

文章编号:1001-9081(2010)06-1459-04

无线传感器网络中覆盖控制算法研究及改进

陶 洋,曾晓玲,罗 卫

(重庆邮电大学 软件技术中心,重庆 400065)

(zengxiaoling1984@163.com)

摘 要:通过分析经典的无线传感器网络节点调度算法——CPNSS算法,针对其利用率低、能量不均衡的问题,提出了一种高效节能的无线传感器网络覆盖优化算法(ECPNSS),该算法对中心角计算法进行了扩展改进,提高了冗余节点判定效率,同时考虑了网络的连通性,均衡了网络能量。通过对算法的仿真,验证了ECPNSS算法在保持网络初始覆盖的前提下,极大地提高了冗余节点判定效率,降低了网络冗余。

关键词:无线传感器网络;覆盖;冗余;能量

中图分类号: TP393 **文献标志码:** A

Study and improvement on coverage control algorithm in WSN

TAO Yang, ZENG Xiao-ling, LUO Wei

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

Abstract: The classical Coverage-Preserving Nodes Scheduling (CPNSS) algorithm for Wireless Sensor Network (WSN) has the problems of low efficiency and energy imbalance. This paper proposed an Efficient Coverage-Preserving Nodes Scheduling (ECPNSS) algorithm, which can improve the judging efficiency of redundant sensors, take account of the connectivity of network, and balance the network energy. The simulation results demonstrate that ECPNSS algorithm not only preserves the original coverage, but also improves the efficiency of judging the redundant nodes and reduces the redundancy of network.

Key words: Wireless Sensor Network (WSN); coverage; redundancy; energy

0 引言

无线传感器网络(Wireless Sensor Network, WSN)^[1]的覆盖控制问题,可以看作是在保证网络覆盖度和通信连通的前提下,仅将部分节点作为活跃节点,而其余节点都转入低功耗的睡眠状态。这样,网络中活跃节点数量可以降低,减少了通信干扰,从而降低了WSN的整体能耗^[2]。

由于WSN中传感器节点自身体积较小、电池能量资源有限,如何保证大规模网络环境下传感器节点能量的有效使用就成为需要关注的一项重要研究内容,它直接影响到整个网络生存时间能否充分延长^[3]。目前,国内外针对覆盖控制问题提出的算法有基于角度覆盖判定的CPNSS(Coverage-Preserving Nodes Scheduling)算法^[4]、基于交叉节点覆盖判定的CCP算法^[5]、CCP算法的改进算法ECCP算法^[6]、基于能量感知覆盖判定的EACCP算法^[7]和基于外圆周覆盖判定的Chi-fu Huang算法^[8]。CPNSS算法由于采用张开角方式判断覆盖,这使得每个节点在考虑是否被覆盖时,只考虑与其距离不大于探测半径的节点,这使得其计算出的冗余节点集合偏小。CCP算法和ECCP算法在高密度网络中计算复杂度太高,传感器节点CPU计算能力有限,使得这两种算法不适用于传感器网络。EACCP算法基于邻居节点的平均残余能量来选取工作节点,对所有节点能量荷载的平衡有很大要求,不适用于多节点传感器网络。Chi-fu Huang算法的问题是通信开销较高,每次节点判定是否被覆盖时,都要发送信令,如果该节点不能被覆盖,其周围邻居节点都发送NAK信令,造成了NAK风暴。基于上述研究基础,本文通过对CPNSS算法进行分析,提出了一种高效节能的ECPNSS算法。

1 覆盖保持的节点调度算法CPNSS

CPNSS算法基于找到最优的节点数,并且确保覆盖。它的实现基于网络中每个节点确定自身的状态(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到所有区域,如果符合条件的邻居节点找到,该节点关闭。基本思想如下。

1.1 中心圆弧计算法

CPNSS作了如下定义。

定义1 节点间距。任意两个节点 u 和 v ,节点 $u(x_u, y_u)$ 到节点 $v(x_v, y_v)$ 的节点间距用式(1)表示:

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

定义2 邻居节点集。在有限区域 A 中,考虑传感器节点集合 $\{S_1, S_2, \dots, S_N\}$, r 为半径,则任何两个节点 S_i 和 S_j 的距离 $d(S_i, S_j) < r$ 。

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

如图1所示: B 对 A 的张开角为 $\angle P_1AP_2$,记为 $\angle B \rightarrow A$ 。对图中的邻居节点 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,为方便计算只考虑扇形 P_1AP_2 ,该扇形由 $\angle P_1AP_2$ 确定。

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时要首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 $[0, 2\pi]$,则节点 v 是一个冗余节点。即:

收稿日期:2010-01-20。 基金项目:重庆市教委科技项目(KJ090516)。

作者简介:陶洋(1964-),男,重庆人,教授,博士,主要研究方向:网络管理;曾晓玲(1984-),女,重庆人,硕士研究生,主要研究方向:通信与信息系统;罗卫(1982-),男,重庆人,硕士研究生,主要研究方向:网络管理与通信。

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

计算如下:

设 A, B 点坐标为 $A(X_A, Y_A), B(X_B, Y_B)$:

$$\alpha = \arctan \frac{Y_B - Y_A}{X_B - X_A} \quad (3)$$

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

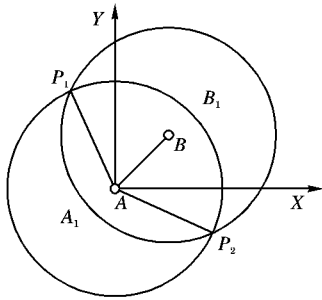


图1 张开角示意图

1.2 CPNSS 算法待解决问题

CPNSS 算法的缺点就是计算不准确,效率较低。

问题1 查找冗余节点效率不高,过多浪费成本。如图2所示为网络中普遍存在的一种情况。图中 A 被 B, C, D, E 完全覆盖,但是在 CPNSS 算法中,由于 C, D, E 不会被 A 当作邻居节点,因而 A 判断其不能被完全覆盖, A 将被当作活动节点而无法关闭,浪费网络能量并加大了开销。问题1是本文要解决的最重要问题。

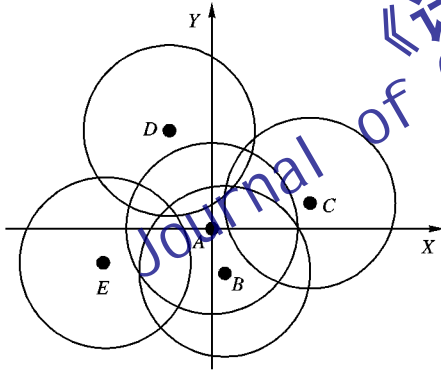


图2 冗余覆盖图

问题2 CPNSS 算法存在如下限制: 仅仅考虑感应范围 r 等于通信范围 R 的情况,不利于整个网络的连通性。应根据实际情况,并考虑网络连通性。

问题3 CPNSS 算法在冗余节点判定阶段,让各个节点在一个随机的时隙 T 后对其进行判定处理,从而避免节点冲突。当几个冗余节点互为邻居节点时,若将它们同时关闭休眠则会造成网络盲点的出现,即仅能关闭其中部分节点,因此,关闭策略将对于该系列节点的能量均衡十分重要。CPNSS 算法仅考虑了避免盲点和冲突,而忽视了该问题,它随机选择关闭部分冗余节点。该策略没考虑节点当前能量,虽能解决同步问题,但是能量利用不均衡,不利于保护低能量节点。

2 高效的覆盖优化算法——ECPNSS 算法

2.1 算法的基本思想

1) 扩展的中心角算法。

CPNSS 算法引入了中心角代替覆盖区域的计算方法,大大简化了计算,但也存在不少问题。针对问题1,新算法对中心角算法进行了扩展改进,且重新定义邻居节点集。

定义3 辅助覆盖。如果节点 k 和节点 i 完全覆盖节点 j 某区域,则对 j 来说, i 是 k 的辅助覆盖点,表示为: $k \xrightarrow{sp-i} j$ 。如图3。

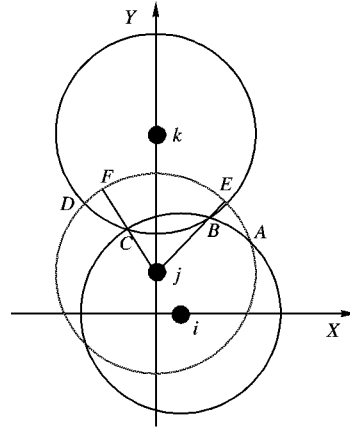


图3 辅助覆盖图

当 $r < d_{j \rightarrow k} < 2r, 0 < d_{j \rightarrow i} < r$ 时, k 与 j, i 分别相交于 A, B, C, D 点,产生一个覆盖区域 $R_{A \rightarrow B \rightarrow j \rightarrow C \rightarrow D}$ 。为减少误差及方便计算,延长 $j \rightarrow B, j \rightarrow C$ 分别与圆 j 交于点 E, F 。考虑区域 $R_{A \rightarrow B \rightarrow j \rightarrow C \rightarrow D}$ 近似替代区域 $R_{A \rightarrow B \rightarrow j \rightarrow C \rightarrow D}$ 。该区域用覆盖角 $\angle EjF$ 表示。根据上述分析,本文对 CPNSS 算法进行了如下扩展:

$$\begin{cases} \alpha_{j \rightarrow k} = \arctan\left(\frac{Y_k - Y_j}{X_k - X_j}\right) \\ \theta_{j \rightarrow k} = \arccos\left(\frac{d(k, j)}{2r}\right) \end{cases} \quad (5)$$

A 的坐标为:

$$\begin{cases} X_A = X_j + r \cos(\alpha_{j \rightarrow k} - \theta_{j \rightarrow k}) \\ Y_A = Y_j + r \sin(\alpha_{j \rightarrow k} - \theta_{j \rightarrow k}) \end{cases} \quad (6)$$

同理:

$$\begin{cases} \alpha_{i \rightarrow k} = \arctan\left(\frac{Y_k - Y_i}{X_k - X_i}\right) \\ \theta_{i \rightarrow k} = \arccos\left(\frac{d(k, i)}{2r}\right) \end{cases} \quad (7)$$

B 的坐标为:

$$\begin{cases} X_B = X_i + r \cos(\alpha_{i \rightarrow k} - \theta_{i \rightarrow k}) \\ Y_B = Y_i + r \sin(\alpha_{i \rightarrow k} - \theta_{i \rightarrow k}) \end{cases} \quad (8)$$

同理可得点 C, E, F 等的坐标。

所以,可得到:

$$\begin{aligned} \angle EjF = \angle BjC &= \arctan\left(\frac{Y_C - Y_j}{X_C - X_j}\right) - \arctan\left(\frac{Y_B - Y_j}{X_B - X_j}\right) = \\ &= \arctan\left(\frac{Y_i + r \cdot \sin\left(\arctan\left(\frac{Y_k - Y_j}{X_k - X_j}\right) + \arccos\left(\frac{d(k, j)}{2r}\right)\right) - Y_j}{Y_i + r \cdot \cos\left(\arctan\left(\frac{Y_k - Y_j}{X_k - X_j}\right) + \arccos\left(\frac{d(k, j)}{2r}\right)\right) - X_j}\right) - \\ &= \arctan\left(\frac{Y_i + r \cdot \sin\left(\arctan\left(\frac{Y_k - Y_j}{X_k - X_j}\right) - \arccos\left(\frac{d(k, j)}{2r}\right)\right) - Y_j}{Y_i + r \cdot \cos\left(\arctan\left(\frac{Y_k - Y_j}{X_k - X_j}\right) - \arccos\left(\frac{d(k, j)}{2r}\right)\right) - X_j}\right) \end{aligned} \quad (9)$$

其角度范围为:

$$\left[\arctan\left(\frac{Y_B - Y_i}{X_B - X_i}\right), \arctan\left(\frac{Y_C - Y_i}{X_C - X_i}\right) \right]$$

CPNSS 算法计算精确性高,不会产生盲点,但计算量偏大,冗余优化不彻底。本文再进行如下改进:

第1步 先求出所有未被 $N_1(S_i)$ 覆盖的弧段,包括其弧度范围、弧头和弧尾的地址。以一段弧为例,设弧头和弧尾为 A, B 点。为减少计算,此时考查 $N_2(S_i)$ 中与该弧段的弧头和弧尾的邻居节点的交集,表示如下:

$$N_3(S_j) = \{S_j / (0 < d(A, S_j) < 2r \cup 0 < d(B, S_j) < 2r), S_j \in N_2(S_i)\} \quad (10)$$

其中 $N_3(S_i) \in N_2(S_i)$ 。

第2步 计算该弧段是否能被 $N_3(S_i)$ 辅助覆盖。

第3步 进行判断,若所有未被覆盖弧段都能被辅助覆盖,则为冗余节点;反之,则为活动节点。

该方法可提高冗余判定效率,降低算法复杂性。

2) 网络连通扩展性。

根据实际情况,并考虑网络连通性,将问题2中节点的通信半径 R 扩大为感应半径 r 的2倍,文献[9]中给出了完整的证明:当传感器节点的通信半径大于等于2倍感应半径时,能保持连通且覆盖。

3) 能量均衡策略。

CPNSS 算法中各节点在冗余节点判定阶段,随机选择1个时隙 T 进行判定,从而避免关闭冲突。这种方式虽然可以解决关闭冲突问题,但是不利于节点的能量均衡,不能有效保护低能节点。如图4中所示,根据定义3,传感器节点 $\{S_1, S_2, S_3, S_4, S_5, S_6\}$ 互为邻居节点,其中,节点 S_5 和 S_6 被完全覆盖,被判定为冗余节点,但 S_5 和 S_6 不能同时关闭休眠,否则出现盲点,即其中只有一个节点能休眠,CPNSS 算法让该节点随机产生。本文改进策略为:在随机时隙 T 后,比较 S_5 和 S_6 的当前能量值,若 S_5 的能量低,则 S_5 休眠, S_6 开启工作;下一轮中再进行比较,若此时 S_6 能量低,则 S_6 休眠, S_5 开启工作。通过该策略,可实现节点 S_5 和 S_6 轮流工作,起到能量均衡的作用,并可延缓部分节点过早死亡。

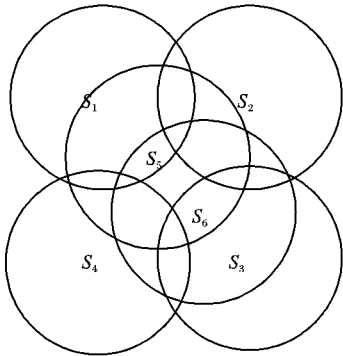


图4 冗余节点休眠冲突

由此,改进方法实现如下。

1) 在 SAM 包中加入节点当前能量值字段,通过广播 SAM 包,获取邻居节点当前状态和能量信息。

2) 各节点根据收到的 SAM 包中邻居节点能量值与自身进行比较,能量低的节点优先进行冗余关闭,同时满足如下两个条件的节点可关闭休眠:该节点被其邻居节点覆盖(冗余

节点),且该节点的能量值最低。依次循环,直至该集合中无冗余节点。

2.2 ECPNSS 算法能量消耗分析

由于传感器网络节点能量有限,设计低功耗硬件可以降低能耗,设计高能效的协议也可以降低能耗。研究表明,节点进入休眠状态时功耗最低,文献[10]指出传感器节点处于发送、接收、空闲和休眠状态时的功耗比例为 20:4:4:0.01,因此在不影响覆盖度和连通性的前提下,应尽可能多地使节点进入休眠状态以降低能耗,并且节点应轮换进入休眠状态以平均网内能耗。

在 CPNSS 算法和 ECPNSS 算法中,第1步是邻居节点发现阶段,在该阶段主要就是各节点广播自己的位置信息,以获取邻居节点位置信息;第2步是节点状态判定阶段,在该阶段主要是冗余节点的判定,即通过相应的冗余节点判定方法找出网络中的冗余节点;第3步是随机退让阶段,为了避免产生覆盖盲点,随机等待一段时间再判定自己是否冗余。在这3个阶段都要产生一定的能量消耗。

在第1阶段,CPNSS 算法和 ECPNSS 算法都要广播 PAM 包,假设广播包大小为 l_{PAM} 位,CPNSS 算法中每个节点发送和接收1个广播包的能量分别为:

$$\begin{cases} E_{Tx}(cpnss) = l_{PAM} \cdot E_{elec} + l_{PAM} \cdot \varepsilon_{fs} \cdot r^2 \\ E_{Rx}(cpnss) = l_{PAM} \cdot E_{elec} \end{cases} \quad (11)$$

ECPNSS 算法中每个节点发送和接收广播包的大小为:

$$\begin{cases} E_{Tx}(ecpnss) = l_{PAM} \cdot E_{elec} + 4l_{PAM} \cdot \varepsilon_{fs} \cdot r^2 \\ E_{Rx}(ecpnss) = l_{PAM} \cdot E_{elec} \end{cases} \quad (12)$$

假设 CPNSS 算法中,节点分布较均匀,邻居节点平均个数为 m ,则 ECPNSS 算法邻居节点平均个数为 $4m$ 。ECPNSS 算法中每个节点接收到的广播包是 CPNSS 算法的4倍。CPNSS 算法每个节点平均能量消耗为:

$$E(cpnss) = l_{PAM} \cdot E_{elec} + l_{PAM} \cdot \varepsilon_{fs} \cdot r^2 + m \cdot l_{PAM} \cdot E_{elec} \quad (13)$$

则 ECPNSS 算法每个节点平均能量消耗为:

$$\begin{aligned} E(ecpnss) &= l_{PAM} \cdot E_{elec} + 4l_{PAM} \cdot \varepsilon_{fs} \cdot r^2 + \\ &4m \cdot l_{PAM} \cdot E_{elec} = (4m + 1) \cdot l_{PAM} \cdot E_{elec} + \\ &4l_{PAM} \cdot \varepsilon_{fs} \cdot r^2 \end{aligned} \quad (14)$$

每个节点平均能量差为:

$$E_{PAM} = 3ml_{PAM} \cdot E_{elec} + 3l_{PAM} \cdot \varepsilon_{fs} \cdot r^2 \quad (15)$$

假设网络节点总数为 N ,区域大小为 $L \times L$ 则 $m = \frac{N \cdot \pi r^2}{L^2}$,代入式(15)后得:

$$E_{PAM} = \frac{3\pi r^2 N}{L^2} \cdot l_{PAM} \cdot E_{elec} + 3l_{PAM} \cdot \varepsilon_{fs} \cdot r^2 \quad (16)$$

同理,假设 SAM 包大小为 l_{SAM} ,得到:

$$E_{SAM} = 3 \cdot \frac{\pi r^2 N}{L^2} \cdot l_{SAM} \cdot E_{elec} + 3 \cdot l_{SAM} \cdot \varepsilon_{fs} \cdot r^2 \quad (17)$$

故,ECPNSS 算法每个节点多消耗的控制消息的能量为:

$$E_{sig} = 3(l_{PAM} + l_{SAM}) \cdot \left(\frac{\pi r^2 N}{L^2} \cdot E_{elec} + \varepsilon_{fs} \cdot r^2 \right) \quad (18)$$

网络总共多消耗:

$$E_{first} = 3N \cdot (l_{PAM} + l_{SAM}) \cdot \left(\frac{\pi r^2 N}{L^2} \cdot E_{elec} + \varepsilon_{fs} \cdot r^2 \right) \quad (19)$$

以上简单分析了 ECPNSS 算法多消耗的能量值。假设 CPNSS 算法的活动节点数为 N_1 , ECPNSS 算法活动节点数为 N_2 , 每个活动节点在一轮中基于分簇和收集传输 DTM 数据产生的数据包个数为 n , DTM 包大小为 K , 粗略计算 ECPNSS 算法较 CPNSS 算法节省网络能量为:

$$E_{\text{second}} = n \cdot K \cdot (N_2 - N_1) \cdot (E_{\text{elec}} + \varepsilon_{\text{fs}} \cdot d_{\text{toCH}}^2) \quad (20)$$

其中: $n > m, K \gg l_{\text{PAM}} + l_{\text{SAM}}$ 网络能量消耗差总值:

$$E_{\text{all}} = E_{\text{second}} - E_{\text{first}} \quad (21)$$

综上所述, ECPNSS 算法较 CPNSS 是否节能的影响参数关键在于网络冗余度的大小。

3 仿真分析

为了验证 ECPNSS 算法的性能, 设计如下仿真实验, 将 ECPNSS 和 CPNSS 算法在覆盖度和盲点数上进行了比较。传感器网络初始部署方式为模拟飞机随机抛洒, 节点位置随机产生。

仿真参数: 区域大小 L 为 $50 \text{ m} \times 50 \text{ m}$; 传感器个数 N 为 $\{10, 20, \dots, 160\}$; 感应半径为 10 m ; 通信半径为 20 m 。为了比较算法覆盖能力的优劣, 设计如下仿真场景: 将 $50 \text{ m} \times 50 \text{ m}$ 网络区域按面积进行划分, 共分为 2500 个 $1 \text{ m} \times 1 \text{ m}$ 单元区域。假定每个小区域中有 1 个事件发生, 且事件源在区域中心位置。共有 2500 个事件源。

定义4 覆盖度。假设传感器节点都能探测到其感应半径范围内发生的所有事件。对于任一事件源, 如果其能被 N 个传感器节点探测, 则该事件的覆盖度为 N 。

定义5 网络平均覆盖度。区域所有事件的覆盖度总和与事件源总数的比值, 称为网络平均覆盖度。

定义6 盲点。如果某个事件不能被所有传感器覆盖, 则不能被探测到, 称该事件点为盲点。

仿真中统计了所有事件源在初始的覆盖度, 经 CPNSS 算法和 ECPNSS 算法优化后的覆盖度、网络平均覆盖度、盲点数, 并对以上指标进行比较。

图5为网络中几种不同事件源覆盖度, 从图(a)可以看出, 初始情况下, 整个网络为全覆盖, 网络属于高度冗余覆盖; 图(b)中, 经 CPNSS 算法优化后, 网络事件源覆盖度大大降低, 也验证了 CPNSS 算法具有保持网络初试覆盖能力的结论, 相对初始情况来说, 大大优化了网络冗余, 但仍可进一步优化; 比较经 ECPNSS 算法优化后的网络事件覆盖度, 从图(c)中可以看出, 网络覆盖度较 CPNSS 算法进一步降低了, 降低网络冗余效果最好。

图6和图7显示了两个算法的网络平均覆盖度和网络盲点数, 随节点总数增加而变化的比较。从图6中可以看出, 在未进行优化的情况下, 网络平均覆盖度随传感器节点总数的增加呈线性增加的趋势, CPNSS 算法优化后的网络平均覆盖度大大降低, 变化趋势较平稳, 经 ECPNSS 算法优化后, 网络覆盖度进一步降低。图7反映了网络覆盖盲点随节点总数增加而变化的情况。从中可以看出, CPNSS 算法和 ECPNSS 算法的网络盲点数始终与初始保持一致, 表明了 CPNSS 算法和 ECPNSS 算法没产生新的盲点。

可以看出: ECPNSS 算法和 CPNSS 算法不仅能保持网络

初始覆盖, 并且能显著降低网络覆盖度, 减少不必要冗余。其中, ECPNSS 算法效果较 CPNSS 算法更明显, 结果更优。

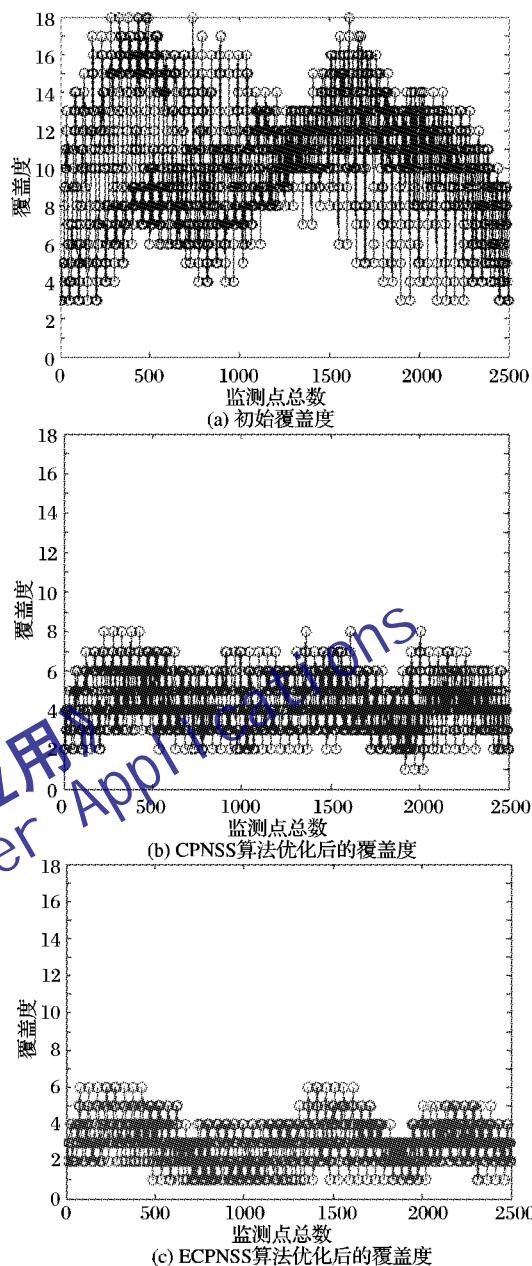


图5 几种不同情况下的事件源覆盖度

4 结语

在传感器网络中, 节点电池能量有限且不易补充, 降低节点能耗有助于延长网络使用寿命, 而降低通信模块能耗则是降低节点能耗的关键。通信模块中发送功耗最高、休眠功耗最低, 减少发送通信量和使节点多进入休眠状态有助于降低通信模块功耗。因此在传感器网络覆盖优化算法中要尽可能的降低活动节点数目和网络能量消耗, 提高覆盖优化算法的性能, 以此来延长网络生存时间。

本文提出的 ECPNSS 算法在保持网络初始覆盖的前提下, 能高效判定网络冗余节点并节省网络能耗。ECPNSS 算法更注重保护低能量节点, 有效均衡了网络能量, 降低了网络能量消耗。在下一步的研究中, 将考虑将 ECPNSS 算法应用于 LEACH 协议问题以及将整个网络模型扩展到三维空间的情况。

(下转第 1572 页)

4 结语

本文提出了一种结合 Gabor 变换和旋转不变一致 LBP 来建立灰度目标的多级纹理模式联合直方图,并采用 Mean-Shift 算法来实现目标跟踪的方法。Gabor 小波和旋转不变一致 LBP 是互补的,因为旋转不变一致 LBP 编码了目标的局部纹理特征,而 Gabor 小波捕获了更大尺度范围内的目标外形特征,二者的结合能给出比使用其中任何一个更好的描述性能。Gabor 变换、旋转不变一致 LBP 算子、纹理模式联合直方图的采用使得该方法对光照变化、混乱和目标旋转等具有良好的鲁棒性。实验结果验证了该方法的对灰度目标跟踪的有效性。

参考文献:

- [1] COMANICIU D, RAMESH V, MEER P. Kernel-based object tracking[J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 2003, 25(5): 564-577.
- [2] SHEN CHUNHUA, BROOKS M J. Fast global kernel density mode seeking: Applications to localization and tracking[J]. IEEE Transactions on Image Processing, 2007, 16(5): 1457-1469.
- [3] 管志强,陈钱,钱惟贤,等. 一种基于算法融合的红外目标跟踪方法[J]. 光学学报, 2008, 28(5): 860-865.
- [4] AVIDAN S. Ensemble tracking[J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 2007, 29(2): 261-271.
- [5] 张旭光,张叶,王延杰. 基于 Mean-Shift 算法的灰度人脸跟踪[J]. 光电工程, 2008, 35(1): 45-54.
- [6] 张旭光,赵恩良,王延杰. 基于 Mean-Shift 的灰度目标跟踪新算

法[J]. 光学技术, 2007, 33(2): 226-229.

- [7] PORAT M, ZEEVI Y. The generalized Gabor scheme of image representation in biological and machine vision[J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 1988, 10(4): 452-468.
- [8] LEE T S. Image representation using 2D gabor wavelets[J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 1996, 18(10): 959-971.
- [9] LIU CHENGJUN. Gabor-based kernel PCA with fractional power polynomial models for face recognition[J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 2004, 26(5): 572-581.
- [10] 张文超,山世光,张洪明,等. 基于局部 Gabor 变化直方图序列的人脸描述与识别[J]. 软件学报, 2006, 17(12): 2508-2517.
- [11] OJALA T, PIETIKÄINEN M, MÄENPÄÄ T. Multiresolution gray-scale and rotation invariant texture classification with local binary patterns[J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 2002, 24(7): 971-987.
- [12] TIMO A, ABDENOUR H, MATTI P. Face recognition with local binary patterns[C]// Proceedings of the European Conference on Computer Vision. Prague: Springer-Verlag, 2004, 469-481.
- [13] 施智平,胡宏,李清勇,等. 基于纹理描述子的图像检索[J]. 软件学报, 2005, 16(6): 1039-1045.
- [14] 于玮,黄非非,李见为,等. 使用多尺度 LBP 特征描述与识别人脸[J]. 光学·精密工程, 2008, 16(4): 696-705.

(上接第 1462 页)

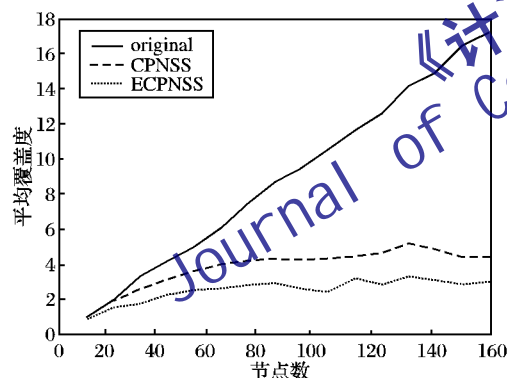


图6 节点数和网络平均覆盖度的关系

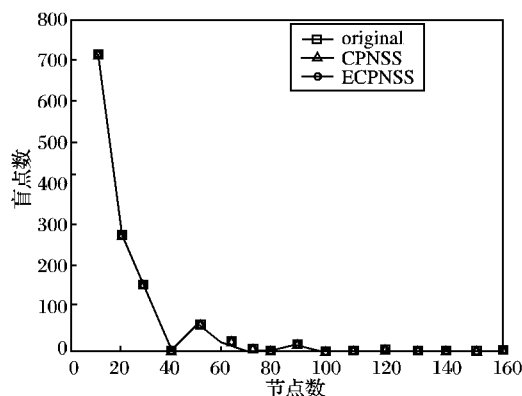


图7 节点数和盲点数的关系

参考文献:

- [1] TILAK S, ABU-GHAZALEH N B, HEINZELMAN W. A taxonomy of wireless sensor network models[J]. Mobile Computing and Communications Review, 2002, 1(2): 1-8.
- [2] WU YONGAN, LI MIN, CAI ZHIPING, et al. A distributed algo-

rithm to approximate node-weighted minimum α -Connected (θ, k) coverage in dense sensor networks[C]// Proceedings of the International Frontiers of Algorithmics Workshop. Berlin: Springer, 2008: 221-232.

- [3] 王鲁鹏. 无线传感器网络覆盖与连通问题研究[D]. 长沙: 中南大学, 2005.
- [4] TIAN DI, GEORGANAS N D. A coverage-preserving node scheduling scheme for large wireless sensor networks[C]// Proceedings of ACM Workshop on Wireless Sensor Networks and Applications. New York: ACM, 2002: 124-128.
- [5] WANG XIAORUI, XING GUOLIANG, ZHANG YUANFANG. Integrated coverage and connectivity configuration in wireless sensor networks[C]// Proceedings of the 1st ACM Conference on Embedded Networked Sensor Systems. New York: ACM, 2003: 234-236.
- [6] ZHANG SHUO, LIU YUHENG, PU JUHUA. An enhanced coverage control protocol for wireless sensor networks[C]// 42nd Hawaii International Conference on System Sciences. Washington, DC: IEEE Computer Society, 2009: 1-7.
- [7] MAO YINGCHI, ZHOU XIAOFENG, ZHU YUQI. An energy-aware coverage control protocol for wireless sensor networks[C]// 2008 International Conference on Information and Automation. New York: IEEE, 2008: 200-205.
- [8] HUANG C F, TSENG Y C. A survey of solutions to the coverage problems in wireless sensor networks[J]. Journal of Internet Technology, Special Issue on Wireless Ad Hoc and Sensor Networks, 2004, 12(3): 2356-2359.
- [9] ZHANG H, HOU C J. Maintaining sensing coverage and connectivity in large sensor networks[EB/OL]. [2009-10-23]. <http://www.gta.ufrj.br/wsns/Topology/Maintaining.pdf>.
- [10] SLIJEPEVIC S, POTKONJAK M. Power efficient organization of wireless sensor networks[EB/OL]. [2009-10-23]. <http://www.cs.ucla.edu/~miodrag/papers/ICC2001.pdf>.