

The Intelligent Vehicle Research on Neural Network Fractional Order $PI^\alpha D^\beta$ Control

Yong Lei, Huijuan Zheng

The Electrical Engineering College, Guizhou University, Guiyang
Email: scnjly880621@163.com

Received: Sep. 23rd, 2012; revised: Oct. 5th, 2012; accepted: Oct. 16th, 2012

Abstract: In this paper, we combined the *BP* neural network with the fractional order $PI^\alpha D^\beta$ organically. Using preview follower theory simplified modeling for highly nonlinear intelligent vehicles, designed of fractional-order $PI^\alpha D^\beta$ control based on neural network intelligent vehicles. Finally, designed with simulation and validation, and with normal fractional order $PI^\alpha D^\beta$ and conventional *PID* control effect for a comparative analysis, simulation showed that the fractional-order $PI^\alpha D^\beta$ controller based on neural networks in terms of dynamic performance, steady-state and error are better than the general fractional order $PI^\alpha D^\beta$ and conventional *PID* control, proved the effectiveness of the design.

Keywords: *BP* Neural Network; Fractional Order $PI^\alpha D^\beta$; Smart Car; Preliminary Glance with Theory

基于神经网络分数阶 $PI^\alpha D^\beta$ 控制的智能车研究

雷 勇, 郑慧娟

贵州大学电气工程学院, 贵阳
Email: scnjly880621@163.com

收稿日期: 2012年9月23日; 修回日期: 2012年10月5日; 录用日期: 2012年10月16日

摘 要: 本文将 *BP* 神经网络与分数阶 $PI^\alpha D^\beta$ 有机结合, 采用预瞄跟随理论对高度非线性的智能车进行简化建模, 设计了基于神经网络分数阶 $PI^\alpha D^\beta$ 控制的智能车。最后对设计进行了仿真验证, 并与普通分数阶 $PI^\alpha D^\beta$ 及常规 *PID* 的控制效果进行了比较分析, 仿真验证表明了神经网络分数阶 $PI^\alpha D^\beta$ 控制器在动态性能、稳态误差等方面都要优于一般分数阶 $PI^\alpha D^\beta$ 及常规 *PID* 控制, 证明了本设计的有效性。

关键词: *BP* 神经网络; 分数阶 $PI^\alpha D^\beta$; 智能车; 预瞄跟随理论

1. 引言

智能车是许多高新技术的合体, 其模型具有高度的非线性。早期对智能车的控制主要是采用常规的 *PID* 进行控制^[1-3], 文献[2]提出了前馈——改进 *PID* 算法在智能车控制上的应用, 虽然改善了智能车的动态性能。后来随着分数阶微积分理论的发展, 文献[3]提出了分数阶 $PI^\alpha D^\beta$ 控制, 虽然这些方法在控制效果

上明显优于常规 *PID*。但是, 仍未达到预期的控制效果, 本文将 *BP* 神经网络与分数阶 $PI^\alpha D^\beta$ 相结合, 设计了基于自整定的 *BP* 神经网络分数阶 $PI^\alpha D^\beta$ 控制器, 通过仿真验证与常规 *PID* 及普通分数阶 $PI^\alpha D^\beta$ 的控制效果进行了比较分析。

2. 基于神经网络分数阶 $PI^\alpha D^\beta$ 控制的智能车系统

2.1. 分数阶 $PI^\alpha D^\beta$ 控制器

Podlubny 教授将分数阶微积分理论与 PID 整定理论相结合, 提出了分数阶 $PI^\alpha D^\beta$ 控制器^[2], 并且对分数阶控制系统的动态响应进行了精确的分析, 最后证明了 $PI^\alpha D^\beta$ 可以比传统的 v 控制器取得更好的性能。尤其适用于像智能车竞赛这种速度快、目标急剧变化的系统。分数阶 PID 将传统的 PID 控制器推向了分数领域, 传统的 PID 的控制器只有三个参数($K_p; K_i; K_d$), 而分数阶 PID 比传统的 v 多了两个参数($\alpha; \beta$) 从而比传统 PID 多了 2 个自由度。其中 α, β 可以为任意实数, 分数阶的时域表达式:

$$u(t) = K_p e(t) + K_i D_t^{-\alpha} e(t) + K_d D_t^\beta e(t) \quad (1)$$

对式(1)两端在零初始条件下进行 $PI^\alpha D^\beta$ 拉普拉斯变换的分数阶 $PI^\alpha D^\beta$ 的传递函数为:

$$G(s) = K_p + K_i / S^\alpha + K_d S^\beta \quad (2)$$

根据式(2)结合微积分理论^[4]可以做出如图 1 所示的分数阶 $PI^\alpha D^\beta$ 图。

图 1 中, 当 $\alpha = \beta = 1$ 时 $G(s)$ 为传统的整数阶 PID 控制器, 当 $\alpha = 0; \beta = 1$ 时, $G(s)$ 为传统的整数阶 PD 控制器; 当 $\alpha = 1; \beta = 0$ 时, $G(s)$ 为 PI 控制器; 当 $\alpha = \beta = 0$ 时, $G(s)$ 为 P 控制器。而分数阶 PID 控制器则为图 1 的蓝色阴影部分^[5]。

2.2. 神经网络的分数阶 PID 控制器的智能车控制原理

智能车的控制过程是一个十分复杂的过程, 对于分数阶 $PI^\alpha D^\beta$ 控制中, 最重要的是对 $[K_p; K_i; K_d; \alpha; \beta]$ 这 5 个参数的整定这与优化, 由于它们之间存在着无限的相互制约以及相互配合的非线性关系, 要在它们

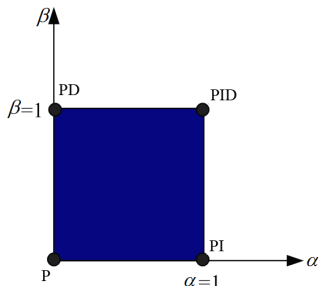


Figure 1. Based on the theory of differential and integral calculus PID

图 1. 基于微积分理论的 PID

之间寻找一种最优的组合从而取得最佳的控制效果。 BP 神经网络具有在线整定 $PI^\alpha D^\beta$ 参数的能力, 基于 BP 神经网络的分数阶自整定 PID 控制器结构框图如图 2 所示^[6-8]。

BP 神经网络在线对 $PI^\alpha D^\beta$ 的 5 个参数进行整定, $PI^\alpha D^\beta$ 输出直接作用于智能车模型上, 智能车模型的输出再反馈输入神经网络, 自适应的调整参数值, 直至达到最佳的控制效果。

3. 智能车神经网络建模

预瞄准跟随理论考虑到对于一个合格的驾驶员, 其行为是有一定规律的、可捉摸的。他发出的控制汽车方向的指令都是在一定原则指导下进行的。主要目的是使汽车的运动方向与预期的轨道方向一致。通过传统的方法对汽车与目标路线进行建模, 然后在用数学的方法求取驾驶员模型, 得到驾驶员 - 汽车系统简化框图^[3], 如图 3 所示。

驾驶员根据路面信息 $f(t+T)$ 以及汽车的瞬时状态信息 $y(t)$ 与 $y'(t)$, 加上对车速以及前视时间 T 的判断来寻求一个最优的轨迹。由驾驶员控制汽车转向, 产生一个横向加速度 $y''(t)$; 横向速度 $y'(t)$ 及位移 $y(t)$ 由此得到汽车横向位移 y 对预期轨道输入 f 的传递函数:

$$\frac{y(s)}{f(s)} = \frac{e^{\tau s}}{T^2/2S^2 + TS + 1} \quad (2)$$

神经网络用于系统辨识与控制中, 其实质是要选择一个合适的神经网络模型来逼近我们的实际系统模型。定义控制误差为: $e(k) = r(k) - y(k)$ 设 BP 神经网络(NN)是一个 3 层 BP 网络, 有 3 个输入点、6 个隐含节点(隐层采用 sigmoid 函数作为激发函数)、5 个输出点, 其中输入节点对应所选的系统运行状态量, 输出节点对应 $PI^\alpha D^\beta$ 的 5 个参数 $K_p; K_i; K_d; \alpha; \beta$

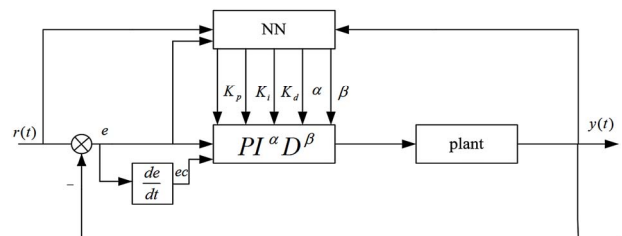


Figure 2. Auto-tuning PID controller structure diagram

图 2. 自整定 PID 控制器结构框图

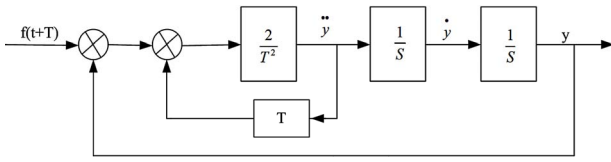


Figure 3. People-car-road system model block diagram
图 3. 人-车-路系统模型框图

激活函数采用非负的 sigmoid 函数。 W_{ij} 及 W_{jk} 分别为输入到隐层及隐层到输出的权值函数。BP 神经网络的结构如图 4 所示^[8,9]。

设 BP 神经网络的输入向量:

$$X = [x_1, x_2, x_3] \\ = [e(k) - e(k-1), e(k), e(k) - 2e(k-1) + e(k-2)]$$

采用梯度下降法, 权值加入使快速收敛全局最小的动量项, 即修正量:

$$\Delta W_{ij} = -\mu \frac{\partial e(k)}{\partial W_{ij}} + \lambda \Delta W_{ij}(k-1) \\ \Delta W_{jk} = -\mu \frac{\partial e(k)}{\partial W_{jk}} + \lambda \Delta W_{jk}(k-1)$$

式中 μ 为学习效率; λ 为惯性系数, 性能指标采用 $J = \frac{1}{2}(r(k) - y(k))^2$ 。

4. 仿真验证

智能控制是一个非常复杂的过程, 利用预瞄跟随理论获得简化了的智能车的简化模型, 神经网络分数阶 $PI^\alpha D^\beta$ 具有改进智能车高速情况下的跟踪品质, 本文将 BP 神经网络与分数阶 $PI^\alpha D^\beta$ 相结合, 根据图 2 所示的自整定 PID 控制器结构框图采用图 4 的 3 层

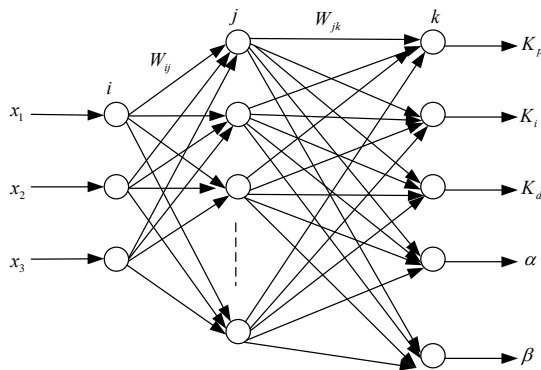


Figure 4. The structure of BP network
图 4. BP 神经网络的结构

BP 神经网络结构来对其进行训练直接作用于智能车的简化模型, 在 MATLAB 7.1 版本下运行, 取学习效率 $\mu = 0.26$, 惯性指数 $\lambda = 0.05$, 采样时间 $T = 1$ s, 经过训练解出分数阶 $PI^\alpha D^\beta$ 控制器的 5 个参数^[6,7]: $[K_p; K_i; K_d; \alpha; \beta] = [0.31; 1.12; 1.34; -1.0234; 0.75]$ 从而求解出 $PI^\alpha D^\beta$ 的传递函数为:

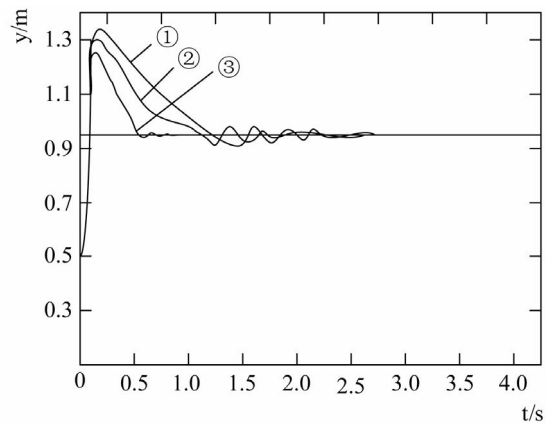
$$G(s) = 0.314 + 1.12s^{-1.0234} + 1.34s^{0.75}$$

在调试环境、初始条件、循环次数不变的情况下与分数阶 $PI^\alpha D^\beta$ 及常规 PID 进行比较, 其单位阶跃响应曲线如图 5 所示。

从图 5 中明显可以看出, 在单位阶跃信号作用下: 神经网络分数阶 $PI^\alpha D^\beta$ 控制其超调量为 20%, 过渡时间为 0.8 s; 普通分数阶 $PI^\alpha D^\beta$ 的超调量为 30%, 过渡时间为 1.7 s 而常规 PID 其超调量为 60%, 过渡时间为 2 s。因此, 神经网络分数阶 $PI^\alpha D^\beta$ 的控制性能明显优于普通分数阶 $PI^\alpha D^\beta$ 和常规 PID。这样就能够保证智能车在速度较快的情况下, 能够很好的对目标进行跟踪, 并且稳态误差明显比普通分数阶 $PI^\alpha D^\beta$ 和常规 PID 更小。能够很好的跟踪目标轨迹。

5. 结束语

本文将现有的分数阶 $PI^\alpha D^\beta$ 与 BP 神经网络相结合让其充分发挥各自的优点, 利用神经网络具有无限逼近任意非线性函数的能力^[8], 针对智能车这种高度非线性模型, 可以获得很高的控制精度, 把神经网络分数阶 $PI^\alpha D^\beta$ 与预瞄跟随理论相结合, 与一般分数



①常规 PID 控制曲线; ②为分数阶 $PI^\alpha D^\beta$ 控制曲线; ③神经网络分数阶 $PI^\alpha D^\beta$ 控制曲线

Figure 5. Several different types of PID control effect comparison
图 5. 几种不同类型 PID 控制效果比较

阶 $PI^\alpha D^\beta$ 和常规 PID 的控制效果相比较,神经网络分数阶 $PI^\alpha D^\beta$ 具有收敛速度快、稳态性好、响应速度快、鲁棒性强等优点,是一种值得推广的控制方法。

参考文献 (References)

- [1] I. Podubny. Fraction-order systems and controllers. *IEEE Transactions on Automatic Control*, 1999, 44(1): 208-213.
- [2] 贾翔宇, 季庆庸, 丁芳. 前馈 - 改进 PID 算法在智能车控制上的应用[J]. *计算机与信息技术*, 2011, 22: 28-29.
- [3] 吴振宇, 赵亮, 冯林. 基于分数阶 PID 控制器的智能车控制[J]. *控制工程*, 2011, 18(3): 401-403.
- [4] 祝奔石. 分数阶微积分及其应用[J]. *黄冈师范学院学报*, 2011, 6: 1-4.
- [5] 胡海波, 黄友锐. 基于神经网络分数阶 PID 控制器在磨矿分级系统中的应用研究[J]. *煤矿机械*, 2009, 11: 198-200.
- [6] 薛定宇, 赵春娜. 分数阶系统的分数阶 PID 控制器设计[J]. *控制理论与应用*, 2007, 5: 773-775.
- [7] 田小敏, 黄友锐, 曲立国. 基于小波神经网络分数阶 $PI^\lambda D^\mu$ 控制器的设计[J]. *安徽理工大学学报(自然科学版)*, 2011, 31(3): 10-11.
- [8] 曾军, 方厚辉. 神经网络 PID 控制及其 *Matlab* 仿真[J]. *现代电子技术*, 2004, 169(2): 50-52.
- [9] 徐丽娜. 神经网络控制[M]. 北京: 电子工业出版社, 2003: 232-247.