

多 Open-Shop 生产线计划模型及简化

李敏, 蒋珉

(东南大学自动化研究所, 江苏南京 210096)

摘要: 研究了一类带有限缓冲区的多 open-shop 生产线协调生产计划的模型问题, 建立了上下游生产线的产品关联结构, 给出了成本最低的生产计划模型。通常情况下, 该模型的维数很大, 为了便于求解, 文中提出了不考虑主成品的模型简化方法。实例分析表明, 这种方法可以大大减少模型规模, 以提高求解速度。

关键词: open-shop; 生产计划; 有限缓冲区; 同步

中图分类号: TP391.9

文献标识码: A

文章编号: 1005-3751(2006)04-0173-03

A Production Planning Model for Multiple Open-Shop Product Line and Its Simplification

LI Min, JIANG Min

(Research Institute of Automation, Southeast University, Nanjing 210096, China)

Abstract: A harmonious production planning model for multiple open-shop product lines with limited buffers is studied and an interaction structure for the products of up-down stream is presented. A harmonious planning model with the lowest cost for multiple open-shop product line is built up. Because the dimension of the model is usually very large, it is necessary to be simplified. A simplification method that the main products are not considered is put forward. The results of analysis for an illustration show that the method could reduce the dimension of the model so as to increase calculation speed.

Key words: open-shop; production planning; limited buffers; synchronize

0 引言

将 n 种产品在 m 个工位上加工, 每种产品都必须要在每个工位上加工一次, 而通过工位的先后次序可以不同, 具有这种特点的生产线称之为 open-shop 生产线。目前, 对于生产计划的研究, 国内外已经有很多的文献, 也取得了大量的成果, 但是, 针对 open-shop 型生产计划问题的研究不多, 而具有 open-shop 特点的生产线广泛地存在于服装加工业、产品检测等领域。因此, 对这方面问题的研究具有重要的理论意义和实用价值。

在制造业中, 上下游生产线普遍存在着速度差, 一般情况是上游生产线的加工速度要大于下游生产线的加工速度。因此, 上下游生产线之间普遍存在着大小不一的缓冲区。同时, 因为上游生产线的加工速度快, 在完成计划内的主成品加工后, 还有能力进行外协加工, 生产副成品和同步副成品^[1]。考虑到有限缓冲区和同步产品的 flow-shop 生产计划问题, 前人已经作了大量的工作^[1-3], 但是对

于 open-shop 型生产线的此类问题研究不多。同时, 研究已有的文献可以看出, 这类问题的模型规模通常来说比较大, 给求解带来了困难。目前的解决方法一方面是将模型分解^[4], 另一方面是从算法的角度提出一种快速的求解方法^[2,4]。

文中在前人工作的基础上, 建立了一个多 open-shop 生产线的协调生产计划模型, 并从模型建立的角度, 提出了一种简化模型、减少模型维数的方法。

1 建模对象

文中的建模对象为具有以下特点的上下游生产线, 如图 1 所示。

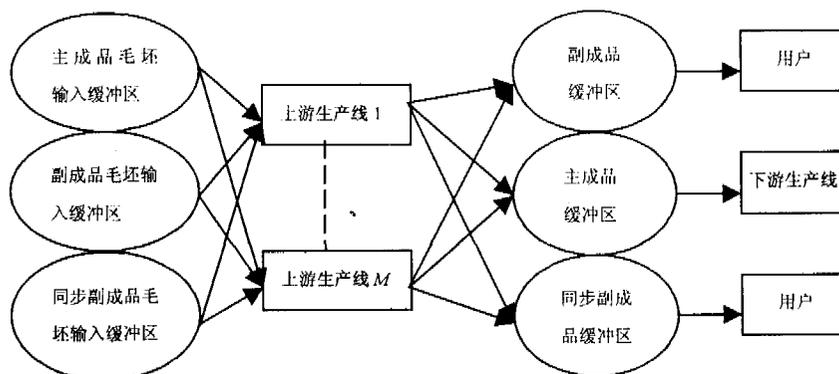


图 1 上下游生产线结构图

收稿日期: 2005-07-17

作者简介: 李敏(1980-), 女, 江苏徐州人, 硕士研究生, 研究方向为计算机集成制造系统; 蒋珉, 副教授, 硕士生导师, 研究方向为计算机仿真、先进制造技术。

- 1) 上游为 M 条 open-shop 生产线。
- 2) 上下游生产线、上游生产线与用户之间存在的大小不等、容量有限的缓冲区。

3) 上游生产线的产品结构存在多样性,除了供给下游生产线的主成品外,还生产供给其他用户的副成品和同步副成品。并且,下游生产线和用户对上游生产线各成品的需求量已知。

基本概念^[5]:

主成品:上游生产线生产的供给下游生产线使用的成品。

副成品:上游生产线生产的供给其他用户使用的不需要同步的成品。

同步副成品:上游生产线生产的供给其他用户使用的需要同步的成品。

4) 上游生产线的在制品在主成品和副成品(或同步副成品)之间切换。

5) 生产线上产品的输送采用托盘的方式,并且托盘的数量是有限的。

2 模型的建立

分析以上建模对象,假定计划区间由 N 个周期组成。在计划区间内,下游生产线和客户对上游生产线 i 的主成品、副成品和同步副成品的需求分别是 n_i , m_i 和 \bar{m}_i 种。以生产成本最低为优化目标建立模型,要求完全满足下游生产线和客户的需求,使同步副成品保持同步,并且使生产成本最低。目标函数如下:

$$J = \min \left\{ \sum_{i=1}^M \sum_{k=1}^N \{ a_i^T x_i(k) + b_i^T [T_i u_i(k) - p_i(k)]^+ + b_i^- [p_i(k) - T_i u_i(k)]^+ + c_i^T H_{ni} [\bar{y}_i(k) - \bar{z}_i(k)]^+ + c_i^- H_{ni} [\bar{z}_i(k) - \bar{y}_i(k)]^+ + d_i^T H_{mi} [\bar{y}_i(k) - \bar{z}_i(k)]^+ + d_i^- H_{mi} [\bar{z}_i(k) - \bar{y}_i(k)]^+ + e_i^T H_{ni} [\bar{y}_i(k) - \bar{z}_i(k)]^+ + e_i^- H_{ni} [\bar{z}_i(k) - \bar{y}_i(k)]^+ \} + \sum_{i=1}^M a_i^T x_i(N+1) \right\} \quad (1)$$

式中, H_{ni} 为主成品的变换矩阵,是 $n_i \times (n_i + m_i + \bar{m}_i)$ 维布尔矩阵; H_{mi} 为同步副成品的变换矩阵,是 $\bar{m}_i \times (n_i + m_i + \bar{m}_i)$ 维布尔矩阵; H_{ni} 为副成品的变换矩阵,是 $m_i \times (n_i + m_i + \bar{m}_i)$ 维布尔矩阵; c_i , d_i 和 e_i 分别为生产线 i 输出的主成品(n_i 维列向量)、同步副成品(\bar{m}_i 维列向量)和副成品(m_i 维列向量)超出需求部分的单件存储及占用流动资金的成本系数; c_i^- , d_i^- 和 e_i^- 分别为生产线 i 输出的主成品(n_i 维列向量)、同步副成品(\bar{m}_i 维列向量)和副成品(m_i 维列向量)未满足需求而受高额罚款的成本系数。其余各个变量的实际意义及维数参见文献[2],下同。

约束条件:

1) 成品输出约束:

$$y_i(k) = u_i(k) = [u_{ni}^T(k) u_{mi}^T(k) u_{\bar{m}_i}^T(k)]^T \quad (2)$$

2) 平衡约束:

$$x_i(k+1) = x_i(k) - u_i(k) + r_i(k) \quad (3)$$

初始条件: $x_i(1) = x_{i1} \quad i = 1, 2, \dots, M; k = 1, 2, \dots, N$

3) 输出累计总量约束:

$$\bar{y}_i(k) = \sum_{j=1}^k y_i(j) \quad (4)$$

$$y_i(j) = [y_{ni}^T(j) y_{mi}^T(j) u_{\bar{m}_i}^T(j)]^T$$

$$\bar{y}_i(k) = [\bar{y}_{ni}^T(k) \bar{y}_{mi}^T(k) \bar{y}_{\bar{m}_i}^T(k)]^T$$

4) 产品需求累计约束:

$$\bar{z}_i(k) = \sum_{j=1}^k z_i(j) \quad (5)$$

$$\bar{z}_i(k) = [\bar{z}_{ni}^T(k) \bar{z}_{mi}^T(k) \bar{z}_{\bar{m}_i}^T(k)]^T$$

$$z_i(j) = [z_{ni}^T(j) z_{mi}^T(j) z_{\bar{m}_i}^T(j)]^T$$

5) 产品缓冲区约束:

$$\bar{y}_i(k) - \bar{z}_i(k) \leq B_{zi} \quad (6)$$

$$\bar{y}_{pim}(k) - \lambda_{pimjn} \bar{y}_{pjm}(k) \leq B_{mzim} \quad l = 1, 2, \dots, L \quad (7)$$

$$\bar{y}_{pim} - \frac{1}{\lambda_{pimjn}} \bar{y}_{pjm} \leq B_{mzim} \quad l = 1, 2, \dots, L \quad (8)$$

$$B_{zi} = [B_{nzi}^T B_{mzi}^T B_{\bar{m}_i}^T]^T$$

式中, λ_{pimjn} 为同属第 p 同步组的生产线 i 中第 m 种同步副成品与生产线 j 中第 n 种同步副成品配套比; $\bar{y}_{pim}(k)$ 为生产线 i 中属于第 p 同步组的第 m 种同步副成品自周期 1 到周期 k 输出的成品数量之和; B_{zi} 为各产品缓冲区的大小,是 n_{gi} 维列向量; B_{nzi} , B_{mzi} 和 $B_{\bar{m}_i}$ 分别为主成品缓冲区的大小(n_i 维列向量)、副成品缓冲区的大小(m_i 维列向量)和同步副成品缓冲区的大小(\bar{m}_i 维列向量); B_{mzim} 为生产线 i 第 m 种同步副成品对应的缓冲区的大小; L 为用户对同步副成品的需求同步组数。

6) 托盘约束:

$$\sum_{p=1}^{f_i} \sum_{q=1}^{n_g} [d_i(k)]_{pq} \leq B_{trayi} \quad (9)$$

式中, $d_i(k)$ 为周期 k 中生产线 i 上每个工位加工和等待的各类工件数量,是 $f_i \times n_{gi}$ 维矩阵向量,矩阵中的元素是时变的; B_{trayi} 为生产线的托盘数量。

7) 工序约束:

$$\Delta^+ [d_i(k)]_{(P_i)_{n_i} n} = \Delta^+ [r_i(k)]_n \quad (10)$$

$$\Delta^+ [d_i(k)]_{(P_i)_{n(m+1)} n} = \Delta^- [d_i(k)]_{(P_i)_{m} n} \quad (11)$$

$$\Delta^- [d_i(k)]_{(P_i)_{n} n} = \Delta^- [y_i(k)]_n \quad (12)$$

$$m = 2, \dots, f_i - 1; n = 1, \dots, n_{gi}$$

式中, P_i 为生产线 i 的工序矩阵($n_{gi} \times f_i$ 维矩阵向量),矩阵元素 $(P_i)_{pq}$ ($p = 1, \dots, n_{gi}; q = 1, \dots, f_i$) 表示第 p 种工件的第 q 道工序的工位号; Δ^+ 表示某段时间内的输入量; Δ^- 表示某段时间内的输出量。

8) 下游生产线成品需求约束:

$$\bar{y}_{ni}(k) = H_{ni} \bar{y}_i(k) \geq H_{ni} \bar{z}_i(k) \quad (13)$$

9) 非负约束:

$$x_i(k) \geq 0, u_i(k) \geq 0 \quad (14)$$

3 模型的简化

在一个生产周期中,产品的生产以满足下游生产线的需求为基本要求。因此,主成品的生产根据需求优先安排。假设主成欠的需求量远大于其缓冲区的容量,则当主成品缓冲区中产品数量达到容量极限时,上游生产线停止生产主成品,转为生产副成品或同步副成品。待下游生产线将主成品缓冲区中的产品消耗完毕,上游生产线重新切换至主成品的生产。对以上过程进一步分析可以看出,因为上下游之间的主成品缓冲区的大小是固定的,且上下游的生产线对主成品的生产速度也是一定的,所以,在一次主成品和副成品(或同步副成品)的切换中,用于加工副成品(或同步副成品)的时间为下游生产线消耗全部主成品缓冲区里产品的时间,即为定值。因此,在一个生产周期中,主成品的加工时间和切换次数是可以预先确定的,进而确定了主成品的加工数量。基于以上的分析,在计划模型中,就可以不考虑主成品,大大地减少了模型的维数。简化后的目标函数如下:

$$J = J_{\pm} + J' \quad (15)$$

$$J' = \min \left\{ \sum_{i=1}^M \sum_{k=1}^N \{ \hat{a}_i^T \hat{x}_i(k) + b_i^T [\hat{T}_i \hat{u}_i(k) - \hat{p}_i(k)]^+ + b_i^-^T [\hat{p}_i(k) - \hat{T}_i \hat{u}_i(k)]^+ + d_i^T \hat{H}_{mi} [\hat{y}_i(k) - \hat{z}_i(k)]^+ + d_i^-^T \hat{H}_{mi} [\hat{z}_i(k) - \hat{y}_i(k)]^+ + e_i^T \hat{H}_{mi} [\hat{y}_i(k) - \hat{z}_i(k)]^+ + e_i^-^T \hat{H}_{mi} [\hat{z}_i(k) - \hat{y}_i(k)]^+ \} + \sum_{i=1}^M \hat{a}_i^T \hat{x}_i(N+1) \right\} \quad (16)$$

与(1)式相比较,(16)式中的各项参数作以下调整:

① (1)式中的 $x_i(k), u_i(k), \bar{y}_i(k), \bar{z}_i(k)$ 基本含义不变,向量维数由考虑主成品的 $n_i + m_i + \bar{m}_i$ 维列向量,调整为(16)式中不考虑主成品的 $m_i + \bar{m}_i$ 维列向量 $\hat{x}_i(k), \hat{u}_i(k), \hat{y}_i(k), \hat{z}_i(k)$ 。

② (1)式中产品变换矩阵 H_{mi}, \bar{H}_{mi} 分别调整为(16)式中 $m_i \times (m_i + \bar{m}_i)$ 维矩阵 \hat{H}_{mi} 和 $\bar{m}_i \times (m_i + \bar{m}_i)$ 维矩阵 $\hat{\bar{H}}_{mi}$ 。

③ (16)式中 \hat{T}_i 为生产线 i 各工位在周期 k 加工 $m_i + \bar{m}_i$ 种工件所需要的时间,为 $f_i \times (m_i + \bar{m}_i)$ 维矩阵。

④ (16)式中 $\hat{p}_i(k)$ 为生产线 i 各工位在周期 k 可用于加工副成品和同步副成品的时间,是从生产周期中扣除主成品生产时间及设备故障维修时间等所剩余的时间,为 f_i 维列向量。

约束条件调整:

1) 因为不考虑主成品,则约束条件中去掉了(13)式的下游生产线成品约束,添加时间约束如下:

时间约束:

$$\hat{p}_i(k) = p_i(k) - \bar{p}_i(k)$$

$$\bar{p}_i(k) = [t_{i1}(k)t_{i2}(k)\cdots t_{if_i}(k)]^T$$

$$t_{i1}(k) = t_{i2}(k) = \cdots = t_{if_i}(k) = t_i(k)$$

$$t_i(k) = \frac{B_{mq}}{V_{\max mq} - \bar{V}_{mq}} \times N$$

$$V_{\max mq} = \max \{ V_{i mq} \}$$

$$i = 1, 2, \dots, M; k = 1, 2, \dots, N$$

式中, $\bar{p}_i(k)$ 为生产线 i 在周期 k 用于加工主成品的加工时间,是 f_i 维列向量; B_{mq} 为生产线 i 在周期 k 所生产的第 q 种主成品的下游输入缓冲区大小; $V_{i mq}$ 为生产线在周期 k 生产第 q 种主成品的速度; $V_{\max mq}$ 为 M 条生产线中生产第 q 种主成品的最大速度; \bar{V}_{mq} 为下游生产线对第 q 种主成品的加工速度; \bar{N} 为周期 k 内主产品和副产品(或同步副产品)的切换次数。

2) 其余约束条件与约束(2)~(12)式、(14)式相似,条件中的向量或矩阵的维数减去主成品的种类数 n_i 。

4 实例分析

设上游生产线有 4 条,每条生产线上各有 3 个工位,即 $f_i = 3$,生产周期 $N = 10$,各生产线加工的主成品、副成品和同步副成品的种类分别为(2,1,1),(2,1,1),(2,1,1),(1,1,1)。用(1)式所建模型的约束条件个数为 770 个,变量个数为 960 个。采用(16)式简化后,模型的约束条件个数为 490 个,变量个数为 680 个。目标函数的维数被大大地减少,说明这种简化方法是有效的。

5 结束语

根据 open-shop 型生产线不同产品工序可不同的特性,建立了一种多 open-shop 生产线的协调生产计划模型。同时,从模型建立的角度提出了一种模型简化的方法,为下一步采用合适的算法,取得快速、精确的最优值创造了有利条件。该模型的算例仿真将另文给出。

参考文献:

[1] 王廷平.多生产线协调生产计划的研究[D].南京:东南大学,2004.
 [2] 蒋 珉,王廷平.基于关联加权预测的多生产线协调生产计划的研究[J].东南大学学报,2004,34(增刊):174-181.
 [3] 丁广太,涂奉生.串行生产线的状态及输出与其缓冲区容量的关系分析[J].南开大学学报,1999,32(4):107-114.
 [4] 严洪森.一种基于关联预测的车间生产计划的最优分解方法[J].系统工程理论与实践,1997,17(12):58-63.
 [5] 张燕红,蒋 珉.含有限缓冲区的上游生产线协调生产速度[J].微机发展,2004,14(10):117-119.

(上接第 172 页)

[4] 张东礼,汪东升,郑纬民:基于 VSM 的中文文本分类系统的设计与实现[J].清华大学学报(自然科学版),2003,43(9):1288-1291.

[5] Littlestone N. Learning quickly when irrelevant attributes abound: A new linear-threshold algorithm[J]. Machine Learning, 1988, 2(4): 285-318.