

秦岭北麓森林火灾监测系统及节能算法^①

王艳丽¹, 党国刚²

¹(渭南师范学院 数学与信息科学学院, 渭南 714000)

²(渭南市林业局, 渭南 714000)

摘要: 针对秦岭北麓浅山区森林火灾监测的需要, 设计一种基于无线传感器网络的森林火灾实时监测系统, 该系统给出监测实施的体系结构、无线传感器网络节点的硬件设计和软件实现。同时, 针对无线传感器网络的能量约束问题, 提出基于网格理论的节能算法, 该算法以中心点的计算代替原有四周节点的计算, 降低了计算复杂度。仿真结果表明, 计算覆盖度与实际覆盖度的误差小于 11%, 验证了算法的有效性。

关键词: 森林火灾; 无线传感器网络; 网络节点; 网格理论; 节能

Forest Fire Detection System Based on Wireless Sensor Network and the Energy Saving Algorithm

WANG Yan-Li¹, DANG Guo-Gang²

¹(College of Mathematics and Information Science, Weinan Normal University, Weinan 714000, China)

²(Weinan Forestry Administration, Weinan 714000, China)

Abstract: This paper designs a forest fire detection system based on wireless sensor network. The hardware and software circuit were designed, as well as the system architecture of sensor network was described also. Meanwhile, because of the wireless sensor networks' energy constrained, energy-saving algorithm was proposed based on grid theory in this paper. The algorithm calculates the center point instead of original four surrounding nodes and the complexity is reduced. The simulation results show that the degree of error between the calculated coverage and actual coverage is less than 11%, verify the effectiveness of the algorithm.

Key words: forest fire; wireless sensor network; network node; grid theory; energy saving

森林能为人类提供丰富的生态资源^[1], 与人类生存息息相关, 森林火灾的发生会造成国家资源的严重损失。渭南市秦岭北麓地区森林植被茂密, 天然林分布密集, 自然、人文景观资源丰富, 是国家重点水源涵养区, 区域内的华山风景区旅游资源得天独厚, 历来以奇险雄秀著称; 被誉为“陕西九寨沟”的少华山国家森林公园每年吸引着众多海内外游人; 临渭区境内森林公园已成为周边人们休闲度假、户外竞技的好去处; 潼关是秦、晋、豫三省交界的黄河三角地带, 具有得天独厚的矿产资源。该区域沟壑纵横、坡陡沟深, 一旦发生森林火灾, 火灾扑救难度大, 导致过火面积较大, 森林资源破坏性强。

目前, 我国森林火灾监测措施普遍采用地面巡防、瞭望塔监测、航空巡护、远程视频监控以及卫星遥感监测等, 各种监测方式都有优缺点。我国多数重点林区普遍通过智能视频监控系统监测森林火灾的发生, 该系统主要分森林现地系统和指挥决策平台两部分, 森林现地系统主要包括林地基站、远程控制器、摄像系统、供电系统、防雷和防盗系统等; 指挥决策平台主要包括网络管理监控平台、视频会议、应急指挥平台等, 并结合卫星定位系统监测预防火灾的发生, 该系统存在图像数据存储占用空间大, 使用和维护费用较高, 难以实时反映森林区域温度、湿度和大气压力等直接关系火灾发生的环境和气象因素动态变化情

① 基金项目: 陕西省教育厅科研计划(2013JK1071); 渭南师范学院大学生创新创业训练计划(2014XK096); 校级特色学科建设项目((14TSSXK02); 陕西省(数学)扶持学科建设项目

收稿时间: 2014-09-11; 收到修改稿时间: 2014-10-20

况等问题。本文以秦岭北麓浅山区为实验观测对象，应用无线传感器对森林环境的湿度、温度^[2,3]等参数进行监测，建立基于无线传感器网络技术的森林火灾智能监测系统，实现对森林火灾的实时防范，并对监测中无线传感器网络布局优化策略进行研究，确定优化的节能算法。

1 森林火灾发生条件

森林火灾的发生是火源、周边环境因素和林下可燃物综合因素的结果。最著名的加拿大森林火险天气预测模型指出，可燃物的含水率是判断森林火灾能否发生，进行森林火灾监测预报的重要因素。而影响可燃物含水率大小的主要因素是大气相对湿度、空气温度。大气的相对湿度直接影响可燃物水分蒸发，空气温度的变化可以直接影响可燃物的着火情况，因此，本文将空气的温度和大气相对湿度列为重点监测对象。当然火灾的发生还与其他相关因素有关，例如雷电、人为破坏等，设计系统的过程中并未考虑这些因素。

2 森林火灾监测系统设计

2.1 监测体系

系统通过传感器节点主要测量大气湿度和空气温度两个参数，从而间接反映林下可燃物的含水率，因此，将湿度和温度两个主要指标作为监测森林火灾发生判断的重要依据。传感器网络体系结构包括传感器节点、路由器和监控主机 3 部分^[4]，如图 1 所示。根据传感器节点在网络中的不同分工，将其分为普通节点和协调节点。部署在监测区域的传感器节点采集现场数据，通过自组织的方式将数据传输到网络协调点，网络协调点通过 4G 网络传送到中心控制室，达到远程监测的目的。整个系统基于 ZigBee 无线组网方式，满足低成本、低功耗的要求。

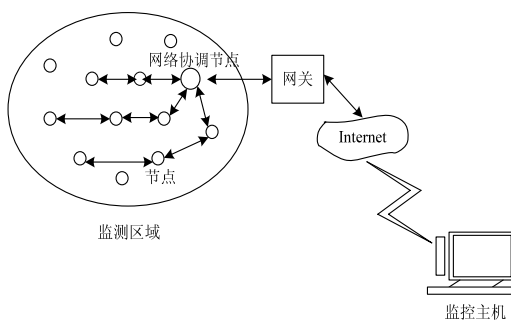


图 1 传感器网络体系结构

2.2 系统硬件设计

系统硬件设计主要包括传感器节点设计和网关设计^[5]。

2.2.1 传感器节点设计

传感器节点由传感模块、计算与存储模块、通信模块和电源模块组成，其内部结构如图 2 所示。

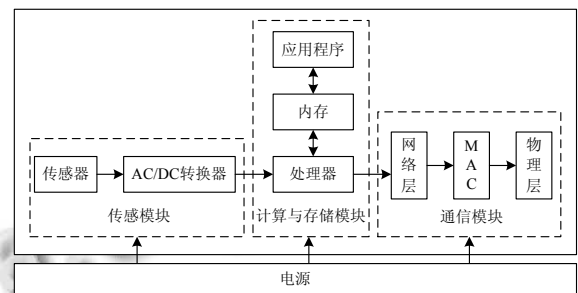


图 2 节点硬件组成

- (1)传感模块. 负责探测目标的物理特征和现象, 采集空气温度和湿度参数。
- (2)计算与存储模块. 负责计算和存储传感器采集的数据, 中转其他节点的信息。
- (3)通信模块. 负责节点间的通信, 发送和接收控制信息和数据。
- (4)电源模块. 负责节点供电, 决定着网络的生命周期。

传感器节点的电路原理如图 3 所示。传感器节点硬件设计采用的核心芯片是 TI 公司的 CC2531，其用于 IEEE 802.15.4 和 ZigBee 应用的片上系统解决方案，该芯片结合领先的射频收发器与行业标准增强型 8051 微控制器的性能，具有系统可编程闪存和 8KB 的 RAM，同时具有多种操作模式，适合于系统的低功耗要求、运行时间较长的森林火灾监测。

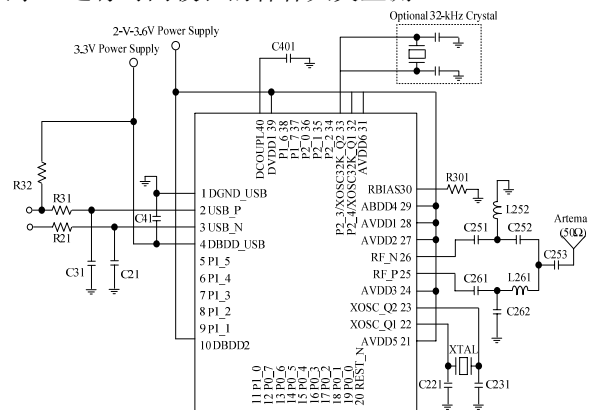


图 3 传感器节点电路原理图

$$P_a = 1 - \prod_{j=1}^n (1 - P_{ab}) = 1 - \prod_{j=1}^n \left(1 - \frac{S_{ab} + S_{ak} - S_{abk}}{\pi R_{sa}^2} \right) \quad (3)$$

其中, S_{abk} 是节点 a 被节点 b 和节点 k 同时覆盖的面积, 一般3个以上节点存在共同重叠区域面积的情况较少, 所以只考虑最多3个节点的情况. 如果一个传感器节点被其邻居节点覆盖的概率超过了一定的阈值, 则可以认为该节点冗余.

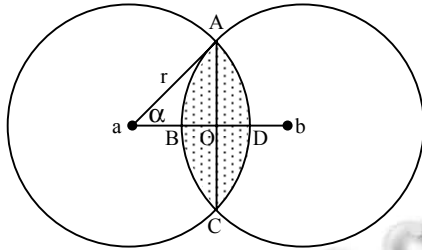


图6 节点覆盖模型

3.2 本文算法

基于覆盖概率算法不能判定出所有冗余节点, 算法实现过程存在较多的数学计算, 计算复杂度较高. 本文针对以上问题提出一种新的判定冗余节点的方法, 进一步减少网络能耗.

3.2.1 设计思路

网格理论^[6]通常应用于无线传感器网络仿真过程, 一般将仿真区域划分成网格来计算区域覆盖度. 传统的设计方法将监测区域划分成正方形网格, 网格边长取1, 用正方形网格的面积等效节点的覆盖面积, 如果正方形网格四边上的点被覆盖, 那么, 可以判定此传感器节点的覆盖范围. 传统的基于网格理论的节能算法, 需要求解四边上的点, 存在计算量大的缺点.

基于传统网格理论思想, 提出一种新的节能算法. 森林火灾实时监测具有一定的特殊性, 被监测值在大部分监测时间内处于稳定的范围, 因此, 有计划的关闭冗余节点, 可以降低分布密度, 减少冗余数据的搜集. 针对上述问题分析, 进一步考虑算法的计算复杂度, 将网格理论应用于节能算法中, 判断冗余节点, 进而延长网络生命周期.

3.2.2 算法描述

假定固定网格节点为林火探测节点, 以测量温度参数为例, 某个固定站点的值超出邻居站点的平均值, 则进一步缩小异常区域的范围. 为降低传统网格理论

的复杂度, 本文采用计算网格中心点的方法寻找异常区域范围. 假设网格中心点和存在异常值的传感器 j 的位置信息是已知的, j 节点通过计算自身和邻居节点的等效覆盖点集来判定节点冗余, 若 j 冗余, 则关闭, 并对其范围进一步细化, 直到获得满意的精度.

节点 j 的等效覆盖点集^[12]用 $G(j)$ 表示, 即

$$G(j) = \{g \in p \mid d_{jp} \leq R_{sj}, p \in C(m)\} \quad (4)$$

其中, p 表示网格中心点, d_{jp} 表示传感器 j 和中心点 p 之间的距离, R_{sj} 表示传感器 j 的感知半径, $C(m)$ 表示固定网格中心点集.

同时, 将网格覆盖理论应用于邻居节点以及冗余的判定, 可以将邻居节点的总覆盖范围等效为邻居节点的网格面积. 若 $L(j)$ 表示节点 j 的全部邻居节点, 用 $Lg(j)$ 表示节点 j 的全部邻居节点的等效覆盖点的集合, $Lg(j)$ 可由式(5)计算.

$$Lg(j) = \bigcup_{j \in L(j)} G(j) \quad (5)$$

进一步可以计算 j 的冗余度,

$$r(j) = \begin{cases} 1, & G(j) \subseteq Lg(j) \\ 0, & G(j) \not\subseteq Lg(j) \end{cases} \quad (6)$$

判断规则: 如果 j 的邻居节点的等效覆盖点集合 $Lg(j)$ 包含了 $G(j)$, 那么 j 冗余, 反之, 则 j 不冗余.

算法具体实现过程如图7所示:

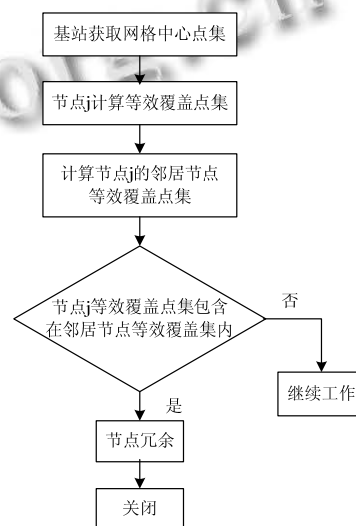


图7 节能算法实现过程

4 仿真实验

为了验证改进算法的有效性, 在 $50\text{ m} \times 50\text{ m}$ 的监

测区域内随机布放 20 个节点,感知半径 5~7 m,通信半径 10 m,基站设在中心区域,每个节点可获取自身及邻居节点的位置。

仿真 1 本文算法有效性分析

仿真过程中,采用中心节点的覆盖度代替整个网络覆盖,用 MATLAB 仿真工具对其误差进行仿真,仿真结果如图 8 所示。

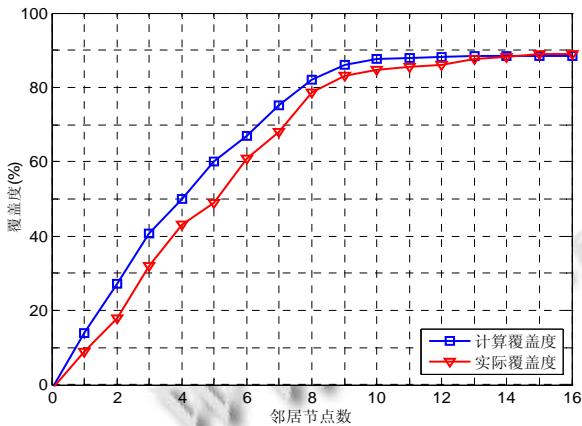


图 8 计算覆盖度和实际覆盖度比较

图 8 中横坐标表示邻居节点数,纵坐标表示覆盖度,从图中可以看出,计算覆盖度与实际覆盖度的误差小于 11%,当邻居节点数大于 12 后,其误差几乎为 0,由此证明改进算法判定冗余节点的有效性。

仿真 2 关闭冗余节点后网络覆盖度分析

对覆盖概率算法和本文算法关闭冗余节点后的网络覆盖度进行仿真分析,设定传感器节点被邻居节点覆盖率达到 90%以上时,可以认为节点冗余,并且初始部署其监测区域完全覆盖,仿真结果如图 9 所示。

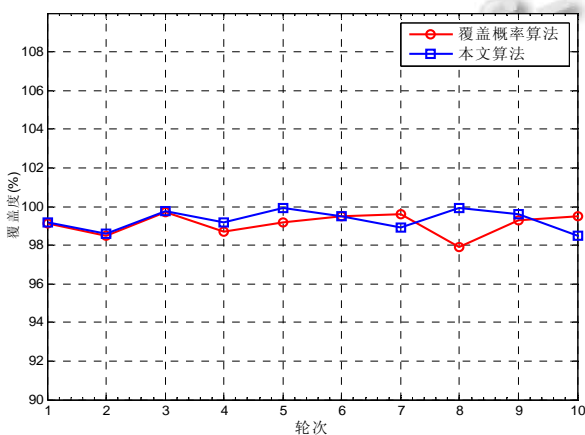


图 9 关闭冗余节点后网络覆盖度比较

图 9 中横坐标表示轮次,纵坐标表示覆盖度,从

图中可以看出,当工作 9 轮次内,两种算法网络覆盖度都达到 98%以上,本文算法覆盖度略高,但本文算法减少了数学计算,复杂度较低,由此证明本文提出的判定冗余节点算法是准确的。

5 结语

针对秦岭北麓浅山区的环境因素,设计基于无线传感器网络的无人值守森林火灾实时监测系统,该系统能够有效监测森林环境的温度和湿度参数,将数据通过互联网发送至监控中心,实时监测环境的变化,预防森林火灾的发生。针对无线传感器网络能量限制的问题,设计基于网格理论的节能算法,该算法能有效判断冗余节点,通过 MATLAB 仿真工具验证了算法的有效性。

由于传感器节点的分布不均匀会导致部分区域重复覆盖,也会导致部分区域未被覆盖,从而产生盲区。未来的研究将集中于无线传感器网络覆盖盲区的问题。

参考文献

- 1 汤文亮,曾祥元,等.基于 Zigbee 无线传感器网络的森林火灾监测系统.实验室研究与探索,2010,29(6):49-53.
- 2 曾台盛.基于无线传感器网络的森林防火监测系统设计.佳木斯大学学报,2011,29(6):857-859.
- 3 李光辉,赵军,王智,等.基于无线传感器网络的森林火灾监测预警系统.传感技术学报,2006,19(6):2760-2764.
- 4 张军国,面向森林火灾监测的无线传感器网络技术研究[学位论文].北京:北京林业大学,2009.
- 5 金光,江先亮.无线网络技术教程—原理、应用与仿真实验.北京:清华大学出版社,2011.
- 6 胡莲成,基于 Zigbee 的森林火灾监测模型研究[学位论文].南京:南京林业大学,2010.
- 7 张军国,李文彬,韩宁,等.基于 Zigbee 无线传感器网络的森林火灾监测系统的研究.北京林业大学学报,2007,29(4):41-45.1.
- 8 程琛,白光伟,赵露,等.无线传感器网络不依赖位置信息的能耗均衡拓扑控制.计算机应用,2014,34(4): 921-925.
- 9 蒲泓全,贾军营,张小娇,等.一种无线传感器网络 LEACH 协议的改进方法.计算机系统应用,2014,23(8):97-100.
- 10 秦智超,无线传感器网络中节能关键技术的研究[学位论文].北京:北京邮电大学,2013.
- 11 赵蕾,蔡军伟,郭新明.基于覆盖概率模型的无线传感器网络覆盖算法.中国科技论文,2013(4): 1-8.
- 12 黄守志.无线传感器网络低耗节能机制研究及在工业监测中的应用[学位论文].哈尔滨:哈尔滨工业大学,2013.