

文章编号: 2095-4980(2019)02-0239-04

基于无线传感网络的高速铁路监测系统

苏 雪¹, 张小云²

(1. 武汉铁路职业技术学院 机电学院, 湖北 武汉 430205; 2. 烽火通信科技股份有限公司, 湖北 武汉 430205)

摘 要: 为提高高速铁路轨道监测系统的实时性和可维护性, 采用基于 Thread 的无线传感网络实现轨道状态的实时采集、汇聚和远程传输。采用时间同步休眠控制策略和基于阈值的数据采集策略以提高监测系统的可靠性。通过系统仿真、网络的性能测试, 该系统能对高速铁路轨道状态进行实时有效监测, 对轨道安全和铁路运输有现实意义。

关键词: 高速铁路监测系统; 无线传感网络; 无线自组织网络

中图分类号: TN919.72

文献标志码: A

doi: 10.11805/TKYDA201902.0239

High-speed railway monitoring system based on wireless sensor network

SU Xue¹, ZHANG Xiaoyun²

(1. Department of Mechanics and Electronics, Wuhan Railway Vocational College of Technology, Wuhan Hubei 430205, China;
2. Fiberhome Communications Technology Co., Ltd., Wuhan Hubei 430205, China)

Abstract: In order to improve the real-time performance and maintainability of high-speed railway track monitoring system, a thread-based wireless sensor network is utilized to realize real-time acquisition, aggregation and remote transmission of track status. Time synchronization sleep control strategy and threshold-based data acquisition strategy are adopted to improve the reliability of the monitoring system. Through system simulation and network performance test, the system can monitor the rail status of high-speed railway in real time and effectively. This work has practical significance for rail safety and railway transportation.

Keywords: track monitoring; wireless sensor network; Ad hoc

据统计,截至到 2016 年底,我国铁路营运总里程达到 12.4 万公里,其中高速铁路营运里程超过 2.2 万公里,占全球高速铁路运营里程的 65%以上,基本覆盖全国省会及 50 万人口以上城市,列车运行速度可达 350 km/h,我国已经是世界上高速铁路总里程最长、高速铁路发展最快的国家,中国高速铁路的发展对加快国家经济建设,拉动地方经济发展起到了不可替代的促进作用,使人们的生活更臻完善和完美^[1]。目前高速铁路轨道检测,一是通过安装在检测车上的轨道几何检测设备、巡检设备和轨道探伤车等,动态检测轨道是否平顺、表面有无异常和轨道有无伤损裂纹等。将轨道动态检测结果传送到检测中心,进行数据分析处理,再发布到养护维修部门,养护维修部门利用轨道检查仪或轨道测量仪,重新对轨道动态检测结果进行复核,当发现轨道状态确实存在问题时,对轨道及时进行养护维修,验收合格后,再投入营运。二是利用夜间“天窗”时间,采用轨道几何状态测量设备(主要包括相对基准测量的轨道检查仪和绝对基准测量的轨道测量仪)对线路设备进行静态周期性检查^[2]。目前有线轨道状态监测以 GJ-5 及 GJ-6 类型检测车为主。这种检测方式的缺点是:a) 检测结果服务于日常业务管理,满足部门之间报表传递的需要,工作效率不高;b) 系统信息化水平不高,不具备智能预警功能;c) 轨道状态维护与检测数据相割裂^[3]。

为适应高速铁路发展,克服现有轨道检测系统的不足,发展高性能的轨道检测手段,实现对高速铁路轨道实时监测,需要有新方法、新技术、新思路^[4-5]。文献[6]提出采用 ZigBee 自组网实现铁路基础设施监测的思路。随着万物互联(Internet of Things, IoT)发展需求,Thread 作为一种低电、安全及全互联的网络技术越来越吸引行业广泛关注^[7]。国际互联网工程任务组(Internet Engineering Task Force, IETF)成立一个 6Lo(低功耗网络 IPv6: IPv6 over Networks of Resource-constrained Nodes)工作组研究低功耗网络互联问题。以 IPv6 无线个域网(IPv6 over Low-

收稿日期: 2018-12-12; 修回日期: 2019-01-07

基金项目: 湖北省职业技术教育学会科学研究课题资助项目(ZJGA201526 城市轨道交通控制特色专业研究)

Power Wireless Personal Area Networks, 6LoWPAN)为基础的 Thread 技术为其研究重点。利用 Thread 技术易接入、易开发的特性可以提高高速铁路轨道监测应用的便捷性。

1 无线传感网络轨道监测系统构成

采用在铁路沿线部署一种基于 Thread 技术的无线传感网络实现高速铁路轨道实时监测。图 1 中整个网络采用树型结构,网络链路层由通用分组无线服务(General Packet Radio Service, GPRS)和 802.15.4 无线传感网络组成;网络层采用 6LoWPAN 为基础的 Thread 协议栈实现。

在无线自组网络中,无线传感网络节点按功能不同分为协调器节点(coordinator)和路由器节点(router)。协调器节点由 GPRS 模块和 802.15.4 模块组成,实现数据汇集和 GPRS 网关作用,用于远程通信;路由器节点由传感器、信号调理电路和 802.15.4 模块组成,负责采集传感器数据,在本地数据处理后,将数据路由到协调器。

在 802.15.4 模块中,KW41Z 集成了支持 FSK/GFSK 和 O-QPSK 调制的 2.4 GHz 收发器、Arm Cortex-M0+CPU、高达 512 KB 的闪存和高达 128 KB 的 SRAM、802.15.4 分组处理器、硬件安全性和外围设备。

GPRS 通信模块采用的 ME909 是一款嵌入式编程的四频段 850/900/1 800/1 900 MHz GSM/GPRS/EDGE 无线通信模块,内部集成 32 位 ARM9 基带处理器。用其开发的产品可根据需求更换相应模块轻松升级到 EDGE,3G 和 4G,无需更改硬件设计,支持全速模拟语音(半速率编码译码器,全速率编码译码器,增强型全速率编码译码器,自适应多速率编码),有多至 44 个可用的 GPIO,非常适合高端的警报系统、数据监控系统、语音播报系统等应用。802.15.4 模块和 GPRS 模块之间通过 UART 串口互联。

轨道监测系统采用的传感器主要有数字式温度传感器、压电式加速度传感器和位移传感器等模拟量传感器。数字式传感器直接通过串行通信口与 802.15.4 模块相连;模拟传感器感知到轨道状态后,产生模拟信号。这些模拟信号经过调整电路整形处理后传送到 802.15.4 模块内置的 ADC 数据采集器进行数据采集。

2 无线传感网络轨道监测系统功能设计

2.1 Thread 组网

在铁路运输系统中,信息网络系统安全可靠至关重要。轨道监测系统的 Thread 无线传感网络采用自组织的组网方式进行组网。具体过程如下: a) 自组织网络中包含协调器节点和路由器节点这两种类型的节点。b) 协调器节点包含 GPRS 无线传输模块,主要监测频段信号强度,选择噪声最小的频道发起网络建立,并响应网络节点加入请求。c) 路由器节点首先广播入网请求,获取到协调器节点或其他路由节点的人网许可时完成入网;选择父节点时,首先选择的是网络深度最强的父节点。当待选的父节点网络深度相同时,选择子节点最小的父节点。如果待选的父节点网络深度和子节点数都相同,则选择信号最强的节点作为本路由节点的父节点。d) 路由器节点向父节点发生加入请求,父节点回应一个是否同意子节点加入的请求响应。

这种自组织的组网方式的主要优点如下:网络的传输路径最短,传输时延最短,节点分支的负载相对均衡;路由器节点入网选择时可以有多个待选父节点,使得单个节点的故障对整个网络的联通性影响最小^[8]。

2.2 采用主动方式降低数据采集节点能耗

节点在电池供电的情况下,为了延长节点的生存时间,降低节点能耗十分必要。本文设计的轨道监测系统采用一种同步休眠和唤醒的策略。自组网络中的所有节点以相同的周期被唤醒或休眠。网络节点休眠时将关闭节点主要能耗组件,CPU 和 RF 单元。具体工作流程见图 2。

2.3 基于阈值的多种类型数据采集功能

802.15.4 网络中,所有路由器节点均具有数据采集功能,路由器中的 JN5179 芯片自带一个 4 通道 ADC,系统设计时,将其分别连在不同的传感器上。路由器节点中的传感器进行数据采样后,通过微处理器处理,由其将采样数据发送给协调器节点。

尤为重要的是轨道的状态会突然变化,这主要由路基的变化、过往车辆的超重、列车提速通过等原因所致,

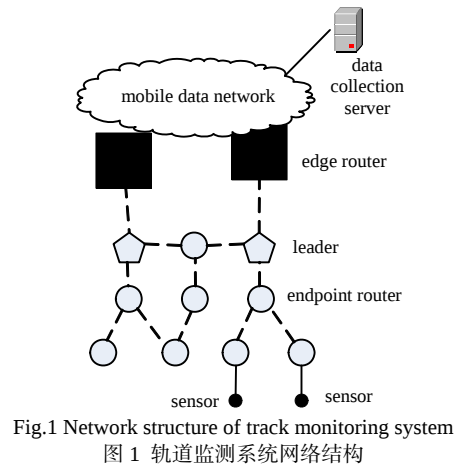


Fig.1 Network structure of track monitoring system
图 1 轨道监测系统网络结构

因此在进行更注重突发时刻轨道向下加速度值的测量和设计时,将加速度传感器连到ADC通道的同时也连接到 KW41Z 芯片的比较器上,使加速度传感器节点工作在基于阈值的工作方式。

KW41Z 处于双唤醒工作方式,除正常网络唤醒、数据采集外,还可以在轨道状态突然改变时根据与比较器设定的阈值比较结果,触发路由器节点的唤醒。同时触发微处理器中断控制器,控制 KW41Z 的 ADC 采集特殊时刻的关键数据,实时将采集数据发送给协调器节点,保证关键数据的采集。

3 系统仿真实验

3.1 系统通信性能

轨道监测系统的无线通信性能主要由丢包率体现。而无线网络通信系统的丢包率大小与信号强度、测试场地环境的影响及天线架设方式有关。本文仿真测试时,采用高增益的定向天线和高功率的发射模块,以提升有效信号的覆盖范围^[9]。表1列举了本次仿真测试中的无线通信丢包率和信号强度的测试结果。

在不加挂传感器的条件下,采用全网同步休眠的策略,以 30 s 为休眠周期,2 节 AA 碱性电池,可支持单一路由器节点工作约 48 天,若延长休眠周期可以有效节能,节点的生存时间更长。采用树形网络结构,由于在节点加入网络时,网络邻居表和路由表已经建立,没有 802.15.4 网络中用于建立路由所产生的首跳时延^[10]。网络传输时延为测试数据和应答数据的时间差,表2为时延测量结果。

表1 平均丢包率和信号强度关系对照表

distance/m	1	10	20	30	50	100
receiver signal strength/dBm	-16.59	-39.68	-56.17	-58.81	-69.51	-
packet loss rate/%	<0.11	1.18	0.92	1.21	3.72	99.90

随着节点入网时跳数增加,数据传输时延也会增加。数据传输时延的增加与节点跳数的增加呈线性关系。适当增加协调器节点的密度,可以有效减少路由器节点入网的跳数,降低数据传输的时延。

3.2 采集数据分析

高速铁路轨道是列车行驶的基础,列车经过时,可以根据轨道向下加速度和动位移的变化是否合理来判断轨道及路基状况。在某轨道监测的位移和应变数据见图3。

4 结论

本文分析了我国目前轨道监测的发展水平,提出一种基于 ZigBee 技术的无线传感网络轨道监测系统设计方

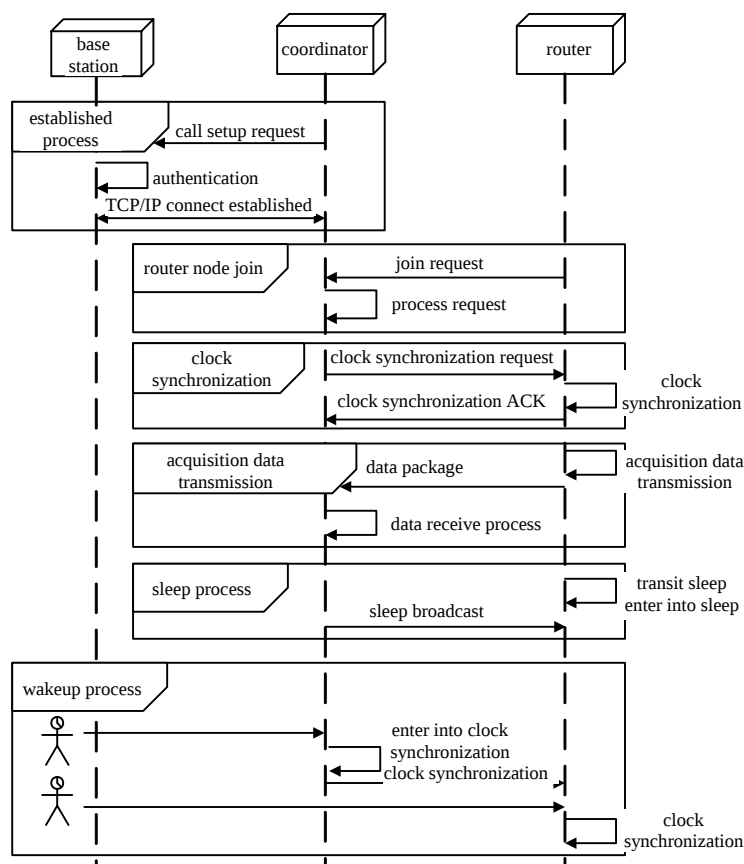


Fig.2 Node wakeup workflow

图2 节点唤醒工作流程

表2 不同网络深度的时延

node depth	1	2	3	4	5
average delay/ms	18.58	22.37	37.46	46.89	58.34

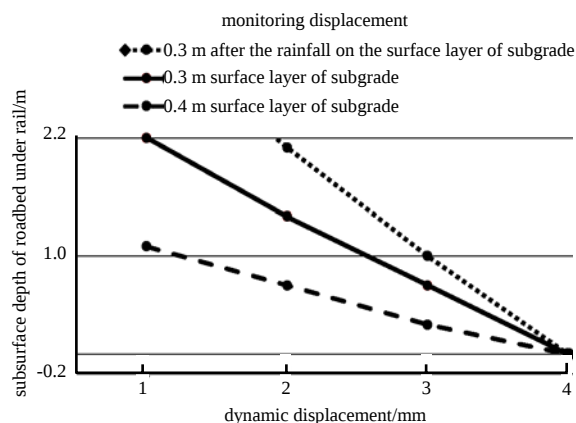


Fig.3 Schematic of displacement and strain for track monitoring

图3 轨道监测的位移和应变的数据示意图

案。介绍了无线传感网络监测系统实现的技术,以及系统硬件设计,并对系统进行了仿真试验。系统采用自组网络,基于阈值的多种类型数据采集,超低功耗设计。能有效对轨道状态实施监测,获取监测点的实时测量数据,通过系统对监测数据的分析处理,对轨道安全状况做出客观、及时的评估,达到预警预报的目的,服务于轨道保护和防灾减灾工作^[11]。该系统能减少铁路轨道维护人员的工作量,提高工作效率,非常适合在轨道监测方面部署,具有良好的实用价值和应用前景。在本系统仿真试验中,由于受环境的局限,对高速铁路状态采集数据种类还不够全面,对采集数据的处理,还需要进一步研究对监测数据处理的算法。由于铁路沿线环境状态相当复杂,实际监测过程中可能会有很多外来干扰和不确定性,需要对系统稳定性提出更高要求。

参考文献:

- [1] 王巍,姚京川,刘鹏辉,等. 我国高速铁路桥梁动态测试技术的新进展[J]. 中国铁路, 2013(2):48-51. (WANG Wei, YAO Jingchuan, LIU Penghui, et al. The new development of China's high-speed railway track dynamic testing technology[J]. China Railway, 2013(2):48-51.)
- [2] 郑建颖,王卿,孙荣川,等. 基于无线传感器网络的轨道交通结构健康监测监测系统[J]. 实验科学与技术, 2016,14(2):72-74. (ZHENG Jianying, WANG Qing, SUN Rongchuan, et al. Intelligent monitoring system for rail transit based on wireless sensor network[J]. Experimental Science and Technology, 2016,14(2):72-74.)
- [3] 霍宏伟,郜帅,牛延超,等. 一种实时轨道监测无线传感器网络与服务模型研究[J]. 铁道学报, 2008,30(6):51-57. (HUO Hongwei, GAO Shuai, NIU Yanchao, et al. Research on wireless sensor network and service model used in real-time railway track inspection[J]. Journal of the China Railway Society, 2008,30(6):51-57.)
- [4] 张政. 光纤光栅传感技术在高速铁路轨道状态监测中的应用[J]. 铁道建筑, 2016(5):77-81. (ZHANG Zheng. Application of fiber Bragg grating sensing technology to monitoring of high speed railway track condition[J]. Railway Engineering, 2016(5):77-81.)
- [5] 何迟,朱帅,崔炳谋. 编组站接发列车作业语音写实系统设计[J]. 铁道货运, 2016,34(12):41-44. (HE Chi, ZHU Shuai, CUI Bingmou. Design of train operation voice realism system for marshalling station[J]. Railway Freight Transport, 2016, 34(12):41-44.)
- [6] 张浩,蒋海林. 基于 ZigBee 监测高速铁路基础设施监测的无线传感器网络研究与应用[J]. 铁路计算机应用, 2013,22(5):44-47. (ZHANG Hao, JIANG Hailin. Research and application of wireless sensor network based on ZigBee monitoring high-speed railway infrastructure monitoring[J]. Railway Computer Application, 2013,22(5):44-47.)
- [7] 苏雪,宋国新. 一种基于安全策略的云数据访问控制优化技术[J]. 华东理工大学学报(自然科学版), 2016,42(6):858-862. (SU Xue, SONG Guoxin. A cloud data access control optimization technology based on security policy[J]. Journal of East China University of Science and Technology(Natural Science), 2016,42(6):858-862.)
- [8] 冯琳,冉晓旻,梅关林. 基于改进粒子群算法的无线传感网络覆盖优化[J]. 太赫兹科学与电子信息学报, 2015,13(3):486-490. (FENG Lin, RAN Xiaomin, MEI Guanlin. WSN coverage optimization by improved artificial PSO algorithm[J]. Journal of Terahertz Science and Electronic Information Technology, 2015,13(3):486-490.)
- [9] 杨忠伍. 无定向导线在高速铁路水平位移监测中的应用及精度分析[J]. 上海铁道科技, 2014(4):67-68. (YANG Zhongwu. Application and accuracy analysis of non-directional conductor in horizontal displacement monitoring of high speed railway[J]. Shanghai Railway Technology, 2014(4):67-68.)
- [10] 杨武,郑宇峰. 用于无线监控的 ZigBee 多跳网络时延分析[J]. 船海工程, 2011,40(3):165-168. (YANG Wu, ZHENG Yufeng. Time delay analysis of ZigBee multi-hop network for wireless surveillance[J]. Ship and Ocean Engineering, 2011, 40(3):165-168.)
- [11] 杨娟. 大型轨道基于预埋表贴传感的全寿命应力监测与安全评价模式[D]. 重庆:重庆交通大学, 2010. (YANG Juan. Full-life stress monitoring and safety evaluation model for large-scale orbit based on embedded surface-mount sensor[D]. Chongqing, China: Chongqing Jiaotong University, 2010.)

作者简介:



苏 雪(1972-),女,甘肃省武威市人,硕士,副教授,主要从事计算机通信相关技术、计算机网络与城市轨道交通控制专业教学和科研工作.email:407168192@qq.com.

张小云(1971-),男,湖北省鄂州市人,博士,高级工程师,主要从事通信网络、计算机软件等科研工作.