

# LEACH 协议的簇头多跳(LEACH-M)改进算法

胡艳华, 张建军

HU Yan-hua, ZHANG Jian-jun

西北大学 信息科学与技术学院, 西安 710127

School of Information Science and Technology, Northwest University, Xi'an 710127, China

E-mail: huyanhua0220@163.com

HU Yan-hua, ZHANG Jian-jun. Improved algorithm of cluster head multi-hops based on LEACH. *Computer Engineering and Applications*, 2009, 45(34): 107-109.

**Abstract:** One of the key points of network routing design is power management. The paper summarizes the current transmitting routing model in wireless sensor networks, and finds that although the LEACH protocol is low power and adaptive lamination route algorithm, it might lead to overload of some cluster head nodes. Clustering algorithm is a kind of key technique used to reduce energy consumption. This article proposes a multi-hop routing improved algorithm based on the LEACH algorithm, and taking the optimization of the number of cluster heads into account, it can reduce energy consumption and prolong the lifetime of sense network through the use of multi-hop algorithm among cluster heads. Experimental result indicates it is effective.

**Key words:** Low Energy Adaptive Clustering Hierarchy (LEACH) protocol; cluster head; round; cluster head multi-hops based LEACH

**摘 要:** 节能高效的实现路由转发是路由设计的一个关键点。总结了目前已有的无线传感器网络的传输路由模式, 发现早先提出的 LEACH 协议虽是无线传感网中的低功耗自适应分层路由算法, 但会造成簇头节点负载过重。成簇算法是传感器网络中减少能量消耗的一种关键技术。提出的是基于 LEACH 算法的多跳路由改进算法, 并在考虑簇头最优个数的选择下, 通过采用簇头之间的多跳算法达到减少能量消耗、延长传感网的寿命的目的。实验表明此方法有效。

**关键词:** 低功耗自适应分簇聚类路由 (LEACH) 协议; 簇头; 轮; LEACH 协议的簇头多跳算法

DOI: 10.3778/j.issn.1002-8331.2009.34.033 文章编号: 1002-8331(2009)34-0107-03 文献标识码: A 中图分类号: TP393

## 1 引言

无线传感器网络 (Wireless Sensor Networks, WSN) 综合了传感器技术、嵌入式计算技术、分布式信息处理技术和无线通信技术, 能够协作地实时监测、感知和采集网络分布区域内的各种环境或监测对象的信息, 并对这些数据进行处理, 获得详尽而准确的信息, 传送到需要这些信息的用户。传感器网络在环境与军事监控、地震与气候预测、地下、深水以及外层空间探索、生物医疗健康、空间探索等许多方面都有广泛的应用前景, 是目前国际科学研究的热点。

传感器网络相对于传统网络具有以下特性: (1) 节点分布极其稠密且数目很大, 每个节点均维护全局信息是不可能的; (2) 节点的能量、存储空间及计算能力等资源非常有限, 而且各种资源无法补充; (3) 网络内节点大部分是静止的, 而且恶劣的工作环境使得节点失效的概率很高。因此, 传统上有线网络中基于链路状态或距离向量的路由算法以及 AdHoc 网络中的常用的 DSDV, AODV 等路由算法由于几乎没有考虑节点失效的问题因而并不适合于传感器网络, 必须针对其特性研究新的路由算法, 由于传感器节点通常由电池供电, 高效使用有限的电池资源, 尽量延长节点的生命周期是任何路由协议的首要考虑

因素, 尤其是对节省节点能源损耗的路由算法研究就显得更为重要。

## 2 无线传感器网络的路由

### 2.1 路由算法的进展

针对 WSN 的特点与通信需求, 网络层需要解决通过局部信息来决策并优化全局行为 (路由生成与路由选择) 的问题。为此, 国内外科研人员设计了多种路由协议。目前已有的路由种类很多, 有基于能量的路由、基于协商的路由、进行分层和查询的路由等等。从网络拓扑结构的角度可分为两类: 平面路由协议和分层路由协议, 如图 1<sup>[1]</sup>所示。平面路由协议中, 节点间地位平等, 通过局部操作和反馈信息来生成路由。平面路由的优点是简单、易扩展, 但平面路由协议需要维持路由表, 在大规模网络中, 这样的路由表维持需要消耗大量的存储空间, 同时发送信息中所包含的路由信息也会引起通信负担的加重, 缺乏对通信资源的优化管理, 对网络动态变化的反应速度较慢。典型的平面路由算法有: SPIN (Sensor Protocol for Information via Negotiation)、DD (Directed Diffusion)、HREEMR、SAR (Sequential Assignment Routing)、SMENCE 等。其中, SPIN<sup>[2]</sup>和 DD<sup>[3]</sup>是以

**作者简介:** 胡艳华 (1980-), 女, 硕士研究生, 主要研究方向: 无线网络、网格技术、语义网络; 张建军 (1951-), 男, 副教授, 硕士研究生导师, 主要研究方向: 数据库、计算机网络和因特网技术、WWW 技术、语义网络、多媒体通讯等。

收稿日期: 2008-07-01 修回日期: 2008-09-12

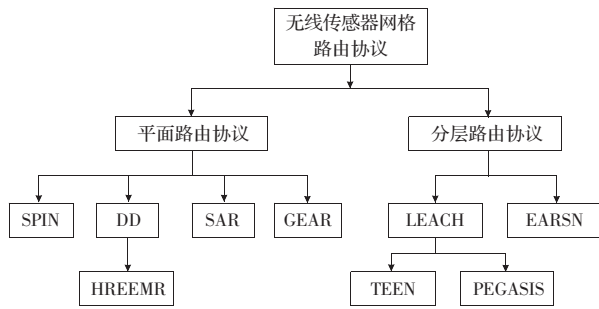


图1 无线传感器网络路由协议

数据为中心路由协议的典型代表。与平面结构对应的是层次结构。典型分层网络一般以簇的形式存在, LEACH(Low Energy Adaptive Clustering Hierarchy)<sup>[4]</sup>是第一个基于多簇结构的集群路由协议, 它的成簇方法贯穿于其后提出的很多层次路由协议中, 如 TEEN(Threshold sensitive Energy Efficient sensor Network proto-col)、PEGASIS(Power-Efficient Gathering in Sensor Information System)等。但是, 分层网络中的群头节点(以分簇网络中的簇头为典型)是瓶颈, 如果群内节点数量众多, 簇头能量又是有限的, 那么很容易很快耗光群头节点的能量。

## 2.2 LEACH 协议

LEACH 算法建立在所有节点都是平等且无线电信号在各个方向上能耗相同的假设上。在 LEACH 算法中, 节点自组织成不同的簇, 每个簇只有一个簇头。所有非簇头节点将自己的数据发给所属簇的簇头节点, 为减少冗余数据的传输, 簇头节点在数据融合后将数据发送给远方的接收器。这样, 每个非簇头节点都只需要知道自己所属簇的簇头信息即可; 簇头也只需要维持很小的路由表。在实际使用中, 还可以根据需求建立更多层次。在 LEACH 算法中, 为了避免簇头能量消耗过快, 每个节点须轮流担任簇头。因此 LEACH 算法的实现分成一个个回合, 每个回合又可分成簇形成阶段和簇稳定阶段。为了减少分簇带来的额外能耗, 簇稳定阶段远远长于簇形成阶段。在簇形成阶段, 每个传感器节点先生成 0~1 之间的随机数, 如果生成的随机数小于阈值, 那么这个节点就被选为簇头。阈值的大小由式(1)确定:

$$I = \begin{cases} \frac{p}{1-p*(r \bmod(\frac{1}{p}))} & c \in G \\ 0 & \text{其他} \end{cases} \quad (1)$$

其中:  $p$  是网络中簇头所占比例,  $r$  是目前进行的回合次,  $G$  是在最后  $1/p$  轮中没有成为簇头的节点集合。节点被选为簇头后, 就向外发送广播信息; 其他节点根据收到的广播信息的信号大小决定要加入的簇, 并向簇头发送加入簇的请求。簇头收到请求后将节点加入自己的路由表并为每个节点设定一个 TDMA 时间表, 再将该表发送给所有簇内节点。此后的簇稳定阶段, 节点按照该表进行数据传输。每隔一定时间整个网络重新进入簇形成阶段开始新一轮的簇头选举过程<sup>[5-6]</sup>。

和平面路由算法相比, LEACH 算法可以延长将近 15% 的网络生存时间。但是, 由于 LEACH 算法中簇头的产生具有极大的随机性, 可能会出现部分簇头相距基站远近不一, 或者节点相距簇头远近不一, 以及每个簇中节点数目分布不均匀, 网络拓扑结构分布不均匀使得节点消耗能耗不一, 大大减少了网络生存时间。另外在节点被选为簇头后, 以另外的簇头为中转站向基站发送数据的时候, 由于中转站节点有可能正在接收其

他节点给它发送数据, 容易导致冲突, 影响网络作用。提出的是基于 LEACH 算法的多跳路由改进算法, 并在考虑簇头最优个数的选择下, 通过采用簇头之间的多跳算法达到减少能量消耗的目的。

## 3 基于 LEACH 协议的簇头多跳改进算法

### 3.1 算法的提出

无线通信中, 能量消耗  $E$  与通信距离  $d$  存在关系:  $E=kd^n$ , 其中  $k$  为常量,  $2 \leq n \leq 4$ 。由于传感器网络中节点通常贴近地面, 应用环境中可能有较多障碍物, 接收天线的能力也有限, 因此  $n$  接近于 4。所以, 在传感器网络中要减少单跳通信距离, 使用多跳短距离无线通信方式。由于 LEACH 是一种低功耗自适应分簇和单跳路径选择模式协议, 根据以下两点进行改进: (1) 针对低功耗改进, 其主要思想在于根据监测区域面积、节点数目及基站位置来确定最优簇个数而不是低功耗自适应算法中的固定值。(2) 对于单跳路径选择模式, 簇头节点离基站很远就会使簇头消耗很大的能量, 导致簇头节点过早的死亡。为了减少簇头节点的负载, 提出了基于 LEACH 协议的簇头多跳算法。综合以上两种情况, 提出了 LEACH 算法的多跳路由改进算法。

### 3.2 算法的描述

#### 3.2.1 确定最优簇头个数 $N$

在 LEACH 算法中, 每轮循环的簇建立阶段要保证每轮形成  $N$  个簇, 而这个  $N$  为系统参数, 然而实际情况是  $N$  的值如果过小, 网络中每个簇头的负担将加重, 使某些簇头会过早地耗尽能量而死亡; 如果  $N$  的值过大, 因为每个簇头要向所有的节点发送广播信息, 这样也会造成一些不必要的开销。因此,  $N$  的值应根据被测区域的面积及传感器节点的数目来确定, 得出  $N$  的最优值, 尽可能地延长整个网络的生命周期。设  $R$  为一个边长为  $2a$  的正方形被测区域,  $X(R)=T$  是在区域  $R$  中规则分布的传感器节点数目。文献[7]中指出基站与传感器节点的距离期望为:

$$E[d_{\text{avg}}] = \iint_R \sqrt{(x-x^*)^2 + (y-y^*)^2} \left(\frac{1}{4a^2}\right) dx dy \quad (2)$$

其中这个距离期望主要取决于基站的位置坐标  $(x^*, y^*)$ 。文献[8]对公式(2)进一步推导出当  $N$  为下面值时, 网络消耗的总能量为最小值。

$$N_{\text{opt}} = \sqrt{\frac{0.585 5T \epsilon_{\text{fs}} a^2}{\epsilon \text{amp}(d_{\text{avg}}) 4 - E_{\text{elec}}}} \quad (3)$$

其中  $E_{\text{elec}}$  是发射电路和接收电路所消耗的能量, 它取决于电路的数字编码、调制和滤波等因素, 在该文中发射与接收电路两者相同。

#### 3.2.2 算法详细描述

在  $N$  最优簇数确定前提下, 接下来提出多跳算法同样在运行过程中不断地循环执行簇的重构过程。每个轮也分成两个阶段: 簇的建立阶段和传输数据的稳定阶段。簇的建立过程又可以分成 4 个阶段: 簇首节点的选择、簇首节点的广播、簇的建立和调度机制的生成。

(1) 簇首节点选举办法和 LEACH 是相同的( $N$  已经确定), 这里就不详细叙述了;

(2) 簇首节点的广播、簇的建立和调度机制的伪代码: 初始化时每个簇头包含以下信息: ①簇头编号  $i$ ; ②簇头的位置  $D[i](X_i, Y_i)$ ; ③其他簇头信息的集合  $Head[i]$ , 初始值  $Head[i]=$

{}; ④该簇头与其他簇头之间距离的集合  $HeadD[i][N]$ , 初始值  $HeadD[i]=\{\}$ ; ⑤该簇头与基站之间距离的集  $HeadB[i]$ , 初始值  $HeadB[i]=0$ ; 并且已知基站的位置为  $BS(X, Y)$ 。

If(选定簇头节点  $i$ ) //向网络中所有节点广播

{  $Head[i]=\{1, 2, \dots, i-1, i+1, \dots, N\}$ ; //簇头节点  $i$  收到其他簇头节点的广播信息后将其编号加入簇头集合

$HeadD[i][N]=\{HeadD[i][1], HeadD[i][2], \dots, HeadD[i][i-1], HeadD[i][i+1], \dots, HeadD[i][N]\}$ ; //簇头  $i$  计算出和其他簇头之间的距离

$HeadB[i]=bs$ ; //簇头  $i$  计算出和基站之间的距离 }

其他节点根据信号强度选择从属的簇头, 并发条信息通知簇首节点; //完成簇的建立

簇首节点采用 TDMA 方法为簇中每个节点分配向其传送数据的时间片。//调度机制的生成

(3)数据传输阶段

对这一阶段算法思想采用逐步搜索的过程, 首先找出基站到所有簇头的最短距离的簇头编号, 然后以这个簇头编号查找到其他簇头之间的最短距离, 由此类推, 就寻找出到基站的最短距离。部分代码:

$lenmin=HeadB[1]; k=1; //lenmin$  初始值设为簇头编号 1 到基站的距离最短, 并且用  $k$  记录编号, 初始为 1。

for( $i=2; i \leq N; i++$ ) //找簇头到基站的最短距离和该簇头的编号

{ If ( $lenmin > HeadB[i]$ )

$Lenmin=HeadB[i]; k=i;$

$SL=lenmin; lenmin1=HeadD[k][1]; k1=1; f=1; //f$  控制循环的次數

While( $f < N$ ) { //已找到的簇头编号查找到其他簇头之间的最短距离

for( $j=2; j \leq N; j++$ )

{ If( $lenmin1 > HeadD[k][j]$ )

$lenmin1=HeadD[k][j]; k1=j;$

$SL=SL+Lenmin1; f++; lenmin1=HeadD[k1][1];$

$k1=1;$

$SL$  就是反向建立起一条通向基站的最短的路径。然后从找到的最后那个簇头节点出发, 传输并聚合数据, 经过多跳, 最终到达基站。然而这是个理想的寻径过程, 在从中选取最小值的时候,  $HeadB[i]$  和  $HeadD[i][N]$  时会出现两个或两个以上相等的最小值的情况。解决办法就是把  $SL$  设置为数组, 把  $K$  和  $K1$  也置为数组, 然后取  $SL$  的最小值, 就确定了一条通向基站最短的路径, 最后沿着这条路径融合传输数据。该程序在已经在 C++ 环境下通过, 限于篇幅不再介绍。

## 4 仿真结果与分析

通过仿真实验比较改进算法 (NEW) 和 LEACH, 以及 LEACH-M<sup>[9]</sup> 算法。在图 2 是基站位置为 (50, 255), 监测区域  $A$  大小为  $100 \text{ m} \times 100 \text{ m}$ , 节点数量为 100 时节点死亡数量与网络工作时间 (轮数) 之间的关系图, 其中当  $T=100$  时, 根据公式 (2) 和 (3), 得到簇的数目最优值  $Nopt=6$ 。可以看到, NEW 算法和 LEACH-M 的曲线几乎是一条平行于  $X$  轴的直线。由于这两个算法使得网络能耗被均匀地分担到每个节点上, 因此第一个节点和最后一个节点的死亡时间非常接近, LEACH-M 与 LEACH 相比使得网络寿命分别提高了 46% (第一节点死亡), NEW 与 LEACH-M 相比使得网络寿命分别提高了 16% 左右。

NEW 和 LEACH-M 的簇头之间采用多跳方式传输数据到达基站, 所以基站与检测区域  $A$  之间的距离的增加对网络寿命的影响不大, 而在 LEACH 协议中, 基站与检测距离过大, 就

会导致一些簇头节点能量过快的损耗, 从而影响了网络的寿命。图 3 描述网络寿命与基站位置之间的关系。从图 3 可以看出, 随着基站距离的增大网络寿命衰减的速度变慢。实验表明, 当基站位置从 (65, 215) 到 (65, 390) 时, 网络寿命从 420 轮减少到 250 轮, 减少幅度 40.5%, 优于 LEACH-M 和 LEACH 算法。

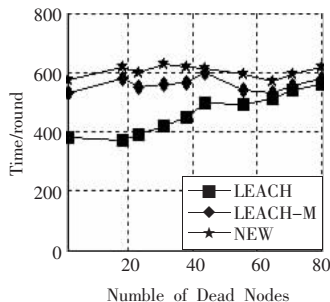


图 2 死亡节点数与时间关系

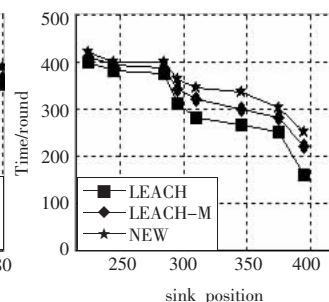


图 3 基站距离和时间的关系

## 5 结论

在考虑簇头最优个数的选择下, 提出基于 LEACH 的簇头多跳改进算法, 通过仿真实验, 证明了得到最优簇数目的改进多跳算法比 LEACH 算法在能量开销和网络生命周期方面性能要好很多。由于改进的算法首先根据区域面积、节点数目及基站位置来确定最优簇数目而不是低功耗自适应算法中的固定值, 并且还继承了 LEACH 按轮选举簇头的特点, 使得能量消耗均衡的分布在各节点上, 又对簇头节点采用了多跳算法, 而且保证了数据尽快地传输到基站, 弥补了 LEACH 算法单跳的不足, 从而使网络寿命得到了相应的延长。

## 参考文献:

- [1] Yu Hai-bin, Zeng Peng, Wang Zhong-feng, et al. Study of communication protocol of distributed sensor network[J]. Journal of China Institute of Communications, 2004(10): 102-110.
- [2] Heinzelman Kulk J, Balakrishnan H. Adaptive protocols for information dissemination for wireless sensor networks[C]//Proc of ACM Conference on Mobile Computing and Networking, Washington, USA, 1999: 174-185.
- [3] Intanagon Wiwat C, Govindan R, Estrin D. Directed diffusion: A scalable and robust communication paradigm for sensor networks[C]//Proc of ACM Conference on Mobile Computing and Networking, Boston, MA, 2000.
- [4] Heinzelman W, Chandrakasan A, Balakrishnan H. Energy-efficient communication protocol for wireless microsensor networks[C]//The Hawaii Int'l Conf System Sciences. Hawaii: IEEE Computer Society, 2000.
- [5] 杨冕, 秦前清. 基于无线传感器网络的路由协议[J]. 计算机工程与应用, 2004, 40(32): 130-131.
- [6] 黄少昱, 曹阳, 王悦伟. 无线传感器网络中的路由技术[J]. 计算机工程与应用, 2004, 40(19): 123-126.
- [7] Edward J. An energy efficient hierarchical clustering algorithm for wireless sensor networks[C]//Proceedings of the IEEE Wireless Communications and Networking Conference, 2003.
- [8] 张世庆, 孙超, 张西良, 等. 无线传感器网络高效簇路由算法[J]. 传感器与仪器仪表, 2006, 22(11): 202-204.
- [9] 李岩, 张熾煌, 李彦中. 基于 LEACH 协议的簇头多跳(LEACH-M)算法[J]. 计算机工程与设计, 2007, 28(17): 4158-4159.