

一种混合粒子群算法及其在 Job Shop 问题中的应用

张雪东¹, 赵传信², 季一木³

(1. 安徽财经大学 信息工程学院, 安徽 蚌埠 233041;

2. 安徽师范大学 计算机系, 安徽 芜湖 241000;

3. 南京邮电大学 计算机科学系, 江苏 南京 230001)

摘要:粒子群算法是一种新颖的演化计算技术,具有思想简单、容易实现的优点,被广泛应用于连续空间的优化。结合遗传算法的思想提出一种新的进化方式并用于 Job Shop 离散空间优化,进一步结合粒子群算法的群体多样性和禁忌搜索算法的集中搜索性提出一种粒子群算法和禁忌搜索算法的混合策略。用 Job Shop 问题作为测试基准,仿真试验显示混合粒子群算法是可行和有效的。

关键词:Job Shop; 粒子群算法; 混合粒子群算法

中图分类号:TP301.6;O223

文献标识码:A

文章编号:1673-629X(2006)09-0109-03

Hybrid Particle Swarm Optimization Algorithm and Its Application in Job Shop Problem

ZHANG Xue-dong¹, ZHAO Chuan-xin², JI Yi-mu³

(1. School of Information Eng., Anhui University of Finance & Economy, Bengbu 233041, China;

2. Department of Mathematics and Computer, Anhui Normal University, Wuhu 241000, China;

3. Computer Science Department, Nanjing University of Posts & Telecommunications, Nanjing 230001, China)

Abstract: Particle swarm optimization (PSO) is a novel evolutionary technology. It has the virtue of simple idea and easy to realize and is applied abroad in sequenced space optimization. A new evolutionary method is given combined with genetic algorithm and is applied in Job Shop dispersed space optimization. Moreover, the swarm variety of PSO and centralized search of taboo search are integrated, and a hybrid policy of PSO and taboo search is proposed. As a test case, Job Shop illustrates that the new hybrid PSO is feasible and effective.

Key words: Job Shop; particle swarm optimization; hybrid PSO

0 引言

Job Shop 调度问题是一个复杂的机器调度优化问题。一个 n 个工件、 m 台机器的 Job Shop 调度问题描述如下: n 个工件按照不同的预定机器顺序在 m 台机器上进行加工,每个工件在每台机器上不间断地加工一次,加工时间已知,每道工序必须在它前面的工序加工完毕后再加工,每台机器任何时刻都只能最多加工一个工件,找出一个工件加工排序方案,使完成所有工件加工所需时间最短。

Job Shop 调度问题是一个 NP hard 组合优化问题,目前,用于 Job Shop 的优化方法包括启发式搜索方法、神经网络和拉格朗日松弛法,尽管这些研究取得了一定的应用效果,但它们仅适用规模较小的问题。模拟退火算法和遗传算法作为全局优化算法也得到很多的研究^[1,2]。

1 基本粒子群算法

粒子群优化算法 (Particle Swarm Optimization, PSO) 是一种模仿鸟类群体觅食行为的演化计算技术,最早由 Kennedy 和 Eberhart 于 1995 年提出^[3],它通过粒子追踪当前最优粒子在解空间中进行搜索来实现寻优,最大的一个优点是搜索速度比较快,目前在函数优化等相关问题的研究已经逐渐形成了一个新的热点^[4]。在 PSO 系统中,每个备选解被称为一个“粒子”,每个粒子根据它自身的“经验”和粒子群的最佳“经验”,在问题空间中向更好的位置“飞行”,这样反复搜索,求得最优解。

PSO 算法的数学表示如下:

设总粒子数为 n ,搜索的空间为 d 维,第 i 个粒子位置表示为向量 $\mathbf{X}_i = (x_{i1}, x_{i2}, \dots, x_{id})$,第 i 个粒子目前搜索到的最优位置为 $P_i = (p_{i1}, p_{i2}, \dots, p_{id})$,整个粒子群迄今为止搜索到的最优位置为 $P_g = (p_{g1}, p_{g2}, \dots, p_{gd})$,第 i 个粒子的速度为向量 $\mathbf{V}_i = (v_{i1}, v_{i2}, \dots, v_{id})$,每个粒子的速度和位置分别按公式(1)和(2)进行迭代。

$$\mathbf{V}_i(t+1) = w \times \mathbf{V}_i(t) + c_1 \times \text{rand}() [\mathbf{P}_i - \mathbf{X}_i(t)] +$$

收稿日期:2006-01-06

基金项目:安徽省高等学校青年教师科研资助项目(2005jq1062)

作者简介:张雪东(1980-),男,安徽蚌埠人,硕士,讲师,研究方向为数据库技术、算法研究。

$$c_2 \times \text{rand}() \times [P_j - \mathbf{X}_i(t)] \quad (1)$$

$$\mathbf{X}_i(t+1) = \mathbf{X}_i(t) + \mathbf{V}_i(t+1) \quad (2)$$

其中, c_1, c_2 为正常数, 称为加速因子; $\text{rand}()$ 为 $[0, 1]$ 之间的随机数; w 称惯性因子, t 表示某一次迭代。粒子群初始位置和速度随机产生, 然后按公式(1)和(2)进行迭代, 直到算法满足迭代终止条件。

2 Job Shop 混合粒子群算法

2.1 混合粒子群算法(HGPSO)策略

粒子群算法自提出以来在连续空间优化中得到广泛的应用, 目前在离散空间优化中应用还比较少, 应用于组合优化中针对具体问题要提出相应的编码, 但是对于很多问题给出位置与速度类似的定义比较困难。文献[5]通过给出交换算子定义了粒子群算法在 TSP 问题中的位置和速度, 求解了 TSP 问题, 但是收敛速度较慢。

粒子群算法的本质是利用当前位置、全局极值(gBest)和个体极值(lBest)3个信息, 指导粒子下一步迭代位置。文献[6]中结合了遗传算法的思想给出了一种混合粒子群算法求解 TSP。这里进一步提出一种混合粒子群算法思想, 不再使用速度的概念, 下一步的位置由当前位置、gBest、lBest 联合给出。新的位置由当前位置、gBest、lBest 3个父代共同产生, 借鉴遗传算法的思想, 通过比例系数控制每个父代在产生的子代中占有的比重。设3个父代比例系数分别为 p_1, p_2, p_3 , 要求满足 $p_1 + p_2 + p_3 = 1, 0 < p_1, p_2, p_3 < 1$ 。由于单纯的交叉产生的解很难达到新的解空间, 所以对每个产生的子代都进行变异。与文献[6]相比进行这样处理的优点是可以控制本身信息、个体极值信息和全局极值3个信息在指导生成下一代中的比重。根据粒子群算法的理论, 个体极值表明粒子在进化时能够参考自身的经历, 个体极值在生成下一代粒子所占比例对寻优性能影响较大。当前位置的比重影响算法的收敛速度。这里给出的进化方式能够利用已有的遗传算法的编码和解码函数。

下面首先给出基于遗传算法思想的混合粒子群 HG-PSO 算法, 流程如下:

Step1 设定粒子数 PopSize, 参数迭代参数 MaxStep, 初始化粒子。

Step2 评价所有粒子, 更新 gBest, lBest。

Step3 For each 粒子按系数 p_1, p_2, p_3 对自身位置、lBest, gBest 交叉产生新粒子。

Step4 对新的粒子变异。

Step5 评价该粒子并决定是否更新 lBest 和 gBest。

Step6 End For

Step7 算法是否满足结束条件, 不满足转至 Step3。

Step8 输出 gBest。

算法执行中对个体的评价即解码函数需要花费较多的时间, 算法内循环 Step3 ~ Step6 执行评价次数为 PopSize, 算法总的评价次数为 $O(\text{PopSize} * \text{MaxStep})$ 。这是

对算法性能大致的分析, 给出了截止条件为最大迭代次数的时间复杂性。

Job Shop 混合粒子群算法中的编码直接采用文献[7]中 Job Shop 遗传算法的编码, 它是基于操作的编码策略, 算法的解码函数是基于贪心的插入解码。Job Shop 混合算法中的交叉方法是利用比例系数 p_1, p_2, p_3 , 将 $1 \sim n$ 自然数随机分成互不相交的集合 S_1, S_2, S_3 。从3个父代中选择属于 S_1, S_2, S_3 的元素构成子代个体, 这种交叉方法能够保证生成个体是可行的。变异策略为将编码序列中某一段序列逆序。

2.2 混合禁忌搜索的粒子群算法(HTPSO)策略

禁忌搜索(taboo search, TS)的思想最早由 GLOVE 在 1986 年提出, 它是对局部邻域搜索扩展的一种全局逐步寻优算法。禁忌搜索算法在组合优化中的应用领域非常广阔, 并在 Job Shop 问题中得到应用[8]。

粒子群算法具有群体多样性的优点, 禁忌搜索算法适用于对优良区域的集中搜索, 作为全局优化算法粒子群算法和禁忌搜索算法的表现各异。结合两种算法的优点可能提高算法的寻优效果, 取得比基于单一机制算法更好的效果, 这是目前大规模优化问题中提高优化性能常采用的方法。在 Job Shop 问题中的混合算法 GASA[7]、GATS[8]的实验说明混合算法在复杂组合优化问题中有很强的潜力。

HGPSO 是利用混合粒子群算法求解 Job Shop 的一种方法, 但对于复杂的问题, 其搜索空间过大, 算法的搜索效果不是很理想。在粒子群算法和其他优化算法的混合方面, 目前有粒子群算法和模拟退火算法混合, 很多试验说明了混合模拟退火算法和粒子群算法在全局收敛性方面性能得到增加, 有利于跳出局部最优。禁忌搜索算法作为一种集中搜索的全局优化算法和具有群体多样性的粒子群算法相结合, 可以提升算法的优化性能, 实现高效的优化。

结合禁忌搜索的混合粒子群算法的整体结构和 HG-PSO 类似, 不同的地方在于算法连续进化若干代后, 若 gBest 变化过小则对 gBest 进行禁忌搜索, 同时按较小概率从粒子群中选择粒子进行禁忌搜索, 在 HGPSO 中的 Step6 后进行处理即可得到新的混合禁忌搜索的粒子群算法 HTPSO。这样, 虽然增加了一定的时间开销, 但对于复杂的问题尤其是解空间很大的情况优化性能明显提高。

禁忌搜索算法应用于 Job Shop 问题需要给出邻域生成函数和禁忌策略, 文献[9]中提出利用 Job Shop 的解产生较小的邻域, 较小的邻域有助于降低禁忌搜索的时间, 但是过小的邻域难以达到搜索空间中其他区域, 影响算法的搜索性能。这里根据 Job Shop 问题编码的方式提出的邻域生成函数为一种任意交换工件在工件序列中的位置产生新的工件序列的方法, 为了降低生成的邻域数量, 减少过量邻域带来的复杂性, 生成邻域规模定义为 $n * m$ 或 $n * m / 2$, n, m 分别为工件和机器的数目。禁忌表的长度

为固定值,这里的禁忌表的长度定义为任务数 n 。

3 算法数值试验

采用 10 个著名的 Job Shop 问题的基准测试例子作为算法的测试数据集,3 个 Fisher and Thompson 基准测试例子,7 个 Lawrence 基准测试例子,算法的参数如下:遗传算法交叉概率为 0.8,变异概率为 0.2,种群的规模为 20,最大的迭代次数为 200。粒子群算法的交叉比例系数为 $p_1 = 0.2, p_2 = 0.5, p_3 = 0.3$,种群规模和迭代次数与遗传算法参数一样。测试结果如表 1 所示。

表中各符号的意义如下:

n, m 分别为工件数和机器数, C^* 为问题最优值, C^* 为 30 次仿真得到的最优值, t 为平均 CPU 时间(单位为 ms), % 为平均优化值相对误差。

表 1 混合粒子群 HGPSO 和 GA 的性能比较

Job-Shop	C^*	HGPSO				C^*	GA			
		C^*	Ave	%	t		C^*	Ave	%	t
MT10	930	965	1029	10.645	190	930	985	1050	12.903	170
MT20P	1165	1211	1266	8.669	240	1165	1220	1272	9.184	220
LA16	945	956	985	4.232	160	945	979	997	5.502	140
LA21	1046	1127	1163	11.185	290	1046	1127	1175	12.332	270
LA26	1218	1273	1328	9.031	504	1218	1289	1337	9.771	445
LA31	1784	1789	1837	2.971	850	1784	1786	1842	3.251	700
LA36	1268	1336	1384	9.148	380	1268	1362	1411	12.278	470
MT06	55	55	55	0	65	55	55	57	3	68
LA06	926	926	926	0	120	926	926	926	0	120
LA11	1222	1222	1222	0	219	1222	1222	1222	0	250

通过对测试数据集的测试,对于所有的测试例子平均结果优于遗传算法。这里给出了粒子群算法在解决 Job Shop 问题一种可行的方案。并且该方法并不仅限于 Job Shop 问题,对于其他的应用也可以采用这一方案。下面进一步结合禁忌搜索算法来提高优化性能,给出了 7 个复杂问题的实验结果(如表 2 所示)。

表 2 HTPSO 混合算法与文献结果比较

Job Shop	n, m	C^*	HPSOTS Best	GA Best	TS Best	SA Best	SB Best
MT10	10,10	930	930	946	935	930	930
MT20	20,5	1165	1168	1178	1165	1165	1178
LA16	10,10	945	945	979	945	956	978
LA21	15,10	1046	1055	1097	1048	1063	1084
LA26	20,10	1218	1218	1231	1218	1218	1224
LA31	30,10	1784	1784	1784	1784	1784	1784
LA36	15,15	1268	1294	1305	1278	1293	1305

(上接第 108 页)

华大学出版社,2005.

- [8] 武建章,于春田. 决策支持系统体系结构研究[J]. 河北工业科技,2004,21(5):5-7.
- [9] 陈登科,胡翠华. 试析信息管理中的综合决策支持系统及

结合禁忌搜索的混合粒子群算法在实验中显示了较好的优化性能,避免了禁忌搜索对初始解的依赖性,以及单纯粒子群算法的优化速度慢、不易收敛全局解的缺点。混合算法具有鲁棒性好、全局寻优率高的优点,并且优化结果不依赖于初始解。实验中对于多数的较难的测试例子都能求得最优值,和其他文献资料中的方法^[7]相比,结果也是相当理想的。

4 结论

通过对粒子群算法的进一步分析,结合其它算法的思想提出了混合遗传算法的粒子群算法,实现了粒子群算法在 Job Shop 问题上的应用,进一步结合禁忌搜索的集中性搜索和粒子群算法的多样性搜索提出高效的混合算法。通过对基准测试例子的测试验证了算法的有效性和可行性。这些方法不仅对 Job Shop 可以比较有效地求解,也很容易推广到其他问题,拓展了粒子群算法在离散空间优化中的应用。

参考文献:

- [1] 熊锐,吴澄. 车间调度问题的技术现状与发展趋势[J]. 清华大学学报(自然科学版),1998,38(10):55-60.
- [2] 陈恩红,刘贵全,蔡庆生. 基于遗传算法的 Job-Shop 调度问题求解方法[J]. 软件学报,1998,9(2):139-144.
- [3] Kennedy J, Eberhart R C. Particle swarm optimization[A]. In: Proceedings of IEEE International conference on Neural Networks[C]. Perth Australia: [s. n.], 1995. 1942-1948.
- [4] Eberhart R C, Shi Yuhui. Particle Swarm Optimization: Development, Applications and Resources[A]. Proceedings of the 2001 Congress on Evolutionary Computation[C]. Seoul, Korea: [s. n.], 2001. 81-86.
- [5] Clerc M. Discrete particle swarm optimization illustrated by traveling salesman problem[EB/OL]. [http://www. Mauriceclerc.net](http://www.Mauriceclerc.net), 2000.
- [6] 高尚,韩斌,吴小俊,等. 求解旅行商问题的混合粒子群优化算法[J]. 控制与决策,2004,19(11):1286-1289.
- [7] 王凌. 智能优化算法及其应用[M]. 北京:清华大学出版社,2001.
- [8] Chen Xiong, Kong Qingsheng, Wu Qidi. Hybrid algorithm for job-shop scheduling problem[J]. Intelligent Control and Automation, 2002, 3(6): 1739-1743.
- [9] Nowicki E, Smutnicki C. A Fast Taboo Search Algorithm for the Job Shop Problem[J]. Management Science, 1996, 42(6): 797-813.

其发展[J]. 图书情报知识,2003(5):47-49.

- [10] 毛海军,唐焕文. 智能决策支持系统(IDSS)研究进展[J]. 小型微型计算机系统,2003,24(5):874-879.