

基于容忍覆盖区域的无线传感器网络 节点调度算法

凡高娟^{1,2}, 王汝传¹, 黄海平¹, 孙力娟¹

(1. 南京邮电大学计算机学院, 江苏南京 210003; 2. 河南大学计算机与信息工程学院, 河南开封 475004)

摘要: 节点调度机制是解决无线传感器网络节点能量受限问题的重要方法. 传统的位置信息无关的节点调度方案以节点的感知区域覆盖为调度目标, 导致处于边界区域的节点由于没有太多机会进入休眠状态而先死亡, 进而引起死亡节点向监测中心扩散现象, 我们称这种现象为“不均等休眠”问题. 针对该问题, 从理论上对节点覆盖模型进行分析, 提出容忍覆盖区域的概念, 并在此基础上设计基于容忍覆盖区域的节点调度算法. 仿真结果表明, 基于容忍覆盖区域的节点调度算法不但能够缓解“不均等休眠”问题, 且有效的延长了网络的生存时间.

关键词: 无线传感器网; 容忍覆盖区域; 节点调度算法

中图分类号: TP393 **文献标识码:** A **文章编号:** 0372-2112 (2011) 01-0089-06

Tolerable Coverage Area Based Node Scheduling Algorithm in Wireless Sensor Networks

FAN Gao-juan^{1,2}, WANG Ru-chuan¹, HUANG Hai-ping¹, SUN Li-juan¹

(1. College of Computer, Nanjing University of Posts and Telecommunications, Nanjing, Jiangsu 210003, China;

2. Collage of Computer and Information Engineering, Henan University, Kaifeng, Henan 475004, China)

Abstract: Node scheduling scheme of sensor nodes is one of the most important method to solve the energy-constrained wireless sensor networks. Traditional methods of node scheduling that without location information are aim at node sensing area coverage. It leads to a node in the border of monitored region first death due to no more chance enter into sleep state, and then the death spread to the central region. We call this phenomenon as inequality sleep problems. To address this problem, from the theoretical analysis of the sensor node coverage model, we proposed the concept of tolerable coverage area, and propose a node scheduling scheme based on tolerable coverage area. Simulation results demonstrate that the proposed method not only alleviates the inequality sleep problems, but also prolonged network lifetime.

Key words: wireless sensor networks; tolerable coverage area; node scheduling algorithm

1 引言

覆盖是无线传感器网络对物理世界感知能力的体现, 常用来描述监测服务质量 (Quality of Service, QoS) 的标准^[1,2]. 无线传感器节点能量由电池提供, 部署在人无法到达的区域, 对电池更换或充电十分困难, 能量消耗决定了无线传感器网络的生存时间. 所以, 人们往往通过密集部署 (20 nodes/m³) 来保证监测质量^[3]. 在这种部署下, 常存在节点的感知区域被邻居节点完全或部分覆盖^[4], 若所有的节点同时处于工作状态, 会带来信息采集冗余、通信冲突、网络生存时间缩短等问题.

节点调度是在密集部署的无线传感器网络中, 让满足覆盖冗余的节点轮流进入低功耗的休眠状态, 达到延长网络生存时间的目的^[5]. 为了判别某个节点是否是覆盖冗余节点, 常借助节点精确位置信息, 计算节点的感知区域是否被邻居节点完全覆盖. Tian 等^[6]提出免职合格规则 (off-duty eligibility rule), 根据节点位置或信号到达角度计算节点间的覆盖关系; Zhang 等^[7]研究如何使用最少的节点达到全覆盖, 证明网络覆盖与连通关系的充要条件. 然而, 为大规模应用的无线传感器网络提供精确的定位信息非常困难, 甚至节点调度所节约的能量被定位中消耗的能量抵消^[8].

收稿日期: 2009-10-13; 修回日期: 2010-01-10

基金项目: 国家自然科学基金 (No. 60973139, No. 60773041, No. 61003039, No. 61003236); 江苏省科技支撑计划 (工业) 项目 (No. BE2010197, No. BE2010198); 江苏省级现代服务业发展专项资金; 江苏省高校自然科学基金基础研究 (No. 10KJB520013); 高校科研成果产业化推进工程 (No. JH10-14); 国家和江苏省博士后基金 (No. 20100471353, No. 20100471355); 江苏省高校科技创新计划 (No. CX10B-196Z, No. CX10B-197Z, No. CX10B-198Z, No. CX10B-199Z, No. CX10B-200Z); 江苏省六大高峰人才项目 (No. 2008118); 江苏省计算机信息处理技术重点实验室基金 (2010)

为此,研究者提出不依赖于精确位置信息的节点调度方案.主要有两种:一种是随机调度^[9,10],每个节点以一定概率独立进入休眠或工作状态.随机调度方案不需要节点相互通信就可节约能量,但存在某些监测区域不被任何节点覆盖的“覆盖洞”,难以保证网络的覆盖质量^[11,12].另一种是借助于节点间的距离、邻居个数等信息,计算节点覆盖冗余的程度.Gao等^[13]分析节点完全冗余的概率,说明当节点存在11个邻居节点时,节点成为完全覆盖冗余节点的概率为90%.Wu等^[14]利用文献[13]中的概率方法判别冗余,提出LDAS(Lightweight Deployment-Aware Scheduling)算法.Tian等^[15]借助节点与邻居节点的最近距离、邻居个数对节点冗余进行控制,决定节点的状态.Younis等^[16]通过节点距离和二跳邻居信息,设计LUC算法判别节点是否冗余,并在此基础上设计LUC-1和LUC-P分布式调度算法.Yen等^[17]提出基于距离的节点调度算法,利用节点与邻居节点的距离信息对覆盖冗余进行判别.上述算法充分利用邻居节点个数、距离等信息,有效减少网络中的覆盖冗余,延长了网络的生存时间.

上述无位置信息的节点调度算法中,监测区域中所有节点分布式采用相同的覆盖冗余判别方法.造成处于监测区域边界上的节点很难达到休眠条件而一直处于活动状态,导致边界节点由于能量耗尽而过早死亡,从而引起与已死亡节点的相邻节点成为边界节点,进而引起处于活动状态的节点对监测区域的覆盖面积向监测中心“收缩”的现象,称为“不均等休眠”问题.在无线传感器网络监测等应用中,并不希望发生这种现象.在节点位置信息已知条件下,利用节点位置信息识别节点是否位于监测区域边界或者监测区域中心,针对节点所在的监测位置,采取相应的节点调度算法^[18].然而,上述基于邻居节点个数、距离信息等无位置信息的节点调度算法尚未注意到节点在监测区域边界引起的“不均等休眠”问题.

本文针对位置信息未知的节点调度中的现象,力求寻找缓解“不均等休眠”问题的方法.由于节点位置信息未知,很难判别哪些节点是处于监测区域边界上的节点.针对这种情况,结合节点覆盖模型的特点,提出节点容忍覆盖区域的概念,得出节点的覆盖区域与容忍覆盖区域的关系.并提出基于容忍覆盖区域的节点调度算法.

2 网络模型和问题描述

2.1 网络模型

假设 N 个感知半径为 r 的无线传感器节点随机高密度部署在以 R 为半径的圆形监测区域 A 内,如图1所示.则节点的感知覆盖区域为 $S = \pi r^2$.假设节点具有如

下性质:

- (1) 传感器节点随机部署在监测区域后,不再移动,并以自组织形成网络.
- (2) 节点不需要精确的位置信息.
- (3) 节点的通信半径是感知半径的2倍.

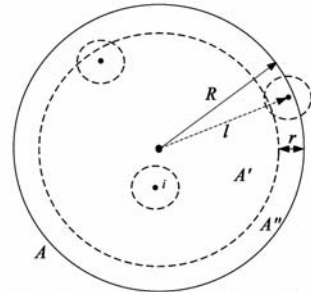


图1 监测区域与节点感知区域

2.2 问题描述

节点位置信息未知的节点调度方法^[13-17]由于不需要节点间精确的位置信息,成为近年来研究的热点.但通过仔细观察,发现这些方法存中在“不均等休眠”问题,如图2所示.

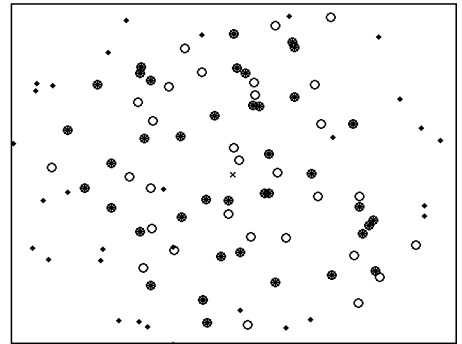


图2 位置信息未知节点调度算法中的“不均等休眠”问题

图2是在监测区域半径为 $R = 50\text{m}$ 的圆形区域内随机部署100个节点,运行文献[14]的LDAS算法在网络运行时间片为600s时节点状态变化图.其中,空心圆点为处于工作状态的节点,实心圆点为处于休眠状态的节点,实心方形点为因能量耗尽死亡的节点.从图中可以看出,由于处于边界的节点一直处于活动状态,由于能量耗尽先死亡,导致“不均等休眠”问题.

3 基于容忍覆盖区域的节点调度算法

3.1 容忍覆盖区域的定义

造成监测区域边界上的节点先死亡的原因主要是部署边界上的节点受边界因素的影响,导致处于边界上的节点很难达到覆盖冗余条件,从而没有机会进入休眠状态.为了缓解这个问题,首先给出容忍覆盖区域的定义.

容忍覆盖区域(Tolerable Coverage Area, TCA):感知

半径为 r 的节点随机部署在半径 R 的圆形监测区域 A 内 ($r < R$), 则节点在该部署区域内的容忍覆盖区域为

$$E_r[C] = \pi \frac{r^2}{R^2} (R-r)^2 + \frac{2}{R^2} \int_{R-r}^R C'(l) l dl$$

证明 由于节点随机部署在以半径为 R 的圆形区域内, 因此, 节点对监测区域的覆盖面积取决于节点在该区域内的坐标情况, 如图 1 所示. 即:

对于任意节点 i , 若其部署在监测区域 A' ($0 < l \leq R-r$) 内, 则对监测区域的覆盖面积为

$$C(l) = \pi r^2 \quad (1)$$

若节点部署在监测区域的边界区域 A'' ($R-r < l \leq R$) 内, 则对其监测区域的覆盖面积为

$$C(l) = C'(l) \quad (2)$$

其中, l 表示节点在区域 A 内坐标范围,

$$C'(l) = r^2 \arccos \frac{l^2 + r^2 - R^2}{2lr} + R^2 \arccos \frac{l^2 - r^2 + R^2}{2lR} - \frac{1}{2} \sqrt{(-l+r+R)(l+r-R)(l-r+R)(l+r+R)} \quad (3)$$

通过式(1)~(3), 我们求得节点在该监测区域内的覆盖容忍区域为:

$$\begin{aligned} E_r[C] &= \int_0^{R-r} C(l) \frac{2l}{R^2} dl \\ &= \int_0^{R-r} C(l) \frac{2l}{R^2} dl + \int_{R-r}^R C'(l) \frac{2l}{R^2} dl \\ &= \pi \frac{r^2}{R^2} (R-r)^2 + \frac{2}{R^2} \int_{R-r}^R C'(l) l dl \end{aligned} \quad (4)$$

图 3 是在监测区域为 $R = 50\text{m}$ 的监测区域内, 在不同的感知半径下, 其节点的容忍覆盖区域与覆盖区域的关系图.

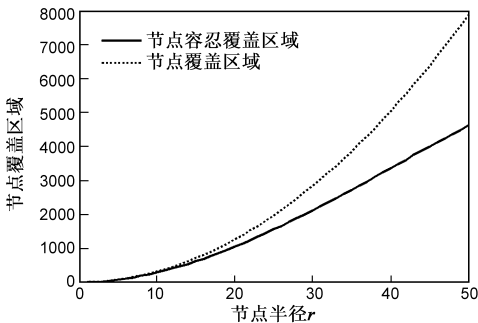


图3 不同半径下的容忍覆盖区域与节点覆盖区域

从图 3 中可以看出, 在监测区域相同时, 节点的容忍覆盖区域和覆盖区域都随节点感知半径增加而增加, 但相对于节点自身覆盖区域来说, 节点的容忍覆盖区域增加的趋势低于节点覆盖区域, 随半径增加的趋势缓慢. 这主要说明随着节点的半径增加, 其边界因素的影响也越大, 仅依靠节点的覆盖面区域来进行节点调度, 往往导致“不均等休眠”问题的产生.

3.2 基于容忍覆盖区域的节点调度算法

基于容忍覆盖区域的节点调度算法 TCA-NS (Tolerable Coverage Area based Node Scheduling) 中, 采用分轮的方法进行调度. 每一轮分为邻居发现、覆盖冗余判别和节点调度三个阶段.

3.2.1 邻居发现阶段

在邻居发现阶段, 各节点在其通信范围内通过广播邻居发现消息获得其邻居节点信息 (距离或者邻居节点个数等信息). 对于任意一个节点 i , 其邻居节点 $N(i)$ 定义如下:

$$N(i) = \{j \in S \mid d(i, j) \leq 2r, i \in S, j \neq i\} \quad (5)$$

其中, $d(i, j)$ 表示节点 i 和节点 j 之间的距离, r 表示节点的感知半径.

3.2.2 覆盖冗余判别阶段

针对位置信息未知的节点调度中存在的“不均等休眠”问题, 利用 3.1 节中的容忍覆盖区域来判别覆盖冗余. 节点 i 通过邻居节点个数或距离等信息, 如采用文献[15]的最近距离和节点个数方法以及文献[14]中感知范围内邻居节点个数等信息, 得到节点 i 被邻居节点覆盖的面积为 B_i . 为解决“非均等休眠”问题, 采用容忍覆盖区域对节点进行覆盖冗余判别, 即:

$$B_i / E_r[C] \geq \text{Threshold} \quad (6)$$

其中, Threshold 表示满足网络应用的节点覆盖冗余的阈值. 若 $B_i / E_r[C] \geq \text{Threshold}$, 则节点 i 满足覆盖冗余. 从中得知

$$\begin{cases} \text{Threshold} = 1, & \text{full redundancy} \\ \text{Threshold} < 1, & \text{partial redundancy} \end{cases} \quad (7)$$

可根据应用需要设定节点成为覆盖冗余节点的 Threshold .

3.2.3 节点调度阶段

节点的状态共有三种: 活动状态, 预休眠状态, 休眠状态. 由于每个节点调度采用分轮运行, 我们仅对某一轮内的节点调度算法进行描述. 假设网络初始运行时, 所有节点都处于活动状态. 算法步骤如下:

步骤 1 如果当前节点是活动节点, 若有数据, 对数据包进行处理; 若无数据, 进入步骤 2.

步骤 2 采用 3.2.2 节的方法, 判断是否是覆盖冗余节点.

步骤 3 若当前节点不是覆盖冗余节点, 返回步骤 1.

步骤 4 若当前节点是覆盖冗余节点, 发送预休眠消息 (Pre-sleep message) 给邻居节点, 进入预休眠状态, 并启动延迟计时器 T_{backoff} .

步骤 5 侦听信息. 如果在 T_{backoff} 内收到相邻节点预休眠消息包, 返回步骤 1; 如果在 T_{backoff} 内未收到休眠

包,节点进入休眠状态.

步骤 6 休眠时间 T_s 结束,开始新一轮调度,返回步骤 1. 节点状态间转换如图 4 所示.

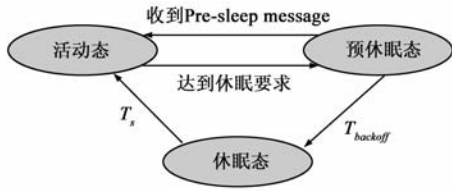


图4 节点状态转换图

4 仿真与分析

为验证算法的有效性和正确性,利用 MATLAB 作为实验平台对该算法进行分析,主要从三个方面来验证算法的性能,即:(1)算法的有效性;(2)部署节点个数与活动节点个数关系;(3)网络覆盖率与网络生存时间关系.在 $R = 50\text{m}$ 的圆形监测区域内随机部署 100 - 500 个节点.实验采用文献[19]使用的能量模型,即节点在传输、空闲和休眠状态的能量消耗比率为 20:4:0.01,节点休眠的时间为 10s.

在验证中,采用与文献[14]中 LDAS 相同的覆盖冗余判别模型,节点被 n 个邻居节点覆盖的概率为至少为:

$$1 - n \cdot 0.609^{n-1} - \left(\frac{n}{6} - 0.109\right) 0.109^{n-1} \quad (8)$$

则节点不被其 n 个邻居节点覆盖的面积为:

$$E[\text{uncover}] \leq \pi r^2 0.609n + \left(\frac{n\pi r^2}{6} - 0.109\pi r^2\right) 0.109^{n-1} \quad (9)$$

在本文中,称在该分析模型上运行基于容忍覆盖区域的算法为 TCAI-LDAS (Tolerable Coverage Area based Improved Lightweight Deployment-Aware Scheduling).

4.1 算法有效性

为验证算法的有效性,在监测区域内随机部署 100 个节点,运行 LDAS 和 TCAI-LDAS 算法.在网络运行时间 100s、400s、600s 和 1000s 时,对网络中节点运行情况进行采样,运行如图 5 和图 6 所示.其中,空心圆点为处于工作状态的节点;实心圆点为处于休眠状态的节点,实心方形点为因能量耗尽而死亡的节点.

从图 5 中可以看出,在网络运行时间分别为 100s 和 200s 时,在 LDAS 算法中处于监测边界上节点很少有机会进入休眠阶段(图 5-(a)(b)).随着网络的运行,边界上的节点由于能量耗尽而死亡(图 5-(c)),进而引起死亡节点向监测中心区域扩散的现象(图 5-(d)).

从图 6 中得知,运行基于容忍覆盖区域的节点调度算法 TCAI-LDAS 后,在网络运行时间 100s 和 200s 时,与图 5 相比,处于监测区域边界上的节点有很多的机会进入休眠状态(图 6-(a)(b)).当节点运行一段时间后,网

络中会有部分节点因为能量耗尽而死亡,但死亡的节点在网络中随机分布,从一定程度上缓解了死亡节点向中心扩散的现象(图 6-(c)(d)).

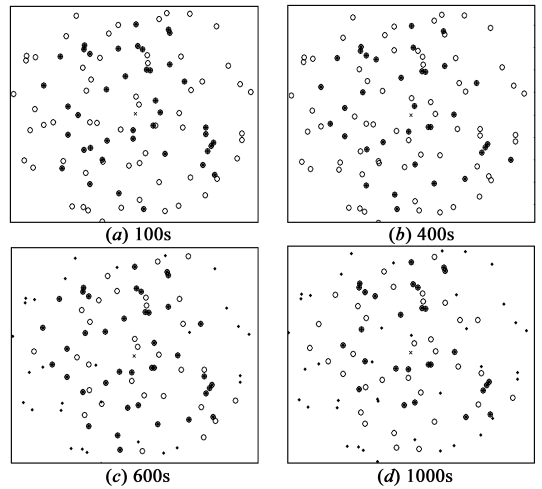


图5 LDAS算法

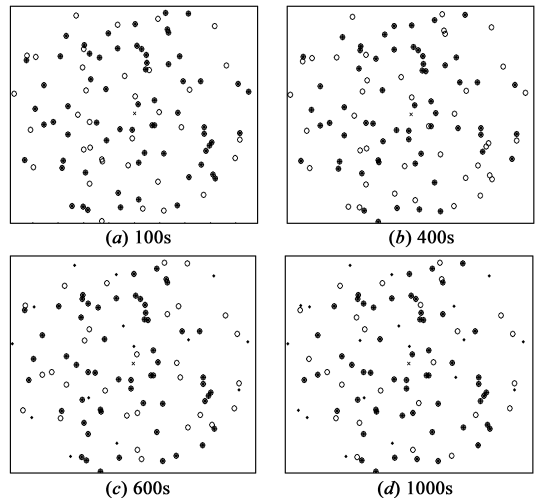


图6 TCAI-LDAS算法

4.2 活动节点个数

在监测区域内分别部署 100-500 个节点,分别运行 LDAS 和 TCAI-LDAS 算法,图 7 说明部署节点总数与活动节点个数之间的关系.

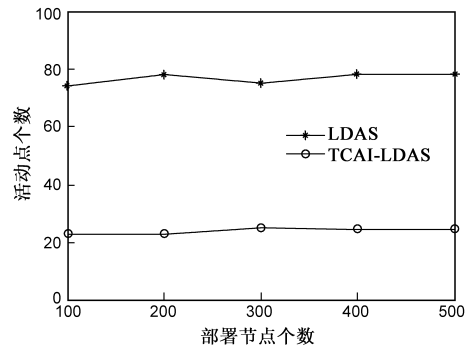


图7 部署节点个数与活动节点个数之间的关系

从图 7 中可以看出,两种方法随着部署节点个数的增加,处于活动状态的节点处于平稳状态.而且 TCAI-LDAS 处于活动状态的节点个数相比于 LDAS 要少很多.这主要是因为利用容忍覆盖区域进行覆盖判别后,处于休眠状态的节点增加,充分利用了节点覆盖冗余特性,只需要较少的节点就满足所达到的覆盖要求.

4.3 网络覆盖率

网络覆盖率 η ,是在节点调度算法运行过程中的某个时刻 t ,处于活动状态的节点对监测区域的覆盖与监测区域的比值.即:

$$\eta(t) = \frac{A_{active} \cap A}{A} \quad (10)$$

其中, A 表示监测区域面积, A_{active} 表示 t 时刻处于活动状态的节点所形成的覆盖区域.

图 8 给出网络覆盖率分别为 85% 和 95% 情况下, TCAI-LDAS 与 LDAS 的比较结果.从图中可以看出,两种算法的网络覆盖率与网络运行时间呈反比关系,网络覆盖率要求高,其网络运行时间短.且在网络运行初期保持比较高的网络覆盖率,但随着网络的运行,网络中出现部分节点由于能量耗尽而死亡,网络覆盖率随运行时间的增加而降低.在相同的网络覆盖率要求下, TCAI-LDAS 的网络生存时间高于 LDAS,这是因为 TCAI-LDAS 充分利用了网络覆盖冗余特性,处于休眠状态节点的个数高于 LDAS 算法.

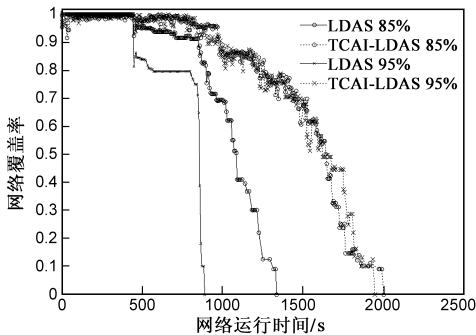


图8 不同网络覆盖率下的网络运行时间

为进一步说明节点调度中的“不均等休眠”问题,在网络覆盖率要求为 90%,节点半径分别为 15m 和 20m 时网络覆盖率与网络运行时间的关系,如图 9 所示.

从图 9 中得知,在网络覆盖率一定的前提下,网络的运行时间随着感知半径的增加而增加,相比于 LDAS 来说, TCAI-LDAS 呈现更好的优势.这说明在相同的监测区域下,节点感知半径对网络的覆盖率与生存时间有很大的影响,节点感知半径的不同,造成的“不均等休眠”问题各不相同.节点半径与监测区域的比值越大,其“不均等休眠”问题越严重.相比于 $r = 15\text{m}$ 时,在 90% 的情况下,运行 TCAI-LDAS 算法,相比于 LDAS 算法其网络的生存时间延长了 500s,而 $r = 20\text{m}$ 的情况

下,其网络的生存时间延长了约 800s,这说明了基于容忍覆盖区域的节点调度算法,不但缓解了节点调度中的“不均等休眠”问题,并且有效的延长了网络的运行时间.

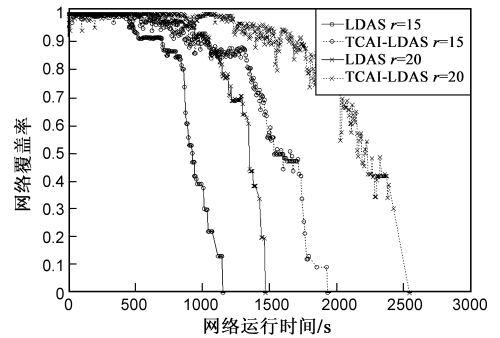


图9 不同感知半径的网络运行时间

5 结束语

针对位置信息未知的节点调度算法中存在的“不均等休眠”问题,本文提出容忍覆盖区域的思想,并设计基于容忍覆盖区域的节点调度算法.实验结果表明,本文的方法在不牺牲网络任何性能的前提下缓解“不均等休眠”问题,减少边界因素对节点调度带来的影响,有效延长网络生存时间.虽然该算法对文献[14]进行了分析与对比,但同样可以运用到其它的无位置信息的节点调度中.值得注意的是,由于 TCAI-LDAS 采用与文献[14]相同的在感知范围内的覆盖判别方法,在考虑通信半径内进行覆盖判别时,基于容忍覆盖区域的节点调度算法具有更高的性能.未来将展开不规则监测区域下容忍覆盖区域节点调度算法的研究,分析网络覆盖率、节点连通性与网络生命期之间的关系.

参考文献:

- [1] Meguerdichian S, Koushanfar F, et al. Coverage problems in wireless ad-hoc sensor networks[A]. INFOCOM'01[C]. New York: IEEE Press, 2001. 1380 - 1387.
- [2] 陶丹,孙岩,陈后金.视频传感器网络中最坏情况覆盖检测与修补算法[J].电子学报,2009,37(10):2284 - 2290.
Tao D, Sun Y, Chen HJ. Worst-case coverage detection and repair algorithm for video sensor networks [J]. Acta Electronica Sinica, 2009, 37(10): 2284 - 2290. (in Chinese)
- [3] Shih E, et al. Physical layer driven protocol and algorithm design for energy-efficient wireless sensor networks[A]. MOBI-COM '01[C]. New York: ACM, 2001. 272 - 287.
- [4] Kumar S, Lai TH, Balogh J. On k-coverage in a mostly sleeping sensor network[A]. MobiCom'04[C]. New York: ACM Press, 2004. 144 - 158.
- [5] Wang L, Xiao Y. A survey of energy-efficient scheduling mechanisms in sensor networks[J]. Mobile Networks and Ap-

- plication, 2006, 11(5): 723 – 740.
- [6] Tian D, Georganas N D. A node scheduling scheme for energy conservation in large wireless sensor networks [J]. Wireless Communications and Mobile Computing, 2003, 3(2): 271 – 290.
- [7] Zhang H, Hou J. Maintaining sensing coverage and connectivity in large sensor networks [J]. Ad Hoc & Sensor Wireless Networks, 2005, 1(1–2): 89 – 124.
- [8] Stojmenovic I. Position-based routing in ad hoc networks [J]. IEEE Communications Magazine, 2002, 40(7): 128 – 134.
- [9] Liu C, Wu K, Xiao Y, et al. Random coverage with guaranteed connectivity: joint scheduling for wireless sensor networks [J]. IEEE Transactions on Parallel and Distributed Systems, 2006, 17(6): 562 – 575.
- [10] Jiang J, Li F, et al. Random scheduling for wireless sensor networks [A]. ISPA'09 [C]. Sydney: IEEE CS Press, 2009. 324 – 332.
- [11] Lin JW, Chen YT. Improving the coverage of randomized scheduling in wireless sensor networks [J]. IEEE Transactions on Wireless Communications, 2008, 7(12): 4807 – 4812.
- [12] Qing L, Zhi T. Minimum node degree and k-connectivity of a wireless multi-hop network in bounded area [A]. GLOBECOM'07 [C]. New York: IEEE Press, 2007. 1296 – 1301.
- [13] Gao Y, Wu K, Li F. Analysis on the redundancy of wireless sensor networks [A]. WSNA'03 [C]. New York: ACM Press, 2003. 108 – 114.
- [14] Wu K, et al. Lightweight deployment-aware scheduling for wireless sensor networks [J]. Mobile Networks and Application, 2005, 10(6): 837 – 852.
- [15] Tian D, Georganas N D. Location and calculation-free node-scheduling schemes in large wireless sensor networks [J]. Ad Hoc Networks, 2004, 2(1): 65 – 85.
- [16] Younis O, Krunz M, Ramasubramanian S. Location-unaware coverage in wireless sensor networks [J]. Ad Hoc Networks, 2008, 6(7): 1078 – 1097.
- [17] Yen LH, Cheng YM. Range-based sleep scheduling (RBSS) for wireless sensor networks [J]. Wireless Personal Communications, 2009, 48(3): 411 – 423.
- [18] Jiang SF, Yang MH, et al. An Enhanced perimeter coverage based density control algorithm for wireless sensor network [A]. ICWMC'2007 [C]. Washington: IEEE Computer Society, 2007. 79.
- [19] Hill J, Szewcayk R, et al. System architecture directions for networked sensors [J]. Architectural Support for Programming Languages and Operating Systems, 2000, 35(11): 93 – 104.

作者简介:



凡高娟 女, 1983年6月出生于河南周口, 南京邮电大学计算机学院博士研究生. 主要研究方向是无线传感器网络.

E-mail: fangaojuan@126.com



王汝传 男, 1943年出生于安徽合肥, 教授、博士生导师. 主要研究方向是计算机软件、计算机网络、信息安全、移动代理和虚拟现实技术等.

E-mail: wangrc@njupt.edu.cn

黄海平 男, 1981年出生于福建三明, 南京邮电大学计算机科学与技术系讲师, 博士. 主要研究方向是计算机网络、无线传感器网络 and 信息安全等.

孙力娟 女, 1963年出生江苏南京, 南京邮电大学计算机学院院长, 教授、博士生导师. 研究方向是计算机网络、无线传感器网络、计算机软件在通信中应用和智能优化方法等.