

基于区域簇头选择的 WSN 路由协议

陈彬兵, 施叶玲

(四川大学电气信息学院, 成都 610064)

摘 要: 针对 LEACH 协议中网络能量不平衡和利用率低的问题, 提出一种改进协议(LEACH-V), 在计算阈值时引入剩余能量与网络平均能量, 并基于 Voronoi 图单元进行簇头选择。仿真实验结果表明, LEACH-V 协议能延长网络寿命, 推迟第 1 个死亡节点出现的时间, 提高能量利用率。

关键词: 无线传感器网络; LEACH 协议; 簇头; 平均能量; Voronoi 单元

WSN Routing Protocol Based on Cluster Heads Selection in Regions

CHEN Bin-bing, SHI Ye-ling

(School of Electrical Engineering and Information, Sichuan University, Chengdu 610064, China)

[Abstract] This paper considers the nodes with less energy becoming the cluster heads and setting up new clusters every round, these cause the problem that the nodes consume their power quickly and the energy efficiency decreases. By the method of network average energy and cluster heads selection based on Voronoi cell, the protocol of LEACH-V balances the consuming of network's energy and prolongs the network's lifetime. Compared with LEACH, the simulation results indicate that LEACH-V protocol extends the lifetime of network, delays the first node's death time, and enhances the energy efficiency.

[Key words] Wireless Sensor Network(WSN); LEACH protocol; cluster head; average energy; Voronoi cell

DOI: 10.3969/j.issn.1000-3428.2011.19.031

1 概述

目前, 人们基于节能的考虑已提出了各种各样的路由协议。按网络的拓扑结构划分, 这些路由协议可分为平面路由协议和分簇路由协议。分簇路由协议较好地解决了平面路由协议中存在的一些问题, 成为目前路由协议研究的主流^[1-2]。

LEACH 协议只是尽可能地使节点轮流当选为簇头, 而没有进一步考虑到节点的剩余能量问题, 这将导致网络能量消耗的不均衡。在 LEACH 协议基础上, 有些文献在计算阈值 $T(n)$ 时引入了剩余能量, 降低了能量少的节点当选簇头的机率。但是当网络运行很长时间后, 网络中所有的节点剩余能量都将很低, 所有节点成为簇头的概率都降低。针对这种情况, 本文在计算阈值 $T(n)$ 时引入网络的平均能量来平衡网络能量。此外, LEACH 协议每轮都要重新建立簇, 耗费节点大量能量, 缩短了网络生存时间。因此, 本文先将整个区域划分为若干个 Voronoi 图单元, 基于 Voronoi 图单元选择簇头, 达到节省节点能量、延长网络生存时间的目的。

2 LEACH-V 协议

2.1 簇头选择算法的改进

LEACH 算法^[3]尽可能使得节点轮流当选为簇头, 而没有进一步考虑到节点的剩余能量问题, 这将导致网络能量消耗的不均衡。在 LEACH 算法基础上, 文献[4-5]在计算阈值 $T(n)$ 时引入了剩余能量, 降低能量少的节点当选簇头的概率, 阈值计算公式如下:

$$T(n) = \frac{p}{1 - p(r \bmod \frac{1}{p})} \left[\frac{E_{n_current}}{E_{n_max}} + (r_s \div \frac{1}{p}) \left(1 - \frac{E_{n_current}}{E_{n_max}} \right) \right] \quad (1)$$

其中, p 为期望中网络的簇头数占所有节点的比例; r 为当前的轮数; \bmod 为求模运算符; $E_{n_current}$ 表示节点的当前能量;

E_{n_max} 表示节点的初始能量; r_s 表示节点连续未当选簇首的的轮数, 节点当选簇头后, r_s 置为 0。式(1)有一个不足的地方, 当网络运行很长时间后, 所有节点的能量都很低, 阈值 $T(n)$ 就会变小, 节点成为簇头的概率都降低, 每轮选举出来的簇头个数减少, 最终导致网络能耗不均衡, 网络生存时间缩短。

针对式(1)的不足, 笔者对其进行改进, 每个节点把当前能量报告给基站, 基站根据报告计算出网络的平均能量, 当前能量低于平均能量的节点不能成为候选簇头^[6-7], 改进后的阈值计算公式为:

$$T(n) = \frac{p}{1 - p(r \bmod \frac{1}{p})} \left[\frac{E_{n_current}}{E_{av}} + (r_s \div \frac{1}{p}) \left(1 - \frac{E_{n_current}}{E_{av}} \right) \right] \quad (2)$$

其中, E_{av} 表示每一轮结束后的节点平均能量。

2.2 基于 Voronoi 图单元的区域划分

在簇头选择阶段, LEACH 协议是在整个区域中随机地选择簇头, 这种方式简单, 但无法保证簇头在空间上的均匀分布, 在某些情况下, 算法所选择的簇头可能集中在某一个小范围内, 使得一部分成员节点无法加入任何簇或者与簇头进行数据传输时消耗过多的能量。另外, 每一轮都要进行簇重组, 消耗了节点很多能量。

改进后的协议充分考虑了簇头节点在空间上的分布和每轮进行簇重组时都要消耗大量的能量, 因此, 先将整个区域划分成若干个小的区域——Voronoi 图单元^[8], 然后在每个小区域内选举簇头。构造 Voronoi 图单元的方法如下: 节点 S_i 的通信半径为 R , 感知半径为 $r(R=2r)$, 在其通信半径 R 内的

作者简介: 陈彬兵(1966—), 女, 副教授, 主研方向: 无线传感器网络, 智能控制; 施叶玲, 硕士研究生

收稿日期: 2011-04-11 **E-mail:** linglong-shi@163.com

所有节点建立一个集合 $N(S_{ij})$, 设 b_{ij} 为节点 S_i 和 S_j 之间线段的垂直平分线, $p(S_i)$ 为以节点 S_i 为圆心、感知半径为 r 的圆周, b_{ij} 与 $p(S_i)$ 相交于两点 l_{ij} 和 r_{ij} 。选取逆时针方向为正方向, 显然, 这 2 个交点 l_{ij} 和 r_{ij} 把圆周 $p(S_i)$ 分为 2 段弧, 其中较短的一段弧用 C_{ij} 表示。圆周 $p(S_i)$ 要被 l_{ij} 和 r_{ij} 所截取的较短的弧全部覆盖, 并且要求每段弧越短越好, 这样 Voronoi 图单元所围的面积越大。因此, 选用 w_{ij} 表示较短的弧所对应的弦长, 用来选择较短的弧。其公式如下:

$$w_{ij} = |C_{ij}| \quad (3)$$

举例说明如何构造如图 1 所示的 Voronoi 图单元:

(1)按从小到大的顺序排列弦, $w_{16} < w_{18} < w_{19} < w_{17} < w_{110} < w_{111} < w_{13} < w_{14} < w_{12} < w_{15}$ 。

(2)选择 w_{111} 、 b_{16} 、 b_{18} 、 b_{19} 、 b_{17} 、 b_{110} 、 b_{111} 能够完全覆盖 $[0, 2\pi]$ 的圆周长, 但是有冗余的弦 b_{16} , 所以去掉冗余弦 b_{16} , 最后选择 b_{18} 、 b_{19} 、 b_{17} 、 b_{110} 、 b_{111} , 由这 5 条弦围成的五边形就是 Voronoi 图单元。

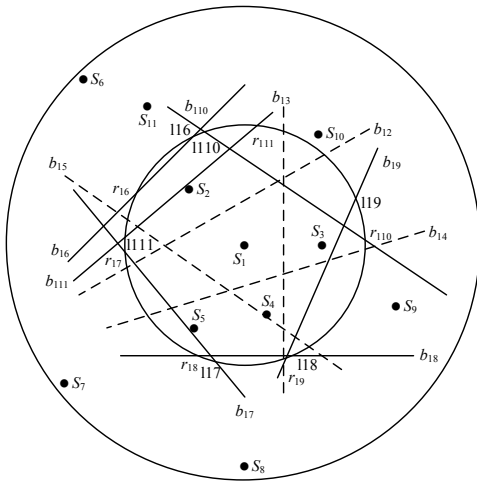


图 1 Voronoi 图单元构造示例

传感器节点发送位置消息给基站, 基站根据这些消息选择位于整个区域中心(或靠近中心)的节点, 这个节点先建立 Voronoi 图单元, 然后基站再选择与中心节点之间的距离大于 30 m 小于 60 m 的节点, 这些节点建立 Voronoi 图单元后, 基站再选择与中心节点的距离大于 60 m 的节点建立 Voronoi 图单元, 如图 2 所示, 整个区域被分为 12 个 Voronoi 图单元。

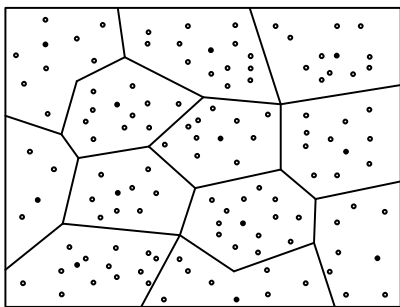


图 2 区域的划分

2.3 簇的建立与稳定通信阶段

簇的建立阶段分为簇形成和稳定阶段, 步骤如下:

(1)构造 Voronoi 图单元, 将整个区域划分为若干小区域。

(2)第 1 轮时当前网络的平均能量为节点的初始能量, 按式(2)计算出阈值 $T(n)$, 节点判断生成的随机数是否小于阈值 $T(n)$, 如果小于则向基站发送竞选信息, 基站为每个区域选择一个簇头, 把当选的簇头的 ID 消息向全网广播, 节点接收

到消息后与自己的 ID 进行比较, 如果相同就成为簇头, 否则成为簇成员, 完成簇的建立。

(3)节点将收集到的信息传输给簇头节点, 簇头将消息融合去掉冗余的消息。当簇头和基站之间的距离较近时, 簇头直接与基站通信; 当簇头和基站之间的距离较远时, 通过其他簇头以多跳的方式, 选择跳数最小的路径, 把数据传送给基站, 这是数据通信传输阶段。

(4)从第 2 轮开始每个节点把当前剩余能量报告给基站, 基站计算出当前网络的平均能量, 再传输给每个节点。接下来按步骤(2)、步骤(3)进行。

3 仿真实验与结果分析

本文采用的仿真工具是 Matlab 软件, 仿真环境参数设置如表 1 所示, 在 100×100 的区域内分布 100 个节点。

表 1 仿真环境参数设置

参数	参数值
网络覆盖区域/m	(0, 0)~(100, 100)
基站位置/m	(50, 100)
初始能量/J	0.5
多路衰减模型功率放大系数/[pJ·(bit·m ⁻²) ⁻¹]	10
自由空间模型功率放大系数/[pJ·(bit·m ⁻²) ⁻¹]	0.001 3
数据包大小/bit	4 000
发送/接收电路能量/(nJ·bit ⁻¹)	50
数据融合消耗能量/(nJ·bit ⁻¹)	5
数据融合率	0.7

3.1 仿真过程

仿真流程如图 3 所示。

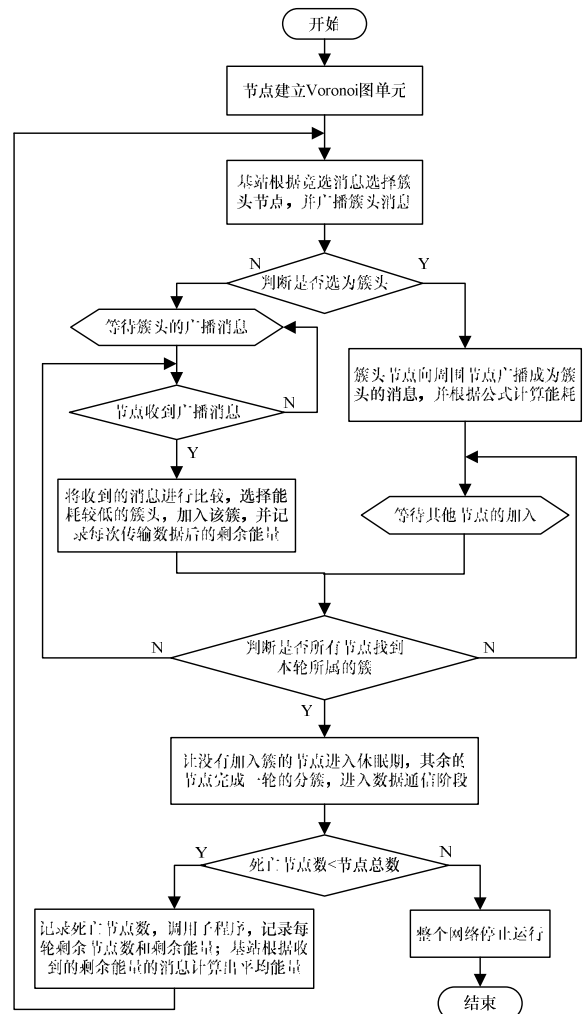


图 3 仿真流程

其中,当判断出不是所有节点都加入簇中时,左边的出口为未加入簇的非簇头节点接收到簇头的广播消息后,加入合适的簇中,右边的出口为簇头等待未加入簇的节点加入,直到所有节点加入簇中为止。

(1)根据仿真环境参数的设置,构造Voronoi图单元,通过每轮的剩余能量的计算,可以将能量较高的节点选为簇头,避免由于能量消耗不均匀而影响网络生存时间。

(2)每一轮运行过程中,都要判断是否有节点死亡,并调用编写的子程序记录每轮的剩余节点数和剩余能量。

(3)将第一个节点的死亡时间、半数节点死亡时间和最后一个节点死亡时间作为网络生存时间的计算标准,故选出第一个节点死亡、半数节点死亡和最后一个节点死亡的轮。

3.2 仿真结果分析

根据仿真过程中的数据,分别从网络存活节点数和网络消耗能量 2 个方面对仿真结果进行分析比较。

图 4 为剩余节点曲线。可以看到,LEACH-V 协议比 LEACH 协议中存活的节点数目多,有效地延长了网络的生存时间。

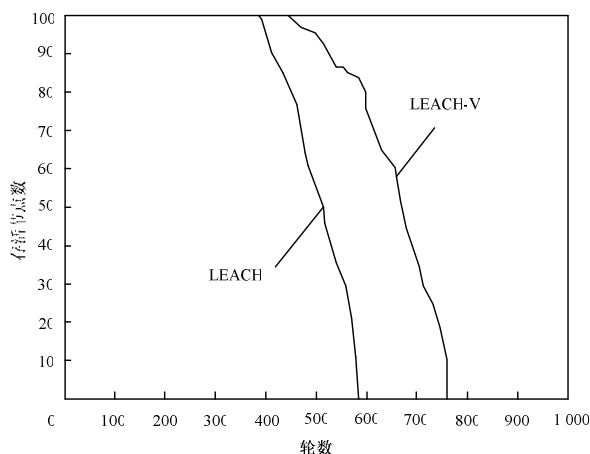


图 4 剩余节点曲线

图 5 为网络能耗曲线。可以看到,LEACH-V 协议的总能耗明显低于 LEACH 协议。

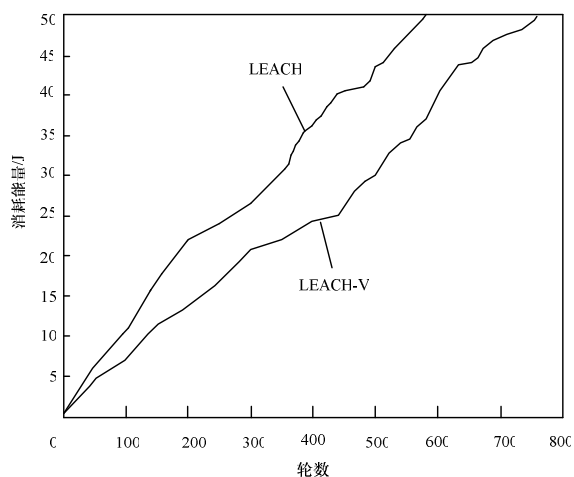


图 5 网络能量消耗曲线

为了更好地说明 LEACH-V 协议的优越性,根据节点死亡时间对照表绘制了网络生命周期,如图 6 所示。

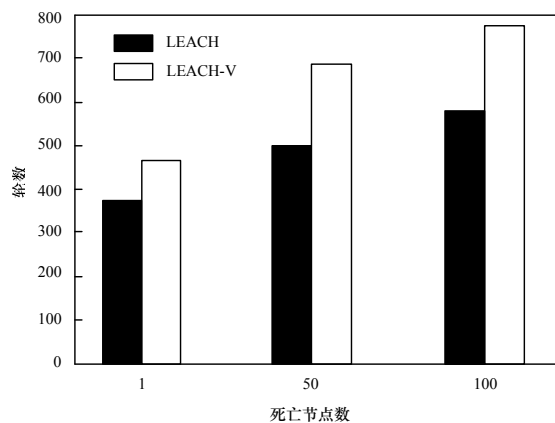


图 6 网络生命周期

4 结束语

本文指出了 LEACH 协议存在的问题,并针对提出的问题对 LEACH 协议进行改进,提出了 LEACH-V 协议。LEACH-V 协议在计算阈值时引入了剩余能量与网络平均能量,基于 Voronoi 图单元选择簇头。仿真实验将 LEACH-V 协议与 LEACH 协议进行比较,结果显示 LEACH-V 协议能有效延长网络的工作时间,提高网络能量的利用率。下一步工作将研究无线传感器网络在输电线路覆冰在线监测系统中的应用。

参考文献

- [1] 朱子健, 赵广社, 苏丽芳, 等. WSN 非对称集中式能量有效路由算法[J]. 计算机工程, 2009, 35(3): 155-157.
- [2] Zhang Wenya, Liang Zize, Hou Zengguang, et al. Power Efficient Routing Protocol for Wireless Sensor Network[C]//Proc. of IEEE International Conference on Networking, Sensing and Control. London, UK: IEEE Press, 2007: 20-25.
- [3] 李雅卿, 李腊元. WSN 中 LEACH 路由协议的改进与仿真[J]. 计算机工程, 2009, 35(10): 104-106.
- [4] 张 品, 徐智福, 孙 岩. 一种新的基于簇头优化的 WSN 路由协议[J]. 传感技术学报, 2009, 22(7): 1013-1017.
- [5] Hashmi S U, Mouftah H T, Georganas N D. Achieving Reliability over Cluster-based Wireless Sensor Networks Using Backup Cluster Heads[C]//Proc. of IEEE GLOBECOM'07. Washington D. C., USA: IEEE Press, 2007: 1149-1153.
- [6] Latiff N M A, Tsimenidis C C, Sharif B S. Energy-aware Clustering for Wireless Sensor Networks Using Particle Swarm Optimization[J]. IEEE Mobile Radio Communications, 2007, 7(4): 1-5.
- [7] Bajaber F, Awan I. Energy Aware Adaptive Clustering for Wireless Sensor Networks[J]. Network-based Information Systems, 2009, 2(1): 129-135.
- [8] Shih Kuei-Ping, Chen Yen-Da, Chiang Chun-Wei. A Distributed Active Sensor Selection Scheme for Wireless Sensor Networks[C]//Proc. of ISCC'06. Pula-Cagliari, Sardinia, Italy: IEEE Press, 2006: 923-928.

编辑 金胡考