流水车间作业排序中的改进 NEH算法

黎 群
(北方交通大学 经济管理学院工商管理系,北京 100044)

【摘要】大多数一般的多于两台机床的流水车间作业排序问题均属于 NPC问题,在实际生产中一般采用启发式算法。本文介绍国际上普通采用的 NEH启发式算法,并提出改进 NEH算法。

关键词 排序 启发式方式

在实际生产中有很多流水车间排序问题的例子。假设所有的工件到达时间为零,即 $r_i=0(i=1,2,\cdots,n)$。设有 n 个工件 $J_1,J_2,\cdots,J_n$ 要经 m 台机器加工,工件的加工路线为: $M_1\to M_2\to\cdots\to M_m(m\geqslant 2)$。作业排序就是要安排这几个工件在每台机器上的加工顺序,使预定的目标函数值最小。

两台机床的流水车间作业排序问题可以使用 Johnson法则确定最优加工序列,而且它为有效的多项式算法。三台机床 $F_3\|F_{max}$ 问题只有少数特殊类型存在有效算法,而大多数一般的多于两台机床的问题均属于 NPC问题,不存在有效的多项式算法,在实际生产中解决大规模的作业排序问题一般采用启发式方法。

表 1中比较了典型的启发算法和目前国外普遍采用 NEH算法,NEH 算法复杂性为 $o(n^2m)$,而其优性较其他典型启发式方法为好。本文引进 NEH算法,并为提高 NEH算法的优度和简化 NEH算法提出改进 NEH算法。

表 1

	Problems–	500	100	100	100	50	50
	Jobs n	9	10	20	20	40	50
	Machines m	10	10	10	20	10	10
算法	复杂性	优性					
Gupta	$n\log(n)+nm$	13.4	12.8	19.6	18.8	18.9	17.1
Johnson	$n\log(n)+nm$	10.9	11.8	16.7	16.8	17.3	16.3
RA	$n\log(n)+nm$	8.5	9.1	12.5	13.4	13.5	11.2
Palmer	$n\log(n)+nm$	8.3	9.0	13.3	12.5	10.9	10.7
CDS	$nm^2+nm\log(n)$	4.5	5.2	9.7	8.6	9.9	9.3
NEH	n^2m	2.1	2.2	3.9	3.8	2.6	2.1

ENH算法步骤:

(1) 将 n 个工件按各自在机器上加工的总时间降序排列;

(2) 单独考虑开始两个工件,并以极小化部分加工全长为目标将它们排序;

本文于 1999年 5月 7日收到

(3) 对 $k=3,\cdots,n$,转入步骤(4);

(4) 将初始排列中的第 k 个工件插入到前面 k 个可能位置中的一个位置,而使部分加工全长最小。

具体算法:

计算第 k 个工件插入到第 i 位置后部分加工全长 M_i:

(1) 计算 i 工件在 j 机器上的最早完工时间。假定第 1个工件在第 1台机器上的开始加工时间为 0

$$e_{0j}=0,e_{i0}=0,e_{ij}=\max\{e_{i,j-1},e_{i-1,j}\}+t_{ij}$$

$$(i=1,2,\cdots,k-1;j=1,\cdots,m)$$

(2) 计算 q_{ij},它是 i 工件在 j 机器上开始加工到所有操作结束的时间

$$q_{kj}=0,q_{i,m+1}=0,q_{ij}=\max\{q_{i,j+1},q_{i+1,j}\}+t_{ij}$$

$$(i=k-1,\cdots,1;j=m,\cdots,1)$$

(3) 计算工件 k 插入在 i 位置后 j 机器上的最早相关完成时间 f_{ij}

$$f_{i0}=0,f_{ij}=\max\{f_{i,j-1},e_{i-1,j}\}+t_{kj}$$

$$(i=1,\cdots,k;j=1,\cdots,m)$$

(4) 工件 k 插入在 i 位置后部分加工全长

$$M_i=\max_j(f_{ij}+q_{ij})$$

$$(i=1,\cdots,k;j=1,\cdots,m)$$

下面提出改进 NEH算法,运用越-韩法则改进 NEH算法中初始序的选择,采用简便的加工时间矩阵算法计算部分加工全长。

1 越-韩法则

设有 m 台机床 $M_1,M_2,\cdots,M_m$ 和 n 个零件 $J_1,J_2,\cdots,J_n$。记零件 J_i 在机床 M_k 上的加工时间为 T_{ki},当零件的加工顺序 $k=(k_1,\cdots,k_n)$ 给定时,其中 $(k_1,\cdots,k_n)$ 表示 $(1,2,\cdots,n)$ 的一种排列,可将 a_{ki} 排成矩阵

$$\boldsymbol{A}(k)=\begin{bmatrix} T_{1k_1} & T_{1k_2} & \cdots & T_{1k_n} \\ T_{2k_1} & T_{2k_2} & \cdots & T_{2k_n} \\ \cdots & \cdots & & \cdots \\ T_{mk_1} & T_{mk_2} & \cdots & T_{mk_n} \end{bmatrix}$$

越-韩法则 若 $\min\{T_{ui},T_{vj}\}\leqslant\min\{T_{uj},T_{vi}\}$, $1\leqslant u\leqslant v\leqslant m$,则有工件 i 应该排在工件 j 之前。

当 $m=3$ 时,越-韩法则的具体形式为:若 $\min\{T_{1i},T_{2j}\}\leqslant\min\{T_{1j},T_{2i}\}$, $\min\{T_{1i},T_{3j}\}\leqslant\min\{T_{1j},T_{3i}\}$, $\min\{T_{2i},T_{3j}\}\leqslant\min\{T_{2j},T_{3i}\}$,则工件 i 应该排在工件 j 之前。

2 计算加工全长的加工时间矩阵算法

直接在加工时间矩阵上从左向右计算完工时间。对于第一行,每次只需把前一列右上角

的数字加上计算列的加工时间,将结果填写在计算列加工时间的右上角。对于从第二行到第 m 行,第一列的算法相同,只要把上一行右上角的数字和本行的加工时间相加,将结果填在本行加工时间的右上角;从第二列到第 n 列,要从前一列右上角和本列上一行的右上角数字中取大者和本列加工时间相加,将结果填在本列加工时间的右上角。最后一行最后一列(m 行 n 列)右上角数字即为加工时间全长。

3 改进 NEH算法

(1) 将 n 个工件按总加工时间降序排列,得排序 s_0。

(2) 应用越-韩法则确定加工相对位置。若全部工件次序确定,则算法结束,所得排序为最优序;若部分工件相对次序确定,设这部分工件数目为 n_1,则 s_0 中这部分工件列出,剩下工件依原序排在这部分工件后作为初始序,令 $k_1 = n_1 + 1$,转步骤(4);若两个工件的相对次序都确定不了,则 s_0 仍为初始序。

(3) 取初始序中开始两个工件进行排序,采用加工时间矩阵算法计算部分加工全长,取排序使部分加工全长最小,令 $k_1 = 3$。

(4) 对于 $k = k_1, \cdots, n$,转(5)。

(5) 将初始序中 k 工件插入前面 k 个可能位置,用矩阵算法计算相应的部分加工全长,取排序使部分加工全长最小。

4 算 例

例 有一 $F3 \| F_{max}$ 问题,加工时间矩阵如表2所示,试用改进 NEH算法求解。

表 2

	J_1	J_2	J_3	J_4
M_1	6	12	3	2
M_2	7	2	11	14
M_3	3	3	7	12

解 (1) 总加工时间为 $S_1 = 16, S_2 = 17, S_3 = 21, S_4 = 28$,因此 S_0 为 $J_4J_3J_2J_1$。

(2) 当 $m = 3$ 时,应用越-韩法则可作如下处理:单独考虑 M_1M_2,由 Johnson法则得排序 $J_4J_3J_2J_1$;单独考虑 M_1M_3,由 Johnson 法则得排序 $J_4J_3J_1J_2$;单独考虑 M_2M_3,由 Johnson法则得排序 $J_2J_4J_3J_1$。

它们有公共序 $J_4J_3J_1$,因此初始序为 $J_4J_3J_1J_2$,将工件 J_2 插入4个位置,加工时间矩阵及加工全长计算如表3-6所示。

因此,$J_4J_2J_3J_1$、$J_4J_3J_2J_1$、$J_4J_3J_1J_2$ 皆为算法的解,它们皆为最优解,加工全长 $F_{max} = 41$。

改进 NEH算法使原 NEH启发式方法的初始序选择得以改进,从而提高了算法的优度并减少了运算量,采用加工时间矩阵算法计算部分加工全长,使原算法得以简化。这种改进 NEH算法对三台机器的流水车间作业排序问题尤为适合。

表 3

	J_2	J_4	J_3	J_1
M_1	12^{12}	2^{14}	3^{17}	6^{23}
M_2	2^{14}	14^{28}	11^{39}	7^{46}
M_3	3^{17}	12^{40}	7^{47}	3^{50}

表 4

	J_4	J_2	J_3	J_1
M_1	2^{2}	12^{14}	3^{17}	6^{23}
M_2	14^{16}	2^{18}	11^{29}	7^{36}
M_3	12^{28}	3^{31}	7^{38}	3^{41}

表 5

	J_4	J_3	J_2	J_1
M_1	2^{2}	3^{5}	12^{17}	6^{23}
M_2	14^{16}	11^{27}	2^{29}	7^{36}
M_3	12^{28}	7^{35}	3^{38}	3^{41}

表 6

	J_4	J_3	J_1	J_2
M_1	2^{2}	3^{5}	6^{11}	12^{23}
M_2	14^{16}	11^{27}	7^{34}	2^{36}
M_3	12^{38}	7^{35}	3^{38}	3^{41}

参 考 文 献

[1] 陈荣秋.排序的理论与方法.武汉:华中理工大学出版社,1987. 74~78.

[2] 唐国春,孙世杰,赵小平.排序时间表问题的发展和动态. 1991年全国最优化讨论会文集. 1991. 11~19.

[3] 赵民义,韩继业. N个零件在 M台机床上的加工顺序问题(I),中国科学,1975,(5): 462~470.

[4] Taillard E. *Some Efficient Heuristic Methods for Flow Shop Scheduling Problem*. European Journal of Operational Research, 1990,(47): 65~74.

An Improved NEH Algorithm for Flow-Shop Sequencing Problem

Li Qun

(*College of Economic and Management, Northern Jiaotong University, Beijing* 100044)

【Abstract】 Most flow-shop sequencing problems with more than two machines belong to NPC problem. People often use heuristic algoristic algorithms to deal with them in practice. This essay introduces the NEH heuristic algorithm that is popular abroad and presents an improved NEH heuristic algorithm.

Key words: sequencing heuristic algorithm