

基于窗口的印刷车间作业动态调度研究

郝琪, 邢洁芳

(南京林业大学 江苏省制浆造纸科学与技术重点实验室, 南京 210037)

摘要:为了解决实际印刷车间突发设备故障和紧急插单问题,采用滚动窗口技术结合遗传算法的方法,建立适合实际印刷车间生产的动态再调度模型;设定若干印品订单、机器设备的加工工序以及各工序加工时间、工序约束条件等,以订单的最大最小加工时间和再调度的偏离度为多目标优化,采用周期与事件混合驱动策略,将滚动窗口再调度机制和遗传算法相结合进行流程设计和编码,构建印刷车间再调度模型;采用标准问题 FT06 和 FT01 验证了文章设计的模型算法的有效性和可行性;运行程序,模拟正常加工时紧急插单和机器故障突发时,系统生产新的调度计划即调度甘特图,仿真结果表明该动态调度模型可以用于印刷作业的正常排产调度,在遇突发状况时可生成稳定、符合交货日期的再调度方案。

关键词:滚动窗口;遗传算法;动态调度;印刷车间作业

Research on Dynamic Scheduling of Printing Workshop Based on Windows

Hao Qi, Xing Jiefang

(Jiangsu Provincial Key Lab of Pulp and Paper Science and Technology, Nanjing Forestry University, Nanjing 210037, China)

Abstract: In order to solve the problem of emergent equipment failure and emergency insertion in practical printing workshop, a rolling window method combined with genetic algorithm was adopted to study, for the construction of dynamic production scheduling model of a practical printing shop. Set a number such as print orders, the processing time of the machine and Time-consuming equipment, the fastest time to finish the order and the stability of the scheduling are taken as the optimization target. By using the hybrid strategy of periodic and event driven, the rolling window rescheduling mechanism and genetic algorithm are combined to process design and coding. The validity and feasibility of the proposed algorithm are verified by the standard FT06 and FT01. Run the program to simulate the normal processing of emergency insert and machine failure. The system produces a new schedule. The simulation results show that the dynamic scheduling model can be used in the print job scheduling, in the event of a sudden situation can generate stable, in line with the delivery date of the rescheduling scheme.

Keywords: scroll window; genetic algorithm; dynamic scheduling; printing workshop

0 引言

在多媒体数字出版飞速发展的背景下,使得客户对印品的需求日益多样化、个性化、印品生产周期不断缩短,传统书刊印刷企业需要着手解决提高产品质量、降低成本、高效生产、按时交付等方面的问题,解决这些问题的核心是解决印刷车间的动态调度问题。目前印刷车间的排产调度主要依赖于人工手动排产和静态调度+人工合作排产两种方式,前者排产需要提前确定订单类型、材料库存、印刷工艺、设备等生产信息,调度周期较长;后者是在静态算法下生成确定的排产计划,当突发事件如紧急插单、机器故障等事件发生后,已有的排产计划不再适用于当前生产,需要配合人工重新进行排产,排产计划效率低、不灵活和随意性高^[1]。因此印刷企业迫切需要一套适合印刷生产工序的动态调度方案,来解决目前印刷车间调度的瓶颈问题。

Jackson^[2]在1958年提出动态调度概念。当时动态调度研究方法主要为整数规划、启发式规则、离散系统仿真^[3]等,这

些方法可能存在一些问题如:解的质量不高、普遍性差、易受限制等问题,使得动态调度较静态调度研究发展缓慢。直到 Nelson 等^[4]在1977年提出了滚动窗口再调度策略,为动态调度研究开辟了新的思路。目前,文献[5]将滚动窗口再调度模型应用于某航空发动机装配车间调度中,解决了航空零件的动态调度;文献[6]建立了关于集装箱码头泊位的动态调度模型,实现了码头灵活调度。印刷企业调度问题起步较晚,近年来,主要研究集中于印刷企业 ERP 模型的建立和 APS 系统中静态调度研究上,文献[7]建立了印刷调度 ERP 模型,但没研究调度算法模型;文献[8]提出了 APS 系统遗传算法模型的建立,但没有解决突发事件的再调度。关于印刷车间动态调度研究还未被学者注意到,本文在借鉴文献[5-6]的研究基础上,结合 GA 算法建立适合印刷车间动态调度模型。

针对实际印刷车间常见的问题紧急插单和印刷设备故障,采用周期、事件驱动策略建立滚动窗口再调度模型。在没有突发事件时,系统按 GA 生产周期调度计划正常调度,当有紧急印单加入或印刷设备故障时,触发再调度机制生产再调度方案。具有降低印刷企业生产陈本、灵活调度、达到印刷企业“零库存”目标的深远意义。

1 传统书刊印刷车间动态调度问题描述

1.1 传统书刊印刷车间描述

传统书刊印刷不同于其他制造业,其生产任务是根据客户

收稿日期:2017-03-17; 修回日期:2017-04-07。

基金项目:国家级大学生实践创新训练计划项目(201410298044Z)
江苏省产学研前瞻性联合研究项目(BY2016006-01)。

作者简介:郝琪(1990-),女,山西阳泉人,硕士,主要从事印刷与包装工程方向的研究。

要求制定,生产目标为“零剩余”,剩余产品不能再次销售只能报废,因此为了不造成企业资源浪费,对调度方案的精确度较高。印刷车间主要分为印前车间、印刷车间和印后车间^[8],印前车间主要利用计算机将原稿调整可印状态、排版;印刷车间主要完成印刷任务,主要设备分为单色印刷机和彩色印刷机;印后车间主要完成印品表面整饰提高印品价值。传统书刊印刷一般流程为:根据客户的要求和提供的原稿将原稿进行处理、排版,设计印品印刷流程,进入印刷环节,将印刷好的印品进行折页、配页、裁切、包封面、压光、覆膜等流程,完成整个印刷流程^[9]。

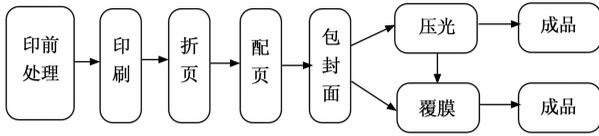


图 1 印刷流程

1.2 数学模型的建立

变量定义:

$$\begin{cases} f_1 = \min C_{\max} = \min(\max(C_i)), 1 \leq i \leq n; \\ f_2 = \min(C_{\max}(Sr) - C_{\max}(Sp)); \\ f_3 = \alpha f_1 + \beta f_2. \end{cases} \quad (1)$$

$$s.t \quad ST_{ij} \geq BT_i; \quad (2)$$

$$ST_{ij} \geq CT_{i(j-1)}; \quad (3)$$

$$ST_{ij} \geq CT_{i'j'} \times \Delta_{ij} \times \Phi_{i'j'}(ME_{ij}); \quad (4)$$

$$CT_{ij} = ST_{ij} + WT_{ijm}(ME_{ij}); \quad (5)$$

$$(ST_{ij}, CT_{ij}) \cap (LL_{mp}(ME_{ij})p, UL(ME_{ij})p) = \phi; \quad (6)$$

$$i, i' = 1, \dots, n, j = (a_i + 1), \dots, n_i; \quad (7)$$

$$j' = (a_{i'} + 1), \dots, n_{i'}, p = 1, \dots, SL_m(ME_{ij}); \quad (7)$$

$$\Phi_{ijm} = \begin{cases} 1, & \text{如印品 } i \text{ 分配到设备 } m \text{ 上加工;} \\ 0, & \text{其他。} \end{cases}$$

$$\Delta_{ij i'j'} = \begin{cases} 0, & \text{若印品 } i \text{ 的 } j \text{ 道工序安排在印品 } i' \text{ 的 } j' \text{ 道工序之前;} \\ 1, & \text{其他。} \end{cases} \quad (8)$$

i 为印品号;

j 为工序号;

m 为机器号;

p 为不可用时间号;

n 为印品数量;

BT_i 为印品 i 最早可安排时间;

n_i 为印品 i 所包含工序数;

a_i 为印品 i 已安排的工序数;

M 为设备数;

WT_{ijm} 为印品 i 的第 j 道工序在设备 m 上的加工时间;

SL_m 为设备 m 上不可用时间段数;

LL_{mp} 为设备 m 上第 p 个不可用时间下线;

UL_{mp} 为设备 m 第 p 个不可用时间上线;

ME_{ij} 为印品 i 的第 j 道工序分配到的设备;

ST_{ij} 为印品 i 的第 j 道工序开始时间;

CT_{ij} 为印品 i 的第 j 道工序结束时间;

C_i 为印品 i 所有工序加工完时间;

Sr 为机器发生故障后生产的新的调度方案;

Sp 为初始调度方案; α 、 β 为加权系数。

式 (1) 为本文双优化目标,采用加权将最小最大加工时间和调度稳定性两个目标结合;式 (2) 为印品最早可安排时间约束,即根据系统再调度状态,印品 i 前 a_i 工序已被安排,后续只需要安排 a_{i+1} 的工序;式 (3) 为工序加工顺序约束,只要当印品完成前一道工序才能开始下一道工序;式 (4) 为设备约束,设备不能同时加工两个印品;式 (5) 为印刷过程的连续性,一旦开始不能结束;式 (6) 为印刷加工时需要满足机器在不可用时段约。

2 动态调度策略

滚动窗口再调度根据再调度策略可分为周期性再调度和事件驱动再调度^[10],前者是指以固定的周期重新再调度生产新调度方案,但不能及时响应突发事件,后者是指当突发事件发生时,触发再调度生产新调度方案,此方法没有对突发事件的预见性^[11];本文采用周期、事件驱动混合再调度,可充分结合两者优势弥补缺失。

2.1 动态调度过程

在使用滚动窗口再调度时,定义 3 个窗口:未印刷印品窗口 S1、调度印品窗口 S2、已完成印刷印品窗口 S3。S1 含还未进行印刷的印品,报废或机器故障导致重新印刷的印品,紧急加单的印品;S2 包括以一定原则选出来的印品将按照静态算法进行排产,按照排产计划进行印刷;S3 包括已经完成所有印刷流程的印品; W_{\max} 为窗口数量, W 为 S2 中剩余印品数, W_{last} 为最终剩下未加工印品数。动态过程如下:

Step1: 在初始时刻,从 S1 中以交货紧迫度 $\lambda(t) = t_i - t_0$ 为原则选取 W_{\max} 印品数将其放入 S2 中。其中 t_0 为当前的再调度时刻, t_i 为印品交货时间,因此值越小,越优先选择放入印品调度窗口。

Step2: 对 S2 窗口所有印品以目标函数 $f1$ 进行 GA 算法静态排产,生产预调度方案,执行预调度方案。

Step3: 当突发事件或再调度周期 ΔT 到来时,将 S2 中已经完成全部印刷流程的印品拿出来放入 S3 中,再从 S1 选取 $\min \{ (W_{\max} - W), W_{\text{last}} \}$ 个印品放入 S2 中。

Step4: 系统状态更新。

Step5: 对 S2 窗口所有印品以目标函数 $f3$ 进行 GA 算法静态排产,并执行排产计划。

Step6: 循环 Step3、4、5 直到所有产品调度结束。

2.2 动态系统状态更新

当突发事件发生启动系统再调度时,系统主要更新设备的再调度时刻和印品加工工序情况,如下更新:

2.2.1 印刷机再调度时的开始时刻

当发生再调度的时候,印刷设备处于三种状态:空闲、工作、故障(设备保养)。当再调度时刻到来时,当印刷设备处于空闲状态,则不需要修正印刷设备的再调度开始时刻;当印刷设备处于印刷状态时,由于印刷加工的连续性不能直接使用该机器,已知再调度时刻 t_0 ,生成再调度方案时间实际忽略不计, Δt_i 为当前印刷加工工序完成剩余时间,则实际 $t_0 + \Delta t_i$ 为印刷设备再调度开始时刻,因此实际再调度时间为 $CT_{ij} - t_0$;当印刷设备处于故障(设备保养)状态时,在需要根据印刷设备可正常使用的时刻为印刷设备再调度开始时刻。当再调度时刻到来时,由于印刷设备比较多,各种设备处于不同的状态,需要对每台设备修正其再调度时刻。

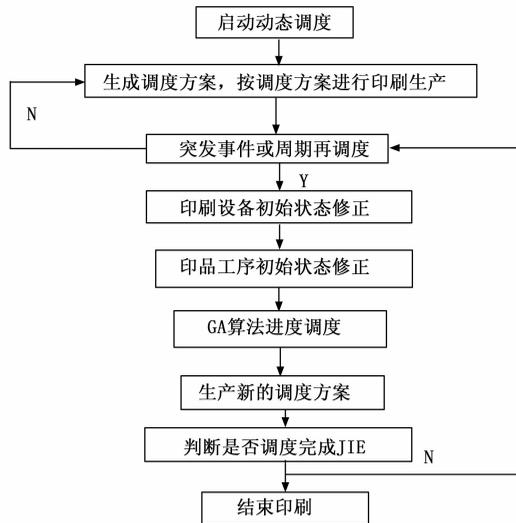


图 2 窗口调度流程

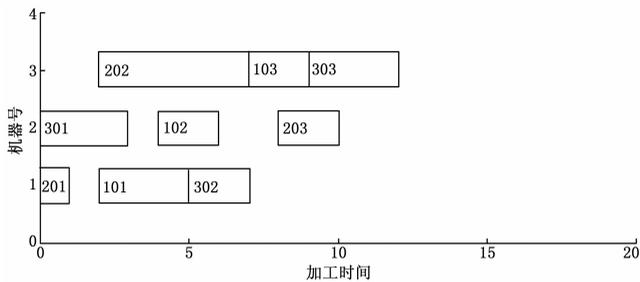


图 3 再调度机器可利用时间

如图 3 在 10 时刻再调度, 此时设备 1 处于空闲中, 设备 2、3 属于工作中, 由于印刷的连续性, 必须加工完成再开始调度, 因此时刻 10 时, 机器再调度时间分别为 10、12、13。

2.2.2 印品工序矩阵的修正

再调度时刻印品的两种状态: 全部印刷工序完成和部分印刷工序完成。当再调度时刻到来时, 当印品处于的所有加工工序都完成的状态时, 把这个印品从 S2 移入 S1 中; 当印品处于有部分加工完成工序的状态时, 将已经印刷完的工序和正在印刷的工序从印刷工序矩阵中移除, 保留还未开始印刷的工序在矩阵中。当机器出现故障时, 撤销该设备正在加工的印品和 t_0 时刻后该设备安排的印品工序, 将这些工序放在任务集 TK 中。

其中, 从再调度的可行性、稳定性角度出发, 需考虑窗口大小、周期长短。窗口中印品数量直接影响最终的优化结果, 数量选取太小时, 生成的调度方案优化不理想且设备利用率低, 数量选取过大时, 再调度计算时间较长, 对突发事件响应时间较长, 使得车间生产效率降低。通过大量学者研究周期对滚动窗口调度的影响, 可归纳: 随着周期 ΔT 的增大, 对总的完工时间影响较少, 对总拖延期影响较大, 总效率和稳定性降低。因此需要根据实际印刷车间订单情况选取合理的周期^[12]。

3 GA 算法设计

GA 算法是一种智能仿生的算法, 其算法模型模仿达尔文进化论中的“适者生存, 不适者淘汰”的进化过程^[10]。它是

在 20 世纪 60 年代由美国 Michigan 大学的 John Holland 设计出来的一种全局化、随机搜索的优化算法^[11]。

3.1 GA 算法设计

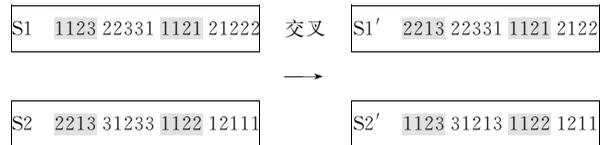
编码: 本文染色体的编码方式采用整数编码, 染色体体分为两部分, 前半段代表所有印品的所有工序, 后半段代表所有工序的所用工序所使用的机器标号, 即当工件总数为 n , 工件 n_i 的加工工序共为 m_j 时, 此时染色体的长度为 $2 \sum_{i=1}^k nimj$ 的整数串。

适应值函数: $F(i) = 1/f3$ 。

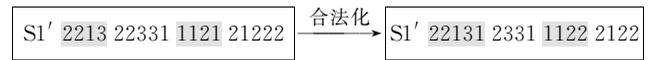
选择算子: 本文采用轮盘赌法选择较好的染色体, 选择概率为:

$$P_i(i) = F(i) / \sum_{i=1}^n F(i);$$

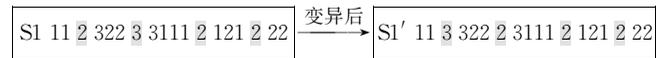
交叉算子: (在种群中随机选取两条父代染色体, 在染色体前 $\sum_{i=1}^k nimj$ 位中, 随机选择交叉位置数 M , 进行交叉。例如 $M=5$ 。



(交叉后产生子代 S1', S2' 且产生的子代 S1', S2' 为不可行性。以 S1' 为例, 在前 $\sum_{i=1}^k nimj$ 段基因中出现了工件 2 多了工序, 工件 1 少了工序, 则需要进行将多余的工序用缺失的工序代替操作。并且按照交叉前工序对应的机器来调整后半段的机器顺序。



变异算子: 在种群中随机选取一个父代染色体, 在前 $\sum_{i=1}^k nimj$ 段中随机选择两个位置 pos1 和 pos2; 将 pos1 和 pos2 位置上的工序所对应的机器进行对调。如 pos1=3, pos2=7。



3.2 GA 算法流程

Step1: 随机产生初始种群 N 。

Step2: 以 $F(i)$ 为评价函数, 选出适应值高的染色体选出, 传递给子代染色体。

Step3: 以 $P_i(i)$ 为概率取出染色体, 按照设定的 P_m 、 P_c 进行交叉、变异操作, 产生新的染色体。

Step4: 判断迭代次数是否到达, 若是, 结束循环, 否则跳转操作 Step2。

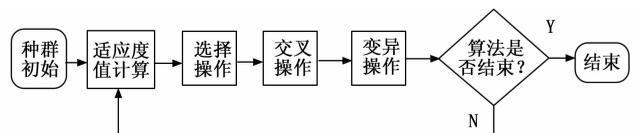


图 4 算法流程图

4 实验仿真

4.1 GA 算法验证

本文用标准问题 FT06 和 FT01 来验证本文采用 GA 算法

的有效性,数据如表 1 所示。

表 1 测试数据

问题	种群规模	迭代次数	P_m	P_c
FT06	20	25	0.9	0.1
FT01	50	30	0.9	0.1

表 2 结果数据

问题	已知最优解	实际得最优解	平均时间	迭代次数
FT06	55	56	10/s	5
FT01	666	670	46/s	15

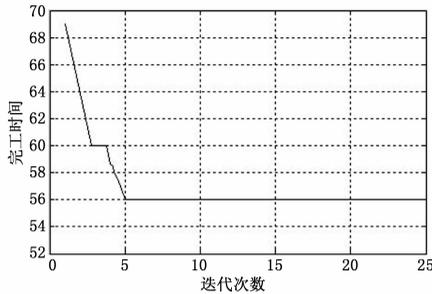


图 5 FT06 收敛曲线

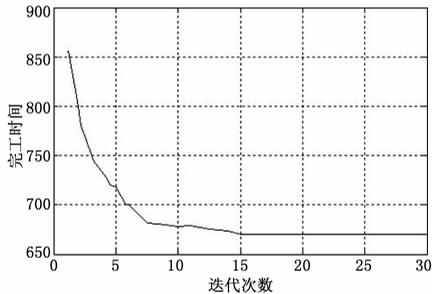


图 6 FT01 收敛曲线

从表 2 可以看出,本文的 GA 收敛速度较快,对比标准问题的解可得本文 GA 得出的解比较理想,综上所述可得本文 GA 的效果较为理想。

4.2 运行环境和参数确定

运行环境: Matlab 2008a。

参数确定: 种群规模 $N=100$, 最大迭代次数为 100, 代沟 $G=0.9$, 交叉率 $P_m=0.8$, 变异率 $P_c=0.6$, α 为 0.7, β 为 0.3, 窗口的大小选择 3, 周期为 20 再调度。

印刷车间作业调度仿真:

设备 1、2 为方正 P5200 单色双面卷筒纸印刷机,设备 3、4 为三菱折页机,设备 5、6 为日本 Horizon 三面刀设备,7、8 为日本 Horizon 胶装机,在印刷车间取 6 批书刊的印刷工艺数据,每个印品经历印刷、折页配贴、裁切、胶装 4 道工序,实际工序较多,为了减少实验用例的复杂度本文只选取了四道工序,数据如表 3、表 4 所示。

表 3 加工机器

印品	每道工序可用机器			
	印刷	配页、折页	裁切	胶装
1、2、..., 10	设备 1、2	设备 1、2	设备 1、2	设备 1、2

表 4 印品加工时间表

印品	加工时间				
	印刷	配页、折页	裁切	胶装	交付时间
印品 1	2	2	3	3	10
印品 2	5	4	2	3	20
印品 3	5	3	3	6	30
印品 4	7	6	4	3	35
印品 5	5	5	5	4	35
印品 6	3	3	3	5	40
印品 7	2	3	3	5	45
印品 8	2	4	3	9	45
印品 9	5	6	6	5	50
印品 10	5	6	3	3	插单数据

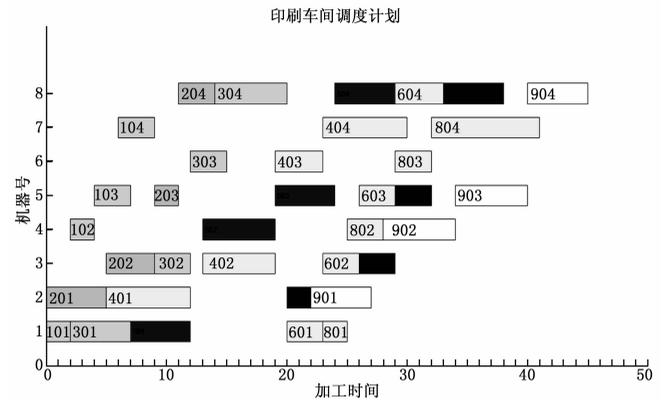


图 7 正常调度甘特图

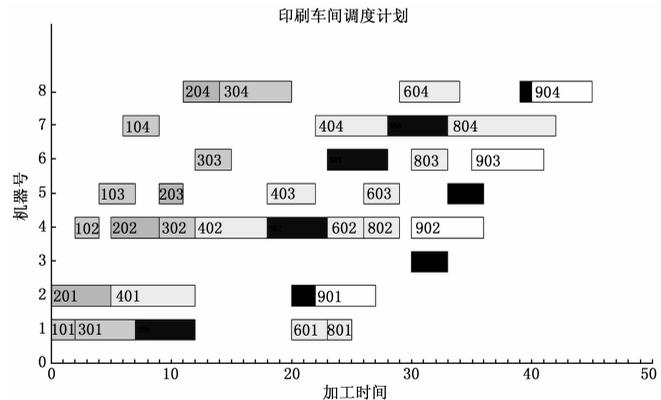


图 8 机器故障再调度甘特图

结果分析: 正常调度下生成甘特图 7。图中不同色块代表不同印品,如色块 201 代表印品 2 加工第一道工序所安排的开始时间和加工设备。当 $t=6$ 时刻,设备 3 出现故障,在经过 30 时刻后修好,修好时刻为 36 时刻,生产甘特图 8。从图 7、8 对比可以看出,在 $t=6$ 时刻时,印品 2 正在折页、配页一体机 3 上折页配贴,由于印刷的连续性,印品 2 报废,需要重新印刷,印品 3 完成印刷还没进行折页配贴加工,同理印品 4、6、7 一样没有毁坏只需要重新安排调度,从图 8 可知印品 3、4、6 重新安排到了折页、配页一体机 4 上进行生产,印品 7 在折页、配页一体机 3 修好后安排在折页、配页一体机 3 上生产。生成的再调度方案满足交付日期规定。

在 $t=8$ 时刻,紧急插入印品 10,要求 30 时刻交付,生产再调度方案如图 9。对比图 7、9 可知,当印品 10 插入时,给

