

求解 TSP 问题的离散捕鱼策略优化算法

陈建荣¹ 陈建华²

(右江民族医学院 百色 533000)¹ (右江区新型农村合作医疗管理中心 百色 533000)²

摘 要 针对典型离散优化问题旅行商问题,提出了一种离散捕鱼策略优化算法。结合 TSP 问题的特点,首先给出渔夫个体的离散编码方法,并在此基础上提出相异集和交换操作的基本概念;然后对渔夫个体之间的距离进行重新定义,并对渔夫个体的几种搜索策略进行重新描述;最后在 TSPLIB 标准库中选取 3 个算例对算法进行性能测试。数值仿真实验结果表明,对于求解 TSP 问题,离散捕鱼策略优化算法具有求解精度高、稳定性好、运行速度快等优点,为求解 TSP 问题提供了一种可行的新选择。

关键词 离散,捕鱼策略,优化算法,旅行商问题

中图法分类号 TP18 **文献标识码** A

Discrete Fishing Strategy Optimization Algorithm for TSP

CHEN Jian-rong¹ CHEN Jian-hua²

(Youjiang Medical University for Nationalities, Baise 533000, China)¹

(New Rural Cooperative Medical Management Center, Baise 533000, China)²

Abstract The classical fishing strategy can only solve the optimization problem on a continuous domain, but there is no relative research on discrete domain. To solve traveling salesman problem, a discrete fishing strategy optimization algorithm was presented. An efficient discrete encoding method was given with the characteristics of TSP, and based on this, the basic concepts of the distinct set and the exchange operations was put forward. A new distance formula was given and the several search strategy has redescription. The experiment results about TSP from TSPLIB indicate that the algorithm shows high accuracy, stability and quickly. And it provides a new choice to solve TSP.

Keywords Discrete, Fishing strategy, Optimization algorithm, TSP

1 引言

捕鱼策略优化算法^[1] (Fishing Strategy Optimization Algorithm) 是受到渔夫在江面上撒网捕鱼的行为习惯后发而提出的一种种群智能优化算法。该算法具有鲁棒性强、收敛速度快、优化精度高、编程实现简单等优点。近年来,其在静态电压稳定裕度计算、高炉面料传感器布置、无线电频谱分配、变电站规划、无线传感器网络节点定位、微博热点话题预测、机组优化等领域^[2-12]得到了较为广泛的应用。同时,该算法在改进、结合等^[13-20]方面也不断得到深入研究。

目前,不管是算法的应用成果,还是理论方面的探讨,均在连续型论域下进行。为拓宽算法的适用范围,以经典 NP 难的旅行商问题为例,提出一种离散捕鱼策略优化算法 (Discrete Fishing Strategy Optimization Algorithm, DFSOA)。

2 捕鱼策略优化算法简介

捕鱼策略优化算法是通过观察和模仿渔夫捕鱼行为习惯而提出的。为了能够模拟优化问题的实际,算法对捕鱼环境和渔夫的行为做如下基本假设^[1]: 1) 水中鱼的密度不受渔夫捕鱼行为的影响; 2) 渔夫对水中鱼群的分布情况一无所

知; 3) 往鱼群密集的方向前进,以便能捕到更多的鱼; 4) 当前位置鱼的密度比周围高,则停留在当前位置撒网捕鱼; 5) 为了能将鱼一网打尽,渔夫会使用网眼更小的渔网进行捕鱼作业; 6) 渔夫之间避免相互碰撞; 7) 当前位置没有鱼或鱼的密度比较低时,渔夫会到其他地方捕鱼。

算法首先在定义域范围内对渔夫位置进行随机初始化,然后各渔夫根据当前状态选择相应的搜索策略来进行寻优搜索。迭代过程中,渔夫会根据自身所处状态来选择下一步该采取哪一种搜索策略进行搜索。通过渔夫们的共同努力,最终找到问题的最优解。

3 离散捕鱼策略优化算法

3.1 编码方法及问题描述

对于规模为 N 的 TSP 问题,一个可行编码为 N 个城市的全排列表示为 $(a_1, \dots, a_i, \dots, a_N)$, 其中 a_i 取 $[1, N]$ 之间的整数,表示第 a_i 个城市位于周游路径中的第 i 个位置。

例 1 对于规模 $N=6$ 的 TSP 问题,渔夫编码 $X_1=(2, 4, 1, 3, 5, 6)$, 则其对应的城市周游顺序为 $2 \rightarrow 4 \rightarrow 1 \rightarrow 3 \rightarrow 5 \rightarrow 6$ 。

设 $X=(a_1, \dots, a_i, \dots, a_N)$, 定义目标函数:

本文受广西自然科学基金资助项目(0832084)资助。

陈建荣(1982—),男,硕士,助理研究员,主要研究方向为计算智能、数据挖掘等, E-mail: carl204@163.com; 陈建华(1982—),男,硕士生,主要研究方向为计算智能、数据挖掘等(通信作者)。

$$f(X) = \text{dis}(a_N, a_1) + \sum_{i=1}^{N-1} \text{dis}(a_i, a_{i+1}) \quad (1)$$

其中, $\text{dis}(a_i, a_{i+1})$ 表示城市 a_i 和 a_{i+1} 间的距离。

那么, TSP 问题的最优解可以描述为, 寻找一个可行的城市全排列序列 $X = (a_1^*, \dots, a_i^*, \dots, a_N^*)$, 使得根据城市顺序 $a_1^* \rightarrow \dots \rightarrow a_i^* \rightarrow \dots \rightarrow a_N^*$ 计算周游路径时得到长度最短的路径值, 即 $\min f(X)$ 。

3.2 相关定义

定义 1 给定序列 $X = (a_1, \dots, a_2, \dots, a_N)$, $X^* = (a_1^*, \dots, a_2^*, \dots, a_N^*)$, 把 X 与 X^* 中处于相同位置的元素进行比较, 若 $a_i = a_i^*$, 则令 $t_i = 0$, 否则令 $t_i = 1$ 。将对比较结果依次记入序列 $T = (t_1, \dots, t_i, \dots, t_N)$ 中, 则称 T 中非零元素的下标组成的集合 $P = \{p_j | p_j = i, t_i \neq 0\}$ 为 X 与 X^* 的相异集, $j = 1, 2, \dots, \|T\|$, $\|T\|$ 为 T 中元素的个数。

例 2 序列 $X_1 = (2, 1, 6, 5, 3, 4)$ 和 $X_2 = (4, 1, 6, 2, 3, 5)$ 在第 1, 4, 6 这 3 个位置上有不同的元素, 则其相异集为 $P = \{1, 4, 6\}$ 。

定义 2 若 X_1 和 X_2 两序列的相异集为 P , 则称 $\|P\|$ 为 X_1 和 X_2 间的距离, 记作 $d(X_1, X_2)$ 。 $\|P\|$ 为 P 中元素的个数。

例 3 若序列 X_1, X_2 相异集 $P = \{1, 4, 6\}$, 那么两序列间的距离 $d(X_1, X_2) = 3$ 。

定义 3 设 $X = (a_1, \dots, a_i, \dots, a_j, \dots, a_N)$, 其中正整数 i 和 j 满足 $1 \leq i < j \leq N$ 。将 X 中第 i 和第 j 个元素交换, 即将 a_i 和 a_j 两个元素交换, 称为一次交换操作。若 i 和 j 通过随机方式产生, 那么该交换操作称为一次随机交换操作。

3.3 搜索策略

设 k 渔夫初始位置 $X_{k_0} = (a_1^{k_0}, \dots, a_i^{k_0}, \dots, a_N^{k_0})$, 以当前位置为“中心”、以 L 为半径的撒网点集为:

$$\Omega_k = \{X_{k_j} = (a_1^{k_j}, \dots, a_i^{k_j}, \dots, a_N^{k_j}) | j = 1, 2, \dots, M\} \quad (2)$$

其中, 每一个 X_{k_j} 均由 X_{k_0} 经过 L 次随机交换操作得到。 $a_i^{k_j}$ 表示编号为 $a_i^{k_j}$ 的城市排在序列中的第 i 个位置。撒网次数 M 和撒网半径 L 均为给定的正整数。

(1) 移动搜索: 若 $f(X') = \min_{X_{k_j} \in \Omega_k} f(X_{k_j}) < f(X_{k_0})$, $j = 1, 2, \dots, M$, 则 k 渔夫位置从 X_{k_0} 移动到 X' , 并以 X' 为新的“中心”, 根据式(2)重新构造撒网点集 Ω_k' 。

(2) 收缩搜索: 若 $f(X') = \min_{X_{k_j} \in \Omega_k} f(X_{k_j}) \geq f(X_{k_0})$, $j = 1, 2, \dots, M$, 则 k 渔夫停留在 X_{k_0} 处, 以 $L' = \lfloor \alpha L \rfloor$ 为撒网半径, 根

据式(2)重新构造撒网点集 Ω_k' 。

(3) 沿途搜索: 若经过 C 次连续的收缩搜索, k 渔夫仍停留在 X_{k_0} 处, 且当前群体最优 $X^* \neq X_{k_0}$, $d(X^*, X_{k_0}) > L$, 那么构造 X_{k_0} 和 X^* 的相异集 P 。在 P 中随机选出一个元素 p_g , 然后在 X_{k_0} 中寻找与 a^* 相等的元素 $a_{p_g}^{k_0}$, a^* 为 X^* 中第 p_g 个元素, 接着将 X_{k_0} 中的两个元素 $a_{p_g}^{k_0}$ 与 $a_{p_h}^{k_0}$ 交换, 得到 X'_{k_0} 。重新构造 X'_{k_0} 和 X^* 的相异集 P' , 并重复上述交换操作, 直到满足 $d(X^*, X'_{k_0}) = d(X^*, X_{k_0}) - L$, X'_{k_0} 为每一次交换操作结束时 k 渔夫的位置。最后, 根据式(2)重新构造撒网点集 Ω_k' 。

(4) 随机搜索: 若 k 渔夫不满足执行上述 3 种搜索策略的条件, 则对其进行随机初始化, 并根据式(2)重新构造撒网点集 Ω_k' 。

3.4 算法流程

算法设置有群体公告板 $gbest$, 输入参数有: 渔夫规模 K 、撒网半径 L 、收缩系数 α 、收缩次数阈值 C 和迭代次数 N 。

算法搜索步骤:

step1 随机初始化 K 个渔夫;

step2 若算法迭代次数达到 N , 则输出最优解及最优值;

step3 根据当前渔夫状态, 执行相应的搜索策略(移动搜索、收缩搜索、沿途搜索和随机搜索);

step4 若找到更优值, 则更新 $gbest$, 转 step2。

4 实验结果及分析

4.1 实验环境与参数设置

实验环境为 Intel Core i7-4790K CPU @4.00GHz, 16GB 内存, Windows10 64bit 操作系统, MATLAB2015b 仿真软件。

为测试算法的收敛性和稳定性, 消除算法参数、初始值和随机性对算法的影响, 采用如下方法: 1) 算法独立运行 50 次, 以这 50 次运行的平均值作为最终测试结果; 2) 每次运行时, 均采用 MATLAB 的随机函数对渔夫个体编码进行初始化; 3) 将所有算例中算法的参数进行统一设置: 渔夫规模 $K = 20$ 、撒网半径 $L = 10$ 、撒网次数 $M = 50$ 、收缩系数 $\alpha = 0.5$ 、收缩搜索阈值 $C = 10$ 、最大迭代次数 $N = 1000$ 。

4.2 算例及结果分析

为验证算法性能, 在 TSPLIB 测试库中选取 3 个算例, 即 Burma14, Ulysses16 和 Ulysses22。DFSQA 算法的实验结果见表 1, 收敛曲线和求得的最优路径如图 1—图 6 所示。

表 1 实验结果

算例	TSPLIB 提供的最优路径长度	本文最优	本文最差	平均值	标准差	平均迭代次数	收敛比例	运行时间/s
Burma14	—	30.878504	30.878504	30.878504	0	106	50/50	3.42
Ulysses16	74.108736	73.987618	73.987618	73.987618	0	131	50/50	3.53
Ulysses22	75.665149	75.309701	75.309701	75.309701	0	357	50/50	3.95

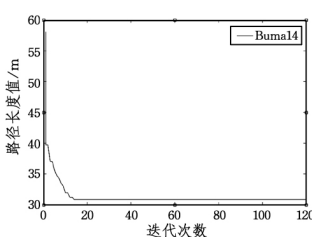


图 1 DFSQA 算法求解 Burma14 的收敛曲线

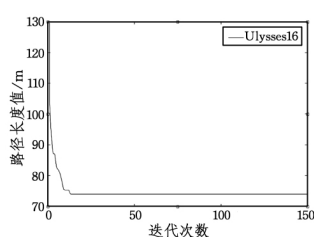


图 2 DFSQA 算法求解 Ulysses16 的收敛曲线

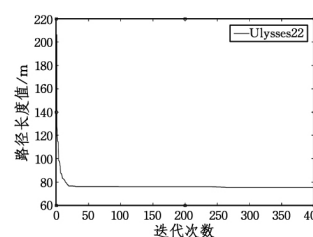


图 3 DFSQA 算法求解 Ulysses22 的收敛曲线

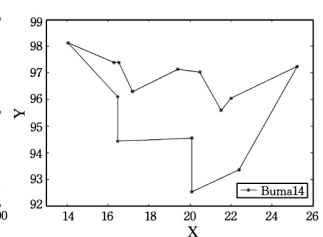


图 4 DFSQA 算法优化 Burma14 的最优路径图

best_ratio 的方法。通过一系列的实验证明,相比通常给定一个固定阈值的方法,利用本文所提方法求出的阈值不仅可以获取更多的匹配点,而且匹配正确率也得到了很大的改善;而且,在实验过程中,通过对画出的曲线进行分析,还可以得出阈值在 0.7 附近时匹配率能达到 95% 左右的结论,虽然这是以减少匹配点数目为代价的,但这部分匹配点数目的损失一般都是在可控范围内的。最后,本文对最佳阈值求解出的结果进行了双向匹配,剔除了部分误匹配点,进一步提高了匹配正确率。

参 考 文 献

- [1] LOWE D G. Distinctive image features from scale-invariant keypoints[J]. International Journal of Computer Vision, 2004, 60(2):91-110.
- [2] HARRIS C, STEPHENS M. A combined corner and edge detector[C]// Alvey Vision Conference, 1988:50.
- [3] TOMASI C, KANADE T. Detection and tracking of point features[M]. Pittsburgh: School of Computer Science, Carnegie Mellon Univ., 1991.
- [4] BAY H, TUYTELAARS T, Van Gool L. Surf: Speeded up ro-

bust features[C]// European Conference on Computer Vision. Springer Berlin Heidelberg, 2006.

- [5] MIKOLAJCZYK K, SCHMID C. A performance evaluation of local descriptors[J]. Pattern Analysis and Machine Intelligence, 2005, 27(10):1615-1630.
- [6] 万剑华, 孙姝娟, 曾喆. SIFT 算法距离比阈值自适应改进研究[J]. 中国石油大学学报(自然科学版), 2013, 37(4):71-75, 82.
- [7] 王泽梁, 汪道寅, 汪丽华. 基于距离比阈值参数自适应的 SIFT 算法研究[J]. 陕西科技大学学报(自然科学版), 2011, 29(5):44-47, 72.
- [8] FISCHLER M A, BOLLES R C. Random sample consensus: a paradigm for model fitting with applications to image analysis and automated cartography[J]. Communications of the ACM, 1981, 24(6):381-395.
- [9] SCHARSTEIN D, SZELISKI R. A taxonomy and evaluation of dense two-frame stereo correspondence algorithms[J]. International Journal of Computer Vision, 2002, 47(1-3):7-42.
- [10] 辜森, 朱剑英. 基于改进的 SIFT 特征的图像双向匹配算法[J]. 机械科学与技术, 2007, 26(9):1179-1182.
- [11] 赵璐璐, 耿国华, 李康, 等. 基于 SURF 和快速近似最近邻搜索的图像匹配算法[J]. 计算机应用研究, 2013, 30(3):921-923.

(上接第 140 页)

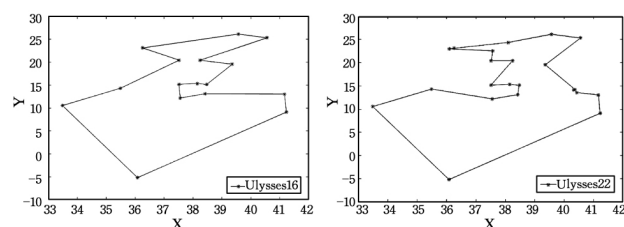


图 5 DFSOA 算法优化 Ulysses16 的最优路径图 图 6 DFSOA 算法优化 Ulysses22 的最优路径图

由实验结果及收敛曲线图可得出:1)DFSOA 算法求解精度高,对 Ulysses16 和 Ulysses22 算例的求解结果均优于 TSPLIB 测试库中提供的最优路径长度(Burma14 因 TSPLIB 未提供最优路径长度而无法比较);2)从平均值、标准差和收敛比例 3 个方面可以看出,DFSOA 算法稳定性好,每次都能收敛到最优解;3)DFSOA 算法收敛速度快,求解算例最优路径的平均耗时不超过 4s。

结束语 以求解 TSP 问题为例,提出了一种离散捕鱼策略优化算法。实验结果表明,DFSOA 算法具有求解精度高、稳定性好、收敛速度快的优点,能够在可接受的时间内求得问题的最优解。因此,该算法是有效且可行的。DFSOA 算法是将捕鱼策略优化算法应用于离散域优化的一种新尝试。下一步的研究是将离散捕鱼策略优化算法用于求解大规模 TSP 问题和离散域的其他优化问题。

参 考 文 献

- [1] 陈建荣,王勇. 采用捕鱼策略的优化方法[J]. 计算机工程与应用, 2009, 45(9):53-56.
- [2] 陈建荣,陈建华,王勇,等. 求解矩阵特征值的捕鱼算法[J]. 计算机工程与应用, 2012, 48(20):55-59.
- [3] 李娟,刘海龙. 动态连续潮流与改进捕鱼算法结合计算静态电压稳定裕度[J]. 华北电力大学学报(自然科学版), 2013, 40(3):11-16.
- [4] 苗亮亮,陈先中,侯庆文,等. 高炉料面传感器布置的混沌捕鱼策

略[J]. 仪器仪表学报, 2014, 35(1):132-139.

- [5] 项响琴,张沪寅. 渔夫捕鱼优化算法的认知无线电频谱分配[J]. 计算机工程与应用, 2014, 50(6):72-76.
- [6] 王泽黎. 基于小生境渔夫捕鱼算法的变电站规划[J]. 电力系统保护与控制, 2014(16):84-88.
- [7] 王英彦,曾瑞. 基于改进单锚节点的无线传感器网络节点定位算法[J]. 激光杂志, 2014(12):128-131.
- [8] 姬建新. 捕鱼算法优化核极限学习机的微博热点话题预测[J]. 激光杂志, 2015(1):128-131.
- [9] 潘长森,王小亭,梁晓龙. 基于支持向量机的水资源预测模型[J]. 成都信息工程学院学报, 2015(1):59-62.
- [10] 张凤梅,邹丽. 捕鱼算法优化支持向量机的视频检索模型[J]. 计算机与数字工程, 2015(2):264-268.
- [11] 徐敏,戴薇. 基于渔夫捕鱼优化算法的配电网重构[J]. 电测与仪表, 2015(13):43-47.
- [12] 谢怡文,赵刚. 基于改进单锚节点的无线传感器网络节点定位算法[J]. 计算机应用与软件, 2015(11):148-150.
- [13] 庞兴,王勇. 一种采用动态策略的模拟捕鱼优化方法[J]. 山东大学学报(工学版), 2010, 40(3):19-25.
- [14] WANG Y, HE D N, GUAN Y J, et al. An improving FSOA optimization by using orthogonal transform[C]// Proc of the International Conference on Electronic Commerce, Web Application, and Communication, 2011:63-69.
- [15] 陈建荣,陈建华,王勇. 一种改进的模拟捕鱼寻优算法[J]. 计算机工程与应用, 2011, 47(34):47-50.
- [16] 李景洋,王勇,路阔. 具有认知能力的捕鱼策略优化算法[J]. 计算机应用研究, 2013, 30(1):124-126.
- [17] 李景洋,王勇,李春雷. 自调整的捕鱼策略优化算法[J]. 计算机工程与科学, 2014, 36(5):923-928.
- [18] 庞兴,王勇. PSO 与捕鱼策略相结合的优化方法[J]. 计算机工程与应用, 2011, 47(8):36-50.
- [19] 陈建荣,王勇. 一种人工鱼算法与捕鱼算法相结合的优化方法[J]. 计算机应用与软件, 2011, 28(4):196-199.
- [20] 梁晓龙,李祚泳,汪嘉杨. 蜜蜂进化遗传与捕鱼策略相结合的优化算法[J]. 数学的实践与认识, 2016(17):143-148.