

基于改进的禁忌搜索算法求解旅行商问题

王鑫¹, 彭绍雄²

(1. 海军航空工程学院研究生管理大队, 山东烟台 264001; 2. 飞行器工程系, 山东烟台 264001)

摘要: 旅行商问题 (TSP) 作为经典的组合优化问题, 广泛应用与各个领域。本文基于禁忌搜索算法在求解该问题时对初始解较强的依赖性, 提出了一种改进的禁忌搜索算法, 即首先采用最近邻点法产生较好的初始解, 再以此为基础进行禁忌搜索, 并用该算法求解了 TSP 的经典案例, 经实验对比分析, 算法具有良好的性能。

关键词: 禁忌搜索; 最近邻点法; 旅行商问题; 初始解

Method for Solving Traveling Salesman Problem Based on Improved Tabu Search Algorithm

Wang Xin¹, Peng Shao-xiong²

(1. Naval Aeronautical and Astronautical University Graduate Students' Brigade, Yantai Shandong 264001, China;
2. Department of Airborne Vehicle Engineering, Yantai Shandong 264001, China)

Abstract: As the classical combination optimization problem, TSP has been widely used in different field. Considering the shortcomings of solving this kind of problem by algorithm, this paper comes up with an improved algorithm. That is, firstly, using the nearest neighbor algorithm to get a better initial solution, then using the tabu search to get final result on the basis of this solution. At last, an example is solved, and also to be compared with the other algorithms. The experiment shows that the new algorithm has a good performance.

Key words: tabu search; nearest neighbor; TSP; initial solution

0 引言

旅行商问题^[1] (Traveling Salesman Problem) 是一种典型的组合优化问题, 并且是该类问题中最经典的 NP 难题之一, 很多实际问题, 如管路铺设、路径规划、快递配送等经过一定的处理后都可以转化为 TSP, 因此有很大的实用价值。该问题描述如下^[2]: 假设有一个旅行商要访问 N 个城市, 且每个城市只能访问一次, 同时组后回到原来出发的城市, 应如何选择行进路线, 使总行程最短。简单来说, 即找到一条只经过每个城市一次且回到起点、最短路径的回路。

由于 TSP 属于 NP 难题, 问题规模的逐渐增大导致该类问题无法采用精确算法求得最优解, 因此一般选用启发式算法或者近似算法以寻求全局最优解。

禁忌搜索^[3,4] (Tabu Search, TS) 算法是继遗传算法之后出现的又一种元启发式优化算法, 最早由 Glover

于 1977 年提出。禁忌搜索算法模仿人类的记忆功能, 采用禁忌表来封锁搜索过的区域, 从而避免了重复搜索, 避免了算法陷入死循环, 同时也节省了搜索时间。同时, 该算法采用特赦准则赦免了一些禁忌表中的优良状态, 进而跳出局部最优解, 保证搜索的多样性, 以达到全局最优。

1 经典禁忌搜索算法

禁忌搜索算法的基本步骤如下^[5]:

第 1 步: 初始化。给出初始解, 置禁忌表为空。

第 2 步: 根据停止准则判断是否满足停止准则。满足则输出最终结果, 算法终止; 否则进行以下步骤。

第 3 步: 对于候选解集中的最好解, 判断其是否满足特赦准则。满足则更新特赦准则, 更新当前解, 转第 5 步; 否则继续第 4 步。

作者简介: 王鑫 (1992—), 男, 硕士, 研究方向: 装备管理; 彭绍雄 (1966—), 男, 教授, 硕士生导师, 研究方向: 系统决策与分析、导弹系统总体。
(E-mail: 947017371@qq.com)

第 4 步: 选择候选解集中不被禁忌的最好解作为当前解。

第 5 步: 更新禁忌表。

第 6 步: 转第 2 步。

需要说明的是, 以上步骤仅是该算法的最基本步骤, 并不包含算法中出现的一些其他特殊情况, 该算法流程图如图 1 所示。

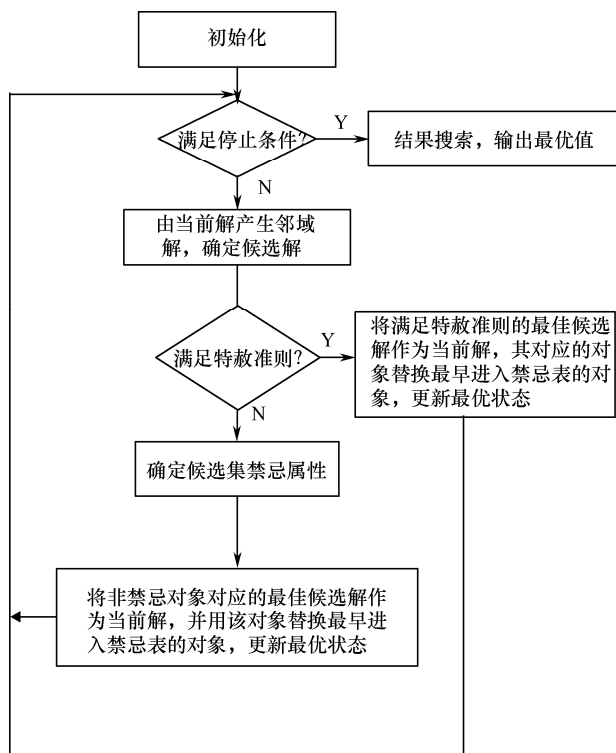


图 1 禁忌搜索算法流程图

2 改进禁忌搜索算法

通过对经典禁忌搜索算法的分析以及实际计算, 发现该算法对初始解的依赖性较强, 好的初始解有助于搜索, 以达到最优解, 而差的初始解往往使搜索非常困难, 浪费时间, 有时甚至达不到最优解。因此, 根据禁忌搜索算法这一不足, 本文提出一种基于最近邻点法的禁忌搜索算法, 利用其在构造较优解时的优越性, 以产生较好的初始解使搜索更加容易, 同时更快地达到最优解。

2.1 最近邻点法

最近邻点法 (Nearest Neighbor) 是 J.Rosenkrantz 等人于 1977 年提出的一种构造性启发式算法^[6, 7]。

对于任一 TSP, V 表示城市集合, S 表示路径, D 为各城市之间的距离矩阵。下面介绍该算法的基本步骤:

第 1 步: 令 $d_{ij} = \inf$, 初始化距离矩阵, 随机选取一个城市 v_i , 记为路径始点 s_1 , 在 D 中找到与其距离

最近的城市 v_j , 记为下一节点 S_2 , 为避免后面的重复搜索, 令 $d_{ij} = \inf$, 更新距离矩阵 D , 此时初始路径为 $S = \{s_1, s_2\}$ 。

第 2 步: 判断是否满足停止条件, 即若 $V = S$, 则算法停止; 否则, 寻找与上一节点 s_{k-1} 最近的下一节点 s_k , 同时令 $d_{k-1,k} = \inf$, 更新距离矩阵 D , 更新路径为 $S = \{s_1, s_2, \dots, s_{k-1}, s_k\}$ 。

第 3 步: 重复第 2 步, 直到所有城市都已找到最近邻点。

第 4 步: 将最后找到的节点与始点相连, 形成最终路径 $S = \{s_1, s_2, \dots, s_n, s_1\}$ 。

2.2 改进禁忌搜索算法

根据经典禁忌搜索算法以及最近邻点法, 综合的改进禁忌搜索算法流程图如图 2 所示。

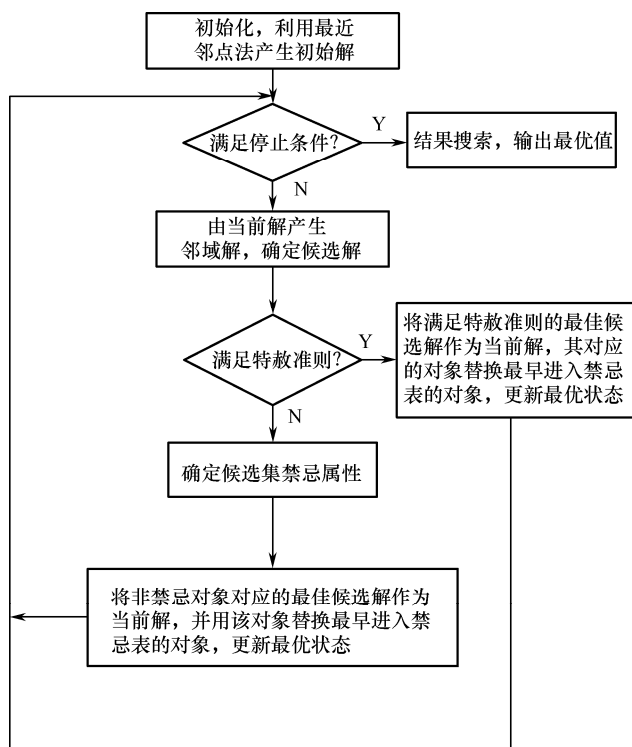


图 2 改进禁忌搜索算法流程图

3 实验对比分析

下面根据 TSP 50 个城市的算例, 对改进的禁忌搜索算法进行仿真计算, 并将计算结果与经典的禁忌搜索算法以及其他智能优化算法进行对比。图 3 为 50 个城市的坐标分布。

3.1 给定初始解

在禁忌搜索算法中, 初始解不同, 会产生不同的最终解。因此, 为了清晰地看出同一运行条件下不同迭代次数的计算结果, 首先设定两种算法各自的初始解,

并在此初始解下分别运行。在此基础上，可以发现相同的时间内（即迭代次数下）两种算法的运行结果。

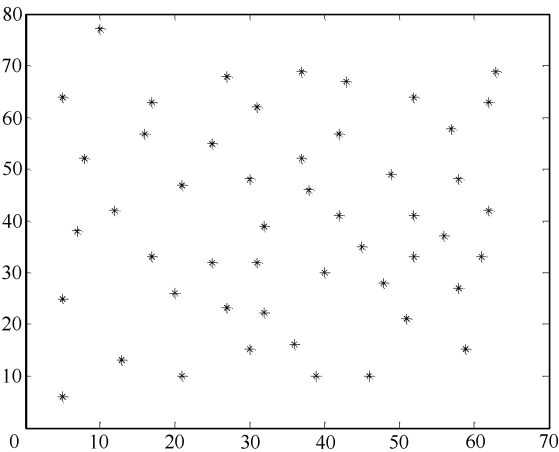


图3 50个城市坐标分布图

随机给定两种算法的初始解如下，并针对该初始解进行不同迭代次数的运算，运算结果如表1所列。

经典初始解以城市 21 为起点，途径 41→45→5→24→7→49→17→46→27→44→22→50→48→34→23→42→31→13→37→47→30→15→39→43→ 38→26→8→29→19→32→16→14→2→36→28→33→25→3→20→1→11→4→35→6→9→18→10→40 最后到达 12，距离为 1608.3674。

改进初始解以城市 11 为起点，经过 9→6→7→14→23→3→36→37→27→28→29→30→47→39→38→35→34→33→32→46→45→25→26→41→15→16→1→2→10→19→20→21→43→44→42→18→12→13→5→8→4→50→49→31→40→48→24→17，最后到达 22，距离为 532.2564。

为更加直观表示两种算法运行结果，画折线图如图4所示。

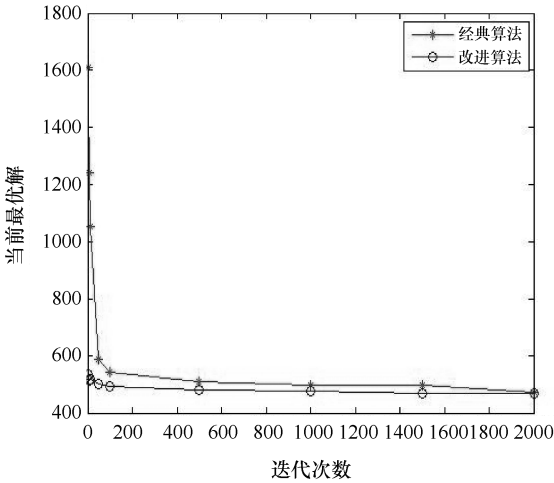


图4 1~2000次迭代两算法比较图

由表1和图3可以看出，由于改进禁忌搜索算法具有较优的初始解，因此收敛速度较快。改进算法运行100次与经典算法运行1000次的结果相近，这大大提高了算法的运行效率。

表1 两种算法对比结果

迭代次数	经典	改进
1	1608.3674	532.2564
5	1242.6754	514.4195
10	1053.3189	518.6352
50	585.957	501.8686
100	541.0184	493.5544
500	510.0841	481.5532
1000	496.345	474.5073
1500	496.7848	469.113
2000	472.465	466.64

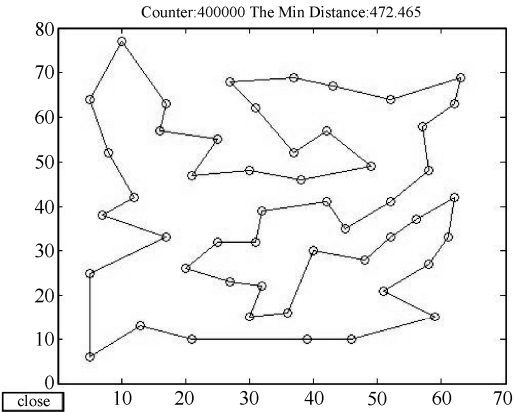
由表1和图3可以看出，由于改进禁忌搜索算法具有较优的初始解，因此收敛速度较快。改进算法运行100次与经典算法运行1000次的结果相近，这大大提高了算法的运行效率。

同时，本文算法设置迭代2000次为停止准则，根据结果分别列出两种算法的最优解城市排序如下。

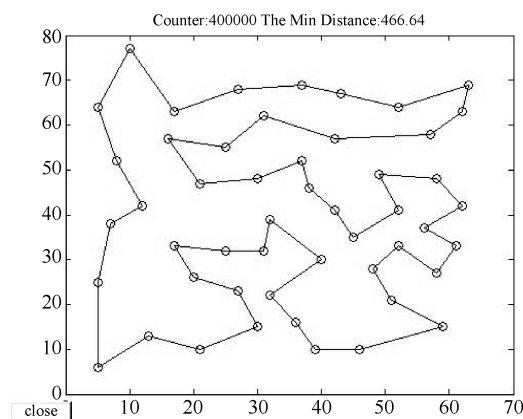
经典算法：11→10→9→7→29→24→6→8→5→4→50→49→48→40→31→30→28→23→14→2→1→16→41→26→25→45→46→3→36→37→27→47→39→38→35→34→33→32→44→43→42→21→15→20→19→18→17→22→13→12。

改进算法：12→10→9→6→7→14→23→28→29→30→47→27→39→38→37→36→35→34→33→32→46→25→3→2→1→16→15→41→26→45→44→43→42→21→20→19→18→17→22→13→5→4→50→49→48→40→31→24→8→11。

两种算法的最优结果各自为472.465和466.64，显然相同的迭代次数下，改进算法优于经典算法。同时两种算法最优解运行结果及搜索过程如图5、图6所示。

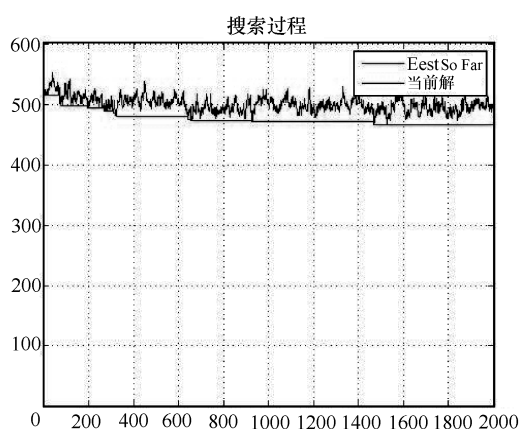


经典算法

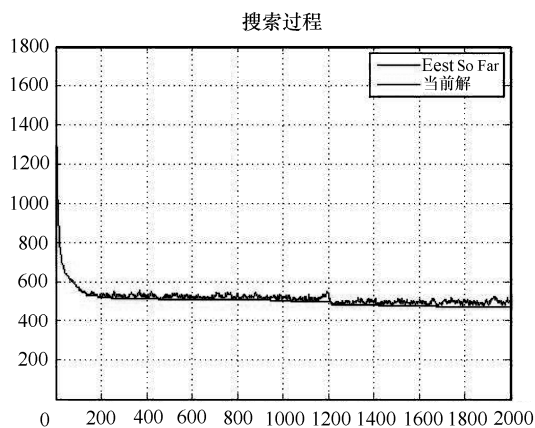


改进算法

图5 两种算法最优解运行



改进算法



经典算法

图6 两种算法搜索过程

从以上图表可以明显看出,由于改进禁忌搜索算法在初始解上的优越性,使得该算法能在相同的迭代次数下具有更加接近全局最优解的能力,改进禁忌搜索算法收敛速度更快。

3.2 随机初始解

下面随机给出初始解,对两种算法分别执行10次,并将结果与遗传算法、蚁群算法进行比较,结果列于表2,并计算出4组数据的平均值和标准差。

几种算法经过10次随机运行之后,可以发现无论从均值还是方差来看,改进禁忌搜索算法都稍微优于经典算法以及其他两种智能优化算法。其中,平均值说明了算法寻求全局最优解的能力,而方差则说明了不同算法的稳定性。

为了更清晰地描述改进算法相对于经典算法的优势,将上述10组数据分别按从小到大的顺序排列,进而做出仿真结果如图7所示。

表2 运行结果对比表

	经典禁忌搜索	遗传算法	蚁群算法	改进禁忌搜索
1	477.54	490.59	486.67	474.45
2	478.25	471.71	490.07	468.29
3	493.42	472.65	468.71	476.86
4	465.29	467.96	487.66	465.73
5	491.01	481.54	472.08	473.88
6	483.23	470.19	478.38	463.29
7	485.45	479.68	482.48	463.11
8	469.83	473.87	470.36	472.93
9	478.50	464.08	467.04	469.55
10	473.41	468.26	473.70	461.64
均值	479.59	474.05	477.71	468.97
方差	8.9088	7.8430	8.5114	5.412

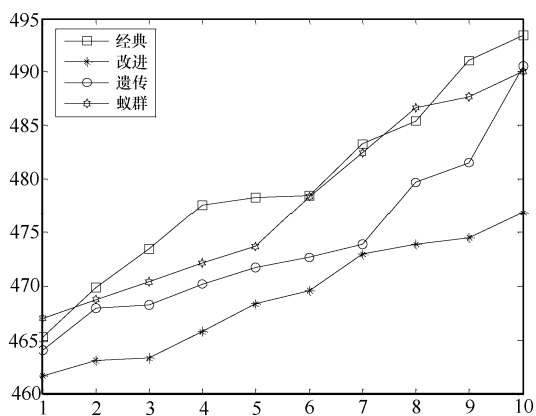


图7 仿真结果对比图

图7是对表2中各组数据的直观表述,更能清晰地看出四种算法的对比结果,无论从其最优解、平均值,还是波动来看,改进禁忌搜索算法都具有其一定的优势。

4 结束语

本文基于禁忌搜索算法对初始解有较大依赖性的不足,将其与最近邻点法相结合。对经典TSP中50个

城市的算例进行了仿真计算,运用最近邻点法产生了较优的初始解,并以此为基础进行禁忌搜索的流程,由此在相同的时间即迭代次数内,所求结果更趋于最优解。与此同时,在将改进算法与经典算法进行对比分析的同时,还将其与遗传算法与蚁群算法进行比较。算法各自执行 10 次之后,发现改进的算法从最优解质量,起伏程度都要优于其他经典算法。但是改进算法也存在一定的不足,即对解的质量并没有太过于明显的改善,这需要在以后的研究中对禁忌表等其他影响算法质量的因素作进一步的改进。

参 考 文 献

- [1] 周辉仁,唐万生,王海龙. 基于差分进化算法的多旅行商问题优化[J]. 系统工程理论与实践,2014,8:1471-1476.
- [2] 于海平,杨艳霞. 优化型蚁群算法在旅行商问题中的应用研究[J]. 计算机与数字工程, 2010,6: 22-25.
- [3] Glover F, Laguna M. Tabu Search[M]. Boston: Kluwer Academic Publishers, 1997.
- [4] 周培德. 求解货郎提问题的几何算法[J]. 北京理工大学学报, 1995, 15(1): 97-99.
- [5] 汪定伟, 等. 智能优化方法[M]. 北京: 高等教育出版社, 2007.4.
- [6] 张洪艳. 改进禁忌搜索算法在 TSP 问题中的应用[J]. 科技咨询, 2013,32:4-5.
- [7] Hall S N. A Group Theoretic Tabu Search Approach to the Traveling Salesman Problem [R]. Master's Thesis, Air Force Institute of Technology,2000.
- [8] 宋晓宇, 孟秋宏, 曹阳. 求解 Job Shop 调度问题的改进禁忌搜索算法[J]. 信息工程与电子技术, 2008, 30(1): 94-96.