

A Stable Cluster Algorithms in Wireless Sensor Network Based on LEACH

Bo Zhang, Tongrang Fan

Shijiazhuang Tiedao University School of Information Science and Technology, Shijiazhuang

Email: zhangbozhangyong@126.com

Received: Jul. 25th, 2011; revised: Aug. 3rd, 2011; accepted: Aug. 7th, 2011.

Abstract: For the shortage of random clusters and excessive consumption of energy when the election of cluster head in LEACH, this paper improved LEACH algorithms, the method is to optimize the number of cluster head, get the unequal clustering and keeping stable of the clustering, reduce over the election of cluster energy consumption. Simulation experiments show that the improved algorithm in the control node mortality has been improved.

Keywords: WSN; LEACH; Energy Consumption; Stable Cluster

基于 LEACH 无线传感网络稳定簇算法研究

张 博, 范通让

石家庄铁道大学信息科学与技术学院, 石家庄

Email: zhangbozhangyong@126.com

收稿日期: 2011 年 7 月 25 日; 修回日期: 2011 年 8 月 3 日; 录用日期: 2011 年 8 月 7 日

摘 要: 针对 LEACH 算法中随机成簇的不足和簇头选举能量消耗过大的不足进行改进, 采用的方法是优化簇头的个数、不均匀成簇、最后保持已形成的簇的稳定, 减少全网簇的选举消耗的能量。仿真实验表明, 改进后的算法在节点死亡率的控制方面有了提高。

关键词: 无线传感网络; LEACH; 能量消耗; 稳定簇

1. 引言

无线传感网络作为二十一世纪最为重要的技术之一, 利用无线式的信息获取和信息处理手段, 综合基于微电子的传感器技术, 分布式信息处理技术^[1], 实现了在确定区域内的环境和检测对象的信息采集的过程^[2]。无线传感网络具有十分广泛的应用前景, 在军事国防、工农业、城市管理、生物医疗、环境监测、抢险救灾、危险区域远程控制等许多领域都有重要的理论价值和巨大的实用价值, 它已经引起了世界许多国家军事界、学术界和工业界的高度重视^[3]。

因为无线传感网络是由大量的传感节点组成, 传感节点的计算性能、数据存储和转发都受到节点的能量限制, 而节点的能量十分有限, 用完节点死亡, 不能重复利用。所以如何规划、减少节点能量的消耗是

无线传感网络设计的重中之重。从整体上考虑网络的能耗、通过规划路由策略来减少节点的能耗也成了无线传感网络重要的研究内容。

本文在 LEACH 协议的基础上, 更多的考虑了全网能量消耗的问题, 最终提出了稳定簇的概念, 不再进行全网的簇头选举, 在已经优化形成的簇内进行簇头选举, 目的在于减少无线传感网络路由连接时所消耗的能量, 使得节点可以将本身的能量更多的用于数据的采集和传输过程中。

2. 其他路由协议

2.1. LEACH

LEACH^[4]协议的基本思想是通过阈值和随机数来产生簇头。在簇头选举阶段, 每一个节点随机生成一个

0~1 之间的数, 通过与阈值 $T(n)$ 的比较, 小于 $T(n)$ 的节点选举为簇头。簇头在全网发送广播信息, 宣布自己成为这一轮的簇头。普通节点选择与自己距离最近的簇头加入, 这样完成了全网簇头的选举, 在下一轮过程中重复上述的操作重新选举簇头。 $T(n)$ 的公式为:

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

其中, P 是网络中簇头数目与总节点数的百分比, r 是当前的选举轮数, $r \bmod 1/p$ 代表这一轮循环中当选过簇头的节点个数, G 是这一轮循环中未当选过簇头的节点集合。成为簇头的节点在全网广播一个消息宣布自己成为簇头, 其它非簇头节点根据接收到的簇头的信号强度, 加入其中一个簇。初始化阶段结束后, 网络被划分为多个簇, 每个本轮未成为簇头的节点加入且只加入其中一个簇。簇头根据加入本簇的节点数目, 建立一个 TDMA 调度表, 并发送给簇内成员, 该调度表分配给每个成员节点一个传输时隙(timeslot), 在稳定传输阶段, 簇内节点将采集到的数据发送给簇头节点, 簇头节点将接收到的数据进行汇聚, 融合, 统一发送给 sink 节点。由于簇头节点与 sink 节点距离较远, 并且一次发送的数据量大, 所以簇头节点的能量消耗较快。

LEACH 每轮选举的簇头数目是不确定的, 这样加大了簇头与 sink 节点通信的开销。并且普通节点根据距离最近的原则加入簇, 没有考虑到簇头与 sink 节点通信时数据量与距离的比例。在 LEACH 协议中能量消耗模型符合文献^[5]中提出的能量消耗模型, 如公式(2)所示。

$$E_{Tx}(k, d) = E_{Tx-elec}(k) + E_{Tx-amp}(k, d) = \begin{cases} kE_{elec} + k^{\xi_{Fs}} d^2, & d < d_0 \\ kE_{elec} + k^{\xi_{mp}} d^4, & d > d_0 \end{cases} \quad (2)$$

其中, E_{elec} 表示发射电路损耗的能量, $k^{\xi_{Fs}}$, $k^{\xi_{mp}}$ 分别是不同模型功率放大所消耗的能量, k 表示发送的比特数, d 表示发送的距离。

根据能量公式(2)可知, 距离 sink 节点近的簇头一次性传输数据量越大全网的能量节省的越多。

2.2. EECS

EECS^[6]协议与 LEACH 协议在簇头选择和普通节

点的加入方面存在差异。在簇头选择上, EECS 并没有直接将随机数小于 $T(n)$ 的节点指定为簇头, 而是将这些节点指定为候选簇头。候选簇头在半径 R 的范围内广播竞争信息。包含自身标识符和节点剩余能量。同为候选簇头的节点在收到竞争信息后先比较剩余能量, 剩余能量小的放弃簇头的竞争, 如果剩余能量相同, 则自身标识符小的成为簇头。

在普通节点加入簇的过程中, EECS 不单是考虑了节点与簇头的距离, 还加入了簇头与 sink 节点的距离, 让更多的节点加入到簇头与 sink 节点距离近的簇内, 这样减少了簇头与 sink 节点通信时的能量消耗, 节省了全网能量。公式如下:

$$COST(ch) = w \times f(d_{ch}) + (1-w) \left(g(d_{ch,bs}) \right) \\ f(d_{ch}) = \frac{d - d_{min}}{d_{max} - d_{min}} \quad (3) \\ g(d_{ch,bs}) = \frac{d - d_{min}}{d_{max} - d_{min}}$$

公式表示普通节点选择簇头 CH 的代价, 其中 f 、 g 分别代表对 d_{ch} 、 $d_{ch,bs}$ 进行数值正规化的函数, w 为 0 到 1 之间的权值。 f 中的 d_{max} 、 d_{min} 分别代表聚类成员距簇头的期望最大距离、最小距离, 由节点密度决定; g 中的 d_{max} 、 d_{min} 分别代表簇头到基站的最大距离、最小距离, 由区域 A 大小及基站的位置决定。

EECS 簇头的选举是随机的, 但是第一轮随机数选举出来的簇头不是最终簇头, 还要在一定范围内广播自己的标示和剩余能量, 来与其他成为候选簇头的节点进行对比, 以能量大的候选簇头成为最终簇头。这样的缺点分为两个方面: 一是二次广播所消耗的能量不能忽略, 这样加快了全网能量的消耗; 二是候选簇头在一定范围内进行广播, 容易引起隐藏点的问题, 如图 1 所示, 节点 C 在 B 的竞选半径内; 节点 B 在 A 的竞选半径内, 且剩余能量方面 $A > B > C$ 。在这种情

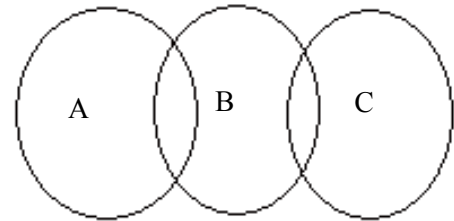


Figure 1. Hidden nodes problem
图 1. 隐藏节点问题

况下, C 收到 B 的竞选消息退出竞选的同时, B 收到 A 的竞选消息退出竞选, 这就会造成局部簇头分布漏洞的情况。

3. LEACH 协议的改进

本算法在 LEACH 的基础上, 加入了最优簇头的概念, 改进 EECS 的节点加入方式, 并提出了新的成簇方式, 通过最长时间的维持形成的簇的稳定性, 减少了簇形成阶段的能量消耗, 仿真实验表明, 网络的节点死亡率较 LEACH 有了大的下降。

稳定簇算法与传统的 LEACH 算法不同, 它强调了簇的稳定, 但这个稳定又是相对的, 也就是说通过一定的方法, 第一次选择出来了最优的簇头和最优的加入节点, 这个第一次形成的簇是合理的, 所以在以后的信息采集时保持这个簇的稳定, 既能减少全网能量的消耗, 又能使得采集的数据更加快速, 不会因为网络的结构调整而过多的错过数据的采集。在各个稳定簇内, 不能因为某一个节点过多的担当簇头而消耗能量过快, 就根据剩余能量因数, 在各个稳定簇内进行临时簇头的选择。通过临时簇头的选择, 可以平衡各个稳定簇内能量的消耗, 使得整个网络的能量负载均衡, 减少因为网络结构变化所消耗的能量。这就是稳定簇是相对的稳定的原因。稳定簇的形成, 一定要通过最优簇头的选举, 最优节点的加入, 稳定簇内临时簇头选举, 数据采集这四个步骤组成, 缺一不可。下面就详细介绍一下稳定簇的算法。

3.1. 簇头的选择算法的改进

采用文献[7]中的计算方法来计算在一定条件下最优簇头节点个数 k , 其公式如下:

$$k = \text{MAX} \left(\sqrt{\frac{N}{2\pi}} \right) \sqrt{\frac{(2^\lambda + 1)\varepsilon_{fs}}{\varepsilon_{amp} d_{toBS}^4 - E_{elec} (4^\lambda + 1)}} M, \frac{N}{m+1} \quad (4)$$

式中, N 为传感器节点总数, λ 控制包与数据包的长度比, ε_{fs} 与 ε_{amp} 为常数, d_{toBS}^4 为节点到基站距离的期望值, M 为检测区域边长, m 为压缩比, 即簇头节点最多可把 m 个长度为 L 的数据包压缩为一个长度 L 的数据包。

在簇头选择过程中, 按照 LEACH 协议, 第一轮每个节点生成一个随机数, 与 $T(n)$ 相比, 小于 $T(n)$ 的广播自己成为簇头, 同时广播的还有本簇头的标示。

当簇头的数量成为 k , 选举结束, 保证全网内选出的簇头数目最优。

3.2. 普通节点加入簇头的方法改进

LEACH 选择簇的标准只有普通节点与簇头的距离。普通节点与任何一个簇头距离最近, 就加入相应簇头形成的簇。根据公式(3), 假设簇头与 sink 节点的距离都大于 d_0 , 则簇头与 sink 节点之间的距离越近, 传输数据时所消耗的能量越小。所以普通节点选择簇头时要考虑簇头与 sink 节点之间的距离。

普通节点同时还要考虑自身与簇头之间的距离。如图 2 所示, 簇头 A 与 sink 之间的距离大于簇头 B 与 sink 之间的距离, 普通节点 C 与簇头 A 之间的距离小于与簇头 B 之间的距离, 根据 EECS 算法, 普通节点 C 加入簇头 B , 因为簇头 B 离 sink 节点距离较近。如果普通节点 C 与簇头 B 之间的距离大于 d_0 , 根据公式(2)可知, C 与簇头 B 传递数据时的能量成指数级增加, 这大大增加了簇内数据通信能量的消耗。

本算法提出新的普通节点加入簇头的公式。公式如下:

$$\text{COST}(ch) = \begin{cases} f(d_{ch}) & d_{ch} > d_0 \\ g(d_{ch}) & d_{ch} \leq d_0 \end{cases}$$

$$f(d_{ch}) = \frac{d_j - d_{\min J}}{d_{\max J} - d_{\min J}} \quad (5)$$

$$g(d_{ch,bs}) = \frac{d_s - d_{\min S}}{d_{\max S} - d_{\min S}}$$

其中, d_j 表示普通节点到临时簇头的距离。 d_s 表示簇头到基站的距离。 $d_{\max J}$ 、 $d_{\min J}$ 分别代表普通节点到临时簇头的期望最大距离、最小距离。 $d_{\max S}$ 、

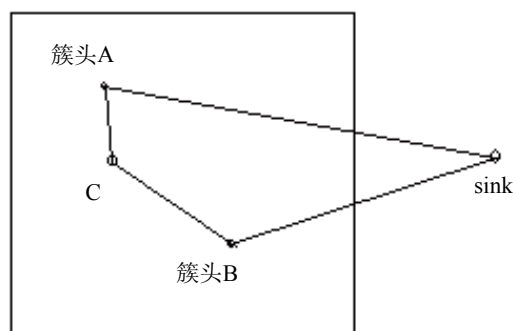


Figure 2. Cluster head and sink node distance
图 2. 簇头与 sink 节点距离

d_{\min} 分别代表簇头到基站的最大距离、最小距离。 d_0 代表距离阈值, 由公式(2)得出, 距离大于 d_0 时通信时路径所消耗的能量成指数级增长。

普通节点根据公式(5)选择最合适的簇头加入。这样保证了在一个簇内所有的节点不会出现因为距离太远而过多消耗能量的问题。同时也为下一步保持簇的稳定做准备。

3.3. 稳定簇算法

基于上述簇头选举过程和普通节点加入簇头的过程, 整个无线传感网络被划分成了 n 个独立的簇。LEACH 和 EECS 强调在每一轮完成后进行全网的重新划分, 这样进一步加快了全网的能量消耗。在全网进行广播选举簇头的能量消耗要远大于簇内节点进行簇头选举时的能量消耗, 据此, 本文提出了稳定簇的概念。此后的每一轮簇头选举将在各个已经成簇的范围内进行, 进一步减少能量的消耗。

假设节点可以根据距离调整数据发送的功率, 簇内的节点在本簇内进行每一轮簇头的选举, 根据公式(6)进行簇头的选择:

$$T_n = \begin{cases} \frac{p}{1-p(r \bmod 1/p)} \times ENERGY & n \in N \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad (6)$$

$$ENERGY = (E_{init} - E_{current}) / E_{init}$$

其中, P 是网络中簇头数目与总节点数的百分比, r 是当前的选举轮数, $r \bmod 1/p$ 代表这一轮循环中当选过簇头的节点个数, N 是本簇中所有节点的集合, E_{init} 代表簇内节点的初始能量 $E_{current}$ 代表簇内节点当前剩余能量。在簇头选举过程引入 $ENERGY$ 这个变量可以使得簇头选举的过程中考虑节点的当前的剩余能量的大小, 使得剩余能量大的节点当选簇头的概率增大, 从而保证了成为簇头的节点能够正常的完成数据汇集的工作, 并且节省了簇内的全局能量的消耗。

在每一轮选举前都要进行稳定簇内平均能量的计算。根据文献^[8]可知, 簇头平均能量的计算方式如下:

$$AVERAGE = \frac{E_{total} - r \times E_{round}}{N} \quad (7)$$

其中, $AVERAGE$ 为簇内平均能量, E_{total} 为簇一开始形成的初始能量, E_{round} 为节点每轮选举的能量, r 为轮数, N 为簇内节点的数量。

当 $AVERAGE$ 为初始的 30% 时, 说明这个簇的能量消耗过快, 数据采集过多, 为了防止这样的簇能量耗尽而不能进行数据采集, 必须进行全网的簇的重新选举。使得全网的能量的负载均衡。

从以上的过程可以看出: 通过选择最优簇头数目的方式产生的簇头, 每轮的个数是固定的, 都是当前情况下的理想个数, 而不像 LEACH 中每次都是不确定的。通过新的普通节点加入簇头的算法, 可以使簇内的数据传递的代价最小, 并且使得簇头与 sink 节点的通信代价降低。通过簇内的每一轮的选举, 可以减少全网每一轮簇头选举时广播帧的能量消耗, 增加选举的速度, 保证每一轮的簇头的能量高于簇内节点的平均能量。

4. 仿真与结果分析

本文利用 MATLAB 软件对改进算法与 LEACH 算法进行了仿真比较, 从节点存活时间方面考虑, 评价改进算法的性能^[9]。在传感区域为 $100 \text{ m} \times 100 \text{ m}$ 的空间内有 300 个传感器节点, LEACH 协议中假设节点不知其地理位置, 且节点随机分布。本文采用 LEACH 协议中原有的参数来仿真改进前后的 LEACH 协议。具体参数如表 1 所示。

节点存活个数如图 3 所示。LEACH 算法在 400 轮左右出现第一个死亡的节点, 在 1500 轮左右节点全部死亡, 改进后的协议在 800 轮左右出现第一个死亡的节点, 在 1900 轮左右节点全部死亡。通过图 3 可知, 改进后的节点的存活率比 LEACH 协议提高了 80%, 节点全部死亡的时间比 LEACH 协议减少, 说明改进后的协议在全网的能量负载比 LEACH 协议有所提高, 避免了单个节点能量损耗过大而过早死亡, 从而延长了网络的生存周期。

Table 1. The simulation used parameter values
表 1. 仿真所用参数值

参数设置	参数值
基站位置	(50,175)
传感区域	100×100
节点总数(N)	300
节点初始能量(J)	0.5
数据包长度(bit)	4000
控制包长度(bit)	1000
数据融合消耗能量(mJ)	50
自由空间信号放大倍数($\text{pJ/bit} \cdot \text{m}^2$)	10
多径衰减信道信号放大倍数($\text{Pj/bit} \cdot \text{m}^{-4}$)	0.0013

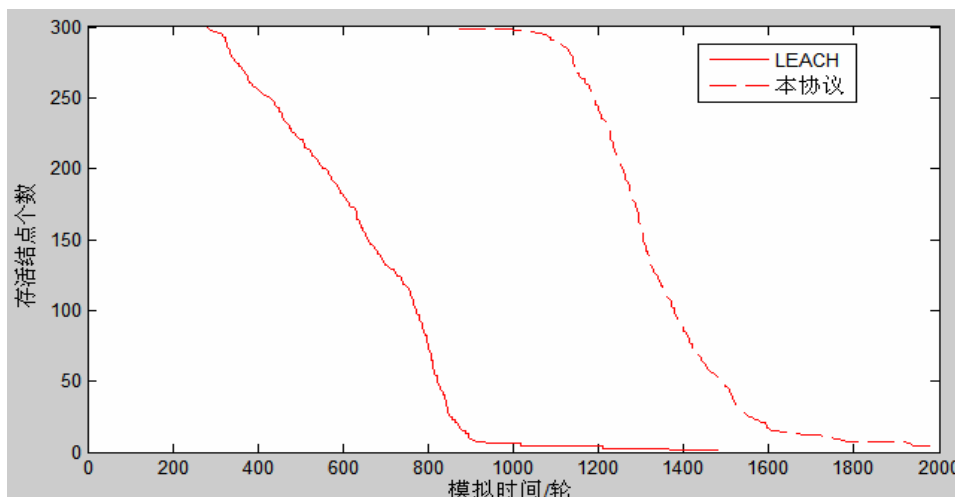


Figure 3. Live node number contrast

图 3. 存活结点数对比

5. 结语

本文提出了基于 LEACH 协议的稳定簇路由协议算法，利用最优的簇头数目和最佳的节点加入方式，得到稳定的簇。在簇内进行按轮的簇头选举、数据融合。这样减少了全网重新进行簇头选举所消耗的能量，提高了节点的存活率，使得网络中节点的能耗更加均衡，从而使得网络的生存周期最大化。

6. 致谢

感谢我的导师对我的指导，感谢我所引用的文章的作者，不是他们先前的工作也没有我现在的文章，感谢我身边帮助过我的每一个人，感谢审稿的每一位老师，感谢！

参考文献 (References)

[1] S. Tilak, N. B. Abu-Ghazaleh, and W. Heinzelman. A taxonomy

- of wireless micro-sensor network models. *ACM Mobile Computing and Communications Review (MC2R)*, 2002, 6(2): 28-36.
- [2] 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, 2006.
- [3] 崔莉, 鞠海玲, 李天璞等. 无线传感器网络研究进展[J]. *计算机研究与发展*, 2005, 42(1): 163-174.
- [4] W. B. Heinzelman, A. P. Chandrakasan, and H. Balakrishnan. An application specific protocol architecture for wireless microsensor networks. *IEEE Transactions on Wireless Communication*, 2002, 1(4): 660-670.
- [5] A. Depedri, A. Zanella, and R. Verdone. An energy efficient protocol for wireless sensor networks. *Proceedings of the IEEE IPCCC*, New York, 2005: 535-540.
- [6] M. Ye, C. Li, G. Chen, et al. EECS: An energy efficient cluster scheme in wireless sensor networks. *Proceedings of the IEEE IPCCC*, New York, 2005: 535-540.
- [7] W. R. Heinzelman, A. Chandrakasan, and H. Balakrishnan. An-application-specific protocol architecture for wireless micro sensor networks. *IEEE Transactions on Wireless Communications*, 2002, 1(4): 660-670.
- [8] L. Qing, Q. X. Zhu, and M. W. Wang. A distributed energy-efficient clustering algorithm for heterogeneous wireless sensor networks. *Journal of Software*, 2006, 17(3): 481-489.
- [9] 王春. 无线传感器网络路由协议的设计与仿真[D]. 沈阳: 东北大学, 2004.