

DOI:10.19651/j.cnki.emt.2105740

# 基于权值-阈值自优化机制的 WSN 均衡覆盖算法\*

李文

(广东科贸职业学院 信息与自动化学院 广州 510640)

**摘要:**为解决无线传感网部署过程中存在的覆盖均衡性能较低、节点生存质量不高及网络传输性能波动严重等不足,提出了一种基于权值-阈值自由化机制的 WSN 均衡覆盖算法。首先,引入感染机制并将网络节点视作感染粒子,设计了基于冗余覆盖策略的权值优化方法,根据各粒子的权值系数计算冗余覆盖系数,将冗余覆盖系数升高的节点进行移位处理,以提升网络对节点冗余覆盖程度的评估能力。然后,结合节点初始坐标、最大覆盖半径、冗余覆盖权值等系数构建裁决模型,设计了基于阈值裁决机制的节点移动覆盖方法,利用时移后的坐标校验节点方差,并通过节点方差来构建裁决阈值,对裁决阈值不高于 1 的节点将不予进行移动操作,降低了因移动失败而导致网络覆盖能力降低的现象。仿真实验表明,与基于全局-局部搜索机制的 WSN 覆盖优化算法和基于改进滤波机制的 WSN 机器人覆盖算法相比,所提算法具有更高的节点生存率和网络传输带宽,在高斯信道条件下,二者分别达到了 90% 和 3 780 Mbit/s。

**关键词:** 无线传感网; 均衡覆盖; 冗余覆盖策略; 裁决权值; 移动频次

中图分类号: TP393.04 文献标识码: A 国家标准学科分类代码: 520.3040

## The WSN balanced coverage algorithm based on weight threshold self optimization mechanism

Li Wen

(School of Information and Automation, Guangdong Polytechnic of Science and Trade, Guangzhou 510640, China)

**Abstract:** In order to solve the problems of low coverage balance performance, low quality of life of nodes and serious fluctuation of network transmission performance in the process of wireless sensor network deployment, a WSN balanced coverage algorithm based on weight threshold liberalization mechanism is proposed. Firstly, the infection mechanism is introduced and the network nodes are regarded as infection particles. A weight optimization method based on redundant coverage strategy is designed. The redundant coverage coefficient is calculated according to the weight coefficient of each particle, and the nodes with increased redundant coverage coefficient are shifted to improve the evaluation ability of the network on the degree of redundant coverage. Then, combined with the initial coordinates, maximum coverage radius, redundant coverage weight and other coefficients of the node to build a decision model, a node mobile coverage method based on threshold decision mechanism is designed. The node variance is verified by the time-lapse coordinates, and the decision threshold is further constructed by the node variance. The nodes whose decision threshold is not higher than 1 will not be moved, which reduces the loss due to movement network coverage is reduced due to network failure. Simulation results show that compared with WSN coverage optimization algorithm based on global local search mechanism and WSN robot coverage algorithm based on improved filtering mechanism, the proposed algorithm has higher node survival rate and network transmission bandwidth, which reach 90% and 3 780 Mbit/s respectively in Gaussian channel.

**Keywords:** wireless sensor network; balanced coverage; redundant coverage strategy; decision weight; mobile frequency

### 0 引言

WSN 技术作为人工智能技术在工业化 4.0 领域内的

新应用,可在较高程度上提高工业制造智能度并显著降低制造成本<sup>[1]</sup>。WSN 网络主要采用布撒传感节点的方式进行组网,组网过程中各传感节点将以多跳模式进行数据采

收稿日期:2021-01-26

\* 基金项目:广东省科技厅项目(163-2019-XMZC-0009-02-0066)资助

• 130 •

集并通过簇头节点将数据传输至 sink 节点(基站),从而实现一定地理范围内待测事物进行数据感知,在智慧农业、战术数据链、生物信息采集等领域起到重要支撑作用<sup>[2]</sup>。一般而言,WSN 技术核心研究点集中于如何合理布撒节点并实现节点对区域的均衡化感知,这是由于一旦节点处于高密度状态时将极易因交叉传输而出现严重受限现象,因此采取一定措施提升节点均衡化覆盖能力,成为前沿领域之一<sup>[3]</sup>。

为提高 WSN 网络均衡覆盖能力,研究者提出了一些具有前瞻性研究算法<sup>[4]</sup>。如 Hitesh 等<sup>[5]</sup>引入分簇理论,提出了一种聚类覆盖优化机制的 WSN 均衡覆盖算法,其主要采取平均分布模型来提高聚类生成能力,并采取主备机制来增强簇头节点覆盖效果,具有较高的节点覆盖能力。但是,该算法需要频繁更换主备簇头节点,导致网络能耗强度较高且节点生存能力不强。Salim 等<sup>[6]</sup>采用栅栏分割模型,提出了一种区域分割机制的 WSN 均衡覆盖算法,将传感节点纳入带状区域,并对其进行区域编号,使得节点仅能根据编号排序进行信号覆盖,可显著提高节点覆盖效率并降低节点能量消耗水平。然而,该算法也存在编号过于复杂的不足,节点覆盖局限性较大,特别是算法需要频繁进行信号覆盖扫描,导致节点生存质量不高,极易出现非均衡化覆盖的现象。Nilabar<sup>[7]</sup>考虑到节点生存质量对均衡覆盖的重要性,提出了一种基于节能机制的 WSN 均衡覆盖算法,将覆盖区域进行网格化处理,每个网格均放置具有唯一性的传感节点,节点失效时将由邻域节点继续维持覆盖能力,具有覆盖率较高的特性。不过,该算法在节点失效时需要通过邻域节点覆盖半径模式进行交叉覆盖,增加了节点能量消耗水平,导致节点受限概率较高,难以进一步提高节点生存质量。

考虑到上述算法在实践中遇到的问题,提出了一种基于权值-阈值自优化机制的 WSN 均衡覆盖算法。首先,引入传染机制,对节点坐标、覆盖半径、冗余覆盖权值进行时移处理,当且仅当裁决权值降低时对坐标进行更新,从而提供节点覆盖能力。然后,按照权值逐个遍历节点的方差,并借助节点方差来构建裁决阈值,若裁决阈值大于 1,则再次对节点坐标进行更新,以均衡化节点分布,改善重复覆盖现象。最后,仿真实验证明了本文算法的性能。

## 1 本文算法设计

针对当前算法设计及部署过程中存在的不足,本文所提基于权值-阈值自优化机制的 WSN 均衡覆盖算法。该方法主要由两部分构成:基于冗余覆盖策略的权值优化,基于阈值裁决机制的节点移动覆盖。

### 1.1 基于冗余覆盖策略的权值优化

为提高节点覆盖能力,本文提出了一种基于冗余覆盖策略的权值优化方法。该方法将 WSN 节点视为具有进化特性和聚集特性的感染因子,采取权值机制对种群适应能

力进行优化,以便能够提高节点均衡化覆盖能力。

1)对网络中全部节点进行遍历处理,获取各节点的初始坐标,并按如下模型进行权值初始化:

$$v_i(t+1) = w_i(t)v_i(t) + x_i(t) \quad (1)$$

$$x_i(t+1) = x_i(t) + v_i(t) \quad (2)$$

其中,  $v_i(t)$  表示第  $i$  号节点的坐标;  $x_i(t)$  表示第  $i$  号节点的最大覆盖半径;  $w_i(t)$  表示第  $i$  号节点的冗余覆盖权值。

2)权值初始化后,根据下一时刻的节点最大覆盖半径  $x_i(t+1)$ 、冗余覆盖权值  $w_i(t+1)$ 、节点坐标  $v_i(t+1)$  来构建裁决模型  $G_i$  如下:

$$G_i = a \frac{x_i(t+1)}{x_i(t)} + b \frac{w_i(t+1)}{w_i(t)} + c \frac{d[v_i(t+1), v_i(t)]}{d[v_i(t), v_i(t-1)]} \quad (3)$$

$$a + b + c = 1 \quad (4)$$

其中,  $a, b, c$  表示权值系数;  $d[v_i(t+1), v_i(t)]$  表示节点  $i$  在时刻  $t+1$  和时刻  $t$  之间坐标距离;  $d[v_i(t), v_i(t-1)]$  表示节点  $i$  在时刻  $t$  和时刻  $t-1$  之间的坐标距离。

3)按照传输周期,对网络节点进行遍历,如图 1 所示。按式(3)所示的裁决模型,当且仅当  $G_i$  出现数值增大时,将节点  $i$  在  $t+1$  的坐标予以固定。

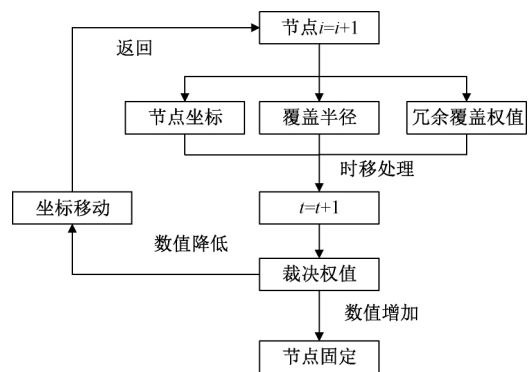


图 1 基于冗余覆盖策略的权值优化方法

### 1.2 基于阈值裁决机制的节点移动覆盖

完成基于冗余覆盖策略的权值优化后,当且仅当节点  $i$  出现权值增加时,网络进行节点坐标更新。但是,由于传感网络节点具有高密度部署特性<sup>[8-9]</sup>,各节点间坐标可能具有较高的相似特性,使得权值增加情况较为不突出,使其出现节点聚集现象<sup>[10-11]</sup>。为进一步提高节点覆盖均衡效率,改善重复覆盖现象,本文提出了一种基于阈值裁决机制的节点移动覆盖方法。该方法主要通过遍历模式来校验节点权值的方差,根据方差更迭节点坐标,以便进一步提高节点均衡效率。

1)按式(3)来获取每个节点权值,并计算第  $i$  个节点的方差:

$$\sigma^2(i) = \frac{1}{n} \sum_{i=2}^n \left( \frac{G_i - G_{i-1}}{G_{i+1}} \right)^2 \quad (5)$$

其中,  $n$  表示网络中节点总数;  $G_i, G_{i-1}, G_{i+1}$  分别表示第  $i$ 、第  $i-1$  和第  $i+1$  号节点按式(3)所获取的权值。

2) 在根据式(5)得到的方差来构建阈值  $F(i)$  如下:

$$F(i) = \frac{\sigma^2(i) - \sigma^2(i-1)}{\sigma^2(i) - \sigma^2(i+1)} \quad (6)$$

3) 对于网络节点, 按式(6)来获取对应的阈值  $F(i)$ , 并按如下模型进行裁决:

$$F(i) > 1, local(i, t) = local(i, t-1) \quad (7)$$

$$F(i) < 1, local(i, t) = local(i, t+1) \quad (8)$$

其中,  $local(i, t)$  表示节点  $i$  在  $t$  时刻的坐标位置;  $local(i, t-1)$  表示节点  $i$  在  $t-1$  时刻的坐标位置;  $local(i, t+1)$  表示节点  $i$  在  $t+1$  时刻的坐标位置。

4) 当且仅当网络节点全部被裁决完毕后, 如图 2 所示, 方法结束。

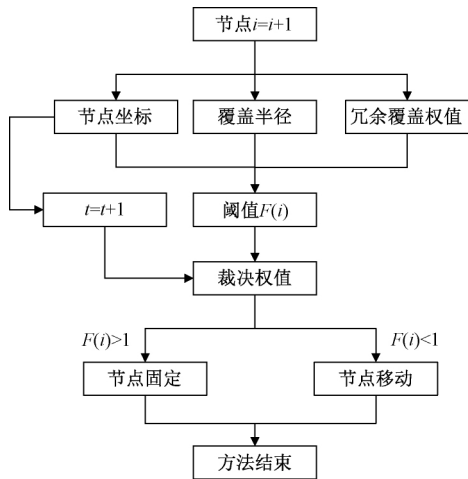


图 2 基于阈值裁决机制的节点移动覆盖过程

## 2 仿真实验与分析

为便于比较所提算法性能, 将 NS2(network simulator version 2) 仿真实验平台作为实验环境<sup>[12-13]</sup>。其中, WSN 覆盖范围为矩形区域, 大小为  $512 \text{ m} \times 512 \text{ m}$ , 节点采取移动模型, 速度可设。其余仿真参数如表 1 所示。为体现所提算法的性能, 将当前 WSN 网络覆盖领域内常用的基于全局-局部搜索机制的 WSN 覆盖优化算法<sup>[14]</sup> (a global-to-local searching-based binary particle swarm optimisation algorithm, GTL-SB 算法) 和基于改进滤波机制的 WSN 机器人覆盖算法<sup>[15]</sup> (an optimized coverage robot SLAM algorithm based on improved particle filter for WSN nodes, IPF-Robot 算法) 设为对照组。测试评价指标为节点生存率和网络传输带宽。

### 2.1 节点生存率

图 3 为所提算法、GTL-SB 算法和 IPF-Robot 算法分别在高斯信道和莱斯信道两种环境下的节点生存率测试结果。

表 1 仿真参数

参数	数值
网络区域/ $\text{m}^2$	$512 \times 512$
网络仿真时间	不低于 10 min
节点部署模型	可移动
节点传输率/ $(\text{bit} \cdot \text{s}^{-1})$	1.024 M
信号周期	24 ms
信道模型	高斯信道/莱斯信道
节点密度	不低于 1 个/百平方米

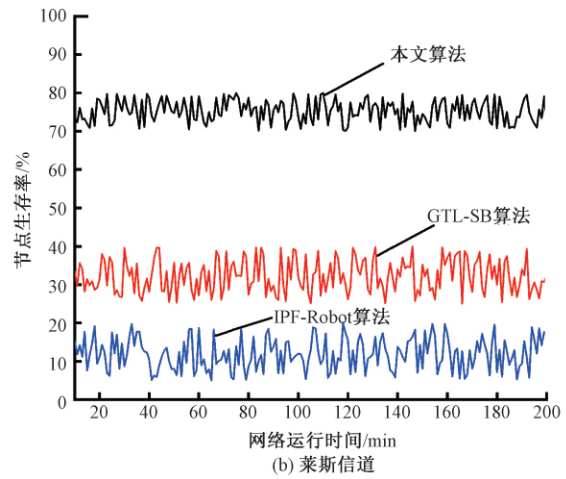
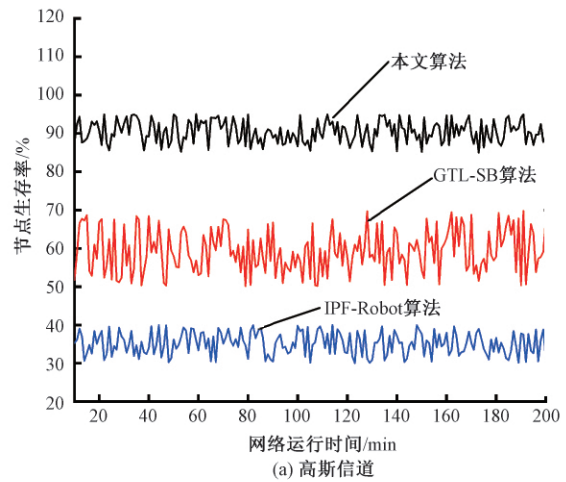


图 3 节点生存率仿真测试

果。由图 3 可知, 所提算法具有节点生存率较高的特性, 显示了优越的节点生存性能。这是由于所提算法为降低节点覆盖过程中频繁移位现象, 设计了基于冗余覆盖策略的权值优化方法, 用以降低节点交叉, 有效改善因节点频繁交叉而出现能量过高消耗, 因此节点生存质量较高。此外, 所提算法为大幅度降低节点移动频次, 在基于冗余覆盖策略的权值优化方法基础上, 提出了一种基于阈值裁决机制的节点移动覆盖方法, 该方法仅对出现方差升高现象的节点进行坐标更迭, 从而进一步改善了节点频繁移动现象, 从而使

得所提算法具有更高的节点生存率。GTL-SB 算法调整了基于 sigmoid 变换函数的位置更新公式,采用了全局到局部的搜索策略,通过提出了一种小概率变异替换策略来替换搜索过程中不满足覆盖要求的个体,节点覆盖效率较高。但是,该算法在全局搜索过程中存在节点移动频次较高的问题,因而节点能量消耗要显著高于所提算法,易出现节点受限现象,导致节点生存率较低。IPF-Robot 算法克服了标准粒子滤波 SLAM 算法在同步定位和节点覆盖方面的不足。通过构造传感器节点覆盖定位信息节点,采取网格模型搜索节点坐标,从而获取较高的节点覆盖能力。然而,该算法需要频繁对高密度网格进行搜寻遍历,算法复杂度较高,且节点重复覆盖现象严重,因此能量消耗水平要显著高于本文算法,导致该算法的节点生存率较低。

## 2.2 网络传输带宽

图 4 为所提算法、GTL-SB 算法和 IPF-Robot 算法分别在 Gaussian 信道和莱斯信道两种环境下的网络传输带宽测试结果。由图 4 可知,所提算法具有网络传输带宽较高的特性。这是由于本文算法设计了基于冗余覆盖策略的权值优化方法和基于阈值裁决机制的节点移动覆盖方法,用以降低节点移动频次,改善了无线传感网节点抖动现象,因此节点传输能力较为优越,网络传输性能因此得以提高,增加了网络传输带宽。GTL-SB 算法基于概率因素调整覆盖节点,需要对节点进行全局遍历,因而节点移位频次较高,导

致节点生存质量易出现恶化,降低了网络传输性能。IPF-Robot 算法采用网格覆盖模式增强节点覆盖能力,然而由于该算法对节点交叉现象考虑不足,数据传输过程中极易出现链路共振现象,导致节点发生抖动,降低了节点生存性能,因而网络传输质量较低,导致该算法与所提算法相比具有较低的网络传输带宽。

## 3 结 论

为提高无线传感网节点覆盖能力并进一步增强网络传输性能,提出了一种基于权值-阈值自优化机制的 WSN 均衡覆盖算法。该算法主要由基于冗余覆盖策略的权值优化方法和基于阈值裁决机制的节点移动覆盖方法两部分构成,可降低节点覆盖过程中移位频次,优化网络骨干拓扑并增强数据传输性能,节点生存质量较高。

下一步,将针对所提算法对高移动节点环境适应性不足的问题,拟引入移动拓扑加固机制用以控制拓扑漂移频次,进一步提高本文算法对各种复杂环境的适应能力。

## 参考文献

- [1] AMIT S, NAGARAJU A. Low latency and energy efficient routing-aware network coding-based data transmission in multi-hop and multi-sink WSN[J]. *Ad Hoc Networks*, 2020, 9(10): 107-112.
- [2] 马庆功,丁完成.基于拨备满足模型的无线传感网节点覆盖算法[J]. *太赫兹科学与电子信息学报*, 2020, 18(4): 625-632.
- [3] PANCHIKATTIL S S, DNYANDEO J P. A fuzzy multicriteria decision-making based CH selection and hybrid routing protocol for WSN [J]. *International Journal of Communication Systems*, 2020, 33 (15): 542-551.
- [4] RUKMINI S S, DHIRAJ SUNEHRA. Secure and energy aware multi-hop routing protocol in WSN using Taylor-based hybrid optimization algorithm[J]. *Journal of King Saud University-Computer and Information Sciences*, 2019, 12(7): 960-968.
- [5] HITESH M, AMIYA K R. Survey on fault tolerance-based clustering evolution in WSN[J]. *IET Networks*, 2020, 9(4): 166-174.
- [6] SALIM E K, REHAN U K. MW-LEACH: Low energy adaptive clustering hierarchy approach for WSN[J]. *IET Wireless Sensor Systems*, 2020, 10(3): 154-159.
- [7] NILABAR N. Triangular fuzzy-based spectral clustering for energy-efficient routing in wireless sensor network[J]. *The Journal of Supercomputing: An International Journal of High-Performance Computer Design, Analysis, and Use*, 2020, 76(3): 196-203.

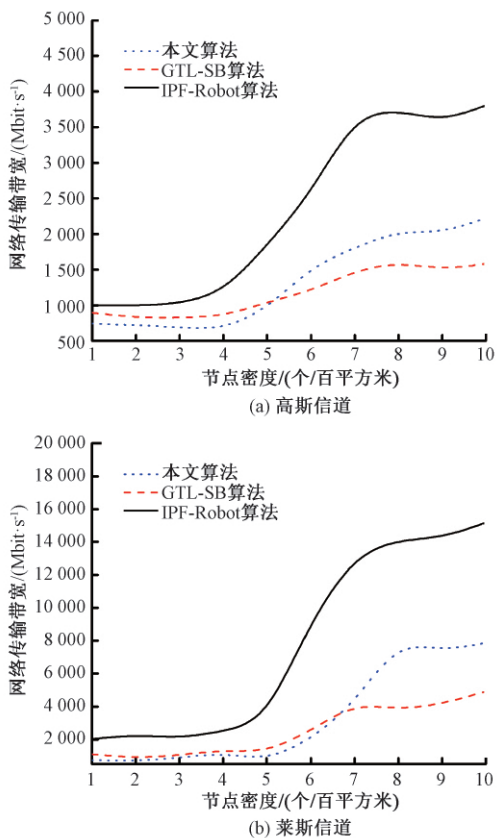


图 4 网络传输带宽仿真测试

- [8] PENG W H, LIU X W. Energy-efficient adaptive slice-based secure data aggregation scheme in WSN [J]. *Procedia Computer Science*, 2018, 129(7): 188-193.
- [9] 刘浩然, 覃玉华, 邓玉静. 基于双层修正无迹卡尔曼的水下节点定位算法[J]. *仪器仪表学报*, 2020, 41(3): 144-151.
- [10] KIRANPREET K, RIDHI K. MCPCN: Multi-hop clustering protocol using cache nodes in WSN [J]. *Wireless Personal Communications*, 2019, 109(3): 1727-1745.
- [11] 张聚伟, 王宇. 一种有向传感器网络强栅栏覆盖算法[J]. *电子测量与仪器学报*, 2017, 31(1): 83-91.
- [12] DITIPRIYA S, RINA K, SUDHAKAR T. Semisupervised classification based clustering approach in WSN for forest fire detection[J]. *Wireless Personal Communications: An International Journal*, 2019, 109(2): 2561-2605.
- [13] 马雪芬. 基于反馈裁决机制的无线传感网节点失效自愈修复[J]. *电子测量与仪器学报*, 2020, 34(2): 177-184.
- [14] LI K S, FENG Y. A global-to-local searching-based binary particle swarm optimisation algorithm and its applications in WSN coverage optimisation [J]. *International Journal of Sensor Networks*, 2020, 32(4): 667-674.
- [15] ZHANG A. An optimized coverage robot SLAM algorithm based on improved particle filter for WSN nodes[J]. *International Journal of Grid and High Performance Computing (IJGHPC)*, 2020, 12(4): 1127-1134.

#### 作者简介

李文,工学硕士,副教授,主要研究方向为无线网络通信、网络安全。

E-mail: 804722358@qq.com