

文章编号: 1000-5013(2012)03-0255-05

基于可信度的簇间多跳 LEACH 算法

黄静<sup>1,2</sup>, 许力<sup>1</sup>

(1. 福建师范大学 数学与计算机科学学院, 福建 福州 350007;  
2. 泉州经贸职业技术学院 轻工与信息专业部, 福建 泉州 362411)

**摘要:** 通过分析低功耗自适应集簇分层型协议(LEACH)和基于可信度的低功耗自适应集簇分层型协议(TE-LEACH)算法的不足,提出一种基于可信度的簇间多跳低功耗自适应集簇分层型协议(TEM-LEACH)算法. 该算法既考虑簇头节点传输数据的可信度,又引入网关节点构建路由主干网,保证数据经过最少的跳数传输到基站,有效地延长无线传感器网络生存时间,增加了 LEACH 算法的适用范围.  
**关键词:** 无线传感器网络; 低功耗自适应集簇分层型协议; 可信度; 多跳; 生存时间  
**中图分类号:** TP 393.02; TP 212.9 **文献标志码:** A

无线传感器网络是一种新型的无线网络体系,由大量具有特定功能的传感器节点通过自组织的无线通信方式,相互传递信息,协同地完成特定功能的专用网络<sup>[1-2]</sup>. 低功耗自适应集簇分层型协议(low energy adaptive clustering hierarchy, LEACH)算法是为无线传感器网络设计的一种周期性执行的低功耗自适应分簇拓扑算法<sup>[3-4]</sup>. 在 LEACH 算法中,每个节点成为簇头的概率是相等的,能够在一定程度上均衡分配网络能量. 但是通过该算法产生的簇头分布具有随机性,每轮簇头个数也不稳定,因此骨干网的形成很没有保证. 在无线传感器网络中,网络中的节点既是信任的主体,又是信任的客体. 文献[5]基于可信度对 LEACH 拓扑算法进行改进,提出了基于可信度的低功耗自适应集簇分层型协议(TE-LEACH)算法. 它引入新的簇头选举机制,根据邻居节点的监控及节点信息的交互方式来计算节点的可信度,使担任簇头的节点在保证有足够的能量的同时,还有较大的可信度. 该算法虽然会增加一定的延迟,但在平衡网络负载,更准确地获取监测范围的数据等方面实现了优化. 其簇头节点获得数据向基站传输的过程仍采用单跳的形式,比较适用于小型网络,而对大规模的传感器网络,随着通信距离的增加,担任簇头的节点能量消耗过快,不利于网络均衡发展. 本文提出了基于可信度的簇间多跳低功耗自适应集簇分层型协议(TEM-LEACH)算法,弥补了 LEACH 算法和 TE-LEACH 算法的不足.

1 算法的提出

传感器网络的实际应用多数在较大的网络规模. 在大规模的无线传感器网络中,随着簇头距离汇聚节点越远,信号的空间损耗也剧烈加强,通信节点的能耗将大大增加,从而缩短网络的生存时间. TE-LEACH 算法没有全面考虑数据传输过程中可能存在的问题. 图 1 为一种简单的电信号传输能量模型. 该模型考虑了发射机的发射能量、功率放大器的消耗能量,以及接收机的接收信号能量.

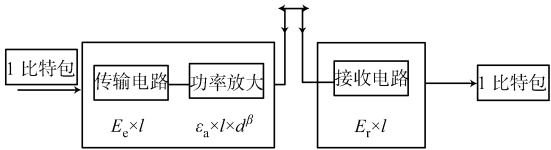


图 1 电信号传输能量模型  
Fig. 1 Electronics transmission model

簇头节点发送数据的能量消耗与通信距离远近

有关,其关系为  $E_r=lE_c, E_s=lE_c+l\epsilon_a d^\beta$ . 其中:  $E_r, E_s$  分别为接收和发送长度为  $l$  bit 的数据消耗的能量;  $E_c$  为电路消耗;  $\epsilon_a$  为放大器的放大倍数;  $d$  为数据传输的距离;  $\beta$  为由无线电通道决定的常量,当两个相对较远的节点进行通信时,适用于多径衰落信道模型,取  $\beta=4$ ,而当两个相对较近的节点进行通信时,适用于自由空间信道模型,取  $\beta=2^{[6]}$ .

由此可见,在大规模的传感器网络中,随着通信距离的增加,节点能量消耗将急剧增加,故要减少单跳通信距离,需使用多跳短距离无线通信方式. 因此,所提出的算法主要改进是尽量避免簇头直接向基站传输数据,减少簇头节点的能量消耗.

2 算法的描述

在无线传感器网络中,假设每个节点具有唯一的节点标识  $ID(1\leq ID\leq n)$ ,所属簇标识为 CID. 每个节点都可以通过一定的定位机制知道自己的位置及自身的剩余能量.

2.1 网关的选取

假设两簇头的距离为  $d$ ,则簇域间存在以下 4 种可能的关系.

- 1) 当  $0<d\leq r$  时,两簇头节点可以直接通信,转发数据,如图 2(a)所示.
- 2) 当  $r<d\leq 2r$  时,两簇间存在公共节点,则在  $bb$  公共节点中选取一个节点做为网关节点;若公共节点同时属于多个簇,则从同时属于最多簇的候选网关节点集合中选择一个作为网关节点,承担数据转发任务,如图 2(b)所示.
- 3) 当  $2r<d\leq 3r$  时,两簇间不存在公共节点,则在各簇内选取一个节点做为网关节点,使选取的网关节点可以直接通信,如图 2(c)所示.
- 4) 当  $d>3r$  时,则有两种情况: a) 两簇间有中继簇,可以按照关系 3) 来选择簇间的网关节点; b) 孤立簇,即簇域内的所有节点在各自发送范围内都无法与其他簇的节点通信,可以通过调整簇头的发射功率,使其与基站直接通信,若簇头与基站直接发送数据,则簇头很快就会因为能量耗而死亡,在一般情况下,这种孤立的簇可以将其丢弃,如图 2(d)所示.

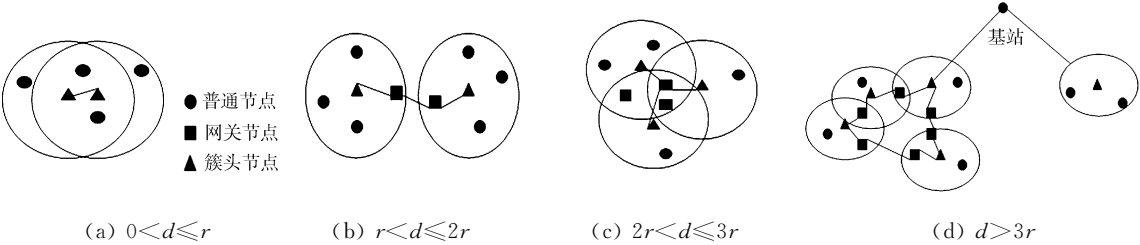


图 2 簇域间的关系  
Fig. 2 Relationship between clusters

一般来说,无线传感器网络的节点密度都较大,网络中存在孤立簇的可能性较小. 因此,将孤立簇排除在考虑范围之外对网络数据收集的完整性并不会造成太大的影响. 网关节点和簇头节点形成网络的骨干网,负责数据的接收与传送. 每轮产生的簇头数目由算法决定,但如果以尽可能少的网关节点来连接各簇,在保证簇的连通性的同时,不仅可以尽量减少信道中数据冲突的概率,更重要的是多跳通信方式大大降低了节点传输数据的能量消耗.

目前的 LEACH 改进算法都是假设节点完全可信,不存在外部攻击或由于节点的自私性而造成的网络不安全问题. 如果节点不可信,在数据传输过程中即使可以使网络生命周期延长,却很可能出现网络传输数据的效率不高,甚至数据传输错误的现象. 为了选取性能最优的节点做为网关,引入一个候选网关的平均度量值( $f$ ),其计算式为

$$f = \alpha e + \beta t + \gamma c.$$

式中:  $e$  为节点的自身剩余能量与网络的平均能量的比值;  $t$  为可信度值;  $c$  为候选网关节点连接簇头的个数与网络中节点的总数的比值;  $\alpha, \beta, \gamma$  为参数因子,  $\alpha + \beta + \gamma = 1$ , 且  $\alpha, \beta, \gamma > 0$ .

通过  $\alpha, \beta, \gamma$  参数因子可以动态调节节点剩余能量、可信度和节点的连接度对  $f$  的影响. 若  $f$  值相同,再根据节点的标识 ID,选取标识 ID 最小的节点做为网关.

### 2.2 网关部分伪代码的选取

FindGateNode 算法伪代码：

```
if  $0 < \text{distance}(S_i, S_j) \leq r$ 
     $S_i$  and  $S_j$  can communicate directly, no need GateNode
else if  $r < \text{distance}(S_i, S_j) \leq 2r$ 
    for each node N in
        find N where Max N. cross as Alter. GateNode
        // N. cross 是指节点 N 所处的簇的个数
    end for
else if  $2r < \text{distance}(S_i, S_j) \leq 3r$ 
    Find node N in and node M in as GateNode so that N and M can communicate
    directly each other
else if there are relay cluters between cluster  $S_i$  and  $S_j$ 
    choose GateNode as case 3(line 7)
else
    there exist isolate cluster S, let S send packet to BS directly
end if
end if
end if
end if
```

### 2.3 网络数据传输的实现

网络中所有节点都是同构的，在成簇阶段，普通节点在自己的时隙内发送完数据后就关闭节点处于休眠状态。进入数据转发阶段，被选为网关的普通节点会根据需要被唤醒，承担簇间的数据转发任务。网关进行数据转发后，节点能量发生变化，为保持网络的连通，当网关能量变化超过一个变化阈值的时候，向其所属簇的簇头发送一个更新信号，通知各簇头更换剩余候选网关中平均度量值最大的节点为新的网关。

网络配置完成后，假设各节点(包括基站)时钟同步，或者通过基站向各节点发送同步脉冲信号实现基站与节点的时钟同步。

1) 簇内通信：所有簇成员节点将各自检测感应到的数据在簇头分配的时间片内，以单跳的形式传输给簇头，而簇头在一定得时间内将收到簇内节发送的数据进行数据融合。

2) 簇间通信：簇头节点和网关节点构成无线传感器网络的路由主干网。簇头节点通过路由主干网将收集到的数据采用多跳传输至基站；簇头节点根据贪心算法来选择下一跳数据转发节点，在其通信范围内选取一个离基站最近的路由主干网节点做为下一跳数据转发节点。

## 3 仿真结果与分析

仿真采用 Visual C++ 6.0 开发，主要是比较 LEACH 算法、TE-LEACH 及 TEM-LEACH 算法在网络生存时间上和每轮消耗能量上的变化情况。试验仿真系统中节点随机分布在  $200 \times 200$  的正方形区域内，节点位置不移动。仿真参数设置：发射电路损耗能量( $E_e$ )为  $50 \text{ nJ} \cdot \text{bit}^{-1}$ ；自由空间功率放大损耗( $\epsilon_{fs}$ )为  $10 \text{ pJ} \cdot (\text{bit} \cdot \text{m}^2)^{-1}$ ；数据融合能量损耗传输功率( $\epsilon_{mp}$ )为  $1.3 \text{ nJ} \cdot \text{bit}^{-1}$ ；簇首比例( $p$ )为 5%；数据融合能量( $E_{da}$ )为  $5 \text{ nJ}$ ；节点初始能量为  $1 \text{ J}$ ；基站位置为(250, 375)；数据包长度( $l$ )为 525 B。

### 3.1 网络生存时间的比较

LEACH 算法中，簇头选举具有很大的随机性，被选中为簇头的节点没有考虑其自身的剩余能量，簇头收集数据后直接向基站发送，能量消耗占网络总能量消耗的大部分，有可能会出现某一节点过早死亡的状况。TE-LEACH 算法中，对簇头选举适当改进，在一定程度上避免了剩余能量较小的节点成为

簇头的可能;TEM-LEACH 算法中进一步加入了多跳传输数据方案,大大减少了由簇头向基站传输数据过程中消耗的能量. 仿真过程不断增加节点数( $n$ ),选取 30 次模拟实验的平均值,各算法的网络生存时间( $t$ )如图 3 所示.

由图 3 可知:在网络节点密度较小时,利用 TEM-LEACH 算法的网络的生命周期(以第 1 个节点的死亡时间作为网络生命周期)比 TE-LEACH 及 LEACH 算法都有一定的延长,但差距不大;随着节点数目的增加,差距不断增大. 这是因为在节点密度越高的网络中,采用多跳路径传输数据时,被选做簇头的节点消耗的能量就越少,即在一定程度上均衡了网络的能量消耗.

3.2 能量消耗比较

LEACH 及 TE-LEACH 算法中,簇头收集数据后都是直接向基站发送,能量消耗较大;而 TEM-LEACH 算法采用选取网关节点的办法构建路由主干网,使用多跳短距离无线通信方式,减少了单跳通信距离,即大大减少了节点传输数据的能量消耗. 在节点为 100,300,500 个的情况下,分别对 3 种算法进行多次模拟实验,采用 30 次模拟实验的平均值并随机选取其中 10 轮,每轮节点消耗的总能量变化如图 4 所示. 图 4 中: $k$  为轮数; $E_c$  为能量损耗.

由图 4 可知:在固定节点的情况下,LEACH 及 TE-LEACH 算法每轮的能量消耗相差不大;而 TEM-LEACH 算法每轮消耗的总能量均比前两种的要少.

在节点数 100 时,TEM-LEACH 算法每轮消耗的能量较 LEACH 及 TE-LEACH 算法减少 16%;在节点数 300 时,能量消耗减少 21%;而在节点数 500 时,能量消耗则减少 24%. 这是因为 TE-LEACH 算法只是对簇头的选取做了适当的改进,并没有改变簇头节点单跳向基站传输数据的情况,甚至由于要额外判断节点的可信度还多消耗了一部分的能量;而 TEM-LEACH 算法中簇头节点采用的是多跳短距离通信,因此每轮节点总能量消耗会有所减少,并且随着节点密度增大,这种优势越来越明显.

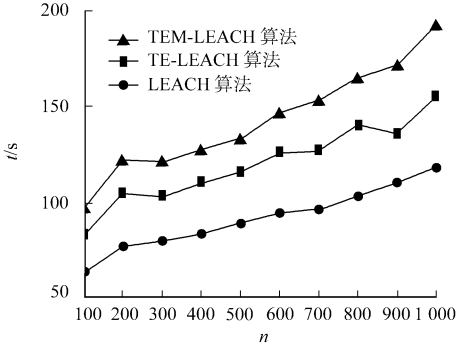
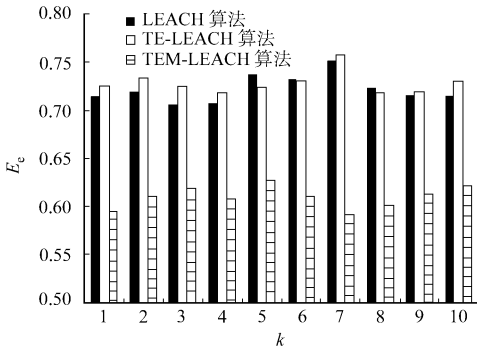
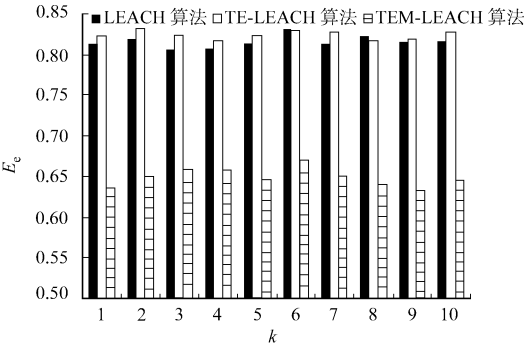


图 3 不同算法的网络生命周期

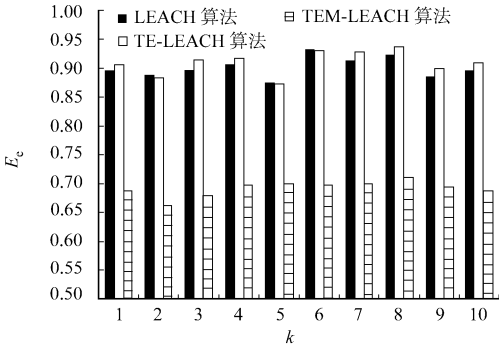
Fig. 3 Network lifetime of different algorithms



(a) 100 个节点



(b) 300 个节点



(c) 500 个节点

图 4 各算法的每轮网络消耗能量

Fig. 4 Each algorithm's energy consumption per round

4 结论

提出的基于可信度的簇间多跳 LEACH 算法,既考虑到簇头节点传输数据的可信度,又引入网关节点构建路由主干网,保证了数据经过最少的跳数传输到基站,弥补了 LEACH 和 TE-LEACH 算法的

不足,从而使网络寿命得到了相应的延长.

在选取网关节点的算法时间复杂度阶段,假设网络中有  $m$  个簇,每个簇平均有  $n$  个节点,选取的网关节点都是每个簇内寻找能够与相邻簇通信的簇成员节点,即每个簇头都要在簇内节点寻找网关节点.因此,一个簇间要寻找网关节点最坏情况下需要  $n$  次,而对于整个网络寻找网关节点的时间复杂度也只需  $O(mn)$ ,其时间复杂度较低.

从 LEACH,TE-LEACH 和 TEM-LEACH 算法的仿真中可以看出:对于节点密度越高的无线传感器网络,TEM-LEACH 算法的网络生命周期就越长.这是由于采用了多跳的数据传输方式,每轮网络的能量消耗总额大大减少,直观地体现了 TEM-LEACH 算法在高密度、大规模网络下的优势.该算法不仅可以有效地延长无线传感器网络生存时间,也增加了 LEACH 算法的适用范围.

参考文献:

[1] AKYILDIZ I F,SU W,SANKARASUBRAMANIAM Y,et al. Wireless sensor networks: A survey[J]. Computer Networks,2002,38(4):393-341.

[2] AKKAYA K,YOUNIS M. A survey on routing protoeols for wireless sensor networks[J]. Ad Hoc Networks, 2005,3(3):325-349.

[3] HEINZELMAN W R,CHANDRAKASAN A,BALAKRISHNAN H. An application-specific protocol architecture for wireless microsensor networks[J]. IEEE Transactions on Wireless Communications,2002,1(4):660-670.

[4] HEINZELMAN W R,CHANDRAKASAN A,BALAKRISHNAN H. Energy-efficient communica tion protocol for wireless microsensor networks[C]// Proc of the 33rd Annual Hawaii Int Conf on System Sciences. Maui: IEEE Press,2000:3005-3014.

[5] 黄静,许力,林力伟. 基于可信度的 LEACH 拓扑算法改进[J]. 福建电脑,2009(9):6-10.

[6] RAPPAPORT T S. Wireless Communication:Principles and practice[M]. New Jersey:Prentice-Hall Inc,1996.

A LEACH Topology Algorithm with Multi-Hop between Clusters Based on Trust Evaluation

HUANG Jing<sup>1,2</sup>, XU Li<sup>1</sup>

(1. School of Mathematics and Computer Science, Fujian Normal University, Fuzhou 350007, China;  
2. Department of Light Industrial and Information, Quanzhou College of Economics and Trade, Quanzhou 362411, China)

**Abstract:** By analyzing the deficiencies of low energy adaptive clustering hierarchy (LEACH) and LEACH based on turst evaluation (TE-LEACH), this paper proposes a LEACH algorithm with multi-hop between clusters based on trust evaluation (TEM-LEACH). It considers not only the trust evaluation of cluster heads between data transmission, but also building the routing bakcbone network through gateway nodes. The improved scheme can guarantee the data transfer with minimal hop to the sink, extend the survival time of the network effectively and enhance the scope of application.

**Keywords:** wireless sensor networks; low energy adaptive clustering hierarchy; trust evaluation; multi-hop; survival time

(责任编辑: 黄晓楠      英文审校: 吴逢铁)