

天津工业大学

硕士学位论文

基于16位单片机MC9S12DG128B智能车系统的设计

姓名：王朝盛

申请学位级别：硕士

专业：控制理论与控制工程

指导教师：尤一鸣

20070101

## 摘 要

根据第一届“飞思卡而”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、电池监控模块、小车故障诊断模块、LCD 数据显示模块以及调试辅助模块组成。

系统主控制核心采用了 freescale 16 位单片机 MC9S12DG128B。该系统是在 CodeWarrior 软件平台基础上设计完成的，采用 C 和汇编语言混合编程。除了能够很好地完成比赛外，还提供非常强大的辅助模块。包括电池监控模块、小车故障诊断模块、LCD 数据显示模块以及调试辅助模块。系统在电机控制模块中采用了数字 PID 控制器，该控制器技术成熟，结构简单，参数容易调整，不一定需要系统的确切数字模型，在工业中有着很广泛的应用。在路径识别模块，系统利用了 freesacle S12 系列单片机提供的模糊推理机。为了提高系统的可靠性，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。

在已经结束的第一届“飞思卡尔”杯全国大学生智能汽车邀请赛中，该智能车控制系统取得了不俗的成绩，在全国具有“自动化博士点授予权”的 57 所大学的 112 支代表队中，获得了第 56 名的佳绩，并获得“优胜奖”。

**关键词：** 智能车控制系统、MC9SDG128B、数字 PID 控制器、模糊推理机、数字滤波技术

## Abstract

According to technical requirements of the first "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 control core module(MCU), power management module, path recognition module, wheel motor drive module, servo control module, speed detection module, battery control module, fault diagnosis module, LCD display module and debugging accessorial module.

The main control core of system is the MC9S128B, which is 16-bit freescale MCU, The system was designed based on the CodeWarrior software platform, using mixed C and assembly language programming. In addition to a good race, it also provide some strong accessorial modules. Including battery control module, fault diagnosis module, LCD display module and debugging accessorial module. The motor control module uses digital PID controller, which is mature, simple structure, parameter adjustment easier. It don't necessarily need the exact model of systems, and is very widely used in industry. In the path recognition module, the system has used the fuzzy inference machine, which is integrated in freesacle S12 series MCU. 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.

In the finished first "Freescale" Cup National University Intelligent Vehicle Tournament, the intelligent vehicle control system has obtained good result. It obtained 56 in all 112 teams, which came from 57 universities having automation doctor in all country. It also obtained "the winning prize"

**Keywords:** intelligent vehicle control system, MC9SDG128B, digital PID controller, fuzzy inference machine, digital filter technology

# 独创性声明

本人声明所呈交的学位论文是本人在导师指导下进行的研究工作和取得的研究成果，除了文中特别加以标注和致谢之处外，论文中不包含其他人已经发表或撰写过的研究成果，也不包含为获得 天津工业大学 或其他教育机构的学位或证书而使用过的材料。与我一同工作的同志对本研究所做的任何贡献均已在论文中作了明确的说明并表示了谢意。

学位论文作者签名：王朝盛

签字日期：2007年1月26日

## 学位论文授权使用授权书

本学位论文作者完全了解 天津工业大学 有关保留、使用学位论文的规定。特授权 天津工业大学 可以将学位论文的全部或部分内容编入有关数据库进行检索，并采用影印、缩印或扫描等复制手段保存、汇编以供查阅和借阅。同意学校向国家有关部门或机构送交论文的复印件和磁盘。

（保密的学位论文在解密后适用本授权说明）

学位论文作者签名：王朝盛

导师签名：王鸣

签字日期：2007年1月26日

签字日期：07年1月26日

## 学位论文的主要创新点

### 一、 采用数字 PID 控制器控制驱动电机

PID 控制器技术成熟，结构简单，参数容易调整，不一定需要系统的确切数字模型，在工业中有着很广泛的应用。数字 PID 控制器具有非常强的灵活性，可以根据实验和经验在线调整参数，因此可以得到更好的控制性能。

### 二、 系统中引用了模糊推理机

模糊推理机是 Freescale S12 单片机一个重要的内部资源，利用模糊推理的三个步骤——模糊化、模糊规则推理、反模糊化，可以从路径传感信号，推理出精确的控制量。

### 三、 系统中引用了数字滤波技术

数字滤波技术，可靠性高、稳定性好、具有很强的灵活性、可以根据不同的干扰情况，随时修改滤波程序和滤波方法。

## 第一章 前言

### 1.1 智能汽车邀请赛的概况

#### 1.1.1 国外概况

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。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codewarrior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MC68S912DP256控制软件的编程,等等。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、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,对高等学校控制及汽车电子学科学术水平的提高,具有良好的长期的推动作用。

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。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 5 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获得组委会颁发的优胜奖。

由于该项赛事在我国是首次举办,所以尚无太多经验,各参赛队没有太多的资料可以借鉴,增大了参赛者设计的难度。

### 1.2 智能车系统的开发平台

要想开发一个单片机开发系统,首先要有配套的软硬件平台,开发单片机的硬件平台就是所说的最小硬件系统,通过这个最小硬件系统,就可以与单片机通讯。最小系统一般包括供电电路、时钟电路、复位电路、以及通信端口。对于 freescale 16 位单片机,其最原始的通讯手段是 BDM(Backgroud Debug Mode),BDM 也是当代单片机普遍采用的调试方式之一。除此之外,也可以通过 RS-232 下载程序,不过,首先要通过 BDM 把监控程序写入单片机。本次大赛组委会为每一支代表队提供了一套硬件开发系统,不过,在设计中并没有使用这套系统,所使用的是天津工业大学 Freescale MCU/DSP 实验室开发的系统。

软件平台采用 CodeWarrior for S12, CodeWarrior 是 Metrowerks 公司的,专门面向 Freescale 所有 MCU 与 DSP 嵌入式应用开发的软件工具, CodeWarrior for S12 是面向以 HC12 或 S12 为 CPU 的单片机嵌入式应用开发的软件包。包括集成开发环境 IDE、处理器专家库、全芯片仿真、可视化参数显示工具、项目工程管理器、C 交叉编译器、汇编器、链接器以及调试器。

## 第二章 智能车系统总体概述

### 2.1 智能车系统组成

智能车系统的功能模块主要包括：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、电池监控模块、小车故障诊断模块，LCD 数据显示模块以及调试辅助模块。每个模块都包括硬件和软件两部分。硬件为系统工作提供硬件实体，软件为系统提供各种算法。

在这些模块中，有些模块是小车完成比赛所必须的，如：控制核心模块（MCU）、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。这些模块是小车系统的核心模块，也是小车取得好成绩的关键所在。而有些模块则对小车的行驶效果没有太大影响，它们只是为了增强系统功能而设计的模块，如：电池监控模块、小车故障诊断模块，LCD 数据显示模块以及调试辅助模块，这些模块统称为小车系统的辅助模块。

小车上的每一个模块，无论是核心模块还是辅助模块，其制作过程中都包括以下几个步骤：查阅资料，科学的论证，电路制作，软件编程，最后经过实践检验才完成的。

为了使智能车能够快速行驶，单片机必须把路径的迅速判断、相应的转向伺服电机控制以及直流驱动电机的控制精密地结合在一起。如果传感器部分的数据没有正确地采集和识别，转向伺服电机控制的失当，都会造成模型车严重抖动甚至偏离赛道；如果直流电机的驱动控制效果不好，也会造成直线路段速度上不去，弯曲路段入弯速度过快等问题。

### 2.2 系统各模块的主要功能

控制核心模块（MCU）：使用 Freesale 16 位单片机 MC9S12DG128B，主要功能是完成采集信号的处理和控制信号的输出。

电源管理模块：对电池进行电压调节，为各个模块正常工作提供可靠的电压。

路径识别模块：完成跑道信息的采集、预处理以及数据识别。

后轮电机驱动模块：为电机提供可靠的驱动电路和控制算法。

转向舵机控制模块：为舵机提供可靠的控制电路和控制算法。

速度检测模块：为电机控制提供准确的速度反馈。



电池监控模块：对电池电量进行实时监控，以便科学的利用，保护电池。  
小车故障诊断模块：对小车故障进行快速、准确的诊断。  
LCD 数据显示模块：显示系统当前状态的重要参数（小车速度、电源电压）。  
调试辅助模块：使得小车调试更加方便。

## 2.3 智能车的主要参数

长： 34.6 cm	宽： 24.5 cm
高： 7.0 cm	重： 1.2 kg
检测频率： 3 ms	检测精度： 4 mm
电容总容量： $\leq 1000 \mu f$	

## 2.4 系统的主要特点

1. 系统采用了 freescale 16 位单片机 MC9S12DG128B 作为 MCU，该系统单片机可靠性高，抗干扰能力强，工作频率最高达到 25MHZ，从而保障了系统的实时性。
2. 为了提高系统的可靠性，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。
3. 系统具有电源实时监控、欠压状态自动断电功能。
4. 系统具有故障自诊断功能。
5. 系统具有良好的人性化显示模块，可以将系统当前状态的重要参数（小车速度、电源电压）显示在 LCD 上。
6. 系统具有调试辅助模块，红外遥控装置使得小车调试更为方便。
7. 系统硬件和软件都采用了模块化结构，这样可以按需求方便容易的增加和删减功能。
8. 系统采用数字 PID 控制器来控制驱动电机，PID 控制器技术成熟，结构简单，参数容易调整，不一定需要系统的确切数字模型，在工业中有着很广泛的应用。数字 PID 控制器具有非常强的灵活性，可以根据实验和经验在线调整参数，因此可以得到更好的控制性能。
9. 系统的路径识别模块采用了模糊推理机，模糊推理机是 freescale S12 系列单片机提供的内部资源。

综上所述，该智能车控制系统在理论上和实践上具有一定的创新点。其功能完善，运行稳定，可靠性高。所设计的小车不仅能够很好地完成比赛，而且提供了强大的辅助功能。

## 第三章 智能车系统硬件电路设计

智能车控制系统设计的第一步是设计硬件系统，它对系统运行的稳定性、控制的精确度都有着直接的影响。没有一个好的硬件设计方案，那么以后的控制策略以及控制算法就无从谈起，设想小车速度传感器感应出来的速度信号不够精确，电源管理模块提供给系统的电源电压不够稳定，路径识别模块的红外安装不够合理……，这样最终也很难设计出一个理想的，很有竞争力的智能汽车。

智能车系统主要有以下几个模块构成：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、电池监控模块、小车故障诊断模块，LCD 数据显示模块以及调试辅助模块。系统框图如图 3-1 所示。下面就具体介绍智能车各个模块的硬件设计方案，并对各个方案的优缺点进行论证。

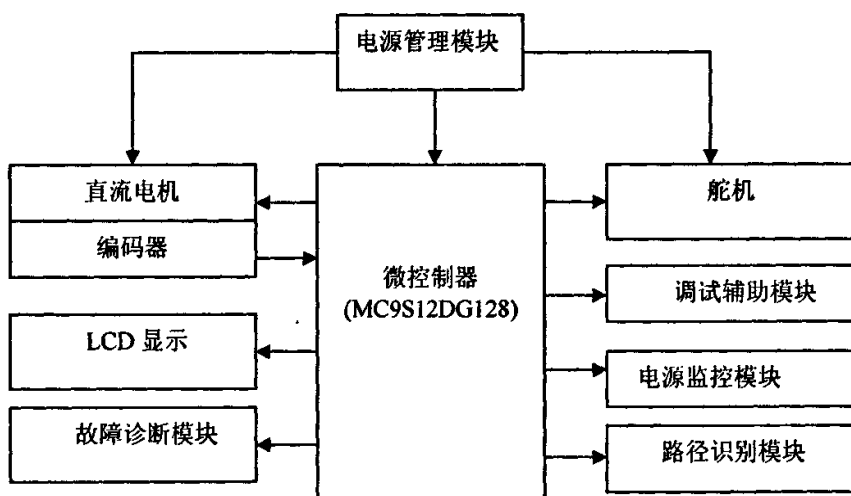


图 3-1 智能车系统框图

## 3.1 智能车主要器件

- 电源管理模块

电池：7.2V 镍镉电池 2000mAh

稳压芯片：LM2576(5V)、LM317(6V)

- 控制模块

目标板：HCS12 最小系统

微控制器：MC9S12DG128B(Freescale)

- 路径识别模块  
红外传感器：红外发射管、红外接收管  
达林顿管：ULN2803A
- 后轮驱动和速度检测模块  
直流电机：RS-380  
编码器：光电开关和码盘  
直流电机驱动器：MC33886
- 转向舵机模块  
舵机：HS-925(SANWA)  
尺寸：39.4\*37.8\*27.8  
重量：56g  
工作速度：0.11sec/60(4.8V) 0.08sec/60(6.0V)  
堵转力矩：6.1kg.cm(4.8V) 7.7kg.cm(6.0V)  
工作角度：45 度/400us
- 电源电压检测模块  
光电耦合芯片：TLP521-2  
运算放大器：LM324
- 液晶显示模块  
LCD 控制器：HD44780
- 辅助调试模块（红外遥控）  
红外接收器：HS0038A  
红外遥控器
- 故障诊断模块  
RS-232

### 3.2 电源管理模块

电源作为小车动力来源，为小车上的控制器，执行器，传感器提供可靠的工作电压，现在市面上常见的充电电池包括镍镉电池、镍氢电池、锂离子电池、碱性电池和封闭式铅酸电池等几类。由于镍镉电池具有价格便宜、技术成熟、电路简单、瞬间大电流供应能力强等优势，它占据了大部分的消费性电子产品市场，因此在本次的大赛中，国产镍镉可充电电池被选为动力车的电源。

单个镍镉电池只能提供 1.2V 的供电电压，这次比赛所使用的电池上 6 节相同型号的电池串联起来从而得到 7.2V 的电池组，其标称容量为 2000mAh，也就是说，该电池可以在 2A 的供电电流下持续供电 1 小时。

电源管理模块的功能对电池进行电压调节,为各个模块正常工作提供可靠的工作电压。在智能车控制系统中,主控制模块、路径识别模块、车速传感器模块以及电压检测模块需要 5V 电压,舵机有两种工作电压: 4.8V、6V,为了提高舵机的灵敏度,舵机选用 6V 供电,直流电机可以使用 7.2V 蓄电池直接供电。智能小车电源分配图如图 3-2 所示。

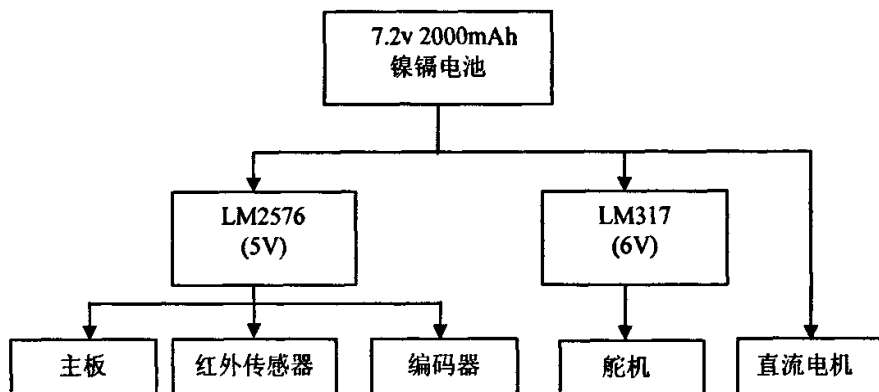


图 3-2 智能小车电源分配图

### 3.2.1 5V 稳压模块的设计

方案一：采用常用的 7805 三端稳压电路

方案二：采用 LM2576 构成的开关电源

采用 7805 构成的三端稳压电路存在着以下缺点：

1. 内部功率损耗大,全部压降均转换成热量损失了,不仅造成了电源效率低,而且散发的大量热量也容易烧坏电子元器件以及电路板。
2. 由于核心的元件 7805 的工作速度不太高,所以对于输入电压或者负载电流的急剧变化的响应慢。

智能汽车控制系统采用的是蓄电池供电,蓄电池的充放电次数是有限的,电能的利用效率愈显得非常重要,所以为了尽可能的延长蓄电池的使用时间,提高蓄电池的可利用率,在设计中采用了第二种设计方案,

LM2576 电路应用比较简单且外围元件较少,内置频率补偿电路和固定频率振荡器。LM2576 系列产品的开关频率为 52KHz,所以应用时可以使用小尺寸的滤波元件。LM2576 可以高效的取代一般的三端线性稳压器,它能够充分的减小散热片的面积,在一些应用条件下甚至可以不使用散热片。在规定的输入电压和输出负载的条件下,LM2576 输出电压的误差范围为 $\pm 4\%$ ;振荡器的振荡频率误差范围为 $\pm 10\%$ ;典型的待机电流为 50 $\mu$ A,芯片内置过流保护电路和过热保

护电路。

实践也证明了该稳压电路的合理性，该电路不仅能够获得理想的 5V 电压，而且芯片散热量也不大。开关电源的电路如图 3-3 所示

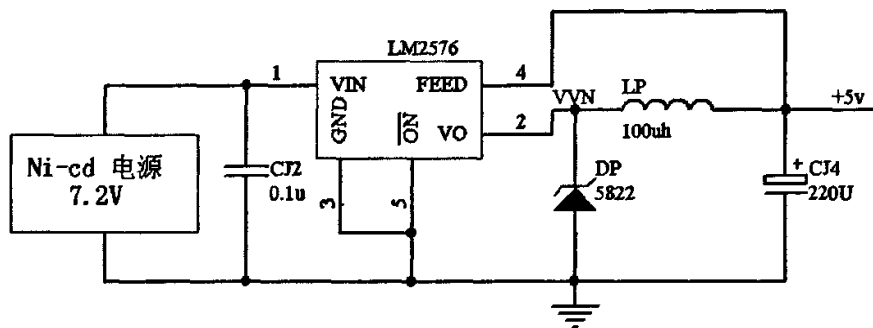


图 3-3 输出 5V 的开关电源电路

### 3.2.2 6V 稳压模块的设计

智能汽车控制系统中，除了 5V 的供电电压外，还要向舵机提供 6V 的工作电压，电源模块还需要一个产生 6V 直流电压的电路。在市场上很难买到直接能输出 6V 电压的稳压芯片，只能用可调集成稳压器，在设计中选用了 LM317 可调稳压器。

LM317 是美国国家半导体公司的三端可调整稳压器集成电路。我国和世界各大集成电路生产商均有同类产品可供选择，是使用极为广泛的一类串连集成稳压器。LM317 的使用特性非常简单，仅需要两个外接电阻来设置输出电压。其特性如下：

- \*可调整输出电压 1.2V—37V
- \*最大输出电流 1.5A
- \*典型线形调整率 0.01%
- \*典型负载调整率 0.1%
- \*80dB 纹波抑制比
- \*输出短路保护
- \*过流、过热保护
- \*调整管安全工作区保护

LM317 构成的调压电路如图 3-4 所示，其中 1, 2 脚之间为 1.25V 电压基准。为保证稳压器的输出性能，R1 应小于 240 欧姆。在时间电路中选择 120 欧姆，改变 R2 阻值即可调整稳压电压值。D1, D2 用于保护 LM317。

$$V_{out} = (1 + R2/R1) * 1.25$$

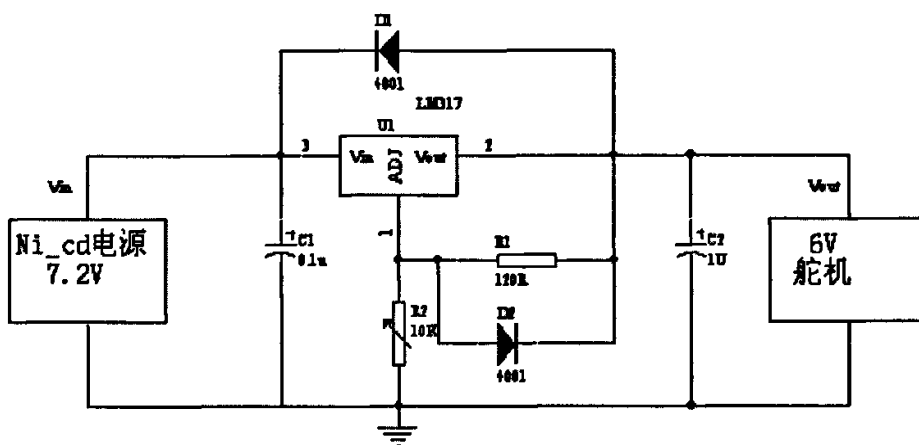


图 3-4 舵机供电电压调节电路

### 3.3 控制核心

本次智能汽车邀请赛使用的微控制器是 freescale 公司推出的 S12 系列单片机中具有增强型的 16 位单片机 MC9S12DG128B，该系列单片机在汽车电子领域有着广泛的应用。S12 系列单片机的中央处理器 CPU12 由以下三部分组成：算术逻辑单元 ALU，控制单元和寄存器组。CPU 外部总线频率为 8MHZ 或者 16MHZ，通过内部锁相环（PLL），可以使内部总线速度可以达到 25MHZ。寻址方式有 16 种。内部寄存器组中的寄存器，堆栈指针和变址寄存器均为 16 位。它具有很强的 高级语言支持功能。CPU12 的累加器 A 和 B 是 8 位的，也可以组成 16 位累加器 D。

CPU12 的寄存器组包括如下 5 个部分：

- (1) 8 位累加器 A，B 或 16 位的累加器 D。
- (2) 16 位寻址寄存器 X 和 Y 是用来处理操作数的地址。可分别用于源地址，目的地址的指针型变量运算。
- (3) 堆栈指针 SP 是 16 位寄存器。
- (4) 程序计数器 PC 是 16 位寄存器。它表示下一条指令或下一个操作数的地址。
- (5) 条件码寄存器 CCR。

#### 3.3.1 单片机 MC9S12DG128B 的内部资源

MC9S12DG128B 作为 S12 系列的一种，内部资源非常丰富，简要介绍如下

- (1) 时钟和复位模块

- PLL (锁相环频率合成器)
- COP 看门狗
- 时钟监控
- (2) 存储器
  - 128KB Flash EEPROM
  - 2KB EEPROM
  - 8KB RAM
- (3) 两个 8 路 A/D 转换器
  - 10 位精度
  - 具有外部触发转换功能
- (4) 增强型捕捉定时器
  - 16 位主计数器, 7 位分频系数
  - 8 个输入捕捉通道或输出比较通道
  - 2 个 8 位或 1 个 16 位脉冲计数器
- (5) 8 路 PWM 通道
  - 可编程周期以及占空比
  - 8 位 8 路/16 位 4 路 PWM
  - 独立控制各路 PWM 的周期和占空比
  - 中间对齐和左对齐输出
  - 频率范围宽的可编程时钟选择逻辑
  - 紧急时刻快速关闭输出
- (6) 串行接口
  - 两个异步串行通信接口模块 SCI
  - 1 个 IIC 总线接口
  - 2 个同步串行外设接口 SPI
- (7) 3 个 1M/S, CAN2. 0A, CAN2. 0B 兼容模块
- (8) SAE J1850 网络通讯口

MCS12DG128B 的结构框图如图 3-5 所示:

MC9S12DG128B 支持在线编程, 即在线写入, 擦除, 在线下载程序。在线编程的基本原理是, 单片机片内的 CPU 有能力对片内 Flash 进行写入, 擦除操作, 用户需以某种方式, 一般为串行地将命令和数据传送给单片机就可以了, 单片机的编程接口除完成 Flash 写入, 擦除功能外, 还可用于应用程序的调试, 甚至可以在应用程序中运行时, 动态地获取 CPU 寄存器的值, 存储器等的瞬态信息, 这就是所谓的 BDM (Background Debug Mode) 调试方式。除此之外, 可以先通过

BDM 把监控程序写入 Flash, 然后可以脱离 BDM, 通过 RS-232 下载程序, 调试等。

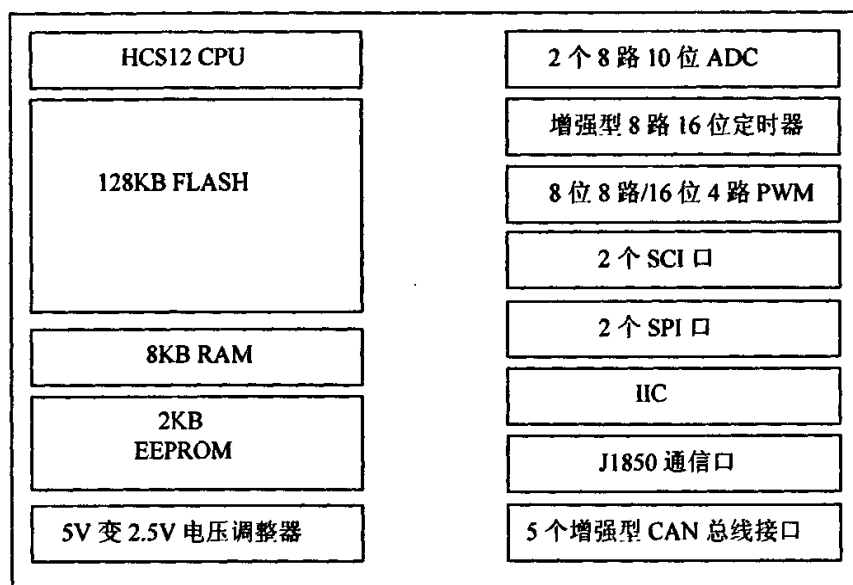


图 3-5 MC9S12DG128B 单片机的结构框图

### 3.3.2 单片机 MC9S12DG128B 的最小硬件系统

虽然单片机将 CPU, ROM, RAM 以及 I/O 统统集成在一个集成电路芯片中, 但仍需要一些外部电路的支持, 这些外围电路主要为单片机系统提供电源、时钟, I/O 驱动、通信口等, 让单片机“活”起来, 这个最小系统, 即人要能够与单片机通信 (一般是通过串行口或 BDM 电缆等来实现), 包括发命令给单片机, 下载程序, 调试程序等。有了这些基本环境, 就可以调试单片机的硬件系统了, 在硬件没有问题的基本条件下才谈得上软件开发。最小系统也称为开发板, 可以分为以下几个部分:

(1) 供电电路。开发板的供电是靠外部+5V 电源, 通过外部电源提供的, 实际上, 单片机 I/O 模块的供电多数采用+5V, 单片机的 CPU 速度越来越快, CPU 的供电电压也越来越低, 一般采用 3.3V、2.5V 甚至更低的工作电压。S12 单片机片内使用 2.5V 电压, 片外 I/O 使用 5V 电压, 较低的片内电压使 CPU 运算速度快, 功耗低; 较高的 I/O 电平有利于抗外界干扰, 所以 S12 单片机特别适合于那些工作环境恶劣的控制系统。由于 S12 单片机内部集成了电压调整器模块, 电压调整器模块产生单片机内部需要的其他电压, 因此只要向 S12 单片机提供+5V 外部电源就可以了。为了稳定这些不同的电压, 需要外接一些电容, 这些电容有两类, 电容值比较大的如 1uF、10uF 等称为储能电容, 储能电容消除吞吐数字电路



1 变 0、0 变 1，即三极管导通、截止时的电流变化；另一类电容值较小的电容如 0.1 $\mu$ F、0.01 $\mu$ F 的称为去耦电容，去掉单片机运行产生的高频噪声。

(2) 时钟电路。主要由石英晶体振荡器和一些电容、电阻组成，虽然单片机可以由集成到单片机内部的 RC 振荡器产生单片机工作需要的时钟，但这种简单的时钟电路频率的稳定性得不到保证，不如使用外部晶振来得稳定；速度很快的单片机往往使用片内集成的压控振荡器 (VCO) 产生的高频振荡作为系统时钟，但 VCO 也需要外部晶振提供稳定的频率来锁定起振荡频率。其外部晶振电路有两种接线方式，一种是串联振荡电路，另一种是并联振荡电路。在智能汽车控制的主板设计中，采用并联振荡电路。具体的电路如图 3-6 所示：

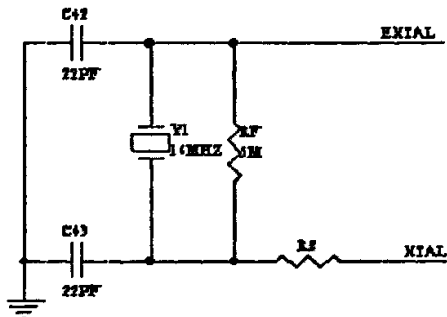


图 3-6 主控制模块晶振电路

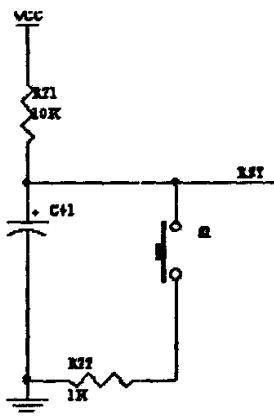


图 3-7 主控制模块复位电路

(3) 复位电路。虽然单片机片内集成有上电复位电路，单片机上电时可自动产生复位信号，但加上一个手动复位按钮会给调试带来方便。外部复位电路可以使用简单的按钮加阻容电路，也可以加专门的复位芯片。在该控制系统主板设计中，采取按钮加阻容电路。具体的电路如图 3-7 所示：

这里要强调的是，在该电路中，电容 C41 的大小不能太大，可以选择 0.01 $\mu$ F，甚至也可以不用这个电容，直接开路，在这里画出这个电容的原因，就是为了给读者一点提示，在 51 单片机复位电路上这个电容可选 10 $\mu$ F，但是在 Freescale S12 系列单片机的复位电路上这个电容却不能那么大。因为 C41 过大的话，会导致单片机无法进入 BDM 工作模式。为了说明这个问题，下面具体介绍单片机进入 BDM 工作模式的整个过程。

Freescale S12 的工作模式的确立是由 MODA、MODB、MODC 的输入电平状态来确定的，在复位的时候，复位信号上升沿锁存 MODA、MODB、MODC 等引脚上的输

入电平状态到运行模式寄存器 (Mode Register) 中的相应位, 随后单片机便进入相应的工作模式, 单片机进入 BDM 工作模式相关管脚的状态:  $MODA=0$ ,  $MODB=0$ ,  $MODC=0$ , 在开发板上,  $MODA$ 、 $MODB$  的状态是由跳线来确定的, 一般情况下,  $MODA$ 、 $MODB$  的状态都跳到低电平,  $MODC$  的状态是由  $BKGD$  管脚的状态来确定的, 在单片机 BDM 模式下, 上位机是通过 BDM 主机与目标机通讯的, BDM 主机的一个 I/O 端口控制目标机的  $BKGD$ , 另外一个端口用于产生目标机的复位信号, 它的工作原理是: BDM 主机通过控制 I/O 端口首先将目标机的  $BKGD$  端口拉低, 然后给目标机的复位端加低电平, 即给目标机复位 (复位信号是由低电平到高电平的上升沿)。这样, 目标机通过复位信号把  $MODA=0$ ,  $MODB=0$ ,  $MODC$  ( $BKGD$ )  $=0$  状态读入运行模式寄存器。目标机就可以进入 BDM 工作方式, 时序图如图 3-8(a) 所示。如果电容  $C41$  选的过大的话, 由上面介绍的进入 BDM 的时序可知, 目标机就可能无法进入 BDM 方式。因为当 BDM 主机将目标机的复位端从拉低到放开的过程中, 根据 RC 充放电电路的知识可知,  $C41$  过大会导致复位端的上升沿变化的非常缓慢, 由于复位信号的滞后, 此时目标机锁存的  $BKGD$  可能已不是低电平, 目标机也就无法进入 BDM 方式, 时序图如图 3-8(b) 所示。

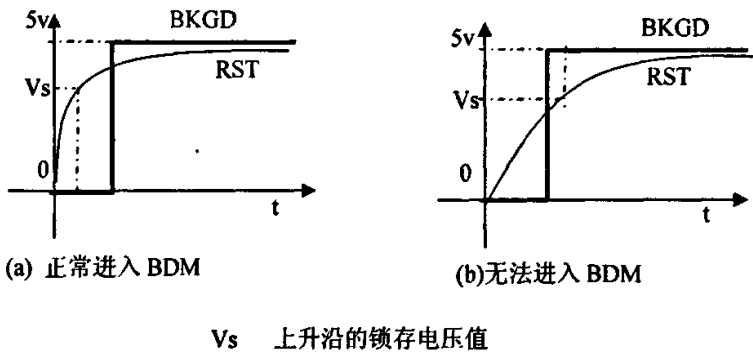


图 3-8 单片机 BDM 工作模式的信号时序图

(4) RS-232 驱动电路。RS-232 驱动电路提供 TTL 到 RS-232 电平的电平转换。单片机可以利用异步串行通信协议同 PC 通信。RS-232 电平转换芯片可以实现 TTL 电平与 RS-232 电平之间的转换, 然后再通过 9 芯串行口和 PC 进行串口通信。

在智能汽车控制系统中, 上位机可以通过 RS-232 向控制主板下载程序。RS-232 的接口电路如图 3-9 所示, 图中的 MAX232 芯片就是电平转换芯片, 实现 TTL 到 RS-232 电平的转换。

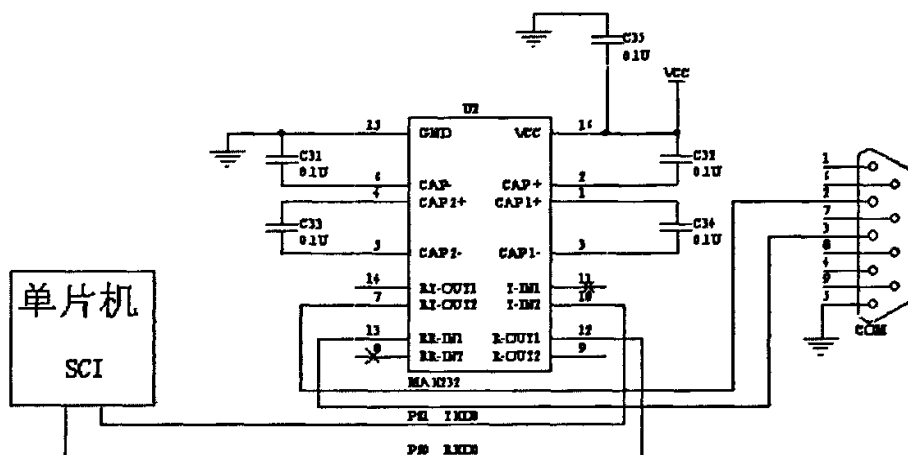


图 3-9 RS-232 的接口电路图

(5) BDM 调试接口，当单片机进入 BDM 模式后，上位机可以通过 BDM 接口向单片机下载程序，进行在线调试。BDM 方式也是单片机最根本的调试方式，因为上位机要想通过 RS-232 向单片机下载程序，必须首先要通过 BDM 方式向单片机的 Flash 中下载监控程序。BDM 接口通信示意图如图 3-10 所示：

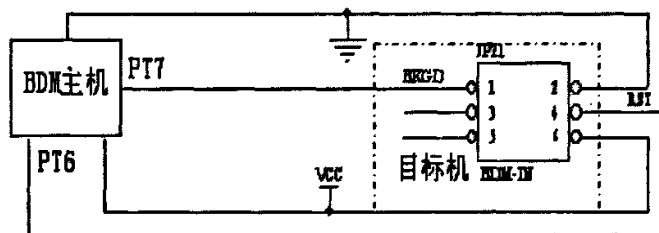


图 3-10 BDM 接口通信示意图

从上面分析也可以看出来，通过上位机向单片机写程序有两种方式，一种是 BDM 方式，另一种就是 RS-232 方式。如图 3-11 所示：

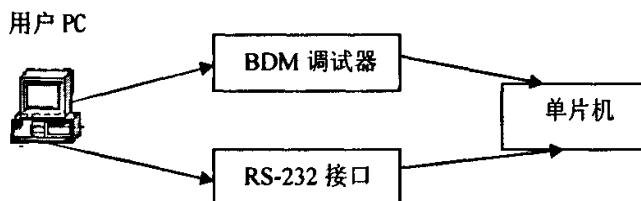


图 3-11 上位机和单片机的通讯方式示意图

(6) 调试显示, 在单片机的某个 I/O 接口上装上一些二极管对最小系统的调试很有用, 将调试用的发光二极管接在 PORTK 口上, 虽然这部分并不是最小系统必需的。另外, 把单片机的所有 I/O 都引出来, 这样方便单片机与外界电路的联接。

(7) 单片机模式选择模块, Freescale MCS12 系列单片机一共有两种工作模式, 分别是单片运行模式和扩展运行模式。单片运行模式是 MCS12 单片机最常用的一种运行模式, 单片运行模式又分为普通单片模式和特殊单片模式。普通单片模式是正常运行应用程序时应使用的模式, 特殊单片模式是指 BDM 调试模式。扩展运行模式允许通过 CPU 外部总线扩展 RAM、Flash、I/O 等。工作模式的确立由 MODA、MODB、MODC 的输入电平状态来确定的, 在复位的时候, 复位信号上升沿锁存 MODA、MODB、MODC 等引脚上的输入电平状态到运行模式寄存器 (Mode Register) 中的相应位, 随后单片机便进入相应的工作模式, 其对应的模式选择如表 3-1 所示, 因为 MC9S12DG128B 有足够的存储器资源, 所以在智能车控制系统中只需要工作在单片运行模式。从表 3-1 可知, 要使单片机工作在单片运行模式, MODA 和 MODB 都跳线到低电平。然后当 MODC (BKGD) 为低电平时, 就进入特殊单片模式, 当 MODC (BKGD) 为高电平的时候就进入一般单片模式。通常, 当单片机输入引脚浮空时, CPU 默认高电平, BKGD 引脚上的低电平是由 BDM 调试工具的相应引脚提供的。所以可理解为, 当插上 BDM 头时, 可进入特殊单片模式; 当不插 BDM 头时, 自动进入普通单片模式。

表 3-1 工作模式选择

PE5= MODA	PE6= MODB	BKGD= MODC	工作模式描述
0	0	0	特殊单片模式, 允许 BDM
0	0	1	普通单片模式
0	1	0	特殊测试扩展模式, 允许 BDM
0	1	1	特殊外围, BDM 不能被使用
1	0	0	窄的竞争扩展模式, 允许 BDM
1	0	1	一般窄的扩展模式, 允许 BDM
1	1	0	宽的竞争扩展模式, 允许 BDM
1	1	1	一般宽的扩展模式, 允许 BDM

## 3.4 路径识别模块

### 3.4.1 路径识别方案的选择

路径识别模块是智能车控制系统的关键模块之一,它将路况的信息传输给主控制模块,路径识别方案的好坏,直接影响着小车的控制效果。在智能车控制系统中,小车有多种寻迹方案。包括光电传感器寻迹方案,单独采用摄像头寻迹方案以及摄像头寻迹与光电传感器寻迹结合在一起的寻迹方案。下面依次具体介绍几种寻迹方案。

所谓摄像头寻迹,就是通过摄像头把智能车前面的路径信息传输到控制系统,来进行路径识别的一种寻迹方法。摄像头有面阵和线阵两种。它的优点是可以更远更早地感知赛道的变化,但是硬件电路比较复杂,信息处理量大,如何对摄像头记录的图像进行分割和识别,加快处理速度是摄像头方案的难点之一。

所谓光电传感器寻迹方案,即路径识别电路由一系列发光二极管、接收二极管组成,一个发光二极管和一个接收二极管构成一对,这也相当于摄像头的一个像素。由于赛道中存在轨迹指示黑线,落在黑线区域内的光电二极管接收到的反射光线强度与白色的赛道不同,由此判断行车的方向。光电传感器寻迹方案的优点是电路简单、信号处理速度快。

基于两种方案的优缺点,以及智能汽车控制核心MC9S12DG128B的处理速度和内部资源,本文采用了光电传感器的设计方案。

### 3.4.2 红外传感器的硬件设计

红外传感器的硬件设计主要包括以下几个方面:红外传感器布局、红外管间隔、径向探出距离。

#### 1. 红外管布局的设计

##### ① “一”字型布局

“一”字型布局是传感器最常用的布局形式,即各个传感器都在一条直线上,从而保证纵向的一致性,使其控制策略主要集中在横向上。如图3-12(a)

##### ② “V”字型布局

“V”字型布局,从横向来看与一字型类似,但它增加了纵向的特性,从而具有了一定的前瞻性。将中间两传感器进行前置的主要目的在于能够早一步了解到车前方是否为直道,从而可以进行加速。如图3-12(b)

##### ③ “W”字型布局

对于智能车能否顺利跑完全程,最重要的一点是过弯道,特别是通过比较急

的弯道的能力。因此为了能够更早地预测到弯道的出现,还可以将左右两端的传感器进行适当前置,从而形成“W”型布局。如图3-12(c)

总之,各种排列方式都有一定的特点,只要与合适的控制算法相匹配,都会有起到理想的控制效果。本文采用了“一”字型排列。

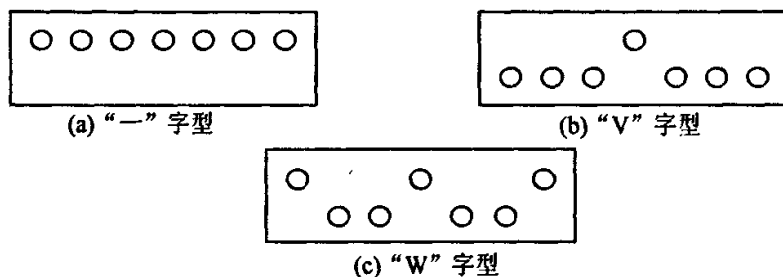


图3-12 红外传感器布局示意图

## 2. 传感器间隔的设计

各个传感器的布局间隔对智能车行车有一定的影响的。根据本届邀请赛的赛道规则,中间黑线(导引线)的宽度为25mm,如果间隔过大,还会出现另一种情况,即在间隔之间出现空白。在设计中红外管的间距小于黑色导引线的宽度,从而使红外更容易感应到黑线,有利于车与赛道偏移距离的判断。在设计中采用红外管间隔为20mm。比赛的规则规定:小车的宽度不能超过25mm,而且车上最多安装16个红外传感器,为了检测更宽的横行信息,最终安装了11个红外传感器。最终的红外传感器排列的正面图如图3-13所示。

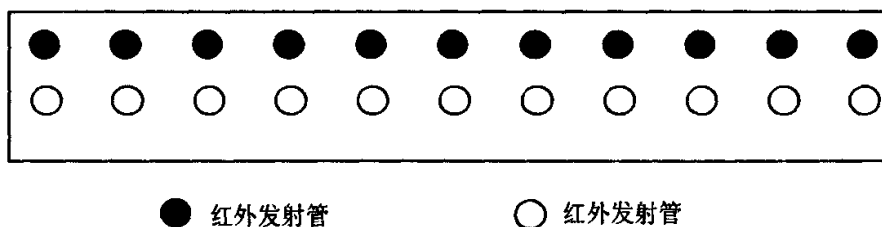


图3-13 红外传感器排列正面图

## 3. 径向探出距离的设计

径向探出距离是指光电传感器离车头的径向距离。它主要影响智能车的预

测性能。对于未知的赛道,如果能早一步了解到前方道路的情况,那么就可以早点做出调整,从而使车以相应最优策略通过赛道。所以,理论上探出距离是越大越好,但是如果距离过大,智能车可能会发生重心偏移,造成行驶不稳、振动等一系列问题。因此,为了既能增加径向距离,又不引起重心偏移,本文可以采用带倾角的传感器安装方式,红外传感器安装示意图如图3-14(a)、(b)所示。

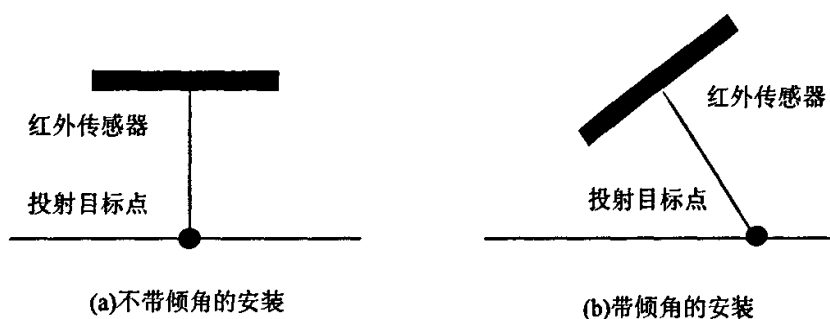


图3-14 红外传感器安装示意图

### 3.4.3 信号的采集

红外传感器寻迹方式的采集方式有两种,一种是数字采集方式,另一种是模拟采集方式。所谓数字采集方式就是红外传感器把采集的电压信号经过比较器后再传送给MCU的I/O口,如图3-15所示,所谓模拟采集方式是指红外传感器把采集的电压信号经滤波电路后直接传输MCU的A/D口,经A/D转换后再由CPU处理。如图3-16所示。

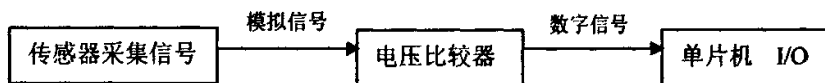


图 3-15 数字采集方式

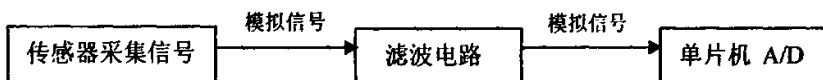


图 3-16 模拟采集方式

数字采集方式优点是实时性好,信号处理速度快,但是因为这种采集方式只能识别几个点的状态,所以它的分辨率低,分辨率= $2^n-1$ (其中, $n$  为传感器的个

数)，线性度差，无法进行十分精确的控制。

所以要进行精确的控制，一般都选择模拟采集方式，当然这种方法也有它的缺点，比如：数据采集周期长，易受外界干扰。这些不利因素可以通过硬件和软件有效的改进，能够达到削弱或者避免的目的。总的来说，模拟采集方式的分辨率高，能够精确地反映小车的当前位置。本文在设计中采用模拟采集方式，并且在实践中取得了理想的控制效果。下面就重点介绍这种方式的硬件电路设计。

为了提高红外发送管的功率，使它能够发送更强的红外光线，从而探测到更远距离的路径信息，在发送电路中加了达林顿管放大电路驱动电流，持续强大的电流又容易烧坏发光管，所以，在电路中通过单片机的 I/O 口来控制它的通断时间，当单片机需要检测它的数据时，打开它，其它的时候则关闭它。在接收端的电路则需要先经过高通滤波电路，再送到单片机处理。发送电路如图 3-17 所示。

在设计中应用了 ULN2803A，ULN2803A 是美国 Texas Instruments 公司和 Sprague 公司开发的高压大电流达林顿晶体管阵列，具有电流增益高、工作电压高、温度范围宽、带负载能力强等特点，适应于各类要求高速大功率驱动的系统。

ULN2803A 能够同时驱动 8 组高压大电流负载，红外发送电路中有 11 路，所以需要两片 ULN2803A。

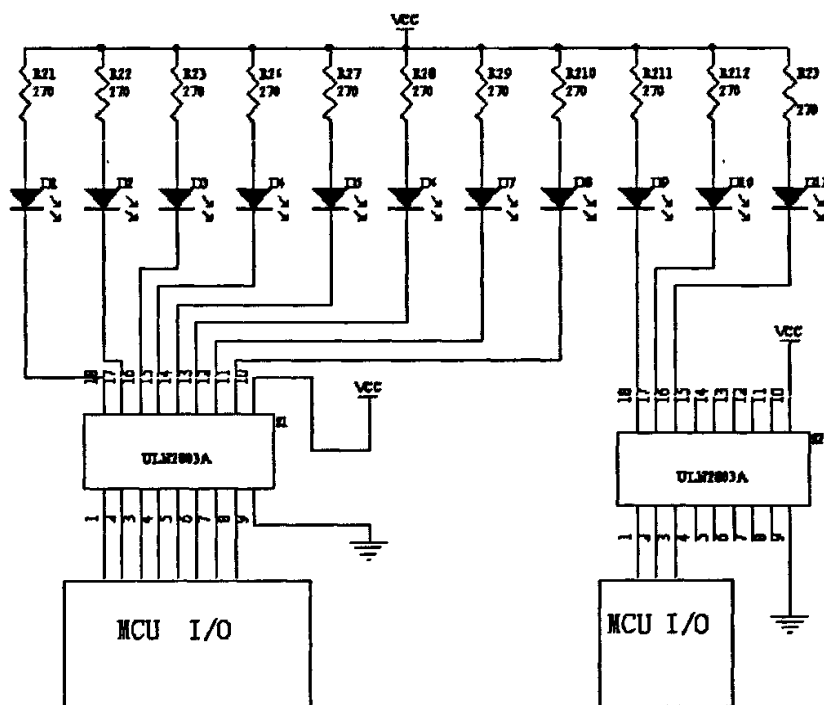


图 3-17 红外发送电路



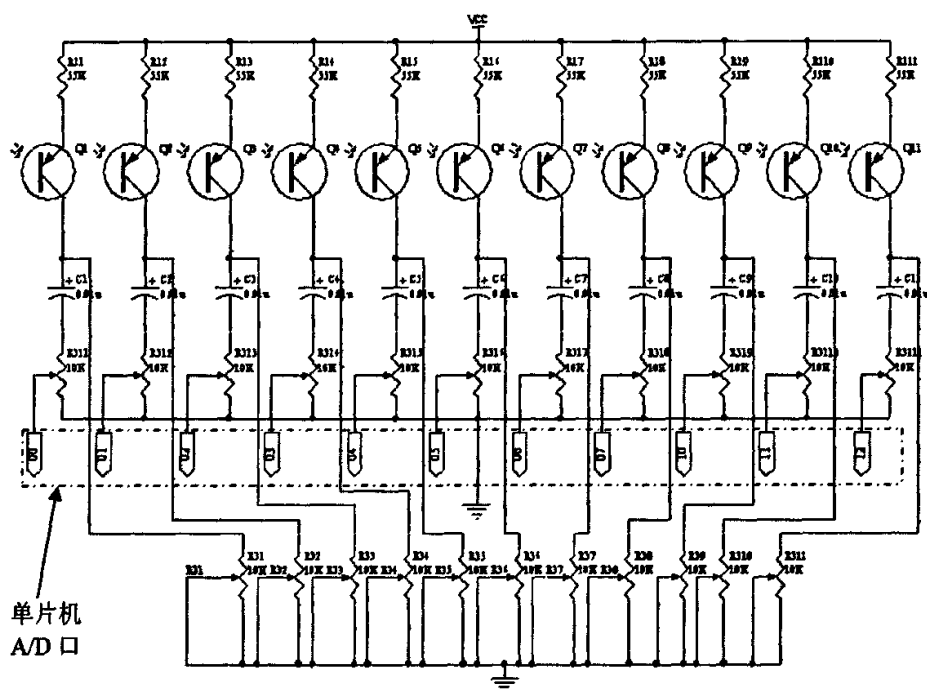


图 3-18 红外接收电路

在红外接收电路中，为便于单片机处理，需要将传感器输出电流信号提取出来转化为电压信号，可以采用采样电阻或电流-电压放大器两种方案。由于本设计对精度要求不是很高，采用了采样电阻提取电压的方案。最终的红外接收电路如图 3-18 所示。

### 3.5 后轮电机驱动模块

#### 3.5.1 驱动电机介绍

智能车前进的动力是通过直流电机来驱动的，直流电动机是最早出现的电动机，也是最早能实现调速的电动机。长期以来，直流电动机一直占据着调速控制的统治地位。它具有良好的线性调速特性，简单的控制性能，较高的效率，优异的动态特性。本次智能车的驱动直流电动机 RS-380SH。输出功率 0.1W—40W。它的外型图如图 3-19 所示：

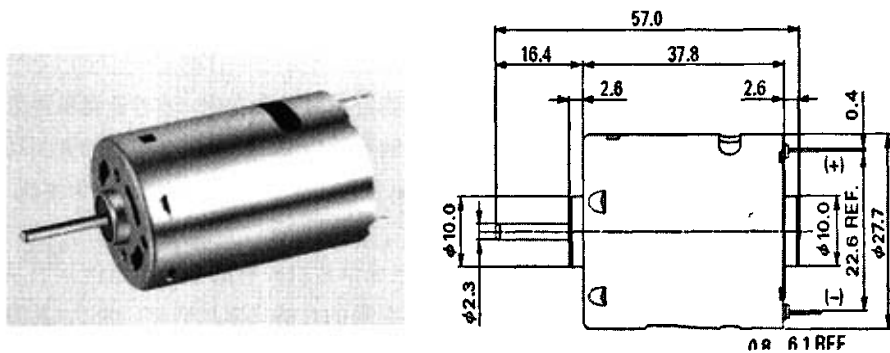


图 3-19 RS-380SH 的外型尺寸

RS-380SH 的特性如表 3-2 所示。

表 3-2 RS-380SH 的特性数据

电压(V)		空载		最高效率					堵转		
工作范围	正常	速度	电流	速度	电流	扭 矩		输 出	扭矩		电 流
		r/min	A	r/min	A	mN. M	g. cm	W	mN. m	g.cm	A
3~9	7.2	16200	0.5	14060	3.29	10.9	111	16	82.3	839	21.6

RS-380SH 的特性曲线如图 3-20 所示。

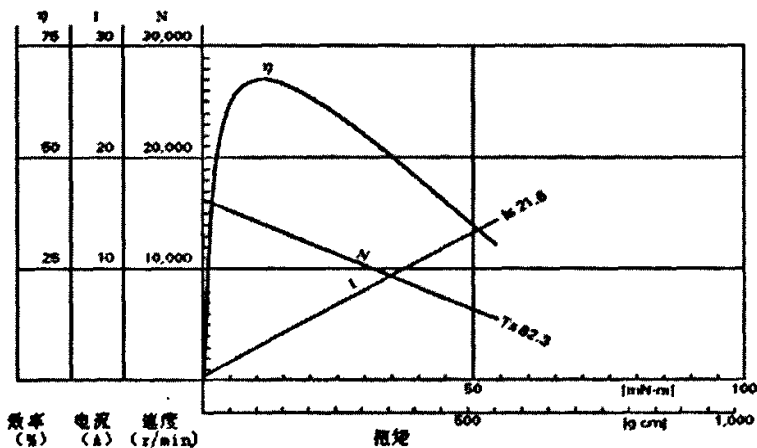


图 3-20 RS-380SH 的特性曲线

### 3.5.2 电机的控制

近年来,直流电动机的结构和控制方式都发生了很大变化,随着计算机进入控制领域,以及新型的电力电子功率元器件的不断出现,使采用全控型的开关功率元件进行脉冲调制(pulse width modulation 简称 PWM)控制方式已成为主流。这种控制方式很容易在单片机控制中实现。

采用专用集成电路芯片可以很方便地组成单片机控制的小功率直流伺服系统。本文选用的驱动芯片是飞思卡尔半导体公司的 H 桥式驱动器 MC33886。其管脚示意图如图 3-21 所示,它的应用电路也很简单,如图 3-22 所示。

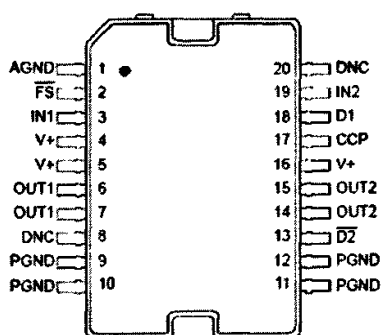


图 3-21 MC33886 管角示意图

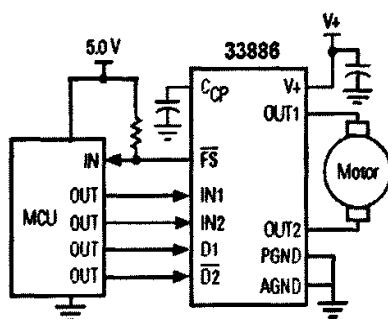


图 3-22 MC33886 的应用电路

工作特性:

- (1) 5V 到 40V 的连续操作。
- (2) 可以接受 TTL 或 CMOS 以及与它们兼容的输入控制信号。
- (3) PWM 控制频率可以达到 10 kHz。
- (4) 通过 PWM 的通-断来控制驱动电流的大小。
- (5) 内部设有短路保护, 欠压保护电路。
- (7) 内部设有错误状态报告功能。

在应用中,为了给小车提供强劲的动力,把 MC33886 的两个半桥并联来增强驱动能力,但这样做也增加了发热量,带来了散热问题。为防止芯片超过  $-40^{\circ}\text{C}$ — $125^{\circ}\text{C}$  的正常工作温度而出现故障。按照 MC33886 参考布线的情况下还安装了散热片。

考虑到智能车在直线加速区间的末端可能会遇到突然出现的拐弯区间,智能车设计过程中使用了 MC33886 的控制电机反转来实现制动。行驶过程中可以通过单片机的控制使直流电机紧急制动。输入状态与输出状态真值表如表 3-3 所示。

表 3-3 输入状态和输出状态的真值表

电机状态	输入状态				错误报告	输出状态	
	D1	$\overline{D2}$	IN1	IN2	$\overline{FS}$	OUT1	OUT2
正转	L	H	H	L	H	H	L
反转	L	H	L	H	H	L	H
自由转动	L	H	L	L	H	L	L
自由转动	L	H	H	H	H	H	H
欠压	X	X	X	X	L	Z	Z
过温	X	X	X	X	L	Z	Z
短路	X	X	X	X	L	Z	Z

H-高电平 L-低电平 X-高电平或者低电平 Z-高阻

### 3.6 速度检测模块

在闭环控制系统中,速度指令值通过微控制器变换到驱动器,驱动器再为电机提供能量。速度传感器再把测量的车速的实际值回馈给微控制器。以便微控制器进行控制。因此要对控制系统实行闭环控制,必须要有感应速度量的速度传感器。常用的有以下两种传感器:

(1) 轴编码器 它常被用来测量旋转轴的位置和转速。分为“绝对式位置编码器”和“增量式轴编码器”,“绝对式位置编码器”被用来测量转轴的实际位置,这种编码器常被用于伺服系统中来获得一定的转轴位置。“增量式轴编码器”常被用来测量转轴的转速(速率和方向)。增量式轴编码器可以产生直接对应于轴转速的脉冲序列,如果采用有两相信号输出的增量式轴编码器,那么脉冲序列就可以直接表示出电机的旋转方向。

(2) 模拟转速计 它也被安装在电机的输出轴上,输出的是正比于电机转速的电压,然后再经过 A/D 后送给控制器。在实际应用中一般采用转速电机。

### 3.6.1 速度传感器的安装

一般购买的电机编码器重量都较大，而整车质量的增加，对系统动力性能有较大影响。为了减轻整车的质量，制作了一个轻量化的轴转速传感器。

轴编码器一般有两种，一种是光学编码器，另一种是利用电磁原理制成的霍尔编码器。霍尔编码器是根据霍尔效应制成的传感器，因为霍尔编码器存在着分辨率低，精确度不高的缺点。所以，本文采用光学编码器，也就是红外传感器。

红外传感器有两种，一种是反射式传感方式，另一种是对射式传感方式。示意图如图 3-23 所示。



图 3-23 两种红外传感方式

如果打开 PC 鼠标，会发现连接中心活动球的两个圆盘上有很多孔。至少有两个光耦（在实际上光遮断器）对准这些孔，圆盘旋转时，其中一个光耦会让信号从圆盘孔中穿过。把这些光耦摆放在圆盘四周的不同位置，它旋转的距离以及方向就能被计算出来。其实鼠标里用的也是对射式红外传感器。

受 PC 鼠标的启发，在设计中采样类似的原理来检测小车的速度，在智能车控制系统中，由于小车不会倒车，直流电机只会沿着一个方向转动，所以不需要辨别它的方向，这样只需要一个光耦就可以了，基本原理如下：在车体上固定一个对射式红外传感器，为了提高测量值的精确度和分辨率，将码盘安装在电机轴上，使其处于对射式传感器沟槽之间。车轮转动时，码盘随着车轴一起转动，码盘上的小孔依次通过红外发射器和红外接收器之间，传感器得到与速度有关的一些脉冲信号。如图所示 3-24 为红外速度传感器的示意图。圆盘上孔的个数就代表的分辨率的大小，孔越多，分辨率越大。电机也可以控制的更精确。当然孔的数量一定要在红外管的识别频率范围之内，开始用了 54 个孔，导致电机控制的失败，后来才发现原来的孔的个数已经超出了红外管的识别频率范围。降低了孔的个数后，问题才得以解决。当然也可以买些高频率的红外管。但是，这样做是没有必要的，因为小车系统不需要那么高的速度控制精度，而且过多的分辨率也带来了一些负面影响，从后面的软件设计一章可知，孔是通过中断来捕捉的，当

孔从红外管经过的时候，会引起 MCU 的输入捕捉中断，然后计算孔的数目，如果

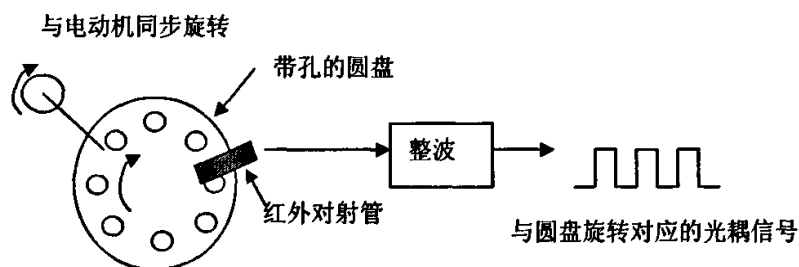


图 3-24 红外速度传感器的示意图

孔太多的话，MCU 中断的次数也会增加，这样会影响小车控制系统的系统周期。使系统实时性变得更差。所以，在设计中一定要通过反复试验找个最佳的孔数。经过反复的测试，最终确立了一周 27 个孔。

### 3.6.2 输出信号的处理

从传感器直接得到的信号很弱，所以必须经过三极管的放大，放大后的信号并非从 0V 快速地变化到 5V（即从逻辑 0 到逻辑 1）——这种电压信号才容易为微控制器所处理。实际输出的信号如图 3-25 所示。

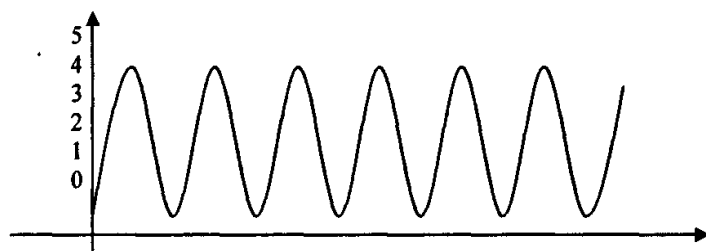


图 3-25 未经处理的红外传感器的输出

如果能够将红外传感器的输出信号数字化，从而使微处理器更容易区分状况的转换，例如，许多微控制器仅把低于零点几伏的低压当作逻辑 0 来处理，而把仅高于 3V 左右的电压当作逻辑 1 来处理。但是，红外传感器对转动电机轴的输出响应为连续变化的电压，而且这些连续变化的电压并不总是处于微控制器输入引脚所要求的理想电压范围之内——这一情况在有环境光影响的场合更为严重。其结果可能导致微控制器丢失相当多的编码器计数，进而影响到路程累计和电机控制的精确性。

改善光电开关输出信号的一条路径是采用电压比较器来处理原始的  $V_{out}$ 。电

压比较器是一种比较特殊的电路。它可以将输入电压与参考电压做比较，当输入电压高于参考电压，或者是输入电压低于参考电压时，其输出状态就发生变化。

电压比较器的优点在于输出电压是反映输入电压的方波信号，但是也有缺点，即如果输入电压仅仅瞬时地越过阈值电压，接着又立即回落（这通常被称为“噪声”），那么电压比较器也会反映这一噪声。这一缺点可以通过采用施密特触发器替代简单的电压比较器的方法来克服。施密特触发器是一种双阈值的特殊电压比较器。当输入电压高于上阈值（也被称为正向阈值）时，触发器输出高电平；当输入电压低于下阈值（也被称为负向阈值）时，触发器输出低电平；当输入电压处于下阈值和上阈值之间的“死区”时，触发器的状态不发生改变。“死区”作用也常被称为“滞回”。这一特点很有用，因为它具有一定的抗噪声干扰的能力。图 3-26 所示采用施密特触发器后噪声信号的处理结果。从图中可以看出，经过施密特触发器后，原先为电压比较器所反映的噪声脉冲已被滤除。

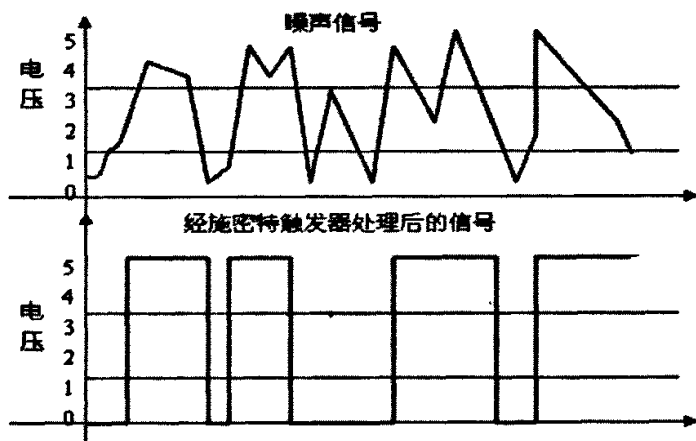


图 3-26 采用施密特触发器后噪声信号的处理结果

### 3.6.3 速度传感器电路的设计

速度传感器得到的信号经施密特触发器的整形后得到理想的脉冲信号，单片机对脉冲信号进行计数，以实现车速的检测。电路如图 3-27 所示。用这种方法能很精确地计算出小车在行驶时的车速。实验证明效果很好。74LS14 常用的施密特触发器之一，它是带有反向功能的施密特触发器。

在物理结构上，将该检测装置安装在后轮上，由于前轮主要负责车的转向，所以前轮将会时常左右转动，这样将会影响车速检测的精确性。

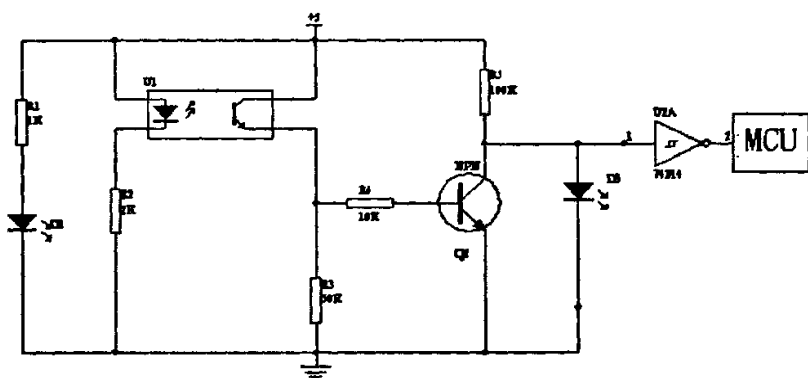


图 3-27 速度检测电路电路图

### 3.7 转向舵机模块

舵机最早出现在航模运动中。在航空模型中，飞机的飞行姿态是通过调节发动机和各个控制舵面来实现的。控制舵面的伺服电机，不仅在航模飞机中，在其他的模型运动中都可以看到它的应用：船模上用来控制尾舵，车模中用来转向等。由此可见，凡是需要操作性动作时都可以用舵机来实现，转向舵机的控制在智能汽车控制系统中的重要性是不言而喻的。

#### 3.7.1 舵机的内部结构以及工作原理

##### (1) 舵机的内部结构

一般来讲，舵机主要由以下几个部分组成，舵盘、减速齿轮组、位置反馈电位计 5k、直流电机、控制电路板等。其中，直流马达提供了原始动力，带动减速齿轮组，产生高扭力的输出，齿轮组的变速比愈大，输出扭力也愈大，越能承受更大的重量，但转动的速度也愈低。

##### (2) 舵机的工作原理

舵机是一个典型闭环反馈系统，其工作原理如右图 3-28 所示。控制信号由接收机的通道进入信号调制芯片，获得直流偏置电压。它内部有一个基准电路，产生周期为 20ms，宽度为 1.5ms 的基准信号，将获得的直流偏置电压与电位器的电压进行比较，获得电压差输出。

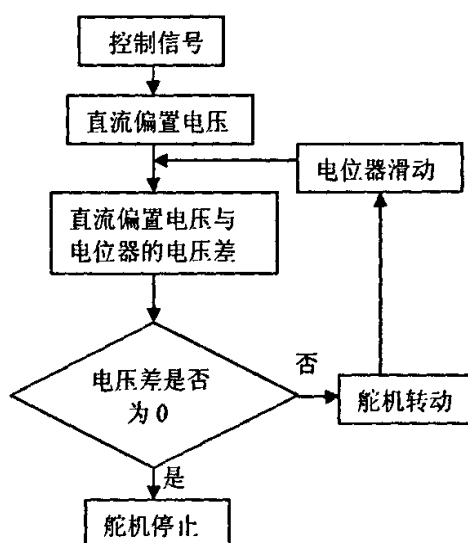


图 3-28 舵机工作原理示意图



最后,电压差的正负输出到电机驱动芯片决定电机的正反转。当电机转速一定时,电机带动一系列齿轮组,减速后传动至输出舵盘。舵机的输出轴和位置反馈电位计是相连的,舵盘转动的同时,带动位置反馈电位计,电位计将输出一个电压信号到控制电路板,进行反馈,然后控制电路板根据所在位置决定电机的转动方向和速度,直到电压差为 0,电机停止转动。

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

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

### 3.7.2 舵机控制设计

常见的舵机厂家有:日本的 Futaba、JR、SANWA 等,国产的有北京的新幻想、吉林的振华等,本次赛事组委会为每支队伍统一配发的舵机是 SANWA HS-925。如图 3-29 所示,该舵机的工作角度为:45 度/400u,有两种工作电压,分别是 4.8V 和 6.0V。工作电压为 4.8V 时,速度为 0.11sec/60,堵转力矩为 6.1kg.cm;工作电压为 6.0V 时,速度为 0.08sec/60,堵转力矩为 7.7kg.cm。在设计中,为了提高舵机的响应速度和工作力矩,采用 6.0V 工作电压。硬件电路如图 3-30 所示。



图 3-29 舵机 HS-925

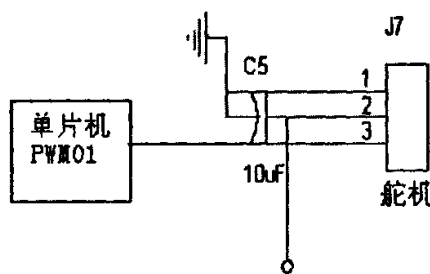


图 3-30 舵机控制硬件电路图

## 3.8 电池监控模块

### 3.8.1 电池监控模块的必要性

智能车采用镍镉电池供电, 由于镍镉电池具有记忆效应, 对电池的不完全放电将会认为降低电池的容量; 同时, 深度放电又会导致电池内部结构变化, 造成对电池的永久损害, 因此, 电池使用中合理放电同样是设计者需要考虑的问题。

如图 3-31 所示, 为镍镉电池放电曲线。从图中的曲线可以看出, 随着电池电量的减少, 其电压也会逐渐降低, 当电压降低到某个阈值后继续放电, 电池电压将会很快跌落。这个阈值就是电池的放电下限电压。厂家给出了放电下限电压为 6V。因此, 使用时, 在智能车控制系统中加入电源监控模块, 当电池电压低于 6V 时候及时自动报警并切断电路, 用来保护电池。

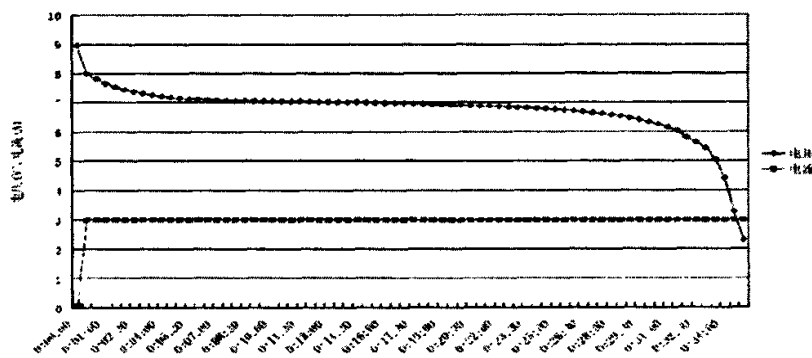


图 3-31 镍镉电池放电曲线

### 3.8.2 电池监控模块的电路设计

#### 3.8.2.1 电池监控模块的检测电路的设计

由于在电动机启动时会产生电压浮动和电磁干扰, 从而会影响 AD 对电池电压采集的精确度, 因此, 采集电路设计中加入了光耦隔离。采集信号经光电隔离电路后, 再经过有源滤波, 最后输入 MCU 处理。

光耦器件采用 TLP521-2, TLP521-2 是一个双通道光电隔离器, 其开关频率可达 80KHZ, 它将主回路与检测电路的电气连接隔离, 避免了主回路对控制电路的干扰, 从而提高了工作可靠性。为了使负载不影响滤波特性, 在滤波电路中引入有源滤波电路, 有源滤波电路是由无源滤波电路加一个高输入阻抗电阻低输出电阻的隔离电路, 最简单的方法是加一个电压跟随器。本文用运算放大器 LM324 构成电压跟随器。电路如图 3-32 所示:

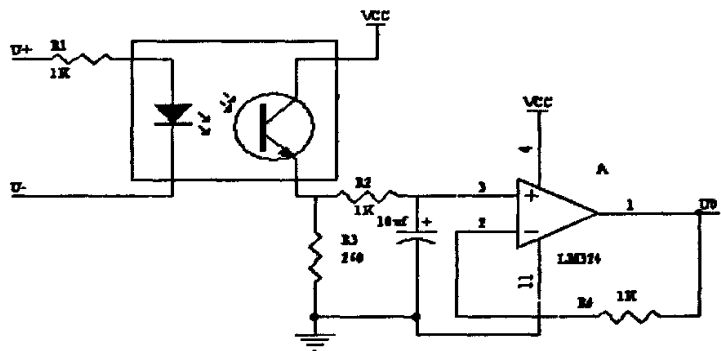


图 3-32 电源电压检测电路

3.8.2.2 池监控模块的执行电路的设计

在电池监控模块中，执行电路的作用就是在电源供电电压低于阈值电压（6.0V）时，迅速切断电源。达到保护电池的目的。如图 3-33 所示，通过单片机 I/O 来控制固态继电器的开关，控制电源通断，当继电器断开的时候，由于电感特性，会产生很大的瞬间电流，容易烧坏电路，所以在电路中加入二极管 4001，起到保护电路的作用。

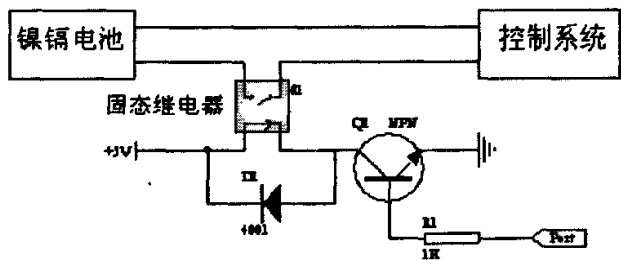


图 3-33 电池监控模块的执行电路

3.9 液晶显示模块

为了完善智能车控制系统的功能，使其更加人性化，同时也为了方便调试，在设计中，加入液晶显示模块。把智能车系统当前状态的一些重要参数显示出来，例如：小车当前的速度、电源的电压等。

3.9.1 LCD 的选择

点阵字符型 LCD 专门用于显示数字、字母、图形符号及少量自定义符号。这类显示器把 LCD 控制器、点阵驱动器、字符存储器、显示体及少量的阻容元件集成为一个液晶显示模块。

设计中采用的字符型液晶显示模块的控制器是日立公司生产的 HD44780，

HD44780 控制部分的时序发生电路主要用来产生计算机的响应时序、DDRAM 和 CGRAM 的存取时序以及光标和闪烁的产生时序等,其时钟频率范围为 125K—350KHZ,典型值为 250KHZ;地址指针计数器 AC 是 DDRAM 和 CGRAM 共同的地址指针计数器,可用于指示当前 DDRAM 和 CGRAM 共同的地址指针计数器,也可用于指示当前 DDRAM 和 CGRAM 的地址;字符发生器包括 CGROM 已固化好的字模库(含有 208 种 5×8 点阵和 32 种 5×11 点阵字符字模数据)和可随时定义的字模库;80 个字节的显示存储器 DDRAM,可用于存储当前所要显示的字符代码;其地址由 AC 提供,并可通过单片机直接对 DDRAM 进行读/写操作。

HD44780 有 11 条指令,单片机只需通过 RS、R/W、DB0-DB7 送入数据或指令,便可显示其指定内容或显示方式。

### 3.9.2 LCD 硬件接口电路的设计

字符型 LCD 与单片机的连接电路如图 3-34 所示,图中,单片机 H 口直接与 LCD 的数据口相接,PE1 用于控制 LCD 的 RS 寄存器选择,PE2 口用于控制 R/W 读写选择,PE3 用于控制 E 使能信号。使用该方法接口简单,编程方便。

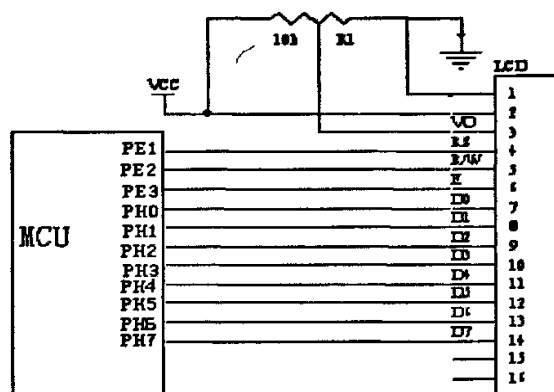


图 3-34 HD44780 与单片机的连接电路

### 3.9.3 LCD 的软件设计

液晶显示模块的显示方式有整屏显示和单独显示两种,整屏显示是将所要显示的数据一次性发送到显示数据 RAM 中。而单独显示是在屏幕上的指定位置进行。两种方法都是在控制器空闲的条件下才能进行操作,并且在操作前都要进行忙读取标志,以判断控制器是否处于忙状态,然后再进行写指令或读、写数据的操作。

### 3.10 辅助调试模块

#### 1. 辅助调试模块的必要性

在智能车调试阶段，小车经常出现启停的情况，例如，高速行驶的小车有时因为异常情况冲出跑道，以这样的速度碰到周围的障碍物上，势必损坏小车的部件，这个时候就需要小车立刻停下来。为此，在智能车系统上添加了红外遥控模块，当想启动小车时或者想让小车停止时，只需要按下遥控器上的按键，就可以很方便实现小车的启停。这也是智能车人性化的体现。

#### 2. 辅助调试器件的选择

红外线遥控是目前使用最广的一种遥控手段。红外线遥控装置具有体积小、功耗低、功能强、成本低等特点，因而继彩电、录像机之后，在录音机、音响设备、空调机，以及玩具等其它小型电器装置上也纷纷采用红外线遥控。

红外通信是利用 950nm 近红外波段的红外线作为传递信息的媒体，即通信信道。发送端采用脉时调制 (PPM) 方式，将二进制数字信号调制成某一频率的脉冲序列，并驱动红外发射管以光脉冲的形式发送出去；接收端将接收到的光脉冲转换成电信号，再经过放大、滤波等处理后送给解调电路进行解调，还原为二进制数字信号后输出。简而言之，红外通信的实质就是对二进制数字信号进行调制与解调，以便利用红外信道进行传输；红外通信接口就是针对红外信道的调制解调器。

红外电路的实现也很容易，在市场上买一个通用的遥控器，红外接收电路选用 Vishay 公司生产的专用红外接收模块 hs0038a，接收模块是一个三端元件，使用单电源+5V 电源，具有功耗低、抗干扰能力强、输入灵敏度高、对其它波长(950nm 以外)的红外光不敏感的特点，其内部结构框图如图 3-35 所示。

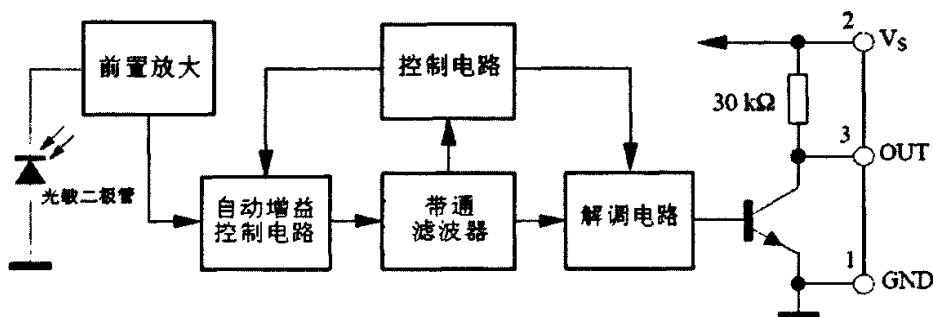


图 3-35 hs0038a 内部结构框图

hs0038a 的工作原理为：首先，通过红外光敏元件将接收到的载波频率为 38kHz 的脉冲调制红外光信号转化为电信号，再由前放大器和自动增益控制电路进行放大处理。然后，通过再通滤波器进行滤波，滤波后的信号由解调电路进行解调。最后，由输出级电路进行反向放大输出。

### 3. 红外接收电路的设计

红外接收电路如图 3-36 所示，其中，hs0038a 接收的红外信号与单片机的输入捕捉口相接，单片机通过软件编程实现对接收信号的采集、处理。

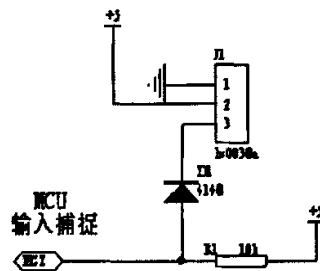


图 3-36 红外接收电路

## 3.11 故障诊断模块

现代汽车内部线路复杂，当汽车出现故障的时候，通过常规仪器很难在短时间内检测出故障原因，因此在所有高级汽车中，都装有在线故障诊断系统 OBD (On Board Diagnostics)，使用该系统可以很容易地诊断出故障原因。

智能车当然没有汽车那么复杂，但是内部也有好些模块容易出现故障，当小车出现故障时候，也不是很容易查找，例如：路径识别红外传感电路，总共有 11 对红外管，当出现故障时，如果用常规的办法，需要测量所有的传感电路，才能定论，不仅麻烦而且费时。还有速度传感电路出现故障的时候，会造成小车全速行使，当然也有可能是控制算法的失当造成的，是硬件故障还是算法设计问题导致的，如果按常规的检测方法，也会让人很头痛…。基于以上种种情况，可以看出在小车上设计一个故障诊断模块是很必要的。

小车的故障诊断模块诊断原理也很简单，就是利用单片机的 SCI0 口，通过 RS-232 接口与上位机连接起来。通过软件编程，小车不断的向上位机发送代码，通过故障代码就可以马上诊断出故障源。示意图如图 3-37 所示。

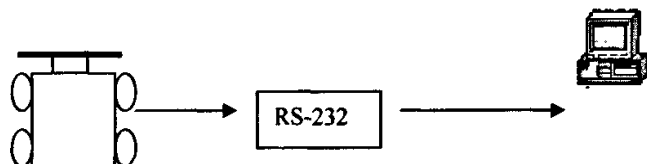


图 3-37 故障诊断模块示意图

## 第四章 系统软件设计

设计完硬件系统后，接下来设计软件，在智能车控制系统中，软件系统主要有以下几部分：路径识别算法、后轮驱动电机控制算法、转向舵机控制算法、速度检测等。单片机系统需要接收路径识别电路的信号、车速传感器的信号，采用某种路径搜索算法进行寻线判断，进而控制转向伺服电机和直流驱动电机。单片机的控制功能框图见图4-1所示

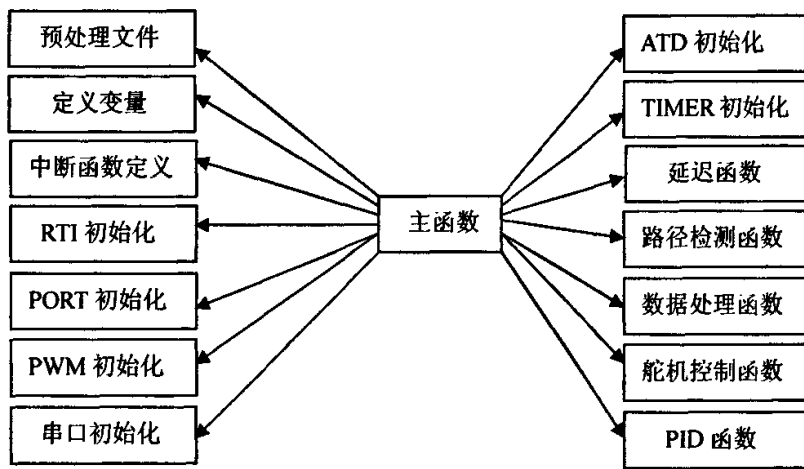


图 4-1 单片机控制功能框图

控制策略的选择对于小车的行驶性能是非常重要的，控制小车的最终目的就是要使小车在平稳行驶的前提下，尽可能地以最快的速度 and 最短的路线行驶。下面将依次介绍这些算法的设计方案。

### 4.1 路径识别模块的软件设计

路径识别模块是小车系统的关键部分，硬件设计一章已经介绍了路径识别硬件电路设计，下面主要介绍它的软件设计，整个路径识别模块的工作过程为：红外传感器采集来的路径信号经过滤波电路后输入单片机，经过单片机 A/D 转换后，输入 MCU 识别、处理后输出控制信号驱动执行机构动作。整个流程图如图 4-2 所示。

单片机要进行路径信号的识别、处理。首先必须把当前的路况信息送到单片机，这一过程就是路径信号采集，本次智能车大赛的赛道由黑线（引导线）和白面组成，小车通过对黑线的检测来确定小车的位置，从而进行相应的控制使得小车沿着轨道行驶。

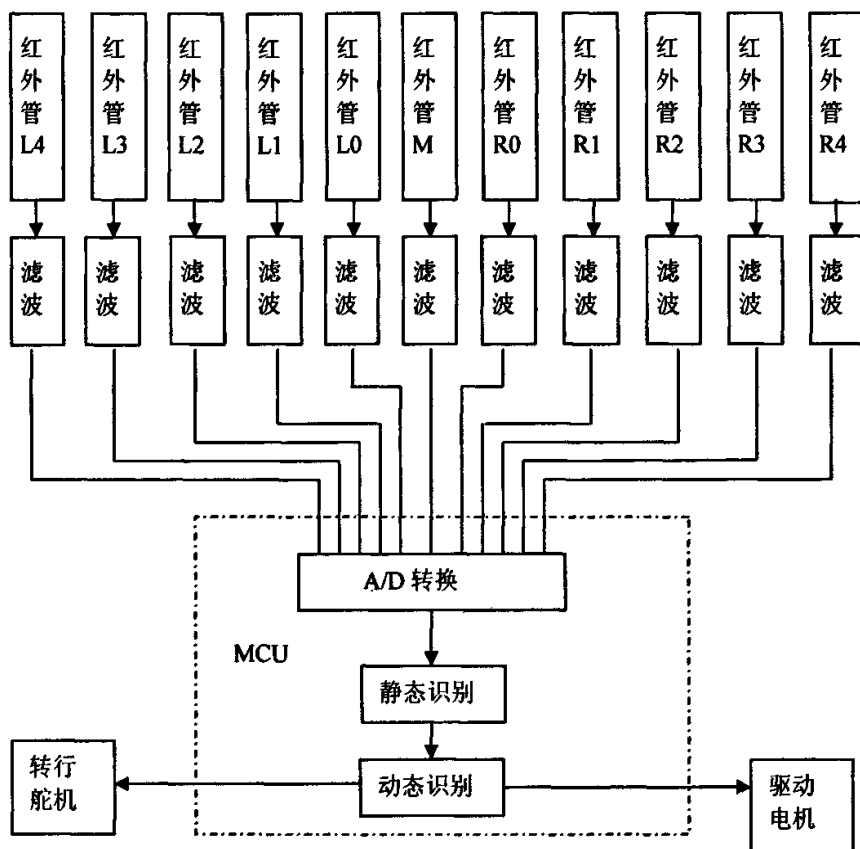


图 4-2 系统路径识别流程图

由硬件设计一章介绍可知，路径采集电路采用 11 路红外管来检测。红外传感器的布局示意图如图 4-3 所示。



图 4-3 红外传感器布局示意图

智能模型车的路径识别算法（Line Searching Algorithm）是智能车软件设计中最关键的一部分，智能车设计的大部分工作都是围绕它来展开的。路径识别算法与路径识别硬件电路相适应的。设计中，采用了红外传感器的方式，因此所设计的算法也是与红外传感器的布局相适应的。



路径识别算法概括起来有两种：一种是静态识别，所谓静态识别就是只根据小车的当前时刻的输入量来识别小车的位置；另一种是动态识别，所谓动态识别就是根据小车的当前时刻以及前面  $n$  个时刻的信号输入量来识别小车的运动趋势。

#### 4.1.1 智能车的静态识别

静态识别，简而言之，就是识别出小车当前相对于黑线的位置。小车在跑道上相对黑线的位置有好多种，其中典型的有三种，如图 4-5 所示。

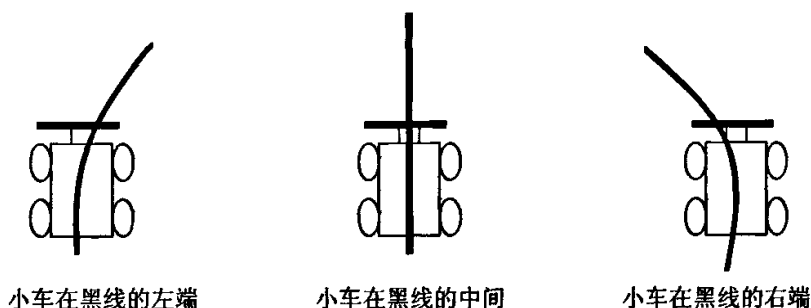


图 4-5 小车相对黑线三种典型的位置图

11 对红外管排列，把跑道划分为 10 个基本区间，每对之间的间隔 2cm，通过检测黑线相对红外管的位置，可以精确地确定智能车当前的位置。静态识别实际上就是识别黑线相对 11 个红外管的位置，由光学的知识可知，白色反射光线最强，黑色反射光线最弱，所以离黑线越近的红外管反射的红外线越弱，离黑越远的红外管反射的红外线越强，红外光的强弱通过硬件电路转换成电压的大小，所以各个红外管采集的电压值与它到黑线的距离成正比，这样可以通过各个红外的感应电压值来确定小车的当前位置。

由硬件设计一章可知，当红外接收管接收的光信号最强时，检测电路感应的电压值最小——0V，反之，当红外接收管接收的光信号最弱时，检测电路感应的电压最大——+5V。介于最强和最弱之间时，感应的电压在 0 和 +5V 之间，并且与光的强弱成线性关系。图 4-6 为反射光的强度与感应电压关系曲线。

CPU 不能处理模拟信号，所以红外采集的电压值必须先经过 A/D 转换，转换成单片机能够识别的数字信号，由单片机 A/D 转换可知，0V 的转换结果为 0，5V 的转换结果为 FF，0——+5V 之间的转换结果也与电压成线性关系。上面的分析可得图 4-7 所示结论。

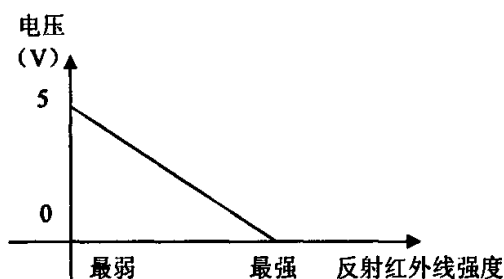


图 4-6 反射光的强度与感应电压关系曲线

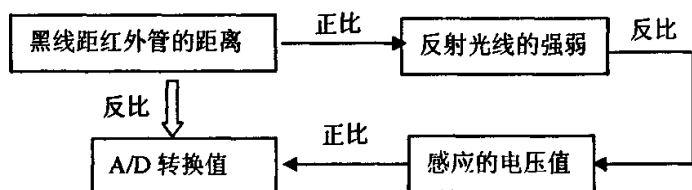


图 4-7 红外传感器中的各种比例关系

从图上可以看出，A/D 转换值与黑线距红外管的距离成反比，所以所有 11 路 A/D 转换值就可以确定黑线相对于 11 个红外管的位置，从而确定小车的当前位置，当然，确定黑线相对于红外管的位置的目的是控制执行机构，即控制舵机转动、控制驱动电机加速或者减速，也就是说，小车控制系统的输入是 11 路红外传感器，输出就是舵机转动的角度和电机驱动的转速，MC9S12DG128B 提供了这么一个资源——模糊推理机，通过模糊推理机可以很方便的实现一个 11 输入 2 输出的推理。

这里需要说明的是，MC9S12DG128B 的模糊推理机主要用于一般电机控制系统，而本文用在路径识别模块，主要是使用了模糊推理机的推理运算而已，和它的一般用法还是有一定的区别。下面将具体介绍 MC9S12DG128B 内部的模糊推理机。

#### 4.1.1.1 S12DG128B 的模糊推理机

Freescall 的 CPU12 内部有一个专门用于模糊逻辑推理的状态机，可称之为模糊推理机。逻辑推理机对实时输入变量做模糊化、规则判定与运算，然后反模糊化给出精确输出，应用程序从知识库中向逻辑推理机提供输入隶属函数、规则表等，分别用于模糊化、规则判定、反模糊化。如图 4-8 所示。

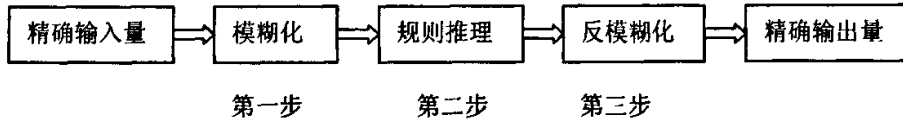


图 4-8 模糊控制步骤

面向这三个步骤，汇编指令集中以下几条指令：

- MEM 模糊化指令，根据隶属函数求隶属度
- REV 模糊推理指令，按模糊逻辑规则求值
- REVV 带权重模糊推理指令，按模糊逻辑规则求值
- WAV 反模糊化指令，求重心、精确化、加权平均

### 1. 模糊化

模糊控制的第一步是模糊化，从图 4-9 可以看出，模糊化的输入是精确的输入值，模糊化的输出是模糊量，由于该模糊量对于模糊控制的第二步而言是输入量，故在这里称模糊化输出的模糊量为模糊输入量。模糊化的主要功能是根据输入变量的隶属度函数，求出精确的输入值相对于输入变量各语言值的隶属度。这一步骤的关键是需要用户提供输入语言变量的隶属度函数。建立输入变量隶属度函数的步骤如下：

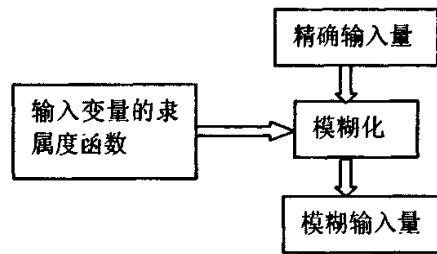


图 4-9 模糊化

第一步，确定所有输入变量的名称。

第二步，确定所有输入变量的变化范围，即论域。

第三步，确定每个语言变量的语言个数及名称。

### 2. 模糊规则推理

模糊规则推理就是依据模糊规则进行的推理，这是模糊控制器的核心工作。从图 4-10 可知，模糊规则推理的输入输出都是模糊量。模糊推理的输入是所有输入变量的输入精确值相对于输入变量所有语言值的隶属度，模糊推理的输出是输出变量个语言值的隶属度。完成了一步骤所需要的条件是确定输出模糊变量的隶属度函数及建立模糊规则库。

### 1) 建立输出变量的隶属度函数

输出变量隶属度函数的建立原则及过程类似于输入变量隶属度函数的建立。不过,输出变量经常采用单值函数作为隶属度函数。

### 2) 建立模糊规则库

模糊控制规则是模糊推理的依据,它主要根据专家的经验与对系统的观察和测量的结果生成,这些规则是用语言描述的。规则库中规则的数量取决于输入变量所含语言值的数量、专家的经验及实际的需要。

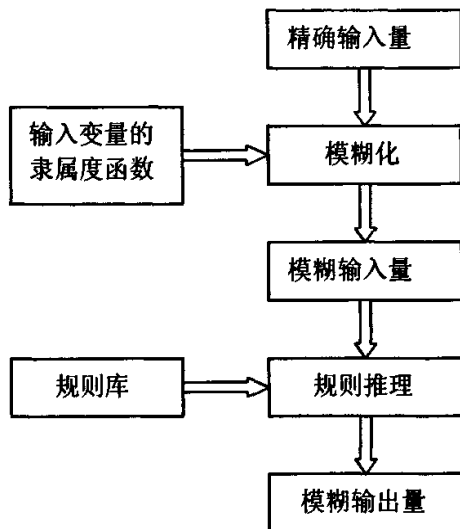


图 4-10 模糊推理

模糊推理实际上是从模糊前提出发按照模糊规则进行推理,而后得出结论(也是模糊的)。模糊规则是模糊推理的依据,这些模糊规则是人们实际工作中的经验用语言的表达,因此也称之为语言规则,基本上采用如下三种形式:

- (1) “如果 A 则 B”型。此种形式可写成“IF A THEN B”的条件语句形式,
- (2) “如果 A 则 B 否则 C”型。此种形式可写成“IF A THEN B ELSE C”。
- (3) “如 A 且 B 则 C 型。此种形式可写成“IF A AND B THEN C”。

以上几种模糊规则中,第三种用得最多,尤其在模糊控制器中更是如此。

### 3) 模糊推理

推理方法有很多种,这里介绍一种最常用的 MAX-MIN 法,MC9SDG128B 模糊推理也采用这种方法,它的推理过程大致分为四步,如图 4-11 所示。

第一步:建立规则库。

第二步:寻找对推理起作用的规则。一般情况下,一个输入变量的一个精确输入值对应于该变量语言值的隶属度只有 1 个或两个非零值。所以,某时刻有用的规则大大少于规则库中的规则数,推理时间不会很长。

第三步:确定规则强度。

所谓规则强度,就是有效规则成立的“真性”程度,或者说有效规则的“适合度”、“力度”。实质上就是规则后件中输出模糊变量某语言值的

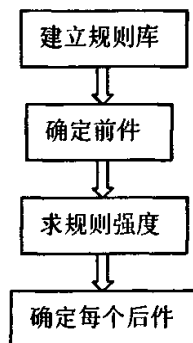


图 4-11 模糊推理过程

隶属度。根据 MAX-MIN 法的原理，由于规则前件间用“AND”操作符连接，因此，每一条规则的强度大于等于前件中的最小值。

第四步：确定模糊输出。

MAX-MIN 法则规定：当相同后件的规则强度不同时，模糊输出取其最大值。

### 3. 反模糊化

反模糊化，就是将模糊的控制量变为精确的控制量，反模糊化的输入是前一步规则推理的输出，即输出变量个语言值的隶属度，反模糊化的输出是系统输出变量的精确输出值。其过程就是根据输出变量的隶属度函数，从输出变量各语言值的隶属度求出精确输出值的过程。这一过程需要用户提供的数据是输出变量的隶属度函数。

反模糊化有多种方法，MC912DG128B 所提供的是重心法，即求所有模糊输出量的重心。计算公式如式（4-1）：

$$COG = \frac{\sum_{i=1}^n SiFi}{\sum_{i=1}^n Si} \quad \text{式(4-1)}$$

这种反模糊方法也是路径识别系统使用模糊推理的最主要原因。通过它可以确定合理的转动角度和电机转速。

#### 4.1.1.2 MC9DG128B 模糊推理机在路径识别算法中的应用

从上面的介绍可以看出，模糊推理机的工作过程总共有三个步骤：模糊化、模糊规则推理和反模糊化。下面依次介绍模糊推理机在路径识别模块中的设计。第一步，模糊化

模糊化主要的任务是确定输入变量以及输入变量隶属度函数。路径识别模块有 11 路红外传感器，可以当作 11 个输入变量，分别定义为 X1、X2、X3、X4、X5、X6、X7、X8、X9、X10、X11，每个输入变量的范围都是[0, FF]，而且每个输入变量都有个语言值。可以确定输入变量的隶属度函数如图 4-12 所示。

通过输入变量的隶属度函数，可以确定每一个输入值的隶属度，比如：一个输入值为 7F，那么它的隶属度为 0.5（也就是输入值与输入范围宽度的比值）。

如果黑线在某个红外管正下方，那么其红外接收信号接收的反射光线也最弱，这个时候，它所对应的隶属度最大（1），其他的输入得出的隶属度必然最小（0），当然也可能出现：黑线同时在两个红外管的下面，

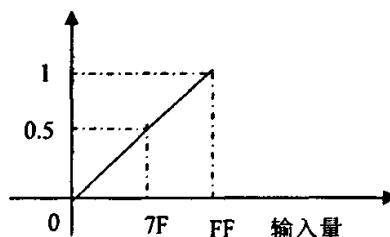


图 4-12 输入变量隶属度函数

这个时候，只有这两路输入值的隶属度不为 0，其他的输入值为 0，而且两个隶属度之和为 1，同时它们的隶属度的值与它们各自到黑线的距离成线形关系。计算隶属度的值都是通过单片机硬件实现的。用户只需建立输入变量的隶属度函数。对输入值模糊化的指令是：MEM。

## 第二步，模糊规则推理

模糊规则推理主要任务是：确定输出变量并建立输出变量隶属度函数，建立模糊规则库，以及模糊推理。

路径识别的直接目的就是控制舵机和直流电机，所以输出变量有两个：舵机的转动角度 Y1、电机的驱动速度 Y2。

输出变量隶属度函数是单值函数。舵机转动角度 Y1 的隶属度函数如图 4-13 所示。电机驱动转速 Y2 的隶属度函数如图 4-14 所示。

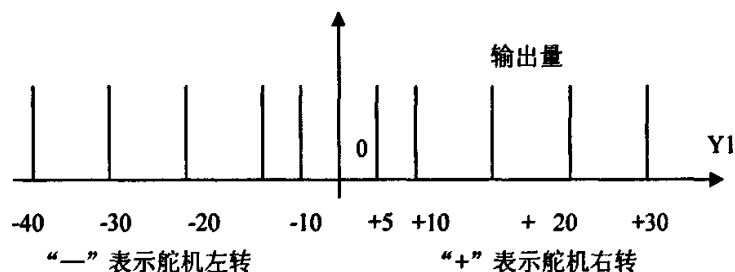


图 4-13 Y1（舵机转动角度）隶属度函数

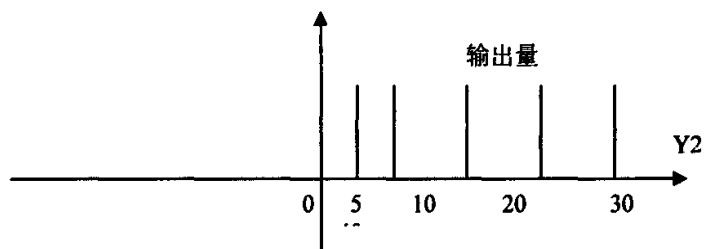


图 4-14 Y2（电机驱动速度）隶属度函数

接下来建立模糊规则库，模糊规则库的前件是输入函数，后件是输出函数所对应的各个单值，模糊规则库中有 11 条规则，分别为：

第 1 条： IF X1 THEN Y1=-40, Y2=0

第 2 条： IF X2 THEN Y1=-30, Y2=5

第 3 条： IF X3 THEN Y1=-20, Y2=10

第 4 条： IF X4 THEN Y1=-10, Y2=20

	L4	L3	L2	L1	L0	M	R0	R1	R2	R3	R4
輸入	X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7	X8	X9	X10	X11
Y1	-40	-30	-20	-10	-5	0	5	10	20	30	40
Y2	0	5	10	20	30	40	30	20	10	5	0

**Y2: 电机驱动速度**

42

模糊化后就可以输出精确的舵机角度值和电机驱动速度值。可以直接去控制执行机构。

4.1.1.3 环境参数设定子程序的设计

在前面的设计中，假设当黑线在红外管正下方的时候，红外光线反射最弱，这时传感器电路输出的电压为 5V，反之，则输出 0V，如图 4-16 所示，这只是理想情况，事实上，由于周围环境的影响，与理想情况有一定的偏差，比如：

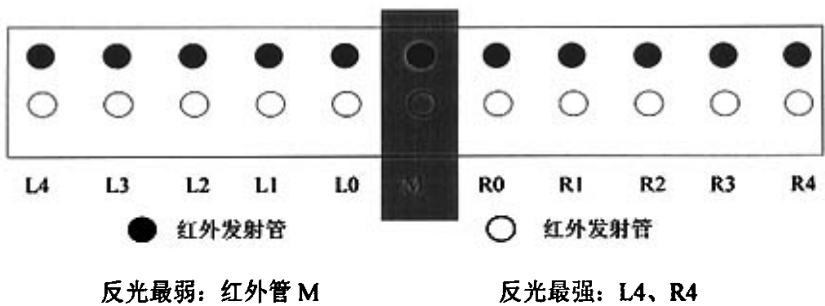


图 4-16 红外反光强度的示意图

比赛场地室内光线不够亮，就会导致即使在光外线反射最强的时候，传感器电路输出的电压也要大于 0V，当然也有可能出现这种情况，比赛场地室内光线特别亮，这样，即使在光外线反射最弱的时候，传感器电路输出的电压也小于 5V。所以，按照理想情况下设定的参数（输入变量的隶属度函数）就会影响小车对路径识别的精度。

基于以上不足，在实际应用中加入了环境参数设定子程序，在小车行驶之前，首先要通过小车对环境的检测，来自动设定一些参数，参数主要包括红外管在黑线正上方（反射最弱）时的感应值、红外管在白面正上方（反射最强）时感应值。用这两个值建立输入变量隶属度函数。环境参数设定子程序软件设计流程图如图 4-17 所示。



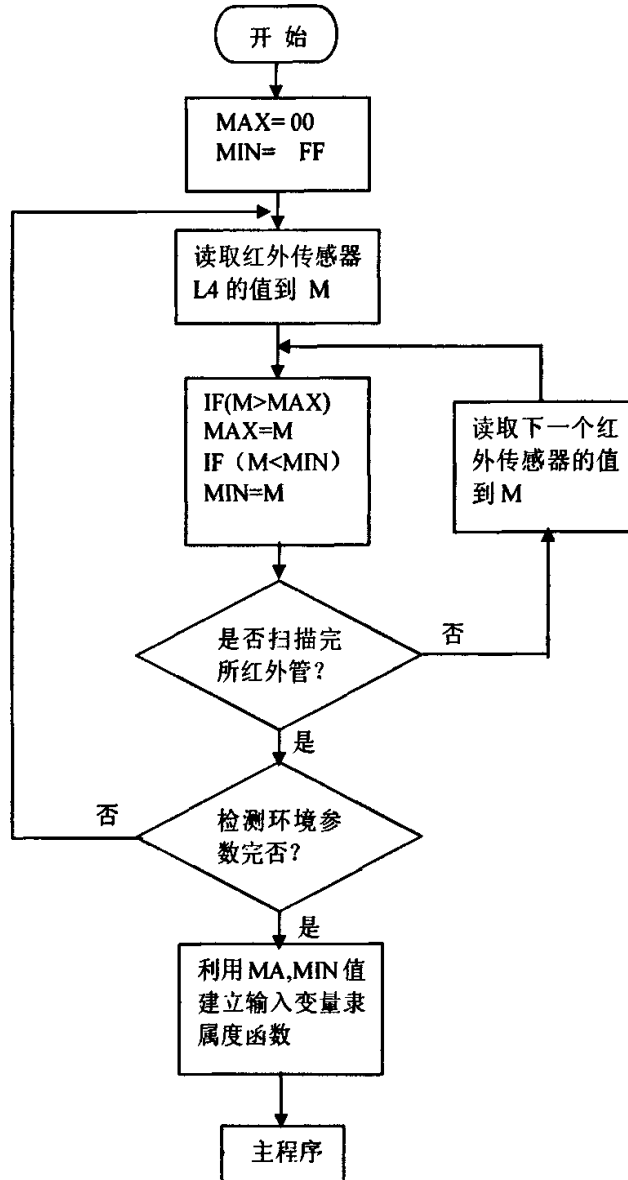


图 4-17 环境参数设定子程序软件流程图

#### 4.1.1.4 静态识别抗干扰处理

小车在行驶的时候,可能会遇到一些干扰因素,比如:白色路面上出现了一些黑色的瑕点,小车就不能分清哪些是黑线,哪些是瑕点,还有一种情况,由于一些原因,小车拐弯的时候脱离了黑线,红外管所能探测到的都是白面,出现无轨道状态……,出现上述异常情况后,如果按正常的识别,小车就识别不出路径,

从而造成小车“迷路”。因此必须在软件里加入必要的抗干扰处理，以增强小车的抗干扰能力。

其实，遇到上面的异常情况时，只需要不考虑这次的检测结果，继续保持小车上一次的运行状态，就可以最大程度避免误操作。特别是在小车拐弯的时候，这种处理更显得重要，当小车拐弯时，由于速度过快，冲出黑线，这个时候，只要让小车一直保持脱离黑线前的状态（最大程度的拐弯）就可以使小车拐回到黑线上来。

可以看出抗干扰处理只有两步。第一步，识别干扰；第二步，进行相应的处理。其中，最重要的是识别出干扰，从上面可知，小车沿着黑线正常行使时，所有红外管采集来的信息经 A/D 转换后的总和  $M$  都在 255 左右，因此当采集的这个值远小于这个值（脱离黑线），或者是远大于这个值时（白面上有瑕点），都将识为干扰，经过实际测试，上限取为：280，下限取为 30。也就是当  $M$  大于 280 或者是小于 30 时，小车采集的数据为干扰信号，所以丢弃，小车保持原来的状态，否则，对当前数据正常识别、控制。软件设计流程图如图 4-18 所示。

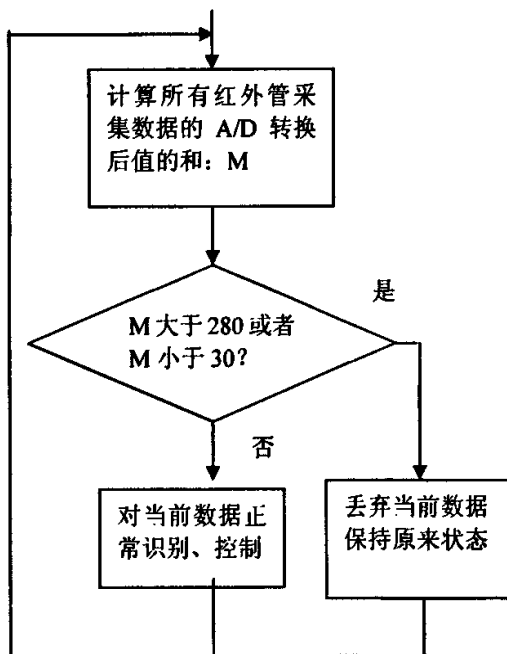


图 4-18 静态识别抗干扰软件流程图

#### 4.1.2 智能车的动态识别

小车在路径上行驶的时候，频繁过弯道时，（如到“S”形弯），可能会出现晃动，如图 4-19 所示。为了改善这种不稳定的状况，在软件中引入动态补偿，动态识别主要是识别出小车的当前运动趋势，以便进行相应的动态补偿，从而使小车能够平稳的行驶。

具体的做法就是当小车继续往一个方向偏离黑线时，给小车一个向其反方向的补偿。从而减弱小车的晃动力。其软件流程图如图 4-20 所示。首先，由静态识别可以知道小车当前与黑线的偏差角度  $a_1$ ，判断  $a_1$  的值，如果  $|a_1| < 5$ ，说明小车与黑线的偏离值很小，这个时候不需要动态补偿，否则的话，说明小车与黑线有一定的偏差，应该补偿，从存储器中读出上一次偏差角度  $a_0$ ，计算出当前

和上一次的偏差角度的差： $a=a_1-a_0$ ，然后对  $a$  进行修正，修正的大小与修正系数  $x$  的大小相关， $x$  的大小可以通过实验得出一个理想的值，如果  $b$  的值大于 0，说明小车现在一直往左边偏，给舵机右方向偏转的一个补偿  $|b|$ ，如果  $b$  的值小于 0，说明小车现在一直往右边偏，给舵机左方向偏转的一个补偿  $|b|$ 。

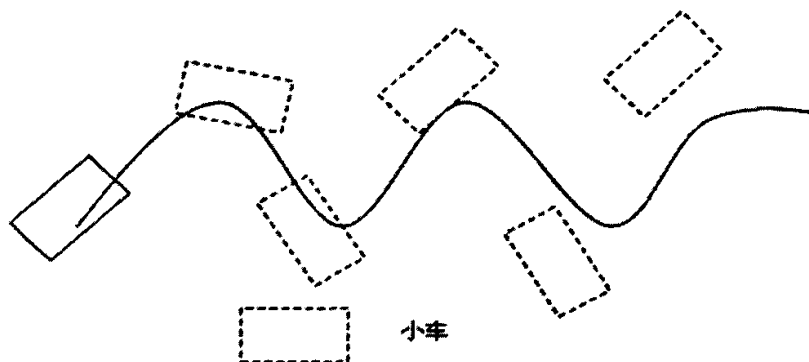


图 4-19 无动态补偿时小车行驶图

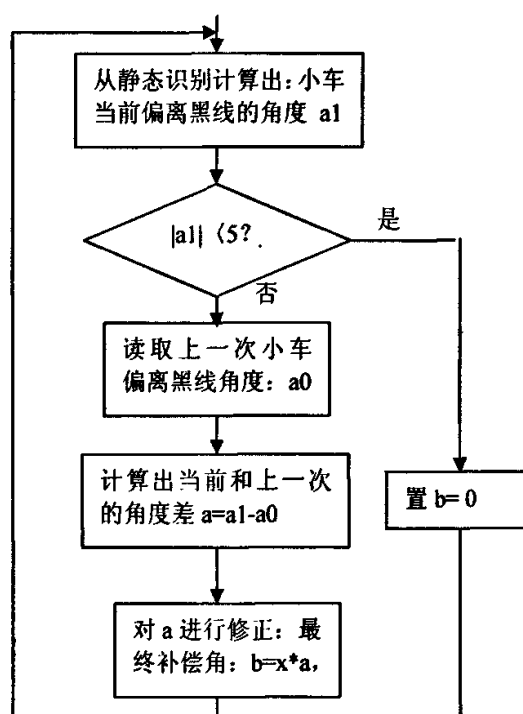


图 4-20 动态识别流程图

## 4.2 后轮驱动电机控制算法

电机控制算法的作用是接受指令速度值，通过运算向电机提供适当的驱动电压，尽快地、尽量平稳地使电机转速达到速度值，并维持这个速度值。换言之，一旦电机转速达到了指令速度值，即使遇到各种不利因素的干扰下也应该保持该速度值不变。

控制算法（有时也称作控制规则）是任何闭环控制方法的核心。现在已经有各种各样的控制算法，PID 控制算法是控制系统中技术比较成熟，而且应用最广泛的一种控制器。它的结构简单，参数容易调整，不一定需要系统的确切数据模型，因此在工业的各个领域中都有应用。

PID 控制器最先出现在模拟控制系统中，传统的模拟 PID 控制器是通过硬件（电子元件、气动和液压元件）来实现它的功能。随着计算机的出现，把它移植到计算机控制系统中来，将原来的硬件实现的功能用软件来代替，因此称作数字 PID 控制器，所形成的一整套算法则称为数字 PID 算法。数字 PID 控制器与模拟 PID 控制器相比，具有非常强的灵活性，可以根据试验和经验在线调整参数，因此可以得到更好的控制性能。

### 4.2.1 PID 控制算法

在介绍 PID 算法之前，先说明一些 PID 控制算法中常用的术语：

- (1) 控制对象 有时也称作执行装置。它是控制回路所要控制的对象。
- (2) 控制变量 它既是控制回路的输出量，也是控制对象的输入量，通常将其定义为 CV。
- (3) 对象变量 通常简写为 PV。PV 是控制对象的反馈值。
- (4) 期望值 通常简写为 SP。SP 是人们所希望的控制对象的取值。

不论具体的控制算法是否属于 PID 算法，许多基于偏差的单输出控制系统的操作都可以归结为以下几个步骤：

第一步：读取当前指定的 SP 值。电机控制系统是指电机转速值。

第二步：读取 PV 值。

第三步：用 SP 减去 PV 得到偏差信号。偏差信号表明控制对象的输出与期望值之间相差多少。偏差信号的值较大，说明控制对象的输出与期望值（SP）相差得还很远；偏差信号的值较小，说明两者相差不多；偏差信号的值为零，说明控制对象的输出符合期望值。偏差信号的值可以为正，也可以为负。

第四步：如果偏差信号值不等于零，就应该将其转换为有效的 CV 值输出，目的在于使控制对象的输出更为接近 SP。换句话说，即从偏差信号中获得新的 CV 值（该值用于调节电机的供给电压），从而使 PV 值（测得的电机的当前转速

值)更加接近 SP 值(电机的期望值)。注意,某些控制器会在一定范围内忽略较小的偏差信号,这一范围被称为“死区”。

第五步:重复前面的步骤。

上述控制系统的方框图如图 4-21 所示:

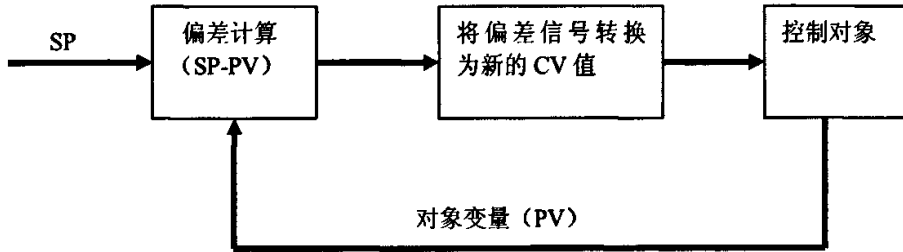


图 4-21 闭环控制系统方框图

在 PID 控制器中,偏差转换环节对应于前述的步骤四。它可以分解为三个环节:比例环节、积分环节和微分环节。这些环节同时起转换作用。三个环节的输出求和后共同作用于控制对象,产生新的输出。如图 4-22 表示一个常用的 PID 系统回路。

某些情况下,可以不必使用积分或是微分控制器。不使用积分控制器,仅使用比例-微分(简称 PD)控制器。同样地,也可以既不使用微分,也不使用积分控制器,这样就只剩下简单的比例(简称 P)控制器。

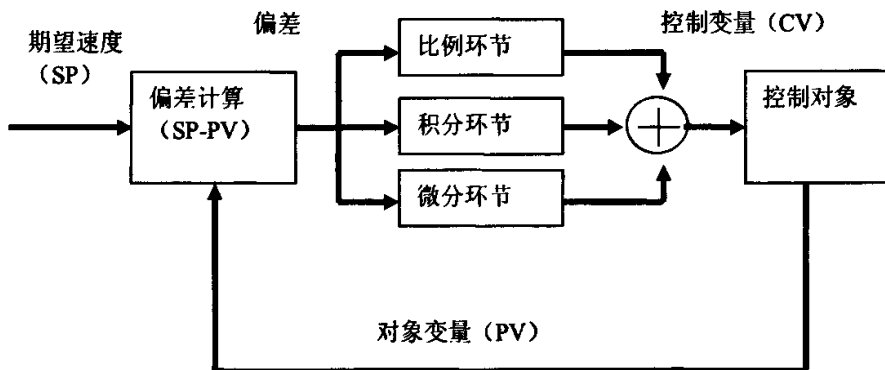


图 4-22 PID 控制系统方框图

### 4.2.2 智能车系统 PID 控制算法的设计

#### 1. 智能车系统 PD 控制器结构的确定

在智能汽车控制系统中，整个小车通过一个直流电机来驱动。所以，控制小车的行驶速度就是控制电机的转速。这是一个典型的直流电机速度控制系统，在该系统中，控制对象就是直流电机，控制变量是 PWM 信号占空比的一个不断的变化值，对象变量是编码器测得的电机当前的实际转速值。在该系统中，仅使用比例-微分 (PD) 就能满足控制要求，所以没有加入积分项。控制框图如图 4-23 所示。

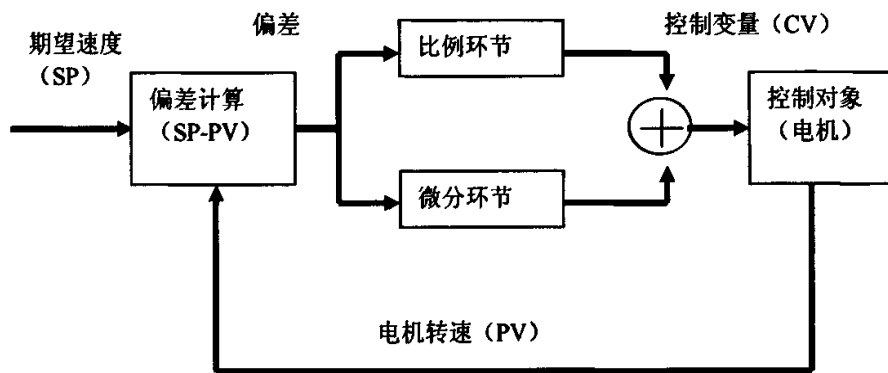


图 4-23 电机控制系统框图

下面介绍 PD 控制算法的具体设计过程：

(1) 比例项的设计 控制回路中的第一个偏差转换环节就是比例项。这一环节简单地将偏差信号乘以比例常数  $K_p$  得到新的 CV 值。基本的比例控制器的算法如下代码所示：

```

loop:
    PV=ReadMotorSpeed()
    Error=SP-PV
    CV=Error*Kp
    Setpwm(cv)
    Go to loop
  
```

注意上一段程序中的 Setpwm() 函数并非将 CV 值作为绝对的 PWM 占空比来对待。否则，不断降低的偏差值会使输出值接近零，而且由于电机工作时需要持续的 PWM 信号，控制系统将使电机稳定在低速运转状态上，从而导致控制策略失败。

相反, CV 值被取作当前 PWM 占空比的改变量, 并被附加到当前的 PWM 占空比上。这也要求 Setpwm() 函数必须将相加后所得的 PWM 占空比限制在 0%--100%。

正的 CV 值将使电机两端的电压增加, 负的 CV 值将使电机两端的电压降低, 如果 CV 值等于 0, 则无须改变当前占空比。通过选择合适的 Kp 值, 可以得到如图 4-24 所示的电机速度响应曲线。

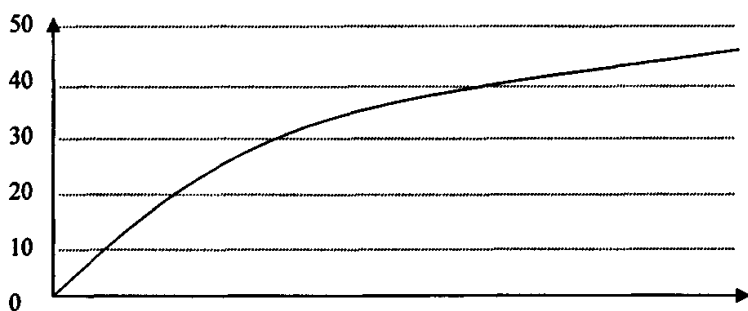


图 4-24 比例控制电机速度的响应曲线

(2)微分项的设计 任何变量的微分被用来描述该变量是如何相对于另一个变量(多为时间)变化的, 换句话说, 任何变量的微分就是它随时间的变化率。

在 PD 控制器中, 绝大多数控制器将微分项定义为:

$$\text{Rate} = (E - \text{Elast}) / T \quad \text{式(4-2)}$$

其中, E 为当前偏差值, Elast 为前次偏差值, T 为两次测量的时间间隔。在这里, 简单地假设 T 等于 1, 从而将 T 从公式中消去, 得到:

$$\text{Rate} = E - \text{Elast} \quad \text{式(4-3)}$$

负的变化率表明偏差信号的改善。比如说, 上一次偏差值为 20, 而当前偏差值为 10, 则变化率为 -10。如果上一次偏差值为 10, 而当前偏差值为 20, 当前变化率为 10。前后两次偏差值不变, 则变化率为零。

当微分想被具体应用到控制器中时, 将一个常数 Kd, 乘以该微分项, 并将它加如到比例项上, 就可以得到最终的 CV 值计算公式:

$$\text{CV} = (K_p \times E) + (K_d \times \text{Rate}) \quad \text{式(4-4)}$$

当偏差信号接近零时, CV 值将为负, 所以当偏差信号开始改善时, 微分项的作用将逐渐减弱校正输出量。在某些场合下, 微分项还有利于超调量的消除, 并可以允许使用较大的 Kp 值, 从而可以改善响应的快速性。在某种意义上, 微分环节还预示了偏差信号的变化趋势。当控制对象对控制器的输出响应迟缓时, 微分环节的作用尤为明显。

含有微分项的控制算法的伪代码实现如下:

Loop:

```
PV=ReadMotorSpeed()
LastError=Error
Error=SP-PV
Rate=Error-LastError
CV=Error*Kp+Rate*Kd
Setpwm(CV)
Goto loop
```

微分环节的引入改善了系统的动态特性，但微分对于干扰非常敏感，这使它可能会造成不利的影响。由于采样周期一般都非常小，差分（特别是二阶差分）对数据误差和噪声特别敏感，一旦出现干扰，表现为差分突然变大，从而引起控制量的非正常增大；假如这时系统已进入稳态，干扰会通过微分项使系统产生振荡。为了避免微分项对控制系统的影响过大，在设计控制器时限定微分结果的范围。

## 2. 小车系统 PD 控制器的参数选择和采样周期的选择

### ① PD 控制器参数的选择

在对电动机控制中，首先要求系统是稳定的，在给定值变化时，被控量应能迅速、平稳地跟踪，超调量要小。在各种干扰下，被控量应能保持在给定值附近。另外，控制变量不宜过大，以避免系统过载。显然，上述要求都满足是很困难的，因此，必须根据具体的实际情况，抓主要方面，兼顾其他方面。

在选择控制器参数之前，应首先确定控制器结构。在小车控制系统里，在设计中，选用 PD 控制器，所以下面将重点讨论 PD 控制器参数的确定。

PID 参数的选择有两种可用方法：理论设计法和实验设计法。理论设计法确定 PID 控制参数的前提，是要有被控对象准确的数学模型，这在电动机控制中很难做到，因此，用试验法来 PID 控制参数，就成为目前经常采用的，并且是行之有效的方法。

凑试法是通过模拟或闭环运行系统，来观察系统的响应曲线，然后根据各个控制参数对系统响应的大致影响，来改变参数，反复凑试，直到认为得到满意的响应为止。凑试前，要先了解 PID 控制器参数值对系统的响应有哪些影响。

增大比例系数  $K_p$ ，可以加快系统的响应速度，有利于减少静态误差；但是，过大的比例系数会是系统有较大的超调，因此产生振荡，破坏系统的稳定性。如图 4-25 所示为不稳定的控制系统。

增大微分常数  $T_d$ ，可以加快系统的响应，使超调量减少，稳定性增加；但系统的抗干扰能力降低。



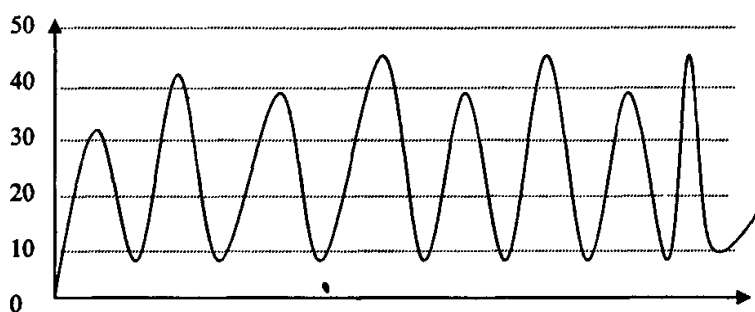


图 4-25 不稳定的控制系统

在考虑了以上参数对控制过程的影响后，凑试时，可以按照先比例，再微分的顺序反复调节参数，具体的步骤如下：

- (1) 首先只调整比例部分，将比例系数由小到大，并观察系统所对应的响应，直到得到响应快、超调量小的响应曲线为止。
- (2) 在凑试前，先给一个很小的微分常数，以后逐渐增大，同时相应地改变比例系数，直到获得满意的效果为止。

这里所谓的“满意”的效果，是根据被控对象的不同和对控制要求的不同，而得到的相对满意程度。因为比例、积分、微分三者的控制作用有相互重叠之处，某一环节作用的减小往往可以由其他环节作用的增加来补偿，因此，能达到“满意”效果的参数组合并不是唯一的。

另外，需要指出的是，为了尽可能的提高指令的执行速度，提高系统的实行性，在参数设计中尽可能不使用浮点数，例如比例系数  $K_p$ 、微分系统  $K_d$  可以使用移位的方法来近似浮点数运算。

## ② 采样周期的选择

数字 PID 控制算法是模仿连续系统的 PID 控制器，在近似离散化的基础上，通过计算机实现数字控制。这种控制方式要求采样周期要足够短，一般要远小于系统的时间常数，这是采用数字 PID 控制器的前提。采样周期越小，数字控制效果就越接近连续控制。采样周期的选择要受到多方面因素的影响（比如单片机的速度）。在电动机控制软件设计中，采样周期也是一个重要因素。在实际选择采样周期时，必须从需要和可能性两方面综合考虑，一般要考虑的因素有如下：

- (1) 从调节品质和数字 PID 算法要求方面考虑，采样周期应取得短些。一般说来，控制精度要求越高，采样周期应该越短。采样周期应比被控对象的时间常数小得多，否则，采样信号无法反映系统的瞬变过程。

- (2) 为了使连续信号采样后输入计算机而不失真, 应根据香农 (Shannon) 采样定理, 采样周期需要满足式 (4-5) 关系。

$$T < \frac{1}{2f_{\max}} \quad \text{式(4-5)}$$

式中  $f_{\max}$  ——被采样信号的最高频率。

由于  $f_{\max}$  很难准确地确定, 所以如果按香农定理选择采样周期, 实际取的  $f_{\max}$  还须要放大 4~6 倍。

- (3) 从控制系统的动态性能和抗干扰性能来考虑, 也要求采样周期短些。这样, 给定值的改变可以迅速通过采样得到, 而不至于在控制中产生较大的延迟, 此外, 对低频扰动, 采用短的采样周期可以迅速加以校正。
- (4) 从执行元件的响应速度和要求来看, 有时需要输出信号保持一定的时间。如果执行元件响应速度慢, 那么过短的采样周期往往没有必要。
- (5) 从单片机控制在一个采样周期内要完成的运算工作量来考虑, 一般要求采样周期长些, 以保证单片机有充分的实时响应时间和处理时间。
- (6) 从单片机本身的精度考虑, 过短的采样周期是不实际的。这是因为目前用于电动机控制的单片机的字长一般都较短, 并且多采用定点数运算。如果采样周期过短, 前、后两次采样信号的数值接近, 反而因单片机的运算精度不高而无法区分, 使控制作用减弱。

从以上分析可以看出, 各种因素对采样周期的要求是不同的, 甚至是矛盾的, 因此必须根据具体情况和要求综合作出选择。

### 4.2.3 数字滤波技术的应用

#### 1. 数字滤波技术概述

在电动机数字闭环控制系统中, 测量值  $y_k$  是通过系统的输出量进行采样而得到的。它与给定值  $r(t)$  之差形成偏差信号  $e_k$ , 所以, 测量值  $y_k$  是决定偏差大小的重要数据。测量值如果不能真实地反映系统的输出, 那么这个控制系统就会失去它的作用。

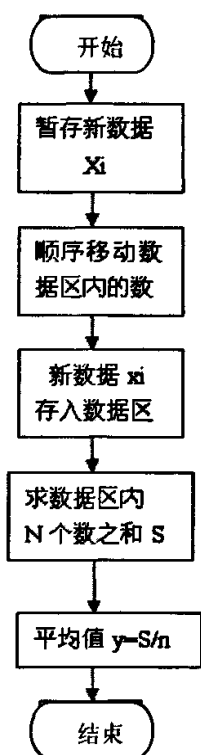
在实际中, 对电动机输出的测量值常混有干扰噪声, 它们来自于被测信号形成过程和传送过程。用混有干扰的测量值作为控制信号, 将引起误动作, 在有微分控制环节的系统中还会引起系统振荡, 因此危害极大。

干扰信号可分为周期性和随机性两类。对周期性的工频或高频干扰，可以通过电路中加入 RC 低通滤波器硬件来加以抑制；但对于低频周期性干扰和随机性干扰，硬件就无能为力了。用数字滤波可以解决这些问题。所谓数字滤波，就是通过一定的软件计算或判断来减少干扰在有用信号中的比重，达到减弱或消除干扰的目的。它与模拟滤波相比有如下优点：

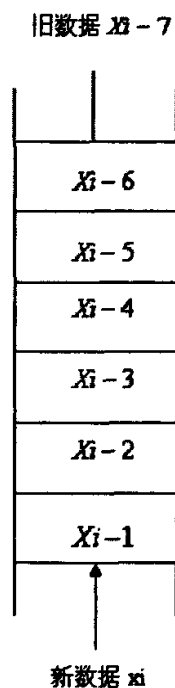
- ① 数字滤波是用程序实现的，不需要增加硬件投入，因而成本低，可靠性高，稳定性好，不存在各种电气回路之间的阻抗匹配问题。
- ② 可以对频率很低的信号实现滤波。
- ③ 在设计和调试数字滤波器的过程中，可以根据不同的干扰情况，随时修改滤波程序和滤波方法，具有很强的灵活性。

数字滤波器有以下几种：算术平均值法、移动平均滤波法、防脉冲干扰平均法以及数字低通滤波法。

## 2. 数字滤波的设计



(a) 程序框图



(b) 算法原理图

图 4-26 移动平均滤波法

在该系统设计中,采用了移动平均滤波法。移动平均滤波法每计算一次测量值,只需采样一次,所以大大加快了数据处理速度,非常适合于实时控制。

图 4-26 (a) 给出了实现移动平均滤波法的程序框图。

移动平均滤波法的算法原理如图 4-26 (b) 所示。它是将采样后的数据按采样时刻的先后顺序存放在 RAM 中,在每次计算前先顺序移动数据,将队列前的最先采样的数据移出(图中  $X_{i-9}$ ),然后将最新采样的数据(图中的  $X_i$ )补充到队列的尾部,以保证数据缓冲区里总共有  $n$  个数据,并且数据仍按采样的先后顺序排列。这时计算队列中  $n$  个数据的算术平均值,这个算术平均值就是测量值  $y_k$ 。它实现了每采样一次,就计算一个  $y_k$ 。

### 4.3 转向舵机的控制

#### 4.3.1 舵机的控制要求

舵机控制是智能车系统中很重要的一个环节,舵机控制的好坏也直接影响了小车的控制效果,舵机的控制信号为周期是 20ms 的脉宽调制(PWM)信号,其中脉冲宽度从 0.5ms-2.5ms,相对应舵盘的位置为 0—180 度,呈线性变化。也就是说,给它提供一定的脉宽,它的输出轴就会保持在一个相对应的角度上,无论外界转矩怎样改变,直到给它提供一个另外宽度的脉冲信号,它才会改变输出角度到新的对应的位置上。

舵机的控制信号是 PWM 信号,利用占空比的变化改变舵机的位置。一般舵机的控制要求如图 4-27 所示:

因为舵机的控制信号是一个脉宽调制信号,所以很方便和数字系统进行接口。只要能产生标准的控制信号的数字设备都可以用来控制舵机,例如软件计数方式,定时器中断方式, PWM 硬件产生方式等。

单片机系统实现对舵机输出转角的控制,必须首先完成两个任务:首先是产生基本的 PWM 周期信号,产生 20ms 的周期信号;其次是脉宽的调整,即单片机模拟 PWM 信号的输出,并且调整占空比。

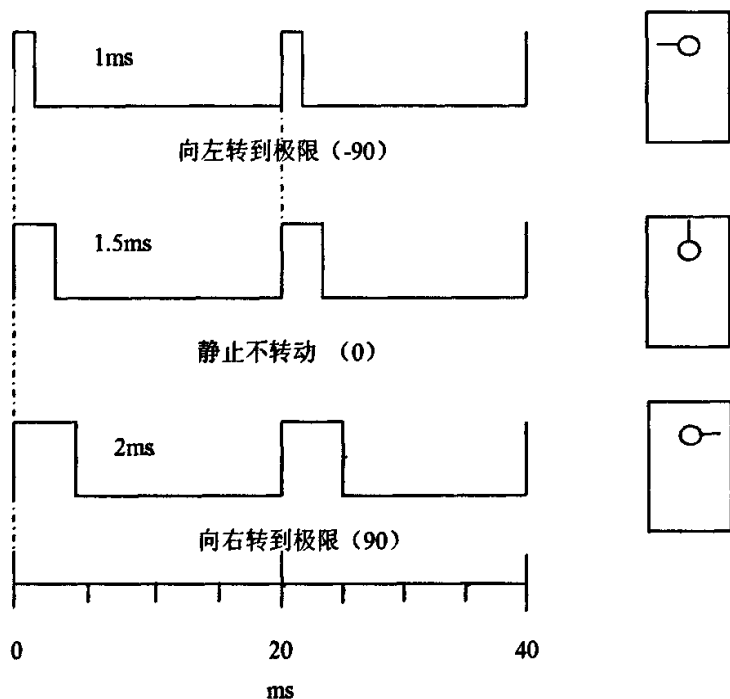


图 4-27 舵机的控制要求

#### 4.3.2 MC9S12DG128B 的 PWM 模块

PWM 模块是 MC9S12DG128B 内部的一个重要资源，它既可以设置 8 位通道，也可以设置 16 位通道。通过控制寄存器可以设置多种方式的 PWM 输出。功能强大，编程方便。相关的控制寄存器如下：

PWMCTL——PWM 通道 8 位/16 位选择寄存器

PWMCAE——PWM 输出模式选择寄存器

PWMCNTX——PWM 计数器

PWMDTYX——PWM 占空比设置寄存器

PWMPERX——PWM 周期设置寄存器

PWMCLK——PWM 时钟源选择寄存器

PWMPRCLK——PWM 时钟分频因子选择寄存器

PWMSCLA——PWM 时钟频率选择寄存器

PWMSCLB——PWM 时钟频率选择寄存器

用 DG128B 的 PWM 模块产生脉冲的程序流程图 4-28 所示。

### 4.3.3 PWM 控制舵机的软件设计

为了提高控制精度，在设计中 PWM 采用一个 16 位的通道，即 PWM0 和 PWM1 联合使用组成 PWM01。因为舵机转动的时候，都需要一定的时间，因此在写入 PWM 控制寄存器后，要延迟一定的时间，延迟的时间与需要转动的角度成正比。舵机控制流程图如图 4-29 所示。

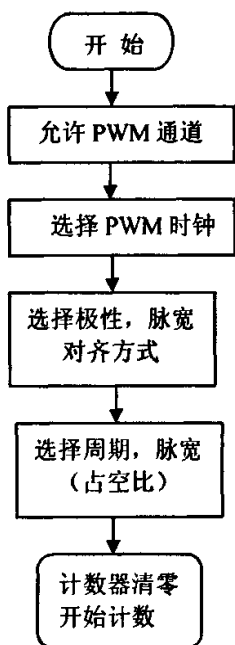


图 4-28 PWM 程序流程图

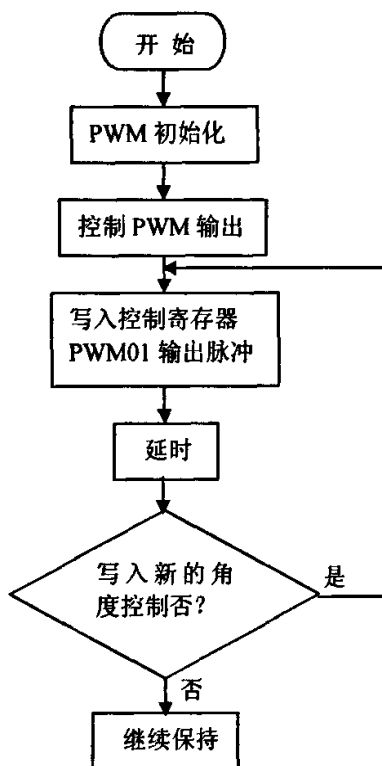


图 4-29 舵机控制流程图

### 4.4 速度检测软件设计

前面已经介绍过了，速度传感器采用红外对射式传感器，传感器感应出与速度相关的脉冲后，接下来就要识别这些脉冲，也就是 MCU 如何通过这些脉冲来确定小车的速度。有两种方法来识别，一种是通过测量脉冲的宽度来识别小车的速度，另一种是通过计算一定时间内的脉冲的个数来识别小车的速度。如图 4-30 所示，本文采用了后面一种方法，下面重点介绍这种方法。

在设计中利用了 MC9S12DG128B 内部的两个资源，分别是 RTI 中断和输入捕捉中断：通过 RTI 中断，可以控制一定的时间，这段时间是固定的；通过输入捕

捉中断，来计算捕获脉冲的个数，最后通过在这段时间内的捕获的脉冲的个数来反映小车速度的大小。

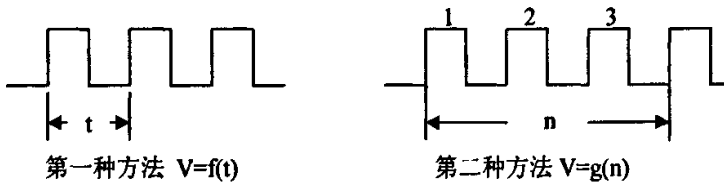


图 4-30 识别小车速度的两种方法

#### 4.4.1 相关资源的介绍

##### 1. MC9SDG128B 的 RTI 模块

RTI（实时中断）是 MCS12 单片机的 CRG（时钟和复位产生模块）的一个基本功能，内部结构图如图 4-31 所示，相关的控制寄存器如下：

CRGINT-RTIE——RTI 中断允许控制位。

CRGCTL ——RTI 控制寄存器。通过设置该寄存器，可以控制 RTI 中断的时间常数

CRGFLG-RTIF——RTI 中断标志位

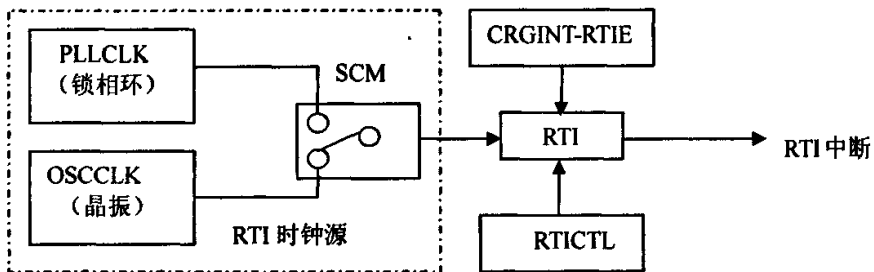


图 4-31 RTI 内部结构图

##### 2. MC9SDG128B 的输入捕捉模块

输入捕捉是 MCS12 单片机的定时器的一个基本功能，定时器的核心是一个 16 位的可编程计数器，计数的频率可以通过分频来调整，可以用来测量输入的脉冲宽度或者产生脉冲波形。

在输入捕捉模式下，相应的输入通道通过捕捉管脚上电平变化发出锁存信号，将该时刻计数器的值锁存到捕捉锁存寄存器中，并发出输入捕捉中断。输入捕捉模块框图如图 4-32 所示，相关的控制寄存器如下：

TSCR1-TEN ——定时器允许控制位

TIOS-IOS ——输入捕捉/输出比较选择寄存器

TIE ——输入捕捉中断/输出比较中断允许控制寄存器

TFLG1 ——输入捕捉中断/输出比较中断标志位

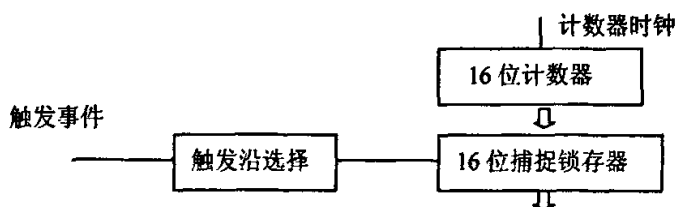


图 4-32 输入捕捉模块框图

#### 4.4.2 速度检测软件设计

在设计中，采用输入捕捉端口 0 作为速度检测的输入口，流程图如图 4-33 所示，初始化 RTI 和输入捕捉相关的寄存器，在初始化程序中，关闭 RTI 中断，并且关闭输入捕捉功能，然后打开输入捕捉，等待外部触发，当直流电机转动时，红外速度传感器输出脉冲信号，触发输入捕捉，输入捕捉中断产生，在输入捕捉中断子程序中，开启 RTI 中断，并且计算脉冲的变量 speed\_cnt 加 1，这样每产生一个脉冲，speed\_cnt 都加 1，当 RTI 设置的时间一到，就会触发 RTI 中断，RTI 中断服务程序里读取变量 speed\_cut 的值，同时将 speed\_cut 的值清零，然后关闭 RTI 中断。再次进行新的循环，就可以得到变量 speed\_cnt 的值。这个值与当前速度的大小成正比。

实际应用中，因为存在各种干扰因素，可能会导致检测值的实际值产生较大的偏差，为了消除或者降低干扰信号的影响，最后进行了数字滤波处理，这里采用移动平均滤波法。如式（4-6）所示：

$$speed = \frac{speed[0] + speed[1] + speed[2] + speed[3] + speed[4]}{5} \quad \text{式(4-6)}$$

其中，speed 为数字滤波处理结果，speed[0]存储着当前采集的速度数据，speed[1], speed[2], speed[3]分别存储着前几次采集的速度数据。如图 4-34 所示。



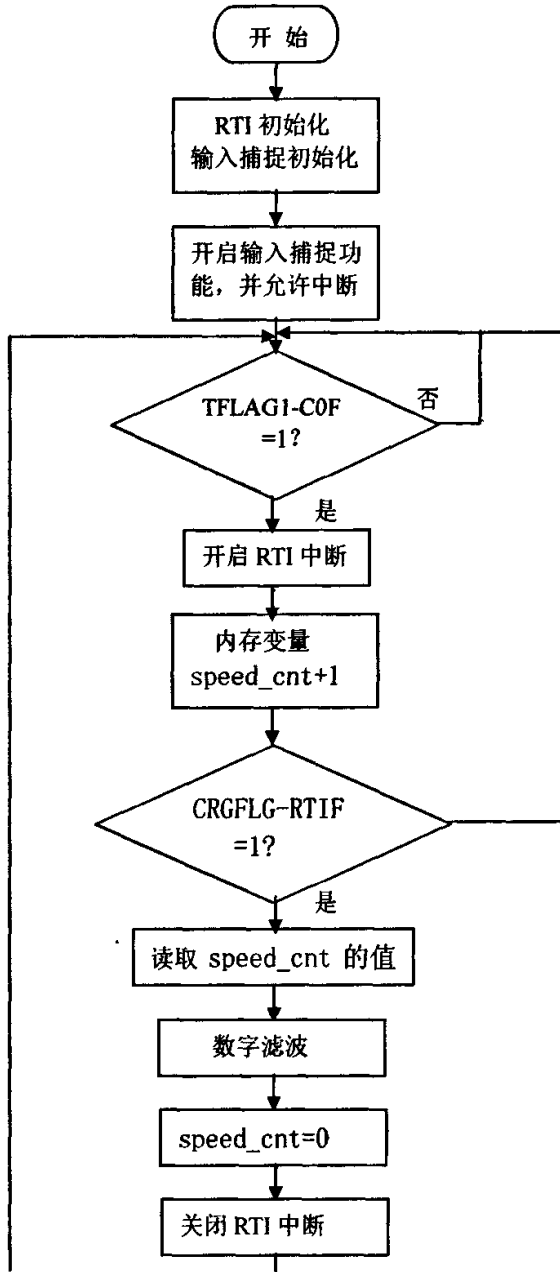


图 4-33 速度检测流程图

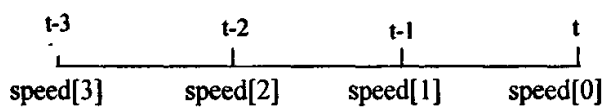


图 4-34 数字滤波中变量对应的采集时刻

## 4.4.3 速度量的转换

如果该速度检测量仅用于 PID 控制的反馈量,那么用上面得到的 speed(一定时间内红外传感器中转过孔的数)来当作速度反馈量,它反应的就是小车当前的速度。但是如果要把速度量显示在 LCD 上,就还需要进行一定的转换。

小车后轮的功率传动机构示意图如图 4-35 所示,当电机转动的时候,带动轴上齿轮转动,通过齿轮传动机构带动小车后轮,驱动小车行驶,齿轮传动机构的作用是降低转速,增大转矩。

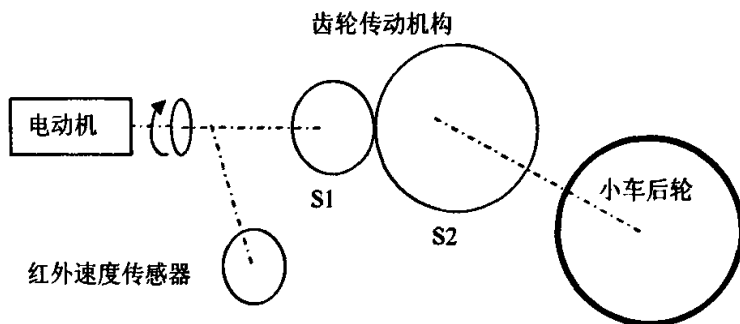


图 4-35 小车后轮的功率传动机构示意图

可以得知,齿轮 S1 和 S2 的传动比是  $P=n_1/n_2$  (其中,  $n_1$  是齿轮 S1 的齿数,  $n_2$  是齿轮 S2 的齿数), 已知小车后轮的半径是  $r$ , 圆盘上的孔数是  $m$ , 从光耦得到圆盘  $t$  秒中通过的孔数是  $n$ , 则小车的行驶速度如公式 (4-7)。

$$V = 2 * \pi * r * \frac{n}{t * m} * p \quad \text{式(4-7)}$$

通过这个公式,可以把一定时间里转过的孔数转换为速度的值。

该系统中,小车的各项数据为:

$$r=2.5\text{cm}, m=28, n_1=18, n_2=78$$

$t$  的大小可以通过程序 (RTI) 来设置,  $n$  就是变量 speed 的大小。

可以将数据带入上面的公式。计算出当前速度量。该公式可以通过软件来实现,需要说明的是,在出现浮点数的时候,可以通过移位处理来大约近似。计算出速度量后,再显示到 LCD 上。流程图如图 4-36 所示。

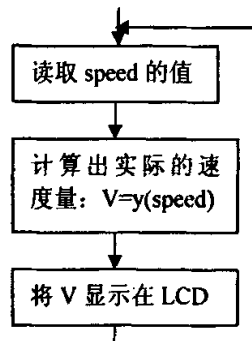


图 4-36 速度显示流程图

## 结束语

我国于 2006 年举办第一届“飞思卡尔”杯全国大学生智能汽车邀请赛，这次大赛是以迅猛发展的汽车电子为背景，涵盖了控制技术、模式识别、传感技术、电子、电气、计算机、机械等多个学科交叉的科技创意性比赛，学校也特别重视这次比赛，实验室决定由我和另外两名学生组成了天津工业大学“毕盛队”，并于 2006 年 3 月份开始进入了准备期，经过近 5 个月的精心准备，大赛于 2006 年 8 月 20 日清华大学拉开帷幕，最终，我们设计的赛车取得了不俗的成绩。本课题“基于 freescale 16 位单片机的智能车控制系统”就是在这个背景下设计完成的。

在整个系统开发过程中，按照先总体后局部的原则，即首先按照要求从理论上进行分析、构建系统的总体框架，然后将系统局部化、具体化，分成几个大的模块分别进行设计。每个模块的制作过程都经过查阅资料、科学的论证、电路制作、软件编程以及最后的实践检验才完成的。制作完硬件电路后，然后再进行软件的设计和调试，从而将每个模块的功能具体化，并加以实施和完善。在设计过程中针对具体问题采取了一系列相应的措施，如为了增加系统的抗干扰能力，在硬件设计方面采用光电隔离，在软件设计方面采取了数字滤波技术。设计中最大限度地利用现有的单片机内部资源，例如：在智能车路径识别模块中，充分地利用了 S12 系列单片机提供的模糊推理机。

总之，通过设计智能车控制系统，把自己所学的理论知识应用到了实际控制系统中，提高了自己分析问题、解决问题和实际动手的能力，同时也使自己对嵌入式系统的开发有更深刻的了解。

## 参考文献

- [1] 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,
- [2] 王晓明, 电动机的单片机控制, 北京: 北京航空航天大学出版社, 2002, 5
- [3] 张幽彤, 陈宝江, 翟涌, 等, 汽车电子技术原理及应用, 北京: 北京理工大学出版社, 2006, 2
- [4] 熊慧, 尤一鸣, MC68 单片机入门与实践, 北京: 北京航空航天大学出版社, 2006, 9
- [5] 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
- [6] 迈克. 普瑞德科, 机器人控制器与程序设计 (宗光华, 李大寨译), 北京: 科学出版社, 2004, 5
- [7] 森 政弘, 机器人竞赛指南, 北京: 科学出版社, 2002, 3
- [8] 智能车光电传感器布局对路径识别的影响研究,  
<http://www.edw.com.cn/>, 2006, 7
- [9] 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
- [10] 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, 2003, 1
- [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] 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
- [13] 利用单片机 PWM 信号进行舵机控制, <http://www.epc.com.cn/>, 2005, 10
- [14] 舵机简介及其单片机控制方法, <http://sci.ustc.edu.cn/>, 2005, 9
- [15] 可变脉冲输出实验, <http://sci.ustc.edu.cn/>, 2005, 9
- [16] 周绍英, 牛秀岩, 电机与拖动, 北京: 中央广播电视大学出版社, 1994, 2
- [17] 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
- [18] 余锡存, 曹国华, 单片机原理及接口技术, 西安: 西安电子科技大学出版社, 2001, 2
- [19] 基于模糊控制的直流无刷电机调速系统,  
<http://news.eeworld.com.cn/n/20060507/1484.shtml>,
- [20] 李东生, 张勇, 许四毛, Protel 99SE 电路设计技术入门与应用, 北京: 电子工业出版社, 2002
- [21] 王宜怀, 刘晓升, 嵌入式应用技术基础教程, 北京: 清华大学出版社, 2005, 7

- [22] 凌永成, 于京诺, 汽车电子控制技术, 北京: 中国林业出版社, 北京大学出版社, 2006, 8
- [23] Desktop Line Following Robot, <http://www.roboticfan.com>, 2006, 9
- [24] Line Follower Robot, <http://www.robotdiy.com/>, 2005, 6

## 发表论文及参加科研情况说明

- [1]发表论文情况：王朝盛，尤一鸣，基于 16 位单片机 MCS12DG128B PWM 的舵机控制系统，仪器仪表用户，2007 年第 2 期
- [2]参加科研情况：2005. 10-2006-12，天津工业大学 Freescale MCU/DSP 实验室，主要负责 16 位机的开发
- [3]发表著作：参与了《MC68 单片机入门与实践》的编写  
出版社：北京航空航天大学出版社

## 致谢

两年半的研究生学习即将结束，在这期间我曾得到了许多老师和同学的帮助和激励。

首先，感谢我的导师尤一鸣，导师的治学态度和待人态度都使自己受益终生，他不仅在学习和课题研究中给予我极大的帮助，更重要的是，他的为人、为师态度，使自己受益菲浅，他那言传身教的教诲方式使我懂得了如何做人、如何做学问。在导师的精心栽培下，不仅使自己的理论水平和实践能力得到了很大的提高，同时也使自己的综合素质获得了很大的进步。今后无论何时何地，导师的教诲都将铭记在心，谨以本文表达我最真挚的谢意。

其次，感谢熊慧老师，她无论在学习上还是生活上都给予我很大的帮助，特在此表示我衷心的感谢。

再次，感谢我的好友罗光平、郭隆建，他们和我在一个实验室，每当课题中遇到困难时，他们都给予我最大的帮助，在此，对于他们耐心和热情的帮助表示最诚意的感谢。

最后，感谢所有曾经帮助过我、支持过我的老师和同学。