

## 直列型生産システムにおける搬送車の最適割当てについて

01008610 上智大学 石塚 陽 ISHIZUKA Yo  
 上智大学 \*春山由衣子 HARUYAMA Yuiko  
 01703040 東北大学 山下英明 YAMASHITA Hideaki

## 1 はじめに

部品・注文の到着間隔や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、これらのばらつきを吸収し生産効率を向上させるために、各工程やマシンの前に「バッファ」を設けることが効果的である。例えば、フル生産型のシステムのスループットは、バッファ容量に関して単調増加関数になる。

一般に、物理的あるいは経済的制約から、バッファの容量には限りがあるのが普通であるので、限られたバッファ容量を効率的に各工程に配分する、いわゆる「バッファ配分問題」が考えられ、これに関する研究も多い(例えば文献[1]およびその参考文献参照)。この種の研究では、バッファ内の移動時間を無視しているのが普通である。

一方、実際の生産ラインにおいては、各工程間の部品の移動・移送が搬送車によってなされることも多い。このようなシステムでは、搬送車は「輸送」というサービスを提供する「サーバ」と見なせると同時に、工程間における「バッファ」としての役割も担うことは明らかである。したがって、限られた台数の搬送車を生産効率を最大になるように各工程に割り当てる問題は、上述のバッファ配分問題とは本質的に異なるにもかかわらず、この種の研究は筆者らの知る限り、過去において報告されていない。

本研究の目的は、このように、サーバとバッファの両方の側面を持つ搬送車の最適割当てに関する知見を得ることである。フル生産型の直列生産システムにおける通常のバッファ配分の場合、生産ラインが均一である(全てのマシンが同じ性能を持つ)ならば、総容量が一定のもとでスループットを最大にする最適配分は、(a) 全ての工程に均一にバッファを配分する; および (b) 均一に配分した後、余ったバッファはなるべく中央に左右対称になるように配分する、お碗型(Bowl pattern)に従うであろうことが定説となっている。本研究では、搬送車の最適割当てにおいてこの種のパターンが存在するかどうかについての検証を数値実験を通じて試みる。

ここで採用した最適化手法の概要は、以下の通りである。一定速度の搬送車および有限のバッファ容量を

有する直列型生産システムのスループットの厳密な値を求めることは困難であるので、ここでは「サンプルパス最適化」のアプローチをとる。すなわち、あるサンプル(乱数系列)を固定し、そのもとでのシミュレーション結果から評価指標(スループット)の近似値を決め、それを通常の最適化手法—ここでは遺伝的アルゴリズム(GA)を用いた—で最適化する。

## 2 モデル

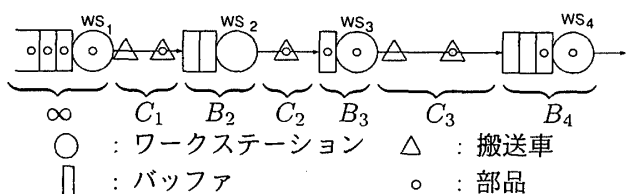


図1: 搬送車を有するシステム ( $M=4$  の場合)

図1のように  $M$  個のワークステーション  $WS_i$  ( $i=1, \dots, M$ ) から成る直列型の生産システムを考える。  $WS_1$  の前には無限個の部品が並んでいるものとする。  $WS_i$  ( $i \geq 2$ ) にはステーション自身も含めて部品  $B_i$  個分のバッファがあり、  $WS_i$  と  $WS_{i+1}$  の間の部品の搬送は  $C_i$  台の専用の搬送車で行われる。  $WS_i$  で加工を終了した部品は、  $WS_i$ - $WS_{i+1}$  間用の搬送車のうち空のものが  $WS_i$  にあればすぐにその搬送車により  $WS_{i+1}$  へ向けて搬送が開始される。 そうでなければ、空の搬送車が  $WS_i$  に戻るまで  $WS_i$  で待つ。 また、搬送車が部品を積んで  $WS_i$  に到着したとき、  $WS_i$  のバッファがいっぱい(すでに  $B_i$  個入っている)ならば、バッファに空きができるまで搬送車内で待つ。

$\tau_i$  :  $WS_i$ - $WS_{i+1}$  間の搬送車の片道移動時間

$D_{i,j}$  :  $WS_i$  からの  $j$  番目の部品の退去時刻

$S_{i,j}$  :  $WS_i$  での  $j$  番目の部品のサービス時間

とし、移動時間  $\tau_i$  は一定(確定)、加工時間  $S_{i,j}$  は分布  $F_i$  に従う確率変数とする。  $S_{i,j}$  のある実現値を  $\tilde{S}_{i,j}$  とすれば、退去時刻  $D_{i,j}$  は以下で計算できる。

$$D_{i,j} = \max \left\{ D_{i-1,j} + \tau_{i-1} + \tilde{S}_{i,j}, D_{i,j-1} + \tilde{S}_{i,j}, D_{i,j-C_i} + 2\tau_i, D_{i+1,j-C_i-B_{i+1}} + \tau_i \right\} \quad (1)$$

システムのスループット  $TH$  は、十分大きい  $N$  に対して  $TH_N = N/D_{M,N}$  で近似できる。そこで、搬送車割り当てベクトル  $C = (C_1 \cdots C_{M-1})$  を決定変数とし、その合計  $C_0$  が与えられたもとの (近似) スループット最大化問題を以下のように定式化する。

$$P(C_0) \begin{cases} \max_C N/D_{M,N} \\ \text{subj. to } \sum_{i=1}^{M-1} C_i = C_0 \\ C_i \geq 1, i = 1, \dots, M-1 \end{cases} \quad (1) \text{式}$$

$\lim_{N \rightarrow \infty} TH_N = TH$  for all  $C$  なので、十分大きい  $N$  に対して  $P(C_0)$  の最適解が真の搬送車の最適割り当てに一致することはほぼ自明であろう。  $M$  および  $C_0$  が大きい場合は、  $P(C_0)$  の最適解を求めることは困難であるので、ここでは遺伝的アルゴリズム (GA) により準最適解を求めることにする。

### 3 数値実験結果

以下では、加工時間  $S_{i,j}$  は率  $\mu_i = 1.0$  の指数分布に従うとし、システムはすべて同一の搬送車とマシンから構成され、  $\tau_i = 1.0, i = 1, \dots, M-1, B_i = 1, i = 2, \dots, M$  とする。また、サンプル (シミュレーション) の長さ  $N$  は総当たりの場合は 80000, GA を利用した場合は 50000 とした。

マシン数  $M$  および総搬送車数  $C_0$  を変えて問題  $P(C_0)$  を解いて得られた結果を表 1 に示す。この表中で、  $C_0$  の値に \* が付してあるものは、総当たりにより求めた最適解である。それ以外は GA により求めたものである。

また、この例題の場合ワークステーション自身以外のバッファが無い ( $B_i = 1$ ) ので、Reversibility[2] が成立している。したがって、数値実験の結果、搬送車の最適割り当てパターンとして求めた解が左右対称でない場合については、その割り当てパターンと逆順のパターンも最適であると予想される。ここでは、その「もう一方」の解を ( ) に示してある。

これらは搬送車の片道の移動時間が  $\tau = 1.0$  と、部品の平均加工時間  $1/\mu = 1.0$  に比べて大きいもとの結果であるが、  $\tau \geq 0.0$  のその他の  $\tau$  に対しても最適配分パターンはほぼこれらと同じような結果となった。

これらの結果より、最適搬送車割り当てについては明らかに何らかのパターンあるいはルールが存在しそうである。このパターンは従来からの Bowl pattern のように割り当て可能な搬送車をなるべく中央よりに割り当てるというよりは、ライン上に「均等に」配置する傾向が見られる。

このことから、従来から信じられてきた Bowl pattern は必ずしも最適とは限らないのではないかと推察され、今後この検証を行いたい。

表 1: 最適搬送車割り当て

$C_0$	Optimal Assignment $C$	$TH_N$
$M = 8$ (総当たり)		
8*	1112111	0.4048
9*	1121211	0.4118
10*	1122211	0.4187
11*	1221221	0.4261
12*	1222221	0.4358
13*	1222222 (2222221)	0.4420
14*	2222222	0.5395
15*	2223222	0.5493
16*	2232322	0.5588
17*	2233322	0.5690
$M = 9$ (総当たり)		
9*	11112111 (11121111)	0.4013
10*	11211211	0.4076
11*	11212211 (11221211)	0.4140
12*	11222211	0.4199
13*	12221221 (12212221)	0.4274
14*	12222221	0.4365
$M = 16$ (総当たり, GA)		
16*	11111121111111	0.3884
17*	11111211121111	0.3923
18*	11112112112111	0.3963
19*	11121121211211	0.4000
20*	11121212121211	0.4034
21	11212121212121	0.4078
22	11212122212121	0.4113
23	11221221221221	0.4150
24	12212212212212	0.4189
25*	12212221222122	0.4240
26	12221222221222	0.4286
27	12222221222221	0.4337
28	12222222222221	0.4395
29	22222222222221 (12222222222222)	0.4429
$M = 24$ (GA)		
25	11111112111112111111	0.3854
26	1111112111121112111111	0.3880
27	1111121112111211121111	0.3906
28	1111211211121121121111	0.3932

### 参考文献

- [1] F.S. Hillier and K.C. So, "On the optimal design of tandem queueing systems with finite buffers," *Queueing Systems* 21, pp.245-266, (1995).
- [2] G. Yamazaki, T. Kawashima and H. Sakasegawa, "Reversibility of tandem blocking queueing systems," *Management Science*, 31, pp.78-83, (1985).