

## 基于双簇头非均匀分簇的 LEACH 协议的改进

刘智珺<sup>1</sup>, 李腊元<sup>1,2</sup>, 杨少华<sup>2</sup>

(1 武汉生物工程学院 计算机与信息工程系, 湖北 武汉 430415;

2 武汉理工大学 计算机科学与技术学院, 湖北 武汉 430063)

**摘要:** 在无线传感器网络中的 LEACH 协议是一种自适应聚类路由算法。由于 LEACH 协议存在着无法控制簇首在网络中的分布位置、簇首选择方式限制条件不够等缺点导致能量消耗太大。基于簇头能量限制和双簇头路由方式, 对 LEACH 协议进行了改进, 设计了一种降低能耗的双簇头非均匀分簇路由协议。双簇头非均匀分簇路由协议采用 NS2 进行网络仿真实验, 通过仿真结果的分析以及与 LEACH 协议的对比, 证明双簇头非均匀分簇路由协议有效提高了网络能耗的均衡性。

**关键词:** 无线传感器网络; 分簇路由; LEACH 协议; 仿真

**中图分类号:** TN911.22

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1000-7180(2011)11-0081-04

## Improvement of LEACH Protocol Based on Dual Cluster Head Non-uniform Clustering

LIU Zhi-jun<sup>1</sup>, LI La-yuan<sup>1,2</sup>, YANG Shao-hua<sup>2</sup>

(1 Department of Computer and Information Engineering, Wuhan Bioengineering Institute, Wuhan 430415, China;

2 Department of Computer Science and Technology, Wuhan University of Technology, Wuhan 430063, China)

**Abstract:** The LEACH protocol for wireless sensor networks is a adaptive clustering routing algorithm. Because LEACH protocol has no control on distribution of the of cluster head in the network, cluster head selection method is restrictions, led to too much energy consumption. Based Cluster head energy restrictions and dual-cluster head routing, improvements and design a dual cluster heads non-uniform clustering routing protocol reduce energy consumption. Improved routing protocol using NS2 network simulation experiments carried out and compared and the LEACH protocol, through the analysis of simulation results to verify that the improved protocol improved network energy balance.

**Key words:** wireless sensor networks; clustering routing; LEACH protocol; simulation

### 1 引言

无线传感器网络(WSN)<sup>[1]</sup>是一种全新的信息获取和处理技术,它无需任何预设的网络<sup>[2-4]</sup>,将众多数量的网络节点随机置于使用无线方式生成的网络组织中。无线传感器网络特点显著,例如其具备网络的自组织性、灵活多样的网络拓扑重构特性等,因

此从学术研究价值以及应用前景方面都十分有意义。WSN中,传感器节点价格低廉,但节点能量极其有限且网络应用的环境复杂,所以最大程度的减少传感器节点通信能量的消耗是目前传感器网络研究的主要内容之一。

**收稿日期:** 2011-03-01; **修回日期:** 2011-04-18

**基金项目:** 国家自然科学基金项目(60773211, 60672137, 60970064); 国家软件开发环境重点实验室开放基金(SKLSDE-2011KF-01); 武汉市教育局科研项目(2009K098)

## 2 LEACH 协议的能耗模型

LEACH 协议是一种低功耗自适应聚类路由算法<sup>[5-6]</sup>,在无线传感器网络路由协议中提出了分簇思想.在无线传感器网络的通信过程中,协议的主体思想提出划分“轮”的概念.每轮中又分成两个阶段:分别是对簇的建立阶段和簇的稳定通信阶段.对于簇的形成阶段,网络节点采用自由组织的方式.在生成的簇中,簇头节点的选择是随机的,同时在簇头选择上采用了随机轮换策略,从所有节点中随机选取一个节点担任簇头.使用这种方式是从一定程度上的提高了网络节点的使用能效,同时也减少了网络节点路由所产生的能量损耗.

### 2.1 LEACH 协议的能耗模型

在无线传感器网络中一般采用的是一阶无线通信能耗模型,LEACH 协议的通信能耗模型也是这种形式.协议的能耗模型基本由两个部分组成,分别是由功率放大器所产生的能耗以及由射频电路产生的能耗.能耗模型如图 1 所示.在无线传感器网络中,对于发送信号的节点,能量消耗由无线发送装置和放大器两部分产生;而对于网络中接收信号的节点,其能量消耗则仅仅源于接收装置所消耗掉的能量.在能耗模型中,功率放大器的能耗按照其衰减形式可分为:自由空间模型、多路径衰减模型.

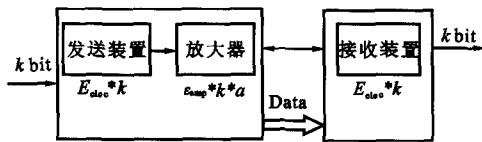


图 1 无线通信能耗模型

对于功率放大器如果使用的是自由空间模型,那么其发射功率呈  $d^2$  衰减;另一方面如果使用的是多路径衰减模型,那么其发射功率呈  $d^4$  衰减.采用何种衰减模型,对于功率放大器而言主要取决于网

$$t_{\text{round}} = N_{\text{frames/round}} \times t_{\text{frame}} = \frac{1}{R_b} \cdot \frac{N}{k} \cdot \frac{E_{\text{start}}}{[(E_{\text{elec}} \frac{N}{k} + \text{EBF} \frac{N}{k} + \epsilon_{\text{two-ray-amp}} d_{\text{toBS}}^4) + (\frac{N}{k} - 1)(E_{\text{elec}} + \epsilon_{\text{friss-amp}} \frac{1}{2\pi} \frac{M^2}{k})]} \quad (3)$$

因此,传感器节点的初始能量值给定,可求出网络应在大约每  $0.08 \times \frac{E_{\text{start}}}{9\text{mJ}}$  (s) 轮换一次.

### 3 LEACH 协议的改进

通过从能耗角度对 LEACH 协议的分析,以双

络内节点间的距离.网络内节点进行通信,如果两节点之间的距离超过了预定的阈值  $d_0$  时,那么功率放大器则采用多路径模型衰减;反之则采用自由空间模型衰减.传感器节点发送  $k$  比特的数据包,传输距离为  $d$  时消耗的能量为:

$$E_{\text{Tx}}(k, d) = E_{\text{elec}}(k) + E_{\text{amp}}(k, d) = \begin{cases} E_{\text{elec}} \times k + k \times \epsilon_{\text{fs}} \times d^2; & d < d_0 \\ E_{\text{elec}} \times k + k \times \epsilon_{\text{mp}} \times d^4; & d \geq d_0 \end{cases} \quad (1)$$

其中,  $E_{\text{elec}}$  为电路消耗的能量,  $\epsilon_{\text{fs}}$  和  $\epsilon_{\text{mp}}$  与网络节点的接收装置的灵敏程度以及收到信息的噪音结构有关系.可以通过调整变化网络节点的传输功率以此来保证接受方功率超过某个阈值,而这个门限值在一定程度上明确了传输功率的最小值.

结合仿真实验的其它参数值,  $\epsilon_{\text{fs}}$ 、 $\epsilon_{\text{amp}}$  为在信号放大器内消耗的能量比例系数,随着节点间距离值  $d$  变化取不同值.当  $d < d_0$  时,取  $\epsilon_{\text{fs}} = 10 \text{ pJ/bit/m}^2$ ; 当  $d \geq d_0$  时,取  $\epsilon_{\text{amp}} = 0.0013 \text{ pJ/bit/m}^4$ .接收  $k$  比特的信息消耗的能量为:

$$E_{\text{Rx}} = E_{\text{elec}}(k) = E_{\text{elec}} \times k \quad (2)$$

### 2.2 簇头轮换的时间间隔

LEACH 协议中,由于将簇的形成分成簇的建立和节点通信两个阶段.为了保证网络节点的通信以及通信的效率,从能耗的角度考虑,要求簇通信稳定的阶段时间要比簇建立阶段持续的时间要长,这就意味着在成簇阶段消耗节点能量要尽可能少.

网络节点在成簇阶段,假设采用的是均匀分簇,即每个簇中的网络节点与所分的簇数目成一定比例.那么对于有  $N$  个网络节点传感器网络来说,形成  $K$  个簇,则簇中所有的传感器节点数目为  $N/K$ ,假设网络节点传输  $L$  比特信息的需要时间为  $t_{\text{msg}} = \frac{L}{R_b}$  (s),则单位帧内节点发送信息的总时间为,  $t_{\text{frame}} = \frac{N}{k} \frac{L}{R_b}$  (s),则一轮的总时间为:

簇头作为改进思想提出了基于 LEACH 协议的双簇头传送协议 LEACH-DC (LEACH double-cluster).改进协议的设计是:在 LEACH 协议分簇的基础上引入了双重簇头的概念,作为簇头的选择也增加了一定的基于能量的限定,使用这种方式达到降低选择簇头结点的周期、减少成簇规模所消耗

的网络能量的目的,从而延长了网络的生存时间.在 LEACH-DC 协议设计中仍然使用轮的思想,对于整个网络节点的通信过程还是以轮进行划分.将每轮分为簇头的选择阶段和簇内节点信息传递的稳定阶段.由于使用了双簇头的设计,因此在簇头选择过程中包括簇头的选择和备选簇头的选择两个部分.

### 3.1 备选簇头选取

当某个簇内的簇头节点已经确定以后,其它的普通网络节点向簇头节点发送一个广播消息,表示请求加入成为备选簇头.将簇内平均节点能量值作为评判标准,将节点能量大于这个值的节点筛选出来.簇头在按照发出广播请求的节点的先后次序来选定备选簇头的节点,并且将选择出来的备选簇头的节点信息向簇内的节点进行广播.备选簇头的选择在能耗上不会损失很大,因为作为簇内部的信息通信,距离较短而且数据量很小,因此权衡整个簇长期的能耗来说,这部分能量消耗可以接受.从整体能耗来看,双簇头的使用保证了簇稳定阶段的持续进行,因而达到进一步有效的均衡网络,提高网络生存时间的目的.

由公式(1)和公式(2)可知,对于簇头节点,发送数据信息的能量消耗远远大于接受各节点信息并且进行融合信息的能量消耗.除此以外,簇内部进行信息传送的能耗也较小,较大的能耗在于簇头节点向外部节点进行信息传递所消耗的能量.

考虑到这个原因,在双簇头的协议设计里,使用备选簇头,能够在簇头向簇外传递信息较早耗尽节点本身能量的时候,采用备选簇头来替换原簇头,维持信息向簇外部的交互,延长簇通信的稳定阶段时间,最终达到维护了网络的稳定性和可信性的目的.

### 3.2 网络路由

稳定阶段中,簇内的传感器节点在簇内将采集的数据信息传送给簇头节点.当簇头节点接收到数据信息后,将信息进行融合,然后传递给簇外的基站节点.在这一连续的过程中,当簇头节点的能量下降到一定限定值时,表明其节点能量已经不能再继续作为簇头进行信息对基站的传递了.那么这时备选簇头接收到簇头节点剩余没有传递完的数据信息,担当起簇头节点的功能,承担余下的对基站的部分信息的传递工作.在信息的通信过程中,对于每一个簇,一般使用不同的 CDMA 代码通信,其目的是为了减少与其他簇节点的相互干扰.这样既减轻了簇头的负担,同时也不影响簇对信息数据的传递,保证了簇稳定期的正常工作.当簇的稳定阶段工作了一

段时间以后,整个传感器网络会对网络节点重新分簇,形成新一轮簇,然后信息传递,不断重复循环下去.

## 4 仿真及结果分析

NS2 是目前广泛应用于学术研究领域中的网络仿真软件之一<sup>[7]</sup>,通过虚拟环境进行模拟仿真,可以完整的模拟整个网络环境.改进后的 LEACH-DC 协议在 NS2 2.27 软件平台进行仿真实验.

协议仿真的环境系数分别是:WSN 面积  $100\text{m} \times 100\text{m}$ ,节点数 100,传感器节点初始能量 2J,在正常工作中,无线传感器网络的节点平均每 1.2s 发送一次信息,为了确保传感器节点在一定时间内都有数据发送,特将数据发送时间间隔  $\Delta T$  设置为 15s;网络中冗余数据的范围值 1.2,簇首节点发送的数据包长度为  $L: 500\text{bit} + 25\text{bit}$ .

图 2 是每轮节点能量总消耗.由于 LEACH-DC 协议中采取了离 sink 节点远的簇节点少,其消耗能量要远低于 LEACH.

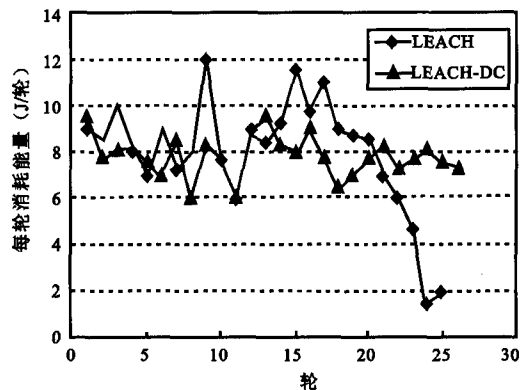


图 2 每轮能量总消耗

图 3 表示的是在簇的形成过程中 LEACH-DC 协议和 LEACH 协议在能耗上的对比.从仿真的数据对比图,能看出 LEACH-DC 协议在这个部分的能耗比 LEACH 协议的要略高一些,其原因是在建簇阶段,引用了备选簇头的机制.当然对于这个附加的备选簇头的选择所消耗的能量比较有限,从实验数据对比图能显示出来.

网络消耗总能量随着时间变化的关系如图 4 所示.图中比较了两种协议网络总消耗能量与时间的关系,由于改进协议分簇结构更合理,网络总的信息处理量较小,因此 LEACH-DC 协议消耗的总能量要小于 LEACH 协议.

通过仿真从每轮能量、建簇能量和网络总能耗三个方面对 LEACH 协议和改进的 LEACH-DC

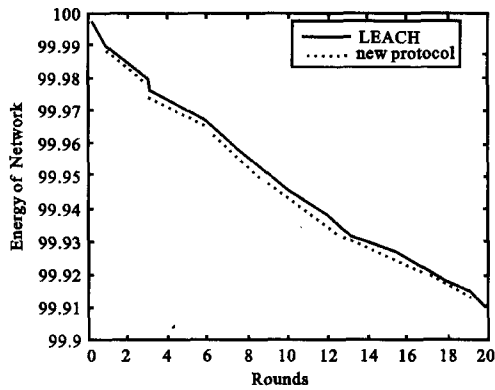


图3 建立簇时能耗对比

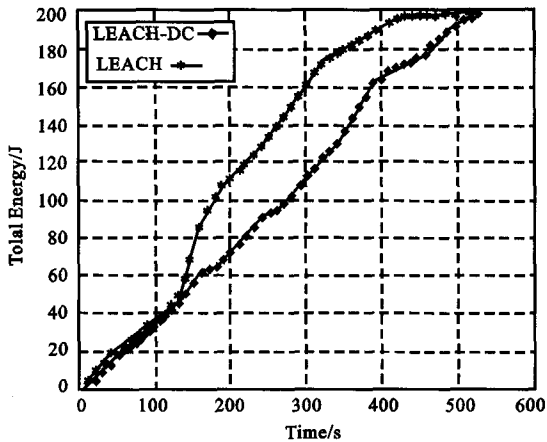


图4 网络总能耗

协议进行了比较. 尽管建簇时额外的增加了网络的能量消耗, 但相比整个能耗以及能增加稳定工作阶段时间这点, 由备选簇头产生的额外网络能耗是可以接受的. 总体来讲基于双簇头路由的 LEACH-DC 协议均衡了网络能耗, 延长了传感器网络的生存时间.

## 5 结束语

文中对 LEACH 协议能耗模型进行分析提出

了基于簇头能量限制和双簇头路由方式的改进协议. 通过 NS2 进行仿真, 选取每轮能量总消耗、网络总能耗等性能指标对仿真结果进行了分析. 实验证明基于双簇头路由的 LEACH-DC 协议在成簇稳定性和网络总能耗上都有了改善和提高, 因而更适用于复杂的大规模网络.

## 参考文献:

- [1] 孙利民, 李建中, 陈渝. 无线传感器网络[M]. 北京: 清华大学出版社, 2005: 3-24
- [2] Satyanarayanan M. Pervasive computing: vision and challenges[J]. IEEE Personal Communications, 2001, 6(8): 10-17
- [3] 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
- [4] 杜风雷. 基于 LEACH 的改进型无线传感器网络路由算法研究[J]. 微电子学与计算机, 2010, 27(8): 128-131
- [5] 杨显辉, 任洪娥, 景维鹏. 一种能量感知无线传感器网络可靠协议研究[J]. 微电子学与计算机, 2010, 27(8): 194-200
- [6] Heinzelman W R, Chandrakasan A, Balakrishnan H. An application-specific protocol for wireless microsensor networks[J]. IEEE Transactions on Wireless Communication, 2002, 1(4): 660-670.
- [7] 徐雷鸣, 庞博, 赵耀. NS 与网络模拟[M]. 北京: 人民邮电出版社, 2003: 35-56

## 作者简介:

刘智璐 女, (1980-), 硕士, 讲师. 研究方向为无线传感器网络.

李腊元 男, (1946-), 教授, 博士生导师. 研究方向为高性能计算机网络.

杨少华 男, (1984-), 硕士. 研究方向为无线传感器网络.