

ペトリネット構造解析とオカレンスネットを用いた ホーム状態の判定

Petri Net Structure Analysis and Determination of Home State Using Occurrence Net

三浦 朋己† 和崎 克己‡
Tomoki Miura Katsumi Wasaki

1 はじめに

ペトリネットは、事象発生の並列性、非同期性、非決定性を有する離散事象システムの振る舞いを表す数学モデルである [1]. 既存のペトリネットツールの記述性、操作性、再利用性の問題を解決するため、本学で開発されたのが階層化可能なペトリネット設計ツール HiPS (Hierarchical Petri net Simulator) である [2]. ペトリネットにおいてホーム状態の判定を行う。ホーム状態とは、すべてのマーキングから戻ることが出来る状態であり、ホーム状態の判定により安定した状態を確認できる。通常、ホーム状態の判定には動的解析が用いられるが、大規模なネットではすべてのマーキングを探索するのはコストがかかる。本研究では動的解析の前処理として構造解析を行うことで、ホーム状態の存在性を判定する。ホーム状態の存在性を有するネットは、実際にホーム状態が存在するとは限らないため、トークンの存在を確認する必要がある。そこで、オカレンスネット [3] を用いてトークンの遷移を確認し、ホーム状態の判定を行う。

2 ペトリネット

2.1 可逆性とホーム状態

可逆性: ペトリネット (N, M_0) は $R(N, M_0)$ のすべてのマーキング M に対して、 M から M_0 が到達であれば、可逆 (reversible) であると呼ばれる。すなわち、可逆なネットにおいては、常に初期マーキングあるいは初期状態に戻ることができる。

ホーム状態: ある (ホーム) 状態 (home state) に戻ることが出来さえすれば、初期状態にもどる必要はない場合がある。 $R(N, M_0)$ のすべてのマーキング M に対して、マーキング M' が M から到達であれば、 M' をホーム状態と呼ぶ。

2.2 保存性

ペトリネット N はすべての (いくつかの) プレース p に対して、すべての $M \in R(M_0)$ および任意の固定された初期マーキング M_0 についてトークンの重み付き総数 $(M^T y = M_0^T y)$ が一定であるような正整数解 $y(p)$ が存在すれば (準) 保存的 ((partially) conservative) であると呼ばれる。

2.3 反復一致性

ペトリネット N は、あるマーキング M_0 と、すべての (いくつかの) トランジションが少なくとも 1 回発火系列 σ 内に生起するような M_0 から始まり、 M_0 へ戻る発火系列 σ が存在すれば、(準) 準反復一致的である ((partially) consistent) と呼ばれる。

3 ホーム状態の存在性

従来、ホーム状態解析は動的解析が用いられるが、大規模なネットではすべてのマーキングを探索するのはコストがかかる。ホーム状態は $R(N, M_0)$ のすべてのマーキング M に対して、マーキング M' が M から到達可能な状態であるため、ホーム状態を持つネットは閉路を持つ。そこで、ホーム状態判定の前処理として、ホーム状態の存在性を判定するために構造解析を行う。しかし、ネットによってホーム状態が存在する条件が異なるため、サブクラスごとに条件を区別する必要がある。

4 オカレンスネット

ペトリネット (P, T, F, W, M_0) に対して、初期マーキング M_0 から発火可能なトランジションについてトランジションと出力プレースを複製しながらネット構造を構成したものをオカレンスネットという。オカレンスネットは 5 項目 $\Sigma = (P', T', F', M'_0, \mathcal{L})$ である。ここで、 \mathcal{L} は $P' \cup T'$ から $P \cup T$ への写像で、複製元を表す。また、オカレンスネットではプレースに複数個のトークンがおかれる場合、プレースをその数だけ複製するので重み関数 W は省略される。また、オカレンスネットでは、トランジションとその入出力プレースの関係は保存され、プレースの入力トランジションは高々 1 となる。

4.1 オカレンスネットによるホーム状態判定

ホーム状態の存在性を有するネットは、実際にホーム状態が存在するとは限らないため、トークンの存在を確認する必要がある。オカレンスネットを用いてトークンの遷移を確認し、ホーム状態の判定を行う。準保存性、準反復一致性を共に有する閉路がオカレンスネットとして生成された時、ホーム状態は存在する。準保存性、準反復一致性を共に満たす閉路を判定する際、準保存性を持つプレース集合 P^{PCN} において、オカレンスネット上で P^{PCN}_k の全てのプレースと T^{PCS}_k の一部のトランジションが接続されている時、準保存性、準反復一致性を共に満たす閉路が存在する。

4.2 オカレンスネットの生成アルゴリズム

従来のオカレンスネット生成は、初期マーキングを持つプレースから発火可能なトランジションを発火し、順

† 信州大学大学院総合理工学研究科, Graduate School of Science and Technology, Shinshu University

‡ 信州大学工学部電子情報システム工学科, Department of Electrical and Computer Engineering, Faculty of Engineering, Shinshu University

に成長させる。ホーム状態判定にあたり、従来の生成アルゴリズムではホーム状態の判定を行うことが出来ないため、従来のアルゴリズムを拡張したオカレンスネットの生成アルゴリズムを考案した。ホーム状態判定のためのオカレンスネット生成アルゴリズムを以下に示す。

Algorithm 1 ホーム状態判定におけるオカレンスネット生成アルゴリズム

1. 初期マーキングを持つプレースを初期トークン個を複製する。
2. 発火可能なトランジションを発火する。
3. 準保存性、準反復一致性を有する要素(プレース, トランジション)が現れたら、閉路のすべての要素が現れるまでオカレンスネットを生成する。
 - 3-1. 異なる準保存性集合, 準反復一致集合に共通の要素が存在する時, 要素数の少ない集合に属する要素から生成する。
4. 分岐処理
 - 4-1. プレースの出力アークが複数のとき, 準反復一致性を有する要素(トランジション)を優先して生成する。すべての発火可能な出力トランジションを発火したら終了。
 - 4-2. トランジションの出力アークが複数のとき, 準保存性を有する要素(プレース)を優先して生成する。要素が存在しないときは前から順に発火する。
 - 4-3. トランジションの入力アークが複数のとき, トランジションが発火可能であれば発火する。発火不可能な時, 保留状態にし, すべての入力プレースがオカレンスネット上に生成されたら発火する。
5. すべての準保存性, 準反復一致性の要素が確認できれば終了。

上記のアルゴリズムのステップ3について、ホーム状態判定にあたり準保存性、準反復一致性を共に満たす閉路群がオカレンスネットとしての生成を確認する必要があるため、これらの準保存性、準反復一致性の要素が現れたとき、その要素の成長を優先し、準保存性、準反復一致性を満たす閉路のすべての要素が現れるまで成長を続ける。また、ステップ4分岐処理についてもステップ3同様に、準保存性または準反復一致性を有する要素が現れた遷移を優先し、オカレンスネットを成長させる。

5 適用例

図1のペトリネットのオカレンスネットを図2に示す。オカレンスネットによりネットの準保存性、準反復一致性を持つ閉路にトークンが存在するか確認する。図1のペトリネットにおける準保存性を持つプレース集合は、 $P^{PCN} = \langle \{p_1, p_2, p_3\}, \{p_4, p_5\} \rangle$ である。また、準反復一致性を持つトランジション集合は、 $T^{PCS} = \langle \{t_1, t_2\}, \{t_1, t_3, t_4, t_5\} \rangle$ である。初めに、初期トークンを持つプレースである p_1, p_4 が生成される。 p_4 は初期トークンを4つ持つため、4つオカレンスネットとして生成される。 p_1 は準保存性を持ち P^{PCN}_1, P^{PCN}_2 集合のプレースである。 p_2 の出力先は t_2, t_3 である。 t_2, t_3 はともに準反復一致なトランジションであるため、順にオカレンスネットを成長させる。 t_2 を成長させると p_1 が生成される。系列 $\langle p_1, t_1, p_2, t_2, p_1 \rangle$ において、 p_1, p_2 は P^{PCN}_1 の集合であるが、 P^{PCN}_1 全ての要素ではないため、これは準保存かつ準反復一致な閉路ではない。一方、 t_3 からオカレンスネットを成長させると $\langle p_1, t_1, p_2, t_3, p_3, t_4, p_1 \rangle$ という系列が得られる。これは P^{PCN}_1 の全ての要素を含んでおり、 T^{PCS}_2 の要素の一部であるため、準保存かつ準反復一致な閉路である。同様に、オカレンスネットの生成アルゴリズムをもとにオカレンスネットを成長させると、準保存性、準反復一致性を共に満たす閉路である $\langle p_1, t_3, p_2, t_3, p_3, t_4 \rangle$,

$\langle p_5, t_5, p_4, t_4 \rangle$ が生成される。これにより、準保存性かつ準反復一致性を共に満たす閉路にトークンの存在が確認でき、ホーム状態の存在を確認できる。

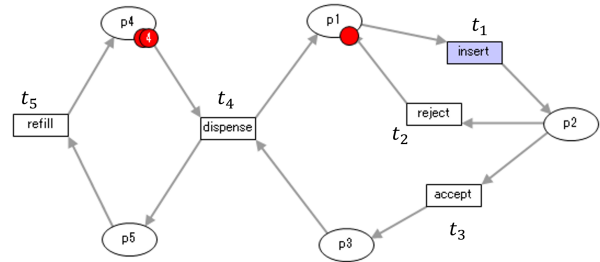


図1 Vending Machine のペトリネットモデル (在庫4)

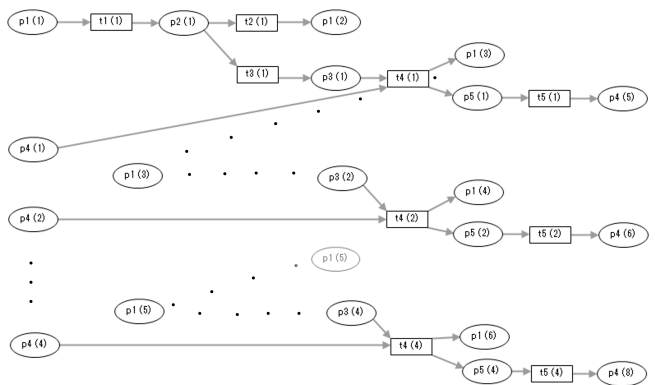


図2 Vending Machine のペトリネットモデル (在庫4) のオカレンスネット

6 まとめと今後の課題

本研究では構造解析、オカレンスネットを用いたホーム状態判定方法を考案した。準保存性、準反復一致性を共に有する閉路群を持つペトリネットは、潜在的なホーム状態の存在性を持つ。ホーム状態の存在性を持つペトリネットにおけるオカレンスネットを生成し、準保存性、準反復一致性の要素が確認出来ればホーム状態が存在するといえる。

オカレンスネットの課題として、初期トークンを複数持つようなネットのオカレンスネットを生成する際、オカレンスネットはプレースが持つ初期トークンの数だけプレースを生成するため、膨大な数の初期トークンを持つネットの場合、オカレンスネットの生成にコストがかかってしまう。オカレンスネットにおいて同一のプレースからの遷移は同じであるため、初期トークンを複数持つ場合オカレンスネットの部分ネットの畳み込みを行うことで、ホーム状態判定の効率化を行う。

参考文献

- [1] Tadao Murata : "Petri Nets: Properties, Analysis and Applications", Proc of The IEEE, 77(4), 1989
- [2] HiPS Tools : <https://sourceforge.net/projects/hips-tools/>
- [3] T.Miyamoto and S.Kumagai, : "A graph theoretic approach to reachability problem with Petri net unfoldings", IECIE Fundamentals, vol. E79-A no.11, pp. 1809-1816, Nov. 1996