

一种基于正六边形网格的 LEACH 协议改进

严斌亨, 刘 军

(武警工程大学 信息工程系, 陕西 西安 710086)

摘 要: 针对 LEACH 协议中存在的节点簇头选举不合理、能量消耗不均衡以及监测得到的数据冗余现象较为严重的问题, 结合虚拟单元格的思想, 提出一种基于正六边形网格的新型路由协议 LEACH-HG. 该协议采用虚拟单元格来划分整个监测区域, 并在各个网格中选取活跃工作节点作为候选簇头节点, 同时考虑节点能量和单元格存活节点的数量, 使得簇头选举更为合理. 仿真实验结果表明, 改进后的 LEACH-HG 协议较之于 LEACH 协议, 能够有效均衡整个网络节点能耗, 提高网络生存周期.

关键词: 无线传感器网络; LEACH 算法; 正六边形; 簇头选择

中图分类号: TP393

文献标识码: A

文章编号: 1000-7180(2016)08-0097-05

An Improved LEACH Protocol Based on Hexagonal Grid

YAN Bin-heng, LIU Jun

(Department of Information Engineering, Engineering College of CAPF, Xi'an 710086, China)

Abstract: Combined with the virtual cell ideology, a new energy efficient routing protocol of LEACH is proposed in the paper, which is based on the question of numerous redundancies with data collecting in nodes, unreasonable of the cluster head election and imbalance of energy consumption in LEACH protocol. The protocol adopts the virtual cell to divide the whole monitoring area, and select active work node as the candidate cluster head nodes in each grid. It gives full consideration of surplus energy and survival number of nodes in the cell to elect the cluster. Simulation results show that this improved routing protocol better than LEACH protocol on the cluster-head nodes selection, and it can extend the survival time of the network, and makes the energy consumption more balanced.

Key words: wireless sensor networks; LEACH protocol; hexagonal; cluster heads selected

1 引言

WSNs 是由大量体积小、成本低、电池供电的传感器节点密集分布在一定范围内的自适应系统, 这些传感器节点在部署范围内协同进行数据的采集、存储、处理和传输, 完成对整个区域的监控. 目前广泛应用于军事、工业、农业、医学和抢险救灾等领域.

LEACH^[1] 协议是一种比较成熟的经典层次路由协议, 该协议中各个节点通过随机等概率的方式当选簇头, 节点分担能量消耗, 从而延长网络寿命. 大量研究表明, 与早先的平面和静态分簇路由协议比较, LEACH 协议可以将网络的寿命提高

15% 左右^[2]. 但由于 LEACH 协议的簇头是随机选举的, 没有考虑节点剩余能量和位置, 需要进一步改进. 文献[3]在无线传感器网络路由协议中引入删格划分, 避免多余的划分簇以及簇头选择, 有效延长网络寿命; 文献[4]提出了一种联合选举动态成簇算法, 选举簇头考虑节点剩余能量, 并建立以簇头为根的树结构收集并融合数据, 从而有效降低节点传输的数据量.

本文在对 LEACH 协议的工作原理以及存在的优缺点进行分析后, 提出一种基于正六边形网格的 LEACH 改进协议, 通过引进虚拟单元格划分整个监测区域, 采用考虑节点能量和单元格内存活节

点数的簇头选举方式,优化簇头选举.

2 LEACH 协议

LEACH 协议是一种层次型拓扑控制的协议,协议引入了‘轮’的概念,每一轮工作过程可分为簇的建立和数据的稳定传输.

簇的建立又可细分为两步:第一步是各节点随机等概率竞选担任簇头;第二步是担任簇头的节点广播身份消息,非簇节点选择加入相应的簇.簇头选举时,各个节点都生成一个介于 0 到 1 间的随机数,并与确定的阈值 $T(n)$ 相比较,判定是否担任簇头.阈值 $T(n)$ 计算公式见式(1):

$$T(n) = \begin{cases} \frac{p}{1 - p[r \bmod (1/p)]}, n \in G \\ 0, \text{otherwise} \end{cases} \quad (1)$$

式中, p 是簇头的数目和节点总数目的比值; G 是之前轮中都是簇成员节点的集合; r 表示当前的选举轮数.

选举完成后,每一个簇成员节点根据接收到信号的强弱选择加入对应的簇,簇成员节点采用 TDMA 方式与簇头通信.簇建立完成后,节点若有数据要发送,就利用各自的时隙进行传输,之后簇头节点融合处理接收的数据并发送到汇聚节点.

LEACH 协议的簇头随机选举,保证了每一轮内每一个节点都能当选一次簇头,以此达到均衡节点能耗的目的,提高网络寿命.但 LEACH 协议仍存在以下不足之处.

(1) LEACH 协议的簇头随机选举机制虽然保证了各节点等概率竞选簇头,但是没有考虑节点的能量状态,在每一轮循环选举中,如果某一节点的剩余能量较少却仍然当选为簇头,则会进一步加速该节点耗尽能量,进而死亡.

(2) LEACH 协议中节点竞选簇头时没有考虑节点密度对当选为簇头概率的影响.

(3) 由于网络中的节点是随机抛撒部署的,因此某一些节点可能分布较为集中,使得采集的数据重复度过高,导致不必要的数据传输和融合.

3 基于正六边形网格的 LEACH-HG 协议

针对上述对 LEACH 协议的特点和问题,提出了改进的路由协议 LEACH-HG (LEACH- Hexagonal Grid),该协议保留原协议的“轮”的工作过程.

在簇建立阶段,首先采用虚拟单元格对区域进行划分,将每个网格中剩余能量最多的节点作为代表节点参与簇头选举,网格内其他节点进入休眠模式,从而达到节省能量以及降低数据冗余度的目的;然后利用节点剩余能量及单元格节点数来确定簇头.之后进入数据稳定传输阶段,采用和原协议一致的传输方式,在此不再阐述.

3.1 协议的能耗模型

本文假设的网络采用简单能量消耗模型^[5],如图 1 所示.

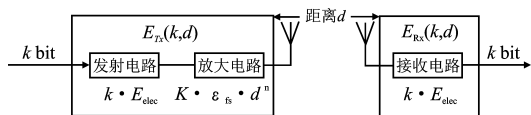


图 1 无线电能模型

在模型中,传感器节点将 k 比特的数据包传送到距离为 d 的另一个传感器节点,所需的发射和接收能耗,如式(2)、(3)所示:

$$E_{Tx}(k, d) = \begin{cases} k \cdot E_{elec} + k \cdot \epsilon_{fs} \cdot d^2, d < d_0 \\ k \cdot E_{elec} + k \cdot \epsilon_{amp} \cdot d^4, d \geq d_0 \end{cases} \quad (2)$$

$$E_{Rx} = k \cdot E_{elec} \quad (3)$$

式中, E_{elec} 是指电路发送或者接收 1 bit 数据所消耗的能量, ϵ_{amp} 和 ϵ_{fs} 分别是远距离传输时的射频参数,由功率放大器决定; d_0 是能量模型的传输临界距离,若 $d < d_0$,采用自由空间衰落模型,若 $d \geq d_0$,则采用多径衰落信道模型.

3.2 协议的理论分析

3.2.1 网格边长及节点位置的确定

本文利用正六边形网格对区域进行划分,如图 2 所示,为使任意相邻的网格能被同一节点监测到,经计算分析后,确定节点监测半径 r 和边长 d 应满足: $r \leq \frac{d}{\sqrt{13}}$.

故在此假设节点的监测半径 $d = \sqrt{13}R$, SINK 节点位于 $(0, 0)$ 位置,以此建立平面直角坐标系,则可将 $(L \times L)$ 的平面监测区域划分为若干个边长为 R 的正六边形虚拟网格.具体的划分步骤如下所示.

(1) 确定区域的划分.首先选定区域上的某一点(一般取区域内 SINK 节点且为坐标原点)与六边形网格的中心点重合,固定第一个网格的位置,之后以

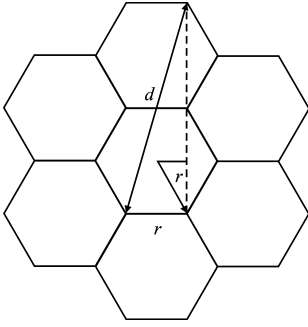


图 2 监测半径和边长的关系

该六边形网格作为基准进行扩展,完成对监测区域的填充划分,如图 3 所示。

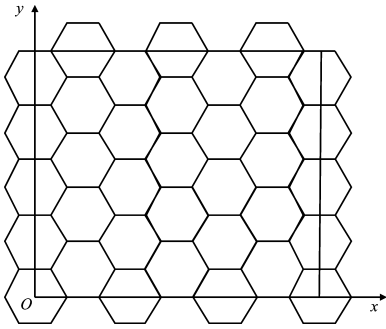


图 3 区域的划分

(2) 确定区域内网格的编号. 划分好整个区域后,设由四个正六边形的中心点连接形成的长方形的长为 $2d$, 宽为 $2h$, 如图 4 所示, 则各网格中心点的坐标即可确定为 (x_0, y_0) , 故可以定义此网格的网格号为 $G(m, n) = \left\{ (m, n) \mid m = \frac{x_0}{d}, n = \frac{y_0}{h} \right\}$.

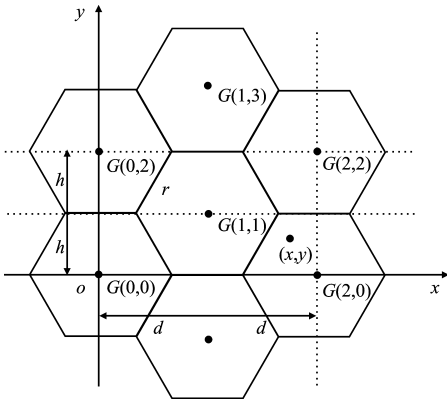


图 4 节点所处网格号的确定

(3) 确定任一节点 (x, y) 所属的网格. 根据节点关联算法确定节点 (x, y) 所属的网格 $G(m, n)$.

$$d = 3 * r / 2; h = \text{sqrt}(3) * r / 2;$$

$$m = \text{int}(x/d); n = \text{int}(y/h);$$

$$a = x - m * d; b = y - n * h;$$

if $((m+n) \% 2 = 0)$ // $(m+n)$ 是偶数

$$\text{if}(a^2 + b^2) \leq (d-a)^2 + (h-b)^2$$

节点 (x, y) 属于网格 $G(m, n)$

else 节点 (x, y) 属于网格 $G(m+1, n+1)$

end

else // $(m+n)$ 是奇数

$$\text{if}(a^2 + (h-b)^2) \leq ((d-a)^2 + b^2)$$

节点 (x, y) 属于网格 $G(m, n+1)$

else 节点 (x, y) 属于网格 $G(m+1, n)$

end

end

3.2.2 簇头节点的确定

由于划分后的六边形网格所包含的节点数不多,为避免浪费节点能量、保护能量低的节点,该协议将剩余能量最多的节点直接作为该网格的代表节点参与竞选簇头,网格内剩余的节点则可在这一轮循环中进入休眠模式。

选举时,每个代表节点首先随机生成一个大小在 0 到 1 之间的数值,若该数值小于阈值则当选簇头. 本文计算阈值时,充分考虑了代表节点的剩余能量,引入参变量 $\frac{E_{i_current}}{E_{initial}}$ 确保剩余能量低的节点减少当选簇头的概率;同时为避免网络运行一段时间后能量参变量过低导致所有竞选簇头概率变低的问题,引入 $\frac{E_{initial} - E_{i_current}}{E_{i_current}}$ 来平衡,并考虑节点所处网格的存活节点数,确保网格具有存活的节点. 具体阈值公式如式(4):

$$T(n) =$$

$$\begin{cases} \frac{p}{1 - p[r \bmod (1/p)]} \cdot \left(\frac{E_{i_current}}{E_{initial}} + \frac{n}{n+1} \cdot \frac{E_{initial} - E_{i_current}}{E_{initial}} \right) & n \in G \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases}$$

式中, $E_{i_current}$ 为节点 i 当前的能量, $E_{initial}$ 表示节点的初始能量, n 是节点 i 所在网格中的存活节点个数。

由于任意相邻网格内的任意两个节点之间的距离都不会大于节点监测半径,故一旦簇头节点选定,其相邻的六个网格也都能同时被该簇头节点监测,因此在相邻网格上的工作节点也可以在这一轮循环中进入休眠模式,进一步节省能量. 由于担任簇头的节点的选举具有一定的随机性,可能分布在任意一

个网格中,故整个区域可能被分成多个尺寸不一的工作区域.具体可能的情况如图 5 所示.

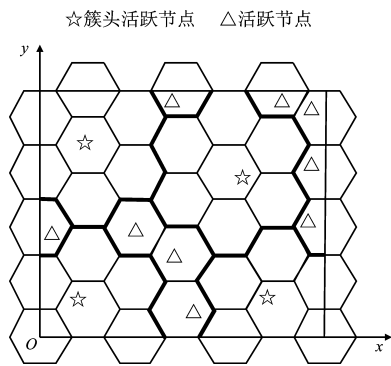


图 5 簇头确定后的网格分布

4 仿真结果与分析

为了验证 LEACH-HG 协议的性能,采用 MATLAB 工具进行仿真,结合文献[6],对实验网络模型作如下假设:

- (1)传感器节点随机部署后便不再移动,且节点能量有限,能获知坐标信息和自身剩余能量;
- (2)所有节点具有相同的处理能力、通信能力、存储能力,都能担任活跃节点、簇头或者普通节点;
- (3)基站位置固定,且能量不受限;
- (4)节点发射功率可控,且可通过信号的强度计算出节点之间的距离.

仿真中,将初始能量为 2 J 的 100 个节点随机分布于 100 m×100 m 的覆盖区域,实验仿真的其他参数见表 1.

表 1 仿真参数	
参数名/单位	参数取值
汇聚节点位置/m	(0, 0)
节点初始能量 $E_{initial}$ /J	2
自由空间衰落模型能耗系数 ϵ_{fs} /(pJ · bit · m ⁻²)	10
多径衰落信道模型能耗系数 ϵ_{mp} /(pJ · bit · m ⁻⁴)	0.001 3
数据包/bit	4 000
广播包/bit	200
发送或接收数据的能量消耗 E_{elec} /(nJ/bit)	50
簇头融合数据包能量消耗 E_{DA} /(nJ/bit)	5

为了验证理论结果,通过仿真实验,分析了 LEACH 和 LEACH-HG 两个不同协议的网络节点总能耗、节点存活数量随时间变化关系的比较.仿真结果如下:

由图 6 可知,LEACH-HG 协议在 350 s 左右才

开始出现节点死亡,而 LEACH 协议在 200 s 左右就开始出现节点死亡;LEACH-HG 协议最后一个节点死亡是在 820 s 左右,而 LEACH 协议在工作 560 s 后节点全部死亡,改进协议的生存曲线明显优于 LEACH 协议,将网络的生存周期延长了 47% 左右.由此可见 LEACH-HG 协议通过选择剩余能量最大的节点作为网格的代表节点,并通过阈值限制能量低的节点当选簇头,有效均衡了节点的能量消耗,延长网络整体生存周期.

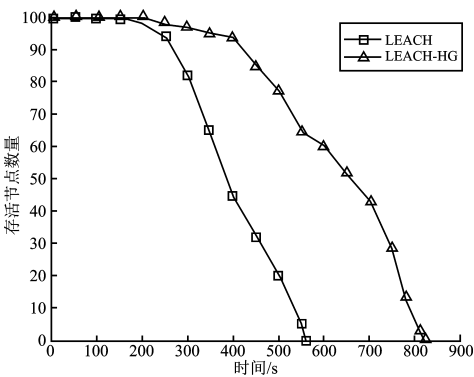


图 6 网络中剩余存活节点数目比较

图 7 是网络中节点的总能耗随网络的运行周期的变化情况,可看出在网络运行的整个周期里,改进协议 LEACH-HG 的总能耗一直低于 LEACH 协议,网络节点的总能耗得到有效的均衡.这是因为 LEACH-HG 协议在选定代表节点和簇头后,使网络剩余节点在这一轮过程中处于休眠状态,从而降低每一轮的能耗消耗,提高网络寿命.

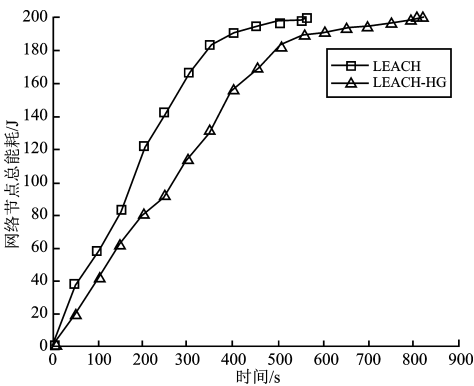


图 7 网络节点总能耗比较

综上,改进的 LEACH-HG 协议相比于原协议,在划分网格和簇头选举时节点计算程度和时间上的性能都有所下降,在网络整体运行上,对网络的寿命和节点的能量消耗都有较大的改善,网络的生命周期延长了约 47%.

5 结束语

本文针对 LEACH 协议中存在的节点簇头选举不合理、能耗不均以及监测得到的数据冗余度较大的问题,提出一种基于正六边形网格的新型路由协议 LEACH-HG. 该协议引进虚拟六边形网格来划分整个监测区域,并在各个网格中选取代表节点作为候选簇头节点,采用综合考虑节点能量和单元格内存活节点数的簇头选举方式,有效避免簇头随机选择的同时引入休眠机制使能量消耗和数据冗余现象得到改善.

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] Heinzelman W R, Chandrakasan A, Balakrishnan H. Energy-efficient communication protocol for wireless micro sensor networks[C]// Proceedings of the 33rd Annual Hawaii International Conference on System

Sciences, Maui; IEEE, 2000: 3005-3014.

[3] 沈玉龙,徐启建,裴庆祺,等. 基于栅格的无线传感器网络路由方法[J]. 通信学报, 2009, 30(11): 96-100.

[4] 郭彬,李喆. 无线传感器网络中基于剩余能量的联合选举动态成簇路由算法[J]. 电子与信息学报, 2007, 29(12): 3006-3010.

[5] LI B, WANG W J, YIN Q Y, et al. An energy-efficient geographic routing based on cooperative transmission in wireless sensor networks[J]. Sci China Inf Sci, 2013, 56(11): 4757-4762.

[6] 蒋畅江,石为人,唐贤伦,等. 能量均衡的无线传感器网络非均匀分簇路由协议[J]. 软件学报, 2012, 23(5): 190-200.

作者简介:

严斌亨 男, (1993-), 硕士. 研究方向为无线传感器网络路由协议. E-mail: one01. 23@foxmail. com.

刘 军 男, (1963-), 硕士, 教授. 研究方向为无线传感器网络.

(上接第 96 页)

[12] Chang C C, Lin C J. LIBSVM: a Library for Support Vector Machines [J]. ACM Transactions on Intelligent Systems & Technology, 2006, 2(3): 389-396.

作者简介:

陈 俊 男, (1990-), 硕士. 研究方向为情感计算和机器学习.

王爱国 男, (1986-), 博士. 研究方向数据挖掘及其在健康信息学中的应用.

王坤侠(通讯作者) 女, (1980-), 博士. 研究方向语音信号处理、机器学习和情感计算. Email: kxwang@ahjzu. edu. cn

安 宁 男, (1971-), 博士生导师, 教授. 研究方向情感计算、人机交互和机器学习.

李 廉 男, (1951-), 博士生导师, 教授. 研究方向计算数学、网格计算和机器学习.