

基于改进型灰狼算法的 RFID 网络规划



全艺璇 郑嘉利 罗文聪 林子涵 谢孝德

广西大学计算机与电子信息学院 南宁 530004

广西多媒体通信与网络技术重点实验室 南宁 530004

(370218658@qq.com)

摘要 随着物联网技术的飞速发展,射频识别(Radio Frequency Identification,RFID)系统因具有非接触、快速识别等优点而成为了解决物联网问题的首选方案。RFID网络规划问题要考虑多个目标,被证明是多目标优化的问题。群体智能(Swarm Intelligence,SI)算法在解决多目标优化问题方面得到了广泛的关注。文中提出了一种改进型灰狼算法(Improved Grey Wolf Optimizer,IGWO),利用高斯变异算子和惯性常量策略来实现 RFID网络规划。通过建立优化模型,在满足标签 100%覆盖率、部署更少的阅读器、避免信号干扰、消耗更少的功率 4 个目标的基础上,将所提算法与粒子群算法(Particle Swarm Optimization,PSO)、遗传算法(Genetic Algorithm,GA)、帝王蝶算法(Monarch Butterfly Algorithm,MMBO)进行了对比分析。实验结果表明,灰狼算法在 RFID网络规划时表现更优异,在相同的实验环境下,相较于其他算法,IGWO 的适应度值比 GA 提高了 20.2%,比 PSO 提高了 13.5%,比 MMBO 提高了 9.66%;并且覆盖的标签数更多,可以更有效地求出最优化方案。

关键词: 射频识别;网络规划;灰狼算法;惯性常量;高斯变异

中图法分类号 TP301.6

Improved Grey Wolf Optimizer for RFID Network Planning

QUAN Yi-xuan,ZHENG Jia-li,LUO Wen-cong,LIN Zi-han and XIE Xiao-de

School of Computer,Electronics and Information,Guangxi University,Nanning 530004,China

Guangxi Key Laboratory of Multimedia Communications and Network Technology,Nanning 530004,China

Abstract With the rapid development of Internet of things technology,radio frequency identification(RFID) system,with its advantages of non-contact and rapid identification,has become the first choice to solve the problem of Internet of things. RFID network planning should consider multiple objectives,which has been proved to be a multi-objective optimization problem. In this paper,an improved grey wolf optimizer is proposed,which uses Gauss mutation operator and inertia constant strategy to realize RFID network planning. Through the establishment of the optimization model,on the basis of satisfying the four objectives of 100% coverage of tags,deploying fewer readers,avoiding signal interference and consuming less power,this paper makes a comparative analysis with particle swarm optimization(PSO),genetic algorithm(GA) and monarch butterfly algorithm(MMBO). The experimental results show that grey wolf algorithm performs better in RFID network planning. In the same experimental environment,compared with other algorithms,the fitness value of IGWO is 20.2% higher than GA,13.5% higher than PSO,9.66% higher than MMBO,and the number of tags covered is more,so the optimization scheme can be found more effectively.

Keywords RFID,Network planning,Grey wolf algorithm,Inertia constant,Gauss mutation

1 引言

近十年来,RFID 技术的功能性和经济性都有了显著的发展。许多工业应用都逐渐采用了 RFID 技术,如物流、资产跟踪、供应链管理等领域。RFID 还被用于构建物联网(Internet of Things,IoT)。物联网是将物理事物与互联网连接起来的网络,使人们能够访问远程传感器数据并因此打破现实世界产生的远距离^[1]。

从本质上讲,RFID 是一种用于自动识别的系统^[2]。其主要是由阅读器和标签组成,存储在标签上的信息可以由阅读器在几米的距离内无接触访问。这种技术的优点之一是阅读器和标签之间的实际联系对于数据的传输是不必要的,打破了空间的限制。

RFID 系统部署面临的最大挑战是确定阅读器的最佳位置(数量和最佳分布),以实现系统的最大效率^[3],此即 RFID 网络规划问题(RFID Network Planning,RNP)。在多个约束

到稿日期:2020-02-21 返修日期:2020-06-23 本文已加入开放科学计划(OSID),请扫描上方二维码获取补充信息。

基金项目:国家自然科学基金(61761004);广西自然科学基金(2019GXNSFAA245045)

This work was supported by the National Natural Science Foundation of China(61761004) and Natural Science Foundation of Guangxi Province, China(2019GXNSFAA245045).

通信作者:郑嘉利(zjl@gxu.edu.cn)

条件下,通过控制一定的变量来实现资源的均衡配置。为了实现大规模 RFID 网络的成功部署,需要解决多目标 RFID 网络规划问题(Multi Objective RFID Network Planning, MORNP)。MORNP 于 2006 年提出^[4],其主要特性是多维度和非线性。MORNP 问题,如今被认为是多目标优化的问题,近年来越来越多的学者对此进行了多方面的研究,尝试用不同的方法和技术来加以解决。

传统的精确方法^[5]在处理此类多目标优化问题时,不能在合理的计算时间内获得满意的结果。作为一种替代方法,元启发式算法的出现带来了转机。大致上,元启发式方法可以分为两大类:受自然启发的和不受自然启发的^[6]。作为多目标优化的高维问题,RNP 可以用自然启发的元启发式算法来解决。大多数已有的研究使用加权系数法将多目标 RNP 优化转化为单目标^[7]。相比传统方法,粒子群算法^[8]能在大规模 RFID 网络规划中获得较快的速度;Liu 等采用文献^[9]中的方法,将遗传算法变异机制引入粒子群算法中,提出了带变异机制的粒子群优化算法,以提高阅读器对电子标签的覆盖率,降低信号间的干扰,从而对 RFID 网络进行优化;Mo-hamed 等采用 MMBO^[10],通过在后期迭代中加强开发,来增强 RFID 网络规划^[11-12]。近年来,对元启发式算法的研究,已经不仅是受动物的启发,还受一些自然现象的启发,包括烟花^[13]和生物迁移^[14]等。

灰狼算法(Grey Wolf Optimizer,GWO)最早由 Mirijili 等在 2014 年提出^[15],其思想主要来源于灰狼的捕猎行为和社会等级。灰狼算法一经提出,就受到了学者们的广泛关注,但其存在中后期收敛速度慢和容易陷入局部最优的问题。对此,本文提出了一种基于惯性常数策略的搜索机制,并引入了高斯算子来提高种群的多样性。本文提出的这种求解 RFID 网络规划问题的改进型灰狼算法,实现了在 RFID 网络规划问题上的应用。

2 RFID 网络规划问题的数学表述

RFID 网络规划的任务是在部署多个 RFID 系统的同时,兼顾 4 个目标:覆盖率、负载均衡、信号干扰、发射功率。其目的是在保证百分之百覆盖率的情况下,部署尽量少的阅读器,以避免阅读器之间相互干扰,使每个阅读器读取标签的数量比较接近,且使用的功率最少。

1)覆盖率。依据阅读器在部署区域内可以识别到的标签个数,设计相关的目标函数作为其适应度值,以此来表明识别标签的覆盖率。由 f_1 表示 RFID 网络覆盖率的性能指标,计算方式如下:

$$f_1 = \left(\sum_{i=1}^n C_i \right) / n \quad (1)$$

其中, C_i 表示第 i 个标签的覆盖率。当没有一个阅读器读取 i 标签的信息时, $C_i = 0$, 否则 $C_i = 1$ 。

2)负载均衡。在大型的 RFID 网络规划中,阅读器密集时,可能会出现一个标签被多个阅读器读取,而另外一个标签没有被任何一个阅读器读取的情况,这会影响到阅读器读取信息的可靠性。理想状态下,每个标签能够被至少一个阅读器读取,而阅读器读取的标签数也接近。用 f_2 表示 RFID 的负载均衡,其表达式如下:

$$f_2 = \prod_{i=1}^n 1/k_i \quad (2)$$

其中, k_i 表示读取第 i 个阅读器时读取的标签数目,应尽量使每个阅读器读取标签的数量接近。

3)阅读器碰撞干扰。在非常密集的环境中,大型的 RFID 网络规划容易发生阅读器碰撞,即多个阅读器同时尝试访问标签的情况,从而导致很高的误读率。阅读器之间的干扰可定义为 f_3 ,其表达式如下:

$$f_3 = \sum_{a=1}^{M-1} \sum_{b=i+1}^M (r_a + r_b) - (dist(R_a, R_b)) \quad (3)$$

其中, M 是阅读器的数量; $dist()$ 是计算阅读器之间欧氏距离的函数; R_a 和 R_b 表示当前阅读器 a 和 b 的位置;考虑到阅读器接收机的灵敏度,用 r_a 和 r_b 分别表示阅读器 a 和 b 的干扰范围,应避免或尽量减少干扰。

4)发射功率。从节能的角度看,应尽可能减少所有阅读器的传输功率之和。根据阅读器的工作原理,阅读器的识别范围在很大程度上取决于其传输功率,这意味着减小传输功率可能会干扰网络的覆盖范围。因此,节能是 RFID 网络规划中最低优先级的目标。所有阅读器的总传输能力定义为 f_4 ,其表达方式如下:

$$f_4 = \sum_{r \in R} P_r \quad (4)$$

其中, P_r 表示第 r 个阅读器的传输功率。

为了达到优化部署的目的,RFID 的整体最优解由上述 4 个目标函数的线性组合来表示:

$$\max f = \omega_1 f_1 + \omega_2 f_2 + \omega_3 f_3 + \omega_4 f_4 \quad (5)$$

3 改进型灰狼算法的算法描述

灰狼算法具有结构简单、需要调节的参数少、容易实现等特点,其中存在能够自适应调整的收敛因子以及信息反馈机制,能够在局部寻优与全局搜索之间实现平衡,因此在求解问题时具有良好的精度和收敛速度^[16]。基本 GWO 算法的灰狼个体位置更新主要依赖于 α, β, δ 狼的情况,它们遵循严格的社会等级制度。 α 狼是狼群的领头羊,在等级制度中属于统治者,向别的灰狼发号施令。在 α 狼之下有 β 狼和 δ 狼,它们严格执行 α 狼的命令,如传递信息,协助 α 做出决策,收集和捕获猎物,照顾幼小的狼崽等。在社会等级的底层,还有一种叫做 ω 狼的等级, ω 狼听从所有狼的指挥,在决策中拥有最低的优先权。随着算法迭代的不断进行,其余狼逐渐向这 3 种狼靠拢。但是, α 狼不一定是全局最优解,很容易陷入局部最优。为了解决此问题,得到更好的鲁棒性和精确性,本文提出了一种改进型的灰狼算法,引入惯性常数策略和高斯算子变异对其进行改进。改进型灰狼捕获猎物的行为可以分为搜索猎物、包围猎物和攻击猎物 3 个阶段。

1) 惯性常数策略

该算法在运行之初,需要将灰狼个体分布到整个搜索区域中,采取的是随机分布的方式;当开始进行捕食行为时,采取的是惯性搜索策略搜索猎物。相关数学表达式如下:

$$D = |C \cdot X_p(t) - \text{mean} \cdot X(t)| \quad (6)$$

$$X(t+1) = X_p(t) - A \cdot D \quad (7)$$

其中, $t+1$ 表示下一次迭代; X 代表一只狼的位置; X_p 代表猎物的位置; A 和 D 是系数向量,采用以下方程进行建模:

$$A = 2 \cdot L \cdot r_1 \quad (8)$$

$$C = 2 \cdot \lambda \cdot r_2 \quad (9)$$

$$\lambda = \left(\frac{(\lambda_{\max} - 1) \times (\lambda_{\max} - \lambda_{\min})}{\max_iter} \right) \quad (10)$$

其中, r_1 和 r_2 是 $[0, 1]$ 中的随机数, λ_{\max} 和 λ_{\min} 分别表示控制距离参数的最大值和最小值, L 表示时间常数, t 表示当前的迭代次数。惯性常数服从线性递减规律, 影响灰狼群体的开发和探索能力。在迭代初期, 较大的惯性常数 λ 使搜索步长较大, 探索能力强, 避免算法出现过早收敛的问题; 在迭代后期, 较小的惯性常数 λ 控制步长变小, 使灰狼搜索集中在较小的某个区域内, 开发能力较强, 加快了收敛的速度, 并且提高了搜索的精度。

当狼群知道猎物的位置时, α 狼、 β 狼和 δ 狼带领狼群包围猎物。因此, 根据当前最好解、次优解和次次优解组成的关键指挥组, 存储最好的 3 种解决方案, 引导更新每一个狼在小组中的位置。位置更新方程如下:

$$D_\alpha = |C_1 \cdot X_\alpha - X(t)| \quad (11)$$

$$D_\beta = |C_2 \cdot X_\beta - X(t)| \quad (12)$$

$$D_\delta = |C_3 \cdot X_\delta - X(t)| \quad (13)$$

$$X_1 = X_\alpha - A_1 \cdot D_\alpha \quad (14)$$

$$X_2 = X_\beta - A_2 \cdot D_\beta \quad (15)$$

$$X_3 = X_\delta - A_3 \cdot D_\delta \quad (16)$$

$$\text{mean} = \frac{X_1 + X_2 + X_3}{3} \quad (17)$$

2) 高斯算子变异

在自然界中, 灰狼通常在猎物停止移动时对其进行攻击。在迭代位置更新过程中, 当一部分灰狼在局部极值点出现较严重的聚集时, 对其他等级的灰狼的状态进行高斯变异, 避免陷入局部最优解; 判定目标函数的当前最优解在连续 3 次的迭代过程中结果没有发生变化, 且此时并没有达到最大迭代次数, 则说明算法可能陷入了局部最优, 给予灰狼相应的变异算子, 使其跳出现在的搜索范围, 重新进行搜索。高斯变异是在原有个体的状态基础上加上服从高斯分布的随机向量, 其定义如下:

$$X(t) = X(t) \times [1 + k \times N(0, 1)] \quad (18)$$

其中, $X(t)$ 是第 i 只灰狼在第 t 次迭代时的位置, k 是从 1 到 0 之间递减的变量, $N(0, 1)$ 为服从均值为 0、方差为 1 的高斯分布的随机向量。

4 RFID 网络规划

实质上, RFID 网络规划问题就是一个多目标的组合优化问题。其中, 阅读器的规划问题成了大规模应用必须考虑的首要问题: 充分有效地利用每一个阅读器的覆盖能力, 合理规划每个阅读器的位置, 适当调整阅读器的参数, 不仅能够有效获取所需要的信息, 还能够减少阅读器之间的干扰, 产生较高的经济效益, 并且提高系统的整体性能。IGWO 算法的流程如图 1 所示, 其应用于 RFID 网络规划的具体步骤如下。

1) 在部署区域内随机设置 RFID 阅读器终端及相应的天线, 在阅读器天线识别范围内多次记录所有可以读取到的电子标签信息, 获得原始数据并对数据进行预处理。

2) 初始化参数: 阅读器的数量 m 、标签的数量 n 、最大迭代次数 T_{\max} 、系数常量 A 和 D 、惯性常数 λ , 随机布置阅读器的位置(灰狼的初始解位置)。

3) 以 RFID 标签识别覆盖率为基础, 设计相应的目标函数, 并计算当前阶段每个 RFID 阅读器的适应度值, 由此选定其中表现最好的 3 个阅读器, 并利用其位置信息更新其他阅读器的位置。

4) 猎物表示在 RFID 范围内可能放置阅读器位置的解, 灰狼有机会从各个方向包围猎物, 即在 RFID 的有效范围内, 阅读器可能放置在每个潜在的位置, 并且每个阅读器的放置位置与方向无关, 可能从各个角度覆盖标签; 引入改进型灰狼算法, 利用惯性常数策略更新参数值, 通过系数的调节平衡算法的开发和探索能力。

5) 利用适应度最高的阅读器的位置作为 α 等级的灰狼, 迫使其他灰狼向标签密集的方向偏移, 以覆盖更多的标签数。将所有灰狼个体位置更新之后的信息作为 RFID 阅读器的位置信息, 利用目标函数计算每个位置 RFID 阅读器的适应度值, 将其中最优的 3 个作为新一次迭代过程中的 α, β, δ 目标灰狼, 更新其他灰狼的位置。迭代次数 $t = t + 1$ 。判断当前迭代次数是否大于最大迭代次数, 若未达到最大迭代次数, 继续进行位置更新, 直至达到最大迭代次数。此时提取出每个灰狼个体的位置信息, 并将其作为 RFID 网络优化部署的结果。

6) 在算法迭代一段时间后, 当一部分灰狼在局部极值点出现较严重的聚集情况时, 对其他等级的灰狼的状态进行高斯变异, 利用目标函数中对干扰的定义, 分开干扰强的阅读器, 以求得更好的负载均衡。

7) 直到达到最大迭代次数或者遍历所有阅读器潜在的放置位置时, 找到阅读器表现最好的解, 否则返回步骤 4)。

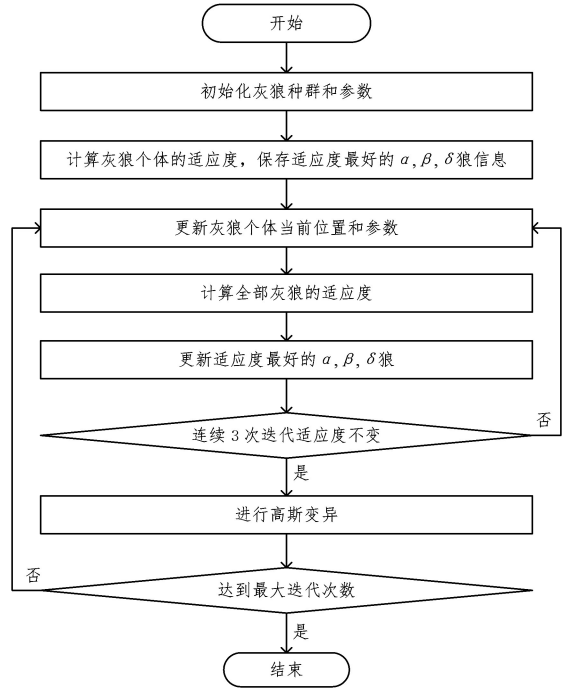


图 1 IGWO 算法流程图

Fig. 1 Flowchart of IGWO algorithm

5 实验与分析

5.1 实验参数设置

本文采用 Python3.2 对 RFID 网络进行仿真。工作区域是 $30\text{m} \times 30\text{m}$ 的正方形, 参数设置如表 1 所列。在改进型灰

狼算法中,灰狼种群 m 的个数为 10,迭代次数为 $T_{\max} = 200$,并将其他参数初始化设置为: $a = 2, A = 2, C = 1.8, \omega_1 = 0.5, \omega_2 = 0.2, \omega_3 = 0.2, \omega_4 = 0.1, \lambda_{\max} = 0.9, \lambda_{\min} = 0.4$ 。为了验证改进型灰狼算法在 RFID 网络规划应用中的有效性和可靠性,将其与遗传算法、粒子群算法和帝王蝶算法进行比较分析。在实验过程中,将 99 个随机分布的标签放置在工作区域,然后分别用算法进行调整,比较结果如图 2—图 5 所示。

表 1 IGWO 算法的参数设置

Table 1 Parameter settings of IGWO algorithm

Parameter Settings	Value
阅读器的传输功率 P_t	2 W
标签的接收功率 P_r	0.1 mW
阅读器的增益 G_r	1
标签的增益 G_t	1
阅读器的识别范围 r	3.69 m

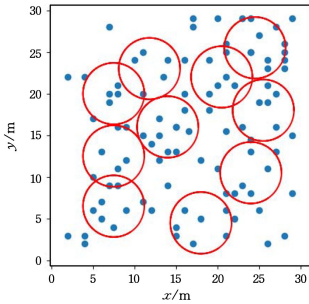


图 2 随机分布的 99 个标签在 GA 上的实验结果

Fig. 2 Experimental results of 99 random tags by GA

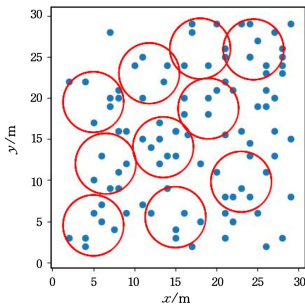


图 3 随机分布的 99 个标签在 PSO 上的实验结果

Fig. 3 Experimental results of 99 random tags by PSO

5.2 实验结果分析

在相同的条件下,分别对 GA^[4],PSO^[7]和 MMBO^[8]算法进行仿真实验,如图 2—图 5 所示。在图中,灰狼(阅读器)被标记为填充的圆,散落在区域里的点表示随机放置的标签。在有 10 个可用的阅读器的条件下,GA 算法覆盖了 99 个标签中的 76 个,PSO 算法覆盖了 99 个标签中的 72 个,而 MMBO 算法覆盖了 99 个标签中的 83 个(83.8%),部分阅读器产生了干扰,但是标签并没有被多个阅读器读取,说明该算法的负载平衡得到了充分的考虑。如图 5 所示,本文算法在实验中覆盖了 87 个(87.9%)标签,无任何的干扰,并且读取了更多的阅读器,说明本文算法在保证标签覆盖率的基础上避免了阅读器之间的干扰,并且还充分考虑了负载平衡,综合性能优于 3 种对比算法。

适应度函数值越大,说明算法的效果越好。实验结果表明,在 200 次迭代中,GA 遗传算法得到的最佳适应度函数值为 0.614,PSO 的最佳适应度函数值为 0.650,MMBO 的最佳

适应度函数值为 0.673,而 GWO 的最佳适应度函数值达到了 0.738。通过调整 10 个阅读器覆盖的更多标签并获得加权和目标的更好的适应度值,IGWO 的表现优于对比算法。表 2 分别从适应度值、覆盖率、负载均衡和干扰 4 个方面对各算法进行了比较。

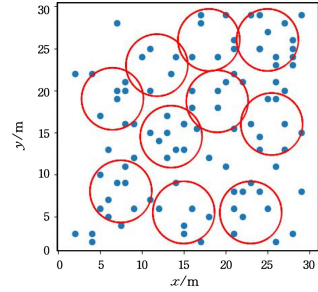


图 4 随机分布的 99 个标签在 MMBO 上的实验结果

Fig. 4 Experimental results of 99 random tags by MMBO

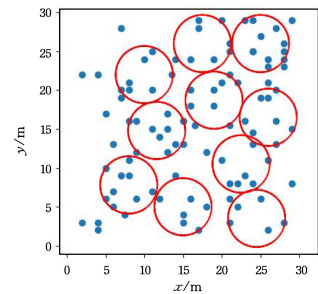


图 5 随机分布的 99 个标签在 IGWO 上的实验结果

Fig. 5 Experimental results of 99 random tags by IGWO

表 2 4 种算法在随机分布的 99 个标签下的结果比较

Algorithm	random tags			
	<i>fitness</i>	<i>coverage</i>	<i>balance</i>	<i>interference</i>
GA	0.614	0.768	3.749×10^{-9}	0.649
PSO	0.650	0.727	3.339×10^{-9}	0.827
MMBO	0.673	0.838	1.256×10^{-9}	0.768
IGWO	0.738	0.879	1.296×10^{-9}	1.0

在实验的第二阶段,利用文献[17-18]中 30 个标签和 50 个标签分布实验对本文算法 IGWO 的性能表现进行测试,结果如图 6 和图 7 所示;同时,实验还将 80 个标签随机分散在监测区域周围,以进一步测试本文算法的覆盖率,结果如图 8 所示。结果表明,在所有情况下,IGWO 均能成功放置阅读器;并且在随机分布的 30 个和 50 个标签的实验中,IGWO 实现了 100% 全覆盖;在随机放置 80 个标签的实验中,IGWO 覆盖了 76 个标签,覆盖率达到 95%。表 3 所列实验结果进一步证明了 IGWO 算法的有效性。

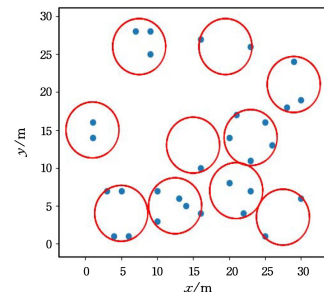


图 6 30 个随机标签的测试结果

Fig. 6 Test results of 30 random labels

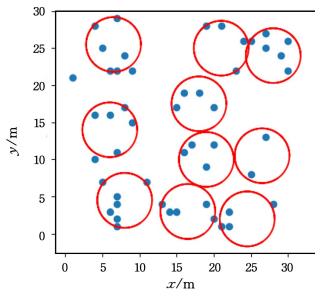


图7 50个随机标签的测试结果

Fig. 7 Test results of 50 random labels

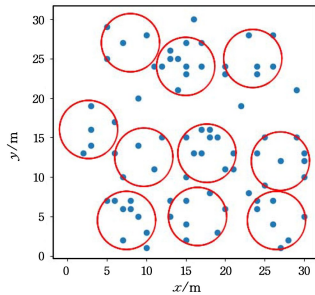


图8 80个随机标签的测试结果

Fig. 8 Test results of 80 random labels

表3 IGWO算法在不同标签数下的结果比较

Table 3 Result comparison of IGWO algorithm with different tag numbers

tags	fitness	coverage	balance	interference
30	0.8	0.8	4.630×10^{-5}	1.0
50	0.758	0.92	3.100×10^{-7}	0.96
80	0.75	0.9	5.062×10^{-9}	1.0
99	0.738	0.879	1.296×10^{-9}	1.0

结束语 本文针对 RFID 网络规划问题,提出了一种改进型的灰狼算法。对于目前 RFID 网络规划中存在的容易陷入局部最优、算法收敛速度慢、算法精度差等问题,引入了惯性常量策略和高斯算子变异,提高了种群的多样性。在相同实验环境中与其他 3 种算法的比较结果表明,IGWO 在处理 RFID 网络规划问题方面能得到更好的解,具有更大的潜力。

考虑到阅读器数量对 RFID 网络规划的影响,后续将着眼于动态改变阅读器的数量,使其能在动态的网络问题中得到具有动态意义的解,这对于大型 RFID 网络具有现实意义。

参考文献

- [1] MA L, HU K, ZHU Y, et al. Cooperative artificial bee colony algorithm for multi-objective RFID network planning[J]. Journal of Network and Computer Applications, 2014, 42(6): 143-162.
- [2] ZHAO C X, WU C Z, CHAI J, et al. Decomposition based multi-objective firefly algorithm for RFID network planning with uncertainty[J]. Applied Soft Computing, 2017, 55(3): 549-564.
- [3] JABALLAH A, MEDDEB A. A new variant of cuckoo search algorithm with self adaptive parameters to solve complex RFID network planning problem[J]. Wireless Networks, 2019, 25(4): 1585-1604.
- [4] GUAN Q, LIU Y, YANG Y, et al. Genetic Approach for Network Planning in the RFID Systems[C]// International Conference on Intelligent Systems Design & Applications. IEEE Computer Society, 2006: 897-903.

- [5] TANG X H, WU X M, LI S B. Research on RFID reader deployment algorithm based on grid and coverage model [J]. Computer Application Research, 2015, 32(10): 2967-2969.
- [6] WANG Y H, YANG J, ZHAN Y J. An RFID reader deployment algorithm based on Tabu Search [J]. Computer application research, 2011, 32(6): 2016-2019.
- [7] GONG Y J, SHEN M, ZHANG J, et al. Optimizing RFID Network Planning by Using a Particle Swarm Optimization Algorithm With Redundant Reader Elimination [J]. IEEE Transactions on Industrial Informatics, 2012, 8(4): 900-912.
- [8] KENNEDY J, EBERHART R. Particle swarm optimization [C] // Proc. IEEE Int. Conf. Neural Netw, 4th Perth. WA, Australia, 2002: 1942-1948.
- [9] LIU K, JI Z C. Optimized deployment of RFID network based on hybrid particle swarm optimization [J]. Computer application research, 2012, 29(4): 1326-1328.
- [10] MOHAMED G, YONG C H. Integrating mutation scheme into monarch butterfly algorithm for global numerical optimization [J]. Neural Computing and Applications, 2018, 32(4): 1-17.
- [11] DONG H B, LI D J, ZHANG X P. A particle swarm optimization algorithm for dynamically adjusting inertia weight [J]. Computer Science, 2018, 45(2): 98-102.
- [12] JIAN F, ZHANG Y Q. An integrated network intelligent node deployment algorithm for improved particle swarm optimization [J]. Computer Science, 2013, 40(3): 183-186.
- [13] STRUMBERGER I, TUBA E, BACANIN N, et al. Bare Bones Fireworks Algorithm for the RFID Network Planning Problem [C] // 2018 IEEE Congress on Evolutionary Computation (CEC). IEEE, 2018: 1-8.
- [14] ZAHARAN E G, ARAFHA A A, SALEH H L, et al. Biogeography Based Optimization Algorithm for Efficient RFID Reader Deployment [C] // 2018 13th International Conference on Computer Engineering and Systems (ICCES). 2018: 499-506.
- [15] MIRJILI S, MIRJALIS M. Grey Wolf Optimizer [J]. Advance Sinering Software, 2014, 69(3): 46-61.
- [16] ZHANG X F, WANG X Y. Review of grey wolf optimization algorithm [J]. Computer science, 2019, 46(3): 30-38.
- [17] TUBA M, BACANIN N, BEKO M. Multiobjective RFID Network Planning by Artificial Bee Colony Algorithm with Genetic Operators [C] // International Conference in Swarm Intelligence. Springer International Publishing, 2015: 779-788.
- [18] TUBA M, BACANIN N. Hybridized bat algorithm for multi-objective radio frequency identification (RFID) network planning [C] // 2015 IEEE Congress on Evolutionary Computation (CEC). IEEE, 2015: 499-506.



QUAN Yi-xuan, born in 1996, postgraduate. Her main research interests include RFID and so on.



ZHENG Jia-li, born in 1979, professor. His main research interests include internet of things, RFID and artificial intelligence.