

① 103-107

基于相对优先权的两层多目标生产调度模型

晏平 王志杰 赵象元 刘飞

(重庆大学制造工程研究所, 重庆, 400044)

0223

F407.406.2

摘要 从制造系统工程的角度出发,指出了传统调度方法只强调整个生产系统的总体目标,而忽视组成生产加工系统各加工子系统的局部目标的缺点。建立一个兼顾局部和整体的两层多目标生产调度模型。定义了相对优先权概念,并给出了一个在此基础之上的启发式调度算法,算例表明该算法是可行的。

关键词 生产调度;多目标;启发式算法/相对优先权

中国图书资料分类法分类号 O1P114.1;O1H165

制造系统

0 引言

生产系统

制造系统是一个有多目标的复杂大系统,必须用系统工程的观点来研究它^[1]。过去的生产调度研究常常只注重生产系统的整体目标实现,而忽视了组成生产系统的各子设备的具体特征、局部目标^[2~4]。事实上,在生产系统的加工设备中,有加工成本高、精度高的数控中心,也有加工成本低、精度低的一般加工设备;有效率低的瓶颈设备,也有高效率的专用加工设备;有专用于最后一道工序(例如检验工序)加工条件要求低的设备,也有加工条件要求高的设备(如高精尖的机床要求工作人员具有较高的技术水平);有可靠性低(高故障率)的设备,也有可靠性高(低故障率)的设备。这些都说明了加工系统环境的复杂性。因此,从制造系统工程的观点来看,生产调度既要考虑系统整体目标的实现,又要注意针对各加工子设备具体特性而具有的局部目标的实现,既协调又平衡,才能实现整个生产系统的最优调度。故此笔者在探讨这个问题之前,先给出一个相对优先权概念。

相对优先权:由一组加工设备构成的一个生产系统,各个设备均有自己的目标函数,生产系统有系统目标。对进入生产系统需要加工的一组零件,则每台加工设备对自己可加工零件集,在满足设备特定的目标下的加工顺序度量,称之为相对优先权。

可以看出,相对优先权是动态的,它随零件、设备、目标的不同而变化,从而避免了过去那种零件在整个加工过程优先权一成不变的缺点。

对于相对优先权的确定,根据其具体特定目标的需要,既可采取简单的规则如 SPT 规则、EDD 规则等确定,也可采取比较复杂的算法,如遗传搜索排序来实现。

1 模型及算法

• 收文日期 1998-04-20
国家 863/CIMS 主题资助项目(863-511-810-1021)
第一作者:男,1969年生,博士

1.1 问题的数学描述及模型

设生产系统中有 N 个子加工中心(加工设备), 每个加工中心须对其要加工的零件组计算每种零件的相对优先权, 即作出顺序决策。加工中心 i 的优先权向量为 $y \in R^n$, 输入生产系统需要加工的零件组 $x \in R^m$. 加工中心 i 关于决策向量(优先权向量 y 的决策向量)的调度效果, 由函数 $f_i: R^m \times R^n \rightarrow R$ 来描述, 其局部生产条件约束由向量指函数 $g_i: R^m \times R^n \rightarrow R^n$ 描述。 $G: R^m \times R^{n_1 + \dots + n_N} \rightarrow R^M$ 是整个生产系统的生产条件约束, 加工单元 i 对系统给定的调度决策 Y 作出其认为最好的局部调度决策(即工件的相对优先权的计算), 因而其模型为:

$$\begin{aligned} & \min_Y F(X, Y, Y^1, Y^2, \dots, Y^N) \\ & \text{s.t. } G(X, Y, Y^1, Y^2, \dots, Y^N) \leq 0 \text{ (其中 } Y \text{ 是下面问题的解向量)} \\ & \min_Y f_i(X, Y, Y^i) \\ & \text{s.t. } g_i(X, Y, Y^i) \quad (i=1, 2, \dots, N) \end{aligned}$$

这是一个二层规划模型。按照二层规划的性质, 在求解过程中上层有优先权。它首先选择一个使其目标函数取最小值的 $X \in \Omega(Y)$, 根据它的选择, 下层从约束区域中选择一个 $Y \in M(Y)$, 使其目标函数值取最小。这表明上层目标函数应该是系统最重要的目标, 即系统的整体目标, 下层目标应该是系统相对次要的目标, 即各子系统的目标。

1.2 具体建模实例

设某生产系统有 3 台加工设备 q_1, q_2, q_3 , 有一个来自装配线的订单要加工一批 N 类零件 p_1, p_2, \dots, p_N 设为集合 Q . 其中加工设备具有如下特征: q_1 是一台工况不太稳定, 废品率较高(其加工时间越长, 废品率越高)的设备, q_2 是一台换装成本较高的数控中心, q_3 设备是用来处理大多数零件的最后一道工序的专用机床。

由于订单是面向装配线, 因此整个生产子系统对这批零件的生产目标是在装配线正好需要时生产出来, 既减少库存费用, 又满足装配需要。因此, 可以选择提前/拖期(E/T) 惩罚值作为目标, 建立如下系统模型:

$$\min_{\sigma} f(\sigma) = \min_{\sigma \in S_N} \left\{ \sum_{j=1}^N \alpha_j E_j + \sum_{j=1}^N \beta_j T_j \right\} \quad (1)$$

其中 $E_j = \max\{0, d_j - c_j\}$, $T_j = \max\{0, c_j - d_j\}$ 分别为零件 p_j 的提前时间和延迟时间;
 α_j, β_j 为零件 j 的提前惩罚率和延迟惩罚率;
 d_j, c_j 为零件 j 的交货期和实际完工期;
 s_j 为零件订单的下达时间;
 S_N 为调度元素集合;

R_i 为零件类 i 的材料可用额, r_i 零件类 i 的消耗系数, x_i 为零件类 i 的批量。

资源约束: $x_i * r_i \leq R_i, i \in \{1, 2, \dots, N\}$; 时间约束: $c_i \geq s_i, i \in \{1, 2, \dots, N\}$.

设 Q 为 q_1 可加工的工序集所对应的零件集 $Q \subset Q$. 对加工设备 q_1 , 针对其具体特点, 可选择降低废品率作为其目标, 即

$$\min_{Q} \sum_{i \in Q} F_i \quad (F_i \text{ 为零件类 } i \text{ 的废品率}) \quad (2)$$

设 Q_2 为 q_2 可加工的工序集所对应的零件集 $Q_2 \subset Q$. 对加工设备 q_2 , 针对其具体特点,

选择降低成本作为目标, 即
$$\min \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n c_{ij} x_{ij} \quad (3)$$

其中 c_{ij} 为零件类 i 换装到零件类 j 的成本, 则

$$x_{ij} = \begin{cases} 1 & \text{若零件类 } i \text{ 优先于零件类 } j \\ 0 & \text{否则} \end{cases}$$

n 为零件集 Q 中零件种数, 则约束条件为:

$$\begin{aligned} \sum_{j=1}^n x_{ij} &= 1 & j = 1, 2, \dots, n \\ \sum_{i=1}^n x_{ij} &= 1 & i = 1, 2, \dots, n \\ x_{ij} &= 0, 1 \end{aligned}$$

设 Q_k 为加工设备 g_k 可加工的工序所对应的零件集 $Q_k \subset Q$, 对加工设备 g_k , 针对其具体特点, 可选择降低最大延误时间作为目标, 即

$$\min \max_{i \in Q} |L_i| \quad (L_i \text{ 为零件类 } i \text{ 的延误时间}) \quad (4)$$

由于在某一时刻, 加工设备只能加工一种零件, 因此有如下约束:

$$\begin{aligned} x_l - x_k + M(1 - y_{kl}) &\geq t_l \\ x_k - x_l + M y_{kl} &\geq t_k \quad k, l \in Q_k \end{aligned}$$

其中 x_l 为零件类 l 的完工时间, t_l 为其加工时间, M 为任意的正数, 则

$$y_{kl} = \begin{cases} 1 & \text{若零件 } k \text{ 优先于零件 } l \\ 0 & \text{否则} \end{cases} \quad k, l \in Q_k$$

公式(1)~(4)构成生产系统的整体目标, 局部目标模型(1)的解是获得一个优良调度, 使得罚值最小, 模型(2)~(4)的解是获得零件集相对于每一台加工设备的相对优先权向量表。

1.3 算法及求解

上述模型是一个二层规划模型, 讨论其解的存在性(合法性)、唯一性、最优性是非常复杂的数学问题, 现不作讨论。只给出一个基于 m 对优先权向量表的启发式调度算法, 先给出下面两个前提

- 1) 下层(局部)目标比上层(整体)目标具有优先权, 即解首先满足下层目标。
- 2) 已计算出工件集对加工设备的相对优先权向量。

设有需加工的 N 类零件集合 Q , 加工设备 $M_1, M_2, \dots, M_M, Q_i (i = 1, 2, \dots, M)$ 为加工设备 M_i 可加工工序集, p_i 为 M_i 所属的零件工序集 Q_i 按某一目标的相对优先权向量表, $g(\cdot)$ 为整个生产系统的目标函数。可根据具体问题确定有如下算法:

Step1 (初始化)

· 将所有可调度工序放入可调度工序集; · 已完成工序集置为空。

Step2 p_1 : 零件工序集 Q_1 相对于加工设备 1 的相对优先权向量表;

p_2 : 零件工序集 Q_2 相对于加工设备 2 的相对优先权向量表;

.....

p_N : 零件工序集 Q_N 相对于加工设备 N 的相对优先权向量表。

Step3(第一道工序安排) 将零件集 Q 内每一类零件按其第一道工序划分到其相应的

加工设备前的排队队列。

Step4(工序调度安排) 当加工设备可用时,

若加工设备前队列大于等于1,查其所属优先权向量表,选择最先加工的零件;

若加工设备前队列等于1,则唯一选择该零件加工;

若加工设备前队列为空,则加工设备继续空闲。

Step5(可调度工序集和已完成工序集更新)

对每道已调度出但在当前时刻尚未完成的工序,计算其完成时间。将当前时间置为具有最早完成时间的工序完成时间。将此工序(或一系列工序中的几道工)放入已完成工序集,同时从可调度工序集去掉该工序。

Step6(零件去向选择)

若Step5完成的工序的后续工序有多台设备可选择,则选择其零件对应的相对优先权最高的设备。将该零件加入该设备前队列。否则按工艺路线加入其对应的加工设备前队列。

Step7 若可调度工序集非空,转Step4;若可调度工序集空,则一个调度方案形成。

Step8(整体目标评价) $value = g(x)$

若 $value \geq$ 满意值,转Step10;若 $value <$ 满意值,转Step9。

Step9 修改相对优先权表,任意选择一个权向量表,将最大优先权与最小优先权易位,转Step3。

Step10(一个满意的调度方案形成) 退出。

下面通过一个算例来说明上述启发式算法的可用性,利用两台加工设备所构成的生产系统加工一批具有3种零件共八道工序的零件,数据如表1。

表1 启发式算法算例所用生产系统的基础数据

零件类别	1			2			3		
交货期	8			11			9		
提前罚率	0.4			0.4			0.1		
延误罚率	0.6			0.6			1		
工序编号	t_{11}	t_{12}	t_{13}	t_{21}	t_{22}	t_{23}	t_{31}	t_{32}	t_{33}
加工设备编号	1	2	2	1	1	2	1	2	
加工时间	4	2	3	3	2	3	2	1	

其中,加工设备1的可加工工序集为 $Q_1 = \{t_{11}, t_{22}, t_{23}, t_{32}\}$,加工设备2可加工工序集为 $Q_2 = \{t_{12}, t_{21}, t_{31}, t_{33}\}$ 。

对这样一个生产系统有上下两层目标,上层目标是系统整体目标,下层目标是两台设备各自的特定目标,其具体选择如下:

选择缩短最大生产时间(Makespan)作为加工设备1的目标,因SPT规则能最大限度满足目标,所以按SPT规则加工设备1的相对优先权向量表为 $\{t_{32}, t_{23}, t_{22}, t_{11}\}$ 。选择减小最大延误工期作为第二台加工设备的生产目标,因EDD规则能最大限度满足该目标,所以按EDD规则,设备2的相对优先权向量表为 $\{t_{12}, t_{31}, t_{33}, t_{21}\}$,选择提前/拖期惩罚值作为整个生产系统的生产目标。已知零件集对于加工设备的相对优先权表后,应用上述算法Step1~Step9,计算结果如图1。

其中加工设备 M_1 的生产周期(Makespan)为11,比列举法计算出的最优值10多1,加工

设备最大延迟时间为零, 整个生产系统的惩罚值为零。可见该调度方案较好地满足了整体目标和局部目标。

在选择两机的加工系统, 以减少 E/T 值为系统目标, 减少最大生产时间为第一台设备的目标, 减少最大延误时间为第二台设备的目标, 上述算法用 C 语言编程, 在计算机上运行大量类似例子, 仿真结果表明, 80% 的例子能达到比较理想的水平, 这说明算法的效果是良好的。

2 结束语

生产调度系统的整体目标与各子系统的局部目标之间的关系是辩证的, 整体的最优化有赖于局部的优化, 局部的效益应服从整体效益, 单纯地强调某一方面而忽略另一方, 是不正确的。笔者提出的两层规划数学模型和启发式调度算法较好地体现了这一思想。但对满足生产调度的整体目标与局部目标的最优解的存在性、有效性、唯一性未作理论分析, 这有待于以后进一步研究。

参 考 文 献

- 1 刘飞, 杨丹. 制造系统理论与建模. 见: 机械工程科学技术前沿. 北京: 机械工业出版社, 1996. 1~14
- 2 杨丹, 梁锡昌, 胡立德. 柔性制造系统生产调度中的运筹学模型及方法. 重庆大学学报, 1993, 16(3): 121~128
- 3 Wein L M, Cheliver PB. A Broader View of the Jobshop Scheduling Problem. *Management Science*. 1992, 38(7): 78~82
- 4 刘飞, 杨丹, 陈进. 制造系统工程. 北京: 国防工业出版社, 1995. 182~185

Schedule of Two-level Multi-object based on Relatively Prior Weight

Yan Ping Wang Zhijie Zhao Xiangyuan Liu Fei
(Institute of Manufacturing Engineering, Chongqing University)

ABSTRACT The default of conventional schedule is expounded, which only emphasizes on system's overall object but overlooks sub-system's local object. A mathematical model of two-level multi-object is put forward. The concept of relatively prior weight is defined, and a heuristic algorithm is given out. The results of computer simulation show that the algorithm is effective.

KEYWORDS schedule; multi-object; heuristic algorithm / relatively prior weight

(责任编辑 张小强)

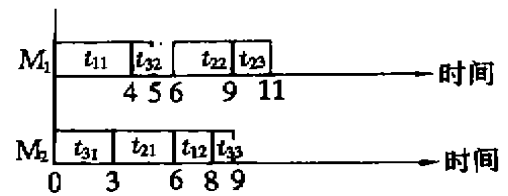


图 1 算例的计算结果(惩罚值 $G(x) = 0$)