

## 基于 IoT 传感器网络的实时钢轨检测系统<sup>①</sup>

于晓东<sup>②\*</sup> 赵玉良<sup>③\*</sup> 刘志强\* 牛轩煜\* 沙晓鹏\* 谷林\*\* 詹志坤<sup>③\*\*\*</sup>

(\* 东北大学秦皇岛分校控制工程学院 秦皇岛 066004)

(\*\* 中铁山桥集团有限公司 秦皇岛 066299)

(\*\*\* 燕山大学电气工程学院 秦皇岛 066004)

**摘要** 本文针对铁路部门对线路进行定期巡检和列车状态监测的实际需求,提出一种基于物联网(IoT)传感器网络的实时钢轨检测系统,包括 ZigBee 检测端、ZigBee 传输端和云端服务器 3 部分,用于长距离实时采集钢轨振动信息,分析扣件松紧程度、列车载重及运行速度等状态参数。与传统检测系统相比,该系统将多种传感器融合,并利用分段通信方式将检测端数据上报至云端,具有功耗低、成本低、不占用轨道资源等优点,并可实现 24 h 实时监测,大大提高了铁路轨道检测的效率和质量。综合实验表明,利用本文系统能够有效区分钢轨扣件的正常和脱落 2 种状态,结合特定型号的列车参数还可计算出列车的车厢数量、运行速度和载重等。本系统可实现性强,能够融合多种复杂算法,未来有望在铁路部门的故障定位和实时监测任务中发挥更关键的作用。

**关键词** 物联网(IoT)传感器网络;钢轨检测系统;加速度传感器;钢轨扣件;激励响应

## 0 引言

铁路作为客货运输的主要方式,在社会经济和人们的日常生活中发挥着重要作用<sup>[1]</sup>。随着列车运行速度和列车载重的不断提高,保障列车运行的安全性、可靠性越来越成为铁路系统部门工作的重点和难点<sup>[2]</sup>。为了使列车能够按照规定的速度,平稳、安全和不间断地运行,必须保证铁路始终处于相关技术标准所规定的良好状态,因此要求铁路线路养护部门定期对铁路线路进行系统检查。

在铁路线路的养护修理作业中,轨道扣件松脱检测是主要任务之一,目前铁路部门常采用人工巡检和动态轨道检查车巡检 2 种方式来实现。前者依靠巡检工人沿铁路线对重要部件进行逐一排查,并以目测方式给出检查结果,该方法由于受人的主观

影响较大,因此所需时间长,效率低,漏检、误检率高<sup>[3]</sup>。后者利用大型轨道检查车来进行钢轨检测,不仅可以反映出扣件在列车车轮荷载作用下的松动情况,而且由于减少了人为因素,检测效率和准确率均有所提高。但是巡检过程需要占用轨道资源,无法同时检测列车运行过程的状态参数,例如列车速度、所经过的车厢节数等,因而无法完成长时间实时监测任务。

近年来,计算机、微机电系统(micro-electro mechanical system, MEMS)传感器及各种通信技术的迅速发展,为铁路扣件松脱检测和列车状态自动探测技术的发展提供了良好基础<sup>[4]</sup>。研究人员提出了许多低成本、低功耗的技术解决方案<sup>[5]</sup>,包括基于铁路综合数字移动通信(global system for mobile communications-railway, GSM-R)的列车检测系统<sup>[6]</sup>、基于射频识别(radio frequency identification,

① 国家自然科学基金(61873307)和秦皇岛市科技计划(201801B008)资助项目。

② 男,1993年生,硕士生;研究方向:智能传感器;E-mail: yxd930404@163.com.

③ 通信作者,E-mail: zhaoyuliang@neuq.edu.cn; zkzhan@ysu.edu.cn

(收稿日期:2019-10-18)

RFID)技术的检测系统<sup>[7,8]</sup>和无线传感器网络(wireless sensor network, WSN)系统<sup>[9,10]</sup>。其中,基于GSM-R的列车检测系统主要利用无线通信技术进行列车内部或列车之间通讯,若要同时完成检测任务,则需额外加装检测模块,因而检测成本增加。基于RFID技术的测量系统,其信息传递过程是间断的,如果标签间隔较远,则无法将线路变化信息实时上报。而无线传感器网络系统,其前端采集设备采用的是小型低成本的传感器,能够大规模监控铁路网,且工作时对列车所处的运行环境干扰最小,因此该技术在列车检测和线路状态监测领域得到了普遍关注和广泛应用<sup>[11,12]</sup>。

Milne等人<sup>[13]</sup>将MEMS加速度计和检波器分别固定在同一轨枕上进行了检测对比实验,结果表明,二者测得的轨枕位移值近似相等,而由于MEMS传感器成本更低、鲁棒性更强,因此在铁路检测方面具有更大优势,适合用于列车轨道的长期监测。但是,该团队目前仅给出了验证性实验结论,在普适性和可靠性上还需要进一步研究。Broquetas等人<sup>[14]</sup>采用MEMS陀螺仪来获取列车的转弯速度,提出了一种基于两级多速率匹配滤波器的改进检测器,与简单的阈值检测器相比有明显的改进。但该团队仅针对道岔进行了检测,而缺乏针对钢轨或列车运行状态的检测应用研究。Suharjono等人<sup>[15]</sup>利用MEMS加速度传感器MMA7455检测到了列车经过时的钢

轨振动加速度,从而判断出是否有列车通过,并计算出了列车通过时间,但该团队仅完成了离线检测研究,而并没有将检测结果上传至相关铁路部门进行实时在线分析。

本文结合物联网传感和无线通讯技术,提出了一种基于物联网(Internet of things, IoT)传感器网络的钢轨检测系统,用于实时采集列车激励下的钢轨振动信息,进而分析轨道扣件状态及列车运行状态。与传统钢轨检测系统相比,该系统方案兼容多种通讯技术,不占用轨道资源,可长距离、长时间实时采集钢轨扣件和列车的状态数据,为铁路监管部门提供充足的原始数据以便于进行分析研究,大大提高了铁路轨道检测的效率和质量。

### 1 实时钢轨检测系统

本文提出的基于IoT传感器网络的实时钢轨检测系统,总体设置如图1所示。该系统主要由 ZigBee 检测终端、ZigBee 传输端(无线中转节点)和云端服务器等3部分构成,数据的逐级传输分别采用无线 ZigBee 网络、窄带物联网(narrow band Internet of things, NB-IoT)和互联网(Internet)实现。首先,ZigBee 检测终端设备采集钢轨和列车运行的相关数据,并通过 ZigBee 网络传输到 ZigBee 传输端的存储单元中。然后,ZigBee 传输端将存储单元中的原始

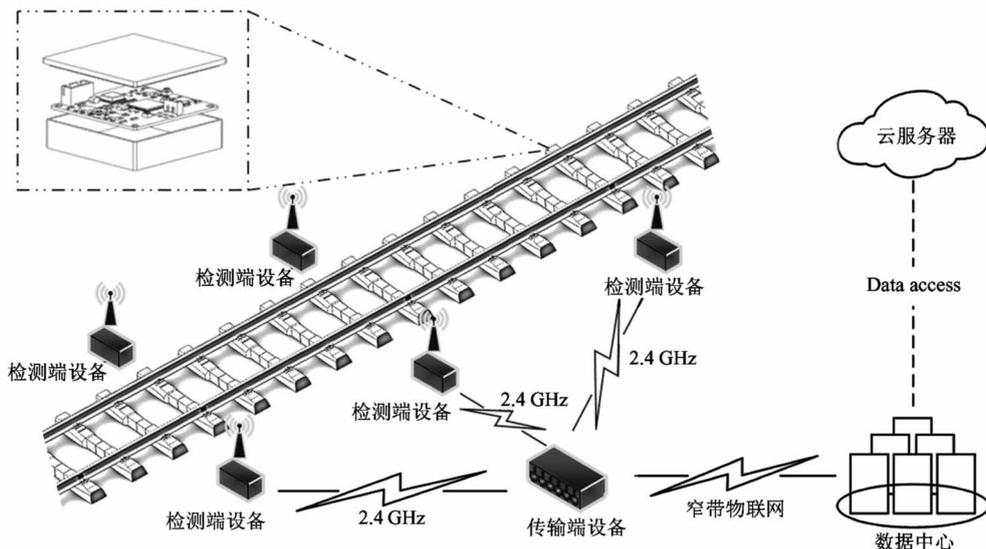


图1 基于无线物联网传感器的钢轨实时检测系统原理图

数据通过 NB-IoT 网络传输到云端服务器,云端服务器对数据进行处理和分析。最后,各部门相关用户可以利用客户端计算机和互联网定位 ZigBee 检测终端设备节点,并查看各项数据,以完成实时监控。

### 1.1 无线数据采集系统

无线数据采集系统主要由 ZigBee 检测终端设备组成,主要任务是采集钢轨的振动加速度信号,测量待测点周围环境的温度和湿度,确定待测点的地理位置,并将这些数据通过 ZigBee 网络传输到无线中转节点。其中,数据采集由加速度传感器、磁场传感器和温湿度传感器完成,待测点的精确地理位置则通过全球定位系统(GPS)模块提供的经纬度信息获取。为了将传感器采集到的各类数据准确、有效地传送到无线中转节点,每个检测端装置均配有 ZigBee 模块。数据采集和发送的整个流程则由微控制单元(microcontroller unit,MCU)进行合理控制,各模块通过如图 2 所示的方式与 MCU 连接,其中,ZigBee 模块和 GPS 模块通过异步收发传输器(universal asynchronous receiver/transmitter, UART)与 MCU 连接并完成数据通信,加速度传感器和磁场传感器通过 IIC 接口与 MCU 连接,而温湿度传感器与 MCU 的连接及数据通信则由 I/O 接口实现。

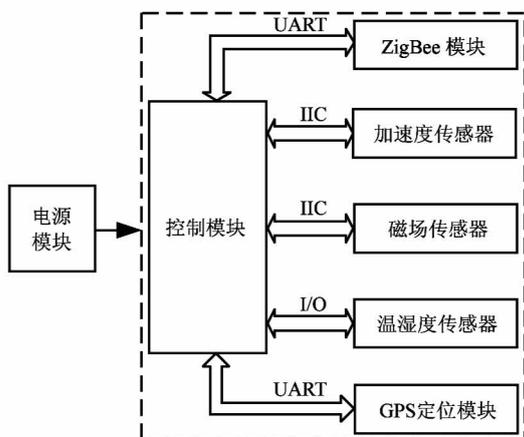


图 2 检测端整体结构

本文的研究任务是长期实时监测铁路轨道状态,数据采集、传输和存储的任务十分繁重,因此要求核心处理器必须具有快速的数据处理能力、丰富的通信接口和大量的存储空间。STM32F103RET6 采用工作频率为 72 MHz 的高性能 ARM Cortex-M3

内核,数据处理速度在存储器的 0 等待周期访问时可达 1.25 DMips/MHz(DhrystONe2.1)。芯片配置了丰富的通讯接口,包括 2 个 IIC 接口,5 个 UART 接口,3 个 SPI 接口和 CAN 接口等,能够兼容串行、并行、同步和异步等数据传输类型。此外,芯片还内置了 128 kB 闪存和 20 kB SRAM,数据存储空间大,存储速度快。因此,选择该款芯片作为系统的核心处理器可以满足本文的检测和数据处理任务。

列车激励下的钢轨振动加速度信号,能够反映出列车运行的多种参数,如速度、载重、通过时间等。其频率范围在 1 200 ~ 1 300 Hz 之间<sup>[16]</sup>,因此加速度传感器的测量带宽必须能够覆盖列车振动的频率范围。设计电路时,为适应铁路现场环境,满足节点功耗低、尺寸小的设计要求,还应尽量选择低功耗、小封装的工业级器件,正常工作电流应在 150  $\mu$ A 以下。此外,由于列车在钢轨上行驶时,会遇到由路基不平所引起的钢轨微小倾斜或外力冲击,因此加速度传感器还应满足特殊情况下的加速度测量需求。

表 1 给出了不同型号的加速度传感器性能参数,通过对比和综合考虑,本文最终选用 ADXL345。该加速度传感器的测量带宽最大为 1 600 Hz,正常工作电流低于 140  $\mu$ A,且尺寸小、测量范围达到  $\pm 16$  g,可实现 3 轴加速度数据的同时测量,能够完全满足本文对钢轨振动信号的检测要求。该加速度计还具备在特殊情况下进行可靠测量的能力,不仅可在倾斜检测应用中测量静态重力加速度,还可测量由运动或冲击导致的动态加速度,分辨率达到 3.9 mg/LSB,对于倾斜角度小于 1.0° 的变化情况能够给出准确的测量结果。此外,该芯片输出数据格式为 16 位的二进制补码格式,具有 SPI(3 线或 4 线)或 IIC 数字接口,便于扩展和外接,因此非常有利于未来的扩展应用开发。

磁场传感器可以检测由列车经过引起的地球磁场变化,且对非铁磁性物体没有反应,因此,磁传感器不易受到气候的影响,可以有效地降低检测误差。根据磁场的波动范围可以粗略地确定所经过的车厢节数及列车的类型<sup>[17]</sup>,且对于确定列车载荷等具有辅助作用。磁场传感器选型时,应重点考虑测量精度、功耗和尺寸参数。本文选择基于霍尔效应和

表 1 不同加速度传感器芯片比较

型号	测量范围(g)	测量带宽 (Hz)	正常工作电流( $\mu$ A)	灵敏度 (LSB/g)	芯片尺寸 (mm)
ADXL345	$\pm 2/\pm 4/\pm 8/\pm 16$	0.05 ~ 1 600	140	256/128/64/32	3 × 5 × 1
MPU6050	$\pm 2/\pm 4/\pm 8/\pm 16$	2 ~ 500	500	16 384/8 192/ 4 096/2 048	4 × 4 × 0.9
BMA250	$\pm 2/\pm 4/\pm 8/\pm 16$	8 ~ 1000	130	256/128/64/32	2 × 2 × 1

MelexisTriaxis®专利技术的 MLX90393 三轴霍尔传感器,它能够准确测量出沿 X、Y 和 Z 轴的磁通密度变化,并可以通过 IIC 接口或 SPI 接口访问并设置寄存器,将传感器模式设置为突发模式、单次测量模式和唤醒模式。而在处于空闲状态时消耗的电流仅为 2.5  $\mu$ A,尺寸仅为 3 mm × 3 mm × 0.9 mm,因此能够满足本文系统对低功耗和小尺寸的应用需求。

钢轨处的环境温度和湿度对检测系统的工作性能具有一定影响,因此需要实时监测。选择的温湿度传感器要求能够适应各种应用场合,且具备体积小、功耗低和易集成等优势。本文选择 AM2302 数字温湿度传感器,该传感器是一款含有已校准数字信号输出的温湿度复合传感器,可测温度范围为 -40  $^{\circ}$ C ~ 80  $^{\circ}$ C,系统集成简单、体积小、功耗低、信号传输距离远,适用性强。

钢轨伤损位置的精确定位,对于铁路部门检修线路具有重要意义,本文选择 QFN40 封装的 AT6558

系列卫星芯片完成定位。该芯片支持多种卫星导航系统,包括中国 BDS(北斗卫星导航系统)、美国 GPS、俄罗斯 GLPNASS 等,可同时接收多个卫星导航系统的信号,实现联合定位、导航和授时,定位误差小于 2 m。同时,芯片尺寸小,仅为 5 mm × 5 mm × 0.8 mm,在 BDS/GPS 双模连续运行时的工作电流小于 23 mA,待机时小于 10  $\mu$ A,能够满足系统集成化要求和长时间测量需求。

1.2 网络组建与数据传输

为了实现钢轨及列车状态的长距离实时监测,就需要在野外铁路线上布置足够数量的检测端节点,各检测节点采集的振动及温湿度数据实时上传到云端服务器进行分析和处理,处理结果则应及时报告给铁路安全监管部门。由于节点数量多,相隔距离长,有线传输数据的方式显然是不适用的,为了实现大量数据的可靠精确传输、节约成本和降低功耗,本文采用分段式无线传输方案,如图 3 所示。

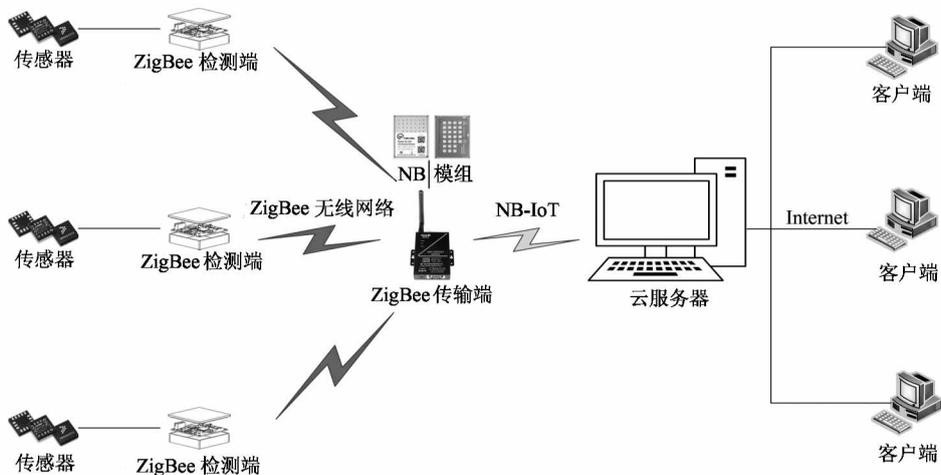


图 3 集成多种传感器的 IoT 网络组建示意图

首先,利用低功耗、低成本的短距离通信技术 ZigBee 将检测端节点采集的数据汇总到 ZigBee 传

输端,二者之间的通信链路是通过 ZigBee 通信协议建立的,其网络拓扑结构为星型,包含一个协调者节

点和一系列的终端节点,规定每一个终端节点只能与协调者节点通信而不能与相邻终端节点通信。然后,采用适用于长距离传输的窄带物联网(NB-IoT),将中转节点中暂存的数据上报到云端服务器进行分析和处理;最后,利用互联网(Internet)将处理结果上报给铁路监管部门。由于该方案在每段距离传输时仅采用单一线路,因此能够有效解决多线路传输方式中的数据不同步等问题。

由于检测端与中转节点的数据传输距离在 20 m 以内,属于短距离通信,因此这一段的组网任务需要重点考虑无线短距离通信技术。在各类规范中,ZigBee 的设计目标是更简单、更便宜、能量消耗更低,适用于创建小型、低功耗的数字无线网络<sup>[18,19]</sup>,而且其传输距离限制在 10 ~ 100 m 的视线范围内,完全满足检测端到中转节点的数据传输要求。

本文设计的无线中转节点是由微处理器和 ZigBee 模块、NB-IoT 模块组成的,负责将检测端采集的数据传输到云服务器。这部分的微处理器芯片与检测端微处理器型号相同,且具有类似功能,与其他模块的连接如图 4 所示,其与 ZigBee 模块和 NB-IoT 模组通过 UART 进行通信,随机存储器 SRAM 直接与微处理器的 I/O 口连接。

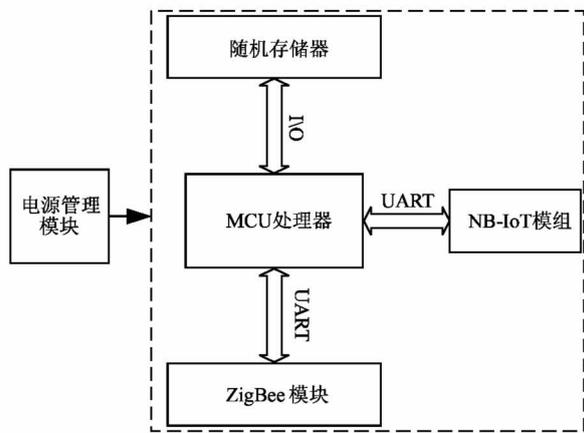


图 4 传输端结构

由于 ZigBee 检测端和 ZigBee 传输端都布置在野外空旷场地上,且传输距离在 20 m 以内,因此对 ZigBee 信号的接收灵敏度要求并不高,选型时应重点考虑功耗。本文系统要求 ZigBee 模块待机电流应低于 35 mA,接收电流低于 30 mA,发射电流低于

100 mA。通过多个型号的 ZigBee 模块对比研究,本文最终选择了德州仪器公司生产的 CC2530。该芯片配备了增强型 8051CPU,具备射频(radio frequency, RF)收发器的优良性能,能够满足本文对数据传输、数据存储和分析处理的要求,同时,由于 CC2530 具有多种不同的运行模式并可进行模式自动切换,因此在有超低功耗要求的系统中应用时具有很大优势,其 6 mm × 6 mm 的封装尺寸也满足本系统的安装要求。

为了缓存多个传感器采集的原始数据,在传输端中转节点处增加内存为 8 Mbit 的随机存储器 SRAM 芯片 IS62WV51216BLL,可以将多个检测端节点采集的数据汇总并缓存在无线中转节点。

为了最大限度地满足终端设备对小尺寸模块产品的需求,本文选择高性能、低功耗的 BC95-B8 无线通信模块构成 NB-IoT 模组,其尺寸仅为 23.6 mm × 19.9 mm × 2.2 mm,能够有效减小检测装置的整体尺寸,使其在钢轨上的安装更加便捷和可靠,并降低成本。由于 BC95 系列模块在设计上是兼容 GSM/GPRS 系列模块的,因此便于对系统进行升级和性能扩展。

此外,为了实现传感器节点的全面有效监控,本文利用虚拟化技术对云端虚拟机进行部署和配置,用户通过浏览器即可访问搭建在云服务器上的实时钢轨检测系统,而不需要安装客户端程序。云服务器不仅可以接收由无线中转节点上报的信息,生成数据曲线,还可以通过 API 接口访问百度地图的 API,定位检测终端,并将接收到的全部数据存储到 MySQL 数据库中。数据分析软件安装在云服务器端,可完成数据解析和对比任务,从而判断现场数据是否异常。当数据出现异常时,云服务器可向在线监测人员发出警报,并通知相关部门。

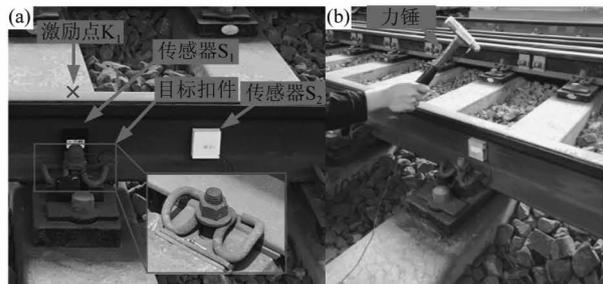
## 2 实验与结果

为了验证本文设计系统的实用性和可靠性,这里设计了高速道岔实验室落锤实验和大秦铁路秦皇岛段现场实验。

### 2.1 落锤实验

在中铁山桥有限公司的高速道岔实验室条件

下,选取适当的激励,利用所提出的检测系统采集钢轨扣件在不同松动状态下的钢轨振动响应信号。检测端传感器安装在轨腰处,激励锤用于对传感器位置上方的钢轨表面进行激励,室内实验场景如图5所示。



(a) 传感器安装与目标扣件位置 (b) 力锤敲击图

图5 中铁山桥实验室实验现场

在实验过程中,应尽量保持每次锤击的力大小近似,方向相同,目标钢轨扣件在正常和异常(脱落)2种状态下,测量点  $K_1$  处的钢轨表面至少被激励5次,传感器  $S_1$  的响应曲线如图6所示,其中图6插入图为实验场景示意图。从图中可以看出传感器工作正常时,数据传输稳定,3轴加速度数据具有高度的相关性,且Z轴加速度响应更大,能够更准确地表征钢轨垂直于水平面的振动信号,因此,本文后续分析任务均采用Z轴加速度数据。此外,当钢轨扣件完全脱落时,其Z轴振动加速度的幅值明显变大,比正常情况下高出47.91%。这说明整个系统的稳定性随钢轨扣件的脱落程度而降低,因此在相同强度的激励作用下,钢轨振动越剧烈。这一结

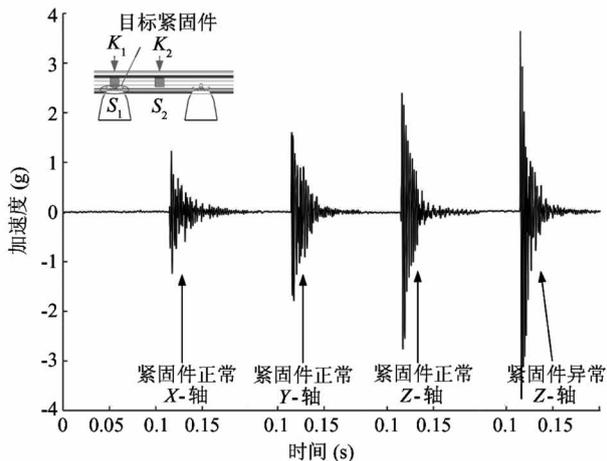


图6 实验场景示意图与原始数据

论表明,本系统采集的原始加速度数据,能够明显反映出钢轨扣件的正常安装和脱落这2种差异较大的状态,若结合更复杂精准的数据处理和分析方案,是可以准确判断出钢轨扣件的不同松紧程度的。

## 2.2 现场实验

现场实验在大秦铁路秦皇岛段进行,实验地点选择为靠近大秦铁路运输线终点的柳村南站。本文所设计的实验程序,是通过秦皇岛铁路局的审核并在铁路技术人员的陪同下开展的。实验时所经过的列车车厢型号为C80B型煤矿专用敞车,自重19.9t,载重80t,每节车厢长度为12m,列车处于满载状态。为了避免其他轨道列车经过时对检测系统产生干扰,传感器的安装位置应尽量远离道岔,同时要求传感器位置处的钢轨没有明显伤损、裂纹和污染物,扣件松紧程度正常,同时轨枕也无下沉现象,位置正常。

由于钢轨轨腰位置是不与列车车轮接触的,并提供足够面积的可靠接触面,因此本文选择轨腰为传感器的固定位置。首先,在确认没有列车通过后,利用抹布等工具将钢轨轨腰位置擦拭干净,然后用强力双面胶将传感器可靠固定在轨腰表面。为了减少由安装位置或参数设置等差异造成的检测误差,进一步评价同批次检测装置的性能是否一致,各传感器的安装高度和朝向等均保持一致,采样率等参数也设置为相同,其中加速度传感器采样率为3200Hz,磁场传感器采样率为800Hz,温湿度信息和地理位置分别设定为每隔半小时和每7天上报一次。采集前,利用比较标定法对各传感器进行标定和偏移校准。

图7给出了由传感器节点1采集的列车经过5s内的钢轨振动加速度数据(图7(a)~(c))和磁场数据(图7(d)~(f))。可见,3轴加速度数据波形呈现出明显的周期性,每一个周期信号均包含4个明显峰值。结合实验过程可知,1个信号周期对应一节车厢经过检测点的过程,4个峰值则是由一节车厢的4个车轮激励所致。通过分析大范围的周期性加速度波形数据,就可以计算出所通过列车的车厢节数及列车长度。由3轴磁场数据可知,该波形也随着列车激励过程呈现出明显的周期性,特别

是 Z 轴磁场数据的规律性更强。因此,磁场数据可以辅助加速度数据完成列车车厢数和列车总长度的检测和估计。此外,由于车厢型号已知,其长度可查,在列车运行的一段时间内,其行驶距离就可以确定,而这段时间的列车平均速度就可以通过简单计算而得到。如图 7 对应的实验中,列车运行 5 s 内的平均速度为 33.696 km/h,处于靠近终点站的减速

状态。落锤实验和现场实验证明,本文设计的检测系统能够可靠采集列车激励下的钢轨振动、磁场等信号,这些原始数据波形能够在一定程度上反映出钢轨和列车运行的不同状态,可为后续数据处理、分析和铁路部门监控提供充足的有意义数据集,是一种有效、精确的数据采集和传输装置。

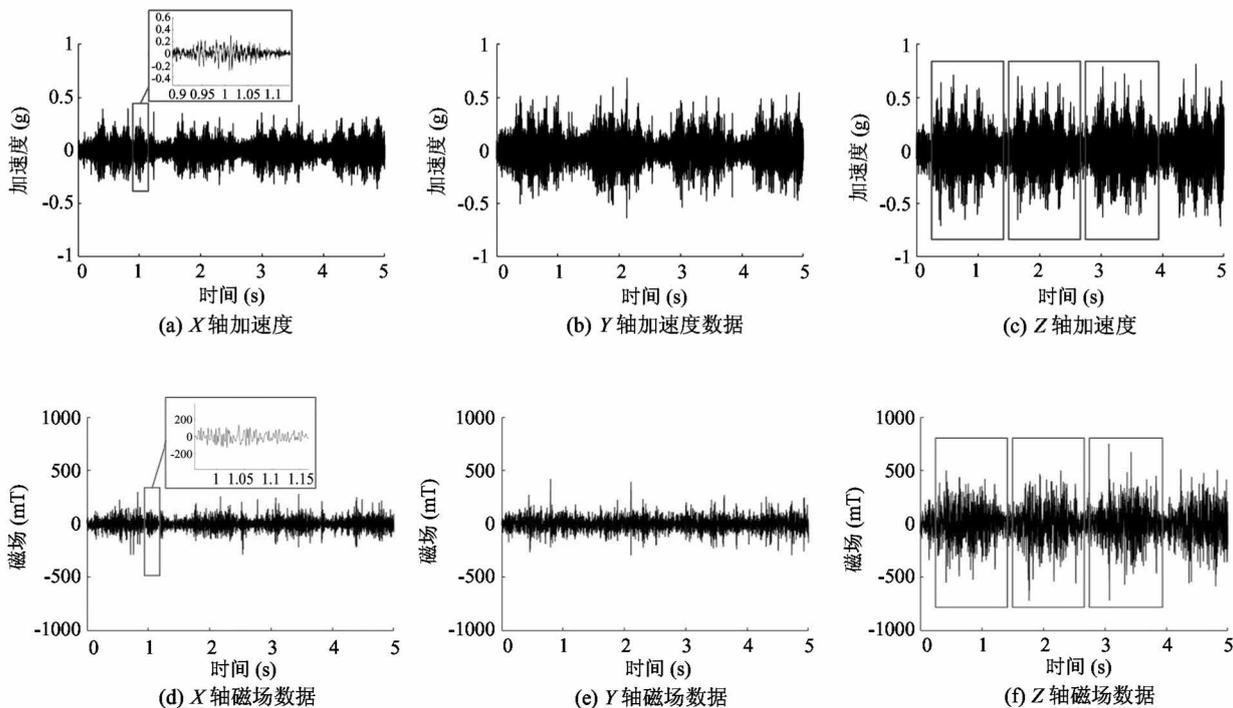


图 7 列车经过时的原始数据

### 3 结论

本文设计并搭建了基于 IoT 传感器网络的实时钢轨检测系统,利用传感器检测由列车经过所产生的各种可用于分析钢轨和列车运行状态的信号,同时采用分段通讯技术将数据实时上报云服务器。实验结果表明,基于 IoT 传感器网络的实时钢轨检测系统能够有效检测并分析出钢轨和列车运行状态,利用云服务器来为用户收集和建立数据库,可为铁路部门提供实时钢轨振动加速度和位置等重要信息,有利于辅助相关人员完成铁路线实时监测和故障定位等任务。与传统铁轨检测系统相比,本系统可在不占用轨道资源的情况下,实现 24 h 实时监测,大大提高了铁轨检测的效率和质量,对铁路交通

运输业的发展具有重要意义。

#### 参考文献

- [1] Zhao X, Wei G, Li X, et al. Self-powered triboelectric nano vibration accelerometer based wireless sensor system for railway state health monitoring [J]. *Nano Energy*, 2017, 34: 549-555
- [2] 胡荣, 罗小青, 何尚平. 基于 ARM cortex M3 铁轨塌方自动检测报警系统 [J]. *科学技术与工程*, 2018, 18(3): 3-8
- [3] 李锦珑, 马宏峰, 张维昭, 等. 基于机器视觉的铁轨扣件边缘检测研究 [J]. *西北师范大学学报(自然科学版)*, 2017, 53(5): 45-48
- [4] 张坤, 李珊珊, 王晓红, 等. 基于机器视觉的铁路信号灯检测技术 [J]. *河北工业科技*, 2019, 36(2): 115-121
- [5] Oguma K, Kawabata A, Tashiro K, et al. Train detection system and a train detection method [P]. US patent: 20020193917, 2002

- [ 6 ] Chetty K, Chen Q, Woodbridge K. Train monitoring using GSM-R based passive radar [ C ] // Proceedings of the 2016 IEEE Radar Conference ( RadarConf ), Philadelphia, USA, 2016: 2375-5318
- [ 7 ] 陈冠军, 王英健, 徐大远. 基于无源 RFID 的卸货列车行程定位方法研究 [ J ]. 自动化技术与应用, 2015, 34(10): 6-10
- [ 8 ] Gupta A K, Katiyar S, Kumar N. Railway track finding system with RFID application [ J ]. *International Journal of Computer Applications*, 2013, 83(7): 24-30
- [ 9 ] Losilla F, Garcia-Sanchez A J, Garcia-Sanchez F, et al. A comprehensive approach to WSN-based ITS applications: a survey [ J ]. *Sensors*, 2011, 11(11): 10220-10265
- [ 10 ] Chen W, Chen L, Chen Z, et al. WITS: a wireless sensor network for intelligent transportation system [ C ] // Proceedings of the 1st International Multi-Symposiums on Computer and Computational Sciences, Washington, USA, 2006: 635-641
- [ 11 ] Hodge V J, Keefe S, Weeks M, et al. Wireless sensor networks for condition monitoring in the railway industry: a survey [ J ]. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 2015, 16(3): 1088-1106
- [ 12 ] Gupte S, Masoud O, Martin R F K, et al. Detection and classification of vehicles [ J ]. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 2002, 3(1): 37-47
- [ 13 ] Milne D, Pen L L, Watson G, et al. Proving MEMS technologies for smarter railway infrastructure [ J ]. *Proceeding Engineering*, 2016, 143: 1077-1084
- [ 14 ] Broquetas A, Comerón A, Gelonch A, et al. Track detection in railway sidings based on MEMS gyroscope sensors [ J ]. *Sensors (Switzerland)*, 2012, 12(12): 16228-16249
- [ 15 ] Suharjo A, Wardihani E D, Hardani Y F K, et al. Analysis of the vibration signal detection for rail train arrival [ C ] // Proceedings of the 2017 IEEE International Conference on Communication, Networks and Satellite, Semarang, Indonesia, 2017: 85-87
- [ 16 ] 王开云, 蔡成标, 徐志胜. 基于频域方法的轨道随机振动特性及试验验证分析 [ J ]. 机械工程学报, 2005, 41(11): 149-152
- [ 17 ] Wang Q, Zheng J, Xu B, et al. Analysis and experiments of vehicle detection with magnetic sensors in urban environments [ C ] // Proceedings of the 2015 IEEE International Conference on Cyber Technology in Automation, Control, and Intelligent Systems, Shenyang, China, 2015: 71-75
- [ 18 ] Lee J S, Dong M F, Sun Y H. A preliminary study of low power wireless technologies: ZigBee and bluetooth low energy [ C ] // Proceedings of the 2015 IEEE 10th Conference on Industrial Electronics and Applications, Auckland, New Zealand, 2015: 135-139
- [ 19 ] Xia B, Qi N. Low-power 2.4 GHz ZigBee transceiver with inductor-less radio-frequency front-end for Internet of things applications [ J ]. *IET Circuits, Devices and Systems*, 2018, 12(2): 209-214

## A real-time rail detection system based on IoT sensor network

Yu Xiaodong\*, Zhao Yuliang\*, Liu Zhiqiang\*, Niu Xuanyu\*, Sha Xiaopeng\*, Gu Lin\*\*, Zhan Zhikun\*\*\*

(\* School of Control Engineering, Northeastern University (Qinhuangdao), Qinhuangdao 066004)

(\*\* China Railway Shanhaiguan Bridge Group Co., Ltd., Qinhuangdao 066299)

(\*\*\* School of Electrical Engineering, Yanshan University, Qinhuangdao 066004)

### Abstract

To address the needs for regular inspection and train state monitoring on railway lines, a real-time rail detection system based on Internet of things (IoT) sensor network is proposed. The system incorporates a ZigBee detection terminal, a ZigBee transmission terminal and a cloud server. It is used to collect, at a long distance, rail vibration data in real time and to analyze state parameters such as fastener tightness, train load, and running speed. This system differs from other traditional detection systems in that it integrates a variety of sensors and uploads data to the cloud by means of segmented communication, having the advantages of low power consumption, low cost, and no occupancy of track resources; additionally, this system enables 24-hour real-time monitoring a day, greatly improving the efficiency and quality of railway track detection. The experiment results show that the system is effective in distinguishing the normal state and the shedding state of fasteners and can calculate the number of carriages, running speed and load of a train based on model-specific train parameters. If combined with complex signal analysis methods, the system is expected to play a more critical role in helping railway departments with their fault location and real-time monitoring activities.

**Key words:** Internet of things (IoT) sensor network, rail detection system, acceleration sensor, rail fastener, induced response