

# 基于 RBF 神经网络的智能车速度控制系统研究

尤晓玲<sup>1</sup>, 王能才<sup>2</sup>

(1. 兰州石化职业技术学院 电子电气工程系, 甘肃 兰州 730060; 2. 兰州理工大学 电气工程与信息工程学院, 甘肃 兰州 730050)

**摘要:** 针对传统 PID 控制算法在电磁导航智能车速度偏差处理中存在比例、积分、微分参数一经确定,不能在线调整、不具有自适应能力的缺点,提出了将 RBF 神经网络控制器及其算法应用到智能车的调速系统中,对传统 PID 参数整定进行改进。RBF 神经网络能够辨识智能车电机的数学模型,可以根据控制效果在线训练和学习,调整网络连接权重值,最终自适应地整定 PID 三个参数来实现智能车的速度控制。MATLAB 仿真测试表明,与传统 PID 控制算法相比,RBF 神经网络 PID 整定算法在智能车速度控制中具有响应快、超调量小、鲁棒性和适应性强的优点,大大提高了智能车电机控制系统的性能。

**关键词:** PID 控制; RBF 神经网络; 电磁导航智能车; 速度控制; MATLAB 仿真

**DOI:** 10.3969/j.issn.1000-3886.2015.01.036

[中图分类号] TP249 [文献标志码] A [文章编号] 1000-3886(2015)01-0102-03

## A Study on the Speed Control System of the Intelligent Vehicle Based on RBF Neural Network

YOU Xiao-ling<sup>1</sup>, WANG Neng-cai<sup>2</sup>

(1. Department of Electronic and Electrical Engineering of Lanzhou

Petrochemical Occupational College, Lanzhou Gansu 730060, China;

2. College of Electrical and Information Engineering of Lanzhou University of Technology, Lanzhou Gansu 730050, China)

**Abstract:** Considering that once proportional, integral and differential parameters are determined in speed deviation processing of the electromagnetically navigated intelligent vehicle according to the traditional PID control algorithm, they are not capable of online adjustment and do not have adaptive capability, this paper presents a scheme to apply the RBF neural cell network controller with its algorithm to the speed regulation system of the intelligent vehicle to improve the traditional PID parameter setting. The RBF neural network can identify the mathematical model of the intelligent car motor, conduct online training and learning according to the control effect, adjust the network connection weight and finally, adaptively adjust the three PID parameters to realize speed control over the intelligent vehicle. MATLAB simulation tests show that, compared with the traditional PID control algorithm, the PID setting algorithm of the RBF neural network has such advantages as quick response, small overshoot, robustness and strong adaptability in the speed control of the intelligent vehicle, thus greatly improving the performance of the intelligent vehicle motor control system.

**Keywords:** PID control; RBF neural network; electromagnetic navigation intelligent vehicle; speed control; MATLAB simulation

## 0 引言

智能车辆又称移动轮式机器人,是集环境感知、信息处理、速度控制等功能于一体的综合系统,具有道路障碍自动识别、自动控制以及巡航控制等功能<sup>[1]</sup>。以往电磁导航智能车的速度都是由传统的 PID 控制器组成的闭环控制系统进行控制,传统 PID 控制算法具有结构简单、鲁棒性强的优点,但其比例、积分和微分参数是预先设定和固定不变的,且随着路况环境的变化,传统 PID 控制算法对智能车系统偏差的响应变差,容易产生超调与振荡现象<sup>[2-3]</sup>。为了进一步提高智能车的行驶速度,本文结合智能车电机控制系统的特点,采用 RBF(Radial Basis Function)神经网络算法,使电磁导航智能车的动态响应速度和加减速性能得到了很大的提高。

## 1 智能车控制系统分析

智能车控制系统主要包括电源模块、控制器模块、测速模块、舵机控制模块、电机控制模块和路径检测模块。硬件电源模块分别给小车各个模块供电,智能车首先通过安装在小车前端的电磁传感器将导航电磁信号进行选频采集,再将采集的信号交由信号处理电路进行滤波、放大,之后单片机 MC9S12XS128 通过 AD 端口采样获取路径检测模块信息并进行计算分析,针对 S-D6 数码舵机由 PWM 端口输出 300 Hz 不同脉宽的 PWM 波控制舵机转角来控制小车转向。此外根据旋转编码器反馈回来的小车车速选择合适的算法对电机进行控制来完成智能车的稳定行驶。

## 2 智能车速度控制方案的提出

电磁导航智能车的速度取决于车模自身驱动电机的转速,驱动电机的转速由电机驱动模块输出的电流大小决定,电机驱动模块输出电流的大小由智能车控制模块中单片机输出的脉冲频率和占空比决定。由于智能车所经路径中既有直道,又有弯道,所以要使智能车在行驶中不冲出路径的前提下达到预先设定的速度,则智能车的速度必须随路况可变,即直道与大弧弯道高速,小

定稿日期: 2014-05-16

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(51165024)

弧弯道低速。

### 2.1 传统 PID 控制算法

PID 是一个闭环控制算法。因此要实现 PID 算法,必须在硬件上具有闭环控制,就是得有反馈。PID 是比例(P)、积分(I)、微分(D)控制算法。但并不是必须同时具备这三种算法,也可以是 PD、PI,甚至只有 P 算法控制。PID 控制系统的结构如图 1 所示,其中虚线框内为 PID 控制器。

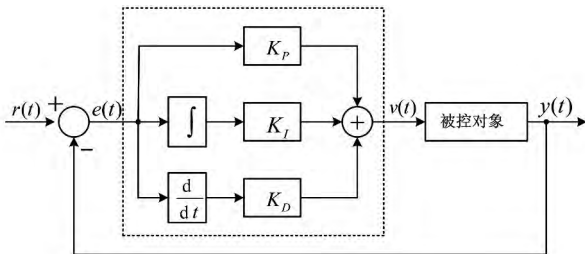


图 1 PID 控制系统结构框图

$v(t)$  为 PID 控制器的输出值,其大小取决于系统给定值  $r(t)$  和系统输出值  $y(t)$  的偏差  $e(t)$ 、偏差的积分、偏差的微分的线性加权组合,即:

$$v(t) = K_p \left[ e(t) + \frac{1}{T_i} \int_0^t e(t) dt + T_d \frac{de(t)}{dt} \right] = K_p e(t) + K_i \int_0^t e(t) dt + K_d \frac{de(t)}{dt} \quad (1)$$

式中  $K_p$  为比例系数;  $T_i$  为积分时间常数;  $T_d$  为微分时间常数;  $K_i = K_p/T_i$  为积分系数;  $K_d = K_p/T_d$  为微分系数。

智能小车上安装的是型号为 RS380 的直流电机,其主要参数是:额定电压为 7.2 V,转速为 255 r/s,电磁时间常数为 0.019 s,电动势常数为 0.016 V/(r/min),电机时间常数为 0.14 s,由于电机的控制系统是二阶系统,则得其传递函数模型为

$$G(s) = \frac{398}{s^2 + 50s + 406} \quad (2)$$

在 MATLAB 中建立的控制模型如图 2 所示。

通过不断的仿真,结合试验,最终选取  $K_p = 11$ ,  $K_i = 0.2$ ,  $K_d = 0.03$ ,其 PID 阶跃仿真曲线如图 3 所示。

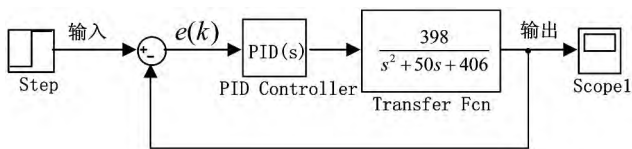


图 2 电机闭环控制系统结构

由图 3 可以看出,传统 PID 控制算法对智能车电机的控制响应慢,超调大。因此,在要求超调小、无静差、速度响应快、鲁棒性强的调节过程中,本研究采用 RBF 神经网络对智能车的速度进行控制。

### 2.2 RBF 神经网络 PID 整定算法

径向基函数(RBF-Radial Basis Function)神经网络是一种性能优良的前馈型神经网络,可映射任意复杂的非线性关系<sup>[4-6]</sup>,而且学习规则简单,具有很强的鲁棒性、记忆能力和自学习能力,从根本上解决了 BP 网络的局部最优问题。

#### (1) 网络结构

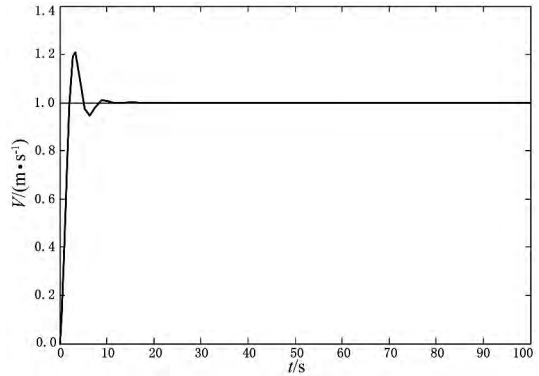


图 3 智能车速度控制系统响应曲线

RBF 网络是一种三层前向网络,由输入到输出的映射是非线性的,而隐含层空间到输出空间的映射是线性的,从而大大加快了学习速度并避免了局部极小问题。

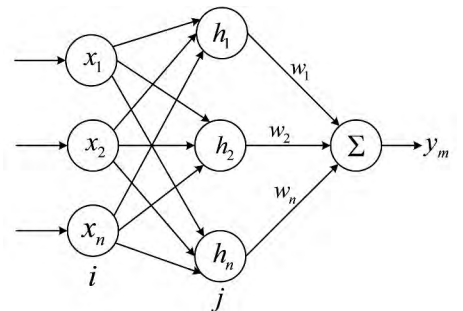


图 4 RBF 神经网络结构

RBF 网络结构如图 4 所示。

#### (2) 智能车电机信息的辨识算法

在 RBF 网络结构中,  $x = [x_1 \ x_2 \ \dots \ x_n]^T$  为网络的输入向量。设 RBF 网络的径向量为  $h = [h_1 \ h_2 \ \dots \ h_m]^T$ ,其中  $h_j$  为高斯函数:

$$h_j = \exp\left(-\frac{\|x - c_j\|^2}{2b_j^2}\right) \quad (3)$$

其中  $j = 1 \ 2 \ \dots \ m$  网络的第  $j$  个节点的中心矢量为:

$$C_j = [c_{j1} \ c_{j2} \ \dots \ c_{jn}]^T \quad (4)$$

其中  $j = 1 \ 2 \ \dots \ n$ 。

网络的权向量为:

$$W = [w_1 \ w_2 \ \dots \ w_m]^T \quad (5)$$

辨识网络的输出为:

$$y_m(k) = w_1 h_1 + w_2 h_2 + \dots + w_m h_m \quad (6)$$

辨识器的性能指标函数为:

$$J = \frac{1}{2} (y(k) - y_m(k))^2 \quad (7)$$

Jacobian(即为智能车电机的输出对控制输入变化的灵敏度信息)算法为<sup>[7]</sup>:

$$\frac{\partial y(k)}{\partial \Delta u(k)} \approx \frac{\partial y_m(k)}{\partial \Delta u(k)} = \sum_{j=1}^m w_j h_j \frac{c_{ji} - x_i}{b_j^2} \quad (8)$$

式中  $x_i = \Delta u(k)$ 。

### 3 RBF 神经网络 PID 参数整定原理

在传统 PID 控制器的基础上附加一个 RBF 神经网络,利用神经网络的自学习功能确定 PID 参数,其系统结构框图如图 5

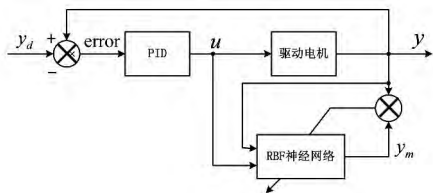


图 5 RBF 神经网络整定 PID 控制框图

所示。

RBF 网络能够根据系统的输入和输出信息,通过系统反复的自学习和调整,提供第一部分所需要的 PID 参数。

采用增量式 PID 控制器,控制误差为:

$$e(k) = y_d(k) - y(k) \quad (9)$$

PID 三项输入为:

$$\begin{aligned} xc(1) &= e(k) - e(k-1) \\ xc(2) &= e(k) \\ xc(3) &= e(k) - 2e(k-1) + e(k-2) \end{aligned} \quad (10)$$

控制算法为:

$$u(k) = u(k-1) + \Delta u(k) \quad (11)$$

$$\begin{aligned} \Delta u(k) &= K_p(e(k) - e(k-1)) + K_i e(k) + \\ &K_d(e(k) - 2e(k-1) + \\ &e(k-2)) \end{aligned} \quad (12)$$

神经网络整定指标为:

$$E(k) = \frac{1}{2} e(k)^2 \quad (13)$$

$K_p, K_i, K_d$  的调整采用梯度下降法:

$$\begin{aligned} \Delta K_p &= -\eta \frac{\partial E}{\partial K_p} = -\frac{\partial E}{\partial y} \frac{\partial y}{\partial \Delta u} \frac{\partial \Delta u}{\partial K_p} = \\ &\eta e(k) \frac{\partial y}{\partial \Delta u} xc(1) \end{aligned} \quad (14)$$

$$\begin{aligned} \Delta K_i &= -\eta \frac{\partial E}{\partial K_i} = -\frac{\partial E}{\partial y} \frac{\partial y}{\partial \Delta u} \frac{\partial \Delta u}{\partial K_i} = \\ &\eta e(k) \frac{\partial y}{\partial \Delta u} xc(2) \end{aligned} \quad (15)$$

$$\begin{aligned} \Delta K_d &= -\eta \frac{\partial E}{\partial K_d} = -\frac{\partial E}{\partial y} \frac{\partial y}{\partial \Delta u} \frac{\partial \Delta u}{\partial K_d} = \\ &\eta e(k) \frac{\partial y}{\partial \Delta u} xc(3) \end{aligned} \quad (16)$$

式中  $\frac{\partial y}{\partial \Delta u}$  为被困对象的 Jacobian 信息,可通过神经网络的辨识而得到。

#### 4 控制结果仿真及分析

被控对象为:

$$y(k) = \frac{-0.1y(k) + u(k-1)}{1 + \gamma(k-1)^2} \quad (17)$$

输入指令为 1.0 的阶跃信号,网络辨识的三个输入为:  $\Delta u(k), \gamma(k), \gamma(k-1)$ 。M=1 时为 RBF 网络控制速度响应,其结果如图 6~8 所示。

由图 6~8 得出,对于智能车电机的控制,RBF 神经网络学习过程收敛速度很快,系统在很短时间内达到了较好的动态和静态性能。具有唯一最佳逼近的特性,且无局部极小问题的存在。经

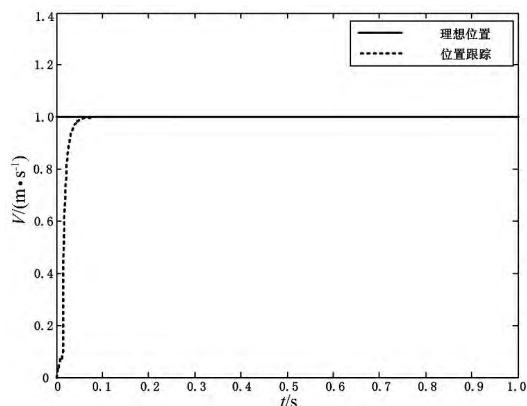


图 6 RBF 网络控制速度响应

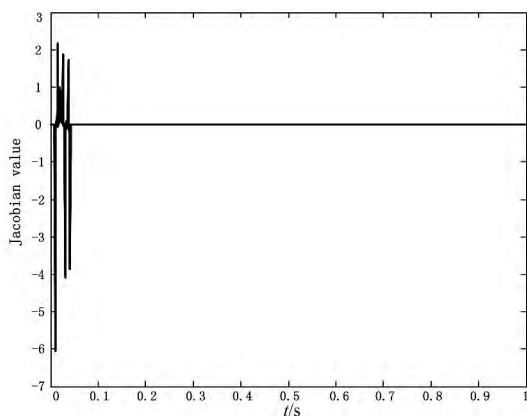


图 7 智能车电机 Jacobian 信息辨识结果

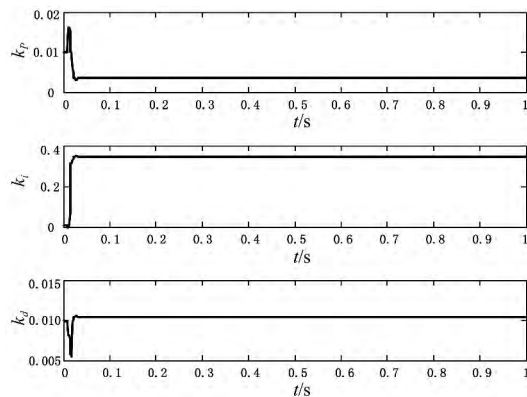


图 8 PID 参数自适应整定曲线

过自调整后,系统输出响应超调小、无静差,响应速度很快,而传统 PID 控制器的输出在经过繁琐的参数整定之后,其输出还存在很大超调。在未改变电机参数的情况下,基于 RBF 神经网络控制的效果要明显优于传统 PID 控制器对电机的控制,而且控制精度较高,鲁棒性很好。自调整过程中,智能车电机 Jacobian 信息的辨识很快。

#### 5 结束语

研究了基于 RBF 神经网络的智能车速度控制系统,给出了 RBF 神经网络整定 PID 控制框图及计算方法。通过网络的学习,系统具有良好的动态和静态特性,仿真结果显示,RBF 神经网络

(下转第 110 页)



图 5 控制系统 PLC 通道设置



图 6 搅拌设备控制界面组态

## 4 控制系统的调试与实现

### 4.1 PLC 控制系统模拟调试

运行 PLC 程序,模拟输入启动、液位、温度等输入信号,观察



(上接第 104 页)

络在 PID 参数整定过程中收敛速度很快,超调小、无静差,不会陷入局部极小点,其性能明显优于传统 PID 控制器。经过车模试验验证,以 RBF 神经网络算法为主要控制策略的智能车具有良好的鲁棒性和抗干扰能力,能够精确循迹,快速转弯,可以得到良好的控制效果。

参考文献:

[1] 刘源,张文斌,刘雪扬,等.电磁导航智能车检测和控制系统研究[J].传感器与微系统,2012,31(4):63-66.

[2] 韩启勇,王蕊.模糊 PID 控制器 MATLAB 仿真探讨[J].中国仪器仪表,2009,29(S1):78-81.

[3] XIONG BO, QU SHI-RU. Intelligent vehicle's path tracking based on fuzzy control [J]. IEEE Transportation Systems Engineering and

PLC 的输出指示灯,看是否符合搅拌设备的控制要求,如不符合要求,修改 PLC 程序,直到符合控制要求为止。

### 4.2 MCGS 监控界面的调试

运行正确的 PLC 程序,运行 MCGS 组态工程,观察搅拌设备计算机控制系统的监控界面的动画显示是否按控制要求模拟显示工艺的操作过程,如果有问题,检查 PLC 通道连接以及动画连接,排除连接错误,使动画的显示与 PLC 的运行一致。

### 4.3 搅拌设备与控制系统联调

连接 PLC 与现场设备的控制接线,仔细检查无误后运行 PLC 程序,运行 MCGS 监控界面,观察 MCGS 监控界面与现场的设备运行情况是否一致,如果不一致,仔细检查每个输入输出通道,直到模拟的工艺运行状况与实际的工艺状况保持一致为止<sup>[6]</sup>。

## 5 结束语

基于 MCGS 软件聚丙烯催化剂搅拌装置计算机监控系统的开发与应用,实现了该设备的计算机实时监测控制,为企业节省了大型计算机控制系统的投资,减轻了操作工的劳动强度,降低了控制系统的故障频率,提高了产品的质量与生产效率。同时也对其他小型生产设备计算机控制和监测的设计与开发具有借鉴意义。

参考文献:

[1] 华依青. 搅拌器在化工单元设备中的选用[J]. 化工设计,2004,14(6):10-12.

[2] 杜焰,易奇志,谢昌琼. 基于组态软件 MCGS 的化工基础实验的开发与实践[J]. 计算机与应用化学,2009,26(4):465-468.

[3] 孙晗,武昌俊. 基于 PLC 交通信号灯控制系统在 MCGS 组态软件中的实现[J]. 工业控制计算机,2009,22(3):75-97.

[4] 张志田. 基于 MCGS 组态软件的立体仓库控制系统研究[J]. 湖南职业技术学院学报,2008,8(2):8-9.

[5] 王雷,沙漠,李苏,等. 基于 MCGS 的交通灯控制系统设计[J]. 国外电子测量技术,2009,28(3):42-43.

[6] 包建华. 基于 MCGS 组态软件的机械手控制系统[J]. 兵工自动化,2007,26(8):56-57.

【作者简介】蔡建刚(1972-),男,甘肃榆中人,副教授,工学硕士,主要从事焊接技术及其自动化的教学与科研工作。

Information Technology,2010,10(2):70-75.

[4] 舒怀林. PID 神经网络多变量控制系统分析[J]. 自动化学报,1999,25(1):105-111.

[5] 袁佑新,卢立殊,王萍,等. 基于 PID 神经元的温度控制系统研究[J]. 武汉理工大学学报,2002,24(3):21-23.

[6] 钱宇达,朱凌云,赵玮娜,等. 基于 PID 神经网络的恒压供水控制系统设计[J]. 仪表技术,2008,37(10):15-17.

[7] 汤积仁,雷玉勇,晁光伟,等. 神经网络 PID 控制在柴油机调速系统中的应用[J]. 煤矿机械,2010,31(1):201-204.

【作者简介】尤晓玲(1964-),女,甘肃榆中人,副教授,研究方向为智能结构及其动力学系统控制。王能才(1987-),男,甘肃白银人,硕士研究生,研究方向为智能控制。