2000 年度日本オペレーションズ・リサーチ学会
春季研究発表会

AGV の最適搬送計画

01505364　甲南大学　＊平尾周平　HIRAO　Syuhei
愛知大学　玉置光司　TAMAKI　Mitsushi
名古屋工業大学　大野勝久　OHNO　Katsuhisa

1．はじめに

本研究はm 台のワークステーション（$W_1, W_2, \cdots, W_m$）と 1 台の AGV（Automated Guided Vehicle）からなる FMS（Flexible Manufacturing Systems）をモデル化し，セミ・マルコフ決定過程による定式化を行い，最適搬送政策を求めることを目的にしている．

図 1 に示すようなレイアウトが FMS の代表的な一例である．AGV は搬送路上を搬送ステーションから各ワークステーションへ 1 個ずつ部品を搬送する．

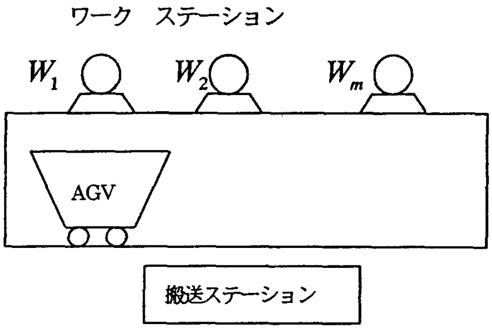

図 1．FMS

$W_i \ (i = 1, \cdots, m)$ のバッファーサイズはb_i であり，バッファー中の部品一個は加工中であるとする．搬送ステーションとW_i との間の往路搬送時間，帰路搬送時間をそれぞれ定数s_i, t_i とし，各ワークステーションの加工時間は互いに独立で，平均$1/\mu_i$ の指数分布に従うものとする．加工が完了した時，バッファーが空でなければ新たに部品を取り出し直ちに加工を開始する．W_i にn_i 個の部品がある時の，システムの状態を$\mathbf{n}$＝（$n_1, n_2, \cdots, n_m$）で表す．

また，W_i での加工が完了すると，1 部品当たりr_i 単位の報酬を得るものとする．AGV が搬送ステーションに到着した時点で，次に AGV をどのW_i に搬送するかの決定が行われる．ただし，すべてのワークステーションのバッファーが一杯の時には搬送せずの決定をし，どれかのワークステーションのバッファーに空きができるまでホームステーションで待機する．

決定時点では決定空間$A = (0, 1, \cdots, m)$ の中から一つの決定i を選択する．ただし，i（$i = 1, \cdots, m$）は部品をW_i に搬送することに対応し，$i = 0$ は待機の決定を表す．

2．セミ・マルコフ決定過程による定式化

次の変量を導入する．

$p_{\mathbf{n},\mathbf{n}'}(i)$：状態$\mathbf{n}$ で決定i をとった時，次の決定時点での状態が$\mathbf{n}' = (n_1', n_2', \cdots, n_m')$ となる遷移確率．

$R(\mathbf{n}, i)$：状態$\mathbf{n}$ で決定i をとった時の状態遷移期間中の期待利得．

$\tau(\mathbf{n}, i)$：状態$\mathbf{n}$ で決定i をとった時の次の状態変化までの平均時間間隔．

$p_{\mathbf{n},\mathbf{n}'}(i)$ と$R(\mathbf{n}, i)$ を求めるために，次の変量を定義する．

$a_k(\mu, t)$：平均$1/\mu$ の指数分布に従う時，t 時間中にk 個加工される確率．

$P_{n,k}(\mu, t)$：t 時間の間部品の補給が行われない時，部品数がn 個からk 個に減少する確率

$Q_{n,k}(\mu, s, t)$：AGV が部品を搬送した時，部品数がn 個からk 個に減少する確率．

$A_n(\mu, t)$：t 時間の間部品の補給が行われない時，t 時

間後に残っている部品数の期待値.

$B_n(\mu,s,t)$: AGVが部品を搬送した時，$s+t$ 時間後に残っている部品数の期待値.

上記の変量は次のように定義される.

$$a_k(\mu,t)=e^{-\mu t}\frac{(\mu t)^k}{k!},\ k=0,1,\cdots\ .$$

$$P_{n,k}(\mu,t) = \begin{cases} a_{n-k}(\mu,t), & n\ge 1; k=1,2,\cdots,n, \\ 1-\sum_{j=0}^{n-1}a_j(\mu,t), & n\ge 1; k=0, \\ 1 & n=0; k=0. \end{cases}$$

$$Q_{n,k}(\mu,s,t) = \begin{cases} \sum_{j=\max(0,k-1)}^{n} P_{n,j}(\mu,s)P_{j+1,k}(\mu,t), & n\ge 1, \\ Q_{0,k}(\mu,s,t)P_{1,k}(\mu,t), & k=0,1;\ n=0. \end{cases}$$

$$A_n(\mu,t)=A_{n-1}(\mu,t)+\sum_{k=0}^{n-1}a_k(\mu,t),$$

$$(n\ge 2; A_1(\mu,t)=a_0(\mu,t))$$

$$B_n(\mu,s,t) =B_{n-1}(\mu,s,t)+\sum_{j=0}^{n-1}(\sum_{k=0}^{n-j}a_k(\mu,t))a_j(\mu,s),$$

$$(1\le n; B_0(\mu,s,t)=a_0(\mu,t)).$$

したがって，$p_{\mathbf{n},\mathbf{n}'}(i)$ は

（1）$1\le i\le m$，$j\ne i$ に対して

$0\le n_i'\le \min(b_i,n_i+1)$ と $0\le n_j'\le n_j$ が成り立つ時

$$p_{\mathbf{n},\mathbf{n}'}(i)= Q_{n_i,n_i'}(\mu_i,s_i,t_i)\prod_{j\ne i}P_{n_j,n_j'}(\mu_j,s_i+t_i),$$

（2）$\mathbf{n}'=\mathbf{n}-\mathbf{e}_k$ かつ $k\in C$（$C=\{j:n_j\ge 1\}$）の時

$$p_{\mathbf{n},\mathbf{n}'}(0)=\frac{\mu_k}{\sum_{j\in C}\mu_j}\ .$$

ただし，$\mathbf{e}_k=(0,\cdots,0,1,0,\cdots,0)$ である.

$R(\mathbf{n},i)$ は，$n_i<b_i(1\le i\le m)$ に対して

$$R(\mathbf{n},i)=r_i[(n_i+1)-B_n(\mu_i,s_i,t_i)] +\sum_{j\ne i}r_j[A_{n_j}(\mu_j,s_i+t_i)],$$

$$R(\mathbf{n},0)=r_k\frac{\mu_k}{\sum_{j\in C}\mu_j},\qquad C=\{j:n_j\ge 1\}.$$

$\tau(\mathbf{n},i)$ は，$1\le i\le m$ に対して

$$\tau(\mathbf{n},i)=s_i+t_i,$$

$$\tau(\mathbf{n},0)=\frac{1}{\sum_{j\in C}\mu_j},\qquad C=\{j:n_j\ge 1\}.$$

この時，単位時間当たりの期待利得を最大にする最適政策は次の基本的な定理（[2] および [3]）によって求められる.

定理：次式を満たす有界関数 $h(\mathbf{n})$ と定数 g が存在する時，最適定常政策 π^* が存在して，π^* は状態 $\mathbf{n}$ においては右辺を最大化する政策を示す.

$$h(\mathbf{n})=\max_{i\in I(\mathbf{n})}\{R(\mathbf{n},i) +\sum_{\mathbf{n}'\in N}p_{\mathbf{n},\mathbf{n}'}(i)h(\mathbf{n}')-g\tau(\mathbf{n},i)\},$$

ただし，N はシステムがとりうるすべての状態を表し，$I(\mathbf{n})$ は状態 $\mathbf{n}$ でとりうるすべての決定を表す.

数値例については研究発表において示す.

参考文献

[1] 中野，大野「AGVを用いたジャストインタイム生産システムの性能評価」 日本経営工学会誌 Vol. 47,No.1.

[2] Ross,S.M.(1970). Applied Probability Models with Optimization Applications. Holden-day, San Francisco.

[3] Tijms,H.C. (1986). Stochastic Modeling and Analysis: a Computational Approach. Wiley, Chichester.