

# 離散事象型システムのボトルネック発見手法

01404693 (株)豊田中央研究所 \*中野 冠 NAKANO Masaru

(株)豊田中央研究所 ローザークリストフ ROSER Christoph

(株)豊田中央研究所 田中 稔 TANAKA Minoru

## 1. はじめに

生産ラインなど離散事象型システムにおいて、スループットに関するボトルネックを発見する方法を提案する。従来、平準化されたシステムに対して、信頼性区間を考慮した上でボトルネックを自動的に発見する実用的方法がなかった。離散事象型シミュレーションの分野で、1) 最大平均稼働率、2) 最大平均休止時間、3) 最長平均待ち行列を持つサーバーをボトルネックとするなど、いくつかの手法が知られている[1]。しかし、従来の方法は、精度[2]上問題があり、経験に基づいた判断が必要とされる。自動化を試みた研究も、手法の複雑さ[3]などの実用上問題がある。

本稿では、システムの中で最も影響しているボトルネックを簡便にまちがいになく知るための数理的な手法を述べる。

## 2. ボトルネック発見方法

サーバーの状態を稼働(active)・非稼働(inactive)の2つに分類する(Table 1)。生産システムでは、故障による修理中や工具交換時間も稼働時間とすることに注意されたい。

今、サーバー*i*の連続稼働時間(Fig. 1)集合を $A_i$ 、その平均を $\bar{a}_i$ とおく。

$$A_i = \{a_{i,1}, a_{i,2}, \dots, a_{i,j}, \dots, a_{i,n}\} \quad (1)$$

$$\bar{a}_i = \frac{\sum_{j=1}^n a_{i,j}}{n} \quad (2)$$

非稼働時間はほぼ独立と考えられるので、連続稼働時間も独立と考えられる。従って、連続稼働時間の信頼性区間は、次式で得られる。

$$\sigma_i = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^n (a_{i,j} - \bar{a}_i)^2}{n-1}} \quad (3)$$

$$CI_i = t_{\alpha/2} \cdot \frac{\sigma_i}{\sqrt{n}} \quad (4)$$

Table 1: Active–Inactive States for Different Servers

Server	Active	Inactive
Processing Machine	Working, in repair, changing tools, serviced	Waiting for part, waiting for service, blocked
AGV	Moving to a pickup location, moving to a drop off location, recharging, being repaired	Waiting, moving to a waiting area
Human Worker	Working, recovering	Waiting
Supply	Obtaining new part,	Blocked
Output	Removing a part from the system	Waiting
Computer	Calculating	Idle
Phone Operator	Servicing Customer	Waiting

本法では、平均連続稼働時間を持つサーバーをボトルネックと定める。1回のシミュレーションあるいは現場の1つのデータ列を利用して、信頼性区間も同時に得られ検証できる。

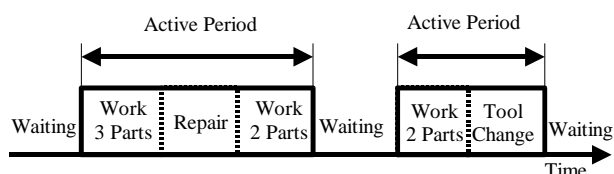


Fig. 1: Active Periods of Machine during Simulation

### 3. 実験

Fig.2の生産ライン(7機械3バッファ)にシミュレータ GAROPS[4]を用いて、本計算手法を検証した。機械の状態は、動作/停止(starved)/停止(blocked)/工具交換/修理の5状態であり、稼働中とは停止以外の場合である。暖機運転期間を削除し、約130時間分のシミュレーションを行った。比較のため、最大平均稼働率でボトルネックを発見する従来法と比べる。

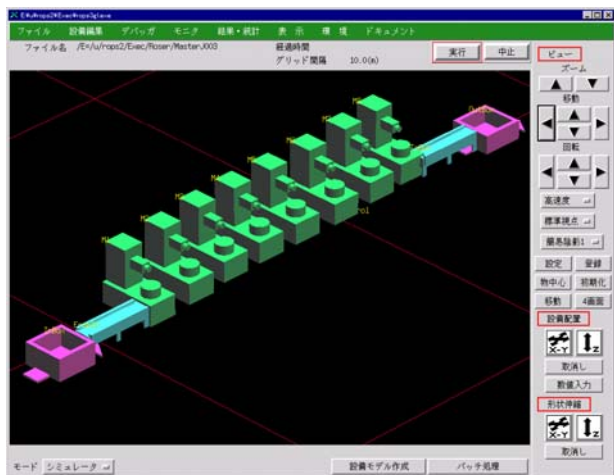


Fig. 2 :Simulation Model

Table 2,3 および Fig. 2,3 によれば、本法ではボトルネックが特定されるが、従来法では 95% 信頼性区間からボトルネックが明確でないことがわかる。また、従来法では、平均稼働率を得るのに一般的にバッチ平均法[1]などを用いて、複数回のシミュレーションをしなければならない。本法は、1 回のシミュレーションでボトルネックが検証でき、かつシミュレーションを自動的に停止させるができる。

Table 2: Conventional Bottleneck Detection Approach: Machine Workload

Machine	Percent Active	95%Confidence Interval	Bottleneck
M1	18.82%	0.18%	
M2	<b>97.38%</b>	<b>1.40%</b>	<b>Possible</b>
M3	55.58%	0.42%	
M4	<b>99.08%</b>	<b>2.68%</b>	<b>Possible</b>
M5	88.36%	0.49%	
M6	69.83%	0.39%	
M7	80.69%	0.58%	
M8	87.14%	0.60%	

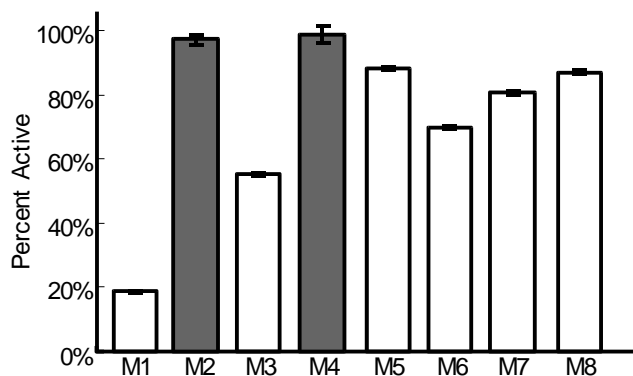


Fig. 3: Conventional Bottleneck Detection Approach: Machine Workload

Table 3: New Bottleneck Detection Approach: Average Duration of Active Period

Machine	Active Period	95% Confidence Interval	Bottleneck
M1	13.2	0.0	
M2	168.0	42.0	
M3	39.0	0.0	
<b>M4</b>	<b>14885.2</b>	<b>7376.9</b>	<b>Yes</b>
M5	62.0	0.0	
M6	49.0	0.0	
M7	59.0	1.0	
M8	65.5	1.4	

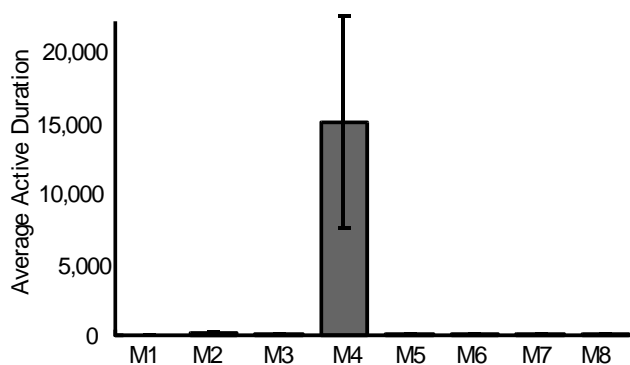


Fig. 4: New Bottleneck Detection Approach: Average Duration of Active Period

#### 4. おわりに

離散事象型システムのボトルネックを自動的に発見する計算手法を提案した。生産ラインにおけるシミュレーション実験で従来法と比較して実用性を示した。本手法は、一般のシステムシミュレータに組み込むことが容易であり、また、現場の実績データを用いて改善に利用することもできる。

## 参考文献

- [1] Law, Averill M., and Kelton, David W. 1991. *Simulation Modeling & Analysis*. McGraw Hill.
- [2] Luthi, Johannes, and Haring, Guenter 1997. Bottleneck Analysis for Computer and Communication Systems with Workload Variabilities & Uncertainties. *Int Sympo. on Mathematical Modelling*.
- [3] Berger, Arthur, Bregman, Lev, and Kogan, Yaakov 1998. Bottleneck Analysis in Multiclass Closed Queueing Networks and Its Application. *Baltzer Journals*.
- [4] Nakano, Masaru, Sugiura, Norio, Tanaka, Minoru, and Kuno, Toshitaka 1994. ROPSII: Agent Oriented Manufacturing Simulator on the basis of Robot Simulator. In *Japan-USA Symposium on Flexible Automation*, Kobe, Japan.