

**ETC シミュレータの開発**  
**—ETC レーンにおける車両通過モデルの構築—**  
**Development of ETC Simulator**  
**—Vehicle Passing Model Construction in ETC Lane—**

○岡村 直樹<sup>1</sup>, 泉 隆<sup>2</sup>  
 \*Naoki Okamura<sup>1</sup>, Takashi Izumi<sup>2</sup>

Abstract: The ETC is operated in the expressway. ETC is automatic payment system by wireless telecommunications in expressway toll gate. It was set up to reduce the traffic jam in the toll gate. To operation verification of ETC lane system, we develop an ETC simulator. Here we describe construction of vehicle passing model in ETC lane.

### 1. まえがき

ノンストップ自動料金支払いシステム ETC (Electronic Toll Collection System) が各高速道路料金所に設置・運用されている。ETC には、料金所付近の渋滞緩和をはじめとした様々な効果がある[1]。ETC は今後より高機能、高信頼、高稼働率であることが要求され、省スペース・低コストであることが望まれる。

これを受け、本研究では、①既存の ETC システムの動作検証のほか、②ETC システムの高機能化や、③低コスト化を目的とした新たに構成するシステムの事前検証を目的に、ETC シミュレータの開発を行っている。これまでに、ETC 構成機器の一つである車両検知器に着目し、ETC 車両検知器シミュレータを開発した[2]。

本報告では、よりシステムマティックに ETC レーンシステムモデルを記述するため、状態遷移モデルによる車両通過モデルの構築について検討した。これにより、①システムの動作検証手順の明確化、及び②車両検知器以外の ETC 構成装置への拡張が容易になると考える。

### 2. 車両通過モデル

ETC レーンでは、車両の移動に合わせて ETC を構成する各装置が動作する。この中で、車両検知器は ETC レーン内における通過車両の位置を特定し、車両検知情報は車線制御装置を經由して各構成装置へ動作タイミングを送信する役割を持つ。ETC シミュレーションは、車両の移動に従って ETC システムの動作を模擬するものである。すなわち、ETC レーン上の各車両検知器と通過車両の位置の関連付けが必要となるため、これらに関連付ける車両通過モデルの構築を行う。

車両の移動をパターン化する車両通過モデルを構築することによって、異常状態（モデルに当てはまらない移動パターン）の検出等にも応用できると考える。

### 3. 状態遷移モデル

車両通過モデルの構築は状態遷移モデルを用いて行う。状態遷移モデルは動的モデルの一種であり、イベントに応じて振る舞いを変化させるシステムを状態遷移図または状態遷移表により表現したモデルである。

状態遷移モデルには以下の 4 つの構成要素が存在し、「現在の状態（どこにいる）」と、この状態に対する入出力と状態遷移とからなる。

状態：システムで定義される状態

入力：システムに入力される外的要因や内的変化

状態遷移：現在の状態と入力による状態変化

出力：現在の状態と入力に伴う出力（処理または制御）

### 4. 車両通過モデルの構築

はじめに対象とするシステムと条件を示し、「状態」「入力」「状態遷移」「出力」の要素ごとに車両通過に関する状態遷移を定義し、状態遷移図を作成する。

Table 1. Operation of the target system.

対象システム	システムの動作（処理）
車両検知器 S1	車両を検知 OFF→ON 時に無線通信装置にトリガ信号「通信開始」を送信 (t1)
車両検知器 S2	車両を検知 OFF→ON 時に無線通信装置にトリガ信号「通信終了」を送信 (t2) OFF→ON 時に発進制御装置にトリガ信号「制御棒開」を送信 (t3)
車両検知器 S4 (2 連車両検知器 S4a-S4b)	車両を検知 ON→OFF 時に発進制御装置にトリガ信号「制御棒閉」を送信 (t4)
無線通信装置	トリガ信号により動作
発進制御装置	トリガ信号により動作
通過車両	ETC レーンを通過 ETC レーン上の通過車両は 1 台以下

4. 1. 対象システムと条件

表 1 に示すシステムを対象に、車両通過モデルを構築する。ETC レーンの構成は図 1 のように想定し、通過車両の車長を  $x$ 、車両検知器 S1 と S2、S2 と S4 の設置間隔を  $d1$ 、 $d2$  とする。  $x$  が  $d1$ 、 $d2$  以上のとき、通過車両を複数の車両検知器が同時に検知する場合が存在する。

4. 2. 状態

状態は、車両位置により定義する (図 1)。ここで、 $P_i$  は車両がいずれの車両検知器にも検知されていない状態であり、 $S_i$  は車両が車両検知器  $S_i$  に検知されている状態である。

状態集合  $Q = \{P0, P1, P2, P3, S1, S2, S4, S1S2, S2S4, S1S2S4\}$

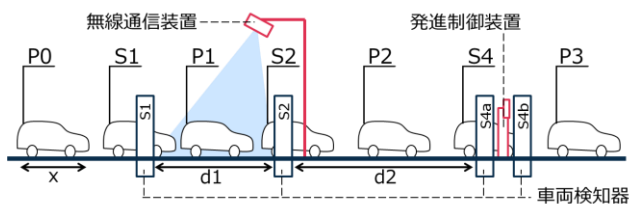


Figure 1. Configuration of ETC lane and vehicle position state.

4. 3. 入力

入力は、各車両検知器(S1,S2,S4)のサンプリング時間ごとの検知状態(検知 1/非検知 0)とする。なお、2 連車両検知器の検知状態はセンサ a と b の論理和とする。

入力集合  $X = \{000, 100, 010, 001, 110, 011, 111\}$

4. 4. 状態遷移

状態遷移は、状態から状態への移り変わりであり、状態遷移関数  $\delta$  により定義する。状態遷移関数  $\delta$  は、現在の状態  $Q$  と入力の組み合わせ  $X$  により次の状態  $Q'$  が決まる関数である。

$$\text{状態遷移関数 } \delta : X \times Q \rightarrow Q'$$

4. 5. 出力 (処理)

出力は無線通信装置および発進制御装置へのトリガ信号の送信  $t1 \sim t4$  (表 1) とし、出力関数  $\omega$  により定義する。出力関数  $\omega$  は、現在の状態  $Q$  と入力の組み合わせ  $X$  により出力  $Z$  が決まる関数である。

$$\text{出力関数 } \omega : X \times Q \rightarrow Z$$

4. 6. 状態遷移図

これまでに述べた「状態」「入力」「状態遷移」「出力」をもとに作成した状態遷移図を図 3 に示す。実線は順走行、破線は逆走行の状態遷移を表している。このように、車両検知器の検知情報により、車両 1 台の移動についての状態遷移は本モデルにより表現できた。

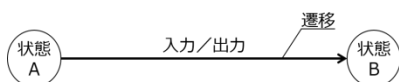


Figure 2. Description method for state transition diagram.

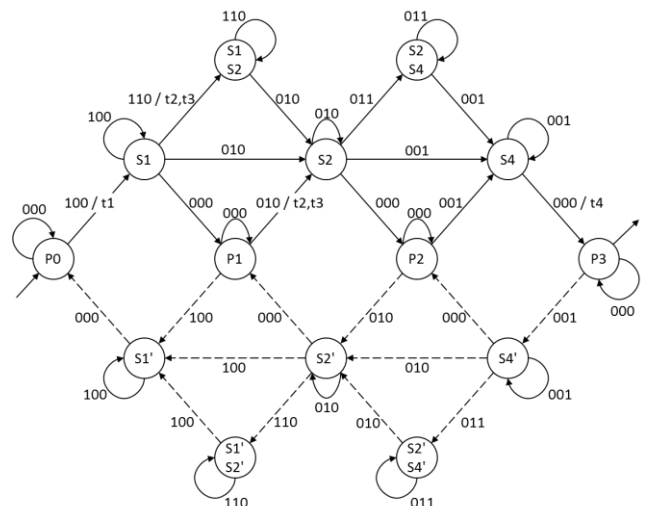


Figure 3. State transition diagram of vehicle passing

5. 車両通過モデルによる異常状態の検出

ETC レーンでは ETC カード未挿入等による車両の停止・逆走行や、車両検知器に飛来物 (ごみ、落葉等) が付着し車両検知状態となる誤検知等の異常状態が発生する可能性がある。そこで、車両通過モデルを用いた異常状態の検出について述べる。

車両の逆走行は図 3 において破線で示した状態遷移に対応する。つぎに、飛来物による誤検知について例を示す。状態  $P0$  において、 $010$  が入力された (車両検知器  $S2$  が検知状態になった) 場合、状態遷移は定義されていない。ここで、図 3 から、状態  $P0$  における入力は  $000, 100$  のいずれかであり、車両検知器  $S2$  において誤検知が起きたことを検出できる。

6. まとめ

ETC システムにおける車両の移動と車両検知器の関係について、状態遷移図を用いて、車両通過状態遷移モデルの構築を行った。本モデルにより、車両 1 台ごとの車両検知器情報による車両位置状態が表現できた。また、本モデルが ETC レーンにおける異常状態の検出に応用できることを示した。

今後は、複数の車両が通過する場合のモデル化や、本モデルへの時間関係の導入について検討する。

最後に、本研究にご協力いただく首都高速道路(株)関係各位に感謝いたします。

7. 参考文献

[1] ORSE : 「ETC 便覧」 (2012)  
 [2] 岡村, 荒川, 泉, 及川 : 「ETC 車両検知器シミュレータの開発—プロトタイプ的设计と開発—」, 電気学会全国大会, 4-206(2014-03)