第四章 禁忌搜索(I)

Tabu Search, TS

学习内容

- ■引言
- 示例
- 算法流程
- ■算法特点
- 算法收敛性
- 算法设计
- 并行TS算法
- 算法应用

引言

■ 禁忌搜索(Tabu Search或Taboo Search, TS)的 思想最早由Glover(1986)提出,它是对局部邻域搜索的一种扩展,是一种全局逐步寻优算法,是对人类智力过程的一种模拟。TS算法通过引入一个灵活的存储结构和相应的禁忌准则来避免迂回搜索,并通过藐视准则来赦免一些被禁忌的优良状态,进而保证多样化的有效探索以最终实现全局优化。



■ 局部邻域搜索是基于贪婪思想持续地在当前解的邻域中进行搜索,虽然算法通用易实现,且容易理解,但其搜索性能完全依赖于邻域结构和初始解,尤其容易陷入局部极小而无法保证全局优化性。



- •针对局部邻域搜索,为了实现全局优化,可尝 试的途径有:
 - -以可控性概率接受劣解来逃逸局部极小,如SA;
 - -扩大邻域搜索结构,如TSP的2opt扩展到k-opt;
 - -多点并行搜索,如GA;
 - -变结构邻域搜索;
 - -采用TS的禁忌策略尽量避免迂回搜索,它是一种确定性的局部极小突跳策略。



禁忌搜索是人工智能的一种体现,是局部邻域搜索的一种扩展。禁忌搜索最重要的思想是标记对应已搜索到的局部最优解的一些对象,并在进一步的迭代搜索中尽量避开这些对象(而不是绝对禁止循环),从而保证对不同的有效搜索途径的探索。



- •禁忌搜索涉及的概念:
 - -邻域(neighborhood)
 - -禁忌表(tabu list)
 - -禁忌长度(tabu length)
 - -候选解(candidate)
 - -藐视准则(aspiration criterion)等

示例

■ 组合优化是TS算法应用最多的领域。置换问题,如TSP、调度问题等,是一大批组合优化问题的典型代表,在此用它来解释简单的禁忌搜索算法的思想和操作。对于 n 元素的置换问题,其所有排列状态数为 n!,当 n 较大时搜索空间的大小将是天文数字,而禁忌搜索则希望仅通过探索少数解来得到满意的优化解。



• 定义一种邻域搜索结构,如互换操作,则每个状态的邻域解有 $C_n^2 = n(n-1)/2$ 个。称从一个状态转移到其邻域中的另一个状态为一次移动(move),显然每次移动将导致**适配值**(反比于目标函数值)的变化。其次,采用一个存储结构来区分移动的属性,即是否为禁忌"对象"。

一示例

- 考虑7元素的置换,用每一状态的相应21个邻域解中最优的5次移动(对应最佳的5个适配值) 作为候选解;
- 为一定程度上防止迂回搜索,每个被采纳的移动在禁忌表中将滞留3步(即禁忌长度),即次移动在以下连续3步搜索中将被视为禁忌对象;
- ■由于当前的禁忌对象对应状态的适配值可能很好,因此若禁忌对象对应的适配值优于"best so far"状态,则无视其禁忌属性而仍采纳其为当前选择,即藐视准则(或称特赦准则)。



第1步: 当前解

适配值: 10

候选解

2 5 7 3 4 6 1

禁忌表

5, 4	6*
7, 4	4
3, 6	2
2, 3	0
4, 1	-1



第2步

第2步: 当前解

适配值: 16

候选解

2 4 7 3 5 6 1

禁忌表

3, 1	2*
2, 3	1
3, 6	-1
7, 1	-2
6, 1	-4



第3步: 当前解

适配值: 18

候选解

2 4 7 1 5 6 3

禁忌表

2 3 4 5 6 7

1 2 3 4 5 6 7

2 4 2 5 6

1, 3	-2T
2, 4	-4*
7, 6	-6
4, 5	-7T
5, 3	-9



第4步

第4步: 当前解

适配值: 14

候选解

4 2 7 1 5 6 3

禁忌表

4, 5	6T*
5, 3	2
7, 1	0
1, 3	-3T
2, 6	-6



第5步: 当前解

适配值: 20

候选解

5 2 7 1 4 6 3

禁忌表

7, 1	0*
4, 3	-3
6, 3	-5
5, 4	-6T
2, 6	-8

说明

■ 简单禁忌搜索是在邻域搜索的基础上,通过设置禁忌表来禁忌一些已经历的操作,并利用藐视准则来奖励一些优良状态,其中邻域结构、候选解、禁忌长度、禁忌对象、藐视准则、终止准则等是影响禁忌搜索算法性能的关键。



- 需要指出的是:
 - 首先,由于TS是局部邻域搜索的一种扩充,因此邻域结构的设计很关键,它决定了当前解的邻域解的产生形式和数目,以及各个解之间的联系。
 - 其次,出于改善算法的优化时间性能的考虑,若邻域结构决定了大量的邻域解(尤其对大规模问题,如TSP的SWAP操作将产生个邻域解),则可以仅尝试部分互换的结果,而候选解也仅取其中的少量最佳状态。



- 禁忌长度是一个很重要的关键参数,它决定禁忌对象的任期,其大小直接进而影响整个算法的搜索进程和行为。同时,以上示例中,禁忌表中禁忌对象的替换是采用FIFO方式(不考虑藐视准则的作用),当然也可以采用其他方式,甚至是动态自适应的方式。
- 藐视准则的设置是算法避免遗失优良状态, 激励对优良状态的局部搜索,进而实现全局 优化的关键步骤。



- 对于非禁忌候选状态,算法无视它与当前状态的适配值的优劣关系,仅考虑它们中间的最佳状态为下一步决策,如此可实现对局部极小的突跳(是一种确定性策略)。
- 为了使算法具有优良的优化性能或时间性能, 必须设置一个合理的终止准则来结束整个搜索过程。



此外,在许多场合禁忌对象的被禁次数 (frequency)也被用于指导搜索,以取得更大 的搜索空间。禁忌次数越高,通常可认为出 现循环搜索的概率越大。

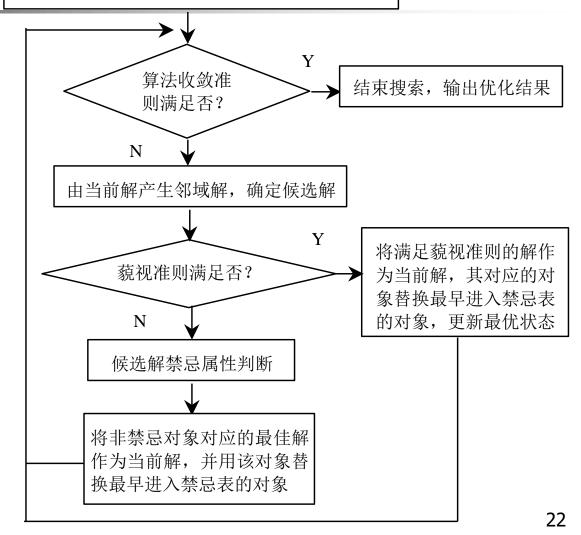


第 k 步: 当前解			适	配值:	12	候选解					
1	3	6	2	7	5	4		SWAP	与	当前解	惩罚值
禁忌表						的适配值差					
	1	2	3	4	5	6	7				
1				3				1, 4		3	3T
2								2, 4		-1	-6
3	3					2		3, 7		-3	-3*
4	1	5					1	1, 6		-5	-5
5		4		4				6, 5		-4	-6
6			1		2			,			
7				3							

譬如,对每一性能无改进的非禁忌的 SWAP 操作,设置其惩罚值为它对应的搜索状态与当前状态的适配值的差减去其被禁次数。

TS优化流程

给定算法参数,随机产生初始解,置禁忌表为空



TS的优点

- 在搜索过程中可以接受劣解,因此具有较强的 "爬山"能力,搜索时能够跳出局部最优解, 转向解空间的其它区域,从而增强获得更好的 全局最优解的概率;
- 新解不是在当前解的邻域中随机产生,而或是优于 "best so far"的解,或是非禁忌的最佳解,因此选取优良解的概率远远大于其它解。

TS的缺点

- 对初始解有较强的依赖性,好的初始解可使TS 在解空间中搜索到好的解,而较差的初始解则 会降低TS的收敛速度;
- 迭代搜索过程是串行的,仅是单一状态的移动, 而非并行搜索。

TS的收敛理论

若有限状态空间对由当前解的邻域解集中的非禁忌或满足藐视准则的候选解集是连通的(即任意两状态可通过有限步邻域搜索互达),并且禁忌表的大小充分大,则禁忌搜索一定能够达到全局最优解。然而要使禁忌表的大小充分大,即遍历所有状态,显然在时间上是不可承受的。