



Title	個別軌道輸送システムの平面交差制御方式とその解析
Author(s)	栗原, 正仁; 中田, 勝啓; 加地, 郁夫
Citation	北海道大學工學部研究報告, 114, 13-23
Issue Date	1983-05-31
Doc URL	http://hdl.handle.net/2115/41789
Type	bulletin (article)
File Information	114_13-24.pdf



[Instructions for use](#)

個別軌道輸送システムの平面交差制御方式とその解析

栗原正仁 中田勝啓* 加地郁夫

(昭和57年12月27日受理)

Control Algorithm and Traffic Analysis of PRT Gradedcrossed Interchange

Masahito KURIHARA, Katsuhiko NAKADA, and Ikuo KAJI

(Received December 27, 1982)

Abstract

A gradedcrossed interchange of a personal rapid transit system (PRT) is modeled and its control algorithm based on a "first-come first-served" principle is given. The validity of the model and possible uses of the algorithm are discussed.

Several measures of effectiveness, such as expected delay, abort rate and throughput, are obtained explicitly by using conventional Markov chain analysis.

1. はじめに

本論文で対象とするシステムは新交通システム⁵⁾の一つに分類されている個別軌道輸送システム(PRT)である。制御方式としては、CVS⁶⁾などが採用し、最もポピュラーと考えられる点追従制御(Point-follower control)⁵⁾で、さらに移動セル(Moving target, 以下MTと略)の乗換えを許す準同期制御方式(Quasi-synchronous control)⁵⁾を考える。このようなシステムで車両が平面交差を行うための制御方式を述べ、そのトラヒック解析を行う。

PRTの交差点に関する従来の研究は、ほとんどシミュレーションに頼っており、モデルの精密さに利点があるものの、交差点のトラヒック特性を十分に解明しているとはいえない^{3,4)}

浜松らは、走行路上のチェック・ポイント(以下CPと略)の手前に、車両がMT乗換えを行うことにより待ち行列ができるものと考え、これを待ち行列理論により解析している^{1,2)}。モデルとしては、低速路から分岐した車両が高速路に合流する場合を想定し、合流部で車両が衝突しそうな場合には、高速路上の車両を優先し、低速路上の車両にMT乗換えを行わせている。

いずれにせよ、以上の文献ではすべて交差部は立体交差となっている。しかし、CVSのように低速路を密に張りめぐらすシステムでは、低速路同志の交差は平面交差を想定しており、その制御方式を評価する必要がある。

本研究では平面交差を行う場合の十字路のトラヒック特性を明らかにする。交差する二つの路線は優先度の差がなく、交差部または合流部で競合が発生した場合は先着順にMTを割り当てる。

前方および後方への MT 乗換え回数は両路線とも等しく制限されており、この制限を越える場合には強制的に迂回させられる。

このようなモデルをマルコフ連鎖(一次元乱歩)として定式化し解析する。これにより、MT 乗換え回数の分布、迂回率、スループットと車両運行密度との関係を明らかにする。

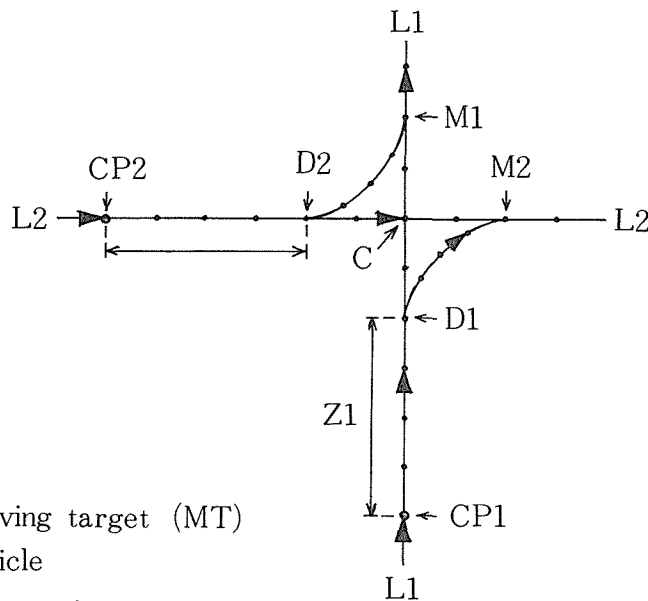
2. 平面交差モデル

2.1 交差点の形態

図1に平面交差路の概念図を示す。本線(main line)1と本線2が点Cで平面交差している。本線1から2、または本線2から1へ分岐・合流するために側線D1-M2及びD2-M1が設けられている。D1, D2を分岐点(diverge point), M1, M2を合流点(merge point)という。

本線上、分岐点の手前にチェックポイント(check point)CP1, CP2が設けられている。CP1-D1間, CP2-D2間を乗換え区間(manoeuvring zone)という。

本線および側線上では、計算機により生成された仮想的なセル(moving target, MT)が移動している。隣接するMTの時間間隔を Δt とする。時刻 $i\Delta t$ ($i=\dots, -2, -1, 0, 1, 2, \dots$)にCP1またはCP2を通過したMTの番号を i とする。番号の等しいMTは本線の交点C及び本線と側線の合流点M1, M2で同期する⁹⁾



- moving target (MT)
- ▶ vehicle
- C cross point (gradecrossed)
- M_i merge point
- D_i diverge point
- CP_i check point
- Z_i manoeuvring zone
- L_i main line

図1 PRT 平面交差路の概念図

車両は割り当てられている MT に正確に追従しながら走行する。ただし、交点 C または合流点 M1, M2 で MT の競合が起きている場合には後述のように適当に MT を乗換えて衝突を回避する。

2.2 MT 乗換えの制御方式

チェックポイントに到来した車両は、チェックポイントを通過する時点で、計算機により必要に応じて MT 乗換えの指令を受ける。MT 乗換えの指令を受けた車両は、乗換え区間内で適当な速度パターンに従って加減速をし、分岐点に達するまでには乗換えを完了する。

図2の曲線は後方へ1セルだけ乗換えるときのパターンである。CPを通過するまでは番号1のMTに割り当てられていた車両が、CPを通過したときに計算機により、番号2のMTに乗換えるように指令を受けている。この車両は乗換え区間内で後方へ1セルだけ乗換えを行い、分岐点に達するまでには番号2のMTへの乗換えを完了する。

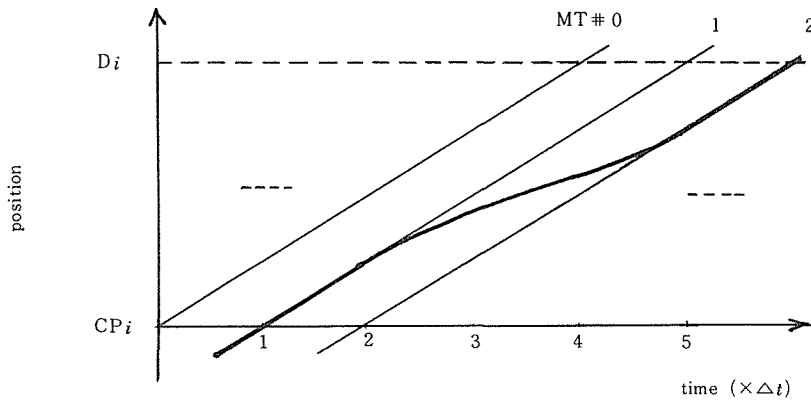


図2 MT 乗換えのパターン

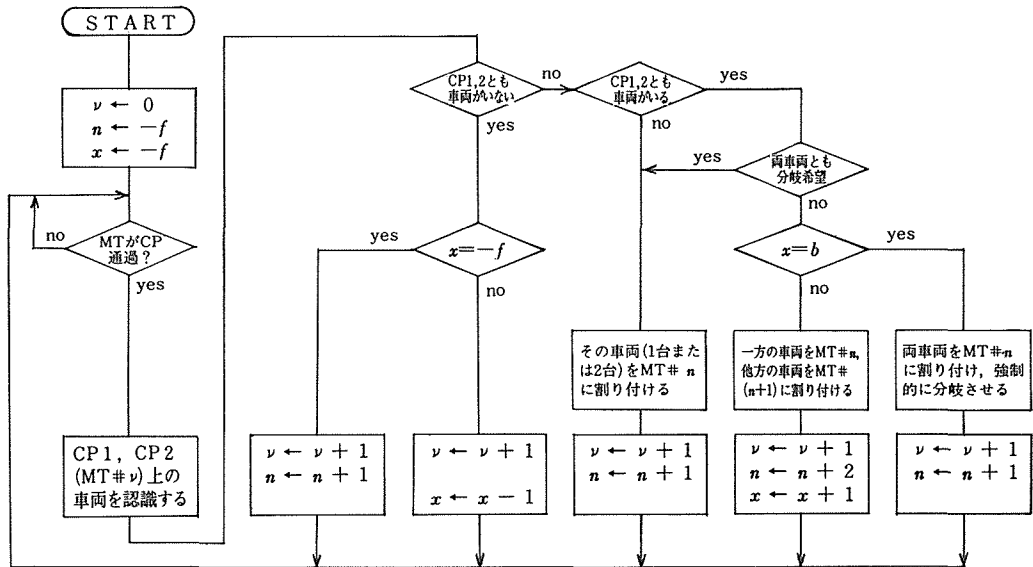


図3 交差点制御アルゴリズム

MTの乗換えセル数の上限に制約をつける。前方へは最大 f セル、後方へは最大 b セルまで乗換えることができるものとする。 f, b は車両の加減速度、乗換え区間の長さ、走行速度の上下限などにより決まる。(走行速度の下限は渋滞を発生させないために必要で、MTの時間間隔 Δt や車体の長さなどで決まる。)

後方への乗換えセル数が b を越えそうなときは、本線1, 2上の競合している両車両とも強制的に分岐(右左折)させる。それにより乗換えセル数を b にする。

MTの割り付け方を図3に示す。図において、 ν は次にチェックポイントを通過するMTの番号である。 n は乗換えセル数の制限内で割当て可能なMTの番号の集合のうち最小のもの、すなわち、できるだけ前方のものである。 x は後方への乗換えセル数を正、前方への乗換えセル数を負で表したとき、現在可能な乗換えセル数の下限を表すもので、 $x = n - \nu$ で与えられる。MT# n は番号 n のMTのことである。計算機は次に到来するMT# ν 上にもし車両があれば、その車両に対してMT# n に乗換えるよう指令を出そうとしている。換言すれば、後方へ x セルだけ乗換える

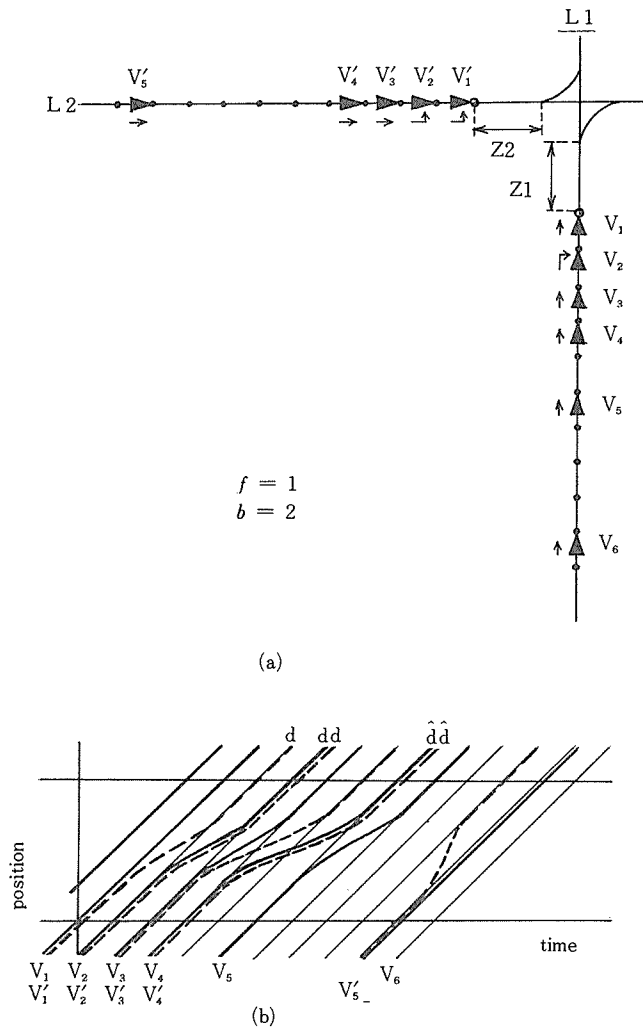


図4 MT乗換えの例

よう指令を出そうとしている。ただし、本線 1 上の MT# ν にも本線 2 上の MT# ν にも車両があり、かつ、少なくとも一方が直進希望車のときは衝突が生ずるので、一方を MT# n 、他方を MT# $(n+1)$ に乗換えさせる。しかし、 $x=b$ のときには、MT# $(n+1)$ に乗換えるよう指令を受けた車両は後方へ $(b+1)$ セル乗換えることになり、制限を越えてしまう。この場合には両車両とも MT# n に乗換えるよう指令を出し、両車両とも分岐(右左折)させる。これにより、乗換えセル数の制約も満たされ、衝突も回避できる。但し、直進希望車は強制的に分岐させられることになるので、他のルートを通して目的地へ向うことになる。

このような MT 割り付け方式を先着方式という。本線 1 の MT# ν 上の車両が MT# n に乗換えるよう指令を受け、他方の本線 2 の MT# ν' 上の車両が MT# n' に乗換えるよう指令を受けたとする。先着順の意味は、 $\nu < \nu'$ ならば $n < n'$ 、 $\nu > \nu'$ ならば $n > n'$ が成り立つということである。但し、 $\nu = \nu'$ で一方が直進希望車のときは、 $n = n'$ としては衝突が越える。この場合に $n < n'$ とすべきか $n > n'$ とすべきかは任意とする。

図 4 に MT 乗換えの例を示す。図 4(a) では到来する各車両が直進希望であるか分岐希望であるかを矢線記号で示している。このようなパターンで車両が到来した場合、 $f=1$ 、 $b=2$ に制限すると乗換えは図 4(b) のように行われる。図 4(b) では本線 1 上の車両のパターンを実線で、また本線 2 上の車両のパターンを破線で示している。記号 d は分岐点で分岐したことを表す。特に \hat{d} は直進希望であるにもかかわらず強制的に分岐させられたことを示す。車両 V_4 、 V_4' がその例である。 V_4 、 V_4' は共に直進希望車であるが、一方を直進させると他方は MT を 3 つ乗換えてしまうことになり、制限を越える。従って両車両とも分岐させることとし、同じ MT に割り付けている。また、 V_5' は V_6 より優先されて MT を前方に乗換えているが、本論文ではチェックポイントに同時に到着した場合の優先方式は任意としているので、この例では V_5' と V_6 のパターンを入れ換えてもよい。

2.3 議 論

上記モデルはかなり簡単なものであるが、このモデルの有効性について議論する。

高速路が立体交差をするような大きな交差点の場合には種々の研究があり、本論文のように分岐点の手前で乗換える方式の他に、分岐点通過後に乗換える方式がある。後者の場合には先着順ではなく精細なスケジューリングを行うことによりトラヒック特性を向上できることが報告されている^{3,4)}しかし、本稿で扱っている交差点は平面交差によって低速路どうしが交差するもので、市街に密に配置される小さな交差点を想定している。従って、分岐点-合流点間 (D1-M2, D2-M1) および分岐点-交点間 (D1-C, D2-C) の距離は短く、分岐点通過後の乗換えは難かしいと考えられる。そのため、分岐点の手前に乗換え区間を設置する本論文の方式が実用的であると考える。

次に、MT の割り当て方式として先着順を採用しているが、この方式は必ずしも唯一の方法でも最良の方法でもない。たとえば、図 4 の例では V_2 は MT#2 に乗換えているが、この場合、 V_2 は MT#1 に割り当てられたまま走行しても衝突せず、そのほうが望ましい。本論文の方式では時間的に遅れてチェックポイントを通過した V_2 は、それ以前にチェックポイントを通過した V_1 と同じ番号の MT には割り付けられない。従って、この先着順方式は効率の良い方式とはいえない。しかしながら、この方式はアルゴリズムが簡明なため、計算機への負荷が小さく、リアルタイムの処理には都合が良い。実際、車両密度がそれほど大きくないときには本方式でも十分である。また、このような方式に限定することによりモデルが簡明になり、種々のトラヒック特性の厳密

式を陽に求めることができる。この結果は、他の複雑な割り付け方式をシミュレーション等で評価する際の予備評価や結果を説明する手段として、また、特性の比較の基準として極めて有効であると考えられる。従って、本稿では先着順の割り付けを扱うこととし、より優れた方式の解析・評価は今後の課題としたい。

通常、立体交差となっている交差点での準同期制御では、直進希望車は必ず直進でき、強制的に分岐させられることはないが、分岐希望車は乗換えセル数が制限を越えるときには強制的に直進させられる¹⁰⁾。本論文の平面交差モデルでは逆に、分岐希望車は必ず分岐でき、強制的に直進させられることはないが、直進希望車は乗換えセル数が制限を越えるときには強制的に分岐させられる。後者のように望むなら必ず分岐できるようにした方がシステムの安定性の面で望ましいと考えられる。その理由は、図5のような典型的なネットワークを考えると、図の分岐点DでA方面へ直進を希望する車両が強制的に右折させられたとしても、その後、分岐希望を繰り返せば、分岐希望車が強制的に直進させられることはないので、図の破線で示す経路に沿って最短経路で点Dに戻ることが保証されるからである。もちろん、再び点Dに戻らずに他の経路を選んで目的地へ向かうこともできるが、最悪の場合でも最低のコストで点Dに戻り、再度直進を希望することができる。この性質は、駅に空バースがないため入駅できず本線を通じた車両が再びその駅へ最短経路で戻ってくることも保証している。逆に、点DでB方面へ右折を希望する車両が強制的に直進させられる方式の場合、その後、適当な経路により必ずB方面へ向かうことを保証するのは一般には難しい。

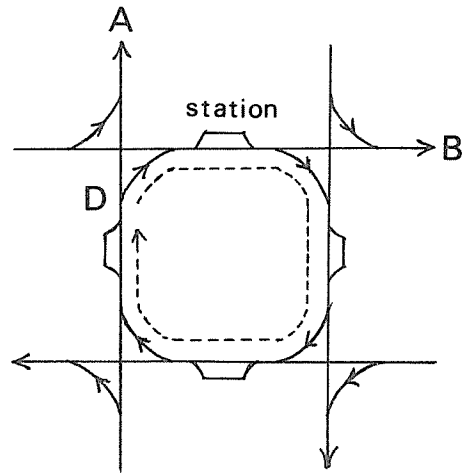


図5 PRT ネットワークの一部

3. マルコフ連鎖としての定式化と解析

3.1 状態の定義

時刻 $\nu \Delta t$ にチェックポイント CP1 または CP2 を通過する MT の番号を ν とする ($\nu=0, 1, \dots$)。時刻 $\nu \Delta t$ の直前の物理的状态に基づいて、確率過程

$$X_0, X_1, X_2, \dots, X_\nu, \dots$$

を構成する。ここで、 X_ν は時刻 $\nu \Delta t$ でチェックポイント上に車が到来したときに割り付けることができる MT の番号のうち最小のものを N_ν とするとき、次式で定義される。

$$X_\nu = N_\nu - \nu \quad (1)$$

時刻 $\nu \Delta t$ にチェックポイントを通過する車両 (2 台あるときはその少なくとも一方) は、計算機により番号 ν の MT から番号 N_ν の MT に乗換えるように指令を受ける。この車両は乗換え区間内で $N_\nu - \nu = X_\nu$ セルだけ後方に MT を乗換える。ただし、時刻 $\nu \Delta t$ にチェックポイントを通過する車両が 2 台あり、少なくとも一方が直進希望車の場合は、両方の車両を MT# N_ν に割り付けるわけにはいかない。この場合には一方を MT# N_ν 、他方を MT#($N_\nu + 1$) に割り付ける。車両はそれぞれ X_ν 、 $X_\nu + 1$ セルだけ後方に MT を乗換えることになる。

従って、 X_ν は時刻 $\nu \Delta t$ にチェックポイントを通過する車両の後方への乗換え回数の下限を表している。 $X_\nu > 0$ のときは、少なくとも X_ν セルだけ後方へ乗換える必要があり、それだけ乗換え区間を通過する時間に遅延が生ずる。 $X_\nu < 0$ のときは前方へ $|X_\nu|$ セルまで乗換えることができ、通過時間が短縮される。このように、 X_ν は時刻 $\nu \Delta t$ におけるトラヒックの状態を表している。

乗換え回数の制限により、 X_ν のとり得る値の集合は

$$\{-f, -f+1, \dots, -1, 0, 1, \dots, b-1, b\}$$

である。図3の例の場合は、初期条件を $X_0=0$ として

$$(X_0, X_1, \dots, X_{10}, \dots) = (0, 1, 1, 2, 2, 1, 1, 0, -1, -1, 0, \dots)$$

の時系列に従う。

3.2 推移確率分布

本線1に到来する任意のMTに直進希望車がいる確率を p 、分岐希望車がいる確率を q 、車両がない確率を $r=1-p-q$ とする。本線2についても同様に $p', q', r'=1-p'-q'$ を定義する。

X_ν の値が与えられた ($X_\nu=x$) とき、 $X_{\nu+1}=y$ である確率を $P(x, y)$ とする。

まず、 $-f+1 \leq X_\nu=x=n-\nu \leq b-1$ の条件の下での $X_{\nu+1}$ の分布を考える。ただし、 $N_\nu=n$ である。

時刻 $\nu \Delta t$ にチェックポイントを通過した車両の数と種類により3つに場合分けする。

(i) 本線1, 2とも車両が到来しない場合

このとき、時刻 $(\nu+1) \Delta t$ の直前で割り付け可能なMTは N_ν のままである。すなわち、もし時刻 $(\nu+1) \Delta t$ に車両が到来すれば、少なくとも1台はMT# n に割り付けられる。従って、

$$X_{\nu+1}=N_{\nu+1}-(\nu+1)=n-(\nu+1)=x-1 \quad (2)$$

$$P(x, x-1)=rr' \underline{\Delta} \mu \quad (3)$$

となる。

(ii) 本線1, 2のいずれか一方にのみ車両が到来した場合、または両方に分岐希望車が到来した場合

このとき、到来した車両はすべてMT# n に割り付けられ、時刻 $(\nu+1) \Delta t$ で割り付け可能なMTは、 $N_{\nu+1}=n+1$ となる。従って、

$$X_{\nu+1}=N_{\nu+1}-(\nu+1)=n-\nu=x \quad (4)$$

$$P(x, x)=(p+q)r'+r(p'+q')+qq' \underline{\Delta} 1-\lambda-\mu \quad (5)$$

(iii) 本線1, 2の両方に車両が到来し、かつ、少なくとも一方が直進希望車の場合

このとき、車両は番号 $n, n+1$ のMTに割り付けられるので、時刻 $(\nu+1) \Delta t$ に割り付け可能なMTは、 $N_{\nu+1}=n+2$ となる。従って、

$$X_{\nu+1}=N_{\nu+1}-(\nu+1)=n-\nu+1=x+1 \quad (6)$$

$$P(x, x+1)=pp'+pq'+qp' \underline{\Delta} \lambda \quad (7)$$

次に、 $X_\nu=n-\nu=-f$ のときを考える。このとき、(i)の状況では乗換え回数の制限により、 $N_{\nu+1}=n+1$ としなくてはならない。

また、 $X_\nu=b$ のとき、(iii)の状況では同様に、 $N_{\nu+1}=n+1$ としなくてはならない。つまり、到来車は共にMT# n に割り付けられて強制的に分岐させられる。

従って、以下の推移確率を得る。

$$P(-f, -f)=1-\lambda \quad (8)$$

$$P(-f, -f+1)=\lambda \quad (9)$$

$$P(b, b-1) = \mu \tag{10}$$

$$P(b, b) = 1 - \mu \tag{11}$$

以上により、確率過程 $\{X_n\}$ は有限マルコフ連鎖となる。図6の状態推移図からわかるように、これは一次元乱歩⁸⁾の特別な場合となっている。

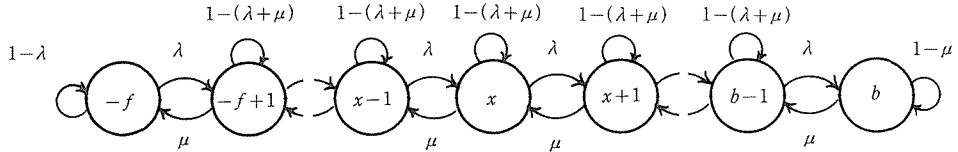


図6 状態推移図

3.3 解 析

図6のマルコフ連鎖の解析は容易なので適当なテキスト^{7,8)}を参照されたい。以下では結果のみ述べる。

[$b = \infty$ の場合] 後方への乗換えセル数を制限しない場合を概観する。

$\{X_n\}$ に平衡分布が存在するための条件、すなわち、時間が十分長く経過したときの乗換えセル数 X_n の期待値が有限であるための条件は、 $\lambda < \mu$ であるから

$$p p' + p q' + q p' < r r' = (1 - p' - q')$$

より、

$$p + q + p' + q' - q q' < 1 \tag{12}$$

となる。

このときの平衡確率分布 (MT 乗換えセル数の分布) は、

$$\pi_x = \lim_{l \rightarrow \infty} P_r \{X_n = x\} = (1 - \rho) \rho^{f+x} \quad ; x = -f, -f+1, \dots \tag{13}$$

という幾何分布となる。ただし、 ρ は

$$\rho = \lambda / \mu \tag{14}$$

で定義され、トラヒック密度と呼ぶ。

平均乗換えセル数は

$$m = \sum_{x=-f}^{\infty} x \pi_x = \rho / (1 - \rho) - f \tag{15}$$

となる。 $m < 0$ のときは前方への乗換えを表わす。 ρ は車両の到来密度 p, q, p', q' のみで決まる量である。従って、乗換えの制約 f は、分布や平均をシフトする作用しか持たないことが式(13)(15)よりわかる。

[$b < \infty$ の場合] 後方への MT 乗換えを有限回に制限した場合は次のようになる。

平衡分布は常に存在し、

$$\pi_x = \begin{cases} \frac{(1-\rho)\rho^{f+x}}{1-\rho^{l+1}} & ; \rho \neq 1 \\ \frac{1}{l+1} & ; \rho = 1 \end{cases} \tag{16}$$

ただし, $x = -f, \dots, b$

となる。平均 MT 乗換えセル数は,

$$m = \begin{cases} \frac{\rho}{1-\rho} \cdot \frac{1-(l+1)\rho^l + l\rho^{l+1}}{1-\rho^{l+1}} - f & ; \rho \neq 1 \\ \frac{l}{2} - f & ; \rho = 1 \end{cases} \quad (17)$$

となる。ただし, l は乗換えセル数の余裕を表し,

$$l = f + b \quad (18)$$

と定義される。

f は, ρ や l で決まる分布をシフトする効果があることがわかる。

本線 1 における迂回率 ε を, 定常状態で本線 1 に到来した直進希望車のうち強制的に分岐させられたものの割合と定義する。

$$\begin{aligned} \varepsilon &= \lim_{\nu \rightarrow \infty} \text{Pr} \{ \text{状態 } X_\nu = b, \text{ 時刻 } \nu \Delta t \text{ に CP 2 を車両が通過} \\ &\quad \text{時刻 } \nu \Delta t \text{ に CP 1 を直進希望車が通過} \} \\ &= \pi_b (p' + q') p / p \\ &= \pi_b (p' + q') \end{aligned} \quad (19)$$

同様に本線 2 における迂回率 ε' を定義する。

$$\varepsilon' = \pi_b (p + q) \quad (20)$$

また, 交差点の迂回率 E を, 定常状態で本線 1 または 2 に到来した直進希望車のうち強制的に分岐されたものの割合と定義する。

$$E = \frac{p\varepsilon + p'\varepsilon'}{p + p'} = \pi_b \cdot \frac{2pb' + pq' + qp'}{p + p'} \quad (21)$$

本線 1 のスループット θ とは, 定常状態で Δt 時間当り本線 1 に到来した車両台数から強制的に迂回させられた車両台数を差し引いたものと定義する。すなわち, Δt 時間当りの希望をかなえられた車両数である。本線 2 も同様に定義する。

$$\theta = p + q - \varepsilon p \quad (22)$$

$$\theta' = p' + q' - \varepsilon' p' \quad (23)$$

θ と θ' の和を交差点のスループット Θ と定義する。

$$\Theta = p + p' + q + q' - \varepsilon p - \varepsilon' p' \quad (24)$$

これまで車両の到来に関するパラメータは p, q, p', q' であったが, これを以下で定義される K, K', β, β' で表し, 結果を整理する。

$$K = p + q, \quad K' = p' + q', \quad \beta = q / (p + q), \quad \beta' = q' / (p' + q') \quad (25)$$

$$p = (1 - \beta)K, \quad q = \beta K, \quad p' = (1 - \beta')K', \quad q' = \beta' K' \quad (26)$$

K, K' は本線 1, 2 における車両の MT 占有率である。 β, β' は本線 1, 2 の到来車両のうち分岐希望車の割合である。これを用いると以下ようになる。

$$\rho = \frac{KK'(1 - \beta\beta')}{(1 - K)(1 - K')} \quad (27)$$

$$\varepsilon = \pi_b K', \quad \varepsilon' = \pi_b K \quad (28)$$

$$E = \frac{\pi_b KK'(2 - \beta - \beta')}{(1 - \beta)K + (1 - \beta')K'} \quad (29)$$

$$\theta = [1 - \varepsilon(1 - \beta)]K, \quad \theta = [1 - \varepsilon'(1 - \beta')]K' \quad (30)$$

$$\Theta = K + K' - \pi_b KK'(2 - \beta - \beta') \quad (31)$$

3. 4 立体交差点

立体交差点の場合は、本線 1, 2 ともに直進希望車の場合には MT の競合が生じないことを除けば、平面交差の場合と同様に定式化・解析ができる。後方への乗換えが制限を越えるときの処置としては、本線 1, 2 への到来車をともに分岐させる方式の他にともに直進させる方式がある。しかし、2. 3 の議論から、ここではともに分岐させる方式を採用する。

$$\hat{\lambda} = pq' + qp' \quad (32)$$

$$\hat{\mu} = rr' \quad (33)$$

$$1 - (\hat{\lambda} + \hat{\mu}) = pp' + (p + q)r' + r(p' + q') + qq' \quad (34)$$

とすれば状態推移図は図 6 の λ, μ を $\hat{\lambda}, \hat{\mu}$ で置き換えたものとなる。解析結果は以下のようになる。

$$\hat{\rho} = \frac{KK'(\beta + \beta' - 2\beta\beta')}{(1-K)(1-K')} \quad (35)$$

$$\hat{\pi}_x = \begin{cases} \frac{(1-\hat{\rho})\hat{\rho}^{l+x}}{1-\hat{\rho}^{l+1}} & ; \hat{\rho} \neq 1 \\ \frac{1}{l+1} & ; \hat{\rho} = 1 \end{cases} \quad (36)$$

$$\hat{m} = \begin{cases} \frac{\hat{\rho}}{1-\hat{\rho}} \cdot \frac{1-(l+1)\hat{\rho}^l + l\hat{\rho}^{l+1}}{1-\hat{\rho}^{l+1}} - f & ; \hat{\rho} \neq 1 \\ \frac{l}{2} - f & \end{cases} \quad (37)$$

$$\hat{\varepsilon} = \hat{\pi}_b \beta' K' \quad (38)$$

$$\hat{\varepsilon}' = \hat{\pi}_b \beta K \quad (39)$$

$$\hat{E} = \frac{\hat{\pi}_b KK'(\beta + \beta' - 2\beta\beta')}{(1-\beta)K + (1-\beta')K'} \quad (40)$$

$$\hat{\theta} = [1 - \hat{\varepsilon}(1 - \beta)]K \quad (41)$$

$$\hat{\theta}' = [1 - \hat{\varepsilon}'(1 - \beta')]K \quad (42)$$

$$\hat{\Theta} = K + K' - \hat{\pi}_b KK'(\beta + \beta' - 2\beta\beta') \quad (43)$$

なお、

$$\rho - \hat{\rho} = \frac{K(1-\beta)}{1-K} \cdot \frac{K'(1-\beta')}{1-K'} \geq 0 \quad (44)$$

であるから、車両の到来頻度を表わすパラメータ K, K', β, β' が一定のときには、平面交差の場合のトラヒック密度 ρ より立体交差の場合のトラヒック密度 $\hat{\rho}$ が小さくなり、明らかに立体交差の方がトラヒック特性がよい。しかし、MT 占有率 (K または K') が十分小さいときや、分岐希望車の混入率 (β または β') が十分 1 に近いときには、 $\rho \approx \hat{\rho}$ となり、立体交差のメリットがなくなる。

4. む す び

個別軌道輸送システム (PRT) の平面交差点をモデル化し、基本的な制御アルゴリズムを示した。このモデルとアルゴリズムは簡単ではあるが、平面交差を行うような小さな交差点では十分

実用的であることを議論した。次に、このモデルをマルコフ連鎖として定式化し、解析することにより、MT 乗換え回数の分布と平均、迂回率、スループットに対する表式を陽な形で得た。

今後の課題として、より高度の制御アルゴリズムを導入した場合のトラヒック特性を考察したい。

参 考 文 献

- 1) 浜松, 中田, 加地, 土肥: "個別軌道輸送システム十字路口付近のモデル化とその解析", 信学論(A), J 64-A, 10, pp. 835-842 (昭 56-10)
- 2) 浜松, 栗原, 中田, 加地: "個別軌道輸送システム合流部における車両待ち時間の解析", 信学論(A), J 65-A, 11, pp. 1144-1151 (昭 57-11)
- 3) F. J. McGINLEY: "A survey of quasi-synchronous P. R. T. interchange control algorithms", Transportation Planning and Technology, 3, pp. 233-245 (1977)
- 4) F. J. McGINLEY: "An intersection control strategy for a short-headway P. R. T. network", Transportation Planning and Technology, 3, pp. 45-53 (1975)
- 5) 荒屋: "新交通システムと自動運転制御", 信学誌, 64, 1, pp. 43-49 (昭 56-01)
- 6) 石井: "CVS (Computer-controlled Vehicle System)", 信学誌, 56, 12, pp. 1656-1659 (昭 48-12)
- 7) 加地: "システム工学", pp. 154-158 (昭 48), 朝倉書店
- 8) S. カーリン: "確率過程講義", pp. 30-33 (昭 49), 産業図書
- 9) 機械振興協会: "CVS 技術レポート" (昭 52)
- 10) F. Rubin: "Routing algorithms for urban rapid transit", Transpn Res., 9, pp. 215-223 (1975)
- 11) 栗原, 中田, 加地: "点追従制御方式をとる個別輸送システム CVS の運行シミュレータ, 北海道大学工学部研究報告, 106, pp. 4-56 (昭 56-11)
- 12) 栗原, 中田, 加地: "CVS 多バース駅モデルのマルコフ再生理論による解析", 信学論(A), J 64-A, 9, pp. 715-722 (昭 56-09)
- 13) 栗原, 中田, 加地: "状態部分集合での再帰時間を考慮したマルコフ再生理論による CVS 多バース駅モデルの解析", 信学論(A), J 65-A, 7, (昭 57-07)