

文章编号: 1005-0523(2004)01-0087-03

车辆悬架系统减振控制的研究

张会明

(华东交通大学 机电工程学院, 江西 南昌 330013)

摘要: 简要介绍了车辆悬架系统减振控制的现状、主要控制方式的原理、特点和适用范围。

关 键 词: 车辆; 悬架系统; 减振控制

中图分类号: U463.33

文献标识码: A

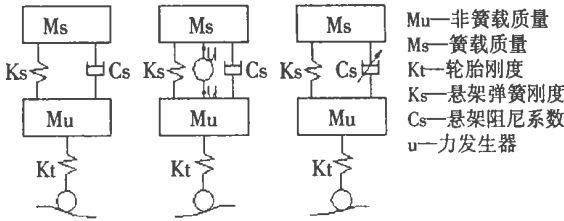
0 引 言

车辆悬架是车架(或车身)与车桥(或车轮)之间一切传力连接装置的总称。它是车辆的重要装置之一,其主要功用是传递作用在车轮和车架(或车身)之间的一切力和力矩,并且缓和由不平路面传给车架(或车身)的冲击载荷,衰减由此引起的承载系统的振动,以保证车辆的正常行驶。悬架系统减振效果对车辆行驶的平顺性、操纵的稳定性和通过性等多种使用性能有着很大的影响。随着车辆行驶速度的不断提高,对车辆行驶的安全性和乘坐的舒适性提出了更高的要求,为车辆悬架系统设计一套好的减振控制的方法是当前车辆研究中的热门课题之一,也是我省工业科技攻关的重大、重点项目之一。随着现代控制理论的发展,车辆悬架系统在不断改进减振控制的同时,也由传统的被动悬架发展到主动悬架、半主动悬架。

1 被动悬架、主动悬架和半主动悬架

车辆悬架主要是由弹性元件、减振装置和导向机构三部分构成。根据其减振控制方式的不同,可分为被动悬架、主动悬架和半主动悬架,如图 1 所示

(图中只表示了弹性元件和减振装置)。



(a) 被动悬架 (b) 主动悬架 (c) 半主动悬架

图 1 车辆悬架示意图

1.1 被动悬架

目前,在车辆上普遍采用的传统悬架,主要是由弹性元件、减震器和导向机构组成,如图 1(a)所示,尽管它有多种不同的结构,但是,其共同特性是,它的弹性特性和阻尼特性是一定的,当外界激励作用时,它只能“被动”地作出响应,因而将这种悬架称为被动悬架,理论研究和实践结果都已表明,被动悬架受到许多限制,即使采用优化方法设计也只能将其性能改善到一定程度。

1.2 主动悬架

车辆主动悬架是在被动悬架弹性元件和阻尼元件的基础上加一个主动装置,如图 1(b)所示,它能根据路面激励情况及车辆运行的实际状态,进行最优反馈控制,即主动提供能量并通过执行元件对

收稿日期: 2003-10-23

作者简介: 张会明(1944-),男,江西吉安人,华东交通大学机电学院教授。

振动进行主动的干预,使车辆行驶性能达到最优,与被动悬架相比,主动悬架的最大优点在于具有高度的自适应性.然而,主动悬架中的弹簧和减震器全部或者至少部分被执行元件所取代,系统中还必须要有各种必要的传感器、信号处理器和控制单元.控制单元根据检测到的各种信号判断车辆的当前状态,并根据事先设定的控制策略决定执行元件所输出力的大小,因而主动悬架结构复杂、质量大,而且要消耗相当一部分发动机功率.

1.3 半主动悬架

半主动悬架与主动悬架的区别在于用可控阻尼器取代了执行元件,如图 1(c)所示.可控阻尼减震器所起的作用与主动悬架中执行元件的作用相类似,都是通过系统内部的力闭环控制实现控制单元提出的力要求,所不同的是执行元件要作功,必然要消耗发动机的能量,而减震器则是通过调节阻尼力控制耗散掉的能量,几乎不消耗发动机的能量,显然,在半主动悬架中,必须并入弹性元件以支持悬挂质量,一般情况下该弹性元件的刚度是不变的.

与主动悬架相比,半主动悬架结构简单、不耗能,制造成本和运行成本都大大降低,研究表明,当悬架的工作行程不限制时,在良好路面上,半主动悬架几乎可以达到主动悬架的性能,当悬架行程受到限制或者在实车使用情况下,在良好路面上,半主动悬架可以达到很好的平顺性,但轮胎动载控制不如主动悬架,在坏路面上,其平顺性还能保持良好,轮胎动载控制也接近于主动悬架.

主动悬架和半主动悬架是今后悬架发展的方向,在解决了若干具体问题之后,它们必将在车辆中得广泛的应用,尤其是半主动悬架有着极其广泛的应用前景.

2 主动与半主动悬架减振控制的方法

2.1 最优控制

最优控制是一种理论上最成熟、应用最广泛的控制方式,它包括线性最优控制、 H^∞ 最优控制和最优预瞄控制三类.

2.1.1 线性最优控制

线性最优控制是将 LQ (Linear - Quadratic) 控制理论应用于车辆悬架系统中,其性能指标函数采用系统的状态响应与输入的加权二次型.它的性能指标函数有时域和频域二种形式,时域形式的不足之

处在于对系统各频带的振动状态和输入都一视同仁地予以控制,并未着重控制车辆在乘员敏感频率范围内的振动,为此, Gupta 提出了频域计权形式二次型性能指标函数,它可以对系统特定频带的振动状态和输入施以不同的权重,以体现设计者对此振动频带的关心程度, Cheok 等的研究表明,在扩大系统状态向量的基础上,频域计权形式的二次型性能指标函数可以转化为与之等效的时域形式二次型性能指标函数,这就为频域计权形式二次型性能指标函数的控制系统最优控制规律的求解提供了一种简单的方法.在最优控制理论中,线性二次型问题占有重要的地位,它不仅在理论上比较完善和成熟,而且在工程上实现起来较为方便,但是,它是建立在理想模型的基础上,在实际情况下,车辆有着复杂结构,路面激励是未知的且为时变的,而它不能适应系统参数的不确定性,因此在实车上往往难以应用.

2.1.2 H^∞ 最优控制

H^∞ 最优控制是在闭环系统各回路稳定的条件下,相对于噪声干扰的输出取极小值的一种最优控制方式,在车身质量、轮胎刚度、减振阻尼系统、车辆结构等存在不确定变化误差时,采用 H^∞ 最优控制可使车辆悬架系统的减振控制具有较强的鲁棒性,然而, H_2 最优控制只适用于闭环回路必须是稳定的条件下.

2.1.3 最优预瞄控制

最优预瞄控制不仅要考虑当时的道路条件和车辆状态,而且要考虑未来的路面干扰,并在一定的目标和条件下求得最优的控制效果.这种控制方式要求在车的前部安装一个预瞄传感器,以测试前方道路状况,并将这些信息送至控制器,控制器据此计算出控制指令,再将指令信号送至每一个车轮的悬架执行机构以实现对悬架的减振控制,研究表明,这种利用预瞄信号的控制方式,可以显著提高车辆悬架系统的性能,但是,它需要在车的前部安装一个预瞄传感器(例如日本三菱公司曾在车辆前部安装超声波预瞄传感器)提高了性能价格比,因而大大限制了它的广泛应用.

2.2 自适应控制

自适应控制具有参数辨识功能,能适应悬架载荷和元件特性的变化,自动调整控制参数,保持性能最优.应用于车辆悬架系统自适应控制方法主要有模型参考自适应控制和自校正控制二类,其中自校正控制是目前应用较广的一类.

模型参数自适应控制是由参考模型、被控制对象、自适应机构和反馈控制器等部分组成的,如图 2(a)所示,其工作原理为,当外界激励条件和车辆悬架系统状态发生变化时,利用系统输出 $Y(t)$ 与理想参考模型输出 Y_m 之间的偏差信号 $e(t)$ 驱动自适应机构产生调节作用,直接改变控制器的参数,使车辆悬架系统振动输出能跟踪理想参考模型的输出 Y_m .

自校正控制是一种将受控对象参数在线估计与控制器参数整定相结合,形成一个能自动校正控制器参数的离散实时计算机控制系统,其工作原理如图 2(b)所示,将这种控制方式应用于车辆悬架系统时,其控制器能适应悬架载荷和悬架元件特性的变化,主动调整其参数来降低车辆的振动.

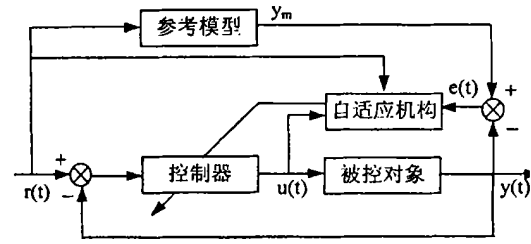


图 2(a) 模型参考自适应控制系统

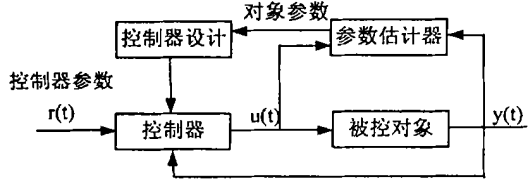


图 2(b) 自校正控制系统的结构图

自适应控制比常规的反馈控制复杂得多、成本也高,因而限制了它在实际中的应用.

2.3 智能控制

20 世纪 90 年代以来,车辆悬架系统减振智能控制已成为当今各国瞩目的研究方向之一,它主要包括模糊控制、自适应模糊控制和神经网络模糊控制等三类.

2.3.1 模糊控制

这是一种全新的控制技术,与传统控制相比,其系统的鲁棒性好,尤其适用于非线性、时变和滞后系统.由于车辆的部分参数经常变化以及在不同道路条件下行驶等,模糊控制尤为适用.模糊控制系统是以模糊控制理论为基础、采用计算机控制技术构成的一种具有反馈通道闭环结构的数字控制系统,它是由模糊控制器、输入/输出接口、执行机构、被控对象和测量装置等五部分组成,如图 3 所示.

模糊控制系统的核心是模糊控制器,它的结构、模糊规则、模糊推理算法以及模糊决策决定了系统性能的优劣.

模糊控制技术应用用于车辆悬架系统是从日本开始的,日本名古屋大学桥山智训利用遗传算法成功地设计了车辆半主动悬架系统的模糊控制器.理论和实践的研究都表明,这种模糊方式能较显著地改善车辆悬架系统的性能,当然,还有许多问题有待于人们去研究和解决.

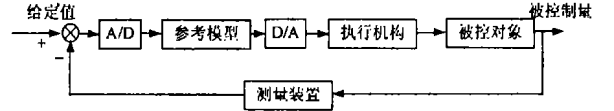


图 3 模糊控制系统组成框图

2.3.2 自适应模糊控制

由于被控对象的非线性、时变性以及路面随机干扰等因素的影响,若模糊控制规则在确定之后不能够自动地调整和完善,则会不同程度的影响控制效果,为了弥补其不足,发展了自适应模糊控制技术,它的模糊控制规则在控制过程中能自动地调整和完善,从而使系统的控制性能不断完善以达到预期的效果,为此,要求自适应模糊控制器在控制的过程中,还要了解被控过程,因而,自适应模糊控制技术实际上是将模糊系统的辨识和模糊控制结合起来的一种控制方式,自适应模糊控制器是在一般模糊控制器的基础上增加了 3 个功能环节而构成的,这 3 个功能环节为:性能测量环节、控制量校正环节和控制规则修正环节.通过性能测量环节得出输出特性的校正量,利用校正量通过控制量校正环节求出控制量,根据控制量再进一步对模糊控制规则进行修正.由于控制器要同时完成系统辨识和系统控制的任务,所以一开始一定要有一个模型,然后通过自适应过程,不断补充新的信息,据此修改模糊控制规则,达到改善系统控制性能的目的,仿真结果表明,采用自适应模糊控制技术,可以有效地降低车体加速度、提高乘坐的舒适性.

2.3.3 神经网络模糊控制

神经网络是近二十年来迅速发展起来的一门新兴交叉学科,它是由大量处理单元(神经元)为节点,按某种拓扑结构所构的高度并行的非线性动力学系统,其特点是具有自学习能力和大规模并行处理的能力,因而在车辆悬架系统减振控制中有广泛的应用前景.

模糊控制和神经网络控制都是智能控制重要

方法,它们各有所长,存在着互补性、神经网络在认知处理上比较擅长,而模糊系统能够充分利用学科领域的知识,以较少的规则数来表达知识,在技能处理上比较擅长,特别在控制问题上,模糊控制具有突出的优点,因而,神经网络与模糊控制的结合已引起人们的很大注意.例如,有人用神经网络输入层接受车辆随机振动时悬架系统簧载质量在垂直方向的偏差和偏差变化率时,经过神经网络的自学习过程,在输出层就能生成隶属于垂直偏差和偏差变化率的模糊子集,其误差小于给定值[8],当然,将神经网络与模糊控制相融合,还有大量的工作要做.

3 结束语

车辆悬架系统减振控制不仅关系到车辆行驶的舒适性,而且关系到车辆行驶的安全性,而传统的被动悬架一经设计,系统的参数便不能改变,对路面适应性差,而主动悬架和半主动悬架存在着反馈控制,能根据路面状况和车辆运行的实际状态适时地改变系统的参数,使车辆的行驶性能最优.

对车辆主动和半主动悬架系统减振控制的研究,

随着现代科学技术的发展,已由最优控制阶段发展到自适应阶段.最近几年又进入了智能控制阶段,在这些控制方式中,还有许许多多的问题需要我们去解决,同时,将这些先进的控制手段应用到实际车辆上也是急待解决的问题之一.

参考文献:

- [1] 高延龄. 汽车主动悬架最优控制[J]. 汽车工程, 1999, 21(1).
- [2] 何将三, 李 艳. 汽车悬架的最优预见控制[J]. 汽车工程, 1999, 21(6).
- [3] 喻 凡, 郭孔辉. 结合卡尔曼滤波器的车辆主动悬架预瞄控制研究[J]. 汽车工程, 1999, 21(2).
- [4] 曹 民. 主动悬架的参数估计自校正控制[J]. 汽车工程, 2001, 23(3).
- [5] 缪 斌, 屈文忠, 邱阳, 等. 车悬架系统的自适应模糊控制方法[J]. 汽车工程, 2001, 23(1).
- [6] 陈士安, 刘红光, 陆森林, 等. 汽车主动悬架四自由度模糊控制系统[J]. 汽车工程, 2001, 23(6).
- [7] 宋晓琳, 唐应时, 曹立波, 等. 一种用于 1/2 汽车主动悬架的可调模糊控制器[J]. 汽车工程, 2001, 23(4).
- [8] 丁 科, 候朝桢, 罗 莉. 车辆主动悬架的神经网络模糊控制[J]. 汽车工程, 2001, 23(5).

A Study on Vibration Damp Control for Vehicle Suspension System

ZHANG Hui-Ming

(School of Mechanical Eng., East China Jiaotong Univ. Nanchang 330013, China)

Abstract: This paper introduces current situation of vibration damp control for vehicle suspension system, principle and feature and applied range.

Keys word: vehicle; suspension system; vibration damp control.