

# 城市噪声污染及监测方法综述

沈 葦<sup>1</sup> 刘小峰<sup>1,2,3</sup> 向超胜<sup>1</sup>

(1. 河海大学物联网工程学院 常州 213022; 2. 江苏省特种机器人技术重点实验室 常州 213022;

3. 常州市特种机器人与智能技术重点实验室 常州 213022)

**摘 要:** 噪声会导致一些短期和长期的健康问题,例如睡眠障碍、心血管效应、精神状态差、听力障碍等,进而影响人们的日常生活与工作。为了解、认识城市噪声污染来源、时空演化规律,研究人员及相关机构提出了相应的监测方法与监测系统,主要为在特定地点布置监测点,这种方法及系统存在局限性,即难以大范围的刻画城市的噪声时空分布规律。移动式监测系统操作方便,部署灵活,能够较好的改善监测效果。介绍并比较了目前常见的专用监测系统,基于 WSN 的监测系统以及基于智能手机的监测系统,并展望了移动式智能监测系统的发展方向。

**关键词:** 环境噪声; 物联网; 自动监测; 时空分布; 噪声治理

**中图分类号:** TB533<sup>+</sup>.4 **文献标识码:** A **国家标准学科分类代码:** 510.4010

## Review of urban noise pollution and monitoring system

Shen Shen<sup>1</sup> Liu Xiaofeng<sup>1,2,3</sup> Xiang Chaosheng<sup>1</sup>

(1. College of Internet of Things Engineering, Hohai University, Changzhou 213022, China;

2. Key Laboratory of Special Robotics of Jiangsu Province, Changzhou 213022, China;

3. Key Laboratory of Special Robots and Intelligent Technology of Changzhou, Changzhou 213022, China)

**Abstract:** Noise can lead to some short-term and long-term health issues, such as sleep disorders, cardiovascular effects, poor mental state, hearing impairment, and thus affects people's daily lives and work. In order to explore the sources of urban noise pollution, and the spatiotemporal characteristics of urban noise pollution, researchers have developed various monitoring approaches and monitoring system, most of which are deployed in fixed sites. Therefore, these existing monitoring systems are difficult to characterize in a large scale thespetiotemporal distribution of noise pollution in urban areas. In contrast, mobile monitoring systems can offer monitoring data with high spatial resolution. This article reviews the current common monitoring system, such as WSN-based monitoring system and smart phone-based monitoring system, and poionts out the future development of mobile monitoring systems.

**Keywords:** environmental noise; internet of things; automatic monitoring; time and space distribution; noise control

## 0 引 言

近年来,噪声污染变得日趋严重。根据欧盟(EU)出版物统计,欧盟国家约40%的人口长期暴露于超过55 dB的道路交通噪声中;约20%的人白天暴露于超过65 dB的噪声中;晚上则有超过30%的人暴露于超过55 dB的噪声中。

城市中的噪声从时空上来看无时无处不在。从来源上说,噪声可以分为交通噪声,施工噪声,生活噪声等等。噪声对人的影响无论是生理方面还是精神方面都很大,100 dB的噪声,就会使人感到难受、耳鸣,严重时还会使人暂时性耳聋。而当噪声大于130 dB时人的血压,呼吸,脉

搏等都会受到影响,严重情况下会危及人的生命安全。据世卫组织称,世界范围内有3.6亿人的听力受损,其中3200万人是儿童。暴露于过度的噪声是其中主要的原因之一。

## 1 噪声的来源及危害

### 1.1 城市噪声的来源及分类

城市有很多噪声来源,主要是交通噪声、工业噪声和生活噪声。

交通噪声,主要是指现代城市中的交通工具所发出的噪声,如汽车、火车、飞机等的发动机声音,这些噪声的主要来源:1)车辆牵引系统,包括发动机、制动、排气;2)车轮和

道路或轨道的接口;3)空气位移,这在高速行驶中很常见。交通噪声不是不可避免的,可通过维护道路、建立隔音屏障、降低车速、增加公共交通、自行车或步行的频率等方法,从而最大限度地减少交通噪声。

**工业噪声:**工业噪声主要来源于机械设备、运输车辆的装卸、发电机和制冷设备、机械通风系统,特别是屋顶上的通风系统,动力设备,如用于物业维修的燃气动力叶轮鼓风机。科学的规划和规范的建设规则及其严格执行可以减轻这类噪声影响。

**生活噪声:**主要指人们日常生活中的娱乐活动、集体游行、商业活动、体育活动,相比于前面两种而言影响一般较小。规范的进行生活区和商业区的划分以及使用隔音建筑材料可以减轻这类噪声的影响。

从物理定义上来说,振幅以及频率无规律的声音称为噪声。从对人的影响来说,只要对人们的正常生活产生影响的都称为噪声。从频率上来分, $<400\text{ Hz}$ 的为低频噪声、 $400\sim 1\,000\text{ Hz}$ 的为中频噪声及 $>1\,000\text{ Hz}$ 的为高频噪声。

城市中的噪声具有多种来源,不可完全避免,对于不同种类的噪声来说,又都具有相应的减缓措施,在噪声源处,传播过程中,人耳处均可减弱。因此,科学规范的制定相关政策可以减少噪声的危害。

### 1.2 噪声对人的危害

噪声污染会导致重大健康问题,包括心脏病,认知障碍,睡眠障碍和耳鸣等,据 Fast Company 报道。睡眠中断可能是所有与噪声有关的最大的健康风险,会导致许多健康问题,包括困倦驾驶和代谢紊乱,可引起心脏病和2型糖尿病等疾病。

#### 1) 噪声会影响人的睡眠和休息

休息和睡眠是人们消除疲劳,恢复体力和保持健康的基本条件。但是噪声使人们睡眠质量很难保证。当人们睡不着觉时,他们会精神紧张,呼吸急促,脉搏加剧,大脑会变得兴奋,因此第2天会感到疲劳或四肢无力,因此影响工作和学习。随着时间的推移,会有神经衰弱,表现为失眠,耳鸣,疲劳。进入睡眠后,即使是 $45\sim 55\text{ dB}$ 的轻度噪声干扰,也会让人从睡眠状态进入半睡眠状态。睡眠状态下的人,大脑活动缓慢而有规律,可以得到足够的休息;而半睡眠状态,大脑仍然处于紧张的活跃阶段,这将使人们得不到足够的休息和身体恢复。进而造成工作效率低下。研究发现,噪声超过 $90\text{ dB}$ ,会让人感到不安,不能专注于工作。

#### 2) 噪声对人体的生理影响

噪声是一种恶性刺激,人耳如果长时间受到强烈的噪声刺激,听力会被削弱,甚至导致听觉器官损伤,噪声经常在人体中枢神经系统中起作用时,可以使大脑皮层兴奋和抑制反常,头晕、头痛、耳鸣、失眠、心悸、记忆力变弱,使人产生注意力不集中或其他症状,严重者甚至可产生精神错乱。

噪声可引起自主神经系统功能障碍,表现为血压升高或降低,心率变化,心脏病增加。噪声会使人唾液,胃液分

泌,胃酸下降,胃动力减弱,食欲不振,引起胃溃疡。

噪声对儿童的智力发展也有负面影响,噪声干扰了儿童的认知功能,包括注意力,记忆能力,阅读能力。这些影响对儿童的长期发展尤为重要。据调查,3岁的儿童生活在 $80\text{ dB}$ 左右的噪声环境中,他们的心智功能发育将受到严重影响,相比于正常的儿童,智力发展水平会下降 $20\%$ 左右。

## 2 环境噪声标准

环境噪声标准是保护人们健康和生态环境的必要条件。目前大多数国家都是采用国际标准化组织(ISO)推荐的指数(例如睡眠 $30\text{ dB}$ ),并根据国家和当地情况进行调整。

### 2.1 环境噪声基本标准

我国的噪声标准(表1)体系比较完善,且能比较好的与国际标准接轨。中国大部分城市根据当地特点颁布了城市环境噪声管理方法或规定,并且初步建立了城市环境噪声监测管理体系。

表1 中国国家标准

类别	标准编号	标准名称	说明
声环境 质量标准	GB 3096	城市区域环境噪声标准	
	GB 9660	机场周围飞机噪声环境标准	针对敏感目标
	GB 12348	工业企业厂界噪声标准	
噪声排 放标准	GB 12523	建筑施工场界噪声限值	
	GB 12525	铁路边界噪声限值及其测量方法	
	GB 22337	社会生活环境噪声排放标准	针对高噪声活动或场所
	GB 1495	汽车加速行驶车外噪声限值及车辆方法	
噪声辐 射标准	GB 16170	汽车定置噪声限值	
	GB 16169	摩托车和轻便摩托车加速行驶噪声限值及测量方法	
	GB4569	摩托车和轻便摩托车定置噪声排放限值及测量方法	针对高噪声产品
	GB19757	三轮汽车和低速货车加速行驶车外噪声限值及测量方法	

## 3 环境噪声的监测

### 3.1 监测位置的选择

根据监测的条件和对象的不同,有以下几种监测位置<sup>[1]</sup>的选择。

## 1) 普通户外

当使用车辆进行监测时,传声器应该置于车顶 1.2 m 左右的地方,为扩大监测范围,监测点应该置于噪声源 3.5 m 以外。

## 2) 对噪声较敏感的建筑物户外

对这类对象监测时,监测点距离反射面至少应 1 m 以上,距离地面高度大于 1.2 m。

## 3) 对噪声较敏感的建筑物室内

监测点距窗户约 1.5 m 处,距室内其他反射物约 1 m,距离地面 1.2~1.5 m。

中国特殊住宅区的环境噪声标准是指特殊需要安静的居民区,如休养区,高级酒店区;居民区,文化教育区是指纯居住区,文化教育等区域。第 1 类混合区是指混合区的一般商业区和居民区;第 2 类混合区是指工业,商业,少数交通区域和居民区的混合区域;商业中心区是指市区的商业集中区域;工业集中区是指当地政府指定的工业区;交通干线指的是每小时车流量 100 辆以上的道路。

噪声问题越来越多地受到政府和公众的关注,建立城市各种污染区域的监测系统,已成为加强城市环境噪声管理的必要手段。网络技术,嵌入式技术,地理信息系统 GIS,软件技术等现代技术的发展,为建立自动化环境监测创造了良好条件,自动噪声监测已成为必然趋势。

## 3.2 环境噪声监测现状

目前城市中开展的噪声监测主要有以下<sup>[1]</sup>几类:交通噪声监测,分区噪声监测,不同功能区噪声的监测,选择特征明显,具有代表性的位置,进行连续的监测。有的地方还开展了噪声源监测。目前广泛进行的监测活动主要有如下几种。

1) 交通噪声监测:主要在每年的春秋两季进行一次监测。

2) 分区噪声监测:主要在每年的春秋两季进行一次监测。

3) 不同功能区噪声或者噪声源的监测:大城市或者噪声污染较严重的其他城市每季度进行一次监测,一般在该季度的最后一月月末。其他监测地点每半年监测一次,6 月和 12 月进行测量。

环境监测布局越来越标准化。中国环境噪声监测分布是基于不同测量内容选择不同的分配方式。监测道路交通噪声在随机路段布点,距离路口 50 m 的地方布监测点,用其监测结果代替这个路段内的噪声水平。一整段道路的噪声水平,由各段的监测结果按长度的加权平均值得到。对于区域环境噪声,测量区域根据区域网格法均匀分布。常用的分布规模为 250 m×250 m,500 m×500 m,1000 m×1000 m 等。

## 3.3 噪声监测的参数

1) 等效连续 A 声级  $L_{eq}$ 

A 声级能够比较好的描述人耳对连续声音的强度和频率的主观感受,但却没有办法描述人耳对不连续声音的强

度和频率的主观感受,因此提出了等效连续 A 声级  $L_{eq}$  的概念。即在声场所覆盖的范围上的某点,用一段时间内的能量平均值来替代不连续出现的噪声 A 声级。

$$L_{eq} = 10 \log \frac{1}{T} \int_0^T \left( \frac{P_A(t)}{P_0} \right)^2 dt = 10 \log \frac{1}{T} \cdot$$

$$\int_0^T 10^{\frac{L_{PA(t)}}{10}} dt \text{dB(A)} \quad (1)$$

式中:  $T$  是监测持续时间,  $P_A(t)$  为 A 计权瞬时声压;  $P_0$  是基准声压;  $L_{PA(t)}$  为瞬时 A 声级。实际测量时,常常是间隔读数的,所以,式(1)可化为:

$$L_{eq} = 10 \log \left[ \frac{1}{\sum_{j=1}^n T_j} \sum_{i=1}^n T_i 10^{\frac{L_{PAi}}{10}} \right] \text{dB(A)} \quad (2)$$

式中:  $T_i$  为每次测量的时间间隔,  $n$  为测量的总次数,  $L_{PAi}$  是每一次测得的 A 声级。

对于连续的稳定噪声,等效连续声级就等于测得的 A 声级。

2) 累积百分声级  $L_N$ 

用于评估测量周期噪声强度的统计特性的指标,是以 dB(A) 表示的测量时间段的一定百分比的累积时间内的 A 声级的最小值,以  $L_N$  表示。最常用的是  $L_{10}$ 、 $L_{50}$  和  $L_{90}$ ,其含义如下:

$L_{10}$  为测量时间的 10% 时间 A 声级超过该值,相当于平均峰值噪声。

$L_{50}$  为测量时间的 50% 时间 A 声级超过该值,相当于平均中值噪声。

$L_{90}$  为测量时间的 90% 时间 A 声级超过该值,相当于平均本底噪声。

如果以相等的间隔进行数据采集,则  $L_N$  也表示  $N\%$  的数据超过噪声电平。

3)  $L_d$ 、 $L_n$ 、 $L_{dn}$ 

白天等效声级  $L_d$  定义为白天测量的等效 A 声级。

夜间等效声级  $L_n$  被定义为在特定时间段内在夜间测量的等效 A 声级。

昼夜等效声级  $L_{dn}$  定义为白天和夜间等效声级的能量平均值。

## 3.4 常用噪声测量仪器

## 1) 声级计

声级计是根据国际标准和国家标准按照一定频率的计权和时间计权测量声压级的仪器,是最常用的室内噪声仪器,可以进行环境噪声、机器噪声、建筑噪声等噪声测量。

## 2) 声级计的分类

按精度<sup>[2]</sup>来分:依据国际标准 IEC61672-1: V 2002 和国家计量检规定 JJG188-2002,声级计可分为 1 级精度和 2 级精度两种。

误差允许范围为 1 级声级计的准确度  $\pm 0.7$  dB。2 级声级计的准确度  $\pm 1$  dB。

一般按功能分为测量指数时间加权声级的常规声级

计;测量时间平均声级的平均声级计;测量声音暴露的声级计(以前称为噪声曝光仪);另外,一些噪声统计分析功能称为噪声统计分析仪;具有收集功能的称为噪声收集器(记录声级计);具有频谱分析功能的,称为频谱分析仪。

### 3.5 我国环境噪声监测发展历史及现状

中国的环境监测<sup>[3]</sup>始于 20 世纪 70 年代。20 世纪 80 年代开始正规化,专业化,并形成了相对独立的监测机构,并制订了相关标准。1982 年,中国制定了《城市环境噪声标准(GB3096-82)》和《城市环境噪声测量方法(GB3222-82)》。1986 年由国家环保总局发起。中国环境监测站组织有关部门制定中国第一个《环境监测技术规范(噪声部分)》,提供噪声监测项目、时间、频率、数据处理方法、数据报告程序等标准。中国的环境噪声监测工作逐步进行,现在绝大多数城市都实行道路交通噪声,区域环境噪声,功能区噪声监测。

近 10 年来,随着信息技术和网络技术的飞速发展,意味着环境监测从手动监控到计算机化,网络化转型。包括空气质量,水质污染监测在内的广泛的自动监测系统也得到了快速发展,网络技术、工业监控总线技术、软件开发技术<sup>[4]</sup>等都在环境自动监控方面有很好的应用。

### 3.6 国外环境噪声监测发展历史及现状

环境噪声监测工作往往伴随着环境质量恶化的进程,由于国外工业化和城市化进程较早,环境问题早于中国,开展环境噪声监测自然在我国以前。西方发达国家早先认识到环保的重要性,制定了一系列环保法规,重要手段来建立大规模的环境监测,强力推动环境监测技术的发展,特别是在美国、日本、丹麦等国家最为发达。日本已经能够自动监测固定噪声源,随时随地监测周边环境噪声源的干扰,以确定是否需要对其进行罚款,甚至关闭治理。国外大型国际机场配备了飞机噪声自动监控系统,并直接与机场塔网确定是否超标。在环境噪声监测技术领域,丹麦 B&K 等国际知名声学仪器开发公司的噪声监测设备已经能够进行自动测量、自动数据处理、信息自动传输、信息网络互联、监控信息共同引擎,以及对监测设备全天候问题的良好解决方案,能够很好的收集、处理和评估噪声监测。

## 4 几种噪声监测系统的介绍

目前常见的专用噪声监测系统一般由:定点监测单元,传输网络,控制计算机以及相配套的各种管理软件构成。这类监测系统的典型代表如丹麦 B & K 公司所生产的产品,一般都用于专用用途。例如机场噪声监测,城市主干道交通噪声监测。

使用的方法是在靠近道路、铁路、机场、工业区的区域,在相对较短的时间内测量,然后利用传播模型来生成噪声地图。

这类监测系统精度高,可靠性高,采用高端传感器和定制硬件组件,这导致了每个节点通常价格在数千欧元。由

于体积与成本方面的限制,该系统监测不能大规模,实时应用,因此数据的时空性不够饱满。

### 4.1 基于无线传感器网络(WSN)的噪声监测系统

为应对上述监测系统所存在的问题,人们想到了应用无线传感器网络。WSN<sup>[5-6]</sup>是一种分布式传感器网络,其外围设备是可以感测和检测外部环境的传感器。WSN 传感器无线通信,网络设置灵活,可以随时更改设备位置,可以有或无线连接到互联网,是一种由无线通信形成的多跳自组织网络。

WSN 广泛应用于军事、智能交通、环境监控、医疗卫生等多个领域。同样也可以应用于城市噪声监测系统。西北工业大学曹晓欢等人<sup>[7]</sup>设计了一种基于 WSN 的分布式噪声监测系统。该系统在 LabVIEW 环境下实现主机与网关节点通信,WSN 通信采用 TinyOS 系统下的 NesC 语言进行开发,同时与城市地图数据库相关联,以三维等高图的形式实时显示监测范围内的噪声强度分布。以城市中丰富的供电线路以及自身携带的太阳能电池板进行供电。经测试,该系统可长时间稳定的进行监测,实用性强,弥补了专用监测系统时空粒度差的缺点。但在测量精度及数据处理能力方面又不如前者。

基于 WSN 的噪声监测系统<sup>[8]</sup>主要分为 3 个部分,即噪声监测感知层、噪声数据传输层、监测结果应用层。基于 WSN 的系统<sup>[9]</sup>解决方案设计成本低,低功耗和自主性强,使其可以普及部署。这些系统<sup>[10]</sup>通常基于单板计算机,计算性能好,具有成本低廉的声卡(可能是 MEMS)麦克风。一般来说,系统的存储能力较低,处理低数据量的时候是没有问题的,传感器被设计为仅执行一个任务,通常是在一段时间内测量声音级别并发送数据到互联网上的中央数据库。但是附加处理,如自动分类在低端几乎是不可能的。

总体来说,基于 WSN 的噪声监测系统<sup>[11]</sup>(图 1)具有采集效率高,实时性好,耗能低,实用性强等优点。但是由于大量的布置,它的实际成本是否会优于传统的专用监测系统仍然值得商榷。

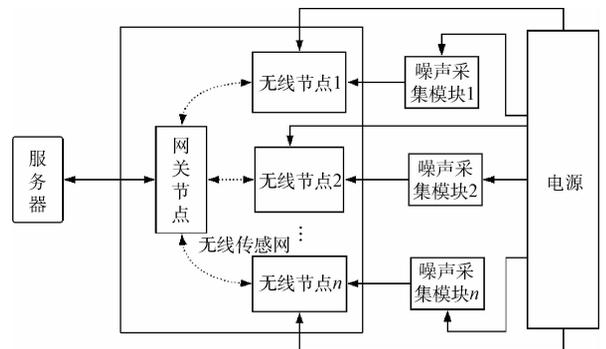


图 1 基于 WSN 的噪声监测系统结构

### 4.2 基于智能手机的噪声监测系统

基于无线传感器网络的灵感和趋势,使用配备有 GPS

的智能手机来进行测量成为目前较为流行的方式,具有高计算能力的智能手机的日益普及,互联网接入和集成传感器(如摄像机、全球定位系统、运动传感器)代表一个便宜但功能强大的无线传感器网络平台<sup>[12]</sup>,可现成广泛布署。手机可作为传感器由人类携带,而不是放置在静态位置,此外公民也可更直接参与。

近几年,随着智能手机的普及及应用,由于目前的智能手机上布满了各种各样的传感器,使利用智能手机进行噪声监测得以实现。通过使用配备全球定位系统的手机作为噪声传感器,地理位置和用户生成的数据就可以发送至共享数据库。从而解决目前噪声监测不能在时间和空间上同时高密度进行监测的问题。

典型的例子如 NoiseTube<sup>[13]</sup>,一个由欧盟委员会提出的收集欧洲主要城市噪声水平的计划。参与者的手机会安装一个应用程序将手机变成一个噪声传感器装置,此应用程序收集不同本地传感器的信息(噪声、GPS 坐标、时间、用户输入等),并发送至 NoiseTube 服务器,其中数据是集中处理的。由麦克风来记录噪声的响度水平,通过一个 A 计权录滤波器进行录音,使用图表来实时显示响度,通过不同颜色来表现噪声程度。还可以通过环境标签来注释噪声并给出烦恼等级。数据被发送至服务器后,用户可以在 Google Earth 上看到可视化显示界面。存在的问题是必须对噪声进行录音存储,对存放速度及存储空间有一定的要求。Ruge 等人<sup>[14]</sup>所设计的系统则通过采用 RED5 流媒体服务器解决了这一问题。

一般来说,这种系统由监测终端,应用程序,服务器组成。终端是手机自带的麦克风,通过一个实时信号处理算法来测量麦克风音量的大小。应用程序则是用来收集噪声水平、坐标、时间以及用户输入。然后上传至服务器。

手机的高度普及,有利于参与式感知的高传感器数量,都是使用手机进行噪声监测的优势。但是它也存在不足,Hoshino 等人<sup>[15]</sup>通过将手机与 Extechh7740 噪声分析仪进行对比试验,发现用手机进行噪声监测,仍然会出现以下问题,即手机麦克风的精度不够,非平坦和随着时间变化的频率响应,以及频率相关的校准和隐私问题,另一个问题就是如何激励人们参与环境监测的自主性。3 类噪声监测系统的比较如表 2 所示。

表 2 3 类噪声监测系统的比较

	1 类	2 类	3 类
硬件成本	--	+/-	++
灵活性	-	+	+
可靠性	++	+	-
精度	++	+	--

注:++代表低成本,高灵活性,高可靠性,高精度;1、2、3 类分别代表专用噪声监测系统、基于 WSN 的噪声监测系统和基于智能手机的噪声监测系统

### 4.3 几种关于噪声监测系统故障检测及优化系统

为解决目前噪声监测中数据代表性不够强的问题,通常人们采用通过大量的监测数据来较为客观的反映监测地点的噪声水平。这种方法需要大量的布置麦克风<sup>[16]</sup>来弥补其测量饱满度不足的缺点,Domínguez<sup>[17]</sup>等人介绍了一种能够以一个较低成本在户外大量布置的有源自检噪声测量传感器的网络,由于环境麦克风成本较高,于是以低成本的普通麦克风来代替,以高密度布置来补偿其较高的故障率,于是就对快速,可靠的故障识别技术有了需求,他们的解决方案是将扬声器与麦克风相对布置,定时或随机从扬声器产生频率刺激,根据反应值来判定是否故障,即:1)加入一个有源器件,产生刺激;2)定时或者按要求触发刺激;3)将反应值从 0~1 进行量化;4)找到一个阈值,定义故障;5)通过传感器网络报告测试结果,根据结果出发警报。

如图 2 所示,麦克风与扬声器在保护管的两侧,与配备有声卡的网络节点连接起来,音频和中继数据通过网络连接。麦克风由节点声卡的输入驱动,扬声器由声卡的输出驱动<sup>[15]</sup>。通过音频的扫频,扬声器使麦克风进行自我检测,软件模块包含于网络节点中。装置通过一个四芯电缆和 mini XRL 连接器与网络节点连接。此外为了便于校准及更换,对外壳也有一定的要求。这种设计的主要优点是成本低,便于大量部署,准确度高。

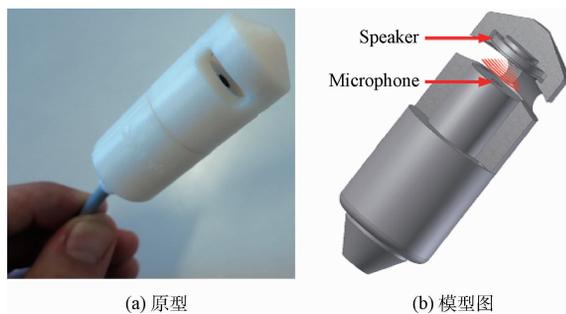


图 2 简单组合式自检噪声测量传感器

受限于传感器布置的数量,另一个目前噪声监测中存在的问题就是测量数据代表性不够强,因此 Hu 等人<sup>[18]</sup>提供了一个方法来构建噪声模拟和参与式噪声监测,从而解决了大多数噪声地图缺乏局部噪声特性的问题。主要思想是有效组织参与噪声数据,使路段上的噪声特性的粒度能够被动态的改善,并且然后提供合理的时空数据基础来支持噪声的模拟。在方法论中,介绍了一种协调参与式噪声数据的多阶段方法(图 3),该方法中有 3 个阶段。

#### 1) 空间匹配噪声数据到道路网络

在第 1 个阶段中,基本的空间定位组件有 3 个层次:几何表示,语义路网和空间匹配。几何表示:动态收集的噪声数据被抽象为包括空间(3D 坐标),时间和属性的多维特征尺寸,相应的数据结构包括人员 ID、路段 ID 等等,将噪声数据空间匹配到道路网络结构可以用作道路网络的基本几

何表达式。语义路网层次结构包括道路网、道路段和虚拟分区并指道路网络的拓扑描述。空间匹配层次结构有助于将动态噪声信息整合在线性度量中(例如虚拟分区)转换为基本道路网络。

### 2) 多时间尺度的噪声数据的动态估计

在同一位置发现的噪声信息是一个时间段的噪声值,在一段时间内,可以用来估计不同时间尺度的噪声值,可以通过组合噪声来计算给定时间段的噪声电平。

### 3) 基于时空的道路段动态分割

计算过程的最后阶段是在不同的时间段到达了实际划分的路段,形成了基于合并的每个路段的动态细分,通过相关时间尺度上的噪声值的比较来确定相邻的虚拟区分,根据正常条件下可见噪声变化的描述,选择最小可觉察的差值作为合理的阈值来分割估计噪声值。文章中提出的动态组织参与式噪声数据的综合方法在不同的时间尺度上改善了线性路段上的噪声信息。参与式和以人为中心的噪声监测方法可以用作理性的时空数据基础来支持噪声模拟。在提出的方法中,动态组织和噪声数据的管理是基于参与式感知的噪声监测分析,它同时考虑道路网络和时空聚合方面。结果可以作为地面真实信息进行模拟以改善噪声图像测绘。

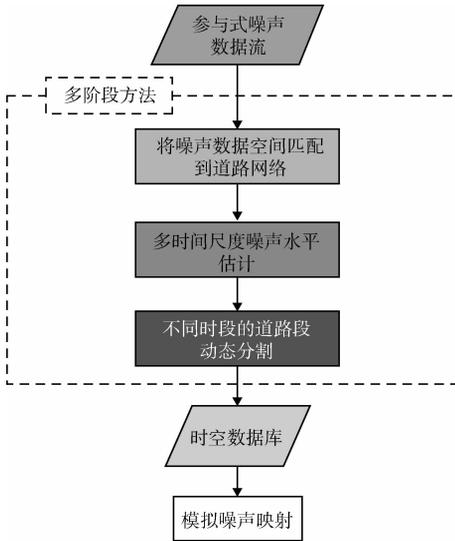


图3 多阶段方法框架

## 5 关于新型噪声监测系统的展望

通过对上述几种噪声监测系统的介绍可以发现,噪声监测系统的灵活性与可靠性方面存在矛盾,基于智能手机的监测系统灵活性性强,而且有利于进行参与式感知,但是手机自身的麦克风在精度及频率响应方面均存在不足;专用噪声监测系统及基于 WSN 的监测系统则不存在该类问题,但是在灵活性方面又不如前者。如何能够兼顾二者是目前存在的问题。

目前城市交通工具数量大,交通网络便利。因此,基于车载的移动式智能监测系统就可以很好地做到灵活性与可靠性的兼顾,而且在成本方面也不会太高。利用城市便利的交通网络,可以大大减少麦克风的数量,在城市交通工具上布置麦克风阵列,不同的时间/地点的车辆行驶过去,通过混合相干/非相干波束形成相结合的多个麦克风数据的位置与数据,来推断附近的噪声源的位置和强度。随着时间的推移,可以确定城市中的环境噪声模式。

受车联网的启示,基于车载的移动式智能噪声监测系统实时的监测道路两侧的噪声情况,多组数据被汇总分析后,还可以绘制出车辆行驶路线的噪声分布图,从而可以更好的选择出行路线。

## 6 结 论

本文介绍了目前城市噪声的分类来源以及对人们生活的影响,针对这些问题,国内外所提出的噪声监测标准以及所采取的措施。针对传统的人工监测的不足,提出了噪声自动监测的必要性,并对现有的自动监测系统从监测精度,成本、可靠性、灵活性等方面进行了详细阐述与比较。分析了现有的几种自动监测系统的不足,最后对未来的新型噪声监测系统发展方向进行了展望。

通过本文对目前噪声污染及监测现状的调研、分析和解析,将为相关研究人员建立城市噪声监测方法的整体概念,方便相关的技术人员选择切实可行的监测方法,并为其研究工作提供相关支撑。更重要的是能够意识到目前的噪声污染现状及其危害,能够提高自身的环保意识及更积极的投入到相关研究中。

## 参考文献

- [1] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局中国国家标准化管理委员会 GB 3096—2008 声环境质量标准[S]. 北京:中国标准出版社,2008.
- [2] 刘祥楼,王珏,高丙坤. 基于虚拟仪器技术的环境噪声网络监测通信技术研究[J]. 化工自动化及仪表, 2012, 39(5):635-638.
- [3] 王姗. 基于 ARM 和 DSP 的环境噪声自动监测系统研究[D]. 北京:北京交通大学,2014.
- [4] 乐晓妍. 城市道路噪声特性研究及噪声地图信息系统构建[D]. 杭州:浙江大学,2015.
- [5] SANTINI S. Wireless sensor networks for environmental noise monitoring[D] Zurich: Institute for Pervasive Computing ETH Zurich, 2009.
- [6] 雷斌,张鑫. 基于 WSN 野外监测系统应用层通信协议的研究[J]. 国外电子测量技术, 2015, 34(2): 43-46.
- [7] 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(8):

- 1159-1162.
- [8] 邱健,李庆光,李映超. 无线噪声监测系统的研究与实现[J]. 信息通信,2016(3):144-145.
- [9] MYDLARZ C, SALAMON J, BELLO J P. The implementation of low-cost urban acoustic monitoring devices[J]. Applied Acoustics, 2017,117: 207-218.
- [10] WESSELS P W, BASTEN T G H. Design aspects of acoustic sensor networks for environmental noise monitoring [J]. Applied Acoustics, 2016 (110): 227-234.
- [11] WHYTOCK R C, CHRISTIE J. Solo: An open source, customizable and inexpensive audio recorder for bioacoustic research[J]. Methods in Ecology and Evolution, 2017,8(3):308-312.
- [12] BECKER M, CAMINITI S, FIORELLA D, et al. Awareness and learning in participatory noise sensing[J]. Plos One, 2013, 8(12):e81638.
- [13] MAISONNEUVE N, STEVENS M, NIESSEN M E, et al. Noisetube: Measuring and mapping noise pollution with mobile phones [J]. Environmental Science & Engineering, 2009, 2(6):215-228.
- [14] RUGE L, ALTAKROURI B, SCHRADER A. Sound of the city - continuous noise monitoring for a healthy city[C]. IEEE International Conference on Pervasive Computing and Communications Workshops, 2013:670-675.
- [15] HOSHINO S, SHINOURA S, AKAMINE H, et al. On the use of sensor nodes and mobile phones for the assessment of noise pollution levels in urban environments [C]. International Conference on Networked Sensing Systems, 2009:31-38.
- [16] DAUWE S, OLDONI D, DE B B, et al. Multi-criteria anomaly detection in urban noise sensor networks[J]. Environmental Science Processes & Impacts, 2014, 16(10):2249.
- [17] DOMÍNGUEZ F, CUONG N T, REINOSO F, et al. Active self-testing noise measurement sensors for large-scale environmental sensor networks [J]. Sensors, 2013, 13(12):17241.
- [18] HU M, CHE W, ZHANG Q, et al. A multi-stage method for connecting participatory sensing and noise simulations[J]. Sensors, 2015, 15(2):2265-2282.

## 作者简介

**沈莘**, 硕士研究生, 主要研究方向为智能感知与信息处理。

E-mail: 294795188@qq.com

**刘小峰**(通讯作者), 教授, 博士生导师, 主要研究方向为自然启示的导航理论与技术、人机互动、神经工程。

E-mail: xfliu@hhu.edu.cn