

文章编号:1007-2985(2012)03-0061-05

基于新型树状结构的无线传感器 网络桥梁监测系统*

张清安

(湘西民族职业技术学院,湖南 吉首 416000)

摘要:将新型树状结构的无线传感器网络应用于桥梁健康监测,保留了有线网络监控的优点,弥补了其布线复杂问题的不足.桥梁建筑在使用运行时,由于材料性能随着时间推移而老化,从而导致桥梁结构安全性能下降.基于新型树状结构的无线传感器网络利用业务方向性特点,有效减少资源浪费,提高通信效率.通过数据采集,传送或接收及网络数据分析,建立了基于新型树状结构的桥梁监测系统,提高了系统的能效和生命周期,并在系统鲁莽性和数据传输效率方面得到了提高.

关键词:传感器节点;无线传感器;健康监测

中图分类号:TP212;TP393

文献标志码:A

DOI:10.3969/j.issn.1007-2985.2012.03.015

桥梁在使用一段时间后,不可避免会受到各类损伤,这使得其承载力与寿命下降.中国的公路桥梁普查中显示,现已有大部分桥梁存在不同程度的损伤,如2003年的江苏交通统计年鉴显示,全江苏省危桥数达到1307座.近年来,湖南省的几座大桥(如平江大桥、株洲高架桥、岳阳红泥大桥、湘西凤凰大桥)出现垮塌现象,给人民的生命财产安全带来重大威胁,这也提醒我们必须重视桥梁的定期健康检测与安全评估,尽量将安全隐患消灭在萌芽状态.无线传感器网络(WSN, Wireless sensor networks)因其自组织,低功耗、无线传输和低成本等特点而应用到桥梁的安全检测中来,这类健康检测系统的设计正日益受到研究者们重视.

成千上万的无线传感器网络节点被部署在桥梁的各个部位,以自组织的方式构成一个数据采集系统,并以无线通信的方式将采集到的数据汇聚到基站(BS, Base Station)或 Sink.由于节点分布可以非常密集,这样会造成数据传输泛滥,带宽资源浪费巨大,本文在基于新型树状结构,将无线传感器网络应用到桥梁结构健康监测中,将节点构造成以传感器节点至汇聚节点再至基站节点的二重树,而数据按照树的方向进行无线传输,可以有效减少网络频谱资源的浪费,进而提高传输效率.本文通过对无线传感器节点的定位问题研究,提出了两种休眠调度方法来减少传感节点与网络的能量消耗,并对桥梁监控中 BS 的数据聚合问题进行研究,得出 WSN 的分布式数据处理能有效减少数据无线传输能耗的结论.研究中对 WSN 网络协议转换进行优化,实现了 WSN 在各类桥梁健康监测系统中的应用.^[1-5]

在中国,结构性桥梁监控系统的研究尽管起步慢,但正成为土木工程领域的一大研究热点.如清华大学与东南大学的防灾减灾专业技术研究中,对全国各大桥梁系统正在进行检测.而在国外,英国比较早地

* 收稿日期:2012-02-16

基金项目:湖南省教育厅优秀青年资助项目(11B102)

作者简介:张清安(1974-),男,湖南张家界人,湘西民族职业技术学院教师,主要从事计算机网络工程教学研究.

开展了这方面的工作.在国内,对于桥梁结构健康监测的研究经过不断发展,国内先后已有 40 座桥梁安装或即将安装结构健康监测系统.其实比较具有代表性的有:中南大学与上海铁路局合作在南京长江大桥及吉首矮寨悬索大桥都建成了健康监测系统,应用了 150 多个各类传感器,在监测中首次提出对监测系统本身维护的重要性,并根据大桥的实际情况进行了有益探索,对以后大型桥梁结构的监测具有重要的参考价值.

1 基于新型树状体系结构

在一般的桥梁结构监测系统中,无线传输支持任意两节点之间的通信,如果通信协议在解决数据传输问题没有限制,则很容易出现数据传输的重叠和混乱,从而造成频谱资源的浪费.本文利用无线传感器网络的可以构成分布式网络的特点,通过对路由协议进行优化,将网络中部署的无线传感器节点以自组织的形成构成以 BS 为根的树.然后根据路由选择算法确定一个代理(Agent)为树的簇节点.簇内所有无线传感器节点只与代理节点进行通信,代理节点把接收到的传感数据进行内网处理后,再一次性转发给基站. BS 由网络协议转换器把数据通过因特网或其它类似网络转发给远程计算机.基于新型树状体系的网络结构图如图 1 所示.

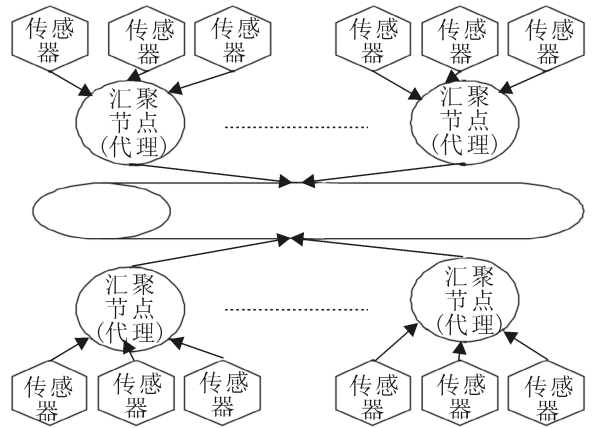


图 1 基于新型树状体系结构图

2 传感器节点

一般的传感器节点可以由数据采集,数据处理,无线通信和电源等模块构成.数据采集采集部分可以采集桥梁在应变、振动、温度和湿度方面的等数据,并通过无线传通的方式将数据从无线传感器节点传输到 BS.无线传感器网络一般采用电池供电,电池的使用寿命有限,一般能提供半年至一年的使用范围.在实际使用中电池的更换是非常困难的,因此,在无线传感器网络的设计中,能量的节省显得非常重要,这关系到整个网络的有效使用寿命.而到桥梁出现故障时,找到受损伤的点是重要的,即传感器节点的定位问题.定位和能效是影响网络监测质量和生命周期的最重要的因素.

(1)传感节点的定位.在桥梁结构健康监测过程中,一般可以在桥梁建设之前采用人工布署节点的方式来构建 WSN 数据采集系统,而当桥梁建成以后,也可以加设这样的无线传感器,尽管都是采用人工进行布署,但因其不规则性,可以将其看成是随机的,这符合无线传感器网络节点的随机性部署的特点.在 WSN 中,每个传感器节点都会被分配一个全网唯一的身份(ID 地址),在桥梁监控系统中,因为节点数量不是很多,节点是通过人工部署,因此,可以考虑将传感器节点的 ID 和相应的位置信息进行绑定,这样,传感器节点的 ID 即可以看成是节点的位置,这样大大减化了 WSN 节点定位的过程.在数据汇聚点上,只要通过确定受损伤事件发生的采集节点的 ID,就可以找到桥梁相应位置的健康情况报告.

(2)传感器节点的能效.无线传感器节点的能量一般由电池提供,当然也可以由交流电进行无限制提供,这时网络将转换成 Ad Hoc 网络.由于电池的更换是非常困难的,因此,在网络部署过程中,要尽量地采用外部电源供电方式,而对于不可更换的电池,则必须优化 WSN 的网络协议,从而优化 WSN 的能效,以提高 WSN 数据采集生命周期,提高使用寿命.在有限初始电池供电的情况下,的初始能量配置下,如何提高网络数据传输的能效是桥梁结构健康监测系统设计中的主要因素.为了提高无线传感器节点及网络的能效,这里有两种休眠调度方法:即节点休眠调度方法和 MAC(Media access control)层休眠调度方法.

节点休眠调度是指由路由协议进行控制,让不参与传输的无线传感器节点自觉进行休眠,并在不同的数据传输周期中担任不同的身份,让这些节点轮流参与数据传输,这样可以大大地节省数据采集过程中节点所消耗的能量.当然,在路由设计中,将按各种策略(如最短路径树,最小能耗,最小代价等方式)来进一

步节省能量,并提高网络生命周期。

MAC 层休眠调度是在数据传输过程中,因无线通信会共用信道,数据传输有一个信道竞争过程,按照 MAC 层竞争协议机制,让无线传感器节点在不影响正常数据收/发的情况下进行合理休眠调度,提高休眠的效率,进一步提高能效和网络生命周期。

3 动态代理节点

动态代理节点的选取是非常重要的。在 WSN 进行数据采集过程中,如果代理节点发生通信故障,将影响其所属 WSN 内所有节点的数据传输。因为所有其它节点采集到的数据必须先传到代理节点。而由于代理节点必须进行数据的内网融合与处理,而且要将数据以长距离传输的方式传输到 BS,因此,代理节点所消耗的能量将比其它节点所消耗的能量大得多。因此,必须动态地选择代理节点。数据转发路径是从群内传感器节点到代理节点再到基站节点这样一个过程,代理节点在向 BS 转发数据之前,对 WSN 内其它节点采集到的原始数据进行融合处理,降低实际需要传输到 BS 的数据量。桥梁随机响应的功率谱密度函数可以反映振动能量对频率的分布规律,在桥梁结构系统的数据采集与故障诊断中,可以通过下式计算出功率谱密度函数的估计:

$$\hat{G}_{xy}(\omega) = \frac{1}{mT} \sum_{i=1}^m X_i^*(\omega) Y_i(\omega).$$

其中 $X(\omega)$ 和 $Y(\omega)$ 是高斯随机过程 $z(t)$ 和 $y(t)$ 的傅立叶变换, T 是采样间隔,相关函数可以通过谱估计函数进行傅里叶逆变换得到。在代理节点处的数据融合可以采用两种方法:即集中式数据处理和分布式数据处理方法。图 2 为集中式数据处理过程的示意图。假设共有 N 个传感器节点,每个节点采集到数据后发送给代理节点,代理节点再利用公式(1)计算出传输的功率谱密度,重复 n 次后取平均值。然后用傅里叶逆变换求出相关函数并进行模拟分析。所有的这些计算都由代理节点负责。因此,代理节点因数据量和融合的能量是比较大的,而如果是同

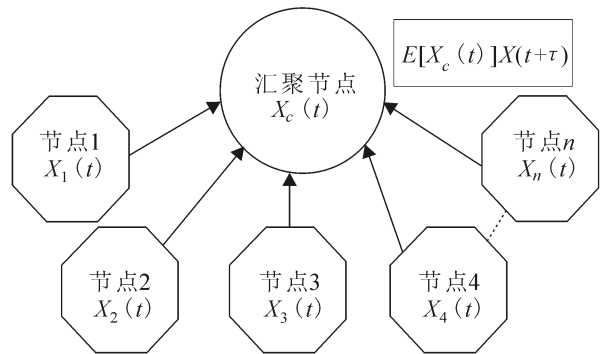


图 2 集中式数据处理过程示意图

构 WSN 网络,则传感器节点的数据处理能力要求比较高,而如果是异构网络,则只要求少数的无线传感器节点的数据处理能力比较高。而对于桥梁健康监控系统而言,由于节点的部署可以是人工的,可以在靠近 BS 的地方部署结构复杂点的节点,因此,可以采集异构网络,这样,可以大大地节省网络成本。当功率谱密度是由长度为 N 的离散时间序列得到时,需要传输的总数据量为 $N \times m \times n$ 。

图 3 是分布式数据处理过程示意图。在布式数据处理过程中,充分利用了每个无线传感器节点的数据处理能力。首先,代理节点会采用 TDMA 的方式将控制信息广播给所有的传感器节点。在接收到控制信息后,每个无线传感器数据采集节点会自动计算出功率谱密度,然后将功率谱密度进行本地存储。这个过程需要重复数次,再进行加权平均。最后利用傅里叶逆变换得到相关函数,并将其发送回代理节点进行数据分析与融合。对于模态分析的一些损伤算法,比如特征系统实现算法最多只需要相关函数的一半数据量,因此需要传输的总数据量为 $N \times m + \frac{N}{2} \times n$ 。

随着节点数的增加,分布式数据处理的优势会更明显,其数据无线传输量为 $O(N \times (m + n))$,而集中式数据处理的数据传输量为 $O(N \times m \times n)$,分布式数据处理可以提高 CPU 和存储器的使用效率,数据传输量的减少可以有效地减少传输能耗,从而延长 WSN 的网络生命周期。

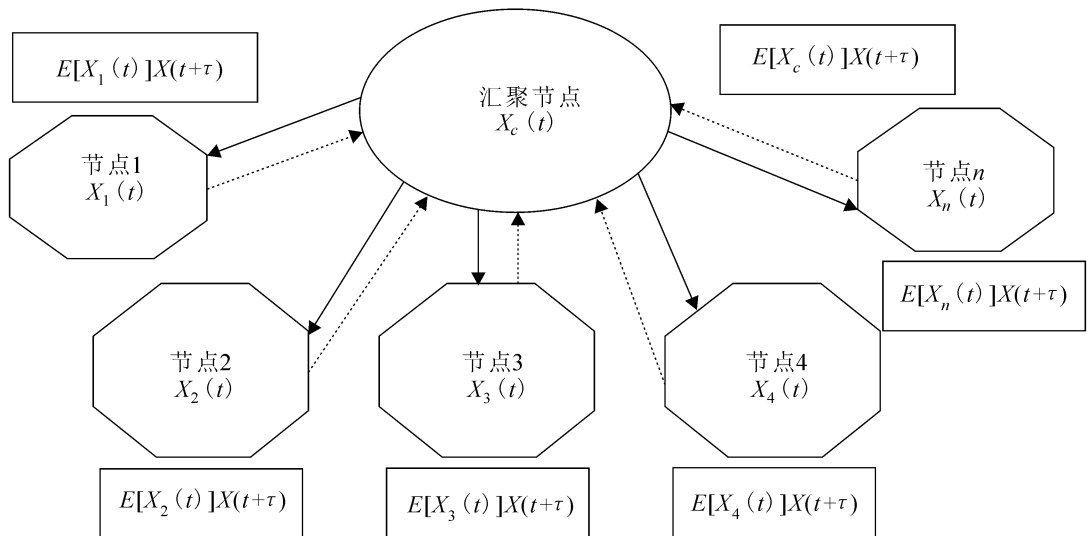


图 3 分布式数据处理过程示意图

4 结语

WSN 为人们提供了一种全新的数据采集与信息处理的途径。分析桥梁结构特点、桥梁结构健康监测系统的体系组成以及其特殊要求后,研究了无线传感网络在桥梁结构健康监测中必须面对的问题,分析了桥梁这种大型结构部署无线传感网络必然引起网络规模过于庞大,造成网络整体数据传输量剧增;桥梁环境恶劣,无线传感网络节点受到环境噪声以及温度湿度的影响,导致通信链路质量极其不稳定。

参考文献:

- [1] 黄方林,王学敏,陈政清,等.大型桥梁健康监测研究进展[J].中国铁道科学,2005,26(2):127-134.
- [2] 崔莉,鞠海,玲苗勇,等.无线传感器网络研究进展[J].计算机研究与发展,2005,42(1):763-774.
- [3] LYNCHJP,WANGY,SUNDARARAJANA. Wireless Sensing for Structural Health Monitoring of Civil Infrastructures [J]. Structure & Infrastructure Engineering,2007(3):103-120.
- [4] 李晶,王福豹,段渭军.无线传感器网络中 TinyOS 的研究[J].计算机测量与控制,2006,14(6):838-840.
- [5] 纪晓东,钱稼茹,徐龙河.模拟环境激励下结构模态参数识别试验研究[J].清华大学学报,2006,46(6):769-772.
- [6] GUO W J,WANG Y L,WEI N,et al. Optimal Clock Offset Synchronous Algorithm in Wireless Sensor Network [J]. Journal of Computer Applications,2009,29(11):2911-2913.
- [7] CULLER D,ESTRIN D,SRIIVASTAVA M. Overview of Sensor Networks [J]. IEEE Computer,2004,37(8):41-49.
- [8] LI A Q,MIAO C Q,LI Z X,et al. Health Monitoring System for the Runyang Yangtse River Bridge [J]. Journal of Southeast University,2008,333(5):544-548.

Bridge Monitoring System with Wireless Sensor Networks Based on Tree Structure

ZHANG Qin'an

(Xiangxi Vocational and Technical College for Minorities, Jishou 416000, China)

Abstract: Wireless sensor network with new tree structure applied in bridge health monitoring keeps the advantages of wired network monitoring and covers the shortage of complex wiring. With the material performance aging over time, the safety performance of the bridge structure will decrease. Due to the feature of service direction, the waste of resources can be reduced and the communication efficiency can be improved. Through data collection, transmission and receiving and data analysis, bridge monitoring system based on novel tree structure is established, which improves the system energy efficiency and life cycle and also increases the system crudeness and data transmission efficiency.

Key words: sensor node; wireless sensor; health monitoring

(责任编辑 陈炳权)

(上接第 21 页)

参考文献:

- [1] 陈 颢, 陈 凌. 分形几何学 [M]. 第 2 版. 北京: 地震出版社, 2005.
- [2] 李长江, 麻土华, 朱兴盛, 等. 矿产勘查中的分形、混沌与 ANN [M]. 北京: 地质出版社, 1999.
- [3] 宋代清. 概率论与数理统计 [M]. 成都: 西南交通大学出版社, 2007.
- [4] 湖南招生考试信息港. 2009 年湖南省艺术类统考各专业考生成绩分段表 [EB/OL]. <http://www.hneeb.cn/website/newsDoc/zkdt/200912295332.html>, 2009-02-16.

Contrast Between Normal Distribution and Multifractals

ZENG Jie-bin

(Xianyou Normal School of Fujian Province, Xianyou 351200, Fujian China)

Abstract: Objects investigated are usually interpreted as multifractals with the double logarithmic relationship between scale (r) and capacity value $N(r)$ consisting of two straight segments. But such features can be caused by the observations of normal distribution. Based on case analysis, this paper argues that fractal theory does not apply perfectly to the objects of random distribution.

Key words: normal distribution; multifractals; contrast

(责任编辑 向阳洁)