

混合无线传感网络覆盖优化的粒子群算法

曾广朴¹, 仲元昌², 范会联¹

(1 长江师范学院 数学与计算机学院, 重庆 涪陵 408100; 2 重庆大学 通信工程学院, 重庆 400030)

摘 要: 为提高随机部署的传感网络覆盖性能, 提出基于动态克隆粒子群的移动节点部署控制算法, 用每个粒子表示所有移动节点的一种部署方案, 在经典粒子群算法基础上, 每次迭代结束后, 粒子依据自身的覆盖性以及群体中粒子的相似性决定其克隆数量和变异幅度, 有效避免陷入早熟陷阱. 通过与其他算法的对比仿真实验, 表明该优化算法能更有效地提高网络覆盖性能.

关键词: 粒子群算法; 克隆; 无线传感网络; 覆盖

中图分类号: TP391.4

文献标识码: A

文章编号: 1000-7180(2011)08-0105-03

A Particle Swarm Optimization for Hybrid Wireless Sensor Networks Coverage

ZENG Guang-pu¹, ZHONG Yuan-chang², FAN Hui-lian¹

(1 School of Mathematics and Computer Science, Yangtze Normal University, Fuling 408100, China;

2 College of Communication Engineering, Chongqing University, Chongqing 400030, China)

Abstract: To optimizing the coverage performance, this paper proposed a strategy which is based on particle swarm optimization(PSO) with dynamic clone. The algorithm control clone numbers and variation range of particle, which represents the positions of all mobile sensor nodes, by coverage rate and similarity among the swarm, so can avoid being trapped in local optima. The results of simulation show that the algorithm is able to more improve the coverage of the networks than the compared algorithm.

Key words: particle swarm optimization; clone; wireless sensor networks; coverage

1 引言

对无线传感网络(WSN)覆盖问题的研究主要分为确定性覆盖和随机性覆盖^[1]. 前者主要研究采用人工部署的方式, 如何使用最少的节点对待监测区域进行覆盖; 后者针对比较危险的待监测环境, 如火山、放射区、有毒化工区等区域, 人工难于精确到达, 而只能用随机抛撒方式部署的情形, 研究如何尽可能地扩大监测范围. 由于随机部署方式很容易形成感知覆盖盲区 and 重叠区, 因而通常采用固定节点和移动节点相结合构成混合无线传感网^[2]. 文献[3-4]提出了混合无线传感器网络的部署策略: 将一定比例的移动节点混合在固定节点中, 一起进行随机

部署, 然后通过调节移动节点的位置来增强网络的覆盖率.

本文采用改进的粒子群算法, 以粒子群中的一个粒子模拟所有移动节点位置, 对每次粒子迭代的结果采取基于适应值的动态克隆和混沌变异, 从中选取最优结果参与下次进化, 以提高无线传感网络的覆盖率.

2 网络覆盖模型

设目标区域为二维矩形平面 A , 该区域被数字离散化成 $L \times W$ 个网格, 每个网格为一个待监测点. 在该区域随机投放 N 个固定传感器节点和 M 个移动节点构成混合无线传感网. 假设: ① 所有节点

收稿日期: 2011-05-10; 修回日期: 2011-06-20

基金项目: 科技部创新基金项目(10C26215115008); 重庆市教委科学技术项目(KJ111304)

的通信半径 r_c 和感知半径 r_s 相同;② 所有节点均采用布尔感知模型;③ 各节点通信模型采用布尔通信模型;④ 每个节点具有工作和休眠两种状态;⑤ 所有传感器节点位置可知。

目标区域 A 内任一点 k , 其坐标为 (x, y) , 如果与传感器节点 s 的距离 $d(k, s) < r_s$, 那么 k 点被 s 感知到的概率 $P(k, s) = 1$; 否则, $P(k, s) = 0$. 在此基础上, 点 $k(x, y)$ 的覆盖定义为它被所有传感器节点中至少一个感知到的概率, 即:

$$I((x, y), N+M) = 1 - \prod_{i=1}^{N+M} [1 - P(k - s_i)] \quad (1)$$

混合无线传感网络的覆盖就是该网络中 $N+M$ 个传感器节点所覆盖网格点的并集, 记为 $\text{area}(N+M)$, 即:

$$\text{area}(N+M) = \int_0^W \int_0^L I((x, y), N+M) dx dy \quad (2)$$

$$\text{Coverage}(A) = \frac{\text{area}(N+M)}{L \times W} \quad (3)$$

$\text{Coverage}(A)$ 为混合无线传感网络对目标区域 A 的覆盖率. 最大覆盖问题就是如何优化移动节点的位置, 在保证网络全连通的前提下, 使得目标区域被无线传感器网络覆盖的面积最大, 即使式(3) 尽可能取得最大值^[5].

3 带克隆变异的粒子群优化算法

基本 PSO 算法存在诸如早熟收敛、维数灾难, 以及易于陷入局部极值等问题. 文献[6]提出的惯性权值非线性动态自适应调节的改进 PSO 算法较好地平衡了粒子群全局搜索能力和局部开发能力, 但该算法在最优解附近收敛缓慢, 并且稳定性较差, 因此, 我们在文献[7]中提出的算法的基础上, 根据每个粒子每次迭代后适应值的高低, 动态克隆该粒子, 并按适应值高低控制克隆粒子的变异幅度, 从中选出适应值最高的粒子参与下一次迭代. 该算法的基本流程如图 1 所示.

3.1 动态克隆

算法通过克隆操作实现粒子群空间有目的的扩张, 为产生新的粒子位置提供基础. 针对不同粒子, 依据其适应值的大小及粒子浓度计算该粒子的克隆数量, 基本思想是: 适应值高的粒子克隆数量多, 同时兼顾粒子的多样性, 引入粒子浓度以抑制过度克隆, 避免早熟收敛. 粒子 i 的克隆数量计算如式(4):

$$q_i = \text{Int}[M_c \times f(i) - (1 - C_i)] \quad (4)$$

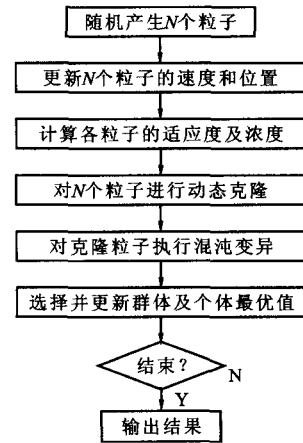


图 1 带克隆变异的粒子群算法流程

式(4) 中 $\text{Int}[\ast]$ 表示向上取整数, M_c 为设定的克隆上限, 即最大克隆数量, $f(i)$ 是粒子 i 的适应值归一化处理后的结果, C_i 表示当前粒子群中的其他粒子与粒子 i 的相似程度, 也称为粒子 i 的浓度, 定义为粒子群中与粒子 i 距离小于阈值 δ 的粒子数量与粒子群中粒子数量的比值.

3.2 自适应混沌变异

算法中粒子变异操作定义为对克隆粒子所代表向量的各个分量在规定变异幅度范围内随机变化, 从而有效加大对该粒子当前位置的局部搜索. 第 i 个粒子的第 m 个分量 Z_m^i 的自适应混沌变异操作定义为

$$Z_m^{i'} = \begin{cases} Z_m^i + \lambda \times (1 - \frac{t}{T}) \times e^{-f(i)} \times L_i(k) \times (-1)^k & r_{im} \geq \frac{f(i)}{f(\text{best})} \\ Z_m^i, & \text{else} \end{cases} \quad (5)$$

式(5) 中, λ 为控制变异幅度的参数, $L_i(k)$ 是 Logistic 映射序列中的第 k 个值, t 表示当前迭代次数, T 为最大迭代次数, r_{im} 是针对第 i 个粒子的第 m 个分量产生的一个取值在 $[0, 1]$ 的随机数. 从式(5) 可以看出, 一方面, 粒子发生变异的分量的多少受粒子适应值的影响, 适应值越大, 变异的机会越少, 故发生变异的分量就越少; 另一方面, 变异幅度的大小受适应值和迭代次数的控制, 适应值越大, 则变异幅度越小; 随着迭代次数的不断增加, 变异幅度也逐渐降低.

4 混合无线传感网络的覆盖优化

对于目标区域随机投放的 N 固定传感器节点和 M 个移动节点构成的混合无线传感网, 覆盖优化

的方法是通过调整移动节点的位置,使网络能尽可能覆盖更大的监测区域^[7].采用混沌克隆粒子群优化算法来调整移动节点的位置.

4.1 编码方法

粒子群中每个粒子代表 M 个移动节点的一种部署,第 i 个粒子的记为 $X_i = \{Z_1^i, Z_2^i, \dots, Z_M^i\}$, 其中 $Z_k^i = \langle z_{kx}^i, z_{ky}^i \rangle$, 表示第 k 个移动节点的位置.

4.2 速度及位置的更新

第 i 个粒子的速度更新和位置更新分别用式(6)、(7)完成.

$$V_i(t+1) = \omega \cdot V_i(t) + c_1 \cdot r_1 \cdot (pBest_i(t) - X_i(t)) + c_2 \cdot r_2 \cdot (gBest(t) - X_i(t)) \quad (6)$$

$$X_i(t+1) = X_i(t) + V_i(t+1) \quad (7)$$

式(6)中, ω 是惯性权值,在迭代过程中按文献^[7]的方式非线性动态调节, $X_i(t)$ 和 $V_i(t)$ 分别表示第 i 个粒子在 t 时刻的位置和速度, c_1 和 c_2 为加速因子, r_1 和 r_2 是在 $[0,1]$ 范围内的两个随机数, $pBest_i(t)$ 是第 i 个粒子到 t 时刻为止所找到的最佳适应值对应的位置, $gBest(t)$ 是粒子群到 t 时刻为止所找到的全局最佳适应值对应的位置.

4.3 克隆选择

每个粒子在完成一次迭代进化后,按式(4)的计算结果克隆自己,并根据式(5)进行自适应混沌变异,然后计算所有变异后的粒子的适应值,选择满足网络全连通条件下适应值最佳的粒子分别与克隆前粒子的 $pBest$ 和全局 $gBest$ 进行比较,若更优,则替换相应的值,否则放弃,继续下一次迭代,直到完成预设的迭代次数结束.

5 实验与分析

5.1 参数设置

为了评价本文算法在无线传感网络覆盖优化的性能,目标区域与文献^[5]所设参数一致,即在 $100\text{ m} \times 100\text{ m}$ 的区域内随机抛撒 60 个节点,移动节点数量为 20 个,节点感知半径 $r=10\text{ m}$,通信半径 $R=20\text{ m}$,移动节点的移动速度为 0.2 m/步 .本文算法设置种群规模为 10,最大克隆数量 10,最大变异幅度 λ 设为感知半径的 $1/2$,参数 $c_1=c_2=1$, $0.4 \leq \omega \leq 0.9$,最大迭代次数 $T=50$.

5.2 算法的有效性验证

本文算法在 MATLAB 下对混合传感网络进行仿真.图 2(a)表示区域 A 内随机抛撒节点初始位置的覆盖情况,实线代表静止节点,虚线代表移动节点.根据式(1)~(3)计算出最初抛撒后,网络覆盖率为

66.8%;图 2(b)是区域 A 中的移动节点在经过本文算法调整后的无线传感网络覆盖情况,覆盖率为 85.7%,比原始覆盖率提高了约 18.9%,显然,算法对提升网络覆盖性具有明显效果.

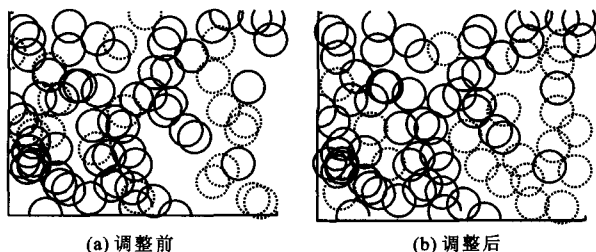


图2 无线传感网络覆盖情况

5.3 实验结果分析

本文用基于动态克隆的粒子群优化算法对随机部署的混合无线传感网络覆盖进行优化,得到较好的仿真实验结果,这归结于在基本粒子算法中引入动态克隆变异操作,每个粒子在完成一次迭代后,根据其自身的适应性进行克隆,并在适应性和相似性的控制下进行变异,因此,一方面,适应性强的粒子克隆数量多,变异程度小,从而有效增强局部精确搜索能力;另一方面,由于粒子克隆数量还受粒子间相似程度的制约,从而保证粒子群有一定的多样性,尽量避免陷入早熟;同时,对于适应性较差的粒子,增大克隆后的变异程度,从而增加了发现更好位置的机会.

6 结束语

由固定传感节点和移动节点混合构成的传感网络由于其低成本和自部署能力,对于一些特殊的场景有很高的应用价值.本文提出一种基于动态克隆粒子群优化的网络覆盖控制算法通过调整移动节点的位置提高网络覆盖率,为实际应用中的节点放置提供了一种切实可行且有效的途径.未来的研究工作将进一步考虑基于能量平衡的网络覆盖控制问题.

参考文献:

- [1] 周利民,杨科华,周攀. 基于鱼群算法的无线传感网络覆盖优化策略[J]. 计算机应用研究, 2010, 27(6): 2276-2279.
- [2] Lyudmila Mihaylova, David R Bull. Localization of mobile nodes in wireless networks with correlated in time measurement noise[J]. IEEE Transactions on Mobile Computing, 2011, 10(1): 44-53.

(下转第 111 页)

复杂度较低的同时各层面的节能策略能够完美地配合,是未来要解决的关键问题之一;(5)节能方案的部署:在现有数据中心中加入新的调节机制是一个系统级课题,涉及业务平滑迁移过渡、升级的鲁棒性等诸多问题。

参考文献:

- [1] ITU-T. ICTs and climate change[R]. Technology Watch Report #3, Dec. 2007.
- [2] 谷立静,周伏秋,孟辉. 我国数据中心能耗及能效水平研究[J]. 中国能源,2010(11): 42-45.
- [3] Green Grid. Recommendations for measuring and reporting overall data center efficiency version 2—Measuring PUE for Data Centers, 2011.
- [4] Klaus-Dieter Lange. Identifying shades of green. The SPECpower benchmarks[J]. Computer, 2009, 42(3): 95-97.
- [5] Pallipadi V, Starikovskiy A. The ondemand governor [J]. Linux Symposium, 2006(2):215-230.
- [6] Christian Poellabauer, Leo Singleton, Karsten Schwan. Feedback-based dynamic voltage and frequency scaling for memory bound real-time applications[C]// Proceedings of the 11th IEEE Real Time on Embedded Technology and Applications Symposium(RTAS'05). San Francisco, California, USA, 2005:234-243.
- [7] Norman Bobroff, Andrzej Kochut, Kirk Beaty. Dynamic placement of virtual machines for managing SLA violations [J]. Integrated Network Management, 2007:119-128.
- [8] Wood Timothy, Prashant Shenoy, Arun Venkataramani, et al. Black-box and gray-box strategies for virtual machine migration [C]//Proceedings of the 4th ACM/USENIX Symposium on Networked Systems Design and Implementation (NSDI '07). Cambridge, Massachusetts, USA, 2007.
- [9] Ripal Nathuji, Karsten Schwan. VirtualPower: coordinated power management in virtualized enterprise systems[C]// Proceedings of twenty-first ACM SIGOPS symposium on Operating systems principles(SOSP '07). Stevenson, Washington, USA, 2007.
- [10] Ramya Raghavendra, Parthasarathy Ranganathan, Vanish Talwar, et al. No "power" struggles: coordinated multi-level power management for the data center [C]// Proceedings of the 13th international conference on Architectural support for programming languages and operating systems(ASPLOS'08). Seattle, Washington, USA, 2008.

作者简介:

吴甜 女,(1981—),博士,工程师.研究方向为大型数据中心运行管理、服务发现与组合等。

刘利祥 男,(1988—),硕士研究生.研究方向为大规模系统、事件计算。

虎嵩林 男,(1973—),博士,副研究员.研究方向为分布式系统与中间件、服务计算、事件计算.应用上关注企业应用集成、大规模系统设计与优化等等。

(上接第107页)

- [3] 张晋,刘大昕,徐悦竹,等. WSN 关键区域覆盖启发式优化算法[J]. 计算机工程, 2009, 35(14): 16-19.
- [4] 郑耿忠,刘秋梅. 基于模糊控制的移动无线传感器网络部署优化[J]. 微电子学与计算机, 2011, 28(2): 28-31.
- [5] Muhammad Aljuaid, Halim Yanikomeroglu. Investigating the gaussian convergence of the distribution of the aggregate interference power in large wireless networks [J]. IEEE Transactions on Vehicular Technology, 2010, 59(9): 4418-4424.
- [6] Chatterjee A, Siarry P. Nonlinear inertia weight variation for dynamic adaptation in particle swarm optimization [J]. Computers & Operations Research (S0305-0548), 2006, 33(3): 859-871.

- [7] Hu Xiaomin, Zhang Jun, Yu Yan, et al. Hybrid genetic algorithm using a forward encoding scheme for lifetime maximization of wireless sensor networks [J]. IEEE Transactions on Evolutionary Computation, 2010, 14(5): 766-780.

作者简介:

曾广朴 男,(1966—),讲师.研究方向为网络信息系统及数据挖掘方面。

仲元昌 男,(1968—),博士,副教授,研究生导师.研究方向为通信与测控系统、无线传感器网络。

范会联 男,(1971—),硕士,副教授.研究方向为软件工程、智能信息处理。