

氏名	とよしま いちろう 豊嶋 伊知郎
授与学位	博士(工学)
学位記番号	理工博甲第678号
学位授与年月日	平成27年9月30日
学位授与の要件	学位規則第4条1項
研究科, 専攻の名称	理工学研究科(博士後期課程) 情報・デザイン工学系専攻
学位論文題目	A Study on Petri Net Based Refactoring of Workflows and Its Applications
論文審査委員	主査 山口大学 准教授 山口 真悟 山口大学 教授 松藤 信哉 山口大学 教授 石川 昌明 山口大学 教授 大林 正直 山口大学 教授 葛 崎偉

【学位論文内容の要旨】

Business workflow management is very important activity for all companies. The management includes checking consistency, estimating efficiency and so on. The importance of workflow management has been increasing since continuous business changing.

Workflow net (WF-net for short) is a model of workflow, based on Petri net. Petri net is a mathematical model for concurrent and discrete event system. WF-net is a Petri net introducing some constraints so as to fit to workflows in the real world. It has been proposed by van der Aalst in 1998. We expect to check workflows' consistency automatically by using WF-net. For example, "This case will terminate correctly?", "How many states does this workflow have?". Automatic checking is very effective for us to deal with huge complexity workflow in the real world.

There is a subclass of WF-net, called Extended Free Choice WF-net (EFC WF-net for short). Many actual workflows can be modeled as EFC WF-nets. On the other hand, there is another subclass of WF-net, named Well-structured WF-net (WS WF-net for short). WS WF-net has more checking algorithms than EFC WF-net. It is naturally for us to try to reduce EFC WF-net to WS WF-net to check some properties.

Yamaguchi has defined a problem, called *acyclic EFC WF-net refactoring problem* in 2012, that means that given acyclic EFC WF-net may be transformed an acyclic WS WF-net without changing its observable behavior. If the acyclic EFC WF-net is refactored to an acyclic WS WF-net, we can use the analysis methods of WS WF-nets to analyze the EFC WF-net.

It is necessary to know sufficient conditions of refactorizability. So that, we judge to refactor a target EFC WF-net. If some conditions are "TRUE", we apply refactoring algorithm to the EFC WF-net, and get the resultant WS WF-net to check the consistency of the original EFC WF-net.

In this thesis, we focus sufficient conditions of refactorizability of WF-net and refactoring algorithms to study refactoring actual workflows. This thesis is organized as follows:

Chapter 1 presents background and motivation of this study, next we introduce related studies and clarify the novelty of our study on; Chapter 2 presents the definitions of Petri net, and WF-net. Furthermore, we show another mainly concepts called branching bisimilarity. It corresponds to equivalence between workflows' behavior; Chapter 3 presents the three sufficient conditions of refactorizability. The first two conditions are based on paths in WF-net. The last one is based on places in WF-net.; Chapter 4 presents refactoring algorithms by using sufficient conditions proposed in Chap.3; Chapter 5 presents the applications of refactoring. The first is "Reachability Checking". The second is "State Number Calculation". The third is "Response Property Checking"; Chapter 6 presents advanced concept "Timed Behavioral Inheritance (TBI for short)" and its application. TBI is an extension of branching bisimilarity; Chapter 7 gives the conclusion of this thesis and presents future works,

The results presented in this thesis reveal the sufficient conditions of EFC WF-net refactoring and related refactoring algorithm. It enable us to analyze EFC WF-net a broad properties more easily. In the future works, we will try to apply our method to upstream process in workflow system design. It may reduce the costs in the processes.

【論文審査結果の要旨】

電子商取引や電子申請等のシステムの開発や運用保守においては、ワークフロー(仕事の流れ)を理解し、それを効率良く実行できるようにすることが重要である。しかしながら、ワークフローは法律の改正や市場の変化、技術革新などに適合するように変更されるため、「つぎはぎ」になることは避けられない。そのようなワークフローに対して、振舞いを変えずに構造を整理する(リファクタリングと呼ぶ)ことによって、可読性や解析可能性を高めることは実用上きわめて重要な要請である。リファクタリングは元来、ソフトウェア工学の研究分野で生まれた概念である。本博士論文では、この概念をワークフローの研究分野に導入し、ワークフローをリファクタリングする手法並びにその応用を示している。

本論文の構成と内容は以下の通りである。

第1章では、研究の背景と目的、研究の位置づけ、論文の構成について述べている。

第2章では、本研究に関連するペトリネットに関する基本的事項について説明している。

第3章では、ワークフローをペトリネットでモデル化し、リファクタリングをペトリネットの変換問題として定式化している。全てのワークフローがリファクタリングできるわけではない。そこで、まず与えられたワークフローがリファクタリングできるかどうかを判定する3つの十分条件を明らかにした。そして各条件を満たした場合に、それぞれ適用可能なリファクタリング操作を明らかにした。1つ目と2つ目は異なる種類のノード間に互いに疎なパス(ハンドルと呼ぶ)があるとき、それを取り除く操作であり、先行研究の結果を一般化したものである。3つ目は冗長なプレースがあるとき、それを取り除く操作であり、新たな視点から考案されたものである。これらの条件や操作の正しさは数学的に証明され、成果の信頼性が確保されている。

第4章では提案した3つの操作を組み合わせたリファクタリングのアルゴリズムを構築している。ワークフローをリファクタリングするアルゴリズムは、これまで検討されておらず、本研究の新規性を示している。また、このアルゴリズムはコンピュータに容易に実装できることから、本研究の成果の実用化を促すものである。

第5章では提案手法の応用として、可達性解析や状態数計算、因果関係解析の3つを示している。実用的な時間で解析が困難な問題をリファクタリングによって可能にする例を示すことによって、リファクタリングの有効性と実用性を確かめている。

第6章では発展的な話題として、時間に依存するシステムへリファクタリングの概念を拡張している。この拡張されたリファクタリングはスケジューリングや性能評価等の時間に依存する問題の解決を容易にするものである。

第7章では、本論文で示した新しい結果をまとめ、今後の展望を述べている。

公聴会には 18 名の参加者があり、活発な質疑応答がなされた。その主な内容として、

- ・ 提案アルゴリズムの合理性並びに結果の一意性に関するもの、
 - ・ リファクタリングの結果を解析だけでなく、運用にも活用する見込みに関するもの、
 - ・ 本研究の成果でカバーできないもの並びに、その対応に関するもの
- などがあり、いずれの質問に対しても申請者からの確かな回答がなされた。

以上より本研究は新規性、信頼性、実用性、有効性とも優れ、博士(工学)の論文に十分なものと判断した。

論文内容及び審査会、公聴会での質問に対する応答などから、最終試験は合格とした。

なお、主要な関連論文の発表状況は下記のとおりである。

- 1) Ichiro Toyoshima, Shota Nakano, Shingo Yamaguchi, "Reduction Operators Based on Behavioral Inheritance for Timed Petri Nets," *IEICE Transactions on Fundamentals of Electronics, Communications and Computer Sciences*, vol.E97-A, no.2, pp.484-489, 2014.
- 2) Ichiro Toyoshima, Shingo Yamaguchi, Yuki Murakami, "Two Sufficient Conditions on Refactorizability of Acyclic Extended Free Choice Workflow Nets to Acyclic Well-Structured Workflow Nets and Their Application," *IEICE Transactions on Fundamentals of Electronics, Communications and Computer Sciences*, vol.E98-A, no.2, pp.635-644, 2015.
- 3) Yuki Murakami, Ichiro Toyoshima, Shingo Yamaguchi, "Sufficient Condition on Refactorizability of Acyclic Extended Free Choice Workflow Nets to Acyclic Well-Structured Workflow Nets," *Proc. of CANDAR 2013*, pp.592-596, 2013.
- 4) Jia Zhang, Ichiro Toyoshima, Shingo Yamaguchi, "On Implicit Place and Its Application to Refactoring in Acyclic Extended Free Choice Workflow Nets," *Proc. of ITC-CSCC 2015*, pp.264-267, 2015.
- 5) Ichiro Toyoshima, Shingo Yamaguchi, Jia Zhang, "A Refactoring Algorithm of Workflows based on Petri Nets," *Proc. of AAI 2015*, pp.79-84, 2015.