

# 基于间接 PID 的智能车控制算法研究

徐 莺

(襄樊广播电视大学, 湖北 襄樊 441021)

**[内容提要]** 为了使自动识别路径的智能车能够稳定、可靠地在不同跑道上行驶, 本文提出了一种基于积分环节改进的数字 PID 智能车舵机控制算法以及间接 PID 驱动电机控制算法, 阐述了以上两种算法的主要思想和原理, 并且对上述两种算法的软件实现方法作具体介绍。智能车车模以 HCS12 的 16 位单片机为硬件系统的控制算法测试结果。试验结果证明, 智能车能够稳定、可靠地在不同跑道上行驶。

**[关键词]** 间接 PID; 智能车; 舵机; 驱动电机

**[中图分类号]** TM30

**[文献标识码]** A

**[文章编号]** 1008-7427 (2008) 05-0155-02

## 1 舵机及驱动电机控制算法简介

### 1.1 积分环节改进的舵机 PID 算法简介

PID 控制器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, 因此在工业的各个领域中都有应用。PID 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) 来实现它的功能的。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代替, 从而形成数字 PID 控制器, 其算法则称为数字 PID 算法。数字 PID 控制器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<sup>[1]</sup>。由于几乎所有的单片机都拥有硬件 PWM, 因此基于软件 PID 和硬件 PWM 技术的直流电机测控技术正向数字化、高可靠性发展, 本文所述的舵机控制就是采用该控制方法。

数字 PID 分为位置式控制算法和增量式控制算法。为了降低计算量及得到稳定的结果, 舵机控制采用增量式控制算法。其公式如下:

$$\Delta U_k = K_P [e_k - e_{k-1}] + K_I e_k + K_D [e_k - 2e_{k-1} + e_{k-2}] \quad \text{公式 1}$$

由公式 1 可知, 输出增量  $\Delta U_k$  只与本次偏差  $e_k$ 、上次偏差  $e_{k-1}$ 、上上次偏差  $e_{k-2}$  有关, 因此 CPU 只要知道每一时刻的  $e_k$ 、 $e_{k-1}$ 、 $e_{k-2}$  值就能执行 PID 算式, 并输出舵机控制量, 从而有效地控制舵机的转向。

由于 PID 控制器是用软件来实现的, 灵活性很大, 因此能够根据具体要求相应地改进部分 PID 控制算法<sup>[2]</sup>。在电动机控制系统中, 控制量的输出值要受到元器件或执行机构性能的约束 (如电源电压的限制、放大器饱和等), 因此它的变化应在有限的范围内, 如果控制量的计算结果超出该范围, 那么实际执行的控制量就不再是计算值了, 产生的结果与预期的不相符, 称为饱和效应。PID 控制中的积分环节目的是消除静态误差, 提高控制精度。但当电动机的启动或停车时, 短时间内系统输出很大的偏差, 会使积分积累很大, 从而引起强烈的积分饱和效应, 这将会造成系统振荡, 调节时间延长等不利结果<sup>[1]</sup>。

在本文所述的智能车中, 为了避免出现积分饱和现象, 对 PID 控制器的积分环节做了两个改进: 积分分离法和遇限削弱积分法。

积分分离法的思路是: 当被控量与给定值的偏差较大时, 去掉积分, 以避免积分饱和和效应的产生; 当被控量与给定值比较接近时, 重新引入积分, 发挥积分的作用, 消除静态误差, 从而既保证了控制的精度又避免了振荡的产生<sup>[1]</sup>。本文所述的具体实现是: 人为引入一个量  $X=24.44^\circ$ ,  $X$  值的确定大约为智能车的三个光电对管对应反馈值的偏差, 即当

偏差小于  $24.44^\circ$  则引入积分环节, 当偏差大于等于  $24.44^\circ$  则去掉积分环节。为此在积分项中乘以一个人工引入的系数  $B$ , 其值如公式 2 所示:

$$B = \begin{cases} 1 & \text{当 } |e_k| < X \\ 0 & \text{当 } |e_k| \geq X \end{cases} \quad \text{其中 } X = 24.44^\circ \quad \text{公式 2}$$

引入系数  $B$  后, 公式 1 可以改写为公式 3:

$$\Delta U_k = K_P [e_k - e_{k-1}] + BK_I e_k + K_D [e_k - 2e_{k-1} + e_{k-2}] \quad \text{公式 3}$$

遇限削弱积分法的思路是: 一旦控制量  $U_k$  进入饱和区, 便停止进行增大积分项的运算, 而只进行使积分减少 (即所谓削弱) 的运算。具体过程是: 在根据 PID 算式计算  $U_k$  前, 先判断前一次的控制量  $U_{k-1}$  是否到达极限范围, 如果到达极限说明已经进入饱和区, 这时再根据偏差的正负, 来判断控制量是使系统加大超调还是减小超调, 如果是减小超调, 则保留积分项, 否则取消积分项。遇限削弱法在进入极限范围后, 有条件的去继续积分或取消积分, 从而避免控制量长时间停留在饱和区<sup>[1]</sup>。本系统的具体实现是: 在积分项中再人为引入一个系数  $C$ , 当判断后需要保留积分项则  $C=1$ ; 否则  $C=0$ 。那么最终的舵机 PID 控制算式如下:

$$\Delta U_k = K_P [e_k - e_{k-1}] + BCK_I e_k + K_D [e_k - 2e_{k-1} + e_{k-2}] \quad \text{公式 4}$$

根据公式 4 就能相应的写出舵机完全改进后的 PID 程序。

### 1.2 间接 PID 驱动电机控制算法简介

智能车模型的驱动电机是直流电机, 同样可以直接用 PID 控制算法, 但是利用 PID 算法需要有系统的直接反馈值, 如舵机算法中的反馈值通过光电传感检测获得, 而驱动电机要想直接获得反馈值必须在硬件上设计车速传感器, 这必然给硬件选择、硬件设计、PCB 板设计、软件实现带来比较大的工作量; 同时加上车速传感器之后智能车的重量也会增加, 这样会增加驱动电机的负载, 耗电速度快; 同时智能车过重也会给舵机的转向带来负面影响, 因为连接舵机和连杆的硬件是塑料做的东西, 而且是两三个塑料卡在一起的, 当智能车要转弯时, 舵机转动的力是一定的, 如果车身太重那么舵机转弯的力就会带不动前轮, 而使这些力消耗在这几块塑料上, 时间长了这些力就会使塑料变形, 破坏车的硬件结构, 影响车的性能, 给车的行驶带来不稳定性及不可靠性。

然而加上车速传感器之后又能给驱动电机带来直接的控制, 能比较有效、及时地改变驱动电机的转速, 为智能车行驶提供比较好的参考。

本文所述的驱动电机间接 PID 控制算法的思想是: 把舵机的 PID 控制算法的输出控制量当作驱动电机的控制算法的输入量, 经过一定的算法之后, 输出量做为驱动电机的输出控制量, 从而实现驱动电机的间接 PID 控制算法。

舵机的输出控制量为  $U_k$  的公式为:

$$U_k = \Delta U_k + U_{k-1} \quad \text{公式 5}$$

其中  $\Delta U_k$  为舵机输出控制量的增量,  $U_{k-1}$  为舵机前一次的输出控制量。把  $U_k$  作为驱动电机的输入量。设驱动电机的输出控制量为  $M$ , 它的计算公式如下:

$$M = \begin{cases} (S_V - B_{RV4}) \times U_k \div B_{R4} + S_V & \text{当 } U_k \leq 0 \\ (S_V - B_{LV4}) \times U_k \div B_{L4} + S_V & \text{当 } U_k > 0 \end{cases} \quad \text{公式 6}$$

公式 6 中: 常量  $C$  为当智能车在直线上行驶时驱动电机的控制量, 常量  $B_{RV4}$  为当智能车在最大右转弯行驶时驱动电机的控制量, 常量  $B_{R4}$  为当智能车在最大右转弯行驶时舵机的理论控制值, 常量  $B_{LV4}$  为当智能车在最大左转弯行驶时驱动电机的控制量, 常量  $B_{L4}$  为当智能车在最大左转弯行驶时舵机的理论控制值。则公式 6 中  $M$  的算式为一元一次分段线性方程。实际上公式 6 的函数是两条直线, 如图 1 所示。

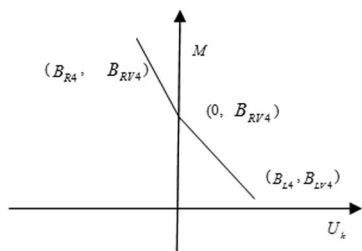


图 1

从图 1 中可以看出, 智能车左转的驱动电机控制量是线性减小的, 而右转的驱动电机控制量是线性增加的。驱动电机控制量的线性变化优点在于能够使电机控制量的变化平稳, 有利于小车在转弯时均匀地增加或减小控制量, 从而使小车能够在转弯时保持平稳的速度行驶, 不至于出现停顿现象。

## 2 舵机及驱动电机控制算法程序

### 2.1 积分环节改进的舵机 PID 算法程序

本文所述的舵机采用数字 PID 控制算法。数字 PID 算法分为增量式和位置式, 此处采用增量式计算、位置式输出方法。同时为了使小车运行更加稳定, 本文对 PID 算法的积分环

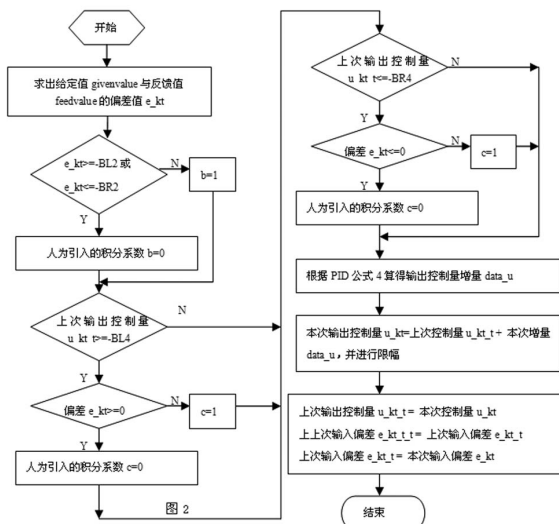


图 2

节做了改进, 由于微分环节对智能车系统的影响不是很大, 因此本文没有对微分环节做改进。具体的 PID 算法及改进的讲述见节 1.1, 此处只对 PID 算法及改进的软件实现做具体介绍。具体程序流程图见图 2。

图 2 所示流程图的前半部分为 PID 控制算法的积分环节改进算法, 其中积分系数  $B$  和  $C$  为人为引入的系数, 根据程序判断后可以确定  $B$  和  $C$  的相应值, 后半部分为通常的数字 PID 控制算法。

### 2.2 间接 PID 驱动电机控制算法程序

本系统的驱动电机控制采用间接 PID 控制算法, 其思想及具体描述已经在节 1.2 中讲过, 此处只对间接 PID 控制算法的软件实现作具体介绍。

具体流程图见图 3。

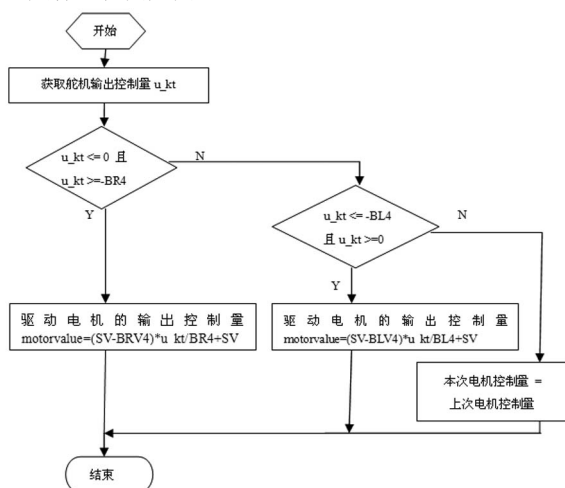


图 3

驱动电机间接 PID 控制算法, 首先要用舵机的 PID 输出控制量作为自己的间接反馈量, 然后通过公式 6 运算之后, 得到最后的驱动电机输出控制量。

## 3 两种算法的试验

按以上两种控制算法进行 C 语言编程, HCS12 的 16 位单片机为核心控制模块及模型车作为系统硬件设备, 进行算法试验。

首先以传统 PID 程序试验智能车行驶速度及稳定性, 稳定之后再逐渐提高智能车的行驶速度并保证智能车能稳定地跑完指定的跑道, 记下最好成绩。然后再按本文所述的两种 PID 控制算法验证智能车的行驶速度及稳定性, 稳定之后同样逐渐提高智能车的行驶速度并保证智能车能稳定地跑完指定跑道, 同样记下最好成绩。对比传统 PID 算法成绩, 可以得出结果。

成绩对比及试验结果表明: 本文所述的积分环节改进的 PID 舵机控制算法以及间接 PID 驱动电机控制算法能够优化控制算法, 使智能车能够更稳定、可靠、快速地跑完比赛规定的路程。

### [参考文献]

- [1] 王黎明. 电动机的单片机控制[M]. 北京: 北京航空航天大学出版社, 2002.
- [2] 何克忠, 李伟. 计算机控制系统[M]. 北京: 清华大学出版社, 1998.

## Control Method Analysis of Aptitude Vehicle Based on Indirect PID

XU Ying

**[Abstract]** In order to get the aptitude vehicle running stably in different situations, the article come up a control method for servo motor based on improving integral PID together with another for driving motor based on indirect PID. It expatiates the main theory of the two control method mentioned above. There are special chapters discuss the detail actualization of the software, The testing results based on the 16-bit micro- controller HC12 as hardware system are provided. The results prove that the vehicle is reliable enough to steer in the various raceways.

**[Key words]** Indirect PID; Aptitude vehicle; Sevo motor; driving motor