

结构振动的自适应滤波控制中的误差通道在线辨识与验证^①

黄全振^② 高守玮 高志远 邵 勇 朱晓锦^③

(上海大学机电工程与自动化学院 上海 200072)

摘 要 针对基于自适应滤波的振动控制算法的误差通道辨识问题,提出一种在实施该控制算法中进行误差通道模型实时在线辨识的方法。其基本思想是在振动主动控制器输出端引入一个白噪声信号,采用有限脉冲响应滤波器作为误差通道模型进行实时在线辨识,利用性能判别器实时控制辨识环节的停止与否,同时振动主动控制采用滤波-X 算法。给出了具有在线辨识功能的控制器结构与算法过程,并结合实验模型结构和测控平台进行了实验分析与验证。基于 MATLAB 进行相关算法仿真,分析引入白噪声信号对辨识模型误差的影响,提出了一种辨识模型误差判定准则,并分析对振动控制系统性能的影响;基于实验平台进行了压电机敏柔性结构振动主动控制的验证。实验结果表明,控制通道模型实时在线辨识策略是成功的,由此验证了所设计的控制器及其控制算法的可行性和有效性。

关键词 振动主动控制,误差通道,实时在线辨识,自适应滤波控制,滤波-X 算法

0 引 言

在智能结构的振动主动控制研究中,控制策略与方法一直是核心研究内容之一。目前在该研究领域得到广泛关注的基于自适应滤波技术的振动控制方法由于具有自适应性强、容易实现和无需获知受控结构的精确数学模型等优点,因而成为研究的热点和主要方向之一^[1-3]。但是,应用自适应滤波技术的控制算法在实施过程中,普遍存在一个获知误差通道(也称控制通道)模型参数的问题,若误差通道模型建立不当或辨识误差过大,将严重影响振动的主动控制效果甚至引起控制系统发散^[4]。

目前对误差通道模型参数的识别主要采用在线辨识和离线辨识两种策略。离线辨识策略具有实现简单和辨识结果可靠的优点,但其主要缺点是实用性和适用性不强。考虑到受控结构的物理特性变化和系统特性渐变,具有误差通道模型在线辨识功能的主动控制器及其控制算法,无疑是该领域研究的主要热点和难点之一。文献[5]采用 3 个自适应滤

波器,在主通道滤波器输出端引入一个延迟单元,构成一种并行在线辨识控制算法。文献[6]提出了一种辨识环节与控制环节相对独立的在线辨识控制算法,它避免了两个环节之间的相互影响问题;文献[7-9]着重针对噪声控制领域,提出了一种在控制器输出端叠加噪声,从而实现受控模型通道在线辨识的控制策略。但上述方法仅是做了一些理论上的仿真分析。本文以压电机敏柔性结构为实验模型结构,以结构振动响应的多通道自适应控制为目的,提出了一种面向误差通道模型参数的实时在线辨识方法,并据此进行了振动主动控制器的设计与控制算法的导出。基本思路是:控制器部分采用有限脉冲响应(finite impulse response, FIR)滤波器结构及其滤波 X 最小均方差(filtered-X least mean square, FX-LMS)控制算法,辨识部分采用以 FIR 滤波器结构描述受控通道模型,并在控制输出端引入白噪声信号作为辨识输入信号,通过不断地把新辨识出来的模型参数带入控制算法过程中,实现具有误差通道实时辨识功能的振动主动控制算法的实施。仿真分析和实验验证了具有此功能的控制器结构及其自适应

① 国家自然科学基金(90716027,51175319)和上海市人才发展基金(2009020)资助项目。

② 男,1979 年生,博士生;研究方向:控制方法与测控技术,智能结构主动监控等;E-mail: huang2004_susu@shu.edu.cn

③ 通讯作者,E-mail: mgzhuxj@shu.edu.cn

(收稿日期:2010-08-10)

算法的有效性和可行性。

1 误差通道辨识

在面向结构振动主动控制的自适应滤波控制系统中,误差通道在物理上包括 D/A、功率放大器、主动执行器、被控系统、误差传感器和 A/D 等环节,误差通道模型的精确性直接影响控制系统的性能优劣。当前误差通道较多采用离线辨识策略,一般基于自适应辨识方法,即将误差通道等效为一个 FIR 滤波器结构,利用最小均方 (least mean square, LSM) 算法对误差通道建模,具体自适应辨识过程如图 1 所示。

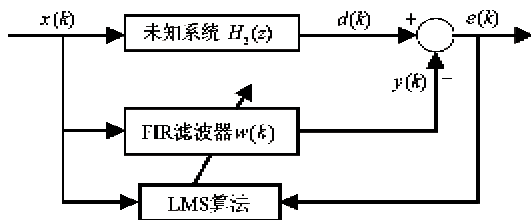


图 1 自适应辨识方法示意图

如图 1 所示, $x(k)$ 信号同时输入未知系统 $H_2(z)$ 和 FIR 滤波器,未知系统的输出 $d(k)$ 与滤波器的输出 $y(k)$ 进行抵消,并将误差信号 $e(k)$ 引入 LMS 算法进行动态权值调整,当误差信号 $e(k)$ 达到最小时, $w(k)$ 即是 $H_2(z)$ 的最佳估计,从而获得误差通道模型参数。

2 误差通道在线辨识及其控制器设计

通过将自适应滤波前馈控制基本结构与自适应辨识方法的有机结合,构成了一种具有误差通道在线辨识功能的结构的基于振动自适应滤波的振动控制器。控制器采用 FXLMS 算法结构,在线辨识部分采用以 FIR 滤波器结构描述控制通道模型,并在控制输出端引入随机噪声信号作为辨识输入信号,同时在控制器结构中增加一个控制通道自适应建模环节。当辨识环节控制器的输出与传感器误差信号叠加趋近一个恒定值时,可认为在线辨识过程结束并获得了控制通道模型参数,如此可根据结构振动控制过程的需要,不断实时在线辨识误差通道模型,并不断以新辨识出来的模型参数带入算法过程。依据上述思想所设计的控制器结构如图 2 所示。

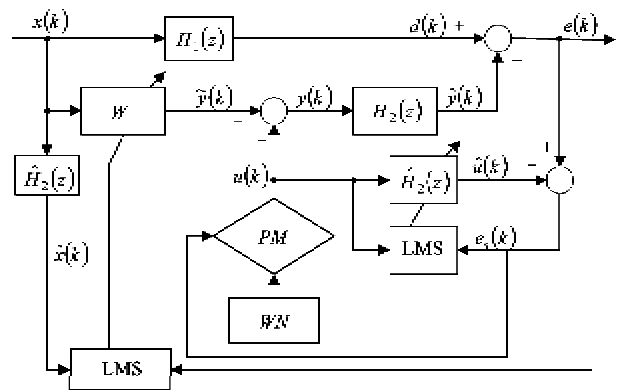


图 2 误差通道在线辨识的结构振动控制器结构图

图 2 中, $H_1(z)$ 为主通道传递函数, $H_2(z)$ 为误差通道传递函数, $\hat{H}_2(z)$ 为误差通道辨识模型, PM 为性能判别器, WN 为白噪声信号, $x(k)$ 为控制系统的参考信号, $\hat{x}(k)$ 为 $x(k)$ 经 $\hat{H}_2(z)$ 滤波的信号, $d(k)$ 为结构外激励振动响应, $\hat{y}(k)$ 为控制器输出, $\hat{y}(k)$ 为作动器控制对传感测点的响应, $e(k)$ 为控制过程的残差信号, $u(k)$ 为白噪声信号 (即辨识环节输入信号), $\hat{u}(k)$ 为辨识环节输出, $e_s(k)$ 为辨识过程的残差信号。在线辨识控制算法大致可分为两部分,即控制施加环节和误差通道在线辨识环节。根据图 2,对控制施加环节描述如下:

$$\hat{y}(k) = \mathbf{W}^T(k) \mathbf{x}_N(k) \quad (1)$$

式中, $\mathbf{W}^T(k)$ 为控制部分滤波器的权系数,滤波器的长度为 N , $\mathbf{W}(k) = [W_0(k), W_1(k), \dots, W_{N-1}(k)]^T$, $\mathbf{x}_N(k) = [x(k), x(k-1), \dots, x(k-N+1)]^T$ 。

$$e(k) = d(k) - \hat{y}(k) \quad (2)$$

$$\hat{y}(k) = \mathbf{H}_2(z) \mathbf{y}_N(k) \quad (3)$$

式(3)中, $\mathbf{y}_N(k) = [y(k), y(k-1), \dots, y(k-N+1)]^T$ 。

$$\mathbf{y}_N(k) = \tilde{\mathbf{y}}_N(k) + \mathbf{u}_N(k) \quad (4)$$

由式(2) - 式(4)可知,误差传感器 $e(k)$ 表达式为

$$e(k) = d(k) - \mathbf{H}_2(z) (\tilde{\mathbf{y}}_N(k) + \mathbf{u}_N(k)) \quad (5)$$

取性能目标函数

$$\begin{aligned} J &= E\{e^2(k)\} \\ &= E\{[d(k) - \mathbf{H}_2(z) (\tilde{\mathbf{y}}_N(k) + \mathbf{u}_N(k))]^2\} \end{aligned} \quad (6)$$

另有

$$J_{\min} = \min E\{e^2(k)\} \quad (7)$$

根据式(1) - 式(7),依据最陡下降法和 LMS

准则,控制环节滤波器权值更新公式为

$$\mathbf{W}(k+1) = \mathbf{W}(k) + \mu(k)e(k)\hat{\mathbf{x}}(k) \quad (8)$$

式中 $\mu(k)$ 为步长因子, $0 < \mu(k) < 1$ 。

$$\hat{\mathbf{x}}(k) = \hat{\mathbf{H}}_2^T(z) * \mathbf{x}_N(k) \quad (9)$$

式中符号“*”为卷积运算符号。

同样,由图2,对误差通道辨识环节描述如下:

$e(k)$ 信号中包含有 $u(k)$ 经过控制通道 $\mathbf{H}_2(z)$ 后所施加的通道辨识信号,辨识模型滤波器输出信号 $\hat{u}(k)$ 与结构振动响应残差信号 $e(k)$ 的比较,再次作为辨识环节的残差信号 $e_s(k)$,根据 Widrow-Hoff LMS 算法,对误差通道模型进行逐次逼近,当 $e_s(k)$ 大致趋近于一个恒定值(即 PM 性能判别器的判定条件,表明此时控制效果已达到理想和平稳)时,辨识模型滤波器便是误差通道模型的一个“拷贝”。

设误差通道辨识模型滤波器的结构为 P 阶 FIR 滤波器,则有

$$\hat{u}(k) = \hat{\mathbf{H}}_2^T(z) * \mathbf{u}(k) \quad (10)$$

$$e_s(k) = e(k) - \hat{u}(k) \quad (11)$$

若 $\hat{\mathbf{H}}_2(z)$ 的权值为 $\hat{\mathbf{W}}(k)$, 其权值更新为

$$\hat{\mathbf{W}}(k+1) = \hat{\mathbf{W}}(k) + \hat{\mu}(k)e_s(k)\mathbf{u}(k) \quad (12)$$

式中 $\hat{\mu}(k)$ 为步长因子, $0 < \hat{\mu}(k) < 1$ 。

鉴于辨识环节中引入的随机噪声信号方差大小对辨识环节的过程和效果影响很大,甚至可能影响到整个控制器的控制性能,为分析噪声信号大小的影响,定义了一种辨识误差分析准则,即

$$F(\text{dB}) = 10\lg \left\{ \frac{\sum_{i=0}^{P-1} \xi^i [\hat{\mathbf{H}}_i(z) - \hat{\mathbf{H}}_i(z)]^2}{\sum_{i=0}^{P-1} \xi^i [\mathbf{H}_i(z)]^2} \right\} \quad (13)$$

式(13)中的参数定义如下: $\mathbf{H}_i(z)$ 为标准误差通道模型第 i 阶次的数值, $\hat{\mathbf{H}}_i(z)$ 为在线辨识模型参数第 i 阶次的数值, ξ 为权值比重因子。分析准则的基本思想是看模型辨识参数的误差平方和在实际模型参数平方和中所占的比重,因此评判指标 F 越小,表示模型参数辨识的精度越高;对于每路需待辨识的误差通道参数来讲,滤波器的加权矢量即是以冲击响应形式表示的误差通道模型,则此矢量所含数据排序越后则对模型辨识误差影响越小(即阶次越高影响越小),所以对辨识模型准确性起关键作用的是低阶次数值(即加权矢量中靠前的数值),因此在准则公式中加入一个权值比重因子 ξ , 以体现

上述判断准则和分析思想。

3 模型结构与实验平台

3.1 实验模型结构

柔性模型结构基板材料选择环氧树脂板,其主要参数为:弹性模量 $E_p = 22 \text{ GPa}$,泊松比 $\nu = 0.3$,密度 $\rho = 2100 \text{ kg/m}^3$,尺寸为 $950 \text{ mm} \times 120 \text{ mm} \times 2 \text{ mm}$;通过分布粘贴 PZT 传感器和驱动器构成机敏压电柔性结构,并以悬臂梁方式固定。

为使施加控制时能够获得良好控制效果,实验结构模型构建中需要针对压电作动器进行优化配置。依据智能结构压电作动器位置优化的模态力准则^[10],一般压电作动器应配置于受控结构的各阶模态应变最大处。采用 ANSYS 9.0 有限元分析软件进行模型结构的模态分析,综合考虑各阶模态应变,将压电驱动器初步布置后再进行模态分析,以此循环并最终确定压电作动器配置方案。所设计的机敏压电柔性悬臂梁结构如图3所示,一个 2×2 通道的 PZT 传感器和驱动器,同时悬臂梁根部一排压电片作为结构激振器。压电传感器的尺寸是 $20 \text{ mm} \times 6 \text{ mm} \times 0.4 \text{ mm}$,压电驱动器尺寸是 $40 \text{ mm} \times 8 \text{ mm} \times 1 \text{ mm}$,每块压电传感器为一个测量通道,每一竖排的压电片为一个驱动通道。图3中编号1、2分别表示传感器和驱动器各有2个通道。

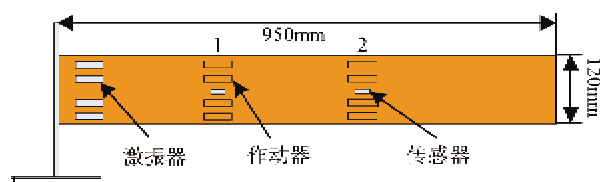


图3 机敏压电柔性悬臂梁结构示意图

依据配置设计方案将 PZT 传感器和作动器粘贴于悬臂基梁结构,并在构成机敏压电柔性实验模型结构后,进一步使用 BK3560 振动分析仪,并采用脉冲锤方式对模型结构进行冲击测试,其目的是为了从模态频率方面验证上述有限元分析结果的正确性,测得模型结构频响特性如图4所示。

由图4可见,频响特性图的4个局部尖峰点对应模型结构的4个固有模态频率,即在 $0 \sim 50 \text{ Hz}$ 频率范围内。模型结构计有4个固有模态频率,且分别为: $\text{FREQ1} = 1.18 \text{ Hz}$, $\text{FREQ2} = 7.37 \text{ Hz}$, $\text{FREQ3} = 21.20 \text{ Hz}$, $\text{FREQ4} = 39.80 \text{ Hz}$ 。该测试结果与有限元

分析结果较为一致,并与实际扫频测试结果也非常接近。考虑到建模误差与环境因素所造成的影响,可以认为 PZT 传感器和驱动器配置方案是有效的和可信的。

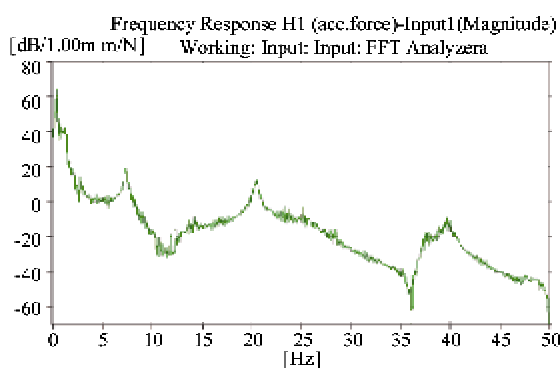


图 4 压电柔性悬臂梁频响特性图

3.2 实验平台构建

实验平台主要由固定支撑架构、实验模型结构、高性能计算机、高速数据 AD 采集卡与 DA 输出卡、信号发生器、低通滤波器、示波器、功率放大器,以及相关测控单元等组成。在构建实验平台的基础上,基于 VC6.0 平台开发了相关测控软件,以保障系统功能实现与控制过程实施。图 5 为实验平台示意图。



图 5 实验平台示意图

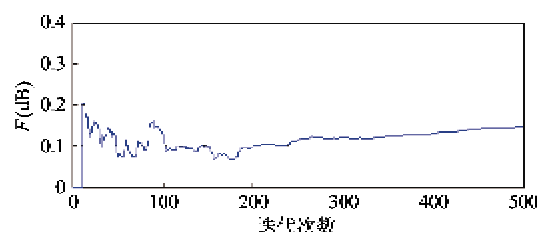
4 实验分析与验证

4.1 在线辨识算法仿真分析

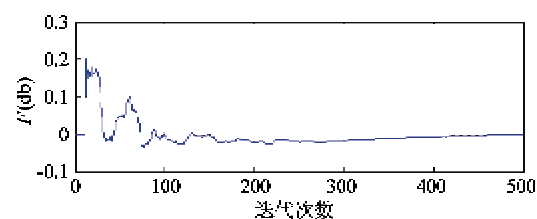
首先基于 Matlab 6.5 软件进行在线辨识方法与性能的仿真分析。设置标准误差通道模型和待辨识模型均为 $P = 24$ 阶,且标准误差通道模型(有限冲击响应模型即 FIR 模型)的具体数值为 $H_2(z) =$

0.131303	0.268476	0.102181	0.331094
-1.132792	-1.285056	0.466909	-0.377454
0.635248	-0.131002	-0.626901	0.589823
0.497603	-0.776613	0.896595	-0.261792
-0.403621	1.035342	-0.349494	0.543312

$[1.155388 \quad -0.682608 \quad -0.331105 \quad -0.632540]$, 该向量值是依据自适应建模算法针对实际结构模型进行离线辨识获得的。选取前四阶模态频率其中的一个频率 $f = 7.37\text{Hz}$ 的正弦激励信号为实验模型结构的外激励,系统采样频率为 $f_s = 300\text{Hz}$,设置步长收敛因子为 $\mu = 0.01$,控制器的自适应滤波器长度也定义为 $N = 24$;辨识环节中引入的白噪声信号方差值分别为 0.15 和 0.25,权值比重因子 ξ 选择为 0.8,迭代次数设为 1500 次,则根据式(13)分析准则,模型在线辨识的仿真结果如图 6 所示。



(a) 方差为 0.15 的辨识模型分析图

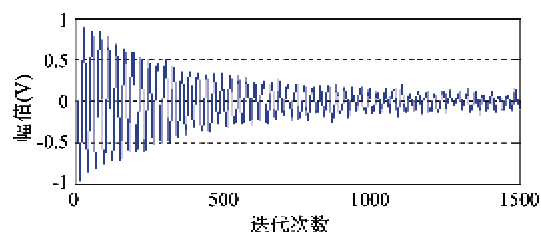


(b) 方差为 0.25 的辨识模型分析图

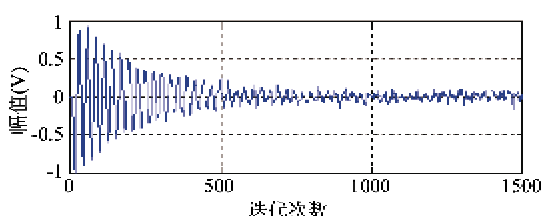
图 6 模型在线辨识的仿真结果

由图 6(a) 和图 6(b) 可见,随机噪声方差值越大,则模型辨识误差越小,即所获得的误差通道模型参数越准确。但从控制器角度出发,理论上所施加的模型辨识随机噪声方差又不宜过大,否则将使整个系统控制的振动响应残差比重过大,如此将可能导致控制系统无法收敛。为选取一个合适的噪声方差值,在进行大量仿真实验和分析的基础上,获知当噪声方差值选取为 0.4 时,控制效果最佳。为验证噪声方差值不同选值的控制效果,取方差值分别为 0.2、0.4 和 0.5 时,进行了振动响应自适应控制仿真实验,控制效果如图 7 所示。

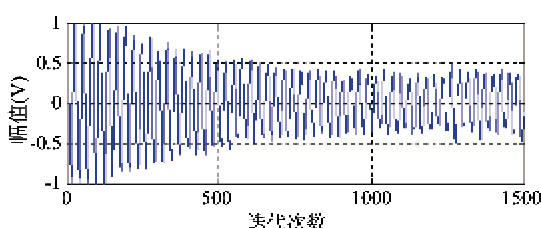
在图 2 所示的结构振动控制器结构图中,在白噪声发生器和控制器输入端之间,有个系统性能判别器,一旦结构振动响应获得较好的抑制后,立即停止在线辨识功能的白噪声信号加入,如此可以使得满意控制效果得以保持。



(a) 方差取值 0.2 的控制效果图



(b) 方差取值 0.4 的控制效果图



(c) 方差取值 0.5 的控制效果图

图 7 控制效果图

反之,若控制器结构图中缺少这一判别器功能,则当结构振动响应得到良好抑制后,经过一定时间振动响应又开始发散,其原因在于辨识过程中,所加误差通道在线辨识的白噪声也将成为外扰激励源的一部分,而控制算法对其不起控制作用。随着结构振动响应的有效抑制,控制环节的残差信号不断变小,此时白噪声所产生的激励响应在残差信号中所占比重不断加大,导致控制器在某一瞬间大幅进行权值调制,由此偏离了已经寻优的最佳权值。上述现象的仿真控制效果如图 8 所示。

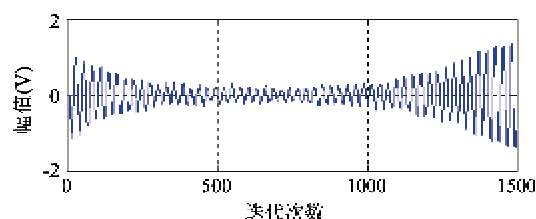


图 8 无判别器功能的结构振动控制效果

基于上述分析,取白噪声方差为 0.4,控制器中加入性能判别器功能,并取其他仿真实验设置参数不变,进行具有在线辨识功能的控制器结构及其算

法仿真分析,获得良好的控制效果和方法验证,具体结果如图 9 – 图 11 所示。

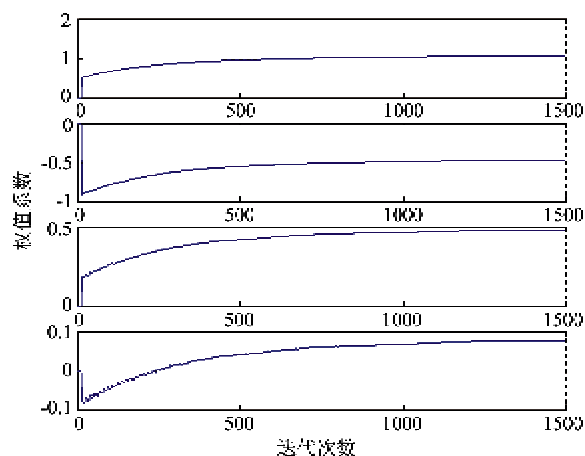


图 9 辨识模型部分参数权值系数收敛图

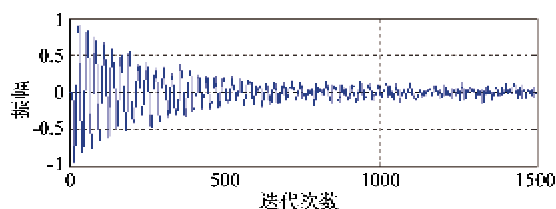


图 10 在线辨识过程的辨识残差时间历程

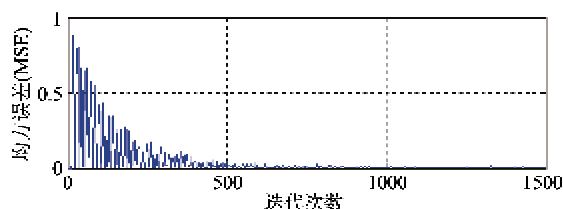


图 11 整体振动响应控制效果图

图 9 所示为辨识环节 $\hat{H}_2(z)$ 辨识模型的部分权值参数收敛曲线图(图中取了 24 个参数中的前 4 个);图 10 所示为在线辨识过程的辨识残差 e_t 时间历程,当其趋近于零时表示在线辨识过程结束;图 11 所示为进行 2×2 多通道振动主动控制仿真实验中,提取 2 路振动响应传感信号进行均方差运算,所反映的结构整体振动响应控制效果图。

4.2 实验分析与验证

基于上述仿真分析与验证的结果,结合所开发设计的实验平台和压电机敏模型结构,进行具有误差通道模型在线实时辨识功能的结构振动主动控制方法验证。为了验证所提算法的正确性,任意选取前四阶模态频率的一种模态,具体实验过程如下:

(1)利用信号发生器输出前四阶模态频率其中的一个频率为 $f = 7.37\text{Hz}$ 的正弦激励信号,驱动模

型结构根部压电作动器产生持续振动。

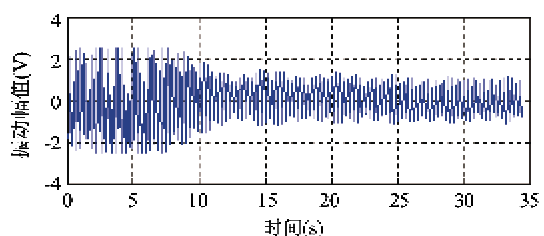
(2) 基于所开发的测控程序, 进行控制参数设置, 如采样频率、滤波器阶数、步长因子、控制通道模型随机参数、辨识模型阶数等。

(3) 控制过程施加后, 控制算法在线辨识功能进行控制通道模型辨识, 控制功能同时发挥主动抑制结构振动响应作用。

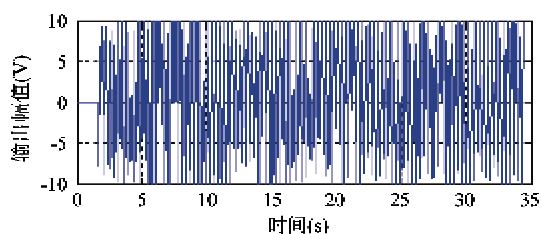
(4) 控制通道模型一旦辨识完成, 就将辨识模型参数及时带入控制算法, 结构振动响应控制效果将逐渐获得体现。

(5) 控制过程中, 实时保存相关数据, 为实验分析做准备。

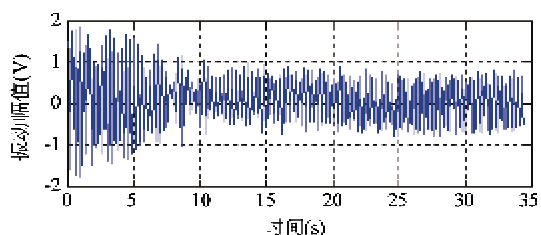
根据上述实验过程, 进行 2×2 多通道结构振动主动控制实验, 所获控制效果如图 12 所示。



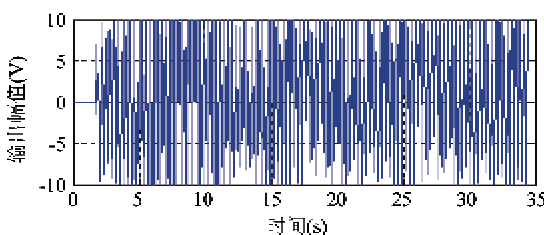
(a) 通道 1 振动响应时间历程



(b) 通道 1 控制输出信号时间历程

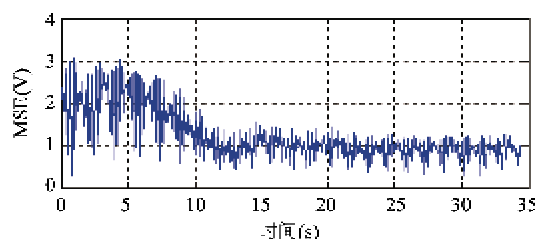


(c) 通道 2 振动响应时间历程



(d) 通道 2 控制输出信号时间历程

图 12 结构振动主动控制实验效果图



(e) 结构振动响应总体抑制效果图

图 12 结构振动主动控制实验效果图

由图 12 可见, 施加控制后结构振动响应获得有效抑制, 且不再出现振动响应发散现象; 图 12(b) 和图 12(d) 为对应通道 1 和通道 2 的控制信号时间历程, 自 2s 时刻开始施加控制信号, 随后信号输出很快达到稳定; 图 12(e) 为结构振动响应总体控制效果图 (即所有压电传感器所测振动响应信号之均方根值), 施加控制后结构总体响应明显下降, 表明结构总体振动获得有效抑制。为对比分析误差通道在线辨识的准确性, 在同一设置下采用离线辨识方法获得一组误差通道模型参数 $\hat{H}$, 并与在线辨识方式获得的一组误差通道模型参数 H 进行比较, 即采用公式 $(|\hat{H} - H| / |\hat{H}|) \times 100\%$ 进行分析, 如图 13 所示, 可以看出所有参数的差值的百分比均小于 4%, 说明在线辨识方法获得的模型参数准确性很高, 从而使得基于该辨识策略的振动主动控制方法具有很强的可行性和有效性。

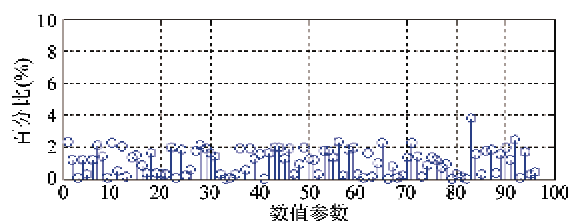


图 13 误差通道辨识结果对比图

5 结论

基于智能结构内涵实现航空航天器柔性结构的振动主动控制是当前的研究热点, 基于自适应滤波的振动控制方法的研究备受关注。由于该控制算法实施过程中存在一个误差通道模型参数确定的问题, 而研究过程中一般均采用离线辨识策略予以解决, 这在很大程度上导致该控制方法的实用性和适用性受限。本文针对上述问题提出了一种误差通道模型实时在线辨识方法, 并据此进行结构振动的自

适应控制器设计与控制算法导出,在此基础上进行了实时在线辨识方法与振动主动控制算法的仿真分析与实验验证工作。研究内容涉及在线辨识方法阐释、控制器设计及控制算法描述、实验结构与测控平台构建、算法仿真分析与实验过程验证等方面。技术方法分析与实验验证表明,基于误差通道模型参数实时在线辨识策略,实现压电机敏柔性结构振动响应多通道自适应控制是切实可行的,研究结果为结构振动的自适应滤波控制方法的改进提供了较好的方法基础和技术思路。

致谢:本文研究工作还获得以下项目资助,在此致以诚挚的感谢:上海市教委“机械电子工程”创新团队资助,上海大学“十一五”211 建设资助,上海市电站自动化技术重点实验室资助,上海大学重点学科建设项目(机械电子工程和先进制造及自动化)资助。

参考文献

- [1] Muhammad T A, Wataru M. Improving performance of FXLMS algorithm for active noise control of impulsive noise. *Journal of Sound and Vibration*, 2009, 327(3-5): 647-656
- [2] Hu Q L, Ma G F. Adaptive variable structure controller for spacecraft vibration reduction. *IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems*, 2008, 44(3): 861-876
- [3] Glugla M, Schulz R K. Active vibration control using delay compensated LMS algorithm by modified gradients. *Journal of Low Frequency Noise Vibration and Active Control*, 2008, 27(1): 65-74
- [4] 吴英姿, 鲍雪山, 徐新盛等. 基于峰值预滤波次级通道在线建模的主动噪声控制系统. *振动与冲击*, 2008, 27(1): 89-92
- [5] 赵扬, 赵天明. 基于误差通道并行建模的主动控制系统. *测控技术*, 2010, 29(3): 34-37
- [6] 靳国永, 张洪田. 基于误差通道在线辨识的柴油机双层主动隔振系统主动控制. 见: 2009 中国控制与决策会议论文集, 桂林, 中国, 2009. 1811-1815
- [7] Hassanpour H, Davari P. An efficient online secondary path estimation for feedback active noise control systems. *Digital Signal Processing*, 2009, 19(2): 241-249
- [8] Akhtar M T, Abe M, Kawamata M, et al. Online secondary path modeling in multichannel active noise control systems using variable step size. *Signal Processing*, 2008, 88(8): 2019-2029
- [9] Xiao Y G, Ma L Y, Hasegawa K. Properties of FXLMS based narrowband active noise control with online secondary-path modeling. *IEEE Transactions on Signal Processing*, 2009, 57(8): 2931-2949
- [10] Li B, Li Y G, Yin X G, et al. Maximal modal force rule for optimal placement of point piezoelectric actuators for plates. *Journal of Intelligent Material Systems and Structures*, 2000, 11(7): 512-515

Study and verification of an online secondary path identification algorithm for adaptive filtering based control of structural vibration

Huang Quanzhen, Gao Shouwei, Gao Zhiyuan, Shao Yong, Zhu Xiaojin

(School of Mechatronics Engineering and Automation, Shanghai University, Shanghai 200072)

Abstract

This paper proposes a real-time online secondary path identification algorithm for the adaptive filtering-based vibration control. The basic thought of the proposed algorithm is to use a finite impulse response (FIR) filter with a random noise signal introduced at the control output to carry out the real-time identification of the secondary path, and a performance monitor is employed to determine the on and off of the modeling process, and the filtered-X algorithm is employed for the active vibration control. The detailed descriptions of the identifier, the controller architecture and the algorithm's process are presented. The analysis of the affecting of the white noise to the identification model based on the simulation conducted using the MATLAB is given, and a judging criterion is proposed and its influence on the control performance is studied. The experiment on verification of the active vibration control of a flexible cantilever piezoelectric beam was performed on the constructed active vibration control platform. The experimental results showed that the proposed real-time online secondary path identification strategy was successful, and the designed controller and control algorithm was feasible and effective.

Key words: active vibration control, secondary path, real-time online identification, adaptive filter control, filtered-X algorithm