

基于单轮车辆悬架的 Fuzzy-PID 控制器设计和仿真

付金宝^{1,2}, 仲崇亮^{1,2}, 丁亚林¹, 郑丽娜^{1,2}, 刘明¹

(1. 中国科学院长春光学精密机械与物理研究所 吉林 长春 13000; 2. 中国科学院研究生院, 北京 100039)

摘要: 研究车辆主动空气悬架的控制问题, 在车辆主动空气悬的常规 PID 控制器的基础上, 运用模糊推理对常规 PID 控制器进行参数在线修订, 设计了基于单轮车辆主动空气悬架的 Fuzzy-PID 控制器, 并对 Fuzzy-PID 控制的单轮车辆主动空气悬架进行 Matlab 建模和仿真试验。仿真结果表明, 与车辆被动空气悬架、常规 PID 控制的车辆主动空气悬架相比, Fuzzy-PID 控制的车辆主动空气悬架可大大降低车身加速度和悬架动行程, 提高车辆乘坐舒适性和操纵稳定性, 具有良好的鲁棒性, 从而验证了 Fuzzy-PID 控制器的有效性和实用性。

关键词: 车辆工程; 汽车行驶平顺性; 模糊控制; Fuzzy-PID 控制器; 主动悬架

中图分类号: TP273+.4

文献标识码: A

文章编号: 1674-6236(2011)04-0102-03

Design and simulation of the Fuzzy-PID controller based on single wheel vehicle suspension

FU Jin-bao^{1,2}, ZHONG Chong-liang^{1,2}, DING Ya-lin¹, ZHENG Li-na^{1,2}, LIU Ming¹

(1. Changchun Institute of Optics, Fine Mechanics and Physics, Chinese Academy of Sciences, Changchun 130033, China;

2. Graduate University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100039, China)

Abstract: We make a study of the control on vehicle active air suspension. On the foundation of conventional PID controller for vehicle active air suspension, we make a on-line parameter-revise to conventional PID controller by using Fuzzy reasoning and design Fuzzy-PID controller based on single wheel active air suspension. Using matlab/simulink module, we make modeling and simulation of single wheel active air suspension. The simulation results show that, Comparing with single wheel passive air suspension and single wheel active air suspension with the conventional PID controller, a single wheel active air suspension with the Fuzzy-PID controller can improve vehicle ride comfort, handling stability, and have good robustness.

Key words: vehicle engineering; automobile ride; Fuzzy control; Fuzzy-PID controller; active suspension

随着高速公路的日益发展, 人们对汽车高速行驶时平顺性和安全性的要求越来越高。良好的车辆悬架系统可以有效地降低由于路面不规则激励造成过大车体加速度, 使车辆具有良好的行驶平顺性和安全性^[1]。自主动悬架的概念提出以来, 人们已经探求用各种控制理论算法设计主动悬架控制器, 研究其在提高设计主动悬架中的应用效果^[2]。

模糊逻辑基于人类模糊思维这一抽象机理, 它强调的是应用的简单和方便。自 20 世纪 60 年代, 模糊数学的建立为模糊推理系统尤其是模糊控制系统的应用奠定了理论基础。目前, 模糊推理系统已成功应用于自动控制、数据分析、决策分析、专家系统以及计算机视觉系统之中。

本文研究车辆主动空气悬架的控制问题, 在车辆主动空气悬的常规 PID 控制器的基础上, 运用模糊推理对常规 PID 控制器进行参数在线修订, 控制策略融合了 PID 控制和模糊控制的优点, 设计了基于单轮车辆主动空气悬架的 Fuzzy-PID 控制器, 并对 Fuzzy-PID 控制的单轮车辆主动空气悬架进行 Matlab 建模和仿真试验。仿真结果表明, 与车辆被动空

气悬架、常规 PID 控制的车辆主动空气悬架相比, Fuzzy-PID 控制的车辆主动空气悬架可大大降低车身加速度和悬架动行程, 提高车辆乘坐舒适性和操纵稳定性, 具有良好的鲁棒性, 从而验证了 Fuzzy-PID 控制器的有效性和实用性。

1 单轮车辆主动悬架和路面激励

设计车辆悬架系统时, 可把单轮车辆主动悬架模型(即单轮车辆模型)简化成一个弹簧-阻尼系统, 该系统的力学模型如图 1 所示。

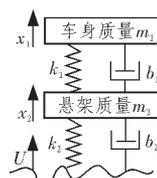


图 1 单轮悬架系统力学模型

Fig. 1 Mechanical model of single wheel suspension system

单轮车辆主动悬架的数学模型为:

收稿日期: 2010-11-21

稿件编号: 201011063

作者简介: 付金宝(1982—), 男, 黑龙江双城人, 博士, 助理研究员, 研究方向: 自动控制、模型降阶和航空成像技术。

$$m_1 \ddot{x}_1 = -b_1(\dot{x}_1 - \dot{x}_2) - k_1(x_1 - x_2) + U \quad (1)$$

$$m_2 \ddot{x}_2 = b_1(\dot{x}_1 - \dot{x}_2) + k_1(x_1 - x_2) + b_2(\dot{W} - \dot{x}_2) + k_2(W - x_2) - U \quad (2)$$

式中, m_1 为车身质量, m_2 为悬架质量, x_1 为车身垂直位移, x_2 为悬架垂直位移, U 为路面激励, k_1 和 k_2 为弹簧胡克系数, b_1 和 b_2 为阻尼系数。

路面不平度随机激励^[4-5]为:

$$U(t) = 2\pi n_0 \sqrt{G_q(n_0)v} \int_0^t w(t) dt \quad (3)$$

式(3)中: n_0 为参考空间频率, $G_q(n_0)$ 为参考空间频率下的路面功率谱密度, $w(t)$ 为白噪声。

2 Fuzzy-PID 控制器设计

2.1 设计思想

以车身垂直速度与其期望值的差值 e 及差值变化率 e_c 作为控制器的输入量, 根据实际需要的 PID 控制参数 K_p 、 K_i 、 K_d 相对于 e 和 e_c 的模糊关系来确定模糊规则^[6-7], 通过在原来的单纯的 PID 控制器上加入模糊推理器, 组成 Fuzzy-PID 控制器可以对参数进行在线修正, 使系统的动态特性明显提高, 并且显著的提高了系统的抗干扰能力和鲁棒性, 同时可以减少调节的时间。Fuzzy-PID 控制器的原理框图如图 2 所示。

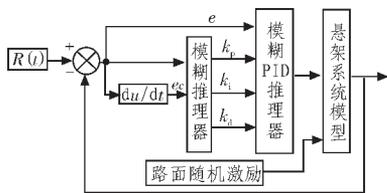


图 2 控制器原理图

Fig. 2 Principle diagram of controller

该系统实现 PID 参数在线自调整的计算公式为:

$$K_p = K_p + k_p \quad (4)$$

$$K_i = k_i + k_i \quad (5)$$

$$K_d = k_d + k_d \quad (6)$$

式中: K_p 、 K_i 、 K_d 为控制器的最终控制参数, K_p 、 K_i 、 K_d 为常规 PID 控制器参数, k_p 、 k_i 、 k_d 为模糊推理器的修正参数。

2.2 模糊推理器及模糊规则的建立

模糊推理需要 3 个步骤: 模糊化、模糊推理判断和解模糊化。模糊化过程将实际的输入量转化为模糊量, 经过基于模糊规则的模糊推理和判断, 最终将模糊量转化为真实量, 完成解模糊化的过程, 这也是模糊控制器的工作原理及核心^[8]。

本文模糊推理器采用双输入、三输出形式, 控制器类型选为 Mamdani 型, 解模糊规则选择为 Centroid 法, 输入输出隶属函数均选择为 trimf 形式。选取输入变量 e 和 e_c 及输出变量 k_p 的论域均为 $(-6, 6)$, 模糊子集定义为 {NB NM NS O PS PM PB}, 选取输出变量 k_i 和 k_d , k_i 和 k_d 只取正值, 论域为 $(-3, 3)$, 模糊子集为 {O PS PM PB}。通过闭环运行及模拟, 观察系统响应曲线, 分析得到控制器参数 k_p 、 k_i 、 k_d 对系统的实际影响, 结合 PID 控制器参数整定理论, 来确定最终的模糊规则, 具体^[9]如表 1 所示。

1) $|e|$ 较大时, 为尽快消除偏差, 提高相应速度, k_p 应取较大值, k_i 取 0; $|e|$ 较小时, 为继续消除偏差, 并防止超调过大, k_p 取值应减小, 同时 k_i 取小值。

2) $e \cdot e_c < 0$ 时, 被控量朝着接近给定值的方向变化, 若 $|e|$ 较大, 此时 k_p 取中等或小值, k_i 取中等值, k_d 取 0, 以加快控制的动态过程。

3) $|e_c|$ 的大小表示的变化速率, $|e_c|$ 随的增大, k_p 应减小。

表 1 模糊规则
Tab. 1 Fuzzy rules

NB			NM			NS			O			PS			PM			PB			
k_p	k_i	k_d																			
NB	PS	PM	O	PS	PM	O	PM	PS	O	NB	O	O	NB	O	O	NM	PS	O	NM	PS	O
NM	PS	PM	O	PS	PM	O	PM	PS	O	NB	O	O	NB	O	O	NM	PS	O	NM	PS	O
NS	PS	PB	PM	PS	PB	PM	PM	PS	PS	NB	PS	PS	NB	PS	PS	PB	PM	PS	PB	PM	PM
O	PS	PB	PS	PS	PB	PS	PM	PS	PS	PM	PS	PS	PM	PS	PS	PB	PS	PS	PB	PS	PS
PS	PM	PB	PM	PS	PB	PM	PM	PS	PS	PM	PS	PS	PM	PS	PS	PB	PM	PS	PB	PM	PM
PM	NM	PS	O	NM	PS	O	NB	O	O	PM	PS	O	PM	PS	O	PS	PM	O	PS	PM	O
PB	NM	PS	O	NM	PS	O	NB	O	O	PM	PS	O	PM	PS	O	PS	PM	O	PS	PM	O

2.3 Fuzzy-PID 控制器

模糊推理器结合常规 PID 控制器组成 Fuzzy-PID 控制器, 将单轮悬架子系统、路面随机激励子系统和 Fuzzy-PID 控制器进行组合, 得到整个仿真系统的 Simulink 模型如图 3 所示。

3 仿真试验

Simulink 搭建的模型中, 车身质量 $m_1=2\ 500$ kg, 悬架质量 $m_2=320$ kg, 悬架弹簧的弹性系数 $k_1=80\ 000$ N/m, 阻尼系数 $b_1=350$ Ns/m, 模拟轮胎的弹簧弹性系数 $k_2=500\ 000$ N/m, 阻尼系数 $k_2=15\ 020$ Ns/m, 假定汽车在 B 级路面上, 以 20 m/s 的

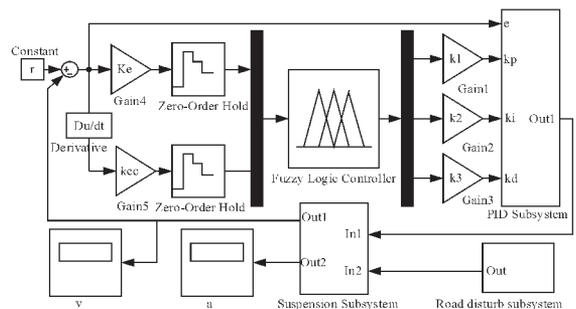


图 3 仿真系统的 Simulink 模型

Fig. 3 Simulink model of simulation system

速度行驶。分别对采用常规 PID 控制的主动悬架和采用 Fuzzy-PID 控制的主动悬架的进行仿真, 仿真结果如图 4 和图 5 所示。

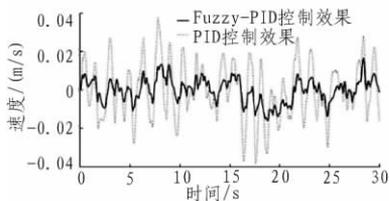


图 4 Fuzzy-PID 和常规 PID 控制的主动悬架的速度比较

Fig. 4 Speed comparison of active suspension control between Fuzzy-PID and conventional PID

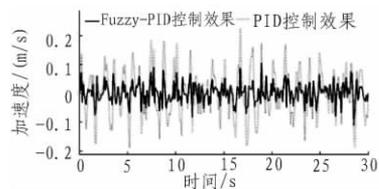


图 5 Fuzzy-PID 和常规 PID 控制的主动悬架的加速度比较

Fig. 5 Acceleration comparison of active suspension control between Fuzzy-PID and conventional PID

3.1 结果分析

仿真结果表明采用 PID 控制器的主动悬架可以改善汽车的行驶平顺性, 而当采用 Fuzzy-PID 控制器时, 控制效果可以进一步提高。采用 Fuzzy-PID 控制的主动悬架, 无论是车身的速度还是加速度均比被动悬架和采用常规 PID 控制的主动悬架有很大降低, 优势十分明显。

4 结束语

本文研究车辆主动空气悬架的控制问题, 在车辆主动空气悬架的常规 PID 控制器的基础上, 运用模糊推理对常规 PID 控制器进行参数在线修订, 设计了基于单轮车辆主动空气悬架的 Fuzzy-PID 控制器, 并对 Fuzzy-PID 控制的单轮车辆主动空气悬架进行 Matlab 建模和仿真试验。仿真结果表明, 与车辆被动空气悬架、常规 PID 控制的车辆主动空气悬架相比, Fuzzy-PID 控制的车辆主动空气悬架可大大降低车身加速度和悬架动行程, 提高车辆乘坐舒适性和操纵稳定性, 具有

良好的鲁棒性, 从而验证了 Fuzzy-PID 控制器的有效性和实用性。

参考文献:

- [1] 余志生. 汽车理论[M]. 北京:机械工业出版社, 1989.
- [2] 应艳杰, 方敏, 陈无畏, 等. 现代控制理论在汽车悬架控制中的应用[J]. 农机化研究, 2007(10): 224-227.
YING Yan-jie, FANG Min, CHEN Wu-we, et al. Application of modern control theory in vehicle suspension control [J]. Journal of Agricultural Mechanization Research, 2007 (10): 224-227.
- [3] Yoshimura T, Nakamanami K, Kurimoto M, et al. Active suspension of passenger cars using linear and fuzzy-logic controls[J]. Control Engineering Practice, 1999, 7(1): 41-47.
- [4] 姜丽丽. 基于傅里叶反变换的路面随机激励时域建模与仿真[D]. 长春: 吉林大学, 2007.
- [5] 李伯岳. 空气悬架大客车行驶平顺性的计算仿真 [D]. 长春: 吉林大学, 2006.
- [6] LIU Shao-jun, HUANG Zhong-hua, Chen Yi-zhang. Automobile active suspension system with fuzzy control [J]. Journal of Central South University of Technology, 2004, 11(2): 206-209.
- [7] 刘冰, 李文, 丁鸣艳. 基于 MATLAB 的模糊 PID 控制系统的设计及其仿真[J]. 仪器仪表用户, 2006, 13(2): 87-89.
LIU Bing, LI Wen, DING Ming-yan. The fuzzy PID controller and its simulation [J]. Instrumentation Customer, 2006, 13(2): 87-89.
- [8] Stíbrský A, Hyniová K, Honc ů J. Using Fuzzy logic to control active suspension of vehicles [J]. Intelligent Systems in Practice, 2000: 41-49.
- [9] 宋子巍, 陈思忠, 杨林. 模糊-PID 控制的 Matlab 仿真分析[J]. 科技资讯, 2006 (3): 3-4.
WEI Zi-wei, CHEN Si-si, YANG Lin. Matlab simulation analysis of Fuzzy-PID control [J]. Science & Technology Information, 2006 (3): 3-4.

线性恒流驱动器 AL8400

Diodes 公司推出 AL8400 线性 LED 驱动器控制器。它能通过一个外部晶体管精确调节各种高亮度 LED 电流。该控制器适用于照明、指示或标牌系统中不同类型的 LED 串, 可直接在 2.2 V 至 18 V 的电压下工作, 并能驱动 N 沟道 MOSFET 或 NPN 双极晶体管。AL8400 的电流检测电压非常低, 只有 200 mV。与传统解决方案相比, AL8400 不仅能够降低工作电压开销, 还能提高效率。其开放式集电极输出能驱动外部导通晶体管, 使其将 LED 电流从数十 mA 调整至 1 A 以上。采用外部导通晶体管, 有助于优化功耗和最大驱动效能。只需使用少量外部元件, AL8400 便能驱动一些较长、电压要求远高于 18 V 的 LED 串。该 LED 驱动器的低温度漂移以及 25°C 的 3% 参考电压优于目前市场上大部分线性解决方案, 还可减少物料清单成本。AL8400 线性控制器采用小占位面积、低高度 SOT353 封装, 功率密度远远超过其它多种常见的封装, 提供了一个低电磁干扰 (EMI) 的解决