

分解・組み立て型生産システムにおける最適搬送車配分問題

01008610 上智大学 石塚 陽 ISHIZUKA Yo
 02502470 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

直列型生産ラインにおいては、加工時間などのばらつきを吸収し、生産効率を最大にするようなバッファ配分を決める最適バッファ配分問題が、生産システムの設計問題の基礎として盛んに研究されており、ある程度の知見が得られている(例えば文献[1]とその参考文献参照)。しかし、ネットワーク型のシステムにおける最適バッファ配分については、筆者らによる分解・組み立て型生産システムでの最適バッファ配分に関するもの[3]がある程度である。

また、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が多いが、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」としての役割と工程間における「バッファ」としての役割を同時に担うことになる。したがって、配分可能な搬送車があり、それらを生産効率が最大になるように各工程間に割り当てる問題を考えると、それは上述のバッファ配分問題とは若干意味合いが異なったものになる。しかしながら、この種の問題に関する研究は筆者らの知る限り、直列型生産ラインにおける搬送車配分問題に関するもの[4]以外にほとんど報告されていない。

本研究では、部品の分岐・合流が生じるような分解・組み立て型生産システムを対象とし、そのスループットを最大にする最適搬送車配分問題を定式化し、数値実験を通じて最適搬送車配分に関する知見を得ることを目的とする。

2. モデル

システムは全体で M 個のステーション $1 \sim M$ からなり、部品はまずステーション 1 で加工され、最後にステーション M から完成品として出ていくものとする。ステーション i では、その上流のステーション集合 $P_i = \{p_{i1}, \dots, p_{ik_i}\}$ 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 $Q_i = \{q_{i1}, \dots, q_{im_i}\}$ の各ステーションへ1つずつ引き渡す。ここで、以下を仮定する。

- ステーション 1 の前には十分な部品があり、スタービングは生じない;

- ステーション i ($i \neq 1$) にはそれ自身を含めて組み立てられる部品 B_i 個分のバッファスペースがある。バッファスペースは上流のステーション毎に用意されており、ステーション $p_{ik} \in P_i$ からの部品は B_i 個までステーション i に置くことができる ($k = 2, \dots, k_i$);
- ステーション i では、その上流ステーション集合 P_i からの部品が全てバッファ内に存在しており、かつステーション i で加工中の部品がない場合に次の加工が始められる;
- ステーション i と j の間の部品の移動は $C_{i,j}$ 台の専用の搬送車で行われる。搬送車が到着したステーションのバッファがフルのときは、そのバッファが空くまで部品は搬送車の中で待つものとする;
- 移動を開始しようとしたとき、搬送車が出払っている場合は、利用可能な搬送車が帰ってくるまで移動は待たされる(部品は現在のステーション内に留まる);
- ステーション i ($i \neq M$) 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 全てのステーションへ搬送可能になったとき、同時に搬送を開始するものとし、それまでは部品はステーション i で待つものとする;
- ステーション i での次の加工は Q_i 内の全てのステーションへの移動を開始した時点で開始可能となる;
- ステーション 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;
- ステーション i - j 間の搬送車の(片道の)移動時間 $\tau_{i,j}$ は一定(確定的)である;
- ステーション M で組み立ての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;

このとき、加工時間 $S_{i,j}$ のサンプル $\bar{S}_{i,j}$ が与えられれば、ステーション i からの j 番目の部品の退去完了時刻 $\bar{D}_{i,j}$ は以下のように定められる。

$$\bar{D}_{i,j} = \max \left\{ \begin{array}{l} \max_{p \in P_i} (\bar{D}_{p,j} + \tau_{p,i}) + \bar{S}_{i,j}, \\ \bar{D}_{i,j-1} + \bar{S}_{i,j}, \\ \max_{q \in Q_i} (\bar{D}_{q,j-B_q-C_{i,q}} + \tau_{i,q}), \\ \max_{q \in Q_i} (\bar{D}_{i,j-C_{i,q}} + 2\tau_{i,q}) \end{array} \right\} \quad (1)$$

3. 定式化

上述のような分解・組み立て型生産システムにおいて、

- ネットワーク形状つまり $P_i, i = 2, \dots, M$ および $Q_i, i = 1, \dots, M - 1$;
- 各ステーションでのバッファ容量 B_i ;
- 各ステーションでの加工時間 $S_{i,j}$ の分布;
- 配分可能な搬送車の総数 C_0

が与えられたとき、システムのスループット(単位時間あたりの完成品数) TH を最大にするような搬送車の各ステーションへの配分ベクトル $C = (C_{i,j}), i = 1, \dots, M - 1, j = 2, \dots, M$ を求める以下の問題を考える。

$$P(C_0) \begin{cases} \max TH(C) \\ \text{subj.to } \sum_{i=1}^{M-1} \sum_{j=2}^M C_{i,j} = C_0 \\ C_{i,j} \geq 1, \\ i = 1, \dots, M - 1, j = 2, \dots, M \end{cases}$$

ここで、 $TH(C)$ は搬送車配分が C のときのシステムのスループットである。もちろん、一般には $TH(C)$ の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 [2] のアプローチをとる。所与の分布に従う加工時間 $S_{i,j}$ の実現値 $\bar{S}_{i,j}$ をあらかじめ固定しておき、(1) で定まるステーション M からの N 番目の部品の退去時刻 $\bar{D}_{M,N}$ を用いて $TH_N(C) = N/\bar{D}_{M,N}$ とおけば、十分大きい N に対して $TH_N(C)$ は $TH(C)$ の近似となり、以下の近似最適化問題:

$$P_N(C_0) \begin{cases} \max TH_N(C) \\ \text{subj.to } \sum_{i=1}^{M-1} \sum_{j=2}^M C_{i,j} = C_0 \\ C_{i,j} \geq 1, \\ i = 1, \dots, M - 1, j = 2, \dots, M \end{cases}$$

の最適解は問題 $P(C_0)$ の最適解となる [2]。この近似問題 $P(C_0)$ は通常の組み合わせ最適化問題であるので、小規模の問題であれば完全列挙法で、大規模で完全列挙が不可能な場合は発見的な最適化手法(例えば遺伝的アルゴリズム)で容易に準最適解を求めることができる。

4. 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、 $\tau_{i,j} = 1.0, i = 1, \dots, M - 1, j = 2, \dots, M, B_i = 1, i = 1, \dots, M$ とする。また、サンプル(シミュレーション)の長さ N は 80000 とし、いくつかの仮想的システムに対して、総搬送車台数 C_0 をいくつか変えて $P_N(C_0)$ を解いた。

(例 1) 図 1 のような 6 ステーションのシステムにおいて、配分可能な搬送車の総台数を $C_0 = 9, \dots, 15$ と

した場合、完全列挙法で求めた最適搬送車配分 C^* と、そのときのスループットの近似値 $TH_N(C^*)$ を図 2 に示す。ここで、破線の太線は、搬送車を 1 台余分に配分した工程間を表し、これらと上下対称のパターンは省略してある。

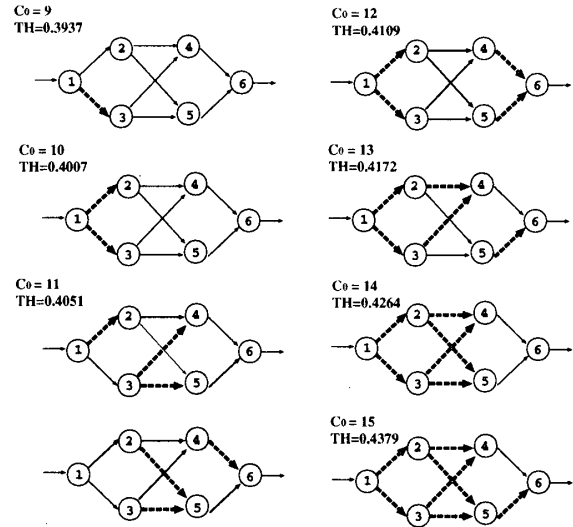


図 1: 例 1 における最適搬送車配分

5. おわりに

分解・組み立て型生産システムにおける最適搬送車配分問題の定式化と解法を提案した。より大規模な問題に対する実験結果は講演時に示す。

参考文献

- [1] Hillier F. S. and So K. C.: "On the optimal design of tandem queueing systems with finite buffers," Queueing Systems, 21, pp.245-266, (1995).
- [2] 石塚, 山下: "サンプルパス最適化の確率的離散事象システムへの適用," オペレーションズ・リサーチ, 4月号,(2001).
- [3] 張, 石塚: "分解・組み立て型生産システムにおける最適バッファ配分について," 日本経営工学会, 平成 13 年度春期大会, (2001)
- [4] 石塚, 春山, 山下: "直列型生産システムにおける搬送車の最適割り当てについて," 日本オペレーションズ・リサーチ学会, 平成 13 年度春期研究発表会, (2001).