

基于 HCS12 单片机的智能寻迹模型车的设计与实现

杨天

1. 长安大学汽车学院车辆工程系, 陕西省西安市 710064

E-mail: yangtian9527@126.com

摘 要: 设计并实现了一种基于 HCS12 单片机的智能寻迹模型车系统。采用飞思卡尔公司 HCS12 系列 16 位单片机 MC9SDG128 作为核心控制单元, 使用 CCD 摄像头采集路面信息。通过对检测图像的分析 and 计算, 自动控制舵机转向, 并对直流驱动电机进行 PID 调速控制, 从而实现智能车快速稳定的寻黑线行驶。

关键词: 智能车; HCS12 单片机; 路径识别; PID 控制

中图分类号: TP368.1

1. 引言

智能车辆是当今车辆工程领域研究的前沿, 它体现了车辆工程、人工智能、自动控制、计算机等多个学科领域理论技术的交叉和综合, 是未来汽车发展的趋势。本文所述的智能寻迹模型车系统基于 Freescale HCS12 单片机开发与实现, 系统采用 CCD 摄像头识别道路中央黑色的引导线, 自动控制小车前进和转向, 从而实现快速稳定的寻线行驶。为保证智能车在行驶过程具有良好的操稳性和平顺性, 控制系统对转向舵机控制和直流电机驱动控制提出了较为理想的解决方案。

2. 硬件系统的设计与实现

智能寻迹模型车 (以下简称智能车) 的硬件部分以 Freescale 公司 16 位单片机 MC9SDG128 为核心控制器, 由电源管理模块、路径识别模块、转向控制模块、电机驱动模块和车速检测模块组成。智能车控制系统总体结构如图 1 所示:

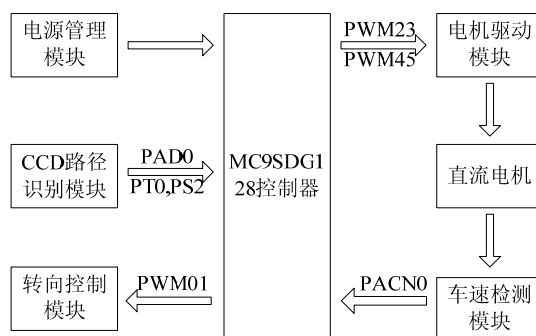


图 1 智能车控制系统总体结构

2.1 核心控制单元

智能车的控制核心为 MC9SDG128。其主要特点是资源丰富, 功能高度集成, 易于扩展, 并且支持 C 语言编程, 有利于系统开发和调试。在智能车系统设计中, 单片机的 I/O 资源分配如下: PAD0 作为 CCD 模拟视频信号输入端; PT0 检测视频行同步信号, PS2 检测视频奇偶信号; PACN0 用于车速反馈的输入; PWM01 用于伺服舵机的 PWM 控制信号输出; PWM23 和 PWM45 分别用于驱动电机正反向 PWM 控制信号的输出^[1]。

2.2 电源管理模块

智能车主电源由 7.2V/2000mAh Ni-cd 充电电池提供。为避免电机和舵机等器件对系统产生干扰, 各功能模块均采用单独供电。具体实现方案如图 2 所示:

- ① 采用低压差稳压芯片 LM1084S-50 将电源电压稳压至 5V, 供给单片机和车速检测模块, 如图 3。
- ② 将电源电压 7.2V 直接供给驱动电机; 对于转向控制模块, 为提高舵机的响应速度, 采

用提升舵机供电电压的方法，通过串联二极管将电源电压降至 6.5V 左右来给舵机供电。

③ 采用 DC-DC 变换器 MC34063 将电源电压升压至 24V 用于电机驱动模块 MOSFET 管驱动，同时再利用 LM7812 将 MC34063 的输出电压降至 12V 用于 CCD 摄像头供电，如图 4。

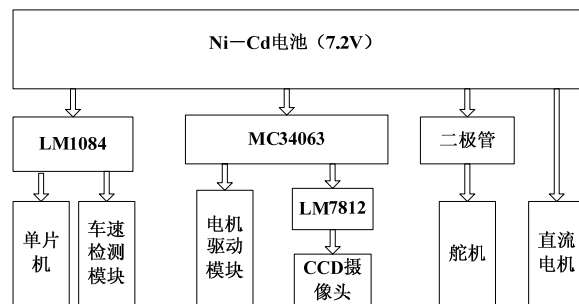


图 2 电源管理分配图

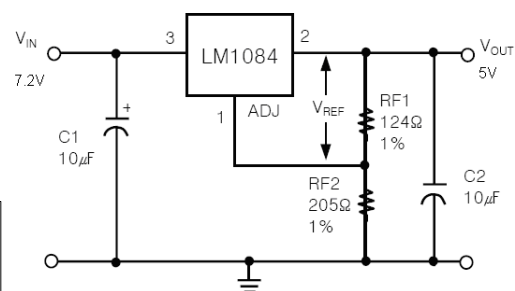


图 3 5V 稳压电路

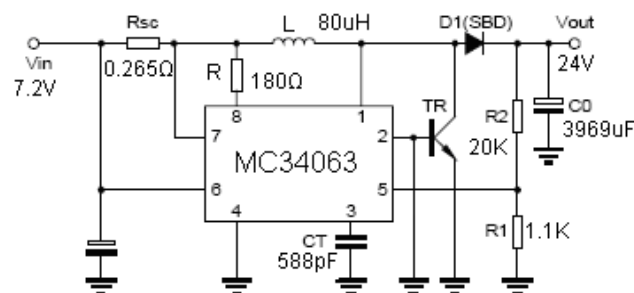


图 4 24V 升压电路

2.3 路径识别模块

路径识别模块采用 320 线黑白 CCD 摄像头作为赛道黑线的检测元件。利用摄像头采集道路图像信息，然后将其送入单片机的 A/D 端口，由于黑色引导线和白色道路的图像灰度值存在较大差异，因此通过设置合理阈值对采集图像进行二值化处理，就能够有效的分辨出黑线位置。对视频信号中行同步以及场同步脉冲的分离和提取采用了 LM1881 视频同步分离芯片，其应用电路如图 5 所示。

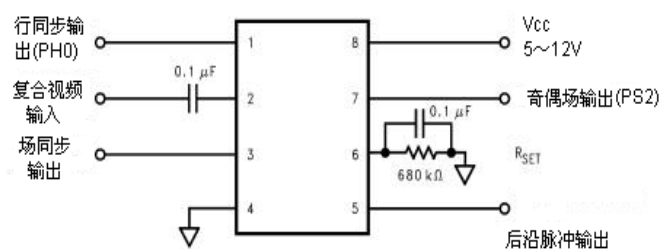


图 5 LM1881 视频同步分离电路图

摄像头的输出视频信号分为两路：一路送入 MC9SDG128 单片机的 AD 端口 PAD0 进行 A/D 转换；另一路通过图 5 中引脚 2 送入 LM1881 进行视频分离；分离出的行同步信号（引脚 1）接入 MC9SDG128 的 PH0 口；由于 PH0 口自带中断功能，因此不需要使用等待查询的方式来检测行同步信号，从而节省了 CPU 资源；此外，通过单片机的 PS2 口来检测 LM1881 输出的奇-偶场同步信号，当该信号发生跳变时就能够准确得判断图像换场，方便图像的处理。

2.4 转向控制模块

智能车系统采用 Futaba 公司的 S3010 型舵机完成转向控制。舵机属于位置伺服电机，如

图6所示, 正常工作状态下, 其输出转角与给定的PWM脉宽成线性关系^[2], 通过改变PWM脉宽, 就能够控制舵机转向。系统将MC9SDG128 的两个 8 位PWM发生器PWM0、PWM1 级联成一个 16 位PWM输出舵机控制信号^[3], 这样做的好处是能够大幅提升舵机PWM的控制周期, 细化PWM控制量。级联后若以PWM控制字 6000 为舵机中位, 则舵机在左右极限转角分别为 5000 和 7000, 可见舵机PWM的调节范围非常大, 从而有效的保证了转向控制精度。同时, S3010 作为一款扭力型舵机其转动扭矩可达 $6.5\text{kg}\cdot\text{cm}$ (6V), 因此可以充分利用其转矩余量来提高舵机的响应速度。如图7, 在舵机转盘和转向拉杆之间增加了一段输出臂, 这样在舵机角速度恒定的情况下, 由于输出臂的增长使得转向拉杆移动的线速度得到提升, 从而能够有效提高智能车的转向灵敏度^[4]。

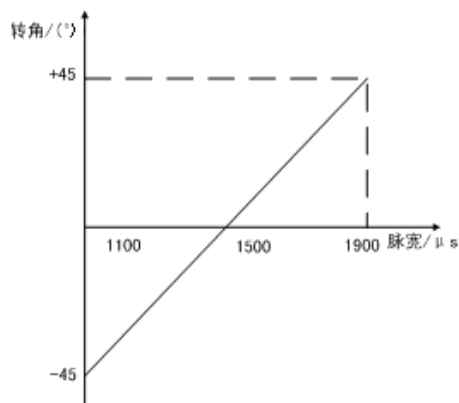


图6 舵机输出信号与控制信号的响应关系



图7 舵机安装示意图

2.5 电机驱动模块

智能车系统采用后轮驱动, 驱动电机选用RS-380SH型直流电机; 对于电机的转速采用了基于“H”桥驱动电路的PWM控制^[5]。如图8所示, 电机驱动模块选用大功率场效应晶体管IRL3803 作为H桥开关元件。实验发现, 当IRL3803 的栅源电压VGS为 16V时, 其导通电阻仅有 $6\text{m}\Omega$ 左右, 因此可以大大降低管压降, 提高电机的驱动功率。同时系统对电机进行全桥驱动, 将PWM2 和PWM3 以及PWM4 和PWM 5 级联分别来控制电机的正反转^[3], 这样在智能车速度过快时可对电机实施反向制动, 从而迅速降低车速。实验证明, 当智能车车速由 70%降至 40%时 (PWM占空比), 采用全桥驱动方式, 电机响应时间仅为 0.1s左右, 减速效果十分显著。

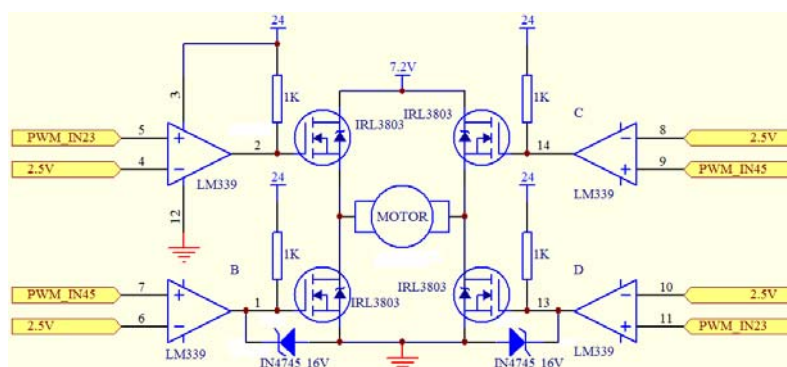


图8 电机驱动模块控制电路图

2.6 车速检测模块

智能车系统通过车速检测模块来读取实时车速。采用的方法是在后轮减速齿轮上粘贴一个均匀分布有黑白条纹的编码盘。利用图9所示的检测电路来对编码盘上的黑白条纹进行检测。根据光电反射原理, 在车轮转动时, 红外接收管接收到反射光强弱高低变化, 就会产生与车轮转速相对应的脉冲信号, 将该脉冲信号进行放大整形后输入单片机的输入捕获引脚PACN0, 记录一定时间内所得到的脉冲数, 就能够表示出当前车速。

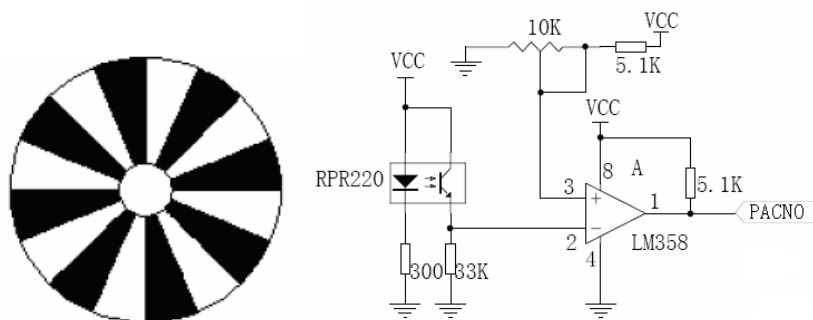


图9 车速检测模块电路原理图

3 软件系统设计与实现

智能车系统的基本控制策略是根据路径识别模块和车速检测模块所获得的黑线位置信息和当前车速信息，准确控制舵机和直流电机运动，以达到智能车的稳定快速行驶。图10为主系统程序流程图。

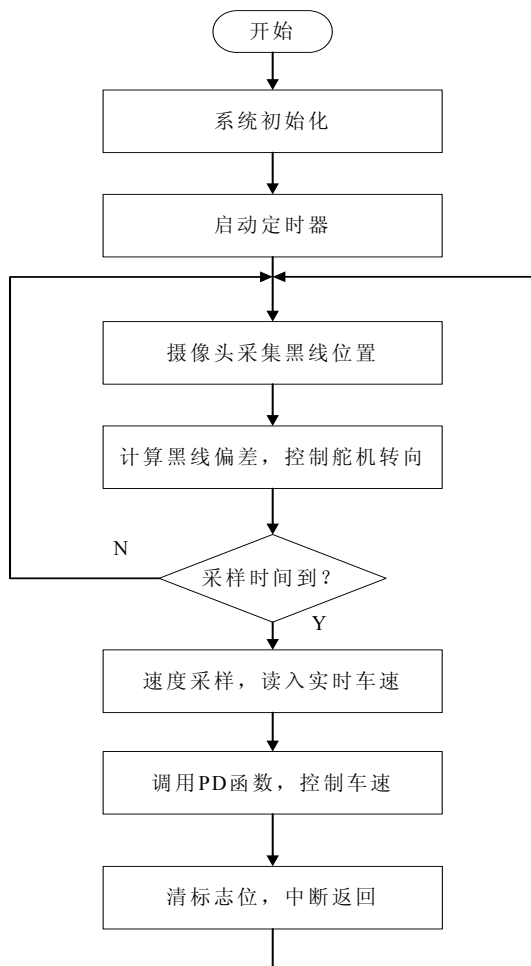


图 10 主程序流程图

3.1 赛道黑线的识别

赛道黑线的准确识别对于智能车完成快速、稳定的寻线行驶至关重要。本系统设计了如下算法来确定黑线位置：先对图像进行逐场隔行扫描，同时进行A/D转换；经测试，通过设置锁相环将系统总线时钟由24MHz超频至40MHz时，MC9SDG128单片机对于单行视频信号可以进行40次A/D转换^[6]，即单行采样分辨率为40个像素。这样，将每行扫描到像素点存储在一维数组ccd[line] ($0 \leq \text{line} \leq 40$) 中；提取黑线时，每行前6个数据对应的是视频中的无用

信号, 因此从每行第6个数据开始, 判断 $ccd[line]-ccd[line+3]>dif$ (dif 为设置的黑白阈值); 若不满足, 则继续搜索下一点直至该行结束; 若满足, 则表示找到了黑线的左边界, 将 $line$ 值赋给变量 $temp$, 然后接着继续判断以后各点是否同时满足 $ccd[line]-ccd[line+3]<-dif$ 且 $line-temp>2$, 若同时满足, 则表示找到了黑线的右边界。从而黑线位置为:

$$blackline = (line + temp) / 2$$

黑线距离车体中心线 rol_mid 的偏差 $error$ 也可由此得出:

$$error = blackline - rol_mid$$

实验证明, 只要黑白阈值选取得当, 该算法能够很好的提取出赛道黑线, 并且还可以根据现场赛道特点对阈值进行初标定设计, 在此不再赘述。

3.2 舵机转向控制

舵机转向控制采用了基于黑线偏差 $error$ 的开环控制。主要实现思路如图10所示。AB为图像某行所采集到的像素序列, C为图像中央的像素点, 假设E点对应黑线所在位置, 则 $error$ 即为黑线偏差。由三角关系可知车轮转角:

$$\theta = \arctan \frac{Error}{H}$$

实验证明, 车轮转角 θ 与舵机转角以及PWM脉宽均呈线性关系, 因此可以得到转向公式:

$$PWM = \arctan \frac{Error}{H} * K_p + 6000$$

其中, K_p 为比例系数, 6000对应车轮位于中位未发生偏转时舵机的PWM控制脉宽。可以看出, 对于智能车方向控制采用的是单纯的比例控制, 实践证明, 通过在一定范围内调节 K_p 值的大小, 就能够取得良好的控制效果。这里需要指出的是, 公式中的 $Error$ 和 H 均为在世界坐标系下转换的结果, 成像坐标下的 $error$ 与 $Error$ 对应呈线性关系, 而系数在摄像头安装位置确定后可计算得出^[7]。

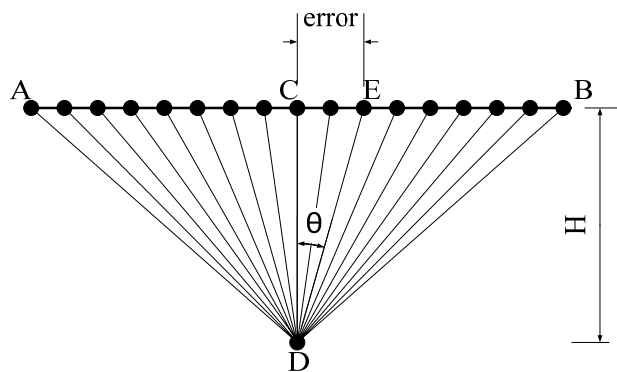


图11 舵机转向控制示意图

3.3 车速控制

智能车系统的车速控制采用了基于反馈控制的PID算法。在车速控制中, 考虑到智能车系统对于车速的调节要有很高的响应速度, 经典的PID算法中引入了积分环节, 这在一定程度上降低了系统响应速度, 而系统对于稳态误差要求并不高, 因此车速控制只采用了PD调节。车速计算公式如下:

$$Setted_speed = K_p * e_0 + K_d * (e_0 + 3e_1 - 3e_2 - e_3) / 6$$

其中, $e = Setted_speed - Cur_speed$; $Setted_speed$ 是程序设定车速, Cur_speed 是检测到

的实时车速,两者之差 e 作为被控量代入上式,通过比例系数 K_p 和微分系数 K_d 计算修正就可得到调整后的车速。PD控制器各参数均由试验优化选取,实验表明,该控制器可对车速进行有效调节,系统响应时间短,动态性好,稳态误差小。图11为电机启动过程数据分析结果。横轴为车速响应时间,纵轴表示车速,其中目标车速设为18,电机启动后加速到目标车速的时间为150ms左右,并且调速范围稳定在17~19之间,表现出良好的调速效果。

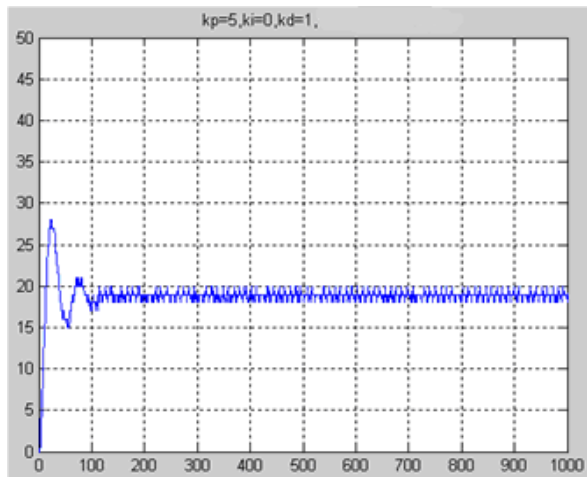


图 12 智能车车速控制曲线

4. 结束语

本文介绍了一种智能寻迹模型车的设计与实现。图 13 为智能车实物图。实践证明,该智能车寻迹效果好,系统响应快,具备良好的动力性能和转向性能,在 2007 年全国大学生智能车竞赛上取得了全国二等奖的好成绩,证明了控制算法的有效性和稳定性。



图 13 智能车实物图

参考文献

- [1] MC9S12DG128 Device User Guide [Z].Freescale Semi-Conductor Inc,2005.
- [2] 卓晴,黄开胜,邵贝贝. 学做智能车:挑战“飞思卡尔”杯[M]. 北京:北京航空航天大学出版社,2007.
- [3] 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.
- [4] 吴斌华,黄卫华,程磊,杨明. 基于路径识别的智能车系统设计[J]. 电子技术应用, 2007(3):80-83.
- [5] 王晓明. 电动机的单片机控制[M]. 北京:北京航空航天大学出版社. 2002.
- [6] 卓晴,王琰,王磊. 基于面阵CCD的赛道参数检测方法[J].电子产品世界,2006(4):141-143
- [7] 程钊,万齐齐,唐旋来等. 智能车道路识别及控制研究[J]. 伺服控制,2007(11):49-51

Design & implementation of an intelligent-searching track car model based on HCS12 SCM

YANG Tian

1. Automobile School, CHANG-AN University, Xi'an City, Shaan'xi Province, PRC, 710064

Abstract

An intelligent-searching track car model based on HCS12 single-chip microcomputer is designed and implemented. The intelligent car system, with Freescale HCS series 16 bit single-chip MC9SDG128 as its control micro-processor, uses CCD camera to obtain lane image information, then energizes the servo to steer according to the analysis of image and adopts PID control strategy to have a control on speed of the system as well. This intelligent car can track the black-guide-line automatically and move forward following the line quickly and smoothly.

Keywords: *intelligent car; HCS12 single-chip microcomputer; lane detection; PID control*

作者简介: 杨天, 男, 1985 年生, 硕士研究生, 主要研究方向是汽车系统动力学及汽车电子控制。