

# TinyOS 感知节点在智能电网输电环节的应用

黄宏光<sup>1,2</sup>, 钟俊<sup>1,2</sup>, 李国才<sup>1,2</sup>

(1. 四川大学电气信息学院, 四川 成都 610065; 2. 智能电网四川省重点实验室, 四川 成都 610065)

**摘要:** 以智能电网中输电环节的关键设备研制问题为目标, 从技术实现手段——无线传感器网络操作系统 TinyOS 及节点设备, 讨论了实现中涉及的网络拓扑、能量消耗优化、地址分配、调度机制的特性和应用考虑, 给出了应用中的实现过程。

**关键词:** 输电线感知; TinyOS; 任务调度; 能量消耗优化; 网状拓扑; 地址分配

**Abstract:** Aiming at main research problems in status monitoring for transmission line of smart grid and by means of TinyOS and nodes device, the characteristics and application considerations of the involved mesh topologies, energy consumption optimization, node address, dispatching mechanism are discussed, and the implementation process during the application is given.

**Key words:** smart grid sensor; TinyOS; task scheduling; energy consumption optimization; mesh topology; node address

中图分类号: TM711 文献标志码: B 文章编号: 1003-6954(2011)04-0027-03

## 0 引言

中国输电线有 300 000 km, 且以每年 3% 的速度增加, 如何监测和预测输电线的事故征兆、降低输电线的事故率, 是 2010 年国家电网关于智能电网关键设备研制规划中输电环节的主要项目之一。利用无线传感器网络技术进行输电线路的监测也被列入国家 10 年重大科技专项。

无线传感器网络 WSN 由无数个感知节点随机布置, 形成可动态扩展的感知网络, 感知节点采用传感器、无线通信单元、微处理器形成一个具有基本前端处理能力的节点。由于感知节点的微型化、智能化和自组网的特点, 将其应用于各种物体和设备, 则这些物体和设备形成一个数量巨大、分布广泛的信息交换数字通信网络。和现有的 IP 网络结合, 将使地球村变成物物相联的智能世界, 对人类社会的发展模式产生重大的影响。TinyOS 是由加州大学伯克利分校专门为无线传感器网络开发的一种微型操作系统。是目前主流的 WSN 的操作系统之一, TinyOS 由一系列的软件组件和硬件组件构成, 而一个完整的系统配置由一个调度器和组件表组成。

下面就利用无线传感器网络 TinyOS 及感知节点进行输电线路监测所涉及的网络拓扑、能量控制、地

址分配等进行底层技术特性分析, 并给出一个基本的方案流程。

## 1 输电线应用中的 WSN 网络拓扑

WSN 网络拓扑有不同的形式, 其特性也有所不同。在实际实现中推荐采用网格状、网格状 + 星形方式, 典型的网格状如图 1 所示。

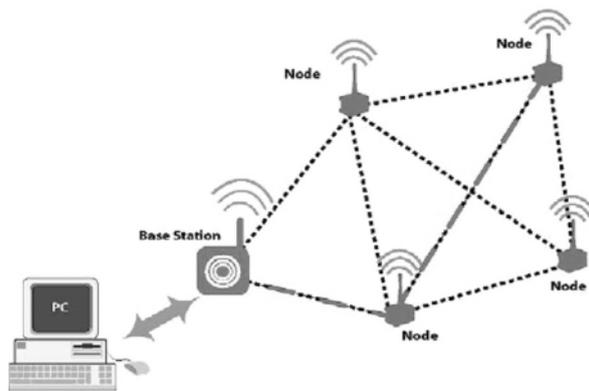


图 1 网格状网络拓扑结构

网络状拓扑具有自组路由和自愈特性, 适合 WSN 的网络布局方式和传输环境要求, 这种拓扑的多路由的特点使数据可以上流的模式从感知节点到基站, 也可以下流的模式到其他节点, 可以广播方式发布到一个会聚区域的所有节点, 或者在一个簇中的两个节点间发布。

在输电线应用中,布置在输电线上的感知节点实现网格状拓扑比较容易,只要注意以多路由的方式布局,工程上可以按间距50 m左右的等边三角形布设。

网格状的多路由特性使网络中的节点可动态配置为不同的功率模式,以节省节点的能量消耗,提供的模式有HP模式、LP模式、ELP模式。在协议方面,网格状拓扑的路由协议可实现低功率侦听(平均电流小于220  $\mu\text{A}$ )、时间同步、休眠状态、节点到基站路由、基站到节点路由。典型室内应用一般在30~1 200  $\text{m}^2$ 的范围。如远距离传输应用,则发信功率控制到-6 dBm。室外应用,节点分布于几千平方米的范围,平均密度1 000  $\text{m}^2$ 为一个。

图2给出了针对网络状拓扑的WSWN网络,利用Micaz进行的端到端应答传输实验中的数据。

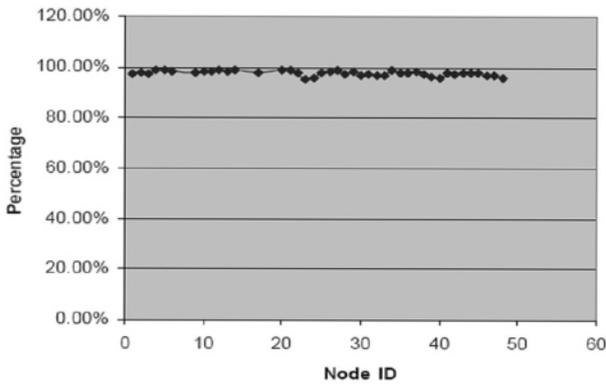


图2 48个节点的72小时传输实验数据

## 2 能量消耗

能量消耗是WSN中在应用中需要解决的主要技术问题,低功耗设计和实现方案中的能量管理也是目前研究的热点问题。工程上供电方式一般有常规电池、可充电电池,也有太阳能供电和基于输电线的供电方式。

在实际实现中,感知节点提供底层的能量控制接口或工作模式,为应用实现给出可控制和优化的手段。这些接口涉及MCU、无线通信、读写操作。目前最底层的能量控制可实现晶振频率的改变。表1给出了一组典型的电流消耗数据。

根据表1的电流消耗情况,可计算出电池容量和使用寿命,如表2所示,

在输电线应用中,其使用周期较长,表2给出的参数距工程应用存在一定的差距,可以考虑其他的延长电池寿命的方法。

表1 感知节点在不同工作状态下的工作电流

工作模式	M2110 电流/mA
MCU,全工作状态	6 (7.37 MHz)
MCU,休眠状态	0.010
无线通信单元,接收状态	16
无线通信单元,发射状态(1 mW 功率)	17
无线通信单元,休眠状态	0.001
串口 flash 存储,写状态	15
串口 flash 存储,读状态	4
串口 flash 存储,休眠状态	0.002

表2 电池容量和使用寿命

系统参数		
	电流	典型工作时间
处理器	电流(全工作状态) 6 mA	1
	电流(休眠状态) 10 $\mu\text{A}$	99
无线电单元	电流(接收状态) 16 mA	0.75
	电流(发射状态) 17 mA	0.25
	电流(休眠状态) 1 $\mu\text{A}$	99
Logger 存储	电流(写状态) 15 mA	0
	电流(读状态) 4 mA	0
	电流(休眠状态) 2 $\mu\text{A}$	100
传感器单元	电流(全工作状态) 5 mA	1
	电流(休眠状态) 5 $\mu\text{A}$	99
每小时消耗电流	处理器	0.0699
	无线通信单元	0.1635
	Logger 存储器	0.0020
	传感器单元	0.0550
	合计	0.2904

续表2 典型电池使用寿命

电池容量/(mA/hr)	电池寿命/月
250	1.20
1 000	4.78
3 000	14.35

表3 输出功率的编程控制范围

RF 功率/dBm	功率控制代码
3.0	0
2.6	1
2.1	2
1.6	3
1.1	4
0.5	5
-0.2	6
-1.2	7
-2.2	8
-3.2	9
-4.2	10
-5.2	11
-7.2	12
-9.2	13
-12.2	14
-17.2	15

WSN的信道工作频率为2.4 GHz,在使用中,WSN的通信单元可以在IEEE 802.15.4的信道内调整,典型数据如M2110'的Atmel通信单元,信道数为11~26,对应频率为2.405~2.480 GHz,每信道带宽为5 MHz。由于发信功率是WSN节点的能量消耗的主要部分,对其进行优化控制是能量控制中的有效方法,在应用中,射频发信功率可通过编程控制,以减少能量消耗,表3给出了典型的控制接口和功率的对应关系。

利用控制接口,射频发信功率的编程控制范围是3~-17.2 dBm。在输电线实用中,通过编程控制,利用适当的发信功率可有效地减少通信部分的能量消耗,也利于降低干扰。

### 3 地址分配

应用中,同信道的信息通过8比特的组ID来区别。实现WSN中的簇划分,在消息头中,通过16比特的目的地节点地址,地址格式为IP,如12.11.13.230,在应用中,两个数字126和255由网络内部使用。

输电线应用中,簇划分及节点地址的分配视具体应用而定,可按标准进行分配。

### 4 用于输电线路监测的调度机制

调度策略研究给出不同的技术路线<sup>[3]</sup>。TinyOS 2.x任务调度模型如图3所示<sup>[1-2]</sup>,一个任务若需要执行多次,可在任务结束的代码处添加将自己再次投递入队的代码即可。这种方式可避免出现任务队列已满而无法通知分相事件结束的问题,实现一个任务

只占任务队列的一个位置<sup>[4]</sup>。

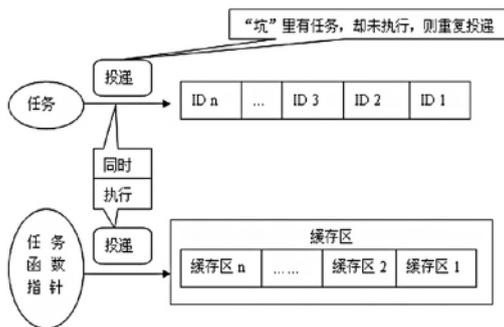


图3 TinyOS 2.x任务调度模型

输电线中线路的状态监测按状态监测、前端故障诊断、前端在线预警分解为TinyOS下的任务,利用函数指针进行投递调度,调度方式在Cygwin下用nesC编程实现。

### 5 结论

智能电网输电线路状态监测装置目前有不同的研究方案,基于TinyOS构建WSN实现线路的状态监测,可实现数据和图像的采集。目前,整个实现有了初步的结果,正在进行进一步的研究和开发实现中。

#### 参考文献

[1] TEP 106: Schedulers and Tasks: at <http://www.tinyos.net/tinyos-2.x>.  
 [2] TEP 119 Collection at <http://www.tinyos.net/tinyos-2.x>.  
 [3] 尹震宇,赵海,林恺,等.无线传感器网络操作系统调度策略[J].计算机工程,2007,33(17):77-79.  
 [4] 钟雷,武泽旭,章正辰,等.TinyOS 2.x的调度策略及协议分析[J].通信与信息技术,2010(3):66-69.

(收稿日期:2011-02-10)

(上接第12页)

[6] 侯建朝,谭忠富,王绵斌.提高我国电力产业能效的系统规划方法研究[J].华北电力大学学报(社会科学版),2008(4):1-5.  
 [7] 米建华.“十一五”电力能效影响因素分析[J].中国电力企业管理,2006(4):31-33.  
 [8] 张钦,王锡凡,王建学,等.电力市场下需求响应研究综述[J].电力系统自动化,2008,32(3):97-106.  
 [9] Clark W, Gellings P. E. The Smart Grid: Enabling Energy Efficiency and Demand Response [M]. Fairmont Press, 2009.  
 [10] 余贻鑫.智能电网的技术组成和实现顺序[J].南方

电网技术 2009,3(2):1-5.

[11] 余贻鑫,栾文鹏.智能电网[J].电网与水力发电进展,2009,25(1):7-11.  
 [12] 陈树勇,宋书芳,李兰欣,等.智能电网技术综述[J].电网技术,2009,33(8):1-7.  
 [13] 王蓓蓓,李扬,高赐威.智能电网框架下的需求侧管理展望与思考[J].电力系统自动化,2009,33(20):17-22.  
 [14] 张钦,王锡凡,付敏,等.需求响应视角下的智能电网[J].电力系统自动化,2009,33(17):49-55.

(收稿日期:2011-06-17)