

基于人工鱼群算法的无线传感器网络覆盖优化^{*}

黄瑜岳, 李克清

(常熟理工学院, 江苏 常熟 215500)

摘要: 针对网络节点严重冗余而导致的网络成本增加、生命周期过短等缺陷, 提了一种基于人工鱼群算法的覆盖优化方法。首先以节点的利用率和网络有效覆盖率作为优化目标, 建立相应的数学模型, 然后采用人工鱼群算法对模型进行求解, 得到无线传感器网络的最优覆盖方案。仿真结果表明, 人工鱼群算法提高了无线传感器网络节点的覆盖率, 减少了传感器节点冗余, 有效降低了网络成本, 网络生存时间得到了延长。

关键词: 无线传感器网络; 覆盖优化; 人工鱼群算法; 网络生存时间

中图分类号: TP393.04 **文献标志码:** A **文章编号:** 1001-3695(2013)02-0554-03

doi:10.3969/j.issn.1001-3695.2013.02.065

Coverage optimization of wireless sensor networks based on artificial fish swarm algorithm

HUANG Yu-yue, LI Ke-qing

(Changshu Industry of Technology, Changshu Jiangsu 215500, China)

Abstract: Focusing on the problems of increasing network cost and short life cycle caused by serious redundant network nodes, this paper proposed a coverage optimization method based on artificial fish swarm algorithm. Firstly, it took the nodes' utilization and the efficiency of network coverage as the optimization goal to establish mathematical model. And then it used the artificial fish swarm algorithm to solve the model, and got the optimal coverage scheme for WSN. The simulation results show that the proposed method can not only improve the coverage rate of WSN, but also reduce redundancy and the cost of network effectively, so that the network life time has been extended.

Key words: wireless sensor networks (WSN); coverage optimization; artificial fish swarm algorithm; network lifetime

0 引言

无线传感器网络 (WSN) 部署在野外、战场等复杂环境下, 为传感器充电或替换传感器是不太现实的。如何在保持网络覆盖率的条件下延长网络的生命周期, 便成为传感器网络研究的一个关键问题^[1]。

目前, 许多学者对 WSN 覆盖问题进行了大量研究^[2]。最原始的覆盖优化算法一般基于图论和探测^[3,4], 这些算法均存在不足。图论算法假设在监测区域任何一点都可以找到一个传感器节点, 这与实际情况不相符; 探测算法不能保证网络的完全覆盖, 只能适合规模的 WSN^[5]。近些年, 随着启发式搜索算法研究的不断成熟, 专家们利用其搜索速度快、处理能力强等优点, 将其引入到 WSN 覆盖问题的求解中, 出现了基于遗传算法、粒子群优化算法、蚁群算法等的 WSN 覆盖优化方法。这些算法在一定程度上提高了网络覆盖率, 节约了网络能耗, 改善了 WSN 整体性能^[6-8]。但这些算法仍然存在自身难以克服的不足: 粒子群算法易陷入局部极值点, 难以收敛到全局极值点; 对于不同拓扑结果的 WSN, 遗传算法需要重新确定遗传操作, 求解过程比较复杂; 蚁群算法的局部搜索能力强, 但是在其初期求解速度慢, 影响了网络覆盖优化的实时性。这些缺陷限制了它们在网络覆盖优化中的应用范围, 同时会导致网络覆盖

率低, 能量不能有效利用, 使得整个网络生命周期过短^[9]。

人工鱼群算法 (artificial fish swarm algorithm, AFSA) 是通过模拟鱼群的觅食和生存活动而提出的一种新的智能仿生算法, 是一种基于动物行为的自治体寻优的现代启发式随机搜索算法, 具有对初值和参数选择不敏感、鲁棒性强、简单易实现等优点, 目前该算法已应用于多个工程领域, 并且取得了良好的效果^[10,11]。为了提高无线传感器网络覆盖率, 本文提出一种基于人工鱼群算法的 WSN 覆盖优化方法。

1 WSN 覆盖模型

1.1 问题描述

在 WSN 中, 要获得较高的传感器节点覆盖率以减少感知盲点的出现, 就需要加大传感器节点的部署密度。然而传感器节点部署密度过大, 会大量产生冗余节点, 并出现数据传输冲突, 使得能量过早消耗完, 以致 WSN 生命周期过短。对于某个传感器节点来说, 如果其感知区域可以被其他传感器节点完全覆盖, 那么就称该节点为冗余节点, 在其他节点处于工作的状态下, 该传感器节点可以进入休眠状态。通过相应算法对冗余节点进行判断, 尽量使工作节点最少, 来提高网络覆盖率。因此, 在无线传感器网络初始化阶段, 工作节点数目的选择和节

收稿日期: 2012-05-31; **修回日期:** 2012-07-27 **基金项目:** 江苏省科技计划资助项目 (BE2011376); 苏州市科技计划资助项目 (SYND201002)

作者简介: 黄瑜岳 (1978-), 男, 讲师, 硕士, 主要研究方向为智能生产、算法设计 (57000863@sohu.com); 李克清 (1966-), 男, 教授, 博士, 主要研究方向为无线传感器网络、网格计算、优化设计、信息安全等。

点能量消耗需要同时考虑,这就出现了 WSN 覆盖率和节点数之间的矛盾^[12]。设 WSN 的节点 s_i 的坐标为 (x_i, y_i) , 目标区域为二维矩形区域,则节点 s_i 对目标点 $p(x_p, y_p)$ 的检测概率为

$$C_p(s_i, p) = \begin{cases} 1 & d(s_i, p) \leq R_s - R_e \\ e^{(-\lambda_1 \alpha_1 \beta_1 / (\alpha_2 \beta_2 + \lambda_2))} & R_s - R_e < d(s_i, p) < R_s + R_e \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad (1)$$

其中: R_s 和 R_e 分别为传感器节点感知半径和通信半径; λ_1 、 λ_2 、 β_1 、 β_2 是与传感器节点特性相关的测量参数; R_e ($0 < R_e < R_s$) 是传感器节点测量可靠性参数; $d(s_i, p)$ 为传感器节点 s_i 与目标点 p 的欧氏距离; $\alpha_1 = R_e - R_s + d(s_i, p)$, $\alpha_2 = R_s + R_e - d(s_i, p)$ 。

设 s_{all} 为测量目标节点的传感器节点集合对目标节点 p 被监测区域内节点的联合检测概率为

$$C_p(s_{all}, p) = 1 - \prod_{i=1}^n (1 - C_p(s_i, p)) \quad (2)$$

设 C_{th} 为目标点能够被检测到的概率阈值,那么目标传感器点能被有效检测到的条件为

$$\min_{x_p, y_p} \{C_p(s_{all}, p)\} \geq C_{th} \quad (3)$$

1.2 覆盖模型

网络覆盖率 f_1 和节点休眠率函数 f_2 分别定义为

$$f_1 = \frac{\sum_{x_p=1}^m \sum_{y_p=1}^n C_p(s_{all}, p)}{m \times n} \quad (4)$$

$$f_2 = \frac{|S| - |S'|}{|S|} \quad (5)$$

其中: $|S|$ 为部署传感器节点总数, $|S'|$ 为工作传感器节点数。

考虑到网络的能耗均衡,引入区域能量 E_k 和能量均衡系数 E_a 两个定义,具体为

$$E_k = \frac{\sum_{i=1}^{m_k} E_{ki}}{m_k} \quad (6)$$

其中: E_{ki} 表示第 k 个网格中节点 i 的剩余能量, m_k 表示第 k 个网格中的节点个数。

$$E_a = \frac{\max(E_k) - \min(E_k)}{\frac{1}{K} \sum_{k=1}^K E_k} \quad (7)$$

E_a 反映网络能耗的均衡程度,其值越大,表示能耗越不均匀;反之,能耗越均匀。

由于无传感器网络覆盖优化与网络能耗密切相关,为此增加一个能量均衡系数子函数,即令 $f_3 = E_a$ 。因此,WSN 覆盖优化为综合工作节点数、覆盖率和能量均衡,使网络覆盖率在满足实际应用要求的基础上,使尽可能多的冗余节点进入休眠状态,从而节省能量消耗。因此,WSN 覆盖优化目标数学模型为

$$f = w_1 f_1 + w_2 f_2 + w_3 (1 - f_3) \quad (8)$$

其中, w_1 、 w_2 和 w_3 为权值, $w_1 + w_2 + w_3 = 1$ 。

为了找到最优 WSN 覆盖方案,采用人工鱼群算法对式(8)进行求解。

2 无线传感器网络覆盖优化算法

2.1 人工鱼群算法

人工鱼群算法是一种模拟鱼群行为的优化算法,它克服了其他算法的局部极值缺陷,利用鱼群的觅食、聚群和追尾行为,

通过鱼群共同快速搜索全局最优解,自适应能力强^[13]。

a) 觅食行为。Step 为最大移动步长值, visual 表示人工鱼的感知距离。设人工鱼当前状态为 X_i , 随机在其可见域内选择一个状态 X_j , 当 X_j 的食物浓度大于当前食物浓度时, 向该方向前进一步, 否则重新随机选择, 重复几次后仍然不能满足前进条件, 则随机前进一步, 即

$$\begin{cases} x_i(k+1) = x_i(k) + \frac{1}{\|x_j - x_i\|} (\text{step})(x_j - x_i) & FC_j > FC_i \\ x_i(k+1) = x_i(k) + (\text{step}) & FC_j \leq FC_i \end{cases} \quad (9)$$

其中: $i = 1, 2, \dots, k$; x_j, x_i 为状态向量; FC_i 分别表示 X_i 和 X_j 对应的食物浓度; $x_i(k+1)$ 为 $X_i(k+1)$ 的第 i 个元素。

b) 聚群行为。设人工鱼的可见域范围内存在的伙伴数目为 n 以及伙伴的中心位置 X_c , 如果表明伙伴中心有较多的食物, 并且不太拥挤, 那么朝伙伴的中心位置方向前进一步; 不然就执行觅食行为。

c) 追尾行为。 $X_{\max}$ 为可见域范围内食物浓度最大的伙伴, 如果满足 $FC_{\max} > \delta FC_i$, 那么伙伴 $X_{\max}$ 处的食物浓度高, 可以设置为中心位置, 否则执行觅食行为。

d) 公告板。公告板用于记录最优人工鱼个体状态及该鱼位置的食物浓度。人工鱼在行动一次后均会与公告板进行比较, 若优于公告板, 那么替代公告板状态。

e) 行为选择。对于不同问题, 人工鱼均会对其所处的环境进行评价, 从中选择相应行为。

2.2 基于 AFSF 的 WSN 覆盖优化步骤

基于人工鱼群的 WSN 覆盖优化流程如图 1 所示, 具体步骤如下。

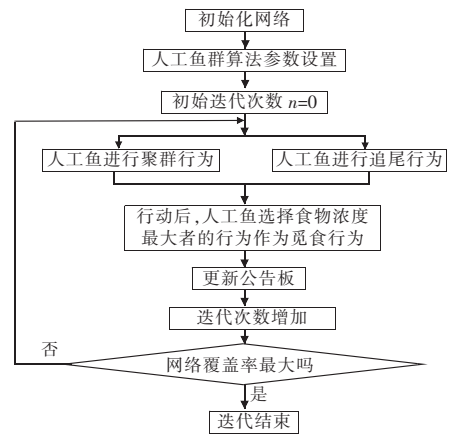


图1 WSN 节点覆盖优化流程

a) 对无线传感器网络进行初始化。根据网络规模确定人工鱼群的群体规模 N , 人工鱼的最大移动步长 step, 人工鱼的可视域 visual, 最大迭代次数 number, 拥挤度因子 δ 和安全度系数。

b) 初始化鱼群, 在可行域方案内随机生成 N 个人工鱼个体, 同时设置初始迭代次数 num = 0。

c) 对初始鱼群的个体当前位置食物浓度值 (FC) 进行计算, 然后对它们进行排序, 选择 FC 为最大值人工鱼个体进入公告板。

d) 人工鱼模拟鱼群的追尾和聚群行为, FC 值较大者为觅食行为。

e) 各人工鱼每行动一次后, 将其当前位置食物浓度 FC 与公告板人工鱼的 FC 进行比较, 若大于公告板的 FC , 那么该

人工鱼取代公告板鱼进入公告板。

f)对结束条件进行判断。如果到达最大进化代数,则输出公告板的 FC 值,即最优 WSN 覆盖方案,否则 $\text{num} += 1$,转 d)。

3 仿真实验

3.1 仿真环境

设无线传感器网络监测区域面积为 $100\text{ m} \times 100\text{ m}$ 的正方形区域,传感器节点的感知半径均为 2.5 m ,通信半径为 $C = 5\text{ m}$,传感器节点能量为 0.25 J ,在 MATLAB 2009 平台进行仿真实验,无线传感器网络节点随机分布监测区域,具体如图 2 所示。

3.2 结果与分析

3.2.1 人工鱼群算法获得最优节点覆盖方案

采用人工鱼群算法对图 2 中的传感器节点覆盖方案进行求解,最后得到的无线传感器节点覆盖结果如图 3 所示。根据图 3 可知,无线传感器网络节点部署十分均匀,节点冗余相当少,节点利用率为 50% 左右,平均覆盖率为 95%。仿真结果表明,人工鱼群算法很好地实现了 WSN 节点覆盖优化目标,是一种有效的 WSN 节点覆盖优化方法,可以提高无线传感器网络覆盖优化率。

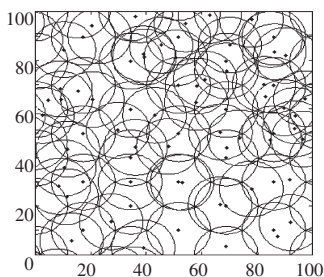


图2 传感器节点分布情况

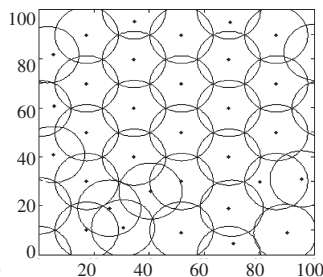


图3 人工鱼群算法的最优方案节点覆盖

3.2.2 与其他覆盖优化算法性能对比

为了说明人工鱼群算法对 WSN 覆盖优化问题求解的优越性,在相同的仿真环境下,采用随机分布算法、遗传算法、粒子群算法、蚁群算法进行对比实验,对比结果如图 4 所示。

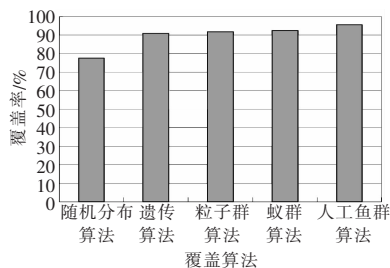


图4 不同算法的节点覆盖率

从图 4 可知,随机方式对传感器节点进行覆盖,其覆盖率没有到达 80%,不能满足无线传感器网络实际需求;遗传算法、粒子群算法、蚁群算法以及人工鱼群算法的节点覆盖率均

达到了 90% 以上,节点冗余度比较小,网络成本下降。然而在所有的网络覆盖优化算法中,人工鱼群算法更好且更有效地实现了无线传感器网络布局的全局优化,能够在较长时间内保持很高的网络覆盖率,并维持网络能量均衡,从而很好地延长了网络生命周期,具有更广的使用范围。

4 结束语

无线传感器网络中的传感节点都具有一个固定的传感半径,若监测区域中任意一点位于一个传感器节点的感知半径内则它被覆盖。WSN 的主要技术在各个领域中都有着巨大的应用前景,网络覆盖问题是传感器网络的关键问题之一。为更好地获取感知服务、控制节点密度、减少能量消耗,提出了一种人工鱼群算法的 WSN 覆盖优化方法。仿真实验结果表明,人工鱼群算法使用少量的工作节点获得了较高的网络覆盖率,延长了网络生命周期,能够达到整个网络能耗均衡的算法设计目标,为 WSN 覆盖优化提供了一种新的方法。在实际应用中,如何更好地将觅食、聚群和追尾三种行为进行优化,以便使运算更加简单,并使无线传感器网络覆盖优化性能更优,还需要进一步研究。

参考文献:

- [1] AKYILDIZ I F, SU Wei-lian, SANKARASUBRAMANIAM Y, et al. A survey on sensor networks[J]. IEEE Communications Magazine, 2002, 40(8): 102-114.
- [2] 王殊, 阎毓杰, 胡富平, 等. 无线传感器网络的理论及应用[M]. 北京: 北京航空航天大学出版社, 2007.
- [3] 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.
- [4] 汪学清, 杨永田, 孙亭, 等. 无线传感器网络中基于网格的覆盖问题研究[J]. 计算机科学, 2006, 33(11): 38-39, 78.
- [5] 毛莺池, 刘明, 陈力军, 等. DELIC: 一种高效节能的与节点位置无关的传感器网络覆盖协议[J]. 计算机研究与发展, 2006, 43(2): 187-195.
- [6] 殷卫莉, 陈巍. 遗传算法在无线传感器网络覆盖中仿真研究[J]. 计算机仿真, 2010, 27(10): 120-123.
- [7] 刘维亭, 范洲远. 基于混沌粒子群算法的无线传感器网络覆盖优化[J]. 计算机应用, 2011, 31(2): 338-340.
- [8] 彭丽英. 改进的蚁群算法网络节点覆盖优化研究[J]. 计算机仿真, 2011, 28(9): 151-153, 255.
- [9] SONG Zhi-yu, LI Jun-jie, WANG Hong-yu. Inverse research for gravity dam parameters based on chaos artificial fish swarm algorithm[J]. Rock an Soil Mechanics, 2007, 28(10): 2193-2196.
- [10] GAO Yu-fang, CHEN Yao-deng. The optimization of water utilization based on artificial fish-swarm algorithm[C]//Proc of the 6th International Conference on Natural Computation. 2010: 4415-4419.
- [11] 林梅金, 苏彩虹, 王飞. 无线传感器网络覆盖优化算法研究[J]. 计算机仿真, 2011, 28(3): 178-181.
- [12] 姚祥光, 周永权, 李咏梅. 人工鱼群与微粒群混合优化算法[J]. 计算机应用研究, 2010, 27(6): 2084-2086.

(上接第 553 页)

- [7] LIU Te-huang, LIAO Wan-jun. Interference-aware QoS routing for multi-rate multi-radio multi-channel IEEE 802.11 wireless mesh networks[J]. Wireless Communication, 2009, 8(1): 167-177.
- [8] WANG Ping, ZHUANG Wei-hua. A collision-free MAC scheme for multimedia wireless mesh backbone[J]. Wireless Communication, 2009, 8(7): 3577-3590.
- [9] SUDHA AKAR R S, YOON S, ZHAO Jia, et al. A novel QoS-aware

MAC scheme using optimal retransmission for wireless networks[J]. Wireless Communication, 2009, 8(5): 2230-2236.

- [10] 伍之昂, 罗军舟, 宋爱波. 基于 QoS 的网络资源管理[J]. 软件学报, 2006, 17(11): 2264-2276.
- [11] 荀志. 网络模糊 QoS 评价模型及应用研究[D]. 杭州: 浙江工业大学, 2010.
- [12] 德尔菲法[EB/OL]. <http://baike.baidu.com/view/41300.htm>.
- [13] 王浣尘, 陈宏民. 关于 Delphi 方法的若干理论问题[J]. 控制与决策, 1986(2): 46-49.