盘的实物图。



图 3-10 液晶键盘

3.6 灯塔接收模块

我们选用 HS0038 作为红外接收管。并用 LM358 放大电路对其进行信号放大，解决了接收距离太短的问题。

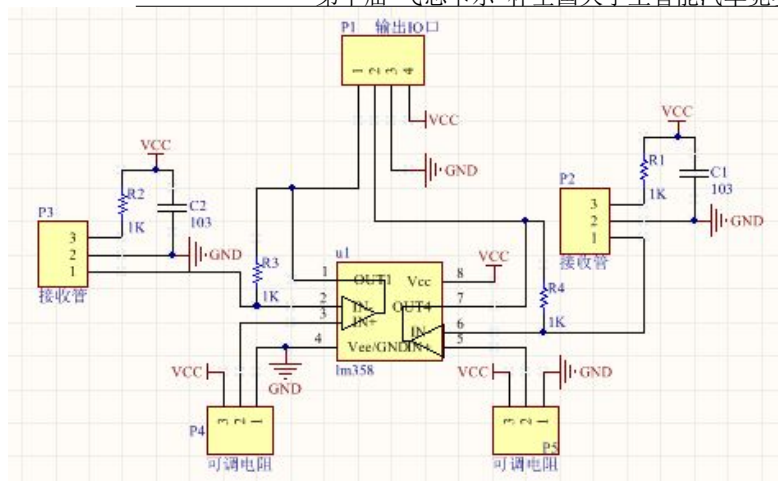


图 3-11 灯塔电路图

第四章 软件系统设计

程序高效稳定是智能车平稳快速寻线的基础。本智能车采用 CMOS 摄像头 作为寻线传感器，图像采集处理是整个软件的核心内容之一。在转向和速度控制 方面，本智能车使用鲁棒性很好的经典 PID 控制算法和二维模糊算法，配合使 用理论计算和实际参数补偿等办法，使智能车在寻线中达到稳定快速的效果。软 件程序共分四大模块：信号采集、信号处理、速度调节和伺服电机控制。系统软 件流程图如图 4-1 所示。

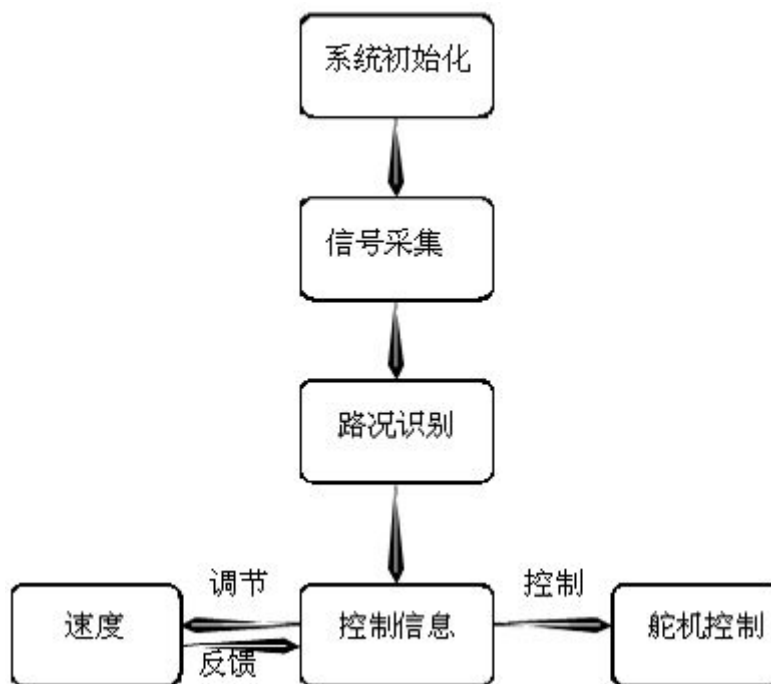


图 4-1 系统软件流程图

4.1 数字信号采集

由于我们使用的是 CMOS 数字摄像头 OV5116，以场信号、行信号和像素同步 信号，作为数字信号时序根据，通过场信号确定一帧图像的的开始和上一帧图像的 结束，通过行信号，确定当前行是否需要采集的行。如果是的话，当像素同步 信号到来时，触发 DMA 中断，并接收一个像素点。

本队采用 CMOS 的黑白摄像头，每帧信息有 240 行，320 列，即有效图像信息 240*320。考虑到单片机内存有限以及我们实际的需求分辨率，根据摄像头 安装位置和俯仰角度大小，以及考虑到图像畸变等因素，本智能车采取特定行采 集，所跳行数从远到近逐渐增多，在一定程度上纠正图像畸变，确保所采集到信 息与实际路面相符。根据实际需要共采集 55 行信息，每行采集 158 个点，形 成 158*55 像素图像数组，用于 路况分析。

在检测起始线方面，采集一帧的第 104 行~300 行间某些行也就是 158*55 像素图 像的 54 行到 20 行的数组作为起始线检测数据。按照本智能车摄像头安装方 案，第 104 行~ 300 行在路面上可覆盖 40cm，按照 4m/s 速度计算，摄像头每采 集一帧图像（16.7ms）小

车可前进 6.68cm，小车在前进过程中将有 5~6 帧图像采集到起始线。视频信号采集和起始线信息采集框图如图 4-2 所示。

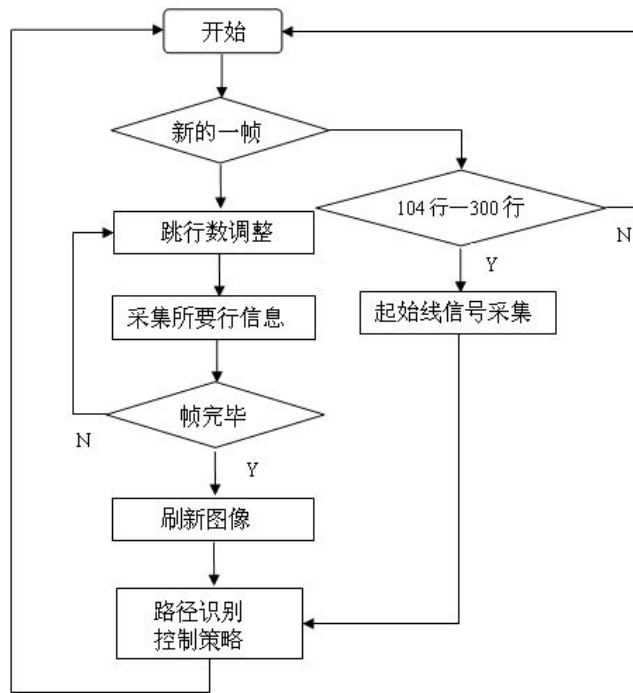


图 4-2 信号采集流程图

4.2 图像信息处理

4.2.1 路径信息采集及处理方法

首先对采集回来的数字信号进行二值化，根据赛道提取两边沿黑线的位置，方法是从中间位置向两边寻找黑线，为了防止复杂赛道的其它各种情况影响到边沿的提取，我们首先确定前面几行的边沿，然后根据每一次前一行的边沿位置确定下一行的边沿寻迹范围，这样大大减小了边沿寻迹的错误，减小了赛道各种情况的干扰，这样能够准确的提取到边沿的位置。提取到边沿位置之后，通过左右边沿的位置和变化情况来拟合赛道的中心线，也就是虚拟出类似第六届的赛道中心的黑线。实践证明这种方法是比较可靠的。如图 4-3 可以看到：

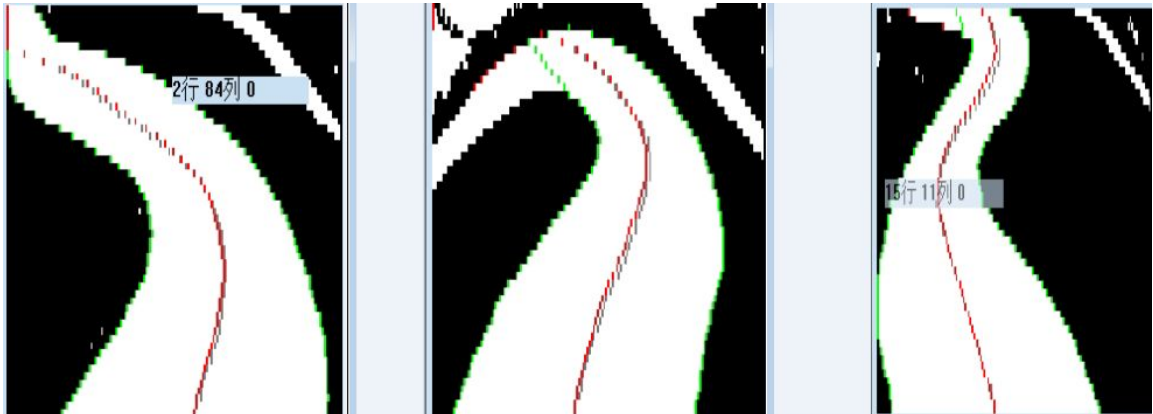


图 4-3 信号图像处理

4.2.2 特殊情况处理

(1) 十字弯的判断及处理

十字弯一直是赛道类型比较难处理的一种，我们采用的是首先判断出十字弯，然后对左右两边进行补线，如果处理得当就像普通赛道一样了。我们的判断的方法是：a. 当车入十字弯比较正的时候：如图 4-4 所示：



图 4-4 车体正入十字弯

通过判断有多行没有找到边沿，并且这几行的点绝大部分都是白色的点，判断为十字弯之后，找到没有找到一段的首位，并连接起来，处理之后的结果如下 4-5 所示：

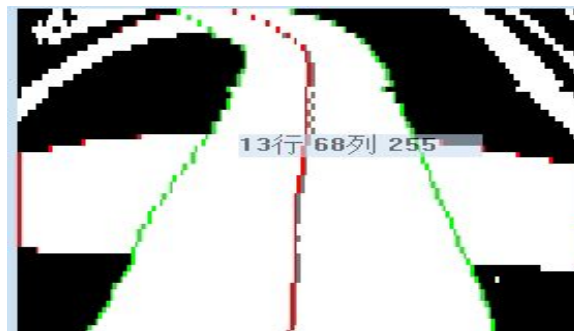


图 4-5 车体正入十字弯处理

B. 当入十字弯前是弯道，即入十字弯时车身是歪的情况下，如图 4-6 所示：



图 4-6 车体斜入十字弯

这种情况可以判断十字弯的两个拐角，这种方法是比较准的，图 4-7 是我们处理之后的

结果：

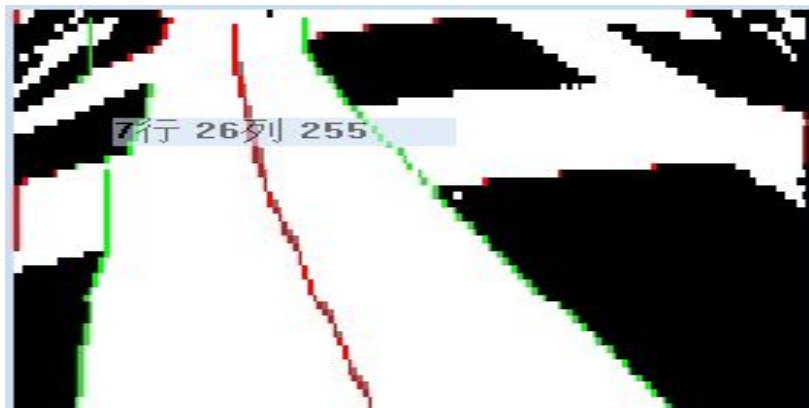


图 4-7 车体斜入十字弯处理

(2) 中心引导线的处理

中心引导线的处理是今年的一个新的亮点，但也是我们做车的难点，如果没有处理好，比赛的时候有可能导致我们全盘皆输，其中的判断是一个难点，判断为中心引导线之后就根据当前情况进行布线。在很早的时候我们就做了准备，有实际情况可以判断，中心引导线的背景颜色一定是浅色的，否则，中心引导线是没有任何意义的。其实这也可以作为中心引导线的判断依据之一。当然主要还得通过寻迹的情况来判断，因为开始时组委会一直说明赛道的背景颜色不确定，这给比赛也增加了很多的不确定性。判断依据很简单，就是在找到两边沿之间有黑线，或者当前的边沿是否就是中心引导线。然后再对其进行处理。中心引导线如图 4-8 所示：

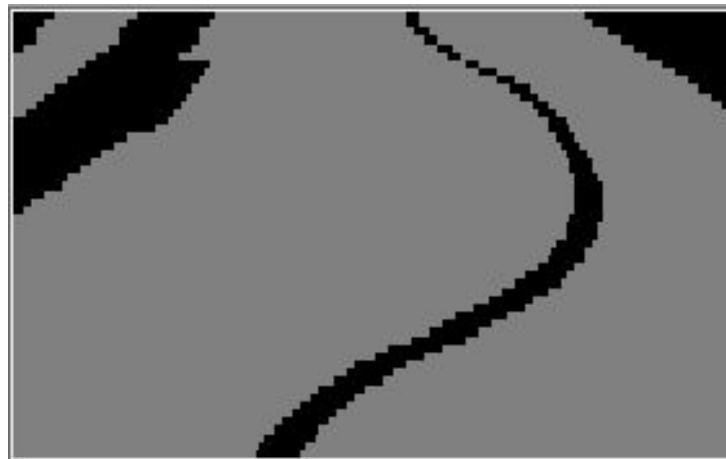


图 4-8 中心引导线

这是一个比较典型的中心引导线区域，我们判断的主要依据就是寻迹，所以寻迹变得尤其重要，我们需要对普通弯道的寻迹参数来调整，这样处理之后的结果才会变得完美，上位机处理之后的处理结果如图 4-9 所示：

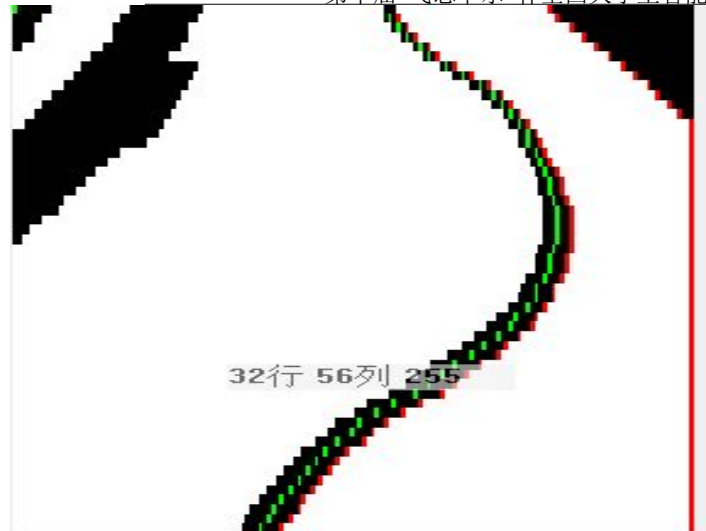


图 4-9 中心引导线处理

（3）灯塔的识别

灯塔发车停车是今年新加的，对大家来说都是个考验，不同于以往的起始线可以通过图像识别。今年我们需要用到红外接收装置来接收灯塔信号，决定小车发车停车。接收装置电路在 3.6 已描述。我通过接收到信号数判断是否为灯塔信号，然后灯塔信号从有到无为发车，从无到有为停车。

（4）坡道的识别

坡道也给比赛增加很多的乐趣，使比赛不至于那么的无趣，观察图 4-10，4-11 所示：

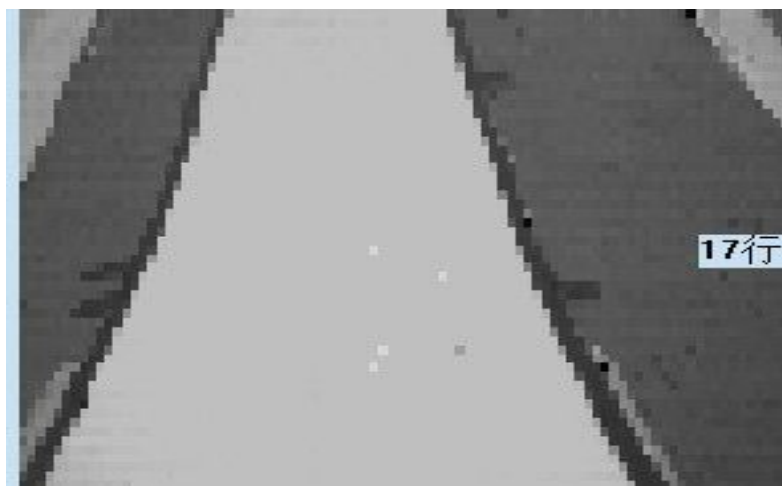


图 4-10 上坡图像

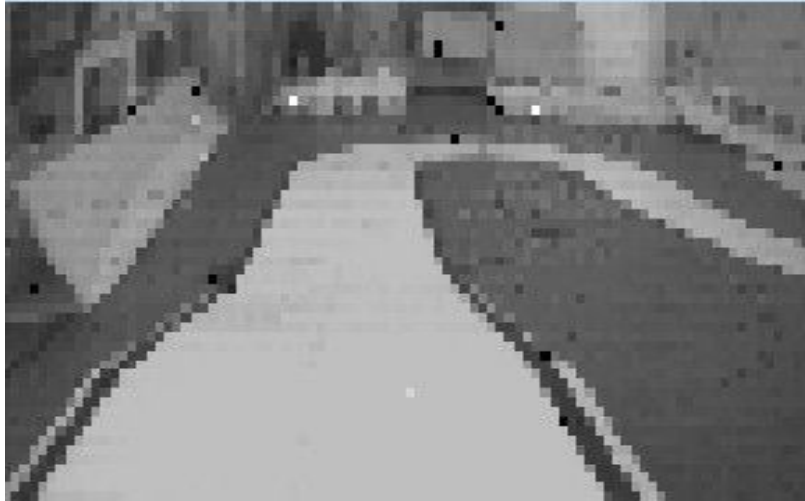


图 4-11 下坡图像

上坡和下坡 从中我们可以观察到，上坡时赛道会变得比较宽，下坡时会比较窄，并且只会在直道上，这两个事我们判断的主要依据。前期训练车子可能会从坡道上跌下，把坡道处理好之后基本不会出现这种情况。

(5) 直角前黑线的识别及处理

黑线也是今年新加的元素。为直角前 1 米处的 10cm 宽的黑线，用于提示快进入直角了。我们通过图像列扫描出现由白变黑再变白判断为黑线，然后对其进行补线。直道上较好处理直接补线滤掉即可。弯道出黑线时比较麻烦，需要对其宽度、形状、角度多方面进行处理才能判断并补线。而且黑线还会带来很多误判，如果两个赛道距离较近会有误判为黑线的可能。如图 4—12 所示：

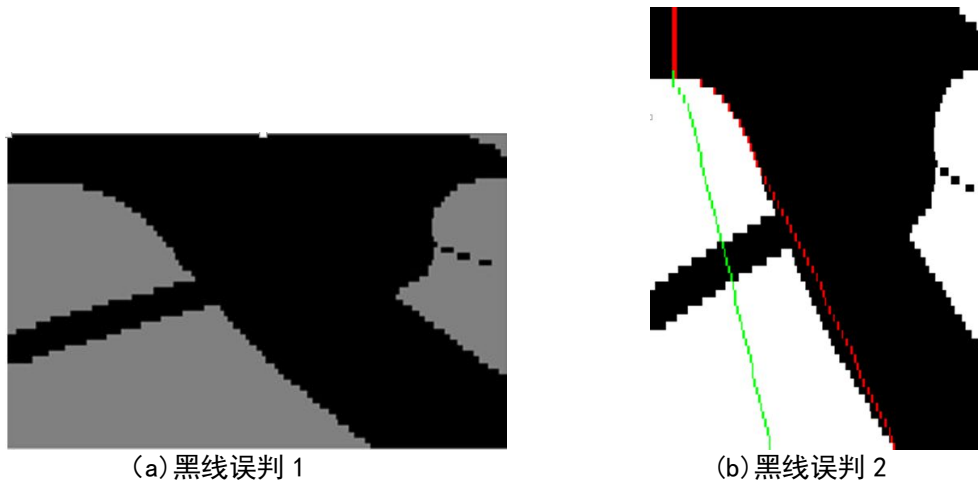


图 4-12 黑线误判

4.3 控制策略

4.3.1 经典 PID 控制算法介绍

在生产过程自动控制发展历程中，PID 控制方式历史最久、生命力最强，其原理简单、适应性好和鲁棒性强等优点使之成为工业过程控制的主要技术之一。单位反馈 PID 控制原理框图如图 4-13 所示。

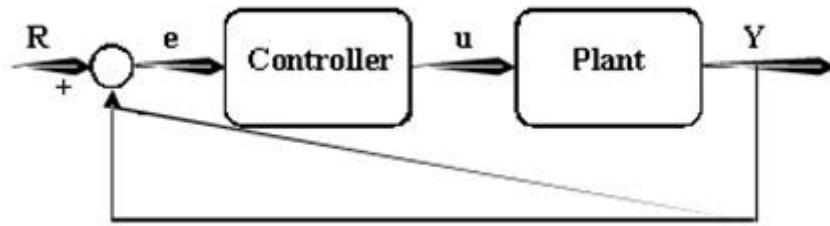


图 4-13 单位反馈的 PID 控制原理

根据上述方框图，输出量 u 和偏差信号 e 间的关系如下公式所述：

$$u = k_p e + k_i \int e dt + k_d \cdot de / dt \quad (\text{公式 1})$$

其中， k_p k_i k_d 分别为比例系数、积分系数和微分系数。

u 被送到了执行机构 (Plant)，获得新的输出信号 Y ，该输出信号被再次送到感应器以实现新的偏差信号，调节过程就这样周而复始地进行。增大比例系数 k_p 能够减小上升时间，但不能消除稳态误差，并且系统激烈振荡；增大积分系数 k_i 能够消除稳态误差，但会使瞬时响应变差；增大微分系数 k_d 可以加快动态系统响应，改善瞬时响应。对连续系统，积分项和微分项在计算机上实现，将上式转换成差分方程，从而实现数字 PID 调节器。

位置式 PID 控制算法：用矩形数值积分代替上式中积分项，对导数项用后向差分逼近，得到数字 PID 控制

制器的基本算式——位置式：

$$u_n = k_p(e_n + 1/T_n \sum e^k T + T_d(e_n - e_{n-1})/T) \quad (\text{公式 2})$$

其中 T 是采样时间， k_p 、 T_i 、 T_d 为三个待调参数。增量式 PI 控制算法。

$$\Delta u_n = u_n - u_{n-1} = k_p[(e_n - e_{n-1}) + \frac{1}{T_i} e + \frac{T_d}{T_i}(e_n - 2e_{n-1} + e_{n-2})] \quad (\text{公式 3})$$

4.3.2 伺服电机转向控制算法

分析采集到信息，路况可以分为左右单弯、S 弯和直线三大类，根据黑线偏离设定中心量大小，采用位置式 PID 算法，在本智能车中是用 PD 来控制伺服电机：

value=Servo_Middle+Servo.P*(position_mid-position_now)+Servo.D*position_diff;

value: 赋给伺服电机的控制量 Servo_Middle: 伺服电机中间量 Servo.P、Servo.D: 伺服电机比例系数 position_mid: 设定的黑线中心 position_now: 当前黑线位置

position_diff: 黑偏差量

当然也可用数组对应位置偏差的方式来进打角控

制。

4.3.3 直流电机控制算法

本智能车采用二维模糊分档和增量式 PID 算法调节速度。档位分配是调速的前提，档位分得不合理，即使调速效果很好整体速度也不高。模糊算法的简单介绍：模糊控制步骤：精确输入量——模糊化——模糊推理——反模糊——精确输出。1. 精确量的模糊化

1) 确定变量 电机控制系统中，输入语言变量有：路况弯曲程度 e （取绝对值），路况弯曲程度变化率 Δe （取绝对值）；输出语言变量有：编码器脉冲数 n （用转速来表示档位高低）。

路况弯曲程度 e 论域： $[0, 39]$ 。路况弯曲程度变化率 Δe 论域： $[0, 10]$ 。

编码器脉冲数 n 论域： $\{250, 350, 450\}$ 。（分低、中、高三档速度）。设定弯曲程度 e 语言值个数为 3 个：近、中、远。设定弯曲程度变化率 Δe 语言值个数为 3 个：突变、缓变、不变。

2) 建立模糊隶属函数

重叠系数=重叠范围/重叠隶属函数总变化范围。（0.2-0.6 为宜。）重叠力度=重叠面积/重叠横坐标跨度。（0.3~0.7 为宜。）基于简单计算，我们选择重叠系数和重叠力度均 0.5。弯曲程度 e 隶属函数

图如图 4-14 所示。

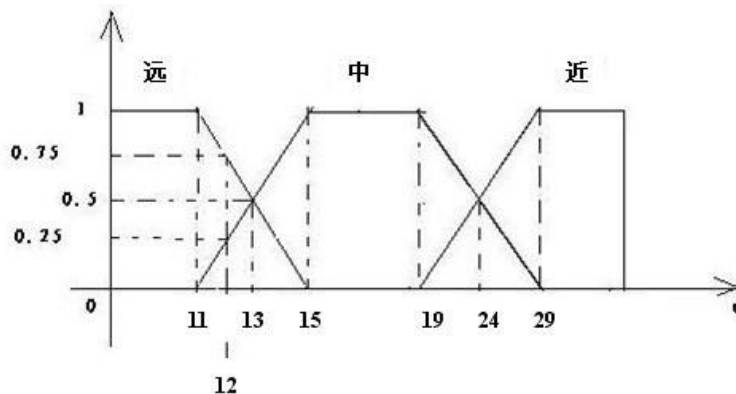


图 4-14 弯曲程度 e 隶属函数图

弯曲程度变化率 Δe 隶属函数图如图 4-15 所示。

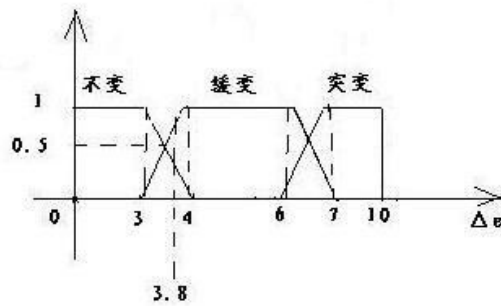


图 4-15 弯曲程度变化率 Δe 隶属函数

2. 模糊推理

根据隶属函数图制作如表 4-1 所示规则表。

表 4-1 根据隶属函数图制作的规则表

Δe e	不变	缓变	急变
近	低档	低档	中档
中	中档	中档	高档
远	高档	高档	高档

这里档位根据系统实际情况来分配，比如上图假设 $e=12$ ， $\Delta e=3.8$ ，根据隶属函数图求得隶属值为：

直线 0.75，大弯 0.25，急弯 0； 不变

0.2，缓变 0.8，突变 0。

根据规则表，使用最常用的 MAX-MIN 法模糊推理（规则强度取前件最小值）： if 直线

（0.75）and 不变（0.2）则：高档（0.2）

if 直线（0.75）and 缓变（0.8）则：高档（0.75） if 大弯

（0.25）and 不变（0.2）则：高档（0.2） if 大弯（0.25）

and 缓变（0.8）则：中档（0.25） 3. 反模糊化

应用重心法反模糊：

编码器脉冲数 n 应该为：[0.2 高档+（0.75+0.2）高档+0.25 低档]/各个档位 百分比之和，所以：

$$n=[0.2*450+(0.75+0.2)*350+0.25*250]/(0.2+0.75+0.2+0.25)=277$$

代码中用三个二维数组分别存储路况信息和档位，通过数组查询运算计算出模糊化后的精确档位，然后通过增量式 PID 调节直流电机达到预定速度。用二维模糊分档，根据偏差量大小和微分效果分档，使得档位设定更精确合理。比如，在大弯时（中）路况黑线偏差量可能

会比较大，但是变化趋势很小，如果 仅仅根据偏差量来分档的话可能会分到一般档位，但是加入二维模糊分档，在偏差量一样的情况下，变化趋势小分到的档位会比一般的高一些，变化趋势大分到的档位会比一般的低一些，使得速度分配更加合理。

增量式 PID 调速： 增量式 PID 算法优点：增量式每次输出并不与整个过去状态有关，计算式中没有

用到过去偏差累加值，不容易产生较大积累误差。增量式只需计算增量，当存在计算误差或精度不足时，对控制量计算影响较小。代码的实现如下： $e_3 = e_2$;
 $e_2 = e_1$;

$e_1 = (\text{speed_target} - \text{speed_vari});$

$\text{ctrl_motor} = \text{ctrl_motor} + \text{KP} * (e_1 - e_2) + \text{KI} * e_1 + \text{KD} * (e_1 + e_3 - 2 * e_2);$

其中

speed_target: 目标速度 speed_vari: 反馈
捕获到的当前速度 e_1 : 第 k 次（当前）
速度偏差量 e_2 : 第 $k-1$ 次（上次）速度
偏差量 e_3 : 第 $k-2$ 次（上上次）速度偏
差量 ctrl_motor: 直流电机输出量 KP:
比例系数

KI: 积分系数

KD: 微分系数

对于本控制系统，KP 和 KI 系数最关键，微分对本智能车速度调节作用不大，故直接将 KD 赋为 0。在调试中发现，只用 KP 不用 KI 时存在静差，调不到目标速度，当 KP 和 KI 相结合使用时能达到比较好的效果。

结论

自从组队以来，我们队花了 18 个月时间，从最开始的学习 51 单片机、xs128、k60、PCB 制板、硬件电路、智能车机械到新规则出来后车子可以以缓慢的速度行走再到后来不断的更改硬件电路、调试机械、调试程序，车子可以以较快速度稳定奔跑，我们一步一步的完成了既定目标，最终定下了这个方案。

本文介绍了我们组队以来制作智能车的基本思路，包括智能车布局，机械结构，硬件电路，软件调试。在制作过程中我们的思考方式和解决问题的方法，本文内容是我们队在智能车制作过程中的经验总结。

经过这一年多时间准备、制作和调试智能车，我们队每个队员收获很多，远离了大学的颓废堕落。在这里我们要感谢在这个过程中一直鼓励、支持、帮助我们的指导老师，感谢中南民族大学和大赛组委会给我们提供的展示平台，感谢在这个过程中所有帮助过我们的人们。

我们经历了最为艰难的华南赛，我们的车不是最好，可能还有许多不足，但是我们相信我们一如既往的团结，坚持，努力，我们一定可以在全国总决赛取得优异成绩，让我们的大学生活不留遗憾！

参考文献

- [1] 卓晴等. 学做智能车. 北京:北京航空航天大学出版社. 2007 年 3 月第 1 版.
- [2] 邵贝贝. 单片机嵌入式应用的在线开发方法. 北京:清华大学出版社. 2004 年 10 月第 1 版.
- [3] 范正翘. 电力传动与自动控制系统[M]. 北京:北京航空航天大学出版社. 2003.
- [4] Fred G.Martin,刘荣译. 机器人探索—工程实践指南. 北京:电子工业出版社. 2004 年 8 月第 1 版.
- [5] 龚建伟,熊光明. Visual C++/Turbo C 串口通信编程实践. 北京:电子工业出版社. 2007 年 9 月第 2 版 .
- [6] 张文春. 汽车理论[M]. 北京:机械工业出版社, 2005.
- [7] 董辉. 汽车用传感器[M]. 北京: 北京理工大学出版社, 2000.
- [8] 金以慧. 过程控制[M]. 北京:清华大学出版社, 1996.
- [9] 罗飞. 运动控制系统[M]. 北京:化学工业出版社, 2001.
- [10] 张为春,王永洲. 汽车构造[M]. 北京:机械工业出版社, 200
- [11] 袁希光. 传感器技术手册[M]. 北京:国防工业出版社, 1986.
- [12] 安部正人. 汽车的运动和操纵. 陈辛波译[M]. 北京:机械工业出版社, 1998.
- [13] 薛定宇. 控制系统仿真与计算辅助设计[M]. 北京:机械工业出版社, 2005.
- [14] 元增民. 汽车车轮侧滑分析[J]. 汽车研究与开发, 1995, 3.
- [15] 卓晴. 使用 S12 PWM 输出控制舵机——舵机简介, S12 PWM 控制舵机[J]. 电子产品世界, 2006.
- [16] 孙忠献. 电机技术与应用[M]. 福州:福建科学技术出版社, 2004.
- [17] 陶永华等. 新型 PID 控制及其应用[M]. 北京:机械工业出版社, 1998.
- [18] 于海生等. 微型计算机控制技术[M]. 北京:清华大学出版社, 2002.
- [19] Freescale Semiconductor, Inc. MC9S12DG128 Device User Guide.
- [20] <http://www.freescale.com.cn/> .