

文章编号:1000-582x(2001)05-0059-03

虚拟式噪声分析仪的数字计权与开发

杨昌棋¹, 秦树人², 张跃俊¹

(1. 重庆大学 资源与环境科学学院, 重庆 400044; 2. 重庆大学 机械工程学院, 重庆 400044)

摘要:传统的噪声倍频程分析仪由硬件滤波网络和计权网络构成。为了利用软件实现噪声倍频程分析,提出了一种基于FFT的数字计权方法。利用这一方法,可以实现虚拟噪声分析仪的数字计权和数字式系统误差修正。由于采用了数字计权和数字式系统误差修正技术,仪器的精度和稳定性得到很大的提高。作为一个应用,结合系统误差数字修正技术和数字计权技术,开发出了高精度、低成本虚拟实时噪声倍频程分析仪。

关键词:噪声测量; 虚拟仪器; 数字计权; FFT

中图分类号: TH 73; TB 52

文献标识码: A

噪声测量仪器在环境、设备的噪声检测和噪声控制中起着十分重要的作用。噪声测量中计权声级和倍频程声压级测量是噪声检测分析中最基本的测量项目,声级计是最常用仪器。传统的声级计一般是利用硬件计权网络实现对噪声信号的计权,利用硬件的滤波网络实现噪声的倍频程分析。一般的声级计一次仅能测量一种声学参数。当需要了解两种不同的计权声级时,必须配接相应的硬件计权网络,分次进行测量。当需要进行倍频程分析时,需要配接相应的倍频程滤波网络,通过切换中心频率来实现,难以满足自动检测的需要。

噪声倍频程分析相对于一般的频谱分析有其特殊性。噪声倍频程分析总带宽接近 20 000 Hz,由于常规的频谱分析一般具有恒定带宽特性,利用常规的频谱分析仪很难一次完成一个标准的 1/3 倍频程的实时测量和计权分析。

虚拟仪器技术是近年兴起的一项新技术,它充分利用了计算机的高可靠性、低成本和易用性的优势不断冲击常规测试仪器。利用虚拟仪器技术和集成测试技术发展新型测量手段将成为一个研究热点^[1]。为了利用虚拟仪器技术开发噪声倍频程分析仪,提出一种基于FFT的快速噪声倍频程分析方法,它不仅精度高、速度快,而且很容易实现仪器化。由于这一方法是一种基于软件的方法,特别适用于虚拟仪器。作者重点介绍这一方法所涉及的数字计权方法并介绍系统的开发。

1 噪声测量系统中的数字计权方法

当声压强度相同时,人耳对于低频段噪声远不如高频段噪声敏感。为了客观反映人耳对噪声响度的频率响应,在噪声评价中,采用计权声级作为评价参数。其中,由于A计权声级能很好地反映人耳对噪声响度的频率响应,应用最为普遍。各种计权的修正量可参考相应的标准。

传统的声级计,计权处理一般依赖于硬件的计权网络。硬件的计权网络不仅制造调试很困难,测量的精度也受到硬件的制约,仪器的长期精度难以得到保证。利用软件的方法进行数字计权处理不仅可以减少仪器的硬件,也可保证仪器的长期精度。

为了说明噪声测量系统中的数字计权方法,首先考察噪声声压级的定义^[2]:

$$L_p = 10 \lg \frac{p_e^2}{p_{e0}^2} \quad (1)$$

其中: $p_{e0} = 2 \times 10^{-5}$ Pa 为基准声压, p_e 为有效声压。在实际声场中,当有 n 个纯音噪声源同时发出噪声时,设声场中某处第 k 个纯音噪声源声压信号为 $p_k(t)$, 对应的声压信号幅值为 p_{ak} , 根据声能叠加原理并利用声强与声压的关系,可得

$$p_e^2 = p_{e1}^2 + p_{e2}^2 + \dots + p_{en}^2 = \sum_{k=1}^n p_{ak}^2 \quad (2)$$

由式(2)可知,多声源合成声压的能量与各纯音的能

· 收稿日期:2000-12-08

基金项目:国家自然科学基金资助项目(52075090)

作者简介:杨昌棋(1959-)男,四川泸州人,副教授。主要从事振动、冲击、噪声测量与分析的研究。

量成线性关系。

为了方便起见,考查式(1),在仪器的放大增益调整时,采用标定的方法总可以使 $p_{i0} = 1$ 。这样,对应纯音源 $p_i(t)$,相应的声级可改写为下式

$$L_{pk} = 10\lg p_{ik}^2 \tag{3}$$

为了利用软件的方法对噪声进行数字计权处理,必须找出各个纯音源 $p_k(t)$ 对应的计权修正量。在噪声测量标准中,计权修正量一般是以在倍频程的各中心频率点的修正量的形式给出的。进行数字计权修正时,不能简单地采用对测量值进行直接加减修正值的方法,必须将规定的修正量转化为对系统的传递函数修正。

为了讨论问题方便,假设对应纯音源 $p_k(t)$ 的计权修正量为 W_k 。此时, $p_k(t)$ 对应的计权后相当幅值记为 p_{wk} 。考虑到式(3),可得

$$10\lg p_{wk}^2 = 10\lg p_{ik}^2 + W_k \tag{4}$$

由式(4),整理可得

$$p_{wk}^2 = p_{ik}^2 10^{0.1W_k} \tag{5}$$

参考式(2),类似地可以得到多频噪声的计权总声压级表达式

$$L_{pm} = 10\lg \sum_{k=1}^n p_{wk}^2 \tag{6}$$

利用式(5)和式(6),就可实现噪声的数字计权分析。 W_k 可利用有关的噪声计权标准,通过插值的方法得到。

由式(3)和式(6)可知,如果能够测出或分解出噪声的每一个单纯音的声压 p_{ik} ,就可求得一定频段内的声压级或噪声总声压级。

为了分解出噪声的每一个单纯音的声压 p_{ik} ,就要对噪声的频谱结构进行分析。传统的噪声倍频程分析主要依靠硬件的带通滤波网络对噪声声压信号 $p(t)$ 进行处理。采用 FFT 技术对噪声声压信号 $p(t)$ 进行频谱分析,为分析噪声频谱结构提供了一件有力的工具。

虽然在严格意义上来看,噪声信号具有随机性。随机信号在理论上不满足傅里叶变换的条件。但是,在实际的噪声测量中,通过测量系统得到的每一个有限长样本 $p(t)$,都是幅度有限的确定性信号,满足傅里叶变换条件,可以进行傅里叶变换。随机性误差可以采用平均等方法进行抑制。

考察一个有限长噪声声压信号样本 $p(t)$,设样本长度为 T ,其有限傅里叶变换可写为

$$P(f) = \int_0^T p(t) e^{-j2\pi ft} dt \tag{7}$$

当信号 $p(t)$ 经过 A/D 采样后,形成离散数据序列 $p[n\Delta t]$, Δt 为采样间隔,样本的数据点数为 N ,则对应式(7)归一化的离散形式可写为^[3,4]

$$P[k] = \sum_{n=0}^{N-1} p[n\Delta t] e^{-j(\frac{2\pi}{N})kn} \tag{8}$$

$k, n \in \{0, \dots, N-1\}$

根据离散傅里叶变换可知, $p[n\Delta t]$ 经离散傅里叶变换后得到的离散 $P[k]$ 是一个长度为 N 的复数序列,其第 k 个数据可写成如下形式

$$P[k] = a_k + jb_k \tag{9}$$

在满足采样定理的条件下,它可以表示 $p(t)$ 中频率为 k/T 的简谐分量 $p_k(t)$

$$p_k(t) = p_{ak} \cos(2\pi kt/T + \varphi_k) \tag{10}$$

其中, $p_{ak} = \frac{1}{N} \sqrt{a_k^2 + b_k^2}$ 为 $p_k(t)$ 的幅值, $\varphi_k = \arctg(b_k/a_k)$ 为 $p_k(t)$ 的相位。

因此, $p(t)$ 可以写成简谐函数形式

$$p(t) = \sum_{k=0}^{N-1} p_k(t) = \sum_{k=0}^{N-1} p_{ak} \cos(2\pi kt/T + \varphi_k) \tag{11}$$

由式(11)可知,对于一个特定的地点的噪声 $p(t)$,在很弱的条件下,可以分解成若干个不同频率的纯音源 $p_k(t)$ 之和。

2 变时基采样与倍频程的快速分析方法

常规的声级计一般采用硬件构成相应的计权网络和滤波网络。噪声声压信号由传声器拾取,放大后送入计权网络,计权后的信号再送入到中心频率和通带宽度可变的带通滤波网络在进行倍频程分析。完成一个标准的 1/3 倍频程分析,需要分别进行 32 次测量。很难实现高速测量。由式(11)可知,对于噪声信号 $p(t)$,可以利用 FFT 技术将其分解成若干个不同频率的纯音源 $p_k(t)$ 之和。利用式(5)和式(6),通过对各纯音源 $p_k(t)$ 直接进行数字计权计算,即可实现对噪声信号 $p(t)$ 的计权处理。

根据式(2),由于多声源合成声压的能量与各纯音的能量成线性关系,利用 $p_k(t)$ 可以求得倍频程分析的各频段内的声压能量。考虑到式(6),即可得到相应的频段内声压级和总声压级。

在噪声倍频程分析中,如果直接应用 FFT 很难实现实时分析。因为噪声倍频程分析,分析频率带宽约为 20 KHz,各中心频率对应的带宽不断变宽,最低端中心频率为 12.5 Hz,带宽仅为 3 Hz。由采样定理可知,为了不发生频率混叠,采样频率不得低于信号最高频率的两倍。考虑到抗混滤波器的特性,一般应选取 3~5 倍。如果采用常规的处理方法,采样频率至少应达到 60 KHz,以此采样频率采样,即使只保证 1 Hz 的频率分辨率,一次采样数据点数也高达 6 万点。如此大的数据量要实现实时处理是非常困难的。导致数据量巨大的关键因素是 FFT 的频率等分辨率特性,为了保证倍频程低端的分辨率,就必须保证信号的长度。而为了防止离

散产生的频率混迭而又必须保证足够高的采样率。

在倍频程分析中,随着中心频率的从低到高变迁,各频段的带宽越来越宽。由于常规的 FFT 的频率分辨率是恒定的,单纯地采用 FFT 技术,必然导致不是高端段分辨率过剩,就是低端段分辨率不足的问题出现。为了实现变带宽分析,提出了并行变时基采样技术。

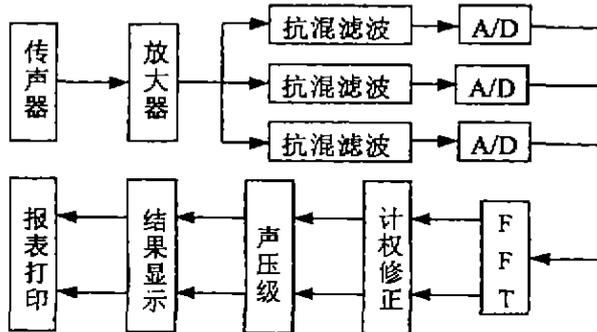


图1 噪声倍频程快速分析法方法流程图

并行变时基采样,如图1所示,将噪声信号放大后,送入并行抗混滤波;经抗混滤波后的信号并行输入到多路A/D采样板对不同通道采用不同采样速度进行离散化;各通道的离散信号进行常规的FFT变换,得到各分段对应的离散序列 $P[k]$;根据 $P[k]$,并考虑到式(10),求出 $p_{\omega}^2(\tau)$ 。求出 p_{ω}^2 后,根据式(4)和式(6),即可完成声压级和计权声压级的计算。

并行变时基采样技术考虑了软件和硬件各自的特点,通过合理安排各频段的分辨率,充分压缩数据量,提高处理的实时性,实现了倍频程快速分析。

3 虚拟噪声分析仪的开发

根据图1所示的流程,开发出了一种双通道虚拟噪声分析仪。仪器一路用于背景噪音测量,一路用于产品运行噪音测量。系统能够通过一次测量,完成1/1、1/3倍频程分析,线性、A计权、C计权倍频程分析及相应的声压级测量;报表打印、量程切换、平均次数切换等功能。

在硬件构成上,采用了一块12位16通道100K的通用板,自行开发了一块多通道并行抗混滤波器,利用微机及传声器、放大器构成了虚拟噪声分析仪的硬件环境。

基于本方法开发的虚拟噪声分析仪经计量检定,各项指标都超过了传统的噪声倍频程分析仪器,达到国外同类产品的先进水平。

按照虚拟仪器的设计思想,模拟常规仪器,将仪器界面设计成一个不可移动,不能改变大小,也不能随意关闭窗口的封闭系统,必须通过仪器面板上的开关、按钮才能对其进行操作。仪器面板如图2所示。在界

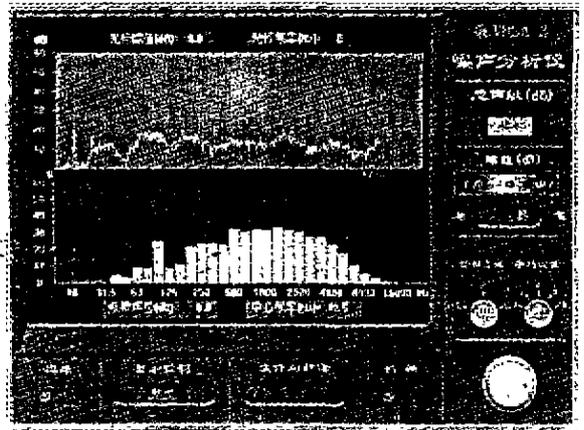


图2 虚拟式实时噪声倍频程分析仪面板

面接口设计中,完全采用3D图形控件来完成测试参数的设定和显示、控制测试进程。为了保证系统的稳定性和测试的可靠性。软件采用了单一进程、中断屏蔽、控件间的互连互锁以及鼠标“导航”等多种方法。由于系统面板与常规仪器外观相似,同时又具有与计算机硬件和操作系统的无关性,因此很容易被用户掌握。如果进一步与触摸屏相结合,便可摆脱键盘和鼠标构成操作上与硬件仪器一样的专用仪器。

4 结论

本文结合作者提出的基于FFT的实时噪声倍频程分析方法,详细介绍了虚拟噪声分析仪中的数字计权方法。这一方法,紧密结合虚拟仪器设计思想,充分发挥虚拟仪器用软件实现硬件功能的特点,采用软件代替了常规声级计的硬件倍频程滤波网络和计权网络。利用软件实现了对硬件非线性误差的补偿,大大地改善和提高了系统的精度和稳定性。以此为基础,开发的实时噪声倍频程分析仪具有成本低、精度高、可靠性好、测量速度快、操作简单等优点。仪器可简单地与数据库系统相连接,非常适合在流水线上进行产品检验,也可用于环境监测。

参考文献:

- [1] SHUREN QIN. Integrated Testing Technology and Virtual Instrument[J]. Proceedings of 1st ISIST(Luoyang, China), Sept. 1998:66-71.
- [2] BELL L H. Industrial Noise Control Fundamentals and Applications[M]. Marcel denker, 1994.
- [3] OPPENHEIM A V, WILLSKY A S. Signals and Systems[M]. Prentice-Hall, 1983.
- [4] MERTINS A. Signal Analysis, Wavelets, Filter Banks, Time-Frequency Transforms and Applications[M]. John. Wiley & Sons, 1999.

(下转第66页)

Numerical Simulation of Strata Movement Behavior in Deep Excavation

YIN Guang-zhi^{1,2}, DAI Gao-fei^{1,2}, WAN Ling¹, ZHANG Dong-ming^{1,2}

(1. College of Resource and Environmental Sciences, Chongqing University, Chongqing 400044, China;

2. The Key Laboratory of the Exploitation of Southwest Resources & the Environmental Hazards Control Engineering,
Ministry of Education, Chongqing University, Chongqing 400044, China)

Abstract: According to the complex conditions of deep excavation in Nantong mine, FLAC program are carried out for strata movement, ground pressure and surface displacement due to coal extraction. Based on the analysis of Nantong mine, the basic features of strata movement, the fundamental behavior of ground pressure and the related parameters of surface displacement are obtained. The results are of referential value for mining, supporting and preventing of surface displacement.

Key words: numerical simulation; FLAC, strata movement; surface displacement

(责任编辑 钟学恒)

{上接第 61 页}

Digit Weight and Development of a Virtual Noise Analyzer

YANG Chang-qi¹, QIN Shu-ren², ZHANG Yue-jun¹

(1. College resource and environment science, Chongqing University, Chongqing 400044, China;

2. College of Mechanical Engineering, Chongqing University, Chongqing 400044, China)

Abstract: Traditional noise octave analyzers consist of filter network and weight network based on hardware. In order to realize a noise octave analysis by software, a digit weight method based on FFT is proposed. Using the method, digit weight and digit system error modification for virtual noise octave analyzer can be realized. Because of digit weight and digit system error modification, precision and stability of the instrument can be improved greatly. As an application, which combines the method of digit weight with the technique of digit system error modification, a low cost and high precision virtual real-time noise octave analyzer is developed.

Key words: Noise measurement; Virtual instrument; Digit weight; FFT

(责任编辑 钟学恒)