2002年日本オペレーションズ・リサーチ学会
秋季研究発表会

共有バッファを有する分解・組立型生産システムの最適レイアウト問題について

02502470　上智大学　*春山 由衣子　HARUYAMA Yuiko
01008610　上智大学　石塚　陽　ISHIZUKA Yo
01703040　東京都立大学　山下英明　YAMASHITA Hideaki

1　はじめに

所与の (多くは矩形の) 形状と面積を持った複数のオブジェクトを何らかの評価基準を最適にするように配置する**職場レイアウト問題 (Facility Layout Problem)** は，工場計画における基本的な設計問題として古くから多くのモデル，レイアウト表現，解法が研究されてきた．工場計画における職場レイアウト問題では，通常配置すべきオブジェクト (ここでは職場と総称する) は加工機械，作業場所，セル，在庫スペース等であり，それらのレイアウトの評価基準として各職場間を流れる品物や人の量 (フロー) と移動距離の積の総和である**物流コスト**が用いられてきた．しかし，加工時間が確率的にばらつくような生産システムにおいては，工場計画の目的が生産効率の向上にあるのであれば，職場レイアウトの評価基準として直接スループットやリードタイム等の生産効率を採用する方が自然であろう．このような観点から筆者らは最近，これらの生産効率を評価基準とした職場配置 (レイアウト) 問題をいくつか提案し，それらを**確率的職場レイアウト (配置) 問題 (Stochastic Facility Layout Problem)** と称した [1, 2, 3].

確率的職場レイアウト問題の目的は，加工時間のばらつきを吸収し生産効率を向上させることであるので，バッファスペースを利用可能であれば職場レイアウトと同時にバッファ配分も考慮することが効果的である．[1, 2, 3] では，各職場毎にバッファスペースを設置可能でり，バッファスペースが設置されるとその職場の面積がその容量に比例した分増大するという状況での最適職場レイアウト–バッファ配分問題を扱っている．

本報告では，確率的職場配置問題の一つとして，分解・組立型の生産システムにおいて，各職場間のバッファ容量は与えられているが各職場がある場所ではなく在庫置き場としてまとめて設置する必要がある状況で，. 職場間のみでなく職場 ↔ バッファ間の移動コストも発生するような場合での職場およびバッファスペースのレイアウト問題を考える．ここでのバッファスペースは複数の職場間の中間在庫の置き場という意味で一種の共有バッファスペースといえるが，総容量までは任意の職場間の在庫をいくつでも置けるという通常の共有バッファとは異なり，モデルの簡単化のためにバッファ容量は各職場間毎にあらかじめ定まっていて，その設置場所 (バッファスペース) だけを共有することを想定している．このような仮定のもとでシステムの発展方程式を導き，それによるシミュレーションから求められるシステムのスループットの近似値を最大にするような職場および共有バッファスペースの配置を遺伝的アルゴリズムにより求める．レイアウト表現としてはスライシングツリー [4] 表現を用いる．

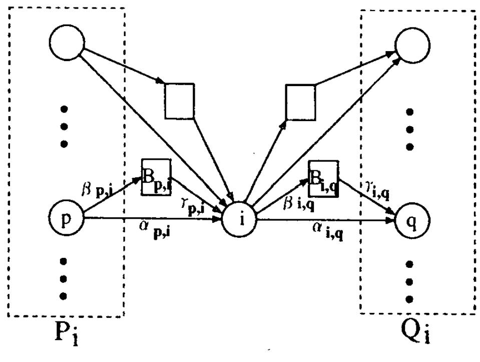

図 1: ステーション i

2　モデルと定式化

システムは M 個のステーションからなる分解組立型の生産システムとする．ステーション i では，その上流のステーション集合 $P_i = \{p_{i1}, \cdots, p_{ik_i}\}$ からの各々1つずつ合計 k_i 個の部品を加工し，m_i 個の部品に組み立て (分解) した後，それらをその下流のステーション集合 $Q_i = \{q_{i1}, \cdots, q_{im_i}\}$ の各ステーションへ1つずつ引き渡す (図 1: 丸はステーションを，四角はバッファを表す).

以下では ST_i でステーション i を表し，ST_i–$\mathrm{ST}_j (i \neq j)$ 間にバッファを設けることが可能で，そのバッファを $\mathrm{BUF}_{i,j}$，容量を B_{ij} で表す．ここで以下を仮定する．

- 外部からの入力を受け取るステーションの前には十分な部品があり，スタービングは生じない;
- ST_i ではその上流ステーション集合 P_i からの k_i 個の部品が全てステーション内にそろった場合に次の加工が始められる;
- ST_i の加工でできあがった m_i 個の部品は，その下流ステーション集合 Q_i 内の各ステーションのうち，加工中でないものへ直ちに移動する．また，加工中であっても ST_i との間のバッファに空きがあればそのバッファへ直ちに移動する．いずれの場合でもない下流ステーションへの移動はステーションあるいはバッファスペースに空きができるまで ST_i 内で待たされる．ST_i での次の加工は Q_i 内の全てのステーション (またはバッファ) への移動が完了した時点で開始可能となる;
- ステーション間およびステーション–バッファ間の部品の移動は搬送車によって行われ，移動距離に比例する移動時間がかかる．各 ST_i と $q \in Q_i$ に対して，$\mathrm{ST}_i \rightarrow \mathrm{ST}_q$ と $\mathrm{ST}_i \rightarrow \mathrm{BUF}_{i,q}$ の搬送専用の搬送車が 1 台あり，$\mathrm{BUF}_{i,q} \rightarrow \mathrm{ST}_q$ の搬送専用の搬送車が 1 台ある;
- ST_i での j 番目の部品の加工時間 $S_{i,j}$ は既知の分布に従う確率変数である;
- 出力ステーションで加工完了した品物はブロックされることなく直ちにシステムの外へ退去する;

以下の記号を定義する．

$A_{p,i,j}$: ST_p の j 番目の部品の ST_i への到着時刻
$E_{i,j}$: ST_i への j 番目の全て部品の到着完了時刻
$D_{i,j}$: ST_i での j 番目の部品の退去完了時刻
$EB_{i,q,j}$: $\mathrm{BUF}_{i,q}$ への j 番目の部品の到着時刻
$DB_{i,q,j}$: $\mathrm{BUF}_{i,q}$ からの j 番目の部品の退去時刻
$B_{i,q}$: $\mathrm{ST}_i \rightarrow \mathrm{ST}_q$ 間のバッファ容量 $(q \in Q_i)$
$T_{i,q,j}$: ST_i を j 番目に出発した搬送車が ST_i へ戻ってくる時刻
$\alpha_{i,q}$: $\mathrm{ST}_i \rightarrow \mathrm{ST}_q$ の搬送時間
$\beta_{i,q}$: $\mathrm{ST}_i \rightarrow \mathrm{BUF}_{i,q}$ の搬送時間
$\gamma_{i,q}$: $\mathrm{BUF}_{i,q} \rightarrow \mathrm{ST}_q$ の搬送時間

以上の仮定と記号のもとで，部品の退去時刻 $D_{i,j}$ は以下の発展方程式により定められる．

$$\begin{cases} E_{i,j} = \max_{p \in P_i} \{A_{p,i,j}\} \\ D_{i,j} = \max \Big\{ E_{i,j} + S_{i,j}, \\ \qquad \max_{q \in Q_i} T_{i,q,j-1},\ \max_{q \in Q_i} DB_{i,q,j-B_{i,q}} \Big\} \end{cases}$$

ただし，$q \in Q_i$ に対して $EB_{i,q,j}$, $DB_{i,q,j}$, $A_{i,q,j}$,$T_{i,q,j}$ は以下で定められる．

$\underline{D_{q,j-1} \leq D_{i,j}\ のとき}$

$$\begin{cases} EB_{i,q,j} = 0 \\ DB_{i,q,j-k} = DB_{i,q,j-k-1},\ k = 0,1 \\ A_{i,q,j} = D_{i,j} + \alpha_{i,q},\ T_{i,q,j} = D_{i,j} + 2\alpha_{i,q} \end{cases}$$

$\underline{D_{q,j-1} > D_{i,j}\ のとき}$

$$\begin{cases} EB_{i,q,j} = D_{i,j} + \beta_{i,q} \\ DB_{i,q,j} = \max_{q \in Q_i} \{EB_{i,q,j}, D_{q,j-1},\ DB_{i,q,j-1} + 2\gamma_{i,q}\} \\ A_{i,q,j} = DB_{i,q,j} + \gamma_{i,q},\ T_{i,q,j} = EB_{i,q,j} + \beta_{i,q} \end{cases}$$

所与の分布に従う加工時間 $S_{i,j}$ の実現値と職場 (ステーション) および共有バッファスペースの位置が与えられれば，職場間および職場–バッファ間の距離 (簡単のために重心間の直線距離とする) と移動時間 $\alpha_{i,q}$, $\beta_{i,q}$, $\gamma_{i,q}$ が定まり，上式より退去時刻 $D_{i,j}$ が定まる．さらに，適当な出力ステーション r からの退去時刻 $D_{r,n}$ を用いてシステムのスループットの近似値 $TH = 1/D_{r,n}$ が求められる．この TH を最大にするような職場と共有バッファスペースの配置を求めることが目的である．ここでは職場のレイアウトの表現をスライシングツリー [4] で行い，TH を最大にするレイアウトの探索は単純遺伝的アルゴリズムで行う．

3 数値例

具体的な数値例は講演時に示す．

参考文献

[1] T. Irohara, H. Yamashita, Y. Ishizuka, "Facility layout and buffer space allocation problems in production systems," International Conference on Production Research, (2001)

[2] Ishizuka Y., Irohara T., Yamashita H.: "Facility Layout Problems for Maximum Production Efficiency," International Conference on Production Research, (2001)

[3] 石塚，伊呂原，山下，"確率的職場配置問題，" (投稿中)

[4] K.Y. Tam, "A Simulated Annealing Algorithm for Allocating Space to Manufacturing Cells," Int. J. Prod. Res., Vol.30,No.1, pp.63-87, (1991)