

能量有效的无线传感网连通支配集构建算法

孔凡凤,周子杰

(湖南邮电职业技术学院,湖南长沙 410015)

【摘要】无线传感器网络在数据传递过程中容易造成广播风暴,导致能量消耗过多,且不能适应网络的动态拓扑结构变化。文章提出了一种基于连通支配集的无线传感器网络能量有效算法,支配节点考虑能量剩余、邻居数量等参数,构建支配集组成较高能量的网络骨干,简化了构建过程,可避免频繁构建主干网带来能量大量消耗。实验结果证明该算法具有较好的算法性能,能降低广播风暴,延长网络生命周期。

【关键词】无线传感器网络;连通支配集;能量有效

【doi:10.3969/j.issn.2095-7661.2021.04.001】

【中图分类号】TN929.5

【文献标识码】A

【文章编号】2095-7661(2021)04-0001-03

An Energy-Efficient Algorithm for Constructing Connected Dominating Sets in Wireless Sensor Networks

KONG Fan-feng, ZHOU Zi-jie

(Hunan Post and Telecommunication College, Changsha, Hunan, China 410015)

Abstract: In the process of data transmission in wireless sensor networks, it is easy to cause broadcast storm, resulting in too much energy, which can not adapt to the dynamic topology of the network. In this paper, an energy-efficient algorithm for wireless sensor networks based on connected dominating sets is proposed. The dominating nodes consider the parameters such as energy surplus and the number of neighbors to build a dominating set to form a high-energy network backbone, which simplifies the construction process and avoids a large amount of energy consumption caused by frequent construction of backbone networks. Experimental results show that the proposed algorithm has good algorithm performance, reduces the broadcast storm and prolongs the network life cycle.

Keywords: wireless sensor networks; connected dominating set; energy efficiency

无线传感器网络的用途非常广泛,可以部署支持多种应用。在不同的情况下,它是由静止或移动的传感器节点自组织组成。例如,在环境监测和监视应用中,传感器节点通常以特殊方式部署,以覆盖待监控的特定区域。在医疗保健相关应用中,智能可穿戴无线设备和生物兼容传感器可以附在人体上或植入人体内以监测患者的体征。一旦部署,传感器节点将自组织进入一个自治的无线自组织网络,只需要很少或不需要维护,然后,传感器节点协作执行应用程序布置的任务并最终报告给用户。

尽管传感器应用的目标存在差异,但无线传感器节点都是从目标域感知和收集过程数据,并将数据信息传输回应用程序。有效地完成这项任务需要建立传感器节点传输数据路径的节能路由协议,以使网络的生存期最大化。但是传感器节点通常运行的环境特征比较复杂,再加上严苛的资源和能量限制,使得有效路由问题非常复杂,具有挑战性。

1 相关研究

广播是无线数据传输中一个最基本的业务,具有操作简单、传播迅速、分布可靠等特点。在数

【收稿日期】 2021-11-04

【作者简介】 孔凡凤(1979-),女,山东莱芜人,湖南邮电职业技术学院信息通信学院副教授,硕士,研究方向:无线传感器网络。

【基金项目】 2021年湖南省教育厅科学研究项目“5G技术背景下无线传感网高效数据汇聚关键算法研究”(项目编号:21C1408)。

据传输过程中,发送节点向所有相邻节点发送数据,触发网络洪泛过程,新收到数据节点打包数据又继续向相邻节点传递数据,这一过程会增加数据开销,导致整体数据拥塞,甚至网络瘫痪,这就是广播风暴问题(Broadcast Storm Problem, BSP)^[1]。要克服上述问题,就要减少数据冗余,减少节点不必要的转发,以此来达到优化网络性能的目的^[2]。

在数据节点连接中,没有一对节点是相邻的构成最大独立集(MIS),每个MIS也是一个支配集(DS)。从一个节点到另外一个节点沿着独立集形成有效的路径生成树结构,有最短路径树和最小生成树两种结构,两种结构都减少节点边的数量,没有减少节点数量,所以数据广播效果不是最优。网络的连通支配集定义为k_连通和m_支配组成的骨干网,即每个支配节点相互之间至少有k条路径,同时被支配节点至少与m个支配节点相连。如下图1所示,形成了k=2的连通支配集^[3]。

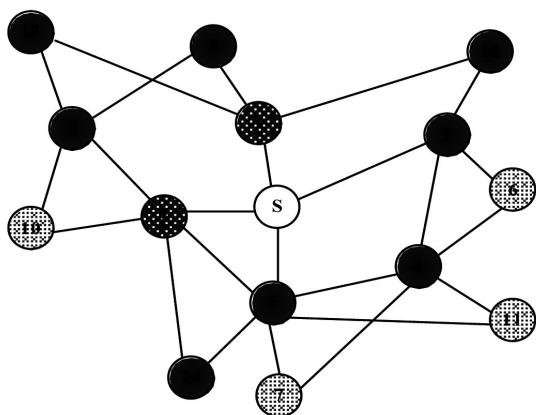


图1 形成连通支配集k=2

为解决网络风暴,国内外学者做了大量的研究。mr-CDS算法^[4]根据能量的大小构成连通支配集,剩余能量高为支配节点,每个被支配节点列表信息有2跳的连通信息,如果没有连通,则重新定义,这个算法会产生较多的支配节点,通信开销大,能量消耗也会增大。分布式贪婪算法DG_MCDS^[5],仅有1跳的邻居信息,需要构建多个阶段的CDS,每个CDS信息再去进行交互,信息复杂度和时间需要较长,能量消耗较大。在任意图中节点基于连通支配集构成主干网络并实现数据连通是解决BSP的有效途径。

2 能量有效节点算法

定义:在无线传感器网络中节点组成无向图 $G=(V,E)$,其中 V 为顶点集合, E 为边集集合。若 $C \subset V$,若对于任意 $u \in V \setminus C$,都存在 $v \in C$,使得

$(u,v) \in E$ 成立,则 v 为支配节点, C 为无向图的一个支配集,如果节点数最少,则成为最小支配集。如果 C 是连通图,则称为连通支配集(CDS),节点数最小称为最小连通支配集^[6]。

为了使网络生存时间最大化,设定SINK位于区域的中心,每个节点的传输半径均为 R 。每个节点都具有权值 W_i 、color、ID、value属性,并有一个与邻居关系的LIST列表。定义 d_i 为节点 i 与邻 v 的距离,如果满足 $0.1R < d_i < 0.9R$,则为有效的邻居节点。

定义权值 $W_i = E_i \text{Degree}_i$,让权重的节点优先成为骨干,其中, E_i 是初始能量值, Degree_i 是邻居数量,定义为节点的度^[7]。

2.1 身份确认

1) Sink节点广播Hello消息,此消息携带ID信息,收到消息后,节点设置自己的等级 $L=1$,同时根据接收功率大小计算本节点与Sink的距离,并依据距离和附近邻居构成的拓扑结构判断是有效邻居还是无效邻居。若之前收到过相同消息则直接丢弃。最后给Sink节点回复节点的权值 W_i 和ID,以及ACK,所有回复的节点构成有效邻居节点 N_i 。

2) 节点跟邻居的权值做比较,如果 $W_i > W_{\text{Neigh}}$,则 $\text{color}(v_i)=\text{BLACK}$,如果 $(W_i = W_j) > W_{\text{Neigh}}$,则根据ID号决定,如果 $ID_i < ID_j$, v_i 成为支配节点。此时 $\text{color}(v_i)=\text{BLACK}$,并广播消息参数告知自己的邻居。当节点 v_j 收到从 v_i 来的消息后, v_j 查看自己的color值,如果 $\text{color}(v_j)=\text{white}$,则 $\text{color}(v_j)=\text{Gray}$,并发布广播控制消息到周围邻居。

3) 如果节点 v_i 接收到一个来自 v_j 的dominatee(v_j)消息,如果 $\text{color}(v_i)=\text{white}$,说明此节点还没有加入任何一个支配集。首先判断 v_i 是否能成为支配节点,先把 v_j 从 v_i 的邻居集里面删除,然后跟其他的邻居比较,如果 $W_i > W_{\text{Neigh}}$,则 v_i 成为支配节点,或者 $W_i = W_{\text{Neigh}}$ 且 $ID_i < ID_{\text{Neigh}}$,则 v_i 也成为支配节点,此时节点 $\text{color}(v_i)=\text{BLACK}$,并发送消息通知邻居。

4) 前面过程节点就计算了自己的等级,支配构建完成后,支配节点发消息给低于自己的支配节点,完成等级构建,这样就能保证信息数据的传递。普通节点把消息数据传送给支配节点,支配节点通过骨干网传送给SINK。

2.2 连通支配集

1) 为了降低节点开销,每个节点 v_i 定期广播一个Token,让邻居知道自己的存在,每个节点都有自己的value,如果有相同的value,则DS连通为真,

如果接收到的Token与自己的Token不同,则DS连通为假。

2) 支配节点为黑色节点,灰色节点为非支配节点,如果 v_i 节点是灰色的,则说明至少有 m 个1跳邻居 v_j ,至少有 m^2 个2跳邻居 v_k 。如果 $ID_j < ID_k$,根据算法则 v_j 建立连通,从而建立从 v_i 到 v_k 的路径。现在已经建立从 v_i 到 v_k 的路径,但是并不知道有没有更优的路径,因此 v_i 首先把路径轨迹存入到LIST列表中,然后去比较权值大小,如果 $W_j > W_k$,则删除 v_i 到 v_k 的路径。

3) 如果节点 v_i 第一次收到Mesg1,则启动定时器Timer,如果在规定时间内没有收到其他消息,则确定路由信息,如果在规定时间内又收到了Mesg2,则继续查看自己的color属性,如果为黑色,则 v_i 要决定是否跟2跳以外的节点进行连通。连通的原则是尽可能实现节点的能量均衡,如果某一节点能量低于阈值则需要重新进行大范围的身份定义及连通,会增加通信开销。如果存在通往 v_k 的路径,则删除原来的路径,增加从 v_i 到 v_j 到 v_k 的路径。如果是第一次收到Mesg2,则等待Timer完成后去确定最后的连通路经。

2.3 数据融合过程能量消耗

数据融合是为了节点合理分配时隙,降低通信开销。在融合过程中,需要控制路由传输数据数量,降低支配节点占网络中节点的比例,降低广播风暴的发生率。发送的总体数据降低会使发送一个数据包到目的节点的成功率增加,从而达到网络节点的能量消耗均衡。

假设节点广播一次数据包所需的能耗是定值1 mW。在这种情况下,网络中所有节点广播数据包的次数决定了能耗大小。

在数据融合的过程中,节点总数为 N ,所有节点数据发送和接收的总次数分别用 N_s 和 N_r 表示,节点以概率 P 去决定是否作为支配节点,首轮传输次数为 $N_t^1 = PN$,根据算法可知一跳的节点不会有共同成员节点,所以第二轮数据包为 $N_t^2 = N_t^1 = PN$ 。当广播次数大于2时, $N_t^a = P_a N_t^{a-1}$,进行 q 轮广播接收次数 $N_r^a = N_t^a N_{nei}$,其中 N_{nei} 是期望邻居数为42^[8],网络广播 β 轮完成,总的接收次数为 $N_r =$

$$\sum_{q=1}^{\beta} N_t^q N_{nei} \circ$$

3 仿真计算

本文算法是在MATLAB7.0软件环境下进行仿真,设定在一个150*150m²的正方形区域内,SINK位于区域的中心,250个节点随机分布在区域中,N

个节点随机分布在区域内。

随着节点数量的增大而支配节点数量变少,mr-CDS算法比本文算法更优,因为mr-CDS算法对支配节点进行了裁剪,但是每个支配节点的能耗变大,所以导致连通支配集的生命周期变短。

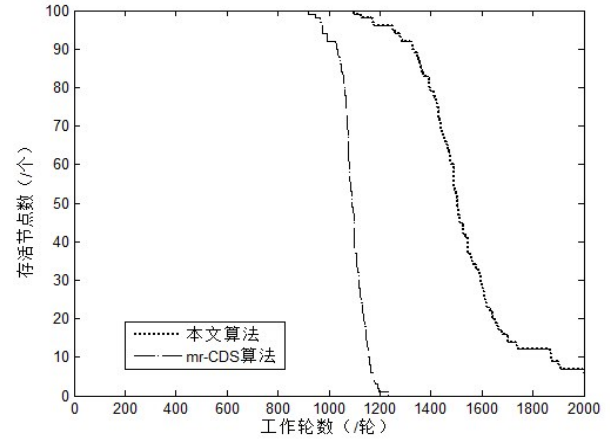


图2 节点工作轮数与存活节点数量关系图

由图2可以看出,mr-CDS算法在850轮时出现了第一个节点的死亡,而本算法在1100轮时才出现了第一节死亡,因为本算法在数据传递过程中是沿着支配节点等级升高的方向传送,有效地避免了信息的回传和重复,减少了消息的传递数量,从曲线也可看出本算法网络生命周期更长,效果更优。

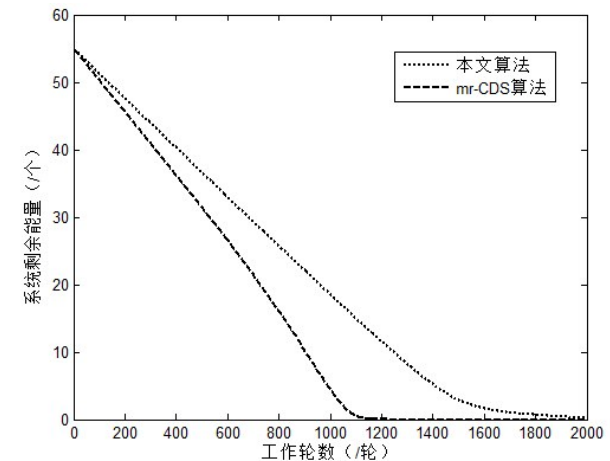


图3 系统剩余能量与工作轮数关系图

从图3可以看出,随着网络的不断运行,节点的平均能量在不断下降,但是本文算法能量下降更为缓慢,主要是因为数据在传递过程中优选能量大的节点进行传递,并且具有方向性,相应的传递的数量也减少,本算法在1600轮时才出现CDS失效的情况,比mr-CDS算法晚400轮,这也更好地说明了本文算法能量更加有效,节点的能量损耗更加平均。

(下转第10页)

温湿度历史经验数据中获取,以达到最优孵化率的效果。孵化热源从中央空调室外机中吸收热能,用独特的风机塔扇叶片设计,使孵化环境保持通风,节能环保。采用智能终端模块,使监控更便捷,同时还可远程修改温湿度。采用聚酰亚胺^[9]泡沫材料制作孵化器箱体,有保温效果好、质量轻、阻燃、耐久性好等优点。对于有提升家禽幼仔孵化率需求的传统家禽养殖场而言,智能孵化机有替换落后的孵化设备的需求前景。远程IO孵化机摄像头有远程监控功能,因此可以利用酒店的闲置空间(天台或闲余仓库),以中央空调室外机或高层楼宇的供水水泵作为热源收集^[10],实现节能式孵化。可调动酒店闲杂人员的积极性,通过节能减排的禽蛋孵化实现创收。也可以使高层楼宇赋闲在家的人员参与到此项工作中来,加以宣传,作为创业项目,成立禽蛋孵化合作社,有较大前景。

4 结论

远程IO孵化机具备远程监控、异常工作报警、同时孵化不同种类禽蛋等功能,并能做到节能减排的效果。该项目同时整合了智能终端、单片机、PID恒温技术、可靠性冗余设计、统计学方法优选孵化温湿度数据的优点,而且具备湿度与温度的双向控制功能,甚至可以使得孵化机具有孵化鸚鵡、海龟、鳄鱼等卵生珍稀物种的扩展孵化科研实践能力。亦可向大酒店及高层楼宇住户推广,充分

利用机器设备排放的热能作为再生能源,节能环保,市场潜力巨大。

【参考文献】

- [1] 许龙,陈辉,陈露强,刘敏,刘立群,王佳玉,薛飞.基于单片机的光照强度及温湿度采集系统[J].电脑知识与技术,2021(14):224-227.
- [2] 石文启.NPC型三电平逆变器的永磁同步电机PWM预测控制[J].电子技术,2021(9):1-5.
- [3] 王毅.电动汽车智能远程监控及控制终端设计[D].成都:西华大学,2019.
- [4] 徐鑫秀,赵士原.基于DHT11传感器的机房温湿度控制系统设计[J].现代信息科技,2020(14):57-59.
- [5] 王永培.资本积累、工业化与全要素能源效率——基于OECD国家历史数据的经验研究[J].中国人口·资源与环境,2016(S2):105-109.
- [6] 刘枫.C语言的计算机编程技术探究[J].信息系统工程,2019(3):58.
- [7] 黄建辉.基于单片机的中药柜温湿度控制系统设计[J].电子制作,2021(15):87-89.
- [8] 刘宝成.STC15单片机外部中断的特点及应用研究[J].单片机与嵌入式系统应用,2021(2):39-43.
- [9] 陈品权,蒋漾漾,吴礼光,王挺.固载纳米银的聚酰亚胺混合基膜的制备及其渗透汽化分离苯的性能[J].浙江化工,2021(9):37-42.
- [10] 张坤平.高楼供水拖动电机节能控制系统的设计[J].科技创新与应用,2016(5):101.

(上接第3页)

4 结束语

本文针对小规模无线传感器网络提出了一种有效的连通支配集算法,连通支配集构建过程简单,节点邻居数量和能量剩余等因素决定了支配节点是否能够当选,从而使得网络消耗更加均衡,大大延长了网络的生命周期。

【参考文献】

- [1] 吉福生,吴晨,刘乔寿.WSN中能量有效的连通支配集构建算法[J].计算机工程,2017(1):138-143.
- [2] 孔凡凡,欧红玉,龙林德,陈曦.基于连通支配集的WSN自适应数据调度算法[J].计算机工程,2015(10):94-98, 104.
- [3] 奎晓燕,杜华坤,梁俊斌.无线传感器网络中一种能量均衡的基于连通支配集的数据收集算法[J].电子学报,2013(8):

1521-1528.

- [4] Sajid Hussain, Mubashs Hharul I. Shafique, Laurence T Yang. Constructing a CDS -based Network Backbone for Energy Efficiency in Industrial Wireless Sensor Network[A]. In Proc of the 12th IEEE International Conference on High Performance Computing and Communications (HPCC 2010) [C]. Melbourne, VIC, Australia: IEEE, 2010.
- [5] 孔凡凡,陈曦,宋燕辉,欧红玉.基于高阶马尔可夫链WSN低时延调度算法[J].科技通报,2019(5):90-96.
- [6] 周杰,姚雷,杜景林.基于最小连通支配集移动的WSNs连接恢复算法[J].安徽大学学报(自然科学版),2014(3):24-31.
- [7] 张华南,金红.基于连通支配集的无线传感器网络洪泛协议[J].计算机工程与科学,2019(12):2143-2153.
- [8] 孙亚南,常新峰.无线传感器网络泛洪时间同步协议安全性研究[J].电子设计工程,2017(3):76-79, 84.