

机场噪声实时监测系统的设计与应用

周卫华¹, 王朝立¹, 沈松², 陈辉²

(1. 上海理工大学 光电信息与计算机工程学院, 上海 200093;

2. 北京东方振动和噪声技术研究所, 北京 100085)

摘要: 机场噪声对周边社区居民的健康生活影响越来越突出, 解决噪声问题首先要对飞机噪声进行监测; 机场噪声实时监测系统采用双核 24 位 $\Delta-\Sigma$ 方式的 AD 采集技术, 利用 DSP 的计算能力, 实现飞机噪声数据的高速采集和实时计算; 利用计算得到的时间-声级曲线等参数识别飞机噪声事件, 并将声暴露级、声压等参数通过网络发送到云端进行处理, 得到有利于机场噪声管理所需参考文件。

关键词: 机场噪声监测; 双核采集; 噪声事件; 实时监测

Design and Application of Airport Noise Real-time Monitoring System

Zhou Weihua¹, Wan Chaoli¹, Shen Song², Chen Hui²

(1. School of Optical-Electrical Information and Computer Engineering, Shanghai University of Science and Technology, Shanghai 200093, China; 2. China Orient Institute of Noise and Vibration, Beijing 100085, China)

Abstract: The impact of airport noise on the healthy life of residents in surrounding communities is more and more prominent. To solve the noise problem, we must first monitor the aircraft noise. Use dual-core 24-bit delta-sigma AD acquisition technology in the airport noise real-time monitor system, and achieved the high speed acquisition and real-time calculation of aircraft noise data by using the computing power of DSP. Aircraft noise event is identified by using parameters such as calculated time-level curves, and the parameters such as sound exposure level and sound pressure are sent to the cloud for processing through the network, which get the necessary reference documents for airport noise management.

Keywords: airport noise monitoring; dual core acquisition; noise event; real-time monitoring

0 引言

近年来, 中国民航的发展越来越迅速, 民航机场规模不断扩大, 飞机起降频繁所产生的噪声污染问题日益突出, 成为目前民航机场面临的主要问题之一^[1]。机场噪声问题给机场周围生活的居民带来极大的危害, 影响人们健康和工作效率, 同时也将会限制国家民航业的发展, 所以需要通过对机场噪声事件进行实时监测, 并为机场噪声污染提供解决方案是民航业健康发展的关键。

噪声监测系统广泛布设在机场以及周边区域的监测点, 这些监测设备需要全天候长时间不间断对机场所在区域的噪声进行采集、传输、预处理和存储, 并进一步传送到噪声数据分析中心进行分析计算, 得到机场噪声分布规律, 从而为以后相关的噪声评价、预测等噪声解决方案提供数据上的支持^[2]。目前, 机场噪声监测主要是基于声级计的测量仪器, 采集数字声压信号通过串口板卡等传输至 PC 机, 然后在个人计算机软件分析计算结果, 实时性比较差;

固定监测点安装有工控机, 成本高, 环境要求高; 受限于技术、条件、成本等方面的限值, 无法再在机场周边大范围部署, 只能依靠经验、预测选取监测点^[3]。如今随着互联网的发展, 云计算技术发展迅速, 可以把这些技术应用到噪声监测上面^[4], 在机场周围合理布设噪声监测点, 获取高精度的机场噪声监测数据, 为机场噪声的管理提供更好的数据支持。

1 机场噪声数据测量

1.1 引用标准

机场噪声的测量必须依据国家相关标准, 目前国内机场噪声的测量方法依据的是 GB 9660-201《机场周围区域飞机噪声环境质量标准》^[5], 规定了机场周围区域土地利用类型的飞机噪声限值, 以及配套的监测方法和标准实施要求。本标准适用于民用机场周围区域飞机通过(起飞、降落、低空飞越)噪声的评价与声环境质量管理。

1.2 飞机噪声事件识别

通常飞机经过某监测点时, 随着距离越来越近, 监测点的噪声值逐渐升高并达到最大, 之后随着飞机逐渐远去, 噪声值逐渐降低。这一过程有两个特点: 1) 飞机噪声值高于背景噪声值; 2) 噪声会持续一段时间。根据这两个特点, 采用触发值和持续时间初步识别飞机噪声, 比如当噪声值高于背景值 10 dB(A)、持续时间 10 s 以上时, 系统

收稿日期: 2018-09-12; 修回日期: 2018-10-25。

基金项目: 国家自然科学基金(61374040)。

作者简介: 周卫华(1991-), 男, 河南驻马店市人, 研究生在读, 主要从事控制工程、嵌入式、模式识别与机器视觉方向的研究。

王朝立(1965-), 男, 河南郑州市人, 博士生导师, 教授, 主要从事机器人控制, 模式识别, 非完整机器人方向的研究。

认为可能是飞机产生的噪声，并将其记录为飞机噪声事件，时间 t_1 和 t_2 为分别为最大声级以下 10 dB (A) 的起始到终止的持续时间 T_c (s)，单次飞机噪声事件如图 1 所示。

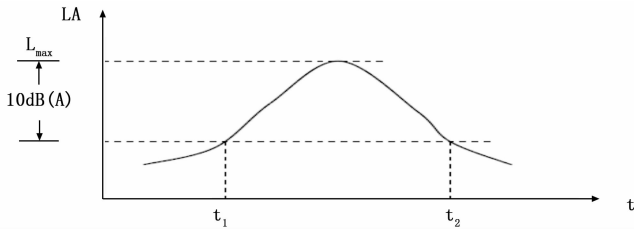


图 1 单次飞机噪声事件

等效连续声级是指在规定测量时段内 A 声级的能量平均值，用 L_{eq} 表示，单位 dB (A)。根据定义等效声级表示为：

$$L_{eq} = 10 \cdot \lg \left[\frac{1}{T} \int_0^T 10^{0.1 \cdot L_A} dt \right] \quad (1)$$

式中， L_A 为 t 时刻的瞬时 A 声级，单位 dB (A)； T 为规定的测量时段，单位 s。

考虑人们对飞机噪声的昼夜敏感性差异，将夜间飞机噪声值增加 10 dB (A) 的补偿量后得到的一昼夜等效连续声级 A 声级，用 L_{dn} 表示，单位 dB (A)。

$$L_{dn} = 10 \lg_{10} \left[\frac{1}{86400} \left(\sum_{i=1}^{N_d} 10^{0.1 \cdot L_{AEi}} + \sum_{j=1}^{N_n} 10^{0.1 \cdot (L_{AEj} + 10)} \right) \right] \quad (2)$$

式中， L_{AEi} 为昼间的第 i 次飞机事件的暴露声级； L_{AEj} 为夜间的第 j 次飞机事件的暴露声级； N_d 为昼间飞行架次； N_n 为夜间飞行架次^[5]。

2 机场噪声实时监测系统总体架构

机场噪声实时监测系统主要包含数据采集单元、DSP 实时计算单元、飞机噪声事件检测单元。数据采集单元将采集到的模拟信号进行处理得到数字信号，送到 DSP 计算单元实时计算得到时间—声级曲线等文件，检测是否为飞机噪声事件，通过网络将文件传输到云端供用户进行计算处理得到机场噪声报告。系统结构如图 2 所示。

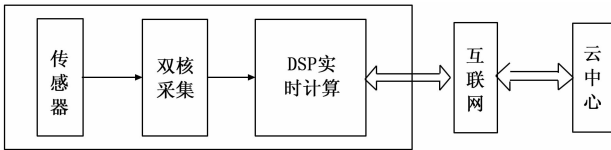


图 2 系统结构图

采集端传感器将采集到的物理信号转变为电信号，来自传感器的电信号往往很微弱以及有的传感器如压电式加速度计的输出量是电荷，还需要将其转换为电信号，这样的信号不能直接进行分析、处理，需要对信号进行调理，比如放大、滤波、电流电压转换传感器激励等。经过调理后的电信号需要做 A/D 转换处理。随着电子技术和计算机技术的发展，信号调理模块和 ADC 模块已经可以集成化及本文的双核采集设计，然后采集信号进过处理之后得到

数字信号送入 DSP 实时计算单元进行 IIR 滤波、加权处理得到时域及频域数据，比如声暴露级、声压级等机场噪声所需的数据，反映出机场噪声情况，然后通过网络将处理后的数据传输到云端进行存储供管理人员实时查看监测噪声数据，利用云服务强大的计算能力进行数据融合、计算。

3 160 dB 双核采集单元设计

3.1 宽量程的要求

由于 ADC 的输入电压范围、精度、动态量程范围是一定的，包含前置放大器的高质量传感器动态范围能够达到 140~150 dB。目前先进的数据采集系统是基于 24 位 ADC，理论上能够采集 144 dB 动态范围的信号，然而在实际由于谐波失真、串扰、电源干扰、EMC 耦合、ADC 非线性等原因造成 24 位 ADC 的动态范围不超过 110~120 dB，所以不能满足传感器 140~150 dB 动态范围，这样就需要对传感器采集的信号增加放大器或衰减器。然而，被测量的机场噪声信号的大小变化范围很大，传统的采集设备有三个放大档位对信号进行放大，不同大小的信号需要调整合适的档位放大来保证信号不会过载和欠载。目前放大器的放大倍数需要有经验的人员预测出信号范围，然后来调整放大倍数，不能根据信号大小自动切换到合适的放大倍数和量程，如果选择不当会发生过载、欠载和动态范围不足的情况，导致测试失败。即使利用软件程控的方法，也不能实现自动选择量程，特别是对于动态信号变化速度快的情况。这是因为放大器属于电子元器件，在参数变化之后都必须经过一段时间才能达到稳定状态。在连续实时测量过程中，如果改变放大器的放大倍数，则在达到稳定之前的一段时间内，其测量的数据是不可靠的。因此，在实际工程测量中，需要一种能够无需调整输入通道范围，实时选择合适量程，实现自动量程的数据采集^[6]。

国际主流产品已经采用更高的 24 bit 分辨率的 $\Delta-\Sigma$ 方式的 ADC，但是其动态范围仍然难以满足传感器的要求。采用双核采集方法来解决采集动态范围问题，相对于每个通道使用一个 ADC 方式，对每个通道设置两个不同输入量程的 ADC 协调工作，同时对输入信号进行量化，然后进行整合，来实现超宽量程范围，这样避免量程设置不当带来的过载、欠载和动态范围不足的情况。

3.2 双核采集单元的实现

采集单元采用双核采集，每路采集通道使用 2 个 ADC 协同工作，同步采样，每个 ADC 前使用不同的但固定的放大倍数，这样就同时得到多个量程下测量的数字信号，然后 FPGA 芯片对多个数字信号进行波形整合，实现框图如图 3 所示。

对于较大的信号使用 ADC1 输出的 Y1 作为输出的 Y，对于较小的信号，使用 ADC2 则可能导致信噪比不足而欠载，则选择 ADC2 输出的 Y2 作为作为输出的 Y。这样不论

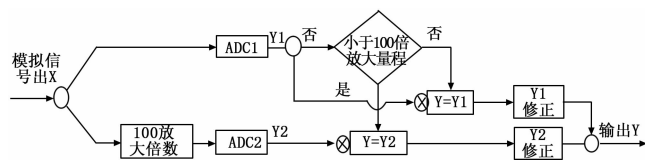


图3 双核采集结构图

输入的信号大小,都可以直接得到可靠采集的数据。此外双核采集单元采用的ADC为24位 $\Delta-\Sigma$ 方式,能够实现过采样、数字滤波和重采样的过程,结合8阶模拟滤波器,使得抗混滤波衰减率超过 -300dB/oct ,对可能导致混叠的信号实现有效的滤除。

经ADC转换之后的两路信号,由于硬件系统中元器件的不一致性,导致两路信号在幅值比例和基线等方面存在差异,如果直接把两路信号进行合并,则合并后的信号会发生严重畸变。根据最小失真原理,保证连接后的畸变导致信号失真最小为前提,对两路信号在FPGA中整合,实现两路信号的无缝连接。整合过程为:使用大量程的测量数据初步确定信号的大小,选择能满足该信号大小的最小量程下测量的数据,作为最终的采集数据。采集的数据还需要进行修正,以保证从两路信号中选择的各个部分具有一致性。通过对比两路信号相同时间点上的有效部分,得到修正系数后,对比数据进行修正,实现两路信号的无缝对接,修正使信号失真度达到最小。信号整合过程均在FPGA中完成,在硬件的数据流中实时完成对整个采样过程不产生任何滞后。

4 系统软件设计

系统监测前端软件按照系统功能模块分为噪声信号的采集以及实时计算模块。双核采集单元采集到的声音信号经过调理、整合之后得到数字信号,然后数字信号送入DSP中进行计算得到环境噪声的时域和频域数据,根据计算出的时间一声级曲线判断飞机噪声事件,然后将声暴露级、最大声级等参数传输到云端根据需求进一步处理。

4.1 系统主程序及初始化

软件开发中主要是解决频率计权、时间计权、倍频程分析以及机场噪声评价量的计算程序的设计。机场噪声信号采集应用程序执行流程是CPU从缓存DMA中读取采集到的噪声信号,然后经过ADC转换处理;实时计算模块首先进行计权、倍频程滤波算法处理,然后根据噪声评价量计算公式计算噪声评价量;系统的数据传输模块把实时计算得到的噪声参数发送至云中心进行存储和进一步数据融合。系统主程序执行结构图如图4所示。ADC采集初始设置流程如图5所示。

4.2 频率计权和时间计权

目前处理噪声信号主要采用数字滤波器来代替传统的A计权网络^[7-8],可以使用FIR和IIR这两种滤波器实现频率A计权。考虑到噪声测量只与声压的幅值有关,以及

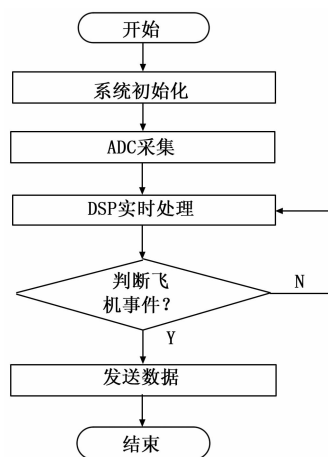


图4 主程序流程图

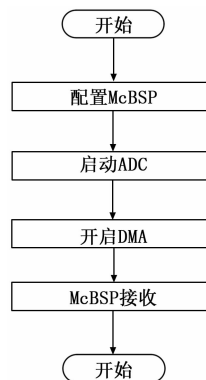


图5 ADC初始化流程图

DSP计算的实时性这两个因素,采用IIR滤波器来实现频率计权。J. Kennedy和R. Eberhart受鸟群觅食的社会行为启发,提出的基于群体智能的搜索优化技术—粒子群优化(particle swarm optimization, PSO)算法可以应用到IIR滤波器中,算法具有结构简单、计算量小、运行速度快,需要调整的参数少等优点。基于双线性变换的数字滤波器进行频率计权会产生较大的A计权误差^[9],基于PSO优化算法设计的IIR滤波器进行频率计权,利用群体合作与竞争产生群体智能,能够对双线性变换方法A计权误差进行优化^[10],所以采用基于粒子群优化算法设计数字滤波器实现频率计权。

时间计权是对瞬时声压的平方进行计权,特性主要取决于时间常数,实际应用中一般分为快、慢两档,根据声压与声压级的关系,声压级为已知声压与基准声压之比以10为底的对数的20倍,求出时间计权声压的声压级^[11]。时间计权声级的主要步骤如图6所示。

选择通道数据进行滤波计权,程序设置每接收64个点的采样数据后产生中断处理数据,由于双核采集单元能够采集的动态范围能够达到160 dB,所以在中断程序中不需要进行量程选择,然后对ADC转换后的数字信号进行频率、时间计权,在DSP中计算出需要显示的噪声评价量等

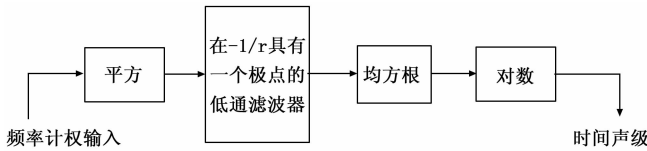


图 6 指数时间计权声流程图

效声级。

4.3 倍频程分析

倍频程分析是利用恒定带宽比分析声音的频谱特征，倍频程能较好的体现噪声带宽的能量分布情况。在中断服务子程序中进行倍频程分析流程是：第一步先初始化倍频程滤波器组索引值为 10，即计算出最高频带的的数据参数，求出测量时间内所有采样信号的平方和，计算出等效连续声级；然后 2 倍降采样，抗混叠滤波后再 2 倍抽取采样数据，当索引值递减为 0 则完成 1/N 倍频程分析，否则继续对下一频带进行倍频程滤波，完成之后计算指定时间内的等效连续声级、声暴露级等噪声评价量，倍频程分析流程如图 7 所示。

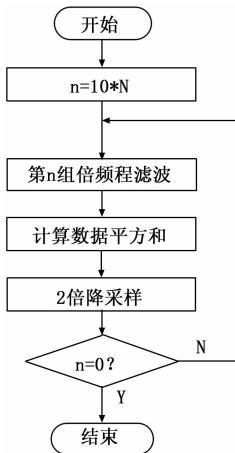


图 7 倍频程分析流程图

4.4 飞机噪声事件监测

飞机从远到近经过监测点，噪声值会逐渐增大，飞机经过噪声监测点上方时，噪声值会瞬间变的很大；当飞机飞离监测点上方时，噪声值会逐渐下降，这一过程就是飞机噪声事件。DSP 计算出等效连续声级 Leq ，得到时间一声级曲线，对比飞机噪声事件特征识别出飞机噪声事件，反映机场噪声情况。航空飞机噪声持续时间一般是在 20~50 s 之间，噪声事件判断流程是：每接收 50 s 数据进行一次噪声事件判断，如果不符合噪声事件特征舍去最后 5 s 的数据，接收新的数据直到数据持续时间达到 50 s，再进行事件判断；如果符合噪声事件，则舍去最后 45 s 的数据，继续接收数据直到持续时间达到 50 s，继续噪声事件判断，同时把噪声事件数据发送到云端。噪声事件识别流程如图 8 所示。

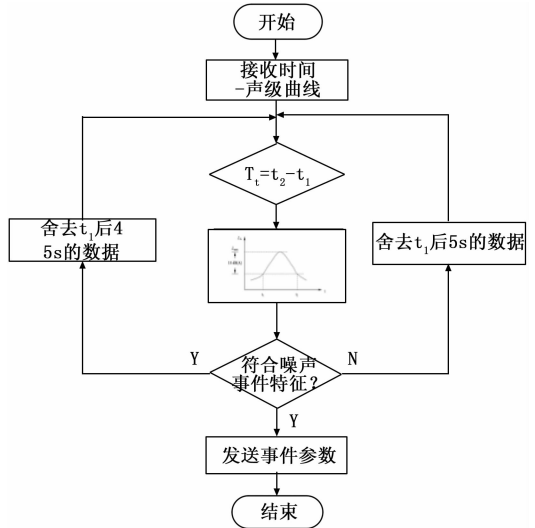


图 8 噪声事件识别流程

5 机场噪声监测系统的应用

机场噪声监测系统初步应用在东方所温州机场监测项目中，在机场附近的噪声敏感点区域选定监测点部署应用本系统的采集设备，测试时采集设备通过汇聚节点 4G 网络将机场采集到的噪声数据传输到云端。通过移动端设置监测参数，比如测点位置、环境信息等，经过三天的持续测试，系统能够监测到并实时显示飞机事件数据，包括飞机事件标识、最大声级、暴露声级、持续时间等参数。采集端上传的时间一曲线与国家航空标准中的噪声事件曲线变化趋势非常接近，说明系统能够准确识别飞机噪声事件。并且在移动端能够查看噪声监测的历史数据，报警信息等数据，还可以对存储在云端的数据进行离线分析，利用专业的声学软件对采集端传输的数据进行频谱分析等操作，提供管理人员所需的报表。

借助企业导师提供的资源，结合企业的温州机场噪声监测项目验证了本系统的可行性，系统监测温州机场的噪声数据能够很好的反映出机场噪声情况。

6 结束语

机场噪声环境污染问题越来越受到重视，所以机场噪声监测显得尤为重要，此次设计的机场噪声系统能够实时监测机场噪声情况，为机场噪声的预测以及机场噪声的评估提供可靠的数据基础。机场噪声监测系统采集到海量数据，随着现代物联网、大数据技术以及云计算技术的发展，未来可以利用大数据技术，深度挖掘数据信息，为机场噪声管理提供帮助，促进民航业的发展。

参考文献：

[1] 顾徐衡, 张佳萍. 浅谈中国机场噪声监控系统的发展 [J]. 环境监控与预警, 2017, 9 (4): 62-66.