

基于分组的无线传感网多轮分簇路由算法

葛 斌 代 陈 嵇介曲 吴 波

(安徽理工大学计算机科学与工程学院 淮南 232001)

摘 要 针对 LEACH 算法中簇头能量消耗过快的缺陷,提出一种基于分组的无线传感网多轮分簇路由算法 LEACH-G。在分簇过程中采用分组的策略,利用信标节点 signpost,在选出簇头之前承担通信任务,均衡整个网络能耗,并在簇头选取阈值中引入节点与基站之间的距离以及能量参数,降低网络能耗。仿真结果表明,与 LEACH 相关算法相比,LEACH-G 算法能够有效降低节点 10%~15% 的平均能耗,延长网络生命周期,提高簇头工作效率。

关键词 分组,多轮分簇,信标节点,降低能耗,无线传感网

中图分类号 TP393 文献标识码 A

Grouping-based Wireless Sensor Network Multi-rounds Clustering Routing Algorithm

GE Bin DAI Chen JI Jie-qu WU Bo

(College of Computer Science and Engineering, Anhui University of Science & Technology, Huainan 232001, China)

Abstract A grouping-based wireless sensor network multi-rounds clustering routing algorithm(LEACH-G) was proposed, which aims at the defects of the energy consumption of cluster head in LEACH algorithm. Grouping strategies are used in the clustering process, and signpost is used for communication to balance the entire network energy consumption. The factors of energy and the distance between nodes and the base station in the cluster heads selection threshold for reducing network energy consumption are introduced. The simulation results show that compared with correlation algorithm about LEACH, the new algorithm can effectively reduce 10%~15% of the average energy consumption of node, significantly extend the network life cycle, and improve the efficiency of the cluster head.

Keywords Grouping, Multi-rounds of clustering, Signpost, Energy consumption reduction, WSN

1 引言

作为一种全新的信息获取模式和处理方法,无线传感器网络(Wireless Sensor Network, WSN)现在已成为海内外备受关注的研究热点。WSN 是 Ad hoc 网络的一种,由大量部署在监测区域内的传感器节点组成,搜聚网络覆盖范围内感知对象的信息,采用多跳的无线通信方式,将收集、处理后的信息提供给终端用户^[1]。WSN 的网络支持并不固定,具有迅速展开、容错性强等特点,可广泛应用于军事、环境监测和预报、医疗护理、建筑物状态监控和城市交通等商业领域,以及空间搜索和灾难抢险等特殊领域。

近年来,随着 WSN 越来越广泛的应用,研究人员对其做了大量的研究,提出了多种路由改进算法和分簇协议。在分簇结构中,最有影响力的代表性算法是 Heinzelman 等人^[2-3]提出的 LEACH(Low Energy Adaptive Clustering Hierarchy)算法,其核心理论是以轮转的策略任意选取簇首节点,使无线传感网络的能量损耗能够均匀分拨到每个传感器节点中,从而达到降低网络能量消耗、提高网络生存周期的目的。陈庆章等人提出的 EEDRCP^[4]是针对 LEACH 算法进行改进的

一种双轮成簇算法,它在簇头选取过程中引入剩余能量参数,对簇头选取阈值进行了优化,构造了混合型网络拓扑结构。

Younis 等人提出的 HEED 算法^[5]旨在选出分布更加均匀的簇头,在簇头选择中优化了节点的剩余能量,并根据主从关系形成了多个约束条件共同作用于簇头的簇头选择过程。Manjeshwar 等人提出的 TEEN 协议^[6]为缩减发送数据的次数,设置了硬、软两个阈值,通过改变二者的值,达到在精度要求和系统能耗之间取得合理平衡的目的。

上面的几种算法围绕簇的形成、簇头的选取和网络的数据传输进行了研究,然而,这些算法多数假设 CH 可以直接与 BS 进行通信^[7],这对 WSN 的大部分应用环境是不现实的,CH 与 BS 的直接通信势必导致 CH 能量消耗过快,从而形成“死簇”。本文针对此问题,在 LEACH 算法的基础上提出了一种基于分组的簇头间协作路由算法 LEACH-G。通过测量节点和基站之间的距离、簇头和基站之间的距离以及节点的能量,计算传输时延,并建立了一个新的簇头选取阈值,使 CH 之间可以高效协同地实现与 BS 的可靠通信,降低 CH 能耗,适应不断扩大的网络规模并保持较长的网络生存期。

本文受国家自然科学基金面上项目(61370088),安徽省自然科学基金面上项目(1408085ME110),安徽省高等学校省级自然科学研究重大项目(KJ2013ZD09)资助。

葛 斌(1975—),男,博士,教授,主要研究方向为物联网技术、智能控制技术,E-mail:bge@aust.edu.cn;代 陈(1989—),男,硕士,主要研究方向为物联网技术,E-mail:157814715@qq.com;嵇介曲(1991—),女,硕士,主要研究方向为信息安全,E-mail:2273031343@qq.com;吴 波(1989—),男,硕士,主要研究方向为物联网技术,E-mail:1974075745@qq.com。

2 模型建立

2.1 网络模型

参考文献[8-9],本文对无线传感器网络的分簇研究作出如下假设:

网络中存在一组信标节点,WSN中的每个节点测量自己到 s_p 的传输时延(RTT),将RTT值升序排序,序列值记作该节点所属分组(记作 G)。其核心思想是:实际地理位置邻近的节点拥有相同 s_p 序列值的可能性大,把具有相同序列值的节点归为一组。如图1所示,假设节点 S_1 到信标节点 S_1, S_2, S_3 和 S_n 的RTT值分别是353ms,125ms,254ms和231ms,则分组序列值为 $S_2 S_n S_3 S_1$;节点 S_2 到信标节点 S_1, S_2, S_3 和 S_n 的RTT值分别是338ms,102ms,298ms和154ms,则分组序列值为 $S_2 S_n S_3 S_1$ 。可以看出,尽管它们的RTT值不同,但 S_1 和 S_2 的分组序列值却是一致的,因此二者属于同一分组 G 。

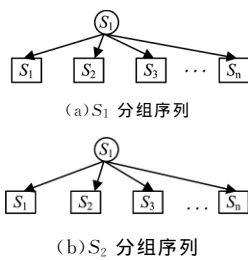


图1 分组序列示例

本文设计的簇头间协作路由算法只需使用1bit信息表示PING和ECHO,因此测量RTT的开销可以忽略不计。每个节点只需分别测出自己到 s_p 的传输时延,无需知道 s_p 之间及其他节点与 s_p 之间的传输时延。对于某个 s_p 失效的情况,本文所提算法具有较强的鲁棒性。例如,当一个或多个 s_p 失效时,新加入的节点可以根据现有的 s_p 进行排序,而原来的节点只需将那些失效的 s_p 从序列中删除即可。

2.2 能耗模型

本文用CH的平均能量消耗(E_{CH})来评估算法的性能,依据文献[11-13]的模型,如图2所示,设 E_{elec} 为传输线路上的能耗, ϵ_{amp} 为传输增益, E_{DA} 为数据聚合所需能量。每个传感器节点的传输耗能为:

$$E_{Tx}(k, d) = E_{elec} \cdot k + \epsilon_{amp} \cdot k \cdot d^\lambda \quad (1)$$

接收耗能为:

$$E_{Rx}(k) = E_{elec} \cdot k \quad (2)$$

其中, k 是消息长度,单位为bit; d 是发射节点和接收节点之间的距离, λ 是链路丢失指数。每个CH的耗能为:

$$E_{CH} = E_{Tx}(c \cdot n \cdot k, d) + n[E_{Rx}(k)] + n[E_{DA}] \quad (3)$$

其中, c 为数据压缩系数, n 为总节点数。本文仅计算通信能耗,忽略节点在计算、存储等过程中的能量消耗。

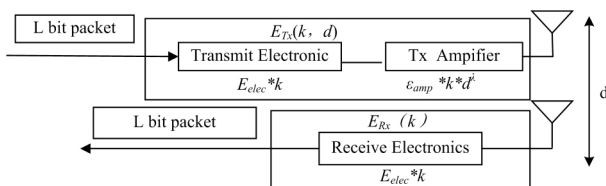


图2 传感器无线电能消耗模型

2.3 簇头选举概率

通过对LEACH算法的性能分析可知,理想的数据汇聚

节点不宜采用已当选为簇头的节点。根据文献[3,9],为了解决这个问题,新算法考虑了能量的因素、节点与基站之间的距离因素,提出新的阈值 $T(n)$ 可被计算为:

$$T(n) = \begin{cases} \frac{P}{1 - P * [r \bmod (1/P)]} \\ [1 + \text{div} \frac{G_k}{g_k} \cdot \frac{D_{\max} - D_i \text{ to BS}}{D_{\max} - D_{\min}} \cdot (1 - \frac{E_c}{E_i})], & \text{if } n \in G \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases} \quad (4)$$

其中, P 是簇头在所有节点中所占的百分比,决定了每轮产生的簇头数量; r 是选举轮数, $r \bmod \frac{1}{P}$ 代表一轮循环中当选过簇首的节点个数; G_k 是第 k 组的节点总数; g_k 为第 k 组中期望的簇头个数; E_c 为本轮节点的剩余能量; E_i 为初始能量; D_{\max} 和 D_{\min} 分别表示节点距离基站的最大和最小距离; G 是未当选过簇首的节点集合。 div 定义为整除操作^[13],根据整除操作的特点,式(4)的第一部分计算可分为两种情况:

1)若整除部分不可以整除,则返回值为0,节点仍会像LEACH算法一样进行簇头的选择;

2)若整除部分可以整除,则返回值为1,簇头将根据节点和基站的距离因素以及节点剩余能量进行选择。

在LEACH算法中,并没有充分考虑节点能量的因素,针对此不足,EEDRCP算法在簇头选取阈值的过程中引入剩余能量参数 $E_{r_current}$,以期提高网络性能。本文针对两者缺陷提出式(4),根据这种计算方法,簇头将更多地根据节点和基站的距离以及节点剩余能量进行选择,这时更靠近底部的节点站将被选为簇头。这种改进需要将节点剩余能量和距离因素考虑在内,而衡量距离的因素便是每个节点到 s_p 的传输时延(RTT)。通过此方式计算阈值。

3 算法分析

3.1 存在条件

为了尽可能增加分组内相对剩余能量较高的节点或距离基站较近的节点成为簇头的概率,本文拟对无线传感器网络作出如下设置:

1)传感器节点位置随机分布,可获知自己的位置信息,不因基站的位置而改变。

2)整个操作过程中,节点离开部署后无人看管。电池充电和更换几乎是不可能的^[15],基站对节点能源没有限制,可以判断节点的地理位置。

3)每个节点要具有一定的初始能量 E_i ,且节点能量可异构,各节点独立工作,不受其他节点的影响,且都存在担任簇头的可能。

4)每个传感器节点具有同样的特征(检测、处理和通信),且能动态地改变基于RSSI值^[16]的传输功率。

5)传感器节点之间的通信是多跳-对称通信,存在一个固定的发送功率(Broadcast power)用以广播消息,并且该功率必须能够覆盖整个监测区域内所有分组的传感器节点。

3.2 步骤分析

LEACH-G算法的执行步骤如下。一轮簇头选择过程如图3所示。

1)传感器节点随机部署完成后,每个节点测量自己到 s_p 的传输时延(RTT),将RTT值升序排列,并将信息反馈给基

站,根据 RTT 值确定距离大小,进行分组。

2) 分组完成后,在各组内进行簇头的选取。各组内节点向路标节点发送 Signpost_Msg 消息(包括节点距离基站的最大和最小距离、节点自身的初始能量以及剩余能量等),路标节点 sp 根据式(4)计算得到该组中每个节点的初始簇头选取阈值 $T = \{T(n) | n=1, 2, 3, \dots\}$,然后将每组内各个节点的簇头选取阈值以一个固定的发送功率(Broadcast power)广播出去。

3) 每个节点随机选取一个随机数,并与 T 值进行比较,进而确定在分组中最适合担任簇头的节点。

4) 簇头确定之后,便在所归属分组内向外发送 CH_Msg 消息,普通节点根据接收 CH_Msg 消息的强弱获取与簇头之间的距离,使所有普通节点都能收到 CH_Msg 消息,保证了普通节点的加入。

5) 普通节点接收到 CH_Msg 消息,在经过一轮 ROUND-TIME 的工作时间后,将各簇头节点的剩余能量和所属分组的平均能量进行比较,如果簇头的剩余能量大,则保持当前普通节点和簇头节点的状态不变;否则,循环步骤 2)~步骤 4)。

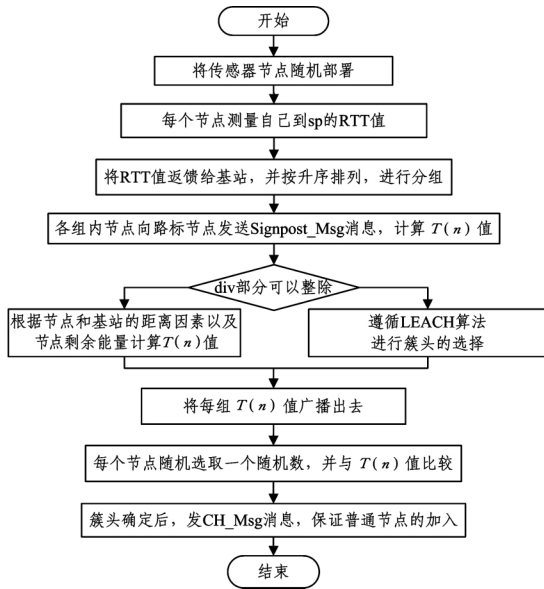


图 3 一轮簇头选举过程流程图

4 仿真及结果分析

4.1 仿真环境

为了评估本文所提算法的性能,利用 MATLAB 在相同条件下仿真 LEACH 算法、EEDRCP 算法和本文所提算法,参数设置如表 1 所列,并在多项性能上进行比较^[17]。

表 1 MATLAB 网络仿真参数表

参数名	参数描述	值
E_0	各节点初始能量	0.05J
E_{DA}	数据聚合所需能量	5nJ/bit/signal
E_{dec}	数据聚合所需能量	50nJ/bit/signal
Signpost_Msg	路标节点消息	200bit
CH_Msg	簇头广播消息	25bit
λ	链路丢失指数	3(簇内通信), 5(CH与BS的通信)
c	数据压缩系数	10%
d	发射节点和接收节点之间的距离	9m
n	总节点数	100

4.2 仿真结果分析

根据表 1 所设置的参数进行仿真实验,图 4 显示了利用 MATLAB 在一个正方形区域随机仿真的 100 个传感器的分

布情况,每个节点具有相同的初始能量 E_0 。图 5 和图 6 分别显示了通过 LEACH 算法和 EEDRCP 算法模拟选出的 20 个簇头节点,图 7 则显示了通过本文提出的 LEACH-G 算法模拟选出的 20 个簇头节点(圆圈部分)。从图 4 和图 5 可以看出,相比 LEACH 算法,EEDRCP 算法模拟选出的簇头节点的分布更加合理,而图 6 中选出的簇头节点的分布明显更加均匀,不会导致某些节点过快耗尽能量,因此能够更好地保证负载均衡。

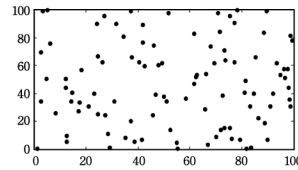


图 4 传感器分布示意图

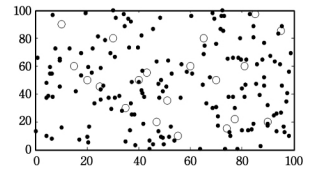


图 5 LEACH 算法的簇头分布

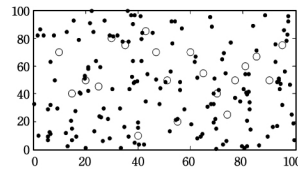


图 6 EEDRCP 算法的簇头分布

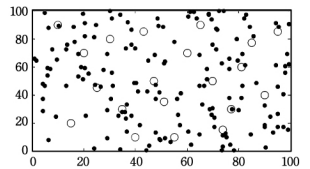


图 7 LEACH-G 算法的簇头分布

图 8 为 3 种协议在相同传感器节点数量下 CH 的平均能耗,其中“ $sp=5$ ”和“ $sp=10$ ”表示 sp 的数目分别取 5 和 10。从仿真结果可以看出,无论信标节点是 5 个还是 10 个,新提出的 LEACH-G 算法的平均能耗都比 LEACH 算法和 EEDRCP 算法要低,能够有效降低节点 10%~15% 的平均能耗。根据前文可知,新提出的计算阈值将更多地根据节点和基站的距离以及节点的剩余能量进行簇头的选择,CH 总是选取距离自己最近的节点;且当 div 的计算为 0 时,其仿真结果与 LEACH 的相同,因此新算法耗能至少低于 LEACH 算法。

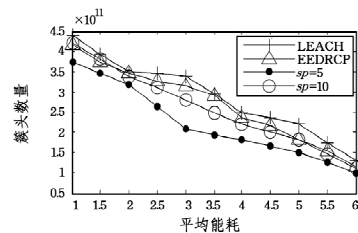


图 8 不同传感器节点数量下 CH 的平均能耗图

LEACH-G 算法的另一目的不在于构造理想的精确的路由协议,而是为了能够适应网络的可扩展性,减少每个 CH 的能量消耗。仿真结果还表明:当 sp 数目增多时,算法的性能将随之下降,这是由于随着 sp 数目的增多,测量传输时延 RTT 的工作量加大,耗能也会随之增大,性能下降。

LEACH-G 算法旨在通过分组来均衡网络能耗,图 8 为 3 种簇头选择算法总开销的比较,以验证本文算法的有效性^[18]。文献^[19]定义网络节点死亡 10% 以上时为网络失效,从图 9 可以看出,三者中第一个节点死亡轮数分别为 10、20 和 80,LEACH-G 算法第一个节点的死亡时间和网络失效时间都明显晚于 LEACH 算法和 EEDRCP 算法,LEACH-G 算法比 EEDRCP 算法延长了约 3 倍的生存周期,具有更长的网络生存时间。由于本文算法在簇头选举之前有信标节点 sp 代为通信,减缓了簇头的任务压力,第一个节点的死亡时间自然也较晚,平衡了无线网络的整体能耗。

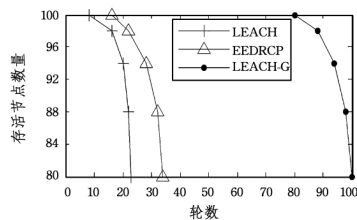


图9 存活节点与轮数的关系

随着网络的运行,节点将进入死亡状态,簇头数目也将随之减少,用有限的簇头数量覆盖更多的节点则显得尤为重要。图10比较了3种算法中平均簇头数量与生存周期的关系,可以看出,在相同轮数的情况下,LEACH-G算法的平均簇头数量多于LEACH算法和EEDRCP算法,覆盖范围也较大,提高了簇头的工作效率。

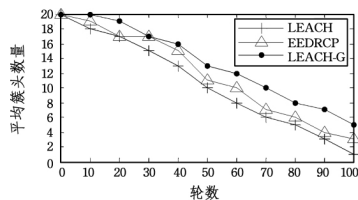
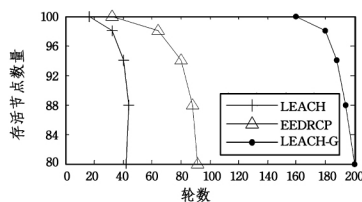
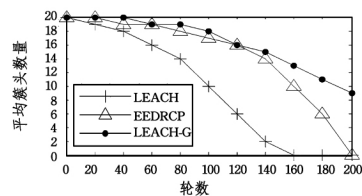


图10 平均簇头数量与轮数的关系

下面将节点初始能量 E_0 的值设置为 $0.5J$,在其他条件不变的情况下进行仿真实验,以验证LEACH-G算法的有效性。从图11可以看出,当节点的初始能量增加到 $0.5J$ 时,其第一个节点死亡轮数仍然明显晚于LEACH算法和EEDRCP算法,死亡轮数为160;图12中簇头数量的优势明显, $T(n)$ 考虑了初始能量,对能量参数进行了优化,因此节点初始能量的大小并不影响其算法性能。

图11 $E_0=0.5J$ 时存活节点与轮数的关系图12 $E_0=0.5J$ 时平均簇头数量与轮数的关系

结束语 已有的分簇算法多数假设CH可以直接和BS进行通信,然而这对WSN的大部分应用环境是不现实的,CH与BS的直接通信必然导致CH能量损失过快,造成“死簇”。本文针对这个问题,在分析已有的LEACH算法的基础上提出了LEACH-G算法。它首先计算普通节点与信标节点的传输时延,并进行分组,通过引入一个新的簇头选举阈值,通过 s_p 和CH共同分担能耗压力,使CH之间可以高效协同地实现与BS的可靠通信,降低CH能耗,保持较长的网络生存期并适应不断扩大的网络规模。仿真结果表明,与已提出的LEACH算法相比,新算法选举的簇头的位置更加合理,可以更好地均衡WSN的能耗,具有更好的性能。

参考文献

- [1] 李洪兵,熊庆宇,石为人. 无线传感器网络非均匀等级分簇拓扑结构研究[J]. 计算机科学,2013,40(2):49-52.
- [2] HEINZELMAN W R, CHANDRAKASAN A. Balakrishnan. Energy efficient communication protocol for wireless sensor networks[C]// Proceedings of the 33rd Annual Hawaii International Conference on System Science, Hawaii, 2000:10-15.
- [3] MOOTAGHI S, ZAHABI M R. Optimizing LEACH clustering algorithm with mobile sink and rendezvous nodes[J]. AEU—International Journal of Electronics and Communications, 2014, 69(2):507-514.
- [4] 陈庆章,赵小敏,陈小莹. 提高无线传感器网络能效的双轮成簇协议设计[J]. 软件学报, 2010, 21(11):2933-2943.
- [5] YOUNIS, FAHMY S. HEED: a hybrid, energy-efficient distributed clustering approach for ad hoc sensor networks[J]. IEEE Trans. Mobile Computing, 2004, 3(10):366-379.
- [6] MANJESHWAR A, AGRAWAL D P. TEEN: A protocol for enhanced efficiency in wireless networks[C]// Int'l Proc. of the 15th Parallel and Distributed Processing Symp. San Francisco: IEEE Computer Society, 2001:2009-2015.
- [7] 侯彦军,谭国真. 一种WSN分簇路由协议研究和实现[J]. 计算机科学, 2015, 42(5):160-164.
- [8] 邓亚平,陈峥. 能量负载均衡的无线传感网分组成簇协议[J]. 计算机应用, 2011, 31(6):1465-1468.
- [9] PENG H, WANG J, SHI P, et al. An automatic clustering algorithm inspired by membrane computing[J]. Pattern Recognition Letters, 2015, 68:34-40.
- [10] SHRAMA R, MISHRA N, SRIVA-STAVA S. A proposed energy efficient distance based cluster head (DBCH) Algorithm: An Improvement over LEACH[J]. Procedia Computer Science, 2015, 57:807-814.
- [11] AMINE D, NASSREDDINE B, BOUABDELLAH K. Energy Efficient and Safe Weighted C-clustering Algorithm for Mobile Wireless Sensor Networks [J]. Procedia Computer Science, 2014, 34(34):63-70.
- [12] BARANIDHARAN B, SANTHI B. DUCF: Distributed load balancing Unequal Clustering in wireless sensor networks using Fuzzy approach[J]. Applied Soft Computing, 2015, 40:495-506.
- [13] MAHAJAN S, MALHOTRA J, SHARMA S. An energy balanced QoS based cluster head selection strategy for WSN[J]. Egyptian Informatics Journal, 2014, 15(3):189-199.
- [14] 曹建玲,陈永超,任智,等. 基于多轮分簇的无线传感器网络路由协议[J]. 计算机科学, 2013, 40(7):67-70.
- [15] DU T, QU S N, LIU F G, et al. An energy efficiency semistatic routing algorithm for WSNs based on HAC clustering method [J]. Information Fusion, 2015, 21(1):18-29.
- [16] KANNAN G, RAJA T S R. Energy efficient distributed cluster head scheduling scheme for two tiered wireless sensor network [J]. Egyptian Informatics Journal, 2015, 16(2):167-174.
- [17] 孙彦清,彭舰,刘唐,等. 基于动态分区的无线传感器网络非均匀成簇路由协议[J]. 通信学报, 2014, 35(1):198-206.
- [18] MALATHI L, GNANAMUTHY R K, CHANDRASEKARAN K. Energy efficient data collection through hybrid unequal clustering for wireless sensor networks[J]. Computers and Electrical Engineering, 2015, 48(c):358-370.
- [19] 卿利,朱清新,王明文. 异构传感器网络的分布式能量有效成簇算法[J]. 软件学报, 2006, 17(3):481-489.