

基于人工鱼群和微粒群混合算法的 WSN 节点部署策略

孙 伟¹ 朱正礼^{1,2} 郑 磊¹ 侯迎坤^{2,3}

(南京林业大学信息科学技术学院 南京 210037)¹ (南京理工大学计算机科学与技术学院 南京 210094)²
(泰山学院信息科学技术学院 泰安 271021)³

摘 要 将无线传感器网络节点分布部署问题形式化为一个组合优化问题,以网络覆盖率为目标函数。针对该模型提出基于人工鱼群与微粒群的混合算法的无线传感器网络节点部署优化策略。微粒群算法搜索效率高,而人工鱼群算法进行搜索时有很好的全局性。AFSA-POS 算法将这两种算法相结合,局部搜索速度快,而且有效地解决了标准 PSO 算法中的粒子“早熟”问题。最后使用 MATLAB 进行了实验,结果表明提出的算法减少了迭代次数,并且提高了网络覆盖率,相对于人工鱼群算法和微粒群算法来说能取得更好的效果。

关键词 无线传感器网络,微粒群算法,人工鱼群算法,覆盖策略优化

中图分类号 TP393 文献标识码 A

Deployment Strategy of Wireless Sensor Network Nodes Based on AFSA-PSO Hybrid Algorithm

SUN Wei¹ ZHU Zheng-li^{1,2} ZHENG Lei¹ HOU Ying-kun^{2,3}

(College of Information Science and Technology, Nanjing Forestry University, Nanjing 210037, China)¹

(College of Computer Science and Technology, Nanjing University of Science and Technology, Nanjing 210094, China)²

(Department of Information Science and Technology, Taishan University, Tai'an 271021, China)³

Abstract The deployment of sensor nodes was formalized as a combinatorial optimization problem, and the network coverage was used as the objective function. For the model this paper proposed a hybrid algorithm of artificial fish swarm algorithm(AFSA) and particle swarm optimization(PSO) by combining the advantages of the two algorithms. Particle swarm optimization can achieve the effective local search, and artificial fish swarm algorithm can enhance the ability of global optimization. The AFSA-PSO hybrid algorithm proposed in this paper has the advantages of both. The simulation results show that AFSA -PSO hybrid algorithm is superior to the artificial fish swarm algorithm and particle swarm optimization algorithm, can effectively improve network coverage with fewer iterations.

Keywords Wireless sensor networks, PSO, AFSA, Optimization

1 引言

无线传感器网络(Wireless Sensor Network)由若干具有无线通信能力的节点组成。这些节点密集布置在物理现象区域,以自组织和多跳的方式构成无线网络,协作地实时监测、感知和采集网络覆盖区域里图像、温度、湿度等信息并通过无线方式发送给用户。

在采集发送过程中涉及传感器网络的覆盖、数据感知、数据处理等许多机制,而第一步就是对目标区域进行覆盖。

目前,无线传感器网络的节点部署主要有以下几种方式:确定性部署、随机部署和可移动部署。确定性部署方式是指,事先在设计好节点的部署位置,将节点逐个部署。随机部署则是指采用抛洒的方式部署传感器节点。可移动部署是指网络中的节点在部署完成后部分或者全部的节点可以按照一定的策略移动。由于随机部署具有价格低廉、易于实现的优点,无线传感器的应用大多采用随机部署方式。对于采用随机部

署方式的无线传感器网络进行优化,就在于解减少覆盖盲区、减少节点数目、提高网络的覆盖率等。这些问题都属于 NP (Nondeterministic Polynomial)问题,很难用传统的优化方法得到较好的解。目前,有人提出使用人工鱼群算法模型进行部署,该算法简单,具有很强全局搜索能力,但是收敛速度较慢。另外也有人提出基于微粒群算法的无线传感网络部署优化方法,虽然证明微粒群算法能够有效实现无线传感网络部署优化,但是标准粒子群算法在空间搜索时,容易陷入“早熟”现象,限制了微粒的搜索范围。

针对以上问题,有人提出利用混合算法进行优化。文献[1]提出先后使用人工鱼群算法与微粒群算法对无线传感器网络节点部署策略进行优化,即先使用人工鱼群算法进行迭代,以保障能够取得较好的全局值,再使用微粒群算法加快求解速度。而本文提出一种新的基于人工鱼群和微粒群混合算法的无线传感器网络节点部署优化策略,即在优化的过程中,交替使用人工鱼群算法与微粒群算法进行迭代,每一次的迭

到稿日期:2011-12-08 返修日期:2012-05-03 本文受国家自然科学基金(61072148)资助。

孙 伟(1987-),男,硕士生,主要研究方向为计算机网络,E-mail:sun_vi@163.com;朱正礼(1966-),男,副教授,主要研究方向为模式识别、计算机网络;郑 磊(1985-),女,硕士生,主要研究方向为计算机网络;侯迎坤(1972-),男,博士,主要研究方向为模式识别。

代既使用人工鱼群算法又使用微粒群算法,既通过人工鱼群算法保证了迭代的全局性,有效地避免了陷入局部最优解,又通过微粒群算法保证了迭代的快速有效。

2 常用算法

2.1 人工鱼群算法(AFSA)

人工鱼群算法是一类群体人工智能随机优化算法,它的全局搜索能力强,对初值、参数选择不敏感,鲁棒性强,简单,易操作。其数学模型描述如下:假设在一个 n 维的目标搜索空间中,有 N 条组成群体的人工鱼,每条人工鱼的状态可表示为向量 $X=(x_1, x_2, x_3, \dots, x_n)$,其中 $x_i(i=1, \dots, n)$ 为欲寻优的变量;人工鱼当前所在位置的食物浓度表示为 $Y=f(X)$,其中 Y 为目标函数;人工鱼个体之间的距离表示为 $d_{ij}=\|X_i-X_j\|$; $visual$ 表示人工鱼的感知范围; S 为人工鱼移动的步长; $trynumber$ 表示人工鱼每次觅食最大的试探次数; R 为 0 至 1 的一个随机数; δ 为拥挤度判断因子,是一个常数。

行为描述:

在每次迭代过程中,人工鱼通过觅食、聚群和追尾等行为来进行移动,从而找寻最优位置,具体行为描述如下:

觅食行为:人工鱼在游动过程中会朝着食物浓度大的方向游动,人工鱼 X_i 在其视野内随机选择状态 X_j ,判断各自的适应值,如果 Y_j 大于 Y_i ,则 X_i 向 X_j 的方向移动 1 步;否则, X_i 继续随机移动选择状态 X_j ,继续判断 Y_i 和 Y_j 的大小,若反复尝试一定次数之后,仍没有满足前进的条件,则随机移动一步而进入另一个新的状态。公式表示如下:

$$X_i = X_i + RS(X_j - X_i) / (\|X_j - X_i\|) (Y_j > Y_i) \quad (1)$$

聚群行为:每条鱼在游动过程中,在避免过分拥挤的情况下,会向伙伴的中心移动。设人工鱼当前状态为 X_i ,搜索当前邻域内的伙伴数目及中心位置,若伙伴中心位置食物浓度较高且不太拥挤,则 X_i 朝伙伴的中心位置移动 1 步,否则进行觅食行为。其数学表达式为:

$$X_i = X_i + RS(X_{center} - X_i) / (\|X_{center} - X_i\|) (Y_{center} > Y_i, Y_{center} / n_f > \delta Y_i) \quad (2)$$

追尾行为:人工鱼向其可视范围内的最优方向移动。设人工鱼当前状态为 X_i , X_i 搜索视野内食物浓度最高的伙伴,如果最优伙伴的周围不太拥挤,则 X_i 向该伙伴移动 1 步,否则随机觅食。其数学表达式为:

$$X_{next} = X_i + RS(X_{max} - X_i) / (\|X_{max} - X_i\|) (Y_{max} > Y_i, Y_{max} / n_f > \delta Y_i) \quad (3)$$

公告板:用于记录最优人工鱼个体状态。所有人工鱼完成每次迭代后,将自身状态与公告板中的记录比较,如果自身的适应值更大,则将公告板中的内容替换为自己的当前状态,否则,公告板中的内容保持不变。

2.2 微粒群算法(PSO)

微粒群算法又称粒子群优化(Particle Swarm Optimization, PSO),源于对鸟群捕食的行为研究。该算法将每一种优化策略看成是 D 维搜索空间中的一个微粒,将每一种部署策略的覆盖率看成对应的微粒的适应值,每个粒子还有一个速度决定它们飞翔的方向和距离,所有的微粒都在搜索空间中以此速度飞行。该飞行速度由个体的飞行经验和同伴的飞行经验进行动态调整。设微粒 i 的当前位置为 X_i ,微粒 i 的当前飞行速度为 V_i ,微粒 i 所经历过的最好位置为 P_i ,种群中所有微粒所经历过的最好位置为 P_{best} 。每次迭代后,微粒 i 的

位置与速度计算如下:

$$V_i = \omega V_i + c_1 R + c_2 R(P_g - X_i) \quad (4)$$

$$X_i = X_i + V_i \quad (5)$$

ω 为惯性系数,它使微粒保持运动的惯性,使其具有探索新区域的能力; c_1 、 c_2 为学习因子,通常为常数; R 为 $[0, 1]$ 之间的随机数。

3 基于人工鱼群与微粒群混合算法模型的节点部署策略

3.1 问题模型

3.1.1 节点覆盖范围

现假定监测区域 A 为 $m \times n$ 的矩形区域,在该区域上投放参数相同的传感器节点数目为 N 。每个节点的覆盖模型可以看作是以节点坐标为圆心、 r 为感知半径的圆。通信范围也为圆,半径均为 R 。为了保证网络的连通性,设置通信半径大于等于感知半径的两倍,即 $R \geq 2r$ 。

将监测区域 A 数字离散化为 $m \times n$ 个像素,像素点 o 坐标为 (x, y) ,将像素点 o 被传感器节点 i 所覆盖的事件定义为 e_i ,则该事件发生的概率 $c(e_i)$ 大小为 0 或 1。当像素点与节点的距离小于该节点的感知半径时, $c(e_i)$ 为 1,否则为 0。用公式表示如下:

$$c(e_i) = \begin{cases} 1, & \sqrt{(x_i - x)^2 + (y_i - y)^2} \leq r \\ 0, & \sqrt{(x_i - x)^2 + (y_i - y)^2} > r \end{cases} \quad (6)$$

对于整个节点集合来说,只有像素点 $o(x, y)$ 没有在节点集合 I 内的任何一个节点的感知区域内,才会认为该像素点没有被覆盖。由此可以得到所有传感器对该点的联合概率节点覆盖的概率为 $c(o, I)$,计算公式为:

$$c(o_{xy}, I) = 1 - \prod_{i=1}^N (1 - c(e_i)) \quad (7)$$

覆盖面积的计算应当是取传感器节点集 I 中所有节点覆盖像素点的并集,记为 S_{cover} ,表达式如下:

$$S_{cover} = \sum_{x=0}^m \sum_{y=0}^n c(o_{xy}, I) \quad (8)$$

3.1.2 目标函数的确定

本文中无线传感网络节点部署形式化为一个最优化问题,优化目标为使网络的覆盖率最大,适应值函数 $f(X)$ 就应当为该策略所对应的覆盖率 σ 。 σ 为所有节点的覆盖面积与监测区域的总面积之比,用 S_A 代表整个测试区域的面积,覆盖率的公式表示如下:

$$\sigma = \frac{S_{cover}}{S_A} = \frac{\sum_{x=0}^m \sum_{y=0}^n p(o_{xy}, I)}{m \times n} \quad (9)$$

所以,目标函数的表达式为:

$$f(X_i) = \frac{\sum_{x=0}^m \sum_{y=0}^n p(o_{xy}, I)}{m \times n} \quad (10)$$

部署策略优化的最终目标就是要在迭代次数尽可能小的情况下使公告板上的优化策略对应的目标函数 $f(X)$ 取得最大。

3.2 基于改进的人工鱼群与微粒群混合算法下的节点部署方法

监测区域中的每一个微粒代表一种传感器节点部署方法,同时一条人工鱼也代表了一种传感器节点部署方法。粒子群和人工鱼群混合算法的操作步骤如下:

1. 初始化:确定种群规模 N ,在变量可行域内随机生成

N 个个体,每个个体即为一种部署策略。设定人工鱼的可视域 $Visual$ 、人工鱼移动步长 S 的最大试探次数 $trynumber$ 、粒子群的加速度参数 c_1 和 c_2 、变异概率 P 。

2. 设置公告板:把种群 N 按粒子群算法的适应度函数算出其中每个个体的适应度值,得到最好值;将种群 N 按人工鱼群算法的适应度函数计算出其中每个个体的适应度值,得出最好值,比较这两个值的大小,把其中最优的赋给公告板。

3. 粒子群操作:将种群 N 按粒子群算法操作,得到 p_{best} 和 g_{best} 及新的种群 N' 。

4. 人工鱼操作: N' 按人工鱼群算法操作,得到最好解 $temp_{best}$ 和新的种群 N'' 。

5. 更新公告板:比较 p_{best} 和 $temp_{best}$ 的适应度值,用最优的与公告板上的数值比较,如优于公告板,则以其更新公告板。

6. 终止条件判断:重复第 3—第 5 步,直到公告板上的覆盖率达到一个限定值或者迭代次数达到规定次数为止。

7. 算法终止:读取公告板上的覆盖率与对应的个体状态。

4 实验与结果分析

为了验证本文所使用的算法的有效性,使用 3 种模型进行仿真实验:采用标准 PSO 算法、人工鱼群算法和改进后的人工鱼群与微粒群混合算法来优化无线传感器网络的节点部署。

在 PC 机上使用 MATLAB7.0 进行仿真实验。无线传感器网络的覆盖区域为 20×20 的正方形,每个传感器节点的感知半径 r 为 2.5,在覆盖区域内随机抛撒 25 个节点。本文提出的算法中的最大迭代次数设为 400 代。在使用微粒群算法迭代时微粒个数为 30,微粒的飞行速度 $V \in [-3, 3]$,参数 $c_1 = 0.9, c_2 = 0.9$ 。人工鱼群算法迭代时,人工鱼的个数设为 30,人工鱼的试探次数为 50,视野范围为 1000。将节点随机抛撒在测试区域,初始覆盖率为 68.5%。

图 1—图 3 为仿真的效果图。图中,圆心点表示传感器节点的位置,圆表示节点的感知面积。图 1 为使用标准 PSO 算法优化后的无线传感网络节点部署情况;图 2 为使用人工鱼群算法优化后的无线传感网络节点部署情况;图 3 为使用改进后的人工鱼群与微粒群混合算法对无线传感器网络节点进行部署的情况。

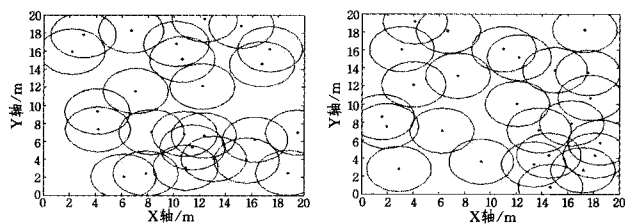


图 1 人工鱼群算法传感节点部署 图 2 PSO 传感节点部署

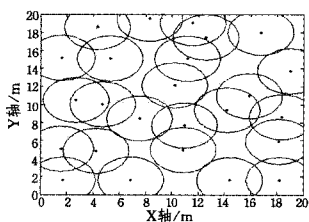


图 3 人工鱼群与微粒群混合算法传感节点部署

使用标准 PSO 算法部署的无线传感网络的覆盖率为

83.75%,使用人工鱼群算法进行部署的覆盖率为 77.25%,而使用人工鱼群与微粒群混合算法部署的覆盖率为 87.50%,改进后的算法覆盖率相对于标准 POS 算法提高了 3.75%。由此可见,使用人工鱼群与微粒群混合算法在提高覆盖率方面更具优势。

从这些图和数据中可以发现,本文提出的混合算法可以得到更好的覆盖率,并且得到的部署结果更加均匀,盲点较少。这是因为人工鱼群算法具有良好的克服局部极值、取得全局极值的能力。

表 1 列出 3 种算法网络覆盖率的数据对比。

表 1 3 种算法仿真结果对比

迭代次数	人工鱼群覆盖率(%)	微粒群覆盖率(%)	本文算法覆盖率(%)
100	75.75	78.00	79.55
200	78.75	79.25	81.90
300	79.25	83.75	84.25
400	77.25	83.75	87.50

从表 1 可以看出,在前 200 次的迭代过程中,3 种算法所得的效果相仿。由于人工鱼群算法搜索效率低,使用人工鱼群算法所得到的结果在 400 代时仍在变化中且覆盖率很低。而微粒群算法搜索速度快,在 300 代时已经达到 83% 左右,但是由于微粒群算法的局部搜索特性,使得该算法很快收敛,最终结果停留在 83% 左右。而使用人工鱼群微粒群混合算法所得到的结果则一直在增长,并且在 400 代时就达到了 87% 以上,速度较快。综上,相对于人工鱼群算法和微粒群算法,本文提出的算法不仅收敛速度较快,而且也具有较好的全局性,其结果最终稳定于 87.50%,网络覆盖率比初始覆盖率提高了 19.0%。

将 AFSA-POS 算法与常规的遗传算法、蜂群算法进行对比。遗传算法采用文献[2]的方法,蜂群算法采用文献[3]的方法。3 种算法都迭代 500 次。表 2 列出 3 种算法的仿真结果对比。

表 2 3 种算法仿真结果对比(50 次统计)

算法	覆盖率(%)
遗传算法	77
蜂群算法	81.5
AFSA-POS	87.50

由表 2 可以看出,本文提出的混合算法与遗传算法、蜂群算法相比,网络覆盖率均有提高,并且该算法能够在较少的代数内得到最优解。因此,采用本文所提算法来优化无线传感器网络节点部署的策略是可行的。

结束语 无线传感器网络中,使用不确定性节点部署的方式易造成节点冗余很大并且分布不均。本文针对无线传感器网络随机部署的特点,使用人工鱼群和微粒群混合算法建立模型,进行无线传感器网络节点部署。

仿真结果表明,使用该算法进行无线传感器网络部署优化,可以很有效地提高网络的覆盖率,提高网络的有效性和生存能力。

但是该算法未能有效加快迭代速度,这是今后的研究方向。

参考文献

[1] 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(6):2084-2086

(下转第 121 页)

方法的有效性和高效性。本文的研究成果可以应用于并行栅格数据处理算法的研究,以提高 I/O 性能。

下一步将着手完善本文所提的 4 个方法,增加多波段支持和十字型数据划分方法;借鉴 GDAL 的缓存管理等优化策略,进一步优化并行 I/O 性能;在此基础上,增加更多栅格数据格式的支持,最终研发一个高性能的并行 I/O 类库,并将其应用于并行栅格处理程序中的 I/O 操作。

参 考 文 献

- [1] 周毓麟,沈隆钧. 高性能计算的应用及战略地位[J]. 中国科学院院刊,1999(3):184-187
- [2] Guan Q, Clarke K C. A general-purpose parallel raster processing programming library test application using a geographic cellular automata model[J]. International Journal of Geographical Information Science,2010,24(5):695-722
- [3] Cheng G, Liu L, Jing N, et al. General-purpose optimization methods for parallelization of digital terrain analysis based on cellular automata[J]. Computers & Geosciences,2012,45:57-67
- [4] Nitzberg, Bill, Lo V. Collective Buffering: Improving Parallel I/O Performance[C]//Proceedings of the Sixth IEEE International Symposium on High Performance Distributed Computing. 1997,8:148-157
- [5] Kotz D. Disk-directed I/O for MIMD Multiprocessors[J]. ACM Transactions on Computer Systems,1997,15(1):41-47
- [6] Seamons K, Chen Y, Jones P, et al. Server-Directed Collective I/O in Panda[C]//Proceedings of Supercomputing. ACM Press, December 1995
- [7] Thakur, Rajeev. An Extended Two-phase Method for Accessing Sections of out-of-core Arrays[J]. Scientific Programming, 1996, 5(4):301-317
- [8] Gibson G A, Vitter J S, Wilkes J. Report of the Working Group on Storage I/O Issues in Large-Scale Computing[J]. ACM Computing Surveys, 1996, 28(4):12-28
- [9] Hierarchical Data Format Group National Center for Supercomputing Applications. HDF5 Data Model[Z]. University of Illinois at Urbana-Champaign, Sep. 2004
- [10] HDF 5 Users. Hierarchical Data Format Group National Center for Supercomputing Applications University of Illinois at Urbana-Champaign[OL]. <http://hdf.ncsa.uiuc.edu/users5.html>, May 2004
- [11] Warmerdam F. The geospatial data abstraction library open source approaches in spatial data handling[M]//Hall G B, Leahy M G, eds. Springer Berlin Heidelberg, 2008:87-104
- [12] Overview of I/O Performance and RAID in an RDBMS Environment [EB/OL]. <http://www.perftuning.com/whitepapers/RAID.pdf>, 2002-06
- [13] Parallel Virtual File System[EB/OL]. <http://www.pvfs.org>
- [14] Schmuck F, Haskin R. Gpfs: A shared-disk file system for large computing clusters[C]//Proceedings of the Conference on File and Storage Technologies, USENIX Association. 2002:231-244
- [15] Lustre Cluster File System[EB/OL]. <http://www.luster.org>
- [16] The MPI-IO Committee. MPI-IO: A Parallel File I/O Interface for MPI, Version 0. 5. World-Wide Web[OL]. <http://lovelace.nas.nasa.gov/MPI-IO>, April 1996
- [17] Thakur, Rajeev. An Extended Two-phase Method for Accessing Sections of out-of-core Arrays[J]. Scientific Programming, 1996, 5(4):301-317
- [18] Jiang Y, Wang Y, Pfletschinger S, et al. Optimal multiuser detection with artificial fish swarm algorithm[C]//Proc of International Conference on Intelligent Computing. Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag, 2007:1084-1093
- [19] Bonabeau E, Theraulaz G. Swarm smarts[J]. Scientific American, 2000, 282(3):72-79
- [20] Jonathan H, Zhiyuan R, Bruce H. Sentry-Based Power Management in Wireless Sensor Networks[C]//IPSN 2003. 2003:458-472
- [21] Lu Jun, Tatsuya S. Coverage-aware self-scheduling in sensor networks[C]//Proceedings of IEEE 18th Annual Workshop on Computer Communications(CCW 2003). 2003,10:117-123
- [22] Wu K, Gao Y, Li F. Light weight deployment-aware scheduling for wireless sensor networks[J]. Mobile Networks and Applications, 2005, 10(6):837-852
- [23] Suganthan P N. Particle swarm optimizer with neighbourhood operator[C]//Proceedings of the 1999 Congress on Evolutionary Computation. 1999:1958-1962
- [24] Jourdan D B, de Weck O L. Layout optimization for a wireless sensor network using a multi-objective genetic algorithm[C]//IEEE 59th Vehicular Technology Conference (VTC 2004-Spring). Vol. 5, 2004:2466-2470

(上接第 85 页)

- [2] 刘玉英,史旺旺. 一种基于遗传算法的无线传感器网络节点优化方法[J]. 传感器学报, 2009, 22(6):869-872
- [3] 袁浩. 基于改进蜂群算法无线传感器感知节点部署优化[J]. 计算机应用研究, 2010, 27(7):2704-2705
- [4] 崔莉,鞠海玲,苗勇,等. 无线传感器网络的研究进展[J]. 计算机研究与发展, 2005, 42(1):163-174
- [5] 刘丽萍,王智,孙优贤. 无线传感器网络中的资源优化[J]. 传感技术学报, 2006, 19(3):918-919
- [6] 李晓磊,路飞,田国会,等. 组合优化问题的人工鱼群算法应用[J]. 山东大学学报:工学版, 2004(05):64-67
- [7] 班晓娟,彭立,王晓红,等. 人工鱼群高级行为的自组织算法与实现[J]. 计算机科学, 2007(07):193-196
- [8] 亚湘,孙文瑜. 最优化理论与方法[M]. 北京:北京科技出版社, 1997
- [9] 王永才,赵千川,郑大钟. 传感器网络中能量最优化的聚类轮换算法[J]. 控制与决策, 2006, 4:400-404
- [10] 李莉,刘元安,唐碧华. 一种基于网格模型的传感器节点放置算法[J]. 武汉大学学报:理学版, 2007(S):83-87
- [11] 赵国炳,陈国定,张奇伟. 一种无线传感器网络覆盖优化方法[J]. 机电工程, 2009(06):80-82
- [12] 无线传感器网络节点部署问题研究[J]. 计算机学报, 2007, 30(4):563-568
- [13] 王联国,洪毅,赵付青,等. 一种改进的人工鱼群算法[J]. 计算机工程, 2008(19)
- [14] Huang C F. The coverage problem in wireless sensor network