

基于多跳聚合无线传感器网络的公平性竞争策略

缑西梅¹, 万润泽², 朱彦松¹

(1 中原工学院 计算机科学系, 河南 郑州 450007; 2 湖北第二师范学院 计算机学院, 湖北 武汉 430205)

摘 要: 为了降低节点间广播消息产生的冲突, 文中提出一种基于多跳路由的无线传感器网络环境中的公平性策略, 使得簇内节点在向簇首转发数据包时, 可以采用一种更为公平的方式竞争信道, 各层节点根据自己的权值大小获得发送数据包权限后在下一轮进入休眠状态, 在保证公平性的同时有效节省监听时耗费的能量, 达到提高网络生命周期的目的。

关键词: 无线传感器; 多跳; 分簇; 公平性

中图分类号: TP393

文献标识码: A

文章编号: 1000-7180(2010)08-0248-04

A Fair Competition Strategy for Multi-Hop Routing Algorithm in Wireless Sensor Networks

GOU Xi-mei¹, WAN Run-ze², ZHU Yan-song¹

(1 Department of Computer Science, Zhongyuan University of Technology, Zhengzhou 450007, China;

2 School of Computer Science, Hubei University of Education, Wuhan 430205, China)

Abstract: In order to reduce the collision of broadcasting message between all nodes, this paper presented a fair competition strategy for the multi-hop routing wireless sensor networks. The nodes in the clusters sending packets to the cluster headers would be more fair in competing the channels. They obtained permission to send data packets according to their own weights, and would go into hibernation in the next round, this method can save the energy in detection effectively to achieve the purpose of improving the network life time.

Key words: wireless sensor networks; multi-hop; clustering; fairness

1 引言

对于无线传感器网络来说, 传感器节点一般采用单跳或者多跳的方式与 SINK 进行通信, 因此整个覆盖区域内的所有节点必须受 MAC 协议控制共同竞争信道的容量。而系统容量与节点规模、覆盖面积、传输功率以及传感器节点分布等多种因素有关, 研究表明: 当节点增多时, 不仅节点间的信号干扰增加, 而且链路底层的链路冲突在所难免, 这将导致单节点单节点吞吐量急剧下降^[1]; 另一方面, 当覆盖面积增大时, 由于平均数据传输机会减少从而导致系统吞吐量下降。对于多跳成簇的环境而言, 越靠近

中心转发节点的传感器节点其转发流量负载越重, 易成为系统容量和可靠性的“瓶颈”。

此外, 无线传感器网络节点普遍采用了低功耗、低容量内存的单片机实现, 如 motorola 公司的 HCS08 芯片的微控制器, RAM 容量为 4KB, FLASH 容量为 60KB, 除了作为数据缓冲外, 还要用于程序运行, 因此缓冲资源非常有限。在很多情况下, 很可能由于缓冲区溢出造成关键数据的丢失^[2]。

因此, 有必要针对各竞争信道进行公平调度, 减少相互间通信干扰, 且可避免由于剩余能量较高的节点持续占有通信信道从而导致其相邻节点数据接收的数据量超过缓冲区容量, 触发重传机制造成网

络拥塞.文中提出一种基于多跳路由的无线传感器网络公平性策略,使得簇首节点在向相邻簇首转发数据包时,可以采用一种更为公平的方式竞争信道,降低链路冲突.此外,在实际应用中节点空闲侦听时消耗的能量占总能耗的较大比例^[3],文中提出的公平性策略中,通过对簇首节点的竞争权值的调整,让权值最低的簇首在下一个竞争周期自动进入休眠状态,而当通信事件发生时再进入活动状态的方法,能有效节省能量并减少信道间的干扰.

2 系统模型

文献[4]中提出过一种基于多跳的环切分层路由算法(Ring Layer Routing Algorithm),算法的主要思想是在随机选择簇头后,在簇内进行层次划分,按照普通节点能量消耗率和节点分布密度来确定环切分层数量,里层节点在把自身数据传输给汇聚点的同时,还融合并转发来自外层节点的数据,使得全局网络节点能量能均衡消耗.在前面研究的基础上,文中对单个簇内各层节点间建立的信道的竞争策略进行优化,各节点初始化后产生相同的权值,在每一轮数据传输结束后进行权值的再计算,上一轮发送数据的信道的权值归零,源节点进入睡眠状态,而竞争失败的节点的权值将按指数级递增,提高下一轮竞争成功的可能性.而权值相同的链路能否在下一时间片转发数据包,还要取决于是否满足簇内链路权值匹配集最大化的要求.簇内环切分层如图 1 所示.

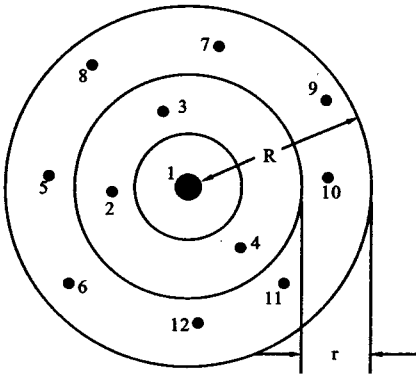


图 1 簇内环切分层

定义 1 有向图 $G = (V, E)$, 其中 V 表示网络中单个簇内各分层簇首节点的集合, E 为簇首间的链路集合. 若节点 u 和 v 之间有数据传输, 则边 $(u, v) \in E$. 图 2 给出一个网络拓扑结构图. 节点之间的连线表示经过某一链路的所有可能的流的集合

f_j .

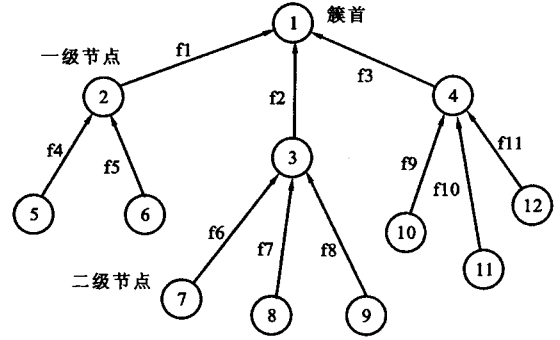


图 2 簇内各层节点构造的有向图

定义 2 匹配集 $I = \{\{f_1, f_6, f_9\}, \{f_2, f_4, f_9\}, \dots\}$, 集合中的每一个子集表示可以同时传输数据的链路.

为第 j 个流定义发送数据包的优先级权值 $w_j = \lambda^n$, 其中 n_j 为第 j 个流距离上一次传输数据包之后等待的时间片个数. 为了降低节点在权值计算时的复杂度, 同时又能保证权值的设定与节点剩余能量之间的关系, 即尽可能让剩余能量多的节点所在的链路适当地获得优先级, 从而提高整个网络的生命周期, λ 的取值设定为:

$$\lambda = 2E_{n_max} / (E_{Sj_current} + E_{Dj_current})$$

式中, $E_{Sj_current}$ 为链路的源节点的当前剩余能量, $E_{Dj_current}$ 为链路目的节点当前剩余能量, E_{n_max} 为节点初始能量.

在每一时刻选择权值之和最大的匹配集 $I(t)$, 用函数表示为 $i^* = \arg \max_{i \in I(t)} (\sum_{j \in I_i} w_j(t))$, 集合中的链路可在下一时间片传输数据, 然后其权值将设定成初始值 0. 该贪心算法保证了每条链路在 N 次传输之后至少能得到一次传递数据的机会.

3 最大匹配集的构造算法

为保证尽可能多的链路能够在某个单位时间片同时进行数据的传输并确保不产生冲突, 要找到一个包含各不冲突链路的最大匹配集, 步骤如下:

- (1) 区域内所有的链路都赋予初始权值 λ ;
- (2) 选取权值和最大的不冲突区域内的所有节点, 它们可以与相邻节点发送数据包;
- (3) 发送完毕后这些节点设置为接收状态, 即权值置为 0; 随后重复步骤(2);

以上策略能有效地降低整个网络环境中广播消息的复杂性跟时间损耗, 在网络越复杂的情况下效果越明显. 表 1 为各链路竞争信道的情况.

表 1 在最初各链路竞争信道情况

链路	头 10 个时间片各链路竞争信道情况									
f_1	λ	0	λ	λ^2	0	λ	λ^2	0	λ	λ^2
f_2	λ	λ^2	0	λ	λ^2	λ^3	0	λ	λ^2	λ^3
f_3	λ	λ^2	λ^3	0	λ	λ^2	λ^3	0	λ	λ^2
f_4	λ	λ^2	0	λ	λ^2	0	λ	λ^2	0	λ
f_5	λ	λ^2	λ^3	0	λ	λ^2	0	λ	λ^2	0
f_6	λ	0	λ	λ^2	λ^3	0	λ	λ^2	λ^3	0
f_7	λ	λ^2	λ^3	0	λ	λ^2	λ^3	0	λ	λ^2
f_8	λ	λ^2	λ^3	λ^4	0	λ	λ^2	λ^3	0	λ
f_9	λ	0	λ	λ^2	λ^3	0	λ	λ^2	λ^3	0
f_{10}	λ	λ^2	0	λ	λ^2	λ^3	0	λ	λ^2	λ^3
f_{11}	λ	λ^2	λ^3	λ^4	0	λ	λ^2	λ^3	0	λ

选取最初 0 ~ 9 时间片为一个周期 T , 单簇内的各层节点构成的链路对信道的竞争情况符合一般公平性要求, 根据各链路的源端进行统计得到各层节点转发数据的次数, 见表 2. 且可以推出随着转发轮数的增加, 各节点转发次数基本趋近于相等.

表 2 各层节点在周期内转发数据时间片数

节点	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
T_{trans}	3	2	2	3	3	3	2	2	3	2	2
T_{listen}	7	8	8	7	7	7	8	8	7	8	8
T_{sleep}	3	2	2	3	3	3	2	2	3	2	2

T_{trans} 表示在一个大周期 T 内普通节点发送数据的时间; T_{listen} 表示周期内节点的侦听时间; T_{sleep} 表示周期内节点的睡眠时间.

各节点需要通过相邻节点交换消息来确定在每一轮自己是否可发送数据包, 迭代算法如下:

步骤 1: 权值大于零的节点采用随机冲突检测的方法, 将自己的剩余能量大小广播给周围节点;

步骤 2: 各节点根据周围节点的能量大小计算出各条链路的权值, 并将包含有发起方和接收方 ID, 以及权值的消息包广播出去;

步骤 3: 每个节点接收到邻居发来的广播消息后, 选择权值最大的一个消息进行比较, 分三种情况进行讨论:

(1) 若可构成链路的消息中对方选取将自己做为下一跳节点, 并且该权值大于自己作为出发节点的权值, 接受并通知周围节点通过自己的链路已产生, 此前自它发送的建立链接请求信息无效; 并在下一个发送时刻没结束前再不作为任何发送端和接收端来接收邻居节点的请求消息.

(2) 如果自己发送的请求建立链接消息中包含

的权值最大, 等待目的节点的回复, 确定后即建立连接, 此后不再接收其他广播消息.

(3) 在收到周边左右邻居节点的已建立链接的消息后, 该节点如果还未包含在任何链路中将不在广播任何请求, 等待下一个时间片建立链接.

步骤 4: 经过多次广播后整个簇内建立最大匹配集合以及所对应的链路.

步骤 5: 属于最大匹配集内的节点开始转发数据, 发送完毕后自动将自己的权值设置为 0, 并在下一轮次自动进入休眠状态, 不参与消息的侦听.

基于上述调度要求, 节点 2 ~ 5 的状态转换如图 3 所示. 在公平调度策略中, 节点自适应地在活动状态和休眠状态交替. 当节点处于活动状态时, 可以接收和发送数据. 而当节点处于休眠状态时则关闭接收器, 以减少空闲侦听的能量消耗. 从表 2 看到, 在时间片 0 ~ 9 中, 一般节点休眠轮数为 2 ~ 3 次. 对于大规模传感器网络应用, 对于节点能量的节省, 提高网络生命周期是非常可观的.

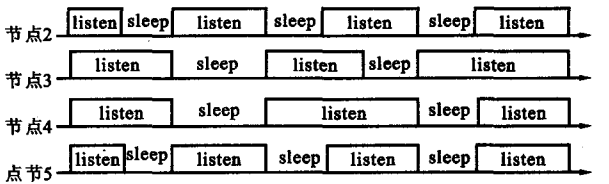


图 3 节点 2 ~ 5 在时间片 0 ~ 9 中的状态转换

4 实验结果与分析

为分析和比较新算法的性能, 通过 Java 语言编写的仿真程序来模拟该策略, 并结合 matlab 建立数学模型. 各实验参数: 网络覆盖范围 (0, 0) ~ (200, 200)m, SINK 节点位置 (100, 100), 网络节点数量 200, $E_{elec} = 50\text{nJ/bit}$, $E_{amp} = 100\text{PJ/bit/m}^2$, 数据报长度 $k = 1000\text{bits}$, 传感器初始能量 0.5J.

实验中对 HEED^[5], 先前工作中提出的 RLRA^[4]和应用了改进公平性策略的 RLRA 算法 (RLRA-F) 进行了仿真比较. 统计簇首在每轮中的能耗和, 结果如图 4 所示. 可以发现 RALA-F 和 RALA 相比 HEED 能耗较低, 且 RALA-F 的簇首能耗在每轮次中更平稳, 绝大部分轮次中, 簇首节点能耗低于 RLRA. 这是因为 RALA 的多层分簇中, 簇内低层节点将数据交给高层节点处理后再转发给簇首, 这样在数据接收上的耗能大大减少. 而 RALA-F 中应用的公平策略, 能降低高层节点竞争信道中广播消息产生的冲突. 图 5 为网络存活时间的比较, RALA-F 的存活时间略大于 RALA, 这是因为链路

的竞争更公平,从而使得各个节点的能耗能更均衡地下降。

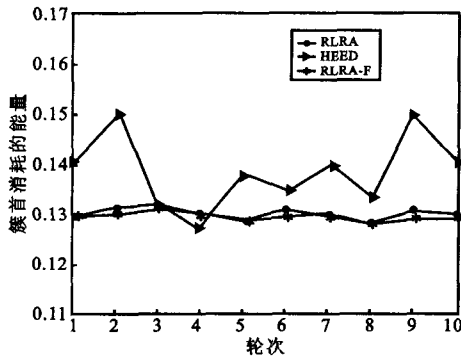


图4 簇首能耗比较

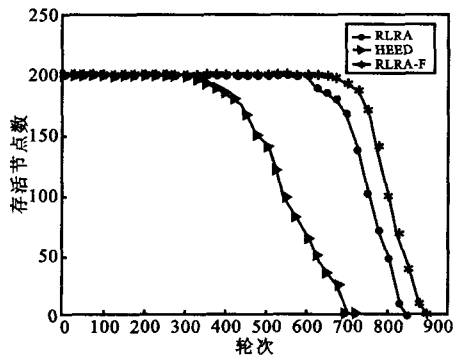


图5 各算法网络存活时间

为了更好地比较各算法延缓整个网络寿命的能力,根据文献[6]引入参数 node-EQS:

$$\text{node-EQS} = \sqrt{\sum_j (\sum_i S_i \cdot E | n - S_j \cdot E)^2},$$

其中, n 为节点总数, $S_i \cdot E$ 为节点 i 的剩余能量。从表达式可知,某一时间 node-EQS 值越小说明网络中各个节点的能量消耗越均衡,表明算法的能耗均衡性越好。图6表明 RLRA-F 这种公平性策略在节点能耗均衡方面起到很好的效果。

5 结束语

在传感器网络中,除了正常的数据收发消耗能量外,能量损耗还来自空闲侦听、碰撞冲突、串扰、控制信息开销和业务的波动性等几个方面^[7]。文中提出的公平性竞争策略可以让网络中的节点在占用信道后下一个时间片自动转入睡眠状态,其射频模块

处于非活动状态,节省能量。同时降低下一个时间片节点发生冲突的概率,减少信号间相互干扰,当节点密度很大或者需传输的数据很多时,能有效节约能量并延长网络的生命周期。

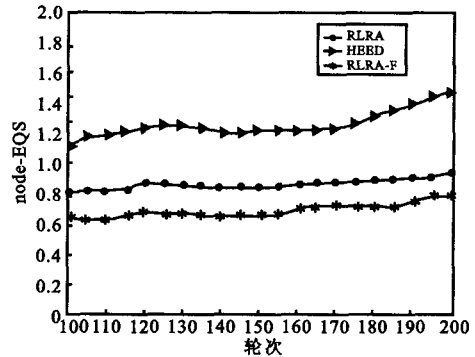


图6 节点能耗均衡性比较

参考文献:

- [1] Jangenu J, Sichitiu M L. The nominal capacity of wireless mesh networks[J]. IEEE Wireless Communications, 2003, 10(5):8-14.
- [2] 李迅,李洪峻. 无线传感器网络节点的公平缓冲队列管理[J]. 计算机工程与应用, 2008, 44(26):102-104.
- [3] Ye W, Heidemann J, Estrin D. An energy-efficient mac protocol for wireless sensor networks[C]// Proc. IEEE INFOCOM. New York, NY, 2002:1567-1576.
- [4] 蔡西梅,万润泽. 无线传感器网络的多跳分簇路由算法建模与实现[J]. 江西师范大学学报, 2008, 32(2):215-218.
- [5] Younis O, Fahmy S. Distributed clustering for scalable, long-lived sensor networks[R]. USA: Indiana, Purdue University, 2003.
- [6] 杜茜. 基于均匀分簇的无线传感器网络路由协议的研究[D]. 武汉:华中师范大学, 2007.
- [7] Ee C T, Bajcsy R. Congestion control and fairness for many-to-one routing in sensor networks[C]// Proceedings of ACM SenSys'04. Baltimore, Maryland, USA: 2004.

作者简介:

蔡西梅 女, (1970-), 讲师. 研究方向为分布式计算。

万润泽 男, (1981-), 硕士, 讲师. 研究方向为无线传感器网络。

朱彦松 男, (1979-), 硕士, 助教. 研究方向为计算机网络。