

基于模糊逻辑的无线传感网络分簇路由协议^①

苏国栋¹, 王平¹, 徐世武², 蔡碧丽³

¹(福建师范大学 光电与信息工程学院, 福州 350007)

²(福建师范大学 协和学院信息技术系, 福州 350108)

³(福建省侨兴轻工学校 机电科, 福清 350301)

摘要: 能量消耗是无线传感器网络中首要考虑的问题. 为了均衡每个节点的能耗, 延长网络节点的生存寿命, 本文提出了一种基于模糊逻辑方法的 FLCHE 分簇路由协议. 该协议充分考虑了节点的剩余能量, 能量消耗速率以及节点的分布密度. 通过 MATLAB 实验仿真表明, 相比于经典的 LEACH 分簇路由协议, FLCHE 协议更加均衡了网络节点的能耗, 有效地延长了网络的生命周期, 总体性能优于 LEACH 算法.

关键词: 无线传感网络; 均衡能耗; LEACH; FLCHE; 模糊逻辑

Fuzzy Logic Used in Cluster-Head Election for Wireless Sensor Networks

SU Guo-Dong¹, WANG Ping¹, XU Shi-Wu², CAI Bi-Li³

¹(College of Photonic and Electronic Engineering, Fujian Normal University, Fuzhou 350007, China)

²(Department of Information Technology, Concord College, Fujian Normal University, Fuzhou 350108, China)

³(Department of Electrical and Mechanical, School of Fujian Qiaoxing Light Industry, Fuqing 350301, China)

Abstract: The energy consumption is a primary consideration factor in the Wireless Sensor Networks(WSN). To balance the energy consumption of each node and enhance the lifetime of the network, in this paper, a fuzzy logic approach to cluster-head election which is called FLCHE is proposed. This algorithm fully consider the residual energy of the node, the energy consumption rate, and the distribution density of the node. Simulation with Matlab shows, compared to the LEACH, FLCHE balance the energy consumption of the nodes more and prolong the network lifetime. The overall performance is better than LEACH.

Key words: wireless sensor networks; Balance the energy consumption; LEACH; FLCHE; fuzzy logic

1 引言

随着现代通信技术的发展, 无线传感器网络技术已经广泛应用于医疗监控、环境检测以及智能家居等场合. 它由许多廉价的便捷式节点构成, 而节点的能量、存储容量、计算能力都比较有限. 因此, 传感器节点的节能成了传感器网络路由设计首要考虑的因素. 传统的平面路由协议因为节点能耗极度不均衡, 不太适合运用于能量受限的无线传感器网络中, 而分簇路由协议通过动态的更换簇首节点, 均衡节点的能耗, 因此非常适合于无线传感器网络中^[1,2], 在目前的分簇路由机制中, 麻省理工(MIT)的几位作者提出的 LEACH 分簇算法^[3]应该也是比较经典的, 也是最早提出

的分簇路由算法, 该算法几乎贯穿了以后分簇路由机制的发展.

然而, 大部分协议并没有充分考虑节点的剩余能量、能量消耗速率以及节点的分布密度^[4-7], 为了更加均衡整个网络的能耗, 本文提出基于模糊逻辑的分簇路由算法. 目前, 国内外对基于模糊逻辑的无线传感器网络路由算法设计也进行了相关研究. 文献[8-11]均提出了基于模糊逻辑的分簇路由算法, 他们将节点的剩余能量和邻居节点数目作为分簇路由协议设计的重要因素. 其中, 文献[9]还从节点的通信流量方面对无线传感器网络进行研究, 文献[10,11]还考虑了簇头与邻居节点的平均距离对无线传感器网络的影响. 而

① 收稿时间:2012-12-24;收到修改稿时间:2013-01-28

本文提出了 FLCHE 路由算法, 该算法充分的考虑了节点的剩余能量, 能量消耗速率以及节点的分布密度三个关键因素.

2 LEACH 算法分析

LEACH 是由 Wendi Rabiner Heinzelman 等人提出的一种低功耗自适应聚类路由协议. 在该协议中, 每个传感器节点都等机率的当选簇头节点. 每一轮进行簇头选举时, 每个节点在 0 与 1 之间随机产生一个值, 如果这个随机值小于阈值 $T(n)$, 那么这个节点就当选为当前轮的簇头. 其中, 阈值 $T(n)$ 设置如式(1)所示.

$$T(n) = \begin{cases} \frac{p}{1 - p \left(r \bmod \frac{1}{p} \right)} & \text{if } n \in G \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad (1)$$

式(1)中, p 表示簇头节点占这个传感网络所有节点的百分比, r 表示当前轮数, G 表示在过去的 $1/p$ 轮中未当选簇头的节点集合. 这种的簇头选举方法保证了所有的节点在 $1/p$ 轮内都充当一次簇头节点, 以达到均衡整个网络的能量消耗, 延长生命周期.

然而, 该簇头选举方法存在着许多不足之处, 它仅仅考虑到了节点自身的信息. 首先, LEACH 算法没有考虑每个节点当前的剩余能量, 以至于那些相对能量较少的传感器节点被选为簇头; 其次, 被选举出来的簇头节点位于周围节点密度较低的位置, 这样就增加了其他节点的通信消耗; 第三, 没有考虑到节点能耗的速率等等.

3 基于模糊逻辑的分簇算法

针对 LEACH 协议中簇头选择存在问题, 我们提出了 FLCHE 算法, 利用模糊逻辑优化簇头节点的选择, 均衡传感器节点的能量消耗, 延长网络的生命周期. 首先, 类似于 LEACH, FLCHE 算法也是每一轮都重新选举簇头, 但是, 没有要求每个传感器节点在每 $1/p$ 轮都充当一次簇头. FLCHE 算法的基本思想就是根据每个节点的剩余能量、邻居节点数目以及能耗速率这三个参数, 计算出一个合理的值 *chance* 来代替 LEACH 算法中随机产生的随机值, 然后根据模糊化的结果值进行簇头的选择, 从而更有目的地均衡整个网络能量. 簇头选举结束后, 基站广播信息, 告知各个节点是否当选为簇头. 而簇的组织和数据传送采用与 LEACH

算法相同的机制.

3.1 系统模型

本文所描述的无线传感器网络的基本模型如图 1 所示. 非簇头节点和簇头节点均为传感器节点. 每个非簇头节点发送自身数据给簇头节点, 而簇头节点接收并且融合簇内节点的信息, 并且最终将数据传送到基站. 那么基于本系统模型, 我们给出了如下假设^[10,11]:

- 基站离传感器节点都非常远, 并且不可移动;
- 所有传感器节点为同构节点, 且具有相同的初始能量;
- 双向对称的传输信道.

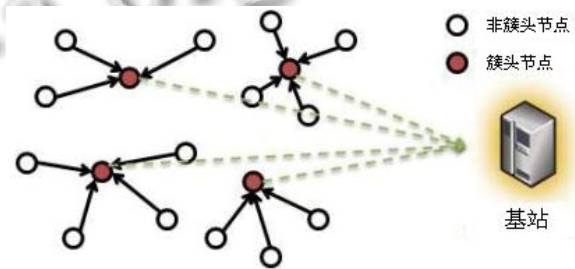


图 1 无线传感器网络系统模型

3.2 模糊控制器的设计

模糊控制器就是用模糊逻辑模仿人的逻辑思维来对难以建立数学模型的系统进行控制的设备. 模糊逻辑主要在于模糊控制器的设计, 基本元素是隶属函数、规则库以及解模糊单元. 下面将详细描述模糊控制器的设计过程.

1) 输入输出变量描述

剩余能量——每个节点的当前剩余能量, 我们用模糊变量 *RE* 来表示.

邻居节点数——该节点邻域内, 存活的邻居节点数目. 邻域是指以该节点为圆心半径为 20m 的区域. 我们用模糊变量 *Neighbors* 来表示.

能量消耗速率——某节点在第 $r+1$ 轮消耗的能量与第 r 轮该节点的剩余能量的比值, 我们用模糊变量 *ERE* 来表示.

其中, 我们用语言变量来描述模糊集合. 将剩余能量量化为七个等级, 分别为 *VL*、*L*、*RL*、*M*、*RH*、*H*、*VH*, 依次代表非常低、低、相当低、中等、相当高、高、非常高, 其中, *VL* 采用右梯形隶属函数, *VH* 采用左梯形隶属函数, 其他的都采用三角形隶属函数. 将邻居节点数目量化为三个等级, 依次为 *L*、*M*、*H*, 分

别代表少、中等、高,其中, L 采用右梯形隶属函数, H 采用左梯形隶属函数, M 采用三角形隶属函数. 将能量消耗速率量化为一个等级为 L , 采用左梯形隶属函数. 将机率量化为七个等级, 分别为 VL 、 L 、 RL 、 M 、 RH 、 H 、 VH , 依次代表非常低、低、相当低、中等、相当高、高、非常高, 均采用三角形隶属函数. 输入输出变量的隶属函数分别如图 2、3、4、5 所示.

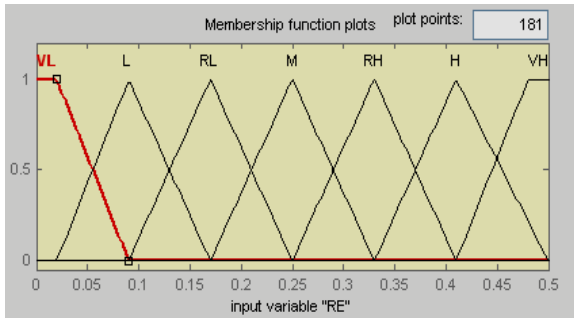


图 2 RE 隶属函数

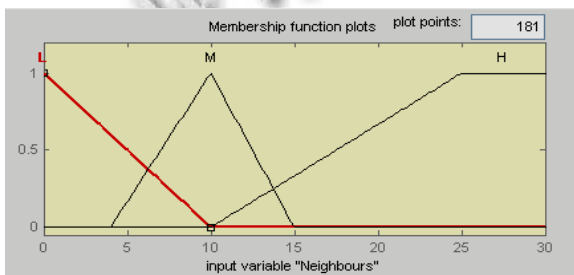


图 3 Neighbors 隶属函数

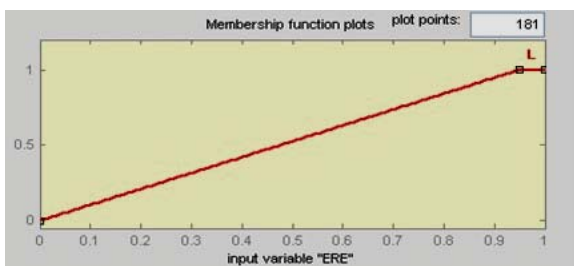


图 4 ERE 隶属函数

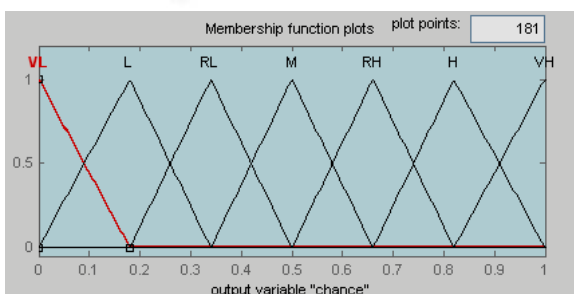


图 5 chance 隶属函数

2) 规则库

由此, 我们采用 $7 \times 3 \times 1$ 条模糊规则. 本文采用的是最常用的 Mamdani 模型, 即规则中条件之间的连接关系采用模糊最小蕴含运算, 规则之间聚合采用模糊最大值运算. 本系统的规则库如表 1 所示.

表 1 模糊规则库

Number	RE	Neighbors	ERE	chance
1	VH	H	L	VH
2	VH	M	L	VH
3	VH	L	L	H
4	H	H	L	VH
5	H	M	L	H
6	H	L	L	RH
7	RH	H	L	H
8	RH	M	L	RH
9	RH	L	L	M
10	M	H	L	RH
11	M	M	L	M
12	M	L	L	RL
13	RL	H	L	M
14	RL	M	L	RL
15	RL	L	L	L
16	L	H	L	RL
17	L	M	L	L
18	L	L	L	VL
19	VL	H	L	L
20	VL	M	L	VL
21	VL	L	L	VL

由表 1, 我们可以看到具有较多剩余能量的传感器节点具有更大充当簇头的机会, 周围节点分布较密的传感器节点同样具有更大成为簇头的机会. 另外, 我们也考虑了节点的能量消耗速率, 具有较高的能耗速率的节点对应着较低的充当簇头的机会. 综合着三方面的因素, FLCHE 算法就可以选举出最优的簇头节点.

3) 解模糊

显然模糊输出量无法直接控制执行部件, 要确定一个最有代表性作用的值作为真正的输出控制量, 这就是解模糊要完成的功能. 解模糊最经常使用的方法是质心法^[12], 其代数表示式如式(2)所示.

$$z^* = \frac{\int \mu_c(z)zdz}{\int \mu_c(z)dz} \quad (2)$$

4 仿真与分析

为了比较 FLCHE 算法相对于 LEACH 算法的优越性, 我们使用 Matlab 对两种算法进行仿真. 大多数情况下, 我们评价一个分簇路由算法性能的好坏, 一般都采用网络中第一个节点死亡时刻(FND), 一半节点死亡时刻(HNA), 最后一个节点死亡时刻(LND)三个指标来判断. 然而整个网络等到最后节点死亡已经没有意义了, 因此我们把最后一个节点死亡时刻改为 85% 节点死亡时刻来比较. 本文也采用这种方式来分析比较两种算法的性能. 那么, 我们采用的仿真环境为节点随机分布在 100m×100m 的正方形区域内, 基站的位置为坐标(50,200), 其他仿真实验参数表如表 2 所示.

表 2 FLCHE 算法仿真实验参数表

参数	取值
节点总数	动态调整值
节点发射每 bit 所消耗的能量 Eelec	50nJ/bit
数据融合能耗	50nJ/bit
自由空间模型 Efs	10pJ/bit/m2
多径衰落模型 Emp	0.0013pJ/bit/m4
控制包长度	100bit
数据包长度	4000bit
节点初始能量	0.5J

表 3 为随机的某次试验结果, 从中我们可以看出, 与 LEACH 相比, 新算法第一个节点死亡时刻延迟了 267 轮, 一半节点死亡时刻延迟 199 轮, 85%节点死亡时刻延迟 72 轮. 图 6 表示为网络存活节点数对比图, 我们也可以发现 FLCHE 算法明显优于 LEACH 算法, 因此, 显而易见, 从各个节点死亡时刻来看, 我们提出的新算法优势明显, 使得整个网络的能量分布更加均匀. 从整体上来看, 我们提出的新算法延长了整个网络的整体有效性, 提高了无线传感网络的稳定性和可靠性, 延长整个网络的生命周期.

表 3 n=100

	FND	HNA	85%
LEACH	498 轮	669 轮	829 轮
FLCHE	765 轮	868 轮	901 轮

下面, 我们从无线传感器网络的稳定期来比较 LEACH 算法与 FLCHE 算法. 网络的稳定期, 是指从第一轮开始到第一个节点死亡的时期. 由图 7 可见,

随着网络中传感器节点数的增加, 基于 LEACH 路由算法的网络稳定期几乎保持一致, 甚至有降低的迹象, 而基于我们提出的路由算法, 网络稳定期随着传感器节点数的增加而增加. 可见, 从网络稳定期来看, FLCHE 算法相对于 LEACH 算法优势越来越大, 网络更加稳定, 性能更加优越.

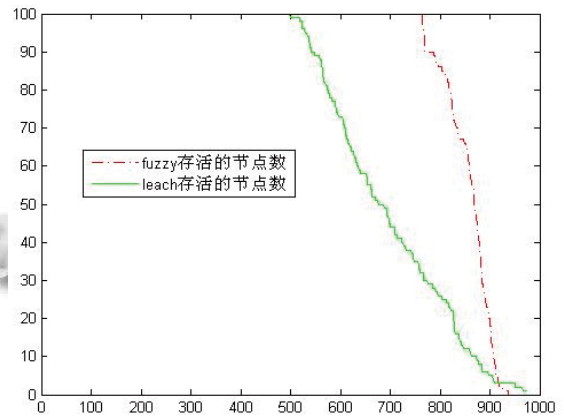


图 6 网络存活节点数对比(n=100)

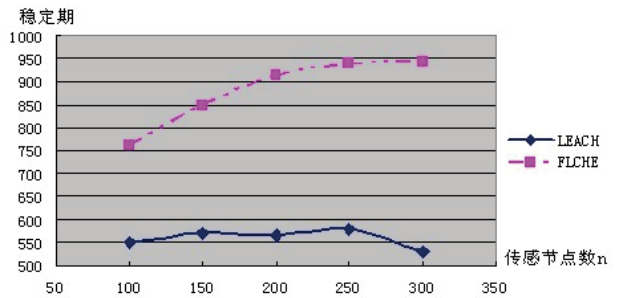


图 7 网络稳定期对比

5 总结

能量作为无线传感器网络设计的最主要因素, 我们应该尽可能获得更高的能效. 本文, 在经典的 LEACH 分簇机制的基础上, 对于簇首选择方式进行了改进, 充分考虑并且综合节点剩余能量、邻居数目以及能量消耗速率, 从而使得这个网络更加优化. 仿真结果表明, 我们提出的 FLCHE 算法能够提高这个无线传感网络的稳定性和可靠性, 有效的延长整个网络的生命周期.

参考文献

- 1 陈磊,赵保华.低能耗自适应分簇的面向数据融合的路由协议.北京邮电大学学报,2009,32(5):71-74.
- 2 唐伟,郭伟.无线传感器网络中的最大生命期基因路由算法.

- 软件学报,2010,21(7):1646-1656.
- 3 Heinzelman W, Chandrakasan A, Balakrishnan H. Energy-Efficient Communication Protocol for Wireless Microsensor Networks. Proc. of the 33 rd Hawaii International Conference on System Science. Hawaii, USA, 2000: 3005-3014.
 - 4 Kumar D, Aseri TC, Patel RB. EEHC: Energy efficient heterogeneous clustered scheme for wireless sensor networks. Computer Communications, 2009 Elsevier, 662-667.
 - 5 Shah GA, Akan OB, Bozyigit M. Multi-Event adaptive clustering (MEAC) protocol for heterogeneous wireless sensor networks. Proc. Fifth Annual Mediterranean Ad Hoc Networking Workshop (MedHoc-Net 2006). June 2006.
 - 6 Chen GH, Li CF, Ye M, Wu J. An unequal cluster-based routing protocol in wireless sensor networks. Wireless Network, 2009,15:193-207.
 - 7 Chamam A, Pierre S. On the Planning of Wireless Sensor Networks: Energy-Efficient Clustering under the Joint Routing and Coverage Constraint. IEEE Trans. on mobile computing, 2009,8(8):1077-1086.
 - 8 沈晓瑞.基于模糊逻辑的无线传感器网络分簇路由协议的研究[学位论文].太原:太原理工大学,2010.
 - 9 罗媛媛.基于模糊逻辑的无线传感器网络路由协议的研究[学位论文].武汉:武汉工程大学,2011.
 - 10 Gupta I, Riordan D, Sampalli S. Cluster-head Election using Fuzzy Logic for Wireless Sensor Networks. Communication Networks and Services Research Conference. May 2005: 255-260.
 - 11 Kim JM, Park SH, Han YJ, Chung TM. CHEF: Cluster Head Election mechanism using Fuzzy logic in Wireless Sensor Networks. Advanced Communication Technology, October 2005: 654-659.
 - 12 钱同惠,沈其聪,葛晓滨,等译.模糊逻辑及其工程应用.北京:电子工业出版社,2001.

(上接第 140 页)

和早熟等缺点,定义了粒子进化速度和粒子聚集度公式,将惯性权重表示为粒子进化速度和粒子聚集度的函数,使惯性权重具有动态自适应性.并将慢变函数引入传统位置更新公式中,有效地克服陷入局部最优解的问题.改进后的量子行为粒子群算法具有更高的全局搜索性能.以分配各类武器迎击来袭目标的失败概率最低为目标,建立多种类型武器目标分配问题模型.仿真试验表明,本文算法较具有量子行为粒子群算法具有较高的搜索性能和较快的收敛速度.算法的可行性、有效性均得到了验证.

参考文献

- 1 岳海军,许梅生.贪心遗传算法解决一般武器-目标分配问题.火力与指挥控制,2009,34(8):49-55.
- 2 常天庆,白帆,王钦钊.解坦克分队武器-目标分配问题的小生境遗传算法.装甲兵工程学院报,2012,26(1):44-49.
- 3 苏森,钱海,王煦法.基于免疫记忆的蚁群算法的 WTA 问题求解.计算机工程,2008,34(4):215-217.
- 4 陈伟,陈杰,辛斌.求解面向进攻的武器-目标分配问题的蚁群算法.火力与指挥控制,2012,37(4):37-41.
- 5 肖嵘,赵成旺,王护利,檀朝彬.多群协同 PSO 优化算法的 WTA 问题求解.计算机仿真,2010,27(9):12-15.
- 6 Sun J, Feng B, Xu WB. Particle swarm optimization with particles having quantum behavior. Proc. of 2004 Congress on Evolutionary Computation. Piscataway, NJ: IEEE Press, 2004: 325-331.
- 7 李欣然,靳雁霞.一种求解组卷问题的量子粒子群算法,计算机系统应用,2012,21(7):244-248.
- 8 李欣然,靳雁霞.量子行为粒子群优化算法在公交调度优化中的应用,计算机系统应用,2012,21(7):191-195.
- 9 杨义群.慢变函数的特性,自然杂志,1982,2:153-154.