



神经网络在柔性生产线动态生产调度中的应用研究¹⁾

汪小帆 宋文忠

(东南大学自动化所 南京 210096)

王执铨

(南京理工大学自动控制系 南京 210094)

摘要 把多条柔性生产线、多种产品的动态生产调度(MMDPS)问题归结为一混合非线性整数规则问题. 基于神经网络优化计算原理, 设计了求解 MMDPS 问题的连续时间动态神经网络模型, 并给出了仿真结果.

关键词 生产调度, 柔性生产线, 神经网络.

1 引言

采用柔性生产线的企业面临的一个重要问题是, 如何合理安排生产, 使企业在满足不断变化的市场要求的情形下, 尽可能地降低成本. 仅凭管理人员的经验往往难以获得满意的调度方案^[1-3]. 本文首先把多条柔性生产线、多种产品的动态生产调度(MMDPS)问题归结为一混合非线性整数规则问题. 然后基于神经网络优化计算原理, 设计了求解 MMDPS 问题的动态神经网络模型.

2 MMDPS 问题及其数学模型

MMDPS 问题可叙述如下: 一工厂有多条生产线, 需制造多种产品. 其中一条生产线可制造若干种产品, 一种产品可在若干条生产线上制造, 但假定在一个周期(如一星期)内一条生产线只能以固定速度生产一种产品. 需要确定工厂在未来若干个周期中的生产调度方案, 使得在满足市场需求的情况下, 企业生产的总费用最小. 从实际出发, 可考虑以下几方面的费用: 首先是各条生产线上制造产品的费用; 其次, 由于制造的产品通常并不能立即全部投放市场, 从而有一定的库存费用; 此外, 由于生产线还不具备完全的柔性, 因而

1) “八六三”高技术计划资助项目.

在生产线上变更制造产品时还需化一定的费用.

现引入下列记号: L ——生产线数目; P ——产品种类; M ——总的周期数; L_i ——可用于制造产品 i 的生产线的集合; P_j ——可由生产线 j 制造的产品的集合(生产线 j 制造产品 0 表示生产线 j 处于关闭状态); c_{ij} ——生产线 j 制造产品 i 的单位费用; d_{is} ——周期 s 对产品 i 的需求量(大于零); h_i ——产品 i 在一个周期的单位库存费用; p_{ij} ——生产线 j 在一个周期内制造产品 i 的产量; q_{ij} ——生产线 j 由制造其它产品变更为制造产品 i 时需化的费用. 假设各种产品的初始库存均为零.

以 Z_{ijms} 表示周期 m 在生产线 j 上制造的产品 i 中用于在周期 s ($s \leq M$) 供应市场的数量; $Z_{ijm, M+1}$ 为周期 m 在生产线 j 上制造的产品 i 中在周期 M 结束后所剩的数量;记 $C_{ij} \equiv (c_{ij} + (s-m)h_i)d_{is}$, $V_{ijms} \equiv Z_{ijms}/d_{is}$. 定义 0-1 变量 Y_{ijm} 如下:若生产线 j 在周期 m 制造产品 i , 则 $Y_{ijm} = 1$; 否则, $Y_{ijm} = 0$.

MMDPS 问题可归结为如下的混合非线性整数规划问题.

$$\min F \equiv \sum_{i=1}^P \sum_{j \in L} \sum_{m=1}^M \sum_{s=m}^{M+1} C_{ijms} V_{ijms} + \sum_{i=0}^P \sum_{j \in L} \sum_{m=1}^M q_{ij} Y_{ijm} (1 - Y_{ij, m-1}), \quad s. t. \quad (1a)$$

$$\sum_{j \in L} \sum_{m=1}^s V_{ijms} = 1, \quad i = 1, 2, \dots, P; \quad s = 1, 2, \dots, M. \quad (1b)$$

$$\sum_{i \in P_j} Y_{ijm} = 1, \quad j = 1, 2, \dots, L; \quad m = 1, 2, \dots, M \quad (1c)$$

$$\sum_{s=m}^{M+1} d_{is} V_{ijms} = p_{ij} Y_{ijm}, \quad i = 1, 2, \dots, P; \quad j = 1, 2, \dots, L; \quad m = 1, 2, \dots, M. \quad (1d)$$

$$0 \leq V_{ijms} \leq 1, \quad i = 1, 2, \dots, P; \quad j = 1, 2, \dots, L; \quad m = 1, 2, \dots, M; \quad s = 1, 2, \dots, M+1. \quad (1e)$$

$$Y_{ijm} \in \{0, 1\}, \quad i = 0, 1, \dots, P; \quad j = 1, 2, \dots, L; \quad m = 1, 2, \dots, M. \quad (1f)$$

目标函数 F 中第一项为 M 个周期内各条生产线上的生产费用及产品的库存费用, 第二项为各条生产线在变更制造产品时所化的费用. 条件式(1b)用于保证各个周期对产品的需求能得到满足;式(1c)反映一条生产线在一个周期只制造一种产品;式(1d)表示若生产线 j 在某个周期制造产品 i , 则产量为 p_{ij} .

3 用神经网络求解 MMDPS 问题

神经网络优化计算原理可见文[4], 为求解上述 MMDPS 问题, 我们构造了一由 $(1/2)M(M+5)(\sum_{i=1}^P L_i) + ML_0$ 个神经元组成的连续时间动态神经网络(CDNN). 该网络共有 $M+2$ 层, 第 s 层 ($1 \leq s \leq M$) 含 s 个二维阵列, 最后两层各有 M 个二维阵列. 在前 $M+1$ 层中, 每个阵列均含有 $\sum_{i=1}^P L_i$ 个神经元, 排成 P 行 L 列; 最后一层中的每个矩阵均含有 $\sum_{i=0}^P L_i$ 个神经元, 排成 $P+1$ 行 L 列. 在上述每个阵列中, 若生产线 j 能制造产品 i , 则第 i 行第 j 列处有一个神经元, 否则该处无神经元. 以 (i, j, m, s) 表示第 s 层的第 m 个阵列中第 i 列处的神经元, 我们要使神经元 (i, j, m, s) ($s \leq M+1$) 的输出对应于 V_{ijms} , 神经元 $(i, j, m, M+2)$ 的输出对应于 Y_{ijm} , 为此, 构造相应的能量函数如下:

$$E \equiv F + \frac{A}{2} \sum_{i=1}^P \sum_{s=1}^M \left(\sum_{j \in L} \sum_{m=1}^s V_{ijms} - 1 \right)^2 + \frac{B}{2} \sum_{j=1}^L \sum_{m=1}^M \left(\sum_{i \in P_j} Y_{ijm} - 1 \right)^2$$

$$+ \frac{C}{2} \sum_{i=1}^P \sum_{j \in L, m=1}^M \sum_{s=m}^{M+1} \left(\sum_{s=m}^{M+1} d_{is} V_{ijms} - p_{ij} Y_{ijm} \right)^2 \quad (2)$$

其中 A, B, C 为正的常数. E 中第一项为 MMDPS 问题中的目标函数, 第二至第四项分别对应于 MMDPS 模型中的约束条件式(1b)–(1d). 我们将通过对神经元输出函数的选取以限制各变量的取值范围.

把能量函数 E 写成二次型, 可知神经元之间的连接权为

$$W_{ijms}^{i'j'm's'} = \begin{cases} A + Cd_{is}^2, & (i, j, m, s) = (i', j', m', s'); \\ A, & i' = i, s' = s, j' \neq j \text{ 或 } m' \neq m; \\ Cd_{is}d_{is'}, & i' = i, j' = j, m' = m, s' \neq s, s' \leq M+1, (s \leq M+1); \\ -Cp_{ij}d_{is}, & i' = i, j' = j, m' = m, s' = M+2; \\ 0, & \text{其它.} \end{cases} \quad (3)$$

$$W_{ijm, M+2}^{i'j'm's'} = \begin{cases} Cp_{ij}^2 + B, & (i', j', m', s') = (i, j, m, M+2); \\ -q_{ij}, & i' = i, j' = j, m' = m-1, s' \leq M+2; \\ -Cp_{ij}d_{is'}, & i' = i, j' = i, m' = m, s' \leq M+1; \\ B, & j' = j, m' = m, s' = M+2, i' \neq i; \\ 0, & \text{其它.} \end{cases} \quad (4)$$

可以看出, 网络的连接方式是较为稀疏的, 如在不同层之间, 只有处于同一位置的神经元才相互连接, 因而便于硬件实现. 网络的状态演化方程为

$$\frac{dx_{ijms}}{dt} = -C_{ijms} - A \left(\sum_{j \in L, m'=1}^s V_{ij'm's} - 1 \right) - C \left(\sum_{s'=m}^{M+1} d_{is'} V_{ijms'} - p_{ij} Y_{ijm} \right) d_{is},$$

$$i = 1, 2, \dots, P; \quad j = 1, 2, \dots, L; \quad m = 1, 2, \dots, M; \quad s = m, \dots, M+1. \quad (5)$$

$$\frac{dx_{ijm, M+2}}{dt} = -q_{ij}(1 - Y_{ij, m-1}) - B \left(\sum_{i' \in P_j} Y_{i'jm} - 1 \right) - Cp_{ij} \left(\sum_{s'=m}^{M+1} d_{is'} V_{ijms'} - p_{ij} Y_{ijm} \right),$$

$$i = 0, 1, \dots, P; \quad j = 1, 2, \dots, L; \quad m = 1, 2, \dots, M. \quad (6)$$

网络输出为

$$V_{ijms} = (1 + \exp(-x_{ijms}/\lambda_1))^{-1}, \quad i = 1, 2, \dots, P; \quad j = 1, 2, \dots, L; \quad m = 1, 2, \dots, M;$$

$$s = m, \dots, M+1. \quad (7)$$

$$Y_{ijm} = (1 + \exp(-x_{ijm, M+2}/\lambda_2))^{-1}, \quad i = 0, 1, \dots, P; \quad j = 1, 2, \dots, L;$$

$$m = 1, 2, \dots, M. \quad (8)$$

为避免陷入局部极小, 采用模拟增益退火方案, 即取 $\lambda_1 = 1 + \lambda_2, \lambda_2 = 0.995^t \lambda_0$, 其中 λ_0 为常数. 当 $t \rightarrow \infty$ 时, $\lambda_1 \rightarrow 1, \lambda_2 \rightarrow 0, V_{ijms} \in [0, 1], Y_{ijm}$ 趋于 0 或 1.

4 仿真结果

设一工厂有 8 条生产线, 制造 8 种产品, 生产可能性见表 1.

表 1 生产线的生产可能性

生产 线 \ 产 品	A	B	C	D	E	F	G	H
1	✓			✓	✓	✓		✓
2		✓		✓	✓		✓	✓
3			✓	✓				✓
4		✓		✓	✓		✓	✓
5	✓					✓		
6			✓				✓	
7		✓		✓		✓		
8	✓				✓			✓

表 2 采用 CDNN 的计算结果

	可行解次数
例 1	18
例 2	16
例 3	16
例 4	15
例 5	13
平均	15.6

以一周为一个生产周期,需要制定企业在未来一个季度(13周)的生产调度方案.按文[3]的方法产生5组数据.为了在计算机上仿真,把状态方程离散化,固定步长 $\eta=0.002$, $A=B=C=500$.对每个例子,随机选取20组初始数据作计算,统计得到可行解的次数,见表2.

参 考 文 献

- [1] Gascon A, Leachman R. A dynamic programming solution of the dynamic multiitem single machine scheduling problem. *Opns Res.* 1988, **36**(1): 50—56.
- [2] Magnanti T, Vachani R. A strong cutting plane algorithm for production scheduling with changeover costs. *Opns Res.* 1990, **38**(3): 456—473.
- [3] De Matta R E, Guignard M. Dynamic production scheduling for a process industry. *Opns Res.* 1994, **42**(3): 492—503.
- [4] 焦李成. 神经网络计算. 西安: 西安电子科技大学出版社, 1993. 105—280.

A STUDY ON THE APPLICATION OF NEURAL NETWORKS TO DYNAMIC PRODUCTION SCHEDULING FOR FLEXIBLE PRODUCTION LINES

WANG XIAOFAN SONG WENZHONG

(Institute of Automation Southeast University, Nanjing 210096)

WANG ZHIQUAN

(Department of Automatic Control Nanjing University of Science & Technology, Nanjing 210094)

Abstract The multiline, multiproduct dynamic production scheduling (MMDPS) problem is formulated as a mixed nonlinear integer programming problem. Based on the principle of neural network optimization, a continuous-time dynamic neural network for solving the MMDPS problem is designed. Simulation results are also presented.

Key words production scheduling, flexible production line, neural network.