

一种风车形状层次结构的 WSN 组播模型

许建真, 李韩芬, 李方菊

(南京邮电大学 计算机学院, 江苏 南京 210003)

摘 要: 提出一种面向特定区域的高效节能的风车形状层次结构 WSN 组播模型(HWSM),该模型首先构建层次化风车环状结构,在每个环中选举出一个首节点,构成风车“轴心”,同时选举出来的各个首节点构成上一级风车环状结构.环内节点采用组播方式进行数据分发,由首节点通过辐射路由一次遍历其它所有节点,完成数据传输.仿真实验证明,该模型可降低环内节点的能量消耗,提高数据传输效率,延长网络生存时间.

关键词: 无线传感器网络;风车形状;分层结构;节能

中图分类号: TP393

文献标识码: A

文章编号: 1000-7180(2012)12-0145-04

A Wireless Sensor Network Multicast Model Based on Hierarchical Windmill Structure

XU Jian-zhen, LI Han-fen, LI Fang-ju

(College of Computer, Nanjing University of Posts & Telecommunications, Nanjing 210003, China)

Abstract: A region-oriented and energy-efficient WSN multicast model based on hierarchical windmill structure (HWSM) is put forward here. Firstly, it sets up hierarchical ring-type multicast model and elects one leader from each ring group. Then, all those leaders elected from each ring group compose the upper level ring. Leader adopts the traversal method to deliver data to all the other nodes of the ring group by means of flooding routing method. Simulation results prove that, this model can reduce the energy consumption and improve the data transmission efficiency as well as lengthening the survival time of WSN.

Key words: WSN; windmill structure; hierarchical; energy-efficient

1 引言

由于 WSN 传感器节点自身能量和通信能力有限,当某一个节点失效或能量耗尽时,会造成路由中断现象,而路由重建则增加了数据传输延迟,降低了网络健壮性.同时,节点间由于存在不必要的通信链路,增加了节点的能量消耗,导致网络总体生存时间较短.如何节能、延长网络生存时间是目前 WSN 要解决的重要问题之一.

组播路由的优点之一是可以高效率转发数据,从而有效降低网络的能量消耗,因此,将组播应用在 WSN 一对多的应用场景中可以有效延长 WSN 网络寿命^[1-4].点到多点通信模式的组播技术也成为 WSN 的一个重要研究方面^[5-6].

本文提出一种面向特定区域的高效节能的风车形状层次结构 WSN 组播模型 HWSM,该模型采用层次化组播以及一次遍历传输数据信息等技术手段,解决了 WSN 总体存活周期较短、节点能耗较大的问题.

2 HWSM 组播模型设计

为了能够尽可能延长传感器节点获取与发送感知数据的时间,应采用按需的方式来查询所需要的信息,使得节点大部分时间处于休眠状态,只有查询到来时才开始检测并报告数据.

2.1 覆盖网的拓扑结构

假定网络中的节点采用随机部署的方式,节点具有定位的功能. HWSM 在 Sink 节点和特定监测

区域之间建立多个转发组,其拓扑结构如图 1 所示. 由于在 WSN 中节点是随机分布在广泛的区域中的,节点部署较为分散,收集者要获得的数据一般是特定区域内的信息,从而可以通过使特定区域内的节点处于工作状态,区域外节点处于休眠状态来降低能量消耗.

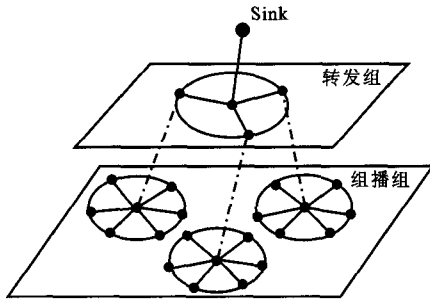


图 1 HWSM 模型拓扑结构

在 HWSM 模型构建的初始化时,由 Sink 节点广播要采集的监测区域的位置消息(MSG),整个区域中的节点根据现有的定位功能判断自己是否处于该监测区域内,若是,则加入构成风车环状结构的节点行列中,并且根据地理位置的远近或者采集数据的类型构成不同的风车环状结构;若否,则进入休眠状态.然后,在每个风车环状结构中选举出一个首节点,构成风车“车轴心”,该首节点管理和控制环内的其它成员节点.同时,选举出来的首节点映射到上一级结构并构成逻辑风车环状结构,也就是实现数据转发的转发组,从而构成以风车环状结构为基础的分层结构模型.

Sink 节点首先向最高层次环的首节点发送查询和控制信息,然后由该首节点通过一次遍历向本环内其它节点传送,再向下一层首节点辐射传输该信息,最后达到遍历监测区域中所有节点的目的.而组播组中的成员节点将采集到的数据信息传送给所在风车环状结构中的首节点,经转发组依次向上传输,最终传输到 Sink 节点.

2.2 覆盖网的组建及数据传输过程

在完成传感器节点投放工作之后,网络中存在一个唯一的 Sink 节点,部署在节点区域以外的某个位置.

初始化时,由 Sink 节点广播要采集的监测区域的位置消息(MSG),节点据此判断自己是否处于特定监测区域内.假设该特定监测区域内的节点数目为 M ,并且可以假设每个环结构中的节点数目最多为 m 个,则在该特定监测区域可以形成 $\lceil M/m \rceil = N_1$ 个风车环状结构,有 N_1 个首节点,这 N_1 个首节

点构成第二层风车环状结构的成员节点.同时,这 N_1 个首节点按照节点数目最多为 m 的原则,构成 $\lceil N_1/m \rceil = N_2$ 个第二层风车环状结构,这 N_2 个首节点继续构成第三层风车环状结构的成员节点,依此类推,直到构成的第 $i+1$ 层风车环状结构中成员节点数目 N_i 不超过 m ,停止构建风车环状结构,此时这 N_i 个首节点构成最高层次(第 $i+1$ 层)风车环状结构的成员节点,并选举出首节点与 Sink 节点进行通信.依据这个环形成规则,最终可形成 $i+1$ 层结构网络,并且只需经过 $i+2$ 次传输即可遍历该监测区域内节点.

2.2.1 首节点的选举

在构成的风车环状结构中,节点间使用单跳的通信方式.由于首节点负责数据的融合转发,需要消耗较多的能量,所以转发组和组播组中首节点选举的基本原则是选举节点中剩余能量较高及数据传输速率较大的节点作为首节点,保证了数据传输的可靠性.由于选举出来的首节点具有较高的剩余能量、较大的数据传输速率等较优的性能,它还可以与其它风车环状结构进行通信,并且可以作为 Agent 与上层网络进行通信.

为避免首节点因能量耗尽而过早失效的情况以及保持首节点具有较高的剩余能量,定义一个成为首节点的临界能量 $E_{critical}$,经过一定时间后,当首节点的能量小于临界能量时,进行新一轮的首节点选举.退出首节点的节点可以作为普通成员节点继续工作,经过一段时间后,网络中的存活节点数目不会急剧下降,对于延长网络生存周期具有重要意义.如果首节点因故障失效,则按照该首节点选举算法进行新一轮的选举,并及时更新消息.

每个节点都记录着五个参数信息:初始能量 E_{start} 、当前剩余能量 $E_{current}$ 、成为首节点的临界能量 $E_{critical}$ 、当前数据传输速率 $V_{current}$ 和最大数据传输速率 V_{max} , $E_{current}$ 是选择首节点主要考虑的因素,当前剩余能量越大被选举为首节点的概率就越大.

假设每个风车环状结构中的每个节点 a_j 在 t 时刻的剩余能量为 $E_{currentj}(t)$,节点当前数据传输速率为 $V_{currentj}(t)$,假设节点 a_j 在第 i 轮首节点选举中被选举为首节点的概率为 $Q_j(t)$,每个环结构中的节点数目最多为 m 个,则有

$$Q_1(t) + Q_2(t) + Q_3(t) + \dots + Q_m(t) = 1 \quad (1)$$

在节点工作一段时间之后,它们的剩余能量不一定相等,具有较高能量储备的节点被选举为首节

点的概率大. 节点成为首节点的概率模型为:

$$Q_i(t) = \left[\frac{E_{\text{current}_i}(t)}{E_{\text{start}}} \right]^\alpha \cdot \left[\frac{V_{\text{current}_i}(t)}{V_{\text{max}}} \right]^\beta$$

($\alpha > 0, \beta > 0$) (2)

其中, α, β 为加权因子, 其值由实际操作中设定.

2.2.2 覆盖网的建立

每一层风车环状结构中的首节点选举成功后, 各首节点将自己成为首节点的消息广播出去, 收到消息的节点更新相应的存储信息, 最终 Sink 节点获得该特定监测区域内首节点的信息, 同时 Sink 节点发送一个 Hello 消息表明已收到. 至此形成了从 Sink 节点到特定监测区域内节点的通信链路.

Sink 节点发送的数据包格式如图 2 所示. 包括数据包头和数据两部分, 其中数据包头中包含了 Sink 节点以及各层首节点的信息.

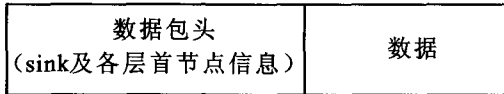


图 2 数据包格式

HWSM 模型的中间层环结构只负责将数据包转发到下层环结构, 最终到达监测区域, 组播组中的首节点将数据包打开获得 Sink 节点发送的查询控制命令, 并传输给环内的其它成员节点. 同样, 组播组中的成员节点将采集到的数据信息传输给各自的首节点, 依次向上传输, 最终传输到 Sink 节点.

2.2.3 覆盖网的维护

HWSM 模型采用按需的方式来查询所需要的信息, 普通成员节点和首节点中都有一定量的节点以及一定的时间段处于休眠状态, 这有助于降低能量消耗. 可以假定, 有查询的时候, Sink 节点通过发送 Hello 信号唤醒首节点以及普通成员节点, 使它们重新进入活跃状态. 如果是特定监测区域节点需要上传数据时, 则它们在这个情况下才变为活跃状态, 而首节点在接收到成员节点发送的数据时被触发, 进入活跃状态.

由于传感器节点能量有限, 某种情况下会出现一个或者多个节点能量耗尽或者失效的情况. HWSM 模型中某些链路会因此而中断, 这时风车环状结构中的首节点控制新的通信链路的形成, 首节点通知监测区域内处于休眠状态的节点, 代替失效节点功能, 重新优化并构建新的路由, 这样就保证了整个网络中链路的连通性, 并且剔除了不必要的通信链路, 节省了节点通信的能量消耗.

当有新节点投放到该网络时, 加入流程如图 3 所示.

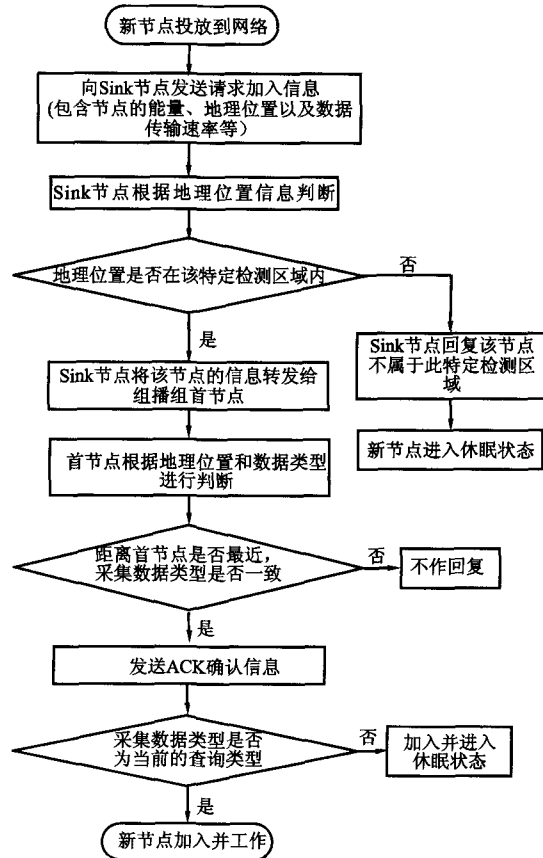


图 3 新节点加入流程图

对于首节点的有效性, 可以通过以下方法进行判断. 由 Sink 节点定期发送 Hello 信号给首节点, 如果 Sink 节点收到首节点的回复信息, 表明首节点状态正常, 否则判定该首节点失效, 并按照公式(2)重新选举首节点.

2.2.4 数据一次遍历传输

覆盖网建立之后, 开始进行数据传输. Sink 节点首先向最高层次环的首节点发送查询和控制信息, 然后由该首节点通过一次遍历向本环内其它节点传送, 再向下一层首节点辐射传输该信息, 最后达到遍历监测区域内所有节点的目的. 环结构中的成员节点按照收到的控制信息进行数据采集, 然后传送给所在环中的首节点, 首节点将接收到的信息进行汇总并向上一层首节点传输, 最后传送到 Sink 节点, 从而实现传感器节点的数据信息采集任务.

由于所有节点距首节点只有出度 1 的最近距离, 从而可以在最短路径上最快获得数据, 这样降低了监测区域内的节点的能量消耗上, 从而降低 WSN 总体能量消耗, 延长 WSN 的生命周期.

3 仿真与结果分析

本文从一定时间后网络中能量消耗以及存活节点数目两个方面进行了仿真分析。

仿真得出的网络中能量消耗情况如图 4 所示。在 GeoCast 模型中,由于数据传输路径不一定是最优的,而且传输路径较长,因此节点能量消耗较大。在 HWSM 模型中,由于所有节点距首节点只有出度 1 的最短距离,可以在最短路径上最快获得数据,监测区域内节点向首节点传输数据时采用一次遍历传输,这样使得监测区域内的节点在能量消耗上达到最小化,从而降低 WSN 总体能量消耗。随着时间的增长,能量消耗的增长趋势较为缓慢。

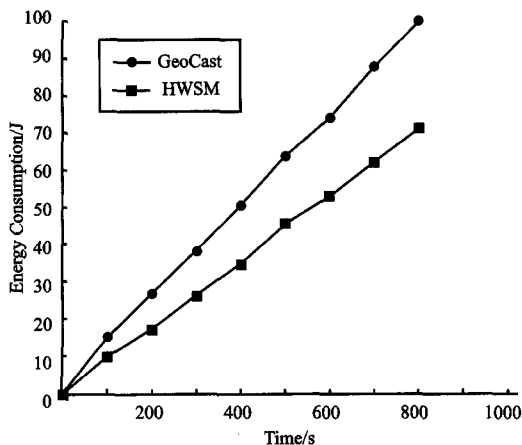


图 4 网络中节点能量消耗与时间的关系

经过仿真得出网络中存活节点数目与时间的关系图如图 5 所示。仿真结果表明,随着时间的增加,采用 GeoCast 模型的网络中,路由路径得不到保证,消耗了过多的能量,距离 Sink 节点越远的节点死亡越快。在 HWSM 模型中,组播组和转发组都采用首节点选举算法选举具有较高剩余能量和较大传输速率的首节点,同时设定成为首节点的临界能量,避免首节点因能量消耗过快而死亡的情况。另外,采用的层次化结构使得数据传输的链路数大大减少,从而降低了通信开销,延长节点存活时间。

4 结束语

针对传感器节点功耗高、使用寿命短的问题,本文提出了面向特定监测区域的 HWSM 组播模型。该模型在中间层次结构中采用多转发组模式,建立了稳定的通信链路,提高了网络健壮性,并且对于 i 层结构,只需经过 $i+1$ 次传输即可遍历监测区域内所有节点,降低了数据延迟。在首节点选举过程中综合考虑了监测区域内节点的剩余能量和数据传输速

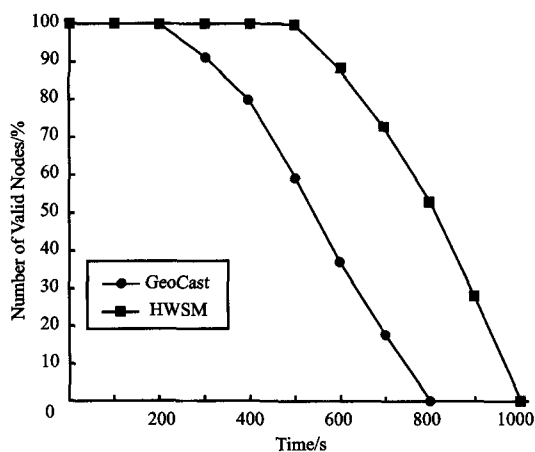


图 5 网络中存活节点数目与时间的关系

率问题,改善了首节点的能耗问题,有效降低了网络中节点的失效率。

参考文献:

- [1] 余向阳. WSN 研究综述[J]. 单片机与嵌入式系统应用, 2008(8):17-21.
- [2] Ahmed D T, Shirmohammadi S. Architectural analysis of multicast routing protocols for wireless Ad Hoc networks[C]//Proc of ICN'07 Sainte-Luce, Martinique, France: [s. n.], 2007.
- [3] 宋震, 周贤伟, 林亮. 链路可靠的无线传感器网络组播路由协议[J]. 电子学报, 2008, 36(1): 64-69.
- [4] SáSilva J, Camilo T, Rodrigues A, et al. Multicast in wireless sensor networks—the next step[C]//Proc of Wireless Communications and Networking Conference. [S. l.]: IEEE Press, 2007.
- [5] Ko Yong-Bea, Nitin H Vaidya. Ceocasting in mobile Ad Hoc networks: location-based multicast algorithms [C] //Proceedings of the Second IEEE Workshop on Mobile Computer Systems and Applications. Washington: IEEE Computer Society, 1999: 101-110.
- [6] 范容, 潘雪增, 傅建庆, 等. 基于 Steiner 树的层次型无线传感器网络安全组播协议[J]. 传感技术学报, 2011, 24(4): 601-608.
- [9] 高德民, 钱焕延, 陈继光, 等. 面向特定区域的 WSN 组播路由协议[J]. 计算机工程, 2011, 37(19): 88-90.

作者简介:

许建真 男, (1966—), 博士, 教授. 研究方向为计算机通信与网间互联技术.

李韩芬 女, (1988—), 硕士研究生. 研究方向为计算机通信与网间互联技术.

李方菊 女, (1988—), 硕士研究生. 研究方向为计算机通信与网间互联技术.