

分布式无线传感器节点覆盖集近似算法研究

洪 刚^{1,2}, 汤宝平², 裴 勇²

(1 长江师范学院 数学与计算机学院, 重庆 408001;

2 重庆大学 机械工程学院, 重庆 408030)

摘 要: 针对实际网络中节点感应半径不一致, 且现有无线传感器网络中节点调度算法查找冗余节点效率低的问题, 提出了一种分布式节点覆盖集算法. 用感应区域像素点的点阵来近似节点感应区域, 进而判定节点是否冗余. 讨论了影响算法精度的因素, 将算法与现有的节点覆盖集算法作了对比实验. 仿真实验结果表明, 在对初始覆盖有较小影响的情况下, 算法能有效地判定在各种感应半径下的冗余节点, 扩展了算法的适应面.

关键词: 无线传感器网络; 冗余; 覆盖集; 分布式

中图分类号: TP393

文献标识码: A

文章编号: 1000-7180(2013)06-0097-04

Research on Distributed Approximation Algorithms for Node Cover Set of Wireless Sensor Network

HONG Gang^{1,2}, TANG Bao-ping², PEI Yong²

(1 College of Mathematics & Computer Science, Yangtze Normal University, Chongqing 408001, China;

2 College of Mechanical Engineering, Chongqing University, Chongqing 408030, China)

Abstract: Aiming at the problems of low efficiency to find redundant nodes in Wireless Sensor Network (WSN), this paper considers the situation of different node's sensing radius in actual network and proposes a distributed algorithm of cover set based on pixels of sensing region. The node sensing region is discredited into a series of pixels to find the redundant nodes. Factors that affect the algorithm's accuracy is discussed. Comparative experiments to existing algorithm show that this algorithm will affect the initial cover set slightly, and the redundant nodes can be selected out effectively.

Key words: wireless sensor networks; redundancy; cover set; distributed

1 引言

无线传感器网络的多数应用场合需要具有较长的网络生命周期, 通过节点调度, 在保证网络性能的前提下, 获得监控区域上的最小覆盖集, 可以降低网络中工作节点的密度、降低感知数据的冗余性以及减少无线通信冲突和干扰^[1-4]. 而且节点间轮流工作, 可以有效降低网络整体能量消耗, 延长网络生命周期.

目前, WSN 中基于冗余节点消除的代表算法

有基于角度覆盖判定的覆盖保持的节点调度算法 (Coverage-Preserving Nodes Scheduling Scheme, CPNSS), 基于外圆周覆盖判定的 Chi-fu Huang 算法. CPNSS 采用张开角方式判断覆盖, 只能判断其距离不大于探测半径的节点对本节点的覆盖, 计算出的冗余节点集合偏小^[5-6].

考虑实际传感器网络中节点电压等因素导致节点感应半径变化的情况, 本文提出一种分布式覆盖集近似算法. 算法用离散的感应区域的点阵对节点感应区域作近似, 判定感应区域内所有像素点与邻

收稿日期: 2012-09-03; **修回日期:** 2012-10-16

基金项目: 重庆市科委自然科学基金计划资助项目 (CQ CSTC2011jjjq0006); 重庆市科技攻关计划资助项目 (CQ CSTC2011AC3063)

居节点关系确定节点是否冗余,进而得到最小覆盖集.

2 问题描述

假设无线传感器节点的通信范围和感应范围都是圆盘形,并可以通过某种定位算法获得节点本身的位置信息.

定义 1 假定区域 R 被无线传感器节点集 $S = \{s_1, s_2, \dots, s_n\}$ 覆盖,在某个时隙寻找一个子集 $S' \subseteq S$,使 S' 完全覆盖区域 R ,并把 S' 设为活动节点集,其余节点处于休眠或死亡状态,则称 S' 是 S 一个极小覆盖集(minimal cover set).若 S' 含节点数最少,则称 S' 为最小覆盖集(minimum coverset).称其补集 C 为最大冗余节点集.

定义 2 若节点 s_i 感应区域内的所有点都被其他邻居节点覆盖,则称节点 s_i 为冗余节点.

定义 3 若节点 s_i 为冗余节点,且其邻居节点都不为冗余节点,则称节点 s_i 为独立冗余节点.关闭或休眠独立冗余节点不会对网络覆盖造成影响.

定义 4 若节点 s_i 为冗余节点,且其邻居节点中存在冗余节点 s_j ,则称节点 s_i 与节点 s_j 为关联冗余节点.关闭或休眠关联冗余节点有可能造成覆盖漏洞.

3 算法原理

设传感器 s_i 感应半径为 r_i ,现将其感应圆盘以等距离的 K 条行线和 K 条列线分割(一般 K 取奇数),并记录圆内行列线交点以及线与圆周的交点.此过程称为节点感应区域离散化.当 K 趋于无穷大时,节点的感应区域可以用这些点近似.而在实际运算中,只要 K 值能满足运算在工程中的一定精度即可.图 1 所示的是 13×13 的节点感应区域.

由定义 2 可知,当节点为冗余节点时,其感应区域内的任意点都被其邻居节点覆盖.反之,若节点的感应区域内的任一点都被邻居节点覆盖,此节点为冗余节点.

对于离散后的冗余节点感应区域,类似以上结论,有如下定理:

定理 1 设 s_i 的邻居节点集为 $N_i = \{s_m, s_n \dots s_x \dots s_t\}$,其感应区域点阵为集合 $s_i = \{p_1, p_2 \dots p_k \dots p_m\}$,当 K 值满足计算要求时,若 $\forall p_k, p_k \in s_i, \exists s_x, s_x \in N_i$,使 $d(p_k, s_x) \leq r$,其中 $d(p_k, s_x)$ 为点 p_k 与邻居节点 s_x 的欧氏距离,则节点 s_i 为冗余节点.

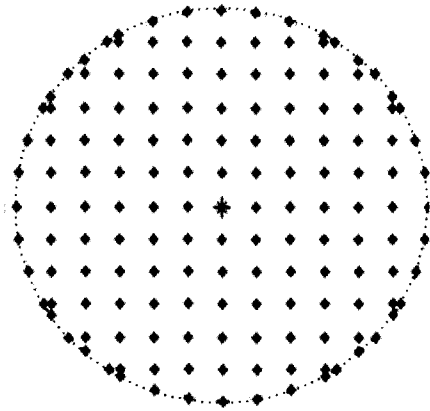


图 1 节点感应区域点阵

定理 1 提供了算法中的冗余节点计算方法.

图 2(a) 显示了节点 7×7 点阵的近似感应区域,所有点都被节点 s_2, s_3, s_4, s_5 覆盖,因此 s_1 为冗余节点.

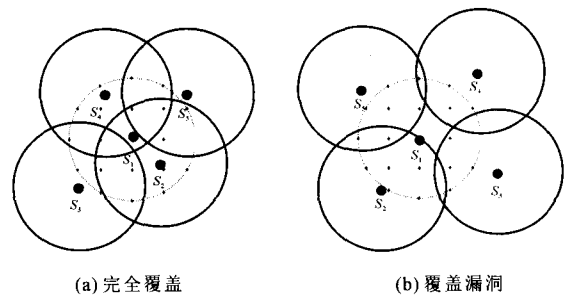


图 2 节点覆盖图

图 2(b) 显示的是一种特殊情况.节点 s_2, s_3, s_4, s_5 覆盖了节点 s_1 的所有离散后的像素点,但不能覆盖没有像素点的阴影部分.节点 s_1 按照定理 1 会被判定为冗余节点,导致覆盖漏洞产生.

需要说明的是,本算法对这类覆盖漏洞是不能避免的,也即是说对原始覆盖有一定影响.但是可以通过 K 值的设定来减小覆盖漏洞,在不对总体的覆盖率产生较大影响的情况下获得较好的判定效果. K 值越大,则产生的覆盖漏洞越小,同时产生覆盖漏洞的几率也越小;当 K 值趋于无穷大时,感应区域被完全覆盖.而在实际计算中,当 K 值达到一定数值后,算法所产生的覆盖漏洞满足网络覆盖要求后,此时的 K 值即为算法所需要的值.在后续实验中通过设定不同的 K 值来观察覆盖漏洞对网络的影响,进而确定所需 K 值.

4 算法实现

算法采用分布式算法,每个节点独立计算感应

区域的像素,判断各个像素点与邻居节点关系,进而判断本节点是否冗余.冗余节点自动休眠,最后保留的都是活动节点.算法通过下面三个步骤判断节点是否为冗余节点.

(1) 所有节点都被设为活动节点,处于侦听状态.每个节点将其感应区域离散化.

(2) 收集邻居节点信息,构造邻居节点集.

(3) 判断冗余节点,所有冗余节点休眠,剩余活动节点为最小覆盖集

步骤(1) 主要根据设定的 K 值和节点自身位置来计算并存储感应区域内的各个像素点坐标.当节点处于目标区域边界时,将界外的像素点设为能被任意节点覆盖,此界外像素点对冗余节点状态的判断不产生影响.

步骤(2) 用来获取传感器网络中节点 i 所有邻居节点的位置情况及传感系数 λ ,根据 $r_i = R\lambda_i$ 求取本节点和邻居节点的感应半径.

步骤(3) 冗余节点的判断是算法的关键,通过以下几步完成:

(a) 每个像素点判断与非冗余的邻居节点之间的位置关系.若像素点被任一邻居节点覆盖,即若 $d(p_k, s_x) \leq r_x$, $d(p_k, s_x)$ 为像素点 p_k 与邻居节点 s_x 间的欧氏距离, r_x 为 s_x 的感应半径,此时像素点被邻居节点覆盖.因此将此像素点的被覆盖标记 C_k 置 1,否则 C_k 置 0.

(b) 统计本节点所有像素点的 C_k 标记,若所有 C_k 均为 1,则等待一个随机时间 t_w 后,发送一个包括本节点 ID 的冗余节点信息并休眠.

(c) 若在 t_w 期间收到其他邻居节点的冗余节点信息,则将邻居节点集中的对应节点标记为冗余节点,重复(a).

在(b)中引入随机等待时间 t_w 的目的是采用竞争-退避机制来解决关联冗余节点问题.其中 $t_w = \text{rand} \times t_p$, rand 为 $0 \sim 1$ 之间的随机数, t_p 是节点接收消息和处理信息的时间.根据前面的分析,当网络中存在关联冗余节点时,同时关闭或休眠关联冗余节点会引起覆盖漏洞.而在传感器网络中,各节点性能基本一致,判断出自己为冗余节点的时间接近.若发送冗余节点信息后直接休眠,则可能出现两个或多个节点同时休眠,导致覆盖空洞.而引入 t_w 后, t_w 小的节点先发出冗余节点信息而竞争胜出,处于休眠状态; t_w 大的节点则收到其他节点的冗余节点信息后退避,重新判断自己是否冗余,避免多个冗余节点同时休眠引起覆盖漏洞.

5 仿真实验

为验证算法有效性,本文首先通过实验验证影响实验结果的一些因素,获得满足实验要求的 K 值;然后以所得 K 值验证算法在不同条件下与现有算法比较实验结果,验证算法有效性.

5.1 影响算法的因素研究

本文讨论 K 值和边界节点对算法的影响.实验设定目标区域为 100×100 单位的矩形区域,随机投放 100 个节点,讨论以上因素对结果的影响.

(1) K 值对算法影响

在算法中,采用有限个像素点来近似逼近节点的感应区域. K 值越大,则像素数越多,误差越小.但随着 K 值增加,系统运算量也相应加大,系统效率降低.但过少的像素数则会导致较大的误差,使算法不能正确地判断冗余节点.因此,需要设置合适 K 值,同时保证算法精度和合适的系统运算量.

实验中设定节点感应半径为 $r = 10$,取 100 次仿真实验的平均值来减少偶然性误差对实验结果的影响.图 3 中显示了在不同的 K 值时的活动节点数和运行时间.

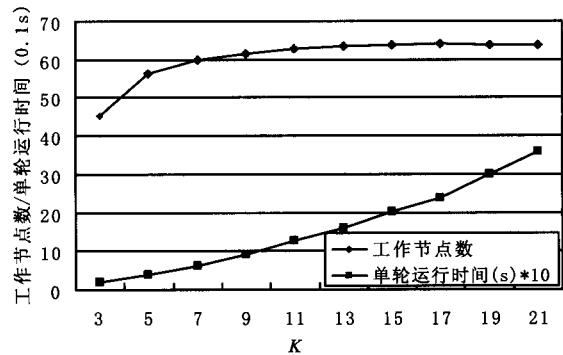


图3 K 值对算法影响

由图 3 中的冗余节点数折线可见, K 值较小时,较多的工作节点被算法误判为冗余节点,因此工作节点较少.而当 K 值增加到 11 以后,则工作节点基本稳定在 64 个.而由显示单轮运行时间的粉色折线可见,单轮算法的运行时间基本随 K 值增加呈抛物线增加.因此,综合 K 值与运行时间,以后的实验中设定 $K = 13$.

(2) 边界节点对算法影响

当节点感应区域在目标区域边界时,其部分感应区域落在目标区域外,此类节点称为边界节点.此时若仍以整个节点感应区域被完全覆盖作为冗余节点的条件,则边界节点不可能成为冗余节点而影响覆盖集大小.为解决此类节点判定问题,在算法中设

置处于目标区域外的节点像素点都为其他节点覆盖. 这样若边界节点在目标区域内的像素点若全被覆盖, 则节点冗余.

图 4 中显示了一次实验的判定结果图. 实验中设节点感应半径 $r = 10 * \lambda_i$, λ_i 为一个 0.5 到 1 之间的随机数.

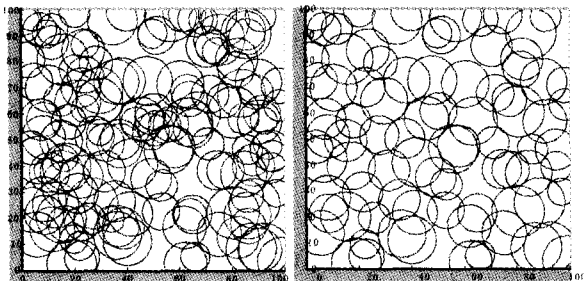


图 4 节点分布图

图 4(a) 显示了全部节点在目标区域内的分布情况, 图 4(b) 中显示了去掉冗余节点后所有活动节点对目标区域的覆盖状态. 由图可见, 算法能很好地识别出节点状态, 对边界节点也能够正确识别. 对比图 4(a) 和图 4(b) 可见, 去掉冗余节点后, 不影响节点对目标区域的覆盖.

5.2 对比实验

(1) 固定感应半径对比实验

仿真参数: 目标区域为 $100 \text{ m} \times 100 \text{ m}$, 节点总数 $N = \{20, 40, \dots, 200\}$, 随机布设, 节点感应半径 $r = 10 \text{ m}$. 将本算法和 CPNSS、GECPNSS 得到的活动节点数比较.

由图 5 可见, 当节点个数线性增多, 使节点密度相应增加. 尽管 GECPNSS 算法优于 CPNSS, 但都比本算法的活动节点数多. 这是由于这两种算法中, 节点只能判断在感应半径内的邻居节点, 而不能计算之外的节点对其感应区域的覆盖情况, 导致不能正确判定部分冗余节点, 因此工作节点较多. 而在这种实验条件下, 节点总数大于 140 后, 本算法的活动节点数目基本稳定在 64, 而其他两种算法的活动节点数目仍然有缓慢增加.

(2) 随机感应半径对比实验

在实际网络中, 由于传感器节点的电源电压变化, 导致节点的感应半径有所变化, 在实验中用随机感应半径来模拟此情况. 仿真参数条件不变, 只是节点感应半径 $r = 10 * \lambda_i$, λ_i 为一个 0.5 到 1 之间的随机数. 将本算法与 GECPNSS 和 Chi-fu Huang 算法得到的活动节点数比较.

由图 6 可见, 随机感应半径条件下 GECPNSS

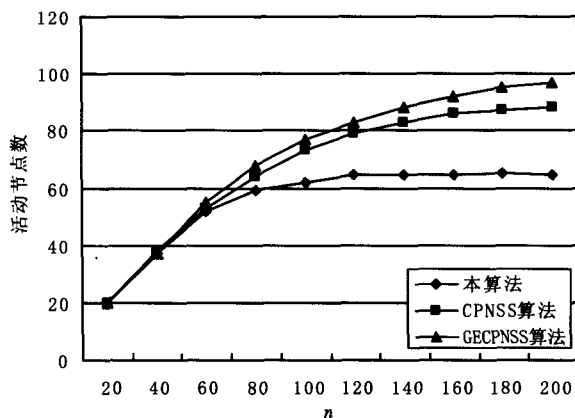


图 5 固定感应半径下的活动节点数

和 Chi-fu Huang 算法的活动节点数基本接近, 且随着节点数增加, 活动节点数也相应增加. 而本算法的活动节点数比上述两种算法少得多, 且趋于稳定.

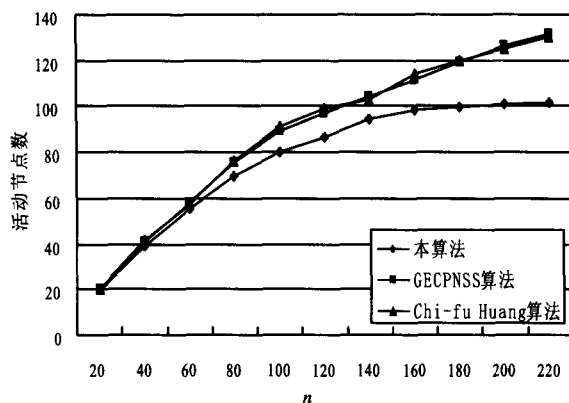


图 6 随机感应半径下的活动节点数

通过以上实验可知: 本算法在基本保持网络原有初始覆盖的情况下, 能有效减少冗余节点, 同时算法的复杂度更低、开销更小.

6 结束语

本文提出的分布式节点调度算法, 能有效地判定冗余节点, 效果优于现有算法, 且可以适应实际传感器网络.

参考文献:

- [1] 任彦, 张思东, 张宏科. 无线传感器网络中覆盖控制理论与算法[J]. 软件学报, 2006, 17(3): 422-433.
- [2] 汤宝平, 贺超, 陈仁祥, 等. 基于无线传感器网络的机械振动监测模式[J]. 中国机械工程, 2009, 22(20): 2737-2741.
- [3] Ye F, Zhong G, Lu S, et al. Peas: a robust energy conserving protocol for long-lived sensor networks[J]. IEEE Press, 2003: 28-37.

(下转第 104 页)

K-means 算法初始质心的新算法,该算法在不增加 K-means 算法时间复杂度的情况下减少了 K-means 算法的迭代次数,使 SSE 近似全局最优,并提高了聚类精度.

参考文献:

- [1] Baozhi QIU, Chang ZHANG, Junyi SHEN. Clustering based on overlapping grid[C]// The 10th China Conference on Machine Learning. Hai kou; IEEE, 2006.
- [2] Jiawei Han Micheline Kamber, Jian Pei. Data mining concepts and techniques[M]. Morgan kaufmann, 2001: 223-254.
- [3] Guha S, Rastogi R, Shim K. Cure: an efficient algorithm for clustering large databases[C]// Proceedings of ACM SIGMOD International Conference on Management of Data. NY, US; ACM, 1998: 73-84.

- [4] Martin Ester, Hans-Peter Kriegel, Jorg Sander, et al. A density-based algorithm for discovering clusters in large spatial databases with noise[C]// Proceedings of 2nd International Conference on Knowledge Discovery and Data Mining(KDD-96). OR, Protland; IEEE, 1996: 226-231.
- [5] Gilman M. White paper: nuggets and data mining. data mining technologies ins [C]// Improving inference through conceptual clustering proc AAAI Conf Seattle, WA; IEEE, 1987: 461-465.

作者简介:

张真女, (1982—), 硕士研究生, 讲师. 研究方向为数据挖掘.

任贺宇男, (1981—), 硕士研究生, 讲师. 研究方向为计算机网络、信息安全技术.

(上接第 100 页)

- [4] Vieira MAM, Vieira LFM, Ruiz LB, et al. Scheduling nodes in wireless sensor networks: a voronoi approach [J]. IEEE Computer Society, 2003: 423-429.
- [5] Tian Di, Georganas N D. A coverage-preserving node scheduling scheme for large wireless sensor networks [C]// Proc of ACM Workshop on Wireless Sensor Networks and Applications. New York, USA; ACM Press, 2002: 124-128.
- [6] Huang Chi-Fu, Tseng Yu-Chee. A survey of solutions to the coverage problems in wireless sensor network s

[J]. Journal of Internet Technology, Special Issue on Wireless Ad Hoc and Sensor Networks, 2004, 12(3): 2356-2359.

作者简介:

洪刚男, (1976—) 讲师, 硕士. 研究方向为计算机应用、传感器网络.

汤宝平男, (1971—), 硕士研究生. 研究方向为无线传感器网络方向的研究工作.