

基于 Voronoi 图的无线传感网休眠算法

邓亚平, 刘 洒*, 刘雅菲

(重庆邮电大学 计算机科学与技术学院, 重庆 400065)

(* 通信作者电子邮箱 liusa198@163.com)

摘 要:针对无线传感网络的节点是高密度随机分布在部署区域可能产生重复覆盖而浪费节点和网络整体能量的问题,改进了一种基于 Voronoi 图的休眠算法。通过计算节点与其邻居节点和其产生的 Voronoi 图顶点的距离来判断该休眠节点,减少网络的整体能量消耗。仿真结果表明,所改进的休眠算法节约了网络的整体能量,延长了网络的生命周期。

关键词:无线传感器网络;Voronoi 图;休眠;分簇;唤醒;能量

中图分类号: TP393.04 **文献标志码:** A

Voronoi diagram-based sleeping algorithm in wireless sensor networks

DENG Ya-ping, LIU Sa*, LIU Ya-fei

(College of Computer Science and Technology, Chongqing University of Posts and Telecommunications, Chongqing 400065, China)

Abstract: The multi-coverage will appear with the sensors of Wireless Sensor Network (WSN) being randomly and high-densely distributed on the fields that will waste the energy of sensors and the entire network. Concerning this problem, a sleeping algorithm based Voronoi diagram was improved. Sleeping sensors were estimated and the energy of the whole network cost was reduced with calculating distance of sensors and their neighbors and distance of sensors and vertex of their Voronoi diagrams. The simulation results show that the improved sleeping algorithm can save energy of the whole network, and extend the lifetime of network.

Key words: Wireless Sensor Network (WSN); Voronoi diagram; sleeping; clustering; waking-up; energy

0 引言

无线传感器网络(Wireless Sensor Network, WSN)是由部署在监测区域内大量的廉价微型传感器节点组成,通过无线通信方式形成的一个多跳的自组织的网络系统,用于协作地感知、采集和处理网络覆盖区域中感知对象的信息,并发送给观察者^[1]。它广泛应用于军事、环境监测和预报、智能家居、建筑物状态监控、城市交通等领域。然而,传感器节点的处理能力、存储能力和通信能力等都较弱,且携带的电池能量有限不易更换。因此,如何有效利用传感节点的能量,延长网络寿命成为传感器网络研究的热点。

传感器节点的无线通信模块存在发送、接收、空闲和睡眠四种状态。无线通信模块在空闲状态一直监听无线信道的使用情况,检查是否有数据发送给自己,而在睡眠状态则关闭通信模块。无线通信模块在发送状态的能量消耗最大,在空闲状态和接收状态的能量消耗接近,略少于发送状态的能量消耗,在睡眠状态的能量消耗最少。无线传感器网络中通常节点布设密集,如果让所有节点都工作,则会在数据收集时存在高度相关和冗余,甚至在传送数据时还会发生冲突。在保证网络覆盖度的情况下,让部分节点处于休眠状态,不仅可以减少相同数据的重复接受,更重要的是可以为网络节省较多能量。

文献[2-5]是通过分簇的方法来平均网络能量,而没有考虑到网络中一些节点属于重复覆盖的情况,所有节点都工作,加重了网络的负担。文献[6-8]是基于圆盘感知模型的休眠调度算法。在圆盘模型中,每一传感器节点有一半半径为 Sr 的感知范围,当某一目标出现在任意节点的感知范围内,

则认为该目标可被感知;否则认为不能被感知。文献[6]认为一个节点的感知范围内只要存在一个工作节点,则该节点就可以休眠,不能保证网络的覆盖度。在文献[7]中,如果某节点的感知范围被邻居节点覆盖,则该节点就是冗余节点,该算法能保证网络的覆盖度,而算法较为繁琐。本文通过 Voronoi 图的性质,判定休眠节点,并模拟分簇路由协议仿真,不仅保证了网络的原始覆盖,使冗余节点进入休眠状态,而且能通过分簇的思想平均网络整体能量,延长网络寿命。

1 系统模型

1.1 网络模型

在传感器网络中,在保证网络覆盖率的情况下来考虑节点的休眠,需要知道在什么情况下,一个域能被某个传感节点所覆盖以及节点的休眠是否会减少网络区域的覆盖率等问题。

这里采用文献[8]所采用的布尔感知模型,假设位于二维欧氏平面的每个节点 N_i 都知道其位置坐标 (x_i, y_i) , 这些位置信息可以通过 GPS 或者别的定位系统获得。节点能以半径 Cr 直接与其他节点通信。

定义 1 邻居节点。节点 N_i 的一跳邻居节点集合 $N(i)$ 可以被定义为:

$$N(i) = \{N_j \in \Omega \mid d(N_i, N_j) \leq Cr, j \neq i\}$$

定义 2 覆盖。部署区域内任意一点 Y , 如果以 Y 为圆心, Sr 为半径,所形成的圆形区域内有至少一个活跃的节点 N_i , 则称点 Y 被覆盖。

Sr 为节点的感知半径,通常情况下 $Cr \geq 2Sr^{[9]}$ 。

收稿日期:2012-05-02;修回日期:2012-06-06。

作者简介:邓亚平(1948-),男,重庆人,教授,主要研究方向:计算机网络与通信、信息安全;刘洒(1988-),男,河南邓州人,硕士研究生,主要研究方向:计算机网络与通信;刘雅菲(1987-),女,重庆人,硕士研究生,主要研究方向:物联网安全。

推论 如果某区域内所有的点都被覆盖,则称该区域被完全覆盖。

1.2 能耗模型

本文采用与文献[3]相同的无线通信模型。发送方传输 k 位的数据到距离为 d 的接收方所消耗的能量为:

$$E_t(k, d) = \begin{cases} kE_{\text{elec}} + k\varepsilon_{fs}d^2, & d < d_0 \\ kE_{\text{elec}} + k\varepsilon_{mp}d^4, & d \geq d_0 \end{cases} \quad (1)$$

其中: E_{elec} 表示发射电路消耗的能量, ε_{fs} 和 ε_{mp} 为功率放大器所代表的能量, d_0 为常量。

节点接收 k 位数据所消耗的能量为:

$$E_r(k) = kE_{\text{elec}} \quad (2)$$

将 m 个长度为 k 位的数据包融合所消耗的能量为:

$$E_f(m, k) = mkE_{\text{fusion}} \quad (3)$$

其中 E_{fusion} 表示融合 1 位的数据所消耗的能量。

2 Voronoi 图休眠机制

2.1 Voronoi 图

定义 3 Voronoi 图^[10] (下文简称 V 图)。设离散点集合 $C(N_1, N_2, \dots, N_i \in C)$, 点 N_i 的 Voronoi 区域 $V(N_i)$ 为所有仅到 N_i 距离最小的点的集合, N_i 称为 V 图的生成元:

$$V(N_i) = \{N \in C \mid d(N, N_i) \leq d(N, N_j), \\ j \neq i, j = 1, 2, \dots, n\}$$

V 图具有的性质: 多边形内的所有点到该多边形生成元距离最小; 两多边形边界上的点到两对应多边形生成元距离相等; 在每个多边形内, 生成元到各个边的距离一般不同, 表明其周围邻居节点到该生成元的距离不同。

2.2 基于 Voronoi 图休眠机制

传感器节点休眠, 就意味着节点将关闭感知设备和通信传输, 来节约能量和减少数据的收发, 也就意味着网络拓扑结构将发生改变, 一些区域的识别能力将削弱, 更有可能影响到整个网络的覆盖率。如果能确保某个传感器在休眠后, 不影响整个网络的覆盖, 网络结构的主干网仍然相连, 就称这个节点为休眠候选节点^[11]。

这里采用文献[11-12]所述的休眠节点的选取方法。

引理 如果去掉节点 N_i 后新形成的 V 图产生的新的顶点仍然被覆盖, 就称节点 N_i 为休眠节点。

然而此法需要遍历每个节点, 在网络节点较多时, 复杂度较高。这里提出了两个网络休眠的必要条件, 来降低遍历休眠节点的复杂度。

定理 1 节点 N_i (V 图生成元) 所生成的 V 图没有完全被其覆盖, 则认为 N_i 不是休眠候选节点。

在文献[8, 13]

中, 给出了定理 1 的证明。如图 1, 传感节点 N_1 和它的一跳邻居节点 N_i ($i = 2, \dots, 8$)。圆代表各个节点的感知区域, 线段围成了 V 图。 N_1 的感知区域没有完全覆盖它的

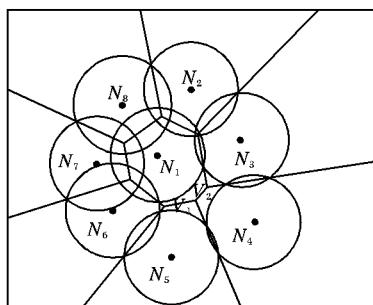


图1 非休眠候选节点 N_1

V 图区域。显然, N_1 的一些感知区域仅仅被 N_1 覆盖, 如果 N_1 休眠, 则会减少网络的覆盖度, 因此, N_1 不是休眠候选节点。

定理 2 节点 N_i 至少有一个邻居节点与其距离小于感知半径 S_r , 否则改节点不能休眠。

证明 若 N_i 节点与邻居节点的距离都小于感知半径

S_r , 则 N_i 点到其余任何节点的距离都小于感知半径 S_r , N_i 点未被覆盖, 所以 N_i 不是休眠节点, 不能休眠, 定理 2 得证。

3 仿真结果与分析

为评估算法的性能, 本文采用 Matlab 设计仿真程序。在实验中, 假定 200 个传感器节点随机分布在 $200 \text{ m} \times 200 \text{ m}$ 的监测区域内, 节点感知半径^[14] $S_r = 15 \text{ m}$, 通信半径 $Cr = 30 \text{ m}$ 。采用文献[3]中的能耗模型和参数, 并与文献[3]中无休眠情况进行对比。相关实验参数如表 1 所示。

表 1 实验参数列表

参数	值	参数	值
节点分布范围	$200 \text{ m} \times 200 \text{ m}$	E_{fusion}	5 nJ/bit
节点个数 N	200	帧长	4000 bit
E_{elec}	50 nJ/bit	广播包大小	200 bit
E_{fs}	$10 \text{ pJ}/(\text{bit} \cdot \text{m}^2)$	通信半径 (Cr)	30 m
ε_{mp}	$0.0013 \text{ pJ}/(\text{bit} \cdot \text{m}^4)$	感知半径 (S_r)	15 m

3.1 网络生成 Voronoi 图

图 2 为 200 个节点随机分布在 $200 \text{ m} \times 200 \text{ m}$ 的监测区域内所形成的 V 图。如无重复节点, 则 200 个节点就代表 200 个 V 区域, 即节点与生成元是一一对应的。每个区域内的任意点, 到该区域生成元的距离最小。图 3 为随机抽取的休眠节点及其邻居节点。可以看出节点 44 的感知范围, 同时也被节点 3、147、158、193、182、185 覆盖, 所以节点 44 是休眠节点, 符合计算结果, 且节点 44 休眠后, 不影响整个网络的覆盖情况。

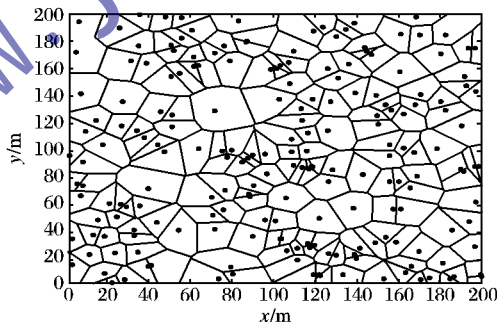


图2 网络的 Voronoi 分布图

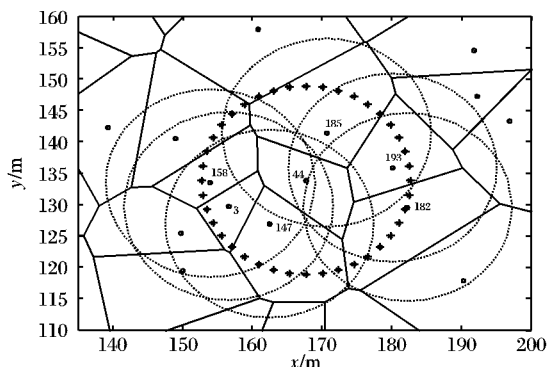


图3 休眠节点 44

3.2 网络总能量

设每个节点的初始能量为 0.01 J (为了减少仿真过程中运行的时间, 这里为文献[3]里设置的 1 J 的 0.01 倍), 因为网络中总共有 200 个节点, 所以初始总能量为 2 J 。如图 4, 可以明显地观察到: 无休眠的网络在仿真到 46 轮时, 就停止运行, 即整个网络已经死亡失效; 而有休眠节点的网络, 在休眠过程中, 休眠节点的能量几乎不变, 整个网络在达到 55 轮后才停止运行。这是因为无休眠的网络的所有节点都在工作,

而实际上,有些区域已经被重复覆盖,重复地感知信息、收发数据和融合数据,不仅增加了网络整体复杂度,更重要的是浪费了节点的能量。而有休眠的网络让覆盖区域完全被其他节点覆盖的节点处于休眠状态,可以避免重复数据的感知、收发和融合,保存自己的能量,从而节约整个网络的能量。图4显示的仿真结果也充分说明有休眠节点的网络较无休眠的网络具有更长的网络寿命。

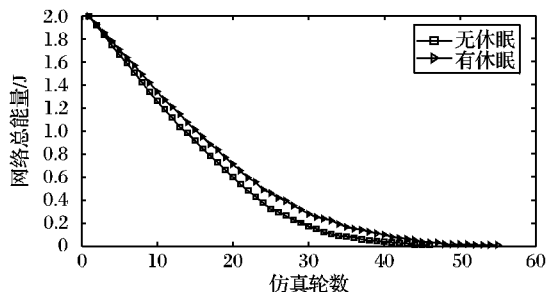


图4 不同网络随运行轮数的剩余能量比较

3.3 网络死亡节点

这里设簇首的个数为活跃节点(能正常收发数据且未休眠的节点)个数的5%^[15]。簇首的任务主要是广播数据包,接收簇成员发出的数据,融合接受到的数据,发送融合好的数据等,因此,簇首的耗能最快。为了平均网络的整体能量,能量大于一定门限值的节点才能被选为簇首。如图5可以看到,在22轮以后节点的死亡情况有明显差异,无休眠节点的网络死亡速度慢于无休眠节点的网络。无休眠网络的节点死亡要快于无休眠网络主要有两个原因:1)在无休眠的网络中,簇首的个数要多于休眠的网络;2)所有节点都工作,不仅浪费了部分节点的能量,也增加了网络的整体消耗。在一般情况下担任过簇首的节点有可能提前死亡。网络前期节点的死亡情况几乎相同,主要是因为簇首的选取机制。

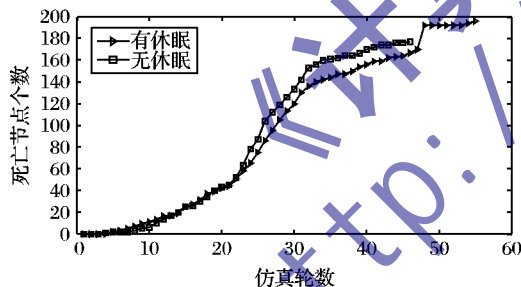


图5 不同网络死亡节点个数对比

3.4 网络休眠节点

如图6,有休眠节点的网络初始阶段有22个休眠节点,无休眠的网络,则无节点休眠。从图5可以看到,从第5轮就有节点死亡,而在图6中,直到第6轮才有休眠节点逐渐被唤醒,这是因为第5轮死亡的节点不是休眠节点的邻居节点,唤醒反而不利于网络运行。随着死亡节点的增加,直到第35轮,休眠节点全部唤醒。

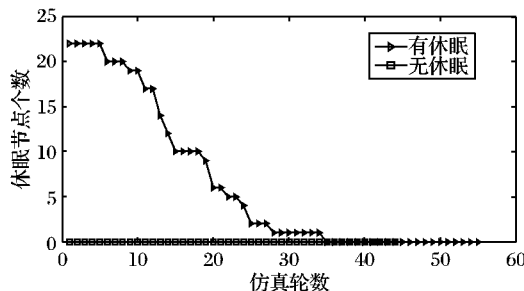


图6 休眠节点个数对比

4 结语

本文在分簇路由算法的基础上结合Voronoi图的性质,改进了一种休眠算法,在保证原有网络覆盖度不变的情况下,让感知区域被重复覆盖的节点进入休眠状态。该算法与以往的单一的分簇算法相比节约了网络整体能量的消耗,延长了网络的寿命。本文是在理想情况下进行仿真实验,而在实际情况中,如果某节点的感知范围大部分已被其他节点覆盖,只有小部分未被其他节点覆盖,基于本文的算法,则该节点不能休眠。但事实上该节点的休眠,将几乎不会对网络造成影响。因此,在接下来的工作中,将继续研究网络的覆盖度与节点休眠的关系,在保证网络较好覆盖度情况下,让更多的节点休眠来节约网络的整体消耗。

参考文献:

- [1] 孙利民,李建中,陈渝,等. 无线传感器网络[M]. 北京:清华大学出版社,2005:3-4.
- [2] LIAW JIUNJIAN, DAI CHENYI, WANG YIJIE. The steady clustering scheme for heterogeneous wireless sensor networks[C]// UIC-ATC'09: Proceedings of the 2009 Symposiums and Workshops on Ubiquitous, Autonomic and Trusted Computing. Washington, DC: IEEE Computer Society, 2009: 336-341.
- [3] 龚本灿,李腊元,蒋廷耀,等. 一种能量均衡的无线传感器网络分簇算法[J]. 计算机应用研究, 2008, 25(11): 3424-3425.
- [4] OSSAMA Y, STUDENT M. HEED: A hybrid, energy-efficient, distributed clustering approach for Ad-Hoc sensor networks[J]. IEEE Transactions on Mobile Computing, 2004, 3(4): 366-379.
- [5] GUPTA I, RIORDAN D, SAMPALLI S. Cluster-head election using fuzzy logic for wireless sensor networks[C]// Proceedings of the 3rd Annual Communication Networks and Services Research Conference. Washington, DC: IEEE Computer Society, 2005: 255-260.
- [6] YE FAN, ZHONG G, LU SONG-WU, et al. . PEAS: A robust energy conserving protocol for long lived sensor networks[C]// Proceedings of the International Conference on Distributed Computing Systems. Washington, DC: IEEE Computer Society, 2003: 28-37.
- [7] TIAN DI, GEORGANAS N D. A coverage preserving node scheduling scheme for large wireless sensor networks[C]// Proceedings of the 1st ACM International Workshop on Wireless Sensor Networks and Applications. New York: ACM, 2002: 32-41.
- [8] CHEN XINYU, LYU M R, GUO PING. Voronoi-based sleeping configuration in wireless sensor networks with location error [C]// Proceedings of the IEEE International Conference on Networking, Sensing and Control. [S. l.]: IEEE, 2008: 1459-1464.
- [9] 林祝亮,冯远静. 基于多粒子群算法的WSNs覆盖优化策略研究[J]. 计算机应用研究, 2009, 26(12): 4701-4703.
- [10] HONIDEN S, HOULE M E, SOMMER C. Balancing graph Voronoi diagrams[C]// ISVD'09: Proceedings of the 2009 Sixth International Symposium on Voronoi Diagrams. Washington, DC: IEEE Computer Society, 2009: 183-189.
- [11] 王成,樊建席,王仁喜,等. 基于Voronoi图的无线传感器网络K覆盖算法[J]. 计算机工程, 2012, 38(2): 84-87.
- [12] 徐鹏飞,陈志刚,邓晓衡. 无线传感器网络中的分布式Voronoi覆盖控制算法[J]. 通信学报, 2010, 31(8): 16-25.
- [13] CARBUNAR B, GRAMA A, VITEK J. Distributed and dynamic Voronoi overlays for coverage detection and distributed hash tables in Ad-Hoc networks [C]// The 10th International Conference on Parallel and Distributed Systems. Washington, DC: IEEE Computer Society, 2004: 549-555.
- [14] 顾晓燕,孙力娟,郭剑,等. 无线传感器网络覆盖质量与节点休眠优化策略[J]. 计算机仿真, 2011, 28(9): 127-131.
- [15] 王金伟,孙华志,孙德兵. 基于能耗的无线传感器网络最优簇首数研究[J]. 传感器与微系统, 2011, 30(9): 45-47.