

# 多产品生产最优调度的网络图方法

隋家贤 夏圈世

(青岛化工学院自动化系·青岛, 266042)

**摘要:** 本文给出了混合存储(MIS)策略的多产品生产过程的有向网络图表示, 并提出了基于有向网络图表示的多产品生产的一种最优调度方法。

**关键词:** 多产品生产; 混合存储策略; 网络图; 关键路径算法

## 1 引言

多产品生产是精细化工行业, 如医药、染料等行业的重要生产模式。其主要特点是生产装置及原料为各产品共享。因此恰当地安排各产品的生产次序, 可提高设备和原材料利用率, 从而取得显著的经济效益<sup>[1]</sup>。

本文研究 MIS(混合存储)策略多产品生产调度问题, 建立了 MIS 策略多产品生产过程的有向网络图表示, 并提出了基于有向网络图表示的多产品生产的最优调度方法。

## 2 MIS 策略多产品生产过程的有向网络图表示

M 个产品, 具有 N 道加工工序, 上下工序之间可采用: 无限存储(UIS)方式、有限存储(FIS)方式、无存储(NIS)方式和零等待时间存储(ZW)方式组成的 MIS 策略多生产过程<sup>[2]</sup>可用有向网络图表示。具体表示方法如下:

第  $i$  个产品在第  $j$  道工序的生产活动以起始节点, 终止节点及连接两节点的有向边来表示。边的权为完成此项活动所需耗费的时间。当给定产品生产次序后, 以各项生产活动为元素, 按 UIS, NIS, FIS, ZW 方式添加上相应约束边, 即构成 MIS 策略多生产过程的有向网络图。

**例 1** 四个产品, 四道工序的 MIS 策略多产品生产过程的有向网络图表示。

设工序 1, 2 之间存储方式为 ZW, 工序 2, 3 之间存储方式为 NIS, 工序 3, 4 之间存储方式为 FIS(存储时间为 10), 工序 4 之后的存储方式为 UIS。各产品在各工序的加工时间如表 1。

表 1 四个产品四道工序加工时间

产品 \ 工序	1	2	3	4
1	10	15	20	13
2	20	8	7	7
3	5	12	9	17
4	30	10	5	10

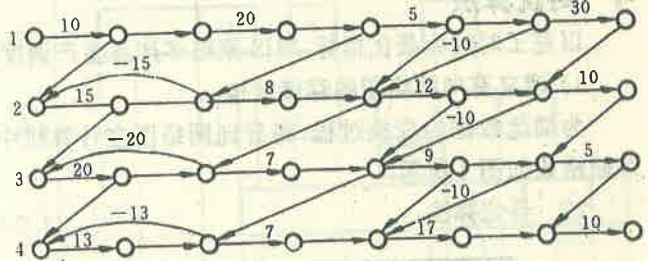


图 1 例 1 产品排序 1→2→3→4 的网络图

可画出对应产品排序为  $1 \rightarrow 2 \rightarrow 3 \rightarrow 4$  的有向网络图如图 1 所示。

对网络图中的反馈环进行等价变换(参见图 2),变换公式为:

$$X = \max \{ U, V - a \}, \tag{1}$$

$$Y = X + a, \tag{2}$$

$$Z = \max \{ V, Y \}. \tag{3}$$

采用如上的等价变换,将反馈环从后向前依次变换. 变换后的有向网络图如图 3.

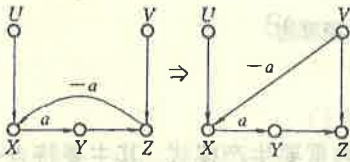


图 2 反馈环的等价网络图表示

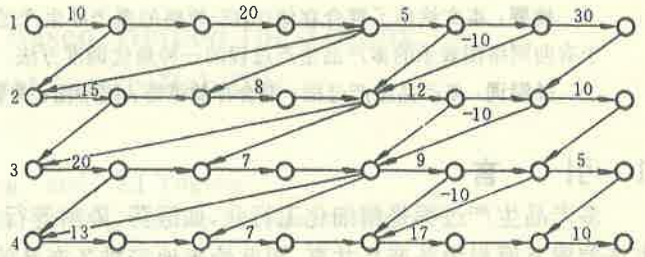


图 3 图 1 的等价变换网络图

### 3 解集的排序

以完工时间为最优指标, MIS 策略多产品生产调度的最优化问题可转化为从建立的所有可能的产品排序解集所对应的有向网络图集合中找出具有最小完工时间的解图:

因为  $M$  个产品, 所有可能的产品排序所成之集合  $S$  共有  $M!$  个元素. 因而对应的网络图有  $M!$  个. 若全部存储这  $M!$  个网络图将要求巨大的存储空间. 为了压缩解图数据占用的存储空间, 减少存储管理带来的开销, 提高寻优速度. 可对解集

$$S = \{ X \mid X = x_1 x_2 \dots x_M, x_i \in \{ 1, 2, \dots, M \} \} \tag{4}$$

的元素进行排序. 因为  $M! - 1$  为一素数, 则集合  $F = \{ 1, 2, \dots, M! - 1 \}$  成为有限域<sup>[3]</sup>.

又作解集  $S$  到有限域  $F$  上的映射  $\varphi$ :

$$\varphi = \sum_{i=1}^M (x_i - i)_{\text{mod } M} \cdot (M - i). \tag{5}$$

易证映射  $\varphi$  为  $S$  到  $F$  上的一一对应关系. 于是按此对应关系, 可对集合  $S$  中所有元素排序. 寻优过程中按此排序, 依次生成各个解图.

### 4 寻优算法

以完工时间为最优指标, MIS 策略多产品生产调度基于网络图搜索的寻优过程:

1) 建立有向网络图的存储结构:

为简化数据的变换过程, 将有向网络图在计算机中以多重邻接表方式存储. 各个节点存储格式如图 4 所示.

2) 寻优算法:

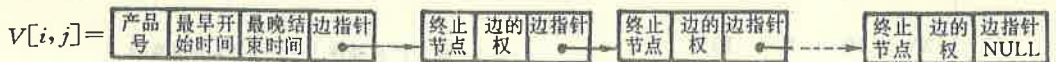


图 4 网络图的多重邻接表存储格式

- ① 读入邻接表;
- ② 若有 ZW 模式,置 ZW 模式标志;
- ③ 计算  $M!$ ;
- ④ 调用 CPM(关键路径算法),求初始解图的关键路径及完工时间;
- ⑤ 保存初始解图和对应的关键路径及完工时间;
- ⑥ 循环:  $k = 1$  到  $(M! - 1)$ ;
  - I) 由  $k$  的值生成一个解;
  - II) 构造此解的有向网络图所对应的多重邻接表;
  - III) 若 ZW 标志置位,计算相应 ZW 模式约束边上的权;
  - IV) 如果当前解图上对应于保存解图的关键路径的路径的经过时间小于保存解图的完工时间,
    - 则:调用 CPM,求当前解图的关键路径及完工时间.
    - 如果当前解图的完工时间小于保存解图的完工时间,
    - 则:保存当前解图和关键路径及完工时间;
    - 否则:恢复原保存解图;
    - 否则:恢复原保存解图;
- ⑦ 打印最后保存的解图所对应的产品排序及完工时间;
- ⑧ 结束.

3) 上述算法中调用的简化 CPM 如下:

- ① 计算网络图上各节点的最早开始时间;
- ② 如果终止节点的最早开始时间大于调用实在参数(保存解的完工时间),返回终止节点的最早开始时间;
- ③ 否则计算各节点的最晚结束时间,返回终止节点的最晚结束时间.

以上述寻优算法求解例 1,结果如下:

最优产品排序: 1→2→4→3.

完工时间: 90. 对应的甘

特图如图 5.

**例 2** 某化工厂计划生产 A, B, C, D, E, F 六种产品. 每种产品均在 1, 2, 3, 4 四级间歇生产装置上按 1→2→3→4 的加工工序生产. 各加工工序之间均有足够容积的储罐. 各产品在不同工序的处理时间给定如表 2. 并且每种产品均需加工 5 次方能得到所需的产量. 现以加工时间最短为目标函数, 要求按排产品的加工顺序, 并求对应的加工时间.

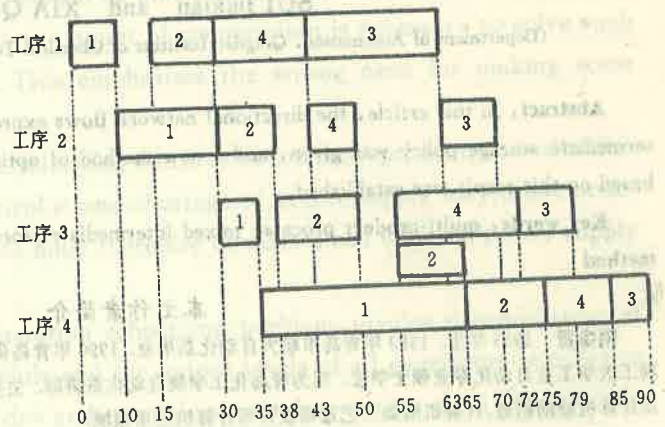


图 5 例 1 的最优产品排序对应的甘特图

寻优结果为:

最优产品排序: E→A→B→F→D→C. 完工时间: 428小时.

本文算法与混合整数规划(MIP)算法对例2的计算过程相比,数据量为后者的84%,而在相同初始条件下的计算时间为后者的77%.

## 5 结 论

本文在研究MIS策略多产品生产调度问题的基础上,建立了MIS策略多产品生产过程的有向网络图表示,提出了基于有向网络图表示的多产品生产的一种最优调度方法.本文方法的主要特点:适用于MIS策略生产调度优化问题;在寻优过程中,采用必要条件剪枝,且当产品具有次序约束时,可预先剪枝,从而提高了寻优速度;使用解集排序方法,压缩数据存储空间,简化存储的管理,进一步提高了寻优速度.另外,在任何时刻中止寻优过程,都可在已搜索过的部分解集中,得到一当前最优解.文中还以仿真计算说明了此种方法的有效性.

表2 例2加工时间表(单位:小时)

工 序	产 品	A	B	C	D	E	F
1		10	15	20	14	6	13
2		10	8	7	6	11	7
3		5	12	9	15	5	17
4		30	10	5	10	15	10

## 参 考 文 献

- [1] Musier, R. F. H. and Evans, L. B. . Batch Process Management. Chem. Eng. Prog. 1990, June, 66-77  
 [2] Ku, H. M. , Rajagopalan, D. and Karimi, I. . Scheduling in Batch Processes. Chem. Eng. Prog. . 1987, Aug. , 35-45  
 [3] 王湘浩,谢邦杰编. 高等代数. 北京:人民教育出版社,1983

# Optimal Scheduling of Multiproduct Process Based on Method of Network Flows

SUI Jiexian and XIA Quanshi

(Department of Automation, Qingdao Institute of Chemical Technology • Qingdao, 266042, PRC)

**Abstract:** In this article, the directional network flows express of multi-product process in mixed intermediate storage policy was given, and a new method of optimal scheduling of multi-product process based on this result was established.

**Key words:** multi-product process; mixed intermediate storage policy; network flows; critical path method

## 本文作者简介

**隋家贤** 1955年生. 1983年青岛市职大自动化系毕业. 1990年青岛化工学院大系统研究生班毕业. 1993年获华东理工大学工业自动化专业硕士学位. 现为青岛化工学院自动化系讲师. 主要研究方向:双线性系统,预测控制,故障诊断及计算机辅助制造,计算机辅助工艺过程设计等计算机应用领域.

**夏国世** 1961年生. 毕业于华东理工大学. 分别于1982年,1984年,1988年获华东理工大学学士,硕士,博士学位. 现在英国. 主要研究方向:工业过程在线优化与调度,高级过程控制理论及应用和过程系统工程等.