

基于二点组合算法的旅行商问题应用性能分析

赵玉章¹, 郭文强^{1,2}, 冯昊³

(1. 新疆财经大学 计算机科学与工程学院, 新疆 乌鲁木齐 830012;

2. 电子科技大学 计算机科学与工程学院, 四川 成都 610054;

3. 新疆公安厅 十一处计算机科, 新疆 乌鲁木齐 830009)

摘要:旅行商问题模型应用广泛,其求解策略的研究具有重要的理论和实践意义。为高效快速解决旅行商问题,给出一种基于环路改造的二点组合算法,即选取一条汉密尔顿环路作为目标解,任取两个顶点删除与之相关的边形成2至4个环路片断,对这些环路片断进行排列组合,尝试寻找更优的解替换目标解的方法。仿真实验结果表明,该算法的计算效率和计算误差性能皆优于蚁群算法,实际应用结果也表明本算法在解决中小规模旅行商问题时的实用性。因此,本算法具有较强的理论价值和较强的实用价值,可以较好地完成中等规模的TSP问题,且适用于一系列的优化组合问题。

关键词:旅行商问题;二点组合算法;环路改造

中图分类号:TP181

文献标识码:A

文章编号:1673-629X(2011)10-0137-03

Performance Analysis of Two Vertices Combination Algorithm in TSP

ZHAO Yu-zhang¹, GUO Wen-qiang^{1,2}, FENG Hao³

(1. School of Computer Sci. and Eng., Xinjiang University of Finance and Economics, Urumchi 830012, China;

2. School of Computer Sci. and Eng., University of Electronic Sci. and Technology, Chengdu 610054, China;

3. Computer Section of Eleven Department, Xinjiang Public Security Bureau, Urumchi 830009, China)

Abstract: In order to efficiently solve TSP problem, given a two vertices combination algorithm based on loop transformation. Hamilton Circle is selected as the target of a solution, take any two vertices associated with edges removed to form 2 to 4 loop clips, clips of permutations and combinations of these loops, try to find better solutions replaced target solution method. Comparing this method with ant colony algorithm, its time complexity and computational accuracy are better than those of the latter. The results show that this proposed algorithm possesses a better practicability in solving the middle and small scale traveling salesman problem. So, this method has strong theoretical and practical value. It can better complete the medium-scale TSP problems, and it applied to a series of optimization.

Key words: traveling salesman problem; two vertices combination algorithm; loop transformation

0 引言

旅行商问题(Traveling Salesman Problem, TSP)是一个易于描述但难于解决的著名的NP-Hard问题,也是运筹学以及最优化理论等领域中的一个经典问题^[1]。由于该问题的广泛应用,故长期以来吸引着许多领域的研究人员采用各种方法对它进行求解^[2,3]。它可以简单描述为:给出一条遍历给定的若干个城市中所有城市的最短路径^[4]。目前,研究TSP问题主要采用启发式算法,环路改进算法就是一类典型的启发

式算法,即通过比较目标解和局部最优解的优劣而逐步改变解^[5-8]。

文中给出的二点组合算法就是一种环路改造算法,即选取一条汉密尔顿环路作为目标解,任取两个顶点删除与之相关的边形成2至4个环路片断,对这些环路片断进行排列组合,尝试寻找更优的解替换目标解^[9]。与经典的蚁群算法相比,时间复杂度相等,但计算效率和计算误差性能皆优于后者^[10-12]。

1 二点组合算法性能分析

本节将以实际测试结果从多个不同侧面分析二点组合算法的时间复杂度、计算效率、计算误差等性能,测试全部采用随机起始环路进行计算,以保证试验性能不受初始环路的影响。

收稿日期:2011-01-30;修回日期:2011-07-05

基金项目:国家自然科学基金资助项目(60902074);新疆高校科研计划项目(XJEDU2009S79)

作者简介:赵玉章(1956-),男,副教授,研究方向为算法分析、信息管理;郭文强,博士,教授,博士后,研究方向为人工智能,信息安全。

1.1 实测数据的要求和环境

(1) 测试环境:联想开天 4600 (CUP P4 1.7G,内存 256M)安装 Window XP 2002 操作系统。

(2) 测试内容:利用 TSP-LIB 中的数据实例,采用 EUC_2D 地图格式,结点范围为 50-500,地图数量为 40。

(3) 测试方法:对 40 组不同地图,运行二点组合算法 1000 次(部分运行 10000 次),保留最好结果,称为最小解。矩阵值为四舍五入求整。

(4) 误差计算方法:所有地图均提供通过证明的最佳解。误差=(最小解-最佳解)/最佳解。

1.2 计算精度分析

使用二点组合算法,对 30 组规模不同的 TSP 问题求解结果,最小解为计算 1000 次的结果,最优解为目前已证明的最优解,计算时间的单位为毫秒,计算结果如表 1 所示。

表 1 二点组合算法结果表

序号	地图名	结点	最小解	最优解	误差	耗时(ms)
1	EIL51	51	427	426	0.23%	2640
2	BERLIN52	52	7542	7542	0.00%	3046
3	ST70	70	675	675	0.00%	4969
4	PR76	76	108159	108159	0.00%	6594
5	EIL76	76	540	538	0.37%	5562
6	RD100	100	7944	7910	0.43%	11141
7	KROE100	100	22079	22068	0.05%	11141
8	KROD100	100	21439	21294	0.68%	11000
9	KROC100	100	20749	20749	0.00%	11281
10	KROB100	100	22199	22141	0.26%	10843
11	KROA100	100	21282	21282	0.00%	11531
12	EIL101	101	639	629	1.59%	10203
13	LIN105	105	14379	14379	0.00%	13640
14	PR107	107	44303	44303	0.00%	13812
15	PR124	124	59030	59030	0.00%	20671
16	BIER127	127	118822	118282	0.46%	19375
17	CH130	130	6199	6110	1.46%	19453
18	PR136	136	98178	96772	1.45%	21578
19	PR144	144	58537	58537	0.00%	30000
20	CH150	150	6592	6528	0.98%	26188
21	PR152	152	73840	73682	0.21%	32750
22	U159	159	42080	42080	0.00%	33250
23	D198	198	15862	15780	0.52%	54922
24	KROB200	200	30300	29437	2.93%	48750
25	KROA200	200	29924	29368	1.89%	50078
26	TS225	225	126643	126643	0.00%	67843
27	TSP225	225	4018	3916	2.60%	64625
28	PR226	226	80571	80369	0.25%	78234
29	GIL262	262	2433	2378	2.31%	90375
30	PR264	264	49696	49135	1.14%	105140

根据表 1 可知,结点数量和误差不存在严格的正比关系。

如地图 TS225,拥有顶点 225 个,计算误差为 0%,而地图 EIL101 拥有顶点 101 个,误差却为 1.6%。但是从整体趋势来看,顶点数量越大,获得误差也可能越大。

结点数量-误差统计结果如表 2 所示。由表 2 明确看出,随着顶点数量的增加,二点组合算法的误差将会有小幅度增加。顶点数在 1-100 范围内,平均误差为 1%;顶点数在 100-200 范围内,平均误差为 1%,顶点数在 200-300 范围内,平均误差为 1.7%,所以可以得到结论:二点组合算法在平面地图顶点 300 以下,计算 1000 次就可以得到较好结果。

表 2 结点数量-误差

按顶点数分段	测试样本数	平均误差
1-100	11	0.18%
101-200	16	0.95%
201-300	7	1.73%
301-400	2	3.33%
400-500	4	2.89%
合计	40	1.19%

1.3 时间复杂度分析

根据表 2 绘制图 1,由此图可以看出,随着地图顶点数的增加,消耗的时间也在增加。图中柱型图为消耗时间,曲线为顶点平方辅助线,由图可知,程序消耗时间随顶点增长速度比顶点平方辅助线增长速度略快一些。说明,单次运行二点组合算法的时间复杂度大于 $\Theta(n^2)$ 。

1.4 样本和误差关系

取地图 TS255,将 1000 次计算结果,当作样本绘制图 2 进行分析。由图 2 可以看出,任意种子值得到的误差在 0% ~ 13% 之间,同时也可以看出任意种子值和计算误差无必然联系,也就是说使用二点组合算法进行运算,仅运算一次就求出最优解的可能性不大,运算次数越多,可能获得最优解的概率越大。同时也证明二点组合算法,因对解限制了严格的条件,所以求得解的误差本身就是在一定范围的。

继续以 TS255 做分析,取各阶段误差在 1000 次计算中命中次数绘制图 3,同时取各阶段误差在 10000 次计算中命中次数绘制图 4,分析两图可以得知,二点组合算法每次运算可能得到的误差分布并不是均匀的,而是呈现出正态分布的趋势,说明随着数据规模的增加,其最优解的求解难程度也增大。

1.5 最优解分析

最优解:经过证明的图中具有最小长度的汉密尔

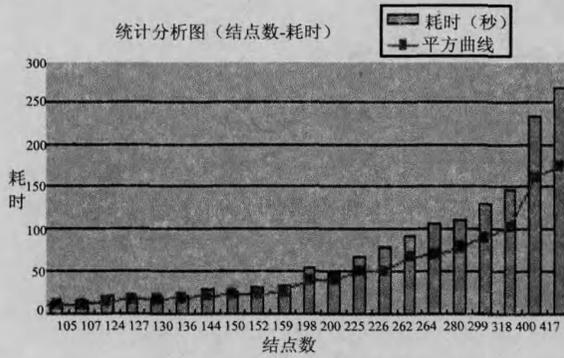


图 1 结点数-误差

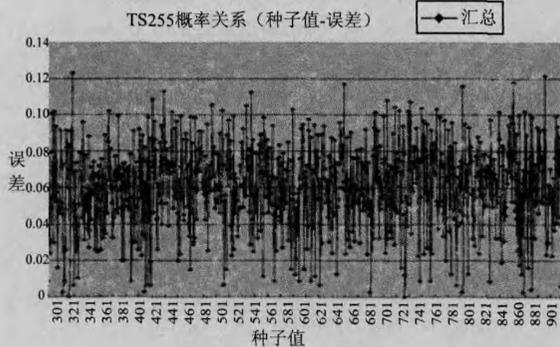


图 2 样本-误差

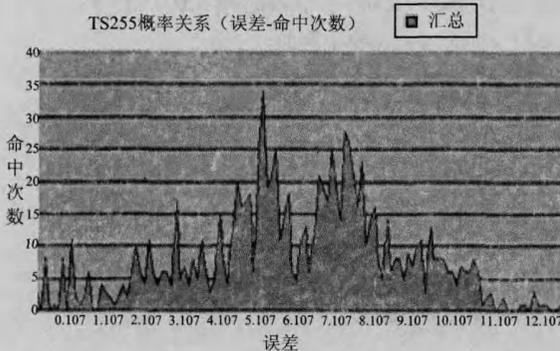


图 3 样本数量-误差

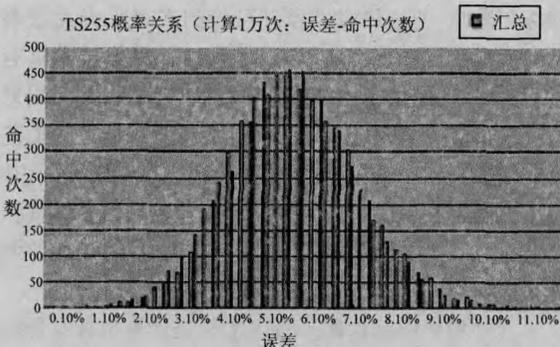


图 4 大样本数量-误差

顿环路。以 KROC100 为例,最优解为 20749。

利用二点组合法计算 20 次,最小解 21152,误差为 1.94%。

(1:21152, 2:21788, 3:22139, 4:21790, 5:22213, 6:21428, 7:21757, 8:21906, 9:22424, 10:21912, 11:

21470, 12:21758, 13:23599, 14:21436, 15:21886, 16:22676, 17:21917, 18:21677, 19:22399, 20:22231)

将这 20 次的解,全部绘制一张网格,如图 5 所示。可以发现虽然最优解 20 次没有计算出来,但是最优解的所有边均在这张网格中。

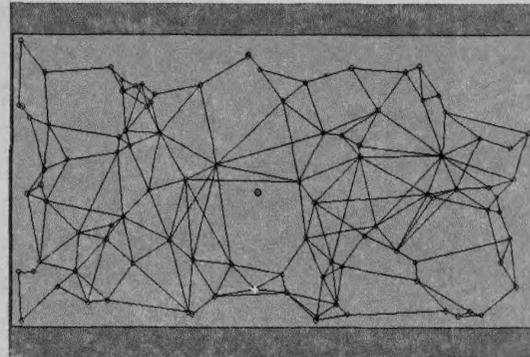


图 5 网格图

继续对网格分析,发现网格每条边被重新绘制的次数不同,最多被绘制了 20 次,表示在 20 次二点组合法中,每个解均含有该边。可以发现明显的规律,被绘制的次数越多,代表是最优解的概率越大,本例中,被绘制超过 17 次以上的边有 65 条,全部是最优解,占最优解的 65%。通过分析可知,绘制次数越多的边,是最优解的概率越大,所以可以计算小数量的二点组合运算,确定最优解所包含边的范围,以大概率边为主干、以小概率边为辅助,进行汉密尔顿环路的遍历,从而解决更大规模的 TSP 问题。

2 结束语

通过对测试结果分析可知,二点组合法的解样本呈正态分布,可以做简单的交集操作,对降低启发集的规模有实际意义,对于中小规模的 TSP 问题,效果比较理想,同时二点组合法在计算效率和计算误差性能上优于蚁群算法。

二点组合法具有较强的理论价值,同时具有较强的实用价值,可以较好地完成中等规模的 TSP 问题,还适用于一系列的优化组合问题:如二次分配问题、大规模集成电路综合布线问题和车辆路径选择问题等。

参考文献:

[1] 陈国良,王熙法,庄镇泉,等. 遗传算法及其应用[M]. 北京:人民邮电出版社,1996.

[2] 孙宛丽,王敏,李颖. 求解 TSP 问题的一种启发式算法[J]. 计算机技术与发展,2010,20(10):70-74.

[3] 徐金荣,李允,刘海涛. 一种求解 TSP 的混合遗传蚁群算法[J]. 计算机应用,2008,28(8):2084-2088.

[4] 玄光男,程润伟. 遗传算法与工程优化[M]. 北京:清华大学出版社,2004.

(下转第 232 页)

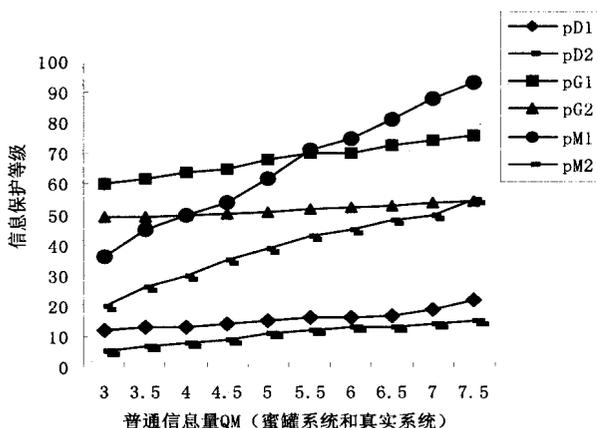


图 4 普通信息与安全等级

5 结束语

为了评价最优信息防御等级,文中提出基于攻防博弈的系统防御等级评价模型,实验数据分析结果表明,其研究方法能针对各自不同的信息结构制定最佳防御等级。

需要指出,按照信息安全经济学成本效益博弈分析方法决策,实现起来比讨论要难很多,文中模型提及的若干假设是基于常态环境的假设,现实中存在诸多不可控因素。比如,信息系统正常运行过程中并不能准确把握入侵者的具体人数以及入侵时间;另外,入侵者可能不以某种经济利益为目的攻击信息系统。因此,要从信息安全经济学角度全面分析系统攻防体系,还需要针对类似这些问题进行深入研究,也是今后值得研究的重点。

(上接第 139 页)

[5] Tsai Cheng-fa, Tsai Chun-wei, Tseng Ching-chang. A new hybrid heuristic approach for solving large traveling salesman problem[J]. Information Sciences, 2004, 166(1): 67-81.

[6] 邹鹏, 周智, 陈国良, 等. 求解 TSP 问题的多级归约算法[J]. 软件学报, 2003, 14(1): 35-42.

[7] 许丽佳, 蒲海波, 蒋宏健. 改进遗传算法的路径规划研究[J]. 微计算机信息, 2006, 22(2): 251-253.

[8] Helsgaun K. An effective implementation of the Lin-Kernighan traveling salesman heuristic[J]. European Journal of Operational Research, 2000, 126(1): 106-130.

参考文献:

[1] 孙剑颖. 企业信息安全投资的经济学决策模型浅析[J]. 东北财经大学报, 2005(3): 67-68.

[2] 姜伟, 方滨兴, 田志宏, 等. 基于攻防博弈模型的网络安全测评和最优主动防御[J]. 计算机学报, 2009, 32(4): 818-819.

[3] Lee Wenke. Toward cost-sensitive modeling for intrusion detection and response[J]. Journal of Computer Security, 2002, 10(1-2): 10-20.

[4] Jiang Wei. A game theoretic method for decision and analysis of the optimal active defense strategy[C]//Proceedings of the International Conference on Computational Intelligence and Security. Harbin, China: [s. n.], 2007: 819-820.

[5] Burke D. Towards a game theory model of information warfare[R]. [s. l.]: Airforce Institute of Technology, 1999.

[6] Lye K W, Wing J. Game strategies in network security[R]. Pittsburgh: School of Computer Science, Carnegie Mellon University, 2002.

[7] 孟祥宏. 信息安全攻防博弈研究[J]. 计算机技术与发展, 2010, 20(4): 160-162.

[8] 吉鸿珠, 顾乃杰. 基于博弈论的网络安全量化评估算法[J]. 计算机应用与软件, 2009, 26(9): 4-6.

[9] 孙薇. 组织信息安全投资中的博弈问题研究[D]. 大连: 大连理工大学, 2008.

[10] 吕俊杰, 邱苑华, 王元卓. 网络安全投资外部性及博弈策略[J]. 北京航空航天大学学报, 2006, 32(12): 1499-1502.

[11] 石进, 陆音, 谢立. 基于博弈理论的动态入侵响应[J]. 计算机研究与发展, 2008, 45(5): 750-755.

[12] 王军. 信息安全的经济学分析及管理策略研究[D]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学, 2007.

[9] Warlimont R. On the iterates of Euler's function[J]. Arch-Math, 2001, 76: 345-349.

[10] Ong H L. Worst-Case Analysis of Two Traveling Salesman Heuristics[J]. Operations Res, 1984, 86(3): 273-277. [11] 宋世杰, 刘高峰, 周忠友, 等. 基于改进蚁群算法求解最短路径和 TSP 问题[J]. 计算机技术与发展, 2010, 20(4): 144-147.

[12] 谢胜利, 唐敏, 董金祥. 求解 TSP 问题的一种改进的遗传算法[J]. 计算机工程与应用, 2002, 38(8): 58-62.

2011 CCF 中国计算机大会

第八届 CCF 中国计算机大会(2011 CCF China National Computer Conference, CCF CNCC2011)将于 2011 年 11 月 24-26 日在深圳市会展中心举行。欢迎全国各界人士踊跃参加。会议网站: <http://sewm2011.hbu.cn>

会议咨询: 张明, 袁方 (sewm2011@hbu.cn, 13933221661)