

WSN 中 LEACH 协议的研究及改进

陈雪娇, 李向阳

(华南理工大学 自动化科学与工程学院, 广州 510641)

(chenxuejiao460@163.com)

摘要:针对低功耗自适应分簇(LEACH)路由协议中簇头节点选择不合理以及在远距离数据传输过程中能量消耗过多的不足,提出了一种新的改进算法——LEACH-EDH。在分簇阶段,它充分考虑了节点的能量和地理位置;在传输阶段,采用了基于概率的混合路由算法。仿真结果表明,该算法有效地平衡了网络的能量消耗,并显著地延长了网络的存活时间。

关键词:低功耗自适应分簇协议;路由协议;能量平衡

中图分类号: TP393 **文献标志码:** A

Research and improvement of LEACH protocol in wireless sensor networks

CHEN Xue-jiao, LI Xiang-yang

(College of Automation Science and Engineering, South China University of Technology, Guangzhou Guangdong 510640, China)

Abstract: Concerning the deficiencies of Low Energy Adaptive Clustering Hierarchy (LEACH) routing protocol that cluster-head nodes selection is unreasonable and cluster-head nodes consume excessive energy in the process of long-distance data transmission, an improved routing protocol named LEACH-EDH was proposed. In the set-up phase, the remaining energy and the geographical position of nodes were fully considered. In the steady-state phase, a modified hybrid approach was also introduced to the communication between cluster-head and Base Station (BS), simulation results show that the algorithm effectively balances the energy consumption of the networks and achieves an obvious improvement on the network lifetime.

Key words: Low Energy Adaptive Clustering Hierarchy (LEACH) protocol; routing protocol; balanced energy

0 引言

传感器节点体积微小,通常携带能量十分有限的电池。由于传感器节点个数多,成本要求低廉,分布区域广,而且部署区域环境复杂,有些区域甚至人员不能到达,所以传感器节点通过更换电池的方式来补充能源是不现实的。如何高效使用能量来最大化网络生命周期是传感器网络面临的首要挑战^[1-3]。

文献[4]提出一种称为低功耗自适应分簇(Low Energy Adaptive Clustering Hierarchy, LEACH)的分簇协议。在每个数据收集的周期(一个周期也称为一轮)开始,小部分节点随机成为簇首。在数据传输阶段,簇头以单跳通信的方式将融合后的数据传输给汇聚点。LEACH 协议具有很多优点,比如分层的簇型结构、本地数据联合处理和簇头节点动态分配,特别是在处理具有高度相关性的数据时,由于数据融合力度大,冗余数据被大量消除,因此在能耗方面性能较好。但 LEACH 仍有不足之处,比如簇头节点不一定是剩余能量最大的节点、簇头节点在空间上难以均匀分布和单跳传输造成的能量消耗不均匀和不利于网络的扩展等。

近年来,研究人员针对 LEACH 协议不足提出了多种改进的分簇协议^[5-8]。在分簇阶段,文献[5-6]将节点的能量因素考虑进来,具有较多剩余能量的节点有更多机会成为簇头,但未考虑节点的位置。在数据传输阶段,EDBCM^[7]算法引入基于能量和距离的多跳路由,有效均衡不同位置节点的能耗。而文献[8]提出了基于均匀分环的混合路由算法,簇

头以一定的概率找到下一环的簇头作为中继节点,有效均衡不同层节点间的能耗,但未考虑中继节点的能量。针对 LEACH 协议及其改进协议的不足,本文提出了一个基于节点能量和到基站距离的分簇算法,并在文献[8]的基础上,提出了一种改进的基于概率的混合路由协议。仿真实验表明,新算法比 LEACH、EDBCM 等算法更有效地降低网络的能量消耗,从而可以进一步提高传感器网络的生命周期。

1 簇头节点的选取

节点产生一个 0 ~ 1 的随机数,如果这个数小于阈值 $T(n)$,则宣布成为簇头,否则就放弃竞选簇头,进入休眠状态。本文的 $T(n)$ 在 LEACH 算法的基础上有所改进,使具有较多剩余能量和距基站较近的节点有更多机会成为簇头,所以 $T(n)$ 为:

$$T(n) = \frac{P}{1 - P[r \bmod (1/P)]} \times \left[w_1 \frac{E_{\text{arrent}}}{E_0} + (1 - w_1) \frac{d_{\text{max}} - d}{d_{\text{max}} - d_{\text{min}}} \right] \quad (1)$$

其中: P 表示簇头节点占网络节点总数的百分比(即节点当选簇头的概率, E_{arrent} 表示节点的当前能量), E_0 表示节点的初始能量, d_{max} 表示节点到基站最远的距离, d_{min} 表示节点到基站最近的距离, d 表示节点到基站的距离, w_1 是一个常数。簇的形成与 LEACH 协议的一致。

2 同心均匀间隔圆环的网络模型

由于节点在半径为 R 的圆形区域里均匀分布,在此基础

收稿日期:2009-06-22;修回日期:2009-08-22。

作者简介:陈雪娇(1982-),女,山东菏泽人,硕士研究生,主要研究方向:无线传感器网络;李向阳(1969-),男,湖南临湘人,副教授,主要研究方向:无线传感器网络、嵌入式系统。

上均匀随机生成的簇头也呈均匀分布。将圆形区域化为 n 环, 每层圆环间的间距为 r (如图 1 所示)。

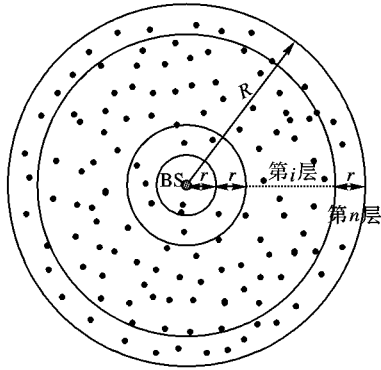


图1 网络模型

从基站(Base Station, BS) 节点向外将圆环分别编号为第1环,第2环,……,第 n 环(其中的第0环实际上是以BS为圆心的一个圆,为了统一,这里也将其称为一个环)。由于传感器节点在区域中是随机部署的,部署之前无法确定节点将会在分环模型中的哪个环。为了方便节点的配置与部署,本算法只在BS节点中配置关于区域的总体信息集合 I , I 包括每个节点的地理位置、每个节点的初始能量、基站的位置、每层的界限以及每层簇头数据转发的概率 p_i 。通过总体信息 I 和自身的位置,便可以确定自己所在的环。

3 路由协议

单跳路由协议,离BS远的节点,由于传输距离较远而消耗较多的能量;多跳路由协议,由于离BS近的节点比离BS远的节点转发较多的数据包而消耗较多的能量,为了进行负载均衡,引入一个混合传输模式。每层设定一个转发概率 P_i ,簇头节点随机产生一个0~1的随机数,如果随机数小于 P_i ,则簇头传输数据给下一个圆环的簇头,当随机数大于 P_i 时,则簇头直接传输数据到基站。在多跳传输方式中,传输距离为 r (圆环的宽度);在单跳传输方式中,传输距离为 r_i 。

由于感知和计算所消耗的能量比通信能耗低许多数量级,因此只考虑通信能耗。能量模型使用文献[4]中提到无线通信模型。

在整个网络区域,簇头节点近似均匀分布,即簇内节点个数基本相同,所以簇内的节点消耗的能量相同。不同的是簇头间的能量消耗,一部分是接收上一环簇头传输的数据包消耗的能量,另一部分是传输数据包到下一环或到基站消耗的能量。因此,均衡能量消耗的主要任务是均衡这两部分能量。假设第 i 环的簇头节点的要传输数据包的个数为 n_i ,第 i 环的簇头在这两部分消耗的能量为:

$$E_i = E_{TX}(r_i) n_i^s + E_{TX}(r) n_i^m + E_{RX} n_{i+1}^m \quad (2)$$

其中: n_{i+1}^m 表示第 $i+1$ 环多跳传送到第 i 环的数据包的个数, n_i^s 表示直接传输到BS的数据包的个数。所以有 $n_i^s = (1 - p_i) n_i$ 和 $n_i^m = p_i n_i$,而且每轮每个簇头收集簇内节点的数据,并融合为一个单位的数据包。假设簇头节点的密度为 ρ ,每环的面积为 S_i ,表达式为 $S_i = (2i-1)r^2$,那么第 i 层在每轮中要传输的数据包数为:

$$n_i = S_i \rho + n_{i+1}^m \quad (3)$$

把 n_i^m 和 S_i 的表达式代入式(3),经过推导可知, $n_i = \rho f_i(n_1)$ 。

第 i 环簇头节点的平均能耗为:

$$\overline{E_i} = \frac{E_i}{S_i \rho} \quad (4)$$

把式(2)、(3)代入式(4),可知簇头节点的平均能耗与簇头的密度无关。

令每层簇头节点消耗能量的均值相等,可以通过下列非线性规划方法求解出最佳的 r, p_i :

$$\begin{aligned} & \text{Minimize } \overline{E_n} \\ & \text{s. t. } \overline{E_i} = \overline{E_{i+1}} \\ & \quad 0 < r < R \\ & \quad 0 < p_i < 1 \\ & \quad 1 \leq i < n \end{aligned} \quad (5)$$

4 算法的执行步骤

1)BS节点将区域总体信息集合 I 和BS节点的位置 POS_{Sink} 打包为SINK_ADV_SYS_MSG消息,向网络中以泛洪的方式广播。

2)网络中的所有节点根据收到的SINK_ADV_SYS_MSG包确定每个节点所在的层,并从SINK_ADV_SYS_MSG包中找到所在环簇头的转发概率。

3)簇头自选:每个节点产生一个0~1的随机数,将其与簇头选举阈值 $T(n)$ 进行比较,若小于 $T(n)$,则宣布成为簇头,并发布包含簇头的ID及位置的CH_ADV_MSG信息包;否则退出竞选。

4)非簇头节点根据接收到CH_ADV_MSG消息,根据接收到信号的强弱决定加入哪个簇,并向簇头发送包含节点的ID的加入请求消息NODE_JOIN_MSG。

5)簇头选择路由。簇头产生一个0~1的随机数,与每层的转发概率相比较,确定在本轮是否直接把数据发送给BS节点。若是需转发,则第 i 环中簇头根据收到的第 $(i-1)$ 环簇头的通告信息,找出距离自己最近的两个簇头,选择剩余能量较高的作为下一跳,向其发送包含节点ID和环编号的转发请求消息RELAY_REQ_MSG。到此,普通节点均找到了所属的簇,每个簇头均找到了下一跳,簇及多条路由建立阶段结束,进入数据采集阶段。

6)收集一轮数据后,簇头节点进行轮换,循环3)~6)。

5 仿真实验

使用Matlab语言编写仿真程序来评估改进协议的性能。实验结果取20次试验的平均值。在实际环境中,无线通信链路的信号冲突和噪声等因素可能影响改进协议中控制消息的可靠传播。由于采用和LEACH相同的MAC协议,这些影响可以忽略。

实验参数:节点数为1000个,区域半径是240 m,基站的位置在圆形的中心,节点的初始能量为0.5 J,网络其他参数跟LEACH协议相同,通过实验可以得到 w_1 的最优值为0.9。

首先定义网络的寿命为网络中第一个节点死亡时间。通过式(5)、(6)可以求出网络在分不同环数时各层的最优转发概率以及最优的分环数,如表1所示。

从表1中可以得出网络的最优层数是3:第一环的转发概率为1;第二环的转发概率为0.291;第三环的转发概率为0.6325。该表说明,区域面积一定时,当环数到达某一最优值后,继续增大环数反而会减少网络的寿命。其原因是:由于分

环数较多时,簇头接收、转发的耗能增量抵消了多跳带来的能效增量。

表 1 最优转发概率

总环数	第一环	第二环	第三环	第四环	第五环	第六环	网络寿命/轮
1	1	—	—	—	—	—	454.0
2	1	0.7952	—	—	—	—	544.0
3	1	0.2910	0.6325	—	—	—	590.5
4	1	0.2262	0.2583	0.6012	—	—	565.0
5	1	0.1967	0.2156	0.2387	0.5532	—	535.0
6	1	0.1798	0.1934	0.2113	0.2281	0.4983	520.0

以下仿真都采用最优参数。

1) 网络寿命与簇头的概率 P 的关系如图 2 所示。

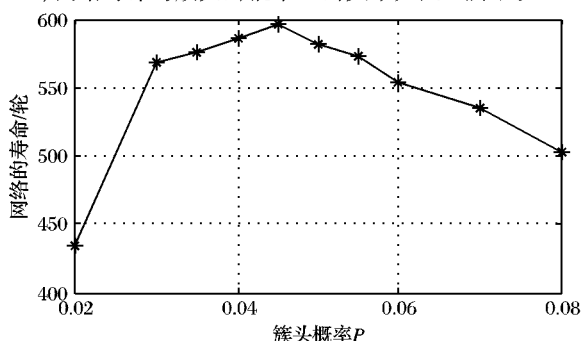


图 2 簇头的概率与生命周期的关系

图 2 中: 当簇头概率 P 较大时, 产生的簇头较多, 由于簇头节点要和基站直接通信, 因此总体耗费了过多的能量; 当 P 较小时, 产生的簇头较少, 部分节点由于和远距离的簇头通信将浪费较多能量, 并且簇头节点也将由于负载过重而过早死亡。

2) 几种分簇协议的比较如图 3 所示。

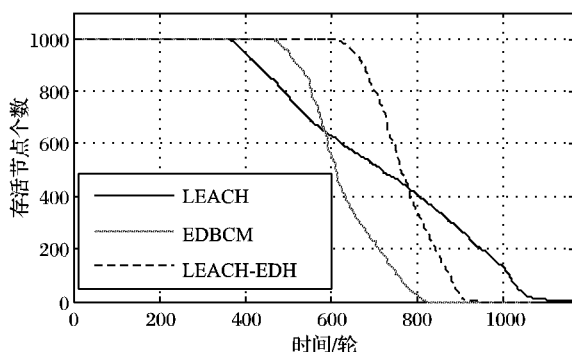


图 3 网络的生命周期

从图 3 中可看出: LEACH-EDH 算法的网络生命周期显然长于其他两种协议, 它比 LEACH 算法的生命周期提高了 50% 以上, 比 EDBCM 算法提高了 35%。这说明了 LEACH-EDH 很好地均衡了网络中所有节点的能量消耗。

6 结语

本文在簇头选举过程, 综合考虑了节点的剩余能量和到基站的位置, 使得剩余能量较大的和离基站较近的节点成为簇头的机会较多。在数据传输阶段采用了混合路由协议, 弥补了多跳和单跳路由协议的不足, 有效地均衡了网络边缘节点和离基站近的节点的能耗。仿真结果表明, 与 LEACH 算法和 EDBCM 算法相比, 该算法优化了网络中的能量消耗, 明显延长了网络的网络寿命。针对每个簇头为其设置不同的转发概率是下一步研究的任务。

参考文献:

- [1] 任丰原, 黄海宁, 林闯. 无线传感器网络[J]. 软件学报, 2003, 14(7): 1282-1291.
- [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] 沈波, 张世永, 钟亦平. 无线传感器网络分簇路由协议[J]. 软件学报, 2006, 17(7): 1588-1600.
- [4] HEINZELMAN W R, CHANDRAKASAN A, BALAKRISHNAN H. Energy-efficient communication protocol for wireless microsensor networks [C]// Proceedings of the 33rd Annual Hawaii International Conference on System Sciences. Maui: IEEE Computer Society, 2000: 3005-3014.
- [5] HANDY M J, HAASE M, TIMMERMAN D. Low energy adaptive clustering hierarchy with deterministic cluster-head selection [C]// 4th International Workshop on Mobile and Wireless Communications Network. Washington, DC: IEEE, 2002: 368-372.
- [6] 胡君, 王雷, 林亚平. 传感器网络中一种基于节点平均能耗的分布式簇头选取算法[J]. 计算机应用, 2007, 27(12): 2979-2981.
- [7] 张磊, 陈曙. 一个新的基于能量和距离的传感器网络协议[J]. 计算机应用, 2008, 28(5): 1117-1119.
- [8] SHU T, KRUNZ M, VRUHULA S. Power balanced coverage-time optimization for clustered wireless sensor networks [C]// ACM International Symposium on Mobile Ad Hoc Networking and Computing. New York: ACM Press, 2005: 25-27.

(上接第 3240 页)

4 结语

本文对 DM9000A 和 28FJ3A 的功能进行了简介, 提出了用 FPGA 作为主控芯片, 实现网络广播数据传输存储的具体方案, 详细说明了如何通过 FPGA 来准确地获取以太网发送端数据并且控制 Flash 存储数据的过程和方法。系统所采用的 FPGA 芯片为 Altera 公司的 CycloneII 系列芯片, 用 Quartus 软件工具开发。语言设计完成后, 进行整体的编译和功能仿真, 然后生成 pof 文件, 最后下载至 FPGA 实验板进行测试。实验结果表明, 本设计完全实现了预定的要求, 成功接收、解包并存储了数据, 传输速率可以达到 100 Mbps, 功能完全达到了设计要求。本系统用 Verilog HDL 语言开发, 具有良好的可移植性和应用前景。

参考文献:

- [1] DAVICOM Semiconductor, Inc. DM9000A datasheet [DB/OL]. [2009-04-10]. <http://www.davicom.com.tw/userfile/24247/DM9000A-DS-F01-101906.pdf>.
- [2] Intel StrataFlash memory(J3) datasheet [DB/OL]. [2009-04-10]. http://www.icpdf.com/partnoview.asp?id=1202739_39760.
- [3] DAVICOM DM9000A application notes [DB/OL]. [2009-04-10]. <http://www.pudn.com/downloads91/sourcecode/others/detail352247.html>.
- [4] 赵文武, 李鹏. 28FJ3A 系列 FLASH 存储器与 FPGA 的接口设计[J]. 电脑知识与技术, 2006(12): 150-151.
- [5] 苏耀峰, 王德刚, 魏急波. DM9000A 原理及其与基带信号处理平台的结合应用[J]. 国外电子元器件, 2007(4): 53-56.