

基于 ZigBee 无线传感器网络的森林火灾监测系统的研究

张军国 李文彬 韩 宁 阚江明
(北京林业大学工学院)

摘要: 该文在探讨森林起火因素的基础上, 构建了一种基于 ZigBee 无线传感器网络的森林火灾实时监测系统。该系统给出了森林火灾无线传感器网络监测系统的体系结构, 重点设计了基于 CC2430 芯片的网络节点硬件电路, 详尽地讨论了网络的数据传输流程; 该系统能够监测林区温湿度等相关环境参数的变化, 为有关部门采取相应的防火或灭火措施提供决策依据。

关键词: 无线传感器网络, 火灾监测, 网络体系, 网络节点, 数据传输

中图分类号: S762.3⁺² **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-1522(2007)04-0041-05

ZHANG Jun-guo; LI Wen-bin; HAN Ning; KAN Jiang-ming. **Forest fire detection system based on ZigBee wireless sensor network.** *Journal of Beijing Forestry University* (2007) **29**(4) 41-45 [Ch, 12 ref.] School of Technology, Beijing Forestry University, 100083, P. R. China.

Compared with the popular techniques for forest fire detection, a wireless sensor network paradigm based on the technique of ZigBee for forest fire detection in real time was put forward according to the factors of forest fire. The architecture of wireless sensor network for forest fire detection was described also. And the hardware circuit of networks' node was designed based on the chip of CC2430 in this paper, as well as the process of data transmission was discussed in detail. Some environment parameters such as temperature, humidity, etc. in the forest region can be monitored real-timely. From the gathered information, the decision for fire-extinguishing or fire prevention can be made rightly by related governmental departments.

Key words wireless sensor network, fire detection, network system, network node, data transmission

森林是人类赖以生存及社会发展最重要和不可缺少的资源之一, 更是地球生态平衡的保护者。但是, 由于人们在社会活动中的某些失控及异常自然因素影响等原因, 森林火灾时有发生。森林火灾是破坏森林资源安全、威胁人类生存环境最为严重的灾害之一。近些年随着气候变动、人为活动等因素的影响, 森林火灾有加剧上升的趋势, 预防和监测森林火灾已成为世界各国森林防火部门的一个重要研究热点。目前森林防火措施普遍采用在防火期间派出防火人员到林区巡逻、瞭望塔人工观测以及卫星探测^[1-2]。人工瞭望塔方式虽然简单易行, 但其弊端是需要投入很多财力、物力、劳力, 存在防火人员主观麻痹大意、擅离岗位、无法实时监测、覆盖范围有限

收稿日期: 2007-01-20

<http://journal.bjfu.edu.cn>

基金项目: “948”国家林业局引进项目(2005-4-04)。

第一作者: 张军国, 讲师, 博士生。主要研究方向: 智能检测及传感器技术。电话: 010-62337736 Email: zjg1818@bjfu.edu.cn 地址: 100083 北京林业大学 8 号信箱。

责任作者: 李文彬, 教授, 博士生导师。主要研究方向: 林业机械自动化与智能化、人类工效学。电话: 010-62338139 Email: leewb@bjfu.edu.cn 地址: 同上。

等诸多不利因素; 卫星监测系统的扫描周期长、分辨率低、图像像素点的饱和、扫描期间云层的遮挡以及火灾参数很难实时数量化等原因^[3-5]限制了卫星探测系统的使用范围, 降低了森林火灾的监测效果。基于传统森林火灾监测方法存在的不足, 本文将 ZigBee 无线传感器网络技术引入到森林火灾监测中来, 构建了基于 ZigBee 无线传感器网络的森林火灾监测系统。该系统可以实时监测有关被测参数(例如温度、相对湿度等)并发送给监控中心的计算机, 监控中心的计算机对采集到的数据进行分析处理, 并与正常的气象数据以及该地区森林资源基础数据相比较, 判断是否具有林火发生的潜在危险, 为有关部门采取相应的防火或灭火措施提供决策依据。

1 森林火灾监测主要参数

森林起火要具备火源、环境因素和林中可燃物3个条件,林火的发生往往是这些因素综合作用的结果^[6]。根据加拿大大火天气指数预测模型^[7],导致森林能否起火的一个重要因素是森林可燃物含水率。森林可燃物含水率的大小决定森林燃烧的难易程度,即点燃的难易程度。因此可燃物的含水率是判断森林火灾能否发生,进行森林火灾预测监测的重要因子。而可燃物含水率的大小与大气相对湿度、空气温度以及风等因素有关^[8-9]。大气相对湿度可直接影响可燃物水分的蒸发,空气温度的高低可以通过环境间接改变可燃物的物理性质。因此大气相对湿度、空气温度是影响可燃物含水率的主要因素,因此本文主要测量大气相对湿度和空气温度两个参数来间接反映可燃物含水率的大小,作为预报和监测森林火灾发生的重要依据。当然森林火灾的发生还与其他很多因素有关,如林区雷电的活跃程度、人为因素、风速、植被情况等,这些因素暂忽略不予考虑。

2 ZigBee 无线传感器网络在森林火灾监测系统中的应用

无线传感器网络被认为是影响人类未来生活的十大新兴技术之一,它是计算机技术、通信技术和传感器网络技术相结合的产物。无线传感器网络是由大量无处不在的、具有通讯与计算功能的微小传感器节点组成的信息采集网络体系^[10],它们能够协作地实时监测、感知和采集各种环境或监测对象的信息,并对其进行处理。

ZigBee 是一种低速率、低成本、低功耗的短程无线网络通信协议。与其他无线网络技术相比,ZigBee 技术具有数据传输安全可靠、组网简易灵活、设备成本低、电池寿命长等独特的优势,在工业控制领域中展现了深厚的发展潜力和广阔的市场应用前景。

将基于 ZigBee 的无线传感器网络应用在森林火灾监测系统中,可实现对覆盖森林内的任意地点的温湿度等信息在任意时间的采集、处理和分析,而且还能大大提高系统的可扩展性,降低设备维护的成本,优化整个系统。

2.1 基于 ZigBee 无线网络的森林火灾监测体系

ZigBee 无线传感器网络体系结构包括传感器节点、网关(路由器)以及监控主机 3 部分。为减小能量损耗和数据包丢失,本文采用簇-树网络拓扑结构^[11](图 1)。传感器节点配置处理能力较低的微处理器,随机地部署在森林内部或附近区域,采集大气相对湿度、空气温度等火灾监测参数^[12]。根据传感器节点在网络中扮演的角色不同,又将它们分为底层普通节点、簇首以及网络协调器 3 种类型。其中底层普通节点将采集到的数据跳传至本簇的簇首;簇首主要完成数据融合和转寄数据包,可以将其所辖簇的底层普通节点采集的数据融合处理并发送给就近的网络协调器,同时还可以将网络协调器发送给其的数据包向其所辖的簇广播;网络协调器主要负责建网以及设备注册和访问控制等基本的网络管理功能。最后数据信息经无线方式传至路由器。路由器负责搜集传感器网络送来的所有数据,建立本地数据库,通过互联网把数据发到监控主机,为林业和防火救灾部门提供决策依据。

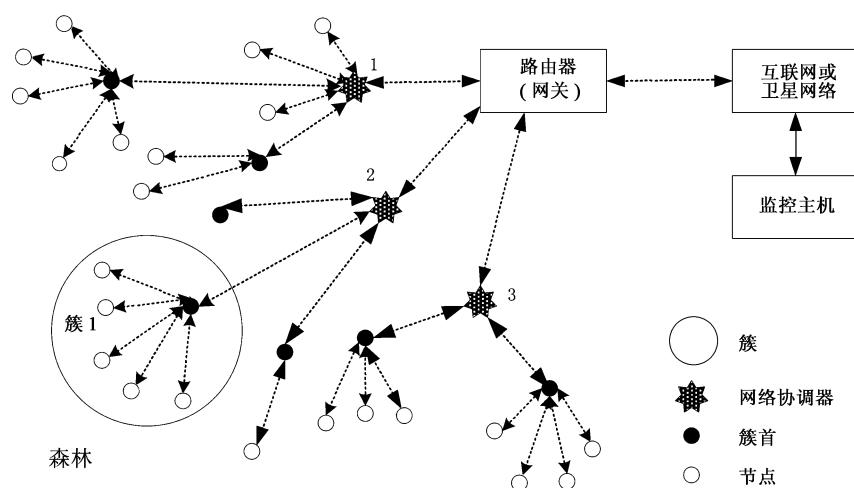


图 1 基于 ZigBee 的森林火灾监测系统网络体系结构

FIGURE 1 Structure of a wireless sensor network for forest fire detection based on ZigBee technique

2.2 传感器节点结构

传感器节点是组成无线传感器网络的基本单

位,是构成无线传感器网络的基础平台。传感器节点一般由传感器模块、处理模块、无线通讯模块和电源

模块4部分组成,如图2所示。

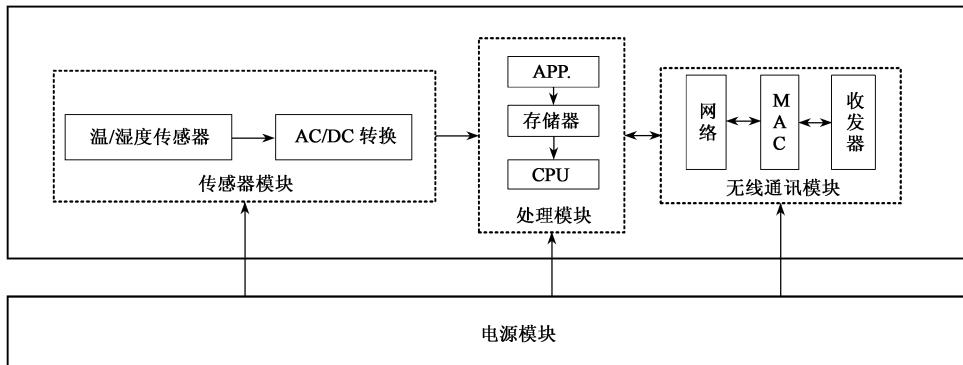


图2 传感器节点的组成

FIGURE 2 Structure of a sensor node

传感器模块负责采集森林区域内大气相对湿度、空气温度参数和数据的模/数转换。处理器模块负责控制整个传感器节点的操作,存储和处理从它自身采集来的数据以及其他节点发送来的二进制信息,无线通讯模块负责与其他的节点进行通讯,交换控制信息和收发数据。电源部分主要给传感器模块、处理器模块、无线通讯模块供电^[10],负责节点的驱动,是决定网络生存期的关键因素。

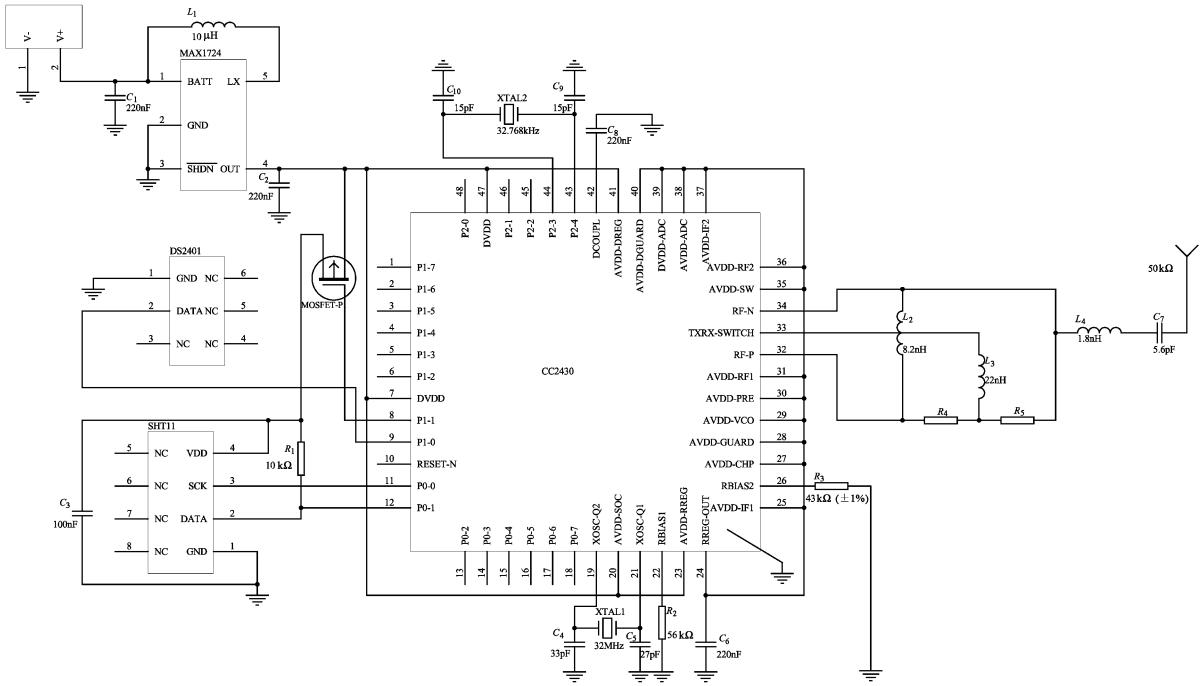


图3 传感器节点电路原理图

FIGURE 3 Circuit diagram of network node

节点硬件设计采用的核心芯片是 Chipcon 公司近年推出的 CC2430。CC2430 是一颗 SoC CMOS 芯片,内嵌高性能和低功耗的 8051 微控制器核。它集成了 14 位模数转换的 ADC 以及符合 IEEE802.15.4 标准的 2.4GHz 的 RF 无线收发器,具有优良的无线接收灵敏度和强大的抗干扰性。在接收和发射模式下,电流损耗分别低于 27 或 25 mA。CC2430 的休眠

模式和转换到主动模式的超短时间的特性,特别适合于要求电池寿命非常长、运行时间长的森林火灾监测应用。

传感器模块采用温湿一体化的 SHT11。SHT11 是瑞士 Sensirion 公司生产的具有 I2C 总线接口的单片全校准数字式相对湿度和温度传感器。该传感器具有数字式输出、免调试、免标定、自动休眠及可完

全浸没水中的特点,尺寸超小($7.5 \text{ mm} \times 5 \text{ mm} \times 2.5 \text{ mm}$),只有火柴头大小.SHT11 的供电电压为 $2.4 \sim 5.5 \text{ V}$,4 个 NC 管脚不接,数据线 DATA 上加 $10 \text{ k}\Omega$ 的上拉电阻,VDD 和 GND 加一个 100 nF 的滤波电容.

节点采用 DS2401 芯片作为硬件节点的唯一标识符存储器.DS2401 ROM 中包含工厂刻入的唯一 64 位注册码,包含 8 位家族码,48 位序列码以及 8 位 CRC. 达拉斯公司生产的任何两片 DS2401 中包含的 48 位序列码都是不相同的.DS2401 芯片除了接地引脚,只有一根功能引脚,芯片的供电、输入和输出都是通过这个引脚完成的.

系统采用高能的大容量的 2 节碱性电池来提供电能.为了保证节点工作状态以及传感器的工作特性不发生变化,因此采用 MAX1724EZK30 来稳定系统的工作电压.

天线采用时代创兴天线厂生产的 TA-XPQ2400-3dBi 橡皮天线.该天线小巧,尺寸只有 5 cm,重量不到 20 g,易安装.它的发射频率典型值为 2.4 GHz .

3.2 网关设计

网关的硬件体系结构(图 4)包括主处理器、存储单元、射频收发模块和 GPRS 通信模块,另外配有 I/O、以太网接口以及扩展接口等.考虑到网关控制功能多、数据流量大,需要处理能力强的微处理器,而 CC2430 内嵌的 8051 微控制器核不能满足要求,网关微处理器选用的是 Intel 公司的 PXA255 处理器芯片,它是一个高性能、低价格、低能耗的 RISC 处理

器.这个处理器将一个复杂集成电路合成在一块芯片上,功能强大,具有嵌入式处理器的优点.射频收发模块还是采用 CC2430,通过它与传感器网络节点实现双向通信,接收传感器节点发送过来的数据信息,向节点发送控制命令等.GPRS 模块采用 Cellon 公司的 CMS91.GPRS 模块作为网关与互联网相连接的接口,负责将数据发到互联网上以及接受互联网的控制信息等.

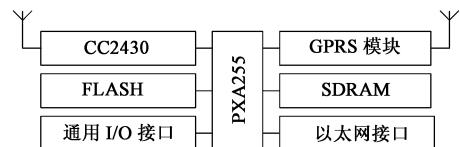


图 4 网关体系结构

FIGURE 4 Structure of the gateway system

4 数据传输流程

本设计采用监控主机主动请求、传感器节点被动响应的方式完成数据在 ZigBee 网内的传输.数据传输流程如图 5 所示:

远程工作人员操作监控主机发送对森林温湿度的状况请求查询的命令,该命令通过互联网传送至路由器.路由器根据收到的命令查看路由表选择目的协调器,目的协调器对隶属于它的簇网络支路进行通讯广播,唤醒需要查询的簇的簇首,簇首再向本簇成员节点广播,激活休眠节点进行数据通讯;节点采集数据后发送到簇首,簇首进行数据合成处理后沿原路反馈给监控主机.如果未发现或者与目的网

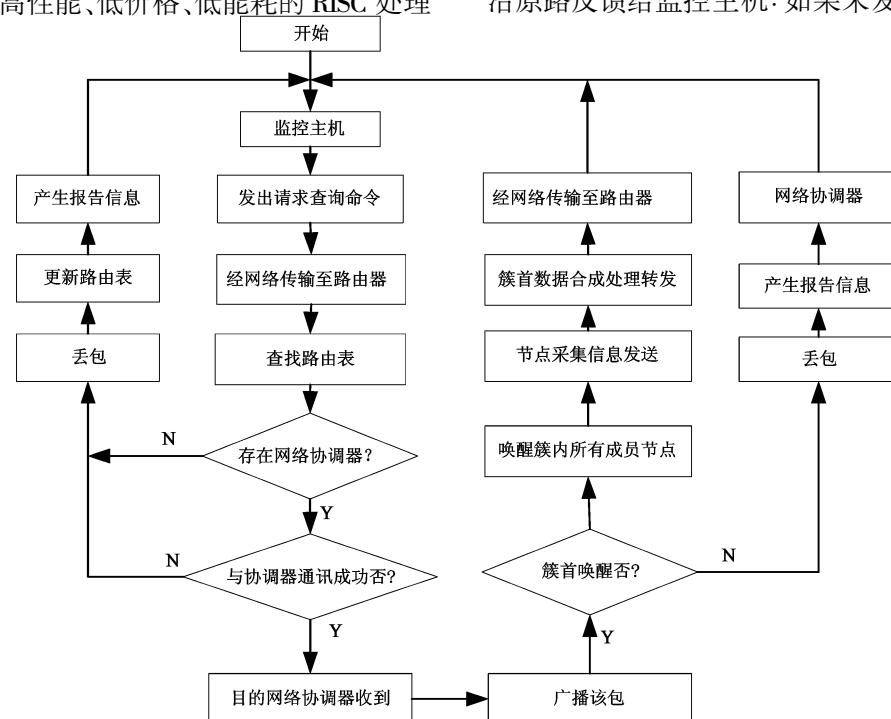


图 5 数据传输流程

FIGURE 5 Flowchart of data transmission

络协调器通讯失败,丢掉该数据包并产生报告信息返回给监控主机存档。系统中的绝大多数节点处在休眠状态,以节省能量,延长网络生存期。

5 结 论

无线传感器网络在环境监测、生态监控等领域应用日益广泛,尤其是在艰苦或恶劣环境条件下,具有传统监测技术不可比拟的优势。无线传感器网络技术在森林火灾实时监测领域同样有着广阔的应用前景,但由于该项技术的复杂性以及林区环境的特殊性,目前在我国森林火灾监控中还没有实际应用。为更好地实时准确监测林区环境温湿度等参数变化,并考虑到 ZigBee 技术具有数据传输安全可靠、组网简易灵活、设备成本低、系统能耗低等独特的优势,本文基于 ZigBee 无线传感器网络技术构建了森林火灾无线监测系统。该系统采用的是簇-树形式的网络拓扑结构,相对于网状的拓扑结构具有组网简单、路径信息占用存储器容量小等优点,但其也要求网络的链路结构必须稳定可靠,另外网络的规模也受限制,需要在今后的研究中不断改进和优化。总之该方案的提出是森林火灾监测和预防方式的一种有益尝试和补充,为无线传感器网络这一先进技术在森林火灾监测领域的推广应用提供了切实可行的硬件基础。为更好地发挥出其应有的潜能,需要重点解决系统能耗、节点定位以及时钟同步等难点问题,从而不断提高我国森林火灾监测水平。

参 考 文 献

- [1] 赖日文. 基于 3S 技术的森林资源监测的研究[D]. 福州: 福建农林大学, 2004.
- [2] LAI R W. *Studies on the forest resources monitored by 3S technologies* [D]. Fuzhou: Fujian Agriculture and Forestry University, 2004.
- [3] HUANG S L, FLORIAN S. ENVISAT ASAR wide swath backscatter dynamics of the Siberian boreal forest fire scar [C]// *Proceedings of the 2004 Envisat and ERS Symposium*. Paris: European Space Agency, 2005, 1: 305–1 313.
- [4] CALLE A, SANZ J, MOCLAN C, et al. Detection and monitoring of forest fires in China through the ENVISAT-AATSR sensor [C]// *Proceedings of the 2005 Dragon Symposium—dragon programme mid-term results*. Paris: European Space Agency, 2006, 283–291.
- [5] YU L Y, WANG N, MENG X Q. Real-time forest fire detection with wireless sensor networks [C]// *Proceedings of 2005 International Conference on Wireless Communications, Networking and Mobile Computing*. Wuhan: WCNM, 2005, 1: 214–1 217.
- [6] 舒立福, 王明玉, 赵凤君, 等. 几种卫星系统监测林火技术的比较与应用[J]. 世界林业研究, 2005, 18(6): 49–53.
- [7] SHU L F, WANG M Y, ZHAO F J, et al. Comparison and application of satellites in forest fire monitoring [J]. *World Forestry Research*, 2005, 18(6): 49–53.
- [8] 宋卫国, 马剑, SATOH K, 等. 森林火险与气象因素的多元相关性及其分析[J]. 中国工程科学, 2006, 8(2): 61–66.
- [9] SONG W G, MA J, SATOH K, et al. An analysis of multi-correlation between forest fire risk and weather parameters [J]. *Engineering Science*, 2006, 8(2): 61–66.
- [10] 田晓瑞, MCRAE D J, 张有慧. 森林火险等级预报系统评述[J]. 世界林业研究, 2006, 19(2): 39–46.
- [11] TIAN X R, MCRAE D J, ZHANG Y H. Assessment of forest fire danger rating systems [J]. *World Forestry Research*, 2006, 19(2): 39–46.
- [12] 舒立福, 张小罗, 戴兴安, 等. 林火研究综述(Ⅱ)——林火预测预报[J]. 世界林业研究, 2003, 16(4): 34–37.
- [13] SHU L F, ZHANG X L, DAI X A, et al. Forest fire research (Ⅱ): Fire forecast [J]. *World Forestry Research*, 2003, 16(4): 34–37.
- [14] 张贵. 广州市林火动态监测研究[D]. 株洲: 中南林学院, 2004.
- [15] ZHANG G. *Study on forest fire dynamic monitoring in Guangzhou City* [D]. Zhuzhou: Central South Forestry University, 2004.
- [16] 任丰原, 黄海宁, 林闯. 无线传感器网络[J]. 软件学报, 2003, 14(7): 1 282–1 291.
- [17] REN F Y, HUANG H N, LIN C. Wireless sensor networks [J]. *Journal of Software*, 2003, 14(7): 1 282–1 291.
- [18] JASON T, YANG S J, RAO R, et al. Optimal topologies for wireless sensor networks [C]// *Proceedings of SPIE—the International Society for Optical Engineering, Unmanned/Unattended Sensors and Sensor Networks*. London: SPIE, 2004, 192–203.
- [19] ZENON C, FADY A. Wireless sensor network based system for fire endangered areas [C]// *Proceedings of the 3rd International Conference on Information Technology and Applications*. Sydney, Australia: ICITA, 2005, 203–207.

(责任编辑 董晓燕)