L-24

時間的制約による自動搬送システムの輻輳解析

Congestion analysis of Automated Guided Vehicle System with the time limitation

○坂田　啓一 [1]，星野　貴弘 [2]，浜松　芳夫 [2]

*Keiichi Sakata[1], Takahiro Hoshino[2], Yoshio Hamamatsu[2]

Abstract:This paper deals with Automated Guided Vehicle System. The problems in the automated guided vehicle system includes the interference with another vehicle at the merging section. When interference occurs frequently, the efficiency of production will be decrease. Therefore it is necessary to control efficiently for a vehicle at the merging section. In this study, we propose a control scheme to time limitation, and discuss the congestion quantitatively.

1. はじめに

本研究は，自動搬送システム (Automated Guided Vehicle System, AGVS)[1] を対象にしている．近年，工場や倉庫での生産システムにおいて，生産効率の向上が求められている．そのためには，多品種少量生産や人件費削減，リードタイム短縮などが挙げられる．これらを満たすには，１つのラインで複数の製品を造ることが考えられる．しかし，生産ライン間を結ぶ搬送経路は，大規模かつ複雑になると予想される．さらに，運転方式や搬送経路の変更が頻繁に行われるようになってしまう．このような生産形態の変化に柔軟に対応するため，AGVS が多くの工場などで採用されている．

AGVS の問題点として，合流部において車両が待たされる場合がある．干渉が頻繁に起こると，生産効率は低下してしまう．そのため，合流部において車両を能率的に制御する必要がある．このような背景から，筆者らは AGVS における合流部近傍の輻輳現象について研究を行ってきた [2]．AGVS における合流制御方式として，待ち台数または待ち時間を制限する方法が考えられる．本研究では，制御方式が単純であり，実現性が高いことから，時間的制約による制御方式を検討する．これにより，合流部に形成される待ち行列長を調整することができる．本制御方式を適用した際の数理モデルを構築し，合流部における輻輳現象を定量的に明らかにする．

2. 合流部モデル

本研究での制御方式の考え方は，計算機内において仮想のセルを軌道上に走行させ，車両が到来したときに空いてるセルに割り当てるというものである．車両は割り当てられたセルの動きに追従するような，点追従方式 [3] で制御される．このセルをムービングセル (MC) と呼ぶことにする．ここで MC の発生時間間隔を Δt とし，システムの単位時間とする．

本研究で対象とする合流部モデルを Fig.1 に示す．2 種類のジョブショップ [A/B] と [C] があり，[A/B] では

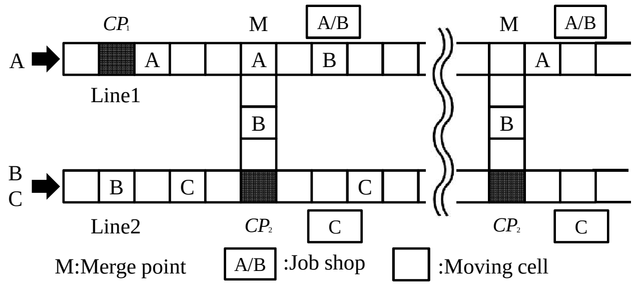

Fig. 1: Schematic diagram of the merging section

部品 A と B，[C] では部品 C をそれぞれ処理する．また，Line1 に部品 A を運ぶ車両，Line2 に部品 B または C を運ぶ車両が到来する．2 種類の部品を処理するジョブショップ [A/B] は Line1 上にあるため，部品 B を運ぶ車両は Line2 から Line1 へ合流する．車両の到来を検知するチェックポイント (CP_1，CP_2) が Line1・Line2 それぞれに設置され，合流点 (M) から各 CP までの距離は等しい．また，Line1 を優先路とするため，CP_1 に車両が到来し，CP_2 に部品 B を運ぶ車両が到来した場合，CP_2 の車両を待たせる．この時に CP_2 上の待ち車両は，制限時間 $S\Delta t$ まで待つことができる．制限時間 $S\Delta t$ を越える場合には，車両を直進させ，次の合流点に迂回させる．

Line1 に車両が到来する確率を l，到来しない確率を $m(=1-l)$，Line2 に車両が到来する確率を p，到来しない確率を $q(=1-p)$ とする．また，Line2 上に到来する車両が搬送している部品が B である確率を α，部品 C を搬送する車両が到来する確率は $\beta(=1-\alpha)$ とする．

3. 状態定義と状態推移

マルコフ連鎖 [4] の手法を用いて，数理モデルを構築する．MC の時間間隔 Δt 毎の観測時点において，Line2 上の待ち台数が i 台で，先頭車両の待ち時間が $j\Delta t$ の時，状態 (i,j) と定義する．状態 (i,j) から Δt 後の状態推移

1:日大理工・院・電気　2:日大理工・教員・電気

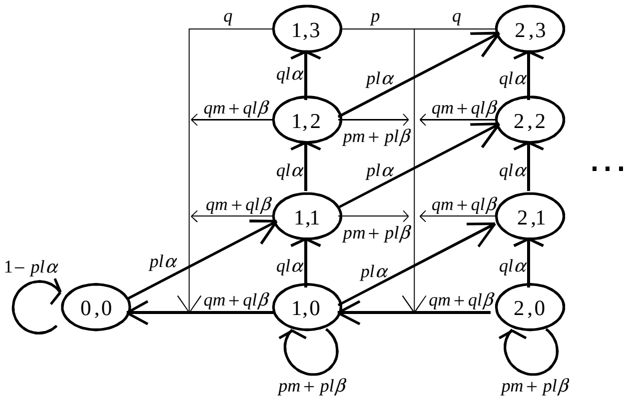

Fig. 2: Schematic transition diagram

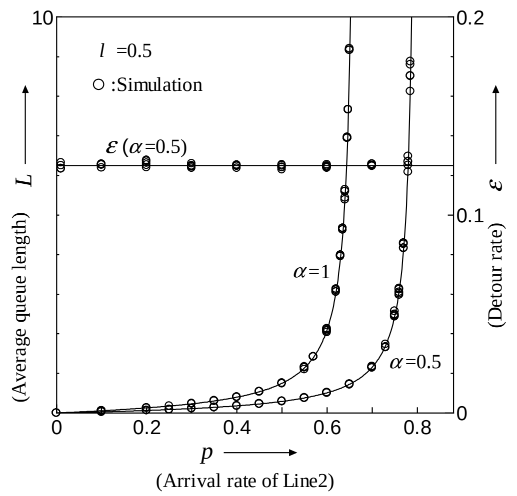

Fig. 3: Numerical example of L and ε

は Fig.2 のようになる．ただし，紙面の都合上，$S = 3$ の場合を示す．

4. 解析

時間的制約による基本的特性を検討するため，制限時間 $S = 1$ として解析を行う．ここでシステムの性能評価の尺度である平均待ち台数と迂回率を導出する．極限状態における状態 (i, j) となる確率を $P_{i,j}$ とすると，極限状態確率分布$\boldsymbol{P}$は次のように定義できる．

$$\boldsymbol{P} = \begin{bmatrix} P_{0,0} & P_{1,0} & P_{1,1} & P_{2,0} & P_{2,1} & \cdots \end{bmatrix} \tag{1}$$

極限状態確率分布は，次式を満たす．$\boldsymbol{R}$は，推移確率行列である．

$$\boldsymbol{P} \quad = \quad \boldsymbol{PR} \tag{2}$$

確率の正規化条件より，次式が成り立つ．

$$P_{0,0} + \sum_{i=1}^{\infty} \sum_{j=0}^{1} P_{i,j} \quad = \quad 1 \tag{3}$$

(9)，(10) 式より，平均待ち台数 L_1 は，

$$L_1 = \sum_{i=1}^{\infty} \sum_{j=0}^{1} iP_{i,j} = \frac{\rho}{p(1-\rho) + q(\rho - \rho^2)} \tag{4}$$

となる．ただし，上式の ρ は次の通りである．

$$\rho = \frac{p^2 l\alpha}{qm + ql\beta + q^2 l\alpha} \tag{5}$$

また，迂回率を次のように定義する．

$$\text{迂回率} = \frac{\text{迂回した車両台数}}{\text{Line2 に到来した車両台数}} \tag{6}$$

迂回は，状態 $(i, 1)$ の時に CP_1 に車両が到来した場合で発生する．したがって， 迂回率 ε は，次式となる．

$$\varepsilon \quad = \frac{l \sum_{i=1}^{\infty} P_{i,1}}{p} = l^2 \alpha \tag{7}$$

5. 考察

Fig.3 に，Line1 の到来確率 $l = 0.5$ における平均待ち台数と迂回率の理論値とシミュレーション値を示す．シミュレーションは，50 万 Δt 後の結果を示しており，1 つの p の値に対し、乱数の初期値を変えてそれぞれ 5 回行った．理論値とシミュレーション値は，よく一致しており，今回の数理モデルが妥当なものだと考えられる．

平均待ち台数は，Line2 の到来確率 p が大きくなると，∞に発散する．ただし，$\alpha = 0.5$ では，合流しなければならない部品 B を運んでいる車両の到来は，$\alpha = 1$ よりも少ない．そのため，$\alpha = 0.5$ の方が平均待ち台数は減少すると考えられる．

迂回率は，$\varepsilon = 0.125$ で一定である．(7) 式からもわかるように，制限時間 $S = 1$ の迂回率は，Line2 の到来確率 p には依存しないためである．

6. まとめ

本研究では，マルコフ連鎖の手法を用いて数理モデルを構築することにより，平均待ち台数と迂回率を定量的に明らかにした．合流部での制御方式に時間的制約を用いたが，制限時間 $S = 1$ のみの解析であった．今後の課題としては，制限時間を任意とした場合についての解析が挙げられる．

参考文献

[1] 吉本好夫：「自動搬送システム (導入実践ガイド)」，電気書院 (1991)
[2] 浜松芳夫，新井啓之：「自動搬送システムにおける輻輳現象の近似解析」，電学論誌 D，**116**，10，pp.1041-1048，(1995)
[3] 荒屋真二：「新交通システムと自動運行制御」，電子通信学会誌，Vol.**64**,No.1,pp.43〜49，(1981)
[4] 高橋幸雄，森村英典：「マルコフ解析」，日科技連出版社 (1979)