

一种基于节点位置和非均匀分簇路由算法

颜 然 杨 云 史庭俊 孔秀平 徐文春 杨安驹

(扬州大学信息工程学院 扬州 225009)

摘 要 分析了现有分簇路由算法,提出了基于节点位置和非均匀分簇路由算法。簇头选举阶段,考虑了节点的剩余能量,并引入竞争机制进行簇头选择;成簇阶段,综合考虑节点与基站的距离、节点密度以进行非均匀分簇,达到节点能耗均衡的效果,同时解决路由热区问题;簇间路由阶段,通过设立通信簇头节点,使簇间数据转发任务从簇头中分离,簇头节点只负责簇内的数据收集和融合,而通信簇头节点负责簇间数据传输,减少了簇头的能量消耗。实验结果表明,改进后的路由算法能够有效地均衡网络负载,并显著地延长网络的生命周期。

关键词 无线传感器网络,路由算法,分簇,通信簇头

中图分类号 TP393.17 **文献标识码** A **DOI** 10.11896/j.issn.1002-137X.2015.8.014

Uneven Cluster Routing Algorithm Based on Node Location and Node Density

YAN Ran YANG Yun SHI Ting-jun KONG Xiu-ping XU Wen-chun YANG An-ju

(College of Information Engineering, Yangzhou University, Yangzhou 225009, China)

Abstract By analyzing the existing cluster routing algorithms, we proposed an uneven cluster routing algorithm based on node location and node density. In the stage of cluster heads election, we considered the residual energy of nodes and introduced a competition mechanism to select the cluster head. In the stage of clustering, we considered the distance from the node to the base station and node density to complete the unequal cluster, which can achieve the effect of a balanced energy consumption of nodes, and can solve the routing of hot spot problem. In the phrase of cluster routing, in order to separate inter-cluster data forwarding task from the cluster head, we chose the communication cluster heads. Cluster heads only collect and integrate data within the cluster, while the communication cluster heads transmit data between clusters. This reduces the energy consumption of the cluster head. Experimental results show that the improved routing algorithm can effectively balance the network load and significantly prolong the network lifetime.

Keywords Wireless sensor network, Routing algorithm, Cluster, Communication cluster head

1 引言

无线传感器网络(Wireless Sensor Network, WSN)是通过大量的传感器来实现在一个目标区域中协作地实时监视任务,收集并分析处理有价值的信息,以自组多跳的网络方式传送到用户终端,实现远程目标监控。根据传感器的特点,一般将 WSN 部署在恶劣的环境中^[1],如深海、北极地区和危险战区等。WSN 是一种能量受限的无线自组织网络,而当节点能量较少时,会影响整个网络的通信能力,因此,节约能量是设计 WSN 路由协议时优先考虑的因素^[2]。

针对如何有效地节约能量及延长网络的生命周期,目前覆盖此问题的算法可分为平面路由和层次路由两类^[3]。平面路由协议的优点是简单、负载平衡,以及更好的鲁棒性,但是路由过程中信息维护成本很大。层次路由又叫做分簇路由,与平面路由相比,分簇路由具有一定的优势,即能够使网络中节点的当前可用能量高效利用,因此,在较大规模的网络中一

般采用分簇路由协议。

在分析了现有的分簇路由算法的基础上,提出了一种基于节点位置和非均匀分簇路由算法 LDUC (An Unbalance Clustering Routing Algorithm Based on Node Location and Node Density)。该算法主要有以下几个特点:引入竞争机制进行簇头选择;综合考虑节点与基站的距离和节点密度因素进行非均匀分簇;在网络中设立通信簇头节点,承担簇间数据转发任务,分担簇头节点的能量消耗,有利于均衡整个网络的能耗,缓解分簇路由算法中的热区问题。算法还可用于节点非均匀分布的 WSN 中,能够有效提高网络生命周期。

2 相关工作

经典的分簇路由算法 LEACH^[4]是采用轮循环的方式,周期性等概率地选择簇头,通过簇头转发簇成员的数据给基站,这能有效减少节点的能量消耗,延长网络的生存时间。但

到稿日期:2014-05-23 返修日期:2014-07-15

颜 然(1989—),女,硕士生,主要研究领域为无线传感器网络路由协议;杨 云(1957—),男,教授,博士生导师,主要研究领域为 TCP/IP 协议分析、分布式路由协议, E-mail: yyang@yzu.edu.cn(通信作者);史庭俊(1963—),男,副教授,硕士生导师,主要研究领域为信息与网络安全;孔秀平(1989—),男,硕士生,主要研究领域为无线传感器网络路由协议;徐文春(1990—),男,硕士生,主要研究领域为无线传感器网络路由协议;杨安驹(1990—),男,硕士生,主要研究领域为无线传感器网络路由协议。

是在 LEACH 算法中,簇头节点与基站通信采用的是单跳方式,使得离基站较远的簇头节点能量消耗相对较大,节点提前失效或死亡,出现“热区效应”问题。因此,如何均衡簇间能耗,达到整个网络节点的负载均衡,成为分簇路由算法的研究热点。在 LEACH 算法的基础上,陈庆章等^[5]提出了一种改进的双轮成簇协议 EEDRCP。其主要思想是:在簇头选取过程中引入了剩余能量参数,形成混合型网络拓扑结构。考虑了节点非均匀分布和节点剩余能量因素的分簇算法 ES-AC^[6]、LUCA^[7]和文献[8]提出的算法,其缺陷在于分簇没有考虑节点与基站的距离因素,仅以节点的剩余能量和分布密度为依据,这样会导致靠近基站的簇头由于承担了转发其他距离基站更远的分簇数据的任务,而节点能量消耗较快。EEUC 协议^[9]采用非均匀成簇和多跳路由的策略,靠近基站的簇半径较小,远离基站的簇半径较大,其在均衡簇头与簇头节点间能量消耗方面有很好的效果,但是并未考虑节点非均匀分布的情况;另外,簇头节点与簇成员节点间仍然存在能量消耗不均的问题。文献[10]在 EEUC 路由算法基础上提出了协同路由算法 CRA,该算法不但考虑了距离因素和节点剩余能量,而且在选择路由节点时,非簇头节点与簇头节点一样,也可作为路由节点。Chaturvedi A^[11]和 Jindal S^[12]也提出了相应的用于解决网络中出现的“热区效应”问题的分簇路由算法,但是这些算法也没有考虑到节点的非均匀分布情况。

3 系统模型

3.1 网络结构模型

对网络结构模型作如下假设:

- (1)传感器节点附近只有一个基站 BS,也叫 sink 节点,其有充足的能量和稳定性;
- (2)网络中所有节点是随机分布在二维平面上的一块方形区域内的,且具有同样的构造,能量有限,部署后无法补充能量;
- (3)离基站远的节点可以通过多跳方式与基站进行通信;
- (4)簇头具有数据融合能力,可以与外界通信;
- (5)网络链路对称,即已知对方发射功率,节点可以利用收到的 RSSI 信号的强度来计算发送方与自己的近似距离;
- (6)节点可以自由地调整无线电信号的发射功率。

3.2 能量消耗模型

采用文献[13]中的一阶无线模型,对不同的路由协议的能耗进行分析。式(1)为节点 i 发送 l bit 数据到节点 j 所消耗的能量,由发射电路消耗的能量和功率放大消耗的能量两部分组成。

$$E_{Tx}(l, d_{ij}) = \begin{cases} l * E_{dec} + l * \epsilon_{fs} * d_{ij}^2, & d_{ij} < d_0 \\ l * E_{dec} + l * \epsilon_{mp} * d_{ij}^4, & d_{ij} \geq d_0 \end{cases} \quad (1)$$

式(2)给出了节点接收 l bit 数据所消耗的能量。

$$E_{Rx}(l) = l * E_{dec} \quad (2)$$

其中, E_{dec} 为发射电路需要消耗的能量,如果节点的传输距离小于阈值 d_0 ,功率放大消耗的能量则采用自由空间模型;否则,采用多路径衰减模型。 ϵ_{fs} 与 ϵ_{mp} 分别是自由空间模型和多路径衰减模型下功率放大的能量消耗。

考虑到数据融合也需要消耗一定的能量,本文中融合单位比特数据所需要消耗的能量用 E_{DA} 来表示。假定相邻的节

点收集的数据冗余度较高,这样簇头节点就需要对其所属成员节点收集的数据进行融合,形成一个长度固定的数据包后,再发送给基站。

4 算法描述

LDUC 算法的基本思想是:将网络中的节点分为 3 类,即普通节点、簇头节点和通信簇头。图 1 中,普通节点负责数据的收集并将其转发给簇头节点或是直接发送给基站;簇头节点负责对其簇内成员节点收集的数据进行融合并转发给通信簇头;通信簇头负责融合来自簇头节点的数据并转发给邻居通信簇头,然后通过通信簇头间的中继发送到基站。

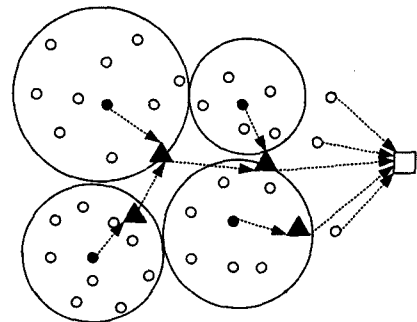


图 1 网络结构示意图

网络采用轮循环的方式选取通信簇头和簇头,保持网络能量消耗的均衡。每轮工作分为 4 个阶段:通信簇头选举阶段、分簇的建立阶段、簇间路由建立阶段和数据传输阶段。由于通信簇头是负责簇间数据传输的,且需要覆盖到整个网络中的所有簇头节点,因此,在每一轮开始时,先在网络中选取一定量的剩余能量较多的节点作为通信簇头;除了与基站距离小于 d_1 的节点外,所有的非通信簇头节点再进行簇头竞选,具有较多剩余能量的节点将优先成为簇头;当簇头选举完成后,由簇头与簇成员共同完成簇的建立;通信簇头和簇头节点根据邻居通信簇头的信息、剩余能量、距离指标,来选择一个合适的邻居通信簇头作为下一跳节点,完成簇间路由的建立;当通信簇头和簇头建立了到基站的路径后,所有节点将进入数据传输阶段,完成数据的采集与传输。

下面对 LDUC 算法的各阶段进行具体的描述。

4.1 网络初始化

将网络中所有节点随机部署在二维平面上的一块方形区域内,基站设置为方形区域的一侧。当网络部署完成后,基站将广播一个网络初始化消息,网络中所有节点根据收到的广播信号强度计算出自己与基站之间的距离,用 $d(i, BS)$ 表示,并计算出网络中节点与基站之间的最大距离 d_{max} 和最小距离 d_{min} 。

4.2 通信簇头选举

一方面,由于通信簇头的任务是负责簇间数据的转发,而进行数据传输需要具有充足的能量,因此,在竞选通信簇头之前,所有节点首先检测自身的当前剩余能量,如果自身的剩余能量低于一个阈值 E_{avg} ,则该节点退出通信簇头竞选;否则,该节点将成为临时的通信簇头,并向周围的节点广播其成为临时通信簇头的消息。

使用整个网络中节点的平均剩余能量来表示阈值 E_{avg} ,其计算公式如式(3)所示:

$$E_{avg} = \begin{cases} E_{init}, & r=1 \\ \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n E_{cur}(i), & r>1 \end{cases} \quad (3)$$

其中, E_{init} 表示节点的初始能量, E_{cur} 表示节点的当前剩余能量, r 表示当前循环进行的轮数。

在每一轮的最后一帧里, 各节点将自身的当前剩余能量与数据一起发送给基站, 基站计算网络中节点的平均剩余能量, 并在下一轮的通信簇头竞选中向所有网络节点进行广播。

为了减少信道的冲突, 降低通信簇头之间的通信能耗, 使剩余能量多的节点成为通信簇头的概率变大, 临时通信簇头的广播半径限制为 d_2 , 且延时 T 后才广播通信簇头成立的消息。

将延时时间 T 的计算公式规定为:

$$T = \frac{\delta}{r_g} (1 - \frac{E_{cur}}{E_{avg}}) \quad (4)$$

其中, δ 是一常数(根据整个网络允许的时延确定); r_g 表示节点连续未成为通信簇头的轮数, 当节点成为通信簇头后 r_g 将置为 1。

由式(4)可知, 延时主要与节点的当前剩余能量有关, 能量越多, 成为通信簇头的可能性就更大。

若临时通信簇头在延时期间收到了其它通信簇头的广播消息, 则表示在该通信范围内还存在着剩余能量更多的节点作为临时通信簇头, 因此, 该能量较少的节点将退出通信簇头的竞选。

4.3 簇建立

当通信簇头竞选结束后, 进入簇的建立阶段, 所有通信簇头进入休眠状态, 除了与基站距离小于 d_1 (节点初始通信半径) 的节点外, 所有的非通信簇头节点首先产生 0~1 之间的一个随机数。若产生的随机数是小于阈值 $T(n)$ 的, 则表示该节点将成为临时簇头节点, 否则该节点将为簇成员节点。鉴于 LEACH 协议中的阈值计算方法 $T(n)$ 并没有考虑节点的剩余能量对簇头选举的影响, 采用文献[14]中的阈值计算方法, 如式(5)所示。

$$T(n) = \begin{cases} \frac{p}{1 - p[r \bmod (1/p)]} [\frac{E_{cur}}{E_{avg}} + (r \div \frac{1}{p})] \\ (1 - \frac{E_{cur}}{E_{avg}}), & n \in G \\ 0, & n \notin G \end{cases} \quad (5)$$

其中, p 表示临时簇头占整个网络中节点的比例, 即该节点成为临时簇头的概率, r 表示该节点连续未成为临时簇头的轮数, G 表示最近 $1/p$ 轮中所有未当选过临时簇头的节点的集合。

当临时簇头选出后, 所有临时簇头参与簇头竞选, 非临时簇头节点进入休眠状态, 直至簇头竞选结束。

由于网络中的数据是以多跳的方式发送到基站, 因此基站附近的节点不可避免地需要转发更多的数据, 这就造成了基站附近节点的能量消耗更多, 由此产生的网络负载不平衡被称为热区。

采用非均匀的簇分类方法来限制簇半径, 使基站附近节点的簇半径较小, 那么基站附近就可以形成更多的簇, 通过多跳(multi-hop)传输, 可以解决热区问题。

此外, 考虑到节点非均匀分布因素, 临时簇头竞争半径 R_c 表示为式(6), 各临时簇头根据节点的最大通信半径 R_0 及

“距离基站近、节点密度大的区域簇半径较小; 远离基站、节点密度小的区域簇半径较大”的规则, 确定临时簇头的竞争区域。

$$R_c = (1 - \alpha * \frac{d_{max} - d(i, BS)}{d_{max} - d_{min}}) (1 - \beta * \frac{N_{con}}{N_{max}}) R_0 \quad (6)$$

其中, d_{max} 和 d_{min} 分别表示节点与基站之间的最大距离和最小距离; $d(i, BS)$ 表示节点 i 与基站的近似距离; N_{con} 为该节点的邻居节点的总数; N_{max} 为整个网络中节点最大的邻居节点总数; α 和 β 表示 0~1 之间的数, 分别用于控制节点位置和节点密度对分簇半径影响的比重, 且 $\alpha + \beta = 1$ 。

根据式(6), 簇头竞争半径 R_c 与节点和基站之间的距离 $d(i, BS)$ 成正比, 而与节点密度 N_{con}/N_{max} 成反比。因此, 在基站附近, 节点密度大的区域将形成更多的簇头节点, 可以解决能耗负载不平衡问题。

簇建立的步骤如下:

(1) 各节点向通信半径在 R_0 范围内的邻居节点广播一个“Hello”消息, 在此消息中包含节点的 ID 和剩余能量。某点接收到“Hello”消息后, 将其记录在自身的邻居节点表中。

(2) 与基站距离不小于 d_1 的非通信簇头节点根据式(5)计算 $T(n)$ 的值, 并随机生成一个 0~1 之间的随机数, 然后与 $T(n)$ 进行比较, 若小于 $T(n)$, 则该节点成为临时簇头节点, 其他节点进入休眠状态, 直到簇头选举的过程结束。

(3) 当节点被确定为临时簇头后, 根据式(6)计算其竞争半径 R_c 。

(4) 各临时簇头节点以竞争半径 R_c 广播竞选簇头消息 ELECTION_HEAD_MSG, 该消息包含该节点的标识 ID、节点的当前剩余能量 E_{cur} 和竞争半径 R_c 。

(5) 各临时簇头节点根据收到的广播消息, 构建邻居临时簇头节点集 S_{Nbr} 。

(6) 当节点集 S_{Nbr} 建立完成后, 各临时簇头节点将自己的当前剩余能量与其 S_{Nbr} 节点集中各临时簇头的当前剩余能量进行比较, 若该临时簇头节点能量最高, 则广播其成为簇头的消息 BECOME_HEAD_MSG 通知邻居临时簇头, 表示竞选成功。否则, 等待邻居临时簇头竞选结束消息, 若能量比其高的临时簇头竞选成功, 则退出簇头竞选; 若能量比其高的临时簇头竞选都失败了, 则其当选为簇头节点, 并以其竞争半径广播其成为簇头的消息 BECOME_HEAD_MSG, 通知其邻居临时簇头。

(7) 各临时簇头节点若收到了邻居临时簇头节点竞选簇头成功的消息, 则以自己的竞争半径广播退出竞选的消息 QUIT_MSG, 并将自己的邻居临时簇头节点集 S_{Nbr} 清空, 将自己的状态改为普通节点。

(8) 当所有簇头节点竞选结束后, 唤醒之前未参与竞选的节点。

(9) 簇头节点以竞争半径 R_c 广播簇头成立消息。

(10) 除了与基站距离小于 d_1 外的所有的普通节点根据收到的簇头广播消息, 选择信号强度最大的簇头节点发送申请加入消息 Join_Msg。

4.4 簇间路由建立

由于在通信簇头的竞选阶段, 通信簇头的广播半径被限定为 d_2 , 为了使相邻的通信簇头能够互相通信, 当分簇建立完成后, 所有通信簇头以 $2d_2$ 为广播半径广播通信簇头路由

消息,该消息包括通信簇头的 ID、距离基站的跳数以及通信簇头的剩余能量。簇头或者其他通信簇头收到该广播消息后,将该通信簇头的相关信息记录到自己的通信路由表中。当所有通信簇头都广播了该路由消息后,所有簇头和通信簇头都将获得其邻居通信簇头的相关信息。为了提高网络的能量效率和平衡网络负载,通信簇头将根据其通信路由表中的信息构造多跳路由。在所有邻居通信簇头中,需要选择一个最优的通信簇头作为下一跳路由节点。选择最优通信簇头,需要综合考虑其与基站距离较小和当前剩余能量较多等因素。若基站在通信簇头的通信半径范围内,则直接将基站作为下一跳节点。簇头将根据通信簇头路由表中各邻居通信簇头的剩余能量和信号强度,选择最优的通信簇头作为下一跳路由节点。

4.5 数据传输

将数据的传输分为若干个时隙,各个时隙包括簇内的数据收集和通信簇头的数据传输两个部分。这样,可以减少信道的冲突,降低节点的能量消耗,从而达到延长网络生命周期的效果。

在簇内的数据收集阶段,每个簇成员节点只有在属于自己的时隙内才可以进行数据收集,并以单跳的方式发送给所属簇的簇头节点。在不属于自己的时隙内,簇成员节点将会保持休眠的状态以节省能量消耗。簇头节点收集簇成员的数据结束后,对收集到的数据进行融合。为了减少传输的数据量和簇头节点的能量消耗,簇头节点将融合后的数据发送给其邻居通信簇头。通信簇头收到簇头节点的数据后,将暂时缓存该数据,等待通信簇头数据的传输时隙。而与基站距离小于 d_1 的普通节点,将数据直接发送给基站。

在通信簇头数据传输阶段,通信簇头以多跳的方式,将缓存的由簇头发送的数据转发给基站。在这个阶段,所有簇头节点和簇成员节点都将进入休眠状态,以避免浪费不必要的能量。由于簇与簇之间的数据存在一定的数据冗余,因此我们对簇内收集到的数据进行一定程度的融合。为了减少传输的数据量,通信簇头在收到簇头节点或邻居通信簇头转发来的数据后,再进行融合,然后再转发给下一跳邻居通信簇头。

5 仿真实验及分析

5.1 实验环境

使用 Java 编写模拟程序,并将 Java 代码运行的数据集导入 Python 中,利用 Python 实现仿真实验图。网络节点分布如图 2 所示,普通传感器节点随机地分布在监测区域中,监测区域为 $200\text{m} \times 200\text{m}$ 的网络,节点数为 400。

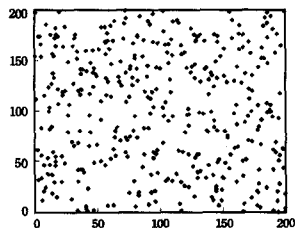


图2 网络节点分布

为了对算法进行比较全面的性能评估,主要从节点能耗均衡情况、网络存活节点数、网络能量消耗和基站接收到的数据量等方面进行仿真实验分析。实验中的主要参数设置如表 1 所列。

表 1 实验参数设置

参数名称	参数值
网络覆盖区域	$200\text{m} \times 200\text{m}$
N	400
E_{init}	0.5J
E_{elec}	50nJ/bit
ϵ_{fs}	$10\text{pJ}/(\text{bit} \cdot \text{m}^2)$
ϵ_{mp}	$0.0013\text{pJ}/(\text{bit} \cdot \text{m}^4)$
E_{DA}	$5\text{nJ}/(\text{bit} \cdot \text{signal})$
l	4000bits
d_0	87m

5.2 仿真结果及分析

1. α 与 β 值的设置对 LDUC 算法的影响

LDUC 算法中,簇的大小与 α 和 β 的不同取值有关,取值的不同将直接影响网络的生存周期。因此,针对这个问题,实验中首先考察不同的取值对网络生存周期的影响,即网络中第一个死亡节点出现的时间。由于 $\alpha + \beta = 1$,这里只需要考察不同的 α 取值对出现第一个死亡节点的轮数影响,如图 3 所示。

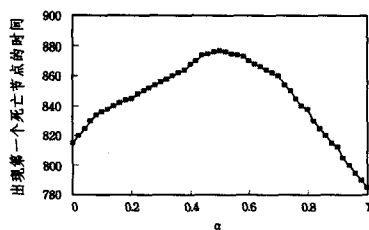


图3 网络生存周期随 α 变化的趋势

从图 3 可以发现,当 $\alpha=0$ 时,簇大小只与节点的密度有关;随着 α 的增大,距离因素开始影响簇的大小,LDUC 算法逐渐平衡了节点的能量消耗,因此网络的生存周期逐渐增长。当 $\alpha=0.5$ 时,网络生存周期达到最大,此时节点的密度和距离因素对该算法性能的影响程度相同。当 α 超过 0.5 以后,网络的生命周期逐渐下降,这是因为随着距离因素影响程度的增大,相对密度因素变小,这就导致了网络中节点非均匀分布时簇的不合理,簇间能量消耗不均衡,使出现死亡节点的时间提前。由上可知,当其他条件确定后,存在一组最优的 α 与 β 值。

2. 不同比例的死亡节点在网络中的分布情况

图 4 展示了当死亡节点数量分别占网络节点总数 10% 和 50% 时,监测区域内节点的分布情况(其中,实心点为存活节点,空心点为死亡节点)。

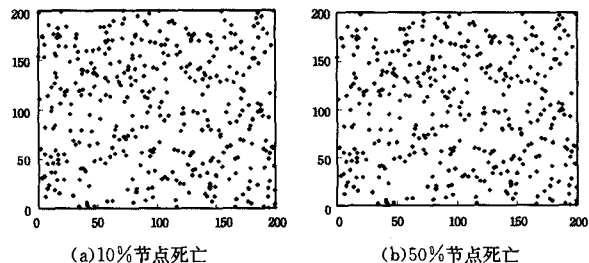


图4 网络节点分布图

从图 4 可以看出,不管死亡节点占网络总节点数的比例是 10% 还是 50%,死亡节点在网络中的分布大致都是均匀的,LDUC 算法有效地均衡了网络中节点的能量消耗。

3. 网络生命周期比较

图 5 给出了在相同的参数和实验条件下,在 LEACH、

EEUC 和 LDUC 3 种算法中,网络剩余的节点数目随网络运行轮数变化的情况。

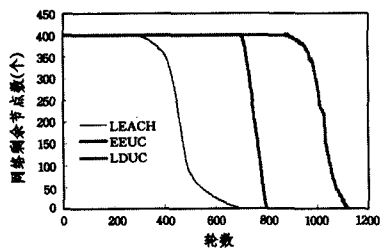


图5 网络剩余节点个数

从图5可以看出,因为 LEACH 中簇头节点是通过单跳方式将簇内数据发送给基站的,这就导致了离基站较远的簇头节点过早死亡,最早出现死亡节点,网络生命周期相对较短。EEUC 算法由于采用了非均匀分簇和多跳路由的方法,在簇头节点间能量均衡消耗方面效果明显,显著延缓了第一个死亡节点出现的时间,延长了网络生命周期。但是,由于簇头节点与簇成员节点间存在能量消耗不均的问题,仍然会出现节点过早死亡的现象。LDUC 算法在 EEUC 算法的基础上,既考虑了节点与基站的距离和节点密度进行分簇,还采用了通信簇头分担簇头节点的转发任务,这样使得整个网络的能量消耗更为均衡,所以网络生命周期比 EEUC 算法更长。

4. 网络能量消耗比较

LEACH、EEUC 和 LDUC 3 种算法在网络中总的能量消耗随时间变化的情况如图6所示。

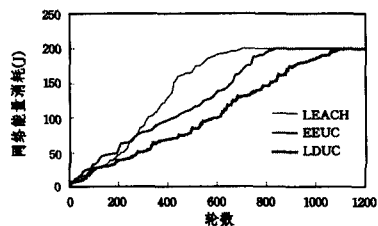


图6 网络剩余能量

可以看出,LEACH 算法节点能量消耗最快,由于 EEUC 和 LDUC 算法都采用了非均匀分簇策略,因此能量消耗速率都低于 LEACH 算法。此外,由于 LDUC 算法提出了利用通信簇头来分担簇头节点的数据转发任务,减少了簇头节点的能量消耗,有效地均衡了簇头与簇成员之间的能量消耗,因此 LDUC 能量消耗更为均衡,且在相同的轮数下,网络的剩余能量比其他两种更高。

5. 网络数据量比较

LEACH、EEUC 和 LDUC 3 种算法的基站接收到的数据量随时间变化的情况如图7所示。

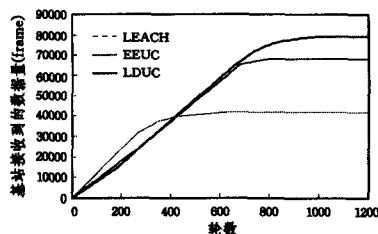


图7 网络剩余能量

在网络运行初期阶段,LEACH 算法中基站接收的数据量大于其他两种算法的网络数据量,主要原因是 LEACH 网

络中各簇头节点直接发送数据给基站,数据延时小,而 EEUC 和 LDUC 算法中簇头节点采用多跳的方式给基站发送数据,数据延时要大于 LEACH;另外,EEUC 和 LDUC 算法在成簇阶段的控制信息交互比 LEACH 多,这也是造成相同时间段内网络数据量小于 LEACH 算法网络数据量。随着网络的运行,EEUC 和 LDUC 由于均采用了非均匀分簇方法,其能耗均衡性要高于 LEACH,因此网络生存时间要比 LEACH 长;而 LDUC 算法分簇还考虑了节点密度,又采用了通信簇头分担簇头数据转发任务其网络能耗比 EEUC 更均衡,因此在网络的生存周期中 LDUC 的整体网络数据量比 LEACH 和 EEUC 都大。

结束语 针对无线传感器网络分簇路由算法能量消耗不均的缺点,本文提出了一种基于节点位置和节点密度的非均匀分簇路由算法。其核心思想是根据“距离基站近、节点密度大的区域簇半径较小;远离基站、节点密度小的区域簇半径较大”的规则进行非均匀分簇,并提出采用通信簇头进行数据转发任务来分担簇头的能量消耗,以解决分簇协议中因能量消耗不均而导致的热区问题。与已有的分簇协议相比,簇头节点的能耗不均问题得到了很大的改善,显著地延长了网络的生存时间。

本文采用文献[14]中的阈值计算方法来进行临时簇头的选举,这种方法选出的临时簇头具有一定的随机性,并没有考虑节点非均匀分布下的簇头选择问题;节点数据融合问题不是本文的研究重点,但节点数据融合会影响到节点能量消耗。因此改进簇头选举方法、设计数据融合算法将是我们下一步的研究工作。

参考文献

- [1] Hancke G P, Gungor V C. Guest Editorial Special Section on Industrial Wireless Sensor Networks[J]. IEEE Transactions on Industrial Informatics, 2014, 10(1): 762-765
- [2] 李辉, 刘书吉. 基于节点度和距离的 WSN 分簇路由算法[J]. 计算机工程, 2014, 40(3): 113-119
Li Hui, Liu Shu-ji. WSN clustering routing algorithm based on node degree and distance [J]. Computer Engineering, 2014, 40 (3): 113-119
- [3] Beiranvand Z, Patooghy A, Fazeli M. I-LEACH: An efficient routing algorithm to improve performance & to reduce energy consumption in Wireless Sensor Networks[C]// 2013 5th Conference on Information and Knowledge Technology (IKT). IEEE, 2013: 13-18
- [4] Tilak S, Abu-Ghazaleh N B, Heinzelman W. A taxonomy of wireless micro-sensor network models[J]. ACM SIGMOBILE Mobile Computing and Communications Review, 2002, 6(2): 28-36
- [5] 陈庆章, 赵小敏, 陈晓莹. 提高无线传感器网络能效的双轮成簇协议设计[J]. 软件学报, 2010, 21(11): 2933-2943
Chen Qing-zhang, Zhao Xiao-min, Chen Xiao-ying. Design of Double Rounds Clustering Protocol for Improving Energy Efficient in Wireless Sensor Networks[J]. Journal of Software, 2010, 21(11): 2933-2943
- [6] Lehsaini M, Guyennet H, Feham M. A novel cluster-based self-organization algorithm for wireless sensor networks [C]// Proceedings of International Symposium on Collaborative Technologies and Systems. Irvine: IEEE Press, 2008: 19-26

定值时,最大稳定吞吐量变化缓慢。当超过这个值后,由于竞争窗口足够大,在等待时间内到达足够多的能量单元,此时最大稳定吞吐量由于竞争窗口的增大而减少。另外,从图6中也可看出,当能量到达速率较大时,能量约束的影响较小,因此在较小竞争窗口时最大稳定吞吐量也较大。

结束语 无线自组网中节点的能量约束是研究者尽可能大地利用绿色能源的主要动力。本文提出了一种用于分析网络吞吐量的分析模型。该模型中网络基于分时协议,且具有路由汇聚节点。本文所提模型可用来对不同数据分组、不同能量到达速率和不同数量非饱和节点场景进行建模。本文将网络路由汇聚节点建模为闭环排队网络,该排队网络可表征数据发送过程以及能量缓存的状态。网络性能指标注入最大稳定吞吐量、稳定域和分组丢弃率可用本模型进行分析。仿真研究了能量约束如何影响这些性能指标,且验证了所提分析模型的准确性。

参 考 文 献

- [1] Wang zhi-ming, Guo Wei-chun, Wang zhi-gang, et al. The Applications of Networking of Consumption Data Acquisition System by Combining Broadband Powerline Communication and Wireless Communication [C]//2012 IEEE Innovative Smart Grid Technologies-Asia (ISGT Asia). Tianjin, China, May 2012; 1-4
- [2] 苏金树, 胡乔林, 赵宝康, 等. 容延容断网络路由技术[J]. 软件学报, 2010, 21(1): 119-132
Su Jin-shu, Hu Qiao-lin, Zhao Bao-kang, et al. Routing Techniques on Delay/Disruption Tolerant Networks[J]. Journal of Software, 2010, 21(1): 119-132
- [3] Suarez L, Nuaymi L, Person C, et al. Electromagnetic Radiation Compliance under the Use of Green Cell Breathing and Hybrid Network Approaches in LTE[C]//2013 IEEE 24th International Symposium on Personal, Indoor and Mobile Radio Communications (PIMRC Workshops). London, UK, Sept. 2012; 31-35
- [4] 张立, 郑过莘, 贾东立, 等. 认知无线网络中控制信道预约的 MAC 协议[J]. 北京邮电大学学报, 2010, 33(4): 79-92
Zhang Li, Zheng Guo-xin, Jia Dong-li, et al. A control channel reserving based MAC protocol for cognitive radio networks[J]. Journal of Beijing university of posts and telecommunications, 2010, 33(4): 79-92
- [5] Cammarano A, Petrioli C, Spenza D. Pro-Energy: A novel energy prediction model for solar and wind energy-harvesting wireless sensor networks[C]//2012 IEEE 9th International Conference on Mobile Adhoc and Sensor Systems (MASS). Las Vegas, USA, Oct. 2012; 75-83
- [6] El-Anzeery H, El-Bagouri M, Guindi R. Novel Radio Frequency Energy Harvesting Model[C]//2012 IEEE International Power Engineering and Optimization Conference (PEDCO). Melaka, Malaysia, 2013; 209-213
- [7] Prabhakar T V, Iyer M, Prkruthi K. Throughput Schemes for Energy Harvesting Sensor Network[C]//2012 Fourth International Conference on Communication Systems and Networks (COMSNETS). Bangalore, India, Jan. 2012; 1-7
- [8] 罗涛, 赵明, 李静叶, 等. 认知无线电资助网络 MAC 协议[J]. 计算机学报, 2013, 36(2): 1-13
Luo Tao, Zhao Ming, Li Jing-ye, et al. MAC Protocols in Cognitive Radio Ad Hoc Networks[J]. Chinese Journal of Computers, 2013, 36(2): 1-13
- [9] 王辛果, 张信明, 陈国良. 时延受限且能量高效的无线传感器网络跨层路由[J]. 软件学报, 2011, 22(7): 1626-1640
Wang Xin-guo, Zhang Xin-ming, Chen Guo-liang. Delay-constrained and Energy-Efficient cross-layer routing in wsn[J]. Journal of software, 2011, 22(7): 1626-1640
- (上接第 69 页)
- [7] Lee S, Choe H, Park B, et al. LUCA: an energy efficient unequal clustering algorithm using location information for wireless sensor networks[J]. Wireless Personal Communications, 2011, 56: 715-731
- [8] Olascuaga-Cabrera J G, López-Mellado E, Mendez-Vazquez A, et al. A self-organization algorithm for robust networking of wireless devices[J]. IEEE Sensors Journal, 2011, 11(3): 771-780
- [9] 李成法, 陈贵海, 叶懋, 等. 一种基于非均匀分簇的无线传感器网络路由协议[J]. 计算机学报, 2007, 30(1): 27-36
Li Cheng-fa, Chen Gui-hai, Ye Mao, et al. Routing protocol for wireless sensor networks based on non-uniform clustering [J]. Chinese Journal of Computers, 2007, 30(1): 27-36
- [10] 邹瑜, 彭舰, 黎红友, 等. 基于协同路由算法的无线传感器网络能量空洞避免[J]. 四川大学学报(自然科学版), 2012, 49(6): 1253-1258
Zou Yu, Peng Jian, Li Hong-you, et al. Energy-hole avoidance for wireless sensor network based on collaborative routing algorithm [J]. Journal of Sichuan University (Natural Science Edition), 2012, 49(6): 1253-1258
- [11] Chaturvedi A, Kumar P. An Energy Efficient Algorithm to avoid Hot Spot effects in Wireless Sensor Networks[J]. International Conference on Signal Processing, Image Processing and Pattern Recognition, 2013, 2(7): 117-121
- [12] Jindal S. Hybrid multi-hop energy efficient routing mechanism in WSN[J]. International Journal of Management, IT and Engineering, 2014, 4(2): 230-242
- [13] Jain A, Reddy B V R. Optimal degree centrality based algorithm for cluster head selection in wireless sensor networks[C]//2014 Recent Advances in Engineering and Computational Sciences (RAECS). IEEE, 2014: 1-6
- [14] Handy M J, Haase M, Timmermann D. Low energy adaptive clustering hierarchy with deterministic cluster-head selection[C]//Proceedings of 4th International Workshop on Mobile and Wireless Communications Network, 2002; 368-372