

引用格式: 刘宏, 关业欢. 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. [LIU H, GUAN Y H. Improved gravitational search algorithm for ring routing protocol[J]. Microelectronics & Computer, 2019, 36(12): 84-88.]

改进引力搜索算法的分环路由协议

刘 宏, 关业欢

(江西理工大学 电气工程与自动化学院, 江西 赣州 341000)

摘 要: 针对无线传感器网络分簇不合理、路径寻优性能不佳等问题, 提出了改进引力搜索算法的分环路由协议(IGSAR). 首先对节点覆盖的区域进行分环, 并给出各环内每个簇的成员节点数, 节点通过记录接收的邻居节点信号个数, 达到设定值后宣布成簇, 然后在簇内选举簇头; 簇间路由采用引力搜索算法寻找最优路径, 同时引入动态权重优化搜索算法, 以多跳的方式将数据传输到汇聚节点. 仿真结果证明: IGSAR 协议在簇头能耗的均衡性和节点能量的利用方面均优于 EEUC 协议、RCANND 协议.

关键词: 无线传感器网络; 动态权重; 引力搜索算法; 分环; 路由协议

中图分类号: TP393

文献标识码: A

文章编号: 1000-7180(2019)12-0084-05

Improved gravitational search algorithm for ring routing protocol

LIU Hong, GUAN Ye-huan

(School of Electrical Engineering and Automation, Jiangxi University of Science and Technology, Ganzhou 341000, China)

Abstract: Aiming at the problems of unreasonable clustering and poor path searching performance in wireless sensor networks, a Improved Gravitational Search Algorithm for Ring routing protocol was proposed(IGSAR). Firstly, the area covered by nodes is divided into rings, and the number of members of each cluster in each ring is given. By recording the number of signals received by neighbor nodes, the nodes announce clustering after reaching the set value, and then elect cluster heads within the cluster. In the inter-cluster routing, gravity search algorithm is adopted to find the optimal path, and dynamic weight optimization search algorithm is introduced to transmit data to the sink node in the way of multiple hops. Simulation results show that IGSAR is better than LEACH and EEUC in energy balance and energy balance of cluster head and energy utilization of nodes.

Key words: wireless sensor network; dynamic weight; gravity search algorithm; sub-ring; routing protocol

1 引言

无线传感器网络路由协议决定了数据的传输路径, 是无线传感器网络的关键技术之一^[1]. 近年来, 无线传感器网络的分簇路由协议引起了众多学者的研究, 其主要工作是对网络进行合理的分簇, 然后选择合适的路径传输数据, 以均衡网络的能量消耗, 延长网络的生存时间.

为了高效利用网络节点能量, 更大幅度地延长

网络生存时间, 本文提出了改进引力搜索算法的分环路由协议(Improved Gravitational Search Algorithm for Ring routing protocol, IGSAR). 根据节点所在位置与汇聚节点的距离进行分环, 采用节点计数的方法分簇, 同一环内簇的规模均匀; 综合考虑剩余能量和距离两个因素来建立路由目标函数, 采用改进的引力搜索算法寻优, 在搜索过程路径过程中根据节点的适应性动态调整权重系数, 快速找到全局最优.

收稿日期: 2019-04-01; 修回日期: 2019-05-15

基金项目: 国家自然科学基金(61163063)

2 网络模型和假设

假设的无线传感器网络有以下特性:

- (1) 传感器节点部署在圆形区域内.
- (2) 传感器节点位置固定且具有唯一的 ID.
- (3) 汇聚节点位于圆形区域中心,且能量不受限.

(4) 所有传感器节点具有采集、处理、通信能力且地位相等.

(5) 节点之间可以通过接收信号的强度来估算彼此之间的距离,并能根据距离调整自身的发射功率.

根据发送节点和接收节点的通信距离划分了自由空间模型和多路径衰减模型^[2]. 即传输能量基于一个阈值距离 d_0 , 当通信距离小于 d_0 时为自由空间模型, 否则使用多路径衰减模型. 节点发送 l 比特的数据通信距离为 d 的数据, 需要消耗能量如式(1):

$$E_{TX}(l, d) = \begin{cases} lE_{dec} + \epsilon_{fs}d^2, & d < d_0 \\ lE_{dec} + \epsilon_{mp}d^4, & d \geq d_0 \end{cases} \quad (1)$$

式中, E_{dec} 为发射电路损耗的能量; 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 为节点间距离; $d_0 = \sqrt{\epsilon_{fs}/\epsilon_{mp}}$ 为两种模型的分界值.

节点接收 l 比特数据消耗的能量如式(2)所示:

$$E_{RX}(l) = lE_{dec} \quad (2)$$

3 IGSAR 协议

3.1 网络分环

将网络分成 M 个环次, 靠近汇聚节点的为第 1 环, 设 $k = 1$, 依次向外排序 $k = 2, 3, \dots, M$. 网络初始化后由汇聚节点向全网广播消息, 节点根据接收到的信号强度计算自身到汇聚节点的距离 d , 并根据式(3) 计算其所属的环次:

$$F = \text{fix}(d/d_w) + 1 \quad (3)$$

式中, d_w 为每环相隔的宽度; fix 为取整函数.

采用文献[3] 中的最优簇个数的算法, 求得各环最优簇个数 $C_k, k = 1, \dots, M$. 第 k 环内的节点数为:

$$N_k = \frac{\pi(kd)^2 - \pi[(k-1)d]^2}{\pi R^2} N = \frac{(2k-1)d}{R^2}, \quad k = 1, \dots, M \quad (4)$$

所以每环的每个簇内成员数为:

$$S_k = \frac{N_k}{C_k} \quad (5)$$

3.2 构造簇的过程

(1) Sink 节点在进入新的一次循环时向所有节点广播 start 消息.

(2) 每个节点接收到 start 消息后, 根据信号 RSSI 的强弱判断自己的位置, 计算出自身在网络中的第几环. 同时, 每个节点广播一个 Hello 消息给它的邻居节点.

(3) 每个节点记录接收到的 Hello 消息个数, 包括节点的剩余能量和位置消息.

(4) 当节点接收到的 Hello 消息个数达到 S_k 后, 该节点向邻居节点广播消息“成员集结完毕”, 即这些成员构成一个簇, 簇内的节点不再记录其他节点的 Hello 消息. 如果其他节点有记录了该簇的节点消息, 则将其移除, 这一行为为了避免同一个节点信息出现在两个簇内.

(5) 在步骤(4)构造的簇内进行簇头选举. 簇头的负载重大, 簇头选举过程考虑三个重要因素: 节点剩余能量、簇内节点向心性以及与汇聚节点的距离. 如式(6):

$$\text{factor} = a \frac{E_i}{E_{\max}} + b \frac{Cen_{\max}}{Cen_i} + c \frac{d_{\max}}{d_{i, \text{Sink}}} \quad (6)$$

式中, a, b, c 为权重指数; $a + b + c = 1$; E_i 为簇内节点 i 的剩余能量; $E_{\max}$ 为簇内节点的最大剩余能量; $Cen_{\max}$ 为簇内节点最大向心性; Cen_i 为簇内节点 i 的向心性; $d_{\max}$ 为簇内节点到汇聚节点的最大距离; $d_{i, \text{Sink}}$ 为节点 i 到汇聚节点的距离. 其节点向心性可表示为节点到簇内其他节点的距离平方平均值, 向心性小则簇内节点通信能耗小, 如式(7):

$$Cen_i = \frac{\sum_{j \in S_k} d_{i,j}^2}{S_k} \quad (7)$$

式中, $d_{i,j}^2$ 为节点 i 到簇内邻节点 j 距离的平方. 由簇头选举公式可知, 节点剩余能量大、簇内节点向心性小、离汇聚节点近的更容易成为簇头. 构造簇的流程图:

3.3 基于动态权重引力搜索算法

3.3.1 引力搜索算法

引力搜索算法(gravitational search algorithm, GSA), 主要是利用两物体之间的引力定律进行指导各个粒子的运动优化搜索最优解的, 两个粒子之间的引力与两个粒子的质量成正比, 与两粒子之间的距离成反比^[4]. 假设在 d 维空间有 N 个粒子, 第 i 个粒子 X_i 的位置为:

$$X_i = \{x_i^1, x_i^2, \dots, x_i^d\}, i = 1, 2, \dots, N \quad (8)$$

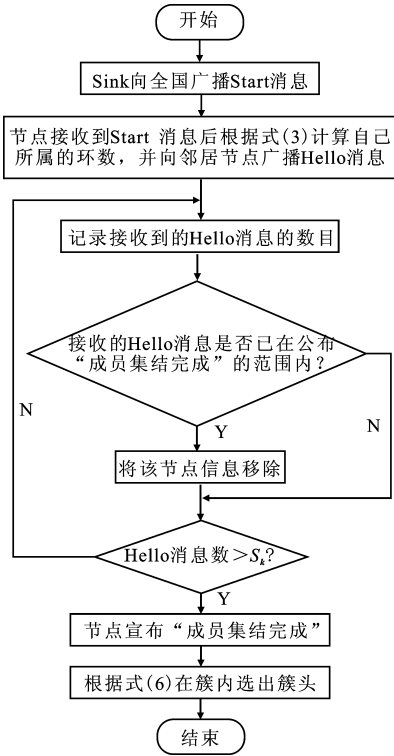


图1 构造簇流程图

式中, x_i^d 表示第 i 个粒子在第 d 维中的位置. 根据适应度值, 计算出粒子的惯性质量:

$$m_i(t) = \frac{fit_i(t) - \omegaorst(t)}{best(t) - \omegaorst(t)} \quad (9)$$

$$M_i(t) = \frac{m_i(t)}{\sum_{j=1}^N m_j(t)} \quad (10)$$

式中, $fit_j(t)$ 是在 t 时刻粒子 i 的适应度函数; $best(t)$ 和 $\omegaorst(t)$ 表示 t 时刻适应度值的最优值和最差值, 定义如下:

$$best(t) = \max fit_j(t), j \in \{1, 2, \dots, N\} \quad (11)$$

$$\omegaorst(t) = \min fit_j(t), j \in \{1, 2, \dots, N\} \quad (12)$$

在 t 时刻粒子 j 对粒子 i 的作用力如下:

$$F_{ij}^d(t) = G(t) \frac{M_{pi}(t) \times M_{aj}(t)}{R_{ij}(t) + \epsilon} (x_j^d(t) - x_i^d(t)) \quad (13)$$

式中, M_{aj} 是作用粒子 j 的惯性质量; M_{pi} 是被作用粒子 i 的惯性质量; $R_{ij}(t)$ 是两个粒子 i 和粒子 j 之间的欧氏距离; ϵ 是一个很小的常量; $G(t)$ 是时间 t 时的引力常数, 表示如下:

$$G(t) = G_0 e^{-\alpha T} \quad (14)$$

式中, G_0 为初始时刻引力常数. 在时间 t 内第 d 维上所有粒子对粒子 i 施加的总力如下:

$$F_i^d(t) = \sum_{j=1, j \neq i}^N rand_j F_{ij}^d(t) \quad (15)$$

式中, $rand_j$ 是 $[0, 1]$ 之间的随机数. 根据运动定律, 在 t 时刻第 d 维上粒子 i 的加速度定义如下:

$$a_i^d(t) = \frac{F_i^d(t)}{M_i(t)} \quad (16)$$

像物理学中的运动学定律一样, 在某个方向的引力会产生一个加速度, 进而影响速度, 使粒子的位置发生改变, 粒子 i 的位置更新公式如下:

$$v_i^d(t+1) = rand_i \times v_i^d(t) + a_i^d(t) \quad (17)$$

$$x_i^d(t+1) = x_i^d(t) + v_i^d(t+1) \quad (18)$$

3.3.2 动态权重改进算法

公式(18)表示新粒子的位置主要取决于 x_i^d 和 v_i^d . 为了进一步提高 GSA 算法的性能, 本文引入动态权重去更新新的位置. 在搜索过程中, 如果最佳的粒子适应性非常大, 这些粒子将会远离全局最优位置. 这意味着需要进行大的调整以找到最优解, 因此 ω 应该取较大的值. 相应地, 当最佳的粒子适应性非常小, 这时 ω 应该取较小的值. 在本文中动态权重被定义为适应度函数搜索算法的过程, 其定义如式(19):

$$\omega = \frac{fit_j(t)}{\exp[1 - fit_j(t)]} \quad (19)$$

权重与适应度值的关系图如图2所示:

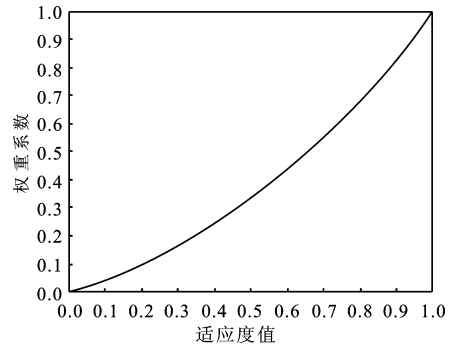


图2 权重系数与适应度值的关系

由此构建出动态权重的引力搜索算法如式(20):

$$x_i^d(t+1) = \omega \cdot x_i^d(t) + (1 - \omega) v_i^d(t+1) \quad (20)$$

3.3.3 适应度函数

适应度函数综合考虑了在中继节点选择过程中起重要作用的两个因素: 剩余能量和距离. 节点剩余能量是选择中继节点的一个重要因素, 因为中继节点执行的任务较多, 除了发送自己簇内的数据还要转发来自别的簇头的数据, 因此要选择剩余能量大的, 避免出现“热区”问题. 根据自由空间模型可知, 能耗与距离的平方成正比, 所以选择短距离的路

径可减少能量消耗. 最大化适应度函数构建如式(21):

$$fitness = \varphi \frac{E_j}{E_0} + \gamma \frac{d_{i,Sink}^2}{d_{i,j}^2 + d_{j,Sink}^2}$$

(21)

式中, φ, γ 为能量和距离控制系数,且满足 $\varphi + \gamma = 1$; E_0 为节点初始能量; E_j 为簇头 j 的当前剩余能量; $d_{i,j}$ 、 $d_{j,Sink}$ 和 $d_{i,Sink}$ 分别为源簇头节点 i 到中继节点 j 的距离、中继节点 j 到汇聚节点的距离和簇头节点 i 到汇聚节点的距离.

3.3.4 IGSAR 算法步骤

- (1)初始化各个参数和种群位置.
- (2)根据式(21)计算适应度值.
- (3)计算粒子的惯性质量、每个粒子所受的合力、加速度.
- (4)根据式(20)更新每个粒子的位置,同时更新全局最优值.
- (5)达到终止条件就结束,输出最优解,否则就返回步骤 2 进入下一轮迭代.

4 仿真结果与分析

实验采用 MATLAB 仿真,参数设置如表 1 所示.将 IGSAR 协议与文献[5]EEUC 协议和文献[6]RCANND 协议进行比较,从簇头能耗方差、存活节点数、网络剩余能量和接收数据包量等四方面性能分析评估.

表 1 仿真参数设置

参数	值	参数	值
区域半径 R	100	$\epsilon_{fs}/(\text{pJ/bit/m}^2)$	10
总节点数	100	$\epsilon_{mp}/(\text{pJ/bit/m}^4)$	0.0013
节点初始能量/J	0.5	$E_{DA}/(\text{nJ/bit})$	5
数据包大小 bits	4000	$E_{elec}/(\text{nJ/bit})$	50
a, b, c	0.5、0.3、0.2	α	20
φ, γ	0.6、0.4	G_0	100

4.1 簇头能耗方差

随机抽取 10 轮簇头能耗方差数据如图 3 所示,由于 EEUC 协议选择簇头仅考虑节点剩余能量,没有考虑与汇聚节点的距离和簇头节点周围密集度,造成部分簇头节点的成员节点数过大,数据传输距离远,所以该协议的簇头能耗方差较大,且不稳定;RCANND 协议采用分环的方法,比 EEUC 的均衡性好;IGSAR 采用记录节点个数的方式分簇,使得簇的规模划分均匀,提高了簇头节点能耗的均衡性.

4.2 存活节点

如图 4 所示,EEUC 协议出现节点失效的轮数

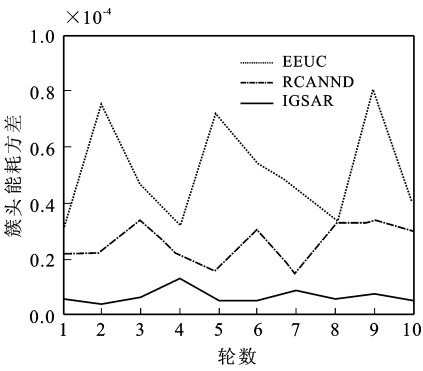


图 3 簇头能耗方差

最小,说明网络中存在节点因为能耗过大而出现节点过早失效;RCANND 协议相对 EEUC 协议有所提高;而 IGSAR 协议第一个节点失效的轮数和最后一个节点失效的轮数均比 EEUC 协议和 RCANND 协议大,即网络生命周期最长.

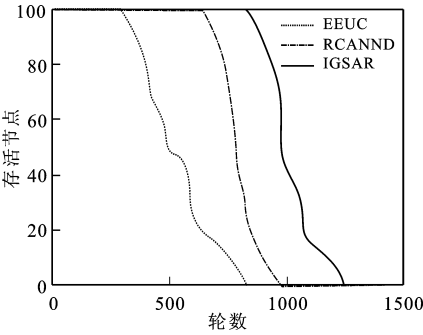


图 4 存活节点

4.3 节点剩余能量

如图 5 所示,EEUC 协议能量耗尽最快,RCANND 协议次之,IGSAR 协议采用改进的引力搜索算法优化簇间多跳路径,使源数据沿最优路径传送到汇聚节点,从根本上提高了网络总能量的有效利用.

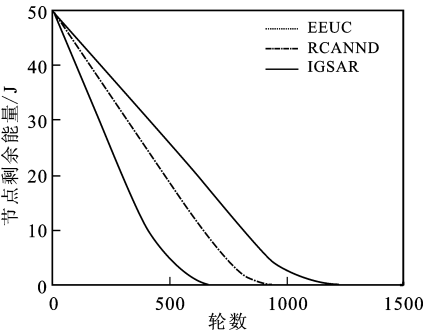


图 5 节点剩余能量

4.4 接收数据包量

如图 6 所示,在 50% 节点失效之前 IGSAR 协

议接收的数据包量是 EEUC 协议的 2.1 倍,是 RCANND 协议的 1.3 倍.这是因为随着网络运行,EEUC 协议和 RCANND 协议的节点失效速度较快,网络节点个数减少,IGSAR 协议的节点覆盖区域比 EEUC 协议和 RCANND 协议的大,所以接收的数据包量大.

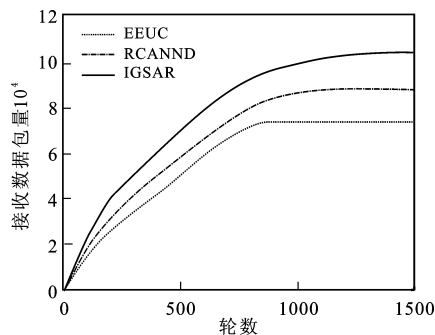


图6 接收数据包量

5 结束语

以优化节点的能量消耗为基础,提出改进引力搜索算法的分环路由协议(IGSAR).IGSAR 优化分簇方式和簇头的选举,平衡簇头节点负载.采用改进引力搜索算法构建簇间路由策略,进一步提高算法的寻优能力.实验结果表明 IGSAR 协议的性能协议 EEUC、RCANND.有效的均衡了网络节点的能量消耗,改善“热区”问题,延长了网络生存时间.

量消耗,改善“热区”问题,延长了网络生存时间.

参考文献:

- [1] GAO Y L, CHENG X R. Analysis and Improvement on Routing Protocols for Wireless Sensor Networks [J]. Journal of Computer and Communications, 2018, 6(9): 126-131.
- [2] 李东林, 韦素媛. 基于簇首位置控制的异构 WSN 分簇路由算法[J]. 微电子学与计算机, 2018, 35(5): 80-84.
- [3] 刘志, 裴正定. 基于分环多跳的无线传感网分簇路由算法[J]. 通信学报, 2008, 29(3): 104-113.
- [4] RASHEDI E, NEZAMABADI-POUR H, SARYAZDI S. GSA: a gravitational search algorithm[J]. Information Sciences, 2009, 179(13): 2232-2248.
- [5] 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.
- [6] 孙超, 彭力, 朱雪芳. 基于环的节点非均匀分布分簇算法[J]. 计算机应用, 2017, 37(6): 1527-1531.

作者简介:

刘宏男, (1968-), 硕士, 教授. 研究方向为无线传感器网络基础设施的理论和技術. E-mail: 1289730543@qq.com
关业欢女, (1993-), 硕士研究生. 研究方向为无线传感器网络路由协议.

(上接第 83 页)

参考文献:

- [1] MIRJALILI S, LEWIS A. The whale optimization algorithm[J]. Advances in Engineering Software, 2016 (95): 51-67.
- [2] ZHANG X, LIU Z W, MIAO Q. Bearing fault diagnosis using a whale optimization algorithm-optimized orthogonal matching pursuit with a combined time - frequency atom dictionary[J]. Mechanical Systems and Signal Processing, 2018, 107(1): 29-43.
- [3] MOHAMED ABD EI AZIZ, AHMED A, et al. Multi-objective whale optimization algorithm for content-based image retrieval[J]. Multimedia Tools and Applications, 2018, 77(19): 26135-26172.
- [4] MAFARJA M M, MIRJALILI S. Hybrid whale optimization algorithm with simulated annealing for feature selection [J]. Neurocomputing, 2017(260): 302-312.
- [5] 龙文, 蔡绍洪, 焦建军, 等. 求解大规模优化问题的改进鲸鱼优化算法[J]. 系统工程理论与实践, 2017, 37(11): 2983-2994.

- [6] ELAZIZ M A, OLIVA D. Parameter estimation of solar cells diode models by an improved opposition-based whale optimization algorithm[J]. Energy Conversion & Management, 2018(171): 1843-1859.
- [7] 龙文, 伍铁斌, 唐斌. 收敛因子非线性变化的鲸鱼优化算法[J]. 兰州理工大学, 2017, 12(6): 102-107.
- [8] 徐继亚, 王艳, 纪志成. 基于鲸鱼算法优化 WKELM 的滚动轴承故障诊断[J]. 系统仿真学报, 2017, 29(9): 2189-2197.
- [9] 张永, 陈锋. 一种改进的鲸鱼优化算法[J]. 计算机工程, 2018, 44(03): 208-213.
- [10] 傅文渊, 凌朝东. 自适应折叠混沌优化方法[J]. 西安交通大学学报, 2013, 47(2): 33-38.

作者简介:

毕孝儒男, (1975-), 硕士, 讲师, 工程师. 研究方向为智能计算、机器学习. E-mail: x_r_b@sina.com
牟琦男, (1974-), 副教授. 研究方向为智能计算、机器学习.
龚尚福男, (1954-), 教授. 研究方向为智能计算、机器学习.