

Routing Algorithm Based on Regional Regenerated Tree for Data Aggregation in Wireless Sensor Networks *

SONG Juan , JIN Xin-yu *

(College of Information , Zhejiang University , Hangzhou 310027 , China)

Abstract : Sensor networks differ from traditional adhoc networks in several ways: sensor networks have severe energy constraints , redundant low-rate data , and many-to-one flows. Based on these characteristics , a novel routing algorithm based on regenerated-tree for data aggregation was proposed. In this scheme , the node in sensing region which is nearest to the sink acts as the region aggregation point. All other nodes in sensing region send their data to this region aggregation node along the regenerated-tree , then , sends the aggregation information to the sink along the shortest path. Experimental results show that the data aggregation scheme can cause fewer transmissions and a bit shorter transmission delay.

Key words : wireless sensor networks ; data aggregation ; data-centric ; general routing tree ; regional regenerated tree

EEACC :6150P

无线传感器网络中基于区域再生树汇聚的路由算法 *

宋 娟 ,金心宇 *

(浙江大学信息学院 ,杭州 310027)

摘 要 : 传感器网络具有严格的能量限制 ,冗余的低速数据流和多对一的通信方式等不同于传统 Ad Hoc 网络的特点 ,针对这些特点 ,提出一种区域再生树汇聚的路由算法。算法中将传感区域内部的所有传感器节点采集的数据沿区域再生树的父子关系层层汇聚到传感区域内离 Sink 点最近的区域汇聚点 ,再将汇聚的数据通过全局路由由树形成的最短路径传递给 Sink 节点。仿真结果显示区域再生树的数据汇聚能够减少数据传输量 ,并具有较小的传输时延。

关键词 : 无线传感器网络 ;数据汇聚 ;以数据为中心 ;全局路由树 ;区域再生树

中图分类号 :TP393 ;TP919.2

文献标识码 :A

文章编号 :1004-1699(2008)07-1190-05

无线传感器网络是指由大量的通过无线联网的传感器节点构成的网络 ,是一种全新的信息获取和处理技术 ,它采用 Ad Hoc 方式配置大量微型的智能传感节点 ,通过节点的协同工作来采集和处理网络覆盖区域中的目标信息^[1]。无线传感器网络在环境与军事监控 ,地震与气候预测 ;地下、深水以及外层空间探索等许多方面都具有广泛的应用前景^[2-3]。由于无线传感器网络与传统网络相比有许多不同的特性^[4-5] ,能量受限 ,以数据为中心 ,节点分布又极其稠密。无线传输一个字节所消耗的能量比计算一个字节所消耗的要高几个数量级 ,这些大量

的节点 ,在短时间内产生大量数据如果不加以处理而直接传输 ,会给无线传感器网络造成网络拥塞现象 ,也会导致节点能量耗尽、网络寿命缩短。因此 ,如何实现路由算法中数据的局部处理再传输 ,是无线传感器网络中关键技术之一。而传统 Ad Hoc 网络中的路由协议不适用于无线传感器网络。

为了尽量延长资源受限的传感器网络的生命期 ,一个十分有用的技术是在传感器网络的路由中采用数据汇聚机制^[6-7]。其主要思想是将多个不同源节点传来的数据进行融合 ,消除冗余 ,减小数据传输量 ,从而节省能量。

基金项目 :浙江省科技计划项目(2005C31001)

收稿日期 :2007-12-26 修改日期 :2008-01-18

本文将数据汇聚与树结构路由思想相结合,提出的一种区域再生树汇聚的路由方法,在传感区域内将数据沿再生树层层汇聚到区域汇聚点,然后经由最短路径传输给 Sink 汇聚点。该方法满足无线传感器网络能源受限、路由传输以数据为中心的数据融合要求,且数据传输的平均时延较小。

1 全局路由树

无线传感器网络中的数据大多都是从传感区域中的多个源节点传递到一个汇聚节点(sink)。通常方法就是在多个源节点和汇聚节点之间构建一个路由树,通过该路由树可实现两个功能:将查询请求无重复地传递给网络中的所有节点;提供一个或多个路径将数据从多个源节点传递到汇聚点。

在基于树的路由策略中,汇聚节点广播一个消息,要求其它传感器节点来构建一个路由树,在此消息中,指明了它的 id 号和距离(到汇聚点的跳数,开始值为 0)。其余节点接收到该消息后,将接收到的距离数加 1,作为本节点的距离,并记录该消息的发送者作为其父节点,同时成为消息发送者的子节点;由此可将数据传递到汇聚节点。

每个节点都继续广播本节点的 id 号和距离,直到网络中所有的节点都拥有了一个距离和父节点(每个节点的父节点唯一)。这个全局路由树的建立是后续区域数据汇聚的基础。通常情况下,由于传感器网络比较稳定,在一定时间里要考虑的是能量消耗的问题,而不是节点移动的问题;因此全局路由树的重构可以结合继父节点和 Sink 重构定时器来完成。这样,即使在网络中有个别节点的移动、添加或者失效的情况,都能及时更新拓扑结构适应这种改变。

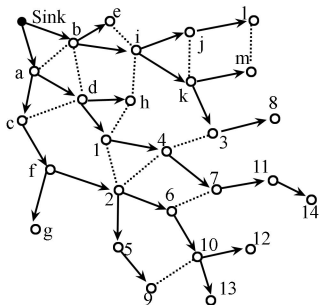


图 1 全局路由树的建立

全局路由树的建立过程如图 1 所示。距离初始值为 0,a,b 节点收到广播消息后,将 Sink 节点设为父节点,距离加 1,Sink 则将 a,b 设为子节点;a、b 分别向下游寻找分支;a 发送消息(本节点 id、距离 1),若 b 可以收到 a 的消息,因为 b 已经有父节点,则将 a 设为继父节点 1(按照收到时间先后,可能还

有继父节点 2、3 ……n),同理,a 收到 b 的消息,将 b 设为继父节点 1;c 节点由于没有父节点,所以首次收到 a 节点消息后,得到父节点为 a,距离为 2,同时成为 a 的一个子节点;d 节点假设先收到 a 节点的消息,则将 a 设为父节点,d 成为 a 的一个子节点,若 d 又收到 b 的消息,则将 b 设为继父节点 1,而后 d 又收到 c 的消息,则将 c 设为继父节点 2;c 同样若收到 d 的消息,则将 d 设为继父节点 1;如此直到所有节点之间建立了这样的树结构然后结束。其中的原则主要有:若自己还没有父节点,则先收到哪个节点的消息就将该节点设为父节点,并不再改变。

若自己已经有父节点,那么其后再收到任何节点的消息,按照接收到的先后顺序,设为继父节点 1、2、…、n。图中实线箭头是路由树结构中父到子的链路方向,虚线表示两节点之间可以通信,互为继父节点,但不构成父子关系。

2 区域数据汇聚

减少数据最基本的原则是消除冗余信息。由于在一个区域内所发生的事件具有高度的相关性,因此区域内的节点所获得的信息具有很大的冗余性,于是通过汇聚可以大大地减少数据的尺寸。数据汇聚可以分为无损和有损两种。无损汇聚中,保留了全部的信息。一种无损汇聚的方法是时间戳汇聚法,时间戳汇聚法主要用于远程监控中,事件由许多包含时间戳的属性构成。不同的事件实际上可能在某段事件之内是相互关联的,重复性的冗余信息可以去掉。还有一种无损汇聚是打包汇聚,多个独立的信息包压缩或无压缩地汇聚成一个信息包,这样节省了各个包独立发送时附加的发送开销。有损汇聚包括求均值、方差、最大值、最小值、区间分布等,根据不同的应用进行选择或综合。

为了实现用最小的能量消耗来传输数据,本文提出一种传感区域再生树的方法来进行数据汇聚。方法是首先找到传感区域内最佳汇聚节点,再以该节点为根节点,在所要传感的区域内重新构建一个路由树。以后,传感区域内的节点都沿着这个汇聚树先将数据汇聚到各自的父节点,这样层层处理后最终传递给传感区域内的根节点,然后再沿着全局路由树中的最短路径传递到汇聚点(sink)。

2.1 传感区域再生树

假定在传感器网络中各节点具有相同的有效通信距离。称两个节点是相邻的即存在一条通信链路,当且仅当这两个节点在彼此有效通信距离之内。假定相邻节点之间的链路是对称的,则传感器网络

的拓扑结构可以看作是一个简单连通无向图 $G = (V, E)$, 其中 V 为所有节点构成的顶点集合, E 为所有链路构成的边集合。当然在传感器网络中, V, E 都不会为空集, 否则不能连接成为网络。

定义 G_1 是 G 的一个连通子图, $G_1 = (V_1, E_1)$, V_1 至少包括了汇聚点和传感区域内的所有节点, 称 G_1 为 G 的区域再生树。

通过区域再生树 G_1 , 传感区域内的所有节点将传感数据沿区域内的父子关系逐层汇聚给离 Sink 点最近的区域汇聚点, 然后由区域汇聚点沿最短路径将汇聚数据发送给 Sink 汇聚点, 这样节点之间传输的次数最少, 数据量最小, 则传输代价最小。

2.2 区域再生树的构建

Sink 节点接收到传感任务时, 就会开始沿全局路由树无回路地广播一个查询消息 Q 给网络内的所有节点, 这个查询消息包括一个传感类型 Type、传感区域范围 Area 和节点距离 D (发送消息的节点离 Sink 节点的跳数)。初始的查询消息 Q 的一个例子如下:

Type = 温度; Area = [区域中心坐标 (60, 60), 半径 10]; $D = 0$

每个接收到该查询消息 Q 的节点判断自己的位置是否处于传感区域 Area 之内, 如果不在, 则继续将该消息往其子节点广播。

一旦某个节点收到消息 Q , 且判断出自己的位置在传感区域 Area 之内, 则在此消息中添加属性 AreaAssembleNodeId (该节点的 id) 和 space (该节点到 Sink 的跳数), 从而形成了一个新的任务消息 Q_n , 然后按照全局树生成原则, 以自己为区域汇聚点向区域内邻居节点发出路由树建立消息, 这样区域内多数节点收到的就是 Q_n 而不是 Q 。可能会出现多个区域边界节点都收到 Q 的情况, 则这些节点竞争选举唯一的区域汇聚点, 举例说明如下。

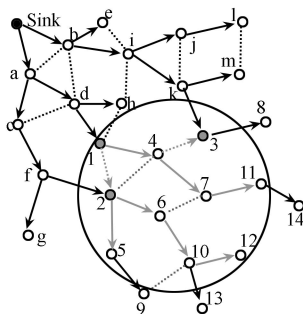


图2 区域再生树的形成

如图2中节点1、2、3都有可能收到 Q_n 前就收到来自区域外的消息 Q , 则称1、2、3是区域汇聚点的竞争节点。由于节点1距离最短(离 Sink 节点最

近, 为3), 最先收到消息 Q , 所以最先发出区域路由树的建立(以自己为区域汇聚点)。节点4收到节点1的请求后, 将节点1设为区域父节点, 然后继续向其它邻居节点发送请求消息; 当4收到节点3的路由树建立请求时, 4比较两次请求消息的 space, 由于1发起的请求消息中 space 较短(为3), 而节点3的较长(为4), 所以节点4不再转发节点3的路由树建立请求, 而把节点3纳入自己的子节点, 继续节点1的路由树建立; 如果 space 相同, 则任选其一。同理, 节点2也被节点1纳入子节点, 继续向下游进行路由树建立。最后, 终能够在区域内形成以节点1为区域汇聚点的路由树。

此后, 末梢节点沿区域再生树的走向将传感数据按新建立的区域父子关系, 一级一级汇聚到节点1, 然后由节点1将整个传感区域的汇聚结果沿全局路由中父子的逆向路径传递给 Sink 节点, 如图3所示。

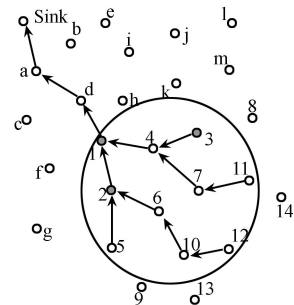


图3 区域数据汇聚路线

2.3 继父节点与区域树的再利用

全局路由树在第一次查询建立后, 树结构在一定时间内是不变的, 期间可能会出现父节点能量消耗较大, 或者某个子节点与父节点通信不上的情况, 如父节点故障, 此时在继父节点中选择 id 号最小的作为父节点的替代, 保证距离较小的情况下通信的畅通。Sink 节点以后每次发起查询请求时, 都会检查定时器, 以确定是否进行全局路由树的重构。

另外, Sink 节点可以存储最近3次查询的情况, 包括: 区域范围、区域汇聚点 id 和区域汇聚点到 Sink 的最短路径(如图3中节点1到 Sink 的最短路径为3)。当再次进行传感区域查询时, Sink 节点到存储区中比较区域范围, 如果与某次查询的范围相差在允许范围内, 直接将查询消息依父子关系的最短路径(如: Sink -> a -> d -> 1) 发往历史区域汇聚点1, 区域中依据当前的区域汇聚点形成的区域再生树直接进行数据汇聚, 不再进行区域汇聚点的竞争选举, 此方法用来减少对相似区域多次查询带来的通信冗余。

3 算法仿真

本文选用事件驱动和面向对象的网络仿真工具 NS2 作为仿真平台^[8]对汇聚策略进行了性能评估。仿真模型为事件半径模型,即在观测区域内,随机选取一个坐标作为事件中心,然后选取所有节点中(Sink 节点除外)到该中心距离不超过探测半径的节点作为源节点。主要分析能量节省和传输时延。

3.1 仿真环境

传感器网络模型的主要参数如下:网络规模是 100 个节点,其中包括 99 个无线传感器节点和 1 个固定位置的 Sink 节点,无线传感器节点随机分布在 100 m ×100 m 的观测区域内,MAC 层采用 802.11 协议,无线传输为双向无差错通信。

传感器网络的汇聚点设置在左上角,传感区域是一个圆形区域,按等概率随机分布于 100 m ×100 m 的区域中。

为了测试区域再生树汇聚的性能,将和无汇聚、随机汇聚两个方法进行性能比较。无汇聚是指传感范围内的所有源节点都各自沿着自己的最短路径到达汇聚点,即使有的传输路径有重合,也不会进行数据包的汇聚。随机汇聚策略是指传感范围内的节点各自沿着自己的最短路径到达汇聚点,如果相互之间有路径重合,则从路径重合的地方开始进行数据汇聚,这种重合地方是随机发现的,不是特意产生的。

3.2 性能分析

图 4 和图 5 是节点通信半径以及探测半径(传感区域半径)变化时,3 种不同汇聚策略平均传输数据包数量的比较。从图中可以看出无汇聚需要传输的数据包的数量最多,随机汇聚次之,区域再生树的汇聚策略数据包的数量最少,从而消耗的能量最小。可见,有数据汇聚的策略由于将多个数据包汇聚成一个数据包,大大减少了传输的数据包的数量。特别是当通信半径较小,而探测半径较大时,区域再生树汇聚明显优于前两种汇聚策略。通信半径小,意

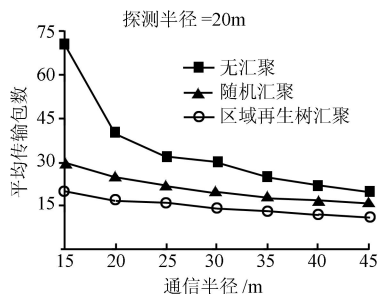


图 4 节点通信半径变化时网络能量消耗比较图

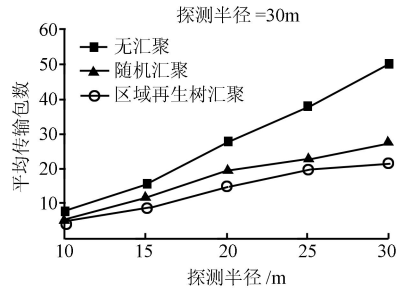


图 5 节点探测半径变化时网络能量消耗比较图

味着源节点到 Sink 节点需要经过较多的中间节点,即源节点离 Sink 节点比较远;探测半径大,意味着平均选取的源节点数目比较多。也就是说,当源节点数目比较多,而且离 Sink 节点比较远的情况下,区域再生树汇聚算法有明显的优势。

图 6 是节点通信半径变化时,3 种不同策略从传感区域传输数据到汇聚点的传输延迟比较。传播时延是传感器节点将传感数据从源节点传输到汇聚点 Sink 所用的时间。从图中可看出,区域再生树汇聚策略能获得相对较小的时延。原因是区域再生树汇聚策略能够大大减少传输的数据包的数量,而且具有历史记忆查询功能,从而大大减少了传输量,也就减少了产生拥塞的可能性,从而获得最小的时延。

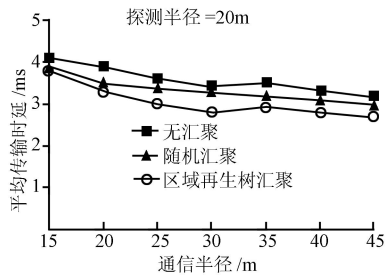


图 6 节点通信半径变化时平均传输时延比较图

4 结论

传感器网络采用的是以数据为中心的路由,当采用数据汇聚的策略后,能大大减少传输的数据包的数量,从而节省了能量。本文提出的一种区域再生树汇聚的路由方法,是在传感区域内采用再生路由结构进行数据汇聚,然后经由最短路径传输给汇聚点(Sink)。该方法能减少能量消耗,并减少数据传输的平均时延,仿真实验也表明了这一特点,因此该方法可以大大提高传感器网络的生存期。

参考文献:

[1] Tilakk S, Abu-GH Azaleh NB, Heinzelman W. A Taxonomy of Wireless Micro-Sensor Network Models[J]. Mobile Computing and Communications Review, 2002, 1(2): 1-8.
 [2] Estrin D, Govindan R, Heideman J, et al. Next Century

- Challenges. Scalable Coordination in Sensor Networks[C]// Proc. of the 5th annual ACM/IEEE International Conference on Mobile Computing and Networking. Seattle, Washington, 1999. 263-270.
- [3] 任丰原, 黄海宁, 林闯. 无线传感器网络[J]. 软件学报, 2003, 14(7): 1282-1290.
- [4] Akyildiz IF, Su W, Sankarasubramaniam Y, et al. A Survey on Sensor Networks[J]. IEEE Communications Magazine, August 2002, 40(8): 102-114.
- [5] 林亚平, 王雷. 传感器网络中一种分布式数据汇聚层次路由算法[J]. 电子学报, 2004, 32(11): 1801-1805.
- [6] Samuel Madden, Michael J Franklin, Joseph M Hellerstein. TAG: a Tiny Aggregation Service for Ad-Hoc Sensor Networks[C]// 5th annual symposium on operating systems design and implementation, 2002: 44-56.
- [7] Erdal Cayirci. Data Aggregation and Dilution by Modulus Addressing in Wireless Sensor Networks[J]. IEEE communications letters, 2003: 7(8): 355-358.
- [8] 于斌, 孙斌, 温暖, 等. NS2 与网络模拟[M]. 北京: 人民邮电出版社, 2007.



宋娟(1980-),女,61398部队助理研究员,电路与系统专业硕士研究生。研究方向为无线通信与无线网络, xiaohanhuayu@126.com



金心宇(1958-),男,教授,硕导,主要从事网络通信与智能仪器的研究, jxy@zju.edu.cn

WWW.CHAPEL.HILL.EDU