

负载均衡的异构传感器网络分簇路由算法研究

樊思炜

(江苏大学 计算机与通信工程学院,江苏 镇江 212013)

摘要:有限的能量资源是无线传感器网络(WSNs)广泛应用的主要限制之一。为了最大化整个网络的生存时间,需要优化无线传感器网络中节点的能量消耗。协议使用的无线传感器网络模型包含两种节点:普通节点和能量较高的高级节点。算法中综合考虑了节点当前剩余能量、网络中平均能量、簇头到基站的距离和节点类型等因素,设计了一种适合于异构无线传感器网络路由协议(HCEEC)。在该协议中,基站在对应的区域中选择能量更大、更加靠近基站的节点作为簇头来搜集本区域内的信息,簇头节点对本簇内的信息进行融合之后发送至基站节点。实验表明,该算法能够更好地综合网络中能量的负载、提高网络吞吐量和延长网络生存时间。

关键词:异构网络;无线传感器网络;分簇路由算法

DOI:10.11907/rjdk.171308

中图分类号:TP312

文献标识码:A

文章编号:1672-7800(2017)008-0063-04

0 引言

无线传感器网络(WSNs)是由大量传感器节点和一个或者很少的基站(BS)通过自组网方式构成的无线网络^[1]。这些传感器节点不仅具备传感能力、计算能力,同时还能够实现数据传输功能。然而传感器节点通常由于电池供电,其能源具有应用局限性。研究表明,太阳能和风能等可再生能源可以被应用在WSN中,为传感器节点提供能源^[2-3]。然而,这些可再生能源自身的间歇性会引起网络中节点能源供应的不持续性,进而影响WSNs的性能^[4]。因此,WSN的研究与部署中,传感器节点的能耗问题仍值得重点关注。

WSNs根据初始节点的状态是否相同分为同构网和异构网,能量异构是最普遍的网络异构现象,即节点的初始能量不同。早期研究传感器网络主要是针对同构传感器网络,即假定网络中所有节点初始化能量相同且均为同一类型,研究的节点类型比较单一^[5]。这种简化忽略了节点间差异可能给网络及其协议带来的影响。而在实际应用中,经常会在传感器群中混合异构节点,比如部分节点没有使用自身携带的电源而是直接使用建筑环境内或者是周围环境中的交流电源或者是其它种类的电源^[6],在野外环境还有可能使用太阳能作为传感器节点的电源。因此,在WSNs中异构性也是路由算法研究中需要考虑的一个重要因素^[7]。

1 研究现状

相比于同构传感器网络,异构传感器网络更贴近现实应用场景,尤其是能量异构的传感器网络路由协议是目前研究的重点课题之一^[8]。本文主要介绍几种能量异构的传感器网络分簇路由算法。

SEP^[9]由LEACH^[10]算法发展而来,是针对二级能量异构传感器网络提出的路由算法。网络中有两种类型的节点:高级节点和普通节点。SEP基于节点的能量初始值为高级节点和普通节点设置了不同的加权概率,使得高级节点成为簇头(CH)的概率更大,这样确保了两种节点的生存时间一致,既保证了负载均衡,又延长了网络的稳定期。但SEP的簇首选择过程依赖随机数,簇首数目波动较大却可以保证均匀。簇首选择未考虑当前剩余能量水平,这些都会影响分簇的效果和网络的性能及生命周期。簇头直接传送数据到基站,这样当簇头远离基站时会消耗大量的能量。

DEEC^[11]是一种基于LEACH的适用于多级能量异构网络的分布式高效分簇式路由算法。DEEC的簇首选举概率值综合考虑节点当前的剩余能量和网络当前平均剩余能量,使得簇首的选举能够自适应节点剩余能量的变化,以最大化延长网络的稳定期。每个节点按照其剩余能量的不同将第 r 轮的簇首选举阈值设置为 $p_i = (E_i(r) / \overline{E(r)} \times p_{opt})$,这样保证网络在每个选举周期内的平均簇首

作者简介:樊思炜(1989—),男,河南信阳人,江苏大学计算机与通信工程学院硕士研究生,研究方向为无线传感器网络路由协议。

个数为 $N \times p_{opt}$ 。DEEC 使用一个求近似解的估计方案估计了整个网络的全局能量水平,计算出在第 r 轮中网络节点的平均能量,这在一定程度上削弱了 DEEC 的实用性。

TDEEC^[12]算法是对 DEEC 算法的改进,其对阈值进行调整,在阈值中加入节点剩余能量和网络平均剩余能量的比值,尽量让当前剩余能量多的节点优先成为簇首,且加入了一个最优簇首。

针对于异构的 WSNs,人们提出了 SEP、DEEC 和 TDEEC 等路由算法。但是这些路由算法并没有提出相应的网络分布方案。这种情况下,具有较高能量的节点(高级节点)在网络中的分布不均匀。另外,在之前的方案中,每个节点都需要计算自己成为簇头的概率,这无疑增加了簇中节点的计算开销。另外,上述文献中没有讨论网络中最佳节点个数。

2 分布式异构网络模型

本文使用的 WSNs 模型中,假设 N 个节点随机均匀地分布在 $M \times M$ 监控区域,其中包含普通节点和高级节点。高级节点的个数是普通节点的 m 倍,普通节点的初始能量设定为 E_0 ,高级节点的能量比普通节点多出 ∂ 倍,基站节点设定在网络的顶层。整个网络中节点的分布如图 1 所示。

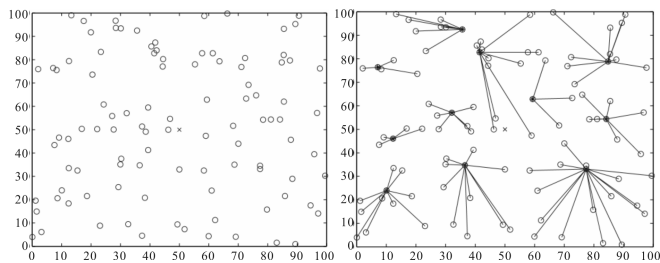


图 1 网络节点分布

网络中节点的总个数 $N = N_n + mN_n$, 其中, N_n 代表普通节点的数目。在无线传感器异构网之中,普通节点和高级节点的总能量分别为:

$$E_n = N_n \times E_0 \quad (1)$$

$$E_a = mN_n \times (E_0 \times (1 + \partial)) \quad (2)$$

网络中节点的总能量为:

$$E_t = N_n \times E_0 + mN_n \times (E_0 \times (1 + \partial)) \quad (3)$$

假设网络中的节点具有以下特征:所有节点部署之后不再移动;节点均匀分布在区域中;每一个普通节点的一跳范围内有一个或多个高级节点;所有节点实现通信;整个网络中能量异构,节点能够调整发射频率;节点能够获取自己的位置信息;基站知道节点初始能量。

3 HCEEC 算法

HCEEC 算法主要包括两个过程:簇的建立过程和通信过程。HCEEC 算法使用初始能量、节点剩余能量、节点类型和节点与基站的距离 4 个因素判断最佳簇头的选

择。在网络中节点通信阶段,分析网络中簇头节点和每一轮中能量的消耗情况。

3.1 网络形成阶段

WSNs 中高效的簇结构在提高网络的生存时间方面有着至关重要的作用。在 HCEEC 的网络形成阶段,基站使用集中控制算法(Central Control Algorithm)选择簇头。最初,基站通过网络中节点的初始能量计算区域中的平均能量。在此之后,网络中节点在每轮结束之前,向基站报告当前的剩余能量信息。

设 n_i 表示 s_i 个普通节点所对应的簇头节点个数。在同构网络中, n_i 的值为 $n_i = p_{opt} N$ 。 p_{opt} 为优化簇首比例,即簇头节点在网络的节点总数中所占比例,即:

$$p_{opt} = \frac{k_{opt}}{N} \quad (4)$$

其中, k_{opt} 是网络中最优簇头个数,其可以通过计算得出^[13]。

$$k_{opt} = \frac{\sqrt{N}}{\sqrt{2\pi}} \sqrt{\frac{\epsilon_{fs}}{\epsilon_{mp}}} \frac{M}{d_{wBS}} \quad (5)$$

在 LEACH 协议中,网络中的每一个节点 $s_i (i = 1, 2, 3 \dots N)$ 轮流成为簇头, $n_i = 1/p_{opt}$ 。但是,由于网络中节点通信的过程中节点之间距离不同,因而消耗的能量不同,网络中节点的剩余能量也不相同。如果在异构网络中为所有节点设置相同的成簇概率值,则网络中能源的消耗不能进行很好的均衡,能量较低的节点会比能量较高的节点更快死亡。在 HCEEC 算法中,根据节点 s_i 在第 r 轮的剩余能量 $E_i(r)$ 选择不同的 p_{opt} 值。

令 $p_i = 1/n_i$, 可以将 p_i 看作是在 n_i 中成为簇头的平均概率。在某一轮中,如果网络中节点的能量相同, p_i 的值可以选择为 p_{opt} , 这种情况下,可以保证每一轮中簇头节点的个数为 $p_{opt} \times N$, 并且所有节点在同一时间死亡。如果节点拥有的能量不同,则能量较高节点的 p_i 值应该大于能量较小节点的 p_i 值。定义 $\bar{E}(r)$ 表示在第 r 轮时网络中节点的平均能量。

$$\bar{E}(r) = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N E_i(r) \quad (6)$$

基站节点将每个节点的当前能量和平均能量作比较,能量高于平均能量的节点被选作预选簇头(Excepted Clustering Heads ECHs)。基站继续对 ECHs 进行检查,因为基站在每一轮中只选择 $p_i \times N$ 个簇头。ECHs 中剩余能量最高同时距离基站节点最短的节点会有更大的机会成为最终簇头节点。节点到簇头的距离可以通过式(7)进行计算:

$$D_{wBS}(i) = \sqrt{(X_{BS} - x_i)^2 + (Y_{BS} - y_i)^2} \quad (7)$$

其中, D_{wBS} 是第 j 个 ECHs 到基站的距离, X 和 Y 分别表示基站节点的横坐标和纵坐标。 x_j 和 y_j 是相应第 j 个 ECHs 的坐标值。由于同一种类型节点具有相同的初始能量,节点的当前能量能够通过节点的能量消耗率表示出来,当前轮之前节点能量的消耗率为:

$$R_i = E_0 / (E_0 - E_i(r)) \quad (8)$$

其中, E_0 代表节点的初始能量, $E_i(r)$ 为节点剩余能量。基站计算出每个 ECHs 节点成为簇头的概率为:

$$p_i = \frac{E_i(r)}{R_i \times D_{oBS}(i)} = \frac{E_i(r)(E_0 - E_i(r))}{E_0 \times D_{oBS}(i)} \quad (9)$$

由于高级节点具有更多的能量,因此,在选择簇头时,应该将节点类型同时考虑进去,不同的节点在选择簇头时拥有不同的权重。

$$p_{nm} = \frac{p_i}{1 + \partial_m}, p_{adv} = \frac{p_i(1 + \partial)}{1 + \partial_m} \quad (10)$$

将式(9)分别带入式(10)可得高级节点和普通节点相应成为最终簇头的概率为:

$$p_i = \begin{cases} \frac{E_i(r)(E_0 - E_i(r))}{E_0 \times D_{oBS}(i)(1 + \partial_m)} & \text{if } S_i \text{ is the normal node} \\ \frac{E_i(r)(E_0 - E_i(r))(1 + \partial)}{E_0 \times D_{oBS}(i)(1 + \partial_m)} & \text{if } S_i \text{ is the advanced node} \end{cases} \quad (11)$$

因此,节点成为簇头的可能性直接取决于节点剩余能量、节点能量消耗速率、节点类型以及节点到基站的距离。如果 ECHs 的个数和网络区域中所需节点个数相等,那么所有的备选节点都将被选作最终簇头节点(Finally Selected Cluster-Heads FSCHs)。因此,网络中节点的能量得到了均衡,网络的生存时间得到了延长。

基站向网络中广播 FSCHs 信息。FSCHs 接收到自己成为最终簇头的消息之后向周边节点广播自己成为簇头的消息。周边节点接收到一个或者多个簇头节点的成为簇头的消息,非簇头节点选择一个相应区域且信号强度最高的簇头作为数据转发的下一跳节点。对应的簇头为簇内节点分配 TDMA 时间间隙,非簇头节点在相应的时间间隙向簇头节点性地发送消息。如果有非簇头节点没有收到 FSCHs 节点发送的成为簇头的消息,则他自己选择自己作为簇头。在 HCEEC 算法中,网络建立阶段的时间远远小于网络的通信时间。

3.2 网络通信阶段

在 HCEEC 协议算法的通信阶段。网络中的非簇头节点在实际环境中通过感知获取周围环境数据,然后传递给相应的簇头节点。簇头节点接收到数据后对数据进行压缩,去掉无用信息之后,将数据传递给基站。簇头节点对数据进行压缩,减少了数据的长度,降低了节点能量的消耗,延长了网络生存周期。节点在传输数据的过程中,会消耗大量的能量。采用文献[11]所使用的能量模型,节点 l 个 bit 的数据发送到 d 的过程中,整个能量的消耗模型如下:

$$E_{Tx}(l, d) = \begin{cases} lE_{elec} + l\epsilon_{fs} d^2 & d < d_0 \\ lE_{elec} + l\epsilon_{mp} d^4 & d \geq d_0 \end{cases} \quad (12)$$

其中, E_{elec} 是接收器或者发射器处理一个比特数据所消耗的能量。 $l\epsilon_{fs} d^2$ 和 $l\epsilon_{mp} d^4$ 是根据发送器的放大器的信号放大所消耗的能量。簇头向基站传递数据的方式分为两种:直接交付或者多跳传递。由式(12)可知,当数据的

传输距离大于某一阈值 d_0 时,传输所需要的能量会大大增加,因此规定,在 CH 上传数据的过程中,如果基站和簇头的距离在 d_0 之内,则通过直接交付的方式将数据传输给基站,否则,簇头选择通信范围内距离基站较近、能量较高的备选簇头作为下一跳数据传输的节点,通过多跳的方式将数据传送到基站。

如果每一个非簇头节点在每一轮中向簇头节点发送 L 个字节的数据,则每一轮网络中消耗的所有能量为:

$$E_{round} = L(2NE_{dec} + NE_{DA} + k\epsilon_{mp} d_{oBS}^4 + N\epsilon_{fs} d_{oCH}^2) \quad (13)$$

其中, k 表示网络中簇的个数, E_{DA} 表示在簇头中数据融合所消耗的能量, d_{oBS} 代表簇头节点到基站节点的平均距离, d_{oCH} 表示簇头节点和簇内节点之间的平均距离。

4 仿真实验

将本文提出的 HCEEC 在 ns2 环境下进行仿真实验。100 个节点均匀分布在 $100m \times 100m$ 的无线传感网络中,假设基站的位置处在监控区域中心位置(50×50)。实验中使用表 1 中的参数,使用本路由协议和 LEACH、SEP、E-SEP 和 DEEC 算法进行了实验比较。图 2(a)显示了随着时间的推移,网络中存活节点的情况,实验结果表明, HCEEC 算法较其它路由协议在均衡网络中节点能量方面有突出表现,网络的生存时间最长。HCEEC 中网络稳定期的时间,比 LEACH、SEP、E-SEP、和 DEEC 分别高出了 120%、70%、55% 和 48%。算法稳定期的增加,得益于算法中使用基站对分区中的分布进行计算,减少了节点中的计算和相互通信,节省了少量能量。图 2(b)是网络中死亡节点数目情况。同样, HCEEC 在最小化死亡节点方面同样优于其余的路由算法。

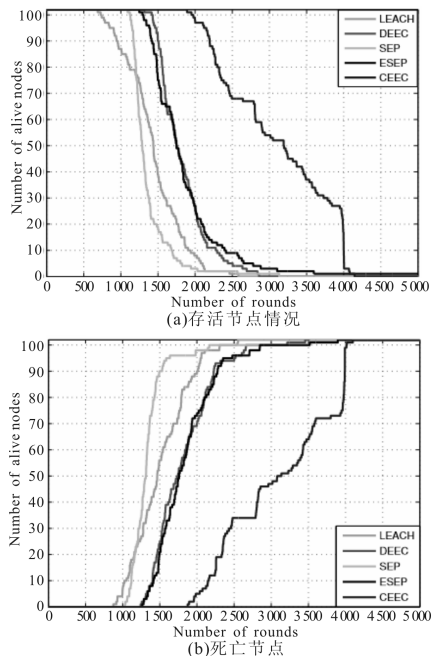


图2 实验对比

5 结语

本文提出了基于异构无线传感网络的能量高效的路由协议。在网络中,有两种包含不同初始能量的节点:普通节点和高级节点。两类节点均匀分布在监控区域中。基站节点位于监控区域中央,负责网络中簇结构的构建和网络中数据的收集。在网络构建过程中,综合考虑了节点剩余能量、节点类型、节点到基站距离以及网络中平均剩余能量等因素,选择最佳簇头。通信过程中,设置距离阈值 d_b ,处在基站 d_b 之内的簇头节点通过直接交付的方式将数据传递给基站,否则,簇头节点选择能量最高且距离基站最近的节点作为中继节点,通过多跳的方式将数据传输到基站。实验表明,本文提出的 HCEEC 算法,相比于 LEACH、SEP、E-SEP 等算法都有很大的优越性。

表 1 实验仿真参数

Parameter	Value
Data Aggregation Energy cost	5 pj/bit
Transmitter Electronics (E_{eleTX})	50nj/bit
Receiver Electronics (E_{eleRX})	50nj/bit
Transmit amplifier (E_{mp})	100pj/bit/m ⁴
Transmit amplifier (E_{fs})	100pj/bit/m ²
Desired percentage(P)	0.1
Number of nodes(N)	100
Area of Network(XXY)	100mX100m

参考文献:

[1] YADAV S,YADAV RS.A review on energy efficient protocols in wireless sensor networks[J].Wireless Networks,2016,22(1):335-350.

[2] LI Y,SHI R.An intelligent solar energy-harvesting system for wireless sensor networks[J].Wireless Communications and Networking on EURASIP Journal,2015(1):1-12.

[3] ZHANG B,SIMON R,AYDIN H.Harvesting-aware energy man-

agement for time-critical wireless sensor networks with joint voltage and modulation scaling[C].IEEE Trans.on Industrial Informatics,2013,9(1):514-526.

[4] MEKKI K,ZOUINKHI A,DERIGENT W,et al.USEE:a uniform data dissemination and energy efficient protocol for communicating materials[J].Future Generation Computer Systems,2016,56(3):651-663.

[5] MOORE M R,SMITH S F,LEE K.The next step;wireless IEEE 1451 smart sensor networks[J].Sensors Mag,2001,18(9):35-43.

[6] MUNIR E U,ASLAM M,SHAH T,et al.An advanced heterogeneity-aware centralized energy efficient clustering routing protocol for wireless sensor networks[C].IEEE 2014 International Green Computing Conference (IGCC),2014:1-10.

[7] JAVAID N,RASHEED M B,IMRAN M,et al.An energy-efficient distributed clustering algorithm for heterogeneous WSNs[J].EURASIP Journal on Wireless Communications and Networking,2015,2015(1):1-11.

[8] YADAV S,YADAV RS.A review on energy efficient protocols in wireless sensor networks[J].Wireless Networks,2016,22(1):335-350.

[9] G SMARAGDAKIS,I MATTA,A BESTAVROS.SEP:a stable election protocol for clustered heterogeneous wireless sensor networks[C].Proc.SANPA,2004.

[10] HEINZELMAN W R,CHANDRAKASAN A,BALAKRISHNAN H.Energy-efficient communication protocol for wireless microsensor networks[C].Proceedings of the 33rd Annual Hawaii International Conference on System Sciences,2000.

[11] QING L,ZHU Q,WANG M.Design of a distributed energy-efficient clustering algorithm for heterogeneous wireless sensor networks[J].Computer communications,2006,29(12):2230-2237.

[12] SAINI P,SHARMA A K.Energy efficient scheme for clustering protocol prolonging the lifetime of heterogeneous wireless sensor networks[J].International Journal of Computer Applications,2010,6(2):1-5.

(责任编辑:孙 娟)

A Heterogeneity-aware Centralized Energy Efficient

Clustering Routing Protocol for Wireless Sensor Networks

Abstract:Limited energy resources are one of the major limitations of wireless sensor networks widely used. In order to maximize the lifetime of the entire network, the energy consumption of nodes in the wireless sensor network is essential to be optimized. In this paper, the network contain two kinds of nodes, normal nodes and advanced nodes which has a higher energy. The algorithm takes some factors into account, such as the residual energy of nodes, the average energy in the network, the distance between cluster head and the base station and the type of nodes and so on, then we have designed a heterogeneous network suitable method for selecting cluster heads (HCEEC). In this protocol, the base station selects a higher energy and closer one as a CH to collect messages in the corresponding cluster, CH send the fused data to the BS by single-hop or multi-hop way. The experiment shows that the proposed algorithm in this paper can be better integrated energy network load, increase network throughput and extend the network lifetime.

Key Words:异构网络; heterogeneous network; wireless sensor networks; clustering routing algorithm