

一种无线传感器网络 LEACH 协议的改进方法^①

蒲泓全^{1,2}, 贾军营², 张小娇^{1,2}, 张冲^{1,2}

¹(中国科学院大学, 北京 100049)

²(中国科学院 沈阳计算技术研究所, 沈阳 110168)

摘要: LEACH 是一种经典的层次型路由协议, 然而该算法簇头是自适应随机生成, 未考虑当前节点剩余能量, 因此簇头的选择会使网络中能量损耗不均衡, 导致网络过早死亡. 为了避免能量较少节点因为当选为簇头后过早死亡, 提出了一种新的路由协议(LEACH-PHQ). 改进后的算法在簇头选择阶段综合考虑了各个节点的剩余能量, 在数据传输阶段采用数据融合和多跳传输的策略. 实验结果表明, 改进后的方法有效地减少了网络能量消耗, 保证了网络负载的平衡, 又延长了网络的寿命.

关键词: LEACH; 路由协议; 能量负载; 网络寿命

An Improved Method Based on LEACH Protocol for Wireless Sensor Network

PU Hong-Quan^{1,2}, JIA Jun-Ying², ZHANG Xiao-Jiao^{1,2}, ZHANG Chong^{1,2}

¹(University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China)

²(Shenyang Institute of Computing Technology, Chinese Academy of Sciences, Shenyang 110168, China)

Abstract: LEACH is a classical hierarchical routing protocols. However, the algorithm is adaptive cluster head randomly generated. It does not consider the current node residual energy, so the choice of cluster head will make the network energy consumption which is not balanced, resulting in network premature death. In order to avoid less energy because elected as cluster head node after the premature death, we propose a new routing protocol(LEACH-PHQ). The improved algorithm in the cluster head selection phase took into account the residual energy of each node in the data transfer phase using data fusion transmission strategy. Experimental results show that the improved method is effective to reduce the energy consumption of the network and the network load balance, which can extend the network lifetime.

Key words: LEACH; routing protocol; energy load; network lifetime

1 引言

无线传感器网络是一种由大量小型传感器所组成的网络, 是当前的前沿热点研究领域. 在军事, 环境检测, 智能农业, 灾害预测等方面有着广泛的运用^[1].

无线传感网路由协议可分为平面型路由协议和层次型路由协议. 平面型路由协议由于各个节点在网络中需要维持较大的路由表, 需要较大空间存储, 并且该类型的算法不具有自适应性, 因而并不适合在大规模网络中采用. 层次型路由协议在一定程度上解决了上述问题. LEACH 协议^[2,3]是由 MIT 的 Heinzelman 提出的一种经典的层次型路由协议, 在一定程度上延长了网络寿命. 由于该协议簇头节点是随机产生的, 这样就使簇的分配失掉了均衡性, 导致一些剩余能量已

经很少的节点被选为簇头节点而过早死亡, 降低了网络的寿命.

本文基于 LEACH 协议提出了一种基于剩余能量的簇头选择, 数据传输采用数据融合和单跳与多跳结合的 LEACH-PHQ 路由协议, 从而达到延长网络生命周期的目的.

2 LEACH 协议

2.1 LEACH 协议的详细描述^[3]

LEACH 运行过程中可以用轮的概念来描述. 每个轮可以分成两个阶段: 簇的建立阶段和传输数据的稳定阶段. 为了节省资源开销, 稳定阶段的持续时间要远远大于建立阶段的持续时间.

^①收稿时间: 2013-12-02;收到修改稿时间: 2014-01-20

在簇的建立阶段, 每个传感器节点根据概率模型被选为簇头. 在选择簇头的时候, 每个节点产生一个0到1之间的随机数. 假如 δ 小于阈值 $T(n)$, 该节点在当前轮被选为节点. 阈值的计算公式如下:

$$T(n) = \begin{cases} \frac{k}{N - k[r \bmod (N/k)]} & \text{if } n \in G \\ 0 & \text{othersize} \end{cases}$$

N 是网络中节点的总数, k 是每轮簇头节点的数量, r 是当前轮数, G 是在最后 N/k 中未被选为簇头的集合.

被选为簇头的节点将广播簇头信息, 未被选择的节点将根据最小的能量消耗选择所属簇头, 之后将通知所选的簇头成为其中一员.

在稳定阶段, 簇头接收簇内所有节点的信息, 一旦接收完所有数据, 将会压缩处理数据并发送至基站.

2.2 LEACH 协议的优缺点

LEACH 路由协议是第一个层次型的自适应的路由协议, 它使得 WSN 网络更能趋于实际应用变得方便可行, 使得低配置的传感器节点在通信时有着更好的工作方式.

LEACH 路由协议的优点^[3,4]有: 通过轮次选举随机所产生的不同的簇头节点, 使得每一个节点都可能成为簇头节点, 全部的网络节点平衡的接受了网络的消耗; 而且每一节网络中的节点都有着对数据进行压缩融合等处理的功能, 使得信息量在网络中传送时显著变小; 这些的平衡方式和处理方式使得网络的生存时间在一定程度上得到了增加. 网络的拓扑结构简洁, 信息在路由的时候不需要大量的存储.

LEACH 路由协议的缺点^[3,4]有: 由于簇头节点是随机产生的, 这样就出现了几个问题, 有的簇头节点出现的地方会离其他的簇头节点很远, 使得通信能量消耗大; 或者有些簇头节点在一起导致多个簇在很小的区域生成, 也提高了通信的能耗; 或者簇的分配情况失掉了均衡性, 使得拥有着一般节点的簇头节点过多的消耗能量, 降低了网络的寿命.

3 LEACH改进方法

为解决上述问题, 提出一种新的用于层次型路由协议的簇头选择方法. 包括最佳簇头的数量, 簇头的

确定, 簇的形成. 最佳簇头的数量是指网络中能延长网络寿命避免冗余的最佳簇头个数, 簇头的确定是指网络中选择那些节点作为簇头节点, 该选择过程通过一点的方法和当前网络的情况. 簇的形成是节点之间经过计算自动完成的.

3.1 确定最佳簇头数量

假设在一个 $A = M \times N$ 这样大的一个区域中, 该区域中有 n 个节点被不均匀的分布于该区域中. 能量高的节点的数量占有所有节点数目的比值为 m , 并且高能节点所携带的能量是正常能量节点所携带的能量的 α 倍. 如果 Sink 节点是坐落于该区域的中心位置^[5], 并且所有的簇的节点到这个 Sink 节点的距离都是 $\leq d_0$. 该过程步骤如下:

步骤 1) 计算在进行一轮簇的生成时簇头节点选举所消耗的网络能量:

$$E_{CH} = \left(\frac{n}{k} - 1\right)L \cdot E_{elec} + \frac{n}{k}L \cdot E_{DA} + L \cdot E_{elec} + L \cdot \epsilon_{fs} d_{toBS}^2 \quad (1)$$

注: k 是这个网络的簇的数目, d_{toBS} 是簇头节点和 Sink 节点之间的平均距离.

步骤 2) 计算在进行一轮一般节点的生成时所消耗的能量:

$$E_{nonCH} = L \cdot E_{elec} + L \cdot \epsilon_{fs} d_{toCH}^2 \quad (2)$$

注: d_{toCH} 是一般节点和它的簇头节点的平均距离.

步骤 3) 由于网络是不均匀分布的, 可以得到 d_{toCH} :

$$d_{toCH}^2 = \int_{x=0}^{x=X_{max}} \int_{y=0}^{y=Y_{max}} (x^2 + y^2) \rho(x, y) dx dy = \frac{M}{2\pi K} \quad (3)$$

注: $\rho(x, y)$ 是节点在网络中的分布情况.

步骤 4) 计算在每一轮簇的生成时一个簇的能量消耗:

$$E_{cluster} \approx E_{CH} + \frac{n}{k} E_{nonCH} \quad (4)$$

步骤 5) 计算整个网络在一轮生成簇的时一候消耗的总能量是:

$$E_{tot} = L(2n E_{elec} + n E_{DA} + \epsilon_{fs} (k d_{toBS}^2 + n d_{toCH}^2)) \quad (5)$$

步骤 6) 计算所能构建的最佳簇的数:

$$k_{opt} = \sqrt{\frac{n}{2\pi} \frac{M}{d_{toBS}}} = \sqrt{\frac{n}{2\pi} \frac{2}{0.765}} \quad (6)$$

步骤 7) 计算簇头节点到 Sink 节点的平均距离:

$$d_{toBS} = \int_A \sqrt{x^2 + y^2} \frac{1}{A} dA = 0.765 \frac{M}{2} \quad (7)$$

步骤 8) 如果大量的节点到 Sink 节点的距离超过 d_0 , 计算得到簇的最佳个数:

$$k_{opt} = \sqrt{\frac{n}{2\pi} \sqrt{\frac{\epsilon_{fs}}{\epsilon_{mp}} \frac{M}{d_{toBS}^2}}} \quad (8)$$

3.2 确定簇头^[6,7]

步骤 1) 计算一个节点变成簇头节点的最佳概率:

$$p_{opt} = k_{opt} / n \quad (9)$$

注: k_{opt} 为上面计算得到的网络中最佳簇头个数, n 为网络中传感器节点个数.

步骤 2) 为了使网络的生命周期得以延长, 为了使网络的稳定区域越大, 对 LEACH 路由协议进行相关的改进, 提出 LEACH-PHQ 这一改进方法, 在这一个算法中试图保持整个网络在能源消耗上更趋于平衡. 直观来说, 能量高的节点成为簇头节点的概率要高于能量低的正常节点, 这是一种客观的对网络能量平衡性的一种约束. 假定 E_0 是每一个正常节点的初始能量值. 高能量的异质节点的能量值为 $E_0 \cdot (1 + \alpha)$. 则可以计算

这个网络的整个初始能量值:

$$n(1-m) \cdot E_0 + n \cdot m \cdot E_0 \cdot (1 + \alpha) = n \cdot E_0 \cdot (1 + \alpha \cdot m) \quad (10)$$

注: 从上面的公式看, 这个网络的总能量增加了一个因素 $1 + \alpha \cdot m$. 我们要通过这些高能量节点的能量来提高存在的 LEACH 路由协议的生命周期, 为了使得这个区域中的网络得到优化和使得网络能量负载趋于平衡. 新的网络比正常的网络的多了 $\alpha \cdot m$ 的能量, 这个异质性网络的划分时期就是 $(1 + \alpha \cdot m) / p_{opt}$.

步骤 3) 计算正常节点和高能量节点的权值:

$$\beta_{nrm} = \frac{P_{opt}}{1 + \alpha \cdot m} \quad (11)$$

$$\beta_{adv} = \frac{P_{opt}}{1 + \alpha \cdot m} \times (1 + \alpha) \quad (12)$$

步骤 4) 计算两类节点的阈值:

$$T(S_{adv}) = \begin{cases} \frac{\beta_{adv}}{1 - \beta_{adv} \cdot (r \bmod (1/\beta_{adv}))} & \text{if } S_{adv} \in G \\ 0 & \text{otersize} \end{cases} \quad (13)$$

$$T(S_{nrm}) = \begin{cases} \frac{\beta_{nrm}}{1 - \beta_{nrm} \cdot (r \bmod (1/\beta_{nrm}))} & \text{if } S_{nrm} \in G \\ 0 & \text{otersize} \end{cases} \quad (14)$$

步骤 5) 网络中各个节点随机生成一个数, 若生成的数小于该节点对应的阈值, 即被选为簇头节点, 若大于则未被选为簇头节点.

步骤 6) 节点可能会随着时间的推移, 能量消耗是不相同的, 由于无线电通信的特点, 如短期链路故障或外地形态特征的随机事件来处理的这种异质性, LEACH-PHQ 协议每当一个可以触发一定的能量阈值被超过一个或多个节点时, 一般节点可以定期附加其剩余能量的消息, 他们可以和簇头节点进行信息传递, 而簇头节点再发给 Sink 节点. 然后 Sink 节点再向网络中的簇头节点广播 β_{nrm} 和 β_{adv} 值. 反过来簇头节点单播在这些集群节点值根据每个簇头节点所拥有的 Sink 交互它们的信息^[7].

3.3 簇的形成

步骤 1) 各个被选为簇头的节点向全网广播自己是簇头的信息.

步骤 2) 所有未被选为簇头的节点接收簇头信息.

步骤 3) 所有未被选为簇头节点的节点分别计算自己到所有簇头节点的距离:

$$d = \sqrt{(N_{self} - N_{cluster})^2} \quad (15)$$

步骤 4) 所有节点选择离自己位置最近的簇头节点当做自己的簇头, 并向相应簇头发送加入请求.

步骤 5) 所有簇头接收完所有请求之后向自己网络的所有节点发送网络形成信号, 并为每个节点分配 TDMA.

步骤 6) 整个网络持续一段时间后, 重新开始以上操作, 形成网络, 准备传输数据.

4 结果分析

本文采用 Matlab 仿真工具建立了网络仿真模型, 对 LEACH-PHQ 算法和 Leach 算法进行了仿真和性能比较. 对算法的评价通过网络运行的轮数与网络

中节点的存活个数的关系进行分析. 算法的仿真是在 $500\text{ m} \times 500\text{ m}$ 的区域内, 随机布置 500 个节点, 其中基站的位于(250, 250). 每轮簇头个数与网络中存活节点个数的比例为 0.1.

实验结果如下表所示; 通过比较分析可以看出 LEACH-PHQ 算法的每一轮的节点平均能耗比 LEACH 少, 节点存活数比 LEACH 多, 并且 FND 的轮数比 LEACH 多, 这说明本文算法相比 LEACH 算法在运行过程中节约能量的损耗, 显著提高网络的寿命, 且该算法具有一定的鲁棒性.

表 1 算法执行结果

Sink 的位置	算法	节点平均能耗	存活节点数	FND
(0,0)	LEACH	0.466657	452	212
	LEACH-PHQ	0.312312	483	269
	增幅	-33.07%	6.86%	26.88%
(0,100)	LEACH	0.332424	471	267
	LEACH-PHQ	0.292341	492	281
	增幅	-12.06%	4.46%	5.242%
(0,200)	LEACH	0.373123	468	247
	LEACH-PHQ	0.243345	489	269
	增幅	34.78%	4.49%	8.91%
(0,300)	LEACH	0.291241	471	264
	LEACH-PHQ	0.232398	494	311
	增幅	20.20%	4.88%	17.80%
(0,400)	LEACH	0.391259	431	214
	LEACH-PHQ	0.319813	456	258
	增幅	18.26%	5.80%	20.56%
(0,500)	LEACH	0.512344	438	198
	LEACH-PHQ	0.433516	459	232
	增幅	15.39%	5.52%	17.17%
(250,250)	LEACH	0.301239	481	261
	LEACH-PHQ	0.263158	499	294
	增幅	12.64%	3.74%	12.64%

5 结语

本文针对 LEACH 簇头选择算法的不足, 在簇头的选举过程中充分考虑簇头能量因素, 在簇头的选择过程中增加能量阈值这一约束条件. 仿真实验的结果表明, 新的算法在有效地利用能量, 提高网络的稳定性等方面有很大的改进, 从而均衡了网络的能量消耗, 有效地延长了网络的寿命.

参考文献

- 1 廖明华, 张华, 王东. 基于 LEACH 协议的簇头选举改进算法. 计算机工程, 2011.4
- 2 唱明旭. 无线传感器网络 LEACH 路由协议的改进与研究 [学位论文]. 长春: 吉林大学, 2011.
- 3 Heinzalman WR, Chandrakasan A, Balakrishnan H. Energy-efficient communication protocol for wireless microsensor rd networks. Proc. of the 33 Hawaii Int. Conf. on System Sciences. 2000.
- 4 Melhta R, Pandey A, Kapadia P. Reforming clusters using C-LEACH in wireless sensor networks. 2012 Int. Conf. on Computer Communication and Informatics. 2012.
- 5 Wei B, Hu HY, Fu W. An improved LEACH protocol for data gathering and aggregation in wireless sensor networks. 2008 International Conference on Computer and Electrical Engineering. 2008.
- 6 Heinzelman BW, Chandrakasan PA, Balakrishnan H. An application-specific protocol architecture for wireless microsensor networks. IEEE Trans. on Wireless Communication, 2002.
- 7 Bakr B, Lilien L. Extending wireless sensor network lifetime in the LEACH-SM protocol by spare selection. 2011 Fifth International Conference on Innovative Mobile and Internet Services in Ubiquitous Computing. 2011.