

制限台数を設けた輸送システム合流部の解析

Analysis of a merging section on transportation systems with limit of number of vehicles

○加藤 洋嗣<sup>1</sup>, 浜松 芳夫<sup>2</sup>, 星野 貴弘<sup>2</sup>

\*Hirotsugu Kato<sup>1</sup>, Yoshio Hamamatsu<sup>2</sup>, Takahiro Hoshino<sup>2</sup>

**Abstract:** In the Personal Rapid Transit system and Automated Guided Vehicle system, it is formed a queue at a merging section to avoid collision of vehicles. Vehicles are often connected at merging section . We analyze the merging section and examine effect of the limit of number of waiting vehicles.

1. はじめに

本研究は個別輸送システム (Personal Rapid Transit, PRT) や自動搬送システム (Automated Guided Vehicle System, AGVS) の合流部を対象としている。このシステムでは合流部において本線と副線の 2 方向から車両が同時に到来することがある。この場合には衝突を避けるため非優先路の車両を待たせ、本線からの到来車両が存在しないときに副線の車両を合流させる方式をとっている。しかし、工場内の AGVS などにおいて別々に搬送されてきた異なる部品を連結させて走行させることが考えられる。本研究では合流部において車両を連結する場合について検討する。

2. 合流部モデル

Fig.1 に合流部概略図を示す。それぞれの路線を Line1, Line2 及び Line3 とする。Line1, Line2 上に合流点から等距離の位置に車両の到来を検知するチェックポイント (Check Point:CP)CP<sub>1</sub>, CP<sub>2</sub> を置く。車両は Δt ごとに 1 セル移動する。車両の到来は Δt 毎に観測する。Δt 内に到来する車両は最大 1 台である。車両が CP に到達したとき、他方の車両が CP に存在する場合、それぞれの CP 上の車両を連結して出力させる。片方の路線のみ車両が到来した場合は Δt の間停止する。しかし、実際には敷地面積などを考慮する必要があるため、Line1, Line2 それぞれの制限台数を m 台, n 台とし、待ち車両がこ

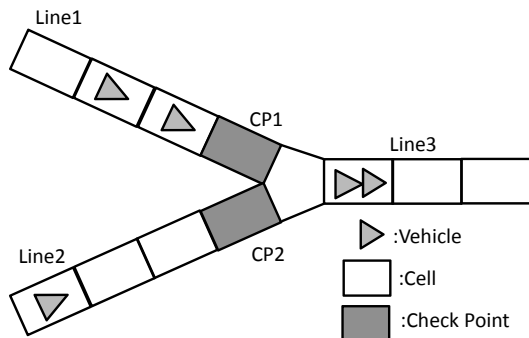


Fig. 1: Schematic diagram of the merging section.

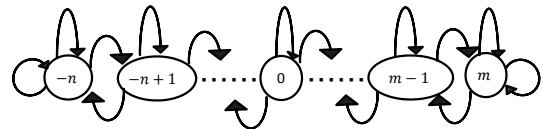


Fig. 2: State transition diagram of the Markov model.

れを超える場合には停止せずに 1 台で出力するものとする。Line1, Line2 に車両が到来する確率をそれぞれ  $p_1, p_2$  とし、車両が到来しない確率をそれぞれ  $q_1 (= 1 - p_1), q_2 (= 1 - p_2)$  とする。

< 2.1 > 状態定義 本研究はマルコフ連鎖の手法を用いて解析を行う。Line1, Line2 の双方に同時待ち行列ができることができない。このため、 $k$  台の待ち車両が存在するときの状態を  $\pm k$  とする。ただし、状態が正の時は Line1 に、負の時は Line2 に待ち車両が存在するものとする。Fig.2 にマルコフ連鎖モデルの状態推移図を示す。

3. 解析

マルコフ連鎖の推移確率行列を  $R$ , 極限状態において状態  $i$  である確率を  $P_i$  としたときの極限状態確率分布  $P$  を (1) 式で定義すると  $P_i$  は (2) 式, (3) 式より求められる。

$$P = [P_{-n} \ P_{-n+1} \ P_{-n+2} \ \dots \ P_{m-1} \ P_m] \tag{1}$$

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

$$\sum_{i=-n}^m P_i = 1 \tag{3}$$

ここで  $a = p_1q_2, b = p_2q_1$  とすると  $P_i$  は

$$P_i = (a/b)^{n+i} P_{-n} \quad (-n \leq i \leq m) \tag{4}$$

となる。上式と (3) 式より、 $p_1 \neq p_2$  のとき

$$P_{-n} = \frac{1 - a/b}{1 - (a/b)^{n+m+1}} \tag{5}$$

となる。また、 $p_1 = p_2$  のとき

$$P_i = \frac{1}{n + m + 1} \quad (-n \leq i \leq m) \tag{6}$$

1:日大理工・院・電気 2:日大理工・教員・電気

と求められる。これより Line1 の平均待ち台数  $L_1$  は、期待値の定義式より

$$L_1 = \sum_{i=n}^m (i-n)P_{-n} = \begin{cases} \frac{a-(a/b)^{m+1}}{b-a}; p_1 \neq p_2 \\ \frac{m(m+1)}{2(n+m+1)}; p_1 = p_2 \end{cases} \quad (7)$$

と求まる。Line1 の平均待ち時間  $W_1$  はリトルの公式より

$$W_1 = L_1/p_1 \quad (8)$$

となる。また、単位時間あたりに Line1 の車両が 1 台で出力する確率  $P_{e1}$  を考える。 $P_{e1}$  は Line1 の制限待ちである状態  $m$  の時に Line1 のみに車両が到来した場合なので

$$P_{e1} = aP_m \quad (9)$$

となる。これより Line1 における到来台数に対する 1 台での出力割合  $\varepsilon_1$  は

$$\varepsilon_1 = P_{e1}/p_1 \quad (10)$$

と表される。また、Line2 についても同様に

$$L_2 = \begin{cases} \frac{b-(b/a)^{n+1}}{a-b}; p_1 \neq p_2 \\ \frac{n(n+1)}{2(n+m+1)}; p_1 = p_2 \end{cases} \quad (11)$$

$$W_2 = L_2/p_2, P_{e2} = bP_{-n}, \varepsilon_2 = P_{e2}/p_2 \quad (12)$$

となる。また、合流部全体の到来台数に対する 1 台での出力割合  $\varepsilon_d$  は次式で求められる。

$$\varepsilon_d = (P_{e1} + P_{e2})/(p_1 + p_2) \quad (13)$$

#### 4. 考察

Fig.3 は Line2 の到来確率に対する平均待ち時間のグラフである。 $p_1 = 0.3, m = 7$  一定とした。グラフより、 $n$  にかかわらず  $p_2$  が増加するとともに  $W_1$  は減少する。これは Line2 の CP に車両が存在する確率が増加すると Line1 の車両が CP に到来したとき待つことなく連結して出力できるからである。一方で  $W_2$  は極値を持つ。これは Line2 の車両が多く到来するほど 1 台で出力される確率が増えるため、待ち時間は減少すると考えられる。

次に、Fig.4 は条件を Fig.3 と同じにして、 $\varepsilon_d$  の変化を示したものである。 $p_2 \gg p_1$  の時は CP2 に車両が存在し続ける状況が続き、 $p_2 \ll p_1$  の時は CP2 に車両が存在しない状況が続く。このため  $p_1$  と  $p_2$  の差が大きいとき (この条件では  $|p_1 - p_2| > 0.1$  のとき)、 $\varepsilon_d$  は  $n$  に依存しないと考えられる。反面、 $p_2 \simeq p_1 = 0.3$  の時を見ると  $\varepsilon_d$  は  $n$  に依存している。特に  $p_2 = p_1$  の時に  $\varepsilon_d$  は最小となる。 $n$  が大きくなるほど  $\varepsilon_d$  の最小値も小さくなり、0 に近づく。しかし、Fig.3 より  $p_2 \simeq p_1 = 0.3$  の

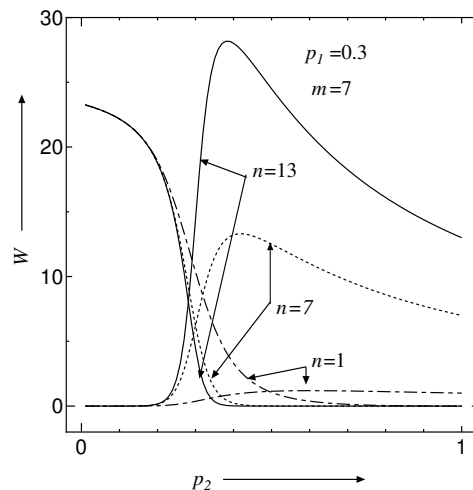


Fig. 3: Numerical example of  $W$  versus  $p_2$ .

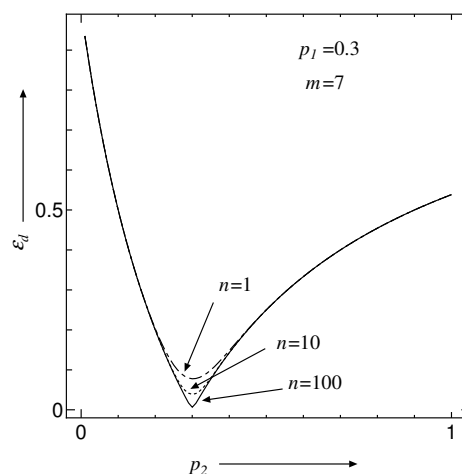


Fig. 4: Numerical example of  $\varepsilon_d$  versus  $p_2$ .

時を見ると、 $W_2$  は  $n$  に依存して大きく増加することがわかる。したがって、実際に AGVS などに適用する場合、 $W_2$  が大きくなり、生産能率の低下につながるため注意が必要である。

#### 5. まとめ

本研究では輸送システムの合流部をマルコフ連鎖を用いて数理モデル構築し、平均待ち台数や平均待ち時間などの車両挙動に関する諸量を解析的に陽の形で求めることができた。その結果、各路線の到来確率がほぼ等しいときは制限台数を増やした時に 1 台での出力割合が減少することがわかった。今後の課題は待ち時間を減らす方法を検討することや合流部において 3 台以上の車両を連結させる場合の解析である。

#### 参考文献

- [1] 荒屋真二：「新交通システムと自動運転制御」, 電気通信学会誌, 64, 1 (1981)
- [2] 高橋幸雄：「マルコフ解析」, 朝倉書店 (1979)