

关于流水车间调度问题的综述

○ 曲 媛¹ 杨晓伟²

摘 要:流水车间调度问题,也被称为同序作业调度问题,是许多实际流水线生产调度问题的简化模型。它无论是在离散制造工业还是在流程工业中都具有广泛的应用。因此,对其进行研究具有重要的理论意义和工程价值。本文介绍了流水车间调度问题的研究现状和几种解决方法。

关键词:流水车间;遗传算法;启发式算法

引 言

自从 Johnson1954 年发表第一篇关于流水车间调度问题的文章以来,流水车间调度问题引起了许多学者的关注。流水车间调度问题一般可以描述为 n 个工件要在 m 台机器上加工,每个工件需要经过 m 道工序,每道工序要求不同的机器。 n 个工件在 m 台机器上的加工顺序相同。工件 i 在机器 j 上的加工时间是给定的,设为 $t(i, j)$ 。问题的目标是求 n 个工件在每台机器上最优的加工顺序,使最大流程时间达到最小。对该问题常常作如下假设。

- (1) 每个工件在机器上的加工顺序是 $1, 2, \dots, m$;
- (2) 每台机器同时只能加工一个工件;
- (3) 一个工件不能同时在不同的机器上加工;
- (4) 工序不能预定;
- (5) 工序的准备时间与顺序无关,且包含在加工时间中;
- (6) 工件在每台机器上的加工顺序相同,且是确定的。

基本算法

1. 一种基于扩展采样空间的混合式遗传算法

将邻域搜索与遗传算法相结合求解流水车间调度问题,提出了一种邻域结构,使之更适合求解流水车间问题;设计了一种基于扩展采样空间的混合式遗传并通过计算机模拟验证其有效性。其中,邻域搜索使用定义(由给定的染色体通过随机移动一个基因到一个随机的位置,得到的是染色体的集合)所描述的邻域,采样空间为父代 $P(t)$ 、改进的父代 $S(t)$ 、交叉的后代 $C(t)$ 、变异的后代 $M(t)$,交叉和变异的父代是种群的后代 $P(t)$,而不是改进的父代 $S(t)$ 。

具体的混合式算法框架

BEGIN

$t=0$

初始化 $P(t)$

WHILE E 不满足终止条件 DO

①下降搜索,应用多点最速下降法改进 $P(t)$,得到改进的父代 $S(t)$;

②用 $P(t)$ 进行单点交叉生成 $C(t)$;

③用 $P(t)$ 进行移动变异生成 $M(t)$;

④采样从 $P(t)$ 、 $S(t)$ 、 $C(t)$ 、 $M(t)$ 中选出最好的不重复的下一代染色体;

$t=t+1$

END

2. 改进的 DNA 进化算法

改进的 DNA 进化算法中引入了交换操作(交换操作就是在 DNA 单链中随意产生一个位置,然后将位置前的 DNA 链与位置后的 DNA 链相交换,组成一条新的链)以更好地搜索解空间,并采用黄金分割率控制变异个体的数目。同时为了进一步提高搜索性能,采用一种新颖的启发式规则。具体算法如下:

对于每个工件都有 3 个时间指数: t_{ij} 为工件 j 在所有机器上的加工时间之和; t_{1j} 为工件 j 在第一台机器上的加工时间; t_{mj} 为工件 j 在最后一台机器上的加工时间; t_j 为工件 j 的加权加工时间。 B 、 C 是 $[0, 1]$ 之间的数。当随机生成一个 A , 再在 $[0, 1-A]$ 之间随机产生一个 B 便能确定 t_j 的大小,然后每个工件按照 t_j 的降序排列,这样就会产生一个可行解。生成不同的 A , 就会得到不同的可行解。将启发式算法得到的可行解作为 DNA 进化算法的初始群体。具体算法如下:

①计算每个工件 t_{mj} 的及 t_{1j} ;

②For ($i=1, 2, \dots, n$) (n 表示要产生的可行解的个数);

$A=\text{random}(0,1)$;

$B=\text{random}(0,1-A)$;

$t_j=At_{1j}+Bt_{mj}+(1-A-B)t_{mj}$;

End

③根据每个工件计算出的 t_j 进行降序排列,得到对应的工件排序,即可行解。通过仿真可以验证,加入启发式算法能够快速接近最优解,提高算法的收敛速度,产生初始种群。

3. 一种基于遗传算法的求解方法

一种基于遗传算法的求解方法,在由染色体转换成可行度的过程中引入工件插入方法,同时设计了一种新的交叉算子(这里设计了一种新的交叉算子,从种群中按交叉概率随机选取两个个体作为父体,对于每个个体随机寻找两个不同的基因位置,选择这两个位置及其之间的基因作为交叉部分,两个交叉部分的长度可以不同。首先将两个交叉部分进行交换,然后按照父体中原来基因排列的顺序补齐交叉部分没有包含的基因,经过交叉之后产生的子代个体一部分基因保留在了一个父

整个个体中的绝对位置,另部分基因则保留了在另一个父辈中的相对位置。该操作具有较好的遗传特性,同时也能够产生足够的搜索空间。计算表明该算子优于PMX交叉算子。)通过大量的数值计算表明,该算法优化质量大大优于传统的遗传算法和NEH启发式算法。

4. 一个无等待流水车间调度启发式算法

采用一个经典的全局任务插入算法构造初始解,应用局部搜索方法对其进行改进。通过4000个不同规模实例将提出算法与目前求解该问题最好的几个算法从性能和计算时间方面进行全面比较。实验结果表明:提出算法的性能是目前最好的,多项式复杂度的计算时间适合实际生产需求。

此启发式算法包括两个阶段:初始序列的产生阶段和改进阶段。

(1)在初始序列的产生阶段,采用任务插入的方法,它类似于NEH[3]算法。

(2)在初始序列的改进阶段,定义 $v=(x,y)$ 为序列 S 中的一对位置,其中: $x,y \in \{1,2,\dots,n\}, x \neq y$ 。 v 的移动将 S 中第 x 个任务插入到第 y 个位置,位置对集合:

$$Z = \{(x,y) | x,y \in \{1,2,\dots,n\}, y \notin \{x, x-1\}\},$$

其中包括 $(n-1)(n-1)$ 个位置对。算法描述如下:

①令 $k=1$,计算所有任务 j_i ($i=1,2,\dots,n$)的 $F2$ 值。选择最小值对应的任务放入 S 中,将其余 $n-1$ 个任务放入 R 中;

② $K=K+1$;

③从 R 中任意取出一个任务 j ,将其插入到 S 的 K 个不同位置,产生 K 个不同的序列,计算这 K 个序列的 $F1$ 值,选择最小值对应的序列作为一个候选序列,将任务 j 从 R 中移除;

④如果 $R \neq \emptyset$,返回第3步,否则转到第5步;

⑤在产生的 $(n-K+1)$ 个候选序列中,计算各自的 F 值,选择最小值对应的序列替换 S ,将序列 S 以外的所有任务存放到集合 R 中;

⑥如果 $K=n$,结束, S 即为最终初始序列;否则回到第2步继续;

⑦生成序列 S 的位置对集合并进行插入操作,产生 $(n-1)^2$ 个新的任务序列,计算所有新产生序列的 $F1$ 值,将最小值对应序列记为 S' ;

⑧如果 $F_1(S') < F_1(S)$,则 $S=S'$,返回第7步重新开始;否则转入第9步;

⑨序列 S 即为最终任务序列。

5. 混合禁忌搜索算法(HTS)

(1)混合禁忌搜索HTS算法的主要思路为:通过一个有效的启发式算法为TS算法提供一个较好初始解,并可加快TS算法的收敛速度;采用禁忌搜索算法改进初始解以搜索到更好的近优解。初始解生成算法:

①任意产生一个初始序列 Q_0 ;

②利用双插入启发式算法[5](DIH)对序列 Q 进行改进

获取一个序列 S_n 。DIH基于全局插入操作和局部插入操作的思想来产生局部种子序列并对当前调度进行改进。该算法具有较高效率的搜索能力,得到一个较好的近优解;

③将序列 S_n 进行一次全局成对交换,得到初始序列 P 。

(2)HTS算法描述:基于已得到的序列 P 作为初始解 T_0 和以上禁忌搜索算法,关键参数的设置,下面给出HTS算法:

①调用初始解生产算法产生初始解 P 并赋予 T_0 ;

②将初始解 T 作为当前解利用成对交换(Swap)产生的邻域结构得到多个邻域解;

③将所有邻域解对应的目标函数值从小到大排序,然后选取前 e 个邻域解作为候选解;

④从第1个候选解开始,如果满足藐视准则,则将此邻域解作为当前的序列 T_i ;否则在候选解中选非禁忌的最佳状态序列作为当前序列 T_i ;

⑤保存每个当前序列 T_i 及其目标函数值,并找出其中最优的目标函数值及对应的序列 W_i ;

⑥若满足终止条件,则比较最后得到的当前序列 T_i 与序列 W_i 所对应的目标函数值大小,选取目标函数值小的序列作为算法最终所得到的近优解,算法停止;若不满足终止条件则 $T_0=T_i$,则转向2。

6. 混合规划

针对不确定条件下流水车间调度问题(Flow shop scheduling),研究了含有随机参数和灰色参数的混合机会约束规划模型的建立及求解方法。提出了灰色模拟的概念和方法,为含有灰色参数的机会约束规划提供了求解途径。通过理论推导及仿真实例,结合遗传算法,验证了基于随机模拟和灰色模拟的混合机会约束规划的调度模型及求解方法的有效性。

结束语

从目前来看,还没有一个求解流水车间问题最优解的简明算法。整数规划和分枝定界技术是寻求最优解的常用方法,然而对于一些大规模甚至中规模的问题,这两种方法仍然不是很有效。以遗传算法、模拟退火、禁忌搜索以及人工神经网络为代表的智能化优化技术迅速发展来解决流水车间调度问题,受到人们的普遍关注。其中,遗传算法以其优良的计算性能和显著的应用效果而特别引人注目,所以很多启发式混合方法都是在此基础上发展起来的。

参考文献

- 1 梁黎明,汪国强.求解流水车间调度问题的一种混合式遗传算法[J].华南理工大学学报,2001;(11):85~88
- 2 俊林,薛云灿,邵惠鹤.求解混合流水车间调度问题的一种遗传算法[J].计算机工程与应用,2003;(35):186~187
- 3 牛群,顾幸生.基于启发式规则的新型进化算法在流水车间调度中的应用[J].华东理工大学学报,2006;(12):1472~1477

(作者简介:1.华南理工大学数学科学学院硕士研究生。
2.华南理工大学数学科学学院副教授,博士。)