

ENS3000 噪声监测系统研究与实现

浦云明¹, 汪志华¹, 乔峰², 梁军²

(1. 集美大学计算机工程学院, 福建 厦门 361021; 2. 厦门尚为科技有限公司, 福建 厦门 361009)

[摘要] 噪声监测系统需要解决海量监测数据定位、音频数据与分贝数据同步采集等问题。在研制 ENS3000 噪声监测取证系统中, 分析了噪声音频处理原理及编码算法, 包括一维离散余弦变换、小波变换等; 提出了音频数据分段存储格式, 解决了海量音频数据的快速定位问题, 保证音频跨段连续处理; 提出了分贝和音频采集合并技术以简化输入信道, 解决了音频数据和分贝数据的同步采集问题; 系统结构上采用双层散热和隔离设计, 解决了仪器散热和防水问题。

[关键词] 噪声; 测试; 小波变换; 监测系统; 远程控制

[中图分类号] TP 311

[文献标志码] A

The Research and Implementation of ENS3000 Noise Monitoring System

PU Yun-ming¹, WANG Zhi-hua¹, QIAO Feng², LIANG Jun²

(1. School of Computer Engineering, Jimei University, Xiamen 361021, China;

2. Xiamen Sunwei Science and Technology Co., Xiamen 361009, China)

Abstract: The noise monitoring system needs to solve several problems, such as how to locate the massive monitoring data, how to collect the audio data and noise decibel synchronous. In ENS3000 system, the principle of noise audio frequency processing and coding algorithm was analyzed, including Discrete Cosine Transform and wavelet transform. The synchronous problem between the audio data and noise decibel was solved, the special storage format which separated the audio data was used to find item in massive data, and insure audio data across segments to be processed continually, the technology combined noise decibel and audio data simplify the signal input channel, and insure the audio data and noise decibel collected synchronous. For the system was setup outdoor, the problem of heat dissipating, waterproof and ingress protection was solved by double-layer structure and isolating design.

Key words: noise; testing; wavelet transform; monitoring system; remote control

0 引言

噪声影响人们的学习、工作和生活, 但是现有噪声的监测方式、监测布点密度和监测频度不能反应城市噪声环境的现状^[1]。在线监测系统的应用能够改善城市声环境状况, 因此, 噪声在线、连续、自动监测系统的研制和应用得到了环保部门高度重视^[2]。

从国内外情况看, 环境噪声监测仪器在噪声测量、数据处理、传输技术方面比较成熟, 监测系统

应用计算机技术构建城市噪声地图、评估噪声污染和优化城市规划^[3]. 研究人员设计虚拟仪器监测噪声, 应用移动互联网技术实现数据共享和远程数据分析^[4]. 噪声监测布点方面, 采用自然路段布点和功能区噪声定期监测方法, 并运用无线网络 (WSN) 技术进行实时、动态监测^[5].

在噪声评价方法上, 一般采用计权等效连续声级, 并使用累积百分声级 (LN)、噪声污染级 (LNP)、昼夜等效声级 (LDN) 加以辅助修正. 航空噪声评价采用等效连续感觉噪声级 (WECPNL) 进行评价, 姚磊等人研究了监测终端频率计权参数、计量检定方法和性能评价^[6]. 噪声监测技术方面, 注重环境噪声预测方法和模型研究, 用数据为环境噪声治理和规划提供依据; 加强噪声的实验研究, 主要包括噪声信息频率成分、时间特性、空间特性、噪声信息的模拟研究; 实现噪声自动监测、均衡时段监测等研究^[1].

对噪声音频通过采样、量化和编码三个步骤, 实现了音频数字化处理. 常用的噪声音频编码技术可分为波形编码、参数编码和混合编码. 波形编码是将时间域上的信号转换成数字信号, 其原理是在时间轴上对模拟语音选取相应速率进行抽样, 然后选取幅度样本进行分层量化, 并进行编码. 在工程应用上, 波形编码技术包括脉冲编码调制 PCM、差分 DPCM 和增量调制 DM 等. 参数编码 (声源编码), 是在频率域或相应正交变换域上提取信号特征参数, 变换为数字信号后进行传输, 该技术压缩率较高, 但算法复杂, 合成语音的音质和抗背景噪声较差. 为获得以上两种编码技术的优势, 产生了混合编码技术, 主要编码方式包括: MPLPC、KPELPC、CELP 等.

音频变换最基本的思路是将时域变换转换为频域变换, 音频编码通常采用块变换技术, 去除信号冗余度并提高了压缩比^[7], 主要的音频编码算法包括离散余弦变换、小波变换等. 音频编码算法主要目的是去除信号冗余度以提高压缩比, 曲天书等人利用小波提升方法, 对音频信号进行分带处理增强了信号相关性, 提高了信号的压缩比^[8]. 马鸿飞等人研究了基于正交小波变换和音质模型的自适应比特分配音频编码算法, 提高音频编码质量^[9]. 缙新科等人^[10]在 DCT 变换基础上设计变步长 LMS 算法进行自适应噪声抵消研究, 在收敛速度、稳态失调和算法复杂度方面仿真研究取得了较好的效果. 小波变换的基本思想源于伸缩与平移, 与传统傅里叶变换由三角函数展开相比, 小波基函数为快速衰减、充分平滑、能量紧致且相互经由伸缩与平移所生成的函数集合. 小波算法先对水平方向数据进行变换, 然后对垂直方向数据进行变换^[11]. 因此, 对小波系数进行阈值处理可以去除信号噪声, 罗幼芝进行了小波变换用于信号去噪方法的研究^[12]. 与离散傅里叶变换和余弦变换不同, 小波变换有很好的时频特性, 使用短时尺度支持高频分析, 长时尺度支持低频分析, 这种特性有利于音频信号的处理和音质的保证^[9]. 何冬梅等人研究认为小波变换解决了傅里叶变换在时 - 频平面上固定的缺点, 对时间轴和频率轴进行非均匀划分, 使得时频分辨率随着频率变化, 这种时频特性更适合音频信号特点和人的听觉系统^[13].

以上研究尚存在海量音频数据的快速定位问题, 以及如何实现音频数据跨段连续处理问题, 为实现对噪声的实时、在线、连续地监测, 解决音频数据同步和存储等关键技术, 本文特研制 ENS3000 噪声监测系统, 以期能够为政府管理提供科学依据.

1 噪声音频处理

1.1 一维离散余弦变换 DCT

设 $\{x(m) | m = 0, 1, \dots, N - 1\}$ 是带宽有限信号采样的数据序列, 共 N 个采样值, 设为一维离散函数, 正变换定义为:

$$Y(0) = \sum_{m=0}^{N-1} x(m) / \sqrt{N}, k = 0, \tag{1}$$

$$Y(k) = \sqrt{2/N} \sum_{m=0}^{N-1} x(m) \cos(2m + 1)k\pi/2N, k = 1, 2, \dots, N - 1, \tag{2}$$

余弦变换后得到的系数矩阵为： $\mathbf{X}_A = [Y(0), Y(1), \cdots, Y(N-1)]^T$.
逆变换定义为：

$$x(m) = Y(0)/\sqrt{N} + \sqrt{2/N} \sum_{k=1}^{N-1} Y(k) \cos(2m+1)k\pi/2N, m = 0, 1, \cdots, N-1.$$

(3)

DCT 是一种正交变换方法，变换后的音频信源去除了与 Y 之间的相关性，确保了音频信源能量集中在变换系数 $Y(0), Y(1), \cdots, Y(N-1)$ 上，这些系数组成若干个系数带，并对这些系数带进行编解码。

1.2 小波变换

小波的设计基于这样的考虑：对于信源的处理，高频谱的信息，时间间隔要相对地小，以给出较高的精度；对于低频谱的信息，时间间隔要相对地宽，以给出完全的信息。有一个灵活可变的时间频率窗，在高中心频率时自动变窄，在低中心频率时自动变宽。在 ENS3000 系统中，从不同类型噪声去噪处理仿真和测试效果看，小波变换去噪效果好于离散余弦变换。

1.3 噪声评价

在测量仪器选择上，噪声计算使用频率计权，其可划分为 A、B、C 三种标准计权，分别模拟人耳对 40 方纯音、70 方纯音、100 方纯音的响应，分别称为 A、B、C 声级计。等效连续声级 L_{eq} 是以 A 声级为基础，用稳态噪声代替变动噪声，建立非稳态噪声评价量，用能量平均方法表示。等效连续声级计算公式：

$$L_{eq} = 10 \lg\left(\int_0^t 10^{L_A/10} dt\right),$$

(4)

其中， L_A 为 t 时刻的 A 声级， t 为测量的连续时间。

2 ENS 噪声监测系统

2.1 系统结构

ENS3000 噪声在线监测系统能实现全天候噪声环境在线监测，及时找到被监测点位超标噪声的强度、类型和产生规律，使得执法人员能够及时、准确地进入现场取证，有效地进行噪声超标管理。监测系统以全天候噪声在线监测仪为单元，根据监测的需要将超标噪声数据实时地传回环境监测中心服务器。在环境监测中心，执法部门不仅能了解到整个城市的声环境状况，而且还可以了解到超标噪声的具体数值和类型。应用大数据分析可以为管理部门决策提供充分的支持，为环境立法和环境噪声标准制定提供根据。图 1 是噪声监测系统结构。

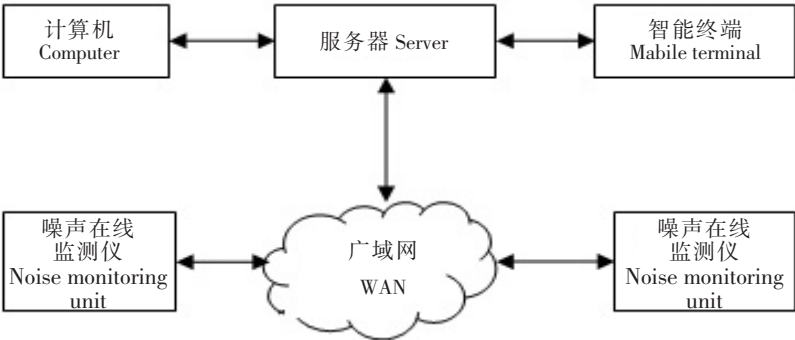


图 1 噪声监测系统结构
Fig.1 Noise monitoring system structure

2.2 设计模块

噪声在线监测识别系统是一个可配置、可定义的模块化结构，可配置的模块间采用“消息队列”为主的进程间通讯方式。模块是各自独立的可执行文件，系统运行时各模块以独立进程的形式存在于

系统中。模块间采用进程间通讯方式,模块间的通讯关系可以由 INI 文件来配置。

1) 分贝数据采集模块:分贝数据采集模块每秒从声级计读取 10 个原始分贝数据,计算每秒钟的等效声级 L_{eq} 和最大声级 L_{max} ,并将每秒的 L_{eq} 、 L_{max} 和原始分贝数据(可选)通过消息队列传递给相关模块。分贝数据采集模块处理声校准事件,在执行声校准期间屏蔽所采集的分贝数据。数据采样使用等效间距,使用等效连续 A 声级计算。由于声频率范围为 20 ~ 20000 Hz,算法处理时,将声频率分割为若干连续频段,每个频段设置一个带通滤波器,以测试各频段的声压值。对于频率比为 $2^{1/n}$ 的两个频率之间的频段称为 $1/n$ 倍频程,一般使用 $1/1$ 倍频程和 $1/3$ 倍频程,每个频程以它的中心频率 f_0 命名, $f_0 = \sqrt{f_u f_l}$, 上截频率 $f_u = 2^{1/n} f_l = 2^{1/2n} f_0$, 下截频率 $f_l = 2^{-1/n} f_u = 2^{-1/2n} f_0$, 带宽为 B , $B = f_u - f_l = (2^{1/2n} - 2^{-1/2n}) f_0$ 。

2) 音频数据采集模块:音频数据采集模块每次从声卡读取 1575 个 16 bit 音频采样(共 3150 字节),11 kHz 音频每秒读取 7 次,22 kHz 音频每秒读取 14 次,44 kHz 音频每秒读取 28 次。每次从声卡读到 1575 个 16 bit 音频采样后,向相关模块传递一次音频数据。音频数据采集模块处理声校准事件,在执行声校准期间屏蔽所采集的音频数据。为简化程序逻辑,无论系统是否需要采集音频,声卡始终处于工作状态。

3) 超标音频处理和传输模块:超标音频处理和传输模块负责对音频数据进行 OGG 编码压缩,音频 5 min 逻辑段分段处理,根据阈值采集规则判断超标事件。该模块每收集 5 min(1 个逻辑时间段)的音频和分贝数据后,将数据推入发送缓冲区并由数据传输模块将缓冲区内的数据发送到服务器。

4) 实时数据处理和传输模块:实时数据处理和传输模块负责实时分贝数据和实时音频数据的处理和传输。该模块侦听并根据服务器发送的“实时数据采集”控制信号决定是否处理实时数据。

5) 统计数据计算和传输模块:统计数据计算和传输模块负责 10 min、1 h 和 24 h 统计数据的计算,计算结果推入发送缓冲区并由数据传输模块将缓冲区数据发送到服务器。

6) 噪声系统其他功能模块:软件看门狗模块、LED 控制模块、液晶屏控制模块、LOG 处理和传输模块、调试信息处理和传输模块、在线升级模块、时间同步模块、系统运行状态维护模块、服务器通知处理模块。

2.3 监测系统关键技术

1) 连续无间断音频记录技术。连续无间断的音频记录是无法用一个音频文件来存储的,因为当音频增长到一定程度后,会给数据存储、音频解压缩和音频定位带来很大的困难。为了解决音频数据可以连续无间断地被记录下来、能快速定位到任意一个时间点并从该时间点往后提取任意长度的音频数据,技术上通过音频分段存储和压缩来达到预期的目的,实现音频数据连续处理。

2) 仪器散热和防尘防水技术。封闭式的结构设计虽然可以有效解决防尘、防水的问题,但不利于仪器散热;在箱体上布置散热孔虽然可以使箱体内部空气流通,但又会带来防尘的问题。通过反复试验和改进,最终使用隔离和双层散热的设计解决了仪器散热、防尘和防水的问题。

3) 噪声分贝与音频信号从单一传感器输出的技术。选择单一传感器输入有三个原因:简化信号输入通道;简化系统硬件结构;提高系统的稳定性和可靠性。为了使声级计和声卡共用一个声音传感器,笔者通过增加相应的电路,屏蔽和隔离措施解决了因共用传感器而带来的干扰问题。

2.4 监测系统功能模块

1) 噪声统计数据:噪声统计数据包含固定统计数据和即时统计数据。固定统计数据包括 10 min 统计数据,1 h 统计数据,昼夜统计数据;即时统计数据包括 5 组可配置的时间段统计数据。

2) 设备运行日志:设备运行日志包括系统日志信息、网络日志信息、错误日志信息、普通日志信息等。

3) 基本参数设置:基本参数设置页面为用户提供对噪声在线监测仪的基本参数配置项,包括本机网络 IP、掩码,噪声数据服务器 IP、端口,站点编号及站点名称,修改配置项重启等功能。

4) 昼夜、小时、10 min 数据: 显示监测点的昼夜统计数据. 用户可设置客户端下方的日期, 查询站点的历史昼夜数据、小时数据、10 min 数据.

5) 实时监测和统计查询: 实时获取监测点的分贝数据和背景音频. 用户可通过客户端实时获取噪声在线监测仪当前的分贝数据及音频数据.

6) 音频数据与统计数据: 系统显示监测点的历史音频数据. 用户可设置客户端下方的日期时间, 查询站点历史音频数据. 显示监测点即时统计数据, 查询站点历史数据. 提供对监测点固定统计数据按时间段查询. 显示监测点的日志数据及查询站点的日志数据.

3 结论

ENS3000 噪声监测系统能可靠地实时监测与报警, 具备数据保存和连续处理功能. 为噪声治理、智能交通、环保等领域提供科学依据和决策. 在安静小区应用可以提高小区居民参与管理和维护小区宁静环境的自觉性, 适应和谐社会发展需求. 系统在噪声的频谱输出功能、监测单元的自动远程校正技术和大数据分析应用方面还需进一步研究.

[参 考 文 献]

- [1] 秦勤, 张斌, 段传波. 环境噪声自动监测系统研究进展 [J]. 中国环境监测, 2007, 23(6): 38-41.
- [2] 闫旭晟, 杨建华, 夏永松. 基于 CDMA 网络的噪声监测技术研究 [J]. 压电与声光, 2012, 34(3): 466-469.
- [3] 赵利民, 李亚丹. 最小失真点位在噪声监测布点中的应用研究 [J]. 长春理工大学学报: 自然科学版, 2011, 34(4): 106-109.
- [4] 阳建雄. 基于 VI 和 Web 的环境噪声监测系统设计 [J]. 计算机与现代化, 2010, 1(3): 81-83.
- [5] 曹晓欢, 杨建华, 陈立伟. 基于 WSN 的分布式城市噪声监测系统设计 [J]. 传感技术学报, 2013, 26(8): 1159-1162.
- [6] 姚磊, 童宪. 环境噪声监测终端关键参数在线计量研究 [J]. 噪声与振动控制, 2013, 33(4): 232-236.
- [7] 杨得国, 周少利. 分布式多信源音频编码的方法研究 [J]. 江西师范大学学报: 自然科学版, 2011, 35(1): 54-56.
- [8] 曲天书, 何文欣. 一种基于提升小波变换的音频无损编解码方法 [J]. 数字信号处理, 2010, 34(12): 65-68.
- [9] 马鸿飞, 樊昌信, 宋国乡. 基于小波变化和音质模型的音频编码算法研究 [J]. 电子学报, 2000, 28(1): 26-29.
- [10] 侯新科, 陈卓, 李冬冬. 基于 DCT 变换的变步长 LMS 自适应噪声抵消算法 [J]. 兰州理工大学学报, 2014, 40(2): 93-97.
- [11] 彭玉华. 小波变换域工程应用 [M]. 北京: 科学出版社, 1999.
- [12] 罗幼芝. 小波变换应用于信号去噪研究 [J]. 吉林师范大学学报: 自然科学版, 2005(1): 62-63.
- [13] 何冬梅, 高文. 基于小波包和心理声学模型的音频编码算法 [J]. 计算机研究与发展, 2000, 37(3): 329-335.

(责任编辑 朱雪莲 英文审校 黄振坤)