

文章编号: 1671-7848(2002)06-0084-03

## 基于自适应逆控制的飞机客舱消噪系统

赵 斌, 张如辉, 齐占庆

(燕山大学 电气工程学院, 河北 秦皇岛 066004)

**摘 要:** 提出了飞机涡轮发动机与螺旋桨引起客舱噪声的消除方法, 采用自适应逆控制, 基于 X-LMS 滤波算法构造控制器, 使之驱动的扬声器输出值对消拾音器附近即乘客头部周围的引擎和螺旋桨噪声, 从而使乘客座位附近成为一块“无声带”。针对被控对象的扰动问题, 还加入了对象扰动消除器, 构成了集成的自适应噪声消除系统。实验表明, 这是一个可靠的鲁棒系统, 具有很好的消噪性能和抗扰能力, 其降噪量不小于 60 dB。

**关 键 词:** 自适应逆控制; 引擎与螺旋桨噪声; 扬声器; 拾音器; X-LMS 滤波算法; 对象扰动消除

**中图分类号:** TP 202

**文献标识码:** A

### 1 引 言

航空噪声在 20 世纪 40 年代就引起了飞机设计师的关注, 因飞机发动机的功率迅速提高, 使航空噪声成为一个比较重要的社会和科学技术问题。

由于飞机使用涡轮喷气发动机和螺旋桨的组合, 螺旋桨噪声对于一定推力是叶片顶端速度的函数, 而空气涡轮发动机在气体膨胀过程中产生压缩机和空气动力噪声等。它们的组合容许有比 20 世纪 90 年代中期飞行的涡轮喷气飞机高出 30% ~ 40% 的燃料效率。发动机和螺旋桨推进器将非常可能安装在飞机尾部。飞机客舱的噪声也主要是由螺旋桨和引擎的噪声所引起的, 它严重地影响了机组人员和乘客舒适, 以及飞机机务人员间的语言通话, 已经成为现代航空运输面临的污染问题之一。

### 2 自适应逆控制系统

自适应逆控制 (Adaptive Inverse Control) 是由美国斯坦福大学教授 B. Widrow 首先命名提出的。在控制系统和调节器设计中, 这是种很新颖的途径。它用被控对象传递函数的逆作为串联控制器来对系统的动态特性作开环控制, 从而避免了因反馈而可能引起的不稳定问题。同时又能做到对系统动态特性的控制与对象扰动的控制分开处理而互不影响。它的实质是用自适应信号处理的方法去控制对象。将自适应逆控制应用到噪声消除领域, 会产生非常好的效果, 它已经成功地解

决了诸如空调管道中风扇噪声和汽车的马路噪声等许多噪声消除问题。

自适应逆控制的基本思想就是要用一个来自控制器的信号去驱动对象, 而该控制器的传递函数就是参考模型与该对象建模函数的商。按照某一种自适应算法, 用对象和指令输出之差的误差信号来调节控制器的参数以使该误差信号的均方差最小。参考模型要选择成达到设计者对整个系统所要求的相同的动态响应。用对象输出噪声与扰动之和去驱动逆对象模型以产生经过滤后的噪声和扰动, 并在对象输入中被减掉, 最终的效果是在对象输出中消除噪声和扰动。

### 3 基于自适应逆控制的噪声消除方案

文献[1]提出的消噪方案如图 1 所示, 乘客的座位上安装一个内置拾音器, 靠近乘客头部位置, 扬声器放在客舱里, 并与拾音器有一定距离。引擎和螺旋桨噪声经过一定的参考滤波器而得到引擎参考信号, 输入到自适应噪声消除器当中, 拾音器信号也被馈送到自适应噪声消除器中。噪声消除器的输出就是扬声器的信号, 它是引擎参考信号的最优滤波信号, 目的是驱动扬声器, 使之输出值接近拾音器附近即乘客头部周围的引擎和螺旋桨噪声, 即用扬声器来对消拾音器周围的噪声, 从而使乘客座位附近成为一块“无声带”。自适应系统的目标是产生扬声器信号, 使得拾音器输出功率最小。拾音器的输出就是系统的误差信号。

收稿日期: 2002-04-01

作者简介: 赵 斌(1978-), 男, 内蒙古乌海人, 燕山大学硕士研究生, 主要研究方向为自适应控制和鲁棒控制等。

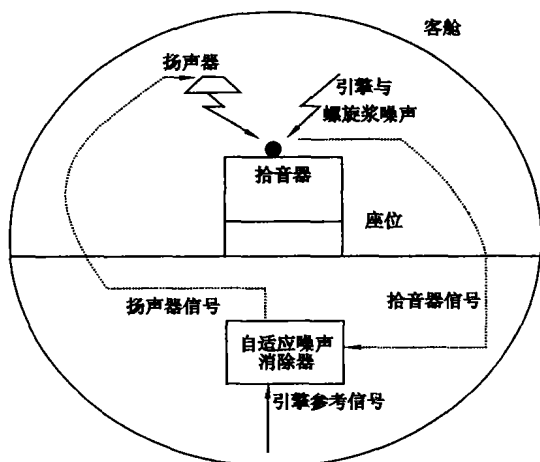


图1 飞机噪声消除系统方案

#### 4 自适应逆噪声消除系统的实现

1) 对被控对象的自适应建模 建模过程是对控制器输出的扬声器信号经过未知对象到了旅客附近,通过拾音器的过程而建模。为了防止被控对象输入的非平稳,在对象输入中附加随机抖动信号。建模过程如图2所示,它可以使对象收敛到一个 Wiener 解,采用此方法可以证明当模型收敛到接近与对象匹配时,自适应过程的误差几乎完全等于对象的扰动。

2) 控制器的自适应实现 飞机的引擎和螺旋桨噪声通过空气传播到了旅客座位附近后,被拾音器接收到,就把它作为参考模型。引擎和螺旋桨噪声经过最优滤波后,通过控制器产生的扬声器信号

到了旅客座位周围,自适应控制器的目标就是扬声器信号经过拾音器后的信号与参考模型相匹配,用二者之差去自适应控制器  $\hat{C}(z)$ ,整个系统的最终的期望结果就是使拾音器信号的最小均方差为零,即消除了旅客周围的引擎与螺旋桨噪声。

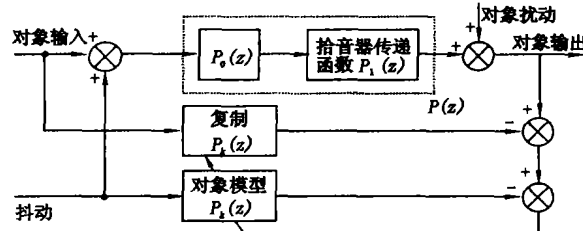


图2 飞机噪声消除系统的对象建模

采用 X-滤波 LMS 算法,利用系统的动态误差即拾音器信号,可以避免建模精度以及收敛速度所带来的负面效果。对控制器  $\hat{C}(z)$  的在线自适应控制系统如图3所示,并在自适应过程中利用了总系统误差。 $\hat{C}(z)$  的一个复制是该系统的控制器。对于自适应控制器  $\hat{C}(z)$  的这个算法就是 X-滤波算法。它在文献[2]中被导出,这种自适应算法可以利用  $\hat{C}(z)$  的优化选择而使总系统误差最小。只要被控对象的模型或多或少地与对象相似,那么控制器就可以不依赖对象模型的正确性。在应用 X-滤波算法时,在对  $\hat{C}(z)$  自适应开始之前不必要等待对象模型的完全收敛。其理由是只要自适应是稳定的,对  $\hat{C}(z)$  的正确的自适应就不需要一个理想的模型,这些都在文献[1]中得到了证明。

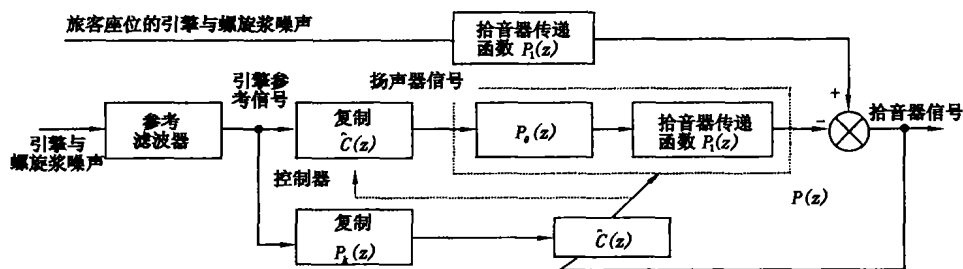


图3 自适应飞机噪声消除系统方框图

3) 对象扰动的消除 前述过程已经是比较完整的自适应逆噪声消除系统,它将会工作得很好。但它并未考虑被控对象受到各种干扰的情况。对于对象扰动没有采取任何措施。采用自适应对象扰动消除器,目标就是在不改变对象动态特性的条件下,使对象扰动功率最小。系统如图4所示,复制的模型和对象有相同的输入,受到扰动的对象输出与模型的无扰动输出之差就非常近

似于对象输出扰动  $n$ , 这个近似的  $n$  然后输入给滤波器  $z^{-1}Q_k(z)$ , 滤波器是模型的一个最优最小二乘的逆,在将  $z^{-1}Q_k(z)$  的输出从对象输入中减去以产生对象扰动的消除。放在  $Q_k(z)$  前的单位延时是考虑到数字反馈回路在环绕每一个回路上都必须至少有一个单位的延时。当系统运行高采样率时,这些单位延时影响很小。

4) 自适应逆噪声消除系统的完全实现 对系

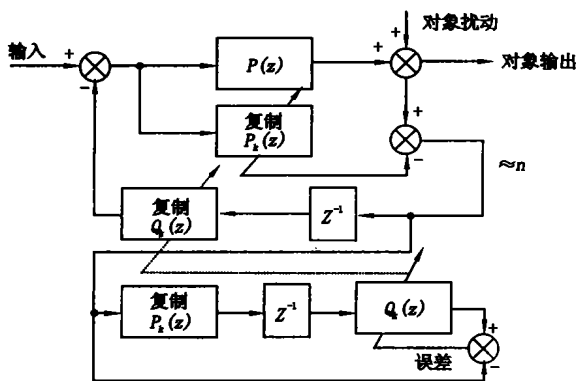


图4 对象的扰动消除

统的各个部分已经得到,现在将整个系统集成起来,如图5所示,这个系统是由许多组件构成,但从文献[1]所做的大量的实验和实际的应用中可知,它是一个可靠的控制系统,并具有很强的鲁棒性。

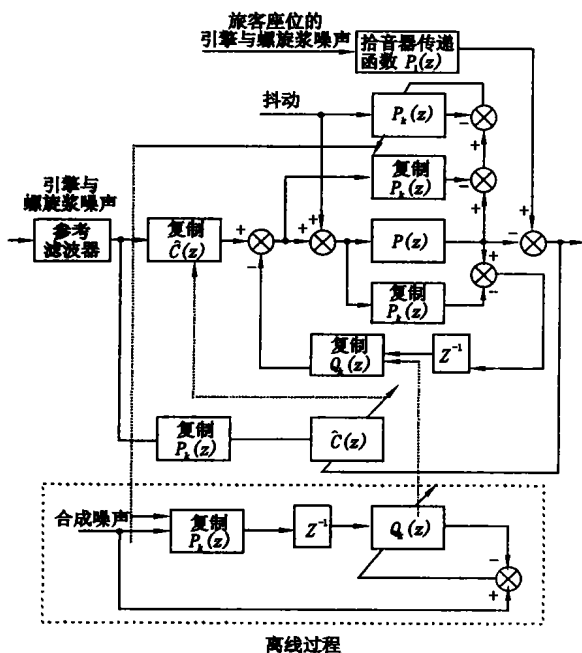


图5 带对象扰动消除器的自适应逆飞机噪声消除系统

为了提高系统的快速性,  $Q_k(z)$  的产生采用离线过程。按图5的自适应过程来计算  $Q_k(z)$ , 为了使在  $Q_k(z)$  中的自适应权系数误差引起的过调节的效果可以忽略, 就得要求很慢的自适应过程。另一方面, 如果  $P_k(z)$  是在跟踪一个时变的对象  $P(z)$ , 为了维持  $P_k(z)$  的逆则可能会要求快的自适应。因此, 对  $Q_k(z)$  的计算采用离线过程, 这需要合成噪声, 这个噪声与原始输入具有相同的统计特性, 自适应算法采用 LMS 算法, 这样离线过程将会比实时快得多。

## 5 结论

本文提出了飞机客舱的噪声消除系统的方案与实现方法。根据飞机客舱的实际情况, 设计了模拟线路。实验结果表明, 基于自适应逆控制的消噪系统, 降噪量不小于 60 dB。当在对象输出端加入一个强扰动(随机, 零均值, 一阶 Markov 过程)时, 依旧可以正常地工作。系统还可以使得扬声器的听觉输出消除拾音器附近和乘客头部附近的引擎与螺旋桨噪声。对象扰动消除器的自适应逆噪声消除系统, 实质是用信号处理的方法去解决控制问题。用自适应逆控制去实现噪声消除, 是一种很有有效的办法。

## 参考文献:

- [1] B 威德罗, E 瓦莱斯. 自适应逆控制[M]. 刘树棠, 韩崇昭 译. 西安: 西安交通大学出版社, 2000.
- [2] Widrow B, Stearns S D. Adaptive signal processing [M]. Englewood Cliffs N J: Prentice-Hall, 1985.
- [3] 沈福民. 自适应信号处理[M]. 西安: 西安电子科技大学出版社, 2000.
- [4] 马大猷. 噪声控制学[M]. 北京: 科学出版社, 1987.

## System of Eliminating Airplane Cabin Noise Based on Adaptive Inverse Control

ZHAO Bin, ZHANG Ru-hui, QI Zhan-qing

(School of Electric Engineering, Yanshan University, Qinhuangdao 066004, China)

**Abstract:** A method is provided to eliminate airplane cabin noise caused by turbos and airscrews. Adaptive inverse control technique employing filtered-X LMS algorithm is adopted to construct a controller. The output of loudhailer driven by the controller clears up the noise of engine and airscrew around the sound pickup, viz. about the passenger's head, then the place round the passenger's seat becomes noiseless zone. In the light of the disturbance of controlled object, an implement is appended to constitute an integrated adaptive inverse noise clearing system. The system is verified to be robust one which has excellent performance to cancel noise and counteract disturbance. The quantity of noise abatement isn't less than 60 dB.

**Key words:** adaptive inverse control; noise of engine and airscrew; loudhailer; pickup; filtered-X LMS algorithm; elimination of disturbance of the plant