

DOI:10.19651/j.cnki.emt.2105889

# 异构无线传感器网络的分区稳定路由协议

陈雪娇

(华南理工大学广州学院 电子信息工程学院 广州 510800)

**摘要:** 当多个智能传感器节点组成网络时,会详细监测物理环境而被广泛使用。但传感器采用电池供电不可替换,为了高效利用电池的能量达到长时间有效监测环境的目的,设计了一种基于异构网络的分区稳定路由协议(PSRP)。该协议根据节点能量把网络分为3个区域,区域0的节点直接跟基站进行通信,区域1和2的节点采用群集机制进行数据传输。群集中簇首的选择主要考虑节点的剩余能量和离基站的距离,较远的簇首采用中继节点转发数据的方式给簇首。最后采用不同的评估方案(例如基站的位置变化和节点能量可变)对PSRP进行评估,结果表明,PSRP协议高效地利用了节点的能量,减少平均能量消耗,增加了网络的稳定期。

**关键词:** 无线传感器网络;簇头选择机制;混合通信方式;MATLAB仿真

**中图分类号:** TP393   **文献标识码:** A   **国家标准学科分类代码:** 510.5053

## Partition stable routing protocol for heterogeneous wireless sensor networks

Chen Xuejiao

(School Electronic &amp; Information Engineering, Guangzhou College of South China University of Technology, Guangzhou 510800, China)

**Abstract:** When multiple intelligent sensor nodes form a network, it will monitor the physical environment in detail and is widely used. However, the sensor powered by battery is irreplaceable. In order to use the battery energy efficiently and monitor the environment effectively for a long time, a partition stable routing protocol (PSRP) based on heterogeneous network is designed. The protocol divides the network into three areas according to the energy of the nodes. The nodes in area 0 communicate directly with the base station, and the nodes in area 1 and 2 use cluster mechanism for data transmission. The selection of cluster head mainly considers the residual energy of nodes and the distance from the base station. The farther cluster heads use relay nodes to forward data to cluster heads. Finally, different evaluation schemes (such as location change of base station and variable energy of nodes) are used to evaluate PSRP. The results show that the proposed protocol can efficiently utilize the energy of nodes, reduce the average energy consumption and increase the stability period of the network.

**Keywords:** wireless sensor network cluster; head selection mechanism; hybrid communication method; MATLAB simulation

## 0 引言

近些来,由于微机电系统(MEMS)技术的快速发展,WSN引起了全世界的关注。借助WSN技术,开发具有低成本高效益的传感器变得更加容易<sup>[1-3]</sup>。这些传感器尺寸小,与老式传感器相比价格便宜。除此之外,它们还具有感知环境,从野外收集信息,处理收集的信息并将数据传输给用户的能力。尽管智能传感器节点的处理能力有限,但是当它们与其他节点组合时,它们会详细感知物理环境。WSN中节点的部署分为两种类型:1)非结构化WSN;2)结构化WSN。在非结构化WSN中,传感器节点随机部署在

一个区域中,但是问题在于节点数量众多,因此网络管理变得很困难,例如故障检测和连接管理。结构化WSN中,传感器节点以预定义的方式进行组织,它的基本任务是监视区域,从该区域收集数据,对其进行处理并将其发送给基站。发送数据的方式有两种,一种是将消息直接发送到基站,则传感器节点需要高功率才能将数据发送到基站,消耗的能量较多<sup>[4-5]</sup>;另一种是采用多跳的方式,数据从一个节点传输到另一节点,再传输到另一节点,消耗的能源较少<sup>[6-7]</sup>。在WSN中,能源效率是研究重要问题之一。因此,提出一种节能路由协议是该领域中一项有意义的研究工作,诸如LEACH<sup>[8]</sup>,LEACH-M<sup>[9]</sup>,SEP<sup>[10]</sup>,CDEE<sup>[11]</sup>,

收稿日期:2021-03-04

AODV<sup>[12]</sup>, Z-SEP<sup>[13]</sup>, DRA-EH<sup>[14]</sup>之类的许多协议旨在降低能耗增强网络性能。这些协议对传感器节点进行聚类,选出簇首节点,在簇首节点上完成数据聚合以节省能量。目前,基于集群的传感器网络分为两类:1)同构传感器网络;2)异构传感器网络<sup>[15]</sup>。在同构网络中,所有节点具有相同的能量,而在异构传感器网络中,所有节点具有彼此不同的能量。即使是同构传感器节点组成的网络中,由于距离远近不同,信息量不同,节点消耗的能不可能均等,因此研究异构传感器网络更有意义。

## 1 网络模型

在一些协议中节点在现场随机组织,因此不能有效地利用这些节点的能量。在 PSRP 协议中,将传感器区域划分为 3 个区域(区域 0,区域 1,区域 2),如图 1 节点部署及区域划分图所示。把节点分成两种类型:普通节点和高级节点。与高级节点对比,普通节点具有低能量。普通节点放置在基站附近的区域 0 中,高级节点放置在离基站较远的区域 1 和区域 2 中。高级节点距离基站更远需要更多能量来传输数据。普通节点位于基站附近,传输信息时消耗的能量较少。因此采用普通节点直接与基站通信,而高级节点形成一个簇,一个节点作为簇首,负责与基站进行通信,如图 1 所示。

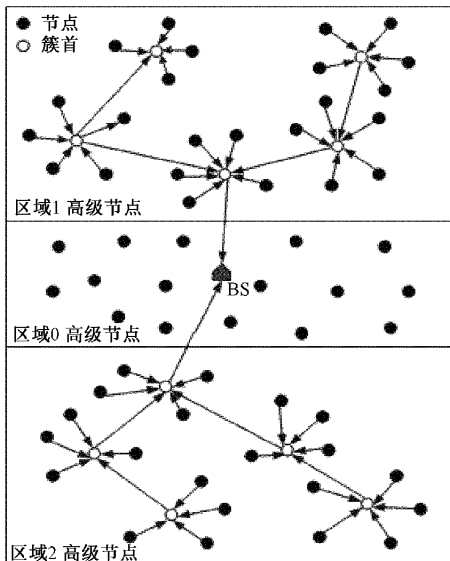


图 1 节点部署及区域划分

## 2 算法描述

### 2.1 簇首的选择

在 SEP 协议中,簇首的选择与 LEACH 相同。但是会出现能量少的或者距离比较远的节点选为簇首,造成这部分节点过早死亡。为此,重新设定了簇首选择的规则,主要从 3 个方面考虑簇首的选择:阈值、节点的剩余能量、与 BS 的距离。

第一轮簇首的选择方法与 LEACH 协议一样<sup>[8]</sup>。在第一轮完成之后,检查所有节点的剩余能量。如果节点具有更多的剩余能量,则该节点将被指定为该轮的簇首。如果节点具有相同的剩余能量,则在考虑到 BS 的距离的,与 BS 的距离越小,成为簇首的机会就越大。通过这种方法,增加传感器网络的稳定期,减少簇首死亡数量。下面介绍这几个参数的计算。

#### 1) 阈值

首先,每个传感器节点随机选择 0 和 1 之间的一个数。如果所选数字小于设定阈值,则该节点被选为当前轮次的簇首。PSRP 阈值方程采用了与 LEACH 协议一样的方法如下:

$$T_n = \begin{cases} \frac{P_{opt}}{1 - P_{opt}^{[r * \text{mod}(1/P_{opt})]}}, & n \in G \\ 0, & \text{其他} \end{cases} \quad (1)$$

每一轮中推选大约  $P_{opt}N$  个簇首节点,其中  $P_{opt}$  为优化簇首比例。每一个节点由上面的概率来决定是不是成为簇首。其中,  $r$  为目前的轮数,  $G$  为在最近  $r * \text{mod}(1/P_{opt})$  从而每个节点都有一定概率变为消耗能量较多的簇首<sup>[8]</sup>。

#### 2) 节点的剩余能量

在簇首选择过程中,剩余能量作为第二轮选择簇首的标准,如图 1 所示。对比所有节点的剩余能量,具有最高剩余能量的节点有机会变为簇首,称为簇首的概率。可以如下计算:

$$P(t) = \frac{E_{res}}{E_{avg}} \times \frac{D_{max}}{D_{bs}} \quad (2)$$

式中:  $E_{res}$  表示节点的当前能量;  $D_{bs}$  是节点到基站的距离。如果簇首候选的节点当前能量相同,则选择簇首与基站的距离近的节点作为簇首。  $D_{max}$  表示在部署网络后计算的值因子,  $E_{avg}$  是网络中所有节点的平均能量,计算方法如下:

$$E_{avg} = \frac{\sum_{i=1}^n E_{res}}{n} \quad (3)$$

式中:  $n$  是当时的活动节点总数。在网络开始时,所有节点具有相同的能量,所以靠近基站的节点变为簇首的概率更大。在第一轮结束之后,每个节点当前的能量与网络中的其他节点有所不同。因此,  $P(t)$  替代式(1)中的  $P_{opt}$  便得到概率门限,式(2)表明,当节点当前能量高于当前平均能量,并离基站更近的节点具有更大的概率被选为簇首,有效均衡节点之间的能量消耗,从而延长了网络的稳定时间。

### 2.2 与 BS 的通信方式

#### 1) 直接通信方式

在区域 0 中,普通节点距离 BS 近并且能量低,则把测量的数据直接发送到 BS。

#### 2) 多跳通信方式

高级节点在区域 1 和 2 中,比普通节点能量多。区域 1

和 2 使用聚类技术向基站发送数据,一些高级节点形成一个簇,一个节点作为簇首,负责与 BS 进行通信,而其他的节点是该簇的成员。成员节点感知环境,从野外收集信息,并将其发送到簇首,簇首处理收集的信息并将数据传输给基站。针对在 Z-SEP 协议中,远离基站的节点需要更多能量来传输数据的问题,提出簇首与基站的通信方式采用,即远离基站的簇首将向其中继簇首发送数据,并且中继簇首再将数据发送到下一个中继簇首,依此类推,直到它到达基站。这种方式与直接通信对比,损耗的能量更少,从而改善了网络的寿命。具体实现方法如下:

该过程中的簇首是静态的,所有节点的传输范围相同。此外,所有簇首能够在任何时间计算出当前能量,并且还能计算相邻簇首与其自身的链路的可靠性。

首先,BS 将 HELLO 分组广播到所有节点,通过这个信息可以计算各个节点与 BS 的距离。然后,每个簇首生成一个 HELLO 数据包,发送给邻居簇首节点。HELLO 数据包的字段由数据包 ID,源 ID,剩余能量和到 BS 的距离。数据包 ID 的功能是避免邻居簇首节点上接收重复的数据包,源 ID 表示发起数据包的源节点, $E_{res}$  是节点的剩余能量。数据包结构如表 1 所示。

表 1 HELLO 数据包结构

2 Byte	1 Byte	4 Byte	1 Byte
Packet ID	Source ID	$E_{res}$	DFBS

邻居簇首接收到 HELLO 数据包,在该节点的邻居表中添加新条目。如果该条目已存在,则表将自动更新。邻居表的结构如表 2 所示。

表 2 邻居表结构

1 Byte	4 Byte	4 Byte	1 Byte
Neighbor ID	LinkR	$E_{res}$	$NH_{cost}$

Neighbor ID 标识邻居编号,LinkR 识别两个簇首节点之间链路的可靠性。链路可靠性扰乱了 QoS 要求以及节点的能量消耗,因为如果两个节点之间的链路可靠性低,则发生高重传分组导致能量消耗的增加。链路可靠性的计算如式(4)所示。

$$LinkR_{ab} = (1 - \gamma)LinkR_{ab} + \gamma \left( \frac{Tx_{succ,ab}}{Tx_{total,ab}} \right) Tx_{succ,ab} \quad (4)$$

式中: $Tx_{succ,ab}$  表示通过节点  $ca$  和  $cb$  之间的链路成功发送的分组; $Tx_{total,ab}$  表示所有数据分组的发送和重发尝试; $\gamma$  表示平均加权因子,其值为 0.4。 $E_{res,a}$  字段是从 HELLO 数据包中取出,表示节点  $ca$  的当前能量如下:

$$E_{res,a} = E_{init,a} - E_{con,a} \quad (5)$$

式中: $E_{init,a}$  代表节点  $a$  内的初始化能量; $E_{con,a}$  表示节点的

总传输和接收能量,计算如下:

$$E_{con,a} = Pa * Etx + Qb * Errx \quad (6)$$

式中: $Pa$  和  $Qb$  表示节点  $ca$  发送和接收的比特数。 $Etx$  和  $Errx$  计算机如下:

$$Etx = Etx_{elec} + Eamp * d^2 \quad (7)$$

$$Errx = Errx_{elec} \quad (8)$$

式中: $Etx_{elec}$  和  $Errx_{elec}$  表示无线电发射信号和接受信号所需要的能量; $Eamp$  表示发射放大器消耗的能量; $d$  表示节点  $ca$  和  $cb$  之间的距离。 $NH_{cost}$  表示邻居节点的链路开销。 $NH_{value}$  表示下一跳值,它与残余能量成正比,并与距 BS 的距离成反比。 $NH_{value}$  大的节点被选为转发节点,其中  $NH_{value} = Res/DS$ , $Res$  是下一跳节点的当前能量, $DS$  表示离基站的距离。靠近基站的簇首收集来自其他簇首的数据,处理融合后将其传输到基站。算法流程如图 2 所示。

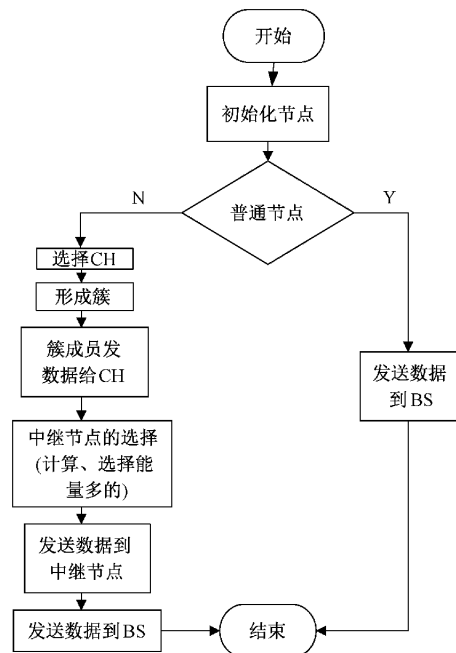


图 2 算法流程

上述研究的伪代码如下:

- (1)网络设置阶段
- (2)广播 HELLO 数据包
- (3)for
- (4)计算阈值,计算该节点当前的能量和到基站的距离,选择簇首
- (5)结束
- (6)计算中继节点的值
- (7)for
- (8) $NH_{value}$  (来自基站)
- (9)选择具有较高  $NH_{value}$  值的节点
- (10)结束

### 3 仿真实验的结果

实验采用 MATLAB 软件,在  $300 \times 300$  网络区域中随机分布的 100 个节点,BS 放置在网络的中间,定义簇首的比例为 0.1。实验仿真参数如表 3 所示。为了证明 PSRP 算法的性能优势,提出几种不同评估方案对 Z-SEP、DRA-EH 和 PSRP 协议进行了仿真。从节点的死亡数及能量消耗 2 个方面进行了性能比较分析。

表 3 仿真实验参数

参数	数值
网络覆盖区域	$300 \times 300$
基站位置	(150,150)
节点数	100
簇首比例	0.1
初始能量	0.8 J
最大轮数	5 000
$E_{fs}$	10 pJ
$E_{amp}$	0.001 3 pJ
$E_{tx}$	50 nJ
$E_{rx}$	50 nJ
$E_{da}$	5 nJ

图 3 所示为死亡节点数目,3 种协议中 Z-SEP 是最差的协议。在该图中,Z-SEP 协议在 100 处开始第 1 个节点的死亡,在近 500 轮时 PSRP 协议和 DRA-EH 协议出现了死亡节点,在 500 轮之前,PSRP 协议和 DRA-EH 的性能相当。但是在 800 轮后,PSRP 协议性能得到了改善。随着轮数的继续,PSRP 协议中的许多死亡节点低于其他比较协议。因而 PSRP 协议进一步扩展了网络生命周期。

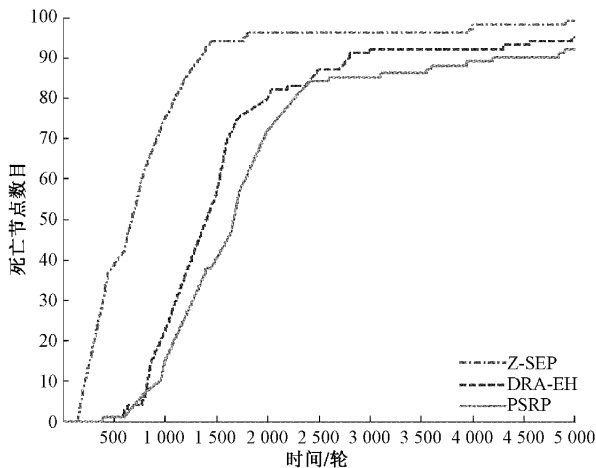


图 3 死亡节点数目

图 4 所示为能量消耗,说明了网络运行期间的能耗。该图表明 PSRP 协议在给定数量的轮次中具有最低的能量消耗。PSRP 平均损耗的能量最低,从而增加了网络生命周期和效率。

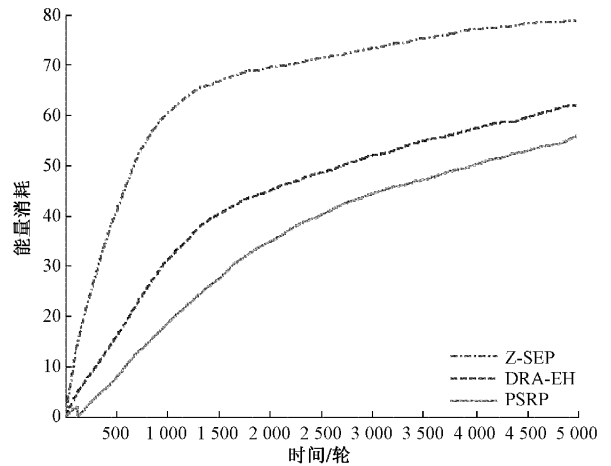


图 4 能量消耗

#### 3.1 改变基站的位置

当 BS 的位置改变时,会影响死节点的数量和网络消耗的能量。例如将 BS 基站的位置由 150 更改为 100,而其他参数保持不变。图 5 所示为改变基站位置后节点死亡数目和能量消耗,在更改 BS 的位置后,PSRP 协议的整体性能较好。在开始时,与 DRA-EH 协议相比,PSRP 协议表现略差,但是经过几轮合后,PSRP 协议的性能得到了改进。此外,PSRP 协议在消耗的能源较少,DRA-EH 协议消耗的居中,而 Z-SEP 协议消耗的最多。这表明 PSRP 协议消耗的能量更少,这有助于增加传感器网络的寿命和稳定期。

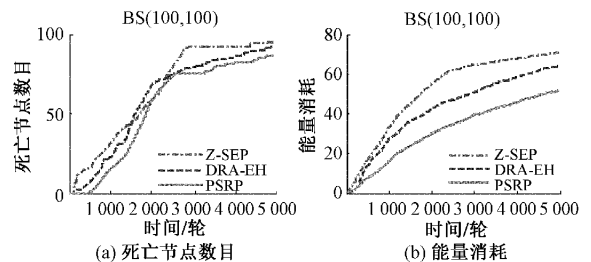


图 5 改变基站位置

#### 3.2 改变节能能量

能源消耗始终是电池供电无线传感器中的关键问题之一,一旦部署好网络,就不易更换电池或者给电池补充能量。更改节点的初始能量从 0.8 J 变为 0.9 J,基站位置不变,析 PSRP 协议的性能。一旦节点的初始能量改变,传感器网络的性能行为就会改变,从而影响网络的寿命和稳定期。图 6 中表明当节点具有不同的初始能量时,PSRP 协议在能量消耗和节点死亡数目的性能方面表现更好一些。Z-SEP 和 DRA-EH 协议节点在开始就有死亡,PSRP 在 400 轮才出现死亡,但在第 5 000 轮,Z-SEP 协议所有节点都死亡,DRA-EH 死亡了 92 个节点,而 PSRP 协议仅死了 82 个节点,这表明当初始能量改变时是 PSRP 协议的适应性和整体性能更好。

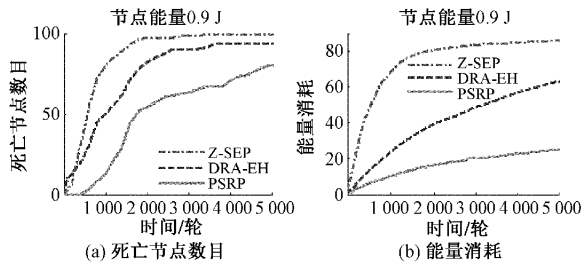


图 6 改变节点能量

#### 4 结 论

异构无线传感器网络的分区稳定路由协议(PSRP)解决了簇首与基站的通信方式和簇首选择方案的问题。由于 PSRP 是两级异构路由协议,在通信过程中,普通节点直接与基站通信,而高级节点使用聚类技术向基站发送数据,节省了能量延长了网络的寿命。簇首的选举是基于节点的当前能量和与离基站的距离,这也将增加网络的稳定期。在 MATLAB 2014a 平台上对 3 种协议进行了仿真对比,表明 PSRP 协议在网络寿命、能量消耗方向具有良好的性能。通过改变基站位置和节点初始能量进行仿真对比,PSRP 协议的整体性能优于其他两种协议,说明 PSRP 协议具有良好的适应性和稳定性。

#### 参考文献

- [1] 陈军. 无线传感器网络启发式分簇拓扑控制方法[J]. 科学技术与工程, 2018, 18(19): 94-98.
- [2] 尹哲. 基于无线传感器网的能量均衡分簇算法的研究[D]. 江苏: 南京理工大学, 2015.
- [3] 杜永文, 冯珂, 练云翔. 无线传感器节点能量自主预测算法研究[J]. 微电子学与计算机, 2016, 33(12): 113-116.
- [4] 赵悦, 孟博, 陈雷, 等. 基于能量感知的无线传感器网络路由协议[J]. 计算机工程与设计, 2016, 37(1): 16-20.
- [5] 李根, 肖卓, 徐松毅. 基于剩余能量等级的 MANET 分簇算法[J]. 计算机测量与控制, 2018, 26(10): 178-181.
- [6] 章思青, 陶洋, 代建建. 能量获取无线传感器网络多跳分簇路由协议[J]. 计算机工程与设计, 2019, 27(3): 611-616.
- [7] 刘晶, 苏守宝. 一种簇半径可变的无线传感器网络分簇算法[J]. 电子测量技术, 2018, 41(2): 6-9.
- [8] KHEDIRI S E L, NASRI N, WEI A, et al. A new approach for clustering in wireless sensors networks based on LEACH [J]. Procedia Computer Science, 2014, 32(32): 1180-1185.
- [9] 赵亮, 兰智高, 熊志利. 基于 LEACH 的无线传感器网络簇首选取改进算法[J]. 电子测量与仪器学报, 2019, 33(12): 86-93.
- [10] 胡乃平, 王冬, 周艳平. 基于 SEP 协议的最优分簇改进算法[J]. 计算机与现代化, 2019, 289: 17-23.
- [11] 张颖, 季常刚, 李俊甫. 一种基于能量和距离的多级能量异构传感器网络路由算法[J]. 上海交通大学学报, 2014, 48(7): 953-958.
- [12] 钱钢, 王黎明, 毕帅帅, 等. 水下无线传感器网络路由协议节能算法研究[J]. 国外电子测量技术, 2019, 38(11): 29-33.
- [13] FAISAL S, JAVAID N, JAVAID A, et al. Z-SEP: Zonal-stable election protocol for wireless sensor networks[J]. Journal of Basic and Applied Scientific Research, 2013, 3(5): 132-139.
- [14] 李东林, 韦素媛. 基于能量异构的 WSN 分布式路由算法[J]. 微电子学与计算机, 2017, 34(10): 36-41.
- [15] 胡中栋, 易涛, 王振东. 基于最优分簇的能量异构无线传感器网络路由协议[J]. 传感器技术, 2018, 31(8): 1240-1245.

#### 作者简介

陈雪娇, 工学硕士, 讲师, 主要研究方向为无线传感器网络、嵌入式应用等。

E-mail: chenxj@gcu.edu.cn