

基于模糊控制的移动无线传感器网络部署优化

郑耿忠¹, 刘秋梅²

(1 韩山师范学院 数学与信息技术系, 广东 潮州 521041; 2 韩山师范学院 图书馆, 广东 潮州 521041)

摘 要: 将模糊控制机制引入移动传感器网络的节点部署中, 提出并分析了功率有效的模糊优化算法 PFOA, 仿真结果表明 PFOA 能有效实现移动节点部署的优化, 并极大延长网络的生命周期, 实现 WSNs 覆盖的最大化和高质量的可靠通信。

关键词: 无线传感器网络; 移动节点; 模糊控制; 覆盖

中图分类号: TP393

文献标识码: A

文章编号: 1000-7180(2011)02-0028-05

Deploy Optimization of Mobile Sensor Networks Based on Fuzzy Control

ZHENG Geng-zhong¹, LIU Qiu-mei²

(1 Department of Mathematics and Information Technology, Hanshan Normal University, Chaozhou 521041, China;
2 Library, Hanshan Normal University, Chaozhou 521041, China)

Abstract: The paper introduces fuzzy control mechanism into the deployment of WSNs, put forward and analysis Power-efficiency Fuzzy Optimization Algorithm(PFOA), simulation results show PFOA can achieve optimal deployment of mobile nodes efficiency, and prolong network lifetime greatly, realize maximize coverage and reliable communication with high quality of WSNs.

Key words: wireless sensor networks; mobile nodes; fuzzy control; coverage

1 引言

无线传感器网络(WireLess Sensor Networks, WSNs)是集信息采集、信息传输、信息处理于一体的综合智能信息系统^[1], 在前期研究中, 所研究的节点一般是固定不动, 随机布置的(在网络中, 传感器节点多是通过飞行器散播、人工埋置, 或火箭弹射等方式随机布置在监测区域)。但在一些特殊应用场合, 比如灾难现场紧急援救、建筑物内危险品泄漏、水体质量监测、战场侦察、地震监测等危险场合和动态环境中, 移动 WSNs 则具有很高的应用价值^[2]。在移动 WSNs 的研究中, 移动节点的部署问题是一个重要的研究方向, 即如何把有限的节点合理放置到监测区域中, 实现网络监测性能的最大化。

许多学者提出许多实现移动节点部署的方法,

比较典型的算法有 N. Heo 等人提出的分布式自扩散算法^[3], Podurei 等人提出的基于 K 邻居节点的算法^[4], Howard 等提出人工势场方法^[5], Zou 等人提出虚拟力方法^[6]。这些算法在研究如何利用虚拟力方法实现 WSNs 节点的部署上取得了一定的成果, 但都不能很好地处理节点的随机移动和环境突变所带来的种种问题。

基于上述原因, 本文提出了基于模糊控制的 WSNs 移动节点部署算法, 主要目标是通过模糊控制机制来实现对节点的移动, 从而实现节点部署的优化, 以达到 WSNs 覆盖的最大化和高质量的可靠通信。

2 模糊逻辑系统模型

在对移动 WSNs 节点的部署中如何决定移动节

点下一步移动的距离和移动方向是两个非常关键的问题,节点移动距离太大、太小及移动方向的偏离都会导致节点消耗过多的能量和时间,最终导致网络瘫痪。模糊控制是一种模仿人工的智能控制方法,它不依赖于被控对象的数学模型,这对于一些复杂可变的或者结构不确定难用准确的数学模型描述的系统而言是非常适宜的,由于移动 WSNs 节点的部署是一个难以确定数学模型的过程。为此,本文通过引入节点的功率、节点的邻居数量和相邻节点间平均欧氏距离等模糊变量,利用模糊控制器对节点的移动距离进行调整,并借鉴物理学中的库仑定理来确定移动节点的移动方向,以达到节点移动的准确性。

模糊控制是以控制人员的经验为基础的智能控制。通过观察值与设定值的不断比较,反复调整输出控制量,以达到期望的效果。本文采用文献[7]中的经典模糊逻辑系统模型,结构如图1所示。整个模糊处理过程包括以下几个步骤:

(1) 确定输入变量,将其输入 FLS 并对输入变量进行模糊化。本文采用单点集模糊化对输入变量进行模糊化,其中输入变量包括功率模糊变量 Power、邻居节点模糊变量 Neighbour、节点平均距离模糊变量 d_n 。

(2) 模糊推理引擎根据规则库中的控制规则计算输出集。本文的模糊逻辑系统规则库使用“IF-THEN”的规则形式^[8],具体规则如下:

R^l : IF x_1 is F_1^l and x_2 is F_2^l and $\dots$ and x_p is F_p^l , THEN y is G^l

(3) 解模糊器根据输出集进行解模糊。本文的模糊逻辑系统采用常用的重心法^[9],通过求出输出模糊集的重心进行解模糊。

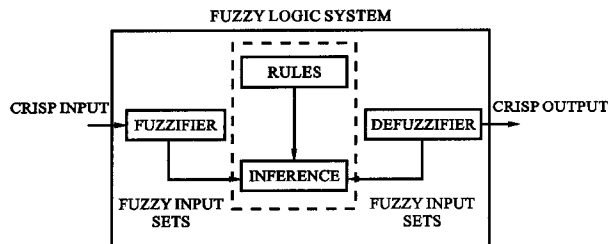


图1 模糊逻辑系统结构

3 功率有效的模糊优化算法分析

3.1 先决条件和假设

初始情况下 WSNs 的节点都是随机覆盖的,在分析功率有效的模糊优化算法(Power-efficiency Fuzzy Optimization Algorithm, PFOA)之前,有以下几点假设:

(1) WSNs 被感知区域是一个二维的网格,一个网格点被覆盖当且仅当至少一个传感器覆盖该点。(2) 一个传感器节点可以感知其感知范围内的任何事件,两个传感器节点在它们的通信范围内可以互相通信。(3) 感知和通信范围是一个基于二维网格圆形区域。(4) 所有节点都是点对点通信,节点具有一定的移动、计算、感知和通信能力。

3.2 输入和输出

模糊控制器的输入变量选择有3个,分别是:功率模糊变量 Power,指的是每个节点功率的大小;邻居节点模糊变量 Neighbour,指的是某个节点的邻居节点数目;节点平均距离模糊变量 d_n ,指的是相邻节点间的平均欧氏距离 d_m 。输出变量选择为节点的移动距离。输入信号和输出信号都是精确量,而进行模糊推理需要模糊量,所以在实现过程中还需要进行确量和模糊量之间的相互转换。

3.3 模糊化

模糊化可以定义为在确定的输入论域中将所观测的输入空间转换为模糊集的映射。

(1) 设描述功率变量 Power 的语言值的模糊子集为{低,适中,高},采用如下简记形式:Low=低, Moderate=适中, High=高;

设描述邻居节点变量 Neighbour 的语言值的模糊子集为{低,适中,高},采用如下简记形式:Low=低, Moderate=适中, High=高;

设描述节点平均欧氏距离模糊变量 d_n 的语言值的模糊子集为{近,适中,远},采用如下简记形式:CLose=近, Moderate=适中, Far=远;设描述节点移动距离模糊变量 d_m 的语言值的模糊子集为:{很近,近,适中,远,很远},采用如下简记形式:Very cLose=很近, CLose=近, Moderate=适中, Far=远, Very far=很远。

(2) 将功率模糊变量 Power 的论域量化为3个等级,分别表示为0,50,100则有: $X = \{0, 50, 100\}$;

将邻居节点模糊变量 Neighbour 的论域量化为3个等级,分别表示为0,5,10则有: $Y = \{0, 5, 10\}$;

将节点平均欧氏距离模糊变量 d_n 的论域量化为3个等级,分别表示为0,1,2则有: $Z = \{0, 1, 2\}$;将输出变量——节点移动距离模糊变量 d_m 的论域量化为3个等级,分别表示为0,1,2则有: $O = \{0, 1, 2\}$ 。

3.4 隶属度函数的选择

PFOA 算法采用三角形隶属度函数表示模糊集 Moderate,采用梯形隶属度函数表示模糊集 Low,

High, CClose, Far, 3 个输入变量和 1 个输出变量的隶属度函数分别如图 2~图 5 所示.

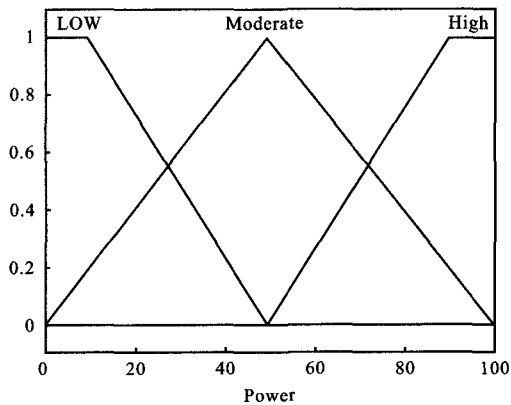


图 2 Power 隶属函数

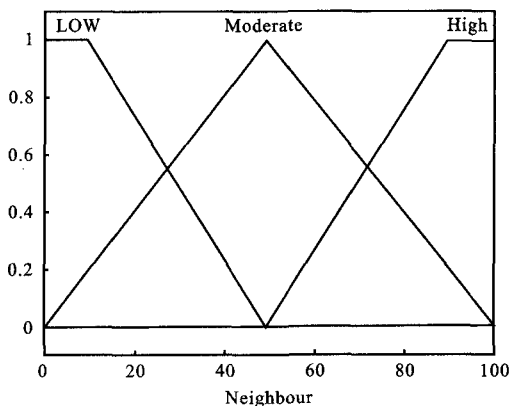


图 3 Neighbour 隶属函数

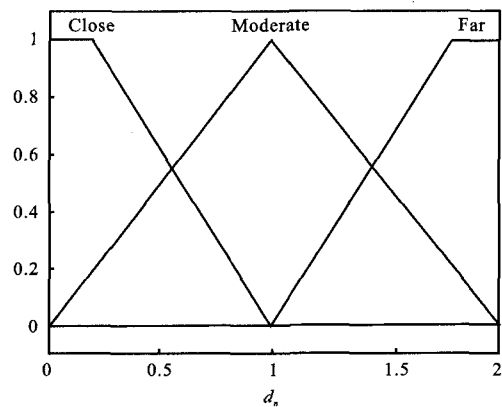


图 4 d_n 隶属函数

3.5 模糊控制规则

在模糊控制中,使用一组 IF-THEN 规则来进行控制,模糊控制规则实际上就是一组多重条件语句,它表示了从输入到输出的模糊关系 R.当论域被量化后,模糊关系可以用矩阵表示,便于推理和运算,控制量实际等于输入与模糊关系 R 的合成.由于三个输入变量都被量化为 3 个等级,因此控制规则有 27 条(表 1).设计的糊控制器就按照这组规则

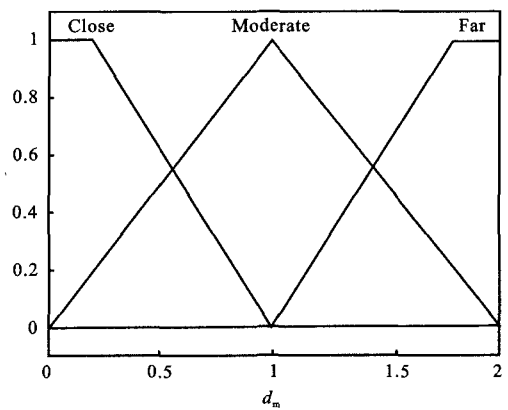


图 5 d_m 隶属函数

进行控制.例如:IF Power=Low and Neighbour=Low and d_n =CClose THEN d_m =CClose.

表 1 控制规则

Number	Power	Neighbour	d_n	d_m
1	Low	Low	CClose	CClose
2	Low	Low	Moderate	CClose
3	Low	Low	Far	CClose
4	Low	Moderate	CClose	Moderate
5	Low	Moderate	Moderate	CClose
6	Low	Moderate	Far	CClose
7	Low	High	CClose	Moderate
8	Low	High	Moderate	CClose
9	Low	High	Far	CClose
10	Moderate	Low	CClose	Moderate
11	Moderate	Low	Moderate	CClose
12	Moderate	Low	Far	CClose
13	Moderate	Moderate	CClose	Far
14	Moderate	Moderate	Moderate	Moderate
15	Moderate	Moderate	Far	CClose
16	Moderate	High	CClose	Far
17	Moderate	High	Moderate	Moderate
18	Moderate	High	Far	Moderate
19	High	Low	CClose	Far
20	High	Low	Moderate	Moderate
21	High	Low	Far	Moderate
22	High	Moderate	CClose	Far
23	High	Moderate	Moderate	Far
24	High	Moderate	Far	Moderate
25	High	High	CClose	Far
26	High	High	Moderate	Far
27	High	High	Far	Far

3.6 解模糊

算法采用质心法

$$u = \frac{\sum x_i \cdot \mu_N(x_i)}{\sum \mu_N(x_i)} \quad (1)$$

进行解模糊,取输出模糊集的隶属度函数曲线与横坐标轴围成区域的重心对应的论域元素值为输出值.利用式(1),对 $\forall x_i \in [0, 1]$ 的值进行计算,采用MatLab的模糊工具箱进行仿真可以得到根据推理规则产生的解模糊结果,通过图6可以清晰地看到节点移动距离随节点功率、邻居节点数、节点间欧氏距离变化的情况,例如当Power=38、Neighbour=6、 $d_n=1.12$ 时,节点的移动距离 $d_m=0.956$.

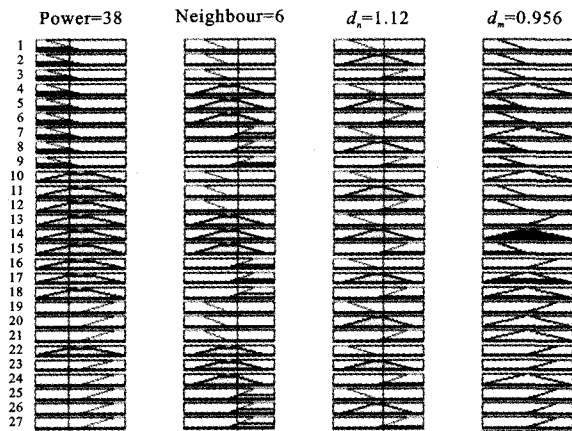


图6 推理规则作用过程和重心法解模糊

4 移动节点方向的确定

与确定移动节点的距离相比,移动节点的移动方向相对来说比较容易,可以借鉴物理学中的库仑定理来确定移动节点的移动方向.文献[10]中对移动节点方向的确定进行了较详细分析.

5 仿真与性能分析

将100个传感器节点随机分布在 1000×1000 的单位长度区域内, R_c 为节点通信范围, R_s 为节点感知范围,每个移动节点都带有一个全方位天线用于数据感知和通信.

图7中比较了节点随机部署,文献[10]中的FDA及本文的PFOA,在 $R_c=2\text{ km}$, $R_s=1\text{ km}$ 情况下节点覆盖率的性能比较.仿真结果可以看出文献[10]FOA和本文的PFOA性能相近,都可使节点覆盖率比随机部署的情况提高20%~30%,当节点数达到60个时,运行FOA和PFOA,节点覆盖率都可达到90%以上.

图8中比较了节点随机部署、文献[10]的FOA及本文的PFOA,在 $R_c=4\text{ km}$, $R_s=2\text{ km}$ 情况下,节点覆盖率的性能比较.从仿真结果可以看出节点

数为20个时,初始情况下随机部署节点的覆盖率约为86%,而FOA和PFOA均可使节点覆盖率达到96%以上.上述仿真结果从另一侧面也说明利用PFOA即使在部署少量节点情况下也可以获得比较理想的覆盖范围.

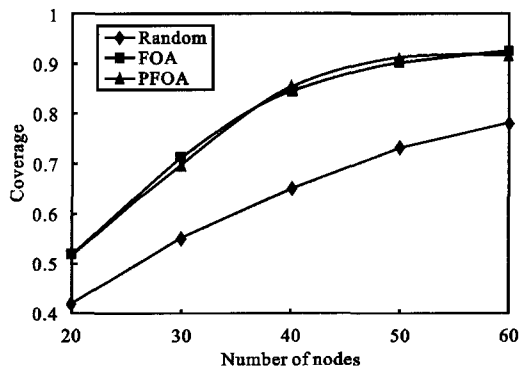


图7 Random、FOA、PFOA 性能分析

(Coverage vs. Number of Nodes $R_c=2\text{ km}$, $R_s=1\text{ km}$)

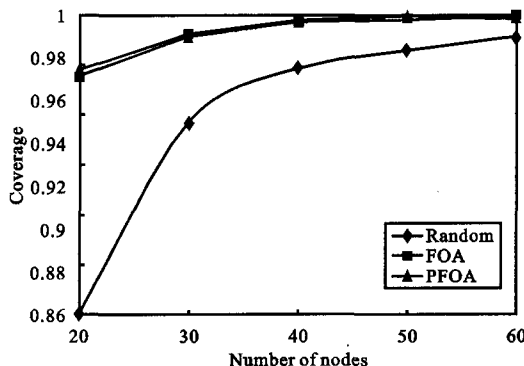


图8 Random、FOA、PFOA 性能分析

(Coverage vs. Number of Nodes $R_c=4\text{ km}$, $R_s=2\text{ km}$)

图9所示为PFOA的模糊控制曲面,模糊控制曲面是一个随时间变化的非线性曲面,反映了模糊控制器的动态控制过程,从图9可以看出,尽管一些移动节点的邻居节点数很高,但其移动距离都比具有较高功率和具有较少邻居的节点的移动距离要小一些.通过图9的模糊控制曲面很容易分析出移动节点与节点功率、节点邻居数之间的动态关系,并很容易确定移动节点下一步的移动距离.

网络寿命定义为第一个节点死亡的时间,分别在具有20,40,60,80,100个节点的5种网络中,针对随机节点部署、FOA、PFOA的网络生存时间进行测试,仿真结果如图10所示.仿真结果表明,PFOA在设计时由于考虑了节点功率因素,因此能够有效地延长网络寿命,其网络生存时间高于随机部署和FOA.

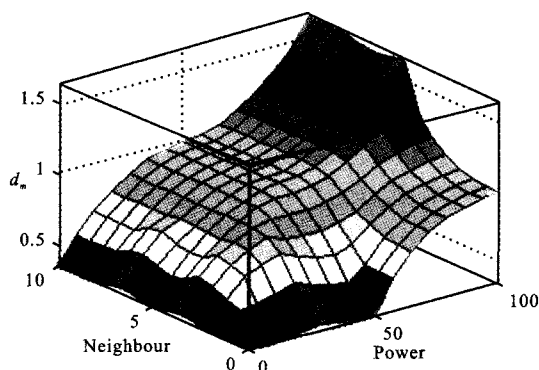
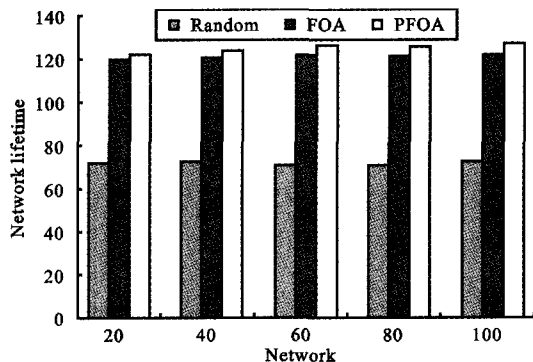
图9 模糊控制曲面(Power, Neighbour, d_m)

图10 Random、FOA、PFOA 性能分析(网络生存时间)

6 结束语

本文在移动 WSNs 的节点部署中引入模糊控制策略,通过对移动节点的移动距离和方向进行模糊控制来提高 WSNs 移动节点的覆盖率,使 WSNs 的拓扑结构更加健全完善,从而延长整个网络的生命周期。目前,移动 WSNs 移动节点的部署还没有合适有效的理论模型,将模糊控制理论应用于 WSNs 的性能优化中,能为 WSNs 中其它核心技术的研究带来一定的借鉴意义。

参考文献:

- [1] 苗紫晖,于海勋. 无线传感器网络中 LEACH 算法的改进研究 [J]. 微电子学与计算机, 2009, 26(12): 142—145.
- [2] 顾相平,孙彦景. 一种改进的无线传感器网络分簇路由

协议[J]. 微电子学与计算机, 2009, 26(3): 34—37.

- [3] heo N, Varshney P K. A distributed self spreading algorithm for mobile wireless sensor networks[C]// IEEE International Conference on Wireless Communications and Networking. New Orleans: IEEE, 2003: 1597—1602.
- [4] Poduri S, Sukhatme G S. Constrained CoVerge For Mobile sensor networks[C]// IEEE International Conference on Robotics and Automation. New Orleans: IEEE, 2004: 165—171.
- [5] Howard A, Mataric M J, Sukhatme G S. Mobile sensor network deployment using potential Fields: a distributed, scalable solution to the area coverage problem[C]// Proceeding of the 6th Int L Symposium Distributed Autonomous Robotics Systems (DARS). Fukuoka, 2002: 299—308.
- [6] Zou Y, Chakrabarty K. Sensor deployment and target Localization in distributed sensor networks[J]. ACM Trans on embedded Computing Systems, 2004, 3(1): 61—91.
- [7] Mendel J M. Fuzzy Logic Systems for Engineering: A Tutorial[J]. Proceedings of the IEEE, 1995, 83(3): 345—377.
- [8] Mamdani E H. Applications of Fuzzy Logic to approximate reasoning using Linguistic systems [J]. IEEE Trans on Systems, Man, and Cybernetics, 1997, 26(12): 1182—1191.
- [9] Mendel J M. Uncertain Rule-Based Fuzzy Logic Systems[M]. Upper Saddle River, NJ: Prentice-hall, 2001.
- [10] Haining Shu, Qilian Liang. Fuzzy optimization for distributed sensor deployment[C]// Proceedings of WCNC. New Orleans: IEEE Communication Society, 2005: 1903—1907.

作者简介:

郑耿忠 男, (1975—), 博士研究生, 副教授. 研究方向为网络优化与传感器网络.

刘秋梅 女, (1976—), 硕士, 副研究馆员. 研究方向为数字图书馆及个性化服务.