

WSN 中基于能量均衡的优化覆盖算法

袁炼勇, 武俊, 曾晓玲, 罗卫

(重庆邮电大学软件技术中心, 重庆 400065)

摘要: 针对无线传感器网络中覆盖保持的节点调度算法存在的利用率低、能量不均衡问题, 提出一种改进的算法, 将网络节点划分为若干个相异的节点集合, 根据集合平均能量设置一个权值, 通过权值大小选取合适的节点集合进行工作, 从而均衡节点能量、延长网络的生命期。通过模拟仿真实验证明了算法的有效性。

关键词: 无线传感器网络; 覆盖; 能量均衡; 权值

Optimized Coverage Algorithm in WSN Based on Energy Balance

YUAN Lian-yong, WU Jun, ZENG Xiao-ling, LUO Wei

(Center of Software Technology, Chongqing University of Posts and Telecommunications, Chongqing 400065)

【Abstract】 Classical Coverage-Preserving Nodes Scheduling Algorithm(CPNSS) of the Wireless Sensor Network(WSN) has the problems of low efficiency and energy non-balance. According to the problems, this paper proposes an improvement algorithm. It divides all the nodes into some dissimilar set, sets a priority-weight for each set by its average energy, and selects different sets to work according to their priority-weight, so as to achieve the balance of the node energy and prolong the life-time of the network. Experimental results prove its effectiveness.

【Key words】 Wireless Sensor Network(WSN); coverage; energy balance; weight value

1 概述

无线传感器网络(Wireless Sensor Network, WSN)是近几年发展起来的一种新兴技术, 在条件恶劣和无人坚守的环境监测及事件跟踪中显示了很大的应用价值。它是由大量具有无线通信与计算能力的微小传感器节点构成的自组织分布式网络系统, 与传统的网络相比, 具有节点分布密集、自组网络、资源受限、拓扑变化频繁、多跳通信方式等特点。

目前, 关于传感器网络节能均衡算法的研究较多^[1-7]。文献[3-4]分别提出了与位置无关的高效节能网络覆盖协议和节能拓扑控制算法, 文献[1,5-7]论述了采用轮换“活跃”和“休眠”节点的节能覆盖方案, 可以有效地提高网络生存时间, 但都侧重于局部节能控制; 文献[1]提出了关闭冗余节点的无线传感器网络拓扑控制算法, 但未能有效解决休眠节点的唤醒问题, 网络能量不均衡, 利用率不高。文献[2]提出了基于区域划分集合的思想, 将所有传感器按区域进行划分, 在一定程度上解决了网络能量均衡问题, 但区域划分计算过于复杂, 难以进行扩展。基于上述研究, 本文提出了一种基于集合论的覆盖控制算法。

2 覆盖保持的节点调度算法

覆盖保持的节点调度(Coverage-preserving Nodes Scheduling, CPNSS)算法的目的是找到最合适的节点数量处于工作状态, 确保通信区域的完全覆盖。它的实现基于网络中每个节点确定的自身状态(通过收集本地邻居信息和自身信息)。检查邻居是否能帮它覆盖所有区域。如果找到符合条件的邻居节点, 则该节点关闭。

定义1 节点间距

对于任意2个节点 u 和 v , $u(x_u, y_u)$ 到 $v(x_v, y_v)$ 的节点间距表示如下:

$$d(u, v) = \sqrt{(x_u - x_v)^2 + (y_u - y_v)^2} \quad (1)$$

定义2 邻居节点集

在有限区域 A 中, 假设传感器节点集合为 $\{S_1, S_2, \dots, S_N\}$, r 为半径, 则节点 S_i 的邻居节点集为

$$N(S_i) = \{n \in N \mid d(S_i, S_j) < r, S_i \neq S_j\}$$

如果节点 S_i 被其邻居节点 $N(S_i)$ 覆盖了整个探测区域 $[0, 2\pi]$, 则该节点为冗余节点, 具体如下:

如图1所示, B 对 A 的张开角为 $\angle P_1AP_2$, 记为 $\angle B \rightarrow A$ 。对邻居节点 A 而言, 覆盖 B 的面积为弧 $P_1A_1P_2$ 和弧 $P_1B_1P_2$ 相夹的区域, 为方便计算, 只考虑由 $\angle P_1AP_2$ 确定的扇形 P_1AP_2 。

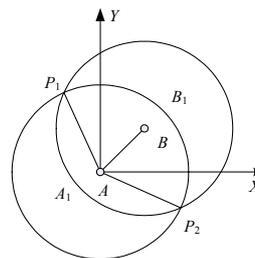


图1 张开角示意图

设 $\angle BAX = \alpha$, $\beta = \angle BAP_2$, 则张开角为 $[\alpha - \beta, \alpha + \beta]$, 因为 $\alpha - \beta < 0$, 张开角区间为 $[0, \alpha + \beta] \cup [2\pi + (\alpha - \beta), 2\pi]$ 。每个节点计算张开角前先计算与基准轴的夹角, 如果节点 v 的所有邻居节点对 v 张开角的合集覆盖了 $[0, 2\pi]$, 则 v 是一个冗余节点, 即

$$\bigcup_{u \in N(v)} \beta_{u \rightarrow v} = [0, 2\pi] \quad (2)$$

设 A, B 的坐标为 $A(X_A, Y_A), B(X_B, Y_B)$, 则

$$\alpha = \arctg((Y_B - Y_A)/(X_B - X_A)) \quad (3)$$

作者简介: 袁炼勇(1983 -), 男, 硕士研究生, 主研方向: 网络管理与计算; 武俊, 讲师、硕士; 曾晓玲、罗卫, 硕士研究生

收稿日期: 2008-03-28 **E-mail:** yuanli83@163.com

$$\beta = \arccos\left(\frac{d_{AB}}{2r}\right) = \arccos\sqrt{(X_B - X_A)^2 + (Y_B - Y_A)^2} / 2r \quad (4)$$

3 基于能量均衡的节点覆盖优化算法

在 CPNSS 算法中,当活动节点能量耗尽后,将进行新一轮的判定,造成了网络能量负载不均衡、网络频繁抖动而不稳定的问题。因此,本文提出了在高密度环境下能量均衡的覆盖控制算法。基本思想如下:通过引入集合论的思想,将所有传感器节点分为若干个不相交的节点集合,每个节点集合都能单独覆盖整个传感器网络区域。根据各个集合当前平均能量设置一个调度权值 β ,依据 β 的大小选定工作的集合 S_i ,保证任意时刻只有一个集合处于工作状态,其余节点集合全处于休眠状态,从而大大节省了节点能量,避免了不必要的冲突。算法的关键问题是:(1)如何划分集合;(2)如何控制各个集合有效地工作。

对于问题(1),首先利用 CPNSS 算法对网络进行判定,确定第 1 个工作节点集合。之后对网络中所有剩余的冗余节点再次运用 CPNSS 算法进行判定,得到第 2 个工作节点集合。依此类推,直到所有工作节点集合划分完毕,对各个互不重叠的集合进行标记。称集合所包含的节点个数为该集合的度。设集合 i 的度为 $|S_i|$,传感器总数为 $S = \{n_1, n_2, \dots, n_N\}$,则各集合的划分如下:

$$\begin{aligned} S_1 &= \{n_i | n_i \in S, 1 \leq i \leq N\} \\ S_2 &= \{n_j | n_j \in S, 1 \leq j \leq N\} \\ &\dots, i \neq j \neq k \neq \dots \\ S &= S_1 \cup S_2 \cup S_3 \cup \dots \cup S_n \end{aligned}$$

对于任意 2 个集合,有 $S_1 \cap S_2 \cap S_3 \cap \dots \cap S_n = \emptyset$ 。

对于问题(2),设置一个权值函数 β ,由 SINK 点统一进行控制,调度前比较各个集合的权值,选取其中权值最大的集合作为工作集合。权值的大小由集合当前的能量情况确定,从而达到负载均衡的目的。权值函数 β 为: $\beta = \frac{\sum_{i=0}^n E_i}{|S_i|}$,其中, β 为集合的权值; E_i 为每个节点的剩余能量; $|S_i|$ 为集合 i 的度。根据 β 的值即可判定网络中所有能覆盖整个传感器区域的节点能量集合的平均值,选取其中 β 最大的集合优先工作,关闭其他非工作节点集合,以避免能量的损耗,使网络节点能量达到均衡,从而延长整个传感器网络的工作时间。

4 仿真

4.1 仿真场景

本文选取 Matlab7.1 作为算法的仿真平台。仿真参数为:节点随机分布在 $100 \text{ m} \times 100 \text{ m}$ 的矩形区域中,共 300 个传感器,传感器节点感应半径为 10 m ,通信半径为 20 m ,每个传感器节点的初始能量为 0.5 J ,仿真时间为 1200 s ,每轮 30 s 。考虑到初始拓扑的随机性,共进行了 5 000 次模拟,选取任一网络拓扑图(图 2)。

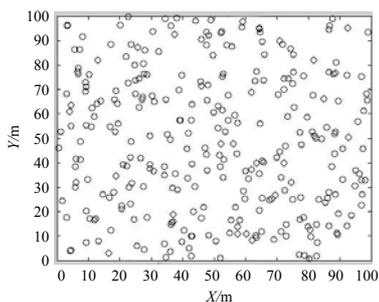


图 2 初始分布图

4.2 仿真结果分析

由图 3 可以看出,网络中活动节点个数最初一段时间内变化很小。一开始,新算法和 CPNSS 算法利用节点覆盖信息,关闭了部分冗余节点,且新算法活动节点少于 CPNSS 算法。这是由于新算法采用了集合论的思想,利用 CPNSS 算法多次划分集合的方法,最大限度地关闭了冗余的传感器节点。网络运行大约 80 轮后,CPNSS 算法使传感器节点能量基本损耗殆尽,网络已经分裂,然而新算法中活动节点能量仍然较高,可继续工作约 60 轮。新算法把整个传感器网络的生命期延长了近一倍。

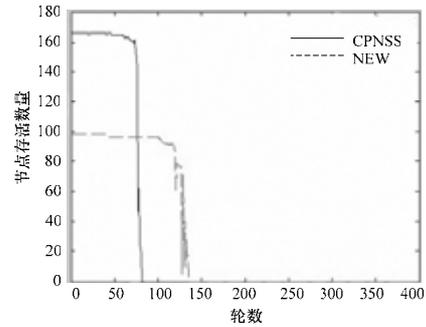


图 3 网络活动节点数比较

图 4 为初始 300 个节点剩余能量值。可以看出,网络终止后,新算法的节点剩余能量比较均衡,每个节点能量值低于 10^{-4} ,利用率比 CPNSS 算法高。

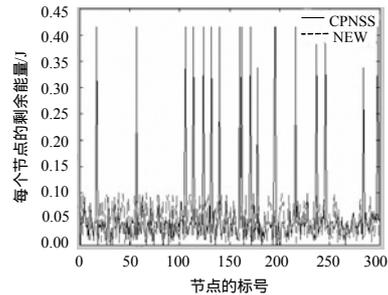


图 4 网络所有节点能量利用率比较

由图 5 可以看出,网络平均能量随着时间的推移逐渐减少,直至网络死亡。在网络生存期的任意时刻,新算法的网络平均能量值均大于 CPNSS 算法,几乎将网络生存时间延长了 1 倍,并且在网络初期,CPNSS 算法的网络能量急剧下降,网络在大约 80 轮内死亡,而新算法可以工作约 140 轮。其原因主要是新算法让不同的节点集合轮换工作,促使能量被充分利用,从而避免了大量的节点冲突及网络能量的无序过度浪费。

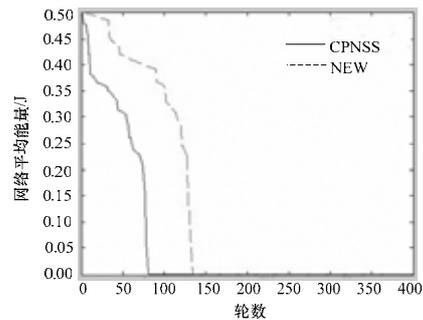


图 5 网络平均能量变化比较

(下转第 104 页)