

城市轨道交通列车噪声在线监测系统开发及应用^{*}徐 赞^{1,2}

(1. 中铁开发投资集团有限公司, 650500, 昆明; 2. 昆明轨道交通四号线土建项目建设管理有限公司, 650500, 昆明)

摘 要 [目的] 随着城市轨道交通的快速发展与扩张, 列车运营年限的延长导致噪声污染问题日益显著, 对乘客的乘车体验和健康造成了严重影响, 并直接影响到轨道交通企业的品牌形象和服务质量。因此, 有必要对列车运行过程中的噪声进行采集与监测, 以便有针对性地对噪声进行治理, 使治理效果达到最大化。[方法] 结合了噪声传感器、STM32 单片机、4G 传输模块、Keil μ Vision5、Python、OneNET 云平台等硬件和软件资源, 基于物联网技术设计并开发了一套针对城市轨道交通列车的噪声在线监测系统。[结果及结论] 该系统已成功应用于昆明地铁 4 号线进行测试验证, 其实现了对列车内噪声的实时监测, 具有采样周期短、数据精确度高、数据丢失率和延迟率低等优势。对于超出国家标准的噪声水平, 系统能够及时发出预警, 有效满足了设计预期目标。该系统还能够运用到其他环境噪声监测领域, 为环境噪声治理提供依据, 提升居民生活品质, 推动城市可持续发展。

关键词 城市轨道交通; 噪声; 在线监测; 云平台

中图分类号 U442.55

DOI:10.16037/j.1007-869x.2024.10.046

Development and Application of Online Noise Monitoring System for Urban Rail Transit Trains

XU Zan^{1,2}

(1. China Railway Development Investment Group Co., Ltd., 650500, Kunming, China; 2. Kunming Rail Transit Line 4 Civil Engineering Project Construction Management Co., Ltd., 650500, Kunming, China)

Abstract [Objective] With the rapid development and expansion of urban rail transit, the problem of noise pollution is increasingly prominent due to the continuous extension of train operation lifespan. This not only causes severe harm to passenger riding experience and health, but also directly affects the brand image and service quality of rail transit enterprises. Therefore, it is necessary to collect and monitor noise levels during train operation to implement targeted noise control measures, maximizing the effectiveness of noise mitigation efforts. [Method] With a combination of hardware and software

resources such as noise sensors, STM32 microcontrollers, 4G transmission modules, Keil μ Vision5, Python, and OneNET cloud platform, an online noise monitoring system based on IoT (Internet of Things) is designed and developed specifically for urban rail transit trains. [Result & Conclusion] The system is successfully tested and validated on Kunming Metro Line 4, achieving real-time monitoring of train interior noise with advantages such as short sampling cycles, high data accuracy, and low data loss and latency rates. The system can issue timely alerts when noise levels exceed national standards, effectively meeting the design objectives. Additionally, the system can be applied to other environmental noise monitoring scenarios, providing reference for environmental noise treatment, enhancing the quality of life for residents, and promoting sustainable urban development.

Key words urban rail transit; noise; online monitoring; cloud platform

随着城市轨道交通运营年限的增加和列车运行速度的加快, 设备老化等问题逐渐突显, 导致了列车在运行过程中产生较大的噪声。这些噪声对乘客的乘坐舒适性和工作人员的身心健康产生不良影响, 进而影响企业的发展。因此, 对列车运行过程中产生的噪声进行监测至关重要。通过监测列车噪声, 可及时发现噪声超标问题, 从而采取有效的降噪措施, 降低其对乘客、居民及工作人员的不利影响。

然而, 我国关于城市轨道交通噪声的研究起步较晚, 目前列车噪声自动化监测系统尚不成熟。其存在采样周期长、数据精度和准确率不高等问题, 这不利于降噪措施的实施。因此, 加强对列车噪声的监测与管理, 提升监测系统的精准度和实时性具有重要意义。

为了能够实时监测列车运行过程中产生的噪声, 本文设计了一套采集精度高、价格低廉、维护成

^{*} 云南省交通运输厅科技创新及示范项目(云交科教便[2024]33号)

本低、操作难度低和可用性高的列车噪声在线监测系统。该系统数据存储采用了 OneNET 云平台技术,并采用轻量级的 MQTT(消息队列遥测传输协议),实现对噪声数据的实时传输;数据网关采用 USR-G771 4G DTU 模块和 DevelopLink_SDRTU 软件相结合的方式,实现了数据转换和无线传输;噪声监测节点采用 STM32F03ZET6 型单片机完成数据采集与预处理。将该系统应用于昆明地铁 4 号线,结果表明,该系统能够实时监测列车内产生的噪声,并根据提前设定的参数对超出标准的噪声进行预警,具有一定的实践意义。

1 城市轨道交通列车噪声监测系统

当前,在列车内部噪声监测领域,普遍依赖传统方法,这些方法却因设备陈旧、操作人员技能参差不齐、监测点布局不科学、资源消耗巨大及数据准确性不高等弊端而面临挑战。随着城市轨道交通噪声监测技术的革新,自动监测系统逐渐崭露头角,然而,现有系统仍受限于高昂的设备费用、数据采集效率低下、数据传输延迟严重、灵活性不足、功能单一化及历史数据存储期限短等问题^[1-3]。

为有效应对上述难题,本系统在硬件设计上进行了全面优化:选用了具备高灵敏度和广泛测量频率范围的电容式麦克风噪声传感器,以确保精准捕捉列车内部各种噪声信号;同时,搭载了性能卓越且成本效益显著的 STM32F03 型单片机作为数据采集与控制的核心,实现高效稳定的数据处理;此外,引入了高速远距离传输的 4G 通信模块,以解决数据传输延迟问题,并提升数据采集的灵活性与实时性。这一系列硬件升级旨在构建一个高效、准确、低成本的列车内部噪声自动监测系统。

2 系统设计

2.1 需求分析

该系统主要用于城市轨道交通列车内的噪声实时采集和监测,相对于传统的城市轨道交通噪声采集方法,该系统具有数据采集、数据传输和数据可视化等功能,具体特征和功能如下:

- 1) 能实时监测并存储噪声数据,测量范围符合人耳听力特性;
- 2) 数据采用网络无线传输方式,传输速度快,数据丢失率低;
- 3) 能远程查看实时数据,形成清晰直观的可视化界面,并实现异常数据报警,历史数据存储轻

量化;

4) 方便易用便携,能采用灵活分布式布置方式,能自定义组合监测传感器数量;

5) 部件成熟可靠,成本低,无须对既有列车进行改造,不对车辆其他设备造成影响。

2.2 总体设计

城市轨道交通列车噪声在线监测系统主要由噪声数据采集、数据接入、数据远程传输、数据存储、数据处理、实时监控和数据异常报警功能等组成。数据采集和数据接入主要通过 STM32F103ZET6 型单片机控制接入电容式麦克风传感器的引脚完成;数据远程传输主要由 4G 传输模块完成。该模块具有通信和定位功能,能够快速定位噪声超标的位置;云平台完成数据存储、数据处理与分析,并根据设定的限值判断噪声是否超标,若超标则触动预警功能。噪声在线监测系统组成如图 1 所示。

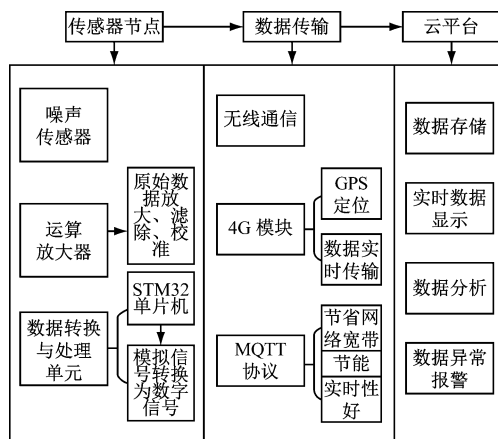


图 1 噪声在线监测系统组成

Fig. 1 Composition of noise online monitoring system

2.3 硬件设计

城市轨道交通列车噪声在线监测系统硬件主要包括噪声传感器、运算放大器、STM32 型单片机、4G 传输模块。噪声传感器主要用于采集列车内的噪声信息;运算放大器主要用于处理噪声传感器采集到的原始数据,包括原始数据放大、滤波、校准等;STM32 单片机主要用于处理采集到的噪声信息,对噪声数据进行预处理;4G 传输模块主要用于传输数据。噪声监测系统硬件连接如图 2 所示。

2.4 软件设计

为了使采集到的数据更直观、精准,该系统在设计时首先使用 Keil μ Vision5 对单片机进行开发,使用 Flymcu 将程序烧写到单片机中,以实现数据采集。数据采集开发流程如图 3 所示。

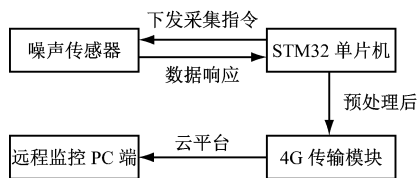


图2 噪声监测系统硬件连接图

Fig. 2 Hardware connection diagram of noise monitoring system

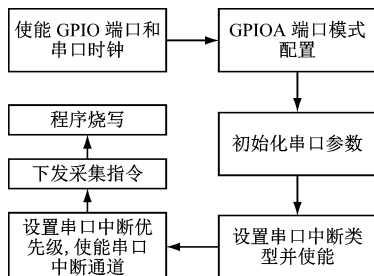


图3 数据采集开发流程

Fig. 3 Data collection and development process

该噪声在线监测系统采用的上位机软件是 DevelopLink_SDRTU, 利用 Python 程序和 MQTT 协议来实现云平台数据读取, 同时根据噪声评价标准来判断其是否超出国家标准。上位机软件采集噪声流程如图4所示。

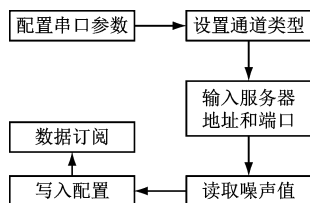


图4 上位机软件采集噪声数据流程

Fig. 4 Process of collecting noise data by upper computer software

2.5 系统优势

该系统在硬件配置上选用成本较低的噪声传感器、STM32 单片机以及 4G 通信模块等组件。其配套的程序设计具有可移植性, 可广泛使用于不同城市或领域的应用场景, 实现对各区域噪声水平的远程、实时、在线监测。安装过程简便灵活, 用户可根据实际需求及测试标准, 灵活移动采集设备, 满足多样化的个性化监测需求。在数据采集方面, 该系统具有较高的采集精度, 通过硬件和软件的结合, 实现了高达 300 ms/次的快速采集频率, 同时保证了数据的高准确率; 该系统还可实现数据轻量化存储, 长时间保存历史数据, 便于后续进行详尽的数据对比分析与深度挖掘。

3 实例验证

3.1 测试概况

为验证系统的实际应用效果, 本文选取昆明地铁 4 号线某列车进行验证。昆明地铁 4 号线自金川路站起至昆明南火车站止, 全线共计 87.17 km, 全部为地下线, 涉及昆明所有不良地质及城市区域类型, 具有较强的代表性^[4]。昆明地铁 4 号线运行列车为 6 节编组 B 型车, 测试时间为运营结束后的 0.5~3.5 h, 测试覆盖上下行全线, 测试时列车关闭客室广播等其他干扰音源, 列车采用 ATO 模式正常停站以模拟载客运行工况。

3.2 测点布置

噪声传感器布置方式按 GB 14892—2006《城市轨道交通列车噪声限值和测量方法》^[5]相关要求执行。本次测试将 6 台调试完毕的设备分别布置于每列列车客室纵轴中部, 距地板面 1.2 m 的位置, 测点位置实景图如图 5 所示。

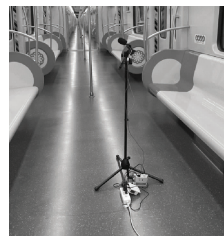


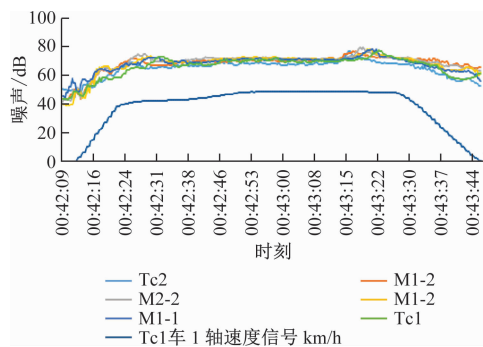
图5 测点位置实景图

Fig. 5 Position photo of measurement points

3.3 结果分析

测试过程中, 通过云平台网页端查看实时数据, 数据上传延迟低, 性能稳定, 可同时从不同端口进行查看, 能满足日常对于噪声在线监测的需求。对于超出国家标准的噪声值, 系统会发出报警声, 测试效果较好。测试结束后, 对采集的数据进行分析, 结果表明, 系统设备在测试过程中表现出高度的稳定性和精确度, 数据采集周期为 300 ms, 充分满足了列车运行噪声的时域分析需求, 且全程未出现数据丢失等现象。

以昆明地铁 4 号线某区间为例, 数据能清晰体现列车在区间运行过程中各监测点声压级的具体变化情况, 如图 6 所示。结合列车运行情况来看, 当列车启动或制动时, 噪声变化幅度较大。监测点声压级的大小和列车的速度在一定程度上成正比, 随着列车速度的提升, 噪声值相应跟着上升; 当列车速度趋于稳定时, 噪声值也趋于稳定。



注:Tc为带司机室的拖车;M为无受电弓的动车。

图6 某区间噪声值随列车速度的变化情况

Fig. 6 Noise values in an interval changing with train speed

图7为某车厢全线噪声值变化情况。由图7可知:数据详尽地反映了列车从起点站到终点站整个运行过程中监测点声压级的动态变化情况。结合列车的位置信息及其他相关数据,可准确地识别出线路上的噪声敏感点,这对于后续针对性地开展噪声专项治理工作具有重要的指导意义。

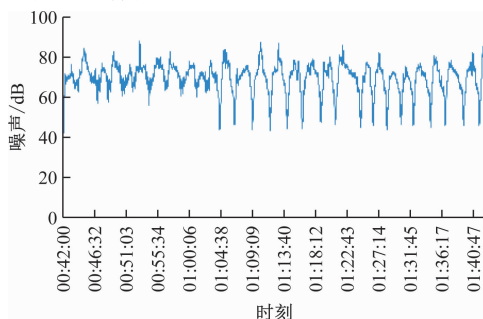


图7 某车厢全线噪声值变化情况

Fig. 7 Variation of noise values in a compartment along the entire route

3.4 噪声来源分析

根据区间数据分析结果可知,噪声值的大小和列车的运行速度密切相关,主要有以下几个原因:①当列车的运行速度较大时,空气对列车的阻力会增加,这会导致列车周围的空气产生湍流,形成噪声;②列车在高速运行时,其机械设备会产生更多的机械噪声;③列车在高速通过隧道时,会产生类似喇叭效应的现象,使噪声在隧道内回声增大。根据全线噪声数据分析结果可知,不同区间的噪声值也有所不同,这是因为昆明地铁4号线穿越了多样化的地质及城市区域,列车在不同地质条件下的运行会产生不同的噪声水平,特别是地质不良区域,其噪声值往往更高。因此,在后续的噪声治理中,这些区域应被作为重点关注对象。

4 结语

城市轨道交通的发展给人们的出行带来了巨

大的便利,但是其在运行过程中也产生了较大的噪声污染。它不仅影响了乘客的乘坐舒适性,还给人们的健康带来了威胁。因此,本文结合了硬件和软件,开发了一套城市轨道交通列车噪声在线检测系统,用于监测列车运行过程中产生的噪声,并在昆明地铁4号线进行了验证。结果表明,该系统具有精确度高、延迟率低、数据采集周期小等特点,能够实现对城市轨道交通列车噪声的在线实时监测。通过不断改进硬件设施和软件平台,提高系统的稳定性和可靠性,加强数据分析和处理能力,将使得这一技术更加成熟和普及。

参考文献

- [1] 林高翔,张辉,孟高扬,等. 地铁噪声在线监测系统设计[J]. 轻工科技,2019,35(10):83.
LIN Gaoxiang, ZHANG Hui, MENG Gaoyang, et al. Design of online monitoring system for metro noise[J]. Light Industry Science and Technology, 2019, 35(10): 83.
- [2] 徐洪彬,陈兴杰,朱文发,等. 地铁噪声在线监测装置的开发与应用[J]. 城市轨道交通研究,2021,24(7):178.
XU Hongbin, CHEN Xingjie, ZHU Wenfa, et al. Development and application of metro noise online monitoring device[J]. Urban Mass Transit, 2021, 24(7): 178.
- [3] DU Y, LIANG W, ZHANG X, et al. Research on the application of noise monitoring system along railway tracks based on real-time data acquisition and processing[C]// International Conference in Communications, Signal Processing, and Systems. Singapore: Springer, 2024: 257.
- [4] 赵福玉,刘伟,张旭,等. 昆明轨道交通4号线地质特征与应对措施[J]. 铁道工程学报,2022,39(4):84.
ZHAO Fuyu, LIU Wei, ZHANG Xu, et al. The geologic features and governance measures for Kunming Rail Transit Line 4[J]. Journal of Railway Engineering Society, 2022, 39(4): 84.
- [5] 国家质量监督检验检疫总局,中国国家标准化管理委员会. 城市轨道交通列车噪声限值和测量方法:GB 14892—2006[S]. 北京:中国标准出版社,2006.
General Administration of Quality Supervision, Inspection and Quarantine of the People's Republic of China, Standardization Administration of the People's Republic of China. Noise limit and measurement for train of urban rail transit: GB 14892—2006[S]. Beijing: Standards Press of China, 2006.

· 收稿日期:2024-03-25 修回日期:2024-06-13 出版日期:2024-10-10
Received:2024-03-25 Revised:2024-06-13 Published:2024-10-10
· 通信作者:徐赞,高级工程师,420605121@qq.com
· ©《城市轨道交通研究》杂志社,开放获取 CC BY-NC-ND 协议
© Urban Mass Transit Magazine Press. This is an open access article under the CC BY-NC-ND license