

基于窗口的某航空发动机装配车间动态调度

刘欣,严洪森,沈博

(东南大学复杂工程系统测量与控制教育部重点实验室,江苏南京210096;
东南大学自动化学院,江苏南京210096)

摘要:针对航空发动机装配车间因急件插入造成静态调度结果失效的问题,文中在考虑机器能力约束的基础上,建立了重入式混合Flow-shop动态调度模型;提出了基于窗口的动态调度策略,根据急件插入时刻,将已生成的预调度方案中的发动机分成三部分:正在装配发动机、装配完成发动机、未装配发动机。再调度窗口的大小包含正在装配发动机的未装配工序和插入的急件。该动态调度策略不仅保证了事件响应的快速性,而且尽量减少对预调度方案的变更。实验表明该动态调度方法可行有效。

关键词:窗口大小;可重入混合车间;动态调度

中图分类号:TP301

文献标识码:A

文章编号:1673-629X(2013)12-0213-06

doi:10.3969/j.issn.1673-629X.2013.12.051

Dynamic Scheduling of Aero-engine Assembly Shop Based on Horizon Procedure

LIU Xin, YAN Hong-sen, SHEN Bo

(Ministry of Education Key Laboratory of Measurement and Control of CSE, Southeast University,
Nanjing 210096, China;
School of Automation, Southeast University, Nanjing 210096, China)

Abstract: Aiming at this problem that the inserting of urgent engine caused static schedules in aero-engine assembly plant to be unable to meet with the production needs, a re-entry hybrid flow-shop dynamic scheduling model was established, taking machine capacity constraint into consideration. Then a dynamic scheduling method based on horizon was set up. According to the inserting time of the urgent engine, engines in the pre_schedule were divided into three parts: the assembling engines, the assembled engines and the waiting engines. The re_scheduling horizon size contains the unassembled operations of the assembling engines and the inserting engines. The dynamic scheduling method not only ensured the rapidity of responding event but also tried to reduce the pre_schedule changes. The simulation results validate the feasibility and effectiveness of the dynamic scheduling method.

Key words: horizon size; re-entrant hybrid flow shop; dynamic scheduling

0 引言

当今的信息业发展迅速,使得航空发动机的生产发生了巨大变化:顾客需求多样化、个性化,新产品市场寿命周期越来越短等。面对复杂的国内国际环境,企业要想立于不败之地,必须重视对市场变化的反应速度,努力提高生产柔性,控制好产品的交货期,提高产品质量,降低产品成本等,而做好这一切的核心是有效的调度。部分企业仍采用静态调度方法,每个月按

照生产订单制订计划,对一些加急订单采取诸如手工排产的特殊方法进行生产。这种方法的优点是可以提高机器的利用率,调度简单;缺点是需要提前一个月对订单进行备料,对订单的响应慢,并且会打乱已有的生产调度安排,在投产时不能确定零件的交付期,更加不能保证零件按期交付,大大削弱了企业的核心竞争力。航空发动机装配车间迫切需要一种能快速响应装配车间突发事件的动态调度方法,由此,各种动态调度方法

收稿日期:2013-03-01

修回日期:2013-06-07

网络出版时间:2013-09-29

基金项目:国家自然科学基金重点资助项目(60934008)

作者简介:刘欣(1988-),女,河南南阳人,硕士研究生,研究方向为生产计划与调度;严洪森,博士,教授,博士生导师,研究方向为知识化制造、生产计划与调度、预测等。

网络出版地址: <http://www.cnki.net/kcms/detail/61.1450.TP.20130929.1523.023.html>

应运而生。动态调度因其更满足实际生产环境的需要而受到众多学者的重视,目前已成为调度领域的热点之一。

Jackson^[1] 1957 年最早提出了动态调度问题。最初的动态调度研究方法主要有整数规划法、启发式规则、离散系统仿真^[2]等,虽然在一定程度上可以解决动态调度问题,但均具有一定的局限性,或者只适合解决小规模问题,或者解的质量不理想,或者不具有普遍性,很难从特定的试验中提炼出一般规律。随着动态调度研究的不断推进,有学者提出了动态环境下的重调度策略^[3-5],但对动态事件的响应速度不尽人意,且问题求解规模有限。1977 年 Nelson 等^[6]提出了滚动窗口再调度思想。给动态调度研究开辟了新的思路。文献[7]针对常见的 Job shop 问题提出了一种新的滚动调度策略,借鉴预测控制的思想,采用 time-based 和 job-based 的滚动调度策略适应动态环境,取得不错的效果,但该滚动窗口法并未针对所有工件生成预调度方案,当系统中没有突发事件时,仍然按照滚动调度策略进行调度,并不能快速生成一个针对所有工件的调度方案。文献[8]提出的动态调度方法先生成一个预调度方案,弥补了上述不足,当系统中有突发事件时对所有工件进行再调度,并未考虑使再调度方案在满足需求的条件下对原调度方案做最小的变更。

针对以上问题,文中根据航空发动机装配车间实际的装配环境首先建立了可重入混合 Flow shop 动态调度模型,提出了基于窗口的动态调度方法。将所有需要装配的发动机先生成一个预调度方案,若无急件插入,则装配车间按照预调度方案进行装配,若有急件插入,将预调度中发动机分成正在装配发动机、装配完成发动机、未装配发动机,再调度窗口为正在装配发动

机未装配工序,即将急件插入到再调度窗口中优化再调度,然后,根据此再调度方案对未装配发动机各道工序的装配时间做相应的变化。文中提出的基于窗口的动态调度方法一方面兼顾了插入发动机具有较高优先级,另一方面尽量减少对预调度中已分配好装配机器的发动机的变动,减少更换工具次数,从而降低装配成本。实验结果表明,文中提出的基于窗口的动态调度策略,解决对象新,同时考虑到了实际生产环境中存在的设备约束,不仅具有良好的实时性,而且提高了机器资源的利用率,可行,有效。

1 航空发动机装配车间动态调度模型

1.1 航空发动机装配车间动态调度物理模型

航空发动机的生产对精密性的要求非常高,常常涉及上百道工序和多次试车,且在装配过程中存在诸多不确定因素:不合格产品的返件、返件的次数、装配环境的不确定等。实际生产中,不同型号发动机装配工序不尽相同且工序数量庞大,基于成百上千道工序的优化调度不仅计算量大,而且实际环境中的各种扰动对现有排产结果影响明显,牵一发而动全身,容易造成现有排产方案失效而不得不重新排产,这样一来耗费巨大的时间代价,无实际意义。在对该航空发动机装配车间的调研中发现,发动机相似的或连续一类操作工序可以看作是一个组,对装配流程中几个连续的组看成是一个班,每个组内装配工序操作是固定的,每个班内组与组之间的操作顺序也是固定的。这样一来,对所有型号的发动机而言问题可简化为包括:部件,传装,总装,试车,分解,故检,返件等班组的一系列工艺过程,如图 1 所示。

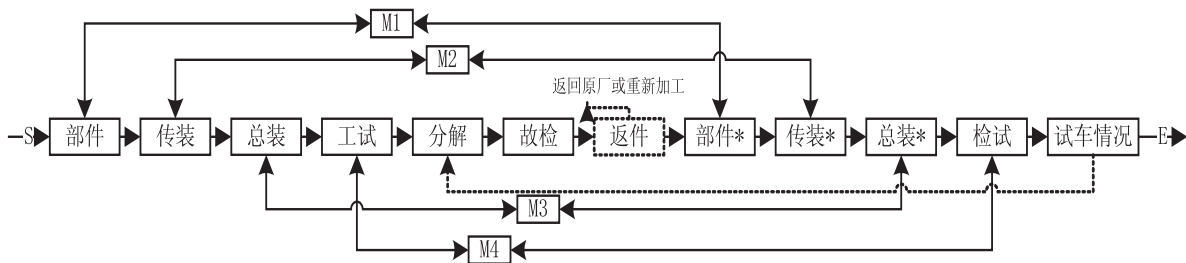


图 1 航空发动机工艺过程简化模型

“部件*”,“传装*”,“总装*”同部件,传装,总装分别在同一个班组中同一组机器装配故用“*”加以区别为不同的工序。若发动机“故检”合格,就进行“部件*”等后续工序的装配,若不合格则需要返件,依据不合格发动机具体情况,决定是“返回原厂”还是“重新装配”。返件的发生具有一定的随机性。当发动机完成“检试”工序后,根据“试车情况”确定该发动

机是成功完成装配还是需要进入分解环节继续装配,这也是一个随机事件。文中主要解决在装配中急件插入问题,针对返件,试车后重新进入分解环节等随机事件问题的解决方案将在以后的文章中进一步讨论。因此,简化后模型每台发动机都不会出现返件且试车情况均符合相关技术标准,即只经过一次工厂阶段装配和一次检验阶段装配。装配过程中企业为了提高生产

效率,每个班组往往采用并行机组形式进行装配,所谓并行机组是指同一道工序可由多台机器进行装配。综上所述,该航空发动机装配车间动态调度问题可描述为:有 N 台待装配发动机, S 道工序,每道工序有 M_i 台并行机器 ($1 \leq i \leq S$) 的可重入混合 Flow shop 问题。将该航空发动机装配车间先生成一个预调度方案,若无急件插入则按照预调度方案进行装配。当有急件插入时对窗口内发动机进行再调度优化,根据再调度结果对未装配发动机装配时间进行相应处理。与静态调度不同的是,动态调度需要记录系统中急件插入时各发动机各工序分配的机器,装配开始和结束时间。

为方便研究,模型中存在以下假定:

- (1) 所有发动机的工艺过程确定且相同,不同型号发动机各工序装配时间,交付期可不同;
- (2) 加急发动机到达时间未知;
- (3) 各工序在装配过程中不允许中断;
- (4) 考虑到动态调度问题规模和复杂度,假定并行机机组装配性能无区别;
- (5) 不考虑发动机每道工序装配前的准备时间;
- (6) 工序之间的缓冲区能力为无限大。

1.2 航空发动机装配车间动态调度数学模型

$$\text{obj: } \min\{\max\{f_j \mid j \in J\}\} \quad (1)$$

$$\text{s. t: } f_j = f_{o_j} \quad j \in J \quad (2)$$

$$f_{i,j} = s_{i,j} + p_{i,j} \quad i = 0, \dots, o_j \quad j \in J \quad (3)$$

$$s_{i,j,0} = \begin{cases} \max(f_{i-1,j,0}, f_{i,j^*,0}) & i = 1, \dots, o_j \\ f_{i,j^*,0} & i = 0 \end{cases} \quad j \in J_0 \quad (4)$$

$$s_{i,j,1} = \begin{cases} \max(f_{i-1,j,1}, f_{i,j^*,1}) & i = o_{j1} + 1, \dots, o_j \\ \max(t_{j,1}, f_{i,j^*,1}) & i = o_{j1} \end{cases} \quad j \in J_1 \quad (5)$$

$$s_{i,j,2} = \begin{cases} t_{m_{i,j,2}} & i = 0 \\ \max(t_{m_{i,j,2}}, f_{i-1,j,2}) & i = 1, \dots, o_j \end{cases} \quad j \in J_2, m_{i,j,2} \in M_{i,j} \quad (6)$$

$$t_{m_{i,j,2}} = \begin{cases} f_{i,j^*,1} & j^* \in J_1 \\ f_{i,j^*,2} & j^* \in J_2 \end{cases} \quad i = 0, \dots, o_j \quad j \in J_2 \quad (7)$$

$$s_{i+1,j} - p_{i,j} \geq s_{i,j} \quad j \in J \quad i = 0, \dots, o_j - 1 \quad (8)$$

$$p_{i,j} \geq 0 \quad i = 0, \dots, o_j \quad j \in J \quad (9)$$

$$\sum_{j \in J} X_{i,j,t} \leq m_i \quad (10)$$

$$X_{i,j,t} = \begin{cases} 0 & t \text{ 时刻发动机 } j \text{ 工序 } i \text{ 不在装配} \\ 1 & t \text{ 时刻发动机 } j \text{ 工序 } i \text{ 正在装配} \end{cases} \quad (11)$$

$$\sum_{j \in J} Y_{i,j,m,t} \leq 1 \quad (12)$$

$$Y_{i,j,m,t} = \begin{cases} 0 & t \text{ 时刻发动机 } j \text{ 工序 } i \text{ 不在机器 } m \text{ 上装配} \\ 1 & t \text{ 时刻发动机 } j \text{ 工序 } i \text{ 在机器 } m \text{ 上装配} \end{cases} \quad (13)$$

下面介绍上述模型所用到的变量及其意义,如下:

J : 包含急件在内的所有发动机的标号集;

J_0 : 预调度装配的所有发动机的标号集;

J_1 : 再调度窗口内部发动机的标号集;

J_2 : 窗口右侧待装配发动机的标号集;

\max : 最大值函数;

\min : 最小值函数;

i : 工序号;

j : 装配的发动机号;

o_j : 发动机最后一道装配工序;

o_{j1} : 发动机 j 在再调度窗口中装配的第一道工序;

f_j : 发动机 j 装配完成时间;

$f_{i,j}$: 发动机 j 工序 i 的装配完成时间;

$s_{i,j}$: 发动机 j 工序 i 的装配开始时间;

$p_{i,j}$: 发动机 j 工序 i 的装配时间;

$s_{i,j,0}, s_{i,j,1}, s_{i,j,2}$: 分别表示预调度中,窗口内正在装配,窗口右侧待装配发动机 j 工序 i 的装配开始时间;

$f_{i,j^*,0}$: 预调度中如果发动机 j 工序 i 为其分配的装配机器的第一个装配的发动机,则 $f_{i,j^*,0} = 0$,否则 $f_{i,j^*,0}$ 表示与装配发动机 j 工序 i 装配机器相同的上台发动机在该机器上的装配完成时刻。 $f_{i,j^*,1}, f_{i,j^*,2}$ 分别处理的是窗口内发动机和窗口右侧待装配发动机,意义与上相同;

$t_{j,1}$: 再调度窗口中发动机 j 再调度起始时刻;

$m_{i,j,2}$: 表示再调度窗口右侧发动机 j 工序 i 的装配机器号;

$t_{m_{i,j,2}}$: 发动机 j 工序 i 的装配机器 $m_{i,j,2}$ 的最早可装配时刻;

$M_{i,j}$: 发动机 j 工序 i 的可用装配机器集;

t_0 : 急件到达时刻;

m_i : 装配工序 i 的可用机器数量。

部分公式意义如下:

公式(1): 动态调度目标函数;最小化所有发动机完成装配的时间;

公式(2): 发动机 j 完成装配的时刻为最后一道工序 O_j 完成装配的时刻;

公式(3): 发动机 j 工序 i 完成装配的时刻为当前窗口该台发动机该道工序起始时刻同该工序装配时间之和;

公式(4): 预调度中发动机 j 工序 i 装配起始时刻的确定。若该工序为第一道工序,则开始时刻为该机器上装配的上一台发动机在该机器上的装配结束时间 $f_{i,j^*,0}$ (若 j^* 存在,不存在时令 $f_{i,j^*,0} = 0$);若为非第一道工序,开始时刻为工序 i 的前一工序完成装配的时刻同 $f_{i,j^*,0}$ 中较大者;

公式(5): 再调度窗口内发动机各工序装配起始

时刻的确定,对于窗口内第一道装配工序而言,开始时刻为该机器上装配的上一台发动机的装配结束时间 $f_{i,j^*,1}$ (如果为机器上第一个装配的发动机则令 $f_{i,j^*,1} = t_{j,1}$),对于窗口内非第一道工序而言,其起始时刻为 $f_{i,j^*,1}$ (如果为机器上第一个装配的发动机则令 $f_{i,j^*,1} = t_{j,1}$) 同该发动机上一道工序完工时刻两者中的较大者;

公式(6):窗口右侧未装配发动机各工序装配开始时刻的确定,若为第一道工序,则装配起始时刻取决于装配该道工序机器的最早空闲时刻,若非第一道工序,则装配起始时刻取决于装配该道工序的机器空闲时刻和该工序上道工序完成装配时刻,取两值中的较大者;

公式(7):未装配发动机中,装配发动机 j 工序 i 的机器最早空闲时刻的确定;

公式(8):发动机工序约束;

公式(9):发动机各工序装配时间大于0;

公式(10):机器能力约束;

公式(12):机器唯一性约束,某时刻只有一台发动机在机器上装配。

2 动态调度策略

将需要装配的发动机首先生成一个预调度方案,某时刻,急件插入,根据急件插入时刻确定再调度时刻,同时将预调度方案中的发动机分成三部分:装配完成发动机,未装配发动机,正在装配发动机。将急件插入正在装配发动机中生成再调度方案,保持预调度中未装配发动机各工序的装配机器不变,根据再调度方案对未装配发动机的时间做相应处理。

2.1 预调度方案的生成

初始时刻根据预调度算法将需要装配的发动机生成预调度方案,预调度方案的生成采用遗传算法和分派规则相结合的调度算法。目标函数为最小化所有发动机的最大装配完成时间,采用基于机器的编码方式。遗传算法通过选择、交叉、变异等遗传操作使群体进化来进行全局优化搜索,它本身不能减小搜索空间的大小,但由于群体搜索的独特机制使得它能有效地搜索较大的解空间。由于遗传算法的每个个体相应于一种调度方式,通过遗传算法中的选择、交叉和变异等操作将使群体中的个体逐步进化,最后使发动机各工序在机器上的分配尽可能达到最优。关于遗传算法的优化原理可参考文献[9-11]。

预调度的目的是通过遗传算法,根据装配量^[12]与交付期比,机器约束,工序约束等规则及条件确定各发动机分配的机器,发动机在机器上装配的先后次序,及装配开始和结束时间。

2.2 动态调度策略设计

在已生成的预调度方案基础上,判断是否有急件到达,若有,触发再调度,基于窗口的动态调度策略按照以下步骤进行:

1)根据急件到达的时刻,考虑装配发动机的工序不可中断约束,须等待急件插入时正在装配工序完成装配后,确定再调度时刻;

2)根据急件插入时刻,将预调度中发动机分成三部分:装配完成发动机,正在装配发动机,未装配发动机,选择正在装配发动机未装配工序及急件进入再调度窗口;

3)对再调度窗口内发动机采用预调度中的优化调度算法对急件和正在装配发动机未装配工序进行再调度,生成再调度方案;

4)对再调度窗口右侧未装配发动机进行装配时间再处理,根据再调度窗口中机器的空闲时刻,对再调度窗口右侧待装配发动机装配时间做相应的后延;

5)装配,判断是否有急件到达,若有转1,否则进行装配,直至装配完所有发动机。

3 实验仿真

假设要装配3种型号6台发动机:P701 型号4台:S10A1,S10A2,S10A4,S10A5,交付期(单位:小时)分别是:58,48,65,60;P702 型号1台:S10A3,交付期为56;10AX 型号1台:S10A6,交付期为60。不同机型各工序装配时间如表1所示。

表1 不同机型发动机各工序装配时间

机 型	装配时间/小时									
	部件	传装	总装	工试	分解	故检	部件*	传装*	总装*	检试
P701	3	5	5	2	4	1	3	5	5	2
P702	2	4	1	4	5	6	2	4	1	4
10AX	2	3	4	3	2	3	1	4	4	3

每台发动机有10个装配工序,其中装配后四道工序的机器同前四道工序即在相同的班组进行装配。这里为了减少实验用例的复杂度,假设装配每道工序的并行机都是2台,共计12台装配机器,编号为1~12。部件*,传装*,总装*,检试工序所在班组同部件,传装,总装,工试,即选取相同的机组装配。初始时刻根据待装配的6台发动机生成预调度方案甘特图如图2,在 $t = 2$ 时刻P701 型号发动机S10A7作为紧急插件到达,交付期为63。窗口被触发,急件插入后的调度结果如图3。

图2,图3直观显示了急件插入前后的调度结果。横坐标代表时间,纵坐标表示所在的机器号。在甘特图的每一个方块上方都有一个数组,该数组第一个变量表明该调度方案中的发动机标号,第二个变量表明

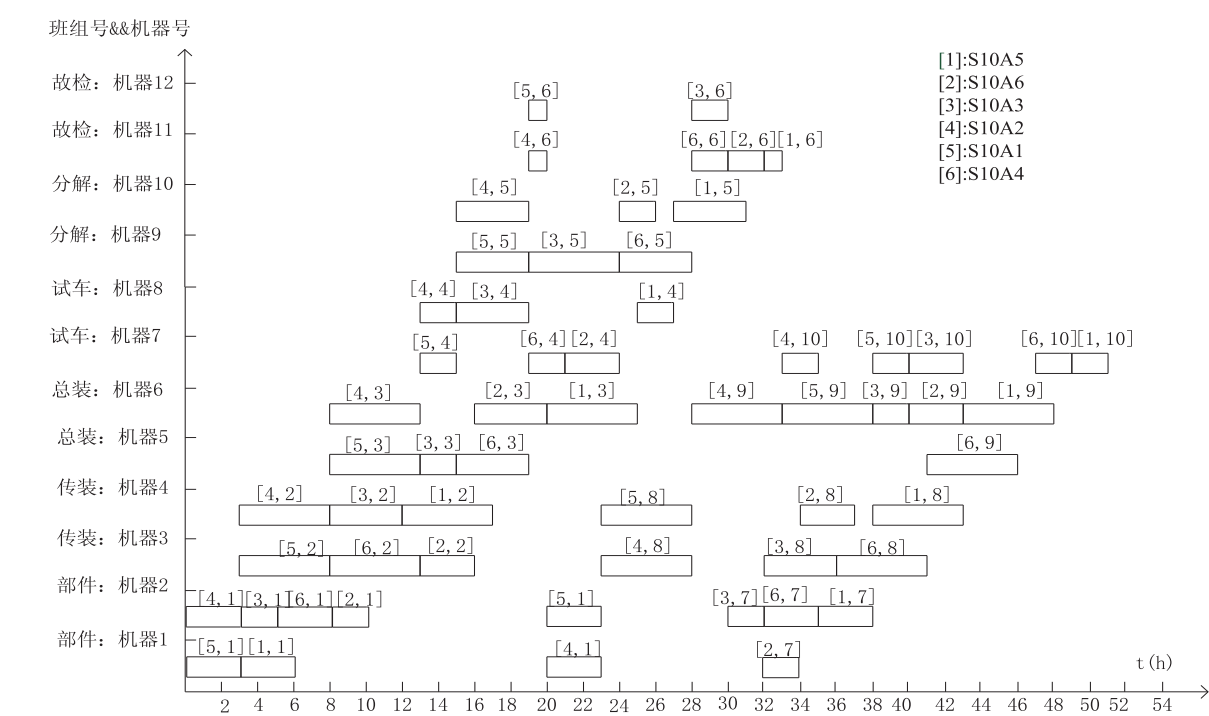


图 2 预调度方案甘特图

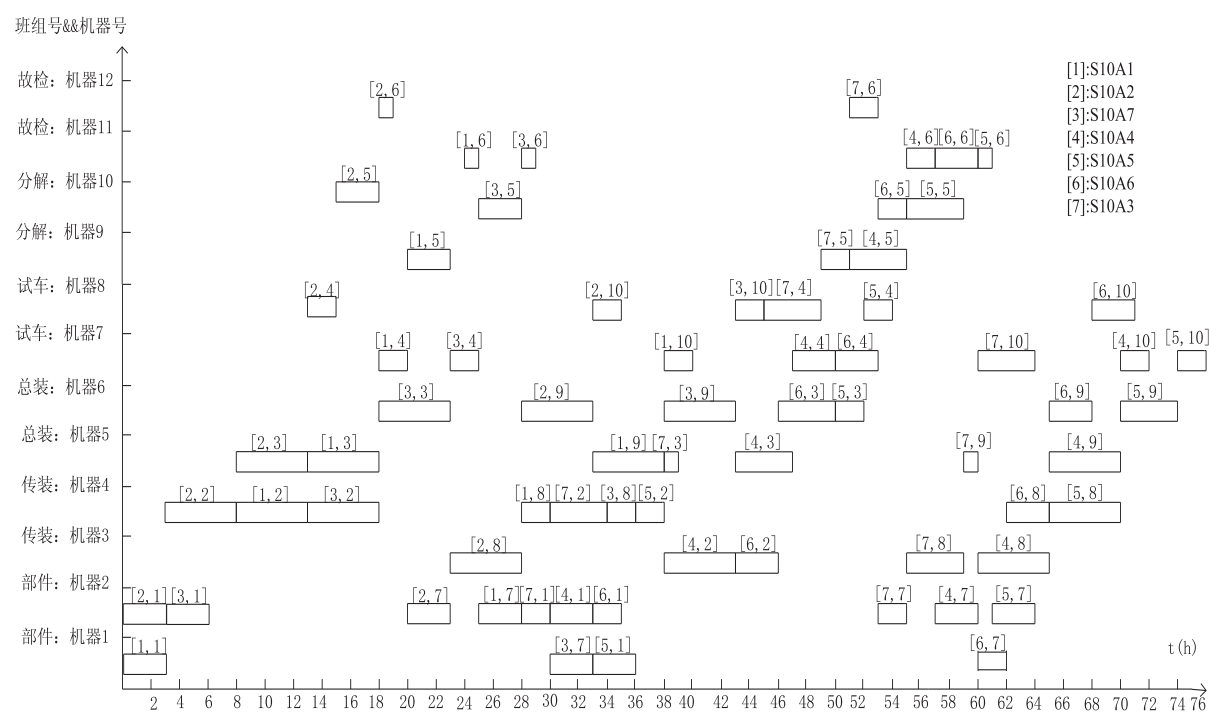


图 3 急件插入后甘特图

发动机所在的装配工序,如 1 为第一道工序“部件”,2 为第二道工序“传装”……依次类推,10 代表第十道工序“检试”。区块的左边边界代表该道工序的装配开始时间,右边边界代表该道工序装配的结束时间,方块横向长度代表该工序的装配时间。

$t = 2$ 时刻发动机号为 S10A7 的发动机作为紧急插件到达,由预调度结果可知,此时有发动机正在装配,考虑到工序不可中断约束,故窗口触发时刻 $t = 3$ 。

此时发动机号为 S10A2 和 S10A1 的发动机是正在装配发动机,保存触发时刻这两台发动机的装配工序。将发动机号为 S10A7 的发动机插入正在装配发动机中,对此三台发动机进行优化调度。根据急件插入前后,窗口调度结果不难发现:

1) $t = 2$ 时刻有急件插入, $t = 3$ 时刻系统响应,生成相应的动态调度结果。表明该动态调度策略不仅考虑装配过程工序不可中断的约束,而且具有良好的实

时性;

2) 发动机号为 S10A3, S10A4, S10A5, S10A6 的发动机为待装配发动机, 由图 2, 图 3 可知, 这四台发动机在急件插入前后各道工序装配机器并未发生变化, 只是在急件插入后对其各道工序装配时间作了相应的调整。在设计动态调度策略时尽量减少对预调度方案的改变, 减少更换工具次数, 从而降低装配成本;

3) 急件插入前、后各发动机的机器分配情况相对均匀, 且装配机器利用率较高, 表明了预调度和再调度算法的有效性。

4 结束语

文中针对航空发动机装配车间这一类可重入混合 Flow shop 动态调度问题提出了基于窗口的动态调度策略, 实验结果表明该动态调度策略可以在合理时间内快速响应动态事件, 具有良好的实时性。同时文中待装配发动机集, 正在装配发动机集, 装配完成发动机集的分类, 降低了再调度时求解规模, 减少算法耗时。将急件插入正在装配发动机中, 生成再调度方案, 根据再调度结果只对待装配发动机的装配起止时间作相应的处理, 其分配的装配机器仍然按照预调度的结果, 从而减少更换工具次数, 有效降低了装配成本。

文中提出的基于窗口的动态调度策略, 虽然有效地解决了航空发动机装配车间可重入混合 Flow shop 动态调度问题, 但是问题的规模还比较小, 复杂度较低, 并不能保证随着问题规模的增加, 调度结果依然令人满意, 同时遗传算法本身还存在一些缺陷。在接下来时间中, 笔者将继续研究如何对算法作必要的改进, 使其克服自身的一些缺陷, 更好满足实际应用需求。

参考文献:

- [1] Jackson J R. Simulation research on job shop production[J]. Naval research logistics quarterly, 1957, 4(3): 287-295.
- [2] 潘全科, 朱剑英. 作业车间动态调度研究[J]. 南京航空航天大学学报, 2005, 37(2): 262-268.
- [3] Yamamoto M. Scheduling/Rescheduling in the manufacturing operating system environment[J]. International journal of production research, 1985, 23(4): 705-722.
- [4] Rong L I, Yu T. A heuristic rescheduling algorithm for computer-based production scheduling systems[J]. International journal of production research, 1993, 31(8): 1815-1826.
- [5] Church L K, Uzsoy R. Analysis of periodic and event-driven rescheduling policies in dynamic shops[J]. International journal of computer integrated manufacturing, 1992, 5(3): 153-163.
- [6] Nelson R T, Holloway C A, Wong R M. Centralized scheduling and priority implementation heuristics for a dynamic job shop model with due dates and variable processing time[J]. AIIE transactions, 1977, 19(5): 96-102.
- [7] 方 剑, 席裕庚. 基于遗传算法的滚动调度策略[J]. 控制理论与应用, 1997, 14(4): 589-594.
- [8] 杨冬涛. 基于遗传算法 MES 车间生产计划动态调度研究[D]. 广州: 广东工业大学, 2008.
- [9] 余友明, 刘玉树, 阎光伟. 遗传算法的编码理论与应用[J]. 计算机工程与应用, 2005(35): 86-89.
- [10] Goldberg D E. Genetic algorithms in search, optimization and machine learning[M]. America: Addison-Wesley, 1989.
- [11] 范金松, 严洪森, 周久海, 等. 基于遗传算法的某航空发动机装配车间优化调度[J]. 计算机技术与发展, 2012, 22(9): 205-209.
- [12] 董 薇. 基于规则的单件车间调度算法的研究[D]. 哈尔滨: 哈尔滨理工大学, 2007.

(上接第 212 页)

- [2] 张海宁, 张碧伟. 基于亚像素精度分割的晶粒图像识别方法[J]. 电子设计工程, 2011, 19(4): 113-116.
- [3] Peng K M, Chert B M, Cheng G Y, et al. Modeling and compensation of nonlinearities and friction in a micro hard disk drive servo system with nonlinear feedback control[J]. IEEE transactions on control systems technology, 2005, 13(5): 708-721.
- [4] Chen B M, Lee T H, Peng K M, et al. Composite nonlinear feedback control for linear systems with input saturation: Theory and all application[J]. IEEE transactions on automatic control, 2003, 48(3): 427-439.
- [5] Lu Y S, Cheng C M, Cheng C H. Non-vershooting PI control of variable speed motor drives with sliding perturbation observers[J]. Mechatronics, 2005, 15(9): 1143-1158.
- [6] Cheng G Y, Peng K M. Robust composite nonlinear feedback

- control with application to a servo positioning system[J]. IEEE transactions on industrial electronics, 2007, 54(2): 1132-1140.
- [7] ADLINK PCI-8134 4 Axes Servo/Stepper motion control card user's guide[M]. [s. l.]: ADLINK Technology Inc, 2006.
- [8] 秦 忆, 周永鹏, 邓思华. 现代交流伺服系统[M]. 南京: 华中理工大学出版社, 2000: 15-39.
- [9] 张崇魏, 李汉强. 运动控制系统[M]. 武汉: 武汉理工大学出版社, 2002: 56-64.
- [10] 丛 爽, 李泽湘. 实用运动控制技术[M]. 北京: 电子工业出版社, 2003: 355-376.
- [11] 田 蓓, 张海宁. PCI8134 在运动控制中的应用[J]. 科技广场, 2009(5): 209-211.
- [12] 耿宏涛, 舒志兵. 基于 VC 的多轴运动控制卡软件开发技术研究[J]. 机床与液压, 2007, 35(11): 130-133.

基于窗口的某航空发动机装配车间动态调度

作者：[刘欣](#)，[严洪森](#)，[沈博](#)，[LIU Xin](#)，[YAN Hong-sen](#)，[SHEN Bo](#)

作者单位：[东南大学 复杂工程系统测量与控制教育部重点实验室](#)，[江苏 南京 210096](#)；[东南大学自动化学院](#)，[江苏 南京 210096](#)

刊名：[计算机技术与发展](#)

ISTIC

英文刊名：[Computer Technology and Development](#)

年，卷(期)：2013(12)

本文链接：http://d.g.wanfangdata.com.cn/Periodical_wjfz201312051.aspx