

地铁噪声在线监测装置的开发与应用*

徐洪彬 陈兴杰 朱文发** 林高翔 柴晓冬

(上海工程技术大学城市轨道交通学院, 201620, 上海//第一作者, 硕士研究生)

摘要 地铁列车运行引起的噪声问题日益突出, 监测地铁噪声对制定合理的减振降噪方案、缓解噪声污染具有重要意义。开发了一套集智慧硬件与开放软件于一体的地铁专用的噪声在线监测装置。该装置基于 NI Compact RIO 平台构建地铁噪声智慧采集硬件, 可实现地铁噪声数据的高精度采集、高效处理和实时网络传输。在 LabVIEW 软件平台上开发了客户端软件, 实现了监测数据分析、实时评估及可视化管理。在上海轨道交通 2 号线龙阳路站至龙阳路停车场区段实训线上的现场试点结果表明, 该地铁噪声监测装置满足测试要求。

关键词 地铁; 噪声; 在线监测; NI Compact RIO 平台

中图分类号 TB533+.2

DOI:10.16037/j.1007-869x.2021.07.039

Development and Application of Metro Noise Online Monitoring Device

XU Hongbin, CHEN Xingjie, ZHU Wenfa, LIN Gaoxiang, CHAI Xiaodong

Abstract The noise problem caused by the operation of metro train is becoming more and more prominent. Monitoring metro noise is of great significance to formulating reasonable vibration and noise reduction plans and to alleviating noise pollution. A metro-specific noise online monitoring device that integrates intelligent hardware and open software is developed. The device is based on the NI Compact RIO platform to build a metro noise intelligent acquisition hardware, which can achieve high-precision acquisition, efficient processing and real-time network transmission of metro noise data. Developing client-end software on the LabVIEW software platform enables monitoring data analysis, real-time evaluation, and visual management. The results of field trials on the training line from Longyang Road Station of Shanghai Rail Transit Line 2 to Longyang Road Depot show that the metro noise monitoring device meets the test requirements.

Key words metro; noise; online monitoring; NI Compact

RIO platform

Author's address School of Urban Rail Transportation, Shanghai University of Engineering Science, 201620, Shanghai, China

0 引言

噪声污染是城市的重要污染源之一, 地铁周边居民对地铁引起的噪声污染投诉越来越多^[1-3]。地铁引起的噪声具有噪声水平高、持续时间长、循环次数多、影响人群广等特点, 受到了众多专家与学者的关注与重视。目前的研究大多基于机理模型建立了车辆-轨道-高架桥-建筑物、轨道-大地-地基、车辆-轨道-车站-建筑物等^[4-5]耦合的大型三维有限元分析模型, 得到了不同工况下列车运行引起地表及临近建筑结构的振动与噪声特征。国内外地铁噪声监测技术的特点主要是评价参数多样化, 且现有通用的环境噪声监测设备功能单一, 缺乏有效的地铁噪声在线监测方法与设备。然而, 获取地铁运营期间实时噪声数据与实时噪声评价, 对于制定地铁噪声评价方法与降噪方案至关重要^[6-7]。

为此, 本文开发了一套地铁专用的噪声在线监测装置。该装置通过 LabVIEW 软件在 NI 公司的嵌入式 NI Compact RIO(以下简称“NI cRIO”)平台上进行开发, 利用噪声传感器、数据采集卡、NI cRIO 实时控制器、工业路由器。该装置集数据的采集、分析处理、通信、可视化等功能于一体, 可满足地铁噪声评价多样化的需求, 实现地铁噪声的实时获取与评价。NI cRIO 平台的总体设计方案如图 1 所示, 由噪声传感器、NI cRIO 控制器、数据采集卡、工业路由器等设备构建智慧化采集硬件, 实现地铁噪声的稳定、高精度采集。经过调理的信号在 NI

* 上海市科委重点支撑项目(17030501100)

** 通信作者

cRIO 控制器中进行分析处理,得到噪声的特征信号,通过工业路由器实时传输到监控中心服务器进

行显示、存储、交互。最后,监测结果也可通过平板电脑、智能手机等终端移动设备实时查看。

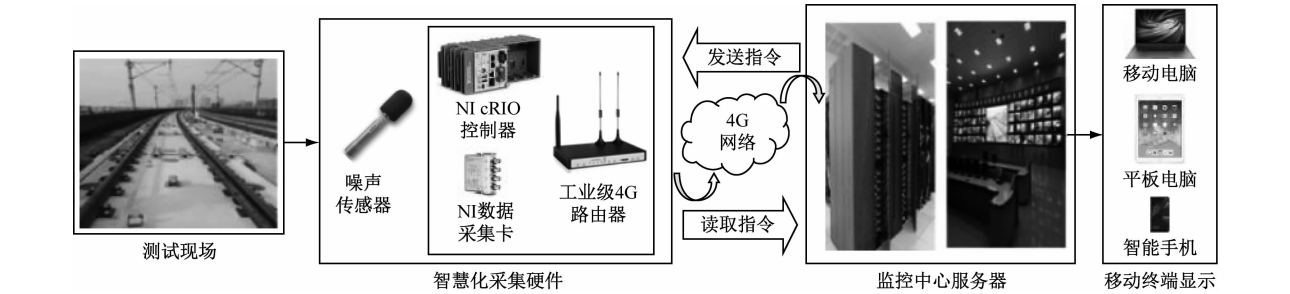
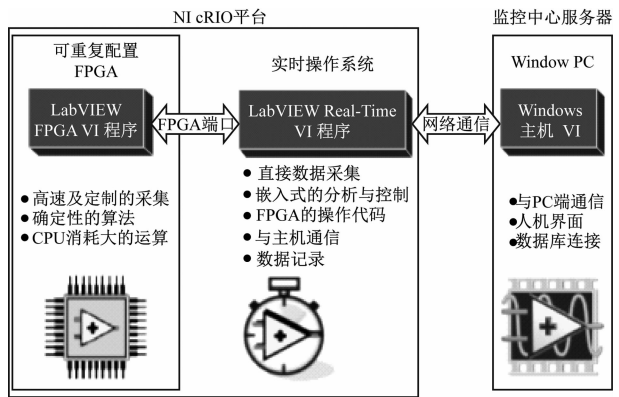


图 1 NI cRIO 平台的总体方案

1 基于 LabVIEW 的硬件程序开发

如图 2 所示,在 NI cRIO 平台上开发 FPGA(现场可编程门阵列)数据采集、RT(Real-Time)数据处理以及 RT 数据网络传输程序。



注:CPU——中央处理器;PC——个人电脑。

图 2 NI cRIO 平台的开发构架

硬件端的程序结构如图 3 所示。首先在 PC 端设计 LabVIEW 程序,具体包括数据采集模块程序设计、数据处理模块程序设计与数据通信模块程序设计 3 部分。其中:LabVIEW FPGA 软件设计数据采集程序,通过 Xilinx 编译器对数据采集程序进行编译,并将程序烧录到 FPGA Target 终端;LabVIEW Real-Time 软件设计数据处理程序与数据通信程序,

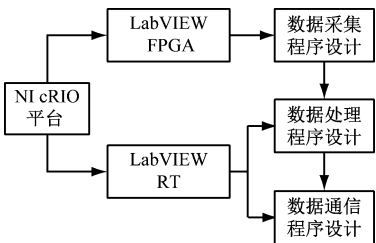


图 3 NI cRO 平台硬件端的程序结构

将数据处理程序部署到 NI cRIO 实时系统中,并通过 Target to Host-DMA FIFO 程序实现 FPGA 与 RT 之间的通信。数据分析处理完成后,再由 RT 将数据发送到监控中心服务器。

1.1 数据采集程序设计

数据采集程序设计流程如图 4 所示,经过对信号输入模式、信号采样频率、采集通道等进行设计后,进入数据采集循环程序,进行数据采集。

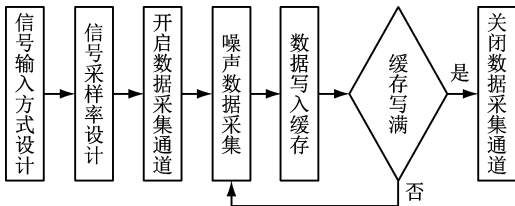


图 4 采用 FPGA 软件进行数据采集程序设计的流程

采用 FPGA 软件进行数据采集,其具体程序为:

1) Input Configuration. VI 程序用于配置噪声传感器信号的输入模式,有 DC coupled(直流耦合)、AC coupled(交流耦合)、IEPE AC coupled(压电集成交流耦合)3 种信号输入模式可选。

2) Data Rate. VI 程序用于配置数据采集卡的采样频率,可根据实际需求设计不同的采样频率。该装置设定的采样频率为 51.2 kS/s。

3) interrupt. VI 程序为轮询请求,可通过 RT 通信控制 FPGA 的采集中断与否。

4) Mod1/Start. VI 程序为启动 NI9234 数据采集卡采集通道的程序,以采集噪声数据;Mod1/AI0-AI3. VI 程序为外部的 I/O(输入/输出)接口控制程序,外部的 I/O 接口直接和传感器相连,可直接通过数组和示波器读取采集到的噪声原始信号电压值。

5) 将采集到的噪声信号写入缓存 FIFO Meth-

od. VI 程序中,通过对缓存 FIFO(先入先出存储器)的设计实现了 FIFO 与 RT 的通信。

6) 外部循环结构(While 循环程序)每执行 1 次,就完成 1 次数据的采集与写入;程序出现错误或中断请求时即关闭数据采集通道。

7) 通过 Xilinx 编译器将所设计的地铁噪声数据采集 FPGA 程序部署到 NI cRIO 机箱的 FPGA 中,从而在硬件中实现数据采集程序的开发。

1.2 数据处理程序设计

1.2.1 数据接口程序

在 RT 端开发数据处理程序模块,主要包括数据接口程序、数据处理程序。数据接口程序用于 RT 端与 FPGA 端的通信,实现从缓存 FIFO 中读取 FPGA 采集的数据。通过 FPGA Target-RIO. VI 程序建立 RT 端与 FPGA 端的通信通道,然后通过 Reset. VI 程序与 Data and Input Configuration. VI 程序实现在 RT 端修改采集端各参数的功能,避免重复编译底层的 FPGA 程序;Run. VI 程序、Wait on IRQ. VI 程序、Acknowledge IRQ. VI 程序用于实现在 RT 端控制 FPGA 采集程序的中断;通过 Data-Read. VI 程序读取 FPGA 中 FIFO 缓存中的数据,将采集到的数据传输到 Waveform. VI 程序中。在 RT 端对原始实时数据进行查看,当数据写入缓存被占满,立即中断 FPGA 采集程序。

1.2.2 数据处理程序

噪声数据处理程序流程如图 5 所示,经过获取队列引用、队列状态、数据出队列、信号转换以及计权重处理,可分别获得等效连续 A 声级、1/3 倍频程噪声、噪声时域信号和实时噪声信号。

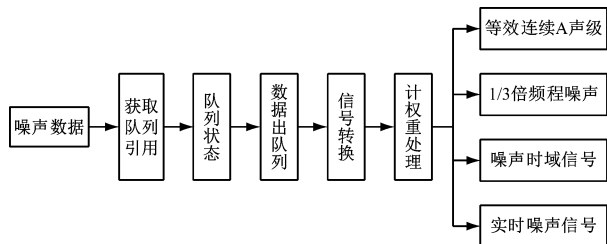


图5 噪声数据处理程序设计流程

在噪声的数据处理程序中,用获取队列引用程序将写入的队列元素调用出来,使用 Get Queue Status. VI 程序与 Enqueue Element. VI 程序读写队列中的元素/数据;通过 Scale to EU. VI 程序将传感器采集到的电信号转换成标准声压信号,标准声压信号

经过 Third Octave Running. VI 程序处理后输出 1/3 倍频程信号。根据噪声评价标准,把标准声压信号传输到 A,B,C Weighting Filter. VI 程序做 A 计权重处理,将计权后的信号用 Running Leq. VI 程序做等效连续 A 声级处理,最后分别输出噪声实时信号、等效连续 A 声级信号、噪声时域信号。

1.3 数据通信程序设计

地铁噪声在线监测的数据传输使用 UDP(用户数据包协议)。图 6 为数据传输程序设计流程图。数据网络传输程序包括噪声数据获取的程序、发送端口程序、UDP 发送结束的程序。

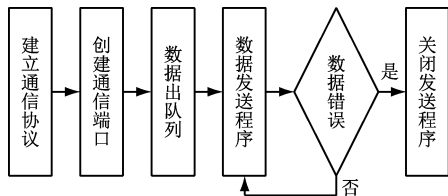


图6 采用UDP的数据通信程序设计流程

利用 UDP Open. VI 程序建立 UDP,并创建本地端口。将队列元素程序中获取的数据写入 UDP Write. VI 程序中,要提前创建接收数据端/服务器的 IP(互联网协议)及服务器的端口号,然后将队列索引的数据写入并发送到服务器端。数据发送结束后,关闭 UDP 通信,释放 NI cRIO 的实时系统内存。

2 客户端程序设计

地铁噪声在线监测客户端人机交互界面主要包含监测区域信息和噪声监测数据两部分。其中:监测区域信息模块需要包含监测点位置、监测点编号、接入点数量以及监测点状态;噪声监测数据模块包括被监测区域所采集到的噪声时域信号、等效连续 A 声级、1/3 倍频程噪声和实时噪声信号。

3 工程实例

本文选取上海轨道交通 2 号线龙阳路站至龙阳路停车场区段的实训线作为案例。在该区段内高架桥噪声敏感区域设置监测点,如图 7 所示。

根据 GB/T 5111—2011《声学 轨道机车车辆发射噪声测量》,该监测装置的噪声采集传感器布置如图 8 所示。龙阳路实训线为上下行双线线路,传感器位于距上下行轨道几何中心线处。



图 7 现场测试线路实景图



图 8 传感器安装与系统调试

目前,该噪声监测装置已在案例区段安装完成,并对噪声敏感区域进行现场监测。用户可以通过监测中心服务器客户端实时查看地铁运营期间的噪声评价参数。图 9 为监测中心服务器的客户端

界面,可显示地铁运营期间实时的噪声评价参数、监测路段信息及监测点状态。测试结果表明,本文开发的地铁噪声监测装置满足测试要求。



图 9 监测中心服务器客户端界面截图

4 结语

1) 利用 LabVIEW 语言在 NI Compact RIO 平台进行硬件开发,开发了 FPGA 数据采集程序,实现了地铁噪声数据的实时、高效采集;开发了实时的数据处理程序及数据通信程序,分别实现了噪声数据的分析与处理,以及数据的实时、高效传输。

2) 利用 LabVIEW 语言在监控中心服务器端开发了应用客户端软件,实现了监测区域信息、监测状态信息、测数据的可视化交互。

3) 在上海轨道交通 2 号线龙阳路站至龙阳路停车场区段实施的测试表明,该监测装置切实可行,实现了地铁噪声的实时采集、网络传输及终端显示。

参考文献

- [1] 贺建良,万泉,蒋伟康.高架城市轨道交通的噪声特性分析[J].城市轨道交通研究,2007(8):57.
- [2] 易强,王平,赵才友,等.高架铁路环境噪声空间分布特性及控制措施效果研究[J].铁道学报,2017(3):120.

(下转第 186 页)

表 5 实现 UTO 路径③的列车服务可靠度变化要求

指标名称	准 UTO 开通前要求	UTO 正式运营前要求	UTO 正式运营要求
列车服务可靠度(5 min)	不低于目标值的 80%	不低于目标值	不低于目标值
列车服务可靠度(10 min)	不低于目标值的 80%	不低于目标值的 1.016 倍	不低于目标值

表 6 实现 UTO 路径④的列车服务可靠度变化要求

指标名称	UTO 开通前要求	UTO 正式运营前要求	UTO 正式运营要求
列车服务可靠度(5 min)	不低于目标值的 80%	不低于目标值	不低于目标值
列车服务可靠度(10 min)	不低于目标值的 80%	不低于目标值	不低于目标值

3 结语

本文为新建 FAO 线路提供了检验初期运营前和正式运营前的运营指标值。若 FAO 线路采用分步实现 UTO 运营的方式,则建议在表 2 的基础上,选择相对应的“列车服务可靠度”变化要求对线路进行检验。此外,根据推算可知,“10 min 以上列车服务可靠度”能够较好地区分是否需工作人员登车处置事件。目前,虽然既有线路较少统计该指标,但建议 FAO 线路应将此指标纳入统计中。

参考文献

[1] IEC. Railway Applications-Automated Urban Guided Transport (AUGT)-Safety Requirements: IEC62267—2009[S]. Geneva: IEC, 2009:11.

[2] 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. 轨道交通 自动化的城市轨道交通(AUGT)安全

要求 第 1 部分:总则:GB/T 32588. 1—2016[S]. 北京:中国标准出版社,2016:2.

[3] 中国城市轨道交通协会. 城市轨道交通全自动运行规范 第 1 部分:需求:T/CAMET 04017. 1—2019[S]. 北京:中国铁道出版社,2019:3.

[4] 中华人民共和国交通运输部办公厅. 城市轨道交通初期运营前安全评估技术规范 第 1 部分:地铁和轻轨:交办运[2019] 17 号[S] 北京:中华人民共和国交通运输部办公厅,2019:5.

[5] 中华人民共和国交通运输部办公厅. 城市轨道交通正式运营前安全评估规范 第 1 部分:地铁和轻轨:交办运[2019]83 号[S]. 北京:中华人民共和国交通运输部办公厅,2019:3.

[6] 上海市交通运输行业协会. 城市轨道交通全自动运行线路初期运营前安全评估技术规范:T/SHJX 0019—2020[S]. 上海:上海市交通运输行业协会,2020:19.

[7] 中国城市轨道交通协会. 城市轨道交通全自动运行规范 第 6 部分:初期运营基本条件:T/CAMET 04017. 6—2019[S]. 北京:中国铁道出版社,2019:4.

(收稿日期:2021-03-23)

(上接第 181 页)

[3] 许平洋,陈雷,夏小东. 城市轨道交通噪声测试分析[J]. 城市轨道交通研究,2016 (12):111.

[4] 曾钦娥,雷晓燕. 高架轨道轮轨噪声预测分析[J]. 城市轨道交通研究,2016 (2):11.

[5] 杨新文,王金,练松良. 轨道交通轮轨噪声研究进展[J]. 铁道

学报,2017 (9):100.

[6] 陆可人,刘艳,张天琦,等. 城市轨道交通高架桥结构噪声声场分布及传播规律研究[J]. 城市轨道交通研究,2018 (1):30.

[7] 刘庆杰,孙茂棠,雷晓燕. 铁路环境振动实时监测分析系统开发[J]. 城市轨道交通研究,2016 (5):53.

(收稿日期:2019-07-11)

欢迎订阅《城市轨道交通研究》

服务热线 021—51030704