

非串行生产线的建模、分析及设计*

疏松桂 谭 民

(中国科学院自动化研究所 北京 100080)

摘要 本文利用等效工作站理论和工件流平衡原理,推导出非串行离散事件生产线可以等价于串联系统,并归结为装配和拆卸两条定理,解决了系统的建模、分析与设计问题.

关键词 离散事件动态系统,计算机集成制造系统,装配生产线,拆卸生产线

1 引言

国外已有一些文献讨论到装配线的问题,如文献[1]采用启发式方法分析具有阻塞的装配线优化周期时间的排序问题,文献[2]则是应用动态规划法解答带有并联工作站的装配线的平衡问题.

本文是文献[4]的续篇,对非串行离散事件动态系统(DEDs)的建模、分析及设计进行了研究.文献[4]中的“假设条件”、“缓冲库存贮状态”以及“等效工作站”等内容在此完全适用,不再赘述.

2 装配线的建模与分析

设有一个两级三站装配线如图 1 所示,其中 ω_i 为第 i 工作站 M_i 的额定生产率, β_i 为缓冲库.

采用等效工作站方法,图 1 可以化为图 2(a) 所示.其中 P_i ($i=1,2,3$) 表示相应工作站的正常工作状态概率(为清楚起见,略去状态脚注 $j=1$).

在生产线中不丢失工件的情况下,根据工件流平衡的原理,有 $W_3 = (W_1 + W_2)/2$, 但 $W_1 = W_2$, 所以,系统稳态生产率为

$$\begin{cases} W_s = W_1 = W_2 = W_3 \\ P_1 \omega_1 = P_2 \omega_2 = P_3 \omega_3 \\ B_1 \omega_1 = B_2 \omega_2 = B_3 \omega_3 \end{cases} \quad (1a)$$

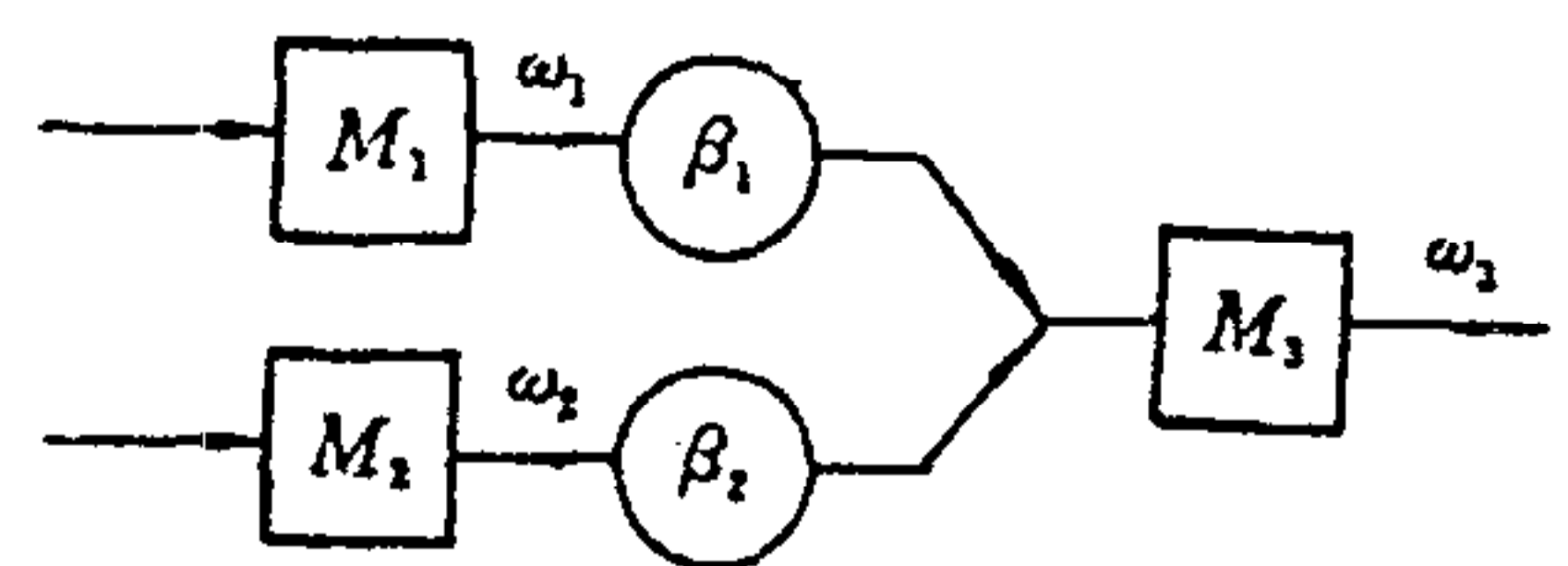


图 1 装配线结构框图

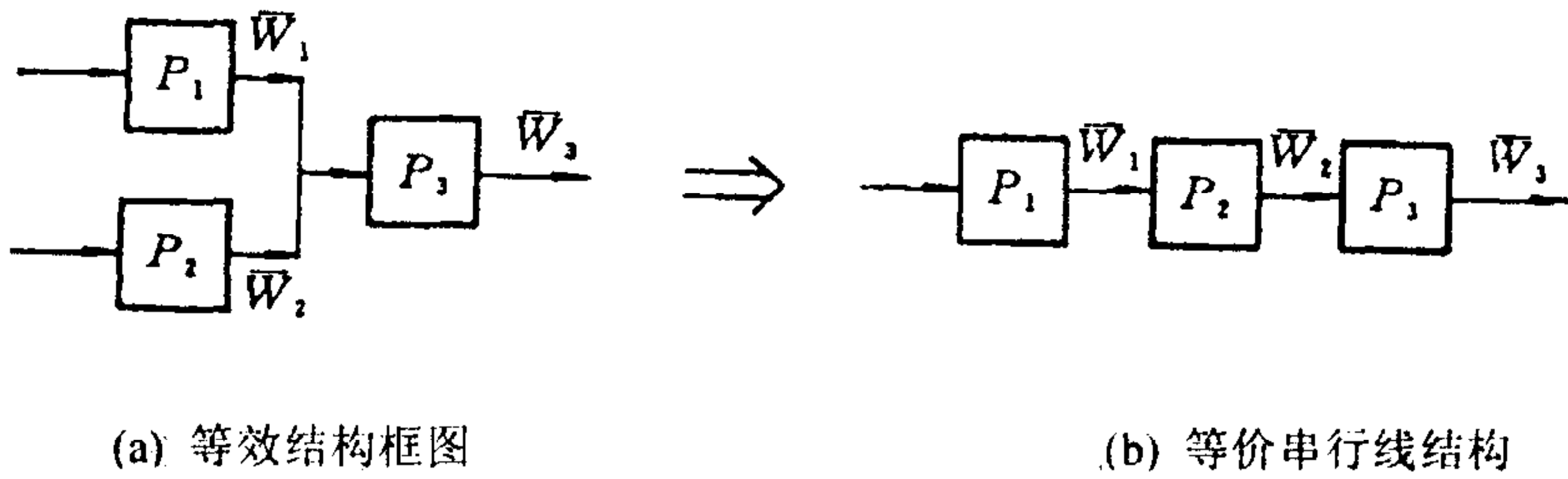


图 2 等效装配线

上式表明一个装配线等价于一个串行生产线, 如图 2(b), 其中工作站的可用度为

$$\begin{cases} B_1 = P_{0(1-1)} P_{\bar{K}_1} = P_{\bar{K}_1} = \frac{1 - \rho_1^{K_1}}{1 - \rho_1^{K_1+1}} \\ B_2 = P_{0(2-1)} P_{\bar{K}_2} = P_{\bar{K}_2} = \frac{1 - \rho_2^{K_2}}{1 - \rho_2^{K_2+1}} \\ B_3 = P_{0(1-1)} P_{0(2-1)} P_{\bar{K}_3} = (\rho_1 P_{\bar{K}_1})(\rho_2 P_{\bar{K}_2}) \end{cases} \quad (1b)$$

其中 B_3 表明工作站 3 不饥饿的概率为其两个输入缓冲库不饥饿概率的乘积(相当于两个输入缓冲库对本站的可用度串联), 于是可以归纳出一条装配线定理.

定理 1. 一个多级多工作站装配系统等价于一个多站串联生产线, 其交叉站的不饥饿概率 (P_0) 是其各个输入缓冲库不饥饿概率的乘积.

再从文献[4]中的公式(15)可知两级三站装配线的系统有效度为

$$E_s = \frac{W_s}{n} \cdot \sum \frac{1}{\omega_i} = \frac{W_s}{2} \left(\frac{1}{\omega_2} + \frac{1}{\omega_3} \right) \quad (2)$$

上面的分析结果可以推广应用于多级多站的树状装配生产线, 例如将图 1 两级三站装配线和另一套相似的两级三站 (M_4, M_5, M_6) 并联(通过缓冲库 β_3 和 β_4)到第七站 (M_7), 则构成一套三级七站的树状装配线. 如此类推, 任意多级多站的装配线都可构成. 定理 1 对任何复杂的树状装配线都适用, 具体求解方法可参见文献[4]的步骤进行.

3 拆卸线的建模与分析

拆卸线是装配线的反演. 这里还是引用等效工作站的方法, 在同样的假设条件下, 对图 3 的两级三站拆卸线进行探讨.

同前, 图 3 拆卸线结构可以转化为图 4(a)所示的等效拆卸线.

同前, 根据工件流平衡的原理, 可得

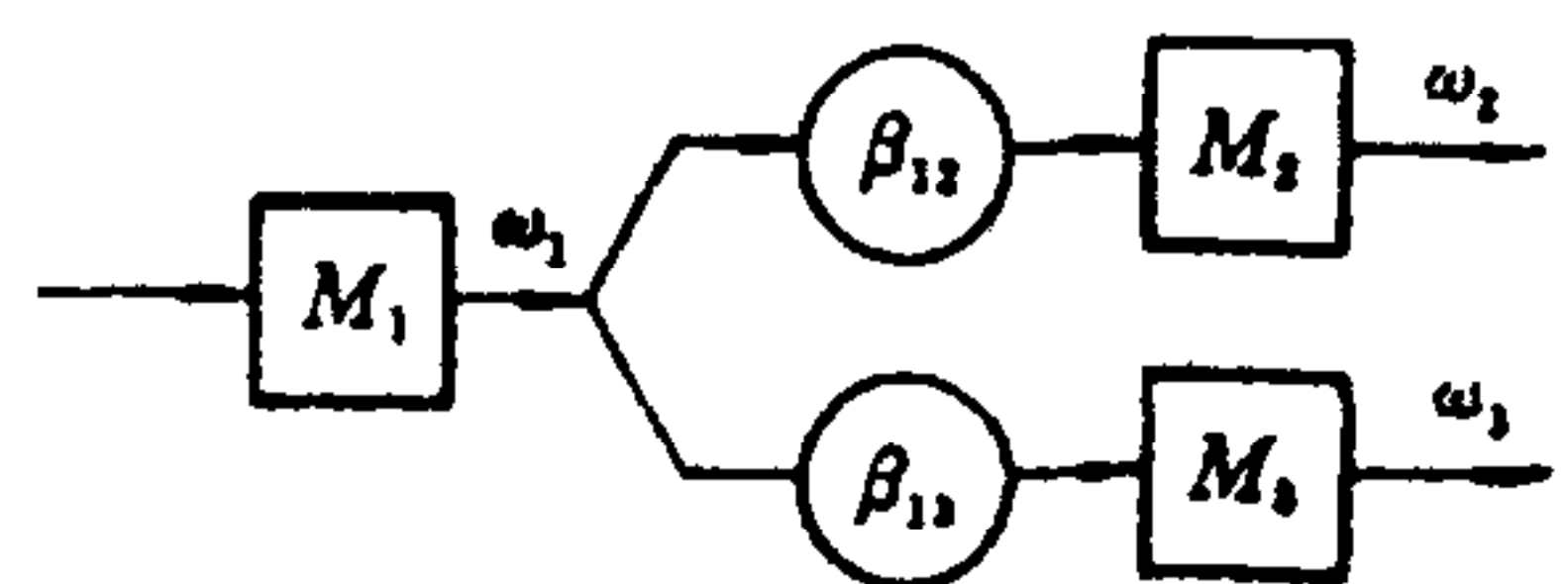


图 3 拆卸线结构框图

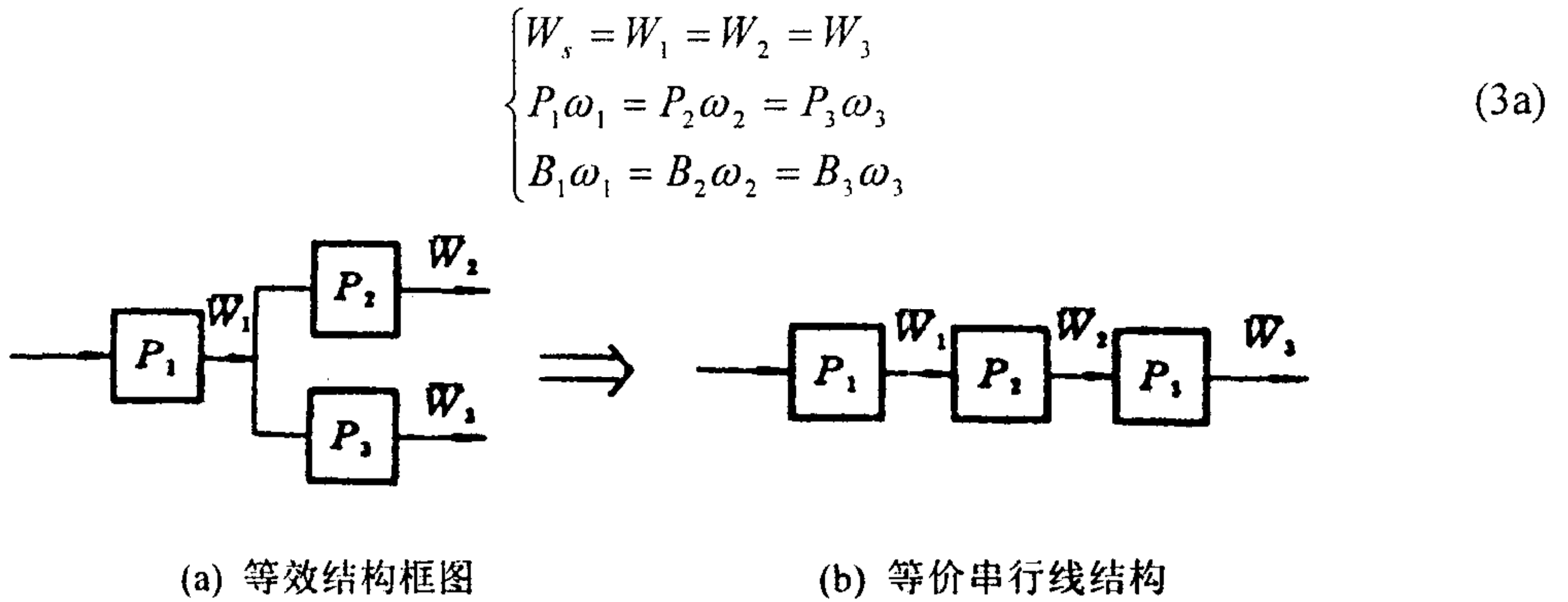


图 4 等效拆卸线

其中

$$\begin{cases} B_1 = P_{0(1-1)} P_{\bar{K}_{12}} P_{\bar{K}_{13}} = P_{\bar{K}_{12}} P_{\bar{K}_{13}} \\ B_2 = P_{012} P_{\bar{K}_2} = P_{012} = \frac{\rho_{12}(1 - \rho_{12}^{K_{12}})}{1 - \rho_{12}^{K_{12}+1}} \\ B_3 = P_{013} P_{\bar{K}_3} = P_{013} = \frac{\rho_{13}(1 - \rho_{13}^{K_{13}})}{1 - \rho_{13}^{K_{13}+1}} \end{cases} \quad (3b)$$

同前，我们可以归纳出一条拆卸线定理。

定理 2. 一个多级多工作站拆卸系统等价于一个多站串联生产线，其交叉站的不阻塞概率 ($P_{\bar{K}}$) 是其各个输出缓冲库不阻塞概率的乘积。

同前，可得两级三站拆卸线的系统有效度为

$$E_s = \frac{W_s}{2} \left(\frac{1}{\omega_1} + \frac{1}{\omega_2} \right) \quad (4)$$

这里分析的结果可以推广应用于分裂式生产线，也称混合生产线，即产品有些加工工序是共同的，有些是不同的，这样可以由共同生产程序过渡到不同生产程序，输出不同的产品。

4 计算实例

例 1 试设计一套两级三站的装配生产线，要求系统的稳态生产率为 $W_s = 10$ 件/小时，中途不丢失工件，求中间缓冲库的额定容量、各站的额定生产率和系统的有效度。

解 根据装配线定理 1 及对称结构形式 ($\omega_1 = \omega_2, B_1 = B_2$)，再引用公式(1a), (1b)和(2)，则得解答

取 $\rho_2 = \frac{\omega_1}{\omega_3} = \frac{B_3}{B_2} = 1 = \rho_1$ ，并令 $K_1 = K_2 = K = 1$ (即为刚性联结，不外设缓冲库)，于是有

$$B_1 = B_2 = P_{\bar{K}_1} = \frac{1 - \rho_1^{K_1}}{1 - \rho_1^{K_1+1}} = 0.5, \quad B_3 = (\rho_1 P_{\bar{K}_1})(\rho_2 P_{\bar{K}_2}) = 0.25$$

$$\omega_1 = \omega_2 = \frac{W_s}{B_2} = \frac{10}{0.5} = 20 \text{ 件/小时}, \quad \omega_3 = \frac{W_s}{B_3} = \frac{10}{0.25} = 40 \text{ 件/小时}$$

$$E_s = \frac{W_s}{2} \left(\frac{1}{\omega_2} + \frac{1}{\omega_3} \right) = 0.375$$

如取 $K_1 = K_2 = K = 4$, 其他不变, 则

$$B_1 = B_2 = \frac{K}{K+1} = 0.8, \quad B_3 = B_2^2 = 0.64$$

$$\omega_1 = \omega_2 = 12.5 \text{ 件/小时}, \quad \omega_3 = 15.625 \text{ 件/小时}$$

$$E_s = 0.72$$

可见加大缓冲库容量 K , 可以大大地提高系统有效度。

例 2. 试设计一套两级三站的拆卸生产线, 要求系统的稳态生产率为 $W_s = 10$ 总件/小时, 中途不丢失工件, 求中间缓冲库的额定容量、各站的额定生产率和系统的有效度。

解 根据拆卸线定理 2 及对称结构形式 ($\omega_2 = \omega_3, B_2 = B_3$), 再引用公式(3a), (3b)和(4), 则得解答

取 $\rho_{12} = \rho_{13} = \frac{\omega_1}{\omega_2} = \frac{\omega_1}{\omega_3} = 1$, 并令 $K_{12} = K_{13} = K = 1$, 则有

$$B_1 = P_{K_{12}} P_{K_{13}} = 0.25, \quad B_2 = B_3 = P_{012} = P_{013} = 0.5$$

$$\omega_1 = \frac{W_s}{B_1} = \frac{10}{0.25} = 40 \text{ 件/小时}, \quad \omega_2 = \omega_3 = \frac{W_s}{B_3} = \frac{10}{0.5} = 20 \text{ 件/小时}$$

$$E_s = \frac{W_s}{2} \left(\frac{1}{\omega_2} + \frac{1}{\omega_3} \right) = 0.375$$

如取 $K_{12} = K_{13} = K = 4$, 其他不变, 则

$$B_2 = B_3 = 0.8, \quad B_1 = 0.64$$

$$\omega_1 = 15.625 \text{ 件/小时}, \quad \omega_2 = \omega_3 = 12.5 \text{ 件/小时}$$

$$E_s = \frac{W_s}{2} \left(\frac{1}{\omega_1} + \frac{1}{\omega_2} \right) = 0.72$$

5 结束语

本文在文献[4]的基础上, 应用工件流平衡的原理, 证明装配线和拆卸线(包括分裂线)都可以等价于串联系统, 得出定理 1 和定理 2, 从而有效地解决了非串联 DEDS 的建模、分析及设计问题。

参考文献

- 1 McCormick S T *et al*, Sequencing in an Assembly Line with Blocking to Minimize Cycle Time, *Operation Research*, Vol.37, No.6, 1989, 925 - 935
- 2 Bard J.F, Assembly Line Balancing with Parallel Workstations and Dead Line, *The Int. J. of Prod. Res.*, Vol.27, No.6, 1989, 1005 - 1018
- 3 疏松桂, 带有缓冲库的 CIMS 分析及其可靠性的研究, 自动化学报, 第 18 卷, 第 1 期, 1992 年
- 4 疏松桂, 谭民, 串行离散事件动态系统的建模、分析及设计, 控制与决策, 第 9 卷, 第 1 期, 1994 年
- 5 疏松桂, 谭民, 非串行 CIMS 生产线可靠性建模、分析与综合, 自动化学报, 第 20 卷, 第 6 期, 1994 年

MODELLING AND ANALYSIS IN NON-SERIES DISCRETE EVENT DYNAMIC SYSTEM

SHU Songgui TAN Min

(Institute of Automation, Chinese Academy of Sciences)

Abstract The method of equivalent workstation is presented for modelling and analyzing the non-series discrete event dynamic system. Two theorems and some property indexes are obtained. Finally two examples are used for illustrating the application of this method.

Key words discrete event dynamic system, computer integreted manufacturing system, assembly line, disassembly line