

一种求解同顺序 Flowshop 排序问题的 新的启发式算法¹⁾

沈英俊 黄海军

(北京航空航天大学 管理学院)

吴 飒

吴 靖

(北京航空航天大学 工程系统工程系) (北京航空航天大学 宇航学院)

摘 要 在生产调度中经常遇到工件排序问题,这类问题大多属于NP类问题。对此,目前无论在理论上还是在实际应用中,都尚未找到令人满意的一般求解方法。针对NP类问题中的一类——同顺序Flowshop排序问题,进行了广泛而深入的调查和比较研究,在此基础上,提出了一种新的启发式算法(简称为WSH法),并通过大量的数据实验将该算法与目前已知较好的几种算法进行了比较。结果表明,WSH法结构简单,计算效率高,是求解中、小规模问题的较好算法。

关键词 排序; 启发式算法; 调度程序; 同顺序Flowshop问题

分类号 F 224.34

1 问题的描述

排序问题来自于生产实际,凡是面临多个工作任务,就有一个如何安排执行它们的顺序的问题。从最一般的意义上讲,排序问题可表述为:一个或多个服务者为两个或两个以上服务对象服务时,如何确定服务顺序,使预定目标达到最优^[1]。描述排序问题的名词术语来自加工制造行业,所以,通常在描述各种不同的排序问题时仍使用“机器”、“工件”、“工序”、“加工时间”和“完工期限”等名词术语,但它们已不限于本来的含义。这里所说的“机器”,代表“服务者”,“工件”则代表“服务对象”。对于一般的排序问题,“机器”和“工件”都有多个。本文讨论同顺序Flowshop排序问题。

首先给出同顺序Flowshop排序问题的数学描述和假设条件^[1,2]。

同顺序Flowshop排序问题满足以下约束条件:

1) 一个工件不能同时在不同的机器上加工。尽管一个工件有时可能包括多个相同的零件,也不能将其分成几部分,同时在几台不同的机器上加工。

2) 对所有工件来说,在加工过程中采取平行移动方式。即当上一道工序完工后,立即送下道工序加工。

序加工

3) 不允许中断。当一个工件一旦在某个工序上开始加工,必须一直进行到完工,不允许中途停下来,插入其它工件。

4) 每道工序只在一台机器上完成,每台机器只完成一道工序。工序都不是有优先权的。

5) 工件数 n 、机器数 m 、加工时间 t_{ij} 已知,且加工时间与加工顺序无关。一组共 n 个工件在 m 台机器上加工,所有工件可以在0时刻开始加工。机器的调整时间包括在加工时间之内。

6) 允许工件在工序之间等待,允许机器在工件未到达时闲置。

7) 工件加工技术上的约束事先给定。

8) 每台机器同时只能加工一个工件。

9) 所有工件在各台机器上的加工顺序相同。

这个同顺序Flowshop问题(表示为 $n/m/P/F_{\max}$)的目标是,求出这 n 个工件的一个重新排列的工件序列,在这 m 台机器上顺序加工,使预定的目标函数值即最大流程时间 F_{\max} (或称总生产周期)最小。本文所研究的启发式算法,是为了求得该问题的一个近优解或满意解。

2 WSH 启发式算法

WSH法是由本文作者提出的一种求解 $n/$

$m/P/F_{\max}$ 排序问题的近优解(或满意解)的启发式算法

W SH 法所基于的观点是, 相对靠后的机器上的工件加工时间比相对靠前的机器上的工件加工时间应该赋以较高的加权值。同时, 还应将在所有机器上加工时间之和最小的工件尽量往前排。

W SH 法是针对机器数 m 不大的情况而设计的一种非常简便的启发式算法。

以 t_{ij} 表示工件 j 在机器 M_i 上的加工时间 ($i = 1, 2, \dots, m; j = 1, 2, \dots, n$), 则排序指标 λ_j 可按下式计算:

$$\lambda_j = \frac{\sum_{i=1}^m i \cdot t_{ij}}{\sum_{i=1}^m t_{ij}}$$

按 λ_j 非增的顺序排列所有工件, 可以得到近优解。

3 W SH 法的性能实验

本实验所采用的设备, 是一台 Pentium 586 (主频90MHz, 内存8M) PC 机。W SH 法的运算程序采用 FORTRAN 77 语言编制。随机数发生器采用 Turbo C 语言编制, 它是一个运算程序, 被用来随机地产生各算例的原始数据 t_{ij} (1, 100)。

文献[3]指出, Palmer 法^[4]是现有启发式算法中求解的优化程度较高的算法, 是一个非常简单, 却又取得较好结果的十分难得的启发式算法。故此选择 Palmer 启发式算法作为比较对象。这还因为 W SH 法与 Palmer 法有同样的简单性, 两者的比较, 可以考查 W SH 法的优化程度。另一方面, 尽管 CDS 法在算法上要比 W SH 法复杂得多, 计算用时也大得多, 但文献[5]指出, CDS 法^[6]是可以得到较多最优解的较好方法, 所以我们将 W SH 法与 CDS 法进行比较, 以考查 W SH 法的优化程度。同时, 还将这3种方法一起与分枝定界法求得的最优解比较, 以考查它们的解的平均水平和偏差。

3.1 在 $n=6, m=10$ 规模上的比较实验的结果

尽管启发式算法的重要意义不在于 $n < 10$ 规模上的 Flow shop 问题, 但由于文献[5]在 $n = 3, 4, 5, 6, m = 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10$ 共32个规模的范围内, 对 Palmer 法和 CDS 法进行了试验 (各1280个算例), 所以仍在这个范围内, 将 W SH 法与 Palmer 和 CDS 法进行了比较, 同时也与分枝定

界法求得的最优解进行了比较, 每个规模各算100个算例, 共计各3200个算例。实验结果为:

1) 在 W SH 法与 Palmer 法比较的3200个算例中, W SH 法比 Palmer 法结果好的算例占总算例数的18.69%; W SH 法比 Palmer 法结果差的占6.09%; W SH 法与 Palmer 法结果相等的占75.22%; W SH 法的结果中有37%是最优解; Palmer 法的结果中有31%是最优解; W SH 法求得的近优解相对于最优解的平均偏差约为2.97%; Palmer 法求得的近优解相对于最优解的平均偏差约为3.75%。

2) 在 W SH 法与 CDS 法比较的3200个算例中, W SH 法比 CDS 法结果好的算例占29.44%; W SH 法比 CDS 法结果差的算例占34.66%; W SH 法与 CDS 法结果相等的算例占35.90%; W SH 法的结果中有37.47%是最优解, CDS 法的结果中有41.72%是最优解, W SH 法求得的近优解相对于最优解的平均偏差约为3.00%; CDS 法求得的近优解相对于最优解的平均偏差约为2.97%。

3.2 在 $n=10, m=10$ 规模上的比较实验的结果

对于更大规模的问题, 在 $n = 10, 20, 30, 40, 50, 75, 100; m = 10, 15, 20, 30, 50, 75, 100$ 共49个规模的范围内, 将 W SH 法与 Palmer 法进行了比较, 每个规模算100个算例, 共4900个算例。结果见表1和表2。

在 $n = 10, 20, 30, 40, 50, 75, 100; m = 10, 20, 50, 100, 150, 200$ 共36个规模 (本应是42个规模, 但由于在 m 值和 n 值太大的情况下 CDS 法的运算时间较长, 且由于已算得的结果已能说明问题, 所以没有对其中的6个规模进行实验) 的范围内, 将 W SH 法与 CDS 法进行了比较, 每个规模算100个算例, 共3600个算例。结果见表3和表4。

在表1~表4中, Num(B)、Num(W)、Num(E)、 \bar{F}_{\max} 和 δ 分别定义如下:

1) Num(B) 为某一规模下的100个算例中 W SH 法求得的 F_{\max} 比与之相比较的启发式算法求得的 F_{\max} 要小的算例数目, 其中 B 表示 W SH 法的结果较好;

2) Num(W) 为某一规模下的100个算例中 W SH 法求得的 F_{\max} 比与之相比较的启发式算法求得的 F_{\max} 要大的算例数目, 其中 W 表示 W SH 法的结果较差;

3) Num(E) 为某一规模下的100个算例中

表1 WSH 法与 Palmer 法比较实验的结果(结果优劣的算例数目)

<i>m</i>	<i>n</i>							结果Num (•)
	10	20	30	40	50	75	100	
10	41	51	53	68	56	59	61	B
	19	46	44	32	43	41	39	W
	40	3	3	0	1	0	0	E
15	32	49	57	67	50	72	65	B
	26	41	40	33	50	28	34	W
	42	10	3	0	0	0	1	E
20	31	52	51	53	51	59	52	B
	28	47	47	47	49	41	44	W
	41	1	2	0	0	0	4	E
30	32	53	59	54	54	53	57	B
	24	37	41	45	46	47	43	W
	44	10	0	1	0	0	0	E
50	26	50	50	58	56	53	57	B
	23	42	48	42	44	47	43	W
	51	8	2	0	0	0	0	E
75	16	46	50	49	49	55	53	B
	14	43	50	49	50	45	47	W
	70	11	0	2	1	0	0	E
100	18	38	53	51	51	53	50	B
	19	39	43	46	48	47	50	W
	63	23	4	3	1	0	0	E

表2 WSH 法与 Palmer 法比较实验的结果(平均最大流程时间及其相对偏差)

<i>m</i>	<i>n</i>							结果比较
	10	20	30	40	50	75	100	
10	1 144	1 754	2 303	2 853	3 412	4 794	6 072	\overline{F}_{\max} (WSH)
	1 154	1 759	2 309	2 874	3 418	4 812	6 093	\overline{F}_{\max} (Palmer)
	0 87	0 29	0 26	0 74	0 18	0 38	0 35	δ
15	1 501	2 136	2 737	3 328	3 909	5 321	6 685	\overline{F}_{\max} (WSH)
	1 505	2 141	2 753	3 350	3 920	5 356	6 715	\overline{F}_{\max} (Palmer)
	0 27	0 23	0 58	0 66	0 28	0 66	0 45	δ
20	1 816	2 506	3 161	3 779	4 387	5 811	7 255	\overline{F}_{\max} (WSH)
	1 820	2 511	3 161	3 784	4 387	5 841	7 261	\overline{F}_{\max} (Palmer)
	0 22	0 20	0 00	0 13	0 00	0 52	0 08	δ
30	2 428	3 193	3 915	4 568	5 249	6 760	8 276	\overline{F}_{\max} (WSH)
	2 431	3 203	3 925	4 575	5 254	6 771	8 298	\overline{F}_{\max} (Palmer)
	0 12	0 31	0 26	0 15	0 10	0 16	0 27	δ
50	3 626	4 524	5 318	6 036	6 764	8 435	10 069	\overline{F}_{\max} (WSH)
	3 627	4 527	5 319	6 046	6 784	8 452	10 086	\overline{F}_{\max} (Palmer)
	0 03	0 07	0 02	0 17	0 30	0 20	0 17	δ
75	6 505	7 602	8 539	9 399	10 258	12 188	13 998	\overline{F}_{\max} (WSH)
	6 504	7 607	8 536	9 402	10 261	12 199	14 008	\overline{F}_{\max} (Palmer)
	- 0 02	0 07	- 0 04	0 03	0 03	0 09	0 07	δ
100	9 250	10 545	11 606	12 587	13 496	15 577	17 580	\overline{F}_{\max} (WSH)
	9 250	10 549	11 608	12 596	13 497	15 599	17 582	\overline{F}_{\max} (Palmer)
	0 00	0 04	0 02	0 07	0 01	0 14	0 01	δ

WSH 法求得的 F_{\max} 和与之相比较的启发式算法求得的 F_{\max} 相等的算例数目, 其中 E 表示二者的结果相等

4) \overline{F}_{\max} 为对某一规模下的100个算例求得的所有 F_{\max} 的平均值

5) δ 为两种启发式算法在某一规模下分别

表3 WSH法与CDS法比较实验的结果(结果优劣的算例数目)

<i>m</i>	<i>n</i>							结果Num (•)
	10	20	30	40	50	75	100	
10	64	82	85	92	95	97	100	B
	40	18	15	8	5	3	0	W
	0	0	0	0	0	0	0	E
20	56	64	74	90	92	95	100	B
	41	36	25	10	8	5	0	W
	3	0	1	0	0	0	0	E
50	54	61	77	76	81	92	90	B
	46	39	23	23	19	8	10	W
	0	0	0	1	0	0	0	E
100	53	67	69	80	72	86	87	B
	47	32	31	20	28	14	13	W
	0	1	0	0	0	0	0	E
150	57	59	68	69	74	76		B
	42	40	32	31	26	24		W
	1	1	0	0	0	0		E
200	50	63						B
	48	37						W
	2	0						E

表4 WSH法与CDS法比较实验的结果(平均最大流程时间及其相对偏差)

<i>m</i>	<i>n</i>							结果比较
	10	20	30	40	50	75	100	
10	1 148	1 746	2 324	2 863	3 411	4 784	6 070	\overline{F}_{\max} (WSH)
	1 162	1 800	2 415	3 010	3 608	5 045	6 445	\overline{F}_{\max} (CDS)
	1.22	3.09	3.92	5.13	5.78	5.46	6.18	δ
20	1 822	2 528	3 165	3 772	4 377	5 826	7 230	\overline{F}_{\max} (WSH)
	1 834	2 564	3 233	3 905	4 540	6 081	7 623	\overline{F}_{\max} (CDS)
	0.66	1.42	2.15	3.53	3.72	4.38	5.44	δ
50	3 644	4 521	5 301	6 063	6 764	8 445	10 084	\overline{F}_{\max} (WSH)
	3 644	4 553	5 393	6 165	6 882	8 643	10 329	\overline{F}_{\max} (CDS)
	0.00	0.71	1.74	1.68	1.74	2.34	2.43	δ
100	6 473	7 571	8 537	9 404	10 244	12 145	14 000	\overline{F}_{\max} (WSH)
	6 473	7 629	8 600	9 504	10 338	12 311	14 208	\overline{F}_{\max} (CDS)
	0.00	0.77	0.74	1.06	0.92	1.37	1.49	δ
150	9 255	10 518	11 600	12 582	13 491	15 617		\overline{F}_{\max} (WSH)
	9 269	10 570	11 682	12 672	13 606	15 755		\overline{F}_{\max} (CDS)
	0.15	0.49	0.71	0.72	0.85	0.88		δ
200	11 972	13 399						\overline{F}_{\max} (WSH)
	12 000	13 454						\overline{F}_{\max} (CDS)
	0.23	0.41						δ

求得的 \overline{F}_{\max} 之间的相对偏差的百分数:

$$\delta = [(\text{与WSH法相比较的启发式算法求得的} \overline{F}_{\max} / \text{WSH法求得的} \overline{F}_{\max}) - 1] \times 100$$

从结果中可以看出,WSH法在机器数 m 和工件数 n 都不大于100的规模下优于 Palmer 法,而当机器数 $m=100$ 时,WSH法与 Palmer 法的结果趋于相等.

当 $n=10$ 时,随着工件数 n 的增大,WSH法比CDS法优越的程度迅速增大,因而,对于规模较大的问题,WSH法比CDS法更为优越.

4 结 论

本文提出的WSH法是一种结构非常简单、计算效率高和求解的优化程度较高的新的启发式算法,优于 Palmer 法和CDS法.它的主要缺点^[7]如同 Palmer 法、CDS法及NEH法等启发式算法一样,在机器数 m 大(例如 $m=150$)的情况下,算法的特征优越性丧失,解的质量迅速下降.它尤其适合求解工件数 n 较大、机器数 $m=100$ 的规模的 $n/m/P/F_{\max}$ 问题.

W SH 启发式算法在解决实际生产调度中的 Flow shop 排序问题时, 有着明显的优越性, 一线的调度者可以不用计算机等设备, 仅靠笔算就可以运用它, 可以很容易地求得问题的满意解

另一方面, W SH 启发式算法还是一种新的很有发展前途的算法, 通过进一步深入研究调整加权值的大小对目标函数值产生的影响, 选取更为合适的加权值, 可以使该算法的求解优化程度进一步提高

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

2 Sarin S, Lefoka M. Scheduling heuristic for the n-job m-machine flow shop. Omega, 1993, 21 (2): 229~ 234
3 Gemain R, Sriskand D C. A heuristic for job shop scheduling IFAC Proceeding Series, 1985
4 Palmer D S. Sequencing jobs through a multi-stage process in the minimum total time—a quick method of obtaining a near optimum. Ops Res Q, 1965, 16: 101~ 107
5 Dannenbring D G. An evaluation of flow shop sequencing heuristics Mgmt Sci, 1977, 23: 1174~ 1182
6 Campbell H G, Dudek R A, Smith M L. A heuristics algorithm for the n-job m-machine flow shop sequencing problem. Mgmt Sci, 1970, 16: B630~ B637
7 沈英俊 同顺序 Flow shop 排序问题的启发式算法研究: [学位论文]. 北京: 北京航空航天大学管理学院, 1996

New Scheduling Heuristic for the Permutation Flow shop Problem

Shen Yingjun Huang Haijun

(Beijing University of Aeronautics and Astronautics, Dept. of School of Management)

Wu Sa

(Beijing University of Aeronautics and Astronautics, Dept. of System Engineering of Engineering Technology)

Wu Jing

(Beijing University of Aeronautics and Astronautics, School of Astronautics)

Abstract The permutation flow shop problem, which is a class of NP problems that are often encountered in scheduling of manufacturing systems, has not been completely solved either in theory or in application. A new heuristic method, named W SH, is proposed in this paper to solve the permutation flow shop problem. This heuristic aims to minimize the total process time of all jobs. The comparison between this method and others reported in literature until now, is presented on the basis of results from many numerical examples. The results show that W SH, simple in structure and excellent in computational efficiency, is a good method to solve small-size and medium-size problems.

Key words sequencing; heuristic approach; scheduler; permutation flow shop problem