

文章编号:1001-9081(2007)05-1103-03

## LEACH-EE——基于 LEACH 协议的高效聚类路由算法

李 岩,张曦煌,李彦中

(江南大学 信息工程学院,江苏 无锡 214122)

(yanllemon@163.com)

**摘 要:**为延缓传感器网络寿命,减少能量的消耗,提出一种基于 LEACH 协议的高效聚类路由算法(LEACH-EE)。它通过簇头来收集数据,然后簇头之间形成一个多跳的通向基站的最优路径,最后数据融合给一个簇头传给基站。这样解决了 LEACH 协议的簇头节点负载过重的问题,以及改善了网络能量的消耗和网络的生存时间。实验证明此方法行之有效。

**关键词:**低功耗自适应聚类路由协议;簇头;轮;多跳

**中图分类号:** TP393.03 **文献标识码:** A

## Energy-Efficient clustering routing algorithm based on LEACH

LI Yan, ZHANG Xi-huang, LI Yan-zhong

(Department of Information Engineering, Southern Yangtze University, Wuxi Jiangsu 214122, China)

**Abstract:** The Energy-Efficient clustering routing algorithm based on LEACH (LEACH-EE) was presented to prolong the network lifetime and reduce energy consumption, which gathered data by cluster head firstly, and then an optimal multi-hops path was formed among cluster heads which lead to Base station. In this way, the problem of cluster heads consuming more energy has been solved. Experimental result indicates that the new algorithm is very energy-efficient, and it can prolong the lifetime of the sensor network.

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

### 0 引言

随着传感器技术、嵌入式技术以及低功耗无线通信技术的发展,生产具备感应、无线通信以及信息处理能力的微型无线传感器已成为可能。这些廉价的、低功耗的传感器节点共同组织成无线传感器网络(Wireless Sensor Network, WSN)。通过节点间的相互协作,将其监测和感应的多种环境信息(如温度、湿度等)传送到基站进行处理。WSN 具有广泛的应用场景。可以应用在国防军事、救灾、环境监测等各个领域。由于其巨大的应用价值,WSN 已经引起了各国军事部门、工业界和学术机构的极大关注,并纷纷展开该领域的研究工作。目前由微型传感器节点组成的无线传感器网络已经发展成一个重要的计算平台<sup>[1]</sup>。

在 WSN 体系结构中,网络层的路由技术对 WSN 的性能好坏有着重要影响。随着国内外 WSN 研究发展,许多路由协议被提了出来,从网络拓扑结构的角度我们可以大体把它们分为两类:一类为平面路由协议,另一类为层次路由协议。

在平面路由协议中,所有网络节点的地位是平等的,不存在等级和层次差异。它们通过相互之间的局部操作和信息反馈来生成路由。在这类协议中,目的节点(sink)向监测区域的节点(source)发出查询命令,监测区域内的节点收到查询命令后,向目的节点发送监测数据。平面路由的优点是简单、易扩展,无须进行任何结构维护工作,所有网络节点的地位平等,不易产生瓶颈效应,因此具有较好的健壮性。典型的平面路由算法有 DD(Directed Diffusion)<sup>[2]</sup>, SAR(Sequential Assignment Routing)<sup>[3]</sup>, SPIN(Sensor Protocols for Information via Negotiation)<sup>[4]</sup>, Romor Routing<sup>[5]</sup>等。平面路由的最大缺点

在于:网络中无管理节点,缺乏对通信资源的优化管理,自组织协同工作算法复杂,对网络动态变化的反应速度较慢等。

在分簇路由协议中,网络通常被划分为簇(cluster)。所谓簇,就是具有某种关联的网络节点集合。每个簇由一个簇头(cluster head)和多个簇内成员(cluster member)组成,低一级网络的簇头是高一级网络中的簇内成员,由最高层的簇头与基站 BS(base station)通信。这类算法将整个网络划分为相连的区域。

在分簇的拓扑管理机制下,网络中的节点可以划分为簇头节点和成员节点两类。在每个簇内,根据一定的机制算法选取某个节点作为簇头,用于管理或控制整个簇内成员节点,协调成员节点之间的工作,负责簇内信息的收集和数据的融合处理以及簇间转发。

分簇算法 LEACH<sup>[6]</sup>是 WSN 中最早提出的分簇路由协议。它的成簇思想贯穿于其后发展出的很多分簇路由协议中,如 TEEN(Threshold sensitive Energy Efficient sensor Network protocol)<sup>[7]</sup>和 HEED(Hybrid Energy-Efficient Distributed clustering)<sup>[8]</sup>等。

本文提出的是基于 LEACH 算法的多跳路由算法,通过采用簇头之间的多跳算法达到减少能量消耗的目的。

### 1 LEACH 协议

#### 1.1 算法描述

LEACH 是 MIT 的 Chandrakasan 等人为无线传感网设计的低功耗自适应分层路由算法。它的基本思想是以循环的方式随机选择簇首节点,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源消耗、提高网络整体

收稿日期:2006-11-08;修订日期:2007-01-16

**作者简介:**李岩(1981-),女,硕士研究生,主要研究方向:无线网络;张曦煌(1962-),男,副教授,主要研究方向:嵌入式系统、图像处理、无线网络;李彦中(1980-),男,硕士研究生,主要研究方向:无线网络、嵌入式系统。

万方数据

生存时间的目的。仿真表明,与一般的平面多跳路由协议和静态分层算法相比,LEACH 可以将网络生命周期延长 15%。

LEACH 在运行过程中不断地循环执行簇的重构过程。每个簇重构过程可以用“轮(round)”的概念来描述。每个轮可以分成两个阶段:簇的建立阶段和传输数据的稳定阶段。为了节省资源开销,稳定阶段的持续时间要大于建立阶段的持续时间。簇的建立过程又可以分成四个阶段: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。

簇首节点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。具体的选择办法是:每个传感器节点选择 0~1 之间的一个值,如果选定的值小于某个阈值  $T(n)$ ,那么这个节点成为簇首节点。

$T(n)$  值计算如下:

$$T(n) = \begin{cases} \frac{P}{1 - p(r \bmod \frac{1}{p})}, & n \in G \\ 0, & \text{其他} \end{cases} \quad (1)$$

(1) 式中  $p$  是网络中簇头数与总节点数的百分比; $r$  是当前的选举轮数; $G$  是最近  $1/p$  轮不是簇头的节点集。

选定簇首节点后,通过广播告之整个网络。网络中的其他节点根据接收信息的信号强度决定从属的簇,并通知相应的簇首节点,完成簇的建立。最后,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。

在稳定阶段,传感节点将采集的数据传送到簇首节点。簇首节点对簇中所有节点所采集的数据进行信息的融合后再传送给基站,这是一种减少通信业务量的合理工作模式。稳定阶段持续一段时间后,网络重新进入簇的建立阶段,进行下一轮的簇重构,不断循环。每个簇采用不同的 CDMA 代码进行通信减少其他簇内节点的干扰。

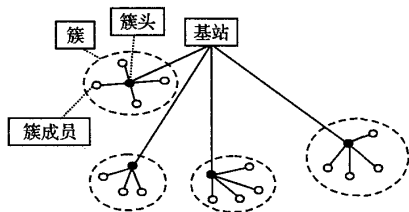


图1 LEACH路由协议拓扑结构

## 1.2 LEACH 协议的特点

LEACH 算法具有以下几个特点:

(1) 为了减少传送到基站的信息数量,簇首节点负责融合来自于簇内不同源节点所产生的数据,并将融合后的数据发送到基站;

(2) LEACH 采用基于 TDMA/CDMA 的 MAC 层机制来减少簇内和簇间的冲突;

(3) 由于数据采集是集成的和周期性的,因此该协议非常适合于要求连续监控的应用系统;

(4) 对于终端使用者来说,由于它并不需要立即得到所有的数据,因此协议不需要周期性的传输数据,这样可以达到限制性传感节点能量消耗的目的;

(5) 在给定的时间间隔后,协议重新选举簇首节点,以保证无线传感网获取统一的能量分布。

## 2 基于 LEACH 协议的高效聚类路由算法

### 2.1 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。

LEACH 协议是典型的单跳路径选择模式,如果有的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,我们提出了基于 LEACH 协议的高效聚类路由算法(LEACH-EE),让簇头之间形成多跳的通向基站的路径。

### 2.2 算法的描述

假设簇头个数为  $N$ ,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  $H_i$ , 初始值  $H_i = \{\}$ ;
  - (4) 该簇头与其他簇头之间距离的集合  $HD_i$ , 初始值  $HD_i = \{\}$ ;
  - (5) 该簇头与基站之间距离的集合  $HB_i$ , 初始值  $HB_i = 0$ ;
- 并且已知基站的位置为  $B(X, Y)$ 。

本文提出的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四个阶段: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。传输数据的稳定阶段和 LEACH 算法就有了本质的区别。

下面针对每个阶段的过程进行详尽的描述:

(1) 簇首节点选举办法和 LEACH 是相同的,这里就不详细叙述了;

(2) 选定簇头节点后向网络中所有节点广播,这时簇头节点  $i$  收到其他簇头节点的广播信息后就将其编号加入簇头集合  $H_i = \{1, 2, 3, \dots, i-1, i+1, \dots, N\}$ , 簇头  $i$  计算出和其他簇头之间的距离后,

$$HD_i = \{h_{i1}, h_{i2}, \dots, h_{ii-1}, h_{ii+1}, \dots, h_{iN}\}$$

并且簇头  $i$  计算出和基站之间的距离  $HB_i = b_i$ 。网络中的其他节点根据接收信息的信号强度决定从属的簇,并通知相应的簇首节点,完成簇的建立。最后簇首节点采用 TDMA 方法为簇中每个节点分配向其传送数据的时间片。

(3) 上面所做的为下面数据传输作好了充分的准备。本文提出的 LEACH-EE 算法的思想主要体现在这个阶段。主要思想是从基站开始遍历所有的簇头节点,目的是寻找出到基站的最短的路径,最后沿着这条路径进行数据传输和聚合,这样就达到了多跳的目的,从而减少了能量的消耗。

首先,在  $HB_1, HB_2, HB_3, \dots, HB_N$  中取最小值,假设  $HB_1$  最小,那么  $L_1 = HB_1$ ; 然后在集合  $HD_1$  中选取最小值,假设最小值为  $h_{1k}$ , 则  $L_2 = HB_1 + h_{1k}$ , 接着就在集合  $HD_k$  中选取最小值,假设为  $h_{km}$ , 则  $L_3 = HB_1 + h_{1k} + h_{km}$ , 由此类推,直到所有的簇头节点都遍历过,这样就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(如图2所示)。

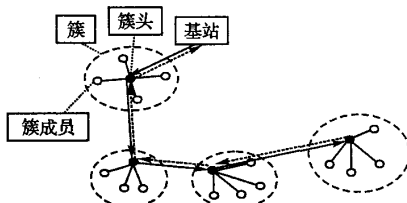


图2 基于 LEACH 协议的高效聚类路由算法的数据传输和聚合过程

图2中实线箭头是寻找最短路径的过程,虚线箭头表示将

自己的数据和上一跳传过来的数据聚合并传给下一跳的过程。

然而这是个理想的寻径过程,在从  $HB_1, HB_2, HB_3, \dots, HB_N$  中选取最小值的时候,很可能出现两个或者两个以上相等的最小值的情况,还有在簇头距离集合中选择最小值的时候也会出现两个或两个以上相等的最小值的情况。这种情况下,就会出现多条路径,就充分体现出  $L_i$  的价值了,用  $L_1, L_2, \dots, L_i$  来统计这些路径的长度,在其中选择最小值,这样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。

(4) 稳定阶段持续一段时间后,网络重新进入簇的建立阶段,进行下一轮的簇重构,不断循环。

### 3 仿真结果与分析

在本文中分别对 LEACH 和 LEACH-EE 进行了仿真,在图 3 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。可以看到,LEACH-EE 的曲线几乎是一条平行于 X 轴的直线。由于 LEACH-EE 算法使得网络能耗被均匀地分担到每个节点上,因此第 1 个节点和最后一个节点的死亡时间非常接近,LEACH-EE 与 LEACH 相比使得网络寿命分别提高了 17%(第 1 节点死亡)。

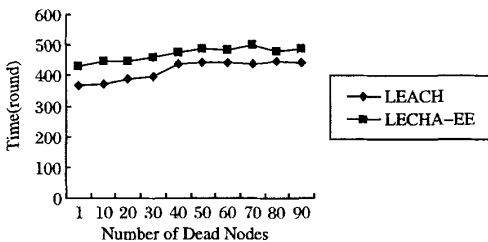


图3 死亡节点数与时间关系图

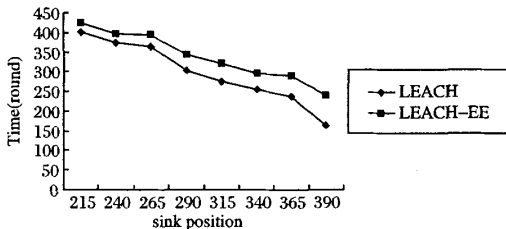


图4 基站距离和时间的关系图

LEACH-EE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4描述网络寿命与基站位置之间的关系。从图4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425轮减少到240轮,减少幅度不到44%,优于LEACH算法。

### 4 结语

本文提出了基于LEACH协议的高效聚类路由法,由于继承了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。

本文的算法中没有提到簇头最优个数的选择,以及如何减低簇头的维护开销。这两个方面对网络的负载平衡也有很大的影响,因此,今后会在这两个方面展开更深一步的研究。

#### 参考文献:

- [1] AKYILDIZ IF, SU W, SANKARASUBRAMANIAM Y, *et al.* A survey on sensor networks[J]. IEEE Communications Magazine, 2002, 40(8):102-114.
- [2] INTANAGONWIWAT C, GOVINDAN R, ESTRIN D, *et al.* Directed diffusion for wireless sensor networking[J]. IEEE/ACM Transaction on Networking, 2003, 11(1):2-16.
- [3] SOHRABI K, GAO J, AILAWADHI V, *et al.* Protocols for self-organization of a wireless sensor network[J]. IEEE Personal Communications, 2000, 7(5):16-27.
- [4] HEINZELMAN WR, KULIK J, BALAKRISHNAN H. Adaptive protocols for information dissemination in wireless sensor networks [A]. Proceeding of the ACM MobiCom'99[C]. Seattle: ACM Press, 1999.174-185.
- [5] BRAGINSKY D, ESTRIN D. Rumor routing algorithm for sensor networks[A]. Proceeding of the 1st Workshop on Sensor Networks and Applications[C]. Atlanta: ACM Press, 2002.22-31.
- [6] HEINZELMAN W, CHANDRAKASAN A, BALAKRISHNAN H. Energy-Efficient communication protocol for wireless micro sensor networks[A]. Proceeding of the 33rd Annual Hawaii Int'l Conference on System Sciences[C]. Maui: IEEE Computer Society, 2000.3005-3014.
- [7] MANJESHWAR A, GRAWAL DP. TEEN: A protocol for enhanced efficiency in wireless sensor networks[A]. Proceedings of the 15th Parallel and Distributed Processing Symposium[C]. San Francisco: IEEE Computer Society, 2001.2009-2015.
- [8] YOUNIS O, FAHMY S. Heed: A hybrid, energy-efficient, distributed clustering approach for ad-hoc sensor networks[J]. IEEE Transaction on Mobile Computing, 2004, 3(4):660-669.

(上接第1085页)

#### 参考文献:

- [1] JASON LH. System architecture for wireless sensor networks[D]. University of California, Berkeley, USA, 2003.10-54.
- [2] 任丰原, 黄海宁, 林闯. 无线传感器网络[J]. 软件学报, 2003, 14(7):1282-1290.
- [3] MARIA P, HENNING S. Seven degrees of separation in mobile ad hoc networks[A]. Proceedings of the Globecom'00[C]. IEEE Press, 2000.1707-1711.
- [4] RICHARD T, DAVID M, DONAL K, *et al.* Interpolation for wireless sensor network coverage[A]. Proceedings of Second IEEE Workshop on Embedded Networked Sensors (EmNetS-II)[C]. 2005.123-131.
- [5] BAO HL, NIRUPAMA B, HUAN P, *et al.* CSMAC: A novel DS-

CDMA based MAC protocol for wireless sensor networks[A]. Globecom'04[C]. IEEE Communications Society Press, 2004.33-38.

- [6] WEI Y, JOHN H. Medium access control in wireless sensor networks. USC/ISI Technical Report[R]. University of Southern California, USA, 2003.1-8.
- [7] 苏威积. Ad Hoc 网络连结原理[D]. 沈阳: 东北大学, 2006.28-45.
- [8] IEEE standard 802.15.4[S]. Part 15.4: Wireless medium access control (MAC) and physical layer (PHY) specifications for low-rate wireless personal area networks (LR-WPANs). IEEE-SA Standards, 2003.13-29.
- [9] 张文彤, 董伟. SPSS 统计分析高级教程[M]. 北京: 高等教育出版社, 2004.70-115.