

文章编号:1673-0062(2011)01-0053-04

基于无线传感器网络的机械振动监测系统设计

蒋冬梅¹, 李 晔¹, 李必文²

(1. 南华大学 工程训练中心, 湖南 衡阳 421001; 2. 南华大学 机械工程学院, 湖南 衡阳 421001)

摘 要:针对部分机械设备运行环境复杂, 人员难以靠近等特点, 提出了基于无线传感器网络的机械设备状态监测系统. 本系统采用 LM3S1968 和 CC2420 作为无线传感器网络的主要硬件. 针对 LEACH 算法的不足, 改进了其路由选择算法. 通过 MATLAB 虚拟仿真平台和现场数据采集表明, 此系统能够对信号实行有效的采集.

关键词:WSN; LEACH 算法; 振动监测

中图分类号:TP23 **文献标识码:**B

Design of Machine Vibration Monitoring System Based on Wireless Sensor Networks

JIANG Dong-mei¹, LI Ye¹, LI Bi-wen²

(1. The Engineering Training Center, University of South China, Hengyang, Hunan 421001, China;
2. School of Mechanical Engineering, University of South China, Hengyang, Hunan 421001, China)

Abstract: According to the complex operating environment of machine equipment, a wireless sensor networks (WSN) is applied to the design of a new type of machine equipment vibration monitoring system. This system uses ARM Cortex-M3 LM3S1968 and the CC2420 as the main hardware. And an improved routing algorithm is presented in this paper. Virtual simulation using Matlab and field data collection shows this system can collect machinery vibration signals effectively.

key words: wireless sensor networks; LEACH algorithm; vibration monitoring

0 引 言

机械振动信号是判断机械设备运行是否正常的重要信号来源, 通过对设备振动信号的检测和诊断, 就能够提前预知机械设备的健康状态. 从而延长设备的工作寿命, 避免事故的发生. 然而传统

的有线连接方式存在很多不可避免的缺点, 主要体现在: 网络维护困难、人难以接近、有线网络之间存在电源干扰现象、大量布线增加了系统潜在危险和不可控性等. 为了解决这些问题, 迫切需要引入一种新型的、无需布线的网络^[1-2].

WSN 是随着 MEMS、传感技术、无线通讯和

收稿日期: 2011-01-07

作者简介: 蒋冬梅(1967-), 女, 湖南衡阳人, 南华大学工程训练中心工程师. 主要研究方向: 机械工艺、模具设计.

数字电子技术的迅速发展而出现的一种新的信息获取和处理模式.它具有造价低、规模大、分布式模式、配置灵活、ISM 频段无需申请和付费等特点^[3].2008 年,印度理工学院和美国南加州大学开始联合开发基于 MEMS 技术的铁路桥梁安全监测系统.Narito Kurata 等在 2008 年北京世界地震工程研讨会上提出了基于 MEMS 技术的无线加速度传感器网络的普适结构健康监测技术的应用研究.因此将 WSN 应用到机械设备振动监测中来,具有很大的可行性.

1 WSN 设计要求

1) 高可靠性.汽轮机、旋转机械等大多处于高速运行状态,如果出现故障,就有可能导致重大的经济损失和人员伤亡.

2) 实时监测.由于机械要长期稳定的运行,这就要求对其进行连续不间断的状态监测,并且能够即使反映机械的运行情况.

3) 较高的采集速度和精度.一般机械转速都比较高,比如汽轮机的正常工作转速一般在 3 000 r/min 左右,有时甚至更高,因而数据采集系统需要足够的处理速度和采集精度来适应这一要求.

4) 兼容性.为了保护用户的原有投资,要具有与工厂原有的有线控制系统互连和互操作的能力.

5) 同步整周期采样.在机械振动监测系统中,不仅要知道振动信号值的大小,而且要知道信号彼此之间的相位关系,这时就需要采取同步采样技术来实现^[3].

2 WSN 硬件设计

无线传感器网络硬件框图如图 1 所示,主要由传感器、微处理单元、存储单元、通信模块以及电源组成.

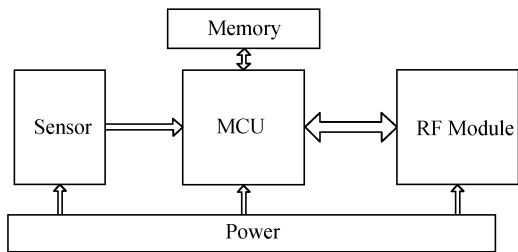


图 1 WSN 硬件框图

Fig. 1 The frame figure of WSN hardware

微处理器采用 LM3S1968,它是针对工业应用方案而设计的,首款基于 ARM CortexTM-M3 的控制器.LM3S1968 微控制器具有一个电池备用的休眠模块,从而有效的使 LM3S1968 芯片在未被激活的时候进入低功耗状态.一个上电/掉电序列发生器、连续的时间计数器(RTC)、一对匹配寄存器、一个到系统总线的 APB 接口以及专用的非易失性存储器、休眠模块等功能组件使 LM3S1968 微控制器极其适合用在电池的应用中.接口方面,LM3S1968 提供了 SSI 接口,可直接与 CC2420 进行通信;提供了 UART 接口,可实现编程或者与上位机进行通信.

射频芯片采用 CC2420,它是 TI- Chipcon 公司推出的首款符合 2.4 GHz IEEE 802.15.4 标准的射频收发器.它基于 Smart RF03 技术,以 0.18 μm CMOS 工艺制成.只需极少外部元器件.性能稳定且功耗极低.CC2420 的选择性和敏感性指数超过了 IEEE802.15.4 标准的要求,抗邻道干扰能力强(39 dB),可确保短距离通信的有效性和可靠性.利用此芯片开发的无线通信设备支持数据传输率高达 250 kbps,可以实现多点对多点的快速组网.

针对机械振动频率范围,传感器采用 ADXL001,它是 Analog Devices Inc 最新推出的压电传感器.这款器件非常适合宽带宽、小尺寸、低功耗以及鲁棒的振动与冲击测量性能的机械安全与工业自动化应用.

3 无线网络的建立

无线传感器网络虽然在某些方面取得了重大的进展,但在机械振动监测方面大多数都是停留在理论阶段,要解决的问题还有很多.比如数据的可靠传输率要超过 95%;工厂环境中往往存在 IEEE802.11、蓝牙等多种类型的无线网络,彼此间存在严重干扰;厂房中遍布的各种大型器械、金属管道等对信号的反射、散射造成的多径效应,以及马达、器械运转时产生的电磁噪声,都会干扰无线信号的正确接收;还有对实时性要求很高.对于工业闭环控制应用,数据传输延迟应低于 1.5 倍的传感器采样时间^[4].

针对以上提到的这些问题,本文采用分簇网络拓扑结构(如图 2),有利于分布式算法的应用,可以快速响应系统变化,具有较好的扩展性,适合大规模网络,簇头通过数据融合减少了数据通信

量,节省了网络能量等^[5].将其应用到机械设备的状态监测系统中来,具有非常积极的意义.分簇路由协议主要由三部分组成,即簇头的选择、网络的形成、数据的传输.

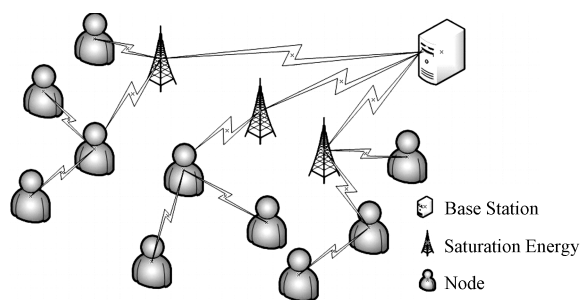


图 2 网络拓扑结构

Fig. 2 The framework figure of network topology

1) 簇头的选择. LEACH 协议^[6]是最早提出来的分布式成簇协议.它为每个节点产生一个 $[0, 1]$ 之间的随机数,如果这个数小于阈值 $T(n)$,则该节点向整个网络广播它是簇头.阈值的计算为:

$$T(n) = \frac{k}{N - k \times \lceil r \bmod(n/k) \rceil}, n \in G$$

$$T(n) = 0, \text{Another} \quad (1)$$

式中: N 表示网络中传感器节点的个数, k 是一个网络中簇头的节点数, r 是目前循环进行的次数; G 是网络生存期总的回合数,这里的一个回合表示一个周期.

可以看出,簇头是随机挑选的.因此 LEACH 协议在实际应用中不能保证簇头在网络中分布均匀,且不能保证簇的负载均衡.为了适应机械振动信号采集的环境,在此提出一种改进型的簇头选择算法.

首先基站通过广播一个 HELLO 消息告知整个网络新的簇的建立开始.这时能量饱和节点利用自身的能量饱和信号 ES(通过阈值判断)自主决定成为簇头并且告知整个网络自己成为簇头的事实,这时第一层簇头建立成功.

其次,第二层簇头的选择采用改进型的 LAECH 算法.充分考虑第二层簇头自身的能量.经过一段时间的网络运行后,可再生节点在当前时刻的剩余能量为 $E_{\text{cur}}(n)$,那么此时能量剩余率为 $R(n)$:

$$R(n) = \frac{E_{\text{cur}}(n)}{E_{\text{ini}}(n)} \quad (2)$$

其中 $E_{\text{ini}}(n)$ 为节点初始能量.

那么经过改进的计算公式为:

$$T(n) = \frac{k}{N - k \times \lceil r \bmod(n/k) \rceil} \times R(n) \quad (3)$$

2) 网络的形成.簇头产生之后,簇头开始广播当选的消息到周围节点.根据 Friis 自由空间方程,给出了接收机与发射机之间的距离为 d 时的接收信号功率表达式为:

$$P_{\text{revd}}(d) = \frac{P_{\text{tx}} G_t G_r \lambda^2}{(4\pi)^2 d^2 L} \quad (4)$$

其中 P_{tx} 为发射功率, G_t, G_r 分别为发射机和接收机的 antenna gains(天线增益), λ 为信号的波长, $L \geq 1$ 表示从发射到接收的损失.

根据以上公式,在允许的情况下,应该尽量减小通信距离. LEACH 路由算法没有从能量角度考虑簇的规模、数量以及负载均衡等问题.在此提出一种改进型的 LEACH 簇的形成方案.

簇头节点广播消息,消息内容包括成为簇头的标志 TRUE、发射功率、簇头 ID、剩余能量,通知其它节点自己当选为簇头.节点能够收到很多簇头发来的消息,那么接下来就要进行一系列的判断.节点优先考虑加入接收信号最强的簇头,如果有几个簇头所发送的接收信号强度大小差不多,那么就优先考虑加入剩余能量最多的.为了减小簇头的转发压力,应该把簇的大小限制在一个有限的范围之内.

3) 数据的传输.对于振动信号来说,因为整个振动波形都反映了机械设备的健康状况.为了减小簇头的压力以及减小数据传输时的相互干扰,将采用 TDMA 的方式为簇内的每个节点分配一个时间间隙,当节点的时间片到达了以后,就向簇头发送相关数据,簇头再将汇聚到的数据进行融合,然后传给上一层簇或者是基站.

4 仿真及实验

本论文通过 MATLAB 仿真来实现对 LAECH 算法以及改进型的算法进行对比.考虑到机械监测环境区域大小,设置仿真条件如下:区域为 $100 \text{ m} \times 100 \text{ m}$,随机分布 80 个节点,通信距离为 45 m ,数据传输速率为 85 Kbit/s .如图 3 所示,为 LEACH 路由算法以及其改进型的算法,由图 3 可以看出,LEACH 在运行 315 轮以后开始出现了死亡节点,而改进型的算法直到 410 轮后才开始出现死亡节点,所以算法的有效性提高了 20% 以上.

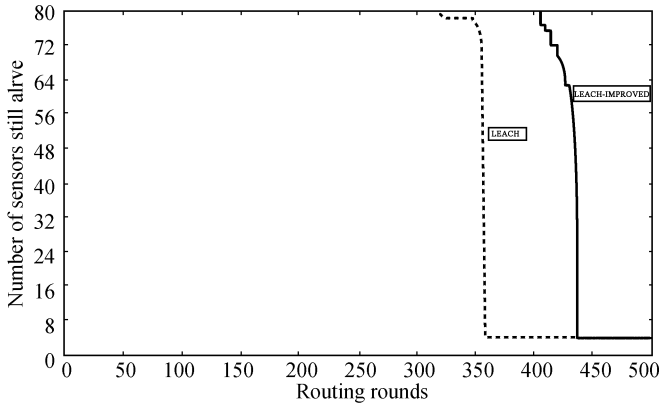


图 3 LEACH 算法和改进型 LEACH 进行对比

Fig.3 Contrast of LEACH arithmetic and modified LEACH

5 实验结果

上位机数据采集系统采用 MFC 来设计. 无线传感器网络收集到的信号由基站通过 INTERNET 发送到远程操作端, 远程操作将收集到得信息以波形的形式显示给客户端.

为了测试 WSN 的信号采集性能, 在数控机床上布置了 7 个无线传感器网络节点, 采样频率设置为 1KHz. 传感器采集到的信号如图 4 所示, 为采集到的一路加速度信号. 图中横轴为时间轴, 竖轴为电压幅值. 图 5 为相应的频谱图. 实验证明, 在低频采样条件下, 采集到的信号能够反映出机械的振动效果. 但是对于 12 kHz 以上的高速信号, WSN 还不能采集到满意的数据.

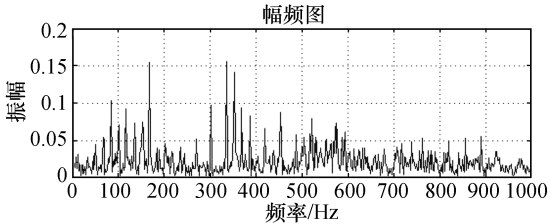


图 5 波形频谱图

Fig.5 The spectrum figure of waveform

过 MATLAB 路由仿真以及现场实验数据的采集可以看出, 本系统能在一定条件下对振动信号进行有效的采集. 随着无线网络的发展以及电池技术的进步, 无线传感器网络一定能在不久的将来成功应用到机械设备振动监测系统中来.

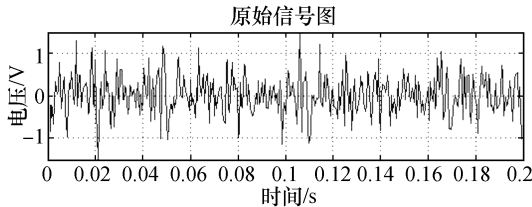


图 4 振动波形

Fig.4 The vibratile waveform

6 总 结

基于 WSN 的机械振动监测系统是现代机械工程领域的先进前沿技术的发展方向之一, 具有明显的多学科交叉特征. 本文分析了机械设备的特殊环境以及设计要求, 并在硬件平台的基础上提出了一种改进型的 LEACH 路由协议, 通

参考文献:

[1] 孙立民, 李建中, 陈渝. 无线传感器网络[M]. 北京: 清华大学出版社, 2005.

[2] 李晓维. 无线传感器网络技术[M]. 北京: 北京理工大学出版社, 2007.

[3] Krishnamurthy V, Fowler K, Sazonov E. The effect of time synchronization of wireless sensors on the modal analysis of structures[J]. Smart Material and Structure, 2008, 24(10): 23-35.

[4] 沈波, 张世永, 钟亦平. 无线传感器网络分簇路由协议[J]. 软件学报, 2006, 17(7): 1588-1600.

[5] Yick J, Mukherjee B, Ghosal D. Wireless sensor network survey[J]. Computer Networks, 2008, 52(12): 2292-2330.

[6] Heinzelman W, Chandrakasan A, Balakrishnan H. Energy-efficient communication protocol for wireless microsensor networks[C]//Proc. of the 33rd Annual Hawaii Int'l Conf. on System Sciences. Maui: IEEE Computer Society, 2000: 3005-3014.