1996年度日本オペレーションズ・リサーチ学会
秋季研究発表会

FMSにおけるAGVの経済的最適台数の感度分析

01206920 東京都立科学技術大学 *昇高茂樹 SHOTAKA Shigeki
01701490 東京都立科学技術大学 山崎源治 YAMAZAKI Genji

本研究では，数台の同種のNC工作機械，自動倉庫及び自動倉庫と機械間で被加工品(以後‘ジョブ’と呼ぶ)を搬送する数台の自動搬送車からなるFMSを対象としている．FMSでは，その導入に際し莫大な費用を要し，またシステム導入後の変更にも高額の費用を要するため，長期にわたり効率的なシステムの設計が必要となる．このため，システムの設計・評価のために確率モデルが有効であることが広く認められつつある．FMSの設計要素としては，NC工作機械の台数，AGVの台数と搬送経路，ローカルバッファ等が考えられる．その中でNC工作機械の台数はシステムの総生産能力をどの程度にするのかにより，自ずと定まる．これに対し，AGVの役割はNC工作機械の能力をいかにスムーズに引き出すかにある．この立場でNC工作機械の台数を固定したときの「AGVの最適台数決定問題」を本研究では考えている．AGVの行きの搬送に要する時間を‘行きのサービス時間’，帰りの搬送に要する時間を‘帰りのサービス時間’と呼ぶ．また，機械の加工に要する時間を‘加工時間’と呼ぶ．ジョブは1つのNC工作機械で加工された後自動倉庫に戻される，ということに関してジョブの機械間の移動を許す通常のシステムとは異なることに注意する．この様なFMSに対して，以下の仮定をする．

1. 自動倉庫内に貯蔵されているジョブの数は，十分に大きいものとし，ジョブの不足による作業の中断は生じない．
2. システムはM台の機械とN台のAGVから構成されており，すべての機械は同じ性能を持ち，一度に加工のできるジョブの数は1とし，機械自体にバッファはないものとする．また，すべてのAGVも同じ性能を持ち，一度に運搬できるジョブの数は1とする．
3. 加工時間は互いに独立に同一な分布に従う確率変数とする．また，行きのサービス時間，帰りのサービス時間も互いに独立に同一な分布に従う確率変数とする．加工時間，行きのサービス時間，帰りのサービス時間は確率的に独立とする．
4. 機械は加工が終了したときからAGVがジョブの交換に来るまでの間，加工済みのジョブをそのままにして休止する．

FMSシステムにおける最小費用基準の基での最適台数は，経費回収率($PR = \lambda(N,M)/(N+M\beta)$)を用いて次の式で表される(詳細は昇高(1996)参照)．

$$N_c = \arg\max\left[\frac{\lambda(N,M)}{N+M\beta}\right] \tag{1}$$

$\lambda(N,M)$: AGV N台，機械 M台の時の生産率

β : U_m/U_a

U_a : 減価償却費を含むAGV1台にかかる単位時間当たりの経費(円/h)

U_m : 減価償却費を含む機械1台にかかる単位時間当たりの経費(円/h)

© 日本オペレーションズ・リサーチ学会．無断複写・複製・転載を禁ず．

表 1: The sensitivity of N_c

(a) $M=3, C_a^2=C_m^2=0.25, \rho=0.3$

β	$\Delta(-2)$	$\Delta(-1)$	N_c	$\Delta(1)$	$\Delta(2)$
10		-5.854	2	-2.394	-5.265
30		-7.794	2	-0.426	-1.486
50		-8.192	2	-0.002	-0.651
70	-8.532	-0.183	3*	-0.467	-0.930
100	-8.789	-0.323	3*	-0.329	-0.656

*: $N_{c(app.)}$ is different from N_c.

(b) $M=5, C_a^2=C_m^2=0.5, \rho=0.3$

β	$\Delta(-2)$	$\Delta(-1)$	N_c	$\Delta(1)$	$\Delta(2)$
10	-24.929	-1.749	3	-1.364	-3.121
30	-26.792	-2.972	3	-0.401	-0.778
50	-3.316	-0.095	4*	-0.348	-0.735
70	-3.532	-0.207	4*	-0.237	-0.515
100	-3.653	-0.270	4	-0.176	-0.392

(1) 式中で必要な経済的データは U_a, U_m のみであり，これらは比較的用意に入手できることに注意する．M および機械の加工時間，AGV のサービス時間分布が与えられて，(1) 式を用いて N_c を決定するためには，各 N についての $\lambda(N,M)$ が必要となる．個々の N に対して $\lambda(N,M)$ が決定できるとしたとき，. (1) 式に基づいて N_c を決定するためのオーソドックスな方法は，$N=1$ から順次経費回収率を計算すると，ある N_0 までは単調に増加し，N_0+1 で減少したとき，$N_c=N_0$ とすることである．この問題について，$\lambda(N,M)$ の凸性を仮定することで，昇高 (1996) は上述の方法で最適台数が求めることが出来ることを証明している．$\lambda(N,M)$ の N に関する凹性は，$\lambda(N,M)$ が N の増加に伴い漸近的にある一定値 (M 台の機械がフルに稼動したときの生産率) に近づくことから，その凹性は妥当性があるが一般的な証明は難しい．我々は機械の加工時間，AGV のサービス時間分布をフェイズタイプの分布 (各フェイズのでのジョブの滞在時間は独立な指数分布とする) としてこの凹性が満たされことを確認している．

上述のように，N_c を決定するためには各 N に対する $\lambda(N,M)$ を求めることが必要となる．この $\lambda(N,M)$ を求めるために，我々は，点過程の RCL(Rate Conservation Law) を用いて基礎式を求め，その応用として，特殊時点からシステムの状態が変化するまでの時間分布を再生過程の任意時点からの次の再生点までの時間分布とみなすことで，この基礎式から $\lambda(N,M)$ の近似値を求め，(1) 式から経済的最適台数の近似値を求めている．更に，Markov 連鎖を用いて求めた厳密解との比較を行い，最適台数の近似値は，厳密解と比べ等しいかその差は 1 台である，という結果を導いている．

本研究では，最適台数付近での感度分析をすることで，最適台数付近での AGV の台数の差による経済的差異は少なく，特に最適台数が厳密解と近似解とで異なっている場合の経済的差異は微少なものであり最適台数の近似値をこのシステムが持つべき最小費用基準の基での AGV の経済的最適台数としても十分であることを示す．この経済的差異の一例を表 1 に示す．表中の $\Delta(i)$ は最適台数$+i$ のときの経費回収率と最適台数での経費回収率の相対差を百分率で表したものである．

参考文献

昇高，(1996), 東京都立科学技術大学博士論文

© 日本オペレーションズ・リサーチ学会．無断複写・複製・転載を禁ず．