

基于节能的无线传感器网络 LEACH 协议改进

熊昊翔,李 峰,李 平

(长沙理工大学 计算机与通信工程学院,湖南 长沙 410076)

摘 要:由于传感器节点电池电量有限,因此在无线传感器网络中如何节能是一个关键问题。对经典的 LEACH(Low Energy Adaptive Clustering Hierarchy)协议做出改进:提出了一种新型的簇首选择机制。算法通过综合考虑候选节点的剩余能量、地理位置等参数来优化簇首的选择,从而有效地降低了低能量与位置不佳的节点被选为簇首的可能性,进一步保证网络内节点能量负载的均衡性。仿真结果表明,新型的簇首选择机制能够有效平衡节点的能量消耗分布,延长节点与网络的寿命。

关键词:无线传感器网络; LEACH 协议; 节能; 簇首选择

中图分类号: TP393

文献标识码: A

文章编号: 1673-629X(2007)11-0237-04

Improvement of Wireless Sensor Networks LEACH Protocol Based on Energy Efficient

XIONG Hao-xiang, LI Feng, LI Ping

(College of Computer & Communication Engineering, Changsha University of Science & Technology, Changsha 410076, China)

Abstract: Due to the special character of the wireless sensor network and the energy constraint of the sensor node, the energy-efficient is key question which should be solved in the wireless sensor network. Introduces a new strategy of cluster-heads election. The remaining energy and the position of the sensor node were taken as the parameter to optimize the process of cluster-head selection. Then it avoids choosing nodes with lower residual energy and bad position as cluster-heads and then provide the energy load's proportionality of sensor node. The simulation results show that the new strategy of cluster-heads election achieves great advance in sensor and network's lifetime.

Key words: wireless sensor network; LEACH protocol; energy efficient; cluster-head selection

0 引言

传感技术、微电机系统(Micro-Electro-Mechanism System, MEMS)技术、嵌入式计算技术和通信技术的快速发展和高度集成,使传感器本身的传感手段更丰富,处理能力更强,体积更趋小型化和微型化;系统组织形式网络化,具有高可靠性、易扩展和易部署的特点;同时功耗和成本显著降低,从而使无线传感器网络(Wireless Sensor Network, WSN)在军事、民用和工业生产等领域具有广阔的应用前景,成为当前的研究热点之一^[1,2]。传感器节点由电池供电,而目前的技

术水平下电池容量难以有大幅度提高,而且在许多应用中,更换电池是不现实的(如军事应用),因此这就要求 WSN 路由协议必须以节约能源为主要目标,最大限度地延长网络生存时间。

1 相关工作

在目前典型的分簇路由算法中,LEACH^[3]是 chandrakasan 等人提出的第一个基于多簇结构的路由协议,其中的成簇思想在以后所提出的许多路由协议中都有引用。其中,文献[4]将节点的剩余能量引入到簇首的随机选择过程中,通过降低低能量级节点成为簇首的概率来保证网络内能量负载的平均分布,进一步地延长网络生命周期。文献[5]中提出两种集中式簇首产生算法:一种是 LEACH-C,它要求只有能量高于网络平均剩余能量的节点才有可能成为簇首。为了评估网络剩余能量的平均值和优化簇首的选择,每

收稿日期:2007-01-23

基金项目:湖南省自然科学基金项目(05JJ30123);湖南省教育厅科学研究项目(05C246)

作者简介:熊昊翔(1982-),男,湖南常德人,硕士研究生,主要研究方向为图像处理、信息安全;李 峰,教授,博士,硕士生导师,主要研究领域为图像处理与识别、信息安全。

个节点需要与 BS 直接通信来汇报自身的位置和能量信息,因此算法需要消耗较多的通信能量。一种是 LEACH-F, 它的簇的形成与 LEACH-C 一样,同时基站为每个簇生成一个簇首列表,指示簇内节点轮流当选簇首的循序。一旦簇形成之后,簇的结构就不再改变,簇内节点根据簇首列表依次成为簇首。LEACH-F 最大的优点是无需每轮循环都构造簇,减少了构造簇的开销。但是,LEACH-F 并不适合真实的网络应用,因为它不能动态处理节点的加入、失败和移动。同时,还增加了簇间的信号干扰。文献[6]构建了一种节能,分布式的成簇算法 HEED,但在选择簇首时需要在一定的迭代次数内与周围邻居节点不断地进行信息交互,因此算法的实现也需要额外的通信代价。

2 问题描述

LEACH 协议是一种基于聚类的低功耗自适应路由协议,它是由 MIT 的 chandrakasan 等人专门为无线传感器网络提出的。在 LEACH 算法中,节能的基本思想是通过随机循环地选择簇首将整个网络的能量负载平均分配到每个传感器节点中从而达到降低网络能量消耗,提高网络整体生存时间的目的。其中,簇首的选择依据网络中所需要的簇首节点总数和迄今为止每个节点已成为簇首的次数来决定。

在初始化阶段,LEACH 协议随机地选取一个传感器节点作为簇首,选取的原则是:传感器节点随机地生成一个 0-1 之间的随机数,如果生成的随机数小于阈值 T ,该节点当选为簇首。阈值 T 按公式(1) 计算:

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

其中: p 为节点成为簇首的百分数, r 为当前回合数, $r \bmod (1/p)$ 代表这一轮循环中当选过簇首的节点个数, G 是在这一轮循环中未当选簇首的节点集合。

在 LEACH 的路由算法中使用的能量消耗公式是第一顺序无线电模式^[3]。根据这种模式,传感器节点发送 k bit 字节所消耗的能量为:

$$E_{\text{send}} = k \times E_{\text{static}} + k \times \epsilon_{\text{amp}} \times d^2 \quad (2)$$

传感器节点接受 k bit 字节所消耗的能量为:

$$E_{\text{receive}} = k \times E_{\text{static}} \quad (3)$$

其中 ϵ_{amp} 是信号放大器的放大倍数,而 E_{static} 则是发送电路和接收电路消耗的能量, d 是信号传输的距离,其中 $k \times E_{\text{static}} \ll k \times \epsilon_{\text{amp}} \times d^2$,这说明信号传输距离越短,能量消耗越少。

LEACH 的随机簇首选择机制具有很好的自组织特性,而且能够保证簇首所负载的额外能耗平均分配

到网络内的所有节点,但是协议并没有说明簇首在网络内的分布情况,这就容易形成节点与簇首、簇首与基站之间通信距离的不平衡。为进一步说明 LEACH 算法中随机簇首选择机制对节点能量损耗的影响,用具体实例来表示。假设传感器网络是由在 $100\text{m} \times 100\text{m}$ 的范围随机分布 200 个传感器节点所构成,远程基站与网络最近的距离为 100m 。图 1 与图 2 分别描述了 LEACH 算法运行过程中的两个回合,分别代表了随机簇首选择机制在选择簇首时较差和较好的情况。

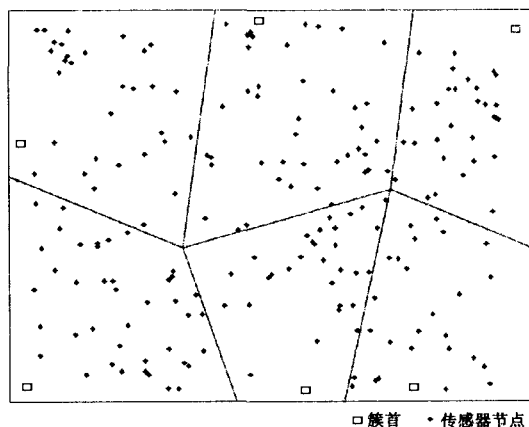


图 1 第一轮随机分簇结果(较差情况)

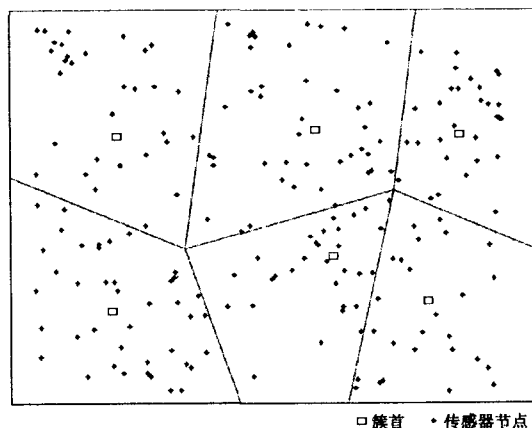


图 2 第一轮随机分簇结果(较好情况)

图 1 表示在第一回合中当选簇首的为靠近边缘的节点,与基站和簇内其他的节点距离较远。由于距离簇首越远的节点或者距离基站越远的簇首将会损耗更多的能量完成数据通信,因此将耗费较多能量。图 2 表示在第一回合中当选簇首的为在簇内位置比较好的节点,与基站和簇内其他的节点距离较近。因此,在这种情况下,簇首将会损耗较少的能量完成数据通信,因此节省了能量。

3 新型的簇首选择机制

为了避免低能量级与位置不佳的节点被选为簇首,进一步均衡整个网络的能量负载分布,引入一种新

型的簇首选择机制,通过考虑候选节点的剩余能量以及地理位置信息等参数来优化簇首选择。假定采用如下网络模型:无线传感器网络中每个节点有六个属性字段 ID, C_{id} , E_node , $E_average$, $P_{x,y}$, P 分别对应节点的标识、聚类的标识、节点剩余能量、簇内所有节点剩余能量的平均值、节点的位置信息、节点的全局位置信息值。其中节点自身的坐标值由自带的 GPS 获得,在每一回合的簇重构过程中,每个节点查看自身的 E_node 值,并向先前的簇首报告,簇首计算簇内的 $E_average$ 值, $E_average$ 值如下式所示:

$$E_average(r) = \frac{\sum_{i=1}^n E_node(r)}{n} \quad (4)$$

其中 n 为聚类中节点个数。在初始回合中,LEACH 协议随机选择节点当选簇首,当簇首选定之后,簇首向节点广播自己成为簇首的信息,其他节点根据接收到的广播信息的强度大小来决定加入的簇,并向簇首发送加入簇的请求并将自己的 $P_{x,y}$ 与 ID 传给簇首。簇首收到簇内所有节点的坐标信息以及 ID 之后,发送给簇内的每个节点,节点计算全局位置信息值。节点位置信息的传递是在簇建立过程中对能量消息的传递中一起进行的,因此大大减少了信息交互中的通信损耗,并且节点一旦分布,一般情况下不会移动,因此位置信息只需传递一次,以后不用再进行传递。全局位置信息值如下所示:

$$P = \sum_{i=1}^{n-1} [(x - x_i)^2 + (y - y_i)^2] + [(x - x_{BS})^2 + (y - y_{BS})^2] = \sum_{i=1}^{n-1} d_i^2 + d_{BS}^2 \quad (5)$$

其中 x, y 为节点自身的坐标, x_i, y_i 为簇内其余节点的坐标值, x_{BS}, y_{BS} 为基站的坐标值。 $E_average$ 广播给簇内各个节点,各节点调整各自成为簇首的阈值,看是否成为簇首。调整后的阈值如下式所示:

$$T(n) = W1 * \frac{p}{1 - p[(r+1) \bmod \frac{1}{p}]} \times \frac{E_node(r)}{E_average(r)} + W2 * \frac{1}{\sum_{i=1}^n d_i^2 + d_{BS}^2} \quad (6)$$

其中 $E_node(r)$ 为节点在 r 回合的剩余能量, $E_average(r)$ 为 r 回合簇内其余所有节点的剩余能量平均值, $W1$ 与 $W2$ 分别为剩余能量以及全局位置信息的加权系数, $\sum_{i=1}^n d_i^2$ 表示被选节点与其他节点的距离的平方和, d_{BS}^2 表示被选节点与基站的距离。

新型的簇首选择机制在簇首选择上不仅仅依据网络所需要的簇首节点总数和迄今为止每个节点已成为

簇首的次数,还要取决于节点的剩余能量值,所属簇内节点的平均能量值和节点的全局位置信息值。在第 r 回合,在簇的重构过程中,每个节点根据自身的剩余能量值和全局位置信息值以及簇内平均能量值调整成为簇首的阈值。如果节点的剩余能量低于所属簇内的平均能量值并且全局位置信息较大,则节点的能量有限并且通信的开销过大,需要降低其在 $r+1$ 回合成为簇首的概率,以避免过快的能量衰减;如果节点的剩余能量高于所属簇内的平均能量值并且全局位置信息较小,则节点的能量相对较多并且通信的开销较小,需要提高其在 $r+1$ 回合成为簇首的概率,有助于整个网络中节点的能量负载均衡。加权系数 $W1$ 与 $W2$ 用来调整剩余能量与全局位置信息在计算簇首阈值时两个参数所占比重大小,具体数值将在下节中通过仿真实验进行讨论。

4 实验仿真与性能评价

假定网络由 200 个节点组成,随机分布在 $100m \times 100m$ 的范围内,每个节点具有 $4J$ 的初始能量,每个节点接收或发送数据需要消耗 $E_{static} = 40nJ/bit$,为了能够将数据传输足够远,放大器所消耗的能量为 $\epsilon_{amp} = 80pJ/bit/m$,且每个数据包的大小固定为 $50bit$,所有节点一旦放置就不能再移动,节点死亡发生在能量为零时。

仿真运行期间,采用节点平均能耗以及相同回合数下节点存活个数为算法性能的评价指标,将文中改进后 LEACH 算法与 LEACH 算法进行比较。

实验 1(见图 3)与实验 2(见图 4)分别比较相同回合数目情况下节点存活个数与节点的能量平均消耗,并在实验 1 中对加权系数 $W1$ 与 $W2$ 的取值进行多次实验。图 3 表明在 $W1 = 0.5, W2 = 5$ 的情况下改进算法在相同回合数目下存活的节点个数最多,并且节点存活了 120 轮。在以后的实验中,加权系数取值为 $W1 = 0.5, W2 = 5$ 。图 4 表明在相同的回合数目情况下,节点的能量平均消耗对比,改进算法减少了 25% 的能量消耗。

实验 3(见图 5)与实验 4(见图 6)分别比较不同网络覆盖范围下节点的存活个数与节点的能量平均消耗。图 5 表示在不同的网络规模下第 60 轮节点存活情况,在网络半径相同的情况下,改进算法存活的节点个数多,并且随着网络半径的增大,节点存活个数相差越大,最大达到 400%。图 6 表示在不同的网络规模下第 60 轮时节点的能量平均消耗对比,在网络半径增加的情况下,节点间的距离增加,由于改进算法在簇首选择时考虑到节点的位置信息,节点的能量平均消耗

减少了 40%。

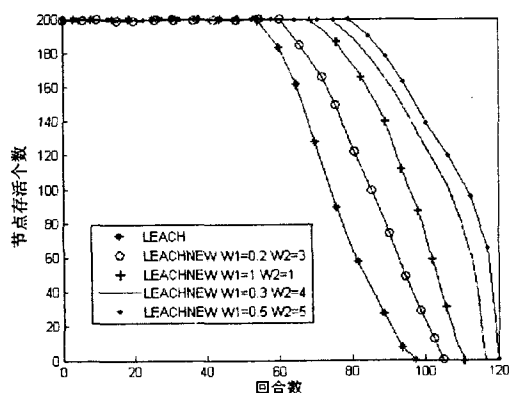


图 3 相同回合数下节点存活个数对比

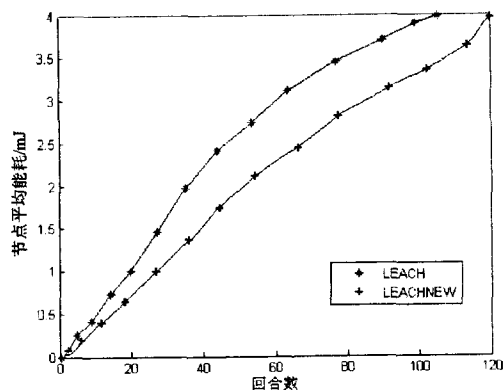


图 4 相同回合数下节点平均能耗对比

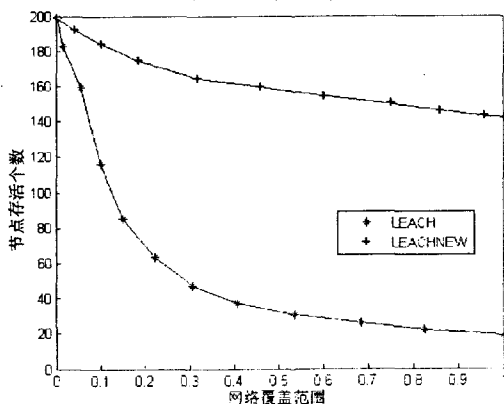


图 5 不同网络覆盖范围节点存活个数

5 总结

在 LEACH 协议的基础上使用新型的簇首选择机制来保证节点能量负载的均衡化,算法通过综合考虑候选节点的剩余能量、地理位置等参数来优化簇首的选择,从而有效地避免了低能量与位置不佳的节点被

选为簇首的可能性,进一步保证网络内节点能量负载的均衡性。仿真实验结果表明,新型的簇首选择机制使网络内节点能量负载均衡,并且延长节点与网络的寿命。

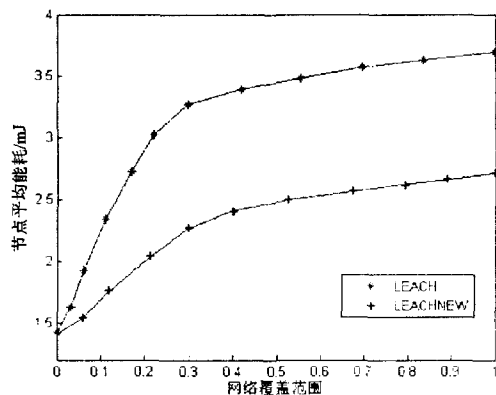


图 6 不同网络覆盖范围节点平均能耗(第 60 轮)

参考文献:

- [1] Estrin D, Govindan R, Heidemann J, et al. Next Century Challenges: Scalable Coordination in Sensor Networks[C]//Proceeding of the 5th ACM/IEEE international Conference on Mobile Computing and Networking. Washington, USA: [s. n.], 1999: 263 - 270.
- [2] Chong C Y, Kumar S. Sensor networks evolution, opportunities, and challenge[J]. Proceedings of the IEEE, 2003, 91: 1247 - 1256.
- [3] Heinzelman W B, Chandrakasan A P, Balakrishnan H. An Application - Specific Protocol Architecture for Wireless Microsensor Networks[J]. IEEE Trans on Wireless Comm, 2002, 1(4): 660 - 670.
- [4] Handy M J, Haase M, Timmermann D. Low energy adaptive clustering hierarchy with deterministic cluster - head selection [C]//In: Proc of the 4th IEEE Conf on Mobile and Wireless Communications Networks. Stockholm: IEEE Communications Society, 2002: 368 - 372.
- [5] Heinzelman W. Application - Specific protocol architectures for wireless networks[D]. Boston: Massachusetts Institute of Technology, 2000.
- [6] Younis O, Fahmy S. Heed: A hybrid, energy - efficient, distributed clustering approach for ad - hoc sensor networks [J]. IEEE Trans on Mobile Computing, 2004, 3(4): 660 - 669.

(上接第 236 页)

based approach to style translation for line drawings[R]. Technical Report TR99 - 11, MERL. Cambridge: [s. n.], 1999.

- [12] 孙玉红, 屠长河, 孟详旭. 基于形状演化的线条画风格转换与变形[J]. 计算机辅助设计与图形学学报, 2006, 18(2), 208 - 211.