第 12 卷第 1 期
1995 年 2 月

控制理论与应用
CONTROL THEORY AND APPLICATIONS

Vol. 12, No. 1
Feb., 1995

CIMS 环境下单元的柔性计划生产方法

彭　威　薛劲松
(中国科学院沈阳自动化研究所·沈阳，110015)

摘要：本文研究了 CIMS 环境下的生产计划问题. 考虑了两种市场需求驱动生产方式，一种是在计划周期内各阶段市场需求由预先订货决定，另一种是市场需求不是由预先订货决定，而是一个随机变量. 但可根据统计，确认它服从某种分布规律，对于这两种生产方式，本文可给出最优的生产计划.

关键词：CIMS；生产计划；随机优化

1　引　　言

满足市场需求，适应市场变化，提高企业的产出投入比、降低成本、提高质量已成为企业的追求目标. 为此，企业除引进先进的设备外，更重要的是对企业内部的经营过程和生产活动进行严密控制，对整个系统进行全面集成，形成计算机集成制造系统(CIMS). 在这种情况下，企业的订单计划显得非常重要. 因为计划生产量把企业的实际生产能力与市场需求匹配得越好，集成生产的意义才越大. 为使生产计划与实际生产能力相匹配，在加工业，一般采用递阶生产计划方式. 目前国内的 CIMS 工程，多采用五级递阶控制结构，在该结构中，由于单元级的计划比较详细，它可把调度问题一并考虑，见文献[1 ～ 4]. 本文提出的计划方法，有一个自单元、车间向上反馈的过程，在本文所讨论的两种市场需求驱动生产方式下，能得到最优计划.

2　问题的提出和解析

为了使企业的生产计划与实际的生产能力相匹配，企业可进行分级计划，比如说，厂级可根据市场预测等，给车间一个决策范围，车间在该范围内，给各单元划定一个范围，单元在其范围内，确定出自己的生产计划，然后车间以各单元的计划为依据，作出车间的计划，厂级则依据各车间的计划，作出全厂计划. 由上所述，单元的计划就显得重要了，下面着重讨论两种市场需求驱动生产的单元计划问题.

2.1　考虑需求量为确定的情形

假设加工单元有 m 个加工中心，用集合 $M=\{M_1,\cdots,M_m\}$ 表示. 在一个计划期 H 内，车间下达给单元的任务有 n 种工件. 用集合 $P=\{P_1,\cdots,P_n\}$ 来表示. 每种工件的数量为 y_i，每种工件都有一个加工路径 r_i，它由工艺的操作序列所决定，在每一个加工中心最多只加工一次，令 $T=[t_{ij}]$ 表示加工时间矩阵. 我们不考虑工件的装卡及传送等的设置时间.

根据具体需求把计划时间 H 分为 z 个时间段 Δ_l，即 $H=\sum\limits_{l=1}^{z}\Delta_l$. 由于零件的组装要求或者是零件完工期要求的不同，在各时间段内各种工件的生产数目也要求不同，让 d_{ik} 表示

本文于 1992 年 4 月 30 日收到，1994 年 7 月 18 日收到修改稿

时间段 Δ_k 结束时，对工件类型 P_i 的需求量，让 X_{ik} 表示在 Δ_k 内对工件类型 P_i 的计划生产量. 我们希望在 Δ_k 内所生产的数量 X_{ik} 与其需求量 d_{ik} 正好吻合，但由于系统加工能力及各种随机因素影响，很难恰好吻合. 两者若不吻合，X_{ik} 小于 d_{ik} 时，每少一件就将惩罚一个费用值 c_i^+，其实际意义是由没有满足需求而造成的利润损失；当 x_{ik} 大于 d_{ik} 时，每多一件也将惩罚一个费用值 c_i^-，其实际意义是考虑库存费用，c_i^+ 与 c_i^- 的大小，将由实际情况所定. 加工每个 P_i 类型工件，将获利润为 L_i，则在 Δ_k 内，生产 x_{ik} 个 P_i 类型获利为

$$H(x_{ik}) = \begin{cases} l_i x_{ik} - c_i^+(d_{ik} - x_{ik}), & x_{ik} \leqslant d_{ik}, \\ l_i x_{ik} - c_i^-(x_{ik} - d_{ik}), & x_{ik} > d_{ik}. \end{cases} \tag{2.1.1}$$

应当注意，当 $x_{ik} > d_{ik}$ 时，只有 $\sum_{k=1}^{z} x_{ik} \leqslant \sum_{k=1}^{z} d_{ik}$ 时才成立，否则将是 $l_i d_{ik} - c_i^-(x_{ik} - d_{ik})$.

如果车间在下达任务的时候，已经考虑了生产调度对生产能力的影响，即单元不考虑由排序等引起加工中心的等待停机因素，由于加工系统的累积效应，那么上述问题的优化计划可归结为求解如下线性规划问题

$$\max\left\{ \sum_{k=1}^{z} \sum_{i=1}^{n} (l_i x_{ik} - (c_i^+ \times [Q_{ik} - D_{ik}]^+ + c_i^-[D_{ik} - Q_{ik}]^+)) \right\}. \tag{2.1.2}$$

这里$[\cdot]^+ = \max\{0, \cdot\}$，$D_{ik}$ 表示在 Δ_k 结束时对工件类型 P_i 的累积需求，即

$$D_{ik} = \sum_{a=1}^{k} d_{ia}, \quad i = 1,\cdots,n; \quad k = 1,\cdots,z, \tag{2.1.3}$$

$$Q_{ik} = \sum_{a=1}^{k} x_{ia}, \quad i = 1,\cdots,n; \quad k = 1,\cdots,z. \tag{2.1.4}$$

这里 Q_{ik} 表示在 Δ_k 结束时工件类型 P_i 的累积生产量.

$$\text{s} \cdot \text{t} \quad \sum_{i=1}^{h} t_{ij} x_{ik} \leqslant \Delta_k, \quad j = 1,\cdots,m; \quad k = 1,\cdots,z, \tag{2.1.5}$$

$$x_{ik} \geqslant 0, \quad i = 1,\cdots,n; \quad k = 1,\cdots,z, \tag{2.1.6}$$

$$\sum_{k=1}^{z} x_{ik} \leqslant y_i, \quad i = 1,\cdots,n. \tag{2.1.7}$$

这里 y_i 是车间对 P_i 类型下达给单元的范围约束，(2.1.2) 式是目标函数，意指求最大生产效益，(2.1.5) 式描述了机器能力的约束，(2.1.6) 式意指计划生产量的非负性，(2.1.7) 式约束了单元的计划必须在车间给定的范围内. 这种详细计划可满足各时段的工件配比及考虑排序问题.

值得指出的是该模型对连续生产的过程工业能够求得精确解，但对离散生产过程的加工业可能难于求得精确解. 尽管我们假设车间在下达任务时已经考虑了单元生产调度对生产效率的影响，但由于单元在作业过程中，但其生产调度的复杂性和随机性，但其影响是无法精确估计的.

在以上的讨论中，我们还假设了一个条件，即在每一个计划期 H 结束时，所加工的工件的数量都小于或等于在该期间内的需求量，也就是说在下一个计划开始时没有初始库存. 如果有初始库存，则上述的(2.1.4) 式将是

$$Q_{ik} = Q_{io} + \sum_{a=1}^{k} x_{ia}. \tag{2.1.4'}$$

这里 Q_{io} 表示工件类型 P_i初始库存，而(2.1.7) 式就将是

$$y_i = Q_{io} + \sum_{k=1}^{z} x_{ik}. \tag{2.1.7'}$$

尽管它们的约束条件有一些不同，但容易证明可以把带有初始库存问题化为零初始库存问题. 因此，讨论零初始问题，具有一般性.

通过求解上述的线性规划问题，我们便可对单元的任务做详细计划. 同时也可得出车间的计划，以至全厂的计划，一种最简单的办法就是把各车间的计划累加起来.

2.2 需求量为不确定情形

其实在加工系统中，不确定的因素有很多，比如说机器的故障，市场需求等等，本节只考虑需求为不确定的情形. 由于我们把计划周期 H 进行了分解，假设在 Δ_k 内对工件类型 P_i 的需求量为一随机变量 V_{ik}，且假设该随机变量的概率分布可由统计得到.

由于需求量是一个随机变量，因此我们不能保证在计划时间 H 内所生产的工件数全都小于或等于需求量，因此，(2.1.1) 式为

$$\eta_{ik} = H(x_{ik}) = \begin{cases} l_i x_{ik} - c_i^+(V_{ik} - x_{ik}), & V_{ik} \geqslant x_{ik}, \\ L_i v_{ik} - c_i^-(x_{ik} - V_{ik}), & V_{ik} < x_{ik}. \end{cases}$$

即其生产效益也是一个随机变量.

在这种随机需求的情况下，怎样计划生产能使得系统获最佳效益，是我们所关心的问题. 首先我们讨论一下平均获效情况，因为

$$E\eta_{ik} = \int_{-\infty}^{+\infty} H(x) f(x) \mathrm{d}x.$$

假设随机变量 V_{ik} 在 Δ_k 内服从$[a_{ik}, b_{ik}]$ 均匀分布，即概率密度函数 $f(x)$ 为

$$f(x) = \begin{cases} \dfrac{1}{b_{ik} - a_{ik}}, & x \in [a_{ik}, b_{ik}], \\ 0, & \text{其它}. \end{cases}$$

于是

$$\begin{aligned} E\eta_{ik} &= \int_{-\infty}^{+\infty} H(x) f(x) \mathrm{d}x \\ &= \frac{1}{b_{ik} - a_{ik}} \int_{-\infty}^{+\infty} H(x) \mathrm{d}x \\ &= \frac{1}{b_{ik} - a_{ik}} \int_{a_{ik}}^{x_{ik}} [l_i x - c_i^-(x_{ik} - x)] \mathrm{d}x + \frac{1}{b_{ik} - a_{ik}} \int_{x_{ik}}^{b_{ik}} [l_i x_{ik} - c_i^+(x - x_{ik})] \mathrm{d}x \\ &= \frac{1}{b_{ik} - a_{ik}} \{ \frac{1}{2}(l_i + c_i^-)(x_{ik}^2 - a_{ik}^2) - c_i^- x_{ik}(x_{ik} - a_{ik}) \\ &\quad + (l_i + c_i^+) x_{ik}(b_{ik} - x_{ik}) - \frac{1}{2} c_i^+ (b_{ik}^2 - x_{ik}^2) \}. \end{aligned}$$

显然这个平均效益值是生产量 x_{ik} 的函数，对 x_{ik} 求导数，当

$$\bar{X}_{ik} = \frac{c_i^- a_{ik} + b_{ik} l_i + c_i^+ b_{ik}}{l_i + c_i^+ + c_i^-}$$

时，效益值最大，即在需求量为一随机变量的情况下，在 Δ_k 内组织生产$[\bar{X}_{ik}]$ 个工件是最好

的决策，这里[·]表示取整数.

当然如果设 V_{ik} 服从其它分布，比如说正态分布，指数分布，二项分布等，都可以求出其最好的决策值.

现在我们仍然回到讨论计划问题，由于我们已经得到了在各时间段内的最好决策，而这个决策是考虑以效益优化为指标，因此我们可以把该决策认为是确定型的需求量，即

$$d_{ik} = \bar{x}_{ik}.$$

这样需求量不确定的详细计划可归结为求解如下线性规划问题.

$$\min \quad \sum_{k=1}^{z}\sum_{i=1}^{n}(c_i^+[Q_{ik} - D_{ik}]^+ + c_i^-[D_{ik} - Q_{ik}]^+), \tag{2.2.1}$$

$$D_{ik} = \sum_{a=1}^{k} d_{ia}, \tag{2.2.2}$$

$$d_{ia} = \bar{x}_{ia}, \tag{2.2.3}$$

$$Q_{ik} = \sum_{a=1}^{k} x_{ia}, \tag{2.2.4}$$

$$\mathrm{s \cdot t} \quad \sum_{i=1}^{n} t_{ij}x_{ik} \leqslant \Delta_k, \quad k = 1,\cdots,z; \quad j = 1,\cdots,m, \tag{2.2.5}$$

$$x_{ik} \geqslant 0. \tag{2.2.6}$$

这里各约束的意义均与 2.1 中的意义相同.

对于线性规划问题的求解，已有许多种成功的方法，这里不赘述.

3　一个例子

我们仅以一个最简单的情形为例来说明，考虑有三种工件，假设 $c_i^+ = c_i^- = 1$，工件在哪个设备上加工都允许. Δ_k 都相同，且取 $k = 15$，每个工件的利润相同.(2.1.5)式的约束简化为生产能力为已知，已知量及各时间段内的需求见表 1，应用(2.1.2)～(2.1.7)求解结果见表 2 及表 3.

表 1　对工件的需求和生产能力

时间段	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	总数
需求 P_1	1	3	5	6	0	0	2	3	4	4	0	0	5	3	5	$41 = y_1$
需求 P_2	1	0	5	2	6	5	2	3	4	4	5	5	5	2	5	$54 = y_2$
需求 P_3	3	2	3	3	4	5	2	3	2	2	5	5	0	5	0	$44 = y_3$
生产能力	10	10	10	7	5	6	9	12	10	12	12	8	6	6	12	135

表 2　在各时间段内对各类工件的计划数

时间段	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	总数
计划 P_1	4	5	6	0	0	0	2	3	4	4	0	2	3	3	5	41
计划 P_2	1	5	1	4	3	5	2	3	4	6	7	1	3	3	6	54
计划 P_3	5	0	3	3	2	1	5	6	2	2	5	5	0	0	1	40

表3 在各时间段内，各类工件的库存数

时间段	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
库存 P_1	3	5	6	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0
库存 P_2	0	5	1	3	0	0	0	0	0	2	4	0	−2	−1	0
库存 P_3	2	0	0	0	−2	−6	−3	0	0	0	0	0	0	−5	−4

这里 P_1,P_2,P_3 分别代表三种类型的工件.

参考文献

[1] Kathrye. Stecke and IL Yong Kim. A Flexible Approach to Part Type Selection in Flexible Flow Systems Using Part Mix Ratios. International Journal of Production Research, 1991, 29(1):53−57

[2] 彭威. CIMS优化排序的度量空间分析法. 信息与控制，1991，增刊:1−5

[3] Lesage, J. J. and Timon. G.. An Extension of the Production Management Concepts Towards the Real Time Cell. Production Control. Computer Applications in Production and Engineering Intergration Aspects, Elsevier Science Publishers B. V. (North-Holland)IFIP, 1991

[4] Peng Wei and Xue Jinxong. On the Determination of the Part Types and Min in FMS. Intertechno' 90 Conference, Hungary, Budapest, 1990

Flexible Production Planning Approaches for Cell under the CIMS Environment

PENG Wei and XUE Jinsong

(Shenyang Institute of Automation Chinese Academy of Science • Shenyang, 110015, PRC)

Abstract: In the paper, the production planning problems under the CIM environment are discussed considering two different production ways driven by market requirements. In one way, the market requirement are decided by order during the planning period; in other way ,the marker requirements are stochastic variable whose distuibuion could be assede by statistic data. The optimal planning approachs are presented for both production ways in this paper.

Key words: CIMS; production planning; stochastic optimization

本文作者简介

彭 威 1987年在东北大学获硕士学位，之后一直在中国科学院沈阳自动化研究所从事CIMS方面的工作，目前主要研究兴趣是CIMS的控制结构、建模及优化算法等.

薛劲松 1964年毕业于清华大学，现在中国科学院沈阳自动化所工作，曾从事过自动控制、系统工程方面的研究和开发. 目前在国家863计划中承担CIMS专题中的系统理论方法和应用工程方面的有关课题.