

自适应噪声抵消系统的设计与性能仿真

韩海舰¹ 李文海²

(1. 海军航空工程学院研究生管理大队 烟台 264001; 2. 海军航空工程学院科研部 ATE 研究所 烟台 264001)

摘要: LabVIEW 作为一种图形化虚拟仪器编程语言,其在信号的生成、分析和处理上优势明显。利用其可以设计虚拟的自适应噪声抵消系统,从而可以应用于实际工程中对噪声抵消性能的测试验证。本文针对强噪声背景下有用信号的提取问题,介绍了自适应噪声抵消的原理,并对 3 种基本自适应滤波算法的步骤与流程进行了阐述。基于 LabVIEW 图形化虚拟仪器编程语言设计了虚拟自适应噪声抵消系统,系统结构简单,人机交互界面较好。在该系统下以 3 种自适应滤波算法为例仿真验证了噪声抵消的性能,结果表明,3 种自适应滤波算法的滤波性能与实际分析相符,验证了所设计系统的有效性和正确性。

关键词: 自适应噪声抵消;算法; LabVIEW; 仿真

中图分类号: TN911.7 **文献标识码:** A **国家标准学科分类代码:** 510.40

Design and performance simulation of the adaptive noise cancellation system

Han Haijian¹ Li Wenhai²

(1. Graduate Students' Brigade, Naval Aeronautical and Astronautical University, Yantai 264001, China;

2. ATE research institute of Research Department, Naval Aeronautical and Astronautical University, Yantai 264001, China)

Abstract: As a kind of graphical virtual instrument programming language, LabVIEW has more advantages on signal generation, analysis and processing. It can be used to design virtual adaptive noise cancellation system, which can be applied in practical engineering of noise cancellation performance test validation. Based on the extraction of useful signals under strong background noise problem, this paper introduces the principle of adaptive noise cancellation, adaptive filtering algorithm and the three basic steps and process are expounded. Based on virtual instrument LabVIEW graphical programming language, virtual adaptive noise cancellation system is designed, and the system structure is simple, good man-machine interface. Under the system the three kinds of adaptive filtering algorithm are used to verify the noise cancellation performance, the results showed that the three kinds of adaptive filtering algorithm of filtering performance accords with the actual analysis, the validity and the correctness of the design is verified by the system.

Keywords: adaptive noise cancellation; algorithms; LabVIEW; simulation

1 引言

自适应噪声抵消系统自问世以来已有 40 多年的历史,目前,作为自适应信号处理领域重要的分支之一,其已被广泛应用到通信、雷达、声呐、生物医学工程等领域^[5]。

利用 LabVIEW 构建的虚拟仪器系统可以大大简化测试项目的开发过程,缩短系统开发调试的周期^[1]。同时,设计的系统可维护性强,功能扩充和更新更加方便。现已广泛应用于数据采集、信号处理、智能控制等领域^[2-4]。

本文正是基于 LabVIEW 在虚拟仪器系统设计方面的优势设计了自适应噪声抵消系统,并进行了实例仿真验证,结果表明,所设计的系统正确有效且可操作性强,对于验证

实际工程中噪声抵消系统的性能有一定的借鉴作用。

2 自适应噪声抵消原理及算法

2.1 自适应噪声抵消原理^[5]

自适应噪声抵消的原理框图如图 1 所示,原始输入信号 $d(n)$ 是有用信号 $s(n)$ 与噪声干扰 $v(n)$ 之和,参考输入信号 $x(n)$ 是与 $v(n)$ 相关的噪声信号,且应满足 $s(n)$ 与 $v(n)$ 及 $x(n)$ 不相关。其核心部分是自适应滤波器,自适应过程就是用自适应算法调整滤波器的参数,使得滤波器输出 $y(n)$ 逼近传感器 1 输出信号中叠加的噪声 $v(n)$,这样就可以使抵消器的输出 $e(n)$ 逼近被测信号 $s(n)$,从而在噪声抵消器的输出端达到提高信噪比的目的。

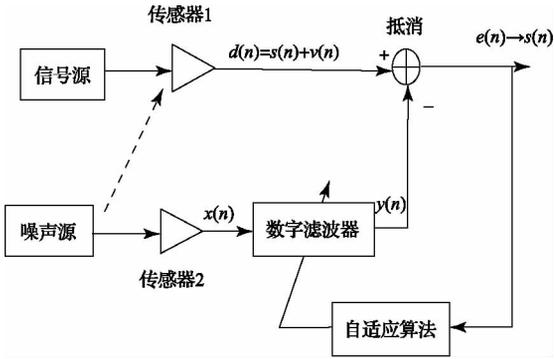


图1 自适应噪声抵消原理

2.2 自适应噪声抵消算法

自适应噪声抵消系统的核心是自适应滤波器的设计,而设计自适应滤波器的关键是自适应滤波算法。自适应滤波器所采用的最优化准则有最小均方误差准则、最小二乘准则、最大信噪比准则、统计检测准则以及其他一些准则,其中最基本的两类算法为:最小均方误差(LMS)算法和递推最小二乘(RLS)算法。考虑到传统算法在收敛速度、收敛精度、跟踪能力、计算复杂度和数值稳定性等方面存在的不足和矛盾,许多专家学者对此两类算法进行了研究和改进,提出了一些改进算法,如归一化最小均方误差算法(NLMS)、均方瞬时误差驱动步长变化的VSS-LMS自适应滤波算法、基于误差自相关估计的MVSS-LMS自适应滤波算法等^[6]。

2.2.1 最小均方误差算法(LMS)^[5-8]

- 1) 初始化: $w(0) = 0$ 或由先验知识选取。
- 2) 更新:对 $n = 1, 2, \dots$, 计算
滤波: $y(n) = w^H(n)x(n)$;
误差估计: $e(n) = d(n) - y(n)$;
更新权系数: $w(n+1) = w(n) + 2\mu x(n)e(n)$

式中: μ 为步长因子, $0 < \mu < (NP_{in})^{-1}$, P_{in} 为输入功率, $P_{in} = E\{|x_1(n)|^2\}$ 。

2.2.2 归一化最小均方误差算法(NLMS)^[5,7]

- 1) 初始化: $w(0) = 0$ 或由先验知识选取。
- 2) 更新:对 $n = 1, 2, \dots$, 计算
滤波: $y(n) = w^H(n)x(n)$;
误差估计: $e(n) = d(n) - y(n)$;
更新权系: $w(n+1) = \frac{w(n) + \mu x(n)e(n)}{[\varphi + x^T(n)x(n)]}$

式中: μ 为步长因子, φ 为一正常数。

2.2.3 递推最小二乘算法(RLS)^[8-10]

1) 初始化: $w(0) = 0, P(0) = \delta^{-1}I$, 其中 I 为单位矩阵, δ 为一个很小的正数。

- 2) 更新:对 $n = 1, 2, \dots$, 计算

$$\text{更新增益矢量: } g(n) = \frac{P(n-1)x(n)}{[\lambda + x^T(n)P(n-1)x(n)]}$$

$$\text{滤波: } y(n) = w^T(n-1)x(n);$$

$$\text{误差估计: } e(n) = d(n) - y(n);$$

$$\text{更新权系数: } w(n) = w(n-1) + g(n)e(n);$$

$$\text{更新逆矩阵: } P(n) = \lambda^{-1}[P(n-1) - g(n)x^T(n)P(n-1)]$$

式中: λ 为遗忘因子, $0 < \lambda < 1$, $P(n)$ 为自相关矩阵 $R_{xx}(n)$ 的逆矩阵。

3 基于 LabVIEW 的自适应噪声抵消系统的设计与性能仿真

LabVIEW 是一门基于数据流的图形化编程语言,在并行编程和多核编程方面较常用的文本式编程语言具有独特的优势,同时由于其兼具方便快捷的用户界面编程功能,LabVIEW 被广泛地运用于大型控制系统和仪器的开发^[11]。此外,其在信号的发生、分析和处理上优势明显,使用它进行原理研究、设计、测试并实现仪器系统时,可以大大提高工作效率。LabVIEW 编辑的程序有两部分组成:前面板和程序框图。

3.1 自适应噪声抵消系统前面板

系统采样频率设为 1 000 Hz,仿真的有用信号 $s(n)$ 为单频正弦信号,噪声信号 n 为高斯白噪声信号,系统主通道信号 $d(n)$ 为有用信号与高斯白噪声信号的混叠信号,系统参考通道信号 $x(n)$ 为高斯白噪声信号。在前面板上根据具体情况可以方便地设定滤波器的阶数、步长因子、遗忘因子、有用信号的频率、幅度和相位、噪声信号的幅度。以 RLS 算法为例,利用 LabVIEW 2012 开发的自适应噪声抵消系统的前面板如图 2 所示,其他两类算法的前面板与此类似,只是将参数遗忘因子更换为步长因子,在此就不再给出前面板设计图。

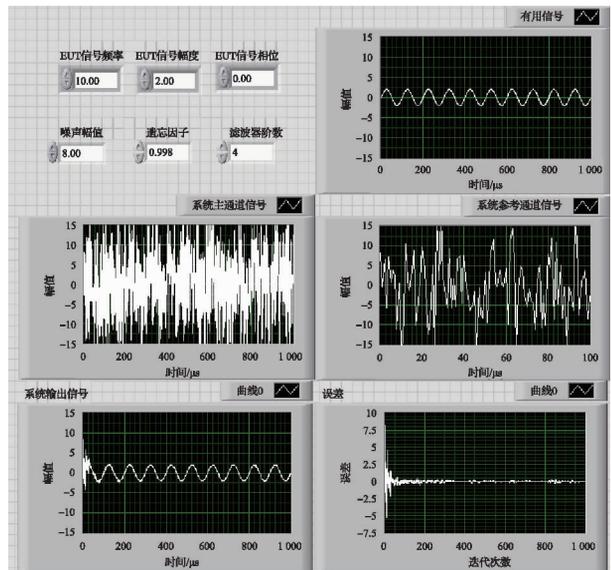


图2 基于 LabVIEW 的自适应噪声抵消系统前面板(RLS)

图 2 中的主通道输入信号和参考通道输入信号可以通过 LabVIEW 自带的信号发生器模拟产生,也可通过数据采集卡采集的信号作为输入进行自适应噪声抵消。主要是通过模拟信号采集的方式产生所需要的信号,通过在前面板上调节影响自适应噪声抵消效果的参数,直观地观测测

量结果,进而得出相关结论。

3.2 自适应噪声抵消系统程序

LabVIEW 程序前面板上的每一个控件都对应着程序框图中的某一段框图程序,框图程序可以类比为传统程序中的源代码。图 3 是以 RLS 算法为例设计的自适应噪声抵消系统的整体程序框图,LMS 算法和 NLMS 算法设计

的自适应噪声抵消系统程序框图与此类似。图中的自适应滤波器部分采用了 LabVIEW 中的 MATLAB Script 导入 MATLAB 脚本。由于本文是对 3 种自适应算法的性能仿真研究,故需要分别调用 MATLAB 中的自适应滤波函数库,通过调整参数进行迭代运算,这样的设计简化了系统的设计流程,提高了程序的执行效率,具有较好的适用性。

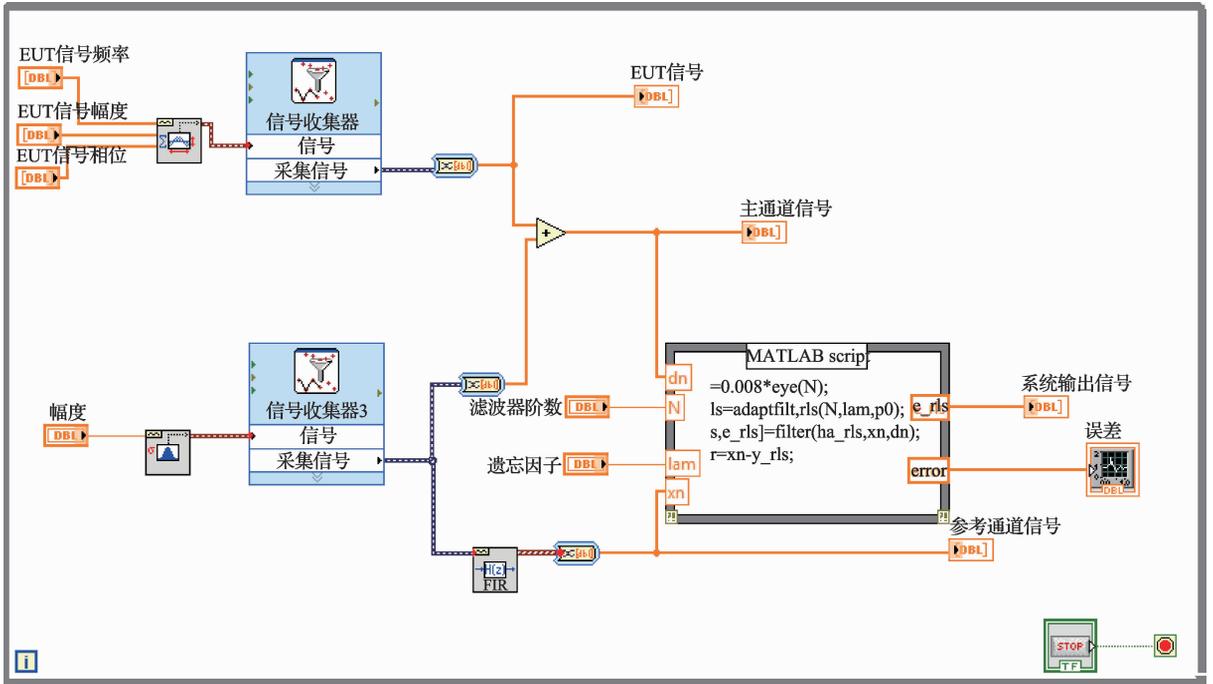


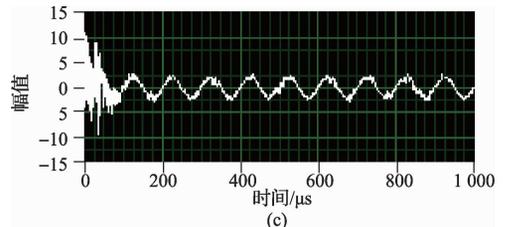
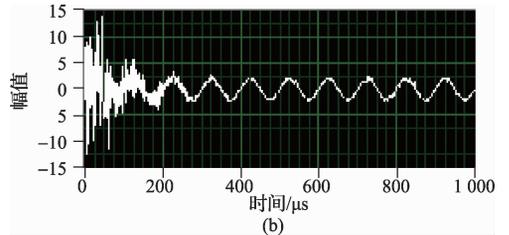
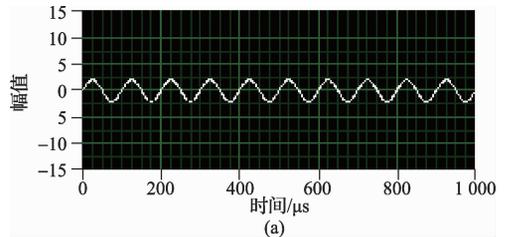
图 3 自适应噪声抵消系统程序(RLS)

3.3 性能仿真结果分析

低信噪比条件下,即强噪声背景下,为了检验 3 种自适应滤波算法在噪声抵消系统中的滤波性能,分别对 LMS 算法、NLMS 算法和 RLS 算法进行了仿真实验。参数设置如表 1 所示,仿真结果见图 4,其中图 4(a)为有用纯净正弦信号,图 4(b)、图 4(c)和图 4(d)分别为采用 LMS 算法、NLMS 算法和 RLS 算法后自适应噪声抵消系统输出信号。从图中可以明显看出,在低信噪比条件下,采用 3 种自适应滤波算法进行噪声抵消都能够得到较为理想的系统输出。相比之下,RLS 算法的噪声抵消性能更加优越,系统输出的信号更能真实地反映有用信号,而 LMS 和 NLMS 算法虽然也能将有用信号提取出来,但噪声抵消的效果相对较差。

表 1 自适应噪声抵消参数设置

名称	N	μ	φ	λ	δ	A	f_0
LMS 算法	4	0.0002					
NLMS 算法	4	0.09	1				
RLS 算法	4			0.998	0.008		
有用信号						2	10Hz
噪声信号						8	



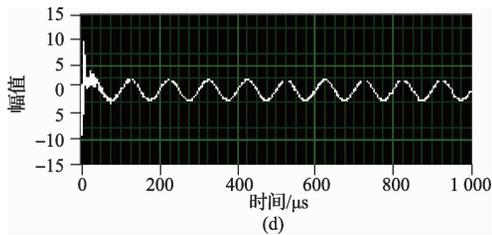


图4 自适应噪声抵消系统输出

另外,为了得到滤波输出 $y(n)$ 向主通道输入信号中的噪声信号 $v(n)$ 逼近的快慢程度,定义误差 $error = v(n) - y(n)$,这从另一个方面反映了自适应噪声抵消性能的优劣,仿真结果如图5,其中图5(a)、图5(b)和图5(c)分别为采用LMS算法、NLMS算法和RLS算法得到的误差(error)曲线,从图中可以看出RLS算法中滤波输出对主通道噪声信号的逼近速度最快,即收敛速度最快,自适应噪声抵消性能最好,NLMS算法次之,LMS算法最差。

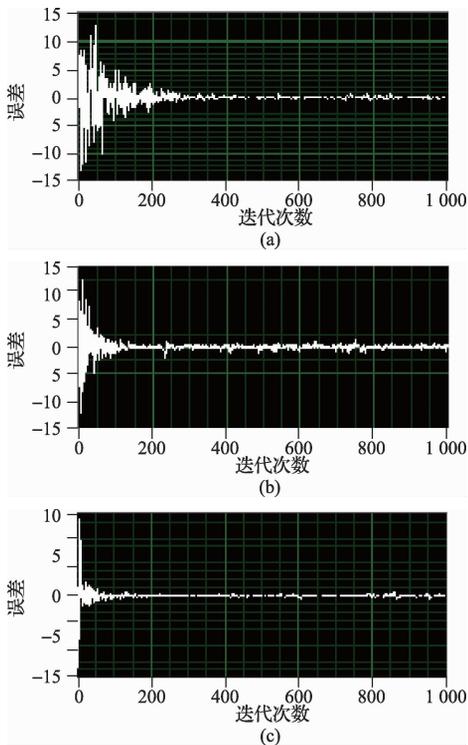


图5 误差(error)曲线

4 结 论

基于图形化编程语言 LabVIEW 设计了自适应噪声抵消系统,对比分析了三类自适应滤波算法在噪声抵消系统

中的性能。通过仿真实验可以看出,此3种自适应滤波算法在噪声抵消方面的性能与大量文献[5-10]的分析结果相符,从而验证了所设计系统的正确性和有效性。基于 LabVIEW 设计的自适应噪声抵消系统为实际工程应用中测试验证噪声抵消性能的优劣提供了一定的借鉴作用。

参考文献

- [1] 李曼,赵坤. LabVIEW 程序设计方法在自动测试系统中的应用探讨[J]. 测控技术, 2014, 33(12): 107-109.
- [2] 程韬波,戴柒叁,张昱. 基于 LabVIEW 的气悬浮平台振动信号数据采集系统[J]. 自动化与信息工程, 2014, 35(6): 1-5.
- [3] 肖丰霞,闫延光. 基于 LabVIEW 的数据采集与信号处理系统[J]. 信息技术与信息化, 2014(12): 112-113.
- [4] 田雪,郑敏信. 基于 LabVIEW 的光伏储能控制系统设计[J]. 国外电子测量技术, 2014, 33(12): 53-56.
- [5] 莫晶. 基于自适应噪声抵消系统的不同滤波算法研究[D]. 昆明: 云南师范大学, 2014.
- [6] 张会先. 自适应滤波算法的研究与应用[D]. 西安: 电子科技大学, 2012.
- [7] 李杨,韩鹏,檀虎. 几种变步长 LMS 算法的性能分析与比较[J]. 国外电子测量技术, 2013, 32(10): 28-30.
- [8] 赵薇,陆余恬. 基于自适应算法的去噪滤波仿真比较[J]. 中国传媒大学学报自然科学版, 2013, 20(4): 40-46.
- [9] 石鑫,李春龙,李昊. 基于 RLS 算法的自适应噪声抵消系统研究[J]. 电子测量技术, 2010, 33(3): 44-46, 57.
- [10] CHENG X ZH, XU J D, WEI A Y, et al. Application of RLS adaptive filtering in signal de-noising [J]. Journal of Measurement Science and Instrumentation, 2014, 5(1): 32-36.
- [11] 费丹,熊磊,吴建强. 基于软件无线电的无线信道仿真仪设计与实现[J]. 仪器仪表学报, 2013, 34(12z): 93-98.

作者简介

韩海舰,硕士研究生。主要研究方向为航空测控技术、电磁兼容测试等。

E-mail: happyhhj@126.com

李文海,教授。研究方向为自动测试系统等。