

Tabu Search 集中性和多样性自动平衡下的增强搜索策略^{*}

雷开友¹ 王芳¹ 贺一^{1,3} 邱玉辉¹ 刘光远²

(西南师范大学计算机与信息科学学院 重庆 400715)¹ (西南师范大学电子信息工程学院 重庆 400715)²

(重庆师范大学现代信息管理系 重庆 400047)³

摘要 在禁忌搜索算法中,集中性搜索与多样性搜索是缺一不可但又相互矛盾的两个方面。本文提出了一种在禁忌搜索集中性和多样性自动平衡下的增强搜索策略算法,这种算法在集中性搜索与多样性搜索之间保持合理平衡的同时,又进一步对结果加强集中性搜索或者多样性搜索,以获全局最优解。以组合优化中的典型难题 TSP 为例,通过自动更换邻域、候选集,较好地解决了集中性搜索与多样性搜索的冲突。仿真实验表明,解的质量提高了,验证该算法有效。

关键词 禁忌搜索,集中性搜索,多样性搜索,TSP 问题

A Fortified Search Strategy of Intensification and Diversification in Tabu Search

LEI Kai-You¹ WANG Fang¹ HE Yi^{1,3} QIU Yu-Hui¹ LIU Guang-Yuan²

(Faculty of Computr & Information Science, Southwest-China Normal University, Chongqing 400715)¹

(School of Electronic & Information Engineering, Southwest-China Normal University, Chongqing 400715)²

(Dept. of Modern Information Management Science, Chongqing Normal University, Chongqing 400047)³

Abstract Intensification and diversification are two highly important components of tabu search, which conflict each other in many cases. We proposed a fortified search strategy that can encourage searching to the known solution more thoroughly, and can retain reasonable balance between intensification search and diversification search at the same time in order to get global optimal. Taking the classical combinatorial optimization problem TSP as samples, the conflict between intensification and diversification can be harmonized effectively by updating neighborhood and candidate automatically. Finally we give the experimental results.

Keywords Tabu search, Intensification, Diversification, TSP problem

1 引言

禁忌搜索算法(Tabu Search-TS)是一种应用广泛的解决组合优化问题的全局优化算法^[1]。上世纪 70 年代末, F. Glover 率先提出 TS 算法的基本思想,并将其应用于解决非线性整数规划问题中。近年来,随着计算机技术的发展, TS 算法近年被成功地应用于众多领域内,并有效地解决了大量的实际组合优化问题,诸如,图形着色问题、生产调度问题、旅行商问题等^[1]。

在 TS 中,集中性(intensification)搜索策略用于加强对当前搜索到的优良解的邻域做进一步的更为充分的搜索,以期能找到全局最优解,多样性(diversification)搜索策略则用于拓宽搜索区域尤其是未知区域,特别是当搜索陷于局部最优时,多样性搜索可改变搜索的方向,跳出局部最优,从而实现全局优化。为了使搜索更有效,在分析集中性搜索与多样性搜索结果后,选择进一步的搜索方向,加强搜索以快速实现全局优化,这就是本文增强策略。近期研究显示,集中性搜索和多样性搜索策略是同等重要的,但又是相互矛盾的,在加强搜索时,就更应合理平衡集中性搜索和多样性搜索能力,本文以组合优化中的典型难题 TSP 作为测试算例,提出了一种自动平衡集中性与多样性下的增强搜索策略。实验结果表明,解的质量提高了,验证该算法有效可行。

2 算法提出

2.1 TS 中集中性搜索与多样性搜索策略基本思想

在 TS 中,构成算法的设计框架为邻域结构、禁忌表、禁忌长度、候选集、特赦规则等,其中,禁忌表用来避免迂回搜索,藐视准则来赦免一些被禁忌的优良状态,从而最终实现全局优化。通常,集中性搜索通过最优或次优解的初始化实现集中性搜索策略,多样性搜索通过使用基于频率记忆或改变其参数来实现多样性搜索策略,在问题规模数较大时,搜索往往得不到理想的效果,近年来许多学者对禁忌搜索地作了改进,详见文[2~12,14]。

2.2 一种集中性与多样性的自动平衡的增强搜索策略

集中性搜索策略与多样性的搜索策略是 TS 的两个方面,缺一不可,何时进行集中性搜索,何时进行多样性搜索常常难以确定,但目的都是要得到更好的解。本文结合以上文献提出了一种自动平衡集中性搜索与多样性搜索的增强策略,既增强搜索,又通过自动交换邻域、候选集来使集中性搜索与多样性搜索达到合理平衡。现详述如下:

(1) 邻域控制策略

将邻域分为两个,一个为集中性邻域,用于集中性搜索;一个为多样性邻域,用于多样性搜索,如图 1 所示。

①用插入法产生高质量集中性邻域集,即城市规模为 n

^{*} 本文受到教育部科学技术重点项目(NQ. 104262)和重庆市科委基金项目(2003-7881)共同资助。雷开友 副教授,博士研究生,研究方向为神经网络与计算智能。王芳 讲师,博士研究生,研究方向为神经网络与计算智能。贺一 讲师,博士研究生,研究方向为神经网络与计算智能。邱玉辉 教授,博士生导师,美国 IEEE 高级会员,长期从事非单调推理、近似推理、神经网络、机器学习和分布式人工智能的教学和研究工作。刘光远 教授,硕士生导师,主要研究方向为神经网络、模糊控制及现代优化方法。

的 TSP 初始解序列中任取一城市,插入到余下的 $n-1$ 个城市序列中,取巡回路径长度增加最短的一个序列作为集中性邻域中的一个序列。分别取下一个城市,重复上述过程,直至 n 个序列生成完毕。

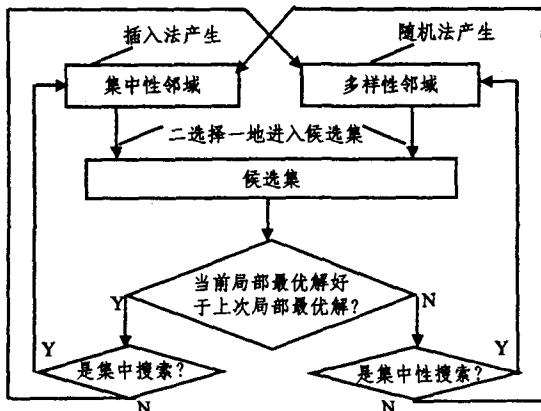


图1 邻域、候选集及控制策略框图

②用随机法产生多样性邻域,即城市规模为 n 的 TSP 初始解序列随机交换两城市生成要多而广多样性邻域,尽可能是以以前未曾搜索过的区域,所以用随机法产生。

(2) 候选集控制策略

候选集总是选择集中性邻域中最好序列或者选择多样性邻域中随机序列组成。但算法迭代第一步时,总是从集中性邻域开始,候选集也总是选择集中性邻域中最好序列组成。

①若本次迭代搜索到的当前局部最优解好于前一次迭代所得的局部最优解,则候选集继续从该邻域选择序列,即增强搜索策略。

②若本次迭代搜索到的当前局部最优解等于或劣于前一步迭代所得的局部最优解,则候选集从另一邻域选择序列,即集中性和多样性自动平衡的搜索策略。

(3) 本策略的优点

当搜索得到解的质量有提高时,则候选集继续选择该邻域中的序列,以最大概率进行集中性搜索,即用于加强对当前搜索到的优良解的邻域做进一步的更为充分的搜索,以期能找到全局最优解,符合集中性原则;反之,当解的质量没有提高时,则候选集选择另一邻域中的序列,以最大概率进行多样性搜索,即用于拓宽搜索区域尤其是未知区域,特别是当搜索陷于局部最优时,多样性搜索可改变搜索的方向,跳出局部最优,从而以期实现全局优化,符合多样性原则;增强策略进一步对优良解的发现;这样,TS 既加强搜索又能根据搜索进程中解的质量好坏而自动地进行邻域选择,确定下一次候选集内容,较好地解决了集中性搜索与多样性搜索之间的平衡问题。

2.3 算法基本步骤

针对 TSP 所设计的 TS 算法的基本步骤:

STEP1 算法参数设定;

STEP2 生成初始解,作为迭代搜索的起点;

STEP3 根据集中性与多样性的搜索策略生成集中性邻域与多样性邻域;

STEP4 从集中性邻域或多样性邻域选取所需序列构成候选集;

STEP5 根据评价函数,从候选集中选出未被禁忌表禁忌的当前局部最优解;

STEP6 更新禁忌表;

STEP7 根据候选集选择策略确定下一次搜索运行方式;

STEP8 判断是否满足终止条件(设为限定最大迭代步数),若满足则输出最优解,终止算法;若不满足,则将当前局部最优解作为下次迭代的起点,转 STEP3。

其中,初始解生成方法是取前三个城市,形成一个最小回路,在余下的城市中,取第四城市,插入到上述回路中,使回路的长度增加最短,重复取第五、第六……城市,直至所有城市插入完毕。

3 计算机仿真实验

3.1 测试算例

本文测试算例的原始数据来自文[13],选取了 6 个对称 TSP 算例:eil51, eil76, eil101, pr124, pr136 和 kroA200,其问题规模分别为 51, 76, 101, 124, 136 和 200 个城市,文[13]中给出了已知的全局最优解,分别为 426, 538, 629, 59030, 96772 和 29368,以检验算法的有效性。

3.2 算法参数设置

本文 TS 算法参数的具体设置如表 1 所示。

表1 算法参数设置

TSP	P-size	TL	NL	CL	I-max
eil51	51	2 * 51	4 * 51	20	1500
eil76	76	2 * 76	4 * 76	20	1500
eil101	101	2 * 101	4 * 101	30	1500
pr124	124	2 * 124	4 * 124	30	1500
pr136	136	2 * 136	4 * 136	30	1500
kroA200	200	2 * 200	4 * 200	30	1500

注:P-size—program size,即 TSP 的城市数;TL—禁忌长度(tabu length);CL—候选集大小(candidate length);I-max—最大迭代步数(iterance maximum);

3.3 仿真结果

对于每个算例,程序均运行 25 次,得到 25 个结果,全部计算结果的统计如表 2 所示。

表2 仿真结果统计

TSP	K-opt	解的质量(路径长度)				收敛速度(迭代步数)	
		Min	Max	Average	STD	Max	Min
eil51	426	427	449	438.07	4.8364	1113	1
eil76	538	556	592	567.83	7.8616	1394	4
eil101	629	638	688	657.35	8.8342	1243	3
pr124	59030	59030	59881	59385	247.5682	1349	2
pr136	96772	97471	99517	98383	621.2462	1231	6
kroA200	29368	29742	30478	30224	207.6732	1443	9

注:K-opt:已知最优解(known optimum);STD:标准差(standard deviation)

3.4 巡回路径示意图

具有代表性的 eil51、kroA200TSP 的巡回路径如图 2、图 3 所示。

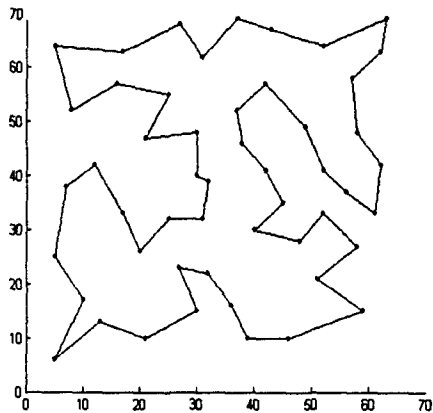


图 2 eil51 的巡回路径(本文所求解为 427)

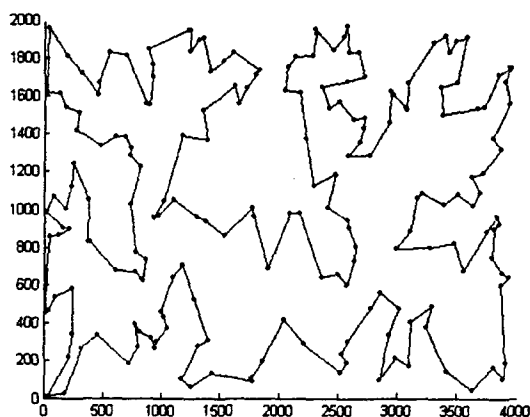


图 3 kroA200 的巡回路径(本文所求解为 29742)

4 讨论

4.1 与其他算法的对比

对于 TSP,文[14]比较研究了用 3 种神经网络方法和 1 种禁忌搜索算法的求解,3 种神经网络方法分别是:

(1)GSOM-HPP,即普通自组织映射神经网络(generalization of self-organizing map);

(2)KNIES-HPP-Local,即基于局部统计的 Kohonen 自组织网络(Kohonen network incorporating explicit statistics, the mean of neurons moving exactly onto the local mean only of cities represented by the neurons currently on the band);

(3)KNIES-HPP-Gocal,即基于全局统计的一种改进的 Kohonen 自组织网络(Kohonen network incorporating explicit statistics, the mean of neurons moving towards the global mean of all the cities by assuming that we attempt to always migrate towards the global mean of all the cities);

1 种禁忌搜索算法是自适应策略禁忌搜索算法(ANAS-TS),即 Tabu search 中集中性和多样性的自适应搜索策略(A novel adaptive search strategy of intensification and diversification in tabu search);

在文[10]的表 3 中给出了分别用这 3 种方法和 1 种禁忌搜索算法求解 TSP 的最好结果,现与本文所求的最好结果相比较,详见表 3。

表 3 本文算法与其他 4 种算法求解质量的比较

TSP	GS	KL	KG	ANAS-TS	本文算法
eil51	438.74	431.36	432.13	427	427
eil76	575.02	566.03	570.72	557	556
eil101	661.58	653.33	649.09	640	638
pr124	61392.61	58725.41	60474.06	59030	59030
pr136	101946.20	102126.41	103017.67	97100	97471
kroA200	29871.91	29732.98	30174.88	29807	29742

注:GS: GSOM-HPP;KL:KNIES-HPP-Local;KG:KNIES-HPP-Gocal

结论 在表 3 中,比较可以看出,本文算法的数据最好的值均好于用 3 种神经网络方法所求结果中最好的值;对于求解 Pr136,本文算法所求结果仅比用自适应策略禁忌搜索算法(ANAS-TS)求解的略差,也就是说,在求解 TSP 时,本文算法总体上要好于以上 4 种方法。

综上所述,我们可得出结论:本文所提出 Tabu Search 中集中性和多样性自动平衡的增强搜索策略较好地解决了 TS 中集中性与多样性的矛盾,且该策略是可行的、有效的。

参考文献

- Glover F, Laguna M. Tabu Search. Boston: Kluwer Academic publishers, 1997
- Ferland J A, Soumia I, Alain L, et al. Scheduling using tabu search with intensification and diversification. Computer & Operation Research, 2001, 28(11): 1075~1092
- Chelouch R, Siarry P. Tabu search applied to global optimization. European journal of Operation Research, 2000, 123(2): 256~270
- Michel G, Gilbert L, Frédéric S. Atabu search heuristic for the undirected selective traveling salesman problem. European journal of Operation Research, 1998, 106(23): 539~545
- 贺一, 刘光远. 禁忌搜索算法求解旅行商问题的研究. 西南师范大学学报(自然科学版), 2002, 27(3): 341~345
- 贺一, 刘光远. 变异操作对禁忌搜索性能的影响研究. 计算机科学, 2002, 29(5): 115~116
- Ferland J A, Ichoua S, Lavoie A, Gagné E. Scheduling using tabu search with intensification and diversification. Computer & Operations Research, 2001, 28(11): 1075~1092
- Liu Guangyuan, He Yi, Qiu Yuhui, Yu Juebang. Research on Influence of Solving Quality Based on Different Initializing Solution Algorithm in Tabu Search. In: Proc. of Intl. Conf. on Communications Circuits and Systems and West Sino Expositions, Chengdu, China, IEEE Press, 2000. 1141~1145
- Liu Guangyuan, He Yi, Fang Yonghui, Qiu Yuhui. A NOVEL ADAPTIVE SEARCH STRATEGY OF INTENSIFICATION AND DIVERSIFICATION IN TABU SEARCH. In: Proc. of IEEE Intl. Conf. on Neural Network and Signal Processing, Nanjing, China, IEEE Press, 2003, 428~431
- Zhang Hongbin, Sun Guangyu. Feature selection using tabu search method. Pattern Recognition, 2002, 35(3): 701~711
- 刑文训, 谢金鑫. 现代优化计算方法. 北京: 清华大学出版社, 1999
- 王凌. 智能优化算法及其在应用. 北京: 清华大学出版社, 2001
- TSPLIB G R. 2001. <http://www.iwr.uniheidelberg.de/groups/comopt/software/TSPLIB95/>
- 贺一, 刘光远, 邱玉辉. Tabu search 中集中性和多样性的自适应搜索策略. 计算机研究与发展, 2004, 41(1): 162~166