

一般ペトリネットにおける構造的性質を用いた強 L2 活性構造の存在性判定

Determination of The Presence of Strictly L2 Live Structure

芳澤祐大† 和崎 克己††
Yuta Yoshizawa 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。ペトリネットの動的性質の 1 つに活性がある。活性には条件の厳しさによって活性レベルが定義されている [1][2]。本研究では強 L2-活性と呼ばれる活性レベルのトランジションの存在性判定機能を設計する。

2 諸定義

2.1 活性

ペトリネットに対し、初期マーキングからどのマーキングに到達しようとして、ネット内の任意のトランジションをそのマーキングから何らかの発火系列を通して発火可能にするならば活性であると呼び、また活性条件を緩和した活性レベルが次のように定義されている。ここで $L(M_0)$ は M_0 から始まるすべての発火系列の集合、 $R(M_0)$ は M_0 から到達可能なすべてのマーキングの集合を表す。また、 L_k -活性であり、強 $L(k+1)$ 活性でなければ、強 L_k -活性と呼ぶ [1][2][3]。

■L1-活性 トランジションが $L(M_0)$ のある発火系列において少なくとも 1 回発火可能。

■L2-活性 任意の正整数 k に対し、トランジションが $L(M_0)$ のある発火系列において、少なくとも k 回は発火可能である。

■L3-活性 トランジションが $L(M_0)$ のある発火系列において、無限回現れる。

■L4-活性 トランジションが $R(M_0)$ のすべてのマーキングに対して L1-活性である。

2.2 構造的性質

ペトリネットの性質で、初期マーキングとは独立であるか、または、ある初期マーキングからの特定な発火系列の存在性と関連したものを構造的性質と呼ぶ。本研究に用いる構造的性質とその必要十分条件を下記に示す。ここで A は接続行列、 x は発火回数ベクトル、 y はトークンの重み付き総数とを表す [1][2]。

構造的有界性:

任意の有限な初期マーキング M_0 に対して有界である。

$$\exists y > 0, Ay \leq 0$$

構造的準反復性:

いくつかのトランジションが無限に生起するような発火系列が存在する。

$$\exists x \geq 0 (x \neq 0), A^T x \geq 0$$

3 強 L3/L2 活性構造の定義

強 L3-活性トランジションが存在するために必要な構造を強 L3 活性構造、強 L2-活性トランジションが存在するために必要な構造を強 L2 活性構造と呼ぶ。強 L3 活性構造・強 L2 活性構造を持つペトリネットを図 1 に示す。

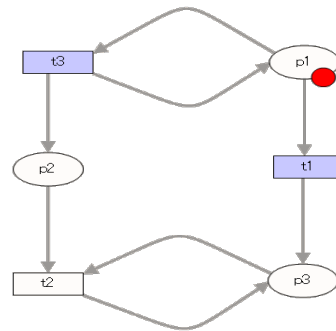


図 1 強 L3 活性ペトリネットの例 1

3.1 強 L3 活性構造

強 L3 活性構造は下記に示す 2 つの要素によって構成される。

■L3 閉路 ペトリネットの閉路のうち、閉路上のすべてのトランジションが反復性を持ち、その活性を奪う構造を持つ閉路。図 1 のネットにおいて、 t_3, p_1 で構成される閉路は反復性を持ち、その活性は t_1 の発火によって奪われるため、L3 閉路となる。

■CircuitBreaker L3 閉路内のプレースを入力を持つ、L3 閉路内のトランジションの活性を奪うトランジション。図 1 のネットにおいて、 t_1 が該当する。

3.2 強 L2 活性構造

強 L2 活性構造は下記に示す 2 つの要素によって構成される。

■ k -プレース L3 閉路内のトランジションのみからトークンを無限に受け取る L3 閉路外のプレース。また、 k -プレースからトークンを受け取り、 k -プレースと同様の性質を持つプレースを拡張 k -プレースと呼ぶ。図 1 のネットにおいて、 p_2 が k -プレースとなる。

■Enabler CircuitBreaker の発火後にのみ、無トークン状態が解除されるようなプレース。強 L2 活性トランジションの入出力となるプレースである。図 1 のネットにおいて、 p_3 が Enabler となる。

4 強 L2 活性構造の解析手法と解析例

強 L2 活性構造の解析手法を下記に示す。以降は図 2 を例にして説明する。

† 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

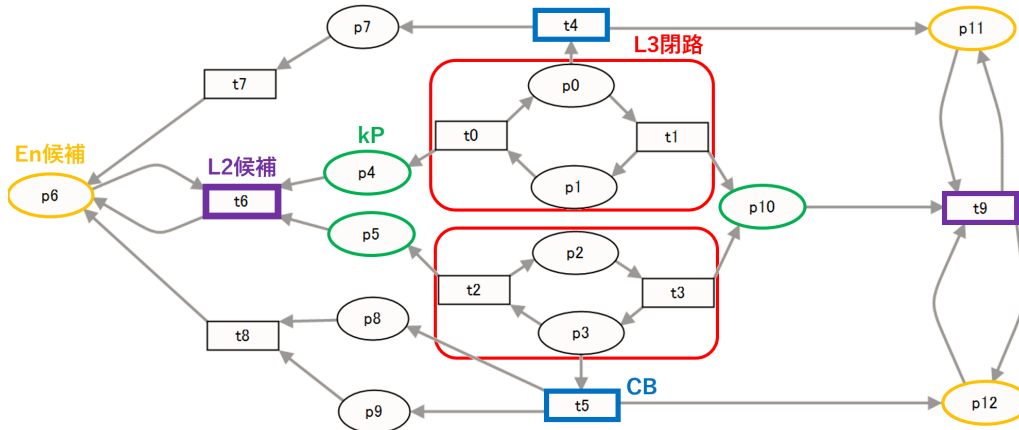


図 2 強 L3 活性ペトリネットの例 2 (2つの強 L3 活性構造と強 L2 活性構造を有する)

4.1 k -プレース解析

L3 閉路上のトランジションからトークンを受け取る L3 閉路外のプレースであり、L3 閉路上のトランジション以外からトークンを無限供給されないプレースを k -プレースと判定する。元々のネットにおいて非有界プレースであり、 k -プレースの入力元の L3 閉路を削除した部分ネットにおいて、有界プレースとなるプレースを拡張 k -プレースであると判定する。 p_4, p_5 はそれぞれ L3 閉路上のトランジションである t_0, t_2 のみを入力としている。 L3 閉路外のプレースであるため、 k -プレースとなる。同様に p_{10} も L3 閉路上のトランジションである t_1, t_3 のみを入力としているため、 k -プレースとなる。

4.2 Enabler 解析

反復するトランジションのうち、 k -プレースと k -プレース以外のプレースを入力を持つトランジションを強 L2-活性候補トランジションとし、その k -プレース以外のプレースを Enabler 候補プレースとする。強 L2-活性候補トランジションの入力となる k -プレースに注目し、その k -プレースの入力となる L3 閉路の CircuitBreaker の入力プレースを削除した部分ネットを作成する。その部分ネットに対し構造的有界性求解を行い、更に CircuitBreaker を削除した部分ネットにおいて再び構造的有界性求解を行う。 Enabler 候補プレースが前者のネットにおいて非有界プレースであり、後者のネットにおいて有界プレースであれば、削除した CircuitBreaker によってカバーされる Enabler であると判定する。 Enabler 候補である p_6, p_{11} は CircuitBreaker である t_4 の入力プレースである p_0 を削除した部分ネットにおいて非有界プレースであり、更に t_4 を削除した部分ネットにおいて有界プレースであるため、 t_4 によってカバーされる Enabler となる。同様に、 p_6, p_{12} は t_5 によってカバーされる Enabler となる。

4.3 強 L2-活性トランジション存在性判定

強 L2-活性となるための条件は強 L2 活性構造と強 L3 活性構造の接続状況により変化する。

■強 L2-活性候補トランジションが複数の k -プレースを入力を持つ場合 強 L2-活性候補トランジションが複数の k -プレースを入力を持つ場合は、そのうちいずれかの

k -プレースの入力となる L3 閉路の CircuitBreaker によってカバーされる Enabler を入力に持てば良い。強 L2-活性候補トランジションである t_6 は p_4, p_5 の 2つの k -プレースを入力に持つが、 p_4 または p_5 のどちらかの入力となる L3 閉路の活性が失われれば、 t_6 は無限回発火できなくなるため、 p_4, p_5 の入力 L3 閉路の CircuitBreaker である t_4, t_5 いずれかによってカバーされる Enabler を入力に持てば良い。 p_6 は t_4, t_5 によってカバーされる Enabler であるため、 t_6 は強 L2-活性トランジションとなる。

■強 L2-活性候補トランジションの入力プレースが複数の L3 閉路を入力に持つ場合 強 L2-活性候補トランジションの入力プレースが複数の L3 閉路を入力に持つ場合は、全ての L3 閉路の CircuitBreaker が別々の Enabler をカバーすれば良い。 k -プレースである p_{10} は 2つの L3 閉路を入力に持つ。この場合、片方の L3 閉路の活性を奪うだけでは、もう片方の L3 閉路からトークンが無限供給されてしまうため、両方の L3 閉路の活性が奪われた後に強 L2-活性トランジション候補である t_9 が発火可能になるような構造が必要である。そのためにはそれぞれの L3 閉路の CircuitBreaker が異なる Enabler をカバーする必要がある。それぞれの L3 閉路の CircuitBreaker である t_4 と t_5 が p_{11}, p_{12} と別々の Enabler をカバーしているため、 t_9 は強 L2-活性トランジションとなる。

5 まとめと今後の課題

本研究では強 L2-活性トランジションが存在するために必要な構造である強 L2 活性構造の存在性判定を行った。一般ペトリネットの構造的性質を用いることで強 L2 活性構造を効率的に解析している。今後の課題として、本学で開発されているペトリネット援用ツール HiPS[4] に本解析機能の実装を行う。

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] K. Lautenbach: "Liveness in Petri nets", St. Augustin, Gesellschaft für Mathematik und Datenverarbeitung Bonn, Interner Bericht ISF-75-02.1, 1975
- [4] HiPS : Hierarchical Petri net Simulator, <https://sourceforge.net/projects/hips-tools/>