

# 基于 EAD 协议的无线传感器网络高效成簇算法<sup>①</sup>

## An Efficient Clustering Algorithm for Wireless Sensor Networks

### Based on EAD Protocol

邓 拓 季桂树 李慎笃 (中南大学 信息科学与工程学院 湖南 长沙 410083)

**摘要:** 在无线传感器网络中,成簇算法是减少能量消耗的一种关键技术,它能够增强网络的扩展性和延长网络生存时间.本文提出了一种基于 EAD 协议的无线传感器网络高效成簇算法(EC-EAD)。EC-EAD 算法在确立簇头节点时,将节点能量,节点之间距离与轮回次数综合加权,决定节点发送延迟。剩余能量高且距离较远的节点成为簇头节点,降低了网络内的簇头数目,也保证了网络能量的均匀消耗,延长了网络的生存时间。模拟实验结果表明,EC-EAD 算法在延长网络生存期方面比 EAD 具有一定的优越性。

**关键词:** 无线传感器网络 成簇算法 节点能量 簇头节点 网络生存期

## 1 引言

无线传感器网络(WSN, wireless sensor network)被认为在 21 世纪将对世界产生深远影响的十大技术之首,可广泛应用于军事、环境监测、生物医疗、工农业控制等领域,已引起了世界各国学术界和工业界的广泛重视<sup>[1,2]</sup>。网络资源严重受限,节点能量有限,并且通常很难得到及时有效的补充,是传感器网络与其他传统网络最显著的不同特点,因此研究如何降低能量损耗以延长整个网络的生存期成为了无线传感器网络研究的一个重点和热点。

在无线传感器网络中,成簇算法是减少能量消耗的一种关键技术,它能够增强网络的扩展性和延长网络的生存时间。依据一定的机制将网络中的节点划分为簇头节点和普通节点两大类,由簇头节点组成覆盖监控区域的连通骨干网络<sup>[3]</sup>,进行数据路由。簇内普通节点负责感知数据,并传送给所在的簇的簇头;簇头节点协调簇内普通节点的工作,负责数据的融合和转发,从而能量消耗相对簇内节点较大,所以分簇算法通常采用周期性地选择簇内头节点的做法以均衡网络中的节点能量消耗<sup>[4]</sup>,延长网络生存期。

## 2 相关工作

在当前提出的许多分簇算法中,LEACH<sup>[5]</sup>是 WSN 中最早提出的分簇算法,它是一种自适应分簇拓扑算

法,通过动态选举簇头来平均网络节点能耗。LEACH 是一种分布式的协议,每一个节点通过一个概率来决定自己是否成为簇头节点,并保证每轮有相当的簇头节点。它的成簇思想贯穿于其后发展的很多分簇路由协议中。

TopDisc 算法<sup>[6]</sup>是由 Deb 等人提出的一种基于图论中的最小支配集问题的算法,利用颜色区分节点状态,解决骨干拓扑结构的形成问题。按照节点颜色区分出簇头节点,并通过反向寻找查询消息的传播路径在簇头节点之间建立通信链路。该算法能在网络中快速地形成分簇结构,并在簇头之间建立树型关系,但这种算法构建的层次型网络灵活性不强,所构成的簇间存在区域重叠现象。两个簇头之间通信需要一个非簇头节点进行转发,没有考虑到簇头构成的骨干网的连通性,仅以节点距离因素决定是否成为簇头节点,没有考虑节点能量,那么被标记为簇头的节点,在重复执行算法时,将一直做簇头直到其能量耗尽,成为死亡节点。这都将严重的影响网络的覆盖度和网络生存期。

EAD<sup>[7]</sup>(Energy-Aware Data-centric)算法是一种基于能量高效的分布式分簇机制,从 sink 节点开始建立一个以 sink 为根接点的覆盖网络的骨干树,骨干节点为簇头节点,叶子节点为簇内成员,每个节点有且只有一个父节点。采用与能量有关的延时方案,保

<sup>①</sup> 收稿时间:2008-10-16

证了能量越高的节点优先成为骨干节点, 骨干节点之间相连构建了一个骨干网。

本文提出的 EC-EAD 算法, 是基于 EAD 算法的能量高效机制。在确定骨干节点时, 综合考虑节点剩余能量和与广播消息节点距离以及轮回次数对节点发送延时的影响, 从而快速高效的建立最小子集的骨干网。

### 3 EAD 算法

#### 3.1 EAD 算法描述

EAD 算法是一种能量感知的以数据为中心的分布式路由算法, 通过该算法将传感器网络的节点划分为叶子节点(簇内普通成员)和骨干节点(簇头节点), 骨干节点相连形成一个以 sink 节点为根的广播树, 每个叶子节点直接与其父节点(簇头节点)相连。

EAD 算法中, 骨干网的建立包含以下步骤: 首先 sink 节点发送一个控制信息, 每个消息都携带一种发送该消息的节点的状态信息; 邻居节点收到消息后等待一段时间, 该时间与节点自身剩余能量成反比。节点根据接收到的消息所含的状态信息决定自身变为骨干节点或者叶子节点, 当信道空闲时, 发送包含自身状态信息的控制消息。随着控制消息在网络中传播, 最后传感器网络的所有节点被划分为骨干节点或者叶子节点。骨干节点及其子节点(叶子节点)构成一个簇, 骨干节点为簇头, 叶子节点为簇内成员节点。

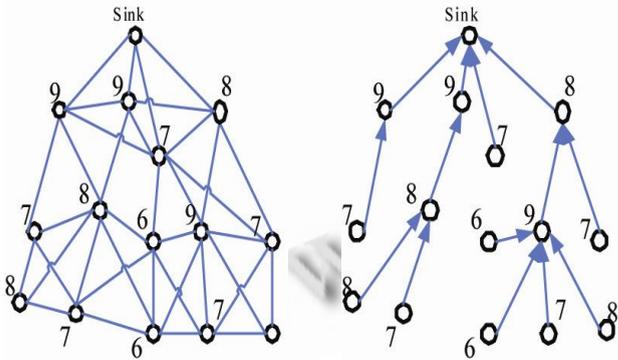


图 1 网络初始图 图 2 EAD 算法构造的骨干网

图 1 为无线传感器网络节点的初始分布图, 节点的数字标注为节点能量。图 2 为执行 EAD 算法后所构建的网络骨干网, 有子节点的为簇头, 叶子节点为簇内成员, 除 sink 外, 图 2 中共有 5 个簇头节点。

#### 3.2 EAD 算法的特点

EAD 算法具有以下几个特点:

(1)算法的开始是从 sink 节点出发, sink 节点能量不受限。除 sink 节点外, 每个节点都有且仅有一个父节点, 父节点均为骨干节点。

(2)邻居节点之间利用与自身剩余能量有关的延时, 竞争成为骨干节点。节点能量越高的节点, 越早广播自己的状态, 成为骨干节点的可能性越大。

(3)骨干网建立后, 查询消息可从 sink 出发, 沿着骨干网传播, 感知数据沿着叶子节点——簇头节点——sink 的方向传播, 避免了信息的泛洪。

(4)为保证无线传感器网络能量的均衡消耗, 在一定的时间间隔后, 需要从 sink 开始重新执行 EAD 算法, 重新构建骨干网。

### 4 EC-EAD 算法

#### 4.1 EC-EAD 算法描述

EAD 算法中, 在构建骨干网时, 仅以节点的剩余能量为因素决定节点的发送延时, 剩余能量越多的节点越早发送控制信息, 而没有考虑到距离因素对构建骨干网规模大小的影响, 也没有考虑到轮回次数对构建骨干网所耗费时间的影响。随着轮回次数的增加, 各个节点的能量均有不同程度的消耗, 如果仍以原算法中的节点发送控制消息的延时与节点所剩能量成反比的话, 必将不断的增加了节点的发送延时, 从而延长了骨干网的构建时间, 影响网络的数据传输, 降低了网络效能。

在设计 EC-EAD 算法时, 将节点剩余能量, 与发送控制消息的节点的距离和轮回次数综合加权, 以决定该节点发送控制消息的延时。使能量高且距离较远的节点发送控制消息越早, 最终以较少的簇头形成骨干网。

$$T_1 = \frac{c}{\ln(1+R) * (k_1 * E + k_2 * D)} \quad (1)$$

公式(1)中,  $T_1$ : 节点在收到控制消息后的延时;  $E$ : 节点当前的剩余能量;  $R$ : 算法执行的轮回循环数;  $D$ : 与到发送控制消息的节点之间的距离;  $C$ : 为常数;  $k_1, k_2$  为权系数且  $k_1+k_2=1$ 。当距离不可算的时候, 可用节点接收信号的强度(received signal strength indicator, RSSI)估计两节点之间的距离。

EC-EAD 算法中的控制消息为 msg(Type $u$ , Hop $u$ , P $u$ , E $u$ , R)各消息参数见表 1 说明。

表 1 控制消息各参数说明

Type <sub>u</sub>	节点状态参数	0: 初始态; 1: 叶子; 2: 骨干节点
Hop <sub>u</sub>	跳数参数	节点到 sink 节点的跳数
P <sub>u</sub>	父节点参数	节点到 sink 节点的父节点
E <sub>u</sub>	能量参数	节点剩余能量
R	轮回数	算法执行的周期数

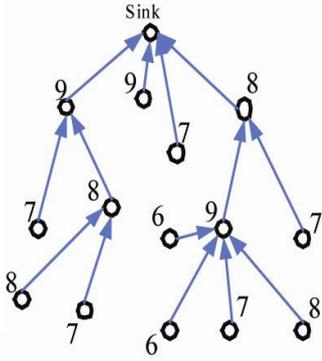


图 3 EC-EAD 算法构造的骨干网

同样以图 1 为网络初始布局图, 运用考虑节点距离因素的 EC-EAD 算法构造的骨干网如图 3 所示。从图 3 和图 2 的簇头结点数目对比来看, 除去 sink 结点, 图 3 有 4 个簇头节点, 而图 2 有 5 个簇头节点。

### 4.2 EC-EAD 算法执行过程

EC-EAD 算法的执行也是周期性的, 每轮执行完后, 在到达一定的时间后, 重新执行, 轮回次数加一。EC-EAD 的算法执行的基本过程如下:

- ① Sink 节点广播  $msg(2, 0, null, \infty, R)$  控制消息,  $\infty$  表示发射者是 sink, 能量不受限, 初次执行  $R = 1$ 。
- ② 当初始态节点  $v$  接收到从节点  $u$  发来的  $msg(2, Hop_u, P_u, E_u, R)$  后,  $v$  变成叶子状态, 监测信道直到空闲, 等待  $T_1$  ( $T_1$  由公式(1)计算, 下同) 时间后。如果信道仍是空闲的, 那么  $v$  广播错误! 未找到引用源。  $msg(1, Hop_u + 1, u, E_v, R)$ 。
- ③ 初始态节点  $v$  收到从节点  $u$  传来的  $msg(1, Hop_u, P_u, E_u, R)$ 。监测信道直到空闲, 等待  $T_1$  时间, 如果信道仍是空闲的, 则广播消息  $msg(2, Hop_u + 1, u, E_v, R)$ , 即  $v$  变成骨干节点。如果在等待期间里, 又从  $u$  接收到的是  $msg(2, Hop_u, P_u, E_u, R)$  消息,  $v$  变成叶子节点,  $v$

广播  $msg(1, Hop_u + 1, u, E_v, R)$ , 否则忽略其他节点发送的控制消息。

④ 如果节点的状态是 1, 从  $w$  接收了  $msg(2, Hop_u, v, E_w, R)$  消息, 那就说明  $v$  是  $w$  的父节点,  $v$  变为骨干节点,  $v$  拥有子节点。在信道空闲的时候, 不需要等待, 立刻广播  $msg(2, Hop_v, P_v, E_v, R)$  消息。

⑤ 当节点的状态变为 2 时, 将忽略收到的其他控制消息。一个状态是 2 的节点在检测到自己没有子节点时, 变成叶子节点, 加入到距离最近的骨干节点或者叶子节点, 该叶子节点将变为骨干节点。

⑥ 当所有节点为骨干节点或者叶子节点后, 骨干网建立完成。稳定一段时间后, 轮回数加一, 网络进入下一轮骨干网建立阶段。

骨干网在稳定阶段进行数据收集, 数据沿着从叶子节点到 sink 节点的反向路由树传输, 最终到达 sink 节点, 并由 sink 向外传输数据。

## 5 仿真结果与分析

本文采用 Matlab7.1 对 EAD 算法和 EC-EAD 算法进行仿真。仿真环境及假设条件如下: 200 个传感器节点随机分布在长和宽均为 100m 的矩形区域内, 假设节点之间是双向通信, 传输信道是对称的, 节点在部署后, 位置不变, 按固定速率持续采集数据。sink 节点位于网络顶部边缘中间位置且能量不受限; 传感器节点初始能量均为 2 焦耳, 节点失效能量阈值为 0.001 焦耳。节点发送功率为 0.005mW, 接收功率为 0.0025mW, 能量消耗模型为与两节点距离平方成正比的自由空间模型。整个网络失效节点率阈值为 0.2, 公式(1)的参数为  $C = 1, k_1 = 0.9, k_2 = 0.1$ 。

表 2 簇头数目与通信半径关系表

Rd 簇	Rd=10	Rd=15	Rd=20	Rd=25	Rd=30
头数					
EAD	98	84	69	57	45
EC-EAD	92	68	50	37	26

表 2 为 EAD 算法和 EC-EAD 算法在不同通信半径下所形成的簇头数目, 该簇头数为 20 个网络周期的平均且取整的簇头数, 从表 2 中可以看出, 在考虑了节点距离因素后, EC-EAD 所形成的骨网的簇头数

明显少于 EAD。

图 4 为节点感应半径和通信半径均为 20m，其他参数如上所述的时候，EAD 和 EC-EAD 算法的网络周期数与失效节点数的关系图。

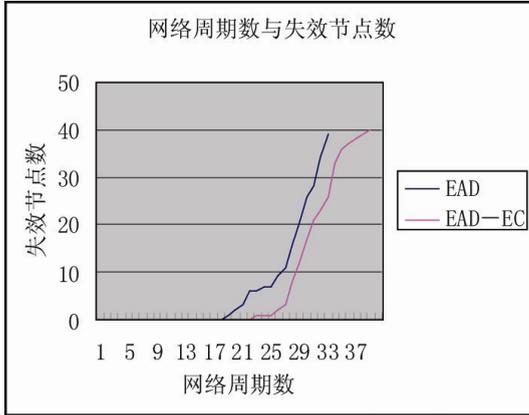


图 4 网络周期数与失效节点数

从仿真结果图 4 可以看出，在构建虚拟骨干网时，EC-EAD 算法在出现第一个失效节点的网络周期数和整个网络失效的周期数上均大于 EAD 算法，也就是说 EC-EAD 算法在延长网络生性能方面优于 EAD 算法。

## 6 结论

本文对 EAD 算法进行了分析，并在此基础上提出了 EC-EAD 算法。EC-EAD 算法在建立虚拟骨干网时，满足了 EAD 协议的虚拟骨干网的连通性，同时加入了距离因素和轮回次数因素，控制节点发送延时，使得距离越远，能量越高的节点成为骨干节点，从而保证了以较少的节点构成虚拟骨干网，进一步节省了节点能量，使网络负载趋于平衡。对 EAD 算法和 EC-EAD 算法进行了软件仿真，从实验数据验证了 EC-EAD 算

法在延长网络生命的优越性。

本文提出的 EC-EAD 算法没有考虑到骨干节点所含有子节点个数的问题，而这也对网络节点能量均衡消耗产生很大的影响，从而影响到网络的生存期，因此，需要在以后的工作中做进一步的研究。

## 参考文献

- 1 Akyidiz IF, Su W, Sankarasubramaniam Y, Cayirci E. Wireless sensor networks: A survey. *Computer Networks*, 2002, 38(4): 393-422.
- 2 Cui L, Ju HL, Miao Y, Li TP, Liu W, Zhao Z. Overview of wireless sensor networks. *Journal of Computer Research and Development*, 2005, 42(1): 163-174.
- 3 张学, 陆桑璐, 陈道蓄, 谢立. 无线传感器网络的拓扑控制. *软件学报*, 2007, 18(4): 943-954.
- 4 卿利, 朱清新, 王明文. 异构传感器网络的分布式能量存放成簇算法. *软件学报*, 2006, 17(3): 481-489.
- 5 Heinzelman W, Chandrakasan A, Balakrishnan H. Energy-Efficient communication protocol for wireless micro sensor networks. *Proceeding of the 33rd Annual Hawaii Int' l Conference on System Sciences*. Maui: IEEE Computer Society, 2000: 3005-3014.
- 6 Deb B, Bhatnagar S, Nath B. A topology discovery algorithm for sensor networks with application to networks management. Technical Report, DCS-TR, Rutgers University, 2001.
- 7 Boukerche A, Cheng X, Linus J. A Performance Evaluation of a Novel Energy-Aware Data-centric Routing Algorithm in Wireless Sensor Networks. *Wireless Networks*, 2005, (11): 619-635.