

# 电磁导航直立自平衡智能车的电控系统设计

李龙辉, 梅迎

(长安大学汽车学院, 陕西 西安 710064)

**摘要:** 设计并实现了基于电磁导航的直立自平衡智能车的电控系统, 详细介绍了电源管理模块、车模姿态传感模块、测速传感模块、轨道识别模块和电机驱动模块的硬件构成及其控制算法。在测速传感模块中, 采用“乒乓”和增量式 PID 算法控制智能车的速度, 最终实现了针对不同路径电磁自平衡车稳定快速运行的能力。

**关键词:** 智能车; 直立自平衡; 电磁导航

**中图分类号:** TM921.5 **文献标识码:** A **文章编号:** 1671-7988(2013)04-26-04

## The electrical control system design of upright self-balancing smart car based on electromagnetic navigation

Li Longhui, Mei Ying

(Chang an University, school of automobile, Shaanxi Xi'an 710064)

**Abstract:** Designed and realized based on electromagnetic navigation of upright self- balance intelligence of vehicle electronic control system. Introduced the hardware and control algorithm of power management module, model angle sensor module, velocity measurement module, track recognition module and motor driving module detailedly. Used the "PingPang" and incremental PID algorithm in the velocity measurement module to make electromagnetic self-balance model according to different paths have a stable and fast operation ability.

**Keyword:** intelligent vehicle; upright self-balance; electromagnetic navigation

**CLC NO.:** TM921.5 **Document Code:** A **Article ID:** 1671-7988(2013)04-26-04

### 引言

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。很

**作者简介:** 李龙辉, 硕士研究生, 就读于长安大学车辆工程专业。

多发达国家都将其纳入到各自重点发展的智能交通系统当中。目前常用到的传感器监测系统有 CCD、CMOS 摄像头、红外传感器、激光和超声波等。

本文以第七届全国大学生智能车竞赛为背景, 采用 XS128 单片机作为核心控制芯片, 利用加速度计及陀螺仪进行车模姿态判断和电磁传感器进行路径判断, 利用速度传感器检测速度进行闭环控制, 保证小车在直立平衡状态下快速稳定地运行。

## 1、智能车整体控制任务

车模要求在直立状态下以两个轮子着地沿着轨道进行运动,相对四轮着地状态,车模控制更为复杂。车模运行的动力都来自于车模的两个后轮,后轮转动由两个直流电机驱动。因此,从控制角度来看,车模作为一个控制对象,它的控制输入量是两个电机的转动速度,车模运动控制任务可分解为以下三个基本控制任务:

(1) 控制车模平衡:通过控制两个电机正反方向运动保持车模直立平衡状态。

(2) 控制车模速度:通过调节车模的倾角来实现车模速度控制,实际上最后演变成通过控制电机的转速来实现车轮速度的控制。

(3) 控制车模方向:通过控制两个电机之间的转动差速实现车模转向控制。

智能车电控系统以 Freescale 公司的 MC9S12XS128 为核心控制单元,由电源管理模

块、车模姿态传感模块、测速传感模块、轨道识别模块和电机驱动模块组成。智能车系统的设计方案如图 1 所示。

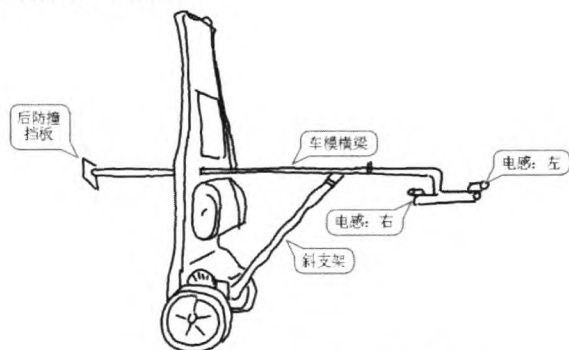


图 1 直立自平衡智能车设计方案图

## 2、智能车硬件电路设计

### 2.1 电源管理模块

全国大学生智能车竞赛规定电源只允许使用一块 7.2V、2A/h 的镍镉电池供电<sup>[1]</sup>,为合理设计电源管理模块,主要采用方法是:

1)+5V 电源模块。采用低压差稳定芯片 LM2991 为核心控制单元 MC9S12XS128 供电。它具有输入

电压范围大,过流及电压反接保护。当输出电流为 100mA 时,压差小于 0.05V,这样电池电压在+8V~+6V 范围内变化时能保证输出稳定的 5V 电压。

2)+3.3V 电源模块。参考车模姿态传感模块中传感器的技术规格,其工作电压为 3~5V。稳定的供电电压对传感器的检测精度有重要影响。采用低接地电流低压差线性稳压器 MIC5205-3.3 对传感器供电来保证检测数据的准确度。

### 2.2 车模姿态传感模块

直立自平衡智能车的核心在于对车模直立状态的控制,速度和转向控制均在直立状态下进行,因此直立控制的稳定性直接决定车模运行性能。为维持车模直立需检测车模俯仰和航向姿态参数,包括俯仰角度、俯仰角速度以及航向角速度。竞赛规定加速度计和角速度传感器须使用飞思卡尔公司生产的系列产品。经过测试,发现 MMA7260 加速度计和 ENC-03 角速度传感器具有体积小,质量轻,检测灵敏度高的优点,同时 MMA7260 各轴信号最大输出灵敏度为 800mV/g,这个信号无需在进行放大,直接送到单片机上进行 A/D 装换。

### 2.3 测速传感模块

为保证直立自平衡车平稳快速地沿着轨道运行,需要准确地控制车速。速度控制方法采用闭环反馈控制。选用日本 NEDIC 公司生产的 157 线 NEDIC157 增量式光电编码器,它提供两相输出,体积小,质量轻,可克服赛车电池电压,电机传动摩擦等不稳定因素,完全能满足对智能车的测速要求。

### 2.4 轨道识别模块

轨道识别模块通过检测交变电流产生磁场的大小确定当前轨道位置。在赛道中间铺设一条 0.5mm 的漆包线,漆包线通有 20KHz、100mA 的交变电流。交变电流在赛道周围产生稳定的磁场分布。轨道识别模块采用两个工字型 10mH 的电感测量磁场分布,通过测得电感两端感应电动势,对两电感电压值进行加权平均求得当前轨道位置<sup>[4]</sup>。

## 2.5 电机驱动模块

直立自平衡车运动的动力均来自两个后轮,后轮由两个电机分别控制。对电机精准快速地控制是保证车模良好运行的前提。驱动模块采用英飞凌公司生产的 BTN7970 半桥驱动芯片,两个 BTN7970 组成一个全桥驱动电路,可控制一个电机正反转。BTN7970 驱动芯片开关时间分别为  $4.4\mu\text{s}$  和  $3.4\mu\text{s}$ ,BTN7970 组成的全桥驱动电路具有电流检测、过温、过压、欠压、过流和短路保护等诊断功能,最大通过电流  $50\text{A}$ ,驱动信号 PWM 的频率范围为  $1\sim 25\text{KHz}$ 。两路 PWM 波通过一个全桥驱动电路控制一个电机,因此本电控系统需要 4 块 BTN7970 芯片和四路 PWM 波,为减少 PWM 波路数的使用,提高电机驱动模块的准确度,在电机驱动模块中引入 74HC08 与门芯片,将四路 PWM 减少为两路。图 2 为电机驱动模块 H 全桥连接电路图。

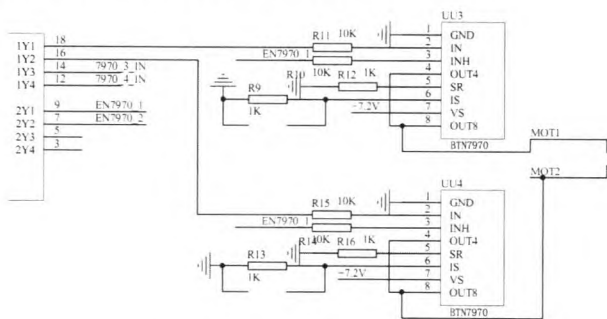


图2 电机全桥驱动电路连接电路图

## 3、系统软件设计

### 3.1 系统控制算法

车模直立行走的控制任务可分解为三个：1) 直立控制任务，2) 速度控制任务，3) 方向控制任务。

#### (1) 直立控制算法

通过车模姿态传感模块检测俯仰角度和俯仰角速度,采用 PD 算法控制车模直立。似乎只需要加速度就可以获得车模的倾角,再对此信号进行微分便可以获得倾角速度,但在实际车模运行过程中,

由于车模本身的震动和摆动等因素所产生的加速度会产生很大的干扰信号,它叠加在测量的加速度信号上使得输出的信号无法准确反映车模的倾角。车模运动产生的加速度使得输出电压在实际倾角电压附近波动,这些波动噪声可以通过数据平滑滤波将其滤除,但是平滑滤波一方面会使信号无法实时反映车模倾角变化,减缓对车模车轮控制,另一方面也会将车模角速度变化信息滤掉,上述两方面的滤波效果都使得车模无法保持直立。

为保持车模平衡,此时需加入角速度传感器-陀螺仪,陀螺仪输出的车模角速度,不会受到车体运动的影响,因此该信号中噪声很小,车模的角度可通过对加速度积分得到。但如果加速度信号存在微小的偏差和漂移,经过积分运算之后形成累积误差,这个误差会随着时间延长逐步增加,最终导致电路饱和,无法形成正确的角度信号。为消除陀螺仪积分产生的累积误差,利用加速度传感器获得的角度信息对此进行校正,将积分和重力加速度所获得的角度求差,使用它们的偏差来改变陀螺仪的输出,使积分的角度逐步跟踪到车模运行的真实角度。如图 3 所示为车模直立控制算法框图。

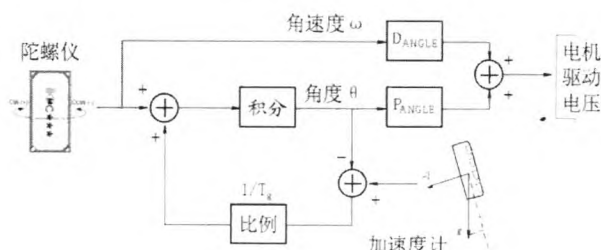


图3 车模直立控制算法框图

#### (2) 速度控制算法

相对于普通车模的速度控制,直立车模速度的控制则比较复杂,由于在速度控制过程中需要始终保持车模的平衡,因此车模速度控制不能直接通过改变电机转速实现。

实现车模速度控制首先需检测车模速度,本文

利用 MC9S12XS128 的外部输入捕捉口 PT0 和 PT2 对两个车轮测速, 由于外部输入捕捉采用单片机中断捕捉功能, 其会影响主程序的运行同时也会出现当两个脉冲同时进入时无法确定计数的对象, 导致测速不准确。经过测试发现, 当左右电机供相同电压时, 左侧车轮速度为右侧车轮速度的两倍, 此时两轮速度相差太大, 无法保证对车轮速度的精确控制。为解决左右车轮测速问题, 采用“乒乓”算法, 即左侧输入脉冲计数时, 关闭右侧输入中断使能, 当左侧计数完毕后, 关闭其输入中断使能, 开启右侧输入中断使能, 右侧开始计数。实际结果表明, 采用“乒乓”算法后, 当左右电机供相同电压时, 两侧编码器测出速度相差小于 5%, 此时已满足对车轮速度控制的精确度要求。

准确测得速度后与速度设定值进行比较, 采用 PD 算法改变车模倾角来控制车模速度。

### (3) 方向控制算法

根据车模检测到电磁感应电压来生成电机差动控制量, 通过左右电机速度差驱动车模转向消除车模距离道路中心的偏差。同时为防止转向过程中造成过冲, 需要加入转向陀螺仪, 通过转向陀螺仪的检测值对车模转向加速度进行控制, 保证车模转向过程稳定快速。

## 3.2 系统工作流程

程序上电运行后, 便进行单片机的初始化, 初始化包括两部分, 一是对单片机各个应用到的模块进行初始化, 由 CodeWarrior 集成环境 Processor Expert 工具生成; 二是应用程序初始化, 包括车模控制程序中应用到的变量值进行初始化和提取陀螺仪初始值。

初始化完成后, 首先进入车模直立检测子程序。该程序通过读取加速度计的数值判断车模是否处于直立状态, 如果一旦处于直立状态则启动车模直立控制、方向控制以及速度控制。程序在主循环中不

停发送监控数据, 通过 RS232 串口发送到上位机进行监控, 同时检查车模是否跌倒, 跌倒判断是通过车模倾角是否超过一定范围进行确定。一旦车模跌倒, 车模自动停止运行, 包括车模直立控制、速度控制以及方向控制。然后重新进入车模直立判断过程。如图 4 所示为整车直立运行图。

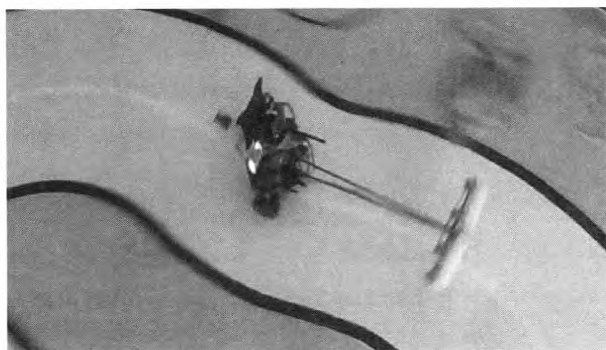


图 4 整车直立运行图

## 4、结论

本文以第七届全国大学生智能车竞赛为背景, 设计了电磁导航的直立自平衡车电控系统。采用飞思卡尔公司 16 位单片机 MC9S12XS128 为控制核心, 以加速度计 MMA7260 和陀螺仪 ENC-03 为主要传感元件对车模姿态进行精确检测。阐述了各个模块的硬件组成和系统控制算法, 经过反复实地赛道测试, 取得了良好的稳定性和抗干扰能力。

## 参考文献

- [1] 周立, 周震. 基于电磁引导的智能车电控系统设计[J]. 煤矿机电, 2012, 1: 81-84.
- [2] 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, 2007.
- [3] 卓晴, 黄开胜, 邵贝贝. 学做智能车[M]. 北京: 北航出版社, 2007.3.
- [4] 张昊飏, 马旭, 卓晴. 基于电磁场检测的寻线智能车设计[J]. 电子产品世界, 2009, 16(11): 48-50.