

交通流のペトリネットシミュレーションシステムにおける大型車の取り扱い法

Algorithm for Heavy Vehicles in Petri-net Simulation System of Traffic Flow

木保 昇*, 高木 秀彰**, 黒川 浩嗣***

By Noboru KIMATA, Hideaki TAKAKI, Hiroshi KUROKAWA

1. はじめに

ペトリネットとは、主に離散事象システムのモデル化に用いられる概念である。前論文¹⁾では、このペトリネットという手法を連続系の交通流のシミュレーションに適用することを提案し、ペトリネットの特長を活かした交通流シミュレーションシステム開発の基礎的研究を行った。

ここでは、5つの基本部分ペトリネットの作成とそれらの結合化による交差点ペトリネットのシミュレーション法を示した。この研究では、発表時にコメントを頂いたように、大型車の取り扱いに課題がある。即ち、ペトリネットでは、現象を離散的に捉える必要があり、車両の進行を、閉塞区間の移動としてモデル化したが、この閉塞区間を普通車が1台存在することができる空間(6.7m)と定義すれば、大型車には短すぎるという問題である。この課題の解決は、バス交通を考慮した公共輸送システムを問題とする場合にも重要となる。

大型車をペトリネットでモデル化するには、2つの方法が考えられる。1つは、大型車をカラートークン1個で表し、識別可能とし、閉塞区間は少し大きめにし、近似的にモデル化する方法、いま1つは、閉塞区間を従来通りに定義し、大型車は2閉塞区間を占有するモデル、つまり、大型車を連続した2個のトークンでモデル化する方法である。前者は、閉塞区間の大きさとシミュレーション精度との関係に問題は残るが、技術的には既に開発したシステムで対応できる。後者については技術的課題があり、本

研究では後者の問題に挑戦する。

トークン2個で大型車1台をモデル化するには、①2個の連続トークンを発生することが可能な発生モデルの作成、②連続したトークンが信号などの抑止や分岐によって分割されない工夫が必要となる。そこで、2.では、まず、これらの部分モデルの作成について、次に、3.では、大型車を導入したために必要となるアルゴリズムの修正について、最後に、4.で、修正したアルゴリズムの検証を作成した大型車を含むペトリネットモデルを使って示す。

2. 大型車のペトリネットモデル

(1) 大型車の発生と進行のペトリネットモデル

本節では、図-1のように大型車を連続した2個のトークンでモデル化するために、トークンを2個発生させる大型車の発生モデルの作成と、2個のトークンの連続進行モデルについて述べる。

大型車の発生モデルは、大型車がシステムに到着したときだけトークンが2個発生し、普通車の到着の場合は今まで通りトークンが1個発生するもの考える。これは、普通車と大型車が混在することを考えているためである。次に、大型車を表す2個のトークンに前後の区別を設け、大型車の前半、後半が識別できるようにする。それは、大型車の後半を表すトークンにはブレースタイマを与えず、前半のトークンに続いて移動できるようにブレースタイマ処理を行う必要があるからである。作成した大型車の発生ペトリネットモデルを図-2に示す。

図-2では、p0で発生したトークンに対して、t0でカラーが生成される。そして、p1には大型車または普通車を示すカラートークンがマーキングされる。そのカラーによって、大型車ならばp3へ、普通車ならばp4へトークンは移動する。p3にマーキングされ

キーワード：交通流、公共交通運用、計画手法論、

* 正会員 工博 金沢大学教授 工学部基礎工学教室

** 学生会員 金沢大学大学院 自然科学研究科 システム科学専攻

*** 学生会員 金沢大学大学院 工学研究科 土木建設工学専攻
(〒920 金沢市小立野2-40-20 ☎0762-34-4914 FAX0762-34-4915)

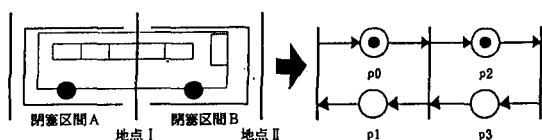


図-1 大型車の閉塞区間

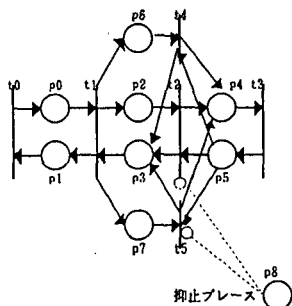


図-3 抑止部分の改良ペトリネットモデル

た大型車を表すトークンは、 t_2 , t_4 を発火させ、 p_5 , p_6 にトークンがマーキングされる。この時、 t_2 と t_4 はカラーを生成し、前述したように、 p_5 には大型車の前半を表すカラーを持ったカラートークンが、 p_6 には大型車の後半を表すカラーを持ったカラートークンがマーキングされる。

この2つのトークンは、 t_5 が抑止されているために、まず、 t_3 が発火し、大型車の前半が p_{10} に進む。その後に、 t_5 が発火し、後半が p_9 に進み、前後関係をもつ2個のトークンが連結されることになる。この時点で、大型車が、トークン2個でモデルに組み入れられることになる。一方、普通車は p_4 , p_7 , p_9 と1個のトークンとして移動し、今まで通りのモデルとなる。车速は、大型車の場合は、大型車の前半が p_{10} に、後半が p_9 にマーキングされた時に、普通車の場合は、 p_{10} にトークンがマーキングされた時に与えられ、滞在時間の計算などが開始される。

進行は、今までと同じように、前方の閉塞区間が空きであれば車両は進行する。大型車の場合、大型車の前半を表すトークンにはブレースタイマが与えられ、加速や減速が行われる。しかし、後半を表すトークンにはブレースタイマを与えないため、前半のトークンと連動して連続的に移動することになる。

(2) 抑止部分のペトリネットモデル

(1)で大型車を連続した2個のトークンでモデル化した。そのために、この2つのトークンの流れが分

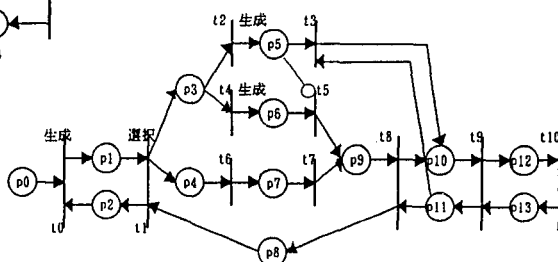


図-2 大型車の発生ペトリネットモデル

割されると、大型車の前半と後半が離れたことになり問題となる。このような分割が発生する可能性は、信号や対向車による抑止の部分にある。ここで分割が発生する理由は、シミュレーションシステムのアルゴリズムが同時刻での発火トランジションが全て無くなるまで発火処理を繰り返すが、大型車の前半は抑止されないが、同時刻に移動すべき後半には抑止がかかり移動できないという状況が発生する可能性があることによる。これを解消する抑止部分の改良ペトリネットモデルが図-3である。

図-3では、抑止がかかる部分については、“車両が存在する”、“空間が空きである”という2つのブレースだけではなく、“普通車が存在する”、“大型車の前半が存在する”、“大型車の後半が存在する”といったように、トークンのカラーに応じたブレースを設ける。そして、普通車や大型車の前半を表すカラートークンがマーキングされるブレース (p_2 , p_7)が入力ブレースとなっているトランジション (t_2 , t_5)には抑止がかかるが、大型車の後半を表すカラートークンがマーキングされるブレース (p_6)が入力ブレースとなっているトランジション (t_4)には抑止がかからないようにすれば、大型車は、前半が抑止されるとその閉塞区間で停止し、前半が抑止されない場合は、後半も連続して移動し、前半と後半が分割せずに進行できるモデルが作成できる。

ペトリネットは、部分モデルを作成し、それらを結合してシステムを構築する。そのために、抑止するものが信号、対向車のいずれであっても、抑止部分のモデルは共通である。異なるのは、抑止をするもの、つまり、信号、対向車のモデルであり、結合先が異なるだけである。

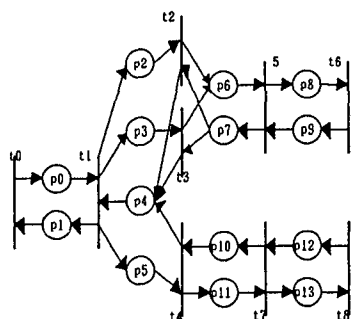


図-4 分岐のペトリネットモデル

(3) 分岐のペトリネットモデル

本節では、大型車の分岐の1つとして、バスがバスベイやバスレーンで分岐することを考える。(1)の発生の段階で、車両を表すトークンには、普通車、大型車の前半、後半といった3種類のカラーが与えられている。これらのカラートークンのカラーを利用することで、分岐のモデルが作成できる。作成した分岐のペトリネットモデルを図-4に示す。

既開発のシステムでは、カラー選択トランジションは、1つのカラートークンに対して1つの出力ブレースを設定することになっている。そのために、図-4は2方向に分岐するモデルであるが、選択トランジションt1の出力先は3つ（普通車p5、大型車の前半p2、後半p3）になっている。大型車は、その後、前半と後半が連結され、結果としては、普通車と大型車の分離のネットになっている。なお、一般の分岐についても同様のネットが工夫できる。

3. アルゴリズムの修正

(1) データ構造体

ペトリネットの特長の1つは、構造の単純性、共通性にある。この特長を活かすために著者らのシステムでは、表-1に示すような汎用的なデータ構造体によるネットの表現化を提案した。大型車の導入を考える場合にも、この構造体形式が基本的に使用できる。変更点は、カラーに関するパラメータの増加。つまり、今までは直進・左折車と右折車のカラーだけであったが、今回は、これらに大型車の前半、大型車の後半といったカラーが加わるだけである。

この変更に伴う用語法については再考の必要がある。表-1の“ブレースタイマ種類”とは、そのブ

表-1 データの構造

ブレース	a: 抑止トランジション, カラー, ブレースタイマ種類
	b: 出力トランジション, 所持トークン
トランジション	a: 入力ブレース, 出力ブレース, タイプ
	b: 抑止状態, 入力ブレース数, 入力条件の満たされた数, カラー, 両面上での識別子
トークン	a: 存在ブレース, ブレースタイマ
	b: カラー, 発進遅れフラグ, システム存在時間, 生成時間, ブレースタイマ

ースが意味している状態、即ち、“車両が存在する”、“空間が空きである”、“信号の現示”に対応しており、“ブレースタイマ種類（車両、空間、信号）”とブレースの種類（車両、空間、信号）とは一対一に対応していた。しかし、一対一対応は、前後2つのトークンで表される大型車の導入に伴ってくずれることになる。即ち、“車両が存在する”という状態を意味するブレースには、車両を意味するトークンと、それらとは取り扱いを異にする大型車の後半を意味するトークンがマーキングされる。それゆえに厳密には、表-1では“ブレースの種類”という用語に変更した方がよい。

(2) アルゴリズムのフローの変更

ペトリネットによるシミュレーションのもう1つの特長は、アルゴリズムの単純性、汎用性である。即ち、発火可能トランジションの探索と発火処理、及びブレースタイマ設定処理が基本である。大型車の導入に際しても、ブレースタイマ設定処理のみの修正でよい。

発火処理では、まず発進遅れのチェックが必要となる。既開発システムでは、発火可能トランジションの入力ブレースが“車両の存在”を表すものであれば、そのトークンがブレースに滞在した時間を計算し、一定時間より長ければ発進遅れの時間 Δt をブレースタイマに加えるという処理を行う。しかし、大型車の後半にはブレースタイマの設定処理を行わないため、従来のフローを、トークンのカラーを調べ、大型車の後半であれば、車両以外のトークンと同じように、発進遅れの処理を行わないように修正する必要がある。

一方、発火処理で新たにマーキングされるトーク

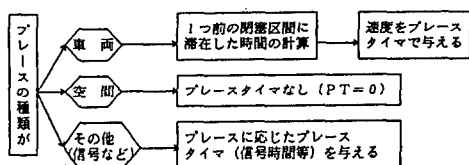


図-5 修正前のブレースタイムの設定処理

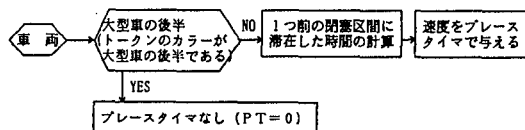


図-6 修正後の車両のブレースタイムの設定処理

ンに対するブレースタイム処理については、次の2点の修正が必要となる。

まず、新たにマーキングされるトークンのカラーが大型車の後半であれば、ここでも別の処理が必要となるために、その判断が可能となるように、トークンに対するカラーの設定の位置を、前方に移動させるという変更を行った。

次に、新たにマーキングされるトークンに対するブレースタイムの設定は、既開発のシステムでは図-5に示すようになっていた。即ち、トークンがマーキングされるブレースの種類が“車両の存在”、“空間が空き”、“信号の状態”のいずれの状態を表すものかを判断し、それぞれに対応したブレースタイムの設定処理を行うものであった。しかし、本研究では2.(1)で述べたように、大型車の後半を表すトークンにはブレースタイムの設定処理を行わず、前半のトークンに連続して移動するモデルを考えている。そこで、図-6に示すように、車両判断の後にさらに判定文を入れ、車両の中で大型車の後半のトークンにはブレースタイムを与えないという処理を加えるようなアルゴリズムのフローの修正を行った。

4. 修正アルゴリズムの検証

ここでは、3.で修正したアルゴリズムを検証するために、2.で作成した大型車のペトリネットモデルを実際に開発したシステム上に構築し、シミュレーションを行ってみた。図-7は、図-2に示した大型車の発生と進行のペトリネットモデルをシステムに組み入れたものである。この駆動によって、2つのトークンによる大型車の組み入れと連続移動性を確認

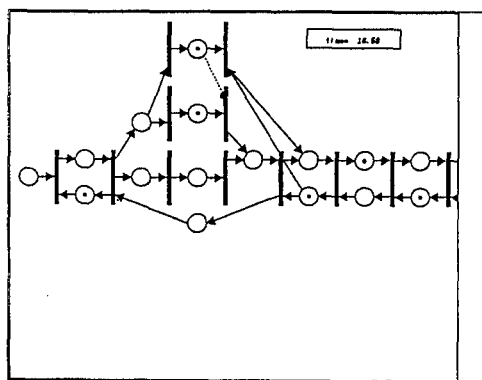


図-7 シミュレーション画面

した。同様の検討を図-3,4の部分モデルについても行い、想定の確認を行った。

5. あとがき

本研究では、交通流のペトリネットシミュレーションシステムにおける大型車の取り扱いを検討し、大型車を2区間の閉塞区間でモデル化する方法を取り入れた。まず、大型車の発生モデルの作成と、2個の連続したトークンが分離しない抑止、及び、分岐モデルの作成を行った。次に、大型車を導入したために必要となるアルゴリズムの修正として、データ構造体に関しては、カラーに関するパラメータが増加するだけであり、ブレースタイム処理に関しては、大型車の後半を判定するための諸修正が必要となることを示した。そして、修正したアルゴリズムを用いて、大型車の基本部分ペトリネットを構築し、それらが十分に機能することを確認した。

これからの課題としては、バスベイ設置の効果などを検討するために、大型車の本線合流といった部分モデルが必要になってくる。さらに、部分モデルを結合して、バスベイのサイズと本線との関係や、バス優先信号の設置効果の検討といったように、ペトリネットの特長を活かた、バス運行を考慮した全体シミュレーションシステムの開発が課題である。

参考文献

- 1) 木俣昇, 高木秀彰, 黒川浩嗣: ペトリネットによる交通流シミュレーションシステムの開発, 土木計画学研究・講演集 No.17, pp.177~180, 1995.1