

自動搬送システムのモデル化と解析 Modeling and analysis of Automated Guided Vehicle System

競 浩平¹, 星野 貴弘², 浜松 芳夫²

*Kouhei Kisou¹, Takahiro Hoshino², Yoshio Hamamatsu²

Abstract: This study deals with the Automated Guided Vehicle System (AGVS). The congestion occur at a merging section frequently. The guide ways of AGVS are the finite length. Therefore, the queue length should be reduced. We analyze the model which restricts the number of waiting vehicles. The top vehicle of the queue is forced to detour when the number of waiting vehicles exceed a restricted value. We discuss the efficiency of the proposed control strategy quantitatively.

1. はじめに

本研究は、自動搬送システム^[1](Automated Guided Vehicle System, AGVS)を対象としている。自動搬送システムとは工場内にあらかじめ敷設された誘導路を自動搬送車が走行し、部品を搬送するシステムである。AGVSの合流部近傍では、AGV同士の衝突を避けるために車両は待たされる場合がある。このように、合流部近傍はAGV間の干渉が起こりやすい場所である。

文献[2]では、干渉を防ぐため分岐点に到来した車両の合流待ち時間に制限を設けた制御方式を提案している。しかし敷設された誘導路のスペースは有限であるため、混雑時には待ち台数に制限を設ける必要がある。本研究では、制限待ち台数を超える場合には待ち行列の先頭車両を迂回させることにより、ブロッキングなどが起こることを未然に防止する。数理モデルの構築には、マルコフ連鎖の手法を用い、性能評価の指標である平均待ち台数等を導出する。

2. モデルの概要

図1にAGVSの合流部モデルの概略図を示す。AGVSでは制御コンピュータが実際の軌道と等価な仮想の軌道上に移動セル(Moving Cell, MC)を一定間隔に発生する。各車両は、このMCを追従するように走行する。解析の便宜上MCの発生時間間隔を Δt とし、システムの単位時間とする。図に示すように、Line1にジョブショップ[A/B]、Line2にはジョブショップ[C]がそれぞれ設置されている。部品A、B、Cはそれぞれのジョブショップで処理される。また、Line1へは部品Aを運ぶ車両が到来し、Line2へは部品Bまたは部品Cを運ぶ車両が到来する。そのため、部品Aを運ぶ車両と部品Cを運ぶ車両は直進する。部品Bを運ぶ車両の場合、Line2から分岐し、合流点(MP)でLine1に合流する必要がある。各Lineには、合流可否を判定するために、車両の到来を検出するチェックポイント(Check Point, CP)が設置されている。Line1上のCP₁からMP間の距離とLine2上のCP₀からMP間

の距離は等しい。CP₀、CP₁に車両が同時に到来したときは、衝突を避けるためCP₀上の車両を後方のMCに乗り換えさせ、CP₁上の車両を優先する。ブロッキングなどを避けるためCP₀を先頭とする待ち行列が制限台数(N)を超える場合、先頭車両はそのまま次の分岐点へ迂回させる。

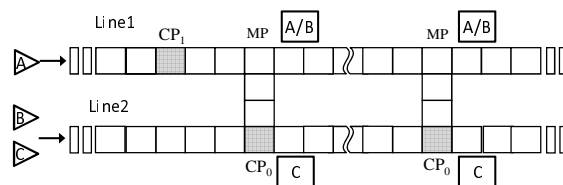


Fig. 1: Schematic diagram of the merging section.

3. マルコフ連鎖モデル

合流部付近における車両挙動の解析を行うため、マルコフ連鎖の手法を用いて数理モデルの構築を行う。Line1に車両が到来する確率を l とし、到来しない確率を $m(=1-l)$ とする。Line2も同様に車両が到来する確率を p とし、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 、Cである確率を $\beta(=1-\alpha)$ とする。

3.1 状態定義

任意のMCがCPに到来した時点の直後に状態の観測を行うものとする。マルコフ連鎖の状態を状態 (i, j) と定義する。 i はCP₀から連続して i 台の車両が到来(存在)している状況を表す。ただし、 i は $0 \leq i \leq N$ とする。 j はCP₀上の車両が観測時点において移動した場合は0、停止している場合には1とする。

3.2 状態推移図

構築したマルコフ連鎖モデルの状態推移図を図2に示す。状態から状態への推移を矢印で示す。ただし、太

1:日大理工・院・電気 2:日大理工・教員・電気

線の矢印は複数の状態からの推移を示す。

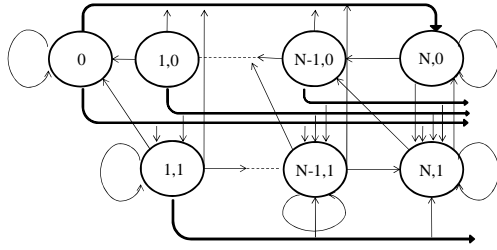


Fig. 2: Transition diagram of the Markov model.

3.3 推移確率行列

図 2 で示した状態推移図より，推移確率行列 R は次式となる。

$$R = \begin{matrix} & \begin{matrix} 0 & \dots & N-1,0 & N-1,1 \\ 0 & 1-\alpha pl & \dots & 0 & \alpha p^{N-1} ql \\ 1,0 & 1-\alpha l & \dots & 0 & \alpha p^{N-2} ql \\ 1,1 & m & \dots & 0 & p^{N-2} ql \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots \\ N-1,0 & 0 & \dots & 0 & \alpha ql \\ N-1,1 & 0 & \dots & 0 & ql \\ N,0 & 0 & \dots & 1-\alpha l & 0 \\ N,1 & 0 & \dots & m & 0 \end{matrix} \\ \begin{matrix} N,0 \\ \alpha p^{N+1} l \\ \alpha p^N l \\ p^N l \\ \vdots \\ \alpha p^2 l \\ p^2 l \\ \alpha p l \\ p l \end{matrix} & \begin{matrix} N,1 \\ \alpha p^N ql \\ \alpha p^{N-1} ql \\ p^{N-1} ql \\ \vdots \\ \alpha p ql \\ p ql \\ \alpha ql \\ ql \end{matrix} \end{matrix} \quad (1)$$

(1) 式において行列の外側の数字は状態を示しており，行番号が現時点の状態を，列番号が次時点の状態を表している。

4. 解析

極限状態（平衡状態）において状態 (i, j) となる確率を $P_{i,j}$ とすると，極限状態確率分布 P は次式のように定義できる。

$$P = [P_0 \quad P_{1,0} \quad P_{1,1} \dots P_{N,0} \quad P_{N,1}] \quad (2)$$

極限状態確率 P は，

$$P = PR \quad (3)$$

を満たし，また確率の正規化条件より

$$P_0 + \sum_{i=1}^N \sum_{j=0}^1 P_{i,j} = 1 \quad (4)$$

が成り立つ。(3), (4) 式より $P_{i,j}$ を導出できる。得られた極限状態確率を用いて平均待ち台数を求める。Line2 の平均待ち台数を L_N は，期待値の定義式より

$$L_N = \frac{\alpha p ql \sum_{i=1}^N (i p^{i-1} (m + \beta pl)^{N-i})}{\alpha pl \sum_{j=1}^N ((m + \beta pl)^{N-j} p^{j-1}) + (m + \beta pl)^N} \quad (5)$$

となる。また，極限状態確率 $P_{i,j}$ と平均待ち台数 L_N により待ち台数の標準偏差 σ_N は次式のように定義できる。

$$\sigma_N = \sqrt{\sum_{i=1}^N i^2 P_{i,1} - L_N^2} \quad (6)$$

5. 考察

図 3 に $N = 4, p = 0.3$ と固定し， l を変化させたときの平均待ち台数 L と標準偏差 σ を示す。実線は Line2 に B の部品を運ぶ車両のみ到来する場合 ($\alpha = 1$) の L を示す。波線は B と C の部品を運ぶ車両が同じ割合で到来する場合 ($\alpha = 0.5$) の L を示す。また，一点鎖線は $\alpha = 1$ と $\alpha = 0.5$ のときの標準偏差 σ を示す。図中の印はシミュレーション値を示している。シミュレーション時間は 50 万 Δt とした。シミュレーションは初期値を変えて各 L の値に対して 3 回ずつ行った。図から明らかなように理論値とシミュレーション値はよく一致している。

$l = 0.8$ のとき $\alpha = 1$ に対して $\alpha = 0.5$ の L は約 48% 減少する。これは，部品 C を運ぶ車両の到来が増加するためである。また，標準偏差の値は $\alpha = 1, 0.5$ 共に l が大きくなるにつれ増加する。これは，Line1 の到来頻度の増加に伴い待ち台数が増加すること，また待ち台数の増加により迂回が生じ，待ち台数が減少するため，待ち台数のばらつきが大きくなるからである。

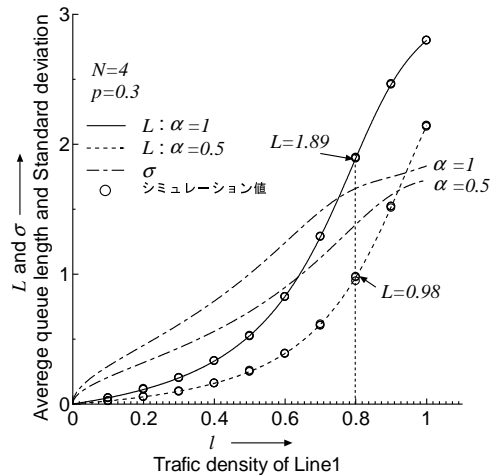


Fig. 3: Numerical examples of L and σ .

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，平均待ち台数と標準偏差を定量的に明らかにした。今後は迂回率に関する検討を行う予定である。

参考文献

- [1] 吉本好夫：「自動搬送システム」，電気書院 (1991)
- [2] 星野・坪井・山中・浜松：「自動搬送システムの運行制御とその解析手法」，電学誌論 D, vol.129, No.2, pp173-183 (2009-2)