

文章编号:1007-2780(2016)07-0680-06

基于 STM32 动态监测系统设计

原群盛*, 钱松荣*

(贵州大学 机械工程学院, 贵州 贵阳 550025)

摘要:材料在长期服役过程中承载力与耐久性降低,传统的动态监测方式存在监测精度不高,布线麻烦等问题,不能很好地为材料的结构破坏分析提供所需数据。针对这一现象,本文设计出动态监测系统,其以 STM32 微控制器为核心,利用无线传输技术,对压力传感器进行温度补偿的同时对所采集数据进行处理。通过实践证明,所设计的监测系统能够实现无线传输、提高监测系统精度,同时能够很好地为近场动力学理论仿真分析提供所需数据,实践验证能够达到预期结果。

关键词:无线传输;动态监测;近场动力学;数据采集

中图分类号: TN06 **文献标识码:** A **doi:**10.3788/YJYXS20163107.0680

Design of dynamic monitoring system based on STM32

YUAN Qun-sheng*, QIAN Song-rong*

(College of Mechanical Engineering, Guizhou University, Guiyang 550025, China)

Abstract: In the process of long-term service, the bearing capacity and durability of material reduced, and traditional dynamic monitoring has some problems, such as low monitoring precision, routing complexity etc. So it is hard to provide the required data for the analysis of material structure damage. Aiming at this phenomenon, we have designed the dynamic monitoring system which takes STM32 microcontroller as the core. We carried on the temperature compensation of the pressure sensor and at the same time dealt with the data collected in the process. The practice has proved that this monitoring system can realize the wireless transmission and improve accuracy of monitoring system. Meanwhile, it can also provide the better simulation analysis data for Peridynamics theory. The practice verified that it can achieve expected results.

Key words: wireless transmission; dynamic monitoring; Peridynamics; data collection

收稿日期:2016-04-11; **修订日期:**2016-05-12.

基金项目:贵州省国际合作项目(黔科合外 G 字[2013]7006 号);贵州省联合基金项目(黔科合 LH 字[2014]7624 号);贵州省留学人员科技活动项目(黔人项目资助合同[2014]13 号)

Supported by International Cooperation Project of Guizhou Province(No. [2013]7006); Joint fund project of Guizhou Province(No. [2014]7624); The Project of Guizhou Province Science and Technology Activities Abroad(No. [2014]13)

* 通信联系人, E-mail: 771744419@qq.com

1 引 言

目前动态监测技术正朝着实时性、自动化、集成化和网络化发展^[1],其在国内外主要有 3 种实现方式:传统监测方式、单机在线监测方式、基于无线网络的远程监测方式^[2]。对于传统监测方式当数据采集点处于运动状态或者所处的环境不允许铺设电缆,采集设备必须与终端设备分离。此时,其不能够满足需要,基于无线网络的远程监测方式^[3-4]克服了传统监测方式存在的许多缺点,可以解决资源地域分布、交互不便的问题,同时有利于监测资源的广域共享。

近场动力学(Peridynamic)理论^[5-6]是分析材料破坏的非局部性固体力学理论,根据工况可以分析出材料的结构破坏情况,为材料的安全提供参考。材料在长期服役过程中受材料老化、环境侵蚀、荷载增加、养护不当等因素影响,使得承载力与耐久性降低,为使其能够在安全状态下服役,必须实时监测其结构的动态变化,监测出其受力状况进行分析。

为能够更加准确、实时高效地监测材料受力状况,为近场动力学分析材料结构破坏情况提供更加实时精确的数据。论文对整个动态监测系统以 STM32 微控制器为核心进行软硬件设计,用无线传输技术,对压力传感器进行温度补偿的同时对所采集数据进行处理,提高监测系统精度。为验证整个系统方案,论文结合近场动力学理论,对设计的监测系统所采集到的数据进行近场动力学仿真分析,最终得出材料的结构破坏状况。

2 动态监测系统硬件实现方法

动态监测系统由供电模块、数据采集模块、数据处理模块、无线射频模块(接收/发送)等组成。供电模块主要是为系统运行提供能量;数据采集

模块完成数据的采集以及模数转换,转换的数字量送到数据处理模块进行处理存储,经处理的数据通过无线射频模块来发送到接收终端。图 1 表示无线发射端系统结构图,数据处理模块与无线射频模块与无线发射端系统结构图及基本原理相同。

2.1 数据处理模块

数据处理模块是整个控制系统的核心,它的功能主要包括(1)控制以及驱动无线射频模块、数据采集模块等;(2)为各个模块提供时钟信号;(3)对采集的数据进行处理存储并转化为实际量;(4)在程序控制下使各个模块有序的运行。

硬件系统设计关键问题之一就是系统的稳定性以及系统处理数据的能力^[7-9]。为提高监测系统的数据采集处理速度以及系统的稳定性,数据处理模块采用基于 ARM Cortex-M3 内核的 STM32F103 系列的微控制器^[10],它是一款 32 位处理器,数据通道、寄存器以及存储器接口都是 32 位。因其拥有独立的指令总线以及数据总线,可以让取指与数据访问并行,这样数据访问不再影响指令流水线,从而提高了处理器的性能,使监测系统以更快的速度对采集到的数据进行转化处理。通过时钟频率的设置使数据的采集处理与发射同步,采集到的数据能够通过无线发射,降低数据包的丢失,提高系统的稳定性。除此之外,在不使用期间使其处于睡眠、停机或待机模式降低系统的功耗。在数据发送端采用 STM32F103ZET6 控制芯片,在数据接收端采用 STM32F103RCT6 控制芯片。

2.2 数据采集模块

数据采集模块主要包括多路传感器和 A/D 转换部分,多路传感器将物体的形变、外界温度和位移等转化为模拟量,经过 A/D 转换为数字量通过地址或数据总线送到数据处理模块进行数据的处理。

STM32 内部集成了 12 位逐次逼近型模拟数字转换器^[11],它有多达 18 个通道,可测量 16 个外部和 2 个内部信号源。各通道的 A/D 转换可以单次、连续、扫描或间断模式执行。设计采用 STM32 内部的 A/D 转换器,将多路传感器采集到的数据转换为数字量,图 2 为数据采集模块的结构图。

ADC 驱动频率最高位 14 MHz,为保证各个

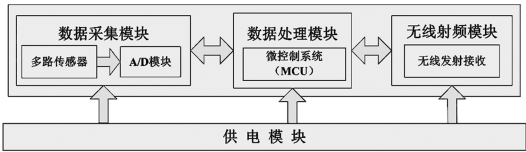


图 1 无线发射端结构

Fig.1 Wireless transmitter structure

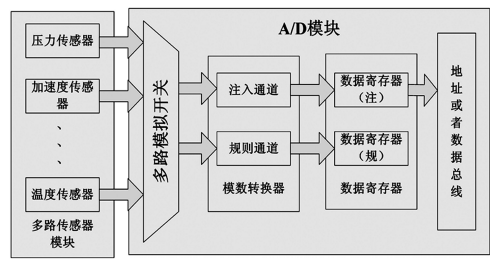


图 2 数据采集模块

Fig. 2 Data acquisition module

A/D 转换通道数据转换的稳定性,同时又使转换速率达到最大,时钟频率设置为 14 的整数倍,此时为 ADCCLKC 提供时钟频率的 APB2 时钟为 56 MHz,总的转换时间:

$$T_{\text{CONV}} = \text{采样时间} + 12.5 \text{ cycles.}$$

为保证系统采集数据的稳定性,使采样时间为 55.5cycles,此时总转换时间:

$$T_{\text{conve}} = 55.5 + 12.5 = 68 \text{ 个周期.}$$

根据监测范围的大小可以分配一个或者多个多路传感器模块,各个模块放在不同的位置进行数据的采集,各模块的基本原理及结构图相同。在系统启动之后,数据采集模块在 STM32 微控制器的控制下打开相应通道的多路模拟开关,该通道的传感器使能并将采集到模拟量送到模拟到数据转换器转换为数字量,被转换的数字量在系统的控制下送到相对应的数据寄存器然后再通过地址或者数据总线传输最终到无线发送模块进行发送。

监测系统对压力、位移、加速度、温度等量进行采集,各个数据采集工作在单次单通道连续采集模式。在监测系统采集数据中其中一个重要的数据就是压力的测量(近场动力学分析必须数据),采用压阻式压力传感器进行数据的测量,但此传感器在输入压力 P 不变的情况下,工作温度 T 以及其它因素的变化都将引起传感器的电压输出 U 发生变化,其中温度变化对其影响最大。因此必须采取有效措施,减少并补偿由于温度变化对其造成的误差。目前主要有硬件和软件两种补偿方法^[12-13],硬件补偿的优势在于简便、具有实时性,但由于影响电路的因素很多,硬件补偿只能针对其中的一个因素或几个因素进行补偿,所以实时调整也很麻烦;软件补偿技术实现相对简单,补偿效果明显,是提高压力传感器精度的重要途

径。设计采用软件补偿法中的多元线性回归法对压力传感器进行温度补偿,这样就可以提高系统的监测精度。此外,在运用近场动力学理论仿真分析,这样可以更加准确地预测材料的安全性,为材料的安全提供参考。

不同传感器采集的数据经过 A/D 转换得到的数字量与实际量大小之间的转换关系基本想同,其转换关系如下:

$$S = V_{\text{REF}} \times (D / 4095)$$

其中: S 为实际数据大小; V_{REF} 为参考电压的大小; D 为模数转换之后传给微控制器的 12 位数字量的大小。

2.3 无线传输模块

无线传输模块用来将采集到的数据通过无线传输的方式发送到终端,以供近场动力学理论分析使用。NRF24L01+^[14]是工作在 2.4 GHz~2.483 5 GHz 的 ISM 频段的单片无线收发器芯片,低功耗(1.9—3.6)V 工作,待机模式下状态为 22 μ A,掉电模式下为 900 nA,内置 2.4 GHz 天线,体积小巧 15 mm $\times$ 29 mm。采用 NRF24L01+无线传输芯片,将采集到的数据无线发送出去,可以让系统的整体功耗达到最低,从而提高系统的运行时间。为了提高数据传输的效率,让射频芯片工作在 Enhanced ShockBurst TM 模式^[15],其发送方要求终端设备在接收到数据后有应答信号,以便发送方检测有无数据丢失,一旦丢失则重发数据。

NRF24L01+在接收模式下,最多可以与 6 个处于发送模式的 NRF24L01+ 进行通讯,只需设置接收模式的 NRF24L01 对这 6 个发射端进行识别^[16]。为了使监测系统更加的简洁,设计采用一对多的接收与发送模式,让一个接收端来接收来自 6 个不同发送端的数据,多通道发送接收的结构图如图 3 所示。

串行外设接口(SPI)是一种高速的,全双工同步的通信总线,并且在芯片的管脚上只占用 4 根线,节约了芯片的管脚,同时为 PCB 的布局上节省空间。接口还能以多主配置方式工作 8 个主模式,波特率预分频系数(最大为 fPCLK/2)。它可用于多种用途,包括使用一条双向数据线的双线单工同步传输,还可使用 CRC 校验的可靠通信,有 8 或 16 位传输帧格式选择,可编程的时钟极性和相位,可编程的数据顺序,MSB 在前或

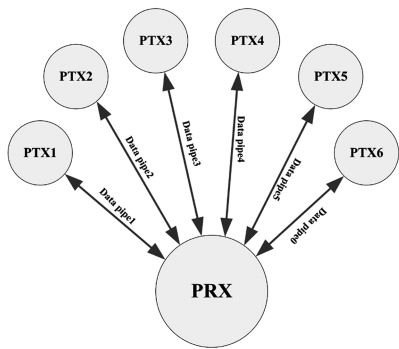


图 3 多通道发射接收结构

Fig. 3 Multi channel transmitting and receiving structure

LSB 在前,支持 DMA 功能以此来提高数据传输速度。

NRF24L01+是支持 SPI 的通讯方式,硬件系统利用 SPI 的通讯方式,来初始化 NRF24L01+外部设备,并将采集到的数据由微控制器传输给 NRF24L01+发射到接收端。在设计中 SPI 采用工作在主模式的全双工工作模式,8 位传输帧格式,为提高系统的传输稳定性,波特率设置为 $f_{PCLK}/256$,发送端与接收端的频率以及配置想同^[17]。SPI 与无线射频芯片的连接电路如图 4 所示,在无线发送和接收端的各个连接方式与图 4 相同。

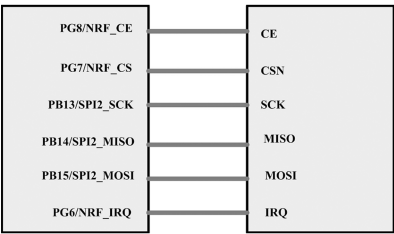


图 4 无线发射/接收电路连接

Fig. 4 Wireless transmitting / receiving circuit connection

3 控制系统软件设计

为了提高整个系统软件的可移植性以及程序便于调试,采用基于 ARM 的 RealView MDK 开发平台进行程序的设计,使整个系统能够实现数据采集、传输再到接收的整个过程,图 5 为接收端程序流程图,发射端流程基本原理相同不再介绍。

系统软件编写包括:(1)RealView MDK 下工程的创建;(2)RealView MDK 下工程的编写调试;(3)程序的烧录;(4)进行实际仿真观察结果并修改程序使其最优化。在设计中通过 C 程序控制,用命令“C”使系统连续采集五次不同的数据;用命令“P”使程序连续多次不停的采集压力数据;用命令“T”来使程序连续多次不停的采集温度数据等。数据采集模块各个通道的选通与关闭均可由 PC 来发送指令,为使整个系统更加的智能化、可控化,动态监测系统采用全双工的工作模式。为提高系统运行时间,在不需要数据采集或者没有数据发送时,无线发射模块在命令控制下能够进入到“休息状态”,微处理器也能够处于睡眠模式,这样大大提高了系统的运行时间,使功耗更低。

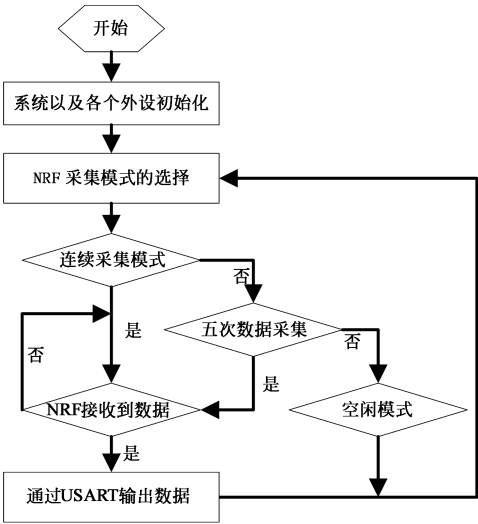


图 5 接收端程序流程

Fig. 5 Receiving end program

监测系统是为分析材料的状况提供所需的有效数据,为使整个系统采集的数据更具有代表性,以此来减轻后期对数据分析的负担,监测系统对数据采集模块采集到的数据进行了相关的筛选。在程序设计中在对在一比较短的时间段内采集到的数据进行筛选,获得其中的最大值发送到接收端进行相应的处理,以此来提高后期数据处理的效率。

4 实验结果分析与仿真

本文采用长 1 000 mm、宽 200 mm、高 200 mm、

腹板宽高都为 100 mm 两端固定的混凝土工字梁材料,在 $X=500$ mm, 受载宽度为 20 mm, 高为 20 mm 的地方施加不同压力载荷进行压力、温度以及加速度等量的实际监测。通过设计的动态监测系统来采集数据,对所采集数据以与实际值比

较,同时进行近场动力学理论仿真分析,以此来验证设计的整个系统方案。

4.1 动态监测数据及分析

表 1 为在连续五次采集模式下经过无线传输测得的温度、压力数据。

表 1 连续五次采集模式数据
Tab.1 Five continuous data acquisition mode

测量次数	温度测量数值/℃	压力测量值/N	实际压力值/N
1	6.141 4	24 099.60	24160.00
2	6.187 5	249.56	250.00
3	6.187 5	25 976.85	26055.00
4	6.252 5	49 850.00	50000.00
5	6.187 5	156 067.65	156600.00

通过上述实验,实践证明设计的动态监测系统能够很好的实现无线传输,整个监测系统比较稳定。通过用多元线性回归法对压力传感器进行温度补偿,其测量到的压力值与实际值比较接近,监测系统精度得到了提高,能够达到预期的要求。

4.2 近场动力学理论仿真分析结果

用表 1 中压力为 49 850.00 N 时进行仿真分析,其近场动力学仿真分析图如图 6 所示。图中不同颜色深度代表能量分布情况的不同,能量越

高的地方其越容易发生变形而损坏,颜色从深到浅能量密度越来越低。由仿真结果可得梁的上翼缘与固定端交接处和下翼缘底面中间部分以及腹板区域能量密集,容易发生损坏变形,随着载荷的不断增大在这些位置更容易发生变形或断裂,需要及时检查与维护。

5 结 论

通过软硬件设计完成整个动态监测系统的设计,对压力传感器温度补偿提高系统的监测精度的同时还对各个数据量采用连续多次采集求平均值,使监测结果更加准确,提高了整个系统的监测精度。采集到的数据经近场动力学仿真分析,能够准确的得出材料的变形情况,很好的为材料的安全提供了参考。通过实践证明整个监测系统是能够达到预期的要求,所得到的数据经近场动力学仿真分析能够比较准确得到材料的状况,具有实用价值。

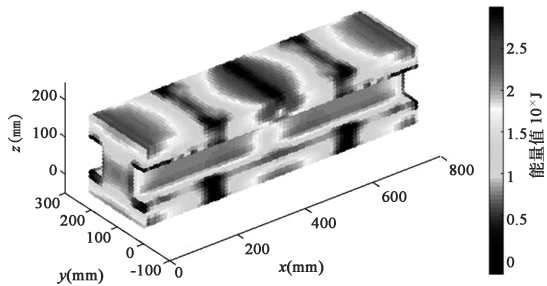


图 6 近场动力学分析结果
Fig.6 Peridynamics analysis results

参 考 文 献:

[1] 李金莹,刘毓江.现代无线通信技术未来发展趋势展望[J].通讯世界,2015(2):62-63.
LI J Y, LIU Y J. The future development trend of modern wireless communication technology[J]. Telecom World, 2015(2): 62-63. (in Chinese)

[2] 魏召兰.高速铁路大型桥梁结构健康监测与状态评估研究[D].成都:西南交通大学,2012.
WEI Z L. Research on health monitoring system and condition assessment of large-scale high-speed railway bridge structure[D]. Chengdu: Southwest Jiaotong University, 2012. (in Chinese)

- [3] 马凯. 基于单片机的数据采集与控制系统[J]. 中国新通信, 2014(9):122.
MA K. Data acquisition and control system based on microcomputer[J]. *China New Telecommunications*, 2014 (9): 122. (in Chinese)
- [4] 白维维. 基于无线技术的数据采集系统设计[J]. 微处理机, 2015, 36(4):15-19.
BAI W W. Design on data acquisition system based on wireless technology[J]. *Microprocessors*, 2015, 36(4): 15-19. (in Chinese)
- [5] SILLING S A, ASKARI E. A meshfree method based on the peridynamic model of solid mechanics[J]. *Computers & Structures*, 2005, 83(17/18):1526-1535.
- [6] SILLING S A, ASKARI E. Peridynamic modeling of impact damage [C]. Proceeding of the ASME/JSME 2004 Pressure Vessels and Piping Conference, San Diego, California, USA: ASME, 2004: 197-205.
- [7] 杨新华. 基于单片机的数据采集系统的研究[J]. 电子技术与软件工程, 2015(21):254.
YANG X H. Research of data acquisition system based on microcomputer [J]. *Electronic Technology & Software Engineering*, 2015(21): 254. (in Chinese)
- [8] 孙宏远. 基于分布式的远程数据采集与传输系统的设计与实现[D]. 长春: 吉林大学, 2014.
SUN H Y. Design and implementation of remote data acquisition and transmission based on distributed system[D]. Changchun: Jilin University, 2014. (in Chinese)
- [9] 林永君, 杨春来, 常喜茂, 等. 基于GPRS的远程监控系统的研究与实现[J]. 化工自动化及仪表, 2011, 38(11): 1367-1370.
LIN Y J, YANG C L, CHANG X M, *et al.* Research and implementation of the remote monitoring system based on GPRS[J]. *Control and Instruments in Chemical Industry*, 2011, 38(11): 1367-1370. (in Chinese)
- [10] 马忠梅, 李奇, 徐琰, 等. ARM Cortex 核 TI 微控制器原理与应用[M]. 北京: 北京航空航天大学出版社, 2011.
MA Z M, LI Q, XU Y, *et al.* *ARM Cortex Core TI Microcontroller Principle and Application* [M]. Beijing: Beihang University Press, 2011. (in Chinese)
- [11] 罗卫兵, 胡健生. 基于STM32+ucGUI的北斗导航定位系统设计[J]. 液晶与显示, 2014, 29(2):195-201.
LUO W B, HU J S. Design of Beidou navigation system based on STM32 & ucGUI[J]. *Chinese Journal of Liquid Crystals and Displays*, 2014, 29(2): 195-201. (in Chinese)
- [12] 陈晓燕, 程志江, 姜波, 等. 基于多传感器信号融合的数字滤波方法[J]. 电气传动, 2015, 45(2):54-57.
CHEN X Y, CHENG Z J, JIANG B, *et al.* Digital filtering method based on multisensor signal fusion[J]. *Electric Drive*, 2015, 45(2): 54-57. (in Chinese)
- [13] 杨创. 基于单片机的数据采集器设计研究[J]. 电子技术与软件工程, 2014(5):272.
YANG C. Design of data acquisition system based on microcomputer[J]. *Electronic Technology & Software Engineering*, 2014(5):272. (in Chinese)
- [14] 张崇, 于晓琳, 刘建平. 单片 2.4GHz 无线收发一体芯片 nRF2401 及其应用[J]. 国外电子元器件, 2004(6):34-36.
ZHANG C, YU X L, LIU J P. Single chip 2.4GHz transceiver nRF2401 and its application[J]. *International Electronic Elements*, 2004(6): 34-36. (in Chinese)
- [15] 司海飞, 杨忠, 王珺. 无线传感器网络研究现状与应用[J]. 机电工程, 2011, 28(1):16-20, 37.
SI H F, YANG Z, WANG J. Review on research status and application of wireless sensor networks[J]. *Journal of Mechanical & Electrical Engineering*, 2011, 28(1): 16-20, 37. (in Chinese)
- [16] LOPES P R, TRINDADE J, GONÇALVES F, *et al.* A wireless sensor network for monitoring volcanic tremors [J]. *Natural Hazards and Earth System Sciences Discussions*, 2013, 1(4): 4305-4348.
- [17] 赵慧萍, 柳建光. 基于单片机控制系统的几种实用抗干扰措施[J]. 中国集成电路, 2012(Z1):65-70.
ZHAO H P, LIU J G. Several applied anti-jamming measures based on the control system of single chip micro-computer[J]. *China Integrated Circuits*, 2012(Z1): 65-70. (in Chinese)

作者简介:原群盛(1991—),男,贵州贵阳人,硕士研究生,2014年获得贵州大学学士学位,现为贵州大学机械工程学院硕士研究生,主研领域为机械电子及系统控制。E-mail:1464506500@qq.com
钱松荣(1972—),女,贵州贵阳人,教授,硕士生导师,主研领域为机械电子及系统控制。E-mail:771744419@qq.com