

道路内部温湿度数据采集系统*

邱彦章 翟英博 耿洪杨 张朋

(长安大学电子与控制工程学院 西安 710064)

摘要:传统道路检测方法一般只是检测道路表面的裂缝、凹陷等。为检测道路内部的状态,采用自供电无线传感网络采集道路内部温湿度数据。将整个无线传感模块用环氧树脂封装保护后埋入路内,通过自供电模块收集路面负载能量并为无线传感节点供电,收集到足够能量后传感器开始采集数据,并通过无线传感网络将采集到的数据传输到外部数据处理中心。实验结果表明,经过4个月的数据采集,埋入沥青路内的无线传感系统可以长期有效地发送数据,并通过收集到的道路温湿度数据,可以分析出当前道路结构健康状况。

关键词:道路检测;压电陶瓷;震动能量收集;温湿度

中图分类号: TN06 **文献标识码:** A **国家标准学科分类代码:** 510.8060

Road internal temperature and humidity data acquisition system

Qiu Yanzhang Zhai Yingbo Geng Hongyang Zhang Peng

(School of Electronics and Control Engineering, Chang'an University, Xi'an 710064, China)

Abstract: There are only cracks and depressions characters on the road surface can be detected by the traditional road detection methods. In order to detect the internal conditions of the road, the self-powered wireless sensor network is used to collect the internal temperature and humidity data of the road. The wireless sensor module is protected by epoxy resin and buried in the road, and the road load energy is collected by the self-powered module and used to power the wireless sensor node. The sensor begins to be used to collect data that be transmitted to an external data processing center via the wireless sensor network while enough energy had been collected. The experimental results show that after four months of data collection, the wireless sensing system embedded in the asphalt road can be applied to transmit data for a long time, therefore, the current road structure health status also can be analyzed through the collected road temperature and humidity data.

Keywords: road detection; piezoelectric ceramics; vibration energy harvesting; temperature and humidity

0 引言

随着使用年限的增加、车辆负载和环境因素的共同影响,道路会产生微小损伤并不断地积累和发展,到一定程度会造成结构抗力的衰减,严重地降低结构安全性和耐久性,极端情况下还会导致整个结构的破坏^[1-3]。所以对道路结构健康的实时监测就显得非常重要。目前道路结构健康监测的方法主要有图像处理法、超声波法、探地雷达法、声发射法和光纤光栅^[4-8]等。但是由于这些方法一般成本较高,实施较为不便,并且不能实现实时监测预警的作用。

无线传感网络在很多方面得到应用,包括工业控制、智能家居、环境监测和空间探测等^[9-12],但在实际应用中,最难解决的问题就是无线传感网络的电池寿命和想要长期监

测之间的矛盾。所以从自然环境中收集能量为传感器网络实时供电是可行的方法,如太阳能、机械能、热能、和电场能量^[13-15]等。

基于以上内容,本文提出了一种集路面能量收集、数据采集和非定时无线发送的路面自供电传感系统。使用压电换能器从车辆对道路的压力与振动中收集能量给传感器节点供电,并将采集到的数据传输到外部数据处理与控制中心,经过长期地数据采集与分析,判断道路结构健康状况。

1 自供电无线传感监测系统

自供电无线传感监测系统是一种不需要人为参与、实时远程监测与控制的道路健康监测系统。该系统主要由道路能量收集、传感器网络、无线传感节点和控制中心构成。

系统的路面结构分布如图1所示。

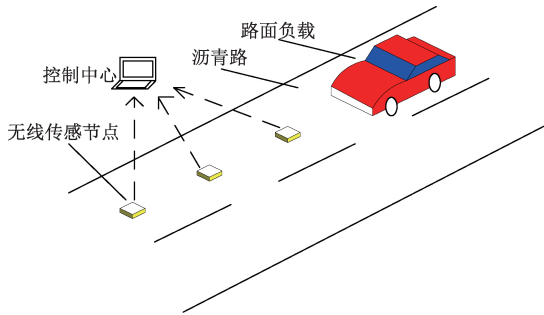


图1 检测系统路面结构分布

本文将能量收集模块与无线传感模块集成在一起组成无线传感节点,并将其按照一定距离埋置在道路路面下,通过压电换能装置将道路负载能量收集起来为无线传感节点供电,并将传感器网络采集到的道路信息(温度、湿度等)通过无线传感网络发送给外部数据处理设备来分析道路健康状况。

2 系统设计与实现

2.1 能量收集与电源管理

通过压电换能器将汽车对路面产生的压力转换为电能,并将收集到的电能储存在超级电容中,当存储到足够电能时超级电容会给数据采集电路与无线传感模块供电。本文采用LT3588作为电荷收集芯片,而电源管理模块有三路端口,一路用来接压电换能器的输出,一路用来给超级电容充电和放电,一路用来输出给传感器系统供电。

电荷存储单元为大容量的低成本超级电容器(SC),SC的容量大、体积小,使用寿命比一般铝电解电容器(E-CAP)长10年以上。存储在电容器中的能量可以通过式(1)计算。

$$E = CU^2/2 \quad (1)$$

式中: E 是存储在电容器中的能量; C 是电容器的容量; U 是电容器两端的电压。

2.2 自适应数据采集

路面车辆的情况是随机且无序的,而且车辆种类对路面所产生的机械能也是随机的,利用压电换能器所转化的电能也是没有规律可循的,所以不能很好的预测到超级电容充满电所需的时间。因此,难以维持无线传感系统实时运行,而且不能根据定时器来定时地发送数据。假设负载为 $100\ \Omega$,使用2个 $1\ \text{F}$ 超级电容串联来进行充放电,随着电容电压的升高,输出电压会稳定输出 $3.3\ \text{V}$ 之后电容电压降低,输出稳定,当放电一段时间后输出降为0,又会自动对超级电容充电,约 $58\ \text{s}$ 后又会负载上电。

路面能量收集大小取决于车辆的重量和数量,因此为了收集能量来供给系统工作,本文使用了自适应功率旋钮来间歇性地让系统采集并传输数据。

2.3 无线数据收发

本文采用MSP430作为控制芯片。MSP430单片机的电源电压采用的是 $1.8\sim 3.6\ \text{V}$ 电压,因而可使其在 $1\ \text{MHz}$ 的时钟条件下运行时,芯片的电流最低会在 $165\ \mu\text{A}$ 左右,RAM保持模式下的最低功耗只有 $0.1\ \mu\text{A}$ 。所以使用该芯片可以最大程度的降低功耗。

无线收发采用DL-LN33无线自组网模块,该模块是基于UART接口的无线传输模块,可以工作在 $2\ 400\ \text{MHz}\sim 2\ 450\ \text{MHz}$ 公用频段。该模块采用TI的CC2530芯片,符合IEEE 802.15.4协议,相比传统的ZigBee更加简单稳定,通过网络拓扑分析软件可分析网络状态。道路健康监测系统如图2所示。

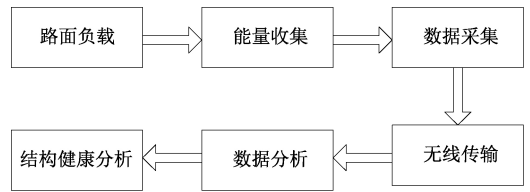


图2 道路健康监测系统

3 实验设备制定

首先需要对电路板进行器件的焊接、测试,然后对其进行封装保护,并将其埋入规格为 $50\ \text{cm}\times 50\ \text{cm}\times 10\ \text{cm}$ 的沥青混凝土车辙板内。

3.1 实验设备封装

1) 压电陶瓷的封装

将屏蔽导线一端的正负极分别焊接到压电陶瓷片的陶瓷和铜片上,然后将环氧树脂与固化剂按照 $2:1$ 的比例混合并搅拌均匀,在正方体胶质模具内壁贴上一层纸,倒入混合好的环氧树脂至模具的一半处,将焊接好的压电陶瓷平放入模具中,最后倒入剩余环氧树脂。等待 $24\ \text{h}$ 凝固之后去除模具和表面粘合的纸,压电陶瓷的封装完成。制成之后将屏蔽导线的另一端焊接在电路板的PZT1和PZT2焊接点;将超级电容焊接在电路板的Vout与GND接点。具体实物图如图3所示,无线数据接收端如图4所示。

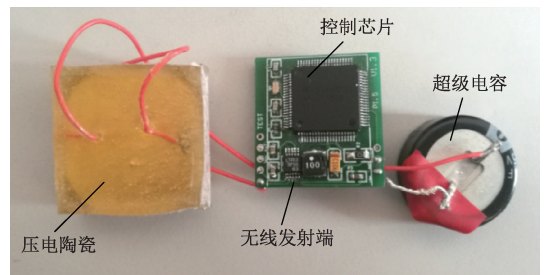


图3 数据采集发射端

2) 无线传感系统的封装

为了更有效地保护元器件,将焊接好的电路板表面涂



图 4 无线数据接收端

抹一层 AB 胶作为一级保护层,等完全凝固硬化后备用,将水泥、河沙和水按照 4 : 5 : 1.6 的比例混合并搅拌均匀,在正方体胶质模具内壁贴上一层纸。首先在模具底层铺上一层水泥,然后将超级电容放入,再倒入水泥直至覆盖超级电容,然后将电路板放入模具中,再倒入水泥覆盖,最后放入封装好的压电陶瓷。将连接压电陶瓷的屏蔽导线正极、电路板中 PZT1、PZT2、Vcc 和 GND 用导线引出模具,方便测试模块性能。等待 12 h 之后模块有一定的硬度,24 h 之后完全硬化,将模块从模具中取出,无线传感系统的封装保护完成。具体封装实物图如图 5 所示。

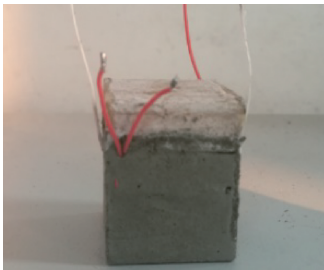


图 5 无线传感系统封装

3.2 车辙板的制作和无线传感系统嵌入

骨料、矿粉和沥青放入 170 °C 的牵伸干燥箱中 2~3 h。首先,将其连续倒入沥青混合机中,其中骨料与沥青的比例为 4.6~5.3,将混合物在 170 °C 的恒温下搅拌 90 s。接下来,将沥青混凝土放入 10 cm 厚的板试样中,大约倒入一半高度的沥青混凝土,然后用手和铲子抹平。把封装好的无线传感模块放在上面,压电陶瓷一端朝上,将精细的沥青缓慢地覆盖在无线传感模块上,以避免由大块沥青混凝土引起的应力集中。之后将剩余的沥青混凝土放置在车辙板模具中,直至沥青混凝土模具被填满。最后,将车辙板放入车辙试样成型机中。调整好压板中间的车辙板后,打开并按压 28 次。压制的车辙板在木制框架上冷却 12 h。冷却后的车辙板相当于一个压电路面,一共制备了 4 套无线传感系统。

4 实验结果与分析

用 TI 德州仪器公司的 CCS(code composer studio)软

件将 C 语言程序写入 MSP430 单片机中,实现软件部分(数据采集和无线发送)。利用 FLUKE 公司的 8808A 数字万用表来监测电容充电和放电时的电压。最后,利用串口助手显示无线传感发送过来的数据,并将数据记录下来。本系统包括智能路面、埋入沥青混凝土的温湿度传感器、无线传感系统和监测设备。

如图 6 所示,将制备好的 4 块车辙板分别放入自动车辙试验机中,每天固定时间碾压 10 次,每次 30 min,车辙频率为 0.7 Hz,轮胎速度为 0.76 km/h,车轮压力为 0.7 MPa,模拟汽车负载在路面实际碾压时的情景,在该条件下进行 4 个月的实验等于正常路面 10 年使用情况。

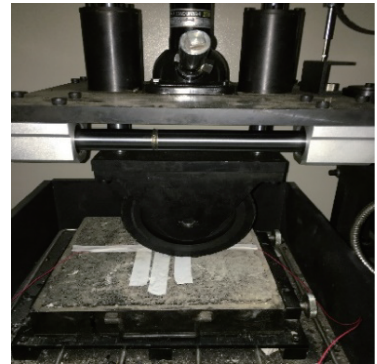


图 6 车辙实验

为了模拟不同温度、湿度条件下相同路面结构的损耗情况,将 4 块车辙板至于不同环境下测试。第 1 块车辙板放置于室外,模拟常温、常湿环境下路面结构损坏情况;第 2 块车辙板模拟高温、常湿度环境;第 3 块为常温、高湿度环境,每天在车辙板上浇 10 次水,每次 100 mL;第 4 块为高温高湿环境,每天将车辙板放入加热箱内烘烤 8 h 并浇水。图 7 所示为采集到的温湿度数据,对此进行长期实验测试,从 9 月开始到 12 月共 4 个月,测试数据如图 8 所示。

	温度	湿度	绿灯
0009	29°C	30%	开/关
000B	29°C	29%	开/关
0008	29°C	31%	开/关
000D	28°C	17%	开/关

收发速度 88/0B COM1

图 7 数据采集

随着该实验的进行,车辙板结构也在不同时间产生了不同大小的损坏。表 1 显示了在实验进行到一定天数后,不同环境下车辙板产生不同的结构损坏,其中微小裂缝为

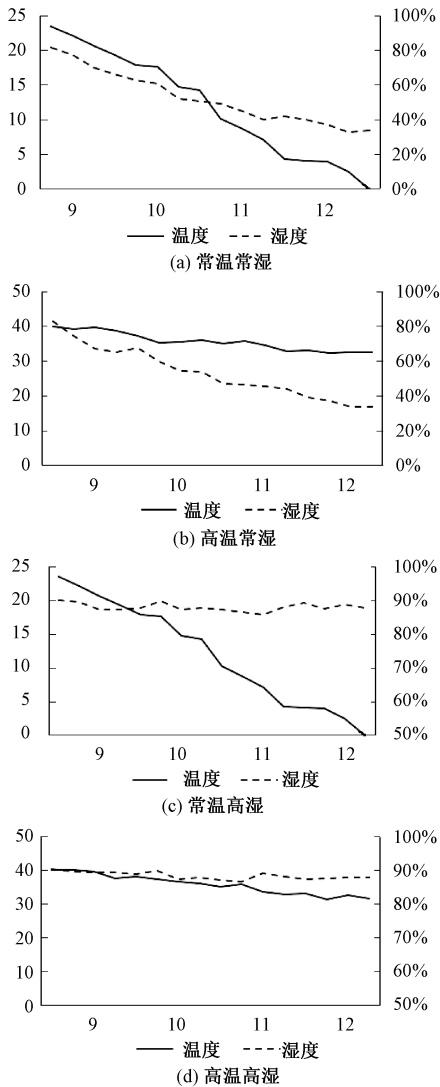


图8 不同环境下车辙板温湿度数据

肉眼刚好看见的裂缝,细小裂缝为小于3 cm 裂缝,中等损坏为3~8 cm 裂缝,严重损坏为8~12 cm 裂缝,完全损坏为车辙板一分为二彻底丧失功能。

表1 不同环境下车辙板实验情况 (d)

序号	微小裂缝	细小裂缝	中等损坏	严重损坏	完全损坏
1	109	无	无	无	无
2	83	106	无	无	无
3	69	96	112	无	无
4	39	63	88	96	117

由图8和表1实验数据可知,在相同应力条件下,正常环境下的车辙板使用寿命最长,并且在实验长达4个月的情况下只出现了微小的裂缝;而在极端的温湿条件下,路面

使用寿命较为短暂;2号车辙板比一号车辙板寿命长,说明湿度对路面结构影响比温度要大。

5 结 论

本文提出作为沥青路面信息检测的智能路面再充电无线传感系统。系统可概括为3个主要组件:能量收集、传感器数据采集和无线传感。首先本文通过实验确认了路面低频振动对压电能量收集是一个可行的方案;使用自动车辙试验机碾压车辙板的实验来模拟车辆经过路面,埋置在车辙板中的无线传感系统收集试验机碾压产生的能量,虽然收集的能量有限,但对无线传感系统做了测试后,系统能够稳定工作。

在此期间,通过对4块相同的埋有无线传感系统的车辙板进行不同环境下(温湿度不同)路面测试,并采集了长达4个月的温湿度数据,通过这些数据初步得到在相同碾压(应力)条件下,温湿度差异对路面结构健康都有较大影响,并且湿度影响较大。

参考文献

[1] 许海亮,何兆才,何炼.车路耦合条件下沥青混凝土路面变形特性时域分析[J].公路交通科技,2017,34(12):16-22.

[2] 徐庆林.常见的道路桥梁结构病害与加固方案分析[J].中国公路,2017(23):110-111.

[3] 高思民.影响城市道路沥青路面使用寿命因素分析及对策[J].公路交通技术,2006(4):69-71.

[4] 柏猛,李敏花.基于图模型的道路检测方法[J].模式识别与人工智能,2014,27(7):655-662.

[5] 敬人可,李建增,周海林.超声无损检测技术的研究进展[J].国外电子测量技术,2012,31(7):28-30,34.

[6] 张爱江,吕祥锋,周宏源,等.地质雷达快速检测城市道路路基病害应用研究[J].公路,2017,62(12):2710-274.

[7] 徐跃胜.基于声发射传感器的混凝土结构健康监测研究[D].济南:济南大学,2016.

[8] 吴俊,陈伟民,章鹏,等.金属直接连接的布拉格光纤光栅应变测量方法[J].仪器仪表学报,2012,33(12):2709-2713.

[9] CORKE P, WARK T, JURDAK R, et al. Environmental wireless sensor networks [J]. Proceedings of the IEEE, 2010,98(11):1903-1917.

[10] CAO X, CHEN J, ZHANG Y, et al. Development of an integrated wireless sensor network microenvironmental monitoring system[J]. Isa Transactions, 2008, 47(3):247-255.

[11] AGARWAL Y, BALAJI B, GUPTA R, et al. Occupancy-driven energy management for smart building automation [C]. ACM Workshop on

- Embedded Sensing Systems for Energy-Efficiency in Building, 2010:1-6.
- [12] DONG Q, YU L, LU H, et al. Design of building monitoring systems based on wireless sensor networks[J]. Wireless Sensor Network, 2010, 2(9): 703-709.
- [13] 周洪伟, 罗建, 吴英杰, 等. 低电压太阳能供电系统设计[J]. 电子测量技术, 2011, 34(2): 18-21.
- [14] 杨锋, 曹自平, 王岩, 等. 三自由度机械能采集器的设计[J]. 仪表技术与传感器, 2016(11): 46-49.
- [15] 李平, 刘双建, 文玉梅, 等. 电场能量采集器的最大输出功率追踪电路设计[J]. 仪器仪表学报, 2016, 37(2): 301-307.

作者简介

邱彦章, 副教授, 主要研究方向为电子信息学科中的集成电路设计与应用。

E-mail: 124066929@qq.com

是德科技与 Qualcomm 公司携手演示使用 5G 技术的工业物联网应用

是德科技的 5G 网络仿真解决方案用于演示低时延无线通信

2019 年 2 月 21 日, 北京——是德科技(NYSE:KEYS)宣布, 在 CES 2019 展会上, 该公司与 Qualcomm 公司使用是德科技的 5G 网络仿真解决方案和 Qualcomm® 5G 技术, 联合演示了 NAVER LABS 的工业物联网(IIoT)应用。是德科技是一家领先的技术公司, 致力于帮助企业、服务提供商和政府客户加速创新, 创造一个安全互联的世界。

此次概念验证演示采用 Qualcomm Technologies (Qualcomm 旗下的子公司) 的 Qualcomm® Snapdragon™ X50 5G 调制解调器和是德科技 5G 网络仿真解决方案, 展示了控制 NAVER 的 AMBIDEX 工业机械臂进行灵活操作的过程。5G 网络将为 IIoT 带来翻天覆地的变革, 不仅实现更短的时延和更高的可靠性, 还能够支持数量显著增加的互联设备。第 3 代合作伙伴计划(3GPP)将在第 16 版中支持 5G NR 超高可靠性低时延通信(URLLC)特性和功能, 使移动运营商和企业能够实现各种高性能工业用例。

Qualcomm Technologies 业务开发副总裁 Jeffrey Torrance 表示:“这次演示为 5G 工业物联网即将实施的商业化铺平了道路, 同时也是我们 3 年来与是德科技紧密合作, 致力加速 5G 技术发展的又一项积极成果。我们通过合作, 已经获得了多项在工业上具有里程碑意义的重大成果, 包括成功演示了 3GPP 5G NR 独立(SA)模式 IP 数据传输。这次演示使用了是德科技的 5G 网络仿真解决方案和外形类似智能

手机的测试设备。测试设备中装有 Qualcomm Technologies 去年 12 月推出的 5G 调制解调器和天线模块。”

是德科技 5G 网络仿真解决方案充分利用了是德科技 UXM 5G 无线测试平台的优势, 支持在低频和毫米波频谱中跨协议地进行器件验证、射频(RF)和无线资源管理(RRM)。该平台在业界第一批通过全球认证论坛(GCF)批准, 用于 5G 新空口(NR)非独立(NSA)测试用例。

是德科技副总裁兼无线测试事业部总经理 Kailash Narayanan 表示:“这次联合演示表明, 是德科技与 Qualcomm Technologies 等创新企业密切合作, 能够为无线行业做出重要贡献。是德科技在加速新 5G 应用部署(包括支持工业物联网的应用)方面发挥着关键作用, 使移动生态系统和垂直行业能够充满信心地与最新标准同步发展。”

是德科技 5G

是德科技推出业界首款 5G 端到端设计和测试解决方案, 支持移动行业在从物理层到应用层, 乃至从仿真、设计、验证、制造、部署和优化的整个工作流程中加速 5G 产品的设计开发。是德科技提供符合最新 3GPP 标准的通用软件和硬件平台, 使整个生态系统能够快速、准确地对 5G 芯片组、设备、基站和网络进行验证, 并能对用户行为场景进行仿真。有关是德科技 5G 解决方案的更多信息, 请访问 www.keysight.com/find/5G。