

装载机线控转向路感控制策略*

罗士军 胡静波 王同建 张子达

【摘要】 设计了铰接式装载机线控转向系统,在分析装载机路感特性的基础上,提出系统控制策略,并设计了一种基于BP神经网络整定的自适应PID控制器,实现了PID参数的在线调整。仿真和实验结果表明,该控制器可使线控转向系统实现理想的路感特性。

关键词: 装载机 线控转向系统 路感 控制策略

中图分类号: TH243 **文献标识码:** A

Study on Steering Feel of Steering-by-wire System of Wheel Loader

Luo Shijun¹ Hu Jingbo² Wang Tongjian¹ Zhang Zida¹

(1. Jilin University 2. Changchun Institute of Technology)

Abstract

By designing a SBW (steering-by-wire) system structure of articulated wheel loader and analyzing its steering feel, this paper presented a control strategy on the system, and designed an improved PID (proportional integral derivative) control system based on back propagation neural network. The on-line adjustment of the coefficients of proportion, integral and differential of the classical PID controller was realized by means of the self-study of the neural network, allowing the adaptive control for the steering feel. The simulation and experimental results showed that the back propagation neural network PID could satisfy the requirement of the steering feel.

Key words Wheel loader, Steering-by-wire system, Steering feel, Control strategy

引言

线控转向(steering-by-wire,简称SBW)系统取消了方向盘和转向轮之间的机械连接,完全摆脱了传统转向系统的各种限制,因此使车辆的设计、装配大为简化,而且还可以自由设计车辆转向的力传递特性和角传递特性,是车辆转向系统的重大革新^[1]。在我国,线控转向技术在装载机上的应用尚属空白,研究结果对指导线控转向技术的国产化具有重要的现实意义。由于方向盘和转向车轮之间无机械连接,提供给驾驶员“路感”的方向盘回正力矩必须模拟生成。本文在分析装载机线控转向系统路感特性的基础上,提出一种能获得理想路感的控制策略,并根据

此策略实现基于BP神经网络的路感自适应控制。

1 系统设计

铰接转向装载机线控转向系统原理如图1所示。电动机角度传感器用来检测电动机运转的角速度和方向盘的转角。方向盘的转角信号输入给主控制器,主控制器根据这一信号控制电液比例液压阀组(包括电液比例换向阀、流量放大阀等)及其控制单元,从而使转向油缸产生与方向盘转角相对应的位移,也就是车辆的转向角度。同时车辆的实际转向角度由位移传感器检测,实现油缸位置的闭环控制,从而保证转向过程按照驾驶员的意图进行。压力传感器将车辆的转向阻力信号发送给主控制器,主控

收稿日期:2006-03-09

* 吉林省科技厅资助项目(项目编号:20040336)

罗士军 吉林大学机械科学与工程学院 讲师 博士,130025 长春市

胡静波 长春工程学院机电工程学院 副教授 博士,130012 长春市

王同建 吉林大学机械科学与工程学院 讲师 博士

张子达 吉林大学机械科学与工程学院 教授 博士生导师

制器向力反馈电动机发出控制信号,提供相应的路感信息,同时方向盘的实际输入力矩由力矩传感器检测,实现方向盘转矩的闭环控制。

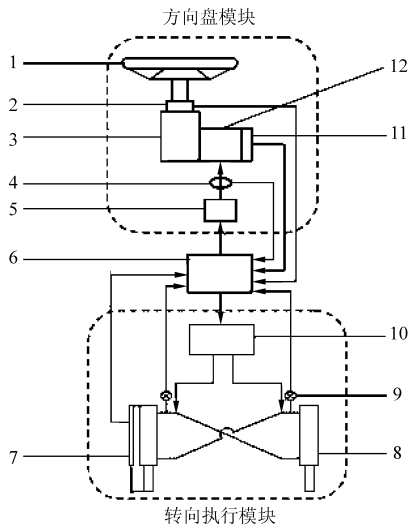


图1 线控转向原理图

Fig.1 Schematic diagram of the steering-by-wire system

1. 方向盘 2. 力矩传感器 3. 减速机构齿轮 4. 电动机电流传感器 5. 电动机驱动单元 6. 主控制器 7. 转向油缸位移传感器 8. 转向油缸 9. 压力传感器 10. 电液比例液压阀组及控制单元 11. 电动机角度传感器 12. 直流伺服电动机

2 路感分析

由于装载机属于低速行驶车辆,而且经常处在频繁大角度转向的装载作业工况下,因此车辆的速度信号、加速度信号对车辆的路感影响不大,在设计该系统时忽略不计。因此方向盘上感觉到的路感实际上就是车辆的转向阻力信息。控制系统原理如图2所示。

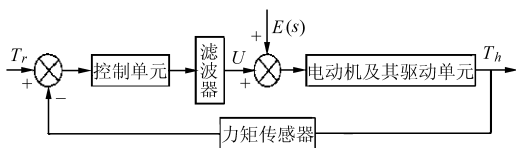


图2 控制系统原理图

Fig.2 Schematic diagram of control system

图中以两个压力传感器的差值信号作为控制系统的输入,这样可以有效地避免由回油阻力所造成的路感偏差。在控制单元与电动机及其驱动单元之间加入一个低通滤波器,以提高系统的动态稳定性。由图中可知路感信息是通过电动机模拟生成的,因此对电动机的控制是体现路感真实程度的关键。直流电动机等效电路如图3所示。

电压平衡方程式

$$U_a - e_g = R_a I_a + L_a \frac{dI_a}{dt}$$

转矩平衡方程式

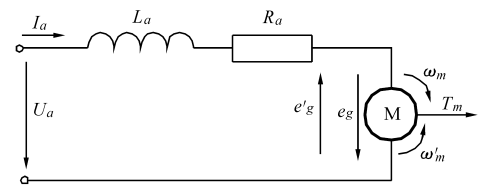


图3 电动机等效电路图

Fig.3 Circuit diagram of motor

$$T_m = K_T I_a - J_{Ges} \frac{d\omega_m}{dt}$$

式中 U_a ——电枢电压 e_g ——反电动势
 I_a ——电枢电流 R_a ——电枢电阻
 L_a ——电枢电感 K_T ——转矩系数
 J_{Ges} ——折算到电动机轴上的转动惯量
 T_m ——输出转矩 ω_m ——电动机角速度

由于工况的需要,电动机总是处于堵转和反转的状态下,从而形成电动机反电动势 e'_g ,使得电动机实际输出转矩与给定转矩存在误差,同时由于电动机的惯性作用,当车辆转向方向发生变化时,使得换向产生冲击,造成路感失真,车辆操纵稳定性下降。因此,所设计的控制系统如图2所示。

系统输出表达式为

$$T_h(s) = \frac{KG(s)}{1+KG(s)} T_r(s) + \frac{G(s)}{1+KG(s)} E(s)$$

其中 $G(s) = \frac{K_T}{(T_d s + 1)R_a}$

式中 $T_r(s)$ ——给定方向盘力矩, $N \cdot m$

$E(s)$ ——反电动势, V

$T_h(s)$ ——方向盘反力矩, $N \cdot m$

K ——放大器增益因子

$G(s)$ ——电动机以电枢电压和反电动势之差为输入、电磁转矩为输出的传递函数

T_d ——电动机机电时间常数, s

3 基于BP神经网络整定的自适应PID控制器设计

PID控制器在投入运行之前,要想得到较理想的控制效果,必须先整定好3个参数:比例系数 k_p 、积分系数 k_i 、微分系数 k_d 。这是因为不同的被控对象,对控制器的特性有不同的要求,整定的目的就是设法使控制器的特性能够和被控对象配合好,以便得到最佳控制效果^[2]。作者结合装载机路感特性,利用BP神经网络的任意非线性表达能力、自适应学习、并行分布处理和较强的鲁棒性、容错性等特点,来实现最佳组合的PID控制^[3]。基于BP神经网络的PID控制系统结构如图4所示,控制器由两部分构成:①经典的PID控制器,直接对被控对象进行闭环控制,并且3个参数 k_p 、 k_i 、 k_d 为在线调整方式

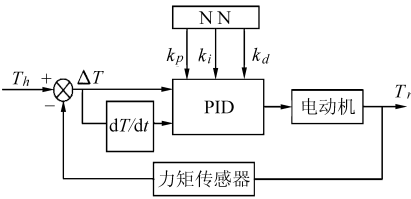


图 4 基于 BP 神经网络的 PID 控制系统原理图

Fig. 4 Schematic diagram of PID-BP control system

②神经网络 NN, 根据系统的运行状态调节 PID 控制器的参数, 以期达到某种性能指标的最优化, 使输出层神经元的输出状态对应于 PID 控制器的可调参数 k_p, k_i, k_d , 通过神经网络的自学习、加权系数调整, 使神经网络输出对应于某种最优控制率下的 PID 控制器参数。

经典增量式 PID 的控制算法为

$$\Delta u(k) = k_p [e(k) - e(k-1)] + k_i e(k) + k_d [e(k) - 2e(k-1) + e(k-2)]$$

采用 3 输入 3 输出的 3 层 BP 网络, 其结构图如图 5 所示。

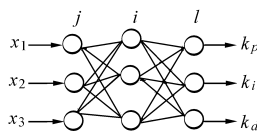


图 5 3 层 BP 神经网络-PID 网络结构图
Fig. 5 Three-layer PID-BP controller structure diagram

网络输入层的输出为

$$O_j^{(1)} = x(j) \quad (j=1, 2, 3)$$

网络隐含层的输入、输出为

$$t_i^{(2)}(k) = \sum_{j=1}^3 w_{ij}^{(2)} O_j^{(1)}$$

$$O_i^{(2)}(k) = f(t_i^{(2)}(k)) \quad (i=1, 2, 3)$$

式中 $w_{ij}^{(2)}$ —— 隐含层加权系数

隐含层神经元的活化函数取正负对称的 Sigmoid 函数, 即

$$f(x) = \tanh(x) = \frac{e^x - e^{-x}}{e^x + e^{-x}}$$

输出层神经元的活化函数取线性函数, 即

$$g(x) = x$$

则网络输出层的输入、输出为

$$t_l^{(3)}(k) = \sum_{i=1}^3 w_{li}^{(3)} O_i^{(2)}(k) \quad (l=1, 2, 3)$$

$$O_l^{(3)}(k) = g(t_l^{(3)}(k)) \quad O_1^{(3)}(k) = k_p$$

$$O_2^{(3)}(k) = k_i \quad O_3^{(3)}(k) = k_d$$

取性能指标函数为

$$E(k) = \frac{1}{2} (T_r(k) - T_h(k))^2$$

按照梯度下降法得到连接权的修正公式:

输出层 $\delta_i^{(3)} = e(k) - g'(t_i^{(2)}(k))$

$$w_{li}^{(3)}(k+1) = \alpha \Delta w_{li}^{(3)}(k) + \eta \delta_i^{(3)} O_i^{(2)}(k+1)$$

隐含层 $\delta_i^{(2)} = f'(t_i^{(2)}(k)) \sum_{l=1}^e \delta_l^{(3)} w_{li}^{(3)}(k)$

$$w_{ij}^{(2)}(k+1) = \alpha \Delta w_{ij}^{(2)}(k) + \eta \delta_i^{(2)} O_j^{(1)}(k+1)$$

式中 η —— 学习速率 α —— 惯性系数

4 仿真与实验

4.1 仿真

借助 Matlab 7.0/Simulink 软件进行仿真试验, 学习速率取 0.1, 惯性系数取 0.04, 加权系数初始值取 1。系统对两种不同算法阶跃信号的响应曲线如图 6 所示。仿真结果表明基于 BP 神经网络的自适应 PID 控制器较普通 PID 控制器具有鲁棒性强、自适应性强以及调节时间短、超调量小的优良性能。

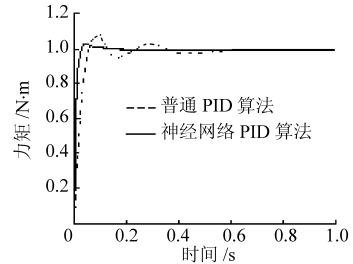


图 6 两种不同算法阶跃响应仿真曲线

Fig. 6 Step response curves in two kinds of different algorithm

4.2 实验

将所设计的控制器进行台架实验, 用信号发生器给定 $-5 \sim 5$ V 的正弦波, 方向盘固定保持不动。所得到的实验曲线如图 7 所示。

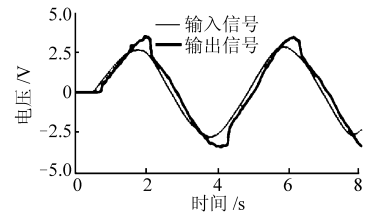


图 7 实验曲线

Fig. 7 Experimental curves

从实验曲线可以看出, 所设计的控制器具有很好的跟踪特性, 在装载机的路感控制中达到了令人满意的效果。

参 考 文 献

- 1 陈善华. 汽车电子转向技术发展展望[J]. 汽车技术, 2003(1): 1~7.
- 2 陶永华, 恰欣, 葛芦生. 新型 PID 控制及其应用[M]. 北京: 机械工业出版社, 1998.
- 3 侯志林. 过程控制与自动化仪表[M]. 北京: 机械工业出版社, 2000.
- 4 刘金琨. 先进 PID 控制 MATLAB 仿真[M]. 北京: 电子工业出版社, 2004.
- 5 廖芳芳, 肖建. 基于 BP 神经网络 PID 参数自整定的研究[J]. 系统仿真学报, 2005, 17(7): 1 711~1 713.