

文章编号:1007-6735(2013)03-0205-04

平面选址问题的萤火虫算法

程 魁, 马 良

(上海理工大学 管理学院, 上海 200093)

摘要: 平面选址问题是工程设计、线路布置、项目选址等工作中经常碰到的典型组合优化难题, 根据群集智能优化原理, 给出一种基于人工萤火虫群优化算法的求解方法, 并针对平面选址问题进行求解. 为避免算法陷入局部极值, 将一种邻域搜索的局部搜索方法引入萤火虫算法中. 通过对典型平面选址问题的仿真实验和与其它算法的比较, 表明算法可行有效, 且具良好的全局优化能力.

关键词: 平面选址; 萤火虫群优化算法; 优化算法

中图分类号: O 211.1; N 94 **文献标志码:** A

Artificial Glowworm Swarm Optimization Algorithm for Location Problem

CHENG Kui, MA Liang

(Business School, University of Shanghai for Science and Technology, Shanghai 200093, China)

Abstract: The location problem is a typical combinatorial optimization problem in the work of engineering design, line routing, project location, etc. According to the principle of swarm intelligence, a new optimization algorithm based on the idea of glowworms-the glowworm swarm algorithm was presented to solve the location problem. To avoid getting stuck into local optima, a neighborhood search strategy was introduced into the artificial glowworm swarm optimization algorithm. Simulated tests of the location problem and comparisons with other algorithms show that the algorithm is feasible and effective and has strong global optimization ability.

Key words: location problem; artificial glowworm swarm optimization algorithm; optimization algorithm

平面选址问题是运筹学中一个经典的问题, 在现实中有广泛的应用, 如在一个系统中设置一个或多个工厂、车站、医院、仓库、商店、银行、急救站等或在一个电子线路系统里布置原件, 自然都应该考

虑在什么位置才能使得系统的运行效能最佳. 在许多工程设计管理中, 或者某一项系统的设计计划本身就是一个典型的选址问题, 或者以选址问题作为一个子问题. 这种一般意义下的选址问题可能是非常

收稿日期: 2012-12-24

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(70871081); 上海市研究生创新基金资助项目(JWCXSL1202)

第一作者: 程 魁(1989-), 男, 硕士研究生. 研究方向: 智能优化. E-mail: iamchengkui@126.com

通讯作者: 马 良(1964-), 男, 教授. 研究方向: 智能优化、系统工程. E-mail: maliang@usst.edu.cn

复杂的,涉及到自然的、社会的、时间的、空间的及各种复杂条件^[1]. 本文研究的是最常见的一种平面选址问题,即所谓的极小极大选址问题. 其一般提法为:给定平面上 n 个位置 $P_i(x_i, y_i)$ ($i = 1, 2, \dots, n$), 如今要确定选址点 $P(x, y)$, 使其离最远的位置, 尽可能近. 根据距离度量的不同, 又可分为欧氏距离问题和绝对值距离问题, 即目标函数形式为 $\min \max_i \{[(x - x_i)^2 + (y - y_i)^2]^{1/2}\}$ 和 $\min \max_i \{|x - x_i| + |y - y_i|\}$. 这类问题自 20 世纪 60 年代起就有了系列的研究和若干有益的结果, 但还没有通用的好方法. 后来, 由于实际问题的需要, 人们还研究了选址点 P 必须位于某个凸区域内(包括边界)的带区域约束限制的平面选址问题. 给出了一些比较直观的几何求解方法. 目前, 求解平面选址问题的算法有模拟退火算法^[2]、蚁群算法^[3-4]、蜂群算法^[5]及引力搜索算法^[6]等. 人工萤火虫群优化算法^[7] (artificial glowworm swarm optimization algorithm, GSO) 是 Krishnanand 等人于 2005 年提出的, 它起源于对萤火虫群觅食和寻偶行为的模拟. 该算法近年来在计算智能邻域已受到许多研究者的关注, 并逐渐成为计算智能邻域一个新的研究热点. 这种算法具有捕捉极值域速度快、捕捉效率高及较强的通用性等优点, 但是也存在着易于陷入局部最优和求解精度不高等问题. 笔者在采用 GSO 算法进行全局搜索的基础上, 引入一种有效的局部搜索方法, 利用启发式信息和 GSO 中的邻域信息来加快算法的收敛速度, 提高求解精度. 通过对平面选址问题的仿真计算实验, 表明算法可行有效, 有良好的全局优化能力.

1 算法思想

GSO 算法是一种新型群智能优化算法, 并在 2009 年成功地将其应用在函数数值优化问题上. 近年来, 国外诸多学者已将 GSO 算法应用在寻找危险信号源的位置、网络机器系统定位多个气味源、追逐多个移动信号源^[8-9]等诸多方面. 在基本的 GSO 算法中, 每只人工萤火虫分布在目标函数的定义空间内, 这些人工萤火虫各自携带自身的荧光素, 并且拥有各自的视野范围, 称为区域决策范围. 区域决策范围的大小会受邻居数量的影响, 当邻居密度较低, 萤火虫的决策半径会加大, 以利于寻找更多的邻居; 反之, 决策半径减小. 在萤火虫的运动当中, 每一只萤火虫以一定的概率向其邻域范围内的邻居萤火虫前进. 萤火虫 j 要成为萤火虫 i 的邻居萤火虫, 必须满足 j 在 i 的邻域范围之内, 并且

j 的荧光素要高于 i . 最终, 通过萤火虫群的不断运动, 越来越多的萤火虫会聚集在适应度值最高的萤火虫周围, 从而确定目标函数的最优值.

在 GSO 当中每一次迭代都由两个阶段组成, 第一阶段是荧光素更新阶段, 第二阶段是萤火虫的运动阶段.

在荧光素更新阶段中, 每一只萤火虫对荧光素的更新式为

$$l_i(t) = (1 - p)l_i(t - 1) + \gamma f(x_i(t)) \quad (1)$$

式中, $l_i(t)$ 为第 t 代第 i 个萤火虫的荧光素值; p 为荧光素值的消失率, $p \in (0, 1)$; γ 为荧光素更新率; $f(x_i(t))$ 为函数适应度值.

在萤火虫运动阶段中, 萤火虫 i 以一定的概率选择邻域范围内的萤火虫 j , 并朝其运动, 概率选择式为

$$p_{ij} = \frac{l_j(t) - l_i(t)}{\sum_{k \in N_i(t)} l_k(t) - l_i(t)} \quad (2)$$

萤火虫 i 在其邻域内按照交叉换位策略进行位置更新, 运动的最后进行决策域范围的更新式为

$$r_d^i(t + 1) = \min\{r_s, \max\{0, r_d^i(t) + \beta(n_t - |N_i(t)|)\}\} \quad (3)$$

式中, β 为控制邻居变化范围的比例常数; n_t 为控制邻域范围内邻居萤火虫个数的参数; $N_i(t)$, $|N_i(t)|$ 为萤火虫 i 邻域内的萤火虫和邻居萤火虫的个数. 为避免 GSO 算法早熟现象产生, 针对平面选址问题的特点, 引入一种邻域搜索方法进行局部搜索. 这样能充分发挥 GSO 算法捕捉极值域快的特性和邻域搜索方法局部精细搜索的特性, 提高优化性能.

在邻域搜索中, 当前解 (x, y) 邻域定义为

$$\begin{cases} x' = x + r \cos \theta \\ y' = y + r \sin \theta \end{cases} \quad (4)$$

其中, 搜索半径 $r > 0$ (取 0.1), θ 在 $[0, 2\pi]$ 之间随机生成. 由以上表述可知, 求解选址问题的人工萤火虫群优化算法的步骤可概括如下:

- 初始化所有萤火虫的位置, 邻域范围和相关参数值.
- 计算萤火虫的适应度值.
- 利用式(1), 更新萤火虫的荧光素值和邻域范围.
- 萤火虫在其邻域内按照交叉换位策略更新位置, 按式(3)更新动态决策域范围.
- 对当前解进行邻域搜索.

f. 满足最大迭代次数,则输出当前最好结果,否则,返回 b.

2 仿真实验

为验证算法的运行效果,用 MATLAB7.0 为算法编写了程序,并在 PC 系列机的 Windows 7 环境下运行.萤火虫算法的参数设置采用文献[10]推荐的取值,即荧光素的初值 $L_0=5$,动态决策域初值 $R_0=3$,动态决策域的更新率 $\beta=0.08$,邻域个数 $n_t=5$,荧光素更新率 $\gamma=0.6$,荧光素消失率 $\rho=0.4$.测试算例来源于文献[3]和文献[11],如表 1 所示.为公平起见,3 种算法均采用本文定义的邻域搜索方法.

2.1 无区域约束的平面选址问题

运行萤火虫算法求解,并与当前求解该问题效果最好的两种智能优化算法——人工蜂群算法(artificial bee colony algorithm,ABC)和引力搜索算

法(gravitational search algorithm,GSA)进行求解性能比较.具体的求解结果对比如表 2 所示,其中,人工蜂群算法和引力搜索算法的参数设置分别参考文献[5]和文献[6].3 种算法的群体规模均为 50,最大迭代次数 N 均为 1 000.

表 1 测试算例

Tab.1 Instances

算例	顶点个数	顶点坐标
1	3	(0,0),(10,0),(5,10)
2	4	(0,0),(10,0),(0,10),(7,1)
3	6	(0,0),(5,3),(7,5),(10,3),(3,10),(0,6)
4	12	(-5,11),(-10,-5),(8,-4),(5,5),(0,0),(1,5),(-10,-1),(-5,7),(-5,0),(-10,4),(3,6),(2,-9)
5	16	(-9,8),(-15,-8),(22,5),(17,20),(10,0),(3,4),(-5,-9),(-16,-4),(12,4),(-10,7),(1,14),(-7,6),(-14,3),(12,24),(-1,1),(0,13)

表 2 无约束情形求解结果

Tab.2 Solutions under unconstrained situation

算例	算法	绝对值距离		欧氏距离	
		最优值	P 点坐标	最优值	P 点坐标
1	ABC	7.500 24	(5.000 02,2.499 77)	6.250 16	(5.000 12,3.750 06)
	GSA	7.500 64	(5.000 00,2.500 06)	6.250 42	(5.000 18,3.74958)
	GSO	7.500 03	(4.999 99,2.500 03)	6.250 04	(5.000 05,3.75000)
2	ABC	10.000 01	(3.277 10,3.277 11)	7.071 22	(4.994 07,4.993 85)
	GSA	10.000 01	(0.074 87,0.074 86)	7.071 14	(4.996 44,4.996 34)
	GSO	10.000 01	(0.332 65,0.332 65)	7.071 07	(4.999 53,4.999 53)
3	ABC	7.000 02	(3.442 93,3.442 91)	5.930 47	(4.195 36,4.191 60)
	GSA	7.000 03	(3.160 83,3.160 86)	5.929 18	(4.192 74,4.192 39)
	GSO	7.000 00	(3.080 41,3.080 41)	5.928 85	(4.192 34,4.192 28)
4	ABC	14.000 03	(-1.594 47,0.405 56)	10.599 41	(-1.307 61,1.064 52)
	GSA	14.000 00	(-2.994 41,-0.994 41)	10.598 61	(-1.308 62,1.065 51)
	GSO	14.000 00	(-2.949 33,-0.949 33)	10.598 16	(-1.309 25,1.065 45)
5	ABC	30.000 01	(2.475 20,4.524 79)	21.261 47	(1.083 71,5.905 56)
	GSA	30.000 00	(-0.497 49,7.497 49)	21.260 32	(1.014 87,5.982 99)
	GSO	30.000 00	(4.917 00,2.083 00)	21.260 29	(1.003 18,5.996 36)

从表 2 可看出,在求解绝对值距离平面问题时,对算例 1 和算例 3 而言,GSO 算法的结果最好;对算例 2 而言,这 3 种算法的求解结果一样;对算例 4 和算例 5 而言,GSO 算法和 GSA 算法的结果一样,都优于 ABC 算法.在求解欧氏距离平面问题选址时,对所有 5 个算例,GSO 算法的求解结果都是最好的.总体而言,GSO 算法的优化性能要好于 ABC 算法和 GSA 算法.

为更好地说明 GSO 算法在求解连续优化问题上

的性能,选取算例 3 和算例 5,做出 3 种算法求解欧氏距离最优值的收敛性态如图 1 所示(见下页),无论是收敛速度还是求解精度,GSO 算法都体现了令人满意的性能.

2.2 有区域约束的平面选址问题

为验证算法在该问题上的有效性,将求解结果与蚁群算法(ant colony optimization,ACO)和人工蜂群算法(ABC)^[5]的求解结果作对比.具体对比结果见表 3(见下页).其中,算例 4 和算例 5 的区域约束分别为

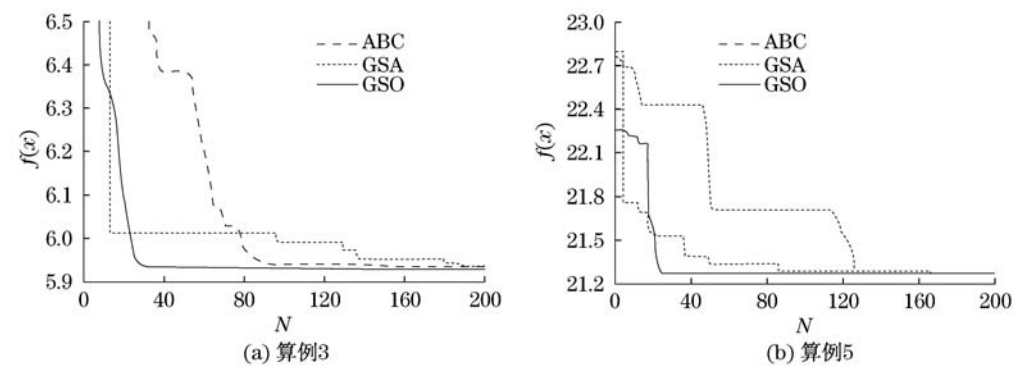


图1 收敛性对比

Fig.1 Convergence comparison

$$\begin{cases} 4(x-5y-30)\leq y^2 \\ 2x+3y\leq 60 \\ -x+5y\leq 100 \\ -9x+y\leq 240 \\ -x-4y\leq 150 \\ 19x-24y\leq 60 \end{cases}$$
$$\begin{cases} x-y\leq 30 \\ -2x-3y\leq 90 \\ x\leq -30 \\ -x+4y\leq 150 \\ 7x+5y\leq 270 \\ 11x-5y\leq 270 \end{cases}$$

的平面选址问题是下一步的研究工作.

参考文献:

[1] 张天赐.平面选址问题概述[J].运筹学杂志,1985,4(1):4-11.

[2] 马良.多目标平面选址问题的模拟退火算法[J].系统工程理论与实践,1997,17(3):70-73.

[3] 马良,朱刚,宁爱兵.蚁群优化算法[M].北京:科学出版社,2008.

[4] 邱模杰,马良.约束平面选址问题的蚂蚁算法[J].上海理工大学学报,2000,22(3):217-220.

[5] 樊小毛,马良.约束平面选址问题的蜂群优化算法[J].上海理工大学学报,2010,32(4):378-380.

[6] 刘勇,马良.平面选址问题的引力搜索算法求解[J].计算机工程与应用,2012,48(27):42-44,62.

[7] Krishnanand K N, Ghose D. Detection of multiple source locations using a glowworm metaphor with applications to collective robotics[C]//Proc of IEEE Swarm Intelligence Symposium. Piscataway: IEEE Press,2005:84-91.

[8] Krishnanand K N, Ghose D. A glowworm swarm optimization based multi-robot system for signal source localization [M]. Springer: Design and Control of Intelligent Robotic Systems,2009:53-74.

[9] Krishnanand K N,Ghose D. Theoretical foundations for rendezvous of glowworm-inspired agent swarms at multiple location [J]. Robotics and Autonomous System,2008,7(56):549-569.

[10] 黄正新,周永权.变步长自适应萤火虫群多模态函数优化算法[J].计算机工程与应用,2012,48(8):43-47.

[11] 蒋良奎.平面选址问题的一种混合算法[J].上海海运学院学报,1999,20(4):98-102.

(编辑:金虹)

表3 有约束情形求解结果

Tab.3 Solutions under constrained situation

算例算法	绝对值距离		欧氏距离	
	最优值	P点坐标	最优值	P点坐标
4	ACO	14.000 (-1.500,0.500)	10.601 (-1.300,1.070)	
	ABC	14.000 (-2.523,-0.523)	10.601 (-1.295,1.058)	
	GSO	14.000 (-1.755,0.245)	10.598 (-1.310,1.065)	
5	ACO	57.000 (-30.000,10.000)	52.000 (-30.000,5.000)	
	ABC	57.006 (-30.016,10.011)	52.001 (-30.004,5.108)	
	GSO	57.000 (-30.000,10.000)	52.000 (-30.000,5.014)	

由表3可知,对于算例4而言,在求解绝对值距离平面问题时,3种算法求解结果一样;在求解欧氏距离平面问题时,GSO算法优于其它两种算法.对于算例5来说,两种形式下,GSO和ACO算法求解效果相同,均优于ABC算法.因这类算法出现时间不长,理论基础尚未完善,渐进收敛性、鲁棒性等性质的严格数学证明尚有待于以后更深入的工作.

3 结束语

一系列数值试算结果表明,无论是求解无区域约束的平面选址问题还是求解有区域约束的平面选址问题,萤火虫算法都具有较为理想的收敛特性和寻优能力,在实际操作上是行之有效的.萤火虫算法作为一种新型智能优化算法,应用领域还在不断丰富,理论研究也有待探索.此外,将算法用于多目标