

UML アクティビティ図から構造変換された自由選択ワークフローネットに対する活性化マーキング

Live Initial Marking in Free-Choice Workflow Nets converted from UML Activity Diagrams

小林 一平† 和崎 克己‡
Kobayashi Ippei Katsumi Wasaki

1 はじめに

ペトリネット [1] とは、プレースとトランジションの 2 種類のノードを持つ二部有向グラフであり、並列システムを視覚的にモデル化することが可能で、ネットの構造的解析・マーキング状態の挙動的解析の双方の検証能力を有する。著者らは、上位設計とネット検証との中継手段として、UML アクティビティ図の記述規則と、自動変換後のネット構造条件（拡張自由選択ネット）を定義することで、UML 設計への修正点の自動指示と、ペトリネット援用ツールへの構造変換を検討してきた [2]。ここで、構造変換後のネットに対する活性化マーキングの設置手法については未解決であった。変換後のネットを更に自由選択ワークフローネットへ制限することで、活性化マーキング問題は、ワークフローネットの健全性へ帰着できる [3]。本報告ではこれらの活性化マーキングの検討と自動変換援用ツールについて述べる。

2 UML アクティビティ図からペトリネットのサブクラスへの変換

2.1 変換規則

アクティビティ図をペトリネットへ変換することで、アクティビティ図の開始ノードから最終活動ノードへ到達し得る、デッドロック・フリー解析を行うことができる。

アクティビティの要素からペトリネットの要素への基本的な変換規則を検討した [2]。開始ノードと最終活動ノードはそれぞれプレースに変換し、開始ノードから変換されたプレースにはトークンを一つ置く。アクションとフォーク/ジョインノードはトランジションに、デシジョン/マージノードはプレースに各々変換する。エッジはアークに変換するが、変換後のネット図においてプレースとトランジションが交互に連なるよう変換する必要があるため、前後のノードのタイプを調べ、必要に応じてダミープレース/ダミートランジションを追加しながら変換を行う。

2.2 拡張自由選択ネット

ペトリネットはその構造により、状態機械 (SM)、マークグラフ (MG)、自由選択 (FC) ネット、拡張自由選択 (EFC) ネット、非対称選択 (AC) ネットなどのサブクラスに分けられ、SM ネットと MG ネットは FC ネットに包含され、FC ネットは EFC ネットに包含され、EFC ネットは AC ネットに包含される。

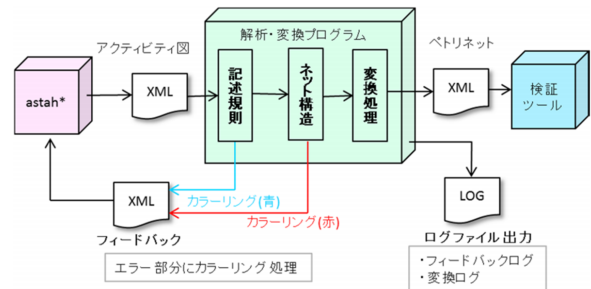


図 1 UML アクティビティ図からペトリネットへの変換データフローの概要

EFC ネットは競合構造と同期構造との共存が可能なサブクラスであり、任意のプレースの組が出力トランジションを共有しているならば、これらのプレースの出力先トランジションは全て等しいという特徴を持つ。一般ペトリネットの解析は困難であるが、ネット構造を EFC ネットに制限することで、ペトリネットの初期マーキングに依存する動的解析が容易となる。

アクティビティ図からペトリネットへ変換する際、EFC サブクラスへ制限する。EFC サブクラスへに該当しない部分について、図 1 に示すようにアクティビティ図の要素を赤色にしてフィードバックすることで、設計者へ警告する。

2.3 自由選択ワークフローネットと健全性

ワークフローネットとは唯一の入力であるソースプレースと唯一の入力であるシンクプレースを持ち、全てのノードはソースプレースからシンクプレースへの有向道上の存在するネットである。また、EFC ネットの構造を持つワークフローネットを自由選択ワークフローという [3]。

アクティビティ図からペトリネットへ変換する際、EFC ネットからさらに自由選択ワークフローネットへ制限することで活性化マーキング問題はワークフローネットの健全性の問題に帰着できる。健全性とは、次の 3 つの条件を満たす性質である。(1) ワークフローネットがソースプレースからシンクプレースへ必ず到達可能、(2) シンクプレースへ到達した場合シンクプレース以外にトークンが存在しない、(3) 不活性なトランジションが存在しない。

アクティビティ図から変換したペトリネットがワークフローネットでありさらに健全であるならば、アクティビティ図を変換したペトリネットによる設計は構造的には正常に動作し、終了する設計といえる。

† 信州大学大学院工学系研究科, Graduate School of Science and Technology, Shinshu University

‡ 信州大学工学部, Faculty of Engineering, Shinshu University

3 ループ構造による活性安全マーキング問題

3.1 フォークとジョインによる並行ループの存在

アクティビティ図の正常なプロセストレースは、いかなるルートを通っても開始ノードから最終活動ノードへ到達するということである。ワークフローネットへの置き換えにより、シンクプレース直前の終了トランジションがいかなるルートを通っても L1-活性 (初期マーキングからある発火系列において少なくとも 1 回は発火可能) であると置き換えられる。これを終了状態への到達性とする。アクティビティ図から変換したペトリネットは終了条件への到達性を満たしていれば、開始から終了状態までの動作は保証される。健全であるならば終了状態への到達性は満たされる。しかし、不健全であってもマーキングによって終了状態への到達性が満たされる場合が存在する。

アクティビティ図における、フォークとジョインによる並行ループについて検討する。例えば、フォークとジョインを持つアクティビティ図は、図 2(b) のペトリネットへ変換される。

一般にループの存在するマークグラフワークフローネットは不健全である。ソースプレース以外に初期マーキングが無く、ループ内にトークンが存在しないため不活性である。終了状態への到達性も満たさない。しかし、ペトリネットの定理に則り初期マーキングを配置することで、終了状態への到達性を満たすことができる。

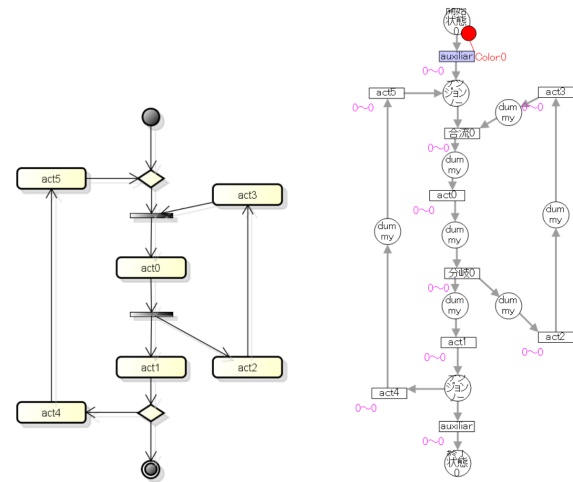
文献 [1] 定理 10 によりマークグラフが強連結であれば、活性かつ安全であるマーキングが存在する。アクティビティ図を変換した自由選択ワークフローネットが強連結なマークグラフの並行ループを持つならば、並行ループに活性安全マーキングを施すことで並行ループ内のトークン不足を回避できる。この場合、マークグラフの並行ループのトークン不足が解消されるだけであって、自由選択ワークフローネットが必ずしも終了状態への到達性を満たすわけではない。

3.2 強連結成分のマークグラフ検査

アクティビティ図を変換した自由選択ワークフローネットに対して、強連結マークグラフ検査を行い、検出されたなら活性安全マーキングを施す。自由選択ワークフローネットであるため、全てのループ要素が MG クラスであることは無い。ここでの目標マーキングは並行ループによるトークン不足の解消である。それならば、ループにおけるフィードバック部分が強連結成分 (活性かつ安全) をもつマークグラフであればよい。以上の条件から、本手法では以下の (1)(2) の順で、ループにおけるフィードバック部分の強連結成分のマークグラフ検査を行う。

(1) 並行ループの検出を行う。並行ループが存在しなければ検査を終了する。並行ループが存在した場合、並行ループにおける合流と分岐を見つける。分岐から合流まではフィードバック部分となる。フィードバック部分以外を縮約する。

(2) ループのフィードバック部分の強連結成分のマークグラフ検査を行う。(2.1) フィードバック部分のトランジションが全て入力出力アークを 1 本しか持たなければ MG ネットとなる。MG ネットで無ければ検査を終了する。(2.1) フィードバック部分が強連結であるこ



(a) 並行ループを持つアクティビティ図 (b) 左図をペトリネットへ変換した図

図 2 アクティビティ図とペトリネットの変換例

とを調べるために、フィードバック部分の分岐を調べる。分岐が無ければ強連結である。分岐がある場合、分岐先がフィードバック部分内で合流しているか検査する。合流していれば強連結である。強連結であるならば、フィードバック部分の任意のプレースにトークンを一つ置くことで活性なマーキングを得ることができる。

3.3 UML のアクティビティ図要素へのフィードバック

フィードバック部分が MG ネットで無い場合、また、強連結で無い場合、元のアクティビティ図の要素へフィードバックを行う。EFC ネットを検出した場合と同様に、検出したループにおけるフォークからジョインまでの要素を赤色にして設計者への警告とする。

4 まとめと今後の課題

アクティビティ図の自由選択ワークフローネットへの変換と、ジョインとフォークの並行ループを持つアクティビティ図を変換したペトリネットへの終了到達性を持つ初期マーキングの配置と検査について述べた。本手法では終了状態への到達性を満たす可能性のあるマーキングを与えただけで、終了状態への到達性の検証は行っていない。今後の課題として、自由選択ワークフローネットに対する終了状態への到達性の検証が必要である。FC ネットであるならばサイフォンとトラップを検出する方法で活性と安全について検証可能である [1]。

謝辞 本研究の一部は科学研究費 (23500174) の助成を受けたものである。

参考文献

- [1] T.Murata : Petri Nets: Properties, Analysis and Applications, Proc. IEEE, Vol77, No4, pp.541-580, 1989
- [2] 關屋, 和崎: ロボット並列制御システム設計の UML アクティビティ図に対するペトリネットによる正当性検証, FIT2011 (第 10 回情報科学技術フォーラム) 講演論文集, (B-006), 253-256, 2011
- [3] 山口, 葛崎: ネット理論の応用-ワークフローネットとプログラムネット-, Fundamentals Review, vol3, no.3, pp.52-63, 2010