

供应链协同生产作业调度优化研究

郑子钊, 胡燕海*

(宁波大学 机械工程与力学学院, 浙江 宁波 315211)

摘要: 提出工序制造单元的概念, 以供应商最小化加工流程时间为目标, 建立了供应链协同生产作业调度模型, 并运用双层编码遗传算法对模型进行了求解, 最后通过算例仿真计算表明: 提出的模型和算法可以获得满意解. 通过对供应商生产作业调度的分析, 调度结果既可以指导供应商合理的安排生产, 同时可以作为核心制造商分配订单的参考依据.

关键词: 供应链; 协同; 生产作业调度; 遗传算法

中图分类号: TP182

文献标识码: A

文章编号: 1001-5132 (2011) 01-0071-04

21 世纪的竞争将不再是企业之间的竞争, 而是供应链之间的竞争, 提高供应链整体竞争力的关键是供应链的协同, 这已经成为供应链管理领域研究的热点^[1]. 供应链协同管理研究的中心问题是生产计划与调度^[2]. 目前, 国内外在供应链调度方面进行了不少研究. Moon 等人^[3]基于企业之间充分合作, 从产品总拖期时间最小的角度研究了供应链调度问题. 美国 ARC 咨询公司提出了基于车间层的多维协同^[4]. Manoj 等人^[5]研究了准时生产环境下包含一个制造商、一个分销商和多个零商的供应链运输作业计划问题. 姚建明等人^[6]从供应链的随机需求和协作成员的动态生产能力角度出发, 通过引入利益偏好因子, 建立了供应链动态调度优化数学模型, 并进行了求解^[7].

笔者从供应链协同生产运作角度出发, 以协同整个供应链生产过程中各企业的实时信息交互为基础, 对供应链中供应商的生产过程及其资源建立相关模型, 通过双层编码的遗传算法对模型求解, 最后通过实例对模型及算法的有效性进行验证.

1 供应链协同调度模型

1.1 问题描述

某供应商根据零件的加工工艺特性, 在零件

加工的每道工序有 1 台或几台功能相同的机床可供选择, 在此定义这种基于工序加工的机床集合为工序制造单元(OMC). 可见, 供应商生产车间由多个 OMC 组成, 若 1 个工件有 m 道工序, 则工件需经过 m 道工序制造单元的加工才能最终完成.

设某供应链由 1 个核心制造商和多个具有相同加工工艺能力的供应商组成, 制造商的生产任务可以在这些供应商间动态调整, 因此这些供应商形成了协同生产关系. 令供应商集合为 $E = (1, (1, 2, 3, \dots, j, \dots, e))$, j 表示第 j 个供应商. 核心制造商在某时间内接到订单后, 将订单分解成零件集合 P , $P = (p_1, p_2, p_3, \dots, p_d)$, 其中 p_d 表示第 d 个零件集合, p_d 中待加工工件数为 n , 工件编号为 $i \in I = \{1, 2, \dots, n\}$. 每个工件有 m 道工序, 每个工序制造单元中机床的数量为 q_v , $v = (1, 2, \dots, m)$. 文中的优化目标为供应商零件集合加工时间短, 同时可根据车间作业特点制定生产作业计划, 以生产作业时间平衡度为依据对各供应商进行协同.

假设: (1) 供应商 j 完成零件集合 p_d 的加工任务; (2) 每台机床在固定时间段内只能加工 1 个工件; (3) 每道工序必须在其之前所有工序完成后才能继续加工; (4) 各工件的工序加工时间 p_{jki} 已知.

1.2 生产作业调度模型

$$f = \min(\max(C_{ji})), j = 1, 2, \dots, e; i = 1, 2, \dots, n, (1)$$

收稿日期: 2010-07-13.

宁波大学学报(理工版) 网址: <http://3xb.nbu.edu.cn>

基金项目: 国家自然科学基金(70871062); 浙江省自然科学基金(Y607470).

第一作者: 郑子钊(1985-), 男, 安徽无为, 在读硕士研究生, 主要研究方向: 生产计划与调度. E-mail: zhengzizhao@mail.nbu.edu.cn

*通讯作者: 胡燕海(1966-), 男, 浙江岱山人, 博士/教授, 主要研究方向: 生产调度、智能计算方法. E-mail: huyanhai@nbu.edu.cn

其中, C_{ji} 表示供应商 j 中工件 i 的最后完成时间;

约束条件如下:

$$C_{jki} - S_{jki} + M(1 - y_{jhki}) \geq C_{jhi}, i = 1, 2, \dots, n;$$

$$k, h = 1, 2, \dots, v; j = 1, 2, \dots, e,$$

$$C_{jki} - C_{jku} + M(1 - x_{jlik}) \geq S_{jki}, i, u = 1, 2, \dots, n;$$

$$k = 1, 2, \dots, v; j = 1, 2, \dots, e,$$

其中, C_{jki}, C_{jhi} 为供应商 j 中工件 i 在机床 k, h 上的完工时间; S_{jki} 为供应商 j 中工件 i 在机床 k 上的开工时间. M 为 1 个足够大的数, $C_{jki} = S_{jki} + p_{jki}, i = 1, 2, \dots, n; k = 1, 2, \dots, v; j = 1, 2, \dots, e$, 表示每个工件在同道工序上完工时间和开工时间的关系.

决策变量: $x_{jlik} = 1$ 表示供应商 j 中工件 l 先于工件 i 在机床 k 上加工; $x_{jlik} = 0$ 表示其他. $y_{jhki} = 1$ 表示供应商 j 中机床 h 先于机床 k 加工 i 零件; $y_{jhki} = 0$ 表示其他.

1.3 协同生产作业计划评价指标

为评价协同生产作业计划水平, 引入生产作业时间平衡度 δ ,

$$\delta = [(C_{ji}^{\max} - C_{ri}^{\min}) / C_{ji}^{\max}] \times 100\%, \quad (2)$$

其中, $C_{ri}^{\min} (r \in E)$ 表示供应商集合中供应商的生产作业时间的最小值; C_{ji}^{\max} 表示供应商集合中供应商生产作业时间的最大值.

令生产作业时间平衡度 $\delta < 4\%$, 表示各供应商生产作业计划能够满足同步化运作的要求; 否则需要对供应商的生产作业计划进行调整, 调整的步骤是将加工时间长的供应商的部分生产任务转给其他供应商加工, 直到满足指标 δ 的要求, 最后生成供应链协同生产作业计划.

2 遗传算法的实现

因遗传算法具有本质并行、自组织、自适应和自学习等特性, 而且对目标函数的可微性、凸性等均无特殊要求等优点^[8], 因此在求解组合优化领域的 NP 问题上显示出了强大的搜索能力, 在车间作业调度、任务分配以及车辆调度等领域有广泛的应用价值.

2.1 遗传编码

根据模型, 采用基于 OMC 的两层次矩阵编码, 利用矩阵的元素和位置信息来表达模型. 第一层用来描述工件每道加工工序选择 OMC 的过程. 一旦每个工件的 OMC 确定后, 那么就可以产生第二

层遗传编码, 用来表征工件在 OMC 中选择哪台机床. 两个层次的遗传编码构成了每个工件的调度路径, 即一个满足资源约束的作业计划方案.

假设供应商有 n 个待加工工件, $I = \{1, 2, \dots, n\}$, 每个工件有 m 道工序, 即每个工件需经过 m 次 OMC 的加工才能完成, 每个 OMC 中有 q 台机床. 首先构造 1 个 $n \times m$ 维的编码矩阵 $A_{n \times m}$ 来描述第一层次编码问题.

$$A_{n \times m} = \begin{bmatrix} O_{11} & O_{12} & \dots & O_{1m} \\ O_{21} & O_{22} & \dots & O_{2m} \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ O_{n1} & O_{n2} & \dots & O_{nm} \end{bmatrix},$$

其中, 编码矩阵的元素 O_{ij} 是 1 个整数, 其范围在 $(0, n+1)$ 之间, 表示工件 i 的第 j 道工序是在第 O_{ij} 个 OMC 中完成的. 因此矩阵清楚地表达了每个工件在每道工序中 OMC 的选择问题, 这样就形成了第一层次的编码. 由此可见, 该矩阵中每列元素确定 1 个工件的加工工艺. 由于工件在每个 OMC 中加工 1 次, 那么, 每列元素的数值均为 $[1, 2, \dots, m]$ 的一个遍历, 即 m 个不重复的整数.

在第一层次编码基础上, 可以来产生第二层次的编码, 首先构造 1 个 $n \times m$ 维编码矩阵 $O_{n \times m}$:

$$O_{n \times m} = \begin{bmatrix} C_{11} & C_{12} & \dots & C_{1m} \\ C_{21} & C_{22} & \dots & C_{2m} \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ C_{n1} & C_{n2} & \dots & C_{nm} \end{bmatrix},$$

其中, 编码矩阵的元素 C_{ij} 是整数, 它表示工件 i 的第 j 道工序在的 C_{ij} 台并行机(其属于第 O_{ij} 个 OMC)上加工. C_{ij} 产生机制描述如下: 对于任何 C_{ij} , 首先搜索与其相对应的第一层次编码 O_{ij} , 若 O_{ij} 为 m , 则表明工件 i 的第 j 道工序是在第 m 个 OMC 上加工的, 因此 C_{ij} 应该是在 $(0, M_i + 1)$ 之间的某个随机产生的整数. 这种建立在第一层编码基础上的第二层编码解决了 OMC 中机床的分配问题.

2.2 度函数的确定

最大流程时间的倒数作为适应度函数. 因此这里的适应度函数取为: $g(v) = 1 / f_{\max}^i$.

2.3 交叉操作

鉴于二层次编码方式的特殊性, 遗传操作中的交叉操作也有别于传统的交叉操作. 笔者采用分别对每条染色体的每个基因片段进行交叉操作,

最后通过调整来排除非法编码. 具体实现步骤如下: (1)随机选取每个基因片段中的 1 个交叉点, 交换 2 条父代染色体中每个基因片段交叉点之前的基因; (2)调整第一层染色体中每个基因片段交叉后产生的非法调度, 使其产生 1 个随机合法排列, 从中去除基因片段交叉点之前的基因, 再用余留基因取代交叉点之后的基因, 进而可以保证第一层染色体的合法性; (3)搜索第二层染色体基因的合法性, 若非法则在合法空间里随机产生 1 个合法基因替换原来的非法基因, 最后产生 1 个合法的双层染色体.

2.4 变异操作

由于采用的是两层次编码方式, 因此变异操作也有其特殊性. 为了增加种群的多样性, 笔者提出分别对两个层次的分染色体进行变异操作, 最后通过调整来产生新的合法个体. 具体实现步骤如下: (1)对每层编码分别随机选择 2 个不同的变异基因位置, 对二层染色体均采取逆序操作; (2)调整第一层次基因, 使其合法化; (3)在第一层编码的基础上, 调整非法的第二层次基因, 产生新的合法染色体.

3 调度算例及分析

现假设核心制造商在接到产品订单后将其分解为 p_1, p_2 2 种零件集合, 每种零件集合均包含

12 个零件. 假设供应商 1 生产零件集合 p_1 , 供应商 2 生产零件集合 p_2 . 供应商 1 具有 5 个 OMC, 其中每个 OMC 含有 4 台机床数; 供应商 2 具有 5 个 OMC, 其中每个 OMC 中含有 5 台机床. 表 1 和表 2 分别表示零件集合 p_1, p_2 各工序加工时间.

计算过程在计算机上进行, 遗传算法参数设定: 变异概率 $P_m = 0.15$, 交叉概率 $P_c = 0.85$, 迭代次数 $N = 35$, 初始种群规模为 40. 经过计算可求出, 供应商 1 加工时间 $C_1 = 1326$, 供应商 2 加工时间 $C_2 = 1027$. 根据模型中的(2)式可知 $\delta = 12.4\%$, 因为所求 $\delta > 4\%$, 所以对供应商 1 的生产作业计划进行调整, 调整的方法是将零件集合 1 中的部分工件转给供应商 2 加工, 然后重新计算完工时间及生产作业时间平衡度, 直到 δ 满足要求时, 生成各供应商生产作业计划.

根据上述步骤将零件集合 p_1 中编号为 8 的工件转给供应商 2 加工, 经重新计算可得 $C_1 = 1177$, $C_2 = 1149$. 根据(2)式可知 $\delta = 2.3\%$, δ 符合要求, 表示各供应商能够实现同步化生产的要求. 作为结果的一部分, 笔者给出了供应商 1 的生产作业计划, 零件各工序开工时间 S 和完工时间 C 见表 3.

4 结论

针对供应链中供应商的生产作业调度进行研究, 提出了 OMC 的概念, 建立了以最小化加工时

表 1 零件集合 p_1 的工序加工时间

工序号	工件号											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	160	42	85	54	42	98	46	79	75	87	168	101
2	104	81	72	67	64	76	69	63	78	73	159	178
3	178	50	65	68	71	64	50	108	120	125	134	93
4	290	87	99	90	85	70	93	139	67	157	210	52
5	167	52	82	79	72	84	88	150	115	90	80	73

表 2 零件集合 p_2 的工序加工时间

工序号	工件号											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	123	91	87	243	42	46	79	89	76	43	21	24
2	59	78	63	45	64	69	63	43	245	53	45	47
3	134	93	88	69	71	50	108	75	32	100	114	75
4	210	52	96	125	85	93	139	42	46	32	40	14
5	180	103	77	89	72	88	150	23	56	89	87	54

表3 零件集合 p_1 中各工件在各 OMC 的开工时间 S 和完成时间 C

工件	1		2		3		4		5	
	S	C	S	C	S	C	S	C	S	C
1	0	160	438	542	542	720	720	1010	1010	1177
2	42	84	84	165	374	424	682	769	769	821
3	84	169	254	326	326	391	391	490	490	572
4	206	260	260	327	424	492	492	582	582	661
5	0	42	327	391	454	525	675	760	885	957
6	0	98	98	174	391	455	455	525	525	609
7	160	206	326	395	395	445	582	675	675	763
8	101	176	176	254	254	374	374	441	441	556
9	169	256	256	329	329	454	525	682	682	772
10	98	266	279	438	525	659	659	869	957	1037
11	0	101	101	279	279	372	760	812	812	885

间为目标的协同生产作业调度模型,并运用两层次编码的遗传算法对问题进行了求解,引入生产作业时间平衡度 δ 作为供应商协同生产的评价指标,并以此为依据调整供应商生产作业计划。通过对供应商生产作业调度结果的分析,说明本文提出的方法可以实现供应商同步化生产,同时可以为制造商任务再分配提供决策依据,求解的结果表明了算法的有效性和调度的可行性。

参考文献:

- [1] Anderson D, Lee H. Synchronized supply chains: the new Frontier[EB/OL]. [2010-02-23]. <http://www.ascet.com>.
- [2] 张翠华,任金玉.新一代的供应链战略:协同供应链[J].东北大学学报:社会科学版,2005,7(6):406-409.
- [3] Moon C, Kmj, Hur S. Integrated process planning and scheduling with minimizing total tardiness in multi-plants

supply chain[J]. Computers and Industrial Engineering, 2002, 43(1):331-349.

- [4] ARC Advisory Group. Collaborative manufacturing management strategies [EB/OL]. [2010-01-11]. <http://www.arcweb.com>.
- [5] Manoj U V, Jatinder N, Gupta D, et al. Supply chain scheduling: Just-in-time environment[J].European Journal of Operational Research, 2008, 16(1):53-86.
- [6] 姚建明,蒲云.基于动态生产能力约束的MC模式下供应链调度优化[J].系统工程,2005,23(2):25-30.
- [7] 姚建明,张秀敏,刘丽文.基于改进蚂蚁算法的拉动式供应链动态调度分析[J].中国管理科学,2006,14(3):20-26.
- [8] 黄德才,郭海东.基于JIT的非等同并行多机调度问题的混合遗传算法[J].计算机集成制造系统,2003,10(3):298-302.

Optimization of Collaborative Scheduling in Supply Chain

ZHENG Zi-zhao, HU Yan-hai*

(Faculty of Mechanical Engineering and Mechanics, Ningbo University, Ningbo 315211, China)

Abstract: The concept of operating manufacture cell is proposed. Aiming at minimizing processing time, the model of collaborative scheduling in supply chain is established. The genetic algorithm of hybrid double-coding is applied to the solution of the model, and the simulation shows that the model and algorithm is able to obtain satisfactory solution. It suggests that the scheduling results can direct suppliers to handle the production tasks more reasonably as well as efficiently.

Key words: supply chain; collaboration; scheduling; genetic algorithm

(责任编辑 章践立)