

## 交通流ペトリネットシミュレータの実用性の向上化に関する考察

金沢大学・学生員 北尾豪, 同 松井竜太郎 金沢大学・正員 木俣昇

### 1. まえがき

交通流ペトリネットシミュレータは、車両の空間占有の記述性と、多様な事象の組み込み性を特徴としてきた。これらに加えて、背景画像上での構築性と実空間対応性を強化することで、種々のバス交通優先策を、限定された道路時空間の占有性制御対策として発想し、検討する支援システムという展望が開けてきた。本研究では、この展望でのネット規模の拡張化要請と、その結果のシミュレーション実行時間の急増化問題を取り上げ、車両発生部の改善策を提示し、その導入効果評価の結果について報告する。

### 2. 交通流ペトリネットの実用化課題

#### 2-1 交通流ペトリネットの基本形

ペトリネットシミュレータは、交通流を各種の事象の生起とその帰結に着目し、ペトリネット形式で現象記述し、単純・明解なトランジションの発火則によって、車両の道路空間上での状態推移をネット上のトークンの動的なマーキングによって実現・表示するものである。詳細は参考文献1)に譲るとし、図-1で交通流ペトリネットの基本形を概説する。

車両進行部は、道路を閉塞区間に分割し、その状態を“車両の存在”と“空間の空き”を示す2つのプレース(○の3と4, 5と6等)で表現し、前方閉塞区間への車両進行を基本事象(|:トランジション)とし、事象生起の条件と帰結推移の関係をプレースとトランジション間のアーク(→)で記述して、発火則により車両進行の安全性を保証するものとなっている。信号部は、赤現示プレース(P19)から車両進行のトランジション(T3)へ抑止アーク(○.....|)を設け、ここでも発火則により車両進行の安全性を保証している。発生部は、ポアソン分布に従ってトークン(車両)を発生させる特殊プレースと、車両進行部とを結合するネットで構成されている。

大型車であるバス交通への適用では、一般車との空間占有性と走行特性の相違の反映が必要となる。図-2は、片側1車線道路でのバス・一般車の混在交通流の基本ペトリネット表現例を示したものである。即ち、バスは一般車の2倍の道路空間を占有するとし、バスの車両進行のトランジションに、2個の“空間の空き”プレースを対応させている。車両の走行特性は、図中に示すように“一般車車両の存在”と“バス車両の存在”のプレース型を(-2), (-3)と宣言し、車速更新の参照表を区別することで組み込んでいる。

#### 2-2 実用化への課題

ペトリネットシミュレータは、可変時間増分法によるシステムで、次に発火するトランジションが探索され、その時点へと時間進行がなされる。図-3でこの時間進行の様子を示す。①のシミュレーション時間2.8秒は、次に発火するトランジションの発火条件が揃う時刻を示している。②は、そのトランジションがT2であって、その結果としてプレース5にトークンが移動したことを示している。同様に、3.307秒は次に生起する事象の時刻で、③より、T0が発火し、P1にトークンが移動していることから、それがP0でのトークンの発生であることが判る。③の3.6秒は、T3の発火条件が揃う時刻であるが、P19(赤信号)からT3へ抑止がかかっているため、T3は発火できず、T11の発火まで遅れる。④の5.0秒はT11の発火条件が揃う時刻を示している。

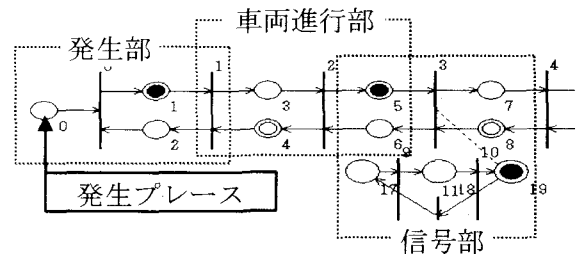


図-1 交通流ペトリネットの基本形

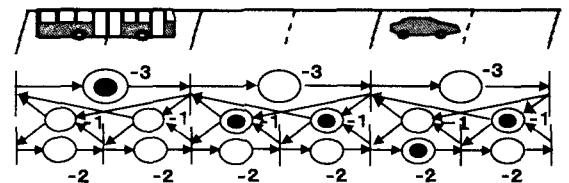


図-2 一般車とバスの混在流ネット

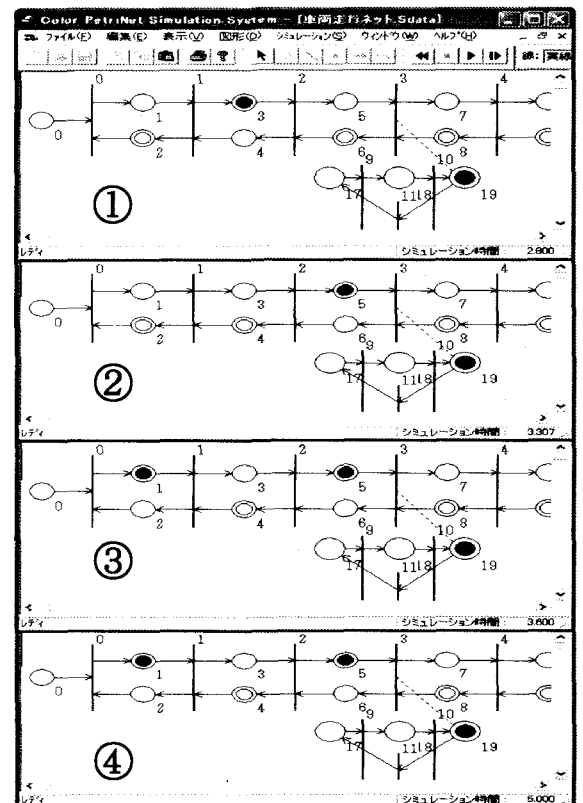


図-3 時間の進行機構

本シミュレータでは、このようにトランジションの発火条件を満たす時刻をチェックすることから、トランジション数の増加がシミュレーション実行時間の増加の原因と考えられてきた。しかし、図-3②のように発生プレースによるトークンの発生も同様に時間進行でのチェック要因であり、しかも、発生プレースは確率事象であるため、発生しているかどうかをいちいちチェックしなければならない。即ち、発生プレースはシミュレーション実行時間の増大化要因となるとし、車両の発生機構を発生部ネットに代置する改善策を提案する。

3. 発生部ネット化による改善効果の考察

3-1 発生部ネットの導入

発生部ネットは、確率によってトークンに属性を与える生成トランジションと、与えられた属性に対応したプレースへトークンを移動させる選択トランジションを用いて、確率的に繰り返しトークン（車両）を発生させるネットである。詳しくは図-4に示すように、P9にトークンを初期配置し、生成トランジションT6によって、トークンに確率で「発生する」、「発生しない」のどちらかの属性を与える。「発生する」場合はP12へ、「発生しない」場合はP13へ選択トランジションT7を介してトークンが移動する。P12へ移動したトークンはP0へ移動し車両の発生を表すと同時にP9へ戻り、上記の動作を繰り返す。P13へ進んだトークンは、車両を発生させることなくP9へ戻り、上記の動作を繰り返す。また、既存ネットへの結合は、図-4の既存ネットの発生プレースP0を一般プレースに直し、発生部ネット中のプレースP0と代置すればよく、容易に変更できる。

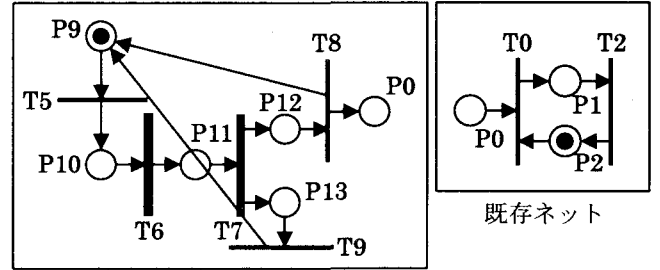


図-4 発生部ネットとその結合性

これにより、既存ネットの発生部のみを再構築するだけで、シミュレーションを即実行することができる。

実交通において車両の到着台数はポアソン分布に従うとされるが、発生部ネットは、「発生する」、「発生しない」の二つの事象のみであるため、発生台数の確率分布は、理論上では二項分布になると考えられる。発生部ネットにおいて、生成トランジションの生成確率は事象の生起確率  $p$  に、周期を1秒としたときの計測時間は試行回数  $n$  に相当し、 $n$  を大きく、 $p$  を小さくすれば、二項分布のひとつの極限であるポアソン分布になり、実交通を表現できると考えられる。

3-2 シミュレーション実験と効果評価

発生部ネットの効果評価の対象として、基本走行ネットと実用路線ネットを考える。基本走行ネットは片側1車線区間でバスと一般車の混在するネット、①約230mと②約1kmの二つの区間長さとする。実用路線ネットは約1kmの片側2車線区間で路側レーンをバス専用レーンとして運用しており、区間内には3つの交差点があり、歩行者信号を含め8機の信号と、3箇所のバス停がある。これらについて、発生部に発生プレース（発生P）を使用したケースと、発生部ネット（発生部N）を使用したケースで、それぞれ3600秒をシミュレートしたときのシミュレーション実行時間を計測する。基本走行ネットでは、②では多少の減少は見られるものの、①ではほとんど差はなく、発生部ネットの効果がないというより、ネット規模によっては発生プレースで十分対応可能である。これに対し、大規模で複雑な実用路線ネットでは、発生プレース使用時のシミュレーション実行時間が極端に長い、発生部ネットを使用することで劇的に改善され、現実的な時間でシミュレーションすることができる。

表-1 発生部ネットの効果評価

対象ネット	ネット構成		トランジション数	発生箇所	シミュレーションケース	
	距離	発生P使用			発生部N使用	
基本走行ネット	①	227.8m	54	2	約12秒	約15秒
	②	1093m	244	2	約60秒	約40秒
実用路線ネット		1093m	869	13	数時間	約300秒

4. あとがき

シミュレーション実行時間に関しては、発生部ネットの実用性を確かめることができた。また、この案は既存ネットに直接結合することが容易であり、それらの活用化にも寄与できる。そして、これを活用した、より広範な領域を対象とするバス交通ネットへの取り組みが今後の課題となる。

参考文献1) 木俣昇, 松井竜太郎: 背景画像上でのバス交通計画のペトリネットシミュレーション技術, 土木情報利用技術論文集, Vol.12, pp.207-216, 2003.