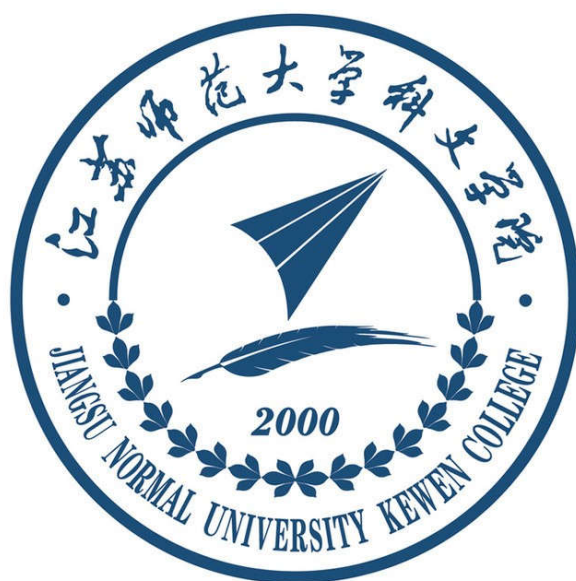


# 第十一届“恩智浦”杯全国大学生 智能汽车竞赛 技 术 报 告



学 校：江苏师范大学科文学院

队伍名称：老司机开车队

参赛队员：朱超

罗启迪

赵玉坤

钱立艳

带 队 教 师 ： 杨 增 汪          陈 斯



## 关于技术报告和学术论文使用授权的说明

本人完全了解第十一届“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。

参赛队员签名：朱超 赵子坤 罗启超 郭亚楠  
带队教师签名：杨增江  
日期：2016.8.15

## 摘 要

本文设计的智能车系统以 MK60DN512ZVLQ10 微控制器为核心控制单元，通过 CMOS 摄像头检测赛道信息，使用模拟比较器对图像进行硬件二值化，提取黑色引导线，用于赛道识别；通过编码器检测模型车的实时速度，使用 PID 控制算法调节驱动电机的转速和转向舵机的角度，实现了对模型车运动速度和运动方向的闭环控制。

**关键字：** MK60DN512ZVLQ10, CMOS, PID

---

## Abstract

In this paper we will design a smart car system based on MK60DN512ZVLQ10 as the micro-controller unit. We use a CMOS image sensor to obtain lane image information. Then convert the original image into the binary image by the analog comparator circuit in order to extract black guide line for track identification. An infrared sensor is used to measure the car's moving speed. We use PID control method to adjust the rotate speed of driving electromotor and direction of steering electromotor, to achieve the closed-loop control for the speed and direction.

**Keywords:** MK60DN512ZVLQ10, CMOS, PID

---

## 目 录

|                     |     |
|---------------------|-----|
| 摘 要.....            | II  |
| Abstract.....       | III |
| 目 录.....            | IV  |
| 引 言.....            | 1   |
| 第一章 系统总体设计.....     | 2   |
| 1.1 系统概述 .....      | 2   |
| 1.2 整车布局 .....      | 3   |
| 第二章 机械系统设计与实现.....  | 4   |
| 2.1 智能车机械参数调节 ..... | 4   |
| 2.1.1 前轮调整.....     | 4   |
| 2.1.2 其他部分调整.....   | 6   |
| 2.2 底盘高度的调整 .....   | 6   |
| 2.3 编码器的安装 .....    | 7   |
| 2.4 舵机转向结构的调整 ..... | 7   |
| 2.5 摄像头的安装 .....    | 9   |
| 第三章 硬件系统设计与实现.....  | 10  |
| 3.1 单片机核心模块.....    | 11  |
| 3.2 电源管理模块.....     | 11  |
| 3.3 摄像头模块.....      | 13  |
| 3.4 电机驱动模块.....     | 14  |
| 3.5 速度检测模块.....     | 15  |
| 3.6 距离检测模块.....     | 15  |
| 3.7 通信模块.....       | 15  |
| 3.8 起跑线检测模块.....    | 15  |
| 3.9 辅助调试模块.....     | 15  |

---

|                         |    |
|-------------------------|----|
| 第四章 软件系统设计及实现.....      | 16 |
| 4.1 赛道中心线提取及优化处理.....   | 16 |
| 4.1.1 原始图像的特点.....      | 16 |
| 4.1.2 赛道边沿提取.....       | 17 |
| 4.1.3 推算中心.....         | 18 |
| 4.2 PID 控制算法介绍.....     | 19 |
| 4.2.1 位置式 PID.....      | 20 |
| 4.2.2 增量式 PID.....      | 20 |
| 4.2.3 PID 参数整定.....     | 20 |
| 4.3 转向舵机的 PID 控制算法..... | 21 |
| 4.4 驱动电机的 PID 控制算法..... | 21 |
| 4.5 双车距离控制.....         | 22 |
| 4.6 超车控制.....           | 22 |
| 第五章 系统开发及调试工具.....      | 24 |
| 5.1 开发工具.....           | 24 |
| 5.2 上位机图像调试.....        | 24 |
| 5.3 FIsah 模块.....       | 24 |
| 第六章 模型车的主要技术参数.....     | 25 |
| 结 论.....                | 26 |
| 参 考 文 献.....            | I  |
| 附录 A: 电路原理图.....        | II |
| 附录 B: 程序源代码.....        | IV |





## 引 言

随着科学技术的不断发展进步，智能控制的应用越来越广泛，几乎渗透到所有领域。智能车技术依托于智能控制，前景广阔且发展迅速。目前，掌握着汽车工业关键技术的发达国家已经开发了许多智能车的实验平台和商品化的车辆辅助驾驶系统。有研究认为智能汽车作为一种全新的汽车概念和汽车产品，在不久的将来会成为汽车生产和汽车市场的主流产品。

面向大学生的智能汽车竞赛最早始于韩国，在国内，全国大学生“恩智浦”杯智能汽车竞赛从2006年开始已经举办了十一届，得到了各级领导及各高校师生的高度评价。大赛为智能车领域培养了大量后备人才，为大学生提供了一个充分展示想象力和创造力的舞台，吸引着越来越多来自不同专业的大学生参与其中。

全国大学生“恩智浦”杯智能汽车竞赛在本届比赛中除传统的光电组、电磁组、摄像头组之外，又另外拓展出电轨组、信标组和双车组三个新颖的组别。该三个新组别备受广大参赛队员关注，其中双车组的难度最大，但同时观赏性最出色。

本技术报告主要包括机械系统、硬件系统、软件系统等，详尽地阐述了我们的设计方案，具体表现在硬件电路的创新设计以及控制算法的独特想法。智能车的制作过程包含着我们的辛勤努力，这份报告凝聚了我们智慧，是我们团队共同努力的成果。

在准备比赛的过程中，我们小组成员涉猎控制、模式识别、传感器技术、汽车电子、电气、计算机、机械等多个学科，几个月来的经历，培养了我们电路设计、软件编程、系统调试等方面的能力，锻炼了我们知识融合、实践动手的能力，对今后的学习工作都有着重大的实际意义。

## 第一章 系统总体设计

### 1.1 系统概述

智能车系统的总体工作模式为：CMOS 摄像头拍摄赛道图像，信号经由硬件二值化之后由 MK60DN512ZVLQ10 的 DMA 模块读取；车模速度以及运行方向由 MK60DN512ZVLQ10 的 FTM 模块正交解码方式读取双相光电编码器数值获得；两车模间距离通过 MK60DN512ZVLQ10 读取超声波模块回波脉宽获得；舵机方向控制采用 PD 控制；电机速度控制采用 PI 控制；通过 PWM 控制电机驱动电路以调整电机运行速度；综合赛道路况以及各种另外的需求对车模的运行目标速度进行调整。

根据智能车系统的基本要求，我们设计了系统结构图，如图 1.1 所示。在满足比赛要求的情况下，力求系统简单高效，因而在设计过程中尽量简化硬件结构，减少因硬件而出现的问题。

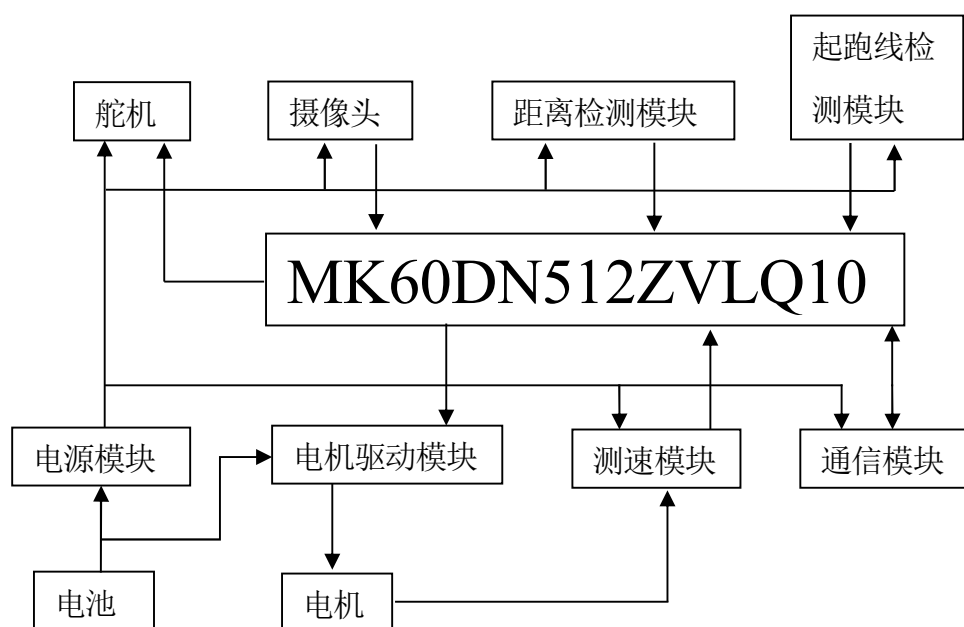


图 1.1 系统结构图

## 1.2 整车布局

- (1) 车模底盘降低，主板低放，以降低重心。
- (2) 舵机卧式安装。
- (3) 用轻便坚固的碳纤杆作为主桅的材料。
- (4) 摄像头安于电池的前方，有利于重心分布和盲区与前瞻的匹配。

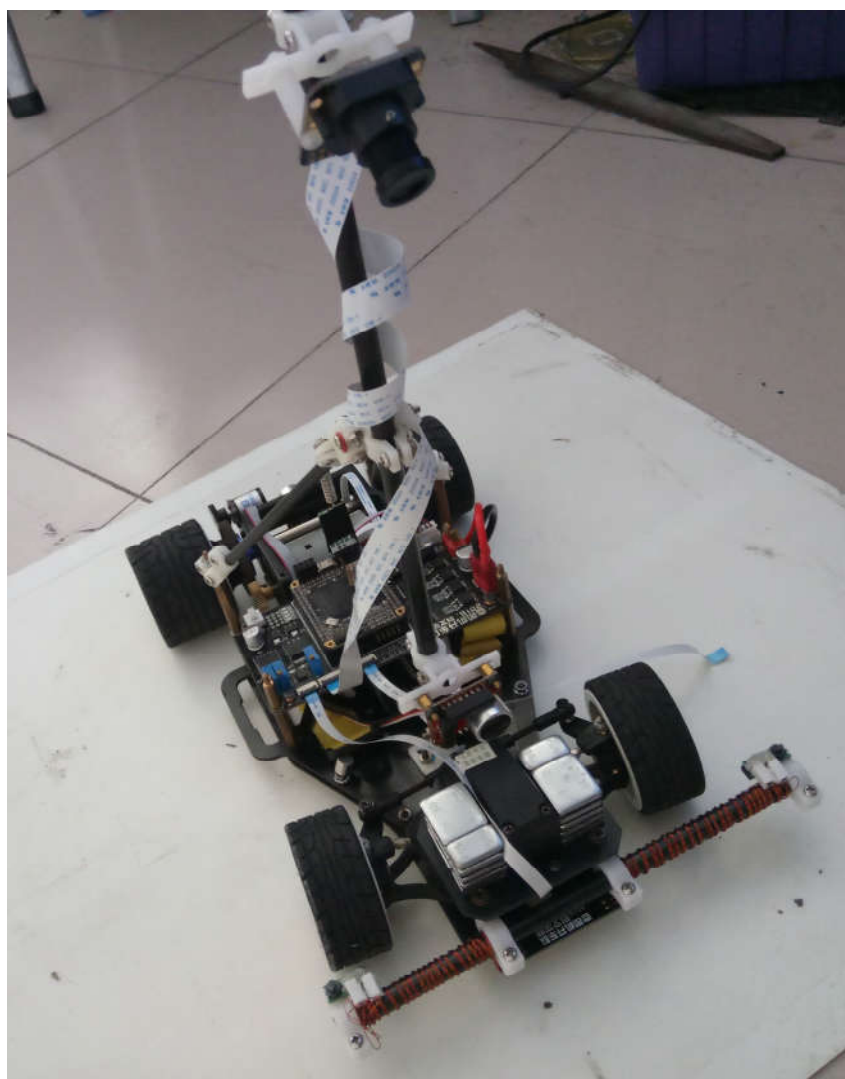


图 1.2 整车布局图

## 第二章 机械系统设计及实现

根据组委会的相关规定，今年提高组的组别如双车组不限制车模类型的选用，可由参赛队员任意选择。由于我们对 B 型车模较为熟悉，故我们采用了 B 型车模。

### 2.1 智能车机械参数调节

为保证智能小车直线行驶稳定，转向轻便灵活并尽可能的减少轮胎磨损，需要对小车的四轮定位参数进行调整。四轮定位内容主要有：主销后倾角，主销内倾角，前轮外倾角，前轮前束，外侧车轮二十度时，内外转向轮转角差，后轮外倾角，后轮前束。其中，前轮定位的参数对小车性能有着至关重要的影响，这四个参数反映了前轮、主销和前轴三者之间在车架上的位置关系。本节将对这四个参数做详细阐述

#### 2.1.1 前轮调整

小车在调试过程中，转向轮定位参数是很重要的因素，它通常不易被察觉，但是却有着较大的危害。如果取得不恰当，那么将造成转向不灵活，效率低以及转向轮侧滑等问题，使得小车性能下降，加速轮胎的磨损。

转向轮定位参数包括：主销内倾角、主销后倾角、转向轮外倾角及转向轮前束。这其中最重要的就是转向轮外倾角和转向轮前束。

主销内倾是指主销装在前轴略向内倾斜的角度，它的作用是使前轮自动回正，如图 2.1.1。内倾角度越大前轮自动回正的作用就越强烈，但转向时也越费力，轮胎磨损增大；反之，角度越小前轮自动回正的作用就越弱。

主销后倾（Caster）是指主销装在前轴，上端略向后倾斜的角度，如图 2.1.1。它使车辆转弯时产生的离心力所形成的力矩方向与车轮偏转方向相反，迫使车轮偏转后自动恢复到原来的中间位置上。由此主销后倾角越大，车速越高，前轮稳定性也愈好。主销内倾和主销后倾都有使汽车转向自动回正，保持直线行驶的功能。不同之处是主销内倾的回正与车速无关，主销后倾的回正与车速有关，因此高速时后倾的回正作用大，低速时内倾的回正作用大。

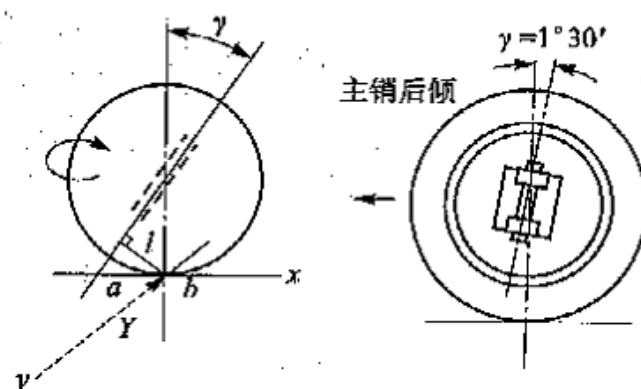


图 2.1.1 主销后倾角

车轮外倾角（Camber）是指从前放看前轴时，轮胎的中心平面不是垂直的，而是上面向外倾斜一个角度，如图 2.1.2。设置转向轮的外倾角是为了平衡和协调因为车重造成的前轮内倾倾向，使轮胎和路面呈垂直接触的最佳状态。

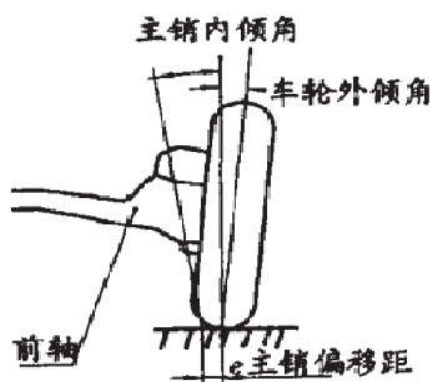


图 2.1.2 主销内倾角和车轮外倾角

转向轮前束(Toe out)是指同一轴两端车轮轮辋内侧轮廓线的水平直径的端点为等腰梯形的顶点，底边为车轮轴线。等腰梯形两底边长度之差为前束。如图 2.1.3 所示，当梯形前低边小于后底边时，前束为正（ $A < B$ ），反之为负。车轮的水平直径与纵向平面之间的夹角为前束角。正的前束角在车轮中心产生向内的侧向力，而正的外倾角在车轮中心产生向外的侧向力，因此前束角的作用是与外倾角协调，保持车轮做纯滚动和直线行驶，从而减少轮胎磨损，提高汽车的操纵稳定性。

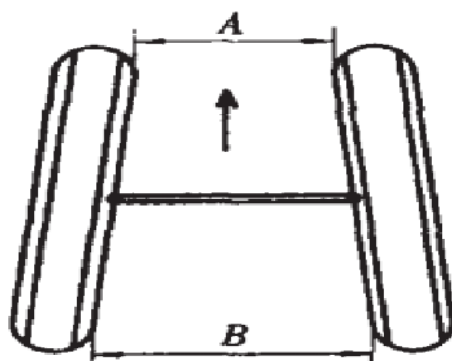


图 2.1.3 前束<sup>[4]</sup>

### 2.1.2 其他部分调整

其他部分调整主要涉及到小车底盘高度、小车重心位置、后轮距、减震器、齿轮咬合、差速器等。具体调整如下：

1、底盘高度调整：底盘高度可以影响重心。适当降低底盘高度可以使小车重心降低，有利于过弯稳定。实际调整可以通过调整前轮高度、后轮轴高度调节块等方式来调节。

2、重心位置：重心位置同样影响小车性能。重心过前，增加转向阻力，引起转向迟滞。另外，如果小车速度很快的情况下，上下坡道的时候会造成前轮首先着地，很可能造成小车意外事故。重心过后，则会使小车前轮抓地不足，造成过弯非常不稳定。实际调整以重心在电池处为准，保持各部分重量均衡。

3、后轮距调整：后轮距可以通过换装后轮宽度调整块来调整。合适的后轮宽度会是小车直线性能和弯道性能更优，利于小车稳定。

4、齿轮咬合调整：调整齿轮咬合，以不松动，无卡滞，松紧合适为准。另外还要保证齿轮间咬合有足够的接触面积。

5、差速器调整：合适的差速器调整能够提高小车入弯速度，提高弯道性能。差速器调整可以通过右后轮轮轴上面的螺丝。注意调整过松，会严重影响直道加速性能；调整过紧则会使差速器处于无效状态，影响小车在过弯时的速度，并可能会造成甩尾。

## 2.2 底盘高度的调整

在保证顺利通过坡道的前提下，底盘尽量降低，从整体上降低模型车的重心，可使模型车转弯时更加稳定、高速。

## 2.3 编码器的安装

选用编码器进行速度的测量。根据编码器的形状，我们采用了与编码器配套的固定支架将编码器固定在车后轮支架上。固定好编码器之后对编码器齿轮进行微调，使其与传动齿轮合适咬，在保证测速精确性的同时尽可能减小对齿轮之间摩擦力的影响，保证车模的正常运行。如图 2.3 所示。

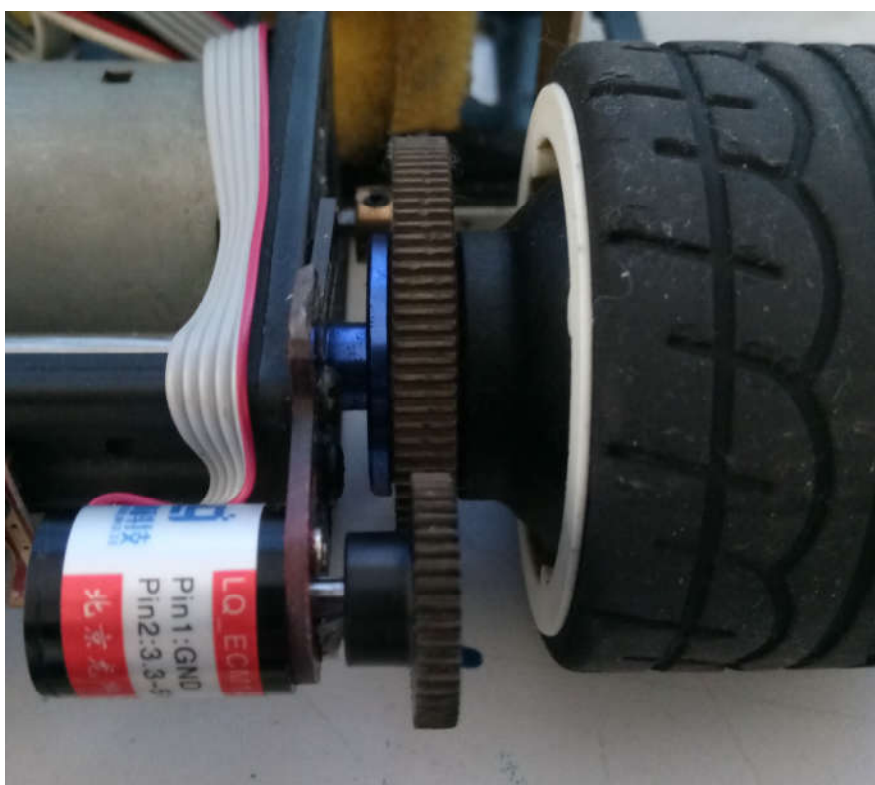


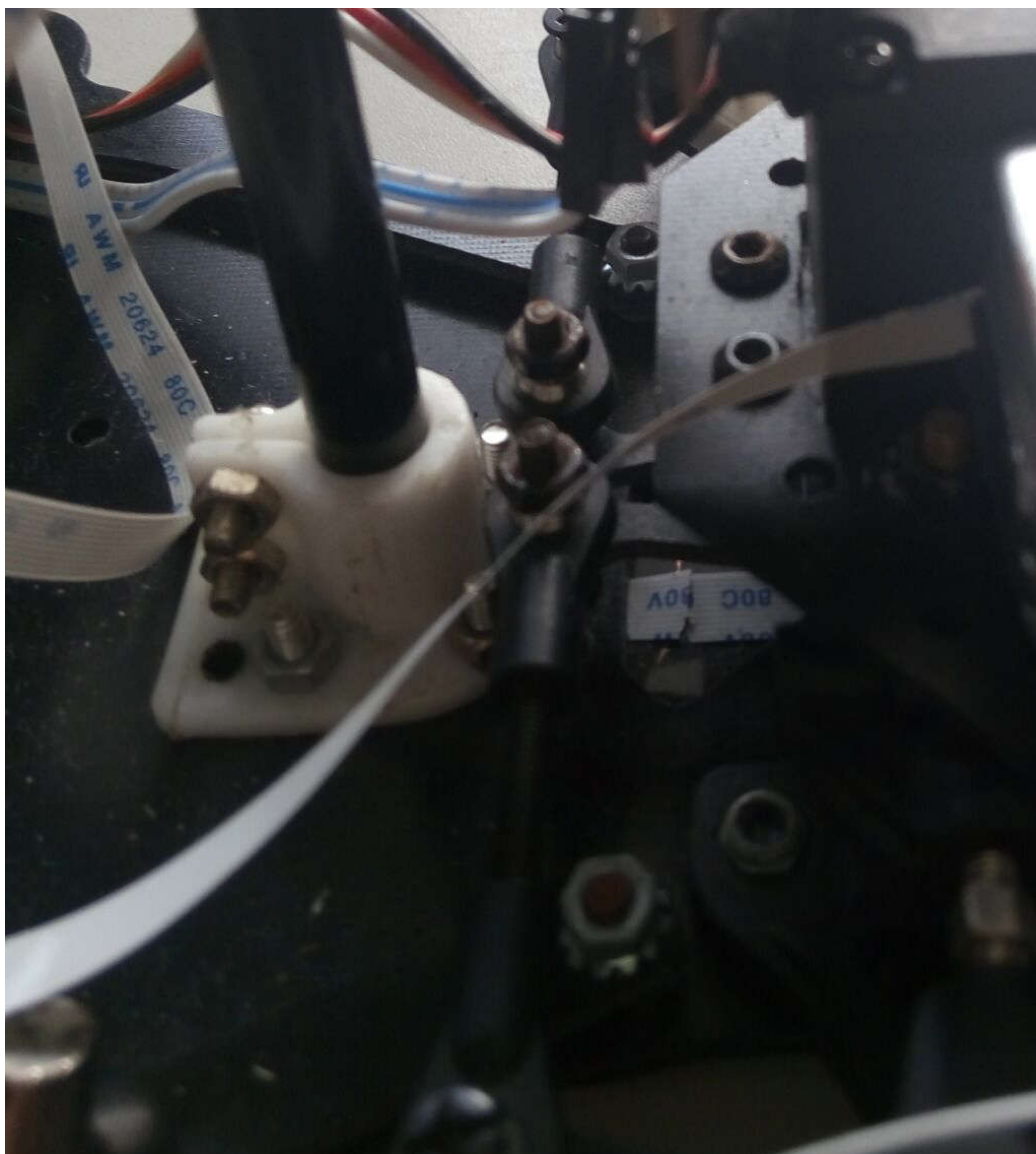
图 2.3 编码器安装

## 2.4 舵机转向结构的调整

由于 B 车舵机 SD5 的力矩较小，为了保证不使力矩减小，导致前轮无法移动到位，所以我们采用了相对于立式安装而言力臂较短的卧式安装方案。这个方案相对的能获得一个更低的重心，合适的力臂长度也可保证舵机的灵敏反应。安装方式



如下图所示。



## 2.5 摄像头的安装

为了降低整车重心，需要严格控制 CMOS 摄像头的安装位置和重量，我们自行设计了轻巧的铝合金夹持组件并采用了碳纤维管作为安装 CMOS 的主桅，这样可以获得最大的刚度质量比，整套装置具有很高的定位精度和刚度，使摄像头便于拆卸和维修，具有赛场快速保障能力。摄像头的安装如图 2.5 所示。





图 2.5 摄像头安装

### 第三章 硬件系统设计及实现

车模共包含一下几个模块：单片机核心模块，电源模块，摄像头模块，电机驱动模块，速度检测模块，距离检测模块，通信模块，起跑线检测模块以及辅助调试模块。

以下分别阐述各个模块的功能。

**单片机核心模块：**整个车模的核心控制部分，负责采集摄像头和编码器等传感器的信号，根据控制算法对舵机、电机等部件作出控制。

**电源模块：**为车模各个模块提供合适、稳定的电源。

**摄像头模块：**拍摄赛道图像，为车模的转向决策提供必要的信息，以及为各个赛道元素的提前判断提供必要的依据。

**电机驱动模块：**驱动车模的直流电机并完成加减速等方面的速度控制。

**速度检测模块：**检测车模的运行速度，为车模的加减速控制提供决策依据。

**距离检测模块：**检测双车前后车的距离，为保持前后车距离一定的距离控制提供决策依据。

**通信模块：**负责双车两车之间的信息传输通信，以及上位机调试。

**起跑线检测模块：**检测赛道的起跑线，用于完成发车和停车。

**辅助调试模块：**用于前期车模调试时监控车模状态，调整参数等。该部分主要包含按键以及屏幕。

### 3.1 单片机核心模块

MK60N512ZVLQ10 是 K60 系列 MCU。Kinetis 系列微控制器是 Cortex-M4 系列的内核芯片。K60 内存空间可扩展，从 32 KB 闪存/8 KB RAM 到 1 MB 闪存/128 KB RAM，可选的 16 KB 缓存用于优化总线带宽和闪存执行性能。

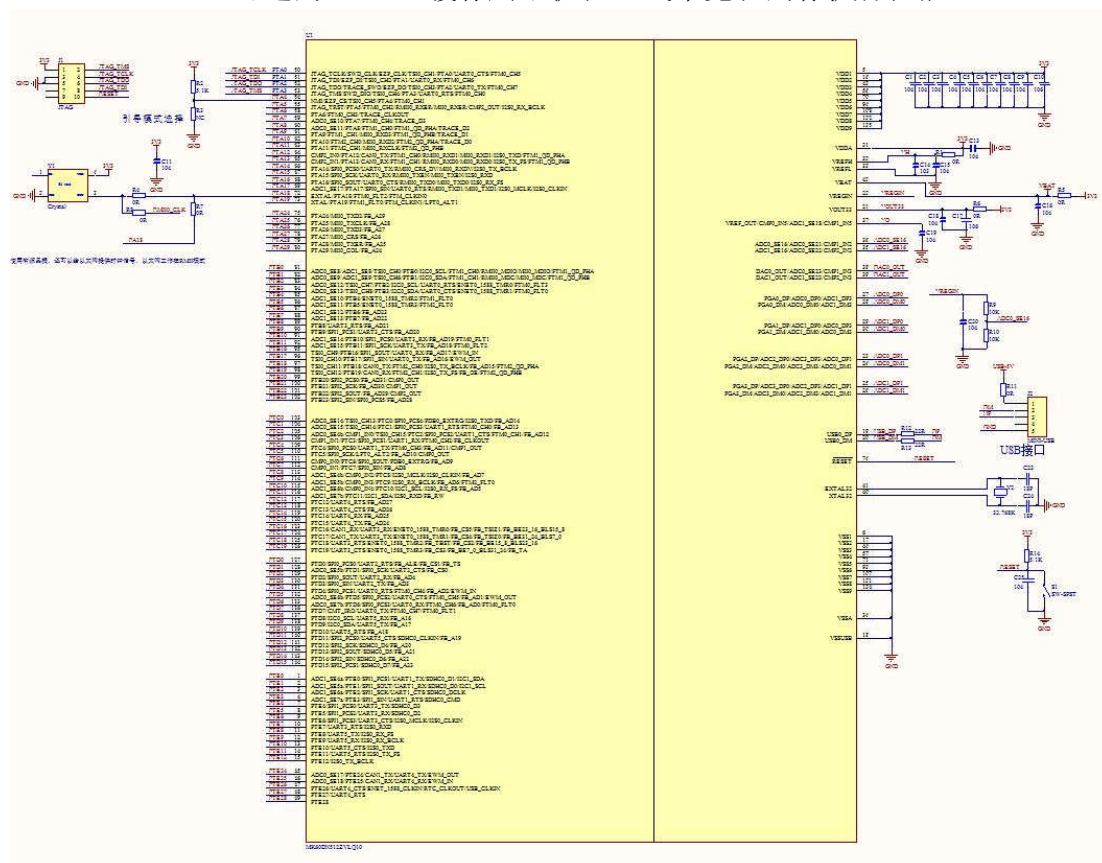


图 3.1 单片机核心板电路图

### 3.2 电源管理模块

本系统中电源稳压电路分别需要有+5V, +3.3V, +6V, +12V 供电。+3.3V 给摄像头, oled 屏幕供电; +5V 为单片机核心模块, 速度检测模块, 起跑线检测模块, 通信模块供电; +6V 给舵机供电; +12V 给电机驱动电路中的栅极驱动芯片供电。

由于整个系统中+5V 电路功耗较小，为了降低电源纹波，我们考虑使用线性稳压电路。另外，后轮驱动电机工作时，电池电压压降较大，为提高系统工作稳定性，必须使用低压降电源稳压芯片，我们选用了 LM2940。LM2940 是低功耗低压差线

性电源芯片，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。使用这个芯片只需要极少的外围元件就能构成高效稳压电路。

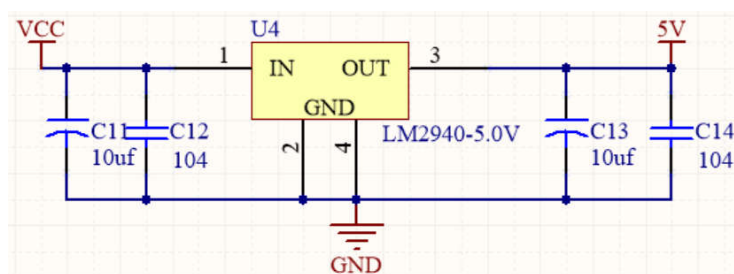


图 3.2.1 LM2940 原理图

AMS1117-3.3 是一个正向高精度低压降稳压器，内部集成过热保护和限流电路。

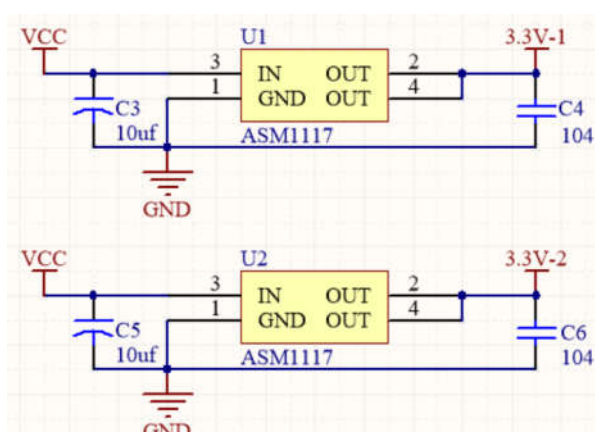


图 3.2.2 AMS1117-3.3 原理图

舵机用 LM2596 进行供电，LM2596 是 3A 电流输出降压开关型集成稳压芯片，它内含固定频率振荡器（150KHZ）和基准稳压器（1.23v），并具有完善的保护电路、电流限制、热关断电路等。通过调整滑阻与固定电阻的比值，稳压到 6V 给舵机供电。较高的电压可以提高舵机的响应速度，但过高电压容易导致舵机工作不稳定。舵机电源的稳压电路原理图如图 3.2.3 所示。

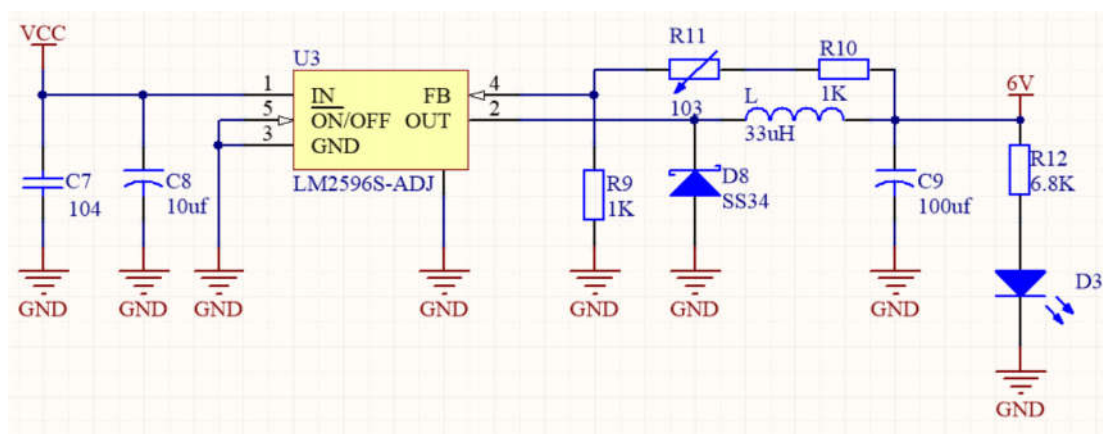


图 3.2.3 LM2596 原理图

### 3.3 摄像头模块

#### 摄像头简介

摄像头分黑白和彩色两种，为达到寻线目的，只需提取画面的灰度信息，而不必提取其彩色信息，所以我们所使用的 CMOS 摄像头输出的信号为黑白视频信号。我们所选用的摄像头芯片为 OV7725，1/3 英寸数字式 CMOS 图像传感器 OV7725，总有效像素单元为 664(水平方向)×492(垂直方向)像素；内置 10 位双通道 A/D 转换器，输出 8 位图像数据；具有自动增益和自动白平衡控制，能进行亮度、对比度、饱和度、 $\gamma$  校正等多种调节功能；其视频时序产生电路可产生行同步、场同步、混合视频同步等多种同步信号和像素时钟等多种时序信号；5V 电源供电，工作时功耗<120mW，待机时功耗<10  $\mu$ W。可应用于数码相机、电脑摄像头、可视电话、第三代网络摄像机、手机、智能型安全系统、汽车倒车雷达、玩具，以及工业、医疗等多种用途。OV7620 是 1/3” CMOS 彩色 / 黑白图像传感器。它支持连续和隔行两种扫描方式，VGA 与 QVGA 两种图像格式；最高像素为 664×492，帧速率为 30fps；数据格式包括 YUV、YCrCb、RGB 三种，能够满足一般图像采集系统的要求。

我们采用集成摄像头模块，其优良的性能能很好地满足要求，如图 3.3.1



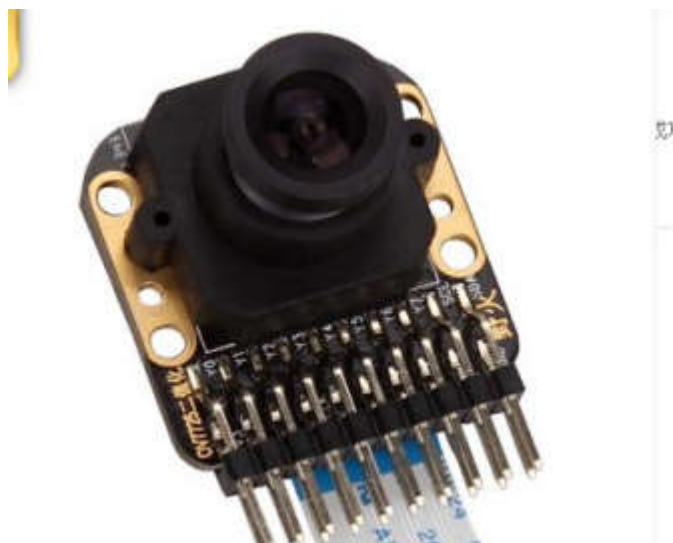


图 3.3.1 摄像头外观图

### 3.4 电机驱动模块

电机驱动板为一个由分立元件制作的直流电动机可逆双极型桥式驱动器，其功率元件由四支 N 沟道功率 MOSFET 管组成，额定工作电流可以轻易达到 100A 以上，大大提高了电动机的工作转矩和转速。HIP4082 是一个中频，中压 H 桥 N 沟道 MOSFET 驱动 IC，具有兼容 5V 到 15V 逻辑输入、击穿保护、欠压保护等特点。

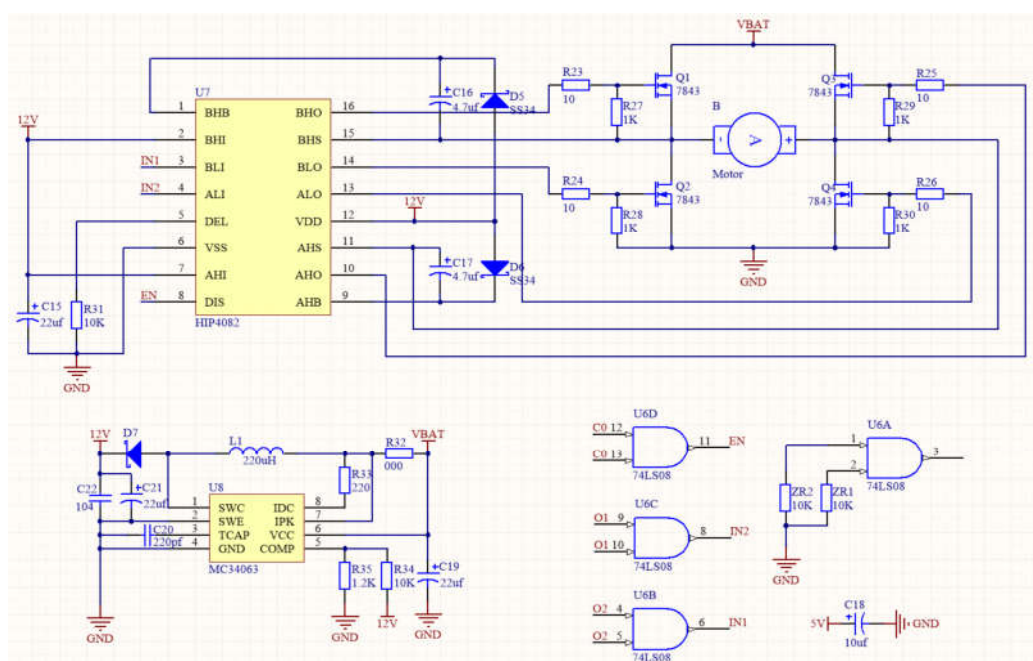


图 3.4 电机驱动模块原理图

### 3.5 速度检测模块

本车模使用双相 512 线 mini 编码器进行小车的测速，并由 LM2940 为其提供 5V 工作电压。单片机通过 FTM 模块的正交解码模式同时读取编码器输出的双相方波信号，可同时获取车模运行的速度与方向。

### 3.6 距离检测模块

本车模使用红外辅助的超声波测距模块进行距离检测，采用分体式放置，分别置放与小车的车中前位置与车尾位置。具有外形小、精度高、工作稳定等优点。

### 3.7 通信模块

本车模采用基于 CC1101 芯片的 433M 无线通信模块。该通信模块具有通信距离远，信号穿透能力强，操作简便，体积小巧，超低功耗等特点。

### 3.8 起跑线检测模块

本车模使用运算放大器 LM358 及简单的外围电路组成电压比较器，与红外线光电传感器 TRCT5000 协同工作。LM358 是双运算放大器，内部包括有两个独立的、高增益、内部频率补偿的双运算放大器。具有外围电路简单、环境适应力强、速度快、方便调试等特点。

### 3.9 辅助调试模块

为了方便调试，本小车使用了 oled 液晶显示屏显示重要参数，极大的简化了参数调整的过程和难易程度。除此之外，还设置了 4 个独立按键、4 位拨码开关，以方便控制参数的修改，便捷地智能车的调试。

## 第四章 软件系统设计及实现

高效的软件处理是车模稳定运行的基础，基于 CMOS 摄像头，小车软件部分的核心内容就是图像的采集与扫描处理。

在车模的方向控制以及速度控制方面，我们采用经典的 PID 控制算法，通过一般性扫描结合软件补偿，可以让小车稳定循赛道运行。

### 4.1 赛道中心线提取及优化处理

#### 4.1.1 原始图像的特点

在单片机采集图像信号后需要对其进行处理以提取主要的赛道信息，由于赛道赛道由于劲头畸变及干扰等，图像效果会下降，因此软件必须进行一些必要的处理，以便正确识别赛道中心，以及对一些特殊赛道元素的特殊处理，如十字弯道，小 S 弯道等。

摄像头最远拍摄的距离约为车头前 120cm，在一幅图像中我们主要提取的是赛道边沿数据，赛道中心数据，再通过赛道中心数据的变化可以预判出靠前部分赛道的类型，用以提前做出应对决策。

摄像头采集到几种典型赛道图像如图所示。





图 4.1 普通弯道



图 4.2 十字交叉图像

#### 4.1.2 赛道边沿提取

边沿提取算法的基本思想如下：

- (1) 首先对图像最靠下八行进行逐行扫描，从中间往两边扫描并记录由白到黑的跳变点；
- (2) 利用赛道连续向前延伸的特点，可根据之前逐行扫描的数据，通过上一行的跳变位置，开一窗口寻找跳变点；
- (3) 十字赛道的图像特点为图像两边皆有一部分丢线，较远处的图像不丢线，可根据此特点，把识别到图像两边丢线作为进出十字标志，通过较远处未丢线的部分进行补线；
- (4) 寻找跳变点的顺序为由近及远，在遇到十字弯道时由于需要利用远处图像进行补线，这个时候顺序改为由近及远；
- (5) 为了节省扫描时间，较远处的图像采用隔行扫描的办法。

边沿提取算法的程序流程如图 4.4 所示。

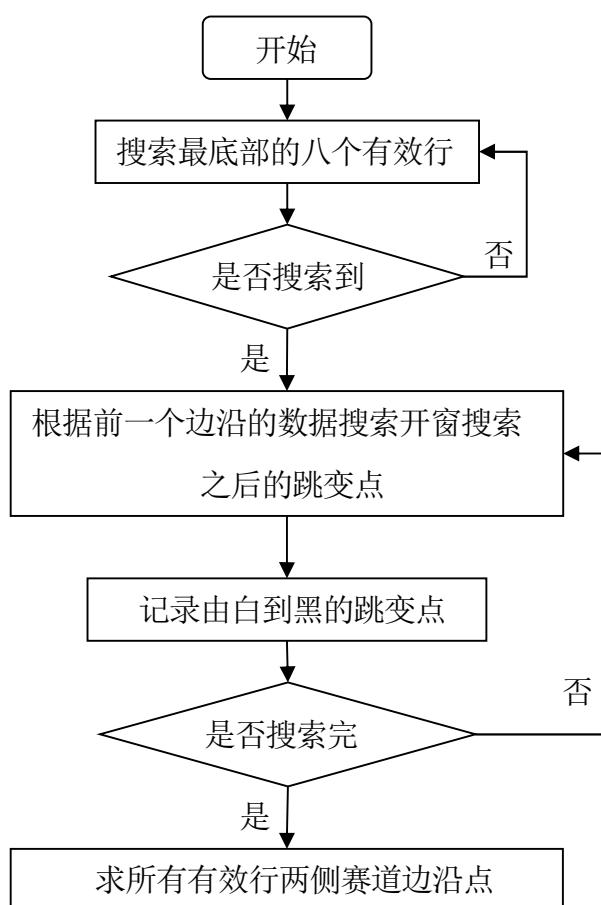


图 4.4 算法流程图

### 4.1.3 推算中心

通过之前扫描图像获得的每一行赛道两个边沿的数据求出每一行赛道的中心。

最后作为控制算法输入量的中心点,在所有赛道中取远近不同的几行赛道中心点作为有效行,根据小车的实际循迹效果给各有效行分配和调整对应的权重,通过加权平均将几行有效行合成为一个最终的中心点。

小 S 可通过找出赛道最外处的跳变数据作为计算赛道中心的依据,该方法可以滤除小 S 的影响,节省时间。

## 4.2 PID 控制算法介绍

PID 控制是工业过程控制中历史最悠久，生命力最强的控制方式。这主要是因为这种控制方式具有直观、实现简单和鲁棒性能好等一系列的优点。PID 控制主要有三部分组成，比例、积分、微分。

比例控制是一种最简单的控制方式。其控制器的输出与输入误差信号成比例关系。偏差一旦产生，调节器立即产生控制作用使被控量朝着减小偏差的方向变化，控制作用的强弱取决于  $K_P$ 。当仅有比例控制时系统输出存在稳态误差（Steady-state error）。

为了消除稳态误差，引入积分控制。积分项对误差取决于时间的积分，随着时间的增加，积分项会增大。这样，即便误差很小，积分项也会随着时间的增加而加大，它推动控制器的输出增大使稳态误差进一步减小，直到等于零。

为了预测误差变化的趋势，引入微分的控制器，这样就能够提前使抑制误差的控制作用等于零，甚至为负值，从而避免了被控量的严重超调。PID 控制框图如图 4.2.1 所示。

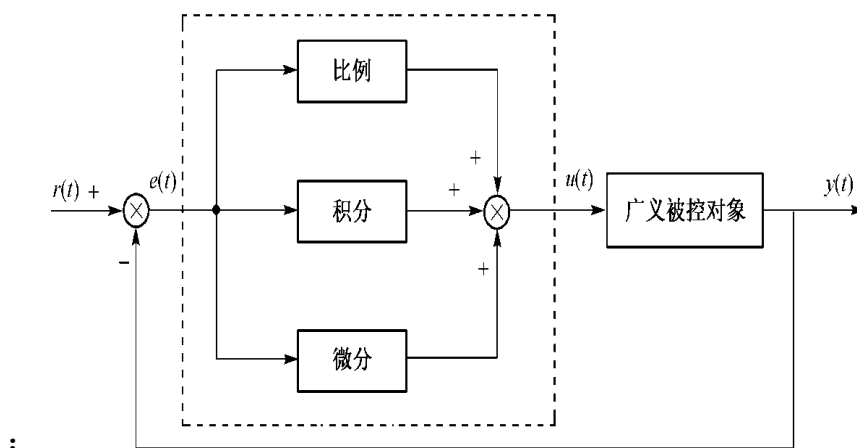


图 4.2.1 PID 控制框图

对应的误差传递函数为：

$$\frac{U(s)}{E(s)} = K_p \left( 1 + \frac{1}{T_i} + T_d \right) \quad (\text{公式一})$$

式中， $K_p$  为比例增益； $T_i$  为积分时间常数； $T_d$  为微分时间常数； $U(s)$  为控制量； $E(s)$  为被控量与设定值  $R(s)$  的偏差。

时域表达式为：

$$u(t) = K_p \left[ e(t) + \frac{1}{T_i} \int_0^t e(t) dt + T_d \frac{de(t)}{dt} \right] \quad (\text{公式二})$$

在单片机中，我们仅能对数字信号处理，即数字 PID 控制。将上式离散化，得

$$u(k) = K_p \left\{ e(k) + \frac{T}{T_i} \sum_{j=0}^k e(j) + \frac{T_d}{T} [e(k) - e(k-1)] \right\} \quad (\text{公式二})$$

#### 4.2.1 位置式 PID

直接利用上述离散化公式计算，框图如右图所示。由于积分项（Pi）是将所有采集值偏差相加，在一段时间后会很浪费单片机资源。对其稍加改进，得到增量型 PID 算法。

#### 4.2.2 增量式 PID

根据式二得第 k-1 个采样周期的控制量为

$$u(k-1) = K_p \left\{ e(k-1) + \frac{T}{T_i} \sum_{j=0}^{k-1} e(j) + \frac{T_d}{T} [e(k-1) - e(k-2)] \right\} \quad (\text{公式三})$$

式二减式三得

$$\Delta u(k) = K_p [e(k) - e(k-1)] + K_i * e(k) = K_d [e(k) - 2e(k-1) + e(k-2)] \quad (\text{公式四})$$

由此，第 k 个采样时刻实际控制量为  $u(k) = u(k-1) + \Delta u(k)$ ，为方便书写，写为

$$\Delta u(k) = q_0 e(k) + q_1 e(k-1) + q_2 e(k-2) \quad (\text{公式五})$$

$$\text{其中, } q_0 = K_p \left(1 + \frac{T}{T_i} + \frac{T_d}{T}\right), \quad q_1 = -K_p \left(1 + \frac{2T_d}{T}\right), \quad q_2 = K_p \frac{T_d}{T}.$$

由上可知，利用三个历史数据，递推使用，即可完成 PID 控制量。

#### 4.2.3 PID 参数整定

运用 PID 控制的关键是调整 KP、KI、KD 三个参数，即参数整定。PID 参数的整定方法有两大类：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。

由于智能车这一个系统是一个机电高耦合的系统，确定一个实际的数学模型比较困难，另外我们在平时的调试中时常改变车的结构以获得更高的性能，理论计算的方法很难适应这样的系统，所以我们采用工程整定法进行 PID 参数整定。

### 4.3 转向舵机的 PID 控制算法

舵机采用位置式 PID 控制算法，控制周期为 15 毫秒。将几行有效行通过加权平均合成的中心点作为输入量，自行设定一个目标量，构建出一个一次函数，在舵机的控制系统中，实际调试中只需要 PID 中的比例项和微分项即可达到一个比较好的转向效果。为了防止舵机打死，在 PID 控制中还加入了限幅处理。P 项参数过大会产生低频振荡，D 项参数过大会产生高频振荡。最终我们采用了固定值 PD 参数，可适应大多数赛道元素。

### 4.4 驱动电机的 PID 控制算法

速度 PID 采用增量式控制算法，我们在调试中皆尝试了位置式算法与增量式算法。最终发现增量式算法更合适于电机速度控制。实际调试中，速度控制只需要 PID 的比例项以及积分项即可。车模的运行速度由于是通过正交解码获取的，车模的运行方向可以直接体现在获取数值的极性上，所以这里把编码器直接获取的速度数值作为输入量也可以直接完成加减速的目的。速度目标值设定一个默认值，结合赛道情况对目标值进行调整。在具体的速度控制参数整定中，为了更直观地观察控制效果采用了上位机虚拟示波器观察效果，上位机界面如下图所示。

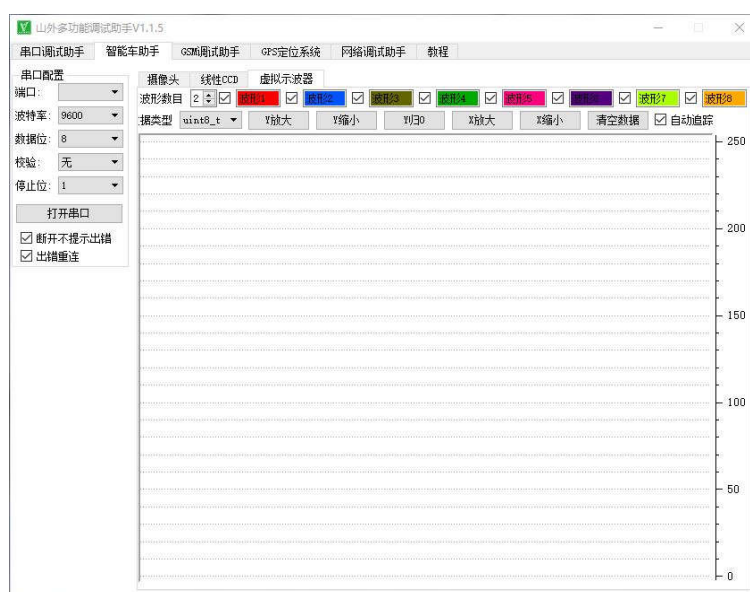


图 4.4 上位机调试界面

## 4.5 双车距离控制

由于本赛题组为双车追逐组，故在原来的基础上还得加入一些其他的控制算法。为保持两车的正常运行，需要防止前车造成的阴影过多地出现在后车的事视野中，所以需要对两辆车在运行中的间距进行控制。两车间距通过超声波测距得出，但由于超声波只能测出两辆车的直线距离，所以超声波测距模块测出的距离数据在弯道时不可靠。为了解决这个问题，我们通过对两车编码器获取的速度数值积分得到的路程数据作差得到的路程差，对之前的超声波测出的直线距离数据进行补偿，从而获得一个比较可靠的两车距离数据。这个值作为后车的一个参考值，在两辆车距离过近时降速，过远时加速。

## 4.6 超车控制

双车追逐组的比赛内容中相对于传统组别多了一项相对较困难的“超车”的内容。要求车模可在运行到如下图的十字超车区和直道加宽超车区时完成超车动作。



图 4.6 加宽超车区

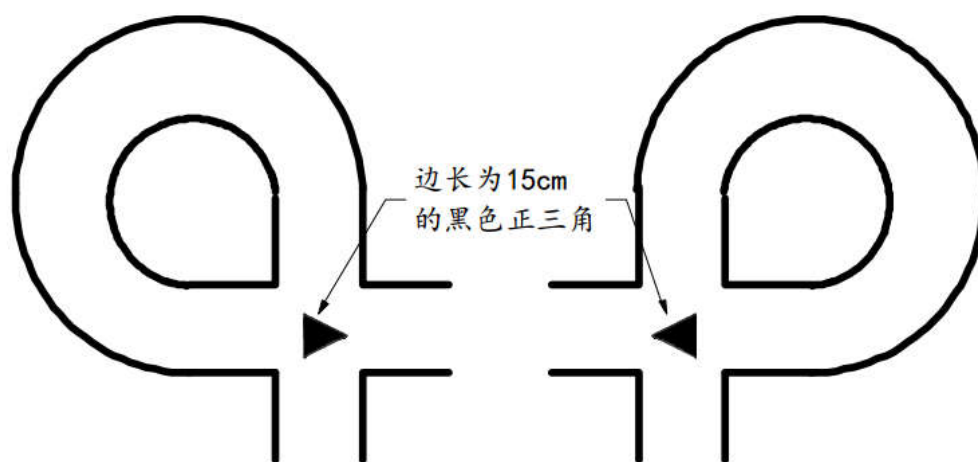


图 4.7 十字超车区

在这里需要对这两个超车区进行识别。加宽超车区可通过扫描图像中的两个直角拐点作为出入超车区的标志，此时可让前车停下，后车超过。十字超车区具有一个指向超车方向的黑色三角标志，可利用三角形两边线条斜率不同来识别超车方向。十字超车区的超车控制我们尝试了直接给固定值进行强制转弯，在实际调试中发现效果不错。

## 第五章 系统开发及调试工具

### 5.1 开发工具

程序开发基于 IAR Embedded Workbench IDE。Embedded Workbench for ARM 是 IAR Systems 公司为 ARM 微处理器开发的一个集成开发环境(下面简称 IAR EWARM)。相对于 Keil For ARM、CodeWarrior 而言，IAR for ARM 的编程界面是最简单的，编译效率高。

EWARM 中包含一个全软件的模拟程序(simulator)。用户不需要任何硬件支持就可以模拟各种 ARM 内核、外部设备甚至中断的软件运行环境。从中可以了解和评估 IAR EWARM 的功能和使用方法。

### 5.2 上位机图像调试

实际调试过程中为了更加直观地观察数据变化，调整摄像头位置，观察图像的动态效果，我们使用了山外科技提供的一款上位机调试软件。可通过该软件实时观察图像，虚拟示波器观察数据的跟随等效果。

### 5.3 FLASH 模块

为了详细分析，需要对车模运行过程中的一些参数和数据进行保存，我们尝试了多种方式来保存这种方式。一开始尝试使用 SD 卡保存数据，由于保存的数据量不是太多，不必要使用 SD 卡。我们注意到我们选用的单片机 MK60DN51ZVLQ10 具有 512KB 的 FLASH 模块，我们尝试了往 FLASH 中写入数据并获得了成功。运用片内 FLASH 模块可以极大简化程序和硬件上的操作。



## 第六章 模型车的主要技术参数

|                        |             |          |
|------------------------|-------------|----------|
| 赛车基本参数                 | 长           | 30cm     |
|                        | 宽           | 20cm     |
|                        | 高           | 35cm     |
| 车重                     |             | 2g       |
| 功耗                     | 空载          | 8W       |
|                        | 带载          | 大于 10W   |
| 电容总容量                  |             | 1700uF   |
| 传感器                    | 编码器         | 1 个      |
|                        | CMOS 摄像头    | 1 个      |
|                        | 超声波传感器      | 1 个      |
|                        | 红外光电传感器     | 2 个      |
| 除了车模原有的驱动电机、舵机之外伺服电机个数 |             | 0        |
| 赛道信息检测                 | 视野范围（近瞻/远瞻） | 5/120cm  |
|                        | 精度(近/远)     | 2/12.5mm |
|                        | 频率          | 67Hz     |

## 结 论

自从决定参加“恩智浦”杯智能汽车竞赛后，我们小组四个成员就着手开始了紧张的计划 and 准备。查阅资料、硬件结构设计、购买和组装车模、编写智能车程序，经过多次的讨论与取舍，才形成了如今的这个方案。

在此技术报告中，我们主要介绍了我们智能车的系统设计制作思路，包括机械结构的设计与调整、各功能硬件模块的设计制作以及软件控制算法的实现与调试。在机械系统方面，我们进行了前后轮、底盘高度、舵机转向结构等机械参数的调整，优化了编码器和摄像头的安装。在电路硬件方面，从电源、最小系统到驱动等各个功能模块，我们都进行过多方面的实验和比较，最终确定了现在的电路图。在程序方面，我们使用 C 程序设计，利用比赛推荐的开发工具调试程序，学习和编写了多种控制算法，经过我们小组不断的调试、推倒重试、思路改进，终于设计出如今的这套稳定可行的程序。就算在临近比赛的最后几天，我们依然在努力优化智能车的硬件条件，修整智能车软件参数的设置，力求让智能车无论在外观上还是在功能实现上都达到我们设定的目标。

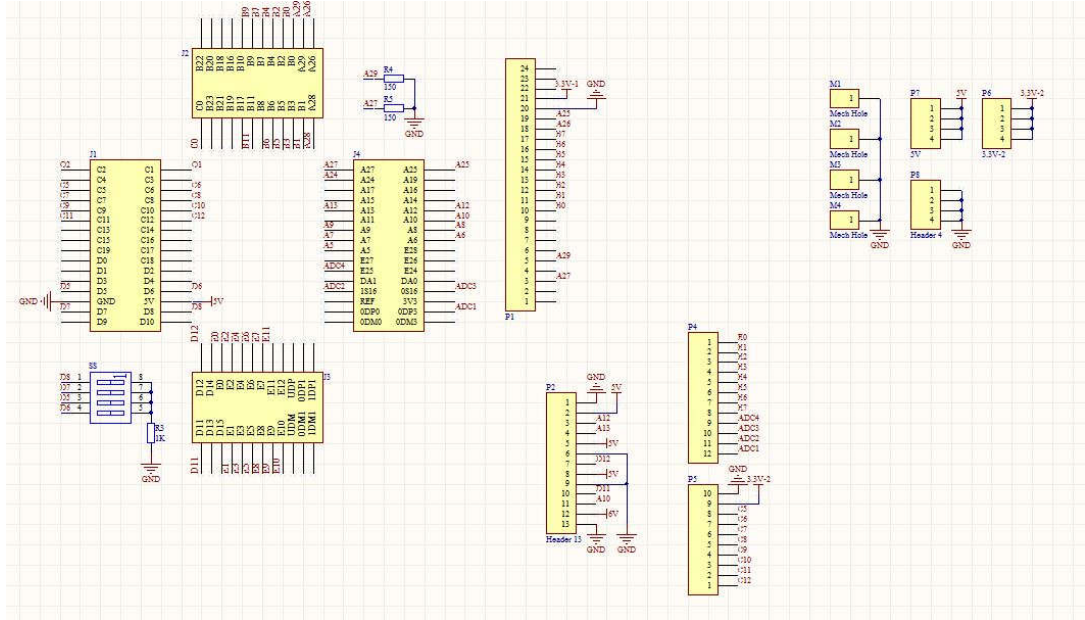
在这路漫漫其修远兮的数月奋战过程中，他人的帮助使我们最坚强的后盾。在此我们要衷心感谢学院领导和各位指导老师、学长的关注和支持，感谢学校给我们提供合适的场地和经费的帮助。没有你们的肩膀，我们无法顺利地完成智能车的设计与制作。当然也要感谢组委会能组织这样一项有意义的比赛，让我们在准备比赛的过程中也丰富着自己的知识，提高着自己的能力。

刚刚经历了华东赛区比赛胜利的兴奋与忐忑，让我们有了足够的信心来面对即将到来的全国总决赛，再创辉煌。或许我们离真正的科研人才还很遥远，或许我们的实力还很不够，但我们有着坚持努力的心。小小的智能车，承载着四个工科生梦想。这不是结束，这只是一个开始，我们四人将会以这“五脏俱全”智能车为起点，怀着它带给我们的丰富经验和值得怀恋的回忆，追求着我们各自的梦。

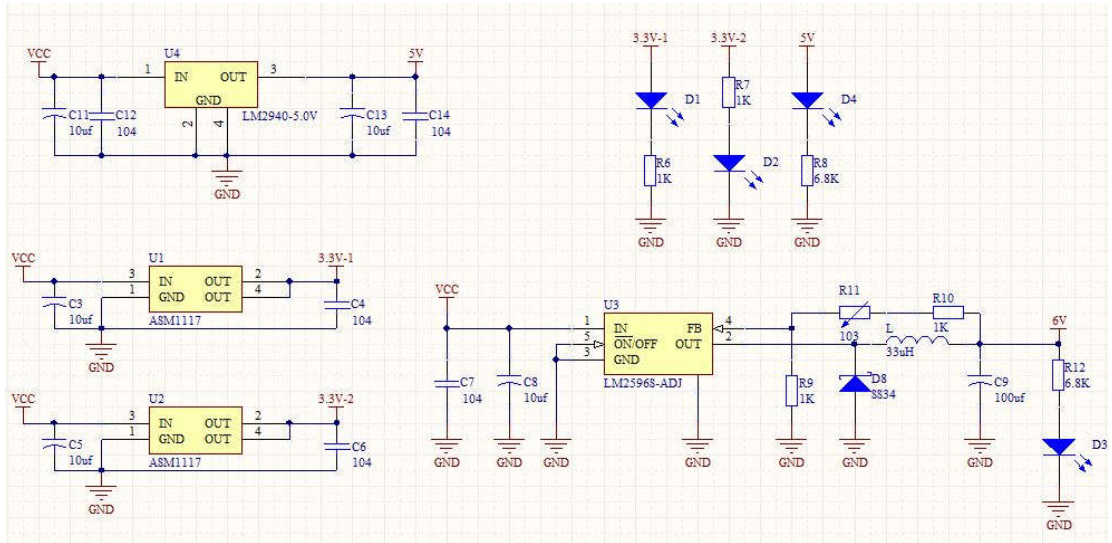
## 参 考 文 献

- (1) 童诗白, 华成英. 模拟电子技术基础 [M] . 北京. 高等教育出版社, 2001.
- (2) 阎石. 数字电子技术基础 [M] . 北京. 高等教育出版社, 2000.
- (3) 谭浩强著. C 程序设计. 北京. 清华大学出版社, 2003.
- (4) 王日明, 廖锦松, 申柏华. 轻松玩转 ARM Cortex-M4 微控制器. 北京. 北京航空航天大学出版社, 2014.
- (5) 夏克俭. 数据结构及算法 [M] . 北京. 国防工业出版社, 2001.
- (6) 余志生. 汽车理论. 北京. 机械工业出版社. 2012.
- (7) 刘金锟. 先进 PID 控制 MATLAB 仿真. 北京. 电子工业出版社. 2016.

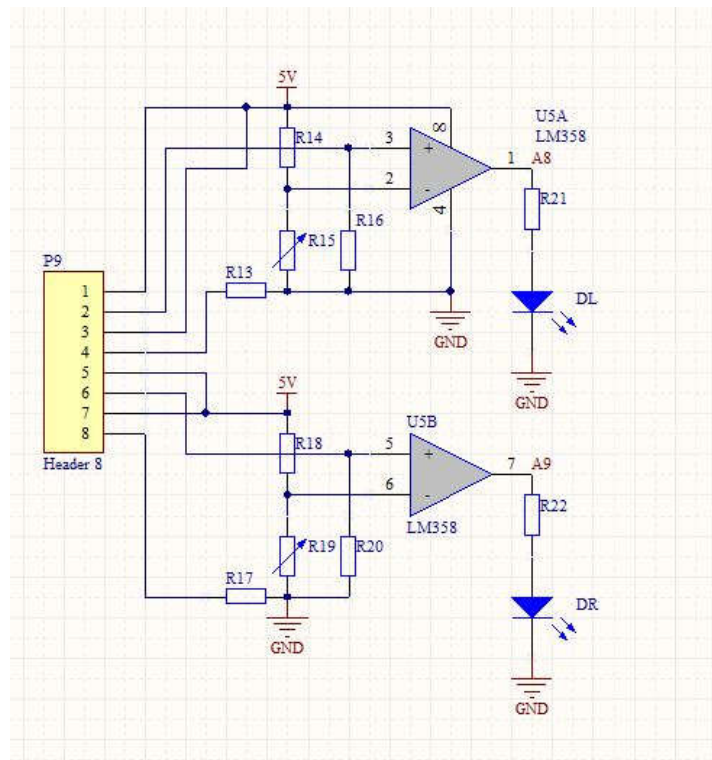
## 附录 A：电原理图



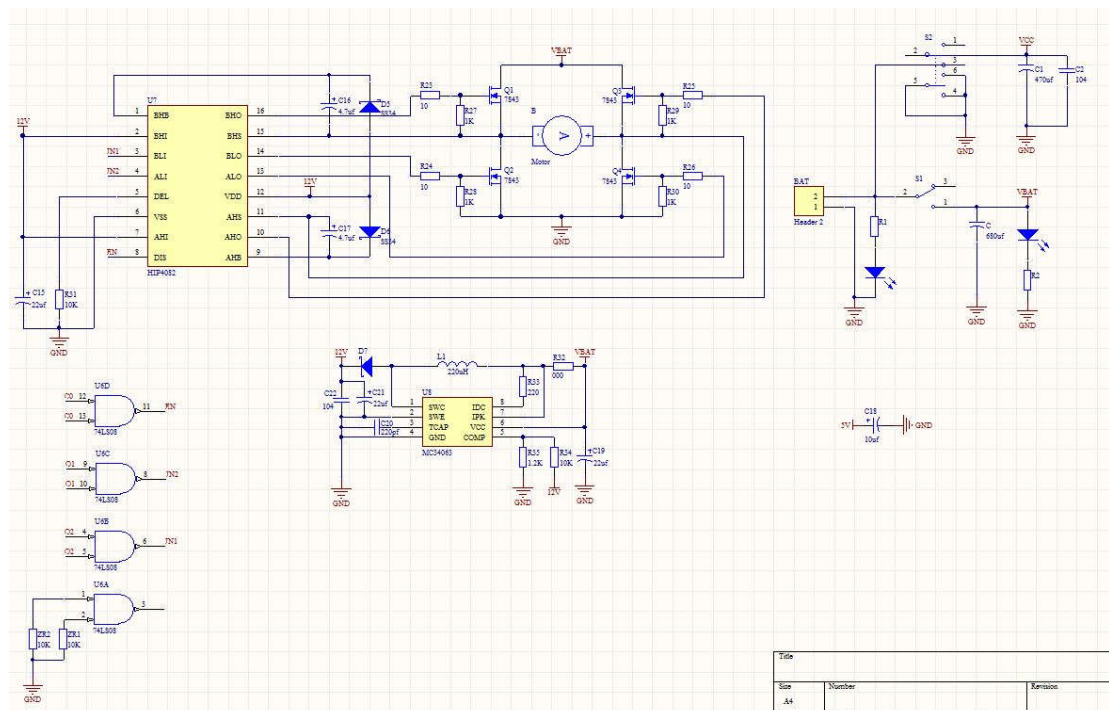
主控原理图



电源模块原理图



### 起跑检测模块原理图



### 电机驱动电路图

## 附录 B：程序源代码

```
#include "common.h"
#include "include.h"

uint8 imgbuff[CAMERA_SIZE];
uint8 img[CAMERA_H][CAMERA_W];

int8 Dir_Kp=10,Dir_Kd=2;
int16 D_Ek0=0,D_Ek1=0;
int16 Dir_out=0;
void PORTA_IRQHandler()
{
    uint8 n;    //引脚号
    uint32 flag;

    while(!PORTA_ISFR);
    flag = PORTA_ISFR;
    PORTA_ISFR  = ~0;                                //清中断标志位

    n = 29;                                           //场中断
    if(flag & (1 << n))                             //PTA29 触发中断
    {
        camera_vsync();
    }

    PORT_FUNC(A,8,stop_handler_1);
    PORT_FUNC(A,9,stop_handler_2);
```

---

```

#if( CAMERA_USE_HREF == 1 )
//CAMERA_USE_HREF 已经配置为 0，不使用行中断
    n = 28;
    if(flag & (1 << n))
    {
        camera_href();
    }
#endif
}

void DMA0_IRQHandler()
{
    camera_dma();
}

int16 Direction_Ctrl()
{
    D_Ek1=D_Ek0;
    D_Ek0=FinalCenter-39;
    Dir_out=486-(Dir_Kp*D_Ek0+Dir_Kd*(D_Ek0-D_Ek1));

    if(Dir_out>565){Dir_out=565;}
    if(Dir_out<401){Dir_out=401;}

    // LCD_WrNum(1,60,Dir_out,4);

    return Dir_out;
}

int16 Speed_Ctrl()
{
    SEk1=SEk0;

```

```
SEk0=Sp-MotoSp;  
Sp_out+=S_Kp*(SEk0-SEk1)+(S_Ki/10)*SEk0;
```

```
if(Sp_out>8500){return 8500;}  
else if(Sp_out<-8500){return -8500;}  
else{return Sp_out;}  
}
```

```
void SP_Export()  
{  
int16 tempval=0;  
tempval=Speed_Ctrl();  
if(tempval>=0)  
{  
led(LED2,LED_OFF);  
ftm_pwm_duty(FTM0,FTM_CH0,tempval);  
ftm_pwm_duty(FTM0,FTM_CH1,0);  
}  
else  
{  
led(LED2,LED_ON);  
ftm_pwm_duty(FTM0,FTM_CH1,-tempval);  
ftm_pwm_duty(FTM0,FTM_CH0,0);  
}  
}
```