

サブマーキング法を用いたペトリネット状態空間の抽象化と準ホーム状態

Space Abstraction and Quasi-Home States of Petri Nets Using the Submarking Method

三浦 朋己† 和崎 克己‡
Tomoki Miura Katsumi Wasaki

1 はじめに

ペトリネットは、事象発生と並列性、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][2]。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 [3][4]。HiPS は、直感的で一般的な操作方法の GUI を持つペトリネット設計ツールである。

HiPS には解析機能として被覆グラフ生成器がありグラフ生成も可能である。しかし、現在 HiPS にはホーム状態の判定機能が実装されていない。本研究では、被覆解析法を用いて、制限の緩いホーム状態の判定機能を提案する。制限の緩いホーム状態判定機能の実装により、ネットの解析の効率化を行うことを目的とする。

2 被覆解析

ペトリネットの動的性質の一つに被覆性がある。ペトリネット (N, M_0) におけるマーキング M は、ネット内のすべてのプレース p に対して、 $M_1(p) \geq M(p)$ となるようなマーキング M_1 が $R(M_0)$ にあれば、被覆可能である。

ペトリネット (N, M_0) において、初期マーキング M_0 から発火可能トランジションを 1 回発火することにより、発火可能なトランジションと同数の「新しい」到達マーキングを得ることができる。それぞれの新しいマーキングからまたさらに新しい到達マーキングを得ることができる。このプロセスはマーキングの木表現に帰着する。ノードは、初期マーキング M_0 (根 (root)) およびそれから生成されるマーキング (子孫) を表し、各アークはトランジションの発火を表している。しかし、従来の被覆木表現は、ネットが有界でなければ無限に大きくなる。木を有限に抑えるために、特別な記号 ω を導入する。 ω は「無限」を表すと考えることができる。ここで、 ω はすべての整数 n に対して、 $\omega > n$, $\omega \pm n = \omega$, $\omega \geq \omega$ という性質をもつ。

被覆解析法 (ω 被覆) における情報の欠損を解決するために、拡張被覆解析法 (ECG) を提案した [5]。被覆グラフに用いる無限状態 ω を、プレース内トークン数の増加 (Nu)、一定 (Nc)、減少 (Nd) の 3 値に拡張す

ることで被覆している部分の増減を判断する。ただし、トークン数の増加、減少のステップ幅は 1 である。従来の被覆グラフが ω を用いていることに対して、拡張被覆グラフでは N を用いていることから、 N^* (または N^* 遷移) と表す。トークン数が減少している Nd に遷移するアークがある場合、条件を付けて分岐するアークを生成する。分岐したアークの遷移先は非有界の N^* に対比して有界部とする。また、従来の被覆グラフでは 1 以上の被覆可能ならば ω に置換していたが、拡張被覆グラフでは有界部と N^* に被覆する非有界部の境界をはっきりさせるためにトークン数が 0, 1 の場合は有界部としてトークン数が 2 以上で被覆可能な場合 N^* に被覆する。

3 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。可逆性の条件を緩めて、ホーム状態を次のように定義する。 $R(N, M_0)$ 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。ホーム状態 M' をもつネットの中で、 M' が M_0 であるという限られた条件のとき、そのネットは可逆であるといえる。

準ホーム状態: k ($k \in \{1, 2, \dots, n\}$) 個のプレースを持つペトリネットに対し動的解析を行う場合、あるトランジションが発火する度にマーキングを取得している。システムによっては、プレース p_k が持つトークン数 $M(p_k)$ について、トークンの増減を細かく見る必要がない場合がある。また、プレース p_k が持つトークン数を考慮する必要がない場合も存在する。準ホーム状態は、あるプレースのトークン数を抽象化したマーキング M'' に対してマーキング M' が M'' から到達であると定義する。プレースが持つトークン数の抽象化として 4 つ定義し、次節に示す。

4 サブマーキング

マーキングを抽象化する方法としてサブマーキング法がある。サブマーキング化することで、解析の際、不要な情報を除くことで状態空間の圧縮に寄与する。抽象化したマーキングに意味を持たせることができ、プロセスグラフを解析する際に様々な観点から考察することが可能である。本研究では、上記に示したマーキングの抽象化をもとに 4 つのサブマーキング方法を定義する。

† 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

サブマーキング法 1: 全てのマーキング $M(p_k), k \in \{1, 2, \dots, n\}$ からプレース p_i のマーキング $M(p_i)$ を除く。プレースの集合 P , 削除するプレース集合 P' としたとき, $P_d = P - P'$ となるプレース集合 P_d (P から P' を除いたプレース集合) について状態空間を生成する。

サブマーキング法 2: プレース p_i が持つトークン数 $\mu(p_i)$ において閉区間 $[a, b]$ を満たすような $\mu(p_i)$ が存在する時, $\mu(p_i) = D_i$ とする (a, b は 0 を含む自然数, $a \leq b$)。トークンは非負整数個であるため, 全ての範囲の和集合は $[0, \infty)$ でなければならない。そのため, 閉区間 $[a, b]$ の次の範囲の下端は $b+1$ となる。

サブマーキング法 3: プレース p_i が持つトークン数 $\mu(p_i)$ において $\log 10^n \leq \mu(p_i) < \log 10^{n+1}$, ($n \geq 0$) を満たすような $\mu(p_i)$ が存在する時, $\mu(p_i) = D'_i$ とする。ただし, $\mu(p_i) = 0$ のときは状態値の変換を行わない。

サブマーキング法 4: 全てのマーキング $M(p_k)$ から非有界なプレース p_i のマーキング $M(p_i)$ を除く。プレースの集合 P , 削除するプレース集合 P'' としたとき $P_{ub} = P - P''$ となるプレース集合 P_{ub} (P から P'' を除いたプレース集合) について状態空間を生成する。

5 適用例

適用例を以下に示す。自動販売機のモデル図を図1に示す。図1における p_4 は在庫を表しており, $\mu(p_4) = 20$ である。

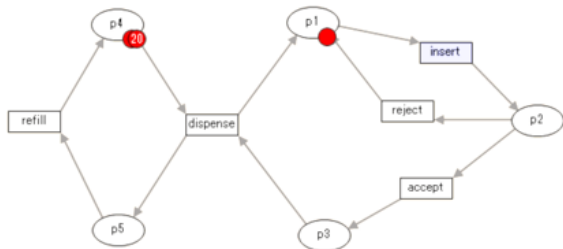


図1 Vending Machine のペトリネットモデル (在庫 20)

5.1 適用例 1 (insert-reject ループの削除)

図2は, 図1のネットにおけるプレース p_2 に対してサブマーキング法2を適用した時の状態空間である。図1のネット図における p_2 をマスクすることで p_2 はトークン数に関係なく同一のもののみならずため, 状態空間は p_2 を除いた4つのプレースについての状態空間となる。サブマーキングを適用しない場合状態数は63個に対し, 適用した状態数は41である。 p_2 を除くことで insert-reject 閉路は表現されず, 状態数が削減される。このように, 解析の際システムの不必要な情報を除くことで状態空間の圧縮が可能である。

```
number->Marking
0->(1, 0, 20, 0)
1->(0, 1, 20, 0)
2->(1, 0, 19, 1)
:
:
38->(0, 1, 1, 19)
39->(1, 0, 0, 20)
40->(0, 1, 0, 20)

placeID: (id0, id2, id3, id4)
placeNAME: (p1, p3, p4, p5)
```

図2 図1にサブマーキング法1を適用した時の状態空間

5.2 適用例 2 (在庫数による抽象化)

図3は, 図1のネットにおけるプレース p_4 に対してサブマーキング法2を適用した時の状態空間である。 p_4 が持つトークン数の範囲を A:0, B:1~9, C:10~20 とする。

図1のモデル図は, p_4 と p_5 からなる閉路を持ち, 閉路内のトークン数の総和は保存される。そのため, p_4 を抽象化した際 p_5 も抽象化が可能である。自動販売機のモデル(図1)において p_4, p_5 はそれぞれ自動販売機の在庫と売り上げを表している。 p_4 のトークン数に範囲を与えることで, A:在庫なし, B:補充必要, C:補充不要のように状態を分類が可能である。また, サブマーキングしていない状態空間と比較すると状態数は減少している。

```
number->Marking
0->(1, 0, 0, C, p5-C)
1->(0, 1, 0, C, p5-C)
2->(0, 0, 1, C, p5-C)
3->(1, 0, 0, B, p5-B)
4->(0, 1, 0, B, p5-B)
5->(0, 0, 1, B, p5-B)
6->(1, 0, 0, A, p5-A)
7->(0, 1, 0, A, p5-A)
8->(0, 0, 1, A, p5-A)

placeID: (id0, id1, id2, id3, id4)
placeNAME: (p1, p2, p3, p4, p5)
```

図3 図1にサブマーキング法2を適用した時の状態空間

6 まとめと今後の課題

本研究では, 準ホーム状態判定に伴いサブマーキング法を定義した。サブマーキング法により状態空間の圧縮を確認した。

今後の課題として, 準ホーム状態判定機能を実装する。ホーム状態は, 一つのネットに多数存在する場合がある。そのため, ホーム状態を判定する効率的なアルゴリズムとその表現方法を考慮する必要がある。

参考文献

- [1] Tadao Murata: "Petri Nets: Properties, Analysis and Applications", Proc of The IEEE, 77(4), 1989
- [2] 村田忠夫: ペトリネットの解析と応用, 近代科学社, 1992
- [3] HiPS Tools: <https://sourceforge.net/projects/hips-tools/>
- [4] Yojiro Harie, Yuta Mitsui, Kohei Fujimori, Amit Batajoo, Katsumi Wasaki: HiPS: Hierarchical Petri Net Design, Simulation, Verification and Model Checking Tool; Proceedings of the 6th IEEE Global Conference on Consumer Electronics (GCCE 2017), pp.686-690, 2017
- [5] 三井雄太, 張江洋次朗, 和崎克己: 拡張被覆グラフを用いた L2/L3 活性判定器のペトリネットツール HiPS への実装, FIT2017 (第16回情報科学技術フォーラム)講演論文集, (A-003), pp.91-94, 2017