



文献综述

《无线传感器网络中分簇算法综述》

课程名称：无线传感器网络

学 院：信息与通信工程学院

专 业：物联网工程

姓 名：罗子建

学 号：2016010902012

教 师：周亮

摘要：分簇算法在无线传感器网络领域中是非常典型的算法，并且起着非常重要的作用。文章从能量消耗和网络生命周期的角度出发，将分簇算法分为两大类，并且介绍当今关于 LEACH 的研究现状。随后将介绍当前常见的分簇算法，并以近年来出现的 DCEM (Delay-Constrained Energy-Efficient Cluster-based Multi-Hop Routing) 并以 H-LEACH 算法为例，详细描述了其分簇过程，该方法相对于其他办法降低了网络能量损耗，同时延长了网络生命周期。最后，结合该领域的科研现状，展望了这一研究方向在未来的发展趋势。

关键词：无线传感器网络；分簇算法；LEACH；HWSN

1 引言

无线传感器网络(Wireless Sensor Network, 即WSN)是由很多廉价的并具有传感、计算、数据处理和通信能力的微型传感器节点组成的网络。WSN无论在任何条件下都能够通过节点间的通信，来完成对所需信息的采集和处理工作，逐渐广泛应用于需要进行感知监测的各领域，如军事领域、工业领域和环境领域等。

在WSN中如果每一个节点都单独进行数据传送，这样就会导致网络中数据过于庞大，而且还会发生信息碰撞，从而使能量无端地被浪费掉。为了避免这种情况的发生，节点被分为很多小的集合，称为簇，这个把单个节点集成成群的过程称为分簇。这种思想首次被提出是在分组无线网中，每个簇内需要选举出一个簇头(Cluster head)，它是用来采集本簇中其他节点的信息的，汇总后发送到汇聚节点(sink)或基站(BS)，簇内除了簇头的其他节点被称为成员节点，如图1所示。

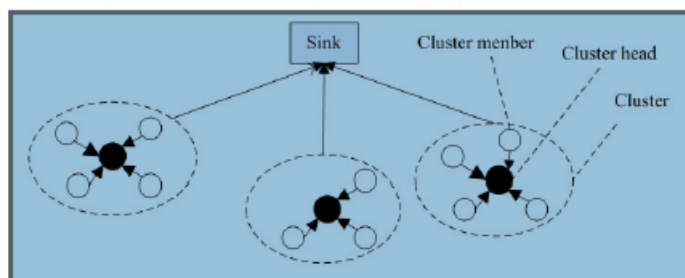


图1 WSN分簇路由拓扑图

根据节点感知能力、计算能力、通信能力和能量等的不同，WSN可分为同构传感网和异构传感网(Heterogeneous wireless sensor network, HWSN)。同构传感网中的节点根据各自任务的不同而采用不同的构造。无论何种WSN，路由问题均为研究热点问题。

2 研究现状

在对WSN的技术特征进行全方位的分析和讨论之后，确定该网络生命周期的长短，主要受网络各节点能量消耗的影响与制约。基于此背景，在关于WSN的研究中，热点话题集中在高效拓扑路由协议的选择与应用方面。在一般情况下，可以将WSN划分为两种类型的拓扑路由协议，分别为层次型以及平面型，前者也被称为分簇型。

按照在分簇过程中簇头的选取是否随机，将分簇算法归结为两大类，其中

第一类随机选取簇头的分簇方法主要包括LEACH(Low - Energy Adaptive Clustering Hierarchy)[1],另一类根据节点信息选取簇头的分簇方法主要包括HEED(Hybrid Energy Efficient Distributed Clustering) [2] EEUC (Energy Efficient Unequal Clustering) [3] 和近年来提出的DCEM[4]算法。

2.1 随机选择簇头的分簇方法

LEACH(Low Energy Adaptive Clustering Hierarchy)是最早提出分簇概念的层次路由协议, 被视为层次路由协议中的经典。在这一算法中, 利用“轮”这一单位来分割网络生命周期, 一轮即从重新分簇(建簇阶段)到数据传输(拓扑稳定阶段)两个阶段的过程。

在这种算法中, 有效划分了网络节点的角色, 高效率的分配了不同节点的任务, 其最大的突破在于极大的压缩了网络能耗。但是这种算法仍然不是尽善尽美的, 其问题主要体现在簇的划分、簇头的选取等方面。因此, 业内人士纷纷探索 LEACH 拓扑路由算法的改进策略。LEACH-C(LEACH-centralized)和LEACH-F(LEACH-fixed)这两种改进算法, 同样沿袭了由建簇阶段到数据传输的拓扑稳定阶段的过程, 在建簇阶段便强调了节点的能耗问题, 节点会向基站节点发送自身的能耗状况, 基站节点在获取到基础数据后, 会展开模拟退火算法(Simulated annealing algorithm)进而得到最优的簇头分配方案, 以此方案作为指导来进行网络分簇。

2.2 根据节点信息选取簇头的分簇方法

HEED(Hybrid Energy Efficient Distributed Clustering)算法分簇时, 节点归属于哪个簇是根据它自身接收到的簇头信息中携带的AMRP (Average Minimum ReachabilityPower) 平均最小可达能量来进行判断的, 一个节点同时入选两个或者多个簇的情况则可以避免。如果一个节点没有接收到任何一个簇头的信息, 它便被判断为“孤立节点”从而自成一簇, 这种方法会导致网络稳定性不好, 原因是没有把邻居节点到簇头节点的距离考虑进去, 这样形成的簇很不均匀, 在出现大簇的同时还会出现一些孤立节点, 使得的某些节点生命周期变短, 从而导致网络不稳定。HEED算法是依据节点的剩余能量, 进行多次迭代来选择簇头, 这就导致了在这个过程中能量消耗的代价过大。

EEUC(Energy Efficient Unequal Clustering)算法分簇时, 采用大小不同的竞争簇半径, 使得与Sink节点距离小的节点成簇半径较小, 这样节点可节省一部分能量从而有更多的能量去帮助转发数据。由于簇半径有差异, 网络被分成多个不均匀的簇。数据传输过程中, 该算法分为单跳和多跳情况, 若簇头到Sink节点的距离小于预先设定的最大值, 则以单跳的方式完成簇头与Sink节点的信息交换; 否则采用多跳方式, 其中在挑选下一跳节点时, 若有比自身到Sink距离更近的多个簇头, 挑选本轮次拥有能量相对多的作为下一跳。该算法的优点是距Sink节点较近的簇较小, 反之较大, 这种非均匀成簇的方式很大程度上缓解了一些节点过度使用的问题, 但是由于数据传输阶段, 未将簇规模和其参与转发次数考虑进来, 还是没有尽可能地到达网络能耗的均衡。

DCEM算法的网络模型如图2所示, 其中Clusterhead为簇节点, sink为汇聚节点, 在这个模型中, 在各个簇中散布着携带信息的传感器, 簇头以多跳的形式把整个簇的信息传送给sink节点。

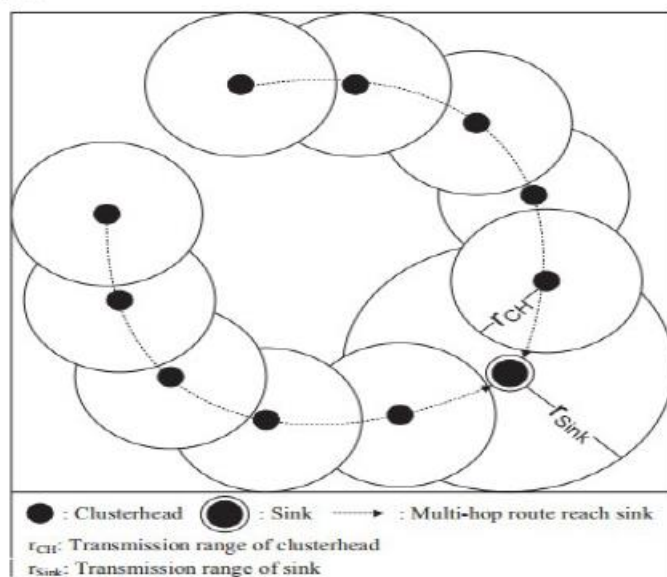


图2 DCEM的层次网络模型

DCEM分簇方法为：（1）Sink节点以一定的功率向网络中的所有节点发出ADV信息，使周围节点被发现。（2）节点收到Sink节点发送的信息后，根据信号强弱得出该节点距Sink节点的近似距离。（3）根据每个节点所配备的计时器，等待时间 $w=1/E$ 后，开始向周围节点发送ADV(ID, E)信息，其中 E 为节点的剩余能量， ID 是节点编号。每个节点会收集来自周围节点发出的ADV信息，并且与自身能量进行比较，如果节点的自身能量较低，则马上关闭自己的计时器，变为一般节点，簇头则由本簇内其余节点中能量值最大的节点代替。

3. 发展趋势

但LEACH 协议存在如下局限性：该协议在最初簇头选举过程，节点都设定为能量相同，所以不适用于能量分布不均的网络，如HWSN。同时，该协议使用的是单跳路由方式，会出现远距离通信，进而导致能量空洞问题。并且其设计主要关注于连通性与能量优化问题，而忽略了网络的安全性。

针对LEACH的局限性，文献[5]通过引入一种节点能量机制，使能量高的节点更容易被选为簇头，有效地延长了网络的寿命。但不适用于节点初始能量不同的HWSN，且没有考虑簇头之间的相对位置，容易导致簇的重叠问题。

文献[6]提出一种基于HWSN的研究环境的网络模型。

N-LEACH协议作如下假设：

- (1) 网络模型是单SINK 环境，且SINK 与BS邻近。
- (2) 节点根据与接收方距离的远近，为了降低能耗可以自动调整发射功率。
- (3) 若知道对方发射功率，可以根据接收信号的强度来计算出自己与发送方的近似距离。

簇头选举：

LEACH 协议在选举过程中，计算阈值 $T(n)$ 如下：

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

式中： p 表示簇头节点占有所有节点的百分比， r 表示当前轮数， G 表示在最近的 $1/p$ 轮中未当选簇头的节点集合。

簇的构造

经过簇头选举过程，网络中已经生成了若干候选簇头。在成簇过程中，非簇头逐个计算与每一个候选簇头的cost 值，选取具有最小cost 值的候选簇头作为其最终簇头。cost 的计算公式如下：

$$\text{cost} = \omega_1 f + \omega_2 g + (1 - \omega_1 - \omega_2) \eta$$

其中

$$f = \frac{D_{to_ch}}{\text{Max}_{to_ch}}$$
$$g = \frac{\text{Max}_{to_bs} - D_{to_bs}}{\text{Max}_{to_bs} - \text{Min}_{to_bs}}$$
$$\eta = \frac{E_{n_initial} - E_{n_residual}}{E_{n_initial}}$$

其中 ω_1, ω_2 是权重因子， D_{to_ch} 是当前节点到候选簇头的距离， Max_{to_ch} 是当前节点距离所有候选簇头的最远距离， Max_{to_ch} 是所有的候选簇头距离BS的最远距离， D_{to_ch} 是候选簇头到BS 的距离， Min_{to_bs} 是所有的候选簇头距离BS 的最短距离。

节点认证

通过加密算法与信任管理可有效地抵御基于身份的攻击，保证通信的安全性，但会带来额外的通信开销。本文引入节点认证机制，较好地避免了基于身份的攻击，本文设计的认证机制伴随着簇的构造过程完成，不需要额外的通信开销。通过三个步骤完成节点的认证，如下所示：

步骤1：网络部署前，SINK 节点中存储一张对应列表，列表中包含两个表项，分别为部署节点的ID、SINK 节点与每个节点共享的秘密信息 s 。

步骤2：在簇建立阶段，部署节点选择合适的簇头加入，并返回加入消息给相应的簇头，加入消息中包含部署节点的ID。

步骤3：SINK 节点收到全部簇头的消息之后，进行解密获得每个簇头对应的ID。

路由方案

在LEACH 协议中簇头将数据以单跳方式直接发送到SINK，然后由SINK 发送到BS，这使得网络的寿命缩短，本章在文献[7]的基础上，引入了能量机制。簇头与BS 之间的路由通过如下三个阶段完成：

阶段1：网络中每一个簇头向其余所有簇头广播通知消息，簇头通过通知消

息建立各自的路由表。

阶段2：根据每个簇头与BS 的距离远近，将网络中所有的簇头分为两组，即外部组和内部组。所有距离大于或等于 $\alpha 0$ 的簇头组成外部组，距离小于 $\alpha 0$ 的簇头组成内部组。同时为每一个内部组中的簇头根据节点类型的不同设置不同的能量阈值 $E(n)$ 。

阶段3：内部组中的簇头直接将数据通过SINK 发送到BS，外部组中的簇头根据通知消息建立各自的路由表，在发送数据时查找各自的路由表。当外部组中的簇头转发数据到内部组中的簇头时，只有当内部组中簇头剩余能量大于其能量阈值 $E(n)$ 的情况下，才转发数据到BS。

性能分析

N -LEACH 协议在 $\pi(n)$ 中加入了节点的剩余能量因素，提高了剩余能量多的节点被选为簇头的几率，使得 N -LEACH 协议适合于节点初始能量不同的HWSN。在加权函数cost 中引入了能量以及候选簇头与BS 的距离等因素。在成簇过程中非簇头逐个计算与每一个候选簇头的cost值，选取具有最小cost 值的候选簇头作为其最终簇头。靠近BS 的簇，其成员节点少，而远离BS的簇其成员节点多。通过形成不同规模的簇，接近BS 的簇头可以预留能量进行簇间多跳路由。

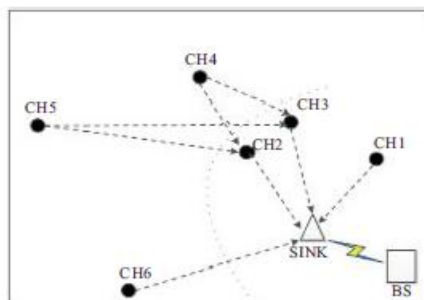


图3 数据传输过程

引入多跳机制，摒弃了LEACH 协议的单跳路由方式，采用簇间多跳路由，避免了远距离通信。通过三个阶段建立了簇头与BS 之间的路由，阶段1 通过簇头之间广播通知消息建立各自的路由表，阶段2 根据与BS 距离的远近将簇头分为内部组和外部组，在阶段3 中内部组的簇头通过SINK 节点直接将数据发送到BS，外部组中的簇头根据通知消息建立各自的路由表，在发送数据时查找其路由表决定数据如何传输。并且在簇的构造过程中引入了认证机制，较好地避免了基于身份的攻击，实现了可信路由。

总结

路由协议是HWSN研究的重点问题之一，传统的LEACH 协议不适合节点能量不均衡的HWSN。针对LEACH 协议的缺陷，设计并实现了一种多跳的非均匀分簇路由协议 N -LEACH，在簇头选举、成簇规模、以及路由方案问题上进行了相关改进。

如何实现网络寿命与网络安全之间的权衡，将是下一步研究的工作重点。



4 参考文献

- [1] 任智,姚玉坤,曹建玲.无线自组织网络路由协议及应用[M].北京:电子工业出版社,2015:82-83.
- [2] 杨彩霞. 基于无线传感器网络的集中式分簇算法研究[D]. 兰州交通大学, 2016.
- [3] Krishnamoorthy S. Enhanced Adaptive Clustering Mechanism for Effective Cluster Formation[J].
- [4] 蒋畅江. 能量均衡的无线传感器网络非均匀分簇路由协议[J]. 软件学报, 2012, 34(5):1222-1232.
- [5] 马振福. 无线传感器网络中LEACH-C协议簇首选择方案研究[D]. 威海: 山东大学(威海),2016.
- [6] 黄利晓, 王晖, 袁利永, 等. 基于能量均衡高效WSN的LEACH协议改进算法[J]. 通信学报, 2017, 38(S2): 164-169.
- [7] 张玉泉. 无线传感器网络安全问题研究[M]. 济南: 山东人民出版社, 2013: 5-18.
- [8] 刘龙庚. 大数据环境下无线传感器网络关键技术研究[D].电子科技大学,2017.