

用改进的人工鱼群算法求解 TSP 问题

李跃松, 樊金生, 张巧迪

(石家庄铁道大学 信息科学与技术学院, 河北 石家庄 050043)

摘要:针对人工鱼群算法在寻优过程中存在的不足, 结合嗅觉在自然界鱼类捕食过程中的重要作用, 在基本人工鱼群算法的基础上, 提出了具有嗅觉特征的人工鱼群算法。最后, 利用改进的人工鱼群算法成功解决了旅行商问题, 并且通过比较基本人工鱼群算法与改进人工鱼群算法的实验结果, 得出结论, 改进后的人工鱼群算法在算法搜索时间、全局最优值精确度方面都有了显著的提高。

关键词:组合优化问题; 人工鱼群算法; 嗅觉; 旅行商问题

中图分类号:TP393 **文献标识码:**A **文章编号:**2095-0373(2011)02-0103-08

组合优化问题^[1]涉及经济管理、交通运输、通信网络等领域, 主要是寻找离散事件的最优编排、分组、次序或者筛选等, 是运筹学中的一个经典而重要的分支。典型的组合优化问题有旅行商问题(Traveling Salesman Problem, TSP)、加工调度问题(scheduling problem)、0-1 背包问题(knapsack problem)、装箱问题(bin packing problem)、图着色问题(graph coloring problem)、聚类问题(clustering problem)等。

1 旅行商问题

在组合优化问题中, 最具代表性的是旅行商问题(Traveling Salesman Problem, TSP)。TSP 是运筹学中一个非常著名的命题, 其命题描述^[2]为: 城市个数 n 个, 每两个城市之间的距离 d_{ij} 已知。某旅行商从某个城市出发, 经过若干个城市有且仅有一次, 最后返回起始城市。试图寻找一条闭合路径, 要求该路径长度最短。

2 人工鱼群算法

著名学者李晓磊在 2003 年提出了一种新型的智能优化算法——人工鱼群算法(Artificial Fish Swarm Algorithm, AFSA)^[3]。人工鱼群算法的提出为组合优化问题的解决提供了一条全新的解决思路。

2.1 人工鱼群算法描述

AFSA 是一种基于模拟自然界中鱼群行为的并行搜索算法。AFSA 的基本思想是模拟自然界鱼群的觅食行为、聚群行为和追尾行为, 从构造单条人工鱼的底层行为做起, 通过鱼群中各个个体的人工鱼个体的局部寻优, 达到全局最优值在群体中突现出来的目的。

2.2 一些定义

人工鱼个体的状态可表示为向量 $X = (x_1, x_2, \dots, x_n)$, 其中, $x_i (i = 1, \dots, n)$ 为欲寻优的变量, 人工鱼当前所在位置的食物浓度表示为 $Y = f(X)$, 其中, Y 为目标函数值; 人工鱼个体之间的距离表示为 $d_{ij} = \|X_i - X_j\|$; Visual 表示人工鱼视野的感知距离; Step 表示人工鱼移动的最大步长; δ 为拥挤度因子。

2.3 行为描述

2.3.1 觅食行为

设人工鱼的当前状态为 X_i , 在其感知范围内随机选择一个状态 X_j , 在求极大值问题中, 当 $Y_i < Y_j$ (因

为极大值和极小值问题可以相互转换,因此,以下均为求极大问题讨论)时,则向该方向前进一步;反之,再重新随机选择状态 X_j ,判断是否满足前进条件;这样反复尝试 try_number 次后,如果仍不满足前进条件,则随机移动一步。

2.3.2 聚群行为

设人工鱼的当前状态为 X_i ,探索当前邻域内(即 $d_{i,j} < \text{Visual}$)的伙伴数目 n_f 及中心位置 X_c ,如果 $Y_c/n_f > \delta Y_i$,表明伙伴中心有较多的食物并且不太拥挤,则朝伙伴的中心位置方向前进一步;否则,执行觅食行为。

2.3.3 追尾行为

设人工鱼的当前状态为 X_i ,探索当前邻域内($d_{i,j} < \text{Visual}$)的伙伴 X_j ,如果 $Y_j/n_f > \delta Y_i$,表明伙伴 X_j 的状态具有较高的食物浓度并且其周围不太拥挤,则朝伙伴 X_j 的方向前进一步;否则,执行觅食行为。

2.3.4 随机行为

随机行为即在人工鱼视野中随机选择一个状态,然后向该方向移动。随机行为是觅食行为的一个缺省行为。

2.3.5 公告板

公告板主要用于记录寻优过程中最优人工鱼个体的状态。

2.3.6 人工鱼群算法的特点

人工鱼群算法采用了自下而上的设计思路,从人工鱼(Artificial Fish, AF)的个体行为出发,达到了全局最优值的突现,为组合优化问题提供了一条新的解决思路。由此,可以得出人工鱼群算法的特点^[3]: (1)并行性:多条人工鱼(Artificial Fish, AF)个体并行进行搜索;(2)简单性:算法只使用目标函数值;(3)全局性:算法具有良好的跳出局部极值的能力;(4)快速性:算法中虽然有一定的随机因素,但总体是在步步向最优化搜索;(5)跟踪性:能够快速跟踪变化的极值点。

但是,人工鱼群算法在寻优过程中存在以下几方面的不足:(1)当搜索区域较为平坦时,随机移动的人工鱼跳不出平坦区域,降低了全局收敛的速度;(2)由于一些参数取固定值,使得算法一般在优化初期收敛速度快,后期却往往减慢,寻优精度也受到了一定影响。

2.3.7 算法执行流程图

人工鱼的行为选择,根据所要解决的问题性质,对人工鱼当前所处的环境进行评价,从而选择一种行为。常用的方法是选择各行为中使得向最优方向前进最大的行为,也就是各行为中使得人工鱼的下一个状态为最优的行为,如果没有能使下一状态优于当前状态的行为,则采取随机行为。其执行流程如图 1 所示。

3 改进的 AFSA

3.1 嗅觉的重要作用

在自然界中,摄食是鱼类的天然属性。鱼类是靠其感受器官,如视觉、听觉、嗅觉、味觉、触觉等,在水域中发现食物和摄取食物的。而在鱼类的感觉器官中,首推嗅觉和味觉最为敏感^[4]。较之味觉,嗅觉的作用显得更为重要。从以上内容可以看出,鱼类的嗅觉在捕食方面起到了非常重要的作用。

3.2 改进的人工鱼模型

文献[3]的研究结果表明,视野和步长对算法中各种行为和收敛性能有较大影响。若视野范围较大,则人工鱼的全局搜索能力强并能快速收敛;若视野范围较小,则人工鱼的局部搜索能力强。步长越大,收敛速度越快,但有时会出现震荡现象;步长越小,收敛速度越慢,但求解精度越高。

由 3.1 节内容可以看出,鱼类的嗅觉在其捕食过程中起到了非常重要的作用。同时,基于以上两种参数对算法搜索最优值的影响,在此引入嗅觉、嗅觉步长、人工鱼邻居数目阈值参数,结合人工鱼群算法本身的特点形成一种具有嗅觉特征的人工鱼群算法。

改进后的人工鱼模型定义:人工鱼个体的状态可表示为向量 $X = (x_1, x_2, \dots, x_n)$,其中, $x_i (i = 1, \dots,$

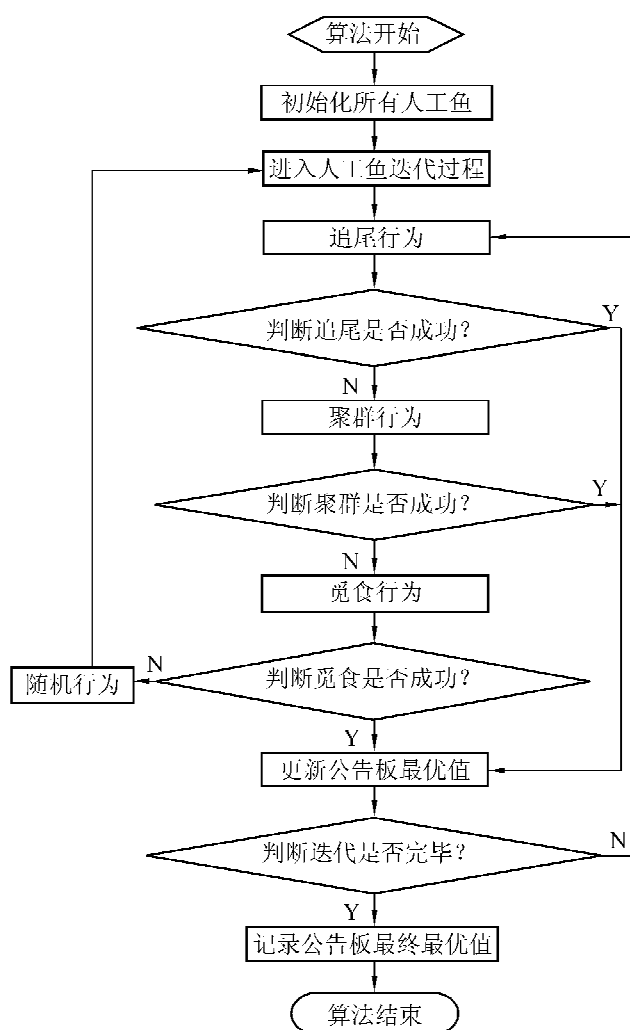


图1 人工鱼算法

n) 为欲寻优的变量;人工鱼当前所在位置的食物浓度表示为 $Y = f(x)$, 其中, Y 为目标函数值; $Visual$ 表示人工鱼的感知距离; $Step_v$ 表示人工鱼移动的视野步长; δ 为拥挤度因子; 人工鱼与食物源的距离为 L_{ij} ; 人工鱼嗅觉范围用 $Smell$ 表示; $Steps$ 表示人工鱼移动的嗅觉步长; N 为人工鱼体总数。

3.3 改进后的人工鱼行为描述

通过引入参数嗅觉、嗅觉步长、邻居数目阈值等参数来进一步优化人工鱼的搜索行为, 并且将人工鱼的随机行为改为静止行为, 以此达到更高的搜索精度和更快的搜索速度。下面主要介绍改进后的各种人工鱼行为。

在进行寻优之前, 人工鱼利用嗅觉参数和邻居数目阈值参数, 筛选出较优鱼, 然后通过较优人工鱼搜索全局最优值。较优人工鱼判断的基本思路为: 对于第 i 条人工鱼, 如果其邻居数目大于等于邻居数目阈值, 则第 i 条人工鱼是较优人工鱼, 进入各种行为的迭代; 反之, 如果其邻居数目小于邻居数目阈值, 则第 i 条人工鱼不是较优人工鱼, 不能进入各种行为的迭代。

追尾行为主要通过视觉来判断最优值的选择, 其算法过程如下: 人工鱼当前状态为 X_i , 在其视觉邻域内最优的伙伴为 X_{max} , 如果 X_{max} 可视邻域内伙伴数 n_f 满足 $n_f/N < \delta$ 。同时, 如果 X_{max} 位置的食物浓度大于当前状态的食物浓度, 则人工鱼直接到向 X_{max} 的位置移动一个视觉步长 $Step_v$; 否则, 执行觅食行为。

聚群行为主要通过视觉来判断最优值的选择, 其算法过程如下: 人工鱼当前状态为 X_i , 在其视野范围内伙伴数目为 n_f , 如果 $n_f/N < \delta$, 则表明伙伴中心位置 X_c 不太拥挤, 则人工鱼向中心位置 X_c 移动一个视觉步长 $Step_v$; 否则, 执行觅食行为。

觅食行为主要通过嗅觉进行判断最优值,其算法过程如下:人工鱼当前状态为 X_i ,在其嗅觉范围内随机选择一个状态 X_j ,当该状态的食物浓度大于当前状态时,则人工鱼移动一个嗅觉步长 Steps;反之,人工鱼则重新随机选择 X_j ,判断是否满足前进条件,反复 try_number 次以后,若仍不满足,则选择静止行为,准备进入下一次迭代。

静止行为:人工鱼在执行了觅食行为之后保持当前状态为 X_i ,准备进入下一次迭代。移动策略:首先执行追尾行为,如果追尾失败,则执行聚群行为;如果聚群失败,则执行觅食行为。觅食行为是该算法的缺省行为。

公告板:公告板用来记录最优人工鱼个体的状态。较优人工鱼在寻优过程中,每次行动完毕都要检验自身状态是否优于公告板状态,若是,则将公告板的状态改为自身状态;反之,则保持公告板状态不变。这样公告板就记录下了历史最优的状态。

4 利用改进的 AFSA 求解 TSP

4.1 改进算法的人工鱼行为

利用上一节中的改进人工鱼模型解决 TSP,主要涉及的人工鱼模型参数有:人工鱼个体的状态向量 X ;人工鱼当前所在位置的食物浓度 Y ,即城市之间的距离;人工鱼的视野 Visual;拥挤度因子 δ ;人工鱼的嗅觉范围 Smell;邻居数目阈值 neiborscope;人工鱼体总数 N 。其他参数简化不计。

下面开始介绍在解决 TSP 过程中各种改进后的人工鱼行为。

首先,在执行各种行为之前,通过下面的程序段求出初始化人工鱼群中的较优鱼。

```
Index = near(X, FishNum, i, Smell);
neibornum = neibornum + length(Index);
if(neibornum > neiborscope)
    neibor = Index;
end
```

其中,Index 表示当前人工鱼的所有邻居,通过 near 函数求出。在求出当前人工鱼的邻居数目之后,判断是否大于邻居数目阈值,若大于该阈值,则记录当前人工鱼的邻居下标,标为较优鱼;反之,则不予记录。

然后,利用较优鱼的各种行为寻找全局最优值。由于求解 TSP 的全局最优值为城市距离最短的路径,因此,人工鱼的各种行为在进行最优值比较的时候都要选择最优值较小的人工鱼状态。下面分别介绍人工鱼三种行为的寻优过程。

(1) 追尾行为。假设人工鱼当前的状态为 X_i ,通过较优鱼得到嗅觉范围内伙伴,计算伙伴中是否存在某状态的食物浓度 < 当前状态的食物浓度,如果存在,则更新公告板最优值;否则,执行聚群行为。

(2) 聚群行为。假设人工鱼当前的状态为 X_i ,通过较优鱼得到嗅觉范围内伙伴数目为 n_f ,如果 $n_f/N < \delta$,则表明伙伴中心位置 X_c 不太拥挤。同时,若中心位置 X_c 的食物浓度 < 当前状态的浓度,则更新公告板最优值;否则,执行觅食行为。

(3) 觅食行为。假设人工鱼当前的状态为 X_i ,通过下式计算 Smell2 值

$$\text{Smell2} = \text{floor}((\text{Smell} * (1 - \text{NC}/\text{MAX_gen}))/2) \quad (1)$$

式中,Smell 为嗅觉初始值;NC 为迭代次数;MAX_gen 为总迭代次数。判断 Smell2 是否等于 0。若等于 0,人工鱼则进入尝试过程;反之,则退出觅食。尝试过程如下:人工鱼在其嗅觉范围内随机选择一个状态 X_j ,当该状态的食物浓度小于当前状态时,则人工鱼移动一个嗅觉步长 Steps,到达下一个状态;当该状态的食物浓度大于当前状态时,人工鱼则重新随机选择 X_j ,判断是否满足前进条件,反复 try_number 次以后,若仍不满足,则退出觅食行为。然后人工鱼开始执行静止行为,进入下一次迭代。

4.2 改进的人工鱼群算法解决 TSP

根据 TSP 的特点,首先执行追尾行为,若失败,则执行聚群行为;若聚群行为失败,则执行觅食行为,

若失败,则人工鱼保持当前状态并进入下一次迭代。具体执行过程如图2所示。

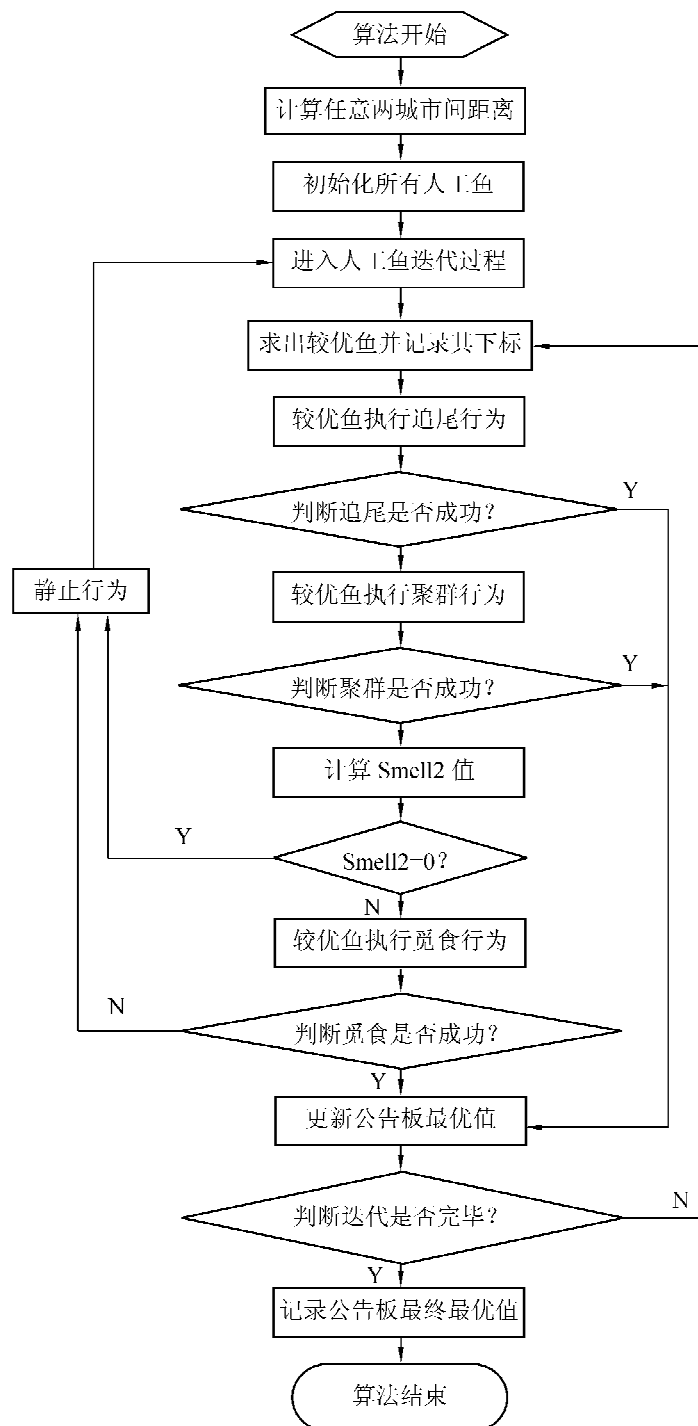


图2 改进的人工鱼算法解决 TSP

5 实验测试

5.1 基本人工鱼群算法解决 TSP

5.1.1 实验数据

利用 MATLAB 仿真环境比较基本算法与改进算法的性能。软件平台:MATLAB;硬件环境:Pentium (R)4 2.40 GHz,1.00 GB 内存。首先,利用基本人工鱼群解决 TSP,基本人工鱼群算法参数设置如下:人工鱼条数:10,总迭代次数:100,总试探次数:100,视野值:14,拥挤度因子:0.8。利用基本人工鱼群算法解

决的 TSP 数据源为标准测试集 tsp202 中的前 20 个城市坐标,其城市位置如图 3 所示。

5.1.2 实验结果

通过基本人工鱼群算法求出 TSP 的最优路径以及最优值随迭代次数变化的曲线如图 4、图 5 所示。通过基本人工鱼群算法解决 TSP,优点如下:(1)前期收敛速度较快,能较快的发现局部最优值域;(2)能够较快地发现最优值区域。但是,该算法同样存在以下缺点:(1)容易陷入局部极值;(2)后期收敛速度下降;(3)最优值随迭代次数的增加可能出现震荡现象。

5.2 改进人工鱼群算法解决 TSP

5.2.1 实验数据

在改进的人工鱼群算法中,人工鱼的各项参数设置如下:人工鱼条数:10,总迭代次数:100,总试探次数:100,视野值:14,拥挤度因子:0.8,嗅觉值:12,邻居数阈值:4。用改进的算法所要解决的 TSP 数据源同样为标准测试集 tsp202 中的前 20 个城市坐标,城市位置如图 3 所示。

5.2.2 实验结果

通过改进的人工鱼群算法求解 TSP,所得到的最优路径以及最优值随迭代次数变化的曲线如图 6、图 7 所示。

以上即为改进人工鱼群算法求解 TSP 的仿真实验结果,下面主要将基本人工鱼群算法和改进算法所得的仿真实验结果进行比较,如表 1。

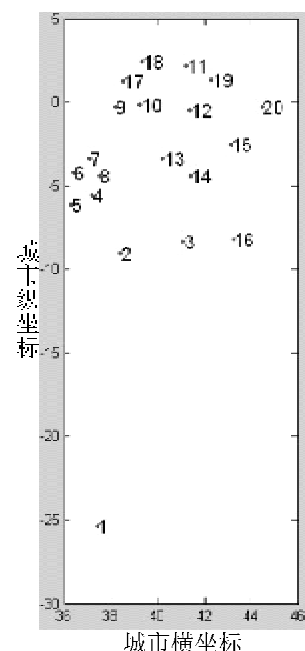


图 3 城市位置

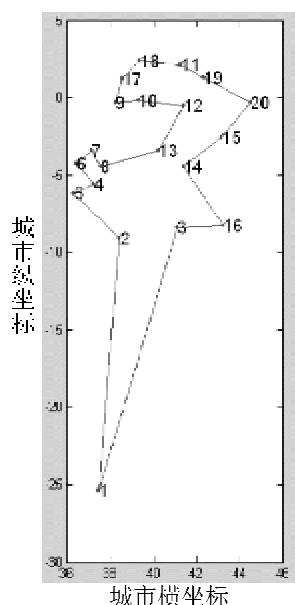


图 4 基本 AFSA 解决 TSP 的最优路径

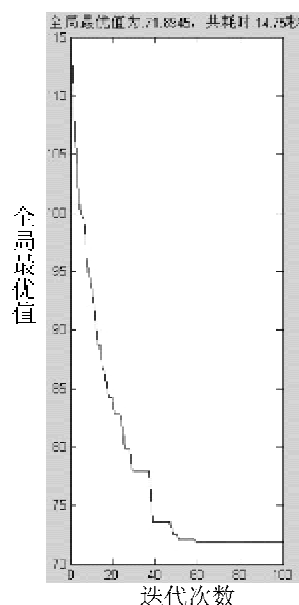


图 5 基本 AFSA 解决 TSP 的最优值变化曲线

利用具有嗅觉特征的人工鱼群算法解决 TSP,其优点为:(1)与基本人工鱼群算法相比,搜索时间几乎快了一倍多,因此,改进后的算法能更快地找到全局最优值;(2)与基本人工鱼群算法相比,改进后的算法在全局最优解的搜索精度方面有了更大的提高;(3)最优值随迭代次数增加的变化曲线较为平滑。

表 1 两种算法实验结果对比

城市数目	基本 AFSA 算法		改进 AFSA 算法	
	最优解	所用时间/s	最优解	所用时间/s
20	71.894 5	14.75	71.187 1	7.235

改进的人工鱼群算法也存在如下不足:(1)人工鱼的各项参数初始值设定还没有一定的数学理论基础;(2)全局最优值的取得还是一个近似解,需要多次运行改进的人工鱼群算法才能得到最终最优值。

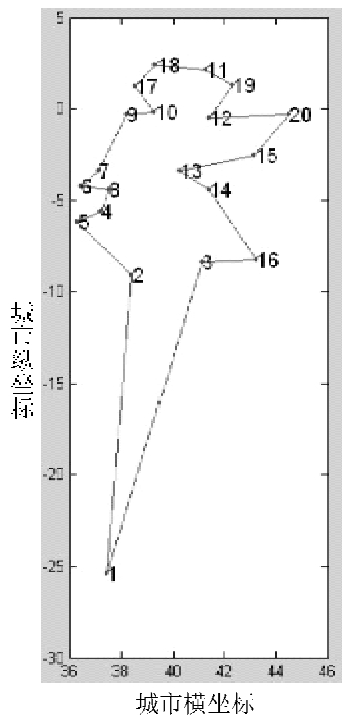


图6 改进 AFSA 解决 TSP 的最优路径

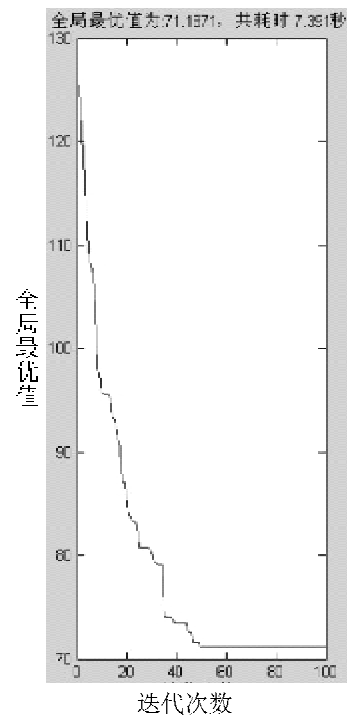


图7 改进 AFSA 解决 TSP 的最优值变化曲线

5.3 两种算法在城市较多情况下的比较

通过以上的仿真实验结果可以看出,与基本人工鱼群算法相比,具有嗅觉特征的人工鱼群算法在搜索最优值的精度和速度两方面都有了很大的提高,下面主要通过增加城市数目来进一步比较两种算法的搜索效率。

在前面 5.1 节和 5.2 节中分别利用基本 AFSA 和改进的 AFSA 对 TSP 进行了求解,实验结果表明,改进的 AFSA 在搜索速度和最优值精度两方面都有了很大提高。下面通过增加城市数目来进一步比较基本 AFSA 和改进的 AFSA 在求解 TSP 时效率的不同。

基本人工鱼群算法的参数设置与 5.1.1 节相同,具有嗅觉特征的人工鱼群算法的参数设置与 5.2.1 节相同。

通过表 2 的仿真实验结果可以看出,随着城市数目的逐渐增多,改进人工鱼群算法求解 TSP 的最优值和所用时间总是比基本人工鱼群算法更加优秀一些。在最优解的精度方面,随着城市数目的增加,前者得到的最优解更加精确一些。

表2 利用基本算法与改进算法求解 TSP

城市数目	基本 AFSA 算法		改进 AFSA 算法	
	最优解	所用时间/s	最优解	所用时间/s
30	106.918 8	10.36	101.105 4	7.718
40	143.536 1	9.843	133.621 8	7.75
50	183.047 6	8.844	170.458 5	8.344

6 结语

在基本人工鱼群算法的基础上,主要引入了嗅觉这一参数,并成功解决了旅行商问题。实验表明,改进后的人工鱼群算法在搜索时间和搜索精度方面有了进一步的提高。

参 考 文 献

- [1]王凌. 智能优化算法及其应用[M]. 北京:清华大学出版社,2001.
- [2]郭靖扬. 旅行商问题概述[J]. 大众科技,2006,94(8):229-230.

- [3] 李晓磊. 一种新型的智能优化算法——人工鱼群算法[D]. 杭州: 浙江大学信息科学与工程学院, 2003.
 [4] 任仁眉, 胡丹. 动物的智能[M]. 北京: 科学出版社, 1990.

Solving TSP with Improved Artificial Fish Swarm Algorithm

Li Yuesong, Fan Jinsheng, Zhang Qiaodi

(Dept. of Information Science and Technology, Shijiazhuang Tiedao University, Shijiazhuang 050043, China)

Abstract: In view of the weakness of artificial fish swarm algorithm in the process of optimization, an improved artificial swarm algorithm with the characteristics of smell based on artificial fish swarm algorithm is proposed in the dissertation, which integrates the important role of the fish smell in the predatory process. Finally, Traveling Salesman Problem is solved with the improved artificial fish swarm algorithm. Comparing the experiment results of two algorithms, the improved artificial fish swarm algorithm is better in search time and the precision of optimal value than the original artificial fish swarm algorithm.

Key words: combinatorial optimization problem; artificial fish swarm algorithm; smell; traveling salesman problem

(上接第 98 页)

- [12] Fevzullah Temurtas, Rustu Gunturkun, Nejat Yumusak, et al. An Application of Elman's Recurrent Neural Networks to Harmonic Detection[J]. Neural Networks, 2004, 3029:1043-1052.
 [13] C N Bhende, S Mishra, B K Panigrahi. Detection and classification of power quality disturbances using S-transform and modular neural network[J]. Electric Power Systems Research, 2008, 78:122-128.
 [14] 美国福禄克公司. 现代电能质量测量技术[M]. 华盛顿: 美国福禄克公司, 2008.
 [15] 林飞, 罗君, 李志锋. 2003、2004 年全国电力牵引供电系统故障统计分析[J]. 工业科技, 2006, 35(3): 27-28.
 [16] 杨乐平, 李海涛, 赵勇, 等. LabVIEW 高级程序设计[M]. 北京: 清华大学出版社, 2003.

Research of Power Quality Detection and Analysis Device for Traction Power Supply System Based on LabVIEW

Wang Shuohe¹, Xu Jiyong², Xu Huimin³, Cai Qingliang¹

(1. School of Electrical and Electric Engineering Shijiazhuang Tiedao University, Shijiazhuang 050043, China;

2. School of Optical-Electric and Computer Engineering, University of Shanghai for Science & Technology, Shanghai 200093, China; 3. Shijiazhuang Power Supply Section of Beijing Railway Bureau, Shijiazhuang 050000, China)

Abstract: The power quality testing devices available are only applicable to three-phase four-wire power system, and when power parameters are analyzed, the correlation between them can't be reflected. This paper mainly introduces a system framework and the basic functions realization based on LabVIEW. The system adopts the Art PCI2008 data simultaneous acquainting card, applies typical algorithm to realize the power parameters detection real-time, and realizes data computation, storage, statistical analysis, report and other functional modules with database technology. This device also has the steady-state power quality detection and analysis capabilities, and the initial function ability of the transient power quality event capturing, and analyzing, thus meeting the real-time synchronization detection under different power supply modes.

Key words: traction power supply system; power analysis; frequency; negative sequence current; harmonics