日本オペレーションズ・リサーチ学会
2004年春季研究発表会

セル生産方式における分割/巡回方式の最適設計

02005450 上智大学 ＊今井智和 IMAI Tomokazu
01703040 東京都立大学 山下英明 YMASHITA Hideaki
01008610 上智大学 石塚 陽 ISHIZUKA Yo

1 はじめに

製品の需要に柔軟に対応するために，少人数の多能工が複数の工程からなるブロックを担当する「分割方式」や各作業員が仕掛品を持って全ての工程を順番に訪れて一人で完成まで仕上げる「巡回方式」が試行され，効果をあげている．これらの生産方式は，そのシステムが単位時間あたりに生産する量をシステムの担当人数の増減によって調整できるので，需要の変動に柔軟である．また，この方式を採用すると，一人の作業員がかなり広範囲な工程を担当することになるので，作業員に働き甲斐を与える反面，多能工を育成する必要も生じる．

一般に，作業が移動する生産システムに関する研究がまだ少なく，これらの生産システムの名称もまだ定着していない．加工途中で担当作業員が交替することができない点で[1]，[2]，[3]で解析されたモデルと異なる．また，加工中は作業員が機械から離れられない点で[4]などのモデルと本質的に異なる．本研究では作業員に割り当てる工程の重複を許した分割方式と巡回方式を対象にしてマルコフ解析によってスループットや平均仕掛品在庫を最適にする作業員の割り当て方を求める．

2 モデル

本研究では，M 台の工程と G 人の作業員からなる生産システムで，すべての仕掛品が工程1から順に加工を受け，最後に工程 M で加工を受けた後直ちにシステムから退去する場合を考える．仕掛品は作業員と共に工程間を行動する．作業員の追い越しはできなく，作業途中の仕掛品の受け渡しもなしとする．工程1には十分な原材料が存在するものとする．バッファは工程間に設置し，その容量は1とする．

分割方式

作業員 j $(j=1,\cdots,G)$ が担当する工程を U_j から D_j $(U_j \le D_j)$ までとする．このとき全ての工程を1人以上の作業員に割り当てる($U_1=1$, $D_G=M$, $D_j \ge U_{j+1}$)．工程 i で加工を終了した作業員は，その仕掛品を工程 $i+1$ に運搬する．このとき，工程 $i+1$ が他の作業員に使用されている場合は工程 $i+1$ のバッファに置き可能な限り上流に戻る．バッファに空きのない場合は工程 i で待機しなければならない．工程 $i+1$ が作業員 j の担当範囲内であったら引き続き工程 $i+1$ で加工を行うが，担当範囲外なら仕掛品をバッファに置き可能な限り上流の工程に戻る．本研究では，直下流工程のバッファにある中間在庫の追い越しを可能にした．直下流工程のバッファにある在庫を追い越そうとしている作業員に注目をして，その作業員の上流にいる作業員との間にある中間在庫，下流にいる作業員との間にある中間在庫の合計が1個以内であれば直下流工程のバッファに存在する中間在庫を追い越すことができる．中間在庫を追い越した場合，追い越すまで持っていた仕掛品と直下流工程のバッファの中間在庫を交換し，次の加工を始めるものとする．

巡回方式

巡回方式では作業員 j の担当する工程は $U_j=1$, $D_j=M$ $(j=1,\cdots,G)$ となる．工程 i で加工を終了した作業員は，その仕掛品 $i+1$ を工程に運搬する．工程 $i+1$ が他の作業員に使用されていたらバッファで工程 $i+1$ の加工が終わるまで待機する．もしバッファに空きがなかったら工程 i で待機しなければならない．巡回方式で中間在庫を追い越すことは作業員を追い越すことになるので中間在庫の追い越しは考えない．

3 マルコフ解析

このモデルにおいて，作業員 j の現在いる工程番号を P_j $(j=1,\cdots,G)$，作業員 j の現在の状態を S_j $(j=1,\cdots,G)$，工程1と作業員1との間にある中間在庫を作業員1から見た位置を W_0，作業員 j と $j+1$ との間にある中間在庫を作業員 j から見た位置を W_j $(j=1,\cdots,G-1)$ としたときに

状態 X を

$$X = (P_1, \cdots, P_G, S_1, \cdots, S_G, W_0, \cdots, W_{G-1})$$

に選ぶとこのシステムはMarkov性を有するシステムとなる．

分割数と作業員の担当範囲から全ての状態が列挙できるので列挙した後に推移確率行列 $\mathbf{A}$ を求める．分割方式で推移確率行列 $\mathbf{A}$ を求めるためのアルゴリズムを図 1 に示す．求めた推移確率行列 $\mathbf{A}$ からべき乗法で定常状態確率 $\boldsymbol{\pi}$ を求める．

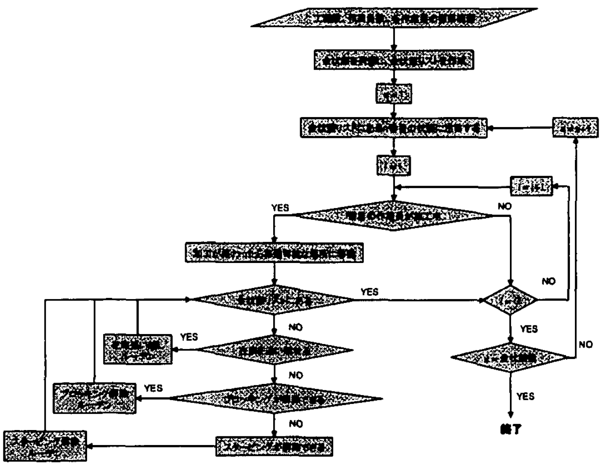

図 1　分割方式のアルゴリズム

このシステムのスループットおよび平均仕掛品在庫は定常状態確率 $\boldsymbol{\pi} = (\pi_1, \pi_2, \cdots)$ を用いて以下のようにして求める．全状態数を N とする．

$$TH = \mu_M \sum_{i=1}^{N} C_G a_i \pi_i$$

ただし，$a_i = \begin{cases} 1 & \text{if } S_G = \{\text{Active}\} \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases}$

$$WIP = \sum_{i=1}^{N} b_i \pi_i + \sum_{i=1}^{N} \sum_{j=0}^{G-1} d_{ij} \pi_i$$

ただし，

$$b_i = \begin{cases} 0 & \text{if } S_i = \{\text{Starving}\} \\ 1 & \text{otherwise} \end{cases},$$

$$d_{ij} = \begin{cases} 0 & \text{if } W_0 = 0 \text{ or } W_j = \max\{D_{j+1} - 1, P_j\} - P_j \\ 1 & \text{otherwise} \end{cases}$$

4　最適化問題

本研究では，スループットと平均仕掛品在庫量のトレードオフを考慮した最適化問題をまとめて取り扱うために，スループットと平均仕掛品在庫量の同時最適化を以下のような 2 目的問題をして定式化し，パレート最適解を求める．分割方式での定式化を以下に示す．分割方式での決定変数は分割数 n，作業員の担当範囲の最上流工程番号 $\mathbf{U} = (U_1, U_2, \cdots, U_n)$，作業員の担当範囲の最下流工程番号 $\mathbf{D} = (D_1, D_2, \cdots, D_n)$ である．

$$\begin{cases} \max \quad TH(n, \mathbf{U}, \mathbf{D}) \\ \min \quad WIP(n, \mathbf{U}, \mathbf{D}) \\ \text{subject to} \quad 2 \le n \le G \\ \qquad U_i - D_i \ge 0 \\ \qquad U_i < U_j, \quad i = 1, 2, \cdots, n-1, \quad i+1 \le j \le n \\ \qquad D_i < D_j, \quad i = 1, 2, \cdots, n-1, \quad i+1 \le j \le n \\ \qquad D_i \le U_{i+1} - 1, \quad i = 1, 2, \cdots, n-1 \end{cases}$$

数値例として工程数 $M = 8$，作業員数 $G = 4$，作業員 j の能力 $C_j = 1.0$ ($j = 1, \cdots, G$)，工程 i のサービス率 $\mu_i = 0.1$ ($i = 1, \cdots, M$)，工程 i の二乗変動係数 $CV_i^2 = 0.5, 1.0, 5.0$ ($i = 1, \cdots, M$) で実験した結果を図 2 に示す．

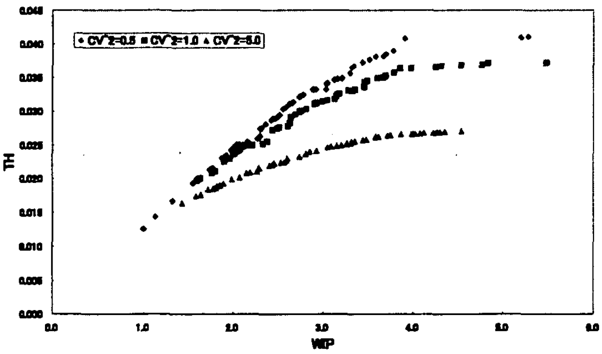

図 2　パレート最適解

参考文献

[1] E. Zavadlav, J. O. McClain and L. J. Thomas, Self-buffering, self balancing, self-flushing production lines, Management Science, 42 (1996) 1151-1164.

[2] J. J. Bartholdi and D. D. Eisenstein, A Production line that balances itself, Operations Research, 44 (1996) 21-34.

[3] D. P. Bischak, Performance of a manufacturing module with moving workers, IIE Transactions, 28 (1996) 723-733.

[4] K. Nakade and K. Ohno, Reversibility and dependence in a U-shaped production line, Queueing Systems, 21 (1995) 183-197.