

基于分簇和定向扩散混合路由协议的研究

李兰英, 宋健伟

(哈尔滨理工大学 计算机科学与技术学院, 黑龙江 哈尔滨 150080)

摘要: 分簇算法是无线传感器网络路由算法研究的主要方向之一. 为了解决无线传感器网络中网络节点能量负载不平衡的问题, 提出基于分簇和定向扩散混合路由算法的方案. 将传感器节点分簇, 簇间通信采用定向扩散算法, 充分考虑能量均衡的问题, 从而实现整个网络的能量消耗更加均衡, 最大限度地延长网络生命周期的目的. 仿真表明, 该混合算法能量均衡性更好, 能提供更长的网络生命周期.

关键词: 无线传感器网络; 分簇算法; 定向扩散; 能量均衡

中图分类号: TP393 **文献标志码:** A **文章编号:** 1007-2683(2010)04-0073-04

Research of Routing Protocol Based on Clustering and Directed Diffusion

LI Lan-ying, SONG Jian-wei

(School of Computer Science and Technology, Harbin University of Science and Technology, Harbin 150080, China)

Abstract: Clustering algorithm is one of the main research directions in routing algorithm in wireless sensor networks. A clustering and directed diffusion routing algorithm for wireless sensor networks is proposed to solve the problem of imbalance in energy load for clustering algorithms. Sensor nodes are divided into clusters, and the algorithm uses directed diffusion in inter-cluster. The algorithm can make the whole network energy consumption more balanced and maximize the system's cycle. The result of simulation shows that the algorithm is more balanced in energy load and provides longer network lifetime.

Key words: wireless sensor network; clustering; directed diffusion; energy balancing

0 引言

无线传感器网络 (Wireless Sensor Network, WSN) 是一种新型的、无基础设施的、自组织的无线网络^[1-2]. 与其他无线网络相比, 具有硬件资源有限、电源容量有限、以数据为中心、自组织、多跳路由、动态拓扑、节点数量众多且分布密集等特点^[3]. 因此 WSN 存在严重的能量约束问题. 所以, WSN 路由算法的目标就是要高效地利用传感器节点的能

量, 延长网络的存活时间. 近年来, 研究人员提出了多种 WSN 的分簇路由协议. LEACH^[4] 是最早提出的分簇路由协议. 其基本思想是: 节点自组织成不同的簇, 每个簇只有一个簇首. 各节点独立地按照一定概率决定自己是否做簇首, 周期性地簇首选举和网络重组过程, 避免了簇首节点能耗过多而影响网络寿命的情况.

LEACH 簇头选择机制表明, 在理想条件下, 即在网络中所有节点配置的初始能量相同和在每一轮中节点消耗的能量相同的条件下, 算法可以保证将

整个网络的能量负载平均分配到每个传感器节点中,实现网络能量消耗的均衡性,即网络中所有节点因能量耗尽而几乎在同一时间死亡,从而使网络具有很强的生命力.实际上,由于网络中每个簇的成员数量各不相同,各个簇头到基站的距离不同,因而在每轮结束后,节点的能量消耗差异很大.算法正是由于在成簇过程中未能考虑节点的能量,因而无法真正实现将能量负载平均分配到每个传感器节点的设计要求,网络中节点负载不平衡问题依然存在,使得 LEACH 在实际应用中面临困难,这也是 LEACH 算法本身存在的不足之处.

定向扩散是一种以数据为中心的路由算法.主要特点是在数据扩散的过程中,计算出代价较低的数据通路,进行比较直接、方向明确的数据传输.汇聚(Sink)节点的业务查询作为对某些数据的兴趣被注入网络,并在网络中扩散.兴趣扩散的同时也在网络中建立若干梯度.当监测节点(源节点)获得与兴趣相匹配的监测数据时,根据建立的梯度,将数据沿不同的路径传到 Sink 节点.定向扩散算法使用洪泛广播的机制进行兴趣的传输和路径的加强,在这一过程中必然存在大量的无效处理和能量耗费.因此,如何有效地减少和平衡网络中各节点的能量消耗,延长网络的寿命是 WSN 中一个亟待解决的问题,也是 WSN 路由协议设计的关键问题之一.

本文提出了一种基于分簇和定向扩散的混合路由算法.算法采用二层架构模型,上层是簇间层,主要任务是通过簇头间的路由将簇内的数据发送给汇聚节点(Sink).下层是簇内层,负责定期收集所需信息.利用分簇算法把传感器节点分簇,在簇内,传感器节点在数据采集过程可以利用簇结构实现数据融合,簇头节点负责簇内信息的收集和数据的融合处理,在簇间层,应用定向扩散算法,当 Sink 节点进行兴趣传播或者源节点向 Sink 节点传输数据时,就可以利用已经建立的簇结构进行传输,减少洪泛的广播包数量,从而降低网络能量消耗,高效均衡地利用能量,以达到延长网络生命周期的目的.

1 混合路由算法设计实现

在研究分簇和定向扩散混合路由算法时,将传感器节点分簇,利用簇结构,对兴趣扩散洪泛机制进行改进,可以节约大量能量.根据数据传输速率来确定梯度,在兴趣扩散过程中,最先到达目标节点的兴趣数据包所走路径即为最佳路径.因此,在仿真程序

设计中,主要比较参数是网络的生命周期和网络平均能量消耗.

1.1 簇结构的建立

分簇算法的基本思想是通过每一个节点,根据其所在簇的局部信息,估计自身在本轮结束后的能量水平,以确定自己在下一轮中的阈值,从而使能量高的节点拥有更多担当簇头的机会,达到使网络能量消耗更加均衡的目的.因此,节点能量水平的确定是分簇算法的关键.

在分簇算法中,为了保留分簇算法,尽可能低地控制开销,算法采用节点的剩余能量与节点所在簇的平均能量的比例来衡量节点在该轮结束后的能量水平.具体的实现方法如下:假设在第 r 轮开始时,节点 i 根据收到的广播信息的强度决定加入第 j 簇,则节点 i 在向第 j 簇的簇头发送请求加入信息的同时,携带自己当前的能量.簇头节点根据接收到的加入请求数可以确定本簇的节点总数和本簇的当前总能量,然后根据文 [6] 中无线通信能量模型,估算出本簇在本轮(即第 r 轮)通信中所需要消耗的能量,得到第 r 轮结束后本簇的平均能量,并在向本簇成员节点发送 TDMA 时隙表时将这一平均能量告知簇内成员节点.簇内节点在第 r 轮结束后,就可以根据自身当前的剩余能量,确定自己的能量水平,即节点的剩余能量与节点所在簇的平均能量的比值.

1.1.1 簇内节点能量水平估计

设在 $M \times M(\text{km}^2)$ 的平面内均匀分布着 N 个传感器节点,在第 r 轮共成 k 个簇,在第 $j(1 \leq j \leq k)$ 簇内共有 C_j 个传感器节点,簇内节点 $i(1 \leq i \leq C_j)$ 的当前轮(即第 r 轮)的起始能量为 $E_{\text{begin-node}}(i)$,则第 r 轮第 j 簇当前的起始总能量为

$$E_{\text{begin-node}}(j) = \sum_{i=1}^{C_j} E_{\text{begin-node}}(i).$$

根据文 [6] 中无线通信能量模型及最优簇头数计算方法可知第 r 轮第 j 簇内节点的消耗的能量为

$$E_{\text{consume-node}}(i) = \begin{cases} lE_{\text{elec}}C_j + lE_{\text{DA}}C_j + l\zeta_{\text{mp}}d_{\text{tosink}}^4 & (i \text{ 是簇头}) \\ lE_{\text{elec}} + l\zeta_{\text{fs}}\frac{1}{2\pi k^2}M^4 & (i \text{ 不是簇头}) \end{cases}$$

其中, l 是节点发送或接收数据的 bit 数; E_{elec} 是发送电路和接收电路消耗的能量,在这个模型里面两者相等; E_{DA} 是簇头进行数据融合时消耗的能量; ζ_{mp} 和 ζ_{fs} 是信号放大器的放大倍数; d_{tosink} 是簇头节点到汇聚节点的距离.

在第 r 轮,第 j 簇消耗的总能量为

$$E_{\text{consume-total}}(j) = \sum_{i=1}^{C_j} E_{\text{consume-node}}(i) = (lE_{\text{elec}}C_j + lE_{\text{DA}}C_j + l\zeta_{\text{mp}}d_{\text{tosink}}^4) + (C_j - 1) \left(lE_{\text{elec}} + l\zeta_{\text{fs}} \frac{1}{2\pi k^2} \right)$$

在第 r 轮结束后,第 j 簇总的能量为

$$E_{\text{end-total}}(j) = E_{\text{begin-node}}(j) - E_{\text{consume-total}}(j).$$

所以第 r 轮结束后,第 j 簇平均能量为

$$E_{\text{end-average}}(j) = \frac{E_{\text{end-total}}(j)}{C_j}.$$

所以节点 i 在第 r 轮结束后的剩余能量为

$$E_{\text{end-node}}(i) = E_{\text{begin-node}}(i) - E_{\text{consume-node}}(i).$$

可以获得节点 i 在第 r 结束后的能量水平为

$$\rho(i) = \frac{E_{\text{end-node}}(i)}{E_{\text{end-average}}(j)}.$$

这表明在第 r 轮结束后,第 j 簇内剩余能量高的节点,其能量水平也高.

1.1.2 簇头选举算法

设 P_{opt} 表示优化簇头比例,即簇头节点数在网络

的节点总数中所占的比例,根据文 [5] 可得 $P_{\text{opt}} = \frac{k_{\text{opt}}}{N}$.

由上式并根据节点在第 r 轮结束后的能量水平,给出节点在第 $r+1$ 的平均选举概率 $P(i) = P_{\text{opt}}\rho(i)$. 可获得节点在第 $r+1$ 的阈值为

$$T(i) = \begin{cases} \frac{p(i)}{1 - p(i) \left(r \bmod \frac{1}{p(i)} \right)} & (i \in G) \\ 0 & \text{其他} \end{cases}$$

$$\begin{cases} \frac{P_{\text{opt}}\rho(i)}{1 - P_{\text{opt}}\rho(i) \left(r \bmod \frac{1}{P_{\text{opt}}\rho(i)} \right)} & (i \in G) \\ 0 & \text{其他} \end{cases}$$

表明节点的剩余能量越高,其出任簇头的概率越大,簇头轮转周期越短.

1.2 分簇在定向扩散中的应用

Sink 节点进行兴趣扩散时,会沿簇头节点进行扩散,目标节点的感知数据不再直接传递给梯度较高的节点,而是将该信息传递给其簇头,由簇头节点传递给相邻的簇头节点,直至 Sink 节点. 在实际环境中源节点可能有另外更短路径到达 Sink 节点,但建立分簇结构后却必须通过簇头节点进行转发,因此在一定程度上可能会导致数据传输的延迟. 另外兴趣包中附加的分簇信息增加了数据传输的能量消耗. 但在簇结构建立以后,兴趣扩散过程可以通过建立的簇结构进行传播,在簇头节点获得其成员节点信息后,簇头节点就可以判断该兴趣是否有必要转发给其成员节点. 这样大大减少了扩散数据包的数量.

另外,簇头节点通过数据融合同样会减少网络传输数据包数量,因而使整个网络的能量消耗降低,网络寿命延长.

1.2.1 兴趣数据包结构

监控中心需要某种数据时,会产生一个兴趣,兴趣就是监测任务,目的是为了获得特定的数据. 每个节点在缓存中存储所接收到的兴趣,缓存中的条目都是不同的兴趣值. 这样每个节点都有已经收到的兴趣,可以进行添加、查询、更新和删除. 每项兴趣包包含一个时间标签域和若干个梯度域. 收到新的兴趣后,节点会查询已接收到的兴趣,有匹配则认为是周期性兴趣或者是邻接节点转发的同一兴趣. 节点也会定期检查时间标签,如果过期,则把兴趣删除.

1.2.2 兴趣扩散过程

当节点 B 收到从邻节点 A 传送来的兴趣后,它会搜寻自己的兴趣列表里是否存在与之对应的兴趣记录,依据的规则就是兴趣匹配原则. 如果兴趣列表中并没有与新收到的记录匹配的条目,那么将建立一个新的兴趣记录. 这时,兴趣记录中将唯一的一个指向兴趣发送方 A 节点的梯度,并附带数据传输率信息和有效期信息. 如果已有指向 A 的梯度,这时,只需要将该记录中的初始时间字段和匹配梯度中的有效字段更新. 若兴趣记录中梯度项的有效期过期,该梯度项会被删除. 当一个兴趣记录中的梯度表为空时,该兴趣记录项也要从兴趣列表中删除.

节点 B 收到一个兴趣后,还要考虑是否将该兴趣再传递给它的邻节点. 兴趣扩散会沿簇头节点进行传输,簇头节点会将该消息传递给其邻接簇的簇头节点. 而普通节点收到兴趣后,只检查自己是否为目标节点不会转发该兴趣,附上本节点的状态信息.

1.2.3 感知数据传递过程

当兴趣传递到目标节点时,目标节点搜集到感知信息后,直接发送给其簇头节点,簇头节点根据路由信息,将数据发送到 Sink 节点.

2 仿真和结果分析

2.1 仿真环境

为了评价改进后路由协议的性能,用网络仿真工具 OPNET [6] 进行了仿真比较. 从不同网络范围的平均能耗、网络生存时间方面评价改进后的性能. 在仿真环境中,使用 100 个无线传感器节点和 1 个固定位置的 Sink 节点, Sink 节点远离感知区域,每个无线传

传感器节点的初始能源为 2 J, 数据包大小为 500 byte, 元数据大小为 25 byte, 节点空闲和睡眠的能耗为: 0 W, 发送/接收电路能耗为: $50 E_{DA} (\text{nJ} \cdot \text{bit}^{-1})$, Free-space 模型放大倍数为: $10 \zeta_{fs} (\text{pJ} \cdot (\text{bit} \cdot \text{m}^{-2})^{-1})$, Two-ray ground 模型放大倍数为: $0.0013 \zeta_{fs} (\text{pJ} \cdot (\text{bit} \cdot \text{m}^{-2})^{-1})$, 数据融合能耗为: $5 E_{DA} (\text{nJ} \cdot \text{bit}^{-1})$ (pre: leach; post: 混合路由算法)。

2.2 仿真结果

图2是网络的平均剩余能量图,可以看出,随着面积的增加,改进后算法的性能优于 LEACH. 随着网络规模的扩大,LEACH 消耗的平均能量较多,因为簇间采用单跳通信,随着距离的增加,平均能量消耗上升. 另外数据传输之前没有进行数据融合,也是导致平均能耗上升的原因之一. 说明改进后扩大了协议的应用范围.

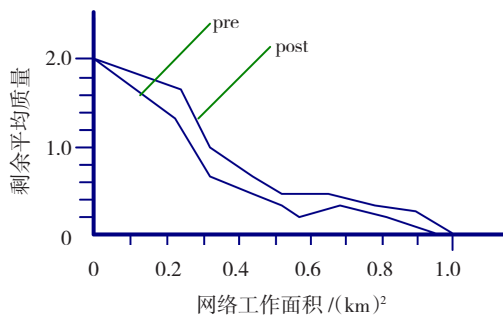


图2 网络的平均剩余能量

图3是测试网络的生存时间图,网络规模为: 无线传感器节点随机分布在 $10 \text{ km} \times 10 \text{ km}$ 的平面区域, Sink 节点远离感知区域, 其他条件同上. 从图3可以看出, 混合路由算法的节点生存时间相对 LEACH 有所提高, 在 300 s 时刻, 可见 Leach 和混合路由算法的剩余节点数分别为 78 和 82. 改进后的算法可以有效地延长网络的生存时间.

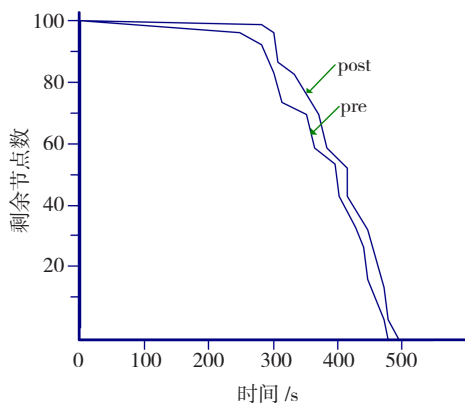


图3 网络生存时间

3 结 语

提出了一种分簇算法与定向扩散混合路由算法, 分簇算法采用簇头轮转方法, 并在簇头轮转过程中充分考虑了节点的当前能量. 算法基于簇的局部信息给出了评估节点当前能量水平的方法, 每个节点根据其所在簇的局部信息估计自身在本轮结束后的能量水平, 确定自己在下一轮的阈值, 调整节点出任簇头的概率, 分簇算法与定向扩散的结合, 使网络簇结构更加合理. 同样利用簇结构可以降低路由算法中数据传输的能量消耗, 增强对网络的管理. 但混合路由算法在一定程度上导致数据传输延迟的增加.

参 考 文 献:

- [1] 任丰原, 黄海宁, 林 闯. 无线传感器网络 [J]. 软件学报, 2003, (14) 7: 1281 - 1291.
- [2] 崔 莉, 鞠海玲, 苗 勇, 等. 无线传感器网络研究进展 [J]. 计算机研究与发展, 2005, 42 (1): 163 - 174.
- [3] 孙利民, 李建中, 陈 渝, 等. 无线传感器网络 [M]. 北京: 清华大学出版社, 2005: 54 - 77.
- [4] HEINZELMAN W R, CHANDRAKASAN A, BALAKRISHNAN H. Energy-Efficient Communication Protocols for Wireless Microsensor Networks [C] // Proceedings of the 33rd Annual Hawaii International Conference, On Systems Sciences, Maui, January 2000: 3005 - 3014.
- [5] YOUNIS S Fahmy. A hybrid, Energy-efficient, Distributed Clustering Approach for Ad-hoc Sensor Networks [J]. IEEE Trans, On Mobile Computing, 2004, 3 (4): 660 - 669.
- [6] SLINDSEY, RAGHAVENDRA C S. PEGASIS: Power Efficient Gathering in Sensor Information System [C] // In: Proc of IEEE Aerospace Conference, IEEE Aerospace and Electronic Systems Society, Montana, 2002: 125 - 1130.
- [7] 陈 敏. OPNET 网络仿真 [M]. 北京: 清华大学出版社, 2004.

(编辑: 付长缨)