



Y1525272

分类号: U49

10710-20050689



長安大學

# 硕士 学位 论文

基于 16 位单片机 MC9S12DG128 智能车系统的设计

任 娜

|         |                |        |                |
|---------|----------------|--------|----------------|
| 导师姓名职称  | 汪贵平 教授         |        |                |
| 申请学位级别  | 硕 士            | 学科专业名称 | 交通信息工程及控制      |
| 论文提交日期  | 2008 年 4 月 1 日 | 论文答辩日期 | 2008 年 4 月 8 日 |
| 学位授予单位  | 长安大学           |        |                |
| 答辩委员会主席 | 巨永锋 教 授        |        |                |
| 学位论文评阅人 | 王再英 教 授        |        |                |
| 学位论文评阅人 | 李登峰 副教授        |        |                |

## 摘要

根据第二届“飞思卡尔”杯全国大学生智能汽车邀请赛的技术要求，设计制作了智能车控制系统，该系统功能完善、运行稳定、可靠性高。系统由控制核心(MCU)模块、电源管理模块、路径识别模块、后轮电机驱动模块、转向舵机控制模块、速度检测模块、LCD 数据显示模块以及辅助调试模块组成。

本文针对智能汽车呈现出的数学模型非常复杂或根本就不存在，不能用常规控制方法的特点，以及 S12 自带了模糊控制指令的优势，分析论述了智能汽车系统的模糊控制策略。结果表明，该控制算法比传统的 PD 控制使小车运行的偏差的方差和实际距离减小，从而使运行时间最短。

智能车控制系统以 Freescale16 位单片机 MC9S12DG128 为核心，用光电管和 CMOS 摄像头相结合的方式作为路径识别传感器，从硬件和软件两个方面介绍了智能车控制系统的设计方案。在硬件方面，完成了相关电路的设计，包括电源电路、路径识别模块电路、后轮电机驱动模块电路、转向舵机控制模块电路、速度检测模块电路、LCD 数据显示模块电路等；在软件方面，主要编写了主程序、转速检测程序、模糊控制程序、电机和舵机驱动程序等相关程序。为了提高系统的稳定性，系统在软硬件方面都采用了抗干扰技术，包括光电隔离技术、电磁兼容性分析、数字滤波技术等。

**关键词：**智能车控制系统，MC9S12DG128，模糊控制，电机

## **Abstract**

According to technical requirements of the second "Freescale" Cup National University Intelligent Vehicle Tournament, we design the intelligent vehicle control system. The system is perfect, stable and high reliability. The system is composed of Micro-Control Unit(MCU) module, power management module, path recognition module,wheel motor drive module, servo control module, speed detection module, LCD display module and debugging accessorial module.

The smart car's model is very complex or simply does not exist and can not be controlled conventionally,as well as the S12 comes with the advantage of fuzzy control directives. According to these characteristics,this paper analysed on fuzzy control strategy of the Intelligent Vehicle System,the results showed that the fuzzy control algorithm is less on the running deviation's variance and the actual distance than PD control,so that the Vehicle's running time is the shortest.

Finally, by Freescale Corporation's 16bit MCU chip MC9S12DG128 as the control core, by the electric eye and CMOS camera as the way recognition sensor , the driving controller of system was designed from the hardware and software which is based on the MC9S12DG128B. The related electric circuit was completed, including its power supply circuit, path recognition module circuit, wheel motor drive module circuit, servo control module circuit, speed detection module circuit, LCD display module circuit, etc.. When it came to the software, some programs is written, such as main program, measuring program of rotational speed, fuzzy control program, wheel motor and servo control program and etc.. In order to enhance the reliability of system, it has adoped the anti-jam technology in the software and hardware, including photoelectric isolated technology, electromagnetic compatibility analysis, digital filter technology and so on.

**Key words:** intelligent vehicle control system,MC9S12DG128,Fuzzy control,Motor

## 论文独创性声明

本人声明：本人所呈交的学位论文是在导师的指导下，独立进行研究工作所取得的成果。除论文中已经注明引用的内容外，对论文的研究做出重要贡献的个人和集体，均已在文中以明确方式标明。本论文中不包含任何未加明确注明的其他个人或集体已经公开发表的成果。

本声明的法律责任由本人承担。

论文作者签名：任娜 2008 年 4 月 1 日

## 论文知识产权权属声明

本人在导师指导下所完成的论文及相关的职务作品，知识产权归属学校。学校享有以任何方式发表、复制、公开阅览、借阅以及申请专利等权利。本人离校后发表或使用学位论文或与该论文直接相关的学术论文或成果时，署名单位仍然为长安大学。

(保密的论文在解密后应遵守此规定)

论文作者签名：任娜 2008 年 4 月 1 日  
导师签名：任忠平 2008 年 4 月 1 日

# 第一章 绪论

智能车辆，是一个集环境感知、规划决策、多等级辅助驾驶等功能于一体的综合系统。它集中运用了计算机、现代传感、信息融合、通讯、人工智能及自动控制等技术，是典型的高新技术综合体。它具有道路障碍自动识别、自动报警、自动控制、自动保持安全距离、车速和巡航控制等功能。它的主要特点是在复杂的道路情况下，能自动地操纵和驾驶车辆绕开障碍物和沿着预定的道路(轨迹)行进。

当今半导体在汽车中的应用越来越普及，汽车的电子化已成为行业发展的必然趋势。据统计，平均每辆车上电子装置在整个汽车制造成本中所占的比例不断上升，在一些豪华轿车上，电子产品甚至占到整车成本的 50%以上。汽车电子应用已涵盖了从汽车电子控制装置到车载汽车电子装置的几乎所有系统。电子控制即通过电子装置控制汽车发动机、底盘、车身、制动防抱死及动力转向系统等，而车载汽车电子装置包括汽车信息娱乐系统、导航系统、汽车音响及车载通信系统等等。

在这样的行业背景下，教育部为了加强大学生实践、创新能力和团队精神，培养面向未来的科技尖端人才，在已举办的全国数学建模、电子设计、机械设计、结构设计等 4 大专业竞赛的基础上设立了第五项大学生设计竞赛——全国大学生智能汽车竞赛。

## 1.1 智能汽车邀请赛的概况

### 1.1.1 国外的发展状况

智能车辆概念的提出，可以追溯到上个世纪 50 年代美国 Barrett Electronic 公司研究开发的世界上第一台自动引导车辆系统。尽管只是一个运行在固定线路上的拖车式运货平台，但它却具有了智能车辆最基本的特征即无人驾驶。80 年代以来，随着科学技术的发展，智能车辆技术具有了实现的技术基础，从 90 年代开始进入了深入、系统、大规模研究阶段。从 80 年代中后期开始，世界主要发达国家对智能车辆开展了卓有成效的研发工作。在欧洲，普罗米修斯项目于 1986 年开始了在这个领域的探索。美国在这方面也进行了很深入的研究，1995 年成立了国家自动高速公路系统联盟，其目标之一就是研究发展智能车辆的可行性，并促进智能车辆技术进入实用化。1996 年，日本成立了高速公路先进巡航/辅助驾驶研究协会，主要目的是研制自动车辆导航的方法，促进日本智能车辆技术的整体进步。

韩国大学生智能模型车竞赛是韩国汉阳大学汽车控制实验室在飞思卡尔半导体公司资助下举办的以 HCS12 单片机为核心的大学生课外科技竞赛。组委会将提供一个标

准的汽车模型、直流电机和可充电式电池，参赛队伍要制作一个能够自主识别路线的智能车，在专门设计的跑道上自动识别道路行驶，跑完整个赛程用时最短，而且技术报告评分较高的参赛队就是获胜者。2000 年智能车比赛首先由韩国汉阳大学承办开展起来，每年全韩国大约有 100 余支大学生队伍报名并准予参赛，至今已举办 8 届，得到了众多高校和大学生的欢迎，也逐渐得到了企业界的极大关注。韩国现代公司自 2004 年开始免费捐赠了一辆轿车作为赛事的特等奖项。德国宝马公司也提供了不菲的资助，邀请 3 名获奖学生到德国宝马公司研究所访问，2005 年 SUNMOON 大学的参赛者获得了这一殊荣。

### 1.1.2 国内的发展概况

我国于 2006 年 8 月举办第一届“飞思卡尔”杯全国大学生智能汽车邀请赛，该赛事是教育部高等学校自动化专业教学指导分委员会主办的，在飞思卡尔半导体公司资助下举办的，该项赛事吸引了来自全国 59 所著名学校的 112 支代表队的参与，大赛分预赛和决赛两个阶段。所有 112 支代表队先参加预赛，通过预赛选拔出 25 支代表队参加最后决赛阶段的比赛。比赛竞争异常激烈，十分微弱的成绩差异即决定优胜者名次。最后，按成绩排名决出冠军特等奖 1 名、一等奖 2 名、二等奖 5 名，并结合预赛成绩评出三等奖 25 名。所有顺利完成比赛的队伍都获得组委会颁发的优胜奖<sup>[1]</sup>。

第二届“飞思卡尔”杯全国大学生智能汽车竞赛总决赛于 2007 年 8 月在上海交大落下帷幕。来自全国 54 所高校的 76 支参赛队，经过激烈角逐，共决出特等奖 3 名、一等奖 23 名。

## 1.2 研究智能车系统的意义

制作智能车，需要参赛队伍学习和应用嵌入式软件开发工具软件 Code Warrior 和在线开发手段，自行设计和制作可以自动识别路径的方案、电机的驱动电路、模型车的车速传感电路、模型车转向伺服电机的驱动以及微控制器 MC9S12DG128 控制软件的编程等，其专业知识涉及控制、模式识别、传感技术、汽车电子、电气、计算机和机械等多个学科，对学生的知识融合和实践动手能力的培养，以及高等学校控制和汽车电子学科学术水平的提高，具有良好的长期推动作用。和发达国家的大学生相比，我国大学生的实践环节不足，欠缺创新意识的培养是不争的事实，该赛事对加强大学生动手能力和创新意识的培养无疑是非常有帮助的。随着赛事的逐年开展，将不仅有助于大学生自主创新能力的提高，对于高校相关学科领域学术水平的提升也有一定帮助，最终将有助于汽

车企业的自主创新，得到企业的认可。这项赛事在韩国的成功可以证明这一点。

首先，智能车制作作为培养本科生获取知识、应用知识的能力及创新意识的一种补充，尤其在目前实践教育相对薄弱的情况下，不失为本科工程实践教育的好方式。智能车竞赛以现在智能汽车为研究背景，从根本上调动了全国众多大学生学习与研制智能汽车的兴趣。有了兴趣才会有学习动力和钻研激情，才能萌发五彩缤纷的想象力。

其次，以智能汽车为研究背景的科技创意性制作，是一种具有探索性的工程实践活动，其本质也是人类创造有用人工物的一种训练性实践，其过程属性是综合，而结果属性很可能是创造。通过竞赛，参赛的同学们培养了对已学习过的基础与专业理论知识与实验的综合运用的能力；带着背景对象中的各种新问题，学习控制、模式识别、传感技术、电子、电气、计算机、机械等多个学科新知识，包括来自不同学科背景大学生的相互学习，逐渐学会了在学科交叉、集成基础上的综合运用；若是以使用为目的，还必须考虑可靠性、寿命、外观工业设计、性能价格比、市场需求及顾客心理等因素，即须从系统工程角度出发，结合技术与非技术、集成科学与非科学，在具体约束条件下融合形成整体的综合运用。应该说，这样的训练是很有意义的。

再次，智能车竞赛是具有团队性质的工程实践活动。现代科学技术的进步与创造发明，无不凝聚了水平高且人员结构合理群体的智慧。通过竞赛实践，逐渐培养大学生学会在一个团队中正确估计自己，正确估计他人；善于学习和发挥他人的长处，并初步具有组织和调动各类人员积极性的能力；既能当好主角，也甘于当好配角，初步具有脚踏实地地做好本职工作的基本素质。

## 1.3 智能车系统组成

### 1.3.1 比赛的规则

在本次比赛中，“参赛选手须使用大赛组委会统一提供的竞赛车模，采用飞思卡尔 16 位微控制器 MC9S12DG128 作为核心控制单元，自主构思控制方案及系统设计，包括传感器信号采集处理、控制算法及执行、动力电机驱动、转向舵机控制等，完成智能车工程制作及调试，于指定日期与地点参加场地比赛。参赛队伍之名次（成绩）由赛车现场成功完成赛道比赛时间为主，技术方案及制作工程质量评为辅来决定”，“须采用统一提供的车模；须采用限定的飞思卡尔 16 位微控制器 MC9S12DG128 作为唯一控制处理器；车模改装完毕后，尺寸不能超过：250mm 宽和 400mm 长，高度无限制”，“跑道宽度不小于 600mm，跑道表面为白色，中心有连续黑线作为引导线，黑线宽 25mm”。

### 1.3.2 系统的组成

以单片机 MC9S12DG128 为核心，配合有传感器、电机、舵机、电池以及相应的驱动电路，能够自主识别路径，控制模型车高速稳定运行在跑道上。跑道表面为白色，中心有连续黑线作为引导线，黑线宽 25mm，并且事先限定跑道宽度和拐弯最小半径等参数，控制器自主识别引导线并控制模型车沿着跑道运行。整个系统组成如图 1.1 所示。

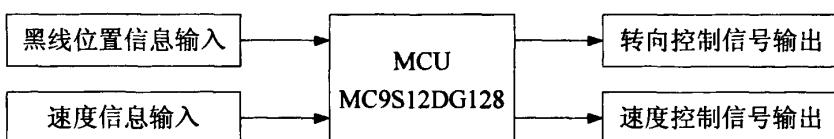


图 1.1 系统组成

### 1.4 本课题的研究内容

研究智能车系统主要是为了完成智能车的设计与安装工作，达到控制智能车以最快的速度循线行驶的目的。本论文完成的主要工作有：

1. 阅读和查阅相关资料和文献，对国内外智能汽车的发展情况进行了全面地学习和研究，阐述了发展智能汽车的重要意义；
2. 对智能车系统的模糊控制算法进行了详细的探讨和研究并加以实现；
3. 参考国内外相关设计和项目设计要求，确定智能车的总体设计方案；
4. 智能车系统的硬件设计与调试；
5. 智能车系统的软件设计与调试；
6. 智能车系统的整车调试。

## 第二章 智能汽车系统控制算法研究

随着电机及驱动系统的发展，控制系统趋于智能化和数字化。变结构控制、模糊控制、神经网络、自适应控制、专家系统、遗传算法等非线性智能控制技术，都将各自或结合应用于电机控制系统。它们的应用将使系统结构简单，响应迅速，抗干扰能力强，参数变化具有鲁棒性，从而大大提高了整个系统的综合性能。

模糊控制（Fuzzy Control）是指模糊理论在控制技术上的应用。它用语言变量代替数学变量或两者结合应用；用模糊条件语句来刻画变量间的函数关系；用模糊算法来刻画复杂关系，是具有模拟人类学习和自适应能力的控制系统。模糊控制技术适用于被控过程没有数学模型或很难建立数学模型的工业过程，这些过程参数变动、时变、呈现极强的非线性特征、并伴有时变及滞后，这类系统的数学模型非常复杂或根本就不存在，不能用常规控制方法控制系统。但是因为模糊控制不需要精确的数学模型，所以在解决这类问题时更有优势。

而文中智能小车之所以采用模糊控制的方法也正是基于这样的考虑。

1. 赛道预先是未知的，无法采用清晰的算法来对小车进行合适的控制。
2. 小车本身由于重量，机械结构的偏差导致我们在建立车体的数学模型时有很大的困难。
3. 为保证以最快的速度跑完全程，在不同类型的赛道上（如直道，大小弯，S弯）小车的运动策略是不一样的，用其他的常规算法可以保证跑完赛道，但是无法保证时间，使用模糊控制算法可以使我们采用更为灵活的控制策略。
4. 在算法实现上，由于 S12 自带了模糊控制指令，我们只需对相应的寄存器进行简单的配置就可以了。
5. 从 CPU 给出舵机控制指令到小车舵机的执行存在着较明显的滞后现象，运用模糊逻辑可以消除滞后带来的影响。

文末列出的文献[2]介绍了控制理论的基本概念，文献[3]对利用 S12 实现模糊控制给出了基本的方法，文献[4]对模糊控制指令的实现给出了启示。智能车系统有舵机输出和电机输出，是一个多输出系统，本章仅以舵机为例，讲述模糊控制算法的实现。

### 2.1 模糊控制理论简介

本节介绍了模糊控制系统和模糊控制器的构架，并介绍了设计模糊控制算法的经典方法和流程。

### 2.1.1 模糊控制系统的组成

模糊控制属于计算机数字控制的一种形式，因此，模糊控制系统的组成类似于一般的数字控制系统，其结构如图 2.1。

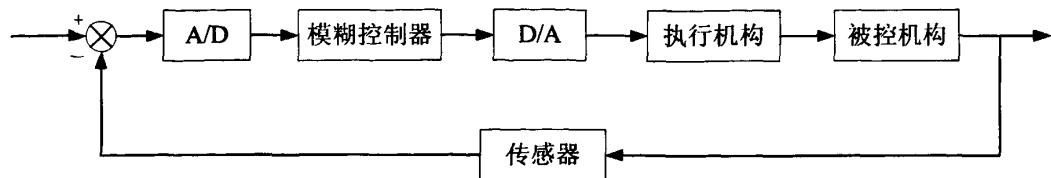


图2.1 模糊控制系统的结构

模糊控制系统一般可分为五个组成部分：

1. 模糊控制器。是模糊控制系统中的核心部分。
2. 输入/输出接口。模糊控制器通过输入/输出接口，从被控对象获取数字量信号，并将模糊控制器决策的输出数字信号经过数模转换，将其变换为模拟信号，然后送给被控对象。
3. 执行机构。包括各种交、直流电动机、伺服电动机、步进电动机、气动调节阀和液压电动机、液压缸等。
4. 被控对象。被控对象可以是确定的或模糊的、单变量的、有滞后或无滞后的，也可以是线性的或非线性的、定常的或时变的，以及具有强耦合和干扰等多种情况。对于那些难以建立精确数学模型的复杂对象，更适宜采用模糊控制。
5. 传感器。传感器是将被控对象或各种过程的非电量转换为电信号的一类装置。

### 2.1.2 模糊控制器的基本结构

模糊控制器的基本结构如图 2.2 所示，由 4 个重要部件组成：知识库、模糊推理单元、模糊化输入接口与去模糊化输出接口。知识库又包含模糊 if-then 规则库和数据库，规则库中的模糊规则定义体现了与领域问题有关的专家经验或知识，而数据库则定义隶属函数、尺度变化因子以及模糊分级数等。推理单元按照这些规则和所给的事实执行推理过程，求得合理的输出。模糊输入接口将明确的输入转换模糊量，并用模糊集合表示，根据模糊输入得到控制量，控制量也是模糊量，因此，要求清晰化过程，把模糊控制量转换为清晰值作为模糊控制器的输出，去模糊输出接口就是将模糊的计算结果转换为明确的输出<sup>[5]</sup>。

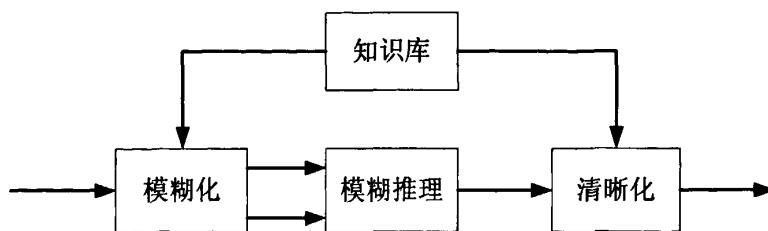


图 2.2 模糊控制器的结构

### 2.1.3 设计模糊控制器的流程

#### 1. 确定模糊化接口

针对模糊控制器每个输入空间定义一个语言变量。在模糊控制系统中，通常取系统的误差值  $e$  和误差变化率  $ec$  为模糊控制器的两个输入。

1) 在  $e$  上定义语言变量“误差 E”，在  $ec$  上定义语言变量“误差变化 EC”。

2) 定义各语言变量的论域。通常 E 和 EC 的论域均设置为：

$$X = Y = \{-6, -5, -4, -3, -2, -1, 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6\};$$

在输入量进行模糊化之前，需将  $e$  和  $ec$  的论域变换到 E 和 EC 的论域。

3) 定义各语言变量的语言值。通常  $e$  和  $ec$  的取值为：

$$\{\text{“正大”, “正中”, “正小”, “零”, “负小”, “负中”, “负大”}\}$$

$$= \{\text{PB, PM, PS, ZO, NS, NM, NB}\}.$$

4) 各语言变量的论域上定义其语言值的隶属函数。通常隶属函数的形状取正态分布函数，例如高斯基函数。隶属函数的形状和分布如图 2.3 所示。

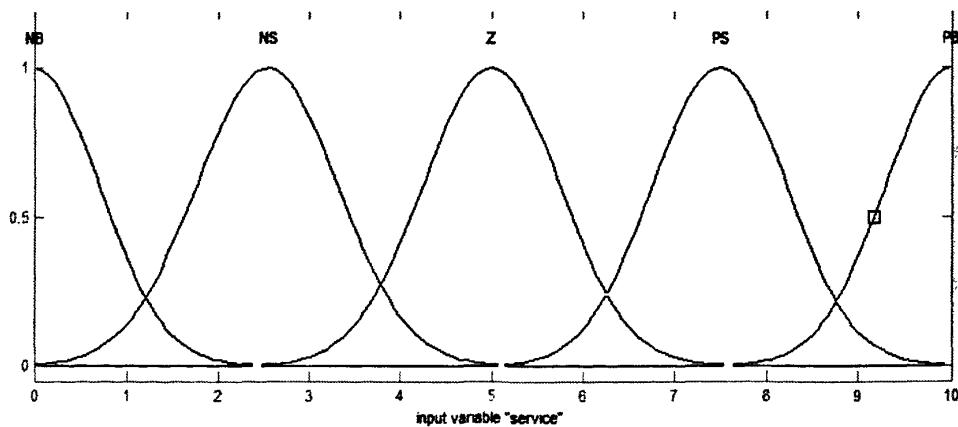


图 2.3 隶属度函数示例

#### 2. 确定模糊控制器的控制规则

在模糊逻辑控制中主要使用 Mamdani 模糊模型和 Takagi-Sugeno 模糊模型。

### 1) Mamdani 模糊模型

Mamdani 模糊模型是一种语言模型，利用 Mamdani 模型构成的模糊逻辑系统实质上是一组 IF-THEN 规则，在这组规则中，前件变量和后件变量均为模糊语言集合，其一般形式如下：

R1 : 如果  $x$  是  $A_1$ , and  $y$  是  $B_1$ , 则  $z$  是  $C_1$

R2 : 如果  $x$  是  $A_2$ , and  $y$  是  $B_2$ , 则  $z$  是  $C_2$

R3 : 如果  $x$  是  $A_3$ , and  $y$  是  $B_3$ , 则  $z$  是  $C_3$

.....

$R_n$  : 如果  $x$  是  $A_n$ , and  $y$  是  $B_n$ , 则  $z$  是  $C_n$

在现有的模糊控制系统中，大多数均采用这种形式。

### 2) Takagi-Sugeno 模糊模型

这种模型也是基于 IF-THEN 规则，规则的前件含有模糊语言值，后件是前件变量的函数，即：

如果  $X$  是  $A_i$ ; and  $y$  是  $B_i$  则  $z = f_i(x, \dots, y)$ 。

模糊控制器的控制规则是由一组彼此通过“或”的关系连结起来的模糊条件语句来描述的。集中每一条模糊条件语句，当输入、输出语言变量在各自论域上反映各语言值的模糊子集为已知时，都可以表达为论域的积集上的模糊关系，即  $R_1, R_2 \dots, R_n$ ；计算出每一条模糊条件语句决定的模糊关系  $R_i (i=1, 2, \dots, n)$  之后，考虑到每条模糊条件语句间的“或”关系，可得描述整个系统的控制规则的总模糊关系  $R$  为：

$$R = R_1 \cup R_2 \cup R_3 \cup \dots \cup R_n = \bigcup_{i=1}^n R_i \quad (2.1)$$

模糊控制规则可通过总结模糊关系  $R$  的设计来实现。

### 3. 输出量的去模糊化

有了模糊关系  $R_i (i=1, 2, \dots, n)$ ，则输出语言变量论域上的模糊子集  $U$  记为：

$$U = \bigcup_{i=1}^n (E \times EC) R_i \quad (2.2)$$

但此时模糊控制器的输出是一个模糊集，它包含控制量的各种信息。但被控对象仅能接受一个精确的控制量，应从中选择哪一个控制量施加到被控对象中去，必须进行模糊判决（模糊决策），把模糊量转化精确量。把模糊量转化为精确量的过程称为清晰化，又称为去模糊化，或称为模糊判决。

模糊自动控制中的模糊判决方法常用的有三种：

### 1) 最大隶属度法

这个方法是选取隶属度最大的论域元素为去模糊的结果。如对应的模糊判决的模糊子集  $U$ , 则取该模糊子集中隶属度最大的那个元素  $\mu_{\max}$  作为执行量, 即  $\mu_{\mu}(\mu_{\max}) \geq \mu_{\mu}(\mu)$ 。

这种方法的优点是简单易行, 缺点是它概括的信息量很少, 因为这种方法排除了其它隶属度较小的元素的影响和作用。

### 2) 加权平均法

这种判决方法有以下两种形式

普通加权平均法, 其执行量  $\mu_{\max}$  由下式决定:

$$\mu_{\max} = \frac{\sum \mu(\mu_i)\mu_i}{\sum \mu(\mu_i)} \quad (2.3)$$

权系数加权平均法, 其执行量  $\mu_{\max}$  由下式决定:

$$\mu_{\max} = \frac{\sum k_i \mu_i}{\sum k_i} \quad (2.4)$$

其中权系数  $k_i$  的选择应根据实际情况来决定。加权系数的决定直接影响着系统的响应特性, 对模糊自动控制系统来说, 要改变系统的响应特性, 选取和调整有关系数是关键。

### 3) 取中位数法

为了充分利用模糊子集所有的信息量, 可以求出把隶属度曲线与横坐标围成的面积平分为两部分的数作为去模糊的结果。最后, 加到被控过程的控制量  $U$  应是去模糊的结果  $u$  与比例因子  $k_u$  的乘积:  $U = k_u \times u$ 。

## 4. 模糊控制查询表

经过模糊化、模糊推理和逆模糊化, 对于一组输入  $(e, ec)$ , 可以得到控制器的输出  $u$ , 得到模糊控制的准确查询表。如表 2.1 所示, 该表存储于计算机中, 在线运行时根据  $e, ec$  的实测值, 查表就可以得到控制输出  $u$ 。

综上所述, 模糊控制器设计的步骤可以概括为:

- 1) 确定模糊控制器的输入变量和输出变量;
- 2) 确定输入、输出的论域;
- 3) 总结模糊控制规则;
- 4) 选择推理算法;

5) 确立模糊化和逆模糊化的方法。

表 2.1 模糊控制查询表示例

| $U \backslash e$ | -5 | -4 | -3 | -2 | -1 | 0  | 1  | 2  | 3  | 4  | 5  |
|------------------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| ec               | 6  | 6  | 6  | 6  | 6  | 5  | 5  | 4  | 4  | 0  | 0  |
| -6               | 6  | 6  | 6  | 6  | 6  | 5  | 5  | 4  | 4  | 0  | 0  |
| -5               | 6  | 6  | 6  | 6  | 6  | 5  | 5  | 4  | 4  | 0  | 0  |
| -4               | 6  | 6  | 6  | 6  | 5  | 4  | 4  | 4  | 4  | 0  | 0  |
| -3               | 6  | 6  | 6  | 6  | 5  | 4  | 4  | 4  | 0  | 0  | 0  |
| -2               | 4  | 4  | 4  | 4  | 4  | 4  | 2  | 0  | 0  | 0  | 0  |
| -1               | 4  | 4  | 4  | 4  | 4  | 2  | 2  | 0  | 0  | 0  | 0  |
| 0                | 4  | 4  | 3  | 2  | 2  | 0  | 0  | 0  | -2 | -2 | -4 |
| 1                | 2  | 2  | 0  | 0  | 0  | 0  | -3 | -3 | -4 | -4 | -4 |
| 2                | 2  | 2  | 0  | 0  | 0  | 0  | -2 | -3 | -4 | -4 | -4 |
| 3                | 0  | 0  | 0  | 0  | -3 | -4 | -4 | -5 | -5 | -6 | -6 |
| 4                | 0  | 0  | 0  | 0  | -4 | -4 | -4 | -4 | -6 | -6 | -6 |
| 5                | 0  | 0  | 0  | 0  | -4 | -4 | -4 | -5 | -6 | -6 | -6 |
| 6                | 0  | 0  | 0  | 0  | -4 | -4 | -5 | -6 | -6 | -6 | -6 |

## 2.2 S12 模糊控制指令的介绍

模糊指令是 S12 的特色指令，它们类似高级语言指令，多数执行时间较长，而且执行过程中允许中断响应，中段返回后可以继续运行，采用他们可以简化模糊运算程序，缩短运行时间，而且不易出错<sup>[6]</sup>。

S12 指令的模糊指令在处理模糊运算时分为三个阶段：

- 首先根据隶属度函数将过程变量变成模糊输入，这部分工作在模糊化接口中完成，然后将结果放入存储器；
- 推理运算部分根据规则库和模糊运算输入得到模糊输出，也放入存储器；
- 解模糊部分通过隶属度函数及相关规则将模糊输出变成控制输出，送往执行机构。

S12 模糊控制指令的执行流程如图 2.4 所示：

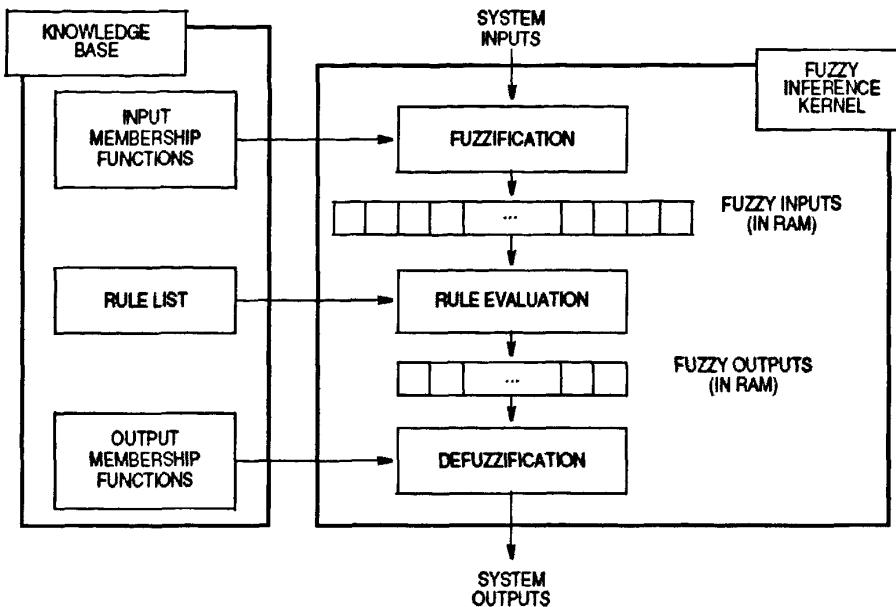


图 2.4 S12 模糊控制指令的执行流程

S12 的模糊控制指令在实现时相应的用了 mem、rev、revw 和 wav，并为他们制定了必要的表达方式。下面将具体介绍这几条指令的用法。

### 2.2.1 MEM 指令

MEM 指令是单个隶属度函数计算的核心指令，由它将过程变量变成模糊输入，该函数正常运行的前提是：

1. 建立一个隶属度函数；
2. 在内存建立描述该隶属度函数的数据结构；
3. 制定保存运算结果及模糊输入值的内存空间。

特别是在建立隶属度函数的数据结构时要遵照一定的语法规则，如图 2.5 所示。

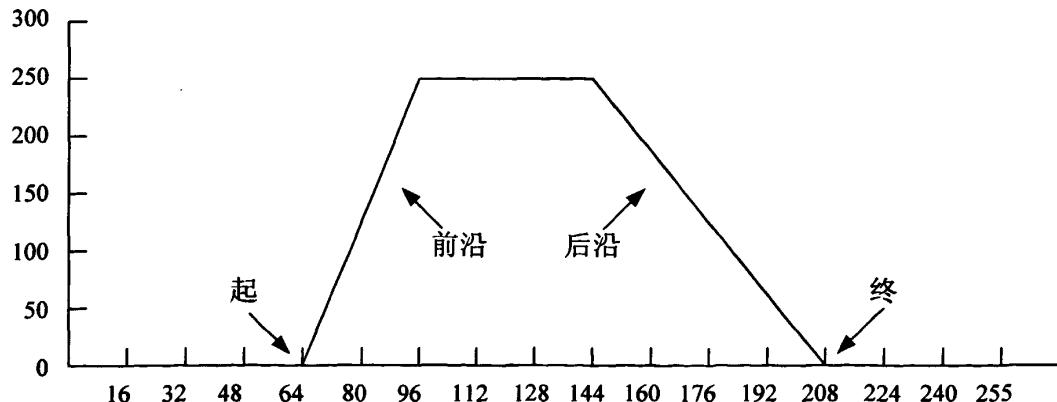


图 2.5 S12 的隶属度函数建立规则示例

每个隶属度函数的数据结构必须用四个字节无符号数的数据结构来描述：即{起点的 X 坐标，终点的 X 坐标，前沿斜率，后沿斜率}，这里起点和终点的 X 坐标均采用类似归一化的数值，即必须将输入的范围映射到\$00-\$FF 中去，而前后沿斜率的符号固定不变，只需要给出具体数值，分别为 (\$FF/(饱和点 X 坐标-起点 X 坐标)) 和 (\$FF/(终点 X 坐标-饱和点 X 坐标))。当斜率为无穷大的时候，用\$00 表示。

设定数据结构时采用如下的语法：

```
HINPUT_MPFS: FCB    $40 ; 起点 X 坐标
                FCB    $D0 ; 终点 X 坐标
                FCB    $08 ; 前沿斜率
                FCB    $04 ; 后沿斜率
```

### 2.2.2 REV 指令

REV 指令是规则推理的核心指令，由他根据模糊输入确定模糊输出，但必须事先按照约定为其设定必要的条件：

1. 按照需要提供若干个模糊输入，输出关系的规则；
2. 在内存建立描述该规则的数据结构；
3. 制定运算结果及模糊输出值的内存空间，并事先清零；
4. 设置有关寄存器；

所谓模糊逻辑的规则就是一个模糊逻辑表达式：

IF 前方是弯道 AND 小车当前的车速很高 THEN 车辆减速 AND 车辆预先偏转用模糊指令的语言表示：

```
RULE_START      FCB I0,I1,I2.....,$FE,O00,O01.....$FE:
                FCB I0,I1,I2.....,$FE,O10,O11.....$FE:
                FCB I0,I1,I2.....,$FE,O20,O21.....$FE:
                .....
                FCB I0,I1,I2.....,$FE,O00,O01.....$FE:
FUZ_INS        RMB MI0+MI1+...MIn+MO0+MO1...MOm;
```

### 2.2.3 REVW 指令

REVW 为加权推理指令，与 REV 指令功能类似，但也存在着不同点，REVW 指令处理每个规则时，将迁建表达式的运算结果乘以一个权值后，作为模糊后件，而 REV 指令直接将结果送给后件。

在使用 REVW 指令时需要额外加一个权值表:

```

RULE_START      FCB I0,I1,I2……,$FE,O00,O01……$FE:
                FCB I0,I1,I2……,$FE,O10,O11……$FE:
                FCB I0,I1,I2……,$FE,O20,O21……$FE:
                .....
                FCB I0,I1,I2……,$FE,O00,O01……$FE:
FUZ_INS        RMB MI0+MI1+…MIn+MO0+MO1…MOn;
FUZ_WT         FCB W0, W1, ……,Wn      //权值数据表

```

其中表内的权值均为 0-1 之间的数，小数点位于最高位左边。

#### 2.2.4 WAV 指令

WAV 指令是解模糊阶段的核心指令，它与 EDIV 指令配合完成模糊输出到控制输出的变换。

常用的算法之前已有介绍，WAV 指令使用的是其中的重心法，该方法将模糊输出作为权值，对输出模糊子集对应的模糊单点集的值（Singleton）求加权平均，即采用下式确定控制输出：

$$\text{Output} = \frac{\sum_{i=1}^n S_i F_i}{\sum_{i=1}^n F_i} \quad (2.5)$$

式中

$S_i$ -各个输出模糊自己对应的模糊单点集的值；

$F_i$ -输出对该子集的隶属度；

$n$ -输出模糊子集数。

### 2.3 模糊控制算法在智能车上的实现

在小车的实际运行中，我们先采取的是 PD 控制。在该控制算法下小车跑直线时，表现非常好，但是在进曲率半径较小的弯道时，往往会冲出去，这样的话就相当于出局了。我们发现这是和比例系数不够大有关的，因此我们采用了模糊控制算法，对不同的弯道曲率用不同的比例参数  $K_p$ 。

#### 2.3.1 算法设计和实现

下面具体介绍模糊算法和 S12 模糊控制指令的实现：

在计算曲率时我们取了三个有效点，如图 2.6。

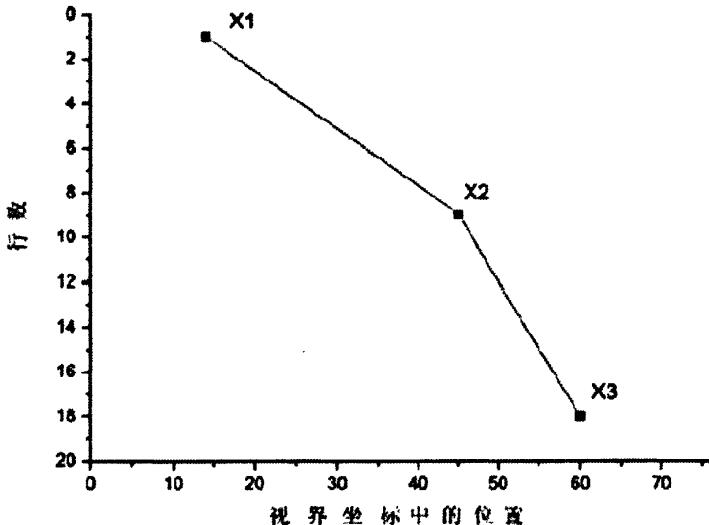


图 2.6 曲率计算示意图

这三个有效点的参数都是在视界坐标下取得的，纵坐标是摄像头采集到的视像的行数，行与行之间的距离在实际作表中表示的距离是不变的，横坐标用来表示点在横轴方向上的位置，也是在视界坐标下确定的。实际计算曲率时，我们不用把所得坐标都转换到实际坐标上去算，因为在视界坐标下算出的曲率同样可以反映出赛道的弯曲程度。

### 定义曲率

$$\text{CURVE} = |(X_1 - X_2) - (X_2 - X_3)| = |(X_1 + X_3 - 2 \times X_2)| \quad (2.6)$$

式中的  $X_1$ ,  $X_2$ ,  $X_3$  定义见图 2.6。

之所以不采用标准的曲率计算公式，主要是因为它的计算量太大，会降低系统的实时性。上面定义的曲率公式已足以反映出赛道的弯曲程度。计算出来的曲率值恒为正，因为我们有专门的程序判别是左弯还是右弯，所以我们只需知道赛道的弯曲程度就可以了。将 CURVE 模糊化，模糊子集定义为：

$\text{CURVE} = \{\text{零}, \text{极小}, \text{小}, \text{大}, \text{非常大}\}$

注：如果为零，表示曲率半径无穷大，该赛道为直道。

将 CURVE 的语言变量定义为：

$Z = \text{零}$

$VS = \text{极小}$

$S = \text{小}$

B = 大

VB = 极大

将 CURVE 量化为 7 个等级，分别为 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6。那么 CURVE 的论域为：CURVE={0, 1, 2, 3, 4, 5, 6}

根据调试小车在弯道上的表现给出 CURVE 量的隶属度表：

表 2.2 CURVE 量的隶属度函数表

| 语言变量 \ 量化等级 | 0 | 1   | 2   | 3   | 4 | 5   | 6 |
|-------------|---|-----|-----|-----|---|-----|---|
| 零           | 1 | 0.5 | 0   | 0   | 0 | 0   | 0 |
| 极小          | 0 | 1   | 0.5 | 0   | 0 | 0   | 0 |
| 小           | 0 | 0   | 1   | 0.5 | 0 | 0   | 0 |
| 大           | 0 | 0   | 0   | 0.5 | 1 | 0.5 | 0 |
| 极大          | 0 | 0   | 0   | 0   | 0 | 0.5 | 1 |

由上表我们得到 CURVE 的隶属度函数，见下图 2.7：

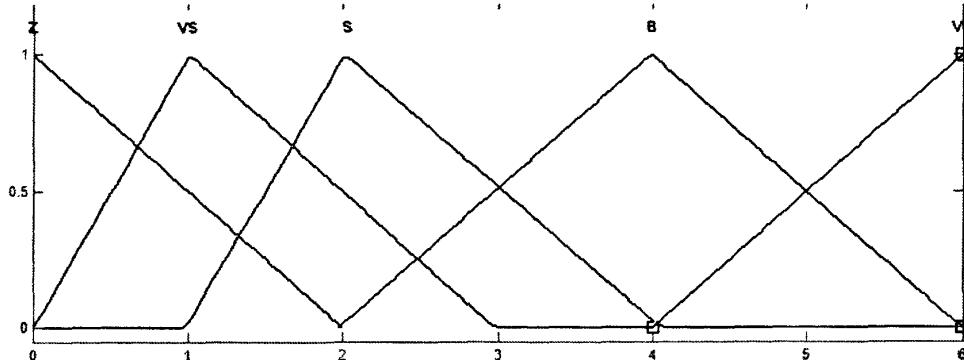


图 2.7 CURVE 的隶属度函数

对于比例系数  $K_p$  值我们同样进行模糊化，模糊子集定义为：

$K_p = \{\text{零, 极小, 小, 大}\}$

将  $K_p$  的语言变量定义为：

Z = 零

VS = 极小

S = 小

B = 大

将  $K_p$  量化为 7 个等级，分别为 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6

那么  $K_p$  的论域为： $K_p=\{0, 1, 2, 3, 4, 5, 6\}$

同样根据调试的经验给出  $K_p$  量的隶属度表

表 2.3  $K_p$  量的隶属度表

| 语言变量 \ 量化等级 | 0 | 1   | 2 | 3   | 4 | 5   | 6 |
|-------------|---|-----|---|-----|---|-----|---|
| 零           | 1 | 0.5 | 0 | 0   | 0 | 0   | 0 |
| 极小          | 0 | 0.5 | 1 | 0.5 | 0 | 0   | 0 |
| 小           | 0 | 0   | 0 | 0.5 | 1 | 0.5 | 0 |
| 大           | 0 | 0   | 0 | 0   | 0 | 0.5 | 1 |

从而得到隶属度函数如下图 2.8 所示：

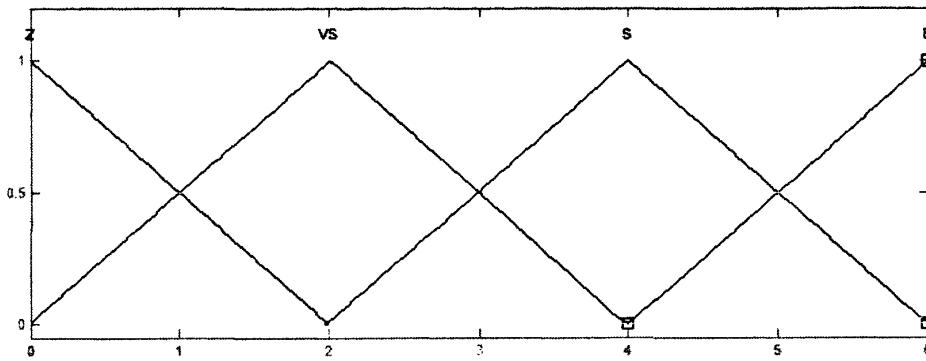


图 2.8  $K_p$  的隶属度函数

这部分的 S12 程序如下：

```

RAM:      section
absentry fuzvar
fuzvar:   ds.b 8      ; inputs           // CURVE 语言变量进行量化
Z:        equ 0        ;零
VS:       equ 1        ;极小
S:        equ 2        ;小
B:        equ 3        ;大
VB:       equ 4        ;极大
output membership variables          // 输出语言变量进行量化
absentry fuzout
fuzout:   ds.b 4      ;outputs
Z:        equ 0        ;零
VS:       equ 1        ;极小
S:        equ 2        ;小

```

B: equ 3 ;大

E<sup>2</sup>PROM: section

Fuzzification // 建立 CURVE 的隶属度函数

```
s_tab: dc.b 0,80,0,3 ;零
      dc.b 0,120,12,3 ;极小
      dc.b 20,160,12,3 ;小
      dc.b 80,240,3,3 ;大
      dc.b 160,255,3,0 ;极大
```

注：把 0-6 的等级放大 40 倍，该定义规则见 S12 指令部分

然后建立模糊控制规则表

表 2.4 模糊控制规则表 (CURVE-K<sub>p</sub>)

| CURVE          | Z | VS | S | B | VB |
|----------------|---|----|---|---|----|
| K <sub>p</sub> | Z | VS | S | B | VB |

上述模糊规则可以用模糊关系 R 来表示：

$$R = (Z \times Z) \cup (VS \times VS) \cup (S \times S) \cup (B \times B) \cup (VB \times VB) \quad (2.7)$$

S12 程序表示为：

rules:

```
dc.b Z,      $FE,Z,$FE
dc.b VS,     $FE,VS,$FE
dc.b S,      $FE,S,$FE
dc.b B,      $FE,B,$FE
dc.b VB,     $FE,B,$FE
```

最后需要用重心法来得到输出：

我们定义 K<sub>p</sub> 各个量化因子对应的权重为：

$$\{Z, VS, S, B, VB\} = \{0, 1, 2, 3, 4\}$$

其 S12 指令为：

addsingleton:

dc.b 0,1,2,3,4;

然后对模糊控制指令的返回值 Y 进行处理

新的 K<sub>p</sub> = 30 + 5 × Y

### 2.3.2 实测结果和现象分析

以下是使用模糊控制算法前后小车的实际轨迹。

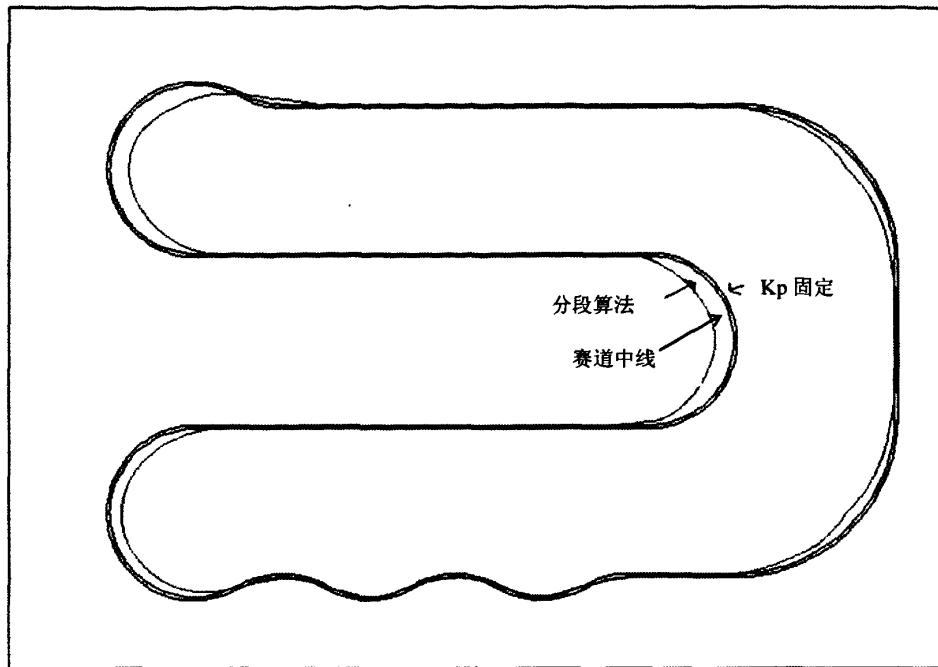


图 2.9 使用模糊控制算法前后小车在赛道上的实际轨迹

注：这张图的绘制方法是这样的，先通过串口把误差值和速度通过无线串口发到上位机，然后通过在计算机上描点画出小车实际的轨迹，有偏差但是与实际情况非常近似。

表 2.5 智能车各项参数比较

|                   | 小车跑完全程的时间 | 误差的样本<br>总体的方差 | 速度的平均值  |
|-------------------|-----------|----------------|---------|
| K <sub>p</sub> 恒定 | 17s       | 275.2002       | 1.84m/s |
| 使用模糊控制算法          | 16s       | 223.8256       | 1.97m/s |

### 2.4 本章小结

可以非常明显的看到使用模糊控制算法之后，小车虽然也有偏出赛道的情况存在，但是比用 K<sub>p</sub> 参数恒定的算法情况就好多了。这主要是因为在弯道上 K<sub>p</sub> 参数变大的缘故。K<sub>p</sub> 变大时，一旦检测到偏差，系统就能更快的恢复到平衡位置。从表中可以看到小车偏差的方差实际减小了，因而小车走的实际距离也减小了，自然跑完赛道的时间也减小了。

### 第三章 智能车系统的硬件设计

智能车作为一个完全自主的系统，首先必须完成对路径的搜寻和判断，然后通过对舵机和直流驱动电机的控制，实现小车的自动行驶。本章详细介绍了智能小车系统的整体结构以及其硬件设计。

#### 3.1 智能车系统整体结构

智能车控制系统以单片机为核心，包括舵机和为小车提供动力的直流电机两个执行机构、安装在小车前方的寻迹传感器、安装在从动齿轮上的测速传感器等反馈机构、以及为系统各部分提供电源的电源管理模块等。

舵机通过车模的机械装置实现小车的转向控制，直流电机为小车提供动力，通过齿轮啮合直接对后轮提供驱动力。模型车的硬件结构分为路径检测模块、车速检测模块、车速显示模块和电源模块等几个部分，结构框图如图 3.1 所示。

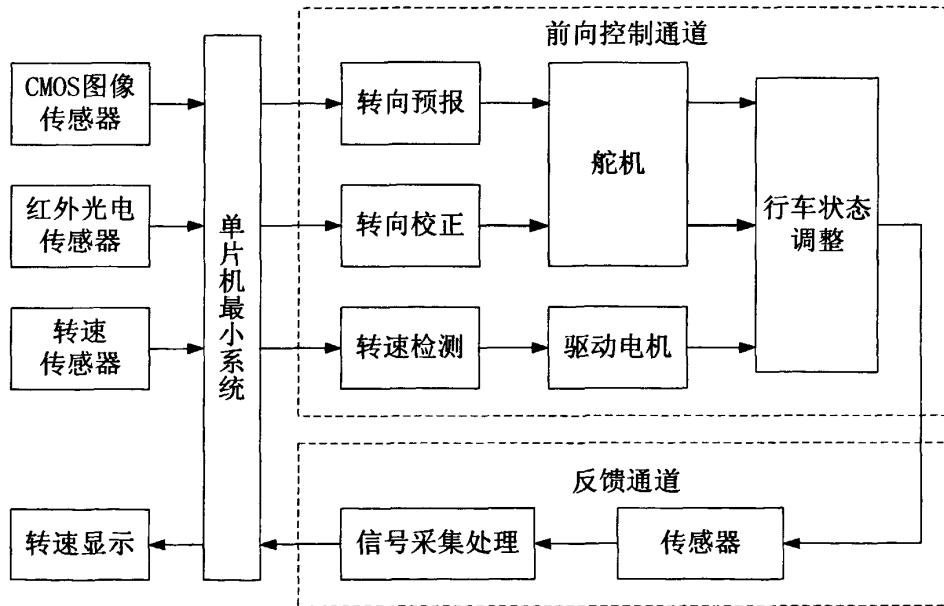


图 3.1 模型车硬件结构框图

#### 3.2 最小系统模块

##### 3.2.1 MC9S12DG128 微控制器

MC9S12DG128 微控制单元是一个 16 位的单片机，包含有一个 16 位的中央处理单元 (HCS12CPU)，128KB 的 Flash/E<sup>2</sup>PROM, 8KB 的 RAM，2KB 的 E<sup>2</sup>PROM，2 个异步串行通讯接口 (SCI)，2 个同步串行外围接口 (SPI)，1 个含 8 个输入捕捉通道或输出

比较通道的增强型捕捉定时器，2个8路10位模数转换器(ADC)。1个8路的脉宽调制模块(PWM)，1个字节数据链路控制器(BDLC)，29个独立的数字I/O口(通道A，通道B，通道K，通道E)，20个独立的带有中断和唤醒功能的数字I/O口，3个兼容CAN2.0A/B协议的单元(MSCAN12)，1个Byteflight单元和1个I<sup>2</sup>C总线接口。MC9S12DG128有16位的数据线。由于外部总线可以工作在8位窄模式，因此单个8位宽存储器也可以与低损耗系统接口。(内部锁相环PLL允许根据运行要求调整功耗和执行性能。)电路要求电源消耗和性能适应合适的工作要求。MC9S12DG128结构图如下图3.2所示。

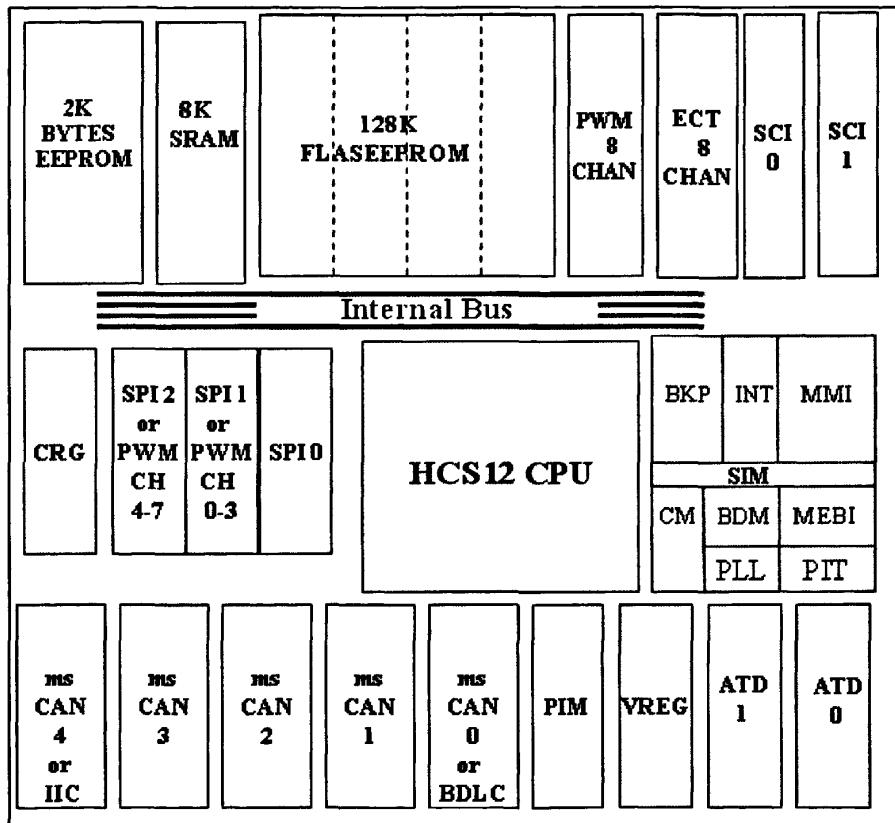


图3.2 MC9S12DG128的结构图

### 3.2.2 MC9S12DG128 最小系统板

最小系统板由以下几个模块组成：MCU、MCU的供电电路、时钟电路、复位电路、BDM下载口、串口电路以及方便调试的流水灯电路几部分组成。最小系统的框图如图3.3所示，实物图如图3.4所示。

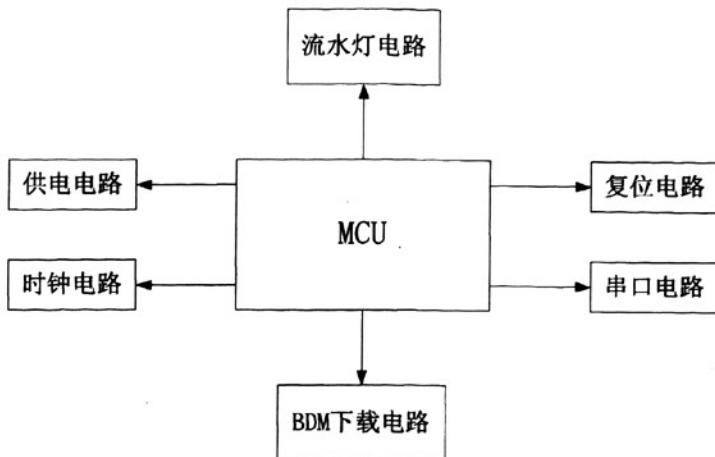


图 3.3 最小系统框图

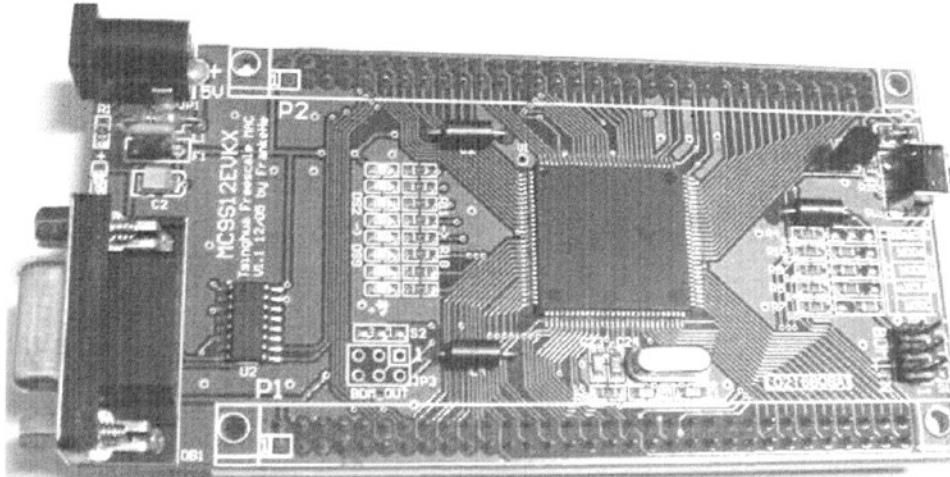


图 3.4 最小系统板实物图

### 3.3 电源模块

小车电路中共有四种电压转换模块，如图 3.5 所示：7806 稳压电路将 7.2V 的电池电压转换为 6V 的电压，供给舵机使用；7805 稳压电路将 7.2V 的电池电压转换为 5V 的电压，供给 MC9S12DG128B 开发板和测速模块使用；效率较高的 LM2575S 稳压芯片将 7.2V 的电池电压转换为 5V 的电压，供给光电传感器使用；为了避免电源电压不稳定，影响摄像头视频处理电路和单片机工作不正常，在本设计中使用了 DC-DC 变换芯片 MC34063 输出稳定的 12V 电压提供给 CMOS 摄像头。各部分的电路图如图 3.6、图 3.7 所示。

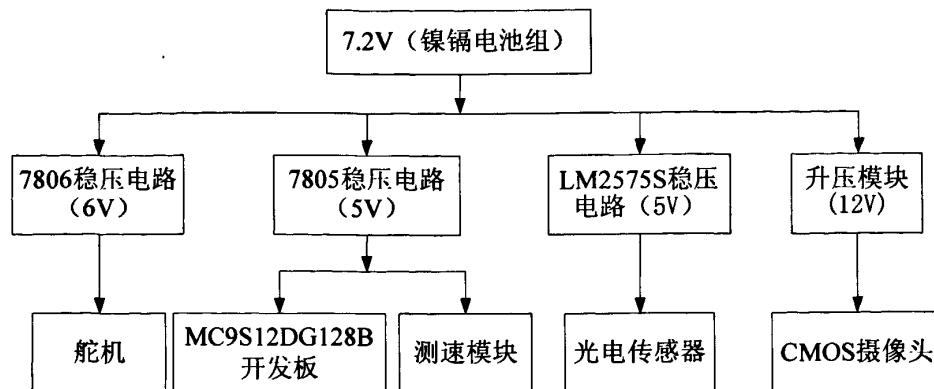


图 3.5 电源分配图

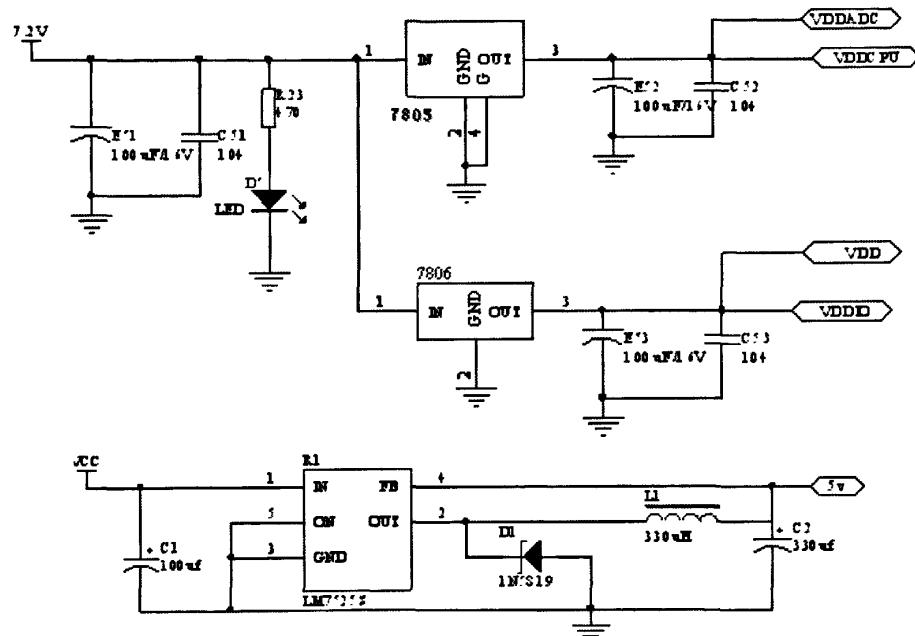


图 3.6 稳压输出电路

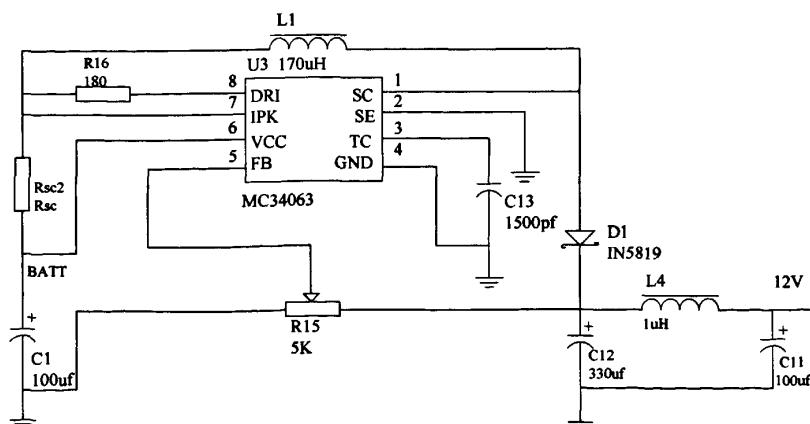


图 3.7 摄像头供电电路

### 3.4 主路径检测模块

本方案采用了红外光电管阵列和 CMOS 图像传感器的组合路径检测方式。光电管阵列用来感应短距离路径信息，控制小车的转向；CMOS 图像传感器检测较远距离的路径信息，提前确定路径参数变化趋势，调节小车速度，为转向提供预报。

#### 3.4.1 红外光电管阵列模块

为了提高转向控制的连续性，避免转向过程出现振荡，一般要求尽可能增加红外光电管阵列的密度，但传感器密度加大又会产生相互干扰，使得可靠性变差<sup>[7]</sup>。

整个系统传感器排布方式如图 3.8 所示：



图 3.8 系统传感器排布情况图

整个系统采用 8 对光电传感器，横排排列，其输出结果为 8bit 的数，假设在黑线上输出为 0，在白纸上输出为 1，如图 3.9 所示，则在这种情况下的输出值为“11100111”。实际的传感器模块如图 3.10 所示。

图 3.9 一种路面识别情况

图 3.10 实际的传感器模块排布情况

设计时利用不同颜色的路面对于红外线的反射率不同来识别路径。红外发射管发射红外线信号，经反射后被接收管接收，接收管接收到的信号强度将取决于路面的颜色。发射管的发射功率会受到上拉电阻值的影响，因此设计时使用滑动变阻器来调节发射功

23

率，从而消除器件检测距离的差异。通过设定电压比较器 LM2903 的阀值可以将接收管接收到的模拟信号转化为数字信号送到微处理器的 I/O 口，从而确定当前光电管是否处于导引线上。对于 8 对光电管构成的阵列只需要 4 个电压比较器。红外光电管设计电路如图 3.11 所示。

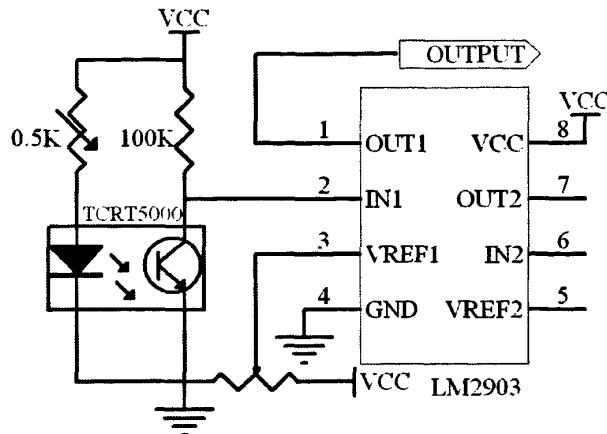


图 3.11 红外光电管电路原理图

### 3.4.2 CMOS 图像传感器模块

#### 1. 硬件电路实现

摄像头具有探测距离远、获取信息量大的优点。通过摄像头输入的数据，处理算法不仅可以提前识别前方道路的方向，而且还可以判断前方的道路是直道还是弯道，指导车速、拐弯策略。

先用 LM1881（行场同步信号分离器 U5）提取出行、场同步信号，送至单片机 ECT 模块计时捕捉。同时将视频信号送 LM311（比较器 U2）提取出行场消隐信号，再在 AD827/AD826(视频模拟运放 U3)与原视频信号相减，消除消隐信号及同步信号对提取“黑线”脉冲信号的干扰。最后用 LM311（比较器 U6）提取出“黑线”脉冲信号。这时，由于 U2 提取的行场消隐信号比原视频信号中的消隐信号宽度要小一些，所以 U6 输出的信号还残留了行场信号，形成了一些细小的毛刺，我们用一个小电容 C33 将其幅度减低，最后再用一片 74HC14（施密特触发非门 U8）彻底消除行场信号产生的毛刺干扰。具体实现电路如图 3.12 所示：

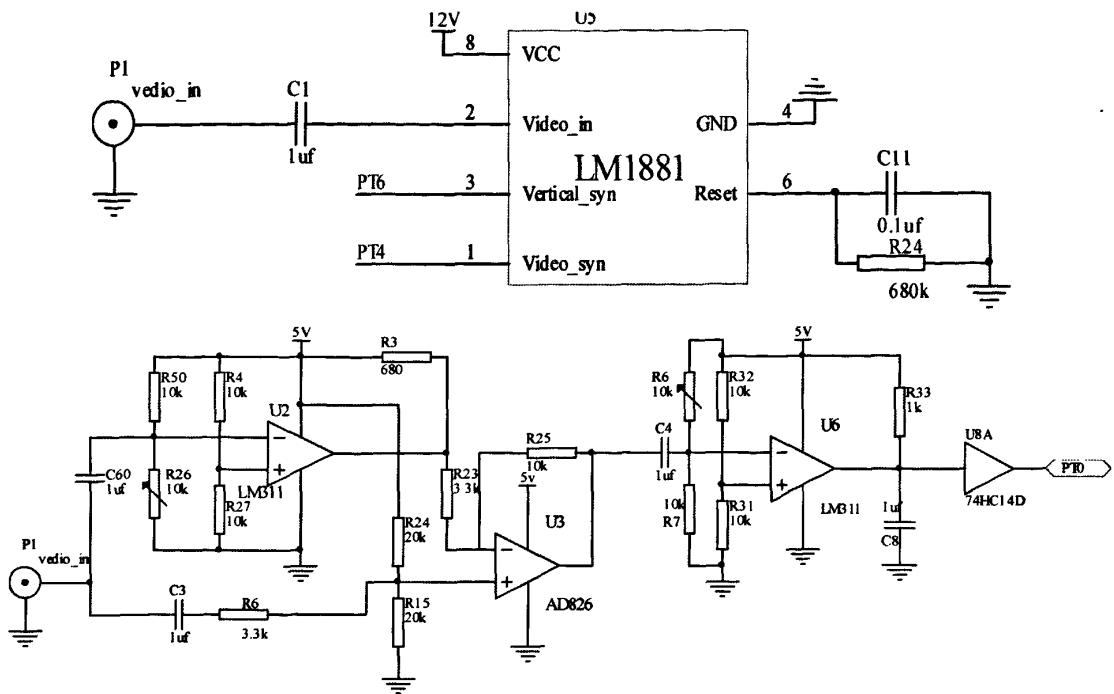


图 3.12 视频模块硬件原理图

采用检测黑白全电视信号中黑线在每一行扫描中位置的办法来获取图像信息，这是该方案最具特色的地方。与传统的使用 AD 采集图像信息的方案相比，该方案具有一下 3 个优点：

- 1) 使用模拟方式处理图像，经硬件处理后，免去黑白灰度图像的二值化处理，编程简单；
- 2) 巧妙地回避了单片机 AD 转换速度的限制，使用运行速率快的 ECT 模块来实现了图像的采集，精度高；
- 3) 由于只保存每一帧图像的黑线位置信息，数据量小，便于 MCU 存储和处理。

## 2. 取样方式及原理分析

电视信号是根据了人的视觉原理，在电视屏幕上按照一定的频率依次扫描显示静止图像，利用了人眼的视觉惰性，从而使得屏幕上显示连续的图像。

电视利用扫描的方式来依次分解顺序传送，在收端，显象管依照同样的方式将电子束扫描发射到荧光屏上重现图像。对于黑白电视信号来说，电子束的强度正比于象素的亮度。电视显示的每一幅画面都由若干行组成，显示整幅画面的频率为场频。行扫描的频率为行频。根据人的视觉特性，我国规定场频为 50Hz，利用隔行扫描的方式，奇偶场总共提供 625 行的水平分解力。为了使得在收端准确的重现电视信号，要求每一场与

每一行准确同步。于是，在电视信号中加入了场同步脉冲以及行同步脉冲来达到这个效果。场同步脉冲用于指引每一场扫描完毕的回程起点。同理，行同步信号用于指引每一行扫描完毕时的回程起点。在波形上，行场同步信号均为一向下的方波脉冲。

为了使得在电子束在行场扫描回扫时不产生回扫线，所以在回扫过程中，电视信号中加入了场消隐信号以及行消隐信号，其波形即为黑色的低电平信号。

在黑白全电视信号中，除了以上的同步信号以及消隐信号之外，还有槽脉冲以及均衡脉冲等等，由于对本方案中摄像头数据采集没有影响，所以在这里不予介绍。黑白全电视信号波形如图 3.13 所示<sup>[8]</sup>。

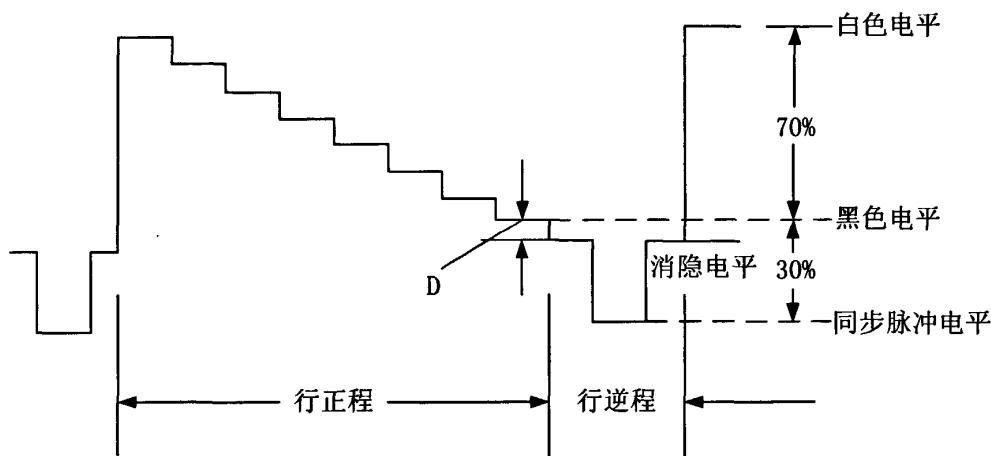


图 3.13 黑白全电视信号波形

我们的赛道是白底黑线的，所以黑线在视频信号对应的位置中将形成明显的低电平脉冲，我们将这个脉冲与行同步脉冲的时间差提取出来就可以判断出黑线的位置。但是黑线脉冲的极性与行场消隐脉冲极性相同，并且幅度较弱，所以不能直接提取（这样一来，光线强弱变化时，视频信号的直流分量发生变化，提取就发生困难）。所以我们先将视频消隐信号对消，甚至反向，然后用交流方式耦合到比较器，这样就可以在不同的行周期内检测它的最低电压部分，在不同光线照明下方便的检测出“黑线”脉冲。取样过程波形示意图如下：

1) 用比较器提取出行场消隐信号，如图 3.14（图中实线代表黑白全电视信号，虚线为 LM311 比较门限）和图 3.15 所示；

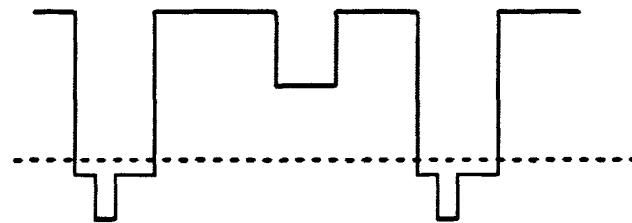


图 3.14 LM311 提取行消隐信号输入端示意图



图 3.15 LM311 比较输出行消隐信号示意图

- 2) 用运放使行场消隐信号反向并对消行场同步信号, 如图 3.16 (图中实线代表运放输出的全电视信号与行同步脉冲之差, 虚线代表比较门限) 中实线所示;  
 3) 再用比较器提取出黑线脉冲, 如图 3.16 所示;

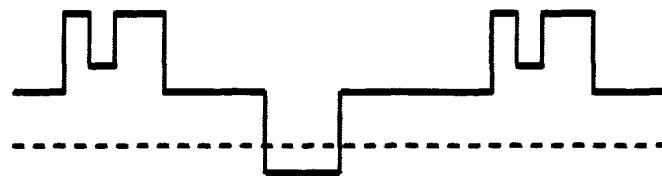


图 3.16 第二次比较信号输入示意图

- 4) 用 HC 14 施密特触发非门消除上述处理过程中产生的毛刺信号后, 成功提取黑线脉冲信号, 如图 3.17 所示。

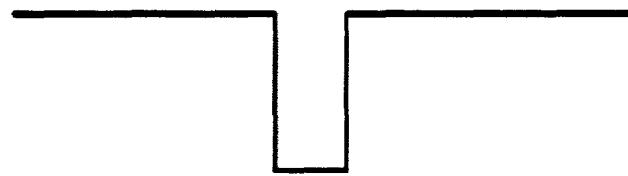


图 3.17 黑线脉冲波形示意图

### 3.5 电机驱动模块

本系统中, 直流驱动电机控制模块由组委会提供的 RS-380SH 型直流电机、功率驱动芯片 ULN2003、电机驱动芯片 MC33886 和 MC9S12DG128 微处理器组成。

图 3.18 为 ULN2003 驱动单元电路。功率驱动芯片 ULN2003 为单片高电流增益双极型大功率高速集成电路, 由 7 组达林顿晶体管阵列和相应的电阻网络以及钳位二极管

网络构成，可同时驱动 7 组大电流负载。本系统使用了其中的 2 组用于增强单片机输出的 PWM 信号驱动能力。

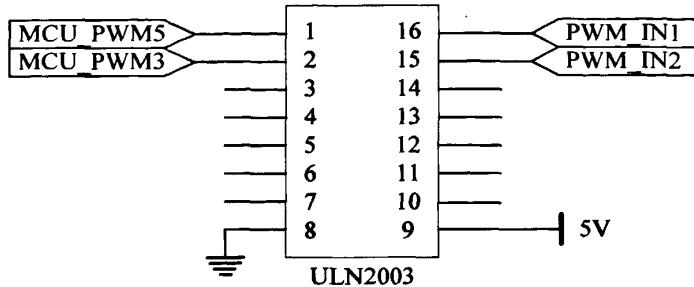


图 3.18 ULN2003 驱动单元

图 3.19 为直流驱动电机硬件控制电路图。其中电机驱动芯片 MC33886 是单片集成的 H 桥元件，其适用于驱动小马力直流电机，有单桥和双桥两种控制方式。D1、D2 为使能端，IN1、IN2 为 PWM 信号控制输入端，OUT1、OUT2 为 MC33886 输出端。由于智能车进弯时的速度给定要小于直道速度给定，所以当智能车从直道高速进弯时需要紧急降速来保证系统的稳定。当电机正转时给其以反向制动力矩的降速效果肯定要优于给占空比为零的 PWM 信号的效果。因此本系统选择了 MC33886 的全桥工作方式。

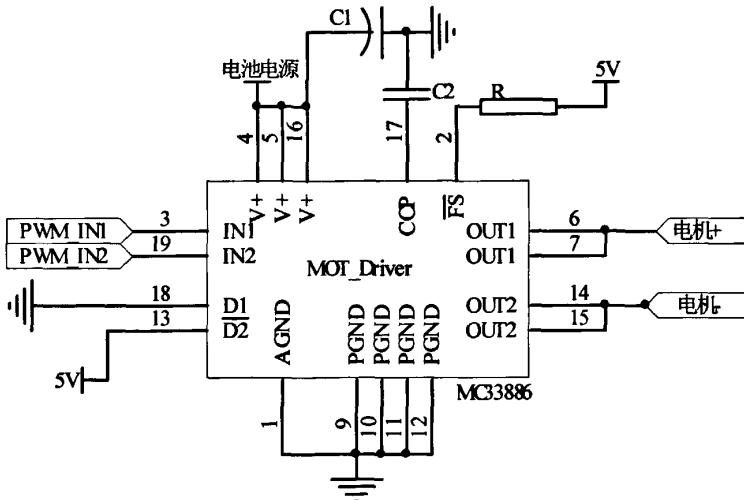


图 3.19 直流驱动电机硬件控制电路图

MC33886 的输出 OUT1、OUT2 分别与 RS-380SH 的正负极相连，IN1 和 IN2 分别与 MC9S12DG128 的 PWM5 和 PWM3 相连。当 PI 控制器计算值为负时，令 PWM5 输出的 PWM 信号占空比为零，PWM3 输出的 PWM 信号占空比与计算值的绝对值相同，并且计算值越负，OUT2 的电平就越高于 OUT1，电机为反转趋势，智能车减速；反之，当 PI 控制器计算值为正时，PWM3 输出的 PWM 信号占空比为零，PWM5 输出的 PWM

信号占空比与计算值的绝对值相同，计算值越大，OUT1 的电平越高于 OUT2，电机呈正转趋势，智能车加速行驶。

另外，由于直流驱动电机需要不停的加速与制动，这样会使电机周围的磁场频繁变化，进而干扰单片机的正常运行，因此本系统中采用铝皮将电机包裹，对其磁场进行屏蔽。

### 3.6 转向控制模块

转向控制模块使用组委会提供的 HS-925 型舵机<sup>[5]</sup>，可直接由单片机输出口控制，使用的电源为 6V 电源。舵机由伺服电机构成，其转动角度取决于控制端的输入脉冲。可转动范围为 -90° 到 90°。控制端应该为一周期在 50Hz~200Hz 的方波，当方波的高电平时间为 1.5ms 时舵机指向 0°，当方波的高电平时间为 1ms 时舵机指向 -90°，当方波的高电平时间为 2ms 时舵机指向 90°。由于受车身结构限制，实际的转动角度只能在 -42° ~ 42° 之间。舵机被放置在车体的最前方，控制前轮的转向<sup>[9]</sup>。

舵机的基本参数：

- ①型号：HS-925
- ②尺寸：39.4\*37.8\*27.8
- ③重量：56g
- ④工作速度：0.11sec/60 (4.8V) 0.8 sec/60 (6.0V)
- ⑤工作角度：45 度/400us

舵机控制方法

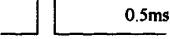
①舵机三线连接方法：黑线连地线，红线连电源线，蓝线连控制信号线。如图 3.20 所示。



图 3.20 舵机的连线方法

②舵机的控制方法<sup>[10]</sup>如表 3.1 所示。

表 3.1 舵机转角与控制信号的关系

| 输入正脉冲宽度<br>(周期为 20ms)   | 伺服马达输出臂位置   |
|---|---|
|  0.5ms |  |
|  1.0ms |  |
|  1.5ms |  |
|  2.0ms |  |
|  2.5ms |  |

试验发现理论的转弯方向和实际的有误差，因此对转向进行了软件上的调整。我们使用了 4 路 PWM 信号，PWM3 和 PWM5 控制驱动电机，所以将 PWM6、PWM7 合成 16 位 PWM 控制信号控制舵机，信号由 PWM7 引脚引出。

## 3.7 测速模块

### 3.7.1 方案选择

由于受车模机械结构的限制，必须采用体积小、重量轻的速度传感器，就目前所知有三种方案可供选择，其特点如下：

#### 1. 霍尔传感器配合稀土磁钢

在主后轮驱动齿轮处，通过打孔，将几块很小的稀土磁钢镶在里面，然后将霍尔元件安装在附近，通过检测磁场变化，可以得到电脉冲信号，获取后轮转动速度。该方案的优势是：获取信息准确，体积小，而且不增加后轮负载。劣势是：齿轮处靠近主驱动电机，容易受磁场干扰；对齿轮打孔，容易损坏齿轮。

#### 2. 光电传感器

在主驱动齿轮表面附上黑白间隔的彩带，将反射型光电传感器安装在齿轮附近，当黑白彩带交替通过时，产生一系列电脉冲，由此获取转动角度。也可以对齿轮打孔，采用直射型光电传感器，通过间断接收到的红外光，产生电脉冲信号，获取转动角度。该方案的优势是：体积小，不增加后轮负载，反射型方案对原有器件不需要再加工。劣势是：精度受到光电管体积的限制。

### 3. 光电编码器

另外购买光电编码器安装在主驱动齿轮上，通过齿轮传过来的转动信息，获取后轮转角。该方案的优势是：获取信息准确，精度高，搭建容易。劣势是：增加后轮负载；光电编码器体积较大，导致车重增加。

比较以上 3 种方案，考虑到系统的可靠性，首先排除霍尔元件方案，因为主后轮传动齿轮为塑料质地，打孔比较危险。同理排除光电传感器的直射型方案。之后，通过对市场的调查，发现很难购买到体积足够小的光电编码器，而且考虑到车重的任何增加都有可能影响到车速，因此放弃光电编码器方案。最终，我们决定采用反射型光电传感器方案。至于精度问题，由于比赛对速度参数的精度要求不是很高，因此暂时不必多考虑。

#### 3.7.2 电路设计

反射型光电传感器检测速度的原理和检测赛道黑白线时的原理是一样的。具体电路如图 3.21，收发管型号为 ITR9909，发射管的限流电阻为 360 欧姆，接收管的分压电阻为 100 千欧，这样选择电阻的好处是发射管电流适中，且接收管信号可以不经比较器直接输入 S12 单片机的引脚。

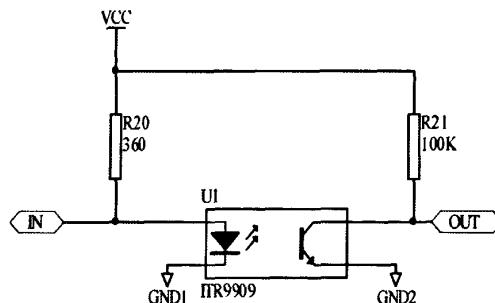


图 3.21 速度传感器电路

为了得到和小车速度一致的脉冲信号，在主驱动齿轮上粘贴了如下图 3.22 所示的纸质圆盘：

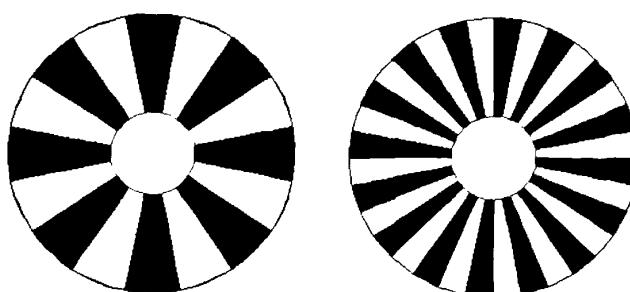


图 3.22 圆盘分割图

当圆盘随着齿轮转动时，光电管接收到的反射光强弱交替变化，由此可以得到一系列脉冲信号。将脉冲信号输入到单片机 ECT 模块中，利用其强大的输入脉冲捕获功能，同时捕获脉冲的上升沿和下降沿。根据原理，后轮转动一圈，采用如图 3.22 右侧圆盘，可以获得 32 个触发信号。通过累计一定时间内的脉冲数，或者记录相邻脉冲的间隔时间可以得到和速度对应的参数值。

我们已知：轮胎一圈周长为 16.7cm。设条纹盘共有  $e$  个黑白边缘，即轮胎转动一圈将引起  $e$  个脉冲数累积。假设对脉冲数累积的时间为  $t$ ，在这段时间内共获取了  $n$  个脉冲数累积。则赛车速度为：

$$V=16.7(n/e)/t \text{ (cm/s)} \quad (3.1)$$

黑白间隔的条纹数越多，同等速度下单位时间内所能检测到脉冲数也越多，因而速度检测的分辨率也更高。另一方面，条纹增多后，相邻脉冲间的持续时间会变短，脉冲检测的可靠性会因相邻脉冲的干扰而受到影响，权衡速度检测分辨率和可靠性两方面，根据实验检测的效果，我们采用 16 等分的圆盘。

## 3.8 车速显示模块

现场调试时，液晶显示的数值主要有以下几个：

1. 测速模块的反馈值；
2. 光电传感器检测到的值，方便现场调试。

### 3.8.1 GDM12864E 简介

点阵图形型液晶显示模块 GDM12864E 内嵌 ST7920 型中文字型点阵 LCD 控制 / 驱动器，通过对控制 / 驱动器写指令，可以显示数字、字母、汉字以及自定义图形。控制 / 驱动器 ST7920 的 ROM 中包括 8192 个  $16\times 16$  点的中文字型，以及 128 个  $16\times 8$  点半宽的数字、字母字型；RAM 中包括 1 个  $128\times 64$  点的软件绘图区域 (GDRAM) 和 4 个  $16\times 16$  点的软件造字区域 (CGRAM)。

GDM12864E 模块共有 20 个引脚。1—VSS，系统地；2—VDD，系统电源 (+5V)；3—VO，显示对比度调节；4—RS，数据 / 指令寄存器选择信号；5—RW，读 / 写模块数据选择信号；6—E，使能信号端，上升沿（前沿）锁存选择信号，下降沿（后沿）读 / 写数据或命令；7~14 为 8 位数据输入 / 输出总线；17—液晶复位控制脚；18—VEE，液晶模块升压输出用于对比度调节；15 和 19—A，LED 背光的电源正极；16 和 20—K，LED 背光的电源地。其中串口模式下 4—CS 为液晶使能脚，一般接高电平即可，5—SID 为串

行数据口，6—SCLK 为串行时钟口。

### 3.8.2 GDM12864E 与 MC9S12DG128 的接口

本设计采用了串口通讯方式。飞思卡尔主控制板的 SPI 口与液晶通讯，只需 CLK 和 MOSI 两根线即能完成对液晶的控制，非常方便。硬件接口如图 3.23 所示。

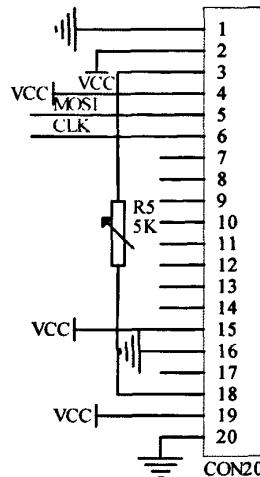


图 3.23 GDM12864E 与 MC9S12DG128 的接口电路

串口数据线模式数据传输过程如图 3.24 所示。

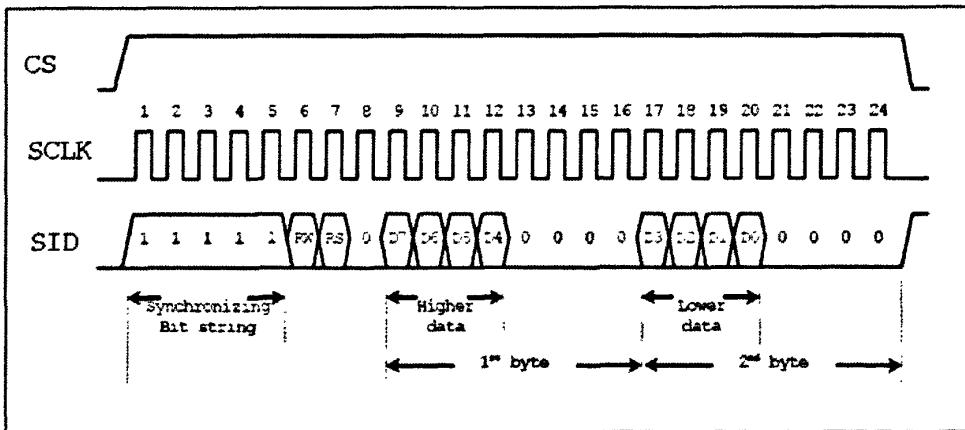


图 3.24 串口数据线模式数据传输

### 3.9 硬件的抗干扰措施

硬件干扰的基本要素有三个：

1. 干扰源：指产生干扰的元件、设备或信号。如雷电、继电器、可控硅、电机、高频时钟等都可能成为干扰源。
2. 传播路径：指干扰从干扰源传播到敏感器件的通路或媒介。典型的干扰传播路

径是通过导线的传导和空间的辐射。

3. 敏感器件：指容易被干扰的对象。如 A/D、D/A 变换器、CPU、数字 IC、弱信号放大器等。

因此，抗干扰设计的基本原则就是：抑制干扰源，切断干扰传播路径，提高敏感器件的抗干扰性能<sup>[27]</sup>。

基于以上抗干扰设计的原则，在控制器的 PCB 板设计时，应注意以下几点<sup>[28]</sup>：

#### 1. 抑制干扰源

- 1) 每个 IC 并联一个  $0.01\mu\text{F} \sim 1\mu\text{F}$  高频电容，以减少 IC 对电源的影响。
- 2) 布线时避免 90 度折线，减少高频噪声发射。

#### 2. 切断干扰传播途径

- 1) 在系统各芯片的电源输入端增加滤波电路，减少电源噪声的干扰。
- 2) 注意晶振布线。晶振与单片机引脚尽量靠近，用地线把时钟区隔离起来，晶振外壳接地并固定。
- 3) 电路板合理分区。强、弱信号，数字、模拟信号相隔离。尽可能把干扰与敏感元件远离。
- 4) 在单片机口线，电源线，电路板连接线等关键地方使用抗干扰元件，如磁珠、磁环、电源滤波器、屏蔽罩等，可显著提高电路的抗干扰性能。

#### 3. 提高敏感器件的抗干扰性能

- 1) 布线时尽量减少回路环的面积，以降低感应噪声。
- 2) 布线时，电源线和地线要尽量粗。可减小压降，并降低耦合噪声。
- 3) 将各芯片所有未用输入引脚全部接数字地，所有未用输出引脚全部接数字回路的电源。
- 4) IC 器件尽量直接焊在电路板上，少用 IC 座。

### 3.10 本章小结

本章详细介绍了智能车控制器的设计。从模块化的角度，分芯片外围电路、电源模块接口电路、主路径检测模块接口电路、电机驱动电路、舵机驱动电路、测速模块电路以及车速显示等几大模块详细论述了所设计硬件电路的原理，并给出详细的硬件原理图并在最后简要解释了系统的硬件抗干扰措施。

## 第四章 智能车系统的软件设计

根据此次我们对于智能车的整体设计方案，我们从传感器得到的外部信息输入有：光电传感器得到的车头以及车身下的黑线位置，摄像头得到的车前方的黑线图像数据，速度传感器得到的智能车即时速度。要进行的外部控制输出有：舵机转向输出，驱动电机动力输出，以及调试用的状态信息通过 LCD 显示输出。我们所采用的循迹、速度控制算法总体来说可以这样描述：根据摄像头所得到的图像信号，经过数字图像处理过后（滤波，取特征值），辅助车头光电传感器对智能车的转向方向以及速度等进行控制。为了保持智能车的稳定运行，去除电池电压对于车速度的影响，依靠速度传感器反馈形成闭环的速度控制，根据速度传感器的信号，由程序自动调整电机输出的占空比，从而让小车以相对平稳的速度运行。

### 4.1 软件调试环境

此次智能车大赛的软件开发平台为 Metroworks 公司的 Code Warrior 4.1 开发软件，其使用界面如图 4.1 所示。CodeWarrior 的功能非常强大，可用于绝大部分单片机、嵌入式系统的开发<sup>[34]</sup>。

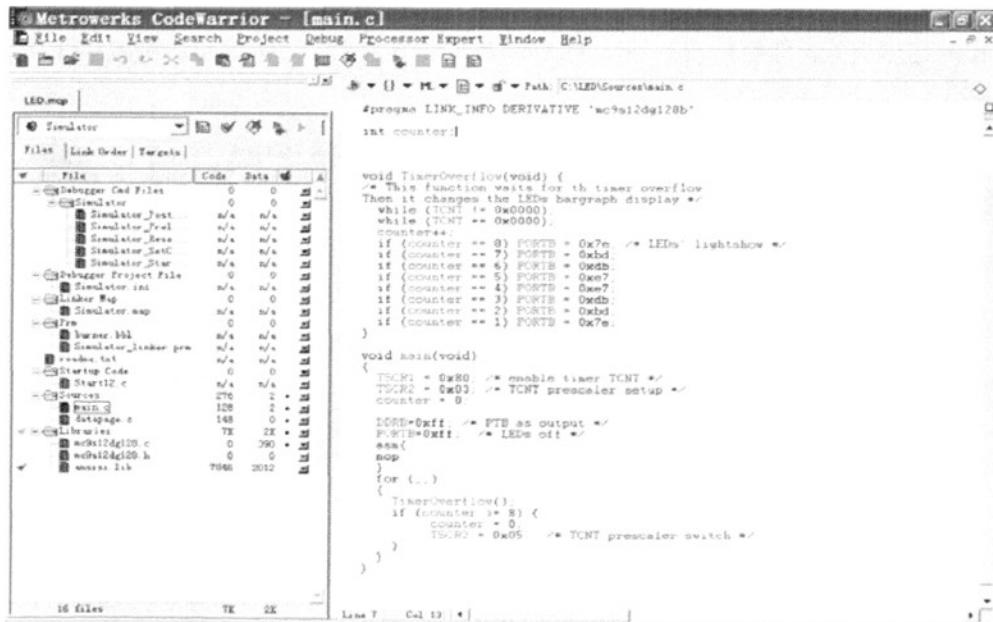


图 4.1 Codewarrior 使用界面

用户可在新建工程时将芯片的类库添加到集成环境开发环境中，工程文件一旦生成就是一个最小系统，用户无需再进行繁琐的初始化操作，就能直接在工程中添加所需的

程序代码。如图 4.2 所示，利用 BDM<sup>[43]</sup>和 CodeWarrior 4.1 自带的 hiwave.exe，用户可以进行一系列的调试工作，如监视寄存器状态、修改 PC 指针、设置断点等，这样能快速地帮助我们找到软件或硬件的问题。

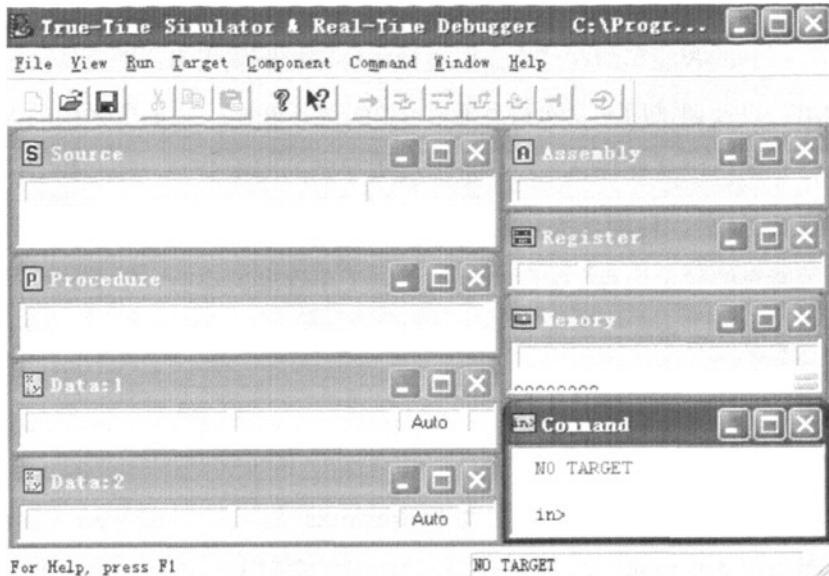


图 4.2 调试工作使用界面

在源程序编译、链接通过后，就可以进行程序下载了。下载前，先将单片机上已经存在的程序擦除，然后点击 Load，将 bin 文件夹下生成的后缀为.abs 的文件打开，就可以完成下载，如图 4.3 所示。

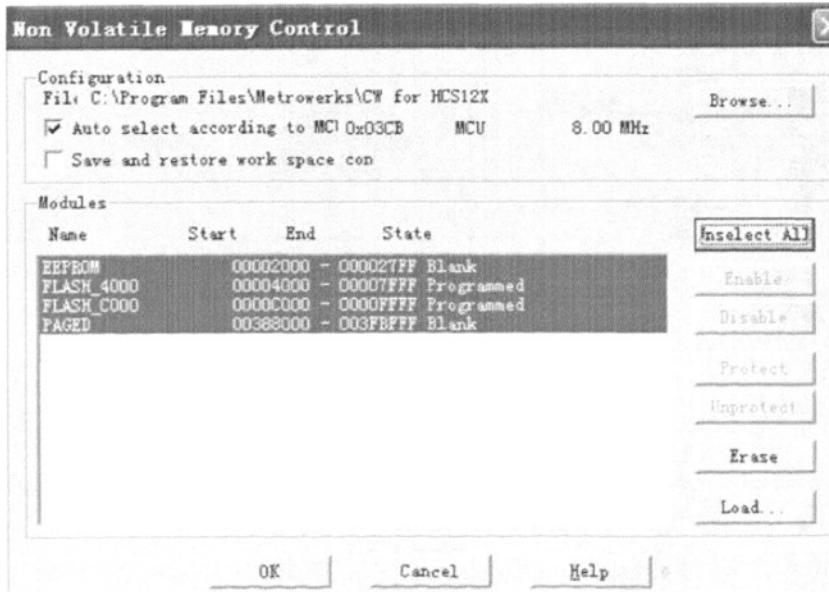


图 4.3 程序擦除烧写界面

## 4.2 系统软件设计

在整个系统设计中，用到了 7 个单片机基本功能模块：时钟模块、PWM 输出模块、外部中断模块、ECT 模块、AD 模块、串口通信模块以及普通 I/O 模块。根据系统实际需求，对各个模块进行了初始化配置，通过对相应数据寄存器或状态寄存器的读写，实现相应的功能。软件的系统架构图如图 4.4 所示：

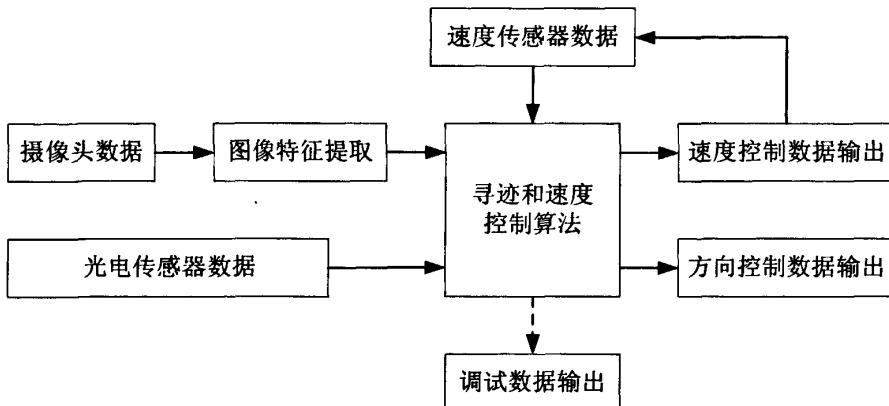


图 4.4 软件系统架构图

系统所采用算法的特点在于：通过摄像头，成功获取车前方黑线的图像数据，通过图像处理算法，甚至可以预测前方黑线走向，从而做到在弯道时提前转向，从内侧弧以较短路径通过弯道。在直道时，以较为靠前位置的数据来控制转向，从而从根本上预防智能车在直线行驶时的车身左右摆动的状况。在速度控制方面，一方面，根据当前的速度以及前方的道路状况来决策下一状态的速度策略。另一方面，在速度控制上采用闭环的控制策略，真正做到控制速度，而不是控制在一定电压状况下的 PWM 输出。针对主控芯片为 16 位单片机，计算能力有限，在面临运用大规模数据计算来进行数字图像处理的情况时，尽可能采用够用、简单的处理算法。同时，由于在初期计算时就充分考虑到了后期的分析，识别处理等情况，保证了在摄像头处理部分代码的简单、高效性。由于系统的输入输出数量较多，算法相对也经历了较多步骤。所以为了便于调试，在程序中采用了模块化的编程方法。将每一个步骤编成一个子函数，通过函数调用的方式来逐步的实现循迹以及速度控制、状态输出等等。这样不仅便于编程，同样便于调试、查错以及对算法进行改进。在 C 语言程序调用时，免不了要进行参数传递，在多种传递方式当中，程序的大部分采用了最简单也是在单片机开发时最适宜的全局变量的传递方法。将需要传递的参数都设定为统一的全局变量，在程序的任何一个部分都可以调用。这种方式充分考虑到了单片机的寻址方式，减少了堆栈操作。同时带来的好处是，可以在调试的过程中从存储空间的固定位置看到想要观察的数据，或者是将之通过 LCD 输出，

做到在离线时也能够了解到程序的运行状态。这种思想在嵌入式系统的开发过程中，能够大大的简化查错的步骤、及时地了解到程序的运行状态。

对于光电传感器的检测可以使用在主程序中的不断查询以及将之嵌入到周期中断当中去周期检测两种方法。文中采取了后一方案，原因在于采用了检测电视信号时间特征的方式来获取图像。这样可以将电视信号的场脉冲来当作一个周期的中断，周期化的获得黑线数据，周期化的对车辆的方向以及速度进行调整。其好处有二：第一、周期化的调整，可以使得我们在转向参数的选择上较为固定，不会产生调整过于频繁从而运行不稳定的情况。第二、周期的作出决策，便于速度的自适应控制。PWM 输出显现作用，以及速度数据的 AD 采集需要一定的时间来完成。如果采用不断地查询，可能会造成速度反馈滞后，甚至速度调整策略失效。程序总流程如图 4.5 所示。

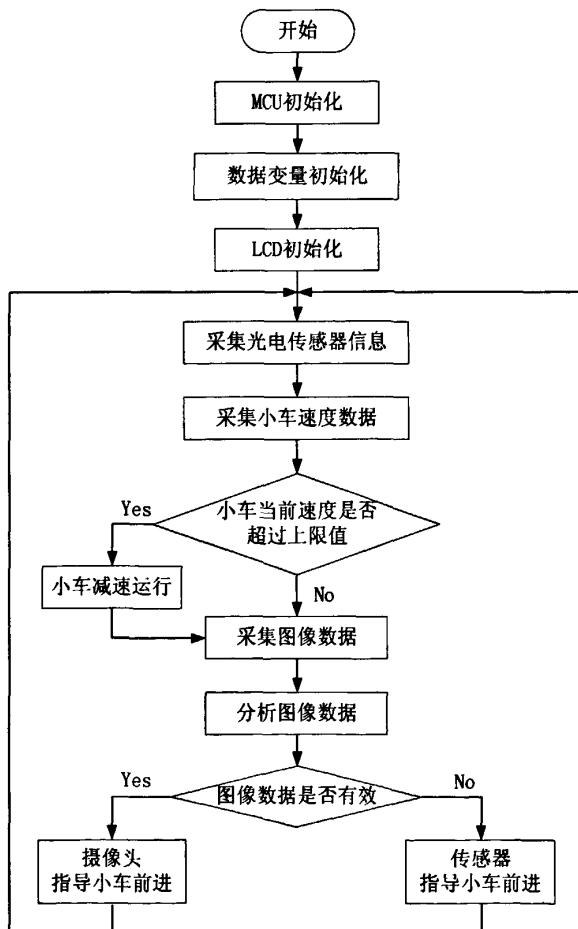


图 4.5 程序总流程图

#### 4.2.1 时钟模块

S12 单片机中有四个不同的时钟，即外部晶振时钟、锁相环时钟、总线时钟和内核

时钟。当前电路板采用的是 16MHz 的外部晶振，因此外部晶振时钟为 16MHz；默认设置下，锁相环时钟为 32MHz，总线时钟为 8MHz，内核时钟为 16MHz。锁相环时钟与外部晶振时钟的倍、分频关系由 SYNR、REFDV 两寄存器决定。总线时钟用作片上外围设备的同步，而内核时钟则用作 CPU 的同步，它决定了指令执行的速度。由于采用摄像头作为主要的寻线传感器，为了提高 AD 采集性能，增加在一行视频信号的时间内的采样点数，我们对单片机进行了超频。最终，超频后的总线时钟为 32MHz，具体设置过程为：

```
REFDV=3;
SYNR=7; //bus clock=16MHz*(SYNR+1)/(REFDV+1)
while(0==CRGFLG_LOCK); //untill VCO run stable
CLKSEL=0x80; // PLLSEL=1
```

#### 4.2.2 PWM 模块

脉宽调制模块有 8 路独立的可设置周期和占空比的 8 位 PWM 通道，每个通道配有一个专门的计数器。该模块有 4 个时钟源，能分别控制 8 路信号。通过配置寄存器可设置 PWM 的使能与否、每个通道的工作脉冲极性、每个通道输出的对齐方式、时钟源以及使用方式（8 位通道还是 16 位通道）。为了提高控制精度，我们将 PWM6、PWM7 两路 8 位通道合并为一个 16 位通道来控制舵机，这样可使舵机的控制精度从 1/255 提高到 1/65536。PWM 模块的初始化设置过程为：

```
PWME=0x00; // PWM output is disabled
PWMCCTL_CON67=1; // combine PWM6 and PWM7 to a 16-bit PWM
PWMPRCLK=0x33; // select clock A and B equal to busclock/8 = 4MHz
PWMSCLA=100; // clock SA = clock A/2/100 = 20kHz, control infrared LED array
PWMSCLB=1; // clock SB = B clock/2/1 = 2MHz
PWMCCLK=0x1C; // select clock A for PWM6 and PWM7, clock SA for PWM4, clock
PWMPOL=0xFF; // all PWM channels are high at the beginning of the cycle
PWMCAC=0x00; // select left aligned outputs for each PWM channel
PWMPER6=0x9C;
PWMPER7=0x40; // 0x9C40 = 40000,
//set period of PWM7 equal to 1/4MHz*40000=0.01s or 10ms
PWMDTY6=0x19;
PWMDTY7=0x00; // 0x1900 = 6400, thus the duty cycle is 6400/40000 = 16%
```

### 4.2.3 外部中断模块

视频信号的行同步有两种方式输入 S12 单片机，一种是通过 IRQ 外部中断引脚接入，另一种是通过 ECT 模块接入。实际调试中，通过跳线对这两种方式进行选择。这里先介绍外部中断模块的使用。首先，在初始化程序中应设置外部中断的捕捉边沿，并开启外部中断。

```
INTCR IRQE=1; // IRQ select edge sensitive only
```

```
INTCR IRQEN=1; // external IRQ enable
```

然后，当检测到下一场视频信号的到来时，开启中断，在中断服务程序内完成对所需的行进行扫描，结果记录在一个二维数组中。扫描结束后，关闭中断，对数据进行分析处理。下面是中断服务程序的伪代码：

```
interrupt 6 void IRQ_ISR()
{
    行计数加 1;
    if(是所需行信号)
    {
        for(i=0;i<一行中的最大有效点数;i++)
        {
            等待 AD 转换结束;
            将结果存入一维数组 sample_data[]中;
        }
    }
    else
        将 sample_data[]中的数据转存到二维数组中;
}
```

### 4.2.4 ECT 模块

增强型捕捉定时器模块，顾名思义，通过一系列可供设置的控制寄存器和可供读写的数据寄存器对端口功能进行了扩展。总的来说，ECT 模块能实现输入捕捉和输出波形产生两大功能。方案中，有 4 路信号输入 ECT 端口。首先，是由视频信号提取芯片（LM1881）得到的行同步、场同步和奇偶场信号。利用 ECT 模块的脉冲捕捉工作方式，并通过查询 TFLG1 寄存器中的对应标志位来判断是否已获取相应信号，可以准确同步每场视频信号，完成数据点的采集。

```

TIOS=0x00; // PT0-PT3 is set for input capture
TCTL4=0b01010001; // capture rising edge on PT3, PT2, PT0

```

其次，是速度传感器输出的脉冲信号。采用脉冲累加的 LATCH 工作方式，可以很准确地获取相同时间间隔内(32ms)的脉冲累加数 (PA1H)，从而得到小车的当前速度。具体设置过程如下：

```

TSCR1_TEN=1; // the time mode is enabled
TIOS=0x00; // PT0-PT3 is set for input capture
TCTL4=0b00001100; // capture any edge on PT1
ICSYS_BUFEN=1; // open the hold register
ICSYS_LATQ=1; // the latch mode is enabled
ICPAR_PA1EN=1; // 8-bits Pulse Accumulator Enable from PT1
MCCTL_MODMC=1; // modulus counter is updated with the latest value
MCCTL_MCPR=3; // prescale factor is 3
MCCTL_MCEN=1; // the modulus counter is enable
MCCNT=64000; // the period is 64000/2MHz = 32 ms

```

#### 4.2.5 AD 模块

模数转换器模块有 8 路通道，精度可设置为 8 位或 10 位。另外单次转换时间、转换结果类型、转换完成是否产生中断、转换序列长度等都是可以自行设置的。本次设计中，主要有 3 路模拟信号输入 AD 模块，首先，是最重要的摄像头视频信号，其次是电源电压检测和 12V 升压检测。因为摄像头视频信号采集必须要有较高的精度保证，而电压检测并不需要太高的实时性，因此，采用单通道方式分别采集各路模拟信号，具体设置过程为：

```

ATD0CTL2=0xC0; // apply power to AD, fast flag clear, disable conversion wait
ATD0CTL3=0x08; // one conversion per sequence, no FIFO, ignore freeze
ATD0CTL4=0x81; // select 8-bit resolution, 2 AD clock periods
ATD0CTL5=0xA0; // right justified mode, select unsigned result, single channel
ATD0DIEN=0x00; // AD digital input disable

```

#### 4.2.6 普通 I/O

S12 的所有 I/O 通过端口复用可以实现诸多功能，当然它们也可以配置成普通 I/O。根据系统设计，普通 I/O 的用途主要有：

1. 33886 控制引脚；

2. 拨码开关;
3. 按键;
4. 装饰灯, 蜂鸣器。

### 4.3 摄像头图像数据采集以及处理模块

#### 4.3.1 图像数据获取

由上文介绍可知图像数据以黑线位置的形式获得。具体流程如图 4.6 所示。

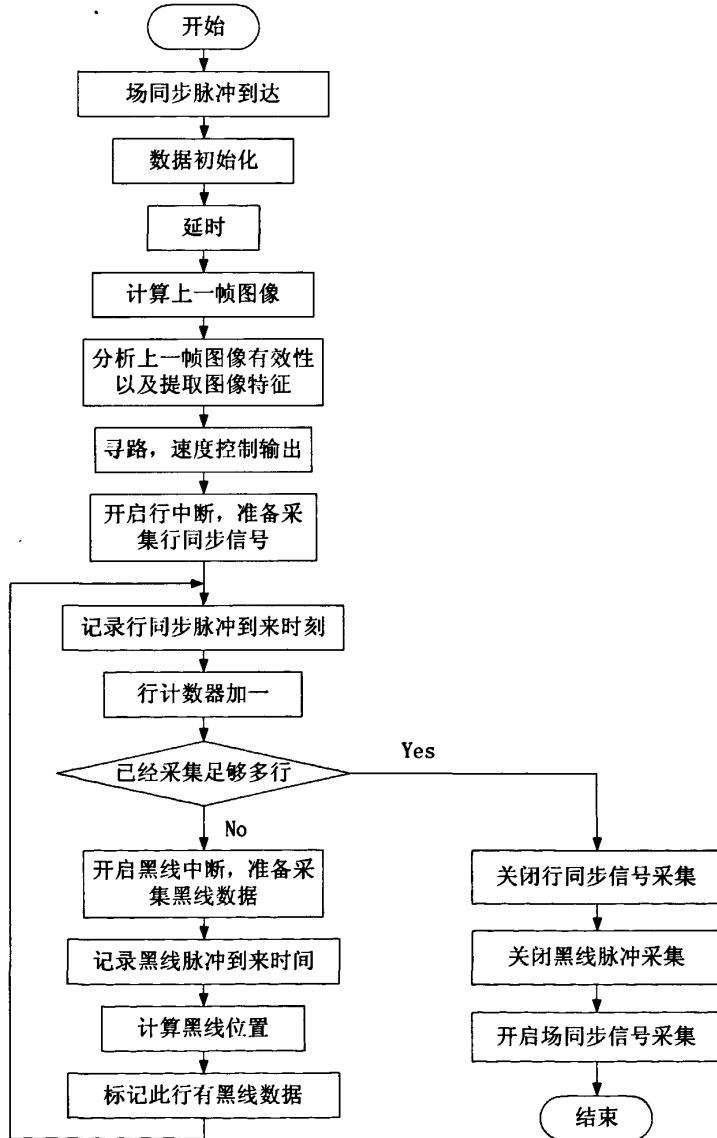


图 4.6 图像获取流程图

具体程序及注解如下：

1. 场中断服务程序。

场中断服务程序流程图如图 4.7 所示：

当新的一场到来时，ECT 已经将脉冲到来时刻时的计数器值送入了 TC6 寄存器，由于处理算法在开始时并不关心这个值具体为多少，所以，在程序的第一步，应当将中断标志清除，以防止再次重复的响应这一个中断。在初始化时标志位快速清零有效的情况下，只需要读出 TC6 的值即可。随后，由于所需要的数据不是在这一帧的开始，所以处理算法在主场同步开始后获取数据，因此在此期间关闭行中断，同时调用处理算法完成对上一帧图像的处理以及循迹、速度控制算法的计算、决策等等。但是这一部分不属于图像的采集，所以该部分将会在以后阐述。

经过一定时间后，电视信号已经扫描到了采集位置，此时打开行脉冲信号所在通道的中断使能，准备采集行脉冲到来时的时间值。与此同时，在程序里面设定了一个行计数器，用于记录当前所得到的行信息是在那一帧里面开始采集以来的第几行。在场同步信号的脉冲造成的中断服务程序中，需要对此记数器做清零处理。为了保险起见，场中断使能在采集到了足够的数据以后才重新打开。

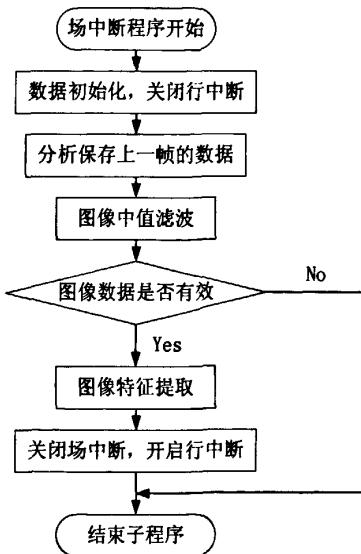


图 4.7 场同步信号中断服务程序流程图

## 2. 行中断服务程序。

行中断服务程序流程如图 4.8 所示：

此时，ECT 将脉冲到来时刻的系统主定时计数器值送到了 TC4 寄存器当中。当保存这个值，系统自动清除了行中断标记。为了回避初期的信号毛刺，我们仍然需要暂时的关闭黑线采集的中断，在很短的一段时间过后再次打开。另外，在采集黑线行信号计数器中做加一的处理，区别同一帧中不同行的信息。由于本方案并不需要采集图像信号

的全部，在场中断服务程序中回避了一帧中前面的若干行以后，当行中断服务程序中判断当前行计数器值已经超过了采集范围，通过关闭行中断使能来回避后面的若干行。最后，程序打开黑线脉冲信号所在通道的使能，准备采集黑线脉冲。

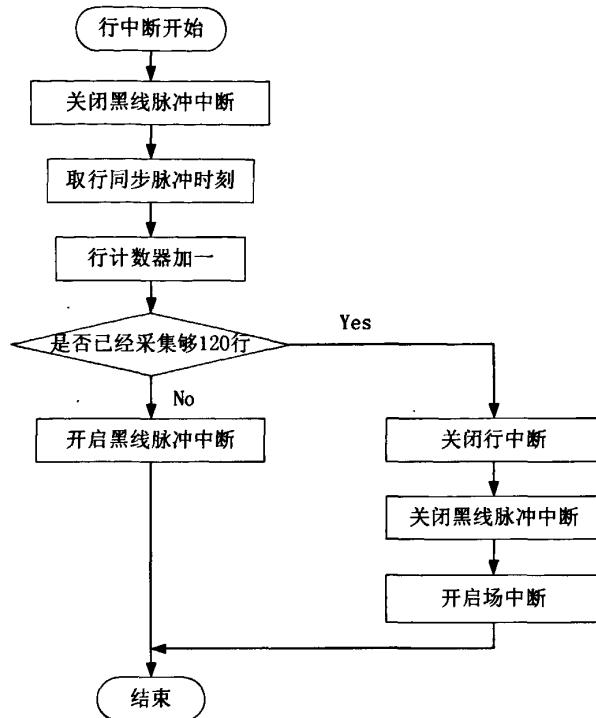


图 4.8 行中断服务程序流程图

### 3. 黑线脉冲中断服务程序。

黑线脉冲中断服务程序流程如图 4.9 所示：

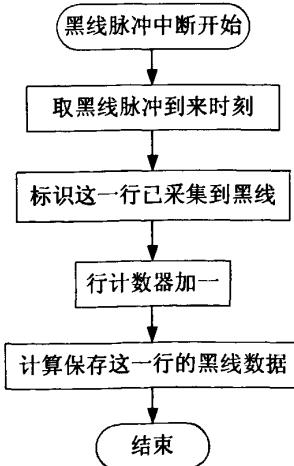


图 4.9 黑线脉冲中断服务程序流程图

与行中断情况相同，ECT 将黑线脉冲到来时刻的系统主定时计数器的值送到了 TC0

寄存器当中。将该值之与在其以前发生的相邻的行同步脉冲到来时间做减法，即得到在当前行中黑线所在的位置。不过这样做有一个问题：主定时计数器可能在自由运行时，可能会在行同步信号与黑线脉冲之间的这段时间段内溢出，这样的话如果直接做减法会得到错误的数据，所以在程序中先要做个判断。正常情况下，黑线脉冲时间值应当大于对应行同步信号时间值，此时值相减。发生溢出时，黑线脉冲小于行同步脉冲，黑线位置时间值应当为：

黑线位置时间=计数器最大值一行同步信号时间值+黑线脉冲时间值。

此外，摄像头在这一行没有照射到黑线的时候，在这一行的有效时间内没有黑线脉冲，不会运行中断服务程序。图像数据的变量值不会刷新，这样会造成在获取图像时的错误。所以在每一行的中断服务程序里面(包括行同步脉冲中断服务程序与黑线脉冲中断服务程序)，我们设定了一个全局的标记，当这一行产生了黑线中断时，标记有效，表示这一行有黑线，这样在每一帧结束的时候通过判断这一标记的有效性，就可以对那些没有通过黑线脉冲中断服务程序做出刷新的数据值做刷新处理。

#### 4.3.2 图像数据处理

图像数据处理流程如图 4.10 所示：

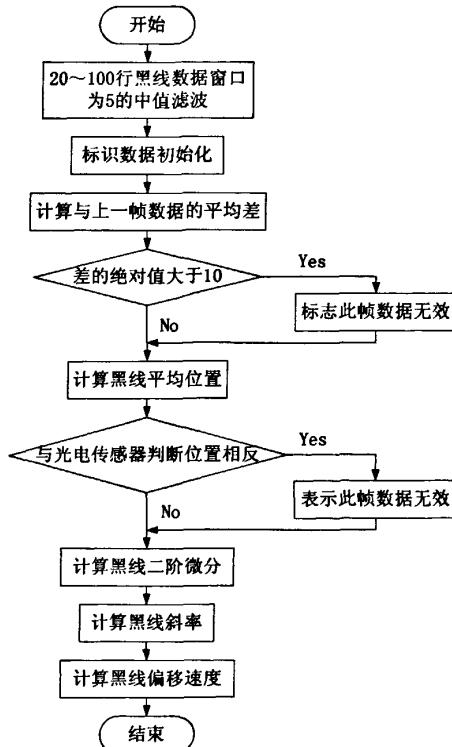


图 4.10 图像处理流程图

该数据获取方案简单易行，在处理器采集速率较低情况下，充分利用图像传感器的优点，获取了关于道路中黑色引导线的信号，该图像与一般意义上的数字图像有所不同。在程序中没有对采样点进行二值化，因为图像采集模块从模拟上已经对其进行了二值化。这种方法可以在一定程度上简化程序，使得单片机免于采用复杂的图像处理算法。但是它在用最小的代价获得了最大的信息量的另一方面，也失去了在软件中对黑线进行辨别的灵活性。当小车在转向、或者是偏离黑线一定角度的情况下，可能把赛道外的地板当作是黑线，所以在算法程序中必须要对图像传感器获取信号的有效性进行判别。

本方案采用了一个很简单的鉴别算法。因为系统采用的是存储黑线的位置信息，而不是每一帧的象素信息，所以数据量得到了大大的减少。在这种情况下，在程序中存储了当前帧之前的3帧的信息。鉴于发生上述的将赛道边沿误判断成黑线的情况，黑线数据一定是从图像的一边逐渐消失，由突然从图像的另外一边出现。所以，在发生错误时，摄像头所认定的黑线位置与传感器探测到的黑线位置一定是相反的。所以在程序算法中加入了一个判断当前黑线方向的标志，通过判断这个标识，可以提出坏帧。另外，在正常情况下，由于车的连续运动，系统连续采样，而黑线又一定是连续的。所以可以认定，图像的相邻两帧的差距不会很大，只需要对其做一个差值，对于变化过大的相邻两帧数据都认定为无效，这样就可以很简单的剔除了坏帧，判断出黑线数据的有效性。

鉴于采用了功耗较低，价格比较低廉的CMOS摄像头，所以不可避免的会产生噪点。这些点的出现使得采集到的黑线位置信息在某些行上会有错误的数据。所以在对图像进行识别分析之前，要对图像数据进行滤波，去除帧内的明显的不连续的坏值。本方案采用了数字图像处理中常用的降噪算法：中值滤波。

中值滤波是一种典型的低通滤波器，它的目的是保护图像边缘的同时去除噪声。所谓中值滤波，是指把以某点(x,y)为中心的小窗口内的所有象素的灰度按从大到小的顺序排列，将中间值作为(x,y)处的灰度值(若窗口中有偶数个象素，则取两个中间值的平均)。中值滤波能够去除孤立点噪声、线噪声同时保持图像的边缘；对数据降噪有很好的效果。中值滤波能够去除的噪点个数是窗口大小的一半。经过权衡效果以及单片机的处理能力，选择窗口为5的中值滤波。

对于已经经过了降噪，分析有效性以后的图像，已经是没有任何差错，可以进行图像特征分析了。本方案算法提取了以下的黑线特征：黑线的中心位置，黑线的斜率，黑线的二阶微分以及相邻两帧的差值信息（作为图像偏移速度）。

## 4.4 光电传感器模块

根据传感器模块的硬件设计方案，当传感器探测到了黑线时，相应 I/O 口的相应位送出低电平，所以只需扫描相应的 I/O 口，即可以得到传感器探测到的黑线数据。

采用了一排的传感器方案，车头的有 8 个，由于 MC9S12DG128 单片机在普通单片工作模式下只有 8 位的 I/O 口，所以将车头的信号刚好送到了一个 I/O 口。

此时从 I/O 口得到的数据只是在相应位上表示了黑线的位置，在数值上是非线性的关系，为了后面算法处理的方便，将位于车中线位置的传感器坐标设定为零，前进方向的右方为正，相邻两个传感器的坐标差为二，将传感器数据转换为黑线的位置坐标。差值为二的原因是在很多情况下同时会有相邻的两个传感器照射到黑线，此时认定黑线位置是在两个传感器之间。这种算法相当于在实际的光电传感器之间内插了虚拟的传感器，提高了光电传感器所探测到的黑线的斜率和黑线的中心位置探测精度。

## 4.5 测速模块

### 4.5.1 速度获取

在每一控制周期开始，S12 读取脉冲累加器中的数值，然后与第 m 个控制周期前的脉冲累加器值作差，这样就求得了之前 m 个控制周期时间里共有多少个脉冲数累积，从公式 3.1： $V=16.7(n/e)/t(cm/s)$  可求得赛车速度值。程序流程如图 4.11 所示。

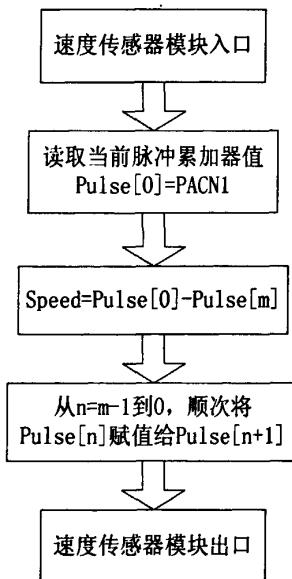


图 4.11 速度获取

### 4.5.2 速度传感器准确性测试

测试一：

让赛车在赛道上行驶，每 20ms 就将赛车当前速度值通过串口发送到电脑上一次。对赛车行驶的正好一圈中的速度值进行累加求和，再乘以 20ms，得到的总共行驶距离为 27m，而赛道总长为 26m。两者的相对误差不到 4%。这说明，速度传感器测量基本准确。

### 测试二：

驱动电机空载运行时，改变脉冲获取方式，在上升沿获取方式、下降沿获取方式和两沿同时获取方式间进行切换。不改变驱动电机占空比设置，在三种情况下，单位时间内捕捉的脉冲数较理想地满足：上升沿获取下的脉冲数=下降沿获取下的脉冲数=两沿同时获取下的脉冲数/2。

在脉冲获取方式不变的情况下，改变驱动电机占空比设置，检测的速度值与占空比近似成线性比例关系。另一方面，空载情况下，驱动电机速度确实与输入 PWM 波形占空比的大小近似成线性比例关系。

以上间接说明脉冲检测的可靠性。

## 4.6 电机和舵机驱动模块

### 4.6.1 驱动电机性能测试

驱动电机开环时的响应曲线如图 4.12：

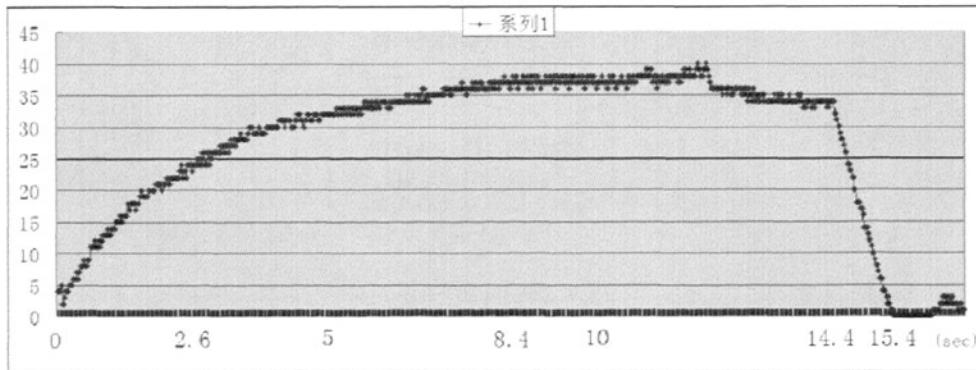


图 4.12 驱动电机开环时的响应曲线

可以看出，小车速度在增加时，速度曲线近似一递增的对数曲线。小车速度达到稳态速度的 60% 需要 2.6 秒时间，而要达到稳态速度需要 8.4 秒的时间。而在速度减小时，速度成直线下降，从稳态速度下降至零只需要 1 秒时间，远小于速度上升时间。

因为驱动电机在减速时（占空比设置为较低的值）采取的是电磁制动方式，所以，小车的减速快于一般的自然减速。因而，相对于速度递增时的电机响应时间，小车递减时间较短。

#### 4.6.2 舵机的性能测试

通过试验，得出舵机的转角和 PWM 值之间的对应关系，如图 4.13 所示：

可以看出，在车体向右转的时候，相对于理想模型下左前轮的转动角度，车模右前轮的转向不足，尤其体现在左轮转向大于  $14.3^{\circ}$  时。在车体向左转的时候，相对于理想模型下左前轮的转动角度，车模右前轮的转向过度，尤其体现在左轮转向大于  $11.4^{\circ}$  时。

比较左转和右转，左转时候的情况更加接近于理论模型。

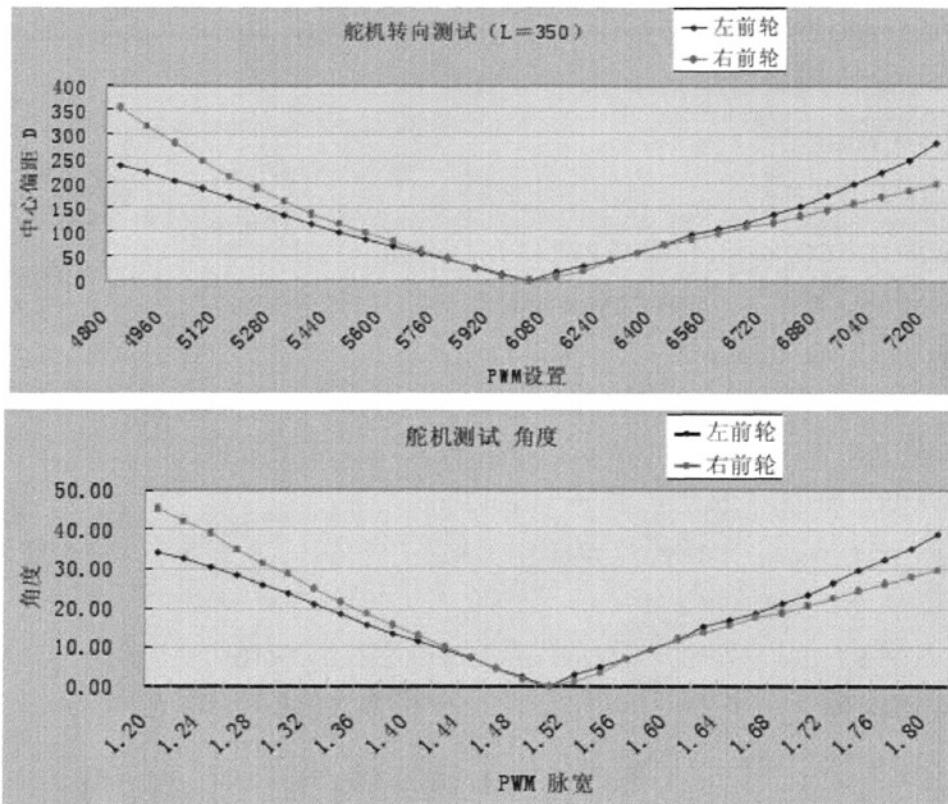


图 4.13 舵机的转角和 PWM 值之间的对应关系图

改进转向系统的方式为缩短两侧联动杆。在右转时，缩短的联动杆将增加右轮的转向角。在左转时，缩短的联动杆，将减少右轮的转向角。缩短左侧联动杆长度，同样也可以起到上述效果。为使车模的转向系统更加接近理想模型下的状况，在正式调整中需要对两根联结杆都作微调。考虑到 PWM 信号设置的方便，调试中将 1.5ms 下脉宽设定为直线行驶的 PWM 控制量。

#### 4.6.3 程序代码

运行电机的转速以及舵机的转角，在软件上都是通过对 PWM 波形占空比进行设置来相应控制的。

前面提到，舵机转角控制需要将两个八位寄存器合成为一个十六位寄存器。要将程序中的舵机位置信号，比如 6000，要分配给 PWM6 和 PWM7，分配时这两个端口的赋值必须是 16 进制，比如 6000 的十六进制为 0x1770，那么赋值时就必须为 PWMDTY6=0x17，PWMDTY7=0x70，因此这就牵涉到如何将 1 个十进制数分配为 2 个十六进制数的问题。有 2 种方案，一种是除法取余，另一种是移位操作，前者编译生成的代码比后者要多，所以采用移位操作来实现，即取高位时与 0xFF00 先作“&”计算，然后将所得到的数向右移 8 位(>>8)，即可取得高 8 位；同理，取低 8 位时只要与 0x00FF 作“&”计算即可。

程序代码如下：

```
/*舵机的子程序*/
PWMCTL_CON67=1;//PWM6,PWM7 合并 16 bit
PWMPRCLK=0x33;//A=B=32M/8=4M
PWMSCLA=100;//SA=A/2/100=20k
PWMSCLB=1;//SB=B/2/1=2000k
PWMCLK=0b00011100;//PWM6, PWM7-A;PWM2,3-SB;PWM4-SA
PWMPOL=0xff;//位极性 = 1 Duty = High Time
PWMCAE=0x00;//对齐方式—左对齐
PWMPER6=0x9c;// 
PWMPER7=0x40;//20000=0x4e20;Frequency=A/20000=200Hz
PWMDTY6=0x19;// 
PWMDTY7=0x00;//舵机 DTY 初始值
PWME_PWE7=1;//舵机 enable
/*电机的子程序*/
PTJ_PTJ5=1;//"1"enable 33886 motor,"0"disable it
PWME=0x00;//PWM is disabled
PWMPRCLK=0x33;//A=B=32M/8=4M
PWMSCLA=100;//SA=A/2/100=20k
PWMSCLB=1;//SB=B/2/1=2000k
PWMCLK=0b00011100;//PWM6,7-A;PWM3,5-SB;
PWMPOL=0xff;//位极性 = 1 Duty = High Time
PWMCAE=0x00;//对齐方式—左对齐
```

```
PWMMDTY3=20;//驱动电机 Duty cycle  
PWMPER3=200;//驱动电机 Frequency=SB/200=10K  
PWME_PWME3=1;//驱动电机 enable
```

## 4.7 软件抗干扰问题

外部的干扰或机器内部硬件瞬时故障会使程序计数器偏离原定的值，造成程序失控。为了避免这种情况的发生，在软件设计时，可以采样设立软件陷阱的方法加以克服。

具体的做法是，在程序空间中，每隔一段指令(通常为十几条指令即可)，把连续的三个单元置成”NOP”(空操作)。这样，当出现程序失控时，只要失控进入这众多的软件陷阱的任何一个，都会被捕获，程序自动恢复正常，继续执行后面的程序。这种方法虽然浪费了一些程序空间，但可以保证程序不会跑飞。

## 4.8 本章小结

本章首先从软件的总体结构入手，分路径识别检测、测速计算、电机和舵机驱动程序等若干模块详细说明了驱动控制器的软件流程，给出了各个模块的程序流程图。同时在本章的最后提出了若干在软件编程中需要注意的问题。

## 第五章 系统调试与结果分析

车模分两部分：硬件部分和软件部分。所以在调试过程中分别分析测试了这两部分的各个模块，以便查找设计漏洞，改进方案。

### 5.1 测试方案及设备

在硬件测试中，使用标准电源、万用表、示波器以及系统板上自带的 LED 灯作测试。测量数据包括电压、电流以及相关波形等。

软件测试中，先采用 BDM 模式下调试模式单步运行程序，观察各控制寄存器是否被正确配置，接下来对各个模块的软件进行单独调试，最后将小车放在我们自制的赛道上进行系统总测试。

### 5.2 硬件部分测试

#### 5.2.1 自制系统板测试

制作好系统板后，先测量各个原件与焊盘是否连接好，防止虚焊；在确定每个部件焊接良好的情况下，再利用万用表来检测单片机各个引脚间是否存在短路，防止上电后烧坏芯片；确定引脚没有短路之后，仍然是利用数字万用表检查单片机的各个引脚是否和希望的部件连接上。再利用数字万用表导通测试档，如果测量电源输入端时发出“哗、哗”的响声则电源电路短路，不能加电；如有“哗”的一声响，则认为是电源电路正常，电源滤波电容工作良好；无响声，则需检查滤波电容是否接好，是否正常。这样在上电之前的检测步骤基本上完成，该部分可以保证硬件的正确，杜绝了上电之后由于短路情况的存在而烧坏元器件的可能。

在系统板接上 7.2V 标准电源之后，首先利用示波器测量 7805 电源芯片输出电压 VCC，测得 VCC 为 5.04V，噪声电压峰峰值 14mV。测得电源输入 29 脚 VDDX 和 77 脚 VDDR 的电压 5.02V，说明电源电路正常。之后测量 MC9S12DG128-CPU 芯片的 9 脚 VDD1 和 45 脚 VDD2 的输出电压，发现有 2.5V 电压输出，单片机内核供电正常。

电源部分正常工作后，接上 BDM 下载头，检查电脑是否能够监控到 MCU。如果能监控到 MCU，则将一个把系统 16M 时钟配置成 24M 的流水灯程序下载到 MCU，系统板上 LED 依次闪烁，证明单片机的 PLL 锁相环电路基本运算单元工作正常。再按下复位按钮，LED 全部熄火，松开按钮后 LED 又依次闪烁起来，说明复位电路也正常。下一步就是检测复位电路能否正常工作。测量该部分是利用单片机的 42 脚 RESET 信号

电平来实现。当单片机正常工作的时候，RESET 为高电平，当人为按下复位开关之后，RESET 应该变为低电平。用示波器测量过程中，当单片机正常工作的时候，42 脚测量为 5V，按下复位开关之后，示波器显示的电压明显降至 0V 电平左右。经检测复位电路工作正常。

### 5.2.2 视频图像采集系统测试

用示波器监视了摄像头视频输出信号，及视频图像处理模块的波形，调整 LM1881 的输出电平，使单片机的相关 ECT 脚可以接收到正确的脉冲信号。测试到的波形如图 5.1、图 5.2、图 5.3、图 5.4 所示：

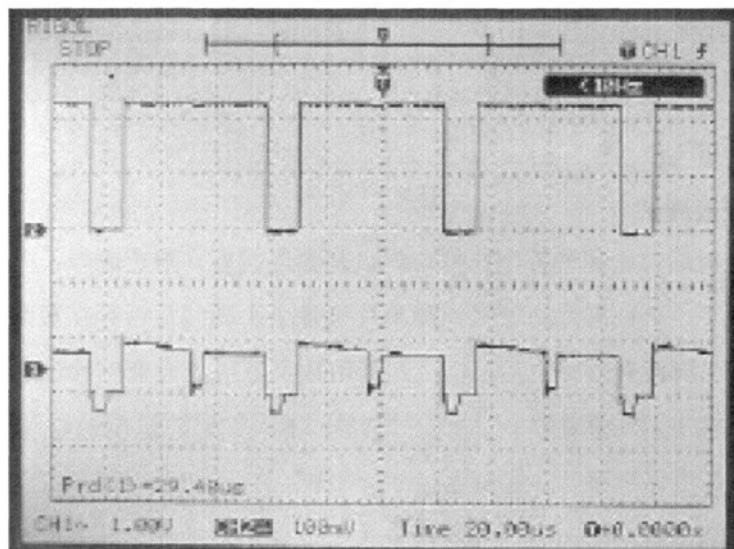


图 5.1 赛道的全电视信号波形图

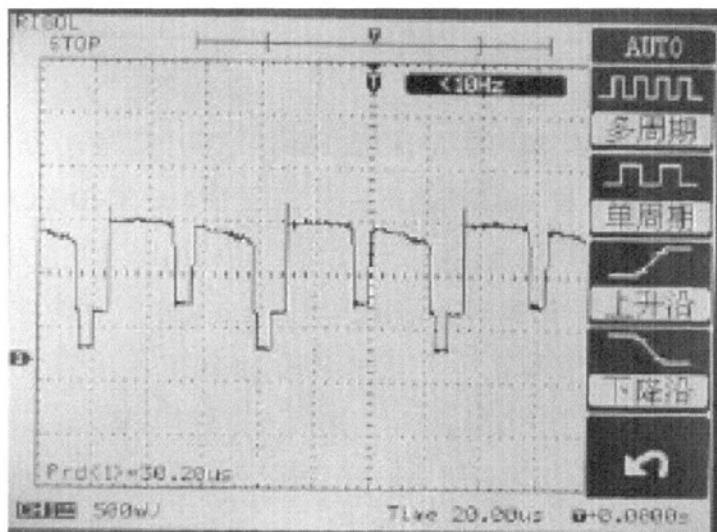


图 5.2 消影信号提取波形图

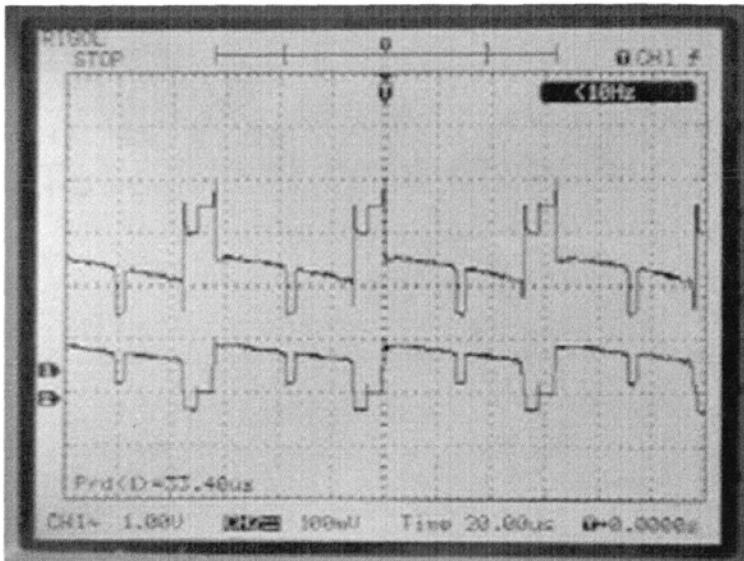


图 5.3 视频运放消除消影信号影响波形图

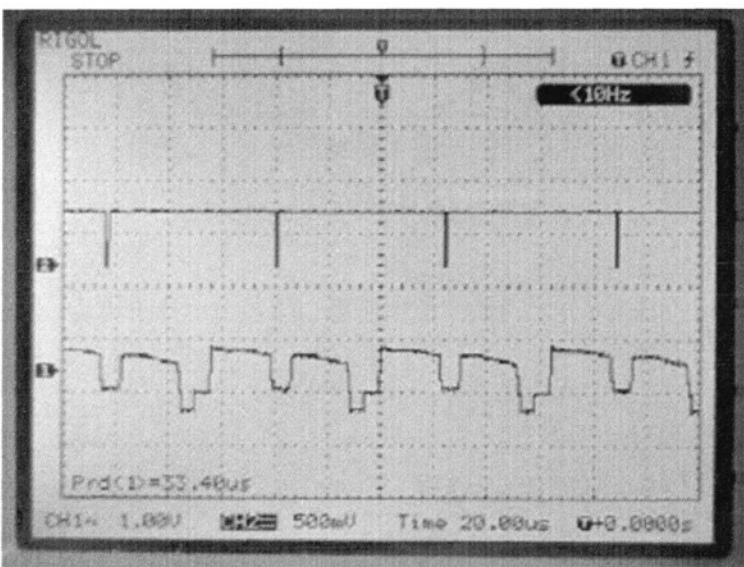


图 5.4 实测黑线脉冲提取波形图

### 5.2.3 红外传感部分测试

这部分使用万用表和显示 LED 来测试。测试数据包括发射管电压，工作电流，探测距离。测试结果：

TCRT5000 导通电压导通电压为 1.07V。

调节所串电阻大小使发射结电流 4mA，接收管阴极串联电阻 80K 时，用 74HC14 整形接收信号时传感器能够区分黑线白底的最大距离为：

车身 8 个 TCRT1000：

**表 5.1 TCRT 5000 红外探测阵列各传感器最大探测距离**

| 编 号         | 1   | 2   | 3   | 4   | 5   | 6   | 7   | 8   |
|-------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| 最大探测距离 (mm) | 4.0 | 4.5 | 4.8 | 3.8 | 4.1 | 4.2 | 4.3 | 4.2 |

我们将车头车身 TCRT5000 阵列安装后实测高度 2.5mm，传感器阵列在上述测试条件下能满足感应要求。

### 5.2.4 调试结果

经过以上测试，结果表明硬件各个模块工作均正常。

### 5.2.5 硬件系统总调试

作为一个完整的嵌入式系统，结合此次应用，在应用中为整个硬件系统做调试。具体调试部分见软件总调试部分。

## 5.3 软件部分测试

### 5.3.1 初始化主控程序测试

在程序编写之初，便充分考虑到了该程序的复杂性。所以该程序一方面采用了模块化的编程方法，另一方面把比较重要的数据都设定成了全局变量，可以随时通过系统中预留的 LCD 接口用 LCD 屏幕显示出来，以便在程序运行过程中可以了解程序的运行状况。

在程序初试化的时候，针对这次系统中所用到的各个单片机模块，都做了专门的测试。

### 5.3.2 锁相环以及 PWM 模块

这两个模块均与系统时钟有很大关系，将他们放到一起测试。具体方法是通过计算得到一定的系统时钟，然后将之分频过后做 PWM 输出，通过用示波器观测单片机送出的 PWM 波形周期以及占空比是否与计算一致，达到测试的目的。

计算方法如下：

- a) 通过锁相环形成 24MHz 的系统总线时钟，计算公式如前文的程序初始化中介绍。
- b) 总线时钟 128 分频过后，在 PWM 模块中设定 16 进制 EA6 的周期，产生周期为 20ms 的 PWM 信号。

在示波器上看到的波形如图 5.5 所示：

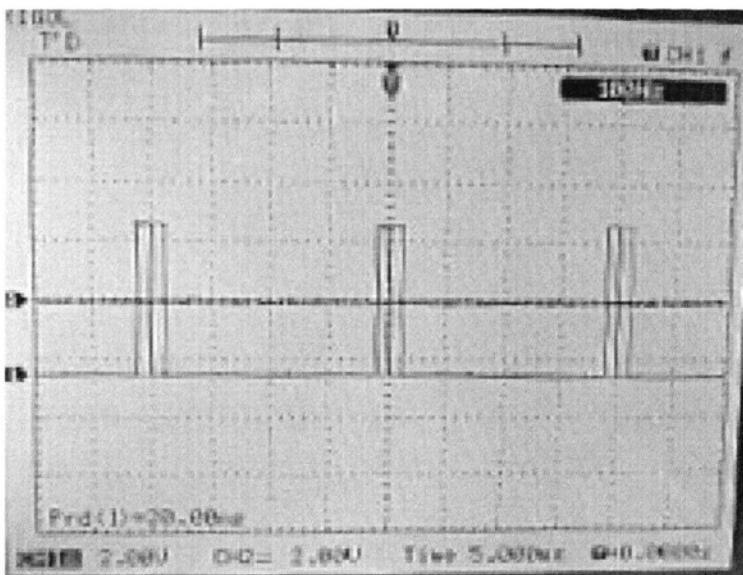


图 5.5 PWM 模块测试波形输出图

示波器测定到 PWM 波周期为 20ms，测试成功。

### 5.3.3 中断以及 ECT 模块

系统中采用中断的方法来获得 ECT 模块输入捕捉到的数据，使用 ECT 模块来获得摄像头的图像信号。鉴于摄像头视场大的特点，在实验室中的测试条件并不能够完全的测试到系统的性能。所以通过一个 LCD 液晶屏来实时显示系统 ECT 捕捉并且在中断服务程序中缓存的数据，通过对显示数据与真实赛道情况来达到测试目的。图 5.6(b)中显示的前 8 个数据即为图像数据(摄像头右方数据应偏小，左方应偏大)。

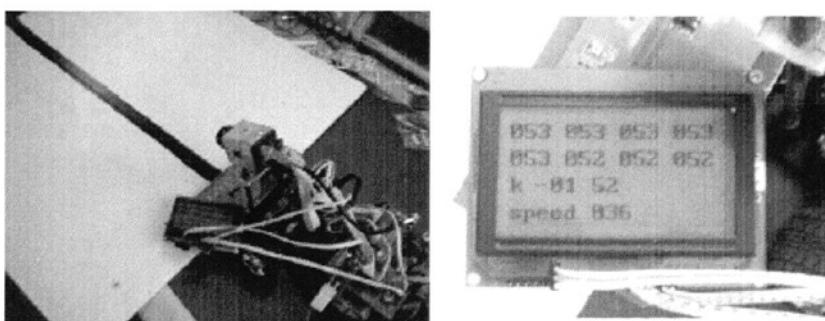


图 5.6 (a)、(b)调试用液晶安装及图像、速度测试

### 5.3.4 调试结果

经过各种离线以及在线的调试，及测试结果表明整个系统工作正常。

## 5.4 整车系统调试

在最后调试过程中，车模以韩国汉阳大学智能车大赛赛道为基础，做相应修改后得到测试赛道。经测量，赛道共 33.5m，其中最长直线距离为 4.9m，最小曲率半径弯道长 1.8m。

智能小车在该跑道上进行综合测试时，测量其行驶 5 圈的数值并取平均。在整个赛道平均耗时 19.8s，在最长直线平均用时 2.58s，而极限弯道平均用时 1.34s。经计算，赛道上的行驶平均速度为 1.69m/s；直道上速度可以提高到 1.90m/s，而在最大弯道处速度控制在 1.35m/s。直线上行驶过程中小车不会出现围绕黑线左右摆动的情况，能够全速前进；在弯道时小车能够及时进行转向，并且沿着内弯行驶，不会冲出赛道或者沿外圈行驶。

## 结论与展望

### 1. 结论

经过长达半年时间的紧张准备，我们代表队终于完成了计划中所需完成的内容。从车模安装，机械结构调整，到电路板制作，传感器方案制定，最终经过长时间的算法调试改进和赛道测试，确定了我们参加此次比赛的最终软硬件方案。回顾半年来的忙碌，从以下几个方面进行一下总结。

#### 1) 赛车制作过程

3月初从北京拿回参赛所用车模，仔细对赛车各个部件进行了安装，根据汽车基础理论，针对比赛规则，对赛车一些机械结构特性进行调节。之后，制定了本队特有的传感器方案，即光电阵列与摄像头两种传感器并存，并将其安装固定。为了今后调试方便，设计的支架安装位置可以手动调节。通过人员分工，初期分成两组，分别对两种传感器方案进行调试，分析评估每种方案。然后将两种方案进行融合，确定最终软硬件结构，以及控制算法策略。经过大量的赛道测试，调节算法参数，确定最终的控制算法程序。

全队所有队员在指导老师的细心辅导下，阅读大量文献资料，研究 S12 单片机开发使用手册，提出了许多新的想法和设计思路。通过制定详细的工作计划，合理分配工作，确保每个队员发挥自己的专长。最终，在比赛之前，完成了所有计划中需要完成的内容，车模在测试赛道上表现良好。

#### 2) 开发所遇到问题及分析解决

在整个车模开发过程中，并不是一帆风顺的，期间遇到了各种软硬件问题。在此，对一些重点问题进行一下说明。

##### (1) 舵机响应延时问题。

大赛组委会所提供的转向舵机，在实际赛道测试时，遇到了严重的响应延时问题。由于赛车高速运行，控制算法频率为 50Hz，因此每 20ms，就需向舵机发送一次控制命令。而参考舵机说明书，并通过实际测试，发现舵机响应延时大于 20ms，无法及时响应控制命令。针对这一问题，采用如下措施：首先，加大舵机工作电压，增加舵机抗负载能力。其次，通过算法进行弥补，发挥摄像头探测距离远的特点，有足够的时间进行舵机响应。在实际赛道测试中，发现通过调整算法参数，可以很好地弥补响应延时。

##### (2) 赛车弯道速度控制问题

实际赛道测试发现，如果不控制赛车在弯道时的速度，会出现转向不足的问题。除

了调整赛车机械结构，只能通过弯道减速的办法，实现平稳顺滑过弯。由于赛车没有安装刹车机构，车辆减速只能依靠永磁电机特性和运动负载减速，因此赛车减速特性较差，需要预留足够长的减速距离，完成入弯减速。因此对摄像头提前识别弯道距离提出更高的要求。

### （3）赛车实际速度获取

除了寻线传感器获取到的车身偏移量，赛车运行速度是车身运动控制算法中的重要参数。稳定可靠的获取当前速度，对于赛车调试来说，具有相当重要的意义。但是，比较成熟的速度传感器，有的体积过大，不方便安装，有的极大加重赛车负载，影响赛车性能。因此我们并没有购买安装光电码盘等现成的设备作为我们的速度传感器方案，而是根据光电码盘原理，自己制作了一个简易的光电传感器，虽然在控制精度上不及光电码盘，但对于此次比赛，不要求很高的控制精度，因此这样的简易机构完全满足我们的使用要求。

## 3) 研究设计亮点

总结我们队已有成果，认为有以下几点是我们队不同于其他队伍的。

### （1）光电阵列与摄像头方案融合

同时安装两种寻线传感器，获取最丰富的赛道信息。系统便于开发，适用于采用其中任一种传感器方案的循迹控制算法。

### （2）自主设计制作的速度传感器

根据光电编码器原理，利用光电管黑白线识别功能，配合 S12 强大的 ECT 模块，自主设计了一个简易的速度传感器。精度和稳定性达到使用要求。

### （3）S12 资源充分利用

充分利用 S12 片内资源，AD 采集负责摄像头视频采集，ECT 采集速度传感器数据，PWM 控制舵机和驱动电机，串口负责调试开发。应用 S12 独特的模糊控制指令，配合弯道控制算法。

## 2. 展望

展望未来，如果有机会参加今后的比赛，在软硬件方面可以进行更多的尝试。因为实验和摸索是提高成绩的根本，只有经过反复实验才能得到可靠的算法。具体来说，还可以在以下几方面继续探索：

1) 小车机械性能方面。现在速度不能提得太高的一个主要原因是舵机性能不好，由于比赛规定舵机不允许改动，我们可以考虑外加一个制动装置在入弯时进行减速。这

样直道速度可以提高，平均速度更快。但如何选择合适的制动装置并对其进行控制，还需要进一步深入。

2) 硬件传感器方面。目前，主要试过的路面检测传感器有光电管和摄像头，今后考虑尝试其它传感器。

3) 软件控制算法方面。首先，可以继续在模糊控制算法上进行深入，也可以引入记忆算法的研究。其次，还可以考虑仿真平台的搭建，这对算法调试来说是很有意义的，毕竟我们不能每次为了测试一个新的路况都搭建一次赛道。

## 参考文献

- [1] 卓晴, 黄开胜, 邵贝贝. 学做智能车——挑战“飞思卡尔”杯, 北京:北京航空航天大学出版社, 2007, 3
- [2] 汤兵勇, 路林吉, 王文杰. 模糊控制理论与应用技术[M]. 北京: 清华大学出版社, 2002: 15-50
- [3] 杨国田, 白焰. 摩托罗拉(Motorola) 68HC12系列微控制器原理、应用与开发技术[M]. 中国电力出版社, 2003: 25-50
- [4] 温素芳, 朱齐丹, 张小仿. 基于模糊控制器的移动机器人路径规划仿真[J]. 应用科技, 2005, 32(4): 31-33
- [5] 刘金琨. 智能控制[M]. 北京: 电子工业出版社, 2005
- [6] 熊慧, 尤一鸣, MC68 单片机入门与实践[M]. 北京: 北京航空航天大学出版社, 2006, 9
- [7] 徐科军, 马修水, 李晓林. 传感器与检测技术, 北京:电子工业出版社, 2004, 9
- [8] 俞斯乐. 电视原理[M]. 北京: 国防工业出版社, 2005.8.1
- [9] 舵机简介及其单片机控制方法[EB/OL], <http://sci.ustc.edu.cn/>, 2005, 9
- [10] 利用单片机 PWM 信号进行舵机控制[EB/OL], <http://www.epc.com.cn/>, 2005, 10
- [11] 胡广书, 数字信号处理——理论、算法与实现, 北京:清华大学出版社, 1997
- [12] 全国大学生电子设计竞赛组委会, 第五届全国大学生电子设计竞赛获奖作品选编, 北京:北京理工大学出版社二, 2003, 1
- [13] 胡伟, 季晓衡, 单片机 C 程序设计及应用实例, 北京:人民邮电出版社, 2003
- [14] 高金源, 等, 计算机控制系统——理论、设计与实现, 北京:北京航空航天大学出版社, 2002, 2
- [15] 可变脉冲输出实验, <http://sci.ustc.edu.cn/>, 2005, 9
- [16] 高光天主编. 传感器与信号调理器件应用技术. 2002, 7
- [17] 诸静等. 模糊控制原理与应用[M]. 北京: 机械工业出版社, 1995.7
- [18] 森政弘. 机器人竞赛指南[M]. 北京: 科学出版社, 2002, 3
- [19] 万永伦, 丁杰雄. 一种机器人寻线控制系统[J]. 电子科技大学学报, 2003, 32(1)
- [20] 王荣本, 游峰, 崔高健. 基于计算机视觉高速智能车辆的道路识别[J]. 计算机工程与应用, 2004. 26
- [21] 李华. 自主轮式机器人 THMR-V 的混和模糊逻辑控制[J]. 机器人, 2003.11
- [22] Kwok L. Tang, Robert J. Mulholland. Comparing Fuzzy Logic with Classical Controller Designs. IEEE Transactions on Systems. Man. and Cybernetics, 1987, 17(6): 1085-1087
- [23] Desktop Line Following Robot, <http://www.roboticfan.com>, 2006, 9
- [24] Line Follower Robot, <http://www.robotdiy.com/>, 2005, 6
- [25] 丹尼斯·克拉克, 迈克儿. 机器人设计与控制(宗光华, 张慧慧译), 北京:科学出版社, 2004, 5
- [26] 邵贝贝. 单片机嵌入式应用的在线开发方法[M]. 北京: 清华大学出版社. 2004.10

- [27] 赵晶. 电路设计与制版 protel99 高级应用[M]. 北京: 人民邮电出版社, 2000.11
- [28] 丁小东. 电子设备的接地和接地设计[J]. 机械电子工程, 2001.2
- [29] 马忠梅, 翟顺心, 张凯, 马岩. 单片机的 C 语言应用程序设计(第 3 版)[M]. 北京: 北京航空航天大学出版社, 2003
- [30] 凌永成, 于京诺, 汽车电子控制技术[M]. 北京: 北京大学出版社, 2006, 8
- [31] 王兆安, 黄俊. 电力电子技术(第 4 版). 机械工业出版社, 2000
- [32] 谭浩强. C 程序设计[M]. 北京: 清华大学出版社, 1999.12
- [33] [日]松井邦彦 著, 梁瑞林 译. 传感器实用电路设计与制作. 科学出版社, 2005, 4
- [34] Motorola. Codewarrior 使用指南[M/CD]. 2005. 10
- [35] ADI, ADP3607\_0 User Guide[M/CD]
- [36] <http://www.freescale.com.cn/>
- [37] National Semiconductor. LM1881 Video Sync Separator General Description. April 2001
- [38] 南旭科技. ST188N 使用说明[M/CD]
- [39] 南旭科技. ST178 使用说明[M/CD]
- [40] TCRT1000 Datasheet[M/CD]
- [41] National. LM1881 User Guide[M/CD]
- [42] Milan Sonka, Vaclav Hlavac, Roger Boyle. Image Processing, Analysis, and Machine Vision, Second Edition. USA: Thomson Asia Pte Ltd. 2002, January
- [43] 清华大学, BDM\_for\_S12\_TBDMU\_用户手册 V12[M/CD], 2005.12
- [44] Freescale Semiconductor, Inc. MC9S12DG128 Device User Guide[M/CD]
- [45] [http://bbs.chinaecnet.com/list\\_sort.asp?boardid=3&sortby=B](http://bbs.chinaecnet.com/list_sort.asp?boardid=3&sortby=B)
- [46] Freescale. MC33886 User Guide[M/CD]. 2005.7
- [47] Motorola. MC9S12DT128B Device User Guide V1.09[M/CD]. 2002.10.31
- [48] Motorola. HCS12 V1.5 Core User Guide V1.2[M/CD]. 2000.8.17
- [49] Motorola. MCS12CRG Block User Guide V3.08[M/CD]. 2002.3.11
- [50] Motorola. MCS12ATD10B8C Block User Guide V2.1[M/CD]. 2003.2.21
- [51] Motorola. MCS12ECT16B8C Block User Guide V1.04[M/CD]. 2002.7.18
- [52] Motorola. MCS12PWM8B8C Block User Guide V1.16[M/CD]. 2002.3.14
- [53] Motorola. MCS12CRG Block User Guide V3.08[M/CD]. 2002.3.11
- [54] Motorola. MCS12REG Block User Guide V1.01[M/CD]. 2002.3.4

## 攻读硕士学位期间所发表的学术论文

- [1]郭锴, 任娜, 汪贵平. 基于嵌入式 Linux 的网络设备驱动程序的开发[J]. 电子科技, 2006, 08
- [2]任娜, 郭锴. 基于 ADuC845 的 CAN 总线智能节点的设计[J]. 自动化信息, 2006, 05

## 致谢

本文是在我尊敬的导师汪贵平教授悉心指导下完成的。汪老师不仅传授给我丰富的专业知识和正确的学习方法，还使我明白了许多为人处事的道理。他严谨的治学态度、求实的工作作风、锲而不舍、勇于创新的学习精神深深地影响了我，使我受益匪浅。在此，谨向我的导师汪贵平教授表示最诚挚的谢意和深深的祝福！

同时非常感谢李登峰老师、靳引利老师、龚贤武老师和雷旭老师以及帮助过我的学院其他老师，感谢他们在我研究生求学阶段及论文完成中所给予的指导和帮助。

衷心感谢师兄、师姐：朱敏杰、陈晓明、卢旭、朱春平、姚皎、王静、余婧、张皎等在研究生学习期间所有给予我关心和帮助的同学和朋友们；感谢郭锴、刘小红、陶涛、周水生所给予我的关心和帮助；同时感谢赵彩霞、余志华、王换换、鲁盼等师弟师妹们，在此向他们致以最诚挚的谢意！

从 2001 年到 2008 年，我在长安大学整整学习、生活了 7 个年头，校园里留下我求学的匆匆脚步，晨读的琅琅书声以及成功的欢呼雀跃，7 年的经历成为了我一生的财富。衷心感谢我的母校长安大学。最后，衷心感谢我的父母、亲人和我的朋友，感谢他们在我攻读硕士学位期间给予我的全力支持和帮助。在此向他们致以最崇高的敬意和最诚挚的谢意。