

基于 ARM 的半主动悬架递阶控制器设计

鲍可进, 李同亮, 刘成, 吴健勇

(江苏大学计算机科学与通信工程学院, 镇江 212013)

摘要: 针对半主动悬架大系统模型的特点, 开发了半主动悬架递阶控制器, 运用大系统递阶控制策略建立了系统的控制结构, 以 ARM 处理器为核心构筑起悬架控制系统的硬件平台, 设计了包括模糊神经网络子系统和协调优化子程序的系统软件, 调整半主动悬架系统的阻尼系数, 并进行了实车道路试验。结果表明, 该控制器可以满足半主动悬架控制系统的要求。

关键词: 递阶控制; 半主动悬架; ARM; 控制器

Design of Hierarchical Controller for Semi-active Suspension Based on ARM

BAO Ke-jin, LI Tong-liang, LIU Cheng, WU Jian-yong

(School of Computer Science and Communication Engineering, Jiangsu University, Zhenjiang 212013)

【Abstract】 According to the characteristics of the large-scale model of semi-active suspension, an hierarchical controller is developed. By using the large-scale system hierarchical technique, the control structure is established. The platform of the control system for the suspension is built on ARM. Including the sub-system based on the fuzzy neural network and the sub-program of harmonization, the software is designed. The systematic damping coefficient of semi-active suspension is regulated. The test has been done on road. Result of the test indicates that the controller can meet the request of control system of semi-active suspension voluntarily.

【Key words】 hierarchical control; semi-active suspension; ARM; controller

车辆悬架起着弹性连接车身和车轴的作用, 对车辆的行驶平顺性、操纵稳定性等性能有很大影响。基于阻尼可调控的半主动悬架系统, 因造价低廉、结构简单、减振效果好等优点, 具有广阔的应用前景^[1]。

半主动悬架整车大系统模型有助于对车身加速度、悬架挠度、汽车的俯仰和侧倾等进行研究, 所反映的信息较为全面。本文利用大系统递阶控制策略, 将整车悬架系统分为左前、右前、左后、右后 4 个子系统, 在高性能的 ARM 处理器平台上开发了半主动悬架控制器, 根据所采集的车身加速度信号, 通过模糊神经网络控制算法对悬架阻尼进行调整, 并对各子系统进行协调优化, 降低车身的振动, 改善车辆的俯仰、侧倾性能。

1 半主动悬架系统的递阶控制策略

对于车辆悬架这样的复杂大系统, 采用多级递阶结构的分解协调方法, 便于实现系统的管理与控制。而且子系统的划分降低了系统的控制矩阵, 有效避免了因计算时间长而引起的控制延迟, 减少了计算机的内存负担。

根据悬架的大系统模型, 这里采用递阶控制中最常见的 2 级结构。系统的控制原理如图 1 所示。

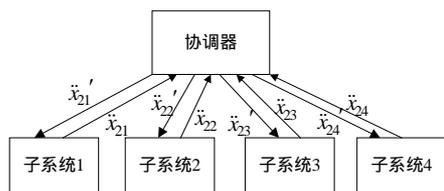


图 1 系统控制原理

各下级子系统将采集到的车身加速度 \ddot{x}_{2i} “汇报”给上级协调器, 协调器根据子系统之间的关联, 即车身的俯仰和侧倾, 发出协调变量 \ddot{x}_{2i}' , 由各子系统运算得到控制结果。这样在上级和下级之间不断交换信息进行协调优化, 最后使整个系统达到最优。

2 控制器的硬件

控制器的硬件结构如图 2 所示。

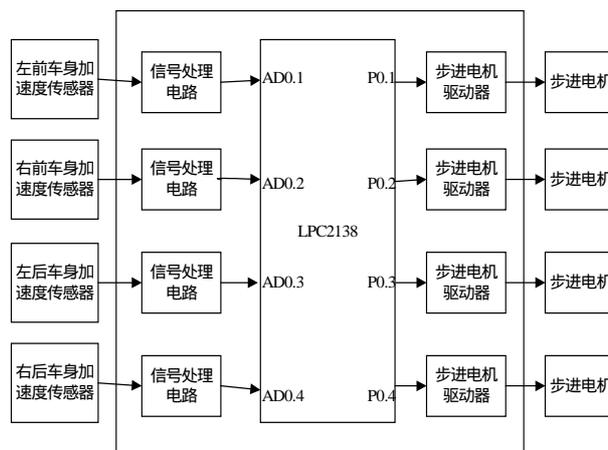


图 2 控制器的硬件结构

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(50475121, 50275064)

作者简介: 鲍可进(1958 -), 男, 副教授, 主研方向: 嵌入式控制; 李同亮、刘成、吴健勇, 硕士研究生

收稿日期: 2006-11-25 **E-mail:** bkj@ujs.edu.cn

半主动悬架控制器的硬件包括信号采样与处理、微处理器、输出等几部分。

传感器用于 4 个车身加速度信号的采集，然而其所在的工作环境比较恶劣，经常有较大的干扰。另外，传感器的输出阻抗大，所采集到的信号比较微弱，必须经过一系列处理后才能输入计算机使用。这里的信号处理电路包括一个 3 运放结构的测量放大器，它具有高输入阻抗、高共模抑制比等优点，特别适用于传感器信号的放大。

以 ARM 为核心的微控制器具有高速度、大存储量、低功耗等优点，且有丰富的外围资源，适用于现代大计算量的控制。这里选用的 LPC2138 是基于 ARM7TDMI-STM CPU 的微控制器，支持实时仿真和跟踪，集成有多路高速的 A/D 转换器，适合本课题的研究^[2]。

由 LPC2138 的 GPIO 口输出方向与脉冲信号，通过驱动器控制减振器中的步进电机的旋转方向与角度，控制可调节流口的大小而改变减振器的阻尼，达到降低车身振动的目的。

3 系统软件设计

3.1 软件整体结构

图 3 所示为系统的软件流程。复位后进入系统初始化，包括中断向量设置、堆栈设置、时钟设置、GPIO 初始化、A/D 转换初始化、定时器初始化等一系列准备工作。A/D 转换选择定时器 MAT 触发方式，需要完成包括左前、右前、左后、右后 4 路车身加速度信号的转换。转换得到的是电压值，需要将其转化为加速度，并求出加速度变化率。

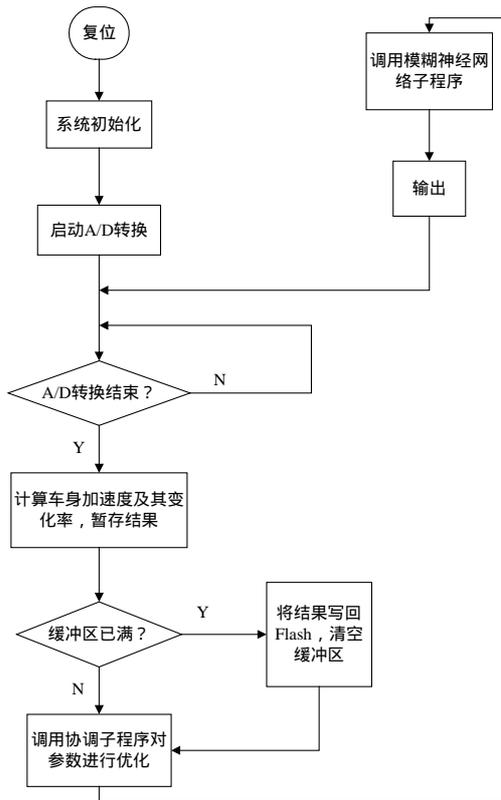


图 3 系统软件流程

为了便于结果分析，程序在内存中开辟一缓冲区以存放采集到的车身加速度信号，当缓冲区写满时将其中的内容复制到 Flash 中。数据以结构体形式存放。

```
struct acclr{
float x1,x2,x3,x4;
```

};

```
struct acclr buf[N];
```

采集到加速度信号后调用协调子程序进行优化，然后返回给模糊神经网络子程序，计算出控制结果后输出到 GPIO 口控制步进电机的运行。

3.2 协调算法

协调程序的任务是根据车辆侧倾、俯仰的性能要求对 4 个子系统的输入参数(即 4 个车身加速度)进行协调优化，以避免出现子系统的局部性能改善而整车性能恶化的情况。要改善车辆侧倾和俯仰性能，只要使侧倾角加速度 $\ddot{\theta}$ 和俯仰角加速度 $\ddot{\phi}$ 较小即可。 $\ddot{\theta}$ 、 $\ddot{\phi}$ 由以下方程给出：

$$\ddot{\theta} = (m_{21}\ddot{x}_{21} + m_{23}\ddot{x}_{23} - m_{22}\ddot{x}_{22} - m_{24}\ddot{x}_{24})/I_{z2} \quad (1)$$

$$\ddot{\phi} = (m_{21}\ddot{x}_{21} + m_{22}\ddot{x}_{22} - m_{23}\ddot{x}_{23} - m_{24}\ddot{x}_{24})/I_{z3} \quad (2)$$

其中， m_{2i} 为第 i 个子系统悬架簧载质量， I_{z2} 、 I_{z3} 分别为车身的侧倾、俯仰转动惯量。

取向量 $X = [\ddot{x}_{21} \quad \ddot{x}_{22} \quad \ddot{x}_{23} \quad \ddot{x}_{24}]^T$ ，则有 $\ddot{\theta} = EX$ ， $\ddot{\phi} = FX$ ， E 、 F 可依式(1)、式(2)得出。

这是一个多目标优化的问题，用线性加权法对该问题进行简化。根据目标函数 $\ddot{\theta}$ 、 $\ddot{\phi}$ 的重要程度，对应选择一组权重系数 W_1 、 W_2 并有 $W_1 + W_2 = 1$ ，作为目标函数：

$$F(X) = W_1\ddot{\theta} + W_2\ddot{\phi} \quad (3)$$

从而将多目标优化问题转化为单目标优化问题。

单目标优化的方法很多，这里选用程序简单、存储量少、收敛速度快、在工程中有广泛应用的共轭梯度法^[3]。协调程序得到输入 X^0 ，用共轭梯度法进行迭代搜索，直至满足 $\|F(X^{(k+1)}) - F(X^k)\|^2 \leq \varepsilon$ (其中 $\varepsilon > 0$ 为给定的精度要求)，即认为 $X^{(k+1)}$ 为所求的极小值点。此时将 $X^{(k+1)}$ 各分量返回，协调工作完成。

3.3 模糊神经网络控制算法

子系统的控制可看作是对 1/4 模型悬架的控制，而在这方面智能控制方法的应用研究有很大的发展，本文采用模糊神经网络算法作为各个子系统控制的核心^[4]。

根据问题的特点，算法采用如图 4 所示的网络结构。

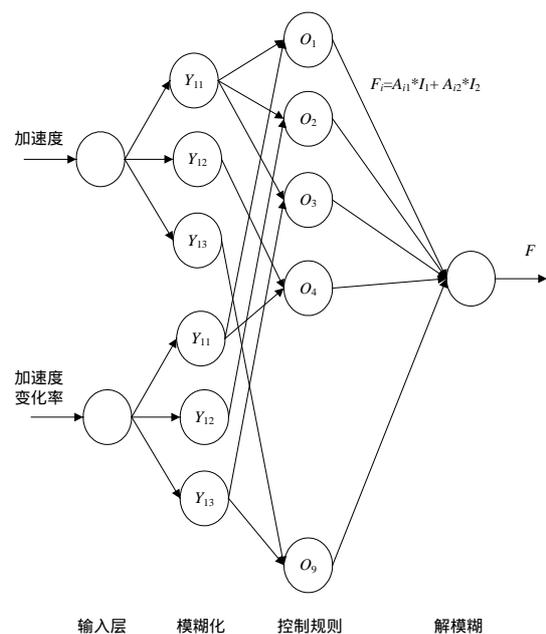


图 4 模糊神经网络结构

输入层为 2 个节点, 输入变量分别为协调程序优化后的车身加速度及加速度变化率。

第 1 隐含层为模糊化层, 2 个输入变量经量化因子量化后根据各自的隶属函数进行模糊化处理。为了简化运算, 每个输入变量的模糊子集数取 3 个。为了合适地描述人们进行控制活动的模糊概念及便于求导, 模糊变量的第一个和最后一个模糊子集的隶属函数即 Y_{i1} 和 Y_{i3} 采用 sigmf 型, 而其他子集 Y_{i2} 采用正态分布型。

第 2 隐含层则通过求乘积计算出每一控制规则的隶属度, 即 $O_1=Y_{11}*Y_{21}$, $O_2=Y_{11}*Y_{22}$ 等。而连接第 2 隐含层与输出层的权值则代表每一规则的输出函数。这里采用 T-S 模糊算法, 输出函数为线性函数, 即 $F_i=A_{i1}*I_1+ A_{i2}*I_2$, I_1 和 I_2 为两个输入变量的值, A 为 T-S 模糊控制规则的系数矩阵。

输出层利用重心法解模糊输出, 最终输出为

$$F = \sum F_i / \sum O_i$$

神经网络的训练和学习则采用弹性 BP 算法^[5], 该算法的实现是在 PC 上事先离线进行的。

4 试验结果及分析

为了验证半主动悬架控制器的有效性、可靠性以及半主动悬架系统对整车性能的协调能力, 将开发的控制器装入某轻型客车进行实车道路试验。实车道路试验在无雨无雾天气进行, 试验样车以 40 km/h 的车速匀速驶过柏油路面。图 5~图 7 所示为试验结果。与被动悬架相比, 半主动悬架车身垂直加速度、侧倾角加速度和俯仰角加速度的频谱峰值在人体敏感的 3Hz 附近均有明显的下降。

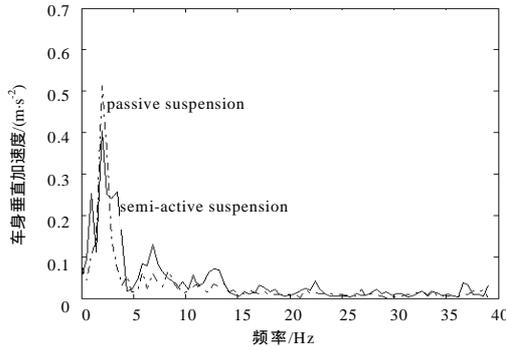


图 5 车身垂直加速度

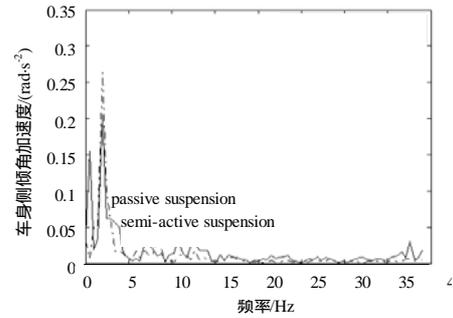


图 6 车身侧倾角加速度

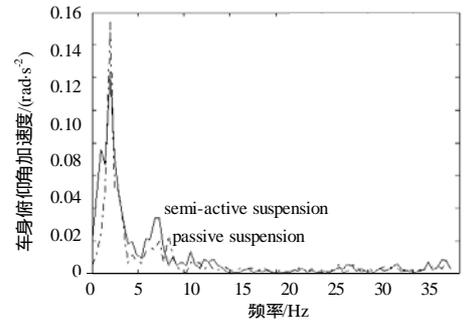


图 7 车身俯仰角加速度

5 结束语

在本控制器的作用下, 半主动悬架较好地改善了车辆的动态性能, 协调了安全性和平顺性之间的矛盾, 调整了车辆行驶姿态。试验结果表明, 递阶控制策略具有较强的稳定性和可靠性, 能满足对半主动悬架整车系统控制的要求, 而且算法简单, 可以降低控制器的开发成本。

参考文献

- 1 陈 杨. 车辆半主动悬架系统控制与试验研究[D]. 镇江: 江苏大学, 2004.
- 2 周立功, 张 华. 深入浅出 ARM7-LPC213x/214x(上册)[M]. 北京: 北京航空航天大学出版社, 2005.
- 3 陈禹六. 大系统理论及其应用[M]. 北京: 清华大学出版社, 1988.
- 4 李以农, 郑 玲. 基于磁流变减振器的汽车半主动悬架非线性控制方法[J]. 机械工程学报, 2005, 41(5): 31-37.
- 5 丛 爽. 神经网络、模糊系统及其在运动控制中的应用[M]. 合肥: 中国科学技术大学出版社, 2001.

(上接第 228 页)

4 结论

本文通过阈值控制方式, 分类像素点区域, 采用双通道插值算法, 有效地减少了所需的存储空间和运算复杂性及 CPU 处理时间。本文算法达到得到较好分辨率图像、快速插值图像的目的, 且无须增加额外的硬件设备。今后设想进一步改进算法, 以期在不降低图像质量的前提下, 进一步提高算法的运算速度, 从而能够更广泛地应用于数字电视、网络视频等领域。

参考文献

- 1 Pratt W K. Digital Image Processing[M]. Toronto: Wiley, 1978.
- 2 Keys R G. Cubic Convolution Interpolation for Digital Image Processing[J]. IEEE Transactions on Acoustics, Speech, Signal Processing, 1981, 29(6): 1153-1160.

- 3 Battiato S, Gallo G, Stanco F. A Locally-adaptive Zooming Algorithm for Digital Images[J]. Image Vision and Computing Journal, 2002, 20(11): 805-812.
- 4 Li X, Orchard M T. New Edge-directed Interpolation[J]. IEEE Transactions on Image Processing, 2001, 10(10): 1521-1527.
- 5 Li X, Orchard M. New Edge Directed Interpolation[C]//Proc. of IEEE Int'l. Conf. on Image Processing, 2000.
- 6 陈小蕾, 张 俊. 一种改进的边缘方向插值算法[J]. 中国图象图形学报, 2004, 9(6): 684-687.
- 7 Chen Meijuan, Huang Chinhui, Lee Wenli. A Fast Edge-oriented Algorithm for Image Interpolation[J]. Image and Vision Computing Journal, 2005, 23(9): 791-798.