

基于近场通讯的低功耗运输状态监测仪设计

龚靖傑, 邓哲, 张玉玺, 刘芳, 王家乐

(北京强度环境研究所, 北京 100076)

摘要: 使用微控制器、MEMS 传感器和近场通讯模块等部件设计了一款监测仪, 用于监测和记录货物在运输过程中的加速度、温湿度等状态信息; 其中加速度测量范围可达 $\pm 16\text{ g}$, 温湿度量程分别为 $-40\sim 85\text{ }^\circ\text{C}$ 和 $0\sim 100\%\text{ RH}$, 同时在硬件型号选择和软件算法编写过程中, 对系统功耗进行了充分优化, 使得监测仪的待机时间超过 60 天; 设备使用近场通讯方式与移动端进行无线数据交互, 移动端通过配套的应用程序能够实现监测仪的控制和对记录数据的操作; 试验结果表明, 监测仪能够准确、完整地记录货物运输过程中出现的“超限事件”, 可广泛应用于物流、运输等行业。

关键词: 运输状态; 低功耗; 近场通讯; MEMS 传感器

Design of a Low-power Transportation Status Monitor Based on Near Field Communication

Gong Jingjie, Deng Zhe, Zhang Yuxi, Liu Fang, Wang Jiale

(Beijing Institute of Structure and Environment Engineering, Beijing 100076, China)

Abstract: Designed a monitor which is composed of microcontroller, MEMS sensors and Near Field Communication (NFC) module to supervise and record the transportation status parameters, such as acceleration, temperature and humidity. The measurement range of acceleration could reach $\pm 16\text{ g}$, and the range of temperature and humidity are $-40\sim 85\text{ }^\circ\text{C}$ and $0\sim 100\%\text{ RH}$, respectively. Meanwhile, the system power consumption has been fully optimized during the hardware model selection and software algorithm program, which makes the device's standby time beyond 60 days. This monitor exchanges data with mobile terminal via NFC, suggesting mobile terminal can control the monitor and manipulate the data recording by means of the corresponding application program. Test results verify that the monitor records the "over-limit events" precisely and completely during the transportation, which could be widely used in logistics and transportation industries.

Keywords: transportation status; low-power; NFC; MEMS sensors

0 引言

近年来, 随着我国制造业的发展, 越来越多的大型构件和精密仪器如风机叶片、卫星、医疗设备等, 均采用整体出厂, 现场安装的方式进行交付。这些产品对于运输过程中经受的冲击、振动和温湿度等环境条件都有着严格的要求, 一旦超过了规定的承受范围, 将会导致产品性能劣化、寿命缩短、甚至完全不能使用^[1]。另一方面, 对于具有易燃、易爆、腐蚀、放射等特性的危险货物, 在运输过程中对冲击、温湿度和载运工具等运输环境条件要求很高, 否则容易造成财产毁损和人身伤害^[2]。因此对产品的运输状态进行实时监测就显得十分重要。

目前国内物流行业通常使用冲击监测仪对运输过程中的振动状态进行记录, 此类设备监测参数单一、续航能力有限, 且数据输出一般通过有线接口或微型打印机完成, 可操作性和实时性不强^[3]。针对这些问题, 本文设计了一款基于近场通讯 (Near Field Communication, 下文简称

“NFC”) 的低功耗运输状态监测仪, 该设备能够以触发方式记录产品运输过程中的“加速度超限事件”, 具有监测参数多、运行功耗低、能与移动端进行实时数据交互等特点。

1 硬件构架及工作原理

本监测仪由电源管理模块、加速度传感器、温湿度传感器、存储芯片、NFC 模块、微控制器等部件组成, 整体硬件构架如图 1 所示。

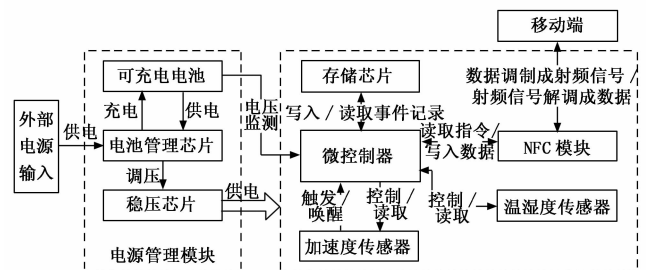


图 1 运输状态监测仪硬件构架

其中, 电源管理模块使用电池管理和稳压芯片, 负责将外部输入电源或内置电池电压调理至后端电路所需电压; 加速度传感器负责实时监测设备当前加速度值, 并根据用

收稿日期: 2018-12-27; 修回日期: 2019-02-17。

作者简介: 龚靖傑(1987-), 男, 湖北钟祥人, 硕士研究生, 工程师, 主要从事测试类设备的硬件开发和软件算法方向的研究。

户设定阈值判断“超限事件”的发生与否；温湿度传感器用于测量当前环境中的温度和湿度值；存储芯片是监测仪的数据存储单元，能够在微控制器的控制下写入或读取事件记录；NFC 模块是监测仪与移动端进行数据交互的桥梁；微控制器是设备的控制调度中心，它既能够控制和读取 MEMS 传感器，并根据事件触发信号将事件记录写入存储芯片，又能与 NFC 模块进行数据交换，并根据解析到的外部指令，执行对应的操作。

在工作过程中，监测仪使用 MEMS 三轴加速度传感器对货物在运输过程中承受的加速度值进行实时测量，并与用户预设的超限阈值进行比较。一旦传感器监测到任意轴向加速度超过阈值即认为“超限事件”被触发，随即开启事件记录功能，将当前时间、温湿度和设定时间段内的加速度等信息存入存储芯片。同时，监测仪通过 NFC 模块与外界进行数据交换，它既可以将微控制器上传的数据调制为符合 NFC 协议的射频信号发送给移动端，也可以将接收到的移动端射频信号解调成数字信号后，下发给微控制器以执行相应的指令。

2 硬件设计及关键元件选型

为实现设备功能、降低系统功耗、减小外形尺寸，运输状态监测仪在硬件设计过程中对关键元件进行了充分的调研和选型。

2.1 加速度传感器

监测仪选用 ADI 公司生产的 ADXL345 型数字三轴加速度传感器，其测量范围最大为 ± 16 g，采样率可达 3200 Hz，分辨率在全量程内均保持为 4 mg/LSB（最低有效位）。

该芯片基于 MEMS 工艺制成，体积小（3 mm \times 5 mm \times 1 mm）、功耗极低，工作状态下电流消耗仅为 23 μ A，其内置的 32 级 FIFO 缓冲器可减轻微控制器负荷，从而进一步优化系统功耗。同时，ADXL345 提供活动监测功能，能够将任意轴向加速度超过预设阈值的状态判定为活动事件，并产生触发信号。传感器留有编程接口，用户可根据使用需求随时更改测量量程、采样率及活动监测阈值等参数^[4]。

2.2 温湿度传感器

SHT21 型温湿度传感器由 SENSIRION 公司出品，其内部集成有一个电容式湿度传感器和一个带隙式温度传感器，测量范围分别为 0~100% RH 和 -40~125 $^{\circ}$ C，在本监测仪中使用该型号产品足以应对工业级的气候环境。

同时，因为采用了 COMSens 专利技术，使得 SHT21 测量功耗低，结合“长待机+间歇测量”的工作模式，芯片的平均电流消耗可低至 0.1 μ A，有利于增加设备待机时间。

2.3 NFC 模块

NFC 是一种短距离的高频无线通信技术，它通过电磁感应耦合方式进行信息传递。因其独特的信号衰减技术，使得 NFC 具有成本低、安全性高、能耗低等特点^[5]。

本设备选用 TI 公司生产的 RF430CL331H 型芯片作为 NFC 模块，它能够自动完成 RF 射频信号的调制、解调工

作，最高通讯速率可达 848 kb 每秒。该芯片待机消耗电流低至 4 μ A，当它应用于 RF 电场中时，提供微控制器唤醒功能。同时凭借 NFC 特有的负载调制技术，RF430CL331H 在通信连接过程中可作为无源器件，完全由主机提供通讯电源，从而大幅延长监测仪的电池使用寿命。

2.4 微控制器

作为监测仪的控制调度中心，微控制器采用了 TI 公司基于铁电存储器（FRAM）的 MSP430FR5969。该产品内置 12 位模数转换器（ADC）和 3 通道内部直接存储器访问（DMA），且外设接口丰富，可同时支持三个增强型串行通信接口（eUSI），十分适用于本设备外接芯片较多的情况。

同时，由于使用了更为先进的存储单元，MSP430FR5969 相较于传统的闪存器件，它具有更快的写入速度和更低的功耗^[6]。搭配经优化的超低功率模式，微控制器在工作状态下电流消耗约为 100 μ A/MHz，而在待机状态下，消耗电流仅为 0.4 μ A，这大幅的提升了监测仪的续航能力。

经过架构制定、元器件选型和 PCB 板布线后，完成了基于 NFC 的低功耗运输状态监测仪硬件设计。设备外形尺寸为（45 \times 45 \times 25）mm³，整机重量（含电池）约为 80 克，加速度监测范围为 ± 16 g，温湿度量程分别为 -40~85 $^{\circ}$ C 和 0~100% RH，内置存储芯片大小为 64 Mbit，可记录事件次数大于 1300 次。

同时由于关键元器件均选用了低功耗芯片，使得本监测仪待机状态下的设计电流消耗仅为 0.55 mA，工作状态下的设计电流消耗最大约为 17.2 mA。

3 嵌入式软件设计

嵌入式软件主要用于控制微控制器完成与各个硬件模块之间的数据交换和工作流程切换，它由系统初始化和引导程序、事件监测中断服务程序以及 NFC 模块中断服务程序三部分组成。

各程序流程图如图 2 所示，其中：系统初始化和引导程序在监测仪上电后，首先对微控制器进行芯片引脚分配、系统时钟选择、RTC 和 ADC 外设功能配置。然后对 MEMS 传感器、存储芯片以及 NFC 模块等外部数字芯片进行串行通讯接口的初始化，再通过读取各芯片内部的 ID 寄存器可以验证芯片连接是否正常。若连接失败，向 NFC 模块缓存中写入“初始化失败”的标识符；若连接成功则按照默认设置对各芯片内部寄存器进行配置以完成初始化，并向 NFC 模块缓存中写入“初始化成功”的标识符。最后，开启微控制器引脚中断并使能加速度传感器和 NFC 模块的中断输出后，进入待机模式，等待外部中断的唤醒。

在加速度传感器检测到事件发生后，会产生中断信号触发微控制器进入事件监测中断服务程序。程序首先会唤醒微控制器从待机模式进入工作模式，然后读取事件发生时刻 MEMS 传感器测得的加速度和温湿度值，同时导出当前 RTC 模块中的时间值，再将上述三方面信息作为本次

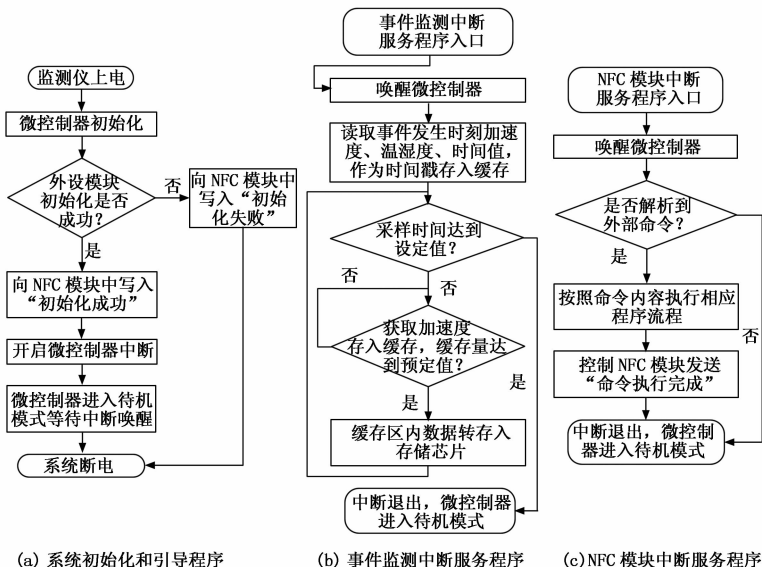


图 2 嵌入式软件流程图

事件的时间戳存入微控制器缓存。随后服务程序将判断本次事件已采样时间是否达到用户设定值, 若采样时间未达到, 则继续读取加速度值存入事件缓存, 当缓存数据量达到程序预定值时, 缓存区内数据将被转存入存储芯片中, 并再次判断采样时间是否完成; 若采样时间已完成, 则本次活动事件的记录信息更新完成, 然后退出中断服务程序, 等待下次活动事件的触发。

当 NFC 模块检测到射频场且与移动端有数据交换时, 会产生中断信号触发微控制器进入 NFC 模块中断服务程序。程序首先会唤醒微控制器从待机模式进入工作模式。然后读取 NFC 芯片的相应寄存器以判断是否成功解析到外部命令, 若未解析到命令则退出中断服务程序, 微控制器重新进入待机模式; 若解析到外部命令则按照命令内容执行相应的程序流程。最后在各命令执行完成后, 微控制器会控制 NFC 模块发送“命令执行完成”的回应, 再退出中断服务程序进入待机模式, 等待下次通讯事件的触发。

同时从图 2 中可以看出, 程序在执行过程中, 对设备工作状态的切换进行了优化, 使监测仪在无任务的情况下总是处于待机模式, 从软件方面进一步降低了设备功耗, 延长了监测时间。

4 移动端应用程序设计

移动端应用程序是为了实现移动端对监测仪的控制和对事件记录的读取、保存而开发, 程序的主要流程如图 3 所示^[7]。

打开移动端应用软件后, 程序会主动获取 NFC 模块适配器, 检测移动端是否含有 NFC 功能模块。若没有此功能, 程序会向移动端推送“该设备不支持 NFC”的信息; 若有此功能程序会继续检测移动端的 NFC 功能模块是否开启, 如模块未开启则跳转至移动端功能设置界面, 等待用

户打开该模块。在开启移动端 NFC 功能后, 程序就进入了指令设置界面。在该界面下, 程序会主动获取监测仪的设备信息, 如设备类型、设备编号、电池电量和总记录次数等状态信息, 并显示在屏幕上供用户查阅。同时在该界面下, 后台会不断检测是否有命令按键被按下, 如没有则继续等待; 若有按键被触发, 程序即会执行按键对应的命令, 如开始/停止采集、参数设置/读取、数据读取/保存等。然后检测命令是否被成功执行, 如执行成功, 程序会推送“命令执行成功”的信息; 如执行失败, 则会推送“命令执行失败”的信息。最后在当前命令执行完成后, 程序会返回指令设置界面, 等待新的命令触发。应用程序界面截图如图 4 所示。

5 样机测试

根据上述设备的软硬件设计方案, 最终完成了基于 NFC 的低功耗运输状态监测仪的样机研

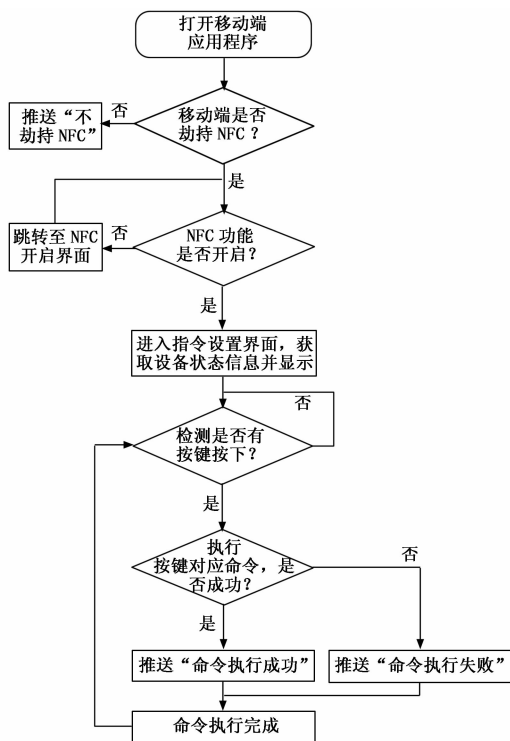


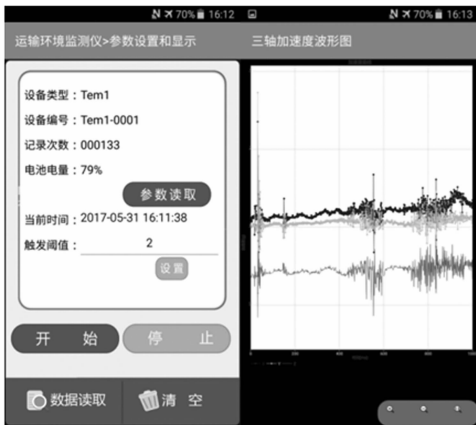
图 3 移动端应用程序流程图

制, 为验证样机的工作性能, 进行了如下测试:

5.1 功能测试

本监测仪通过“敲击法”对设备的事件监测功能进行了测试, 图 5 为其中某次“超限事件”的波形记录曲线。

从图 5 中可以看到, 监测仪完整的捕捉到了“超限事件”发生前后加速度的变化曲线, 这样用户就能够根据事件记录计算出本次冲击的能量大小和量级、分析出振动频率谱, 从而对货物的运输过程做出评价。



(a) 主界面截图 (b) 数据图形预览界面截图

图 4 移动端应用程序界面截图

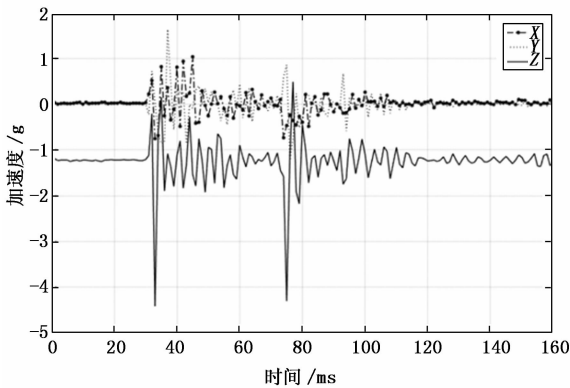


图 5 “超限事件”波形记录曲线图

5.2 功耗测试

通过测量供电线路上的电流消耗,即可反映出监测仪的功耗大小^[8]。设备在不同工作状态下的电流消耗如表 1 所示。

表 1 运输状态监测仪电流消耗

工作状态	待机	设备唤醒 监测	向内存写 数据	与移动端 通讯
电流消耗/mA	0.61	1.57	17.72	5.35

从表 1 中可以看出,经过软硬件优化设计后,监测仪的系统功耗极低。在内置电池(容量为 1 100 mAh)供电的情况下,设备待机时间可达 60 余天,同时配合“触发”的工作方式,监测仪足以完成两个月之内的运输状态监测任务。

6 结束语

本监测仪能够准确、完整地对货物运输过程中出现的“超限事件”进行监测和记录,可广泛应用于物流、运输等行业,为以下工作提供有效的数据支持:

- 1) 对于运输过程中的超限情况进行记录;
- 2) 评估运输过程中各种环境因素对产品所造成的影响;
- 3) 检测产品包装是否达到预期效果;
- 4) 考察产品运输路线的严酷程度并进行合理规划;
- 5) 对产品已经发生的损坏进行责任界定。

参考文献:

[1] 赵世宜,田润良,徐梅,等.军用物资集装箱运输环境条件分类研究[J].装备环境工程,2007,4(2):66-69.

[2] 黄伟伟,辛昕,张瑞鹏,等.军用危险货物开展铁路运输项目试验的基本设想[J].国防交通工程与技术,2015(2):6-9,12.

[3] 赵丽丽,陈俊娟,王刚.电力设备运输监测仪研究[J].物流技术,2015,34(4):280-282,316.

[4] Su Y P, Gong M F, An B, et al. Design of a tilt angle measurement system based on ADXL345 sensor[J]. Journal of Measurement Science and Instrumentation, 2014, 5(2): 19-22.

[5] 史春腾. NFC 标准与技术发展研究[J]. 信息技术与标准化, 2018(3): 55-57, 65.

[6] 孙树印. 铁电存储器原理及应用[J]. 世界电子元器件, 2004(6): 65-67.

[7] 明日科技. android 开发从入门到精通(第 2 版)[M]. 北京:清华大学出版社, 2017.

[8] 王家乐,关越,邓哲,等.基于 MEMS 传感器的运输环境监测仪的研制[J].测控技术,2017,36(2):107-110.

(上接第 274 页)

[2] 宁布,张睿,刘忠俊,等.喷墨印刷技术研究现状与发展对策[A].包装工程,2018(17):236-242.

[3] 宋波,唐正宁.压电式喷墨印刷中液滴喷射参数分析[J].包装工程,2011(19):93-96.

[4] 魏文卿.服装数字喷墨印花图案的创新设计[J].染整技术,2017(3):62-64.

[5] 马天凤,楚建安,林杰.数码印花机承印物运动控制系统仿真研究[A].国外电机测量技术,2017(7):9-13.

[6] 收稿日期:2017-05-07;修回日期:2017-05-13;录用日期:2017-05-13. 作者简介:明国科技博览,2017,陕西西安九L.工程师,主要从事弹水箭测速系统喷墨印刷质量缺陷的产生原因和解决对策

[A]. 包装工程, 2018(1): 174-178.

[8] Wang C J, Ko F H, You H C, et al. Controllable ink-jet printing technique on various channel width designs toward zinc oxide-based thin film transistor [A]. 2016 International Symposium on Computer, Consumer and Control (IS3C) [C]. 2016(1): 168-171.

[9] 林杰,楚建安,马天凤.基于 PLC 的数码印花机墨盒压力控制系统设计[J].纺织科技进展,2017(7):16-19.

[10] Thabet Y, Sibanc R, Breitkreutz J. Printing pharmaceuticals by inkjet technology: Proof of concept for stand-alone and continuous in-line printing on orodispersible films [J]. Journal of Manufacturing Processes, 2018(35): 205-215.