

基于混沌人工蜂群算法的无线传感器网络覆盖优化

文政颖, 翟红生

(河南工程学院 计算机学院, 郑州 451191)

摘要: 针对无线传感器网络随机播撒的节点严重冗余并且导致网络寿命短、覆盖效率不高等缺陷, 提出了一种混沌人工蜂群算法的无线传感器网络覆盖优化算法; 将节点的利用率和覆盖率作为优化目标函数, 建立与之对应的数学模型, 之后用混沌人工蜂群算法改善人工蜂群算法陷入局部最优、收敛慢等问题, 提高算法收敛速度和精度, 对节点覆盖模型进行求解, 得出网络最优覆盖方案; 通过实验仿真, 提出的算法提高了无线传感器网络的覆盖率, 覆盖率可达 93.48% 以上, 减少了网络节点冗余, 提高了网络寿命, 降低了网络成本。

关键词: 无线传感器网络; 覆盖优化; 混沌; 人工鱼群算法; 网络生存时间

Coverage Optimization of Wireless Sensor Networks Base on Chaotic Artificial Bee Colony Algorithm

Wen Zhengying, Zhai Hongsheng

(School of Computer, Henan Institute of Engineering, Zhengzhou 451191, China)

Abstract: In view of the wireless sensor network nodes randomly and lead to serious redundancy network life is short, covering the efficiency of a defect, the coverage algorithm in wireless sensor network is a kind of chaotic artificial bee colony algorithm. In this paper the utilization of nodes and coverage rate as the optimization objective function, establish corresponding mathematical model, then use chaotic artificial bee colony algorithm improved artificial bee colony algorithm into a local optimum, the slow convergence problem, enhances the convergence speed and precision, to solve the node coverage model, obtains the optimal network coverage scheme. Through simulation, the proposed algorithm can improve the wireless sensor network coverage rate, Coverage can reach more than 93.48%, reduce network node redundancy, improve the network lifetime, reduce the cost of the network.

Key words: wireless sensor networks; coverage optimization; chaos; AFSA; network lifetime

0 引言

目前, 针对 WSN 的覆盖问题已经有许多学者进行了大量的研究。最基本的覆盖优化算法基于图论和探测, 但是这些算法都存在一定的缺陷。图论算法是假设在 WSN 的监控区域内任何一点都能找到一个传感器节点, 这显然与实际情况不符合; 探测算法不能确保网络的全面覆盖, 只适合规模不大的 WSN^[1]。随着科技进步, 近年来, 对启发式搜索算法的研究不断成熟, 由于该算法具有处理能力强、搜索速度快等优点, 专家们将其用于 WSN 覆盖问题的解决中, 从而出现了基于蚁群算法、遗传算法、粒子群优化算法等的 WSN 覆盖优化算法^[2]。以上算法在一定程度上节约了网络能耗, 提高了网络覆盖率, 进而改善 WSN 的整体性能, 缩小了它们在网络覆盖优化方面的应用范围, 并且会导致网络覆盖率低, 能量得不到有效利用, 导致整个网络生存周期太短^[3]。

1 WSN 覆盖模型

1.1 问题描述

在 WSN 中, 要实现较高的无线网络传感器节点覆盖率从

而减少监测盲点的出现, 就必须加大无线网络传感器节点的分布密度。但是一旦无线网络传感器节点的分布密度太大, 势必产生冗余节点, 甚至导致数据传输发送冲突, 使节点能量过多消耗, 最终使得 WSN 的生存周期过短^[4]。就单个传感器节点来说, 如果该节点的监测区域可以被其他传感器节点覆盖, 那么这个节点就被视为冗余节点, 当其他传感器节点工作时, 该节点可以处于休眠状态。通过相应的算法判断出冗余节点, 在保证网络覆盖率的条件下, 使 WSN 中的工作节点最少, 降低整体网络的能量消耗^[5]。因此, 在 WSN 的初始化阶段, 工作节点的数目和节点能量的消耗需要结合考虑, 这就出现了工作节点数目和网络覆盖率之间的矛盾^[6]。

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

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

$$f_2 = \frac{|S| - |S^i|}{|S|} \quad (2)$$

式中, $|S|$ 为部署传感器节点总数, $|S^i|$ 为工作传感器节点数^[7]。

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

收稿日期: 2014-01-18; 修回日期: 2014-03-08。

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(61142010); 河南省科技计划项目(122300410174)。

作者简介: 文政颖(1979-), 女, 河南南召县人, 硕士, 讲师, 主要从事计算机应用、数据库技术等方向的研究。

$$E_k = \frac{\sum_{i=1}^{m_k} E_{ki}}{m_k} \quad (3)$$

式中, 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。

$$E_a = \frac{\max(E_k) - \min(E_k)}{\frac{1}{K} \sum_{k=1}^K E_k} \quad (4)$$

E_a 反应网络能耗均衡度, 其值越大表示能耗越不均匀, 反之能耗越均匀^[8]。

由于无线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需求的基础上, 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

$$f = w_1 f_1 + w_2 f_2 + w_3 (1 - f_3) \quad (5)$$

式中, 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, 采用人工鱼群算法进行求解。

2 无线传感器网络覆盖优化算法

2.1 混沌人工蜂群算法

人工蜂群算法 (Artificial Bee Colony Algorithm, ABC) 属于一种元启发式智能算法, 是一种非数值计算的组合优化算法。人工蜂群算法虽然算法简单, 但易陷入局部极值点, 优化的后期收敛速率慢。由于混沌运动具有遍历性、对初始条件的敏感性、随机性等特点, 为了提高蜂群搜索的遍历性和种群的多样性, 本文将混沌思想加入人工蜂群算法中, 从而提高人工蜂群算法的收敛速度和精度, 改善算法摆脱局部极值点的能力。由于 Logistic 映射较其他混沌迭代映射计算量小、使用方便, 用其来产生混沌序列如:

$$z_{t+1} = \delta z_t (1 - z_t) \quad (6)$$

式中, δ 为控制参量, 取 $\delta = 4$, 设 $0 \leq z_0 \leq 1$, 式 (6) 完全处于混沌状态, 并可由此迭代出一个确定的时间序列。

本文混沌融入人工蜂群算法, 基本思想主要体现在以下两方面:

(1) 蜂群的位置采用混沌序列初始化, 既不改变初始化时位置所具有的随机性, 又提高了搜索的遍历性和蜂群的多样性, 以初始群体为样本, 从中择优生成初始群体。

(2) 在当前每个观察蜂和采蜜蜂搜索到的最优位置的基础上产生混沌序列, 从而实现领域小范围的随机搜索, 并且在迭代中产生局部最优解的众多领域点, 由此促进最优解的搜寻。

2.2 基于 CABC 的 WSN 覆盖优化步骤

基于混沌人工蜂群算法的 WSN 覆盖优化流程如图 1 所示。根据式 (5) 得到优化后的目标函数, 结合改进的混沌人工蜂群算法, 具体优化步骤如下:

- (1) 参数初始化, 如维数、种群数、最高循环代数、阈值等。其中观察蜂和采蜜蜂各占一半, 侦查蜂设为 1 个;
- (2) 产生 n 个初始解, 从而形成初始蜂群;
- (3) 计算起始覆盖率;
- (4) 更新节点 (蜜源) 位置;
- (5) 计算更新后节点的覆盖率 (适应度值), 与当前值比较

保留相对优质节点值;

(6) 以当前蜜源为局部最优解, 并记忆;

(7) 循环次数加 1;

(8) 如果终止条件满足 (一般为达到目标适应度值或最大循环代数) 则终止, 进而返回最佳适应度值, 则返回步骤 (2) 继续进行。

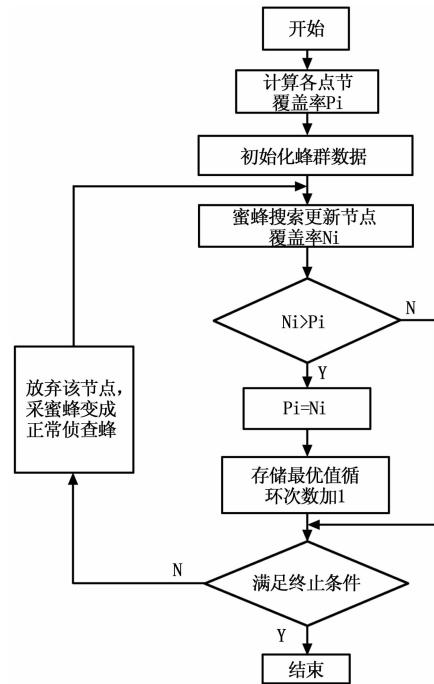


图 1 基于混沌人工蜂群算法的覆盖优化流程图

3 仿真实验

假设无线传感器网络监测区域为 $100 \text{ m} \times 100 \text{ m}$ 的正方形, 在这个区域内随机放置 50 个传感器节点, 每个传感器节点的感知距离为 10 m, 通信距离为 20 m, 传感器节点的初始能量为 0.5 J, 所有仿真都在主频 2.5 GHz 的 Windows 操作系统下的 Matlab2009 平台基础上进行仿真实验。

首先采用本文提出的基于混沌人工蜂群算法的无线传感器网络覆盖优化算法对传感器节点覆盖方案进行求解, 最后得到无线传感器网络节点的覆盖效果如图 2 所示, 而随机播撒的传感器节点的覆盖效果如图 3 所示。从图 2 中我们可以看出, 本文提出的算法无线传感器网络节点部署比较均匀, 节点之间的距离和冗余程度都较小, 节点的利用率都在 65% 以上, 平均覆盖率达到 90% 以上。通过仿真结果可以看出, 基于混沌人工蜂群算法的无线传感器网络覆盖优化算法能够很好地实现无线传感器网络节点的覆盖优化目标, 是一种有效地无线传感器网络覆盖优化算法, 可以提高传感器网络的覆盖效率。

为了更好地说明本文算法的优点, 在无线传感器网络应用中, 一般传感器节点是低成本低功耗和能量有限, 因此从应用性能角度来说, 我们主要考虑传感网网络的覆盖程度、覆盖效率两方面的性能。下面对鱼群算法和本文提出的算法以及随机播撒 3 种方法, 从覆盖程度、覆盖效率两方面进行比较。为了更好地研究本文算法的性能和使用范围, 我们将不同节点数目下 3 种算法进行性能分析, 对每种算法的性能进行 100 次试验,

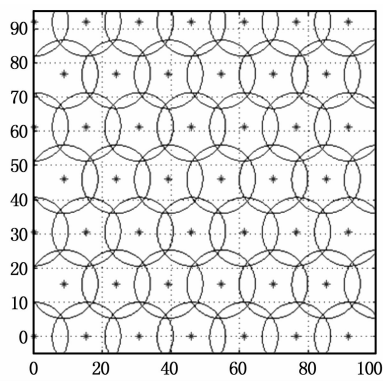


图 2 混沌蜂群算法的最优方案节点覆盖

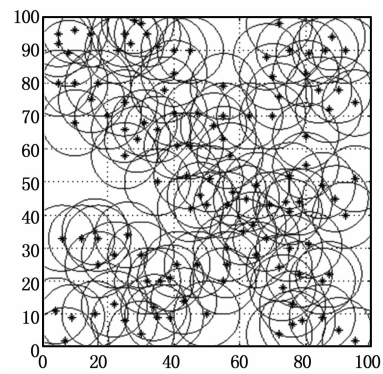


图 3 随机播撒传感器节点分布情况

性能取其平均值。

(1) 覆盖程度。网络的覆盖程度反映了区域监测的完整性。3 种算法下它们的覆盖程度与节点之间的关系如图 4 所示。在节点个数较少时, 鱼群算法和本文提出的算法覆盖相差不多, 但是比随机播撒的效果好些, 随着节点密度的逐渐增大, 鱼群算法和本文提出的算法覆盖程度同时在慢慢增加。当节点数目达到理论上完全覆盖的 60% 之后, 本文提出的算法比鱼群算法具有更好的覆盖程度, 这主要归功于本文提出的算法具有更好的边界限制和节点之间具有更合理的距离。当无线传感器网络节点达到一定程度后, 本文提出的算法覆盖区域可以达到 98%, 并保持覆盖程度稳定, 而在相同的条件下鱼群算法和随机播撒对网络的覆盖程度改进的效果不是很大, 只达到 92%。主要的原因在于本文提出的算法在覆盖算法初始模型的构建时, 能够有效优化网络覆盖模型, 相对于随机播撒和人工鱼群算法, 本文算法在网络最优覆盖方面得到了很大改进。

(2) 覆盖效率。覆盖效率一般是指网络覆盖的区域大小与在覆盖面下节点的覆盖范围的和值的比值。覆盖效率反应了节点的利用情况、在无线传感器网络中, 节点的覆盖效率越高则利用率也越高。图 5 给出了随机播撒、鱼群算法和本文提出的算法在不同节点数目情况下的覆盖效率进行了仿真对比。从仿真结果来看, 随着节点数目的增加, 随机播撒、鱼群算法和本文提出的算法 3 种覆盖方式下节点的覆盖效率呈现出逐次下降的趋势。这个主要的原因在于节点越密集, 那么节点的覆盖范围重叠的部分就越多, 从而导致网络的覆盖效率逐次下降。从曲线走势可以看出, 鱼群算法的覆盖效率在节点个数不同的

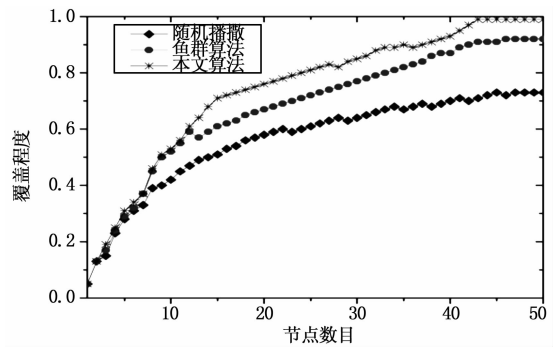


图 4 网络覆盖程度与节点数目的关系

情况下都比随机播撒的效率, 而本文提出的算法比鱼群算法高, 因为本文提出的算法是以最大覆盖效率模型为算法的设计基础的。本文算法具有较高的利用率, 这对资源有限的无线传感器网络来说, 是一个非常不错的选择。

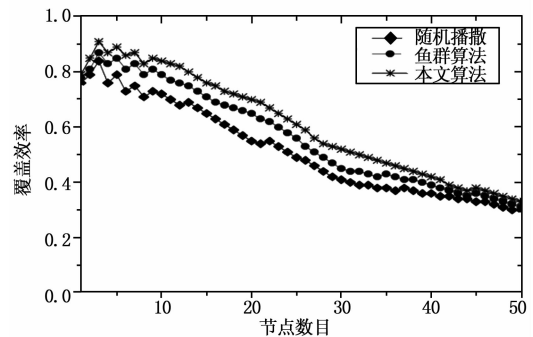


图 5 网络覆盖效率与节点数目的关系

为了更好地体现本文提出的算法的优越性能, 本文还进行了常用的智能算法优化网络覆盖数学模型的对比实验, 在 MATLAB2009 平台上对遗传算法、鱼群算法、粒子群算法、蜂群算法和本文提出的混沌蜂群算法优化的覆盖率进行对比, 5 种算法的仿真结果如图 6 所示。

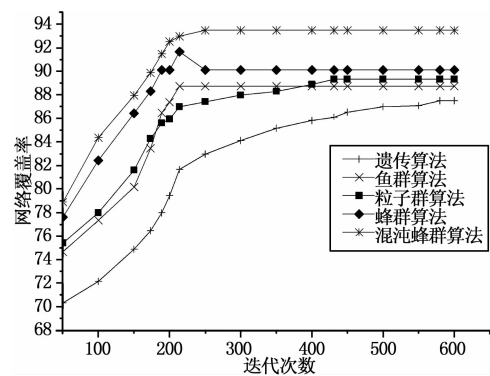


图 6 5 种算法的覆盖率对比

图 6 给出了 5 种智能算法在无线传感器网络覆盖优化中算法的迭代次数与网络覆盖率的关系, 从图 6 中可以看出, 在一定的迭代次数中, 本文提出的混沌人工蜂群算法覆盖率最高, 最高覆盖率可达 93.48% 以上, 在同一迭代次数下, 这五种智能算法的覆盖率从低到高的循序为遗传算法、人工鱼群算法、粒子群算法、人工蜂群算法和本文提出的混沌人工蜂群算法。本文提出的算法覆盖率大大提高的同时, 它消耗的能量也最

少, 所需的节点数也最少, 能够有效地延长网络的生命周期。

表 1 不同算法数据比较

算法	覆盖率(%)	迭代次数(次)
随机覆盖率	73.64	
遗传算法(GA)	87.51	580
鱼群算法(AFSA)	88.73	214
粒子群算法(PSO)	89.32	431
蜂群算法(ABC)	90.11	173
改进蜂群算法(CABC)	93.48	189

4 结束语

无线传感器网络主要技术包括路由优化、能量优化、数据融合、覆盖优化等, 这些技术在各个领域中都有巨大的应用前景, 其中网络最优覆盖问题是无线传感器网络关键问题之一。在无线传感器网络基础理论中, 每个节点都有一个固定的传感半径, 假如在监测目标区域中任意一点位于一个传感节点的感知范围内则被节点覆盖。为了能够更好地获取感知服务、控制节点密度以及减少整个网络的消耗, 本文提出了一种基于混沌人工蜂群算法的无线传感器网络覆盖优化算法, 通过仿真结果可以看出, 本文算法获得了较高的网络覆盖率和覆盖效率, 延长了网络生存时间, 能够达到整个网络能够均衡的算法设计目标, 为无线传感器网络覆盖优化提出了一种新的算法。但在算法的迭代次数和仿真时间方面还是消耗相当较长, 还需要进一步研究。

参考文献:

[1] Hossain A, Chakrabarti S, Biswas, P K. Impact of sensing model on wireless sensor network coverage [J]. Wireless Sensor Systems, IET, 2012, 2 (3): 272-281.

[2] Xiao Y, Chen H, Wu K, et al. Coverage and Detection of a Randomized Scheduling Algorithm in Wireless Sensor Networks [J]. Computers, IEEE Transactions on, 2010, 59 (4): 507-521.

[3] 何中胜, 朱宇光, 庄燕滨, 等. 无线传感器网络中覆盖控制技术综述 [J]. 计算机测量与控制, 2012, 20 (7): 1737-1739.

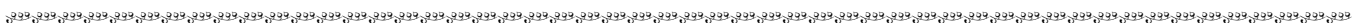
[4] Wang X B, Han S H, Wu Y B, et al. Coverage and Energy Consumption Control in Mobile Heterogeneous Wireless Sensor Networks [J]. Automatic Control, IEEE Transactions on, 2013, 58 (4): 975-988.

[5] He J, Ji S L, Pan Y, et al. Reliable and energy efficient target coverage for wireless sensor networks [J]. Tsinghua Science and Technology, 2011, 16 (5): 464-474.

[6] Ammari HM, Das SK. Centralized and Clustered k-Coverage Protocols for Wireless Sensor Networks [J]. Computers, IEEE Transactions on, 2012, 61 (1): 118-133.

[7] Zhang C, Zhang Y C, Fang Y G. A Coverage Inference Protocol for Wireless Sensor Networks [J]. Mobile Computing, IEEE Transactions on, 2010, 9 (6): 850-864.

[8] Dong D Z, Liao X K, Liu K B, et al. Distributed Coverage in Wireless Ad Hoc and Sensor Networks by Topological Graph Approaches [J]. Computers, IEEE Transactions on, 2012, 61 (10): 1417-1428.



(上接第 1596 页)

技术标准 JESD79—2B 规范等, 开展基于 ECC 校验的 DDR2 高速数据存储电路设计技术研究, 研究 DDR2 信号源同步接口电路、DDR2 信号时序约束和匹配、DDR2 信号端接等的研究, 设计基于 ECC 校验的 DDR2 高速数据存储电路, 满足加固刀片服务器主模块的 DDR2 内存设计要求。

(2) 基于 SATA 的高速存储技术: 通过分析 SATA 协议和接口规范, 开展基于 SATA 的高速存储技术研究, 研究 SATA 控制器电路、SATA 高速串行总线接口特性、SATA 高速串行总线测试分析等的研究, 设计基于 SATA 的高速存储技术, 满足加固服务器主模块的 SATA 的高速存储设计要求。

加固 ATCA 服务器主模块设计技术使舰艇指控嵌入式服务器具备高性能多核心、多主并行、高带宽、易扩展、强计算处理能力, 使舰艇指控嵌入式服务器的整体性能达到国内领先水平。本模块已完成相关的鉴定试验工作, 性能优良, 已再相关领域进行了应用, 可以支撑指控领域的数据库、邮件等服务应用, 如指控多信息流快速处理与融合、目标综合识别、电子海图、作战信息管理。当可扩展性集群的计算能力随节点数量的增多而增加时, 也可应用于周期性、

高强度、多源信息处理系统, 如复杂武器仿真系统、飞行器模拟训练系统、卫星测控、大型工业控制过程等实时性要求较高的领域。

参考文献:

[1] Munch J. PICMG3.0 规范——先进的通信计算机架构 (ATCA) [J]. 通讯世界, 2003, (8): 96.

[2] 郑纬民, 汤志忠. 计算机系统结构 [M]. 北京: 清华大学出版社, 2002.

[3] 邱善勤, 王常青. 刀片服务器技术与标准分析 [J]. 信息技术与标准化, 2006, (11): 35-38.

[4] 张神唐. RAID 技术在服务器中的应用 [J]. 江汉石油科技, 2006, (2): 60-62.

[5] 张神唐. RAID 技术在服务器中的应用 [J]. 江汉石油科技, 2006, (2): 60-62.

[6] 柴小丽, 奚军, 倪明. 适度并行嵌入式计算机体系结构研究 [J]. 计算机工程, 2008, 34 (5): 283-285.

[7] 黄斌. 基于 Core i7 处理器的高性能计算机主模块设计 [J]. 计算机测量与控制, 2012, (10): 169-171.