

基于延长 WSN 生命周期的优化算法研究*

赵秋月, 张玲华

(南京邮电大学 通信与信息工程学院, 江苏 南京 210023)

摘要: LEACH 协议作为一种经典的低功耗自适应层次路由协议, 在要求连续监控的应用场景被广泛使用。虽然 LEACH 协议一定程度上均衡了网络能耗, 但由于缺乏节点能量、位置信息等参数的限制, 导致其存在能量消耗不均匀、节点过早死亡等问题。针对上述问题, 提出了一种全新的 LEACH-PC 协议, 在将网络进行区域划分的基础上考虑了簇的大小, 同时对簇头选举阈值函数的增益参数进行了优化。通过仿真实验表明, LEACH-PC 协议相对于 LEACH 协议降低了网络能耗, 同时延长了 WSN 的网络寿命。

关键词: 无线传感器网络; LEACH 协议; 生命周期; 簇头选举

中图分类号: TN92; TP393

文献标识码: A

DOI: 10.16157/j.issn.0258-7998.222547

中文引用格式: 赵秋月, 张玲华. 基于延长 WSN 生命周期的优化算法研究[J]. 电子技术应用, 2022, 48(9): 92–96, 102.

英文引用格式: Zhao Qiuyue, Zhang Linghua. Research on optimization algorithm based on extending the life cycle of WSN[J]. Application of Electronic Technique, 2022, 48(9): 92–96, 102.

Research on optimization algorithm based on extending the life cycle of WSN

Zhao Qiuyue, Zhang Linghua

(School of Communication and Information Engineering, Nanjing University of Posts and Telecommunications, Nanjing 210023, China)

Abstract: As a classic low-power adaptive hierarchical routing protocol, LEACH protocol is widely used in application scenarios that require continuous monitoring. Although the LEACH protocol balances network energy consumption to a certain extent, it lacks the limitations of node energy and location information and other parameters, and there are problems such as uneven energy consumption and premature death of nodes. According to these problems, this paper proposes the LEACH-PC protocol, which considers the size of the cluster on the basis of dividing the network into regions, and at the same time adjusts various gain parameters of the cluster head election threshold function, thereby prolonging the network life of WSN. The simulation experiment shows that the LEACH-PC protocol reduces network energy consumption and has delayed network death time relative to the LEACH protocol.

Key words: wireless sensor network; LEACH protocol; life cycle; cluster head election

0 引言

无线传感器网络(Wireless Sensor Network, WSN)是由一定区域内随机分布的无线传感器节点组成的自组织网络^[1]。传感器节点凭借自组网、自感知等优点被广泛应用到军事、交通、医疗等领域^[2]。但由于节点能量有限, 一旦能量耗尽将导致整个网络不能正常工作甚至失效。因此, 能量决定了整个网络的生存时间, 根据该特点达到降低能耗, 延长网络生命周期的目的是无线传感器网络研究中的一项重要内容^[3]。

为了延长 WSN 的生命周期, 许多学者提出了网络分簇的概念, 即节点集合成群, 可以有效减少整个网络的能量消耗。基于此概念, Heinzelman 等人提出了经典分簇路由协议——低功耗自适应集簇分层型协议 (Low Energy Adaptive Clustering Hierarchy, LEACH)。该协议因

其广泛的适用性以及较好的节能效果而备受青睐^[4]。该协议通过簇头采集簇内成员的数据, 并转发给基站, 避免了节点直接将数据发送给基站从而消耗过多能量的问题。但簇头选举的随机性可能造成节点死亡速度加快, 整个网络生命周期减少的情况。文献[5]针对此情况提出了 LEACH-C 协议, 该协议考虑了节点的剩余能量, 优化了簇头的选举, 但每个节点要向基站发送自己的剩余能量, 频繁信息交互会造成额外的能量损耗。文献[6]提出了新算法 O-LEACH 协议, 该协议在选取簇头时仅考虑剩余能量大于初始能量 10% 的节点, 但没有考虑其他的影响因素。文献[7]给出了 RED-LEACH 协议, 该协议在选取簇头时, 不仅仅考虑剩余能量, 同时考虑节点到基站的远近, 减少了能量损耗, 延长了网络周期。文献[8]提出了一种基于节点位置和节点剩余能量的簇首节点选取算法, 称之为 I-LEACH 协议, 该协议给出了簇头

* 基金项目: 国家自然科学基金(61771258)

选举公式,每轮中距离区域中心越远的节点和剩余能量越低的节点被选为簇头的概率越低,减少了能量消耗并延长了网络生命周期。但是该协议没有考虑到簇内成员节点的个数并且对簇头选举函数的修正存在一定问题。

针对以上情况,本文提出了一种基于分区和分簇情况的 LEACH 改进协议 (LEACH Partition-Clustering, LEACH-PC)。在该算法中,通过将网络划分为两个区域来对簇头选举阈值函数进行修正。同时,普通节点在选择是否加入某簇头的过程中,会对相邻簇头以及基站之间的距离进行计算,当与基站之间的距离小于与簇头之间的距离时,直接与基站进行单跳通信,反之,则与距离最近的簇头进行连接。通过仿真实验表明,LEACH-PC 协议与传统 LEACH 协议以及 I-LEACH^[8]协议相比,降低了网络能耗,延长了整个网络的生命周期。

1 系统模型

1.1 网络模型

本文对 WSN 进行以下设定^[9]:

(1) 基站能量很大,且具有稳定的能量供应,数据处理能力不限;

(2) 每个节点都有与基站进行直接通信的能力,可以通过感知信号的强度,计算出与发送者的距离;

(3) 除基站外的普通节点初始能量相同且有限,不能二次充能和替换;

(4) 每个节点的 ID 固定且唯一,并具有相同的数据转发和融合等能力;

(5) 基站位置固定,其他节点经过网络随机部署后不能改变位置。

1.2 能耗模型

改进协议中所使用的能耗模型与 LEACH 协议相同,都是一阶无线电模型^[5],如图 1 所示。

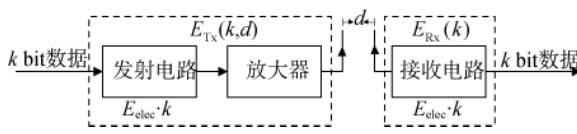


图 1 无线通信能量消耗模型

假设简单分为发送端和接收端,能量单位为 J,从图 1 中可以看出发送节点对采集的数据进行放大和传输消耗能量,接收节点在接收数据时消耗能量。数据在节点之间传递时,节点的能耗与发送端和接收端的距离有关,当发送端节点向距离为 d 的接收端节点发送 k bit 数据时,发送端的能耗为:

$$E_{\text{Tx}}(k, d) = \begin{cases} k \cdot E_{\text{elec}} + \varepsilon_{\text{fs}} \cdot k \cdot d^2, & d < d_0 \\ k \cdot E_{\text{elec}} + \varepsilon_{\text{amp}} \cdot k \cdot d^4, & d \geq d_0 \end{cases} \quad (1)$$

接收端的能耗为:

$$E_{\text{RX}}(k) = k \cdot E_{\text{elec}} \quad (2)$$

其中, E_{elec} 为接收或者发送每 bit 时消耗的能量。由阈值

d_0 来判断传输过程中的能耗策略,当传输的距离小于 d_0 时,为自由空间模型,反之为多径衰落模型。 ε_{fs} 和 ε_{amp} 分别代表自由空间模型和多径衰落模型中的能量损耗因子。其中 d_0 的计算公式如下:

$$d_0 = \sqrt{\frac{\varepsilon_{\text{fs}}}{\varepsilon_{\text{amp}}}} \quad (3)$$

2 LEACH 协议

LEACH 算法是典型的分簇算法,具有周期性运行过程,整个过程分为簇的建立和数据通信两个阶段。整个网络中的无线传感器节点通过自组织、分布式的方式构成一个网络拓扑结构^[10]。LEACH 协议避免了所有节点与基站直接通信,各个节点相对均匀地承担网络能耗,实现了均衡网络能耗,延长网络生命周期的目的。其简要步骤如下:

(1) 每个节点生成一个 0~1 之间的随机数,如果该随机值小于阈值函数 $T(n)$,且该节点在上一轮未当选簇头,则本轮成为簇头,其中阈值函数定义为:

$$T(n) = \begin{cases} \frac{p}{1-p[r \bmod \left(\frac{1}{p}\right)]}, & n \in G \\ 0, & n \notin G \end{cases} \quad (4)$$

其中, n 为总节点数, p 为节点成为簇头的概率, r 为当前轮数, G 为上一轮未被选为簇头节点的普通节点集合^[4]。

(2) 节点成为簇头之后向整个网络广播信息,非簇头节点收到多个簇头的消息后,加入距离最近的簇头。

(3) 簇头统计簇内成员的数量并分配时隙,簇内成员按照自己相应的时隙向簇头发送数据。簇头接收簇内成员发送的数据,将数据融合后再发送给基站。

3 LEACH-PC 协议

LEACH-PC 协议考虑了节点剩余能量、簇内成员的个数以及节点与基站之间单跳通信的情况,同时对阈值函数进行了修正,在不同区域调整各因子的权重,从而达到降低整体能耗、延长网络寿命的目的。

3.1 是否入簇

由于 WSN 的网络节点随机分布,在一定范围内可能出现节点过于集中或过于稀疏的情况,即会使网络出现极大簇或者极小簇。极大簇与极小簇均会导致网络中簇首节点能耗的增加,降低网络的生命周期。为了解决该问题,本文提出的 LEACH-PC 协议对当前簇中成员节点的数目进行了统计,引入了平均成员个数 N_{ave} 的概念,定义为:

$$N_{\text{ave}} = \frac{n_{\text{alive}}}{\text{countCHs}} \quad (5)$$

其中, n_{alive} 代表当前存活节点数, countCHs 代表当前轮的簇首数目。当簇内成员节点数多于 N_{ave} 时,节点不再加入距离自己最近的簇,转而直接与基站进行单跳通信。或者,当簇内成员节点个数少于 N_{ave} 的 1/8 时,成员节

点不再入簇，直接将数据转发给基站。

3.2 成员节点与基站单跳通信

传统的 LEACH 协议中，非簇头节点不允许与基站直接通信。当簇内的普通节点距离基站的距离比它和簇头的距离小时，这种传统的簇头转发模式会使得网络能耗加剧。因此，LEACH-PC 协议将普通节点与基站的距离设为一个参考值，当普通节点与它最近的簇头的距离大于该参考值时，则节点直接将数据转发给基站而不是选择入簇，反之，该普通节点加入距离最近的簇，通过簇头进行数据转发从而和基站进行通信。

3.3 区域划分

由式(1)可知，簇头传输数据到基站所消耗的能量与簇头到基站的距离成正比，文献[8]将节点位置作为簇头选择的优先条件并对网络区域进行了划分。文献[8]提出，节点与基站的距离小于 d_0 时，簇头的选举由能量因子和距离因子共同决定；大于 d_0 时，簇头选举仅由距离因子所决定，其中， d_0 由区域的尺寸所决定，由条件式(6)所约束。

$$\pi d_0^2 = \frac{2S_{\text{region}}}{3} \quad (6)$$

文献[8]所采用的簇头选举公式为：

$$T(n)=\begin{cases} \frac{p}{1-p\left[r \bmod \left(\frac{1}{p}\right)\right]} \cdot \alpha - d \cdot \frac{E_{\text{current}}}{E_{\text{init}}}, & d < d_0 \\ \frac{p}{1-p\left[r \bmod \left(\frac{1}{p}\right)\right]} \cdot \alpha - d, & d > d_0 \end{cases} \quad (7)$$

其中， α 是常数，文献[8]中取值为 e。由于节点位置以及剩余能量都与簇头选举息息相关，I-LEACH 协议对簇头选举阈值函数的修正并不利于网络能量的均衡。为解

决该问题，本文提出的 LEACH-PC 协议算法采取新的簇头选举阈值函数，针对不同的区域采用不同的权重去修正函数，如式(8)所示：

$$T(n)=\begin{cases} \frac{p}{1-p\left[r \bmod \left(\frac{1}{p}\right)\right]} \cdot \left[\left(\alpha \cdot \left(\frac{E_{\text{current}}}{E_{\text{init}}}\right)\right) + (1-\alpha) \cdot d\right], & d < d_0 \\ \frac{p}{1-p\left[r \bmod \left(\frac{1}{p}\right)\right]} \cdot \left[\left((1-\alpha) \cdot \left(\frac{E_{\text{current}}}{E_{\text{init}}}\right)\right) + \alpha \cdot d\right], & d > d_0 \end{cases} \quad (8)$$

其中， α 取值为 0.25， n 为总节点数， p 为节点成为簇头的概率， r 为当前轮数， G 为上一轮未被选为簇头节点的普通节点集合。

由式(8)可知，簇头的选举与阈值函数息息相关，同时，考虑到节点的能耗与距离的 n 次方成正比，距离基站较近的节点能耗会更少。因此区域内周围节点的能量差距不大，故在近距离区域选择增加距离因子的权重。对于在远距离区域的节点，能耗较大，死亡较早，故适量增加能量因子的权重，从而达到调整阈值函数，降低远距离区域簇头总数的目的。

3.4 LEACH-PC 协议流程

LEACH-PC 算法流程图如图 2 所示，步骤如下：

- (1) 网络在区域内随机部署节点，同时完成分区并对各节点进行初始赋值。
- (2) 基站向全网广播消息，各节点根据信号强度计算自己与基站的距离。
- (3) 基站计算当前轮系统的剩余能量、网络平均能量以及平均成员个数，同时广播消息给其余节点。
- (4) 所有节点生成一个 0~1 之间的随机数，根据自己

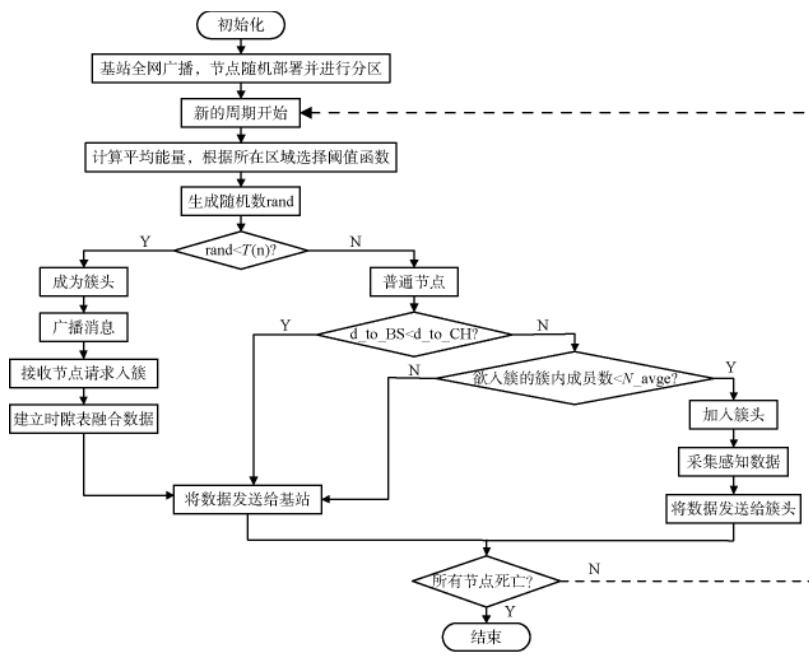


图 2 算法流程图

所在的区域,对应式(8)计算相应的阈值函数,若随机数小于 $T(n)$,则当选簇头并广播自己成为簇头的消息,否则为普通节点。

(5)普通节点计算出自己与周围簇头的距离,并与基站的距离进行比较,若距离基站较近,则与基站进行单跳通信。若距离某个簇头较近,则判断簇内成员个数是否满足条件,若满足则入簇,否则将数据转发给基站,不再入簇。

(6)各节点进行数据传输,整个周期完成后,重复簇头选举等步骤,直到所有节点死亡。

4 实验仿真与结果分析

本文设定节点全部死亡表示生命周期结束。选取生命周期以及网络能量消耗两个性能指标对协议LEACH、I-LEACH、LEACH-PC进行了比较和分析。网络参数设置见表1。

本仿真实验假设部署区域为 $100\text{ m} \times 100\text{ m}$ 的方形区域,节点为100个,基站坐标为 $(0,0)$,所有节点随机分布在区域内,分布图如图3所示。

表1 网络模型参数设置

参数类型	值
网络范围/ m^2	100×100
节点总数	100
基站坐标	$(0,0)$
节点初始能量/J	0.15
$\varepsilon_{fs}/(\text{pJ}/\text{bit}/\text{m}^2)$	10
$\varepsilon_{amp}/(\text{pJ}/\text{bit}/\text{m}^4)$	0.001 3
$E_{elec}/(\text{nJ}/\text{bit})$	50
数据包大小	4 000
最大轮数	1 000
当选簇头概率 p	0.05
EDA/(nJ/bit)	5

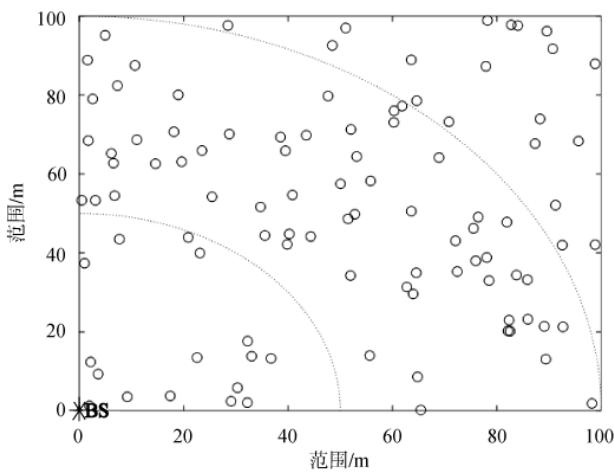


图3 节点分布图

4.1 网络生命周期

网络初始化设置所有的普通节点能量为0.15 J,共100个普通节点,则网络初始总能量为15 J,基站无能量限制。随着运行轮数的增加,网络剩余能量如图4所示。由图中数据可知,LEACH协议在第503轮能量耗尽,节点全部死亡,I-LEACH协议在第878轮,而LEACH-PC协议则在第968轮,相对于LEACH和I-LEACH协议分别延长了92.4%、10.3%的生命周期。同时,由于LEACH-PC协议限制了簇内成员的个数,易知当节点个数在一定范围内,总数越多,效果越明显。且由仿真得知,当 $n=200$ 时,LEACH协议、I-LEACH协议、LEACH-PC协议分别在第526轮、第859轮、第977轮节点全部死亡,生命周期延长了85.74%、13.74%;当 $n=300$ 时,LEACH协议、I-LEACH协议、LEACH-PC协议分别在第525轮、第856轮、第995轮节点全部死亡,生命周期延长了89.5%、16.24%。且由此数据可以看出,随着节点数的增加,LEACH-PC协议相较于I-LEACH协议对LEACH协议的提升更稳定。

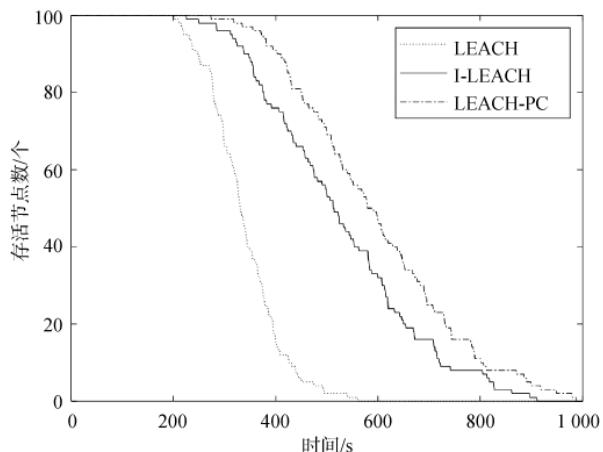


图4 网络生命周期

4.2 网络能耗

由仿真结果图5可知,LEACH-PC协议的网络能耗

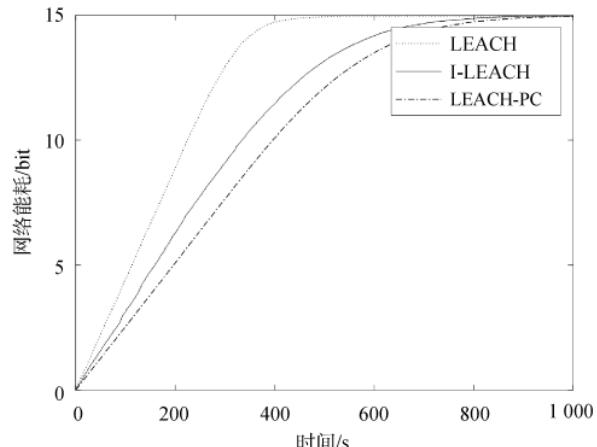


图5 网络能耗

比 LEACH 协议和 I-LEACH 协议均有降低，并且由于均衡了能耗，仿真图的趋势较 LEACH 和 I-LEACH 更为平缓。同时，因为在簇头选举时根据节点所在区域调整了对应的阈值函数并且考虑了节点是否入簇以及节点与基站直接单跳通信的情况，减少了远距离通信的能耗。相较于第 400 轮时 LEACH 协议的能量基本耗尽，I-LEACH 能耗已达 80%，LEACH-PC 协议仅耗费 66.67%，降低了 13.33%。

5 结束语

本文针对 LEACH 和 I-LEACH 提出了改进的 LEACH-PC 协议。LEACH-PC 协议在分区的基础上修正了不同区域阈值函数的距离因子、能量因子等因素的权重，同时考虑了簇内成员个数，通过限制簇内普通节点的个数来避免极大簇与极小簇的形成，并且考虑了普通节点与基站直接进行单跳通信的情况。通过仿真实验表明，LEACH-PC 协议在一定程度上降低了网络的整体能

(上接第 91 页)

据使用和交换记录、元数据信息、数据授权信息等数据安全事件，利用海量日志分析和机器学习方面，提供数据使用合规性审计、数据使用规律分析、数据使用异常监测和可视化展示功能，评估数据风险态势，帮助掌控全局数据安全状态，及时响应重要数据泄露、越权使用风险。

4 结论

本文以航天数据处理中心系统建设和应用为背景，通过统一的系统设计，提出了一个多中心、多任务、多功能的三层架构设计的航天数据中心系统，从高可靠的系统备份、数据管理、软件运行、平台运维等多个方面介绍了基于云平台的复杂系统架构。经过多个备份中心以及容灾中心系统并行运行，并对航天器和地面设备的管理应用，本文提出的系统能够保持不同航天器型号任务的热备运行能力，具备较强的统一运维和安全防护能力，能保持多年长期的高可靠稳定运行，可为其他航天数据处理中心以及商业航天任务中心的架构设计和构建提供技术支持。

参考文献

- [1] 王忠贵.载人空间站工程测控通信系统挑战和机遇[J].飞行器测控学报,2013,32(4):281–285.
- [2] 肇刚,崔卫华.航天测控中心系统自主可控建设的研究与思考[J].飞行器测控学报,2015,34(4):303–308.
- [3] MURRAY-KREZAN J, HOWARD S, SABOL C, et al. The joint space operations center(JSpOC) mission system(JMS) and the advanced research, collaboration, and application development environment(ARCADE)2016[C]//Conference on Sensors and Systems for Space Applications IX. 0, 2016.
- [4] 李智,汤亚锋,李颖.美军太空指挥控制系统“标记”的建设情况及启示[J].指挥与控制学报,2018,4(2):95–100.
- [5] 罗剑,于小红,苏宪程.从跨域联合的视角看美军太空作

耗，延长了网络生命周期。

参考文献

- [1] 高霞,李瑞俊.改进遗传算法在 WSN 路由选择问题中的应用[J].内蒙古大学学报(自然科学版),2020,51(3):322–328.
- [2] 曾闵,江虹,陈帅,等.基于能量优化的 LEACH 路由协议改进[J].电子技术应用,2014,40(9):108–110,117.
- [3] 牛晓光,崔莉,黄长城.移动自组织网络中基于优化分簇的混合路由协议[J].通信学报,2010,31(10):58–67.
- [4] 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.
- [5] HEINZELMAN W B, CHANDRAKASAN A P, BALAKRISHNAN H. Energy -efficient communication protocol for wireless microsensor networks[C]//Proceedings of the 33rd Annual Hawaii International Conference on System Sciences, 2000.

(下转第 102 页)

- 战体系改革[J].飞航导弹,2020(8):7–10.
- [6] LY V.Ground system architectures workshop GMSEC services suite(GSS): an agile development story[EB/OL].(2017-03-15)[2022-02-20].<https://ntrs.nasa.gov/citations/2017000-2277>.
 - [7] 侯迎春,白洪波.美军太空信息支援战区作战研究[J].国防科技,2021,42(5):88–95.
 - [8] 冯丽,陈杨,宗志伟,等.美军太空作战指控装备发展研究[J].西北工业大学学报,2019,37(S01):120–124.
 - [9] 贾莹,尚慧萍,郑慧英.测控中心计算机系统的自主可控技术研究[J].飞行器测控学报,2015,34(2):115–119.
 - [10] 龙航,罗蔚,李元尚,等.卫星通信系统测控数据交互平台研究[C]//第十七届卫星通信学术年会,2021:414–417.
 - [11] 张骞,李新洪.基于 DoDAF 的快速航天发射体系建模与仿真[C]//第三十三届中国仿真大会论文集,2021:638–643.
 - [12] 魏波,张慧颖,司倩然.基于数据源识别和驱动分析的软件系统测试方法[J].计算机测量与控制,2021,29(9):73–77.
 - [13] 陈志伟.云计算服务模式[M].北京:电子工业出版社,2016.
 - [14] 杨欢.云数据中心构建实战[M].北京:机械工业出版社,2016.

(收稿日期:2022-02-20)

作者简介:

李赣华(1977-),通信作者,男,博士,高级工程师,主要研究方向:航天测控总体、信息工程,E-mail:liganhua666@163.com。

董黎(1978-),女,本科,工程师,主要研究方向:航天测控通信。

邵能建(1983-),男,博士,工程师,主要研究方向:航天测控总体。



扫码下载电子文档

- [3] 邹东尧,陈鹏伟,刘宽.一种改进的 RSSI 测距定位算法[J].电讯技术,2019,59(10):1191–1196.
- [4] 袁枫,焦良葆,陈楠,等.室内定位中 DS-TWR 测距算法的优化[J].计算机与现代化,2021(10):100–106.
- [5] 国强,朱国会,李万臣.基于混沌麻雀搜索算法的 TDOA/FDOA 定位[J/OL].吉林大学学报(工学版):1–9 [2022–08–04]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/22.1341.t.20210901.1814.023.html>.
- [6] 黄子豪,牛启光,王译晨,等.基于 TDOA 和 AOA 算法的声源定位模型的研究 [J]. 电子制作,2021 (12):26–28, 52.
- [7] 叶娟.无线传感器网络非测距定位算法研究 [D]. 桂林:广西师范大学,2019.
- [8] HU P F, ZHANG B. Research on Centroid Localization Algorithm in Wireless Sensor Networks [J]. Journal of Physics: Conference Series, 2021, 1883(1):012026.
- [9] CHEN S T, ZHANG C, LI P, et al. An indoor collaborative coefficient-triangle APIT localization algorithm [J]. Algorithms, 2017, 10(4):131.
- [10] 胡伟,袁三男.遗传-禁忌搜索优化的 Amorphous 定位算法[J].传感技术学报,2019,32(6):940–944,949.
- [11] 黄中林,邓平,梁甲金,等.无线传感器网络定位技术研究进展 [J]. 传感器与微系统, 2008, 28(11): 4–7.
- [12] SANA M, HEND L, OMAR C, et al. Improved recursive DV-Hop localization algorithm with RSSI measurement for wireless sensor networks[J]. Sensors, 2021, 21(12):4152.
- [13] 褚银菲,吕惠芳.基于测距修正的差分进化的 DV-Hop 定位算法[J].国外电子测量技术,2021,40(6):33–37.
- [14] 唐德红,王一多,马新国.斯蒂芬森迭代改进 DV-Hop 的无线传感器节点定位 [J/OL]. 吉林大学学报(工学版):1–7 [2022–08–04]. <https://doi.org/10.13229/j.cnki.jdxbgxb20210552>.
- [15] 宋玲,黄达胜.一种基于狼群优化的改进 DV_Hop 定位

(上接第 96 页)

- ISHNAN H. An application specific protocol architecture for wireless microsensor networks [J]. IEEE Transactions on Wireless Communication, 2002, 1(4): 660–670.
- [6] KHEDRI S, NASRI N, KACHOURI A. A new approach for clustering in wireless sensors networks based on LEACH [J]. Elsevier International Workshop on Networks and Energy Saving Techniques, 2014, 32:1180–1185.
- [7] CHIT T A, ZAR K T. Lifetime improvement of wireless sensor network using residual energy and distance parameters on LEACH Protocol[C]//2018 18th International Symposium on Communications and Information Technologies (ISCIT), 2018:1–5.
- [8] 杨牧言. 基于节点位置和剩余能量的 LEACH 改进算法[J]. 自动化应用,2020(10):59–60.

- 算法[J].计算机工程与科学,2021,43(7):1210–1218.
- [16] SINGH S P, SHARMA S C. Implementation of a PSO based improved localization algorithm for wireless sensor networks [J]. IETE Journal of Research, 2019, 65 (4):502 – 514.
- [17] 张治华,张玲华.基于模拟退火的加权 DV_Hop 的 WSN 定位算法[J].计算机技术与发展,2018,28(6):201–204.
- [18] 余修武,黄露平,刘永,等.遗传-禁忌搜索优化的三维 DV-Hop 定位算法[J].北京邮电大学学报,2021,44(4): 75–81.
- [19] 李同锋,杜秀娟,谢平,等.基于可靠锚节点和粒子群优化的 DV-Hop 算法[J].现代电子技术,2021,44(13):13–16.
- [20] 马淑丽,赵建平.无线传感器网络中 DV-Hop 定位算法的改进[J].通信技术,2015(7):840–844.
- [21] HOUSSEIN E H, GAD A G, HUSSAIN K, et al. Corrigendum to "Major Advances in Particle Swarm Optimization: Theory, Analysis, and Application" [Swarm and Evolutionary Computation 63 (2021)1–40/100868][J]. Swarm and Evolutionary Computation, 2021, 64:100905.
- [22] 李眩,吴晓兵,童百利.基于动态自适应变参的粒子群优化算法 [J]. 四川轻化工大学学报(自然科学版), 2021, 34(5):41–47.
- [23] LI H, JIN H B, WANG H Z, et al. Improved adaptive holonic particle swarm optimization [J]. Mathematical Problems in Engineering, 2019, 2019:8164083.

(收稿日期:2022–02–11)

作者简介:

刘芷珺(1998–),硕士研究生,主要研究方向:无线传感器网络。

张玲华(1964–),教授,博士生导师,主要研究方向:信号与信息处理、电子与通信工程。



扫码下载电子文档

- [9] LIU W, LUO X, LIU Y, et al. Localization algorithm of indoor Wi-Fi access points based on signal strength relative relationship and region division[J]. Computers, Materials & Continua, 2018, 55(1):71–93.
- [10] 陈洪生,吴春辉.无线网络的拓扑控制综述 [J]. 无线通信, 2019, 9(1): 29–36.

(收稿日期:2022–01–10)

作者简介:

赵秋月(1999–),女,硕士研究生,主要研究方向:无线传感器网络。

张玲华(1964–),通信作者,女,教授,博士生导师,主要研究方向:智能信号与信息处理、能源物联网、现代通信网络与信息处理、无线传感器网络,E-mail: zhanglh@njupt.edu.cn。



扫码下载电子文档

版权声明

经作者授权，本论文版权和信息网络传播权归属于《电子技术应用》杂志，凡未经本刊书面同意任何机构、组织和个人不得擅自复印、汇编、翻译和进行信息网络传播。未经本刊书面同意，禁止一切互联网论文资源平台非法上传、收录本论文。

截至目前，本论文已经授权被中国期刊全文数据库（CNKI）、万方数据知识服务平台、中文科技期刊数据库（维普网）、DOAJ、美国《乌利希期刊指南》、JST 日本科技技术振兴机构数据库等数据库全文收录。

对于违反上述禁止行为并违法使用本论文的机构、组织和个人，本刊将采取一切必要法律行动来维护正当权益。

特此声明！

《电子技术应用》编辑部

中国电子信息产业集团有限公司第六研究所