

# 基于 WSN 的电力线受力监测系统\*

贾继宣,程 荣,唐晓梅,李义冬,王一进,陈庆章\*

(浙江工业大学 计算机科学与技术学院,浙江 杭州 310023)

**摘要:**由于电力线在严重覆冰的情况下常常导致断线、倒塔等事故,而电力公司却不能预测电力线何时将要断裂,且事发后不能快速确定具体位置,以致无法及时抢修。为解决这些问题,设计了一种基于无线传感器网络(WSN)的电力线受力监测系统,通过部署在电力线上的传感器节点来实时采集电力线的受力参数,并将状态数据传输至汇聚节点,由汇聚节点通过 GPRS 网络传送至监控终端,监控终端对可能出现的电力线断裂情况进行预警。研究结果表明,该系统可以减少传统人工监测的高额成本,并提高监测的可靠性。

**关键词:**覆冰;电力线;无线传感器网络;张力传感器

**中图分类号:**TH323;TP277;TM712

**文献标志码:**A

**文章编号:**1001-4551(2011)01-0071-04

## On-line monitoring system of power line forcing based on wireless sensor networks

JIA Ji-xuan, CHENG Rong, TANG Xiao-mei, LI Yi-dong, WANG Yi-jin, CHEN Qing-zhang  
(Computer Science and Technology College, Zhejiang University of Technology, Hangzhou 310023, China)

**Abstract:** When a power line was covering by too much ice, it would always cause accidents of fracture and collapse. But power companies didn't know when the line would fracture and didn't know the accurate location after it fractured. So the lines cannot be repaired timely. In order to solve these problems, the electric line monitoring system based on wireless sensor network (WSN) was designed, which can collect real-time mechanical parameters of the line by sensor nodes on it, and then sensor nodes transmit state data to sink node. Through the Internet by sink node the state data can be transmitted to monitor terminal, and it can have advance warnings when the line will fracture. The system can reduce the high cost of traditional manual monitoring, and improve the automation and reliability of monitoring.

**Key words:** icing; power line; wireless sensor networks(WSN); tension sensor

## 0 引 言

2008 年 1 月中旬到 2 月初,我国南方遭遇了连续大范围低温、冰雪天气,输变电设施的覆冰厚度普遍超过 30 mm,局部达到 80 mm~100 mm,严重情况下导致了电力线的断裂,但是电力公司不知道哪里的电缆将要断裂,并且断裂后也不知道断裂发生的具体位置,无法及时抢修,致使直接经济损失达 537.9 亿元<sup>[1]</sup>。

在上世纪 90 年代,国外就已经开始对电力系统监

控自动化进行研究,并提出了用移动机器人对电力线相关参数进行监测<sup>[2]</sup>。随着无线传感器网络(WSN)的出现,美国等欧美国家开始对无线传感器网络在电力系统的应用展开了研究和应用<sup>[3-5]</sup>。

国内也有专家和学者提出了跟国外类似的方法,即采用机器人自动巡检高压架空输电线(电力线)的方法来解决电力线监测的难题<sup>[6-7]</sup>,可是机器人耗电量且信号传输也是个难题。文献[8-9]中应用 GSM/GPRS 通讯技术与力学传感器相结合,设

收稿日期:2010-08-16

基金项目:国家自然科学基金资助项目(60872112);浙江省重大科技优先主题资助项目(2007C13064)

作者简介:贾继宣(1984-),男,河南开封人,主要从事无线传感器网络检测技术方面的研究。E-mail:jjiajixuan123@126.com

通信联系人:陈庆章,男,教授,博士生导师。E-mail:qzchen@zjut.edu.cn

计了电力线的受力监测系统,但是 GSM/GPRS 是移动通讯商推出的收费业务,额外增加了监测系统的成本。近年来,国内也有不少学者研究将无线传感器网络应用到电力系统中,郝晓弘、王瑛辉等人应用无线传感器网络对电力系统开关柜内温湿度进行监控<sup>[10]</sup>,王永灿、冯远静等人使用无线视频传感网对高压塔架监控进行了研究<sup>[11]</sup>,这些研究足以说明利用无线传感器网络实现电力系统智能化是一种比较有效的手段。

无线传感器网络是多跳网络,具有无主站、自组织、自治、自适应、体积小、价格便宜等优点<sup>[12-13]</sup>,而且网络通信工作在完全免费的频段上,这对降低系统的运行成本与普及有很大的意义。

本研究设计了基于无线传感器网络的电力线受力监测系统,在对电力线进行受力分析的基础上,重点说明了张力传感器的安装与电路设计,以及后台监控系统的设计。该系统可以很好地解决电力线的监测问题,免去人工检查的繁琐过程和维护次数,既减少成本,同时又提高了监测的可靠性。

## 1 电力线受力分析

由于架空输电线两悬挂点间的距离很大,电线材料的刚性对电线悬挂在空中的几何形状影响非常小,所以可以将电线假定为一条处处铰接的柔软链条,也就是说,电线架空悬挂后呈“悬链线”状,如图 1 所示,  $A$  和  $B$  为电线两悬挂点,  $O$  为电线最低点,该点处的轴向应力即为电线水平应力。

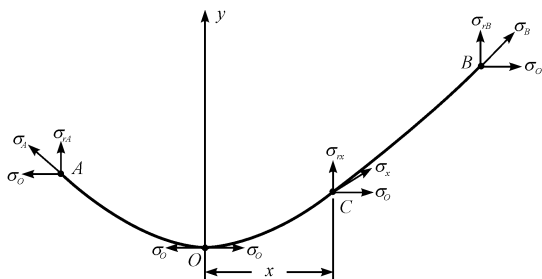


图 1 电力线受力图

架空电线上作用的张力大小与电线材质、截面积和承受的荷载等因素有关。为了表征和比较电线的受力情况,通常以单位截面上的量值来进行电线的力学计算。例如,把单位截面上作用的张力称为应力( $\sigma$ ),单位为  $\text{N}/\text{mm}^2$  或  $\text{MPa}$ ;电线单位长度、单位截面上承受的荷载称为比载( $r$ ),单位用  $\text{N}/\text{mm}^2 \cdot \text{m}$  或  $\text{MPa}/\text{m}$  表示。

在覆冰情况下,电线垂向比载( $r_v$ )包括电线自重

比载( $r_{v1}$ )和覆冰比载( $r_{v2}$ ),即:

$$r_v = r_{v1} + r_{v2} = \frac{qg_n}{A} + \frac{0.9\pi g_n b(b+D) \times 10^{-3}}{A} \quad (1)$$

式中: $q$ —电线单位长度质量,  $\text{kg}/\text{m}$ ;  $g_n$ —重力加速度,  $\text{N}/\text{kg}$ ;  $A$ —电线截面积,  $\text{mm}^2$ ;  $b$ —覆冰厚度,  $\text{mm}$ ;  $D$ —电线外径,  $\text{mm}$ 。

电线水平比载( $r_h$ )为:

$$r_h = \frac{(D+2b)W_0\alpha\mu_{sc}\mu_z\mu_\theta \times 10^{-3}}{A} \quad (2)$$

式中: $W_0$ —基准风压标准值,  $\alpha$ —风压不均匀系数,  $\mu_{sc}$ —电线体型系数,  $\mu_z$ —风压高度变化系数,  $\mu_\theta$ —风压随风向的变化系数;  $W_0, \alpha, \mu_{sc}, \mu_z, \mu_\theta$  的取值见文献[14]。

有冰有风时,电线的综合比载  $r$  为:

$$r = \sqrt{r_v^2 + r_h^2} \quad (3)$$

文献[14]中给出了电线任一点  $C$  的轴向应力  $\sigma_x$  与该点对最低点高差之间的关系式为:

$$\sigma_x = \sigma_o + r(y - y_o) \quad (\text{N}/\text{mm}^2) \quad (4)$$

式中: $\sigma_o$ —电线最低处的水平应力;  $r$ —比载;  $y, y_o$ —电线  $C$  点和  $O$  点处的纵坐标值,  $\text{m}$ 。

由上式可知,在同一档内电线相对高度越高的点上,其轴向应力越大。因此,在安装张力传感器的时候一定要将其装在电力线相对位置较高的地方。

## 2 基于无线传感器网络的电力线受力监测系统组成

基于 WSN 的电力线受力监测实验系统主要由无线传感器节点网络和后台监控系统两部分组成。整个系统的示意图如图 2 所示。其中,受力监测终端与监控终端通过无线传感器网络(WSN)进行数据传输。受力监测终端由安装在电力线的张力传感器通过屏蔽线与无线传感器节点连接而成。在项目中,无线传感器节点选用工作在 2.4 GHz 免费频段的 JN5139 型无线传感器节点,该节点通信距离长,功耗低,自身带有温度传感器和湿度传感器,在对电力线受力进行监测的同时,也可对电力线周围温湿度环境进行监测。JN5139 的 CPU 为 32 位处理器,数据采集的过程中由 CPU 控制节点射频模块发送数据<sup>[15]</sup>。整个受力监测终端由太阳能供电系统供电。节点定期从传感器获取电力线受力数据,然后将数据以一定格式的数据包的形式经过无线传感器网络发送到 sink 节点,也就是汇聚节点,然后汇聚节点将数据传输到后台监控系统,后台监控系统发现异常情况时通过短信猫将异常信息发送到指定的手机上。

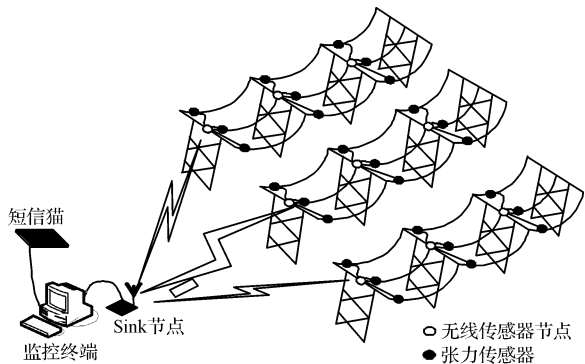


图 2 电力线受力监测系统示意图

受力监测终端结构如图 3 所示, JN5139 节点通过 CPU 控制 A/D 转换器周期性的采集张力、温度和湿度数据, 通过自身带有的 12 位高精度的 A/D 转换器将各个传感器传来的信号转换为数字信号, CPU 将各种传感器采集到的数据按一定的格式通过无线收发器发送给靠近汇聚节点的 JN5139 节点, 节点在收到数据包之后即将数据包发送给离其最近且靠近汇聚节点的节点。JN5139 节点采用定期休眠和唤醒机制, 这样可以节省能量, 使整个无线传感器网络在没有光照的情况下持续运行更长的时间。

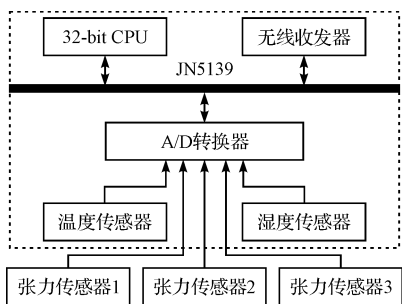


图 3 受力监测终端结构示意图

### 3 张力传感器的安装与电源控制

考虑到电力线的特性, 本系统采用的旁压张力传感器安装方便、操作简单、维修容易, 经过专门定制后, 项目所使用的张力传感器具有耐高压、抗电磁干扰等特性。

张力传感器如图 4 所示, 电力线通过 U 形螺栓固定在传感器上, 当钢丝绳受拉力时, 力通过导向轮作用于传感器上, 传感器内部应变片产生形变之后经过特定的电路产生对应的受力信号, 张力传感器内部自带放大电路, 输出信号为 0 ~ 5 V 的模拟电压信号, 综合精度误差为  $\pm 0.3\% F \cdot S$ , 工作温度为  $-20 \sim +60 \text{ }^\circ\text{C}$ , 工作电压为 12 V, 量程为 10 T, 大于一般用于 110 kV 高压输电线的最大拉断力(一般用于传输 110 kV 高压

输电线为: 钢线 7 根直径 2.4 mm, 铝线 24 根直径 3.6 mm; 拉断力 75 620 N 约 7 716 kg)。

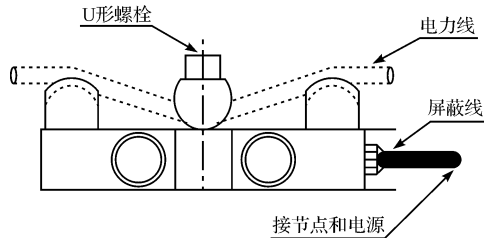


图 4 张力传感器示意图

本系统的电源控制电路如图 5 所示。其中电源端接 12 V 太阳能供电系统<sup>[16]</sup>, 它由太阳能电池和高容量可充电电池组成, 太阳能电池通过电源端给系统提供电能, 同时给高容量可充电电池充电, 在无太阳光时系统电能由高容量可充电电池提供。节点端接无线传感器节点, 3.3 V 接线端为节点提供所需电源; 节点 DIO0 引脚接 I/O 端, 在采集数据之前, 节点使 DIO0 为高电平控制继电器使传感器供电电源接通, 当采集完数据后, DIO0 置低电平控制继电器将传感器供电电源断开, 以此节省传感器电量的消耗; A/D 端接节点的 A/D 转换器的引脚 ADC1。传感器端接张力传感器为其提供电能, 传感器的信号线接 signal 端之后电路将传感器信号电压线性转换成 0 ~ 2.5 V。

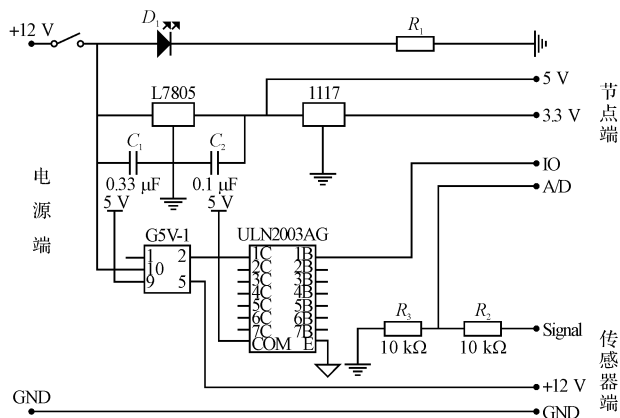


图 5 电源控制电路

### 4 后台监控中心系统组成

后台监控系统组成如图 6 所示, 汇聚节点接收到受力监测终端发来的数据包后, 通过串口线传输到后台监控系统, 后台监控系统将数据包中的电力线受力、温度和湿度等数据分离。然后将数据通过 ADO 的方式存入数据库, 同时对受力数据进行分析, 如果受力异常, 如接近电力线的拉断力说明电力线将要断裂, 此时通过短信猫将发生异常情况的信息发送到指定的手机号码上; 如受力比正常情况下受力小得多则说明电力线已经断裂, 此时通过短信猫将异常信息发送到指定

的手机号码上。接收到的信息亦可通过直观的方式显示出来,如图 7 所示。

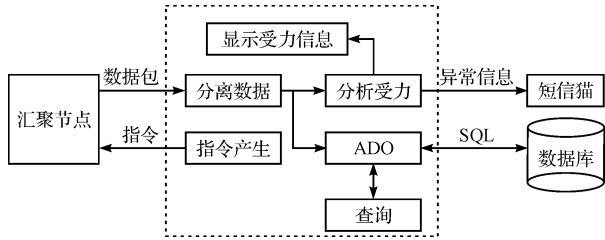


图 6 后台监控系统组成示意图



图 7 后台监控系统主界面

用户可以根据日期和受力范围查询整个电力线的受力数据历史,这样可以帮 助电力部门分析环境对电力线受力的影响。系统中的指令产生模块可以根据用户需要向 受力监测系统发送一些指令,如无线传感器网络同步指令,采样时间间隔设置指令等。

### 5 结束语

本研究针对电力线覆冰时遇到的一些问题而提出了一种解决办法,介绍了基于无线传感器网络的电力线受力监测系统。如广泛应用到具体的电力线网络中,将对我国高压电力线冰灾的预防和灾害分析具有重要的意义。

笔者在整个系统的设计和实验过程中发现,传感器节点成本较高、无线系统稳定性问题以及能耗问题是制约本系统大范围推广使用的 3 个关键问题,这也是下一步要研究和解决的主要问题。随着成本的降低和技术的进一步成熟,该系统将具有很好的应用前景和经济效益。

### 致谢:

感谢以王一进为项目负责人的国家大学生创新性实验计划《基于 WSN 的电力线受力监测的实验系统研究》项目的支持,感谢以贾继宣为项目负责人的浙江省大学生科技成果推广项目《基于无线传感器网络的高压输电线路受力监测与预警系统的研制》项目的支持。

### 参考文献 (References):

[1] 邵德军,尹项根,陈庆前,等. 2008 年冰雪灾害对我国南方地区电网的影响分析[J]. 电网技术,2009,33(5):38-43.

[2] SAWADA J, KUSUMOTO K, MUNAKATA T. A mobile robot for inspection of power transmission of power transmission lines[J]. **IEEE Transaction on Power Delivery**, 1991, 6(1):309-315.

[3] LU B. Energy Usage Evaluation and Condition Monitoring for Electric Machines using Wireless Sensor Networks[D]. Atlanta: Georgia Institute of Technology, 2006.

[4] GUNGOR V C, LAMBERT F C. A survey on communication networks for electric system automation[J]. **Computer Networks**, 2006, 50(7):877-897.

[5] RAMON V V, MANIMARAN G. Application of sensor network for secure electric energy infrastructure [J]. **IEEE Transaction on Power Delivery**, 2007, 22(2):1021-1028.

[6] 周凤余,吴爱国,李贻斌,等. 高压架空输电线路自动巡线机器人的研制[J]. 电力系统自动化,2004,28(23):89-91.

[7] 胡彩石,吴功平,曹 珩,等. 高压输电线路巡线机器人障碍物视觉检测识别研究[J]. 传感技术学报,2008,21(12):2092-2096.

[8] 黄新波,孙钦东,程荣贵,等. 导线覆冰的力学分析与覆冰在线监测系统[J]. 电力系统自动化,2007,31(14):98-101.

[9] 邢 毅,曾 奕,盛戈峰,等. 基于力学测量的架空输电线路覆冰监测系统[J]. 电力系统自动化,2008,32(23):81-84.

[10] 郝晓弘,王瑛辉,康 漪. 基于 ZigBee 技术的无线传感器网络在电力系统保护装置中的应用[J]. 仪表技术与传感器,2008(7):88-89.

[11] 王永灿,冯远静,俞 立. 基于无线视频传感网的高压塔架监控系统研究[J]. 传感技术学报,2008,21(12):2039-2043.

[12] AKYILDIZ I F, SU W. Wireless sensor networks: a survey [J]. **Computer Networks**, 2002, 38(4):393-422.

[13] CARLOS F G H, PABLO H I G. Wireless sensor networks and applications: a survey [J]. **International Journal of Computer Science and Network Security**, 2007, 7(3):264-273.

[14] 邵天晓. 架空送电线路的电线力学计算[M]. 2 版. 北京:中国电力出版社,2003.

[15] 徐勇军,刘 峰. 低速无线个域网实验教程[M]. 北京:北京理工大学出版社,2008.

[16] 孙务本,曾 奕,江秀臣,等. 户外在线监测装置电源系统的设计与实现[J]. 高电压技术,2007,33(8):178-182.