

一种延长目标覆盖网络寿命的群智能算法

范兴刚 刘 涛 胡凤丹 蒿 翔

(浙江工业大学计算机科学与技术学院 杭州 310023)

摘 要 目标覆盖是无线传感网络中的一个研究热点,在满足目标覆盖要求的前提下,文中研究了如何利用群智能算法重新部署节点位置以延长网络寿命,提出了满足目标 Q -覆盖要求的网络寿命模型,并以这个寿命模型为适应度函数,采用人工蜂群算法再部署传感器节点,在二维感知模型和三维感知模型下实现目标的 Q -覆盖,以延长网络寿命。仿真实验的结果表明,基于人工蜂群算法的优化部署能够有效延长网络寿命。

关键词 无线传感网络,网络寿命,人工蜂群算法,目标覆盖

中图分类号 TP393 **文献标识码** A **DOI** 10.11896/j.issn.1002-137X.2018.12.013

Swarm Intelligence Algorithm for Prolonging Target Coverage Network Lifetime

FAN Xing-gang LIU Tao HU Feng-dan HAO Xiang

(College of Computer Science and Technology, Zhejiang University of Technology, Hangzhou 310023, China)

Abstract In wireless sensor networks, target coverage is a hot research topic recently. This paper rescheduled nodes based on swarm intelligence to enhance network lifetime under target coverage location. This paper defined network lifetime when Q -coverage of many targets are required. Using this lifetime model as fitness function of artificial colony algorithm, it redeploys nodes to meet the coverage demand of target using two-dimensional and three-dimensional perception model, so as to maximize network lifetime. Simulation results show that the deployment optimization based on artificial colony algorithm can prolong the network lifetime effectively.

Keywords Wireless sensor networks, Network lifetime, Artificial colony algorithm, Target coverage

1 引言

目标覆盖问题是无线传感器网络的基本问题。传感器节点是由电池供电的,不能被轻易地充电和更换。如何调度节点以实现目标的高效覆盖并延长网络寿命是一个亟需解决的问题。

许多学者对目标覆盖及网络寿命进行了研究。Mini 等^[1]通过给定的传感器节点与一个预先指定的检测范围确定最佳的覆盖位置,并且实现网络寿命最大化。Wu 等^[2]提出了有向传感网络目标覆盖的维护路由协议。Yu 等^[3]提出了一种连接目标 K -覆盖和分布式目标区域的算法,实现了区域覆盖和目标多覆盖要求。Mrutyunjay 等^[4]提出了一种避障目标调度算法,使得传感器节点覆盖中存在障碍的目标能与基站保持连接。Iqbal 等^[5]研究了传感器网络多目标优化部署问题。刘漳辉等^[6]设计了一种分布式目标覆盖算法,延长了目标覆盖时间。这些研究尽管实现了目标覆盖要求,但很少考虑到网络寿命要求。

人工蜂群算法是一种新的智能算法,已经成为一个比较受关注的课题。Akay 等^[7-8]研究了人工蜂群算法的约束优化问

题。Hashim 等^[9]研究了人工蜂群算法在无线传感器网络中的中继节点的优化部署。文献[8-10]研究了基于人工蜂群的混合路由协议并且使用该协议实现了网络寿命的最大化。Gao 等^[11]提出了一种基于改进搜索方程和正交学习的人工蜂群算法。

人工蜂群算法也逐渐用于传感器网络的研究,Ozturk 等^[13]使用人工蜂群算法来解决有向传感器网络中的动态部署问题。王生生等^[14]采用混沌鲑鱼效应改进人工蜂群算法,提高了算法性能。朱冰莲等^[15]提出了基于逻辑运算的离散人工蜂群算法。徐晓飞等^[16]提出了面向服务领域的人工蜂群算法范型。叶东毅等^[17]提出了解决最小属性约简问题的有效组合人工蜂群算法。丁旭等^[18]研究了粒子群在无线传感器网络中的目标覆盖问题。Li 等^[19]研究了基于有效自适应人工蜂群算法的协作频谱。Can 等^[20]采用混合离散人工蜂群算法解决了多目标模糊拆卸线平衡问题。在无线传感器网络能耗方面,Rajeev 等^[21]提出了基于多目标分式人工蜂群算法的无线传感器网络能量感知路由协议。Hadi 等^[22]研究了视觉传感器网络中的进化节点调度算法的能量有效面积覆盖。万少华等^[23]提出了无线传感器网络中高效能的 Bezier 曲线路由算法。

收稿日期:2017-06-19 返修日期:2017-09-05

范兴刚(1974-),男,博士,副教授,主要研究领域为无线传感器网络、物联网、大数据,E-mail: xgf@zjut.edu.cn(通信作者);刘涛(1992-),男,硕士生,主要研究领域为无线传感器网络,E-mail: 1979233042@qq.com;胡凤丹(1994-),女,硕士生,主要研究领域为无线传感器网络;蒿翔(1994-),男,主要研究领域为无线传感器网络。

本文研究多目标 Q-覆盖下的网络寿命增强,主要贡献如下:1)提出了基于目标 Q-覆盖的网络寿命模型;2)在二维和三维区域内,采用人工蜂群算法(Artificial Bee Colony Algorithm, ABC)实现节点的再部署,在实现目标覆盖的基础上,延长网络寿命。

本文第 2 节详细介绍并分析了全向无线传感网络的寿命;第 3 节详细介绍了基于人工蜂群算法(ABC)的传感器节点部署;第 4 节给出仿真结果;最后总结全文并提出下一步工作。

2 问题描述与定义

在给定区域中,随机部署 m 个传感器节点以监控 n 个目标,传感器集合为 $S = \{s_1, s_2, \dots, s_m\}$,目标集合为 $T = \{t_1, t_2, \dots, t_n\}$ 。研究目标覆盖问题之前,有如下假设:

- 1)采用 0-1 的节点感知模型,所有传感器感知半径为 r ;
- 2)重新部署节点不消耗节点能量;
- 3)采用唤醒-休眠机制,如果节点没有覆盖目标,则节点处于睡眠状态,不消耗能量;
- 4)节点可以与基站通信,通信能耗与距离有关,目标被覆盖的情况可以用覆盖矩阵来表示。

定义 1(覆盖矩阵) 以传感器节点 m 为行、目标 n 为列构建一个矩阵 M ,其中:

$$M_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{if } d(s_i, t_j) \leq r \\ 0, & \text{others} \end{cases} \quad (1)$$

$$d_i = \sqrt{(x_{s_i} - x_{t_j})^2 + (y_{s_i} - y_{t_j})^2} \quad (2)$$

$$d_i = \sqrt{(x_{s_i} - x_{t_j})^2 + (y_{s_i} - y_{t_j})^2 + (z_{s_i} - z_{t_j})^2} \quad (3)$$

式(1)表示,如果传感器节点 s_i ($1 \leq i \leq m$) 和目标 t_j ($1 \leq j \leq n$) 之间的欧氏距离小于或等于 r ,则说明目标 t_j 被节点 s_i 覆盖,覆盖矩阵中的相应元素为 1;若这个距离大于 r ,则说明目标 t_j 没有被节点 s_i 覆盖,覆盖矩阵中的相应元素为 0。 $d(s_i, t_j)$ 表示 s_i 和目标 t_j 之间的欧氏距离,在二维感知模型下,采用式(2),其中 x_{s_i} 和 x_{t_j} 分别代表节点和目标的 x 轴坐标; y_{s_i} 和 y_{t_j} 表示两者的 y 轴坐标;在三维感知模型下,采用式(3),其中 z_{s_i} 和 z_{t_j} 分别代表节点和目标的 z 轴坐标。

图 1 给出了二维感知模型下一组目标的覆盖情况。每个圆代表一个节点,目标用实心圆点表示。图中共有 8 个节点、9 个目标。一个关于传感器节点($m=8$)和目标节点($n=9$)的覆盖关系的 $m \times n$ 覆盖矩阵如图 2 所示。

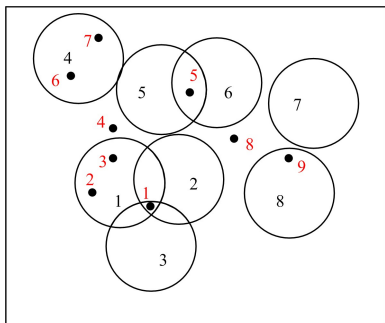


图 1 目标节点覆盖

Fig. 1 Target node coverage

	123456789
1	111000000
2	100000000
3	100000000
4	000001100
5	000010000
6	000010000
7	000000000
8	000000001

图 2 覆盖矩阵

Fig. 2 Coverage matrix

覆盖矩阵中, $M_{55} = 1$ 表示目标 5 被第 5 个节点覆盖。第 5 列有两个 1,表示目标 5 被 2 个节点覆盖。

定义 2(目标 Q-覆盖) 目标向量 $T = \{t_1, t_2, \dots, t_n\}$ 会被 $Q = \{q_1, q_2, \dots, q_n\}$ 个节点监测,这样 t_j 会被至少 q_j 个传感器节点监测,其中 $1 \leq j \leq n, 1 \leq q_j \leq m$ 。在覆盖矩阵中,如果第 j 列满足式(4),则第 j 个目标被 q_j 个节点覆盖。如果所有的目标都满足式(4),则称这个网络实现了 Q-覆盖。如图 1 所示,目标 2,3,6,7 属于 1-覆盖,目标 5 属于 2-覆盖,目标 1 属于 3-覆盖。

$$\sum_{i=1}^m M_{ij} \geq q_j \quad (4)$$

定义 3(网络寿命) 从所有的目标满足 Q-覆盖要求算起,直到有一个目标不再满足 Q-覆盖要求,这段网络运行时间则称为网络寿命,用 T 表示。如目标 1 满足 3-覆盖,直到目标 1 不满足 3-覆盖的这段运行时间为网络寿命。网络的生命周期与网络能耗密切相关,网络能耗即网络中单个节点在每一轮(节点发送和接收数据的时间)所消耗的能量,因此,本文通过建立能耗模型,确定网络生命周期。

本文主要研究如下问题:在给定区域内,随机部署 m 个初始能量分别为 $(E_1, E_2, \dots, E_j, \dots, E_m)$ 的传感器节点,监控 n 个目标,找到一个节点调度方法,满足以下条件:

- 1)网络寿命 T 最大;
- 2) $\sum_{i=1}^m M_{ij} \geq q_j$ 。

3 基于人工蜂群算法的网络寿命增强

3.1 理论分析

为了延长网络寿命,需要解决人工蜂群算法中群内数据传输与群间数据传输的问题。由于人工蜂群算法所选取的节点可以通过单跳或者多跳连通,形成一个连通集,因此,节点接收到信号后,首先依据 Dijkstra 路由算法建立该节点到此连通集内节点的路由,然后再将感知的数据以多跳传输的方式发送给其他节点。具体路由协议参照 Dijkstra 网络路由协议。

网络中节点的能耗主要由感知能耗和传输能耗组成。第 i 个节点监测一个目标在单位时间内产生的数据为 L bit,生成 q bit 数据所消耗的能量为 E_{rx} ,如式(5)所示。传输 q bit 到距离为 d 的接收方所消耗的能量为 E_{tx} ,则网络总能耗如式(6)所示。

$$E_{rx}(i) = \sum_{j=1}^n M_{ij} qe \quad (5)$$

$$E_{tx}(i) = \sum_{j=1}^n M_{ij} q(e + \epsilon d^2) \quad (6)$$

其中, $\sum_{j=1}^n M_{ij}$ 表示第 i ($1 \leq i \leq m$) 个节点覆盖的目标个数; e 表

示每处理1 bit数据所消耗的能量; $\epsilon l'$ 表示不同信道模型下放大器的功耗; d 表示感知节点与基站之间的欧氏距离; σ 表示通信信号损耗指数,为大于0的常数。

定理1 m 个初始能量分别为 $(E_1, E_2, \dots, E_i, \dots, E_m)$ 的传感器节点,监控 n 个目标,则整个网络的寿命可用式(7)表示。

$$T = \min_{i \in [1, m]} \frac{E_i}{E_p(i)} \quad (7)$$

证明:根据节点和目标的距离关系,得到覆盖矩阵 M 。

单个节点消耗能量为节点接收和发送消耗能量之和,根据式(5)和式(6)可以得到节点能量消耗速度,如式(8)所示:

$$E_p(i) = E_{rx}(i) + E_{tx}(i) \quad (8)$$

每个节点的寿命为节点初始能量与能量消耗速度的比值。根据定义3,网络寿命由寿命最短的节点决定,即式(7)。证毕。

根据式(7),网络寿命与节点分布和目标分布有关。单个节点覆盖的目标越多,产生的数据越多,能耗越大,网络寿命就越短。假设目标位置确定以后不再改变,我们对随机部署的节点拓扑进行重部署,以延长网络寿命。

人工蜂群算法主要由蜜源、采蜜蜂、观察蜂、侦查蜂组成。蜜源即为待求优化问题的可行解^[8-9]。采蜜蜂、旁观蜂和侦查蜂3种蜜蜂总数为 b ,其中采蜜蜂数量为 b_c ,观察蜂数量为 b_o (初始设定 $b_c = b_o$)。在传感器网络里,一个蜜蜂就是所有节点的位置向量。例如,在二维感知模型下, $X_a = \{(x_1, y_1), (x_2, y_2), \dots, (x_m, y_m)\}$ 就是一个蜜蜂($1 \leq a \leq b$)。以式(7)定义的网络寿命为适应度函数,适应度值高的成为采蜜蜂,适应度值低的成为观察蜂。采蜜蜂在附近搜索更优的蜂源,观察蜂在全局搜寻最优的蜂源。若采蜜蜂、观察蜂搜寻的次数(蜜源停留)超过限定次数,却仍然没有找到更高适应度的蜜源,则放弃该蜜源,转化为侦查蜂,并随机产生一个新的蜜源。这是基于人工蜂群算法的目标覆盖增强的基本过程。当出现死亡节点时,重新调用此算法,此时一个蜜蜂就是一个除去死亡节点的新的位置向量。其伪代码如算法1所示。

算法1 人工蜂群算法

Input: N nodes, m target, Limit, Ns, bar

Output: optimal deployment of N nodes, coverage ratio, energy consumption Gets ns deployments of N node in random; Each of deployments is defined as a bee. Calculates fitness of Ns bees and records best bees Bbest; Half of Ns bees are defined as employed bees, Another half of Ns is defined as onlookers

Cycle=0;

Repeat

For each of employed bees

j=0;

While

Employed bees looking for new food sources

According to equation(11);

Calculates fitness of these 2 food sources;

Saving better food source Fb according to equation(12)

j++;

If j>limit

Food source is still initial;

Employed bees becomes scout;

Renew this bees in random deployment of N nodes,

End

End while

IF Bbest <= Fb

Bbest=Fb

END

End For

For each onlooker bees

Each onlooker select food source using roulette

Wheel selection according to equation(13);

End

Until Cylce=maxnumcylce

3.2 算法具体过程

基于人工蜂群算法的目标覆盖增强的详细步骤如下。

Step1 初始化

在给定的区域内,针对 m 个传感器节点监控 n 个目标,设定蜜蜂总数为 b (一般定义采蜜蜂和观察蜂分别为 $b/2$);最大迭代次数为 $maxCycle$,每次迭代中都有一次全局搜索和一次局部搜索;蜜源停留最大限制搜索次数为 $Limit$,局部搜索 $Limit$ 次,若蜜源未更新,则将采蜜蜂、观察蜂转化为侦查蜂。

m 个传感器节点随机生成 b 个部署方案 (X_1, X_2, \dots, X_b) ,具体地,随机产生的随机解 X_i 如式(9)所示:

$$X_i(0) = X_{min} + rand(0,1)(X_{max} - X_{min}) \quad (9)$$

各分量如式(10)所示:

$$X_i^j = X_i^j + rand(0,1)(X_{max}^j - X_{min}^j) \quad (10)$$

其中, $j \in [1, 2, \dots, m]$ 。

Step2 生成蜂群

计算 b 个部署方案的覆盖矩阵,计算每个部署方案的网络寿命,并将排名前一半的部署方案作为初始的采蜜蜂种群 $B_c(0)$,将剩下的部署方案作为初始的观察蜂种群 $B_o(0)$ 。

Step3 采蜜蜂局部搜索新的部署方案

Step3.1 采蜜蜂搜索新的位置

对于第 l 步的采蜜蜂 $B_c(l)$,在当前位置向量附近领域进行新的位置搜索,搜索公式为:

$$new_X_i^j = X_i^j + rand() \cdot (X_i^k - X_i^j) \quad (11)$$

其中, $j \in [1, 2, \dots, m]$, $k \in [1, 2, \dots, b_c]$ 。 Q 和 j 均随机生成, $rand()$ 为 $[-1, 1]$ 之间的随机数,该搜索是个体空间到个体空间的随机映射并且其概率分布显然只与当前的位置状态 $X_i(l)$ 有关,而与之之前的位置状态及时刻无关。

Step3.2 采蜜蜂选择更优的部署

在采蜜蜂搜索到的新位置向量 new_X_i 和原位置向量 X_i 中,采用贪婪选择算法选取具有更优适应度值的位置向量保留给下一代种群,其概率分布如式(12)所示:

$$P(next = new_X_i) = \begin{cases} 1, & \text{if } f(new_X_i) \geq f(X_i) \\ 0, & \text{if } f(new_X_i) < f(X_i) \end{cases} \quad (12)$$

贪婪选择算法保证了种群能够保留精英个体,使得进化方向不会后退。

Step4 观察蜂全局搜索新的部署方案

各观察蜂依照采蜜蜂种群适应度值的大小选择一个采蜜蜂,并在其领域内同样进行新位置的搜索。该选择算法是在

一个采蜜蜂种群内选择一个个体,一个蜜源由观察蜂选择的概率表示:

$$P_i = \frac{fit_i}{\sum_{i=1}^b fit_i} \quad (13)$$

其中, fit_i 是第 i 个解对应的适应度函数值,即式(7)所得到的网络寿命,它与第 i 个位置的蜜源花蜜量成正比; N 为蜜源的数量,等于采蜜蜂的数目。采蜜蜂与观察蜂通过这种方式交换信息。

Step5 更新种群

每个采蜜蜂和每个观察蜂更新自己,并记下种群最终更新后达到的最优适应度值以及相应的参数。

Step6 采蜜蜂变成侦查蜂

如果某只采蜜蜂的搜索次数记录变量 l 到达阈值 $Limit$ 但仍然没有找到更优的节点部署方案,则重新初始化该采蜜蜂的位置:

$$X_i(0) = X_{min} + rand(0,1)(X_{max} - X_{min}) \quad (14)$$

这一步主要是为了增强种群的多样性,防止种群陷入局部最优值,并且可以提高种群搜索到最优值的概率。

Step7 输出最优部署方案及最优适应度值

若满足停止准则,则停止计算并输出最优适应度值以及相应的参数,否则转向 Step2。

初始时刻,所有蜜蜂没有任何先验知识,其角色都是侦查蜂,全局随机搜索蜜源,并根据蜜源情况得出花蜜量,即蜜源的收益度。根据所有蜜蜂(皆为侦查蜂角色)的蜜源收益度的相对大小,蜜蜂转化为采蜜蜂和观察蜂两种,收益度排名相对靠前的成为采蜜蜂,收益度相对靠后的成为观察蜂。观察蜂根据适应度值计算采蜜蜂被观察蜂跟随的概率。适应度值越高,被跟随的概率越高。采蜜蜂越多,观察蜂就越少,搜索速度就越快;采蜜蜂越少,观察蜂就越多,搜索速度就越慢,算法逐渐趋于稳定。

一个蜜源代表一个采蜜蜂,采蜜蜂的变化预示着蜜源的变化。一个蜜源也代表一个节点的部署情况。

对于每只观察蜂,按照与蜜源适应度值成正比的概率,选择一个蜜源,并在其附近进行采蜜,寻找其他蜜源,同 Step3 中的采蜜蜂一样,若其收益度更高,则观察蜂转换为蜜蜂,并取代原蜜源位置。

若采蜜蜂、观察蜂的搜寻次数(蜜源停留)超过限定次数 $Limit$,却仍然没有找到更高适应度的蜜源,则放弃该蜜源,同时该蜜蜂的角色由采蜜蜂或者观察蜂转化为侦查蜂,并随机产生一个新的蜜源。

4 仿真结果

为了验证人工蜂群算法传感器部署对于网络寿命提升的有效性,在 Matlab 仿真下对粒子群算法(Particle Swarm Optimization, PSO)部署和人工蜂群算法(ABC)优化部署进行比较。采用二维感知模型和三维感知模型,并分别部署在默认值 $500\text{m} \times 500\text{m}$ 的正方形区域和默认值 $500\text{m} \times 500\text{m} \times 500\text{m}$ 的正方体区域内。仿真实验主要分析传感器半径、传感器数目以及 Q 值大小等因素对网络寿命的影响,仿真实验参数的取值如表 1 所列。

表 1 仿真实验参数

Table 1 Experimental parameters

参数	取值
节点个数 N	300
节点初始能量 E/J	100
传感器半径 r/m	75
单位时间节点产生数据 L/bit	100
粒子群个数	40
人工蜂群个数	40
放大器功放能量 $\epsilon/(\text{pJ}/\text{bit m}^2)$	100
路径损耗指数 σ	2

4.1 人工蜂群算法的性能分析

4.1.1 搜索次数的影响

在传感器网络中,搜索次数会影响网络的覆盖能力,进而影响其网络寿命。图 3 和图 4 分别在二维和三维感知模型下给出了 ABC 部署网络($Q=1, Q=2, Q=3$)在不同搜索次数下网络寿命的对比结果。实验结果取 50 次实验的平均值。

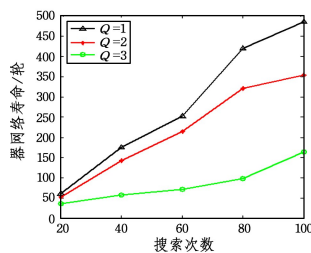


图 3 二维模型搜索次数对比

Fig. 3 Comparison of search time of two-dimensional model

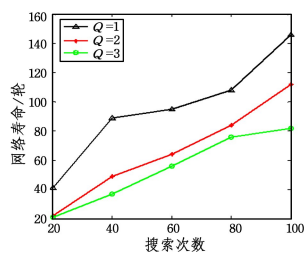


图 4 三维模型搜索次数对比

Fig. 4 Comparison of search time of three-dimensional model

在图 3 和图 4 中,横坐标代表搜索次数,随着网络的不断运行,搜索次数在 ABC 部署下不断增加;纵坐标代表其对应的网络寿命。可以看到,不断增加搜索次数,其网络寿命随之延长。在网络中,增加搜索次数可以提高其网络 Q 值的覆盖能力,进而延长 Q 值网络的网络寿命。在二维 Q 值网络中,当搜索次数为 60 时,相比于 $Q=2$ 和 $Q=3$ 的网络, Q 值为 1 的网络寿命分别延长了 56 轮和 212 轮;在搜索次数为 100 时,其网络寿命达到最大,这说明 ABC 部署能增强网络覆盖能力。

4.1.2 分布区域的影响

目标分布和节点分布会影响网络覆盖范围,进而影响其网络寿命。分布区域越小,目标分布越集中,网络寿命就越长。图 5 和图 6 讨论了在二维和三维感知模型下,随着分布区域的变化,ABC 部署网络的网络寿命的对比结果。实验结果取 50 次实验的平均值。

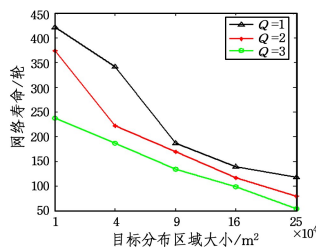


图 5 二维模型在不同区域大小下的网络寿命

Fig. 5 Comparison of network lifetime of two-dimensional model under different distribution region sizes

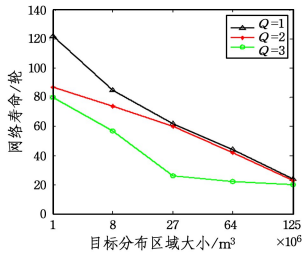


图6 三维模型在不同区域大小下网络寿命

Fig. 6 Comparison of network lifetime of three-dimensional model under different distribution region sizes

在图5和图6中,随着目标分布区域不断增大,其网络寿命随之减小。目标分布区的增大导致网络覆盖范围增大,节点之间的数据传输距离增大,因此网络的平均能量消耗增大,网络寿命随之减小。相比于 $Q=2$ 和 $Q=3$ 的网络, $Q=1$ 的网络寿命减小得更少,这是因为 $Q=1$ 只需要满足1-覆盖,网络节点之间数据传输更为容易,进而说明了ABC部署提高了网络覆盖能力。

4.2 不同覆盖增强算法的对比

4.2.1 传感器感知半径的影响

传感器感知半径的变化会影响到节点间的数据传输距离,进而影响其网络寿命。本文在ABC部署、随机部署和PSO部署下对比分析网络寿命。图7和图8分别给出了二维和三维感知模型下的网络寿命。实验结果取50次实验的平均值。

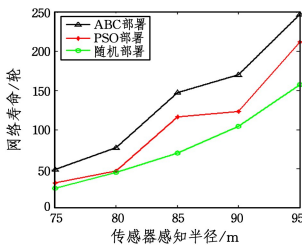


图7 二维模型传感器感知半径对比

Fig. 7 Comparison of sensing radius of two-dimensional model

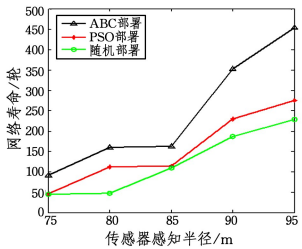


图8 三维模型随传感器感知半径对比

Fig. 8 Comparison of sensing radius of three-dimensional model

图7和图8表明,节点随机部署后,经过粒子群算法和人工蜂群算法的再部署,网络寿命显著增大。相比粒子群算法,人工蜂群算法(ABC)将二维网络寿命提高了25.3%,将三维网络寿命提高了30.5%。仿真结果还表明,随着传感器感知半径 r 的增大,网络寿命显著增大。

4.2.2 传感器数量的影响

传感器数量会影响网络目标分布情况,进而影响网络寿

命。本文在ABC部署、随机部署和PSO部署下对比分析其网络寿命。图9和图10分别给出了二维和三维感知模型下的网络寿命。实验结果取50次实验的平均值。

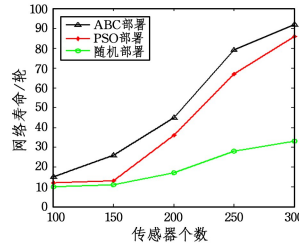


Fig. 9 Comparison of number of sensors of two-dimensional model

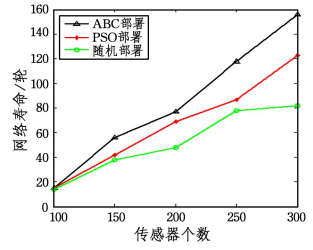


Fig. 10 Comparison of number of sensors of three-dimensional model

仿真结果表明,节点随机部署后,经过粒子群算法和人工蜂群算法的再部署,网络寿命显著增大。相比粒子群算法,人工蜂群算法(ABC)将二维网络寿命提高了26.7%,将三维网络寿命提高了29.1%。仿真结果还表明,随着传感器数量的增多,网络寿命显著增大。

4.2.3 Q值的影响

Q值的大小会影响传感器节点监测目标的情况,进而影响其网络寿命。本文在ABC部署、随机部署、PSO部署下对比分析其网络寿命。图11和图12分别给出二维和三维感知模型下的网络寿命,实验结果取50次实验的平均值。

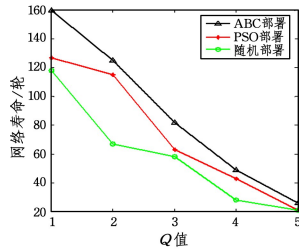


图11 二维模型网络寿命随Q值变化

Fig. 11 Lifetime of two-dimensional model with change of Q value

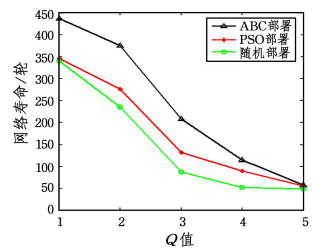


图12 三维模型网络寿命随Q值变化

Fig. 12 Lifetime of three-dimensional model with change of Q value

仿真结果表明,节点随机部署后,经过粒子群算法和人工蜂群算法的再部署,网络寿命显著增大。相比粒子群算法,人工蜂群算法(ABC)将二维网络寿命提高了12.4%,将三维网络寿命提高了30.1%。仿真结果还表明,随着Q值的增大,网络寿命显著下降。与粒子群算法的优化部署方法相比,基于人工蜂群算法的优化部署能够有效提高网络寿命。

结束语 本文采用人工蜂群算法来高效部署传感器节点,在多目标 Q -覆盖下有效监控目标,同时实现了网络寿命最大化。仿真实验的结果表明,与粒子群算法的优化部署方法相比,基于人工蜂群算法的优化部署能够有效延长网络寿命。

如何在建立高效栅栏覆盖的同时实现网络寿命最大化,是下一步要研究的内容。

参 考 文 献

- [1] MINI S,UDGATA S K,SABAT S L. Sensor deployment and scheduling for target coverage problem in wireless sensor networks[J]. *IEEE Sensors Journal*,2014,14(3):636-644.
- [2] WU X M,WANG Y L,HU Y F. An IABC based route maintaining protocol in mobile wireless sensor networks[C]//2015 IEEE 16th International Conference on Communication Technology. 2015:498-503.
- [3] YU J G,CHEN Y,MA L,et al. On Connected Target K-Coverage in Heterogeneous Wireless Sensor Networks[J]. *Sensors*,2016,16(1):1-21.
- [4] MRUTYUNJAY R,RAJARSHI R. Self-Deployment of Mobile Sensors to Achieve Target Coverage in the Presence of Obstacles[J]. *IEEE Sensors Journal*,2016,16(14):5837-5842.
- [5] IQBAL M,NAEEM M,ANPALAGAN A,et al. Multi-objective optimization in sensor networks: Optimization classification, applications and solution approaches [J]. *Computer Networks*,2016,99(C):134-161.
- [6] LIU Z H,CHEN K L,GUO W Z,et al. A distributed algorithm for target coverage in wireless sensor networks with adjustable sensing range[J]. *Chinese Journal of Sensors and Actuators*,2014,27(8):1112-1119. (in Chinese)
刘漳辉,陈昆龙,郭文忠,等. 多感知范围无线传感器网络中一种分布式目标覆盖算法[J]. *传感技术学报*,2014,27(8):1112-1119.
- [7] BAHRIYE A,DERVIS K. A modified Artificial Bee Colony algorithm for real-parameter optimization[J]. *Information Sciences*,2012,192:120-142.
- [8] AKAY B,KARABOGA D. Artificial bee colony algorithm for large-scale problems and engineering design optimization[J]. *Journal of Intelligent Manufacturing*,2012,23(4):1001-1014.
- [9] HASHIM H A,AYINDE B O,ABIDO M A. Optimal placement of relay nodes in wireless sensor network using artificial bee colony algorithm[J]. *Journal of Network and Computer Applications*,2016,64(C):239-248.
- [10] KHUSHBOO K,DANIEL A K. Section based hybrid routing protocol for WSN using artificial bee colony[C]//2015 International Conference on Advance in Computer Engineering and Applications. Ghaziabad,India,2015:887-892.
- [11] GAO W F,SAN Y L,HUANG L L. A novel artificial bee colony algorithm based on modified search equation and orthogonal learning[J]. *IEEE Transactions on Cybernetics*,2014,43(3):1011-1024.
- [12] CHEN R C,CHANG W L,SHIEH C F,et al. Using Hybrid Artificial Bee Colony Algorithm to Extend Wireless Sensor Network Lifetime[C]//2012 Third International Conference on Innovations in Bio-Inspired Computing and Applications (IBICA). 2012:156-161.
- [13] OZTURK C,KARABOGA D,GORKEMLI B. Probabilistic dynamic deployment of wireless sensor networks by artificial bee colony algorithm[J]. *Sensors*,2011,11(6):6056-6065.
- [14] WANG S S,YANG J J,CHAI S. Artificial bee colony algorithm with chaotic catfish effect and its application[J]. *Acta Elecyronica Sinica*,2014,42(9):1791-1737. (in Chinese)
王生生,杨娟娟,柴胜. 基于混沌鲶鱼效应的人工蜂群算法及应用[J]. *电子学报*,2014,42(9):1791-1737.
- [15] ZHU B L,ZHU F F,SU H H,et al. Discrete artificial bee colony algorithm based on logic operation[J]. *Acta Electronica Sinica*,2015,43(11):2161-2166. (in Chinese)
朱冰莲,朱方方,苏红宏,等. 基于逻辑运算的离散人工蜂群算法[J]. *电子学报*,2015,43(11):2161-2166.
- [16] XU X F,LIU Z Z,WANG Z J,et al. S-ABC—Service Domain-Oriented Artificial Bee Colony Algorithm Paradigm[J]. *Chinese Journal of Computers*,2015,38(11):2301-2317. (in Chinese)
徐晓飞,刘志中,王志杰,等. S-ABC—面向服务领域的人工蜂群算法范型[J]. *计算机学报*,2015,38(11):2301-2317.
- [17] YE D Y,CHEN Z J. An Efficient Combinatorial Artificial Bee Colony Algorithm for Solving Minimum Attribute Reduction Problem[J]. *Acta Electronica Sinica*,2015,43(5):1014-1020. (in Chinese)
叶东毅,陈昭炯. 最小属性约简问题的一个有效的组合人工蜂群算法[J]. *电子学报*,2015,43(5):1014-1020.
- [18] DING X,WU X B,HUANG C. Area Coverage Problem Based on Improved PSO Algorithm and Feature Point Set in Wireless Sensor Networks[J]. *Acta Electronica Sinica*,2016,44(4):967-973. (in Chinese)
丁旭,吴晓霞,黄成. 基于改进粒子群算法和特征点集的无线传感器网络覆盖问题研究[J]. *电子学报*,2016,44(4):967-973.
- [19] LI X B,LU L,LIU L,et al. Cooperative spectrum sensing based on an efficient adaptive artificial bee colony algorithm[J]. *Soft Computing*,2015,19(3):597-607.
- [20] KALAYCI C B,HANCILAR A,CUNGOR A,et al. Multi-objective fuzzy disassembly line balancing using a hybrid discrete artificial bee colony algorithm [J]. *Journal of Manufacturing Systems*,2015,37(3):672-682.
- [21] KUMAR R,KUMAR D. Multi-objective fractional artificial bee colony algorithm to energy aware routing protocol in wireless sensor network [J]. *Wireless Networks*,2016,22(5):1461-1474.
- [22] AGHDASI H S,ABBASPOUR M. Energy efficient area coverage by evolutionary camera node scheduling algorithms in visual sensor networks[J]. *Soft Computing*,2016,20(3):1191-1202.
- [23] WAN S H,ZHANG Y. An Energy-Efficient Routing Algorithm Based on Bezier Curve in Wireless Sensors Networks[J]. *Journal of Computer Research and Development*,2016,53(7):1532-1543. (in Chinese)
万少华,张引. 无线传感器网络中高效率的 Bezier 曲线路由算法[J]. *计算机研究与发展*,2016,53(7):1532-1543.