

基于能量与能耗速度的 WSN 分簇算法

邹超伟^{1,2}, 王小玲¹

(1. 中南大学 信息科学与工程学院, 湖南 长沙 410083;

2. 湖南人文科技学院 数学系, 湖南 娄底 417000)

摘要:无线传感器网络的最大局限是能量有限。为了高效利用网络能量、均衡网络负载,提出了一种基于能量与能耗速度的分簇算法。其中节点能耗速度是一个带有能耗预测信息的参量,利用它可以更有效地优化簇头选择与簇规模,该算法根据这两个参数来优化簇头的选择,能有效地延长节点的生存时间;同时,根据簇头节点与基站的距离、当前能量和能耗速度对簇规模进行约束和优化,进一步保证了簇之间的负载均衡。仿真实验表明改进后的算法有效地延长了网络的生存时间。

关键词:无线传感器网络;分簇算法;能量;能耗速度

中图分类号:TP393

文献标识码:A

文章编号:1673-629X(2010)11-0014-04

Clustering Algorithm of WSN Based on Energy and Velocity of Consuming Energy

ZOU Chao-wei^{1,2}, WANG Xiao-ling¹

(1. College of Information Science and Engineering, Central South University, Changsha 410083, China;

2. Department of Math, Hunan Institute of Humanities, Science and Technology, Loudi 417000, China)

Abstract: Limited energy supply ability is the largest limit of WSN. In order to use energy of networks effectively and balance load of networks, a clustering algorithm based on energy and velocity of energy-consumption is proposed. Velocity of energy-consumption of sensor node is a parameter with predicting energy-consumption, it can be used to optimize choice of cluster head and size of cluster effectively. In the algorithm the two parameters are considered to optimize the choice of cluster head, it can prolong the node lifetime effectively; At the same time, the distance between cluster head and base station, energy and velocity of energy-consumption are considered to constraint and optimize the size of clusters, so as to ensure balanced load of networks. Experiment shows that the improved algorithm is effective for prolonging the network lifetime.

Key words: wireless sensor networks; clustering algorithm; energy; velocity of energy-consumption

0 引言

无线传感器网络(Wireless Sensor Network, WSN)是一种由传感器节点构成的网络,能实时监测、感知、采集和处理感知对象的信息,并将其发送给观察者^[1]。它改变了人与自然的交互方式,实现了物理世界、计算世界以及人类社会三种世界的连通^[2]。无线传感器网络在军事侦察、环境监测、空间探索、医疗护理、智能家居、工业生产控制以及商业等领域有着广泛的应用前景,可以预料,无线传感器网络的发展和广泛应用,将

对人们的社会生活和产业变革带来极大的影响,并产生巨大的推动作用。因此无线传感器网络受到学术界、军事界和工业界越来越广泛的重视。

无线传感器网络节点具有体积小、成本低、易于部署等特点,但同时它在电源能量、通信和计算能力及存储空间等多方面存在不足。在使用过程中,无线传感器网络的一个最大的局限就是能量有限,又不容易得到补充,为了最大限度地延长整个网络的生命期,良好的逻辑拓扑结构^[3]能够有效延长整个网络的生存期。根据拓扑控制的研究方向可将拓扑控制分为两类:节点功率控制和层次型分簇拓扑结构组织,而层次分簇机制是目前最为重要、有效的拓扑控制方法^[4]。分簇算法通过一定的机制产生簇头节点和簇内成员节点,簇头节点协调和管理簇内成员节点的工作,负责簇内信息的收集、融合和转发,它具有远距离通信少、簇内

收稿日期:2010-02-02;修回日期:2010-05-09

基金项目:国家自然科学基金资助项目(60773013)

作者简介:邹超伟(1979-),男,讲师,硕士研究生,研究方向为计算机网络、无线传感器网络;王小玲,教授,研究方向为数据库技术、计算机网络。

可进行数据融合、可伸缩性好等优点^[5]。

目前,已经提出了一些具有代表性的分簇算法,如 LEACH 算法^[6],该算法是一种自适应的分簇拓扑算法,它的执行过程是周期性的,每轮循环分为簇的建立阶段和稳定的数据通信阶段。在算法中提出了簇头选择的概率模型:

$$T(n) = \begin{cases} \frac{p}{1 - p(r \bmod \frac{1}{p})}, n \in G \\ 0, \text{其他} \end{cases}$$

其中 p 为簇头节点占总节点数的百分比, r 是选举轮数, $r \bmod (1/p)$ 代表这一次循环中已当选过簇头的节点个数, n 是指节点标号, G 是在本次循环内未成为簇头的节点集合。

LEACH 算法的基本思想是通过严格等概率的方法随机循环地选择簇头,从而将整个网络的能量负载平均分配到每个传感器节点,从而达到降低网络能量消耗、延长网络生命期的目的。但是 LEACH 算法存在一些不足的方面。首先,在选择簇头节点时没有考虑节点当前剩余能量,节点担任簇头是严格等概率的,能量差距很大的节点担任簇头的概率完全相同,因此完全有可能存在某一节点的剩余能量已经很小,但仍被选为簇头节点的情况。这样这个节点的能量就可能很快耗尽。这就不利于网络生命期的延长,不利于网络的健壮性;其次,LEACH 算法中由于采用了随机产生簇头的机制,并没有限制生成的簇间的位置关系,因而可能造成多个簇头聚集在同一片的区域中,簇头的集中造成了簇的重叠,将大大加剧簇与簇之间相互的干扰,使得网络无法有效地利用有限的能量资源。还有 LEACH 算法产生的簇头分布不均匀等。虽然 LEACH 算法存在的问题,但仍然作为一种经典算法被引用研究,如 HEED^[7] 算法就是在 LEACH 算法上改进的。

HEED 的基本思想是:将节点的剩余能量和簇内通信代价综合起来考虑,周期性地通过迭代的办法实现分簇,利用剩余能量参数,随机选取初始簇头集合。剩余能量较多的节点暂时成为簇头的概率将比较大,但该节点最终是否一定是簇头还取决于剩余能量是否比周围节点多得多,即迭代过程是否比周围节点收敛得快;通过簇内通信代价参数,用于确定落在多个簇范围内的节点最终属于哪个簇,以及平衡簇头之间的负载。该算法实现了簇头比较均匀地分布在网络中,但是迭代的时延和能量消耗都比较大。文中引用了 LEACH 算法的分簇思想,但采用了不同的方法以解决这些不足的地方。

1 异构无线传感器网络模型

对于一个无线传感器网络,文中给出如下假设:

(1) 传感器节点随机分布在一个 2 维区域中,且网络布设完成后,传感器节点和基站(Base Station, BS)不再移动。此假设是传感器网络的典型设置。

(2) 节点能量异构^[8]且不能补充。不同类型的节点仅考虑具有不同的能量和不同的信息处理能力。此假设考虑到节点的能耗是不同的,因此剩余能量也必然不会相同。

(3) 每个节点都被分配一个 ID 号。

(4) 节点没有任何位置信息,但节点可根据接收信号的强度计算发送节点的相对距离。对于网络中的节点,获取其位置信息一般通过 GPS 或定位算法,若每个节点配置 GPS 必然会增加节点的硬件成本以及相应的能量开销,定位算法需要节点交换大量的消息来计算位置,也会造成很大的能量消耗^[9],引入该特性可以在计算节点间距离和节省能量上找到一个平衡点。文中将研究这种异构传感器网络的分簇算法性能。

2 基于能量与能耗加速度的 WSN 分簇算法

无线传感器网络层次分簇拓扑控制技术的研,主要问题是分簇算法,其需要解决的关键问题是:簇头节点的合理选择和簇的形成及其簇规模控制。

基于能量与能耗速度的分簇算法是能量相关的成簇机制,它的执行是以“轮”(round)为时间单位,每一轮分簇建立阶段和稳定的数据传输阶段,与其它算法的区别在于簇建立阶段簇头节点的选择、簇形成及簇规模的控制都要考虑节点当前能量和能耗速度这两个参数,以选择合适的簇头节点和优化成簇规模。

2.1 簇头选择

簇头节点的选择是分簇算法中极为重要的一个环节。由于簇头节点需要协调簇内节点的工作,负责数据的融合转发,能量消耗相对较大,所以必须考虑节点剩余能量^[10],因此分簇算法通常使节点按一定的概率随机成为簇头,并通过动态地改变每个节点的概率参数,尽可能最优地选择簇头节点,尽量避免某些节点能量消耗过快,从而延长网络的生存期。

文中提出了一种新的簇头(Cluster Head)选择机制,该方法基于节点的当前剩余能量和当前能耗速度。因此每个节点都记载着三个能量信息:初始能量($E_{initial}$)、当前剩余能量($E_{current}$)和前一轮开始时的能量(E_{before})。选择簇头节点考虑两个参数,第一关键参数当前能量 $E_{current}$,反应节点当前剩余能量信息,是选择簇头节点考虑的主要参数,可以通过模型控

制当前能量越大的被当选的概率大;第二关键参数能耗速度 E_V 用 E_before 与 $E_current$ 的差值来衡量,差值越大,能耗速度越快,反应节点前一轮消耗的能量,是历史信息;表征该节点的能耗能力,在一定程度上可以据此预测节点本轮的能量消耗趋势,是选择簇头节点的辅助参数,利用此信息可以通过模型控制能耗速度越大的节点当选的概率较小。节点成为簇头节点的概率模型为:

$$CH_prob = a \times E_current / E_initial + b \times (1 - E_V / E_initial) \quad (1)$$

其中, a 、 b 为加权因子, $a + b = 1$, $0 < b < a < 1$, 主要参数 $E_current$ 和辅助参数 E_V 用 a 的值大于 b 的值来体现,文中取 $a = 0.8$, $b = 0.2$ 。节点成为簇头节点的概率用 CH_prob 来控制,即若节点产生的随机数 ($0 \sim 1$) 小于 CH_prob , 则宣布并广播自己成为簇头节点的消息,从公式(1)可知,当前能量 $E_current$ 越大,能耗速度越小,节点成为簇头节点的概率越大;这样也可以保证:如果节点的当前能量相近,则能量消耗速度慢的成为簇头节点的概率大,同时也从一定程度上避免了簇头节点连续当选为簇头。这样平衡了节点之间的能量消耗。这种簇头选择机制可能会产生一个或多个簇头节点包含在另一个簇头节点的通信范围内,对于这一种情况,可以从这些准簇头节点中选择一个成为簇头节点, CH_prob 值大的自动当选。

2.2 簇的形成

当无线传感器网络的簇头节点确定之后,簇头节点广播簇头信息,非簇头节点接收到簇头信息成为该簇头的簇成员,簇形成阶段必须考虑簇的形成规模,以控制簇头节点过度消耗能量导致的簇间负载不均衡^[11]。簇的形成规模除了考虑簇头节点当前剩余能量和能耗速度这两个参数外,还考虑了簇头节点与基站的距离,簇头 I (每个节点都有一个唯一的 ID 号) 到基站的距离 D_I_BS 的计算方法的具体过程为:在网络初始阶段基站用一个较大的发送功率向所有节点广播一个信号。每个传感器节点在收到此信号后,根据接收信号的强度计算它到基站的近似距离,把它当做距离 D_I_BS 。为了均衡与基站距离较近的簇头节点因过多转发任务带来的能量损失,应使这些簇头担负较小的簇内数据收集任务,按节点距离基站的远近使各簇的大小有所区别:愈近,簇成员数愈少;愈远,簇成员数愈多。若第 I 个节点当选为簇头节点,其簇内节点的数目 N 为:

$$N = [CH_prob/2 + (D_I_BS - D_{min}) / (D_{max} - D_{min})] (1/p - 1) \quad (2)$$

其中, CH_prob 为先前簇头选择阶段保存的概率,

是剩余能量与能耗速度的衡量参数, D_{max} 和 D_{min} 分别为网络中节点距基站 BS 最大的距离和最小的距离, p 为网络簇头比例(如 $p = 5\%$)。由(2)式可知簇内节点数目的最大值 N_{max} 和最小值 N_{min} 由 CH_prob 值和 p 值共同来决定,而由(1)式可知 $0 < CH_prob \leq 1$, 因此可以计算得到,簇内节点数目 N (即簇规模) 的取值范围为:

$$0 < N \leq 3/2(1/p - 1) \quad (3)$$

而且,从公式(2)可知,簇内节点数目 N 与当前剩余能量和能耗速度的加权概率 CH_prob 成正比例关系,与到基站的距离也成正比例关系,这就使得能量越大,能耗速度越小,靠近基站的簇规模越小,反之越大,从而达到控制簇的规模,避免“热区”(Hot spots)问题的产生^[11],保证簇间负载均衡、能量消耗相对均衡,延长网络生命期的目的。

3 仿真及结果分析

3.1 能量模型与仿真环境

文中用 OPNET^[12] 软件对改进算法(将文中的改进算法称为 LEACH-EV)与 LEACH 算法进行了仿真比较。节点采用文献[6]的无线通信能量消耗模型,可以得到节点发射 k bit 的数据消耗的能量主要分为发射电路损耗和功率放大损耗两部分,即:

$$E_{Tx}(k, d) = E_{Tx-elec}(k) + E_{Tx-amp}(k, d) = \begin{cases} E_{elec}k + \epsilon_{fs}kd^2, & d < d_0 \\ E_{elec}k + \epsilon_{mp}kd^4, & d \geq d_0 \end{cases} \quad (4)$$

其中: k 为数据包的大小; $E_{Tx-elec}(k)$ 为数据包在发射机中传输的能耗; $E_{Tx-amp}(k, d)$ 为功率放大所需的能耗,与环境、传输距离 d 、数据包大小有关; d_0 为自由空间传播与多径传播的临界距离; E_{elec} 表示单个比特信号发射电路损耗的能量; ϵ_{fs} 、 ϵ_{mp} 分别为这两种模型中功率放大所需的能量, ϵ_{fs} 为自由空间传播消耗功率; ϵ_{mp} 为多径传播消耗功率; d 为两节点间距离。当传输距离小于阈值 d_0 时,功率放大损耗采用自由空间模型,能量消耗与 d^2 成正比;当传输距离大于等于阈值 d_0 时,采用多路径衰减模型,能量消耗与 d^4 成正比。节点接收数据包的能耗为:

$$E_{Rx}(k, d) = E_{Rx-elec}(k) = E_{elec}k + E_{DA}k \quad (5)$$

式中: $E_{Rx}(k, d)$ 为接收机处理数据包的能耗; E_{DA} 为单位数据包单位比特数据融合的能耗。

仿真时参数设定如下:网络大小为 $100m \times 100m$, 基站坐标为 (50, 150), 随机生成 200 个传感器节点, 传感器节点初始能量为 1J, E_{elec} 为 50 nJ/bit, ϵ_{fs} 为 10 pJ/bit/m², ϵ_{mp} 为 0.0013 pJ/bit/m⁴, 数据包为 2000 bit,

d_0 为 50m。

3.2 仿真结果分析

主要从网络生存时间和节点存活个数随时间的变化两个方面进行了比较,以此来评价改进后算法的性能。

改进算法 LEACH-EV 和 LEACH 算法网络的生命期如图 1 所示,从图可知改进后的算法明显延长了网络生存时间。

图 2 显示改进后的算法网络节点生存情况明显好于 LEACH 算法的网络。仿真结果表明改进算法比 LEACH 算法有更好的网络生存期,而且节点死亡整体跨度(从第一个节点死亡到所有节点死亡所经的时间)小,这说明网络节点间能量整体均衡消耗,即能耗均衡性更好。

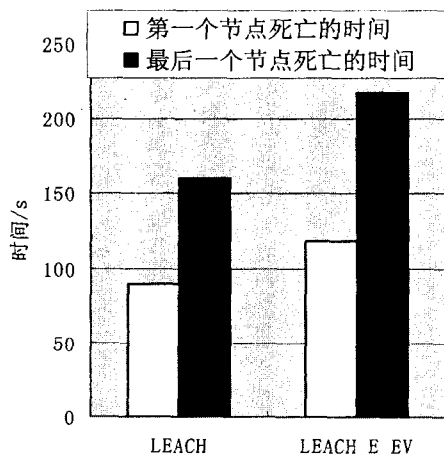


图 1 第一个节点和最后一个节点死亡的时间比较

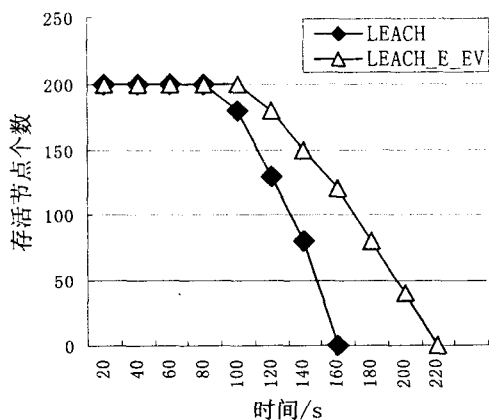


图 2 存活节点数目随时间的变化

4 结束语

文中在分析经典算法 LEACH 的基础上,针对其不足,提出了基于能量与能耗速度的簇头选择机制,给出了节点成为簇头节点的概率计算模型,使得剩余能量大、能耗速度小的节点当选为簇头的概率大,有效地延长了节点的生存时间,在成簇阶段使用能量、能耗速度和与基站的距离三个因素来对成簇规模进行约束控制,并提出了簇规模的计算模型,改善了簇之间负载不均衡的问题。仿真结果显示,改进后的算法能有效地延长网络的生存时间。

参考文献:

- [1] 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.
- [2] 徐建波. 无线传感器网络分布式簇和节能的数据收集协议研究[D]. 长沙:湖南大学, 2008.
- [3] 李翔. 无线传感器网络簇状网的研究[D]. 天津:天津大学, 2006.
- [4] 尚杨,张凤登. 一种新的能量有效性无线传感器网络分簇算法[J]. 微计算机信息, 2007, 23(25): 142-144.
- [5] 沈波,张世永,钟亦平. 无线传感器网络分簇路由协议[J]. 软件学报, 2006, 17(7): 1688-1700.
- [6] Heinzelman W R, Chandrakasan A, Balakrishnan H. An application-specific protocol architecture for wireless micro sensor networks[J]. IEEE Transactions of Wireless Communications, 2002, 1(4): 660-670.
- [7] Younis O, Fahmy S. HEED: A hybrid, energy-efficient, distributed clustering approach for ad hoc sensor networks[J]. IEEE Trans. on Mobile Computing, 2004, 3(4): 660-669.
- [8] 卿利,朱清新,王明文. 异构传感器网络的分布式能量有效成簇算法[J]. 软件学报, 2006, 17(3): 481-489.
- [9] Lin Tsung-Hsien, Kaiser W J, Pottie G J. Integrated Low-Power Communication System Design for Wireless Sensor Networks[J]. IEEE Communications Magazine, 2004, 42(12): 142-150.
- [10] 武春涛,胡艳军. 无线传感器网络 LEACH 算法的改进[J]. 计算机技术与发展, 2009, 19(3): 80-83.
- [11] 李冰,李捷. 一种基于 GAF 的无线传感器网络分簇算法[J]. 计算机技术与发展, 2008, 18(12): 113-115.
- [12] 陈敏. OPNET 网络仿真[M]. 北京:清华大学出版社, 2004.

(上接第 13 页)

- [9] 赵金晶,朱培栋. AdHoc 网络移动模型及应用[J]. 计算机工程与科学, 2005, 27(5): 15-16.
- [10] Hong Xiaoyan, Gerla M, Pei Guangyu. A Group Mobility Model for Ad Hoc Wireless Networks[C]//Proc. of ACM/IEEE MSWIM'99. Seattle, WA, USA: [s. n.], 1999: 53-60.

- [11] 董超,杨盘龙,田畅. 一种 adhoc 网络组移动模型[J]. 系统仿真学报, 2006, 18(7): 1879-1883.
- [12] Clausen T, Jacquet P. Optimized link state protocol[S]. RFC 3626, 2003.