

混合传感器网络中基于向量代数的覆盖补偿算法

秦宁宁^{1,2}, 郭立侠¹, 徐保国²

(1. 江南大学 物联网工程学院, 江苏 无锡 214122; 2. 江南大学 轻工过程先进控制教育部重点实验室, 江苏 无锡 214122)

摘要: 针对混合传感器网络中, 能量耗尽造成的覆盖空洞与休眠冗余节点能量剩余可能并存的矛盾现象, 提出一种基于向量代数的移动节点覆盖补偿方法。算法包含所有可能参与补偿的冗余节点对各自位移量的计算方法, 空洞边缘节点在平衡节点剩余能量的基础上, 对最佳冗余节点的选择启用策略, 保证网络能充分利用遗留能量资源的同时实现完全覆盖补偿。实验分析表明, 本算法在平均移动距离、能量开销等方面均优于 COA 算法。

关键词: 混合传感器网络; 覆盖空洞; 向量代数; 冗余节点; 补偿

中图分类号: TP391

文献标识码: A

文章编号: 1000-436X(2014)09-0133-07

Coverage compensation algorithm based on vector algebra in hybrid wireless sensor networks

QIN Ning-ning^{1,2}, GUO Li-xia¹, XU Bao-guo²

(1. IOT Engineering School, Jiangnan University, Wuxi 214122, China;

2. Key Laboratory of Advanced Process Control for Light Industry of Ministry of Education, Jiangnan University, Wuxi 214122, China)

Abstract: Aiming at the phenomenon that coverage holes caused by energy depletion coexisted with remaining energy of dormant redundant nodes in hybrid wireless sensor networks(WSN), a coverage compensation algorithm based on vector algebra to repair coverage hole with redundant nodes was presented. This algorithm included both the respective displacement amount calculation method of all the redundant nodes which may be involved in compensation and policies of the choice of the best redundant nodes that were selected by hole boundary node on the basis of balancing the remaining energy of nodes. The result shows that this algorithm makes full of energy resources in the premise of complete coverage to repair coverage hole, and has a better performance in both movement distance and movement cost compared with existing COA algorithm.

Key words: hybrid WSN; coverage hole; vector algebra; redundant node; compensate

1 引言

覆盖质量是无线传感器网络的基础性问题之一, 是无线传感器网络服务质量的重要度量指标^[1,2]。但监测区域内传感器节点随机部署、能量耗尽或被恶劣监测环境破坏等情况都极易使网络形成覆盖盲区^[3,4], 产生空洞。覆盖空洞的出现会使网络质量急剧下降, 生存周期骤减, 但同时网络中还会遗留一

些未被利用的冗余节点, 造成了能量充分而生存期短暂的矛盾。而混合传感器网络则是解决这一问题的有效手段, 在已有的静止传感器网络中, 引入具有移动能力的冗余节点, 构成混合网络, 通过移动冗余节点, 可以实现对覆盖缺陷的弥补。

目前, 采用节点移动性能解决覆盖空洞问题的研究成果, 大多集中在基于对几何学知识的借鉴与应用。文献[5]提出了一种覆盖空洞修补算法

收稿日期: 2013-05-24; 修回日期: 2013-11-20

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(61304264); 江苏高校优势学科建设工程基金资助项目; 江苏省仪器平台分析测试新技术新方法研究基金资助项目

Foundation Items: The National Natural Science Foundation of China (61304264); Project Funded by the Priority Academic Program Development of Jiangsu Higher Education Institutions; Jiangsu Province Instrument Platform to Test New Techniques and Methods Analysis Research Project

点, 借助其移动性能, 迁移至空洞区域进行修补, 不断减少网络中空洞的面积, 而同时扩大网络中净覆盖面积, 最终消除覆盖空洞。针对存在的覆盖空洞, 利用网络中原有的冗余节点资源, 通过向量代数知识确定冗余节点的位移量, 由于在无约束情况下, 所有冗余节点均可参与移动补偿工作, 因此, 空洞边缘节点需要选择最佳的冗余节点 R_{best} , 根据已计算的位移量完成补偿。鉴于节点位置的随机性及其节点间相交的不规则性, 在算法设计中应确保^[11,12]: 移动节点的引入在缩小覆盖空洞面积的同时不造成覆盖空洞的分裂。

基于上述分析, 算法可包括 2 部分: 1) 每个冗余节点对自身移动方位, 即位移量的确定; 2) 空洞边缘节点对最佳冗余节点的选择调度。

3.1 冗余节点位移量的确定

位移量应包含移动的方向和移动的距离, 分别做如下分析。

1) 移动方向

本文采用矢量代数作为数学工具确定移动方向, 且用方位角 $\theta(\cdot)$ 表示, 其中 $\theta(\vec{i}, \vec{j})$ 表示向量 \vec{i} 沿逆时针方向旋转至向量 \vec{j} 所形成的方位角, $\theta(R)$ 表示节点 R 的移动方位角。其计算方法如下

For $R(x_R, y_R)$

R 与覆盖空洞的交点 $a(x_a, y_a)$ 、 $b(x_b, y_b)$

$$\vec{V}_1 = (x_a - x_R)\vec{i} + (y_a - y_R)\vec{j}$$

$$\vec{V}_2 = (x_b - x_R)\vec{i} + (y_b - y_R)\vec{j}$$

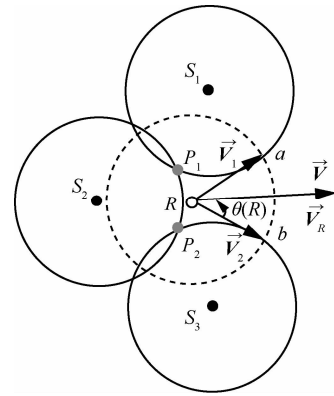
$$\vec{V}_R = \vec{V}_1 + \vec{V}_2$$

End For

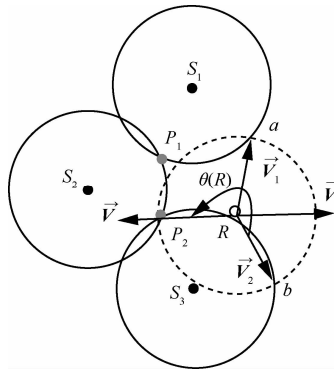
以上计算方法可以确定所选择冗余节点 R 的移动方向, 如图 2(a)所示, \vec{V}_R 指向覆盖空洞区域的方向, 沿着此方向移动节点 R 必然会减少覆盖空洞的面积。但在构造向量 \vec{V}_R 的过程中, 可能会出现特殊情况, 如图 2(b)和图 2(c)所示, 此时沿 \vec{V}_R 的方向移动不能有效达到无缝覆盖空洞的目的。

定义一个与冗余节点具有相同方向的向量 \vec{V} , 且 $\|\vec{V}\| = \|\vec{V}_R\|$, 对冗余节点 R 的移动方位角 $\theta(R)$ 分 4 种情况讨论。

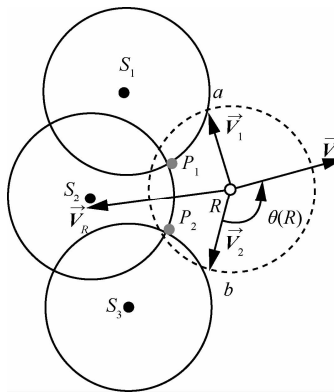
①当 $\theta(\vec{V}_1, \vec{V}_2) < \pi$ 时, $\forall P_k (k \in [1, 2])$, 若满足 $d(R, P_k) \leq R_s$, 则 $\theta(R) = \theta(\vec{V}_2, \vec{V}_R)$, $\vec{V} = \vec{V}_R$, 如图 2(a)所示。



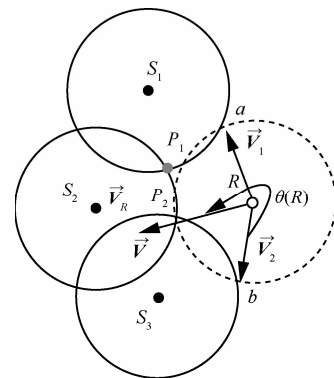
(a) 情况①: $\theta(\vec{V}_1, \vec{V}_2) < \pi$



(b) 情况②: $\theta(\vec{V}_1, \vec{V}_2) < \pi$



(c) 情况③: $\theta(\vec{V}_1, \vec{V}_2) > \pi$



(d) 情况④: $\theta(\vec{V}_1, \vec{V}_2) > \pi$

图 2 节点 R 移动方位角 $\theta(R)$ 判定

②当 $\theta(\vec{V}_1, \vec{V}_2) < \pi$ 时, $\exists P_k (k \in [1, 2])$, 若满足 $d(R, P_k) > R_s$, 则 $\theta(R) = \theta(\vec{V}_2, \vec{V}_R) + \pi \pm 2k\pi (k \in N)$, $\vec{V} = -\vec{V}_R$, 如图 2(b)所示。

③当 $\theta(\vec{V}_1, \vec{V}_2) > \pi$ 时, $\forall P_k (k \in [1, 2])$, 若满足 $d(R, P_k) \leq R_s$, 则 $\theta(R) = \theta(\vec{V}_2, \vec{V}_R) + \pi \pm 2k\pi (k \in N)$, $\vec{V} = -\vec{V}_R$, 如图 2(c)所示。

④当 $\theta(\vec{V}_1, \vec{V}_2) > \pi$ 时, $\exists P_k (k \in [1, 2])$, 若满足 $d(R, P_k) > R_s$, 则 $\theta(R) = \theta(\vec{V}_2, \vec{V}_R)$, $\vec{V} = \vec{V}_R$, 如图 2(d)所示。

2) 移动距离

移动距离由冗余节点与空洞边缘交叉点共同确定, 如图 3 所示, 点 $P_1(x_{P_1}, y_{P_1})$ 、 $P_2(x_{P_2}, y_{P_2})$ 分别为空洞边缘节点 S_2 与其边缘邻居节点 S_1 、 S_3 的空洞边缘交叉点。移动距离 L_0 的计算方法如下

For $P_k (k \in [1, 2])$

$$\vec{V}_{RP_k} = (x_{P_k} - x_R)\vec{i} + (y_{P_k} - y_R)\vec{j}$$

$$\cos\theta(\vec{V}_{RP_k}, \vec{V}) = \frac{\vec{V}_{RP_k} \cdot \vec{V}}{|\vec{V}_{RP_k}| \times |\vec{V}|}$$

$$L_{RP_k} = \sqrt{(x_R - x_{P_k})^2 + (y_R - y_{P_k})^2}$$

$$L' = \sqrt{R_s^2 - L_{RP_k}^2 + L_{RP_k}^2 \cos^2\theta(\vec{V}_{RP_k}, \vec{V})}$$

$$L_0 = L' + L_{RP_k} \times \cos\theta(\vec{V}_{RP_k}, \vec{V})$$

End For

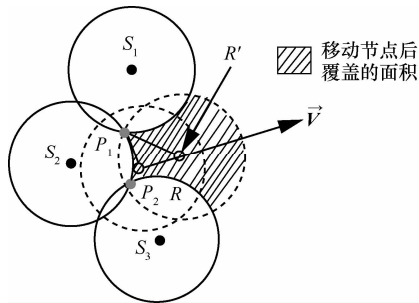


图 3 移动终点 R' 位置确定

通过上述分析, S_2 不同的空洞交叉点 $P_k (k \in [1, 2])$ 与所对应的在节点移动方向上的移动终点 R' 不同。在此选择满足 $d(R', P_k) \leq R_s (k \in [1, 2])$ 的点 R' 作为最终移动终点, 则 $d(R', R)$ 即为移动的距离 L_0 。

冗余节点根据移动方位角 $\theta(R)$ 和移动的距离 L_0 进行相应移动, 从而不断缩小覆盖空洞的面积, 最终完成对覆盖空洞的修补。

3.2 最佳冗余节点的调度

在网络覆盖空洞修补过程中, 当冗余节点探测到覆盖空洞消息后, 每个冗余节点都处于激烈的“竞争修补”状态, 即每个节点都希望自己成为最佳冗余节点, 通过移动到相应位置来修补覆盖空洞。但由于冗余节点位置的随机性, 且移动将会消耗较多的能量, 每个冗余节点移动到修补位置的距离不同, 消耗能量不同。同时考虑到每个冗余节点初始能量不同, 因此要对移动到修补位置的距离 L_0 和节点初始能量 E_0 等因素进行折中考虑。对每个冗余节点 i 计算其剩余能量期望值 $E_r(i)$ 。

$$E_r(i) = \alpha E_0(i) - \beta L_0(i) \quad (1)$$

其中, $\alpha (\alpha \geq 1)$ 为能量续航参数, β 为移动单位距离消耗的能量, 即能耗参数, 由具体工作环境和节点物理性质共同决定, $E_0(i)$ 为冗余节点 i 的初始能量, $L_0(i)$ 为冗余节点 i 到待修补位置的移动距离。若节点正常工作所需最小能量为 E_{th} , 选择最大 $E_r(i)$ (记为 E_{best}) 且满足 $E_r(i) \geq E_{th}$ 的冗余节点作为最佳移动节点 R_{best} 。

4 DAVM 算法

DAVM 算法的工作过程可描述为: 空洞边缘节点 S_j 向所有邻居节点广播空洞边缘消息, 收到消息的冗余节点 i 运行位移算法, 并把包含位移量 $(\theta(i), L_0(i))$ 和初始能量 $E_0(i)$ 的消息反馈给节点 S_j , 边缘节点 S_j 根据各个冗余节点的反馈消息筛选出最佳冗余节点 R_{best} 激活, 最后, 最佳冗余节点 R_{best} 根据计算过的位移量 $(\theta_{best}, L_{best})$ 移动到新位置, 实现无线传感器网络无缝覆盖。算法由冗余节点与空洞边缘节点协同完成, 设定 Q_{all} 为收到节点 S_j 广播覆盖空洞消息的冗余节点队列, 上述所涉及的位移算法和节点调度算法可描述如下。

4.1 位移算法

当某一冗余节点 i 收到覆盖空洞消息时, 运行如下算法。

step1 冗余节点 i 确定移动距离 $L_0(i)$ 和方位角 $\theta(i)$ 。

step2 冗余节点 i 根据初始能量 $E_0(i)$ 和移动

距离 $L_0(i)$ 计算剩余能量期望值 $E_r(i) = \alpha E_0(i) - \beta L_0(i)$ ，并把其反馈给空洞边缘节点 S_j 。

step3 等待空洞边缘节点 S_j 的反馈消息。若 在时间 T 内收到节点 S_j 的激活指令，则进入工作状态。根据 $L_0(i)$ 和 $\theta(i)$ 移动至指定位置，否则进入休眠状态。

step4 更新 Q_{all} 中节点信息。

4.2 节点调度算法

当某一节点 S_j 被空洞检测算法检测为空洞边缘节点后，运行如下算法。

step1 判定节点 S_j 与其 2 个空洞边缘邻居节点 S_i 、 S_k 所形成内角 $\theta(\overrightarrow{V_{S_j S_k}}, \overrightarrow{V_{S_j S_i}})$ 与 π 的关系。若 $\theta(\overrightarrow{V_{S_j S_k}}, \overrightarrow{V_{S_j S_i}}) < \pi$ ，转向 step 2；否则逆时针方向遍历其空洞边缘节点，直至找到符合 $\theta(\overrightarrow{V_{S_j S_k}}, \overrightarrow{V_{S_j S_i}}) < \pi$ 的空洞边缘节点 S_j 。

step2 节点 S_j 向周围邻居节点广播覆盖空洞消息。

step3 节点 S_j 根据 Q_{all} 中各个冗余节点的反馈消息，选择剩余能量期望值 E_r 最大且满足 $E_r \geq E_{th}$ 的冗余节点作为最佳冗余节点 R_{best} 。

step4 激活最佳冗余节点 R_{best} 。

step5 更新空洞边缘节点信息。

其中，节点 S_j 系依逆时针遍历且符合要求的空洞边缘节点，其空洞边缘节点邻居节点 S_i 、 S_k 同样依照逆时针方向选取。

5 仿真实验

5.1 仿真环境

为研究上述算法的性能，本文采用 Matlab 作为模拟实验平台，并以文献[7]中同样基于向量代数的覆盖优化算法(COA, coverage optimization algorithm)为对比。由于网络模型包含随机性，根据蒙特卡罗原理，所有涉及的实验数据均为 20 次重复实验的均值。网络条件为：网络中存在一个 N 边形覆盖空洞， N 个顶点为空洞边缘节点；空洞边长固定，通过改变 N ，可实现空洞面积的变化，显然存在 N 增加，空洞面积增加，冗余节点随机分布在该空洞区域内，且每个冗余节点节点 i 的初始能量 $E_0(i)$ 随机取值。仿真参数的初始值及计算细节如表 1 表示。

表 1 仿真参数及计算方法表

参数	数值说明
覆盖空洞区域	边长均为 12 m 的正 N 边形，其中 $N \in [6, 29]$
空洞面积 S	$36N / \tan\left(\frac{\pi}{N}\right) \text{ m}^2$
空洞边缘节点个数	N
冗余节点个数 M	$144N / \pi R^2 \tan\left(\frac{\pi}{N}\right)$
冗余节点 i 初始能量 $E_0(i)$	$E_0(i) \in [90, 110] \text{ J}$
通信半径 R_c	16 m
感知半径 R_s	8 m
能量续航参数 α	1(非续航型网络)
能耗参数 β [13]	1 J/m
能量阈值 E_{th}	60 J

5.2 仿真分析

5.2.1 覆盖率分析

覆盖率是衡量传感器节点部署的一个重要指标，定义为所有节点的净覆盖面积与空洞区域面积的比值。图 4 分析了在 $N \in [17, 29]$ 的正多边形的空洞区域中运行 DAVM 算法，其覆盖率与所需移动节点数目 sum 之间的关系。若以拟合直线为拟合覆盖率曲线，其斜率 $K(K \geq 0)$ 表示在给定空洞面积中，覆盖率随移动节点数目的变化程度。可以发现，区域内的覆盖率随着部署移动节点数目的增加，近似地呈线性增长，且随着空洞面积的增加(即 N 增加)，覆盖率随移动节点数目增加而提高的速度减慢(即 K 减少)。实验中，空洞边数从 $N = 17$ 增长到 $N = 29$ ，覆盖率变化程度 K 从 0.055 1 降低至 0.017 8。可见，对于大面积的空洞而言，每增加一个补偿节点所产生的覆盖增益并不明显，必须补充更多的节点才能弥补空洞造成的覆盖损失。

若以 $\Delta = \sqrt{\frac{1}{sum} \sum_{i=1}^{sum} (P(i) - P'(i))^2}$ 表示每增加一个节点能达到的实验覆盖率 $P(i)$ 与拟合覆盖率 $P'(i)$ 之间的标准方差。数据表明 Δ 的波动范围在 1% 左右，且随 N 的增加而减少，虽然不同场景中，DAVM 对覆盖率增长的贡献有所差异，但同一场景下其增长波动不大，体现 DAVM 算法的有效性 & 稳定性。

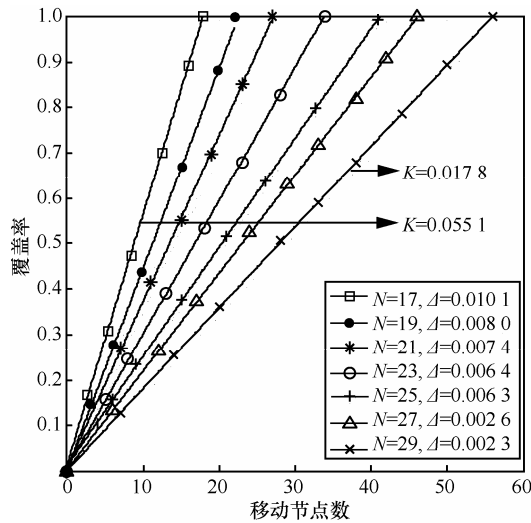


图 4 移动节点数与覆盖率关系

5.2.2 参与移动节点数目分析

图 5 比较了在不同空洞面积下, DAVM 与 COA 参与补偿的移动节点数目。从实验结果可知, 随着空洞边数 N 的不断增大, 2 种算法中参与修补空洞的移动节点数目 sum 均呈现出增多趋势, 但在绝对数目上, COA 算法所需的移动节点数目略少, 这种优势在空洞面积较大时 ($N > 12$), 表现得尤为明显。主要原因在于: 2 种方法所实现的覆盖率有所不同, DAVM 实现无缝式覆盖, 理想情况下能对空洞区域实现近似 100% 的覆盖率, 比 COA 算法所要求的不低于 90% 的覆盖率要高, 因此所需参与移动的节点数目势必会相对较多, 并且这种差异在面积较大、所需节点数较多时表现得更加明显。和 COA 相比, DAVM 算法以少许的移动节点, 换取了 COA 中所损失的将近 10% 覆盖率。

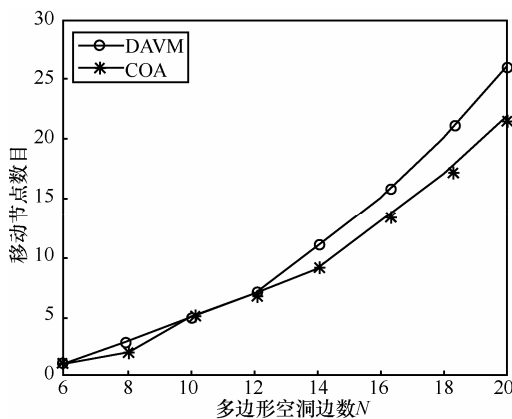


图 5 参与移动节点数目

5.2.3 节点平均移动距离分析

移动节点的移动距离直接影响着网络能量的

消耗, 以 $L = \frac{1}{sum} \sum_{i=1}^{sum} L_{best}(i)$ 定义移动节点的平均移动距离。

本实验通过统计在不同空洞面积下, 2 种算法中移动节点的平均移动距离 L , 考察算法能量消耗的规律和均衡程度。如图 6 可知, COA 由于未将节点的剩余能量纳入节点的选择条件, 随着空洞边数 N 的不断增大, 空洞面积逐渐增加, COA 的平均移动距离 L 出现明显波动, 而 DAVM 算法的平均移动距离 L 基本保持均衡, 很好地验证了节点调度子算法在选择最佳移动冗余节点时, 对能量的平衡能力。从数值上看, DAVM 算法的节点的平均移动距离维持在 [5,6] 之间, 比 COA 中的平均移动范围 [6,8] 更小, 取值和取值跨度优势较为明显。

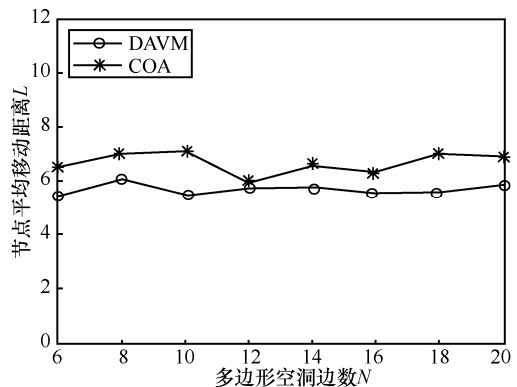


图 6 节点平均移动距离

5.2.4 节点平均剩余能量分析

图 7 统计了 DAVM 和 COA 2 种算法在非续航型网络 ($\alpha=1$) 中, 面对不同空洞面积时, 网络的平均剩余能量 E 随能耗参数 β 的变化情况, 以

$E = \frac{1}{sum} \sum_{i=1}^{sum} E_{best}(i)$ 表示。实验曲面表明, 无论空洞面积和 β 如何变化, DAVM 的能量平面始终保持在 COA 能量平面之上, 体现了较好的能量平衡和保持能力。

原因在于: DAVM 对最佳冗余节点的选择过程, 增加了对剩余能量的评估, 从而避免个别节点移动距离过大而导致能量消耗过多。从独立切面上分析, 在给定能耗参数 β 下, 随着空洞面积的增加 (即 N 增加), 2 种算法的平均剩余能量 E 波动不大, 但 DAVM 相对更平滑, 波动基本控制在 1% 左右; 但随着 β 的增加, 2 种算法的网络平均剩余能量, 均因为单位距离能耗的增加而降低。相比之下, COA 对能耗参数 β 的敏感性更高, 数值上体现为剩余能量随 β 的增加, 呈现出更加快速的下降。

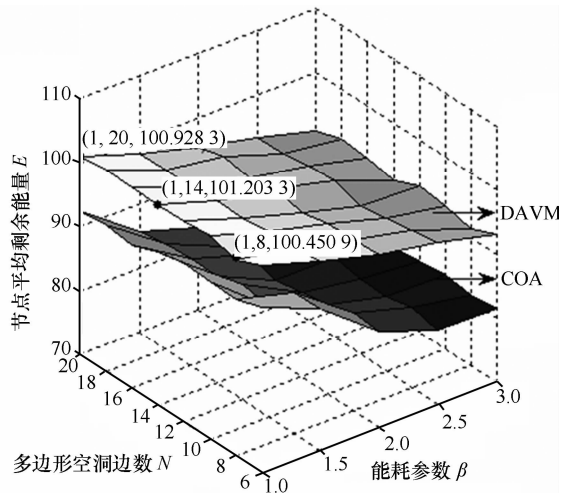


图7 节点平均剩余能量

6 结束语

针对无线传感器网络中大量冗余资源存在、时常出现覆盖空洞的现象,提出一种基于向量代数的移动节点补偿方法——DAVM 算法。该算法平衡了冗余节点的初始能量与移动消耗能量,选择最佳冗余节点参与移动补偿任务,从而达到减小覆盖空洞面积的目的。但另一方面必须认识到,该算法本身默认网络中存在足够的备选冗余节点,因此客观上讲,对于只有少量冗余节点的混合传感器网络环境,DAVM 算法的效果差强人意,虽然这类应用场景不在本论文讨论范围之内,但在后续的研究中,针对仅包含稀疏冗余节点混合传感器网络的覆盖补偿问题的研究工作将会继续。

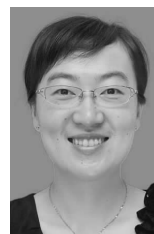
参考文献:

- [1] 韩志杰, 吴志斌, 王汝传等. 新的无线传感器网络覆盖控制算法[J]. 通信学报, 2011,32(10):175-176.
HAN Z J, WU Z B, WANG R Z, *et al.* Novel coverage control algorithm for wireless sensor network[J]. Journal on Communications, 2011, 32(10):175-176.
- [2] 顾晓燕, 孙力娟, 郭剑等. 一种无线传感器网络覆盖能耗平衡优化策略[J]. 传感技术学报, 2010, 23(11): 1627-1628.
GU X Y, SUN L J, GUO J, *et al.* An equilibrium optimization strategy on coverage energy consumption in wireless sensor networks[J]. Chinese Journal of Sensors and Actuators, 2010, 23(11):1627-1628.
- [3] RAYMOND D R, MARCHANY R C, BROWNFIELD M I, *et al.* Effects of denial-of-sleep attacks on wireless sensor network MAC protocols[J]. IEEE Transactions on Vehicular Technology, 2009, 58(1): 367-380.
- [4] AKYILDIZ I F, SU W, SANKARASUBRAMANIAM Y, *et al.* Wireless sensor networks: a survey[J]. Computer Networks, 2002,38(4): 393-422.
- [5] YAO J X, ZHANG G Y, KANNO J, *et al.* Decentralized detection and

patching of coverage holes in wireless sensor networks[A]. Proc of International Conference on Intelligent Sensing, Situation Management, Impact Assessment, and Cyber-Sensing[C]. Orlando, Florida, USA, 2009.

- [6] 王良民, 李菲, 秦颖等. 基于移动节点的无线传感器网络覆盖洞修复方法[J]. 通信学报,2011,32(4):1-8.
WANG L M, LI F, QIN Y, *et al.* Resilient method for recovering coverage holes of wireless sensor networks by using mobile nodes [J]. Journal on Communications, 2011, 32(4):1-8.
- [7] 邓亚平, 吴川平. 基于移动节点的无线传感器网络覆盖优化研究[J]. 计算机应用研究,2012,29(8):3137-3134.
DENG Y P, WU C P. Research on coverage optimization of wireless sensor networks based on mobile sensors[J]. Application Research of Computers, 2012, 29(8):3137-3134.
- [8] HEON N, VARSHNER P K. Energy-efficient deployment of intelligent mobile sensor networks[J]. IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics-Part A: Systems and Humans, 2005, 35(1):78-92.
- [9] YAN F, MARTINS P, DECEREUSEFOND L. Connectivity-based distributed coverage hole detection in wireless sensor networks[A]. Proc of IEEE Global Telecommunication Conference[C]. Houston, 2011.1-6.
- [10] GUO Z W, ZHU L. Patching method for coverage holes with distance-assistant in wireless sensor networks[A]. International Conference on Computer, Networks and Communication Engineering[C]. 2013.1951-6851.
- [11] LIU J, FENG Y, XU H Y, *et al.* Greedy approximation algorithm of patching hole in wireless sensor networks[A]. Consumer Electronics, Communications and Networks, 2012 2nd International Conference on[C]. 2012.2604-2608.
- [12] 杨凯,刘全,张书奎等. 利用移动内点来修复传感器网络空洞的算法[J].通信学报,2012,9(33):116-117.
YANG K, LIU Q, ZHANG S K, *et al.* Hole recovery algorithm based on mobile inner nodes in wireless sensor networks[J]. Journal on Communications, 2012, 9(33):116-117.
- [13] SEKHAR A, MANOJ B S, MURTHY S R. Dynamic coverage maintenance algorithms for sensor networks with limited mobility[A]. Proc of International Conference on Pervasive Computing and Communications[C]. Kauai island, 2005.51-60.

作者简介:



秦宁宁(1980-),女,黑龙江虎林人,博士,江南大学副教授,主要研究方向为无线传感器网络及应用。

郭立侠(1988-),女,吉林四平人,江南大学硕士生,主要研究方向为无线传感器网络覆盖。

徐保国(1950-),男,江苏淮阴人,江南大学教授、博士生导师,主要研究方向为工业控制网络、过程控制。