

# 時間ペトリネットから時間オートマトンへの変換とサイズ削減

三輪 陽介<sup>†1</sup> 横川 智教<sup>†1</sup> 河村 亮太<sup>†1</sup>  
宮崎 仁<sup>†2</sup> 佐藤 洋一郎<sup>†1</sup>

本稿では、モデル検査ツール UPPAAL の利用を前提として、確率時間ペトリネットモデル化したシステムを UPPAAL の入力形式である拡張時間オートマトンへと変換する手法を提案する。

## Method for Translating Stochastic Timed Petri Nets into Timed Automata

YOSUKE MIWA,<sup>†1</sup> TOMOYUKI YOKOGAWA,<sup>†1</sup>  
RYOTA KAWAMURA,<sup>†1</sup> HISASHI MIYAZAKI<sup>†2</sup>  
and YOICHIRO SATO<sup>†1</sup>

We proposed a method for translating a Stochastic Timed Petri Nets(STPN) into eXtended Timed Automata(XTA).

### 1. ま え が き

GALS システムの性能評価法として、システムを確率時限ペトリネット (STPN) でモデル化した上で、シミュレーションを繰り返すことで評価指数を算出する手法が提案されている<sup>1)</sup>。しかし、この手法はあくまで速度性能の評価を行うもので、システムが満たすべき特性を検証するためものではない。

これまでに、STPN でモデル化された GALS システムを拡張時間オートマトン (XTA) による表現へと変換することで、モデル検査ツール UPPAAL で検証する手法を開発してきた<sup>2)</sup>。しかしこの手法では、ペトリネットのプレイスごとにその振る舞いを XTA 表現することで STPN から XTA への変換を行っているため、生成された XTA の状態数や遷移数が爆発的に増加するという問題があった。

本稿では、シミュレーションに用いる STPN が *1-bounded* であることに着目し、各トークンの振る舞いを XTA 表現することで、そのサイズ削減を図る。

### 2. 提 案 法

#### 2.1 STPN

ペトリネットは、プレイス、トランジション、アーク、そして初期マーキングから構成される (図 1)。STPN

はこれに加えて、プレイスに対する遅延分布と、2つ以上の出力アークをもつ *choice* プレイスに対するアークの選択確率が定義される。このとき、各プレイス  $p$  のプレイス遅延の最大値  $x_{max}(p)$  および最小値  $x_{min}(p)$  は、遅延分布から簡単に求めることができる。  $p$  のトークンは、獲得後  $x_{min}(p)$  から  $x_{max}(p)$  が経過するまでのいずれかのタイミングで有効となる。そして、全ての入力プレイスのトークンが有効となった瞬間、トランジションは発火する。

#### 2.2 XTA

XTA は、時間オートマトンに対して UPPAAL 独自の拡張を行ったものである。XTA は状態と遷移、そして変数から構成される。状態は不変条件を、遷移は変数値の更新アクションとガード条件をもつことができる。通常の変数のほかに、時間経過とともに増加するクロック変数を使用できる。XTA 間の遷移は、同期チャンネル (送信:  $c!$ , 受信:  $c?$ ) で同期する。

#### 2.3 STPN から XTA への変換

本手法では、1つのトークンの振る舞いを1つの XTA として表現する。この XTA においては、状態

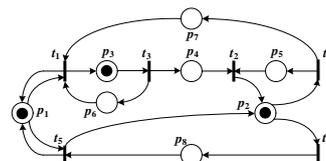


図 1 ペトリネット

<sup>†1</sup> 岡山県立大学

Okayama Prefectural University

<sup>†2</sup> 川崎医療福祉大学

Kawasaki University of Medical Welfare

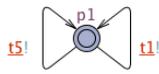


図 2  $p_1$  のトークン

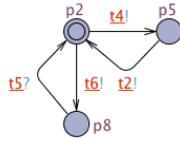


図 3  $p_2$  のトークン

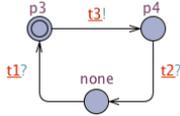


図 4  $p_3$  のトークン

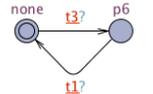


図 5  $p_6$  のトークン

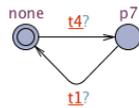


図 6  $p_7$  のトークン

はそのトークンが配置されたプレイスを表し、遷移はそのトークンを移動させるトランジションの発火を表す。ここでは図 1 のペトリネットを例として、XTA による表現について説明する。

本手法では、初期マーキングに含まれるプレイスのトークンについて、それぞれの振る舞いを XTA として表現した上で、入力プレイスのトークンやプレイス遅延によるトランジションの発火の可否を、不変条件とガード条件によって表現する。

まず、 $p_1$  のトークンは、 $t_1$  と  $t_5$  の発火により再び  $p_1$  へと移動するため、図 2 のような、2 つの自己遷移をもつ XTA として表現できる。ここで、 $t_1$  および  $t_5$  の発火により、 $p_3$  および  $p_2$  もトークンを獲得するが、これらは初期マーキングに含まれるため、その振る舞いは後述する別の XTA で表現する。

次に  $p_2$  のトークンは、 $t_4$  もしくは  $t_6$  の発火により  $p_5$  および  $p_8$  へと移動し、 $p_5$  のトークンは  $t_2$  および  $t_5$  の発火により再び  $p_2$  へと移動する。従って、図 3 のような XTA として表現できる。ここで  $t_4$  が発火したとき、 $p_5$  だけでなく  $p_7$  もトークンを獲得するため、その振る舞いを表現するために、新たな XTA を作成する必要がある。このトークンは  $t_1$  の発火により  $p_3$  へと移動するが、前述の通り  $p_3$  のトークンは別の XTA で表現するため、 $p_7$  のトークンの振る舞いは図 6 に示す XTA となる。ここで、状態 none はトークンが存在しないことを表す。

最後に  $p_3$  のトークンは、 $t_3$  の発火により  $p_4$  と  $p_6$  へと移動する。 $p_4$  のトークンは  $t_2$  の発火により  $p_2$  へと移動するが、 $p_2$  のトークンは図 3 の XTA で表現されているため、 $p_2$  に移動した後の振る舞いを状態 none として表し、図 4 の XTA で表現する。また、 $p_6$

が獲得したトークンの振る舞いは、 $p_7$  のトークンと同様に、図 5 の XTA で表現できる。

プレイス遅延は、プレイス  $p_i$  に対応する状態に対して、不変条件  $x_{max}(p_i) \geq x_i$  を与えることで表現できる。ここで  $x_i$  は  $p_i$  が獲得したトークンの経過時間を表すクロック変数で、 $p_i$  に対応する状態へ至る遷移のアクション  $x_i := 0$  で初期化される。トランジションの発火条件は、対応する遷移に、全ての入力プレイス  $p_i$  に対して  $p_i$  に対応した状態がアクティブとなっており、かつ  $x_{min}(p_i) \leq x_i$  を満たすことを表すガード条件を与えることで表現できる。

### 3. 比較実験

提案法により変換された XTA 表現のサイズに関する比較実験の結果について示す。比較対象は、従来法<sup>2)</sup> および時間ペトリネット検証ツール Roméo<sup>3)</sup> の XTA 変換機能である。また本実験では、プレイス数 27、トランジション数 26 の STPN を用いている。結果を表 1 に示す。表に示すように、従来法および Romé に対し、提案法では非常に小さなサイズでの XTA 表現が可能となっている。

表 1 生成された XTA のサイズ

変換手法	XTA 数	状態数	遷移数
提案法	11	46	139
従来法	27	112	250
Romé	54	163	412

### 4. あとがき

本稿では、STPN のトークンの振る舞いに着目することで、サイズの小さい XTA によってその動作を表現する手法を提案した。今後の課題として、より大規模な STPN に提案法を適用してその効果を確認するとともに、XTA のサイズが UPPAAL での検証時間に与える影響を調査する必要がある。

### 参考文献

- 1) Xie, A. et al.: Performance Analysis of Asynchronous Circuits and Systems using Stochastic Timed Petri Nets, in *Proc. of the 2nd Workshop on Hardware Design and Petri Nets (HWPN '99)*, pp. 35–62 (1999).
- 2) 三輪ほか：時間ペトリネットでもデル化された GALS システムを対象とした UPPAAL による自動検証手法, 第 10 回情報科学技術フォーラム (2011).
- 3) Gardey, G. et al.: Roméo: A Tool for Analyzing time Petri nets, in *Proc. of the 17th Int'l Conf. on Computer Aided Verification (CAV '05)*, pp. 418–423 (2005).