

无线传感器网络 k 重覆盖优化策略

郭龙¹, 熊伟¹, 梁青², 刘霆¹

(1. 空军工程大学 电讯工程学院, 西安 710077; 2. 西安邮电学院 电子与信息工程系, 西安 710121)

摘要: 为了实现无线传感器网络 k 重覆盖范围的最大化, 提出了一种基于粒子群算法的无线传感器 k 重覆盖优化策略, 提高了 k 重覆盖率, 进而提高节点的利用率, 延长无线传感器网络的寿命。同时, 在保证网络覆盖精度的前提下, 选择最合适的参数, 这样既保证了最优的覆盖结果又最大限度地节约了计算量, 延长了网络的寿命。通过仿真实验分析了粒子群算法的相关参数对覆盖性能指标的影响。实验结果表明, 基于粒子群算法的 k 重覆盖策略有效地优化了网络的 k 重覆盖性能。

关键词: 无线传感器网络; 粒子群算法; k 重覆盖策略

中图分类号: TP393 **文献标志码:** A **文章编号:** 1001-3695(2012)12-4677-03

doi:10.3969/j.issn.1001-3695.2012.12.071

k -coverage strategy of wireless sensor networks

GUO Long¹, XIONG Wei¹, LIANG Qing², LIU Ting¹

(1. Institute of Telecommunication Engineering, Air Force Engineering University, Xi'an 710077, China; 2. Dept. of Electronics & Information Engineering, Xi'an Institute of Posts & Telecommunications, Xi'an 710121, China)

Abstract: To maximize the network k -coverage and extend the life of the network, this paper proposed a k -coverage strategy of WSN based on PSO. It improved the k -coverage rate and the use ratio of need, and thus prolonged the network lifetime. To the premise of ensure network coverage accuracy, it chose the most suitable parameters, both to ensure optimal coverage of the results and to maximize the computational savings, extend the life of the network. The paper analyzed the influence about relevant parameters of particle swarm optimizer on the coverage performance through the simulation experiment. Experimental results indicate that the k -coverage strategy of WSN acts effectively in k -coverage optimization.

Key words: wireless sensor networks(WSN); particle swarm optimizer(PSO); k -coverage strategy

0 引言

无线传感器网络(WSN)^[1,2]是由大量廉价且具有感知、计算和通信能力的传感器节点通过自组织所形成的网络, 广泛应用于国防、医疗、勘探以及环境监测等各个领域里。网络覆盖是无线传感器网络的基本问题之一, 反映了网络对被监测区域或目标对象物理信息的感知能力。

无线传感器网络最主要的任务就是监测物理环境, 并将节点感知的信息转发到基站, 因此覆盖是无线传感器网络中的一个重要问题, 它反映了网络所能提供的感知服务质量^[3]。优化无线传感器网络覆盖对于合理分配网络的空间资源, 更好地完成环境感知、信息获取等任务都具有重要的意义。由于传感器网络通常工作在复杂的环境下, 而且网络中传感器节点众多, 因此大都采用随机的方式部署。然而这种随机投放方式很难一次性地将数目众多的传感器节点放置在适合的位置, 容易形成覆盖重叠区和盲区。因此, 利用优化算法来弥补因部署不均或节点失效等原因而出现的覆盖盲区, 以便实现对网络结构的动态重组和网络性能的优化成为近几年无线传感器网络研究的一个热点问题^[4,5]。为解决这类混合无线传感器网络覆盖优化问题^[6-8], 本文提出了一

种基于粒子群算法^[9-11]的无线传感器网络 k 重覆盖^[12,13] 优化策略。

1 问题建模

1.1 问题假设

假设目标区域 A 为二维矩形平面, N 个传感器节点随机部署在其中, 各个节点可以通过定位技术获得自己准确的位置信息, 节点的感知模型采用最简单的 0-1 感知模型, 若节点 p 与节点 s_i 之间的欧式距离 $d(s_i, p)$ 满足 $d(s_i, p) \leq R_s$, 则点 p 被 s_i 覆盖。同时传感器节点互相独立, 并且可以进行移动。

1.2 问题模型

无线传感器网络优化覆盖问题是一个典型的目标优化问题。网络有效覆盖率是衡量工作节点集选取的重要指标, 为了计算覆盖率 P_{cov} , 将目标区域划分为 $m \times n$ 个目标点, 以目标点被覆盖的程度代表区域的覆盖程度。

目标节点 $p(x_p, y_p)$ 被节点 i 覆盖的概率为

$$\begin{cases} k_{pi} = 1 & \sqrt{(x_p - x_i)^2 + (y_p - y_i)^2} \leq R_s \\ 0 & \text{其他} \end{cases} \quad (1)$$

则目标节点 $p(x_p, y_p)$ 被覆盖的重数为

收稿日期: 2012-04-24; 修回日期: 2012-06-14

作者简介: 郭龙(1987-), 男, 陕西咸阳人, 硕士研究生, 主要研究方向为无线传感器网络(451233181@qq.com); 熊伟(1965-), 男, 副教授, 主要研究方向为无线传感器网络; 梁青(1966-), 女, 副教授, 主要研究方向为无线传感器网络; 刘霆(1980-), 男, 硕士研究生, 主要研究方向为电子与信息工程。

$$k_p = \sum_{i=1}^N k_{pi} \quad (2)$$

判断节点 $p(x_p, y_p)$ 是否被传感器节点 k 重覆盖^[9,10]:

$$h_p = \begin{cases} 1 & k_p \geq k \\ 0 & \text{其他} \end{cases} \quad (3)$$

则区域的近似 k 重覆盖率为

$$P_{cov} = \frac{\sum h_p}{m \times n} \quad (4)$$

对于覆盖区域的离散点越多,则计算的覆盖度越精确。

2 覆盖控制优化策略

2.1 优化策略

假设检测区域为 $20\text{ m} \times 20\text{ m}$ 的正方形,离散化为大小相等、面积为 1 的 20×20 个栅格点,随机分布 D 个传感器节点,粒子中有 m 个微粒,每个微粒带有 D 维,每两位维对应一个传感器节点坐标信息。对于 v_i ,在 $[v_{min}, v_{max}]$ 内随机初始化。

基于粒子群算法的 k 重覆盖优化的基本过程如下:

- 在目标区域初始化 m 个粒子,随机产生每个传感器节点的位置和速度。
- 根据计算的每个粒子对应的区域 k 重覆盖率,将使得区域覆盖率最大的粒子数据赋值给 p_g 。
- 更新粒子的速度和位置。
- 重新计算每个粒子的区域 k 重覆盖率,然后与 p_i 比较,如果新的覆盖率高,则重置 p_i 。与 p_g 比较,如果新的覆盖率高,则将此粒子的数据赋值给 p_g 。
- 判断达到结束条件(最大迭代次数或预先设定足够好的 k 重覆盖率)就返回最好的传感器位置和覆盖率,否则返回步骤 c) 继续。

2.2 k 重覆盖率的计算方法

在无线传感器网络进行信息采集的过程中,往往需要对被监测区域中的某些重要区域进行多重覆盖,以获得更准确全面的信息。区域的 k 重覆盖率计算流程如图 1 所示。

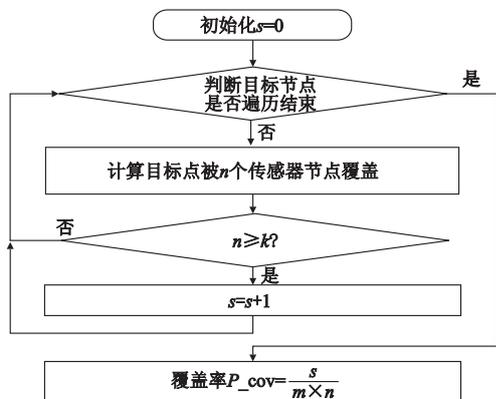


图1 k 重覆盖率计算流程

3 实验仿真

3.1 仿真环境及参数设置

假设在 $20\text{ m} \times 20\text{ m}$ 的正方形监测区域中布置 20 个无线传感器节点,所有传感器节点的测量半径为 $r = 3\text{ m}$,通行半径 $C = 2r = 6\text{ m}$,概率测量模型参数为 $c_1 = c_2 = 1$, $\text{maxnumber} = 400$, $V_{max} = 6$ 。本文采用 CPU 为 1.0 GHz 的计算机在 MATLAB

环境下进行无线传感器网络覆盖优化仿真。

3.2 传感器半径对覆盖率的影响

在其他条件不变的情况下,实验不断地改变测量半径,对算法运行前后的无线传感器网络的覆盖率进行研究,分别对 $k = 1$ 、 $k = 2$ 、 $k = 3$ 和 $k = 4$ 的情况进行了仿真实验。实验结果如图 2 所示。

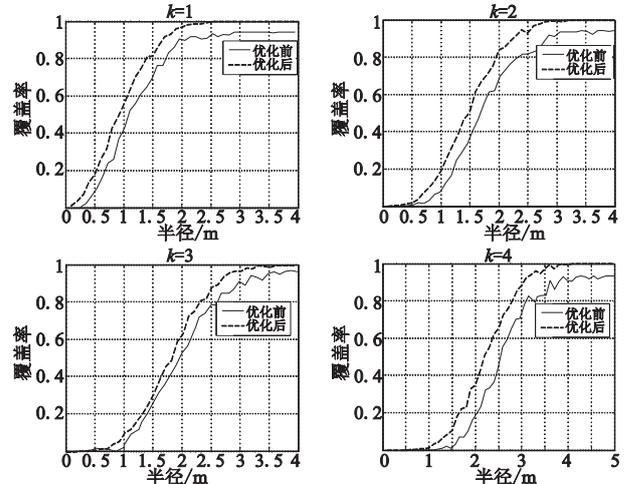


图2 传感器感知半径与覆盖率关系

由图 2 可知,随着无线传感器探测半径的增加,网络覆盖率会有明显提高,当探测半径到达一定的程度后,即使探测半径继续增加,网络覆盖率也不会再有明显变化。无线传感器节点的探测半径越大节点耗能也越大,所以在保证覆盖度的情况下,选择最合适的探测半径意义重大。由仿真数据可知,在不同的覆盖重数下最适宜的探测半径结果如表 1 所示。

表 1 最适宜探测半径

	$k = 1$	$k = 2$	$k = 3$	$k = 4$
探测半径/m	2.7	3.3	3.8	4.2

运用粒子群算法对网络进行优化,优化前后覆盖率有明显的提高。图 3 和 4 所示为优化前后无线传感器节点的分布图。优化之前网络的覆盖率为 0.605,优化之后网络的覆盖率为 0.895。

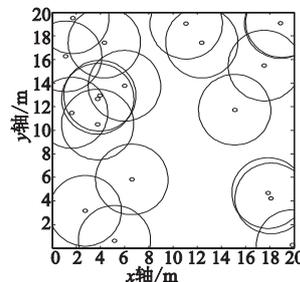


图3 优化前节点分布

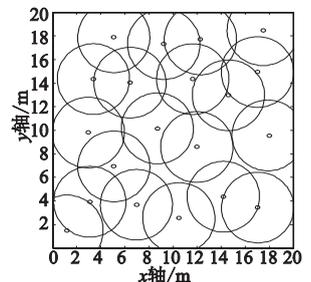


图4 优化后节点分布

由图 3 可知,优化前节点随机分布,分布密集,传感器网络覆盖率很低。由图 4 可知,优化后节点分布比较均匀,网络覆盖率显著提高。

3.3 种群数量对优化结果的影响

假设在边长为 20 m 的正方形测量区域中布置 20 个节点,所有传感节点测量半径为 2 m ,在不同的覆盖要求下研究种群数量对网络覆盖率的影响。仿真结果如图 5 所示。

由图 5 可以看出,当种群数量在 $1 \sim 8$ 之间变化时,种群数量的增加对网络覆盖率的影响比较显著;当种群数量大于 8 之后,种群数量对覆盖率的影响变化比较缓慢,这证明了种

群数量在 8 时,粒子已经基本找到了全局最优。可见种群数量的变化会对传感节点的布局产生一定的影响。虽然粒子数的增加会有利于网络覆盖率的提高,但是种群数量的增加会使计算时间以指数倍增加,大大降低了计算速度。因此在使用粒子群算法时,粒子群数量的选取要合适。由仿真结果可知,粒子种群数量为 8 时,节点的分布相对比较合理,而且计算量适中。

3.4 区域离散化程度对优化结果的影响

覆盖区域的离散化程度对覆盖率有一定的影响,离散化程度越高覆盖率也会越精确,但是随着区域离散化程度的增加,计算量会以指数倍增加。在保证覆盖精度的前提下,找到一个比较适中的离散化程度,在不同的覆盖重数下,对不同的离散化程度进行仿真,如图 6 所示。

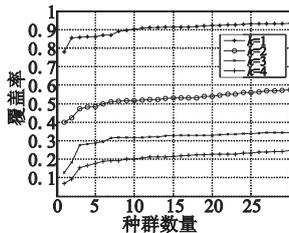


图5 种群数量与覆盖率关系

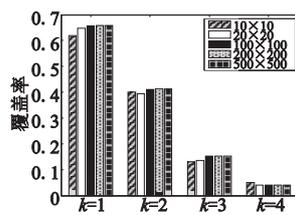


图6 离散化程度与覆盖率的关系

由图 6 可知,在离散化程度为 100×100 时,网络覆盖比较精确,小于这个离散化程度时,覆盖率不够稳定,大于时覆盖率趋于平稳。在考虑计算成本的前提下,根据仿真结果选择 100×100 的离散化程度比较适中。

4 结束语

本文提出一种基于粒子群算法的无线传感器网络 k 重覆盖优化策略,并且就各个参数对优化结果的影响进行了仿真分析。根据仿真结果选择比较合适的参数,这样在保证覆盖精度的前提下最大限度地节省了计算量。

参考文献:

- [1] 孙利民,李建中,陈渝,等. 无线传感器网络[M]. 北京:清华大学出版社,2005.
- [2] 王良民,廖闻剑. 无线传感器网络可生存理论与技术研究[M]. 北京:人民邮电出版社,2011.
- [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] RAINA M, KUMAR S, PANTRO R P. Node coverage algorithms in wireless sensor networks using mobile agents[J]. Acta Automatica Sinica,2006,32(6): 915-921.
- [5] LIU B, BRASS P, DOUSSE O, et al. Mobility improves coverage of sensor networks[C]//Proc of the 6th ACM International Symposium on Mobile Ad hoc Networking and Computing. New York: ACM Press, 2005: 300-308.
- [6] 冯智博,黄宏光,李奕. 基于改进粒子群算法的 WSN 覆盖优化策略[J]. 计算机应用研究,2011,28(4): 1272-1275.
- [7] 朱海荣,李平,程剑. 基于改进 PSO 算法的 WSN 覆盖优化方法[J]. 计算机工程,2011,37(8): 82-84.
- [8] 张国有,曾建潮. 基于黄蜂群算法的群机器人全区域覆盖算法[J]. 模式识别与人工智能,2011,24(3): 431-437.
- [9] KENNEDY J, EBERHART R C. A discrete binary version of the particle swarm algorithm[C]//Proc of IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics. 1977:4104-4108.
- [10] KENNEDY J, KENNEDY J. A new optimizer using particle swarm theory[C]//Proc of the 6th International Symposium on Micro Machine and Human Science. Washington DC: IEEE Computer Society, 1995:39-43.
- [11] EBERHART R C, SHI Y. Comparison between genetic algorithm and particle swarm optimization[C]//Lecture Notes in Computer Science (Evolutionary Programming V II). London: Springer-Verlag, 1988:611-616.
- [12] 刘丽萍,李桂丹,王智,等. 无线传感器网络多重覆盖算法[J]. 天津大学学报,2009,42(4): 310-314.
- [13] 刘明,曹建农,郑源,等. 无线传感器网络多重覆盖问题分析[J]. 软件学报,2007,18(1): 127-136.

(上接第 4676 页)

参考文献:

- [1] SUN Zhong-gao, ZHENG Zi-wei, CHEN Shao-hua, et al. An energy-effective clustering algorithm for multilevel energy heterogeneous wireless sensor networks[C]// Proc of International Conference on Advanced Computer Control. 2010:168-172.
- [2] HEINZELMAN W, CHANDRAKASAN A, BALAKRISHNAN H. An application specific protocol architecture for wireless micro sensor networks[J]. IEEE Trans on Wireless Communication,2002,1(4): 660-670.
- [3] MOLLANEYAD A, KHANLI L, ZEYNALI M, et al. EHRP: novel energy-aware hierarchical routing protocol in wireless sensor network [C]//Proc of International Congress on Ultra Modern Telecommunications and Control Systems and Workshops. 2010: 970-975.
- [4] YOUNIS O, FAHMY S. HEED: a hybrid, energy-efficient distributed clustering approach for Ad-hoc sensor networks[J]. IEEE Trans on Mobile Computing,2004,3(4): 366-379.
- [5] HEINZELMAN W. Application-specific protocol architectures for wireless sensor networks[D]. Boston: Massachusetts Institute of Technology,2000.
- [6] SMARAGDAKIS G, MATTA I, BESTAVROS A. SEP: a stable election protocol for clustered heterogeneous wireless sensor networks [C]//Proc of the 2nd International Workshop on Sensor and Actor Network Protocols and Applications. 2004:203-216.
- [7] LI Qing, ZHU Qing-xin, WANG Ming-wen. Design of a distributed energy-efficient clustering algorithm for heterogeneous wireless sensor networks[J]. Computer Communications,2006,29(12): 2230-2237.
- [8] GAMWARIGE S, KULASEKERE C. A cluster based energy balancing strategy to improve wireless sensor network lifetime[C]//Proc of International Conference on Industrial and Information Systems. 2007: 403-408.
- [9] ELBHIRI B, SAADANE R, FKIHI S, et al. Developed distributed energy-efficient clustering (DDEEC) for heterogeneous wireless sensor networks[C]//Proc of International Symposium on Visual Computing. 2010:1-4.
- [10] ZYTOUNE O, FAKHRI Y, ABOUTAJDINE D. Time based clustering technique for routing in wireless sensor networks[C]//Proc of International Conference on Multimedia Computing and Systems. 2011:1-4.