

# 人工萤火虫的混合算法实现医药配送中的最佳规划

金玉琴<sup>1</sup> 周金海<sup>1</sup> 张兴德<sup>2</sup> 司峻峰<sup>3</sup>

(南京中医药大学信息技术学院 南京 210023)<sup>1</sup> (南京中医药大学药学院 南京 210023)<sup>2</sup>

(南京大学电子科学与工程学院 南京 210093)<sup>3</sup>

**摘要** 医药配送规划已成为一项急需解决的重要研究问题。首先分析医药配送问题的特征,针对该问题提出带约束条件的数学模型,确定达到医药配送路径最佳方案的适应值函数,然后提出基于人工萤火虫的混合算法对模型进行寻优。仿真实验显示,该算法可以有效地找到医药配送问题的最佳方案,不仅节约了成本,而且提高了药物配送的运作效率,为解决医药配送问题提供了有价值的参考。

**关键词** 医药配送,路径规划,萤火虫算法,混合算法

**中图分类号** TP18 **文献标识码** A

## Hybrid Algorithm Based on Artificial Glowworm Swarm to Achieve Best Solution to Pharmaceutical Distribution Problem

JIN Yu-qin<sup>1</sup> ZHOU Jin-hai<sup>1</sup> ZHANG Xing-de<sup>2</sup> SI Jun-feng<sup>3</sup>

(Institute of Information Technology, Nanjing University of Chinese Medicine, Nanjing 210023, China)<sup>1</sup>

(School of Pharmaceutical Sciences, Nanjing University of Chinese Medicine, Nanjing 210023, China)<sup>2</sup>

(College of Electronic Science and Engineering, Nanjing University, Nanjing 210093, China)<sup>3</sup>

**Abstract** Pharmaceutical distribution planning has become an important research question needed to resolve. Firstly, the characteristics of the pharmaceutical distribution problems were analyzed in this paper. The mathematical model with constraints was put forward and the fitness function to achieve the best solution of the pharmaceutical distribution routing was determined. And then a hybrid algorithm based on artificial glowworm swarm optimization algorithm was proposed to the model optimization. Simulation results show that the proposed algorithm achieves the best solution to pharmaceutical distribution problems effectively. It not only can save costs, but also improve the operational efficiency and provide a valuable reference to solve this kind of problem.

**Keywords** Pharmaceutical distribution, Routing optimization, Artificial glowworm swarm algorithm, Hybrid algorithm

## 1 引言

近年来,医药配送物流在物流行业快速发展,已经成为一项热门和急需解决的重要研究问题<sup>[1,2]</sup>。把医药上各种器械或者药品从医药配送中心发放,配送到各级医务中心,甚至到患者手中的整个过程就是医药物流。其中,医药配送物流产生的成本在医药成本中占相当大的部分。而降低运输成本是一个能够减少患者药物开销成本的有效方法,如果在药物配送之前驾驶员没有进行路径优化,仅凭经验判断,将大大增加医药运输成本,由此就会增加患者的治病开销费用。因此,为了降低成本,减少患者的经济负担,医药配送中心很必要在配送前规划好医药配送路径,组织有效合理的车辆配送路径,这样即可在满足消费者需求量、车辆容量、发货量等这些条件约束下,达到最小费用、最短路程的目的。目前很多学者正采用

不同的方法在不同的应用领域对此类路径规划问题进行建模和研究,试图找到最优的方案,并取得较好的成果<sup>[3-8]</sup>。然而,药物配送问题尽管本质上也是属于此类旅行商的规划问题<sup>[9]</sup>,但研究结果却不够成熟。

求解路径规划问题的启发式算法很多,如遗传算法、神经网络、蚁群算法、粒子群算法等,但是这些算法有的计算时间较长,有的精确度不高,有的需要很大的计算机存储容量,或者求解问题的规模小<sup>[10,11]</sup>。为了使得各因素之间平衡,Krishnanand等在2005年提出了一种新的群智能优化算法,即萤火虫群优化算法。不同于以往的优化算法,萤火虫算法是利用荧光素为媒介进行信息之间的互传,根据荧光素的值选择较优的解。目前,萤火虫算法已经引起众多学者的研究和关注,被应用于优化多模态函数、带约束的仪器布局问题、处理噪音、信号的定位等<sup>[12-15]</sup>,而且呈现出很好的结果。

到稿日期:2013-03-15 返修日期:2013-06-11 本文受江苏省科技支撑计划项目-工业部分(BE2011012),江苏省科技支撑计划项目-工业部分(BE2012184),国家自然科学基金青年基金项目(81001640)资助。

金玉琴(1977-),女,硕士,讲师,CCF会员,主要研究方向为人工智能与专家系统、医药信息工程,E-mail:JINYUQIN12@163.com;周金海(1958-),男,教授,CCF会员,主要研究方向为医药信息工程、人工智能及专家系统;张兴德(1976-),男,博士,副教授,主要研究方向为中药药剂学、医药信息工程;司峻峰(1976-),男,博士,副教授,主要研究方向为医学信息检测与处理。

本文针对医药配送问题的特征,构建了关于该问题带约束条件的数学模型,然后把元启发式算法和启发式算法相结合形成基于萤火虫的混合优化算法,利用该算法对规划模型进行优化,寻找最佳配送方案。试例实验结果表明,通过本文提出的混合算法优化后得到的新医药配送规划,从很大程度上减少了配送运输路程,提高了工作效率,达到了降低医药配送成本的目的,为医药配送规划问题提供了参考,具有很好的应用价值。

## 2 医药配送问题的数学描述

假定药物配送中心有  $N$  辆汽车配送医药,每辆汽车的承载重量有限;并假设有  $K$  个需求点,其分别的位置和需求点都已知。当把医药送到一个送货点后,如果车辆上的医药还需要送到下一个等待送货点,则车辆继续出发送货,否则,车辆将返回配送中心重新载入其他药物,这样就完成了一次药物配送。当每一辆车都完成一次药物配送,则对每条路径上的信息重新计算,然后每一辆车继续进行送货,直到所有的用户都配送完毕为止,进行下一次的算法迭代。根据实际情况,医药配送问题规划必须满足以下约束条件:

1) 配送车辆的类型相同,最大的承载重量已知,在每条送货路径上,所有客户的需求量之和不大于配送车辆的最大承载重量。即满足约束条件:

$$\sum_{i=1}^K q_i \alpha_{in} \leq L_n, n=1, 2, \dots, N \quad (1)$$

其中,  $q_i$  为第  $i$  个客户的需求量,  $L_n$  为车辆  $n$  的最大承载量,并且

$$\alpha_{in} = \begin{cases} 1, & \text{点 } i \text{ 的任务由车 } n \text{ 完成} \\ 0, & \text{否则} \end{cases}$$

2) 为了保证每个客户点有且仅有一辆车来配送,需要满足约束条件:

$$\sum_{n=1}^N \alpha_{in} = 1, i=1, 2, \dots, K \quad (2)$$

3) 每辆车只能到达或者离开客户一次,需要满足约束条件:

$$\sum_{i=1}^K \beta_{jn} = \alpha_{jn}, j=1, 2, \dots, K; n=1, 2, \dots, N \quad (3)$$

$$\sum_{j=1}^K \beta_{jn} = \alpha_{in}, i=1, 2, \dots, K; n=1, 2, \dots, N \quad (4)$$

其中,

$$\beta_{jn} = \begin{cases} 1, & \text{车辆 } n \text{ 从点 } i \text{ 驶向点 } j \\ 0, & \text{否则} \end{cases}$$

本文建立数学模型的目标是在上述约束条件下,能够使车辆运输成本达到最小。因此建立如下带约束条件的关于医药配送成本最小化的优化模型:

$$\min G = \sum_{i=0}^K \sum_{j=0}^K \sum_{n=1}^N c_{ij} \beta_{jn} \quad (5)$$

使得满足约束条件(1),(2),(3),(4)。

## 3 萤火虫混合算法实现模型的最佳规划

### 3.1 萤火虫算法

萤火虫群优化算法是由印度的研究者 Krishnanand 等提出的一种新的群体智能优化算法<sup>[12]</sup>。自然界萤火虫通过发光吸引同伴进行求偶和寻找食物,在萤火虫算法的优化过程中,解的位置对应萤火虫个体的位置,解的适应度值对应荧光素值,于是萤火虫位置的改变就相当于从适应度低的位置向

适应度高的位置移动。当萤火虫移动完成后,再根据新位置的适应度更新自己的荧光素值,最终萤火虫聚集在适应度高的位置,从而取得函数的极值。萤火虫算法已成功应用于一些实际应用中<sup>[12-15]</sup>。其具体描述为:

设  $x_k(t)$  表示时刻  $t$  第  $k$  只萤火虫的位置,适应度评价函数为  $f(x)$ ,  $h_k(t)$  为时刻  $t$  第  $k$  只萤火虫的荧光素浓度。萤火虫  $k$  按照下式更新荧光素:

$$h_k(t) = (1 - \mu)h_k(t-1) + \lambda f(x_k(t)) \quad (6)$$

式中,  $\mu$  为荧光素挥发系数,  $\lambda$  为荧光素增强因子。

设  $u_i$  为萤火虫感知范围,  $u_k^d(t)$  为时刻  $t$  第  $k$  只萤火虫的动态决策范围,运动中通过式(7)进行调整:

$$u_k^d(t+1) = \min\{u_i, \max\{0, u_k^d(t) + \beta(n_i - |N_k(t)|)\}\} \quad (7)$$

式中,  $\beta$  为邻域变化率,  $n_i$  为邻居阈值,  $N_k(t)$  为时刻  $t$  第  $k$  个萤火虫的邻居构成的集合。

$$N_k(t) = \{j: \|x_j(t) - x_k(t)\| < u_k^d(t); h_k(t) < h_j(t)\} \quad (8)$$

在萤火虫运动时,每个萤火虫会依据各自的邻居集合中所有萤火虫荧光素的高低值来选择自己的移动方向,时刻  $t$  第  $k$  只萤火虫向对应的邻居集合中萤火虫  $j$  移动的概率为:

$$P_{kj}(t) = \frac{h_j(t) - h_k(t)}{\sum_{i \in N_k(t)} h_i(t) - h_k(t)} \quad (9)$$

接着,萤火虫根据轮盘法选择萤火虫的移动方向。根据式(10)更新位置:

$$y_k(t+1) = y_k(t) + l \left( \frac{y_j(t) - y_k(t)}{\|y_j(t) - y_k(t)\|} \right) \quad (10)$$

式中,移动步长为  $l$ 。

### 3.2 混合萤火虫算法在车辆配送优化问题上的实现

在人工萤火虫算法中,萤火虫个体在其动态域内会依据概率值的大小选择移向荧光素值比自己大的萤火虫个体,而在求解医药配送问题中,每只萤火虫是在当前需求点根据荧光素值强度选择下一个移入的需求点,然后根据移动后所得到的适应度更新各自路径上的荧光素值,最终大多数萤火虫都会聚集在荧光素值最大的路径上,这样就寻找到最优路径。

根据式(9),萤火虫飞行方向的概率仅仅取决于邻居集合中荧光素值的高低,然而在求解医药配送路径问题中,车辆移动的目标和需求点之间的距离是紧密相关的,因而,在本文混合算法将对计算萤火虫飞行方向的概率公式设定为:

$$p(b_k, j) = \frac{h(b_k, j)}{\sum_{i, j \in A\{t, k\}} dis(b_k, i) + dis(b_k, j)}, j \in A\{t, k\} \quad (11)$$

式中,  $b_k$  为萤火虫  $k$  当前所在的需求点编号,  $p(b_k, j)$  表示萤火虫  $k$  从当前需求点  $b_k$  飞向需求点  $j$  的概率,  $h(b_k, j)$  为需求点  $b_k$  和  $j$  边上的荧光素值,  $dis(b_k, j)$  为需求点  $b_k$  和  $j$  之间的距离,  $A\{t, k\}$  为  $t$  循环中萤火虫  $k$  当前决策的需求点集合。

另外,根据式(10),每只萤火虫按照步长  $l$  向决策域内荧光素值比自己高的萤火虫飞行,而在求解医药配送问题中,萤火虫在每个需求点之间飞行时,每一次位置更新就会转移到下一个需求点,实际上所有需求点之间的距离并不相同。因而,本文在该混合算法中将不会设置步长,而是把启发式算法和元启发式算法相结合,人工按照该次移动对应的两个需求点之间的距离设置每一次萤火虫的移动步长,即步长是动态的。

为了增加找到最优路径的概率,扩大搜索区域,本文用轮盘赌选择移动需求点,这样每一次决策是随机的。经验测试

表明,由局部启发式算法和自适应性的随机搜索方案的算法相结合形成的混合算法,可以同时考虑到增加算法收敛的速度并找到全局最优解<sup>[16]</sup>。另外,为了能利用优化后的新路径代替一部分较劣的路径,在算法中把没有被选择的路径和迭代后所得的部分较劣的路径所代表的边以相同的方式进行挥发更新,就可以在下面的迭代中降低选到较劣路径的概率,这样也有利于保留下较优的路径,增加算法的速度并得到较短路径。

### 3.3 算法实施步骤

根据以上对萤火虫群优化算法的改进,求解车辆配送问题的混合萤火虫群优化算法的具体实施步骤如下:

1) 设置萤火虫个数为  $num$ , 最大迭代次数为  $T$ , 初始化每个萤火虫的荧光素  $h(0)$ , 把  $K$  个需求点位初始化, 求任意两个需求点之间的距离  $dis(i, j)$  和需求点相连的邻居需求点的集合  $A\{0, k\}, k=1, 2, \dots, K$ 。

2) 萤火虫  $j$  寻找最优路径,  $j=1, 2, \dots, num$ 。根据式(11)计算每个萤火虫移向相应的领域集合  $A\{t, j\}$  内的概率, 再用轮盘赌方案选择下一个移动目标。

3) 进行医药配送路径的评价, 选出  $num$  只萤火虫里得到的运输成本最小的路径并保存。

4) 对每只萤火虫的移动路径通过式(6)对荧光素进行更新, 而其余的路径则进行挥发计算, 其中  $f(x_k(t)) = 1/G(x_k(t))$ 。

5) 判断  $t \leq T$ , 即是否达到最大迭代次数的终止条件。若达到, 则输出  $T$  次迭代之后的最佳路径结果, 否则继续步骤 2) 迭代直至结束。

## 4 数值实验和仿真分析

某药品物流公司是从事面向全国医药配送、医药分业的医药物流公司, 该公司配送的药品含有中药材、中成药、抗生素制剂、医疗器械、保健品等, 其配送品种非常广泛。该公司计划要求, 必须保证每周到各个需求点配送一次, 本文随机选取以往某一天的药品配送运输情况为研究对象, 该次配送中拥有 4 辆配送车辆, 车辆的最大载重量均为 1.5 吨, 向 28 个需求点配送医药。依据资料记录, 各个需求点之间的需求量如表 1 所列, 该次医药配送的原车辆运输计划如表 2 所列。表 2 中, 编号“h”表示医药配送公司, 编号 1 到 28 分别表示 28 个需求点。

表 1 22 个需求点的需求量

需求点	需求量(千克)	需求点	需求量(千克)
1	361	12	129
2	239	13	118
3	210	14	127
4	109	15	161
5	98	16	382
6	100	17	78
7	193	18	138
8	131	19	125
9	82	20	122
10	130	21	430
11	118	22	121
12	358	26	123
13	221	27	107
14	192	28	116

表 2 配送公司原配送方案

车辆	运输方案	承载重量 (千克)	运输距离 (千米)
1	h→27→2→8→20→10→19→16→h	1481	206.1
2	h→17→4→9→26→5→1→22→h	968	211.3
3	h→6→28→15→14→25→13→18→h	1097	195.6
4	h→21→12→3→24→11→23→7→h	1253	208.9

从表 2 可见, 该次配送方案中共用 4 辆货车, 把 28 个需求点的任务平均分配给了这 4 辆货车, 每辆运输车分别要运送医药给 7 个需求点。也即该次运输方案是凭借经验判断的传统方法进行配送, 但是, 采用平均分配运输的方案的结果常常不是最优的。一般情况下, 该医药配送公司的运输路线主要由驾驶员的经验规划具体路径安排, 如果需求点不多, 该方法是可行的, 但是, 当需求点数目增多时, 这种传统方法由于缺乏事前统一规划, 常常会在很大程度上增加配送运输成本, 从而增加消费者的开销费用。因而, 为了能够缩短运输路径距离, 提高运输工作效率, 达到降低成本的目的, 本文考虑通过基于人工萤火虫的混合算法对规划(5)进行仿真寻优, 寻找一种更佳的配送方法。本次实验的运行操作系统为 Microsoft Windows XP, 使用 Matlab2010 和 VC++6.0 编程软件来实现。迭代次数  $T=100$ , 参数设置分别为: 荧光素挥发系数  $\mu=0.38$ , 荧光素增强因子  $\lambda=0.55$ , 步长  $l=0.03$ , 初始值  $h_0=5$ , 邻域变化率  $\beta=0.075$ , 邻居阈值  $n_r=5$ 。通过本文提出的算法进行仿真实验, 得出该医药物流公司优化后的配送方法如表 3 所列。

表 3 本文算法优化后的医药配送方案

车辆	运输方案	承载重量 (千克)	运输距离 (千米)
1	h→28→2→3→12→10→15→h	1279	185.2
2	h→21→6→13→26→5→11→25→h	855	191.6
3	h→8→27→9→14→16→18→22→h	1293	175.3
4	h→17→19→4→24→1→23→7→20→h	1302	187.7

在实验计算中采用以上设定参数, 对第 2 节提出的医药配送问题的数学模型(5)进行寻优求解, 通过 97 秒, 迭代 100 次, 得到最优的路径线路, 如图 1 所示。本次所得到的最优配送路径的长度约为 652km, 在很大程度上低于原规划中的路径长度。

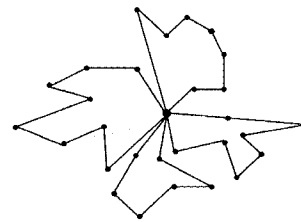


图 1 最优解的运行路径

结合表 3 和图 1, 在本文算法仿真优化后的配新规划中, 28 个需求点并不是平均分配给 4 辆医药运输车, 车辆 1, 2, 3, 4 分别被分配 6, 7, 7, 8 个需求点。结果, 每辆医药配送车的行驶路程比原规划有了明显下降, 总里程数约为 652km, 较原来的医药配送计划约缩短了 86km。图 2 是本文算法进行医药配送线路寻优运行的结果, 从表 2 看出, 在本文算法优化过程中, 总医药配送成本随着迭代次数增加也在减少。因此, 通过本文提出的混合算法而得到的新规划不仅减少了行驶路

(下转第 301 页)

的人脸识别算法。通过对 PCNN 神经元振荡特性的分析,将 PCNN 网络神经元的振荡时间序列(OTS)分解为捕获性振荡时间序列(C-OTS)和自激性振荡时间序列(S-OTS)。然后在 X-OTS 鉴别特性分析的基础上,利用 C-OTS+S-OTS 和余弦距离测度给出了人脸识别的系统结构。实验结果表明,本文提出的人脸识别算法比单独使用 OTS、C-OTS 或 S-OTS 有着更高的识别率,也比传统的基于子空间分析的人脸识别方法 PCA、LDA、ICA 和 NMF 以及基于人脸局部 LBP 特征和 Gabor 特征的方法体现了更好的识别性能。

本文讨论了 S-PCNN 利用图像的 C-OTS+S-OTS 特征进行人脸识别,实验验证了它的有效性。由于 S-PCNN 进行 X-OTS 的特征提取并不是只针对人脸图像设计的,可以预见它在纹理图像等其它图像种类分类方面也是可行的,而具体的有效性则是今后一个重要的研究内容。

### 参考文献

[1] Lu Guan-chun, Lin Chun-yi. PCA based immune networks for human face recognition[J]. Applied Soft Computing, 2011, 11(2):1743-1752

[2] Lu Gui-fu, Zou Jian, Wang Yong. Incremental complete LDA for face recognition [J]. Pattern Recognition, 2012, 45(7): 2501-2521

[3] 郭恺,付永生,冷严,等.应用小指数多项式的 KPCA+零空间人脸识别[J].计算机工程,2006,32(22):203-205

[3] 王卫东,韩斌,杨静宇.基于 PCA 及 ICA 的双空间特征提取算法[J].中国图象图形学报,2008,13(11):2163-2169

[4] 刘嵩.结合 DCT 与 KPCA 的人脸识别[J].计算机工程与应用,2012,48(27):186-188,205

[5] 黄诚,王福龙,刘晓亮.指数衰减下的 KFDA 方法及其人脸识别[J].广东工业大学学报,2009,26(4):62-64,87

[6] Javad H, Karlm F, Majid A. A fuzzy hybrid learning algorithm for radial basis function neural network with application in human face recognition [J]. Pattern Recognition, 2003, 36(5): 1187-1202

[4] Johnson J L, Ritter D. Observation of periodic wanes in a Pulse-coupled neural network[J]. Opt Lett, 1993, 18(15):1253-1255

[7] Johnson J L, Ritter D. Observation of periodic wanes in a Pulse-coupled neural network [J]. Opt Lett, 1993, 18(15):1253-1255

[8] 陈粟宋.一种融合 PCNN 和 Watershed 变换的图像分割方法[J].武汉大学学报,2011,44(2):269-272

[9] 严春满,郭宝龙,易盟.基于改进 LP 变换及自适应 PCNN 的多聚焦图像融合方法[J].控制与决策,2012,27(5):703-707,712

[10] Johnson J L. Pulse-coupled neural nets: translation, rotation, scale, distortion, and intensity signal invariance for images[J]. Applied Optics, 1994, 33(26):6239-6253

[11] 朱红伟,周冬明,聂仁灿,等.利用 PCNN 实现商标图像检索新方法[J].云南大学学报,2012(3):276-284

[12] 许敏丰,韩力群.基于脉冲耦合神经网络的手掌纹理识别[J].现代科学仪器,2010(6):71-74

[13] 王玮,黄非非,李见为,等.使用多尺度 LBP 特征与识别人脸[J].光学精密工程,2009,16(4):696-705

[14] 程万里,李伟生.基于 Gabor-2DLDA 方法的人脸识别研究[J].计算机工程与应用,2008,44(35):179-181

(上接第 269 页)

程,提高了工作效率,而且也产生了较小的医药配送总成本,使新的配送规划更加有效合理。

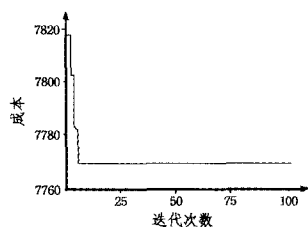


图 2 本文算法进行医药配送线路寻优运行结果

**结束语** 本文结合医药配送物流的特点,提出一种基于人工萤火虫的混合算法,把萤火虫算法拓展到一个新的应用领域,有效合理地解决了医药配送问题中的最优规划问题。文中对医药配送的车辆路径问题建立了数学模型,然后运用本文提出的混合算法对某医药配送公司的配送方案进行了仿真寻优。数值仿真结果显示,优化过的新规划得到明显的效果,不仅有效地缩短配送运输路程,而且节约成本,提高了药物配送的运作效率。本文结果表明,用此方法解决医药配送问题有一定的实际意义,为今后的医药配送问题提供了有价值的参考。

### 参考文献

[1] 翟运开.第三方医药物流企业的创新动力与路径研究[J].当代经济管理,2009,31(10):28-32

[2] 马江涛.基于遗传算法的医药配送路径规划[J].电脑知识与技术,2010,6(11):2717-2720

[3] 唐坤.车辆路径问题中的遗传算法设计[J].东北大学学报自然科学版:自然科学版,2002,28(1):66-70

[4] 周菁,戴冠中,蔡晓妍.基于蚁群系统的机器人全局最优路径规

划的研究与仿真[J].计算机学报,2010,37(5):171-174

[5] 马建华,房勇,袁杰.多车场多车型最快完成车辆路径问题的变异蚁群算法[J].系统工程理论与实践,2011,31(8):1508-1516

[6] 刘传领,雷燕,杨静宇.基于量子遗传算法的移动机器人的一种路径规划方法[J].计算机学报,2011,38(8):208-211

[7] 王征,胡祥培,王旭坪.带二维装箱约束的物流配送车辆路径问题[J].系统工程理论与实践,2011,31(12):2328-2341

[8] 陈森,李孟军,李本先,等.变路网情况下车辆路径问题建模及应用[J].计算机学报,2012,39(2):14-17

[9] 田贵超,黎明.旅行商问题(TSP)的几种求解方法[J].计算机仿真,2006,23(8):153-157

[10] 王俊伟,汪定伟.粒子群算法中惯性权重的实验与分析[J].系统工程学报,2005,20(2):194-198

[11] 余有明,刘玉树.遗传算法的编码理论与应用[J].计算机工程与应用,2006,42(3):86-89

[12] Krishnand K N, Ghose D. Detection of Multiple Source Locations Using a Glowworm Metaphor with Applications to Collective Robotics[C]//Proceeding of IEEE swarm intelligence symposium. Piscataway, IEEE Press, 2005: 84-91

[13] Krishnand K N, Ghose D. Glowworm Swarm Based Optimization Algorithm for Multimodal Functions with Collective Robotics Applications[J]. Multiagent and Grid System, 2006, 2(3): 209-222

[14] Krishnand K N, Ghose D. Glowworm Swarm Optimization: A New Method for Optimizing Multi-Modal Functions[J]. Int. J. Computational Intelligence Studies, 2009, 1(1): 93-119

[15] Krishnand K N, Ghose D. Glowworm Swarm Optimization for Simultaneous Capture of Multiple Local Optima of Multimodal Functions[J]. Swarm Intelligence, 2009, 3: 87-124

[16] 杨辉,康立山,陈毓屏.一种基于构建基因库求解 TSP 问题的遗传算法[J].计算机学报,2003,26(12):1753-1758

[17] 胡庆,邹然,刘鹏. MPTCP 动态预留数据调度策略研究[J].重庆邮电大学学报:自然科学版,2013,25(6):820-823