

引用格式:王宗山,丁洪伟,李佳,等. WSN 中基于人工蜂群算法的分簇路由协议[J]. 微电子学与计算机, 2021, 38(4): 74-80.
[WANG Z S, DING H W, LI J, et al. Clustering routing protocol based on artificial bee colony algorithm in WSN[J]. Microelec-
tronics & Computer, 2021, 38(4): 74-80.]

WSN 中基于人工蜂群算法的分簇路由协议

王宗山¹, 丁洪伟¹, 李 佳², 雷 宁³, 贺之航⁴

(1 云南大学 信息学院, 云南 昆明 650500; 2 上海工程技术大学 纺织服装学院协同创新中心, 上海 201620;

3 云南大学 职业与继续教育学院, 云南 昆明 650091; 4 深圳大学 土木与交通工程学院, 广东 深圳 518060)

摘 要: 针对无线传感器网络节点能耗不均衡, 网络生存期短等问题, 提出一种基于人工蜂群算法的能量高效分簇路由协议. 在簇头选举阶段, 通过定义簇头的能量因子、位置因子和向心率因子设计高效的适应度函数, 评估人工蜂群算法生成的解的质量, 选出最优簇头. 在稳定传输阶段, 提出一种基于最小生成树的高效路由算法, 通过在每个簇头和基站之间寻找合适的路径来平衡并降低网络能耗. 为进一步提高网络吞吐量, 将区分忙闲节点的轮询控制机制引入簇内通信. 在不同规模的场景中对所提协议的性能进行了评估, 仿真测试结果表明, 与 KUCR 协议、FIGWO 协议相比, 基于人工蜂群算法的分簇路由协议能够有效地延长网络生存期, 提高网络吞吐量.

关键词: 无线传感器网络; 人工蜂群算法; 分簇协议; 路由; 轮询

中图分类号: TP313

文献标识码: A

文章编号: 1000-7180(2021)04-0074-07

Clustering routing protocol based on artificial bee colony algorithm in WSN

WANG Zong-shan¹, DING Hong-wei¹, LI Jia², LEI Ning³, HE Zhi-hang⁴

(1 School of Information Science and Engineering, Yunnan University, Kunming 650500, Yunnan China;

2 College of Textiles and Clothing, Shanghai University of Engineering Science, Shanghai 201620, China;

3 College of Vocational and Continuing Education, Yunnan University, Kunming 650091, Yunnan China;

4 School of Civil and Traffic Engineering, Shenzhen University, Shenzhen 518060, Guangdong China;)

Abstract: In order to solve the problems of uneven energy consumption of sensor nodes and short lifetime of sensor networks in wireless sensor networks, an energy-efficient clustering routing protocol based on artificial bee colony algorithm is proposed. In the cluster head selection phase, the energy factor, location factor and centripetal factor are defined for the cluster head, thus an efficient fitness function is designed to evaluate the quality of the solution generated by the artificial bee colony algorithm, so as to select the optimal cluster head set. In the stable transmission phase, an efficient routing algorithm based on minimum spanning tree is proposed to balance and reduce network energy consumption by finding a suitable path between each cluster head and the base station. In order to further improve the network throughput, a polling control mechanism based on busy/idle nodes is introduced into intra-cluster communication phase. The performance of the proposed protocol is evaluated in several scenarios with different characteristics. Simulation results show that, compared with KUCR protocol and FIGWO protocol, the proposed protocol can effectively prolong the network lifetime and improve the network throughput.

Key words: wireless sensor networks; artificial bee colony algorithm; clustering protocol; routing; polling

1 引言

能量效率是发展无线传感器网络所面临的主要挑战之一,高效的路由是解决这一问题的有效方法.分簇算法是一种常用的路由方法,基于聚类的路由协议可以有效地延长网络生存期,改善网络的可扩展性^[1].在聚类协议中,传感器节点被划分为多个簇,每个簇内有一个节点担任簇头^[2].簇头是网络中的关键节点,相比于普通节点,簇头每轮执行更多任务,能耗也更大.因此,选择高质量的簇头可以改善网络性能.在稳定传输阶段,建立高效的簇间路由能够均衡并降低网络能耗,从而延长网络生存期.

经典的聚类协议 LEACH 根据预先确定的概率选择簇头,并通过周期性轮换簇头来均衡网络能耗^[3].但 LEACH 协议选取簇头时没有考虑节点的剩余能量和地理位置,不能保证选出的簇头节点剩余能量充足且位置合理,影响了协议的性能.此外,簇头采用单跳方式向基站发送数据,加大了簇头的能耗,缩短了网络生存期.文献^[4]对 LEACH 协议进行改进,提出集中式分簇协议 LEACH-C,在簇头选举阶段,基站采用模拟退火算法选择最优簇头. LEACH-C 在选择簇头时考虑节点的剩余能量和地理位置,解决了 LEACH 协议随机选择簇头的问题.但簇头与基站单跳通信会加速远离基站的簇头的能量消耗,导致其过早死亡,从而缩短网络生存期,降低网络覆盖率. FIGWO^[5]是一种基于灰狼优化器(GWO)的集中式分簇路由协议.每轮的簇头选举阶段,基站采用中位数算法对节点聚类分簇,在每个簇内采用灰狼优化器选出最优簇头. FIGWO 通过优化簇结构有效地延长了网络生存期,但该协议没有考虑任何簇间路由,远离基站的簇头会因大量的能耗过早死亡,从而缩短网络生存期. KUCR^[6]是一种基于 K-Means 的集中式分簇路由协议,网络初始化时期,基站运行 K-Means 聚类算法形成网络分簇,在每个簇内,节点根据自身地理位置和剩余能量分布式选举簇头. KUCR 在一定程度上延长了网络生存期,但 K-Means 聚类算法对初始点敏感,易收敛至局部最优,影响聚类效果.此外,该协议没有考虑任何簇间路由,采用的单跳机制会加速远离基站的簇头的能量耗损,给该协议带来了一定的局限性.文献^[7]提出的 ABC-SD 协议,使用人工蜂群算法解决聚类问题和路由问题.该协议通过考虑节点的剩余能量和邻居信息设计了高效的适应度函数,用于评价人工蜂群算法生成的解的质量,从而解决聚

类问题.在簇间路由由阶段,该协议综合考虑能量效率与跳数建立了损失函数,基于损失函数建立了簇间路由. ABC-SD 采用集中式分簇与分布式建立路由相结合的方式,有效地延长了网络生存期,提高了网络吞吐量.但是该协议没有考虑簇头之间的负载均衡性,影响了网络性能.文献^[8]提出了一种基于改进粒子群优化算法的分簇路由协议.在成簇阶段,为选出距离基站近且剩余能量高的簇头,考虑节点的剩余能量和地理位置设计新颖的适应度函数,用于评价粒子群算法生成的解的质量.在簇间路由阶段,为每个簇头匹配一个中继节点来均衡网络能耗.该协议有效地延长了网络生存期.然而,由于粒子群算法本身的一些性质,并不能保证所选择的簇头和中继就是当前的最佳解决方案.

本文提出一种基于人工蜂群算法的分簇路由协议,将节点的剩余能量、地理位置等因素引入人工蜂群算法理论中,选择最优簇头,其余节点就近入簇,形成网络分簇;在稳定传输阶段,用一种新的损失函数解决路由问题,均衡节点能耗的同时提高能量效率;将区分忙闲节点的轮询控制机制引入簇内通信,充分利用时隙,进一步提高网络吞吐量.

2 系统模型

2.1 网络模型

- 本文对网络模型做出如下假设^[9]:
- (1) WSN 的监测区域为平面规则图形,传感器节点随机分布在监测区域内,每个节点具有全局唯一的网络标识(ID),网络部署之后不再进行人为干涉.
 - (2) 基站的计算能力和能量不受限,所有传感器节点同构且能量有限.
 - (3) 节点可以根据接收到的信号强度计算自身到信号发送端的距离,并根据通信距离自主选择发射功率.

2.2 能耗模型

本文采用一阶无线电能耗模型^[10],如图 1 所示.

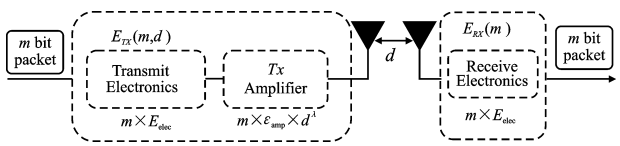


图 1 能耗模型

根据发送端与接收端的距离,采用自由空间模

型或多路径衰减模型, 经过距离 d 传输一个 m bit 的数据包所需要的能量为:

$$E_{TX}(m, d) = \begin{cases} mE_{elec} + m\epsilon_{fs}d^2, & d \leq d_0 \\ mE_{elec} + m\epsilon_{mp}d^4, & d > d_0 \end{cases} \quad (1)$$

节点接收 m bit 数据需要的能量为:

$$E_{RX}(m, d) = mE_{elec} \quad (2)$$

簇头融合 m bit 数据需要的能量为

$$E_{FX}(m, d) = mE_{DA} \quad (3)$$

式中, E_{elec} 为节点接收或发送每比特数据所需要的能量, ϵ_{fs} 和 ϵ_{mp} 分别为自由空间模型和多路径衰减模型中的功率放大能量损耗, $d_0 = \sqrt{\epsilon_{fs}/\epsilon_{mp}}$ 为距离阈值, E_{DA} 为节点融合 1 bit 数据所需要的能量。

3 基于人工蜂群算法的分簇路由协议

3.1 人工蜂群算法

受自然界中蜜蜂采蜜行为启发而提出的人工蜂群算法是一种群体智能优化算法, 与遗传算法、粒子群算法等智能算法相比, 人工蜂群算法具有复杂度低, 鲁棒性强, 设定参数少, 寻优能力强等优点, 可以很好的应用于人工神经网络训练、组合优化、系统和工程设计等多个领域。

人工蜂群算法中, 数量相等的采蜜蜂和观察蜂组成整个蜂群, 每个采蜜蜂对应一个蜜源, 蜜源的位置和花蜜量分别代表优化问题的可行解和可行解的质量。算法迭代初期, 所有蜜蜂均为侦查蜂, 按照式(4)随机搜索蜜源位置作为优化问题的可行解。初始阶段完成后, 采蜜蜂在当前蜜源附近按照式(5)进行扰动, 发现新蜜源并计算新蜜源的花蜜量。采蜜蜂根据贪婪准则保留新旧蜜源中的较优蜜源。采蜜蜂搜索完成后, 将蜜源信息分享给观察蜂, 观察蜂按照式(6)选择采蜜蜂进行跟随。在搜索过程中, 若采蜜蜂在某一蜜源附近连续扰动 $Limit$ 次, 仍然没有找到更优蜜源, 则采蜜蜂放弃该蜜源, 并将角色转换为侦查蜂, 按照式(4)随机发现一个新蜜源。

$$x_{ij} = L_j + rand(0, 1)(H_j - L_j) \quad (4)$$

$$new_x_{ij} = x_{ij} + rand() (x_{ij} - x_{kj}) \quad (5)$$

$$P_i = fit_i / \sum_{n=1}^{SN} fit_n \quad (6)$$

式中, x_{ij} 为侦查蜂随机寻找的蜜源位置; $rand(0, 1)$ 为 $[0, 1]$ 之间的随机值; H_j 和 L_j 分别表示搜索空间的上、下界; j 等于 D 维解向量的某个分量; new_x_{ij} 表示采蜜蜂邻域搜索发现的新蜜源; x_i 是当前蜜源; x_k 是随机选择的蜜源; fit_i 表示第 i 个可行解的适应度函数值。

3.2 适应度函数

采用人工蜂群算法选择最优簇头时, 每个蜜源代表一种聚类结果, 解向量的维度表示簇头节点的个数。适应度函数值反映人工蜂群算法生成的解的质量, 即当前簇头节点集的优劣。因此, 选择簇头节点的关键在于适应度函数的设计。本文通过定义簇头节点的能量因子、位置因子和向心率因子设计了高效的适应度函数, 适应度函数值越大, 代表当前簇头集合越优。

1) 能量因子

在选择簇头时, 节点的剩余能量是需要考虑的关键因素, 选择剩余能量高的节点担任簇头, 能够有效地平衡网络能耗。能量因子是所有簇头节点的总能量与所有网络节点的总能量的比值, 如下式所示。

$$f_1 = \frac{\sum_{i=1}^k E_{res}(i)}{\sum_{j=1}^n E_{res}(j)} \quad (7)$$

式中, k 表示网络中的簇头节点个数; n 表示网络中的存活节点个数; $E_{res}(i)$ 表示簇头 i 的剩余能量; $E_{res}(j)$ 表示节点 j 的剩余能量。从式中可以看出, 簇头节点集的总能量越高, 能量因子 f_1 越大。

2) 位置因子

选择距离基站近的簇头可以缩短通信距离, 从而降低网络能耗。位置因子是基站到监测区域中心的距离与所有簇头到基站的平均距离的比值, 如下式所示。

$$f_2 = \frac{d(center, BS)}{\frac{1}{k} \sum_{i=1}^k d(CH_i, BS)} \quad (8)$$

式中, $d(center, BS)$ 表示基站到监测区域中心的距离; $d(CH_i, BS)$ 表示簇头 i 到基站的距离。从上式可以看出, 簇头节点集与基站之间的平均距离越小, 则簇间通信距离越短, f_2 的值越大。

3) 向心率因子

向心率因子指簇的紧凑程度, 网络节点成簇越紧凑, 则簇内通信距离越短, 通信能耗越少。向心率因子的计算式为

$$f_3 = \frac{1}{k} \sum_{i=1}^k \left[\left(x_{CH(i)} - \frac{1}{m} \sum_{j=1}^m x_j \right)^2 + \left(y_{CH(i)} - \frac{1}{m} \sum_{j=1}^m y_j \right)^2 \right]^{-1/2} \quad (9)$$

式中, $x_{CH(i)}$ 和 $y_{CH(i)}$ 分别表示簇头 i 的横坐标和纵坐标; m 表示第 i 个簇内的成员节点数; x_j 和 y_j 分别表示第 i 簇内的成员节点 j 的横坐标和纵坐标。从上

式可以看出,成员节点距离对应簇头越近, f_3 的值越大。

适应度函数值是评价簇头节点集的标准,通过加权和的方式将簇头节点集的能量因子、位置因子和向心率因子统一,把多目标优化转换为单目标优化,得出适应度函数 fit ,计算方法为

$$fit = \alpha f_1 + \beta f_2 + \mu f_3 \quad (10)$$

式中, α, β, μ 为评估因子的权重系数,满足 $\alpha + \beta + \mu = 1$. 从上式可以看出,簇头节点集的剩余能量越多,距离基站越近,与簇内成员节点越紧凑,则适应度函数值越大,当前簇头节点集越优。

基站采用人工蜂群算法选出最优簇头后,全网广播簇头 ID,网络节点比对自身 ID 与簇头 ID,进行身份确认.若节点的 ID 与基站广播的簇头 ID 相同,则该节点当选为当前轮次的簇头,并广播自成为簇头的信息.成员节点选择距离最近的簇头入簇,完成簇的构建。

采用人工蜂群算法选择最优簇头的伪代码如算法 1 所示。

3.3 簇间路由

若簇头采用单跳通信的方式向基站发送数据,将加大簇头节点的能耗,导致网络节点能耗不均衡,缩短网络生存期.针对这一问题,本文提出一种能量高效的算法,通过在每个簇头和基站之间寻找合适的路径来减少和平衡网络能耗。

簇间通信阶段,若簇头 i 与基站之间的距离小于阈值 d_0 ,则该簇头采用单跳传输方式向基站发送数据,否则,簇头 i 按照式(11) 计算到各个邻居簇头的转发代价,并选择转发代价值最小的邻居簇头作为下一跳,完成数据传输。

$cost(k) =$

$$\begin{cases} \omega \times \frac{d^2(i,k) + d^2(k,BS)}{d^2(i,BS)} + (1 - \omega) \times \frac{E_{\text{adjacent}}(i)}{E_{\text{res}}(k)}, & d(k,BS) < d(i,BS) \\ +\infty, & \text{其他} \end{cases} \quad (11)$$

式中, $d(i,k)$ 表示簇头 i 到其邻居簇头 k 的距离; $d(k,BS)$ 表示邻居簇头 k 到基站的距离; $d(i,BS)$ 表示当前簇头 i 到基站的距离; $E_{\text{adjacent}}(i)$ 表示簇头 i 的邻居簇头集的平均剩余能量; $E_{\text{res}}(k)$ 表示邻居簇头 k 的剩余能量; ω 为权重系数.从式中可以看出,转发代价函数充分考虑邻居簇头的剩余能量、位置因素和转发过程的能量开销,以提高簇间路由的能量效率,从而均衡网络能耗。

算法 1:采用人工蜂群算法选择最优簇头

```

1:初始化参数,设置采蜜蜂和观察蜂数量,蜜源最大扰动次数 Limit,
   最大迭代次数 maxCycle
2:初始化种群,按照式(4)随机生成包含 SN 个个体的种群,个体向
   量的维度根据预先定义的簇头比例确定
3:根据式(10)计算所有个体的适应度函数值,并记录最优解
for iteration = 1 to maxCycle
  采蜜蜂模式
  for i=1 to SN
    采蜜蜂按照式(5)在当前蜜源附近扰动,寻找新蜜源
    确保新蜜源在优化搜索范围内
    根据式(10)计算新蜜源的适应度函数值,
    根据贪婪选择的方法保留较优蜜源
  end
  for i=1 to SN
    根据式(6)计算跟随概率  $P_i$ 
  end
  观察蜂模式
  for i=1 to SN
    按照概率  $P_i$  选择要跟随的采蜜蜂
    观察蜂将角色转换为采蜜蜂,进入上述的采蜜蜂模式
  end
  侦查蜂模式
  侦查蜂按照式(4)随机生成新蜜源
  确保新蜜源在优化搜索范围内
  根据式(10)计算新蜜源的适应度函数值,根据贪婪选择的方法保留
  较优蜜源
  记录当前最优蜜源
end
全局最优解即为当前轮次的最优簇头

```

3.4 改进簇内通信机制

分簇路由协议的工作流程主要分为簇的构建和稳定传输两个阶段.在簇的构建阶段,网络节点被聚类分簇,簇头根据簇内节点的信息建立 TDMA 调度.在稳定传输阶段,簇内成员节点根据 TDMA 调度,在自己的时隙内被唤醒,将感知到的数据发送给本簇簇头,簇头对收集到的数据进行融合,通过单跳或多跳的方式发送给基站.如果有节点在一段时间内没有感知到有效数据,该节点在自己的时隙内仍要被唤醒,这就会产生不必要的能耗,并导致时隙的浪费.针对这一问题,本文将区分忙闲节点的轮询控制机制引入簇内通信.在簇头选举完成后,簇头节点根据簇内节点的信息建立轮询表,轮询表记录了簇内成员节点的忙闲状态、轮询顺序和节点 ID.其中,忙闲状态反映了节点在过去一段时间是否采集到有效数据,若节点的忙闲状态标识值为 0,代表该节点没有感知到有效数据,在本轮中不需要与簇头通信,反之,代表该节点感知到了有效数据,在本轮中需要将采集到的数据发送给对应簇头.每个轮询周期,簇头根据轮询表中记录的节点信息,依次查询忙闲状态标识值为 1 的节点,其余节点处于休眠状态,以节省能量.这样就有效地解决了时隙的浪费问题,并避

免了不必要的能耗,提高网络能量利用率的同时提升了网络吞吐量.

4 仿真实验及结果分析

本文所提协议是集中式分簇路由协议,为了验证所提协议的可行性和优越性,使用 Matlab R2014b 软件对其进行仿真,并与 FIGWO 和 KUCR 两种集中式分簇路由协议进行对比. 基站位置、网络节点数、无线传感网规模是影响协议性能的三个主要指标,因此本文在两种不同的网络场景中对所提协议进行仿真,场景参数设置如表 1 所示,仿真参数设置如表 2 所示. 人工蜂群算法的参数设置为:种群大小为 20,最大迭代次数 maxCycle 为 200. 其中,用于评价协议性能的指标为:

网络稳定期:从网络开始运行到首个节点死亡的这段时间定义为网络稳定期.

网络生存期:从网络开始运行到 75% 的节点死亡的这段时间定义为网络生存期.

网络吞吐量:网络生存期内,基站接收到的总的数据包个数定义为网络吞吐量.

表 1 场景参数			
场景	区域规模	基站位置	节点个数
场景 1	200m×200m	(0, 0)	100, 200, 300
场景 2	300m×300m	(150, 500)	500

表 2 仿真参数设置	
参数名称	取值
数据包长度	4000bits
网络最大运行轮数	3000
最优簇头比例	5%
节点初始能量	0. 5J
E_{elec}	50nJ/bit
E_{DA}	50nJ/bit/packet
ϵ_{fs}	10pJ/bit/m ²
ϵ_{mp}	0. 0013pJ/bit/m ⁴
α, β, μ	1/3, 1/3, 1/3
ω	1/2

图 2 是场景 1 中三种协议的网络稳定期对比. 对可靠性有较高要求的应用场景中,所有节点都能正常采集数据时,网络的工作才有意义,一旦有节点死亡,无线传感网的覆盖率随之降低,采集到的数据出现缺失,网络的工作也不再有意义. 从图中可以看出,在具有不同节点密度的小型应用场景中,本文协议在网络稳定期指标上均优于其它两种协议. 这是

因为本文协议在簇头选举阶段充分考虑了节点的位置信息和剩余能量,选择出的簇头节点能量充足,分布均匀,有效地均衡了网络能耗,延长了网络稳定期. 基于上述分析,在小规模的应用场景中,本文协议有更好的能耗均衡性和能量高效性,更适用于对可靠性要求高的应用场景.

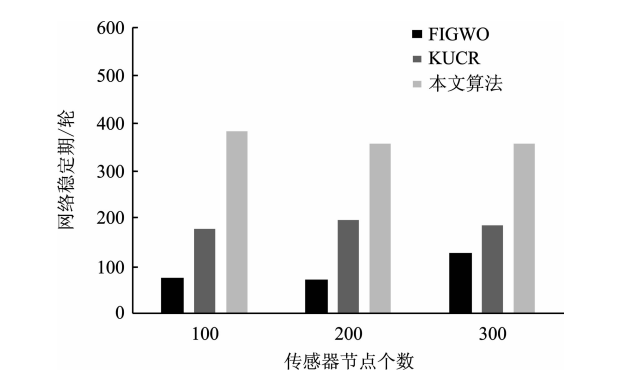


图 2 场景 1 网络稳定期对比

图 3 是场景 1 中三种协议的网络生存期对比. 网络生存期是评价一个协议性能的关键指标,在相同的条件下,网络生存期越长,代表网络工作的时间越久,采集到的数据就越多,传感网带来的收益也越大. 从图中可以看出,在分布不同数量节点的场景 1 中,本文协议的网络生存期指标均优于其它两种协议. 这是因为本文协议采用群体智能算法很好的解决了聚类问题,均衡了网络能耗的同时提高了能量利用率,从而延长了网络生存期.

图 4 是场景 1 中三种协议的网络吞吐量对比. 吞吐量是评价一个协议性能的重要指标,在相同条件下,一个无线传感器网络的吞吐量越高,代表基站接收到的数据包越多,对监测区域的信息了解就越全面. 从图中可以看出,随着节点数的增加,网络吞吐量也随之增加,在具有三种不同节点密度的场景 1 中,本文协议的网络吞吐量均高于其它两种协议.

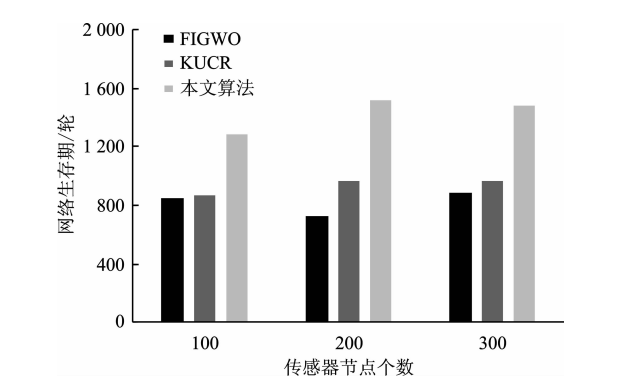


图 3 场景 1 网络生存期对比

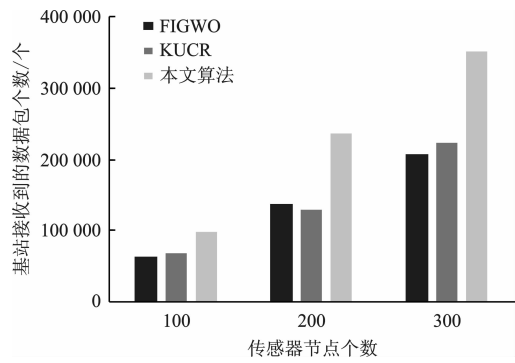


图 4 场景 1 网络吞吐量对比

使本文协议在吞吐量指标上表现出较大优势的主要原因有两点:1、相比于 FIGWO 协议和 KUCR 协议,本文协议有更长的网络生存期,因此基站可以接收到更多的数据包;2、本文协议在簇内通信阶段引入了区分忙闲节点的轮询控制机制,充分利用了时隙,进一步提高了网络吞吐量。

为了测试本文协议的可扩展性,设置了大规模应用场景 2,基站距离监测区域较远,节点数增加到了 500。

图 5 是场景 2 中四种协议的网络稳定期对比。场景 2 规模较大,节点距离基站相对较远,分簇效果和路由效率是影响协议性能的主要因素。从图中可以看出,在大型应用场景中,本文协议的网络稳定期长于其它两种协议。使本文协议在网络稳定期指标上有较大优势的主要原因有两点:1、本文考虑节点的能量因素、位置因素和向心率因素提出了一种最优聚类方法,优化了网络聚类;2、簇间路由阶段,提出了一种能量高效的路由算法,簇头通过多跳方式向基站发送数据,提高了能量利用率,均衡了节点能耗。基于上述分析,相比于 FIGWO 协议和 KUCR 协议,本文协议更适用于对可靠性要求高的大型应用场景。

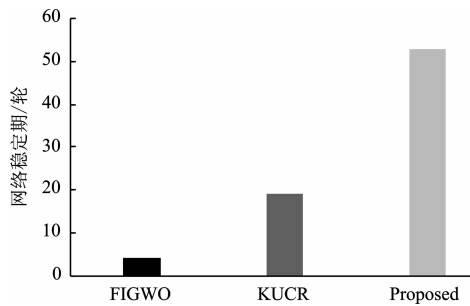


图 5 场景 2 网络稳定期对比

图 6 是场景 2 中三种协议的网络生存期对比。从图中可以看出,本文协议在网络生存期指标上有

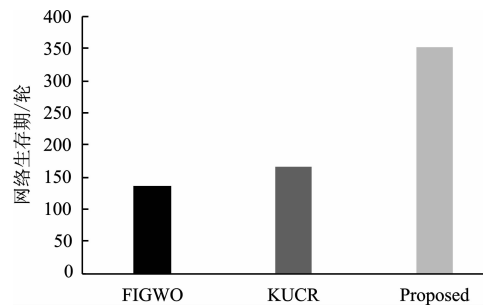


图 6 场景 2 网络生存期对比

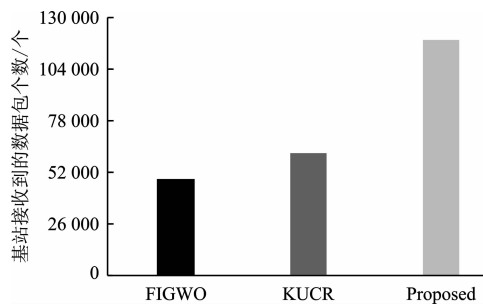


图 7 场景 2 网络吞吐量对比

较大优势,这得益于本文协议很好的解决了聚类问题,最小化簇内通信距离的同时优化了簇头分布,从而均衡了网络能耗。此外,在稳定传输阶段,本文协议构建了高效的簇间路由,簇头节点通过合适的路径将数据发至基站,从而降低了簇头能耗,延长了网络生存期。

图 7 是场景 2 中三种协议的网络吞吐量对比。从图中可以看出,在大规模应用场景中,本文协议的网络吞吐量高于其它两种协议。使本文协议在网络吞吐量指标上有较大优势的主要原因有两点:1、本文协议很好的解决了聚类问题和路由问题,显著地延长了网络生存期,使基站接收到了更多的数据包;2、本文协议的簇内通信机制使用了区分忙闲节点的轮询控制机制,充分利用时隙的同时提高了能量利用率,进一步提高了网络吞吐量。

5 结束语

针对无线传感器网络能耗不均衡,网络生存期短等问题,提出一种基于人工蜂群算法的分簇路由协议。该协议将簇头的能量、簇头的位置和簇头的向心率等因素引入人工蜂群算法理论,优化簇头质量和聚类效果,从而均衡节点能耗,延长网络生存期。在簇间路由阶段,提出一种能量高效的路由算法,簇头通过一个损失函数寻找剩余能量高、地理位置优越的下一跳,完成数据传输。在簇内通信阶段,引入

区分忙闲节点的轮询控制机制,充分利用时隙的同时提高了能量利用率.在不同场景下对所提协议进行了仿真测试,并与集中式分簇路由协议 KUCR 和 FIGWO 进行了对比.仿真实验结果表明,相比于其它两种协议,本文协议能够有效地均衡网络能耗,延长网络生存期,并显著提高网络吞吐量.

参考文献:

- [1] 刘宏,关页欢.改进引力搜索算法的分环路由协议[J].微电子学与计算机,2019,36(12):84-88. DOI: 10.19304/j.cnki.issn1000-7180.2019.12.017.
LIU H, GUAN Y H. Improved gravitational search algorithm for ring routing protocol[J]. Microelectronics & Computer, 2019, 36(12): 84-88. DOI: 10.19304/j.cnki.issn1000-7180.2019.12.017.
- [2] 黄利晓,王晖,袁利永,等.基于能量均衡高效 WSN 的 LEACH 协议改进算法[J].通信学报,2017,38(S2):164-169. DOI: 10.11959/j.issn.1000-436x.2017270.
HUANG L X, WANG H, YUAN L Y, et al. Improved LEACH protocol algorithm for WSN based on energy balance and high efficiency[J]. Journal on Communications, 2017, 38(S2): 164-169. DOI: 10.11959/j.issn.1000-436x.2017270.
- [3] LEE J Y, JUNG K D, MOON S J, et al. Improvement on LEACH protocol of a wide-area wireless sensor network[J]. Multimedia Tools and Applications, 2017, 76(19): 19843-19860. DOI: 10.1007/s11042-016-3732-4.
- [4] LATIF K, JAVAID N, SAQIB M N, et al. Energy consumption model for density controlled divide-and-rule scheme for energy efficient routing in wireless sensor networks[J]. International Journal of Ad Hoc and Ubiquitous Computing, 2016, 21(2): 130-139. DOI: 10.1504/IJAHUC.2016.075192.
- [5] ZHAO X Q, ZHU H, ALEKSIC S, et al. Energy-Efficient Routing Protocol for Wireless Sensor Networks Based on Improved Grey Wolf Optimizer[J]. KSII Transactions on Internet and Information Systems, 2018, 12(6): 2644-2657. DOI: 10.3837/tiis.2018.06.011.
- [6] 张雅琼.基于 K-Means 的无线传感网均匀分簇路由算法研究[J].控制工程,2015,22(6):1181-1185. DOI: 10.14107/j.cnki.kzgc.c5.0486.
- ZHANG Y Q. Research on uniform clustering routing algorithm based on K-means in wireless sensor network[J]. Control Engineering of China, 2015, 22(6): 1181-1185. DOI: 10.14107/j.cnki.kzgc.c5.0486.
- [7] ARI A A A, YENKE B O, LABRAOUI N, et al. A power efficient cluster-based routing algorithm for wireless sensor networks: honeybees swarm intelligence based approach[J]. Journal of Network and Computer Applications, 2016, 69: 77-97. DOI: 10.1016/j.jnca.2016.04.020.
- [8] ZHOU Y, WANG N, XIANG W. Clustering hierarchy protocol in wireless sensor networks using an improved PSO algorithm[J]. IEEE Access, 2017, 5: 2241-2253. DOI: 10.1109/ACCESS.2016.2633826.
- [9] 武小年,张楚芸,张润莲,等.WSN 中基于改进粒子群优化算法的分簇路由协议[J].通信学报,2019,40(12):114-123. DOI: 10.11959/j.issn.1000-436x.2019241.
WU X N, ZHANG C Y, ZHANG R L, et al. Clustering routing protocol based on improved PSO algorithm in WSN[J]. Journal on Communications, 2019, 40(12): 114-123. DOI: 10.11959/j.issn.1000-436x.2019241.
- [10] 刘小涛,陈珍萍,黄友锐.一种基于能耗均衡的非均匀分簇路由算法[J].微电子学与计算机,2019,36(2):36-40. DOI: 10.19304/j.cnki.issn1000-7180.2019.02.008.
LIU X T, CHEN Z P, HUANG Y R. An uneven clustering routing algorithm based on energy consumption balance[J]. Microelectronics & Computer, 2019, 36(2): 36-40. DOI: 10.19304/j.cnki.issn1000-7180.2019.02.008.

作者简介:

王宗山 男,(1995-),硕士研究生.研究方向为无线传感器网络、群体智能优化算法、轮询多址通信.

丁洪伟 男,(1964-),博士,教授,博士生导师.研究方向为无线传感器网络、轮询控制机制和机器学习.

雷宁(通讯作者) 女,(1996-),硕士研究生.研究方向为教育信息化、无线传感器网络.

E-mail:694513739@qq.com