

订单型企业多目标生产计划的制定及其调度

王庆明, 李 微

(华东理工大学 机械与动力工程学院, 上海 200237)

摘要:针对制定订单式小批量生产计划问题,提出了一种使用动态随机投入产出函数来制定多目标生产计划的方法。针对生产调度问题,提出了联合使用最长加工时间优先(LPT)与遗传算法(GA)的混合遗传算法(HGA)来求解混合流水线的调度,并给出了一种新的编码方法,选择了相应的交叉和变异方法。研究表明,该计划制造方法能较好地满足订单型企业的随机性要求,而且生产计划编制效率高。该编码方法在保证染色体合法性的同时也保证了算法本身的随机性。某轧辊厂的实际案例分析结果也验证了所提出的订单型企业多目标生产计划的制定及其调度方法的可行性。

关键词: 订单型企业;多目标生产计划;生产调度;混合遗传算法

中图分类号: TH166 文献标志码: A

文章编号: 1001-4551(2012)06-0621-06

Multi-objective production planning and scheduling for order enterprise

WANG Qing-ming, LI Wei

(School of Mechanical and Power Engineering, East China University of Science and Technology,
Shanghai 200237, China)

Abstract: Aiming at the production planning problem of small quantities, order type, a new method of making multi-objective production planning, which used the dynamic input-output function, was proposed. Aiming at the production scheduling problem, a new method of solving hybrid flow-shop scheduling problem based on hybrid genetic algorithm(HGA) was proposed, as well as a new coding method for this problem. Corresponding crossover and mutation operators were given, too. The results indicate that, the planning method not only satisfies the randomness demand of the order enterprise, but also has higher efficiency. The coding method can easily keep the validity and randomness. The final example of some roll work is carried out, which shows that the methods of multi-objective production planning and scheduling are available.

Key words: order enterprise; multi-objective production planning; production scheduling; hybrid genetic algorithm(HGA)

0 引言

订单式小批量生产方式是目前在制造业中比较普遍的一种制造模式,而且生产计划的制定及车间调度是决定企业生产能力利用率和企业经济效益的重要因素,因此,对订单式小批量生产企业的生产计划制定及车间调度问题的研究具有普遍的、重要的意义。

制定生产计划的作用是估计企业的经营目标,规定企业在交货年度内生产产品的品种、质量、产量和产值。编制生产计划,一方面要依据市场预测,针对社会的需求;另一方面要掌握企业拥有的生产资源,

考虑资源的约束。正确制定生产计划,合理进行产品组合,实现均衡生产,就能充分利用企业的生产能力,适时满足用户的需求,为企业争得最佳的经济效益。目前,对生产计划的研究主要从两个方向入手:一是对供应链及资源约束的研究,如Chen F、Drezner Z、Ryan JK^[1]、Micheal GH、Wallace JH^[2]、徐建平、罗好^[3]等人;二是对生产计划的模型的研究,如周昕、凌兴宏^[4]、孙月兰、王万良^[5]等人。在实际中,一个生产计划制定者往往要考虑的不是一个目标。例如,他会想最大化利润并优先编排工期紧的产品。那么编排出诸如一个最大利润 $C_{\max}$ 和拖期最短 $T_{\min}$ 的计划是很有意义的。常常在这种情况下,存在多于一个的生产计划,

收稿日期: 2011-12-26

作者简介: 王庆明(1954-),男,江西吉安人,博士,教授,博士生导师,主要从事现代设计制造工程方面的研究。E-mail: wangqm@ecust.edu.cn

该计划对给定的目标是最优的。决策者可能会考虑对主要目标最优的所有计划集合,然后在这些特殊的计划集合内寻找对次要目标最好的一个生产计划。

车间调度问题本质上是大规模的组合优化问题,一些大规模的车间调度问题采用传统的数学规划方法难以求解。因此,寻找实用的求解方法一直是该领域研究的重点。近年来,这方面的研究已经取得了不少成果,如启发式算法和基于人工智能的方法,特别是遗传算法(GA)、模拟退火、神经网络等智能求解方法,具有普遍性和经验复杂性等特点,为解决较大规模的优化问题提供了比较可行的方法^[6]。自从Johnson 1945年发表第一篇关于Flow-shop调度问题的文章以来,许多学者对纯FSP问题作了深入的研究,GA已经成功应用于求解FSP^[7-11]。但是GA存在过早收敛和快速收敛的矛盾,研究者将GA与启发式算法或其他搜索算法结合在一起构成混合遗传算法(HGA),以改善GA算法的局部搜索能力,弥补单一优化方法的某些不足,提高搜索效率和优化质量,而结合的形式可以多种多样,如黄巍、张美凤^[12]提出的将遗传算法与退火算法结合的混合遗传算法。

本研究在订单型企业多目标生产计划的制定和调度问题上提出一种新的解决方法。

1 多目标生产计划的制定

1.1 动态随机投入产出函数

本研究设某订货型企业可生产 m 种产品,以月为一个周期,在编制生产计划时希望以概率 a 完成生产任务^[13],即:

$$P\{\omega < 12\} = P\left\{\frac{12-\mu}{\sigma}\right\} = a \quad (1)$$

其中,12表示一年的12个月。假设在做计划时,已接到的订货数量为 N_l ($l=1, \dots, m$),预计在未来的 $(0, t_0]$ 时间内接到的订单数量为:

$$N_l(t_0) = \lambda(l) \cdot t_0 \quad (2)$$

式中: $\lambda(l)$ —产品 l 的订单到达率。

且:

$$E[\omega] = \sum_{i=1}^n E[u_i] \quad (3)$$

$$\sigma^2(\omega) = \sum_{i=1}^n \text{var}(u_i) \quad (4)$$

根据 m 种产品各自所需经过的生产节点 $c_1^{(l)}, \dots, c_{n_l}^{(l)}$ ($l=1, \dots, m$)可统计出生产节点 i 在计划期预期完成的产品数量 D_i ($i=1, \dots, n$),由各生产节点所需时间 u_{li} 与生产的产品数量 D_i 的联合概率分布及式(3,4)推算

出 μ, σ^2 。若: $P\{12-\mu/\sigma\} \geq a$,则表明计划能按时完成的可能性大,否则调整时间长度 t_0 ,使生成的生产计划能发挥更合理的预测与规划能力。

由以上可知,下一年度预期完成的最终产品数量为:

$$N = \begin{bmatrix} N_1 \\ \vdots \\ N_{n-m} \\ N_{n-m+1} \\ \vdots \\ N_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ \vdots \\ 0 \\ N_1 + N_1(t_0) \\ \vdots \\ N_m + N_m(t_0) \end{bmatrix} \quad (5)$$

1.2 多目标生产计划的问题描述及算法

(1) 问题描述。产品的计划量为 m ,假设存在多个目标 γ_i ($i=1, 2, \dots, n$), θ_i ($i=1, 2, \dots, n$)是各个目标的权重,权重由企业自身的生产策略决定。

(2) 算法。在制定生产计划时,计划员都是根据自身企业的计划目标来进行编制的,而且各个目标所占有的权重都各不相同,一些目标是重要考虑的,而另一些目标则是次要考虑的。基于这种思想,本研究提出了下面的算法:

步骤1。按照目标 γ_i ($i=1, 2, \dots, n$)将产品排序,如果目标是最大化问题,则按照降序排列,如果目标是最小化问题,则按照升序排列。

步骤2。产品 j 在序列中对应的序号分别是 γ_{ij} ($i=1, 2, \dots, n; j=1, 2, \dots, n$),令 $y = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \theta_i \gamma_{ij}$ 。

步骤3。将 y 值按照升序排列,取序列中的前 m 个产品,即生成生产计划。

2 基于HGA的混合Flow-shop调度问题

混合Flow-shop调度问题(HFSP)是一般Flow-shop问题的推广,更为复杂,其特征是存在并行机,因此比较普遍地存在于钢铁、轧辊等行业。

HFSP问题可以描述为:有 n 个相互独立的待加工工件 J_i ($i=1, 2, \dots, n$)组成工件集 J ,每个工件要依次经过 k 道加工工序, m 台可加工工件的机器 M_j ($j=1, 2, \dots, n$)组成机器集 M ,每个工序的并行机器数为 L_i :

$$\sum_{i=1}^k L_i = m \quad (l=1, 2, \dots, k) \quad (6)$$

所有工序中至少有一个工序存在并行机,即至少有一个 L_i 大于1,要解决的问题是确定各机器的分配情况和机器上工件的加工顺序,目标是最小化最大流程时间。

2.1 混合遗传算法及其编码

混合遗传算法是先采用最长加工时间优先(LPT)

规则将工件进行排序,然后根据该排序,采用遗传算法将各个工件分配在各加工机器上。

本研究提出了一种编码方法,利用矩阵的元素和位置关系,表示各工序的约束关系,使得产生的每个染色体对应一个可行的调度,而且在遗传操作时也不会产生非法解。首先构造一个 $n \times k$ 维的编码矩阵:

$$A_{n \times k} = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \cdots & a_{1k} \\ a_{21} & a_{22} & \cdots & a_{2k} \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ a_{n1} & a_{n2} & \cdots & a_{nk} \end{bmatrix} \quad (7)$$

其中,编码矩阵的元素 a_{nk} 为区间 $[1, L_i]$ 上的一个整数,表示工件按照 LPT 规则排序后的第 n 个工件的第 k 道工序在编号为 a_{nk} 的机器上加工。

例如:对于3个工件,3道工序,每道工序的并行机器数为3,2,1的混合 Flow-shop 调度问题,按照工序前后,依次将该6台机器编号为1,2,3;1,2;1(如图1所示)。

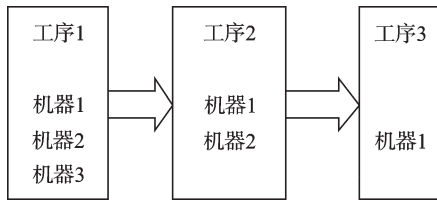


图1 机器编号

在区间 $[1, L_i]$ 上随机产生整数 a_{nk} , 构成的编码矩阵之一为:

$$A = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 2 & 2 & 1 \\ 3 & 1 & 1 \end{bmatrix} \quad (8)$$

可看出各工件的工序与各台机器的对应关系,工件1,2,3按照 LPT 规则排序后的结果为2,1,3。矩阵中第一行的3个元素依次表示为:第1个工件即工件2的第1道工序在机器1上加工;第2道工序在机器1上加工;第3道工序在机器1上加工。

推广到 n 个工件和 k 道工序的一般情形,道理同上。

2.2 遗传算法的求解方法

2.2.1 初始群体的产生

本研究根据上述染色体的表示方法,随机产生如式(8)所示的编码矩阵,组成遗传算法所需的种群。

2.2.2 适应度函数的选择

本研究用最大流程时间的倒数作为适应度函数。

令 $C(j, m)$ 表示工件 j_i 在机器 m 上的加工完成时间, $[j_1, j_2, \dots, j_i]$ 表示工件的调度, $t_{j_i, m}$ 为工件 j_i 在机器 m 上的加工时间,那么 N 个工件, M 台机器的调度问题的完工时间为:

$$C(j_1, 1) = t_{j_1, 1}$$

$$C(j_1, m) = C(j_1, m-1) + t_{j_1, m} \quad m = 2 \cdots M$$

$$C(j_i, 1) = C(j_{i-1}, 1) + t_{j_i, 1} \quad i = 2 \cdots N \quad (9)$$

$$C(j_i, m) = \max\{C(j_{i-1}, m); C(j_i, m-1)\} + t_{j_i, m}$$

$$i = 2 \cdots N, m = 2 \cdots M$$

最大流程时间为:

$$C_{\max} = C(j_N, M) \quad (10)$$

令 $C_{\max}^j$ 表示 j 个染色体 v_k 的最大流程时间,那么适应度函数为:

$$\text{eval}(v_k) = \frac{1}{C_{\max}^j} \quad (11)$$

2.2.3 选择

本研究采用随机选取两两配对竞争的方法选择,随机选取两个染色体,计算其适应值,选择保留其中适应值大的染色体。

2.2.4 交叉操作

根据前面的编码方式,本研究采取单点交叉方式,在两个父代染色体中,随机选取相同的交叉位,并交换两个父染色体交叉位后的基因串。如两个父体为:

$$A = [3, 13, 20, 24, 15, 27, 13];$$

$$B = [2, 11, 19, 25, 17, 26, 11].$$

在两个父体的各段随机选取一部分基因,然后交换,得到的子代个体为:

$$A' = [3, 11, 20, 24, 15, 27, 13];$$

$$B' = [2, 13, 19, 25, 17, 26, 11].$$

2.2.5 变异操作

由于本研究采取实数编码,变异操作选择算数变异法。

当采用 Matlab 编程实现时,用以下语句完成:

```
for i=1:N
    if Pm>rand;
        X=farm{i};
        I=unidrnd(m);
        J=unidrnd(n);
        X(I, J)=1+(P(J)-eps)
    *rand;
        farm{i}=X;
    end
end
arm{pos(1)}=Xp;

counter=counter+1
end
```

3 某轧辊厂生产计划及其加工车间生产调度实例

某轧辊厂3月末接到的订单如表1所示(限于篇

式中: T_{ii} —拖期,天; T_{ci} —第 i 个产品的粗车台时; T_{ji} —第 i 个产品的精车台时; T_{xi} —第 i 个产品的镗铣台时; T_{mi} —第 i 个产品的磨削台时; T_i —第 i 个产品的工期,天; n_i —与第 i 个产品种类相同的产品的的订单量,支。

θ_1 和 θ_2 是这两个目标的权重, θ_1 取 0.6, θ_2 取 0.4。

3.2.4 算法

本研究提出的算法如下:

步骤 1。按照目标 γ_1 和 γ_2 将产品排序, γ_1 根据 Z_i 值按照降序排列, γ_2 根据 T_{ii} 值按照升序排列。

步骤 2。产品 i 在两个序列中对应的序号分别是 γ_{1i} 和 γ_{2i} , 令 $y = \theta_1 \gamma_{1i} + \theta_2 \gamma_{2i}$ 。

步骤 3。将 y 值按照升序排列, 取序列中的前 64 支产品, 即生成生产计划。

3.2.5 程序运算结果

用 C 语言编程, 在 C++ 环境下运行得到的运算结果如表 7 所示。

表 7 程序运算结果

产品名称	单价/元	单重/(吨/支)	合同工期	数量/支
AL650	21 960	8.844 3	09.04.10	7
XG1030	14 000	34.6	09.04.10	5
XG900	14 000	19.308	09.04.15	5
...	...	...	...	...
AL800	22 541	11.809	09.04.28	5
合计				64

该结果为在两个目标约束下得到的最优结果, 综合考虑了两个计划目标, 满足了计划员制定生产计划时的实际编制需求, 其结果具有科学性和有效性。

3.3 4 月份加工车间的生产调度

4 月份加工车间的生产计划如表 7 所示。生产计划中每个产品每道工序的加工台时如表 8 所示。

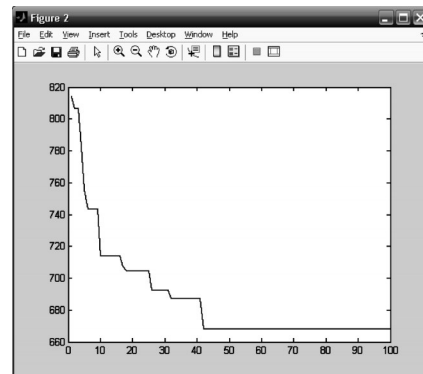
表 8 每个产品每道工序的加工台时

产品	粗车/台时	精车/台时	镗铣/台时	磨削/台时
1	157.5	118.5	96	47
2	157.5	118.5	96	47
3	157.5	118.5	96	47
...	...	...	...	...
64	56.5	30	25.5	22.5

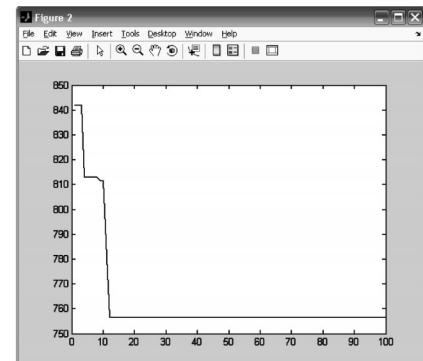
本研究利用 Matlab 7.0 仿真工具分别编程, 实现 HGA 算法和 GA 算法。算法中使用的参数, 即: 遗传进化迭代次数 $M=100$ 次, 种群规模 $N=100$, 变异概率 $P_m=0.5$ 。

HGA 算法和 GA 算法群体中各代最优个体适应值和各代群体平均适应值的收敛曲线对比图如图 2 所示。

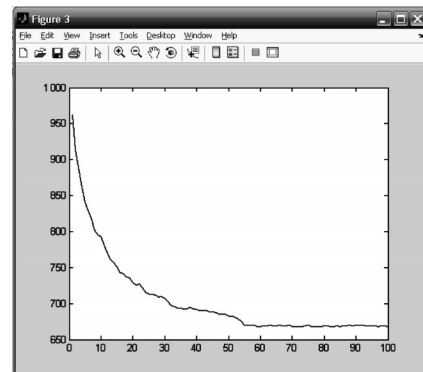
从图 2 中可以看出, HGA 算法种群中各代最优个



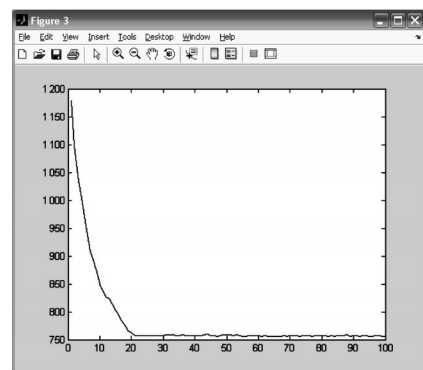
(a) HGA 算法群体中各代最优个体适应值收敛曲线



(b) GA 算法群体中各代最优个体适应值收敛曲线



(c) HGA 算法各代群体平均适应值收敛曲线



(d) GA 算法各代群体平均适应值收敛曲线

图 2 HGA 算法和 GA 算法群体中各代最优个体适应值和各代群体平均适应值的收敛曲线对比图

体适应值和各代群体平均适应值都是随着种群的进化逐渐地减小, 在 660~680 之间曲线趋于恒定, 最后趋近于最优值。而 GA 算法种群中各代最优个体适应值

和各代群体平均适应值在种群数大约为12的时候就出现收敛,发生早熟现象,在750~770之间曲线趋于恒定,比使用HGA算法得出的最优值要多大约90小时。

使用HGA算法得到的较好的染色体是:

[6 7 4 3;4 2 1 3;8 4 4 1;6 9 5 3;5 8 2 2;3 1 2 1;
3 8 4 4;9 6 1 3;2 9 2 4;4 4 5 2;8 7 1 3;2 6 4 4;
9 9 5 1;9 6 2 4;8 7 3 1;7 9 1 4;7 1 1 4;7 3 4 1;
1 2 2 3;1 9 3 2;2 5 4 3;9 1 5 3;2 5 4 4;9 8 3 2;
9 7 1 4;4 2 2 3;3 4 1 3;4 7 4 2;3 9 4 2;1 8 5 4;
3 5 2 3;6 3 1 2;5 3 2 2;7 3 5 4;1 9 2 3;2 8 4 1;
6 5 3 3;4 1 1 4;4 1 1 4;1 5 3 2;7 4 4 2;7 5 3 2;
2 1 5 3;6 4 3 1;9 1 5 2;5 8 5 1;7 5 3 1;5 8 3 2;
3 5 5 4;1 6 5 2;1 7 3 3;7 2 2 1;5 8 1 3;8 5 3 2;
8 3 5 2;8 8 1 3;5 6 2 1;1 4 2 4;2 7 5 3;8 4 5 1;
5 4 4 2;2 2 3 1;5 9 1 4;8 6 3 2]

该染色体中每台机器在其对应工序中出现的次数如表9所示。

表9 染色体中每台机器在其对应工序中出现的次数

机器编号	出现次数			
	粗车	精车	镗铣	磨削
1	8	7	13	13
2	8	5	12	18
3	6	5	13	18
4	6	8	12	15
5	7	9	14	
6	6	6		
7	8	7		
8	8	9		
9	7	8		

与此染色体相应的最大流程时间是668 h,由表9可以看出各并行机器的加工任务比较均匀,其调度结果是合理的。

为确定算法的有效性,笔者对程序做了多次运行,均得到较好的结果。随机运行10次的结果如表10所示,结果波动最大只有1.8%。

表10 10次运行结果

次数	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
最小										
目标	664	668	666.5	668.5	666	672.5	658	667.5	666.5	660.5
函数值										

4 结束语

生产计划和调度在企业制定生产策略和安排生产方面都起着至关重要的作用。在编制生产计划时,计划员往往需要综合考虑多个目标,在研究解决该类型问题时,很多学者都采用局域搜索的方法,如遗传

算法。但是,由于生产计划在实施时都要根据实际生产中所发生的随机事件进行调整,使用局域搜索方法解决该类生产计划问题会显得有些繁琐。

因此,本研究提出了一种新的解决方法,先使用投入产出函数编制出整年的计划大纲,在此大纲的基础上再利用本研究提出的制定多目标生产计划的算法即可方便快捷地得出每个月的生产计划。对于生产调度问题,本研究提出了联合使用LPT与GA的混合遗传算法求解混合流水线调度问题的方法,采用混合遗传算法可以克服单一采用遗传算法易产生早熟的弊端,同时给出了一种新的编码方法,该编码方式巧妙利用了矩阵中元素与对应位置的关系,易读、易懂,并且不易产生非法后代。

从最后的生产计划和调度实例可看出,本研究提出的方法对解决实际问题是具有可行性的。

参考文献(References):

- [1] CHEN F,PREZENER Z,RYAN J K,et al. Qualitifying the bullwhip effect in a simple supply chain:the impact of forecasting, lead times and information[J]. **Management Science**,2000,46(3):436-443
- [2] MICHEAL G H,WALLACE J H. Due date setting with supply constrains in systems using MRP[J]. **Computers & Industrial Engineering**,2001,39(3):293-305
- [3] 徐建平,罗 好. 面向大规模定制的生产计划研究[J]. 现代管理技术,2010,37(1):59-62.
- [4] 周 昕,凌兴宏. 基于遗传算法的集成生产计划排序系统[J]. 科技信息,2010(9):36-37.
- [5] 孙月兰,王万良. 基于遗传算法的企业生产计划优化及仿真研究[J]. 管理技术,2008(9):109-112.
- [6] 刘 民,吴 澄. 制造过程智能优化调度算法及其应用[M]. 北京:国防工业出版社,2008:7-9.
- [7] 徐 斌,肖素梅,石宇强. 基于遗传算法的并行生产调度的研究[J]. 机械工程师,2009(2):71-73.
- [8] 张松艳,基于遗传算法的大型Flow-shop生产调度[J]. 浙江科技学院学报,2010,22(2):102-106.
- [9] 李 根,姜丽丽,赵 芳. 基于遗传算法的离散制造系统生产调度问题[J]. 中国制造业信息化,2010,39(5):10-14.
- [10] 王成双,丁 勇. 基于遗传算法的生产调度问题研究[J]. 长春理工大学学报,2009,4(8):65-67.
- [11] 赵建峰,朱晓春,汪木兰,等. 基于遗传算法柔性制造系统生产调度的优化与仿真[J]. 制造业自动化,2010,32(5):156-159.
- [12] 黄 巍,张美凤. 基于混合遗传算法的车间生产调度问题研究[J]. 计算机仿真,2009,26(10):307-310.
- [13] 魏法杰,张人千. 面向作业过程的企业生产理论与成本理论[M]. 北京:北京航空航天大学出版社,2007:53-54.

[编辑:张 翔]