

学 位 論 文 内 容 の 要 旨	
学位論文題目	A Study on Petri Net Based Model-Driven Development in Software Evolution (ソフトウェア派生開発におけるペトリネットに基づくモデル駆動開発に関する研究)
氏 名	MOHD AUARUDDIN BIN AHMADON
<p>ソフトウェアの長寿命化や大規模化、短納期化に伴い、新規開発の機会は減少し、現行のソースコードを変更したり、新しい機能だけをコーディングして追加したりする派生開発が一般的になっている。派生開発では、機能の追加や変更が繰り返され、ソフトウェアが「つぎはぎ」だらけになることも少なくない。その結果、変更漏れや変更間違い、変更前後の互換性の損失などの深刻な問題が発生している。これらの問題は派生開発に特有なものであり、従来の開発法では解決が困難である。したがって、派生開発に適した新たな開発法の確立が望まれている。</p> <p>本研究ではソフトウェア派生開発での支援を提案するためにソフトウェア解析問題の計算複雑さを明らかにした。ソフトウェアに対する重要な検査は状態数計算や応答性質の解析が注目されている。ソフトウェアの振る舞いを検証するために状態空間の解析が重要で、状態空間の規模を把握するために状態数を検証する必要がある。また、ソフトウェアが変化する際に命令の順序関係を確認することも重要なので、プログラムの応答性質を解析する方法が必要である。本研究では、これらの検証問題の計算複雑さを明らかにした。</p> <p>本研究で提案したモデル駆動開発の方法としてはリバースエンジニアリングの方法に基づいてプログラムをペトリネットモデルとして解釈し、モデル検証を行う。まず、Cプログラムをペトリネットに変換するアルゴリズムを提案した。そして、検証の方法としてプロセスツリーというペトリネットの木表現を利用し、プロセスツリーに基づく検証方法を提案した。プロセスツリーの検証にはプログラムを変換してから、多項式時間での状態数計算と応答性質の解析アルゴリズムを明らかにした。最後に、二つの支援ツールを提案した。一つ目は、C2PNML というCプログラムからペトリネットに変換するツールである。二つ目は Process Tree Analysis Tool というプロセスツリーに基づく解析ツールを提案した。</p> <p>第1章では研究の目的を説明してから、第2章でソフトウェア派生開発とペトリネットの基礎を紹介する。第3章ではソフトウェア派生開発の現実世界の問題とその解決法を述べる。ソフトウェア派生開発では二つの問題に分け、1つ目の問題は互換性の検証問題と2つ目の応答性質の問題を説明する。第4章では全体的なソフトウェア派生開発の方法を提案する。第5章では、ツールの開発を紹介し、評価結果を明らかにする。最後に、第6章では結論と今後の課題を説明する。</p>	

学 位 論 文 内 容 の 要 旨	
学位論文題目	A Study on Petri Net Based Model-Driven Development in Software Evolution (ソフトウェア派生開発におけるペトリネットに基づくモデル駆動開発に関する研究)
氏 名	MOHD ANUARUDDIN BIN AHMADON
<p>Software needs to adapt to new function thus upgrade and patches are implemented to the software. A program changes as programmers apply patches and upgrades to its source code. Hence, when releasing new version, it is important to verify the software follows the specification in the product line. Managing product line is important when in software evolution; major and minor upgrades are frequently applied. In conventional software development, a program is developed through many stages which we call as the stage of evolution. Does the behavior of the program satisfy its design model in its product line? In conventional ways, verification by looking at the source code or running the program consumes a lot of time and effort. One formal analysis approach is by analyzing the program's behavior. However, state space explosion may occur for large and complex programs:</p> <p>In this paper, we proposed model-driven development in software evolution. The thesis is organized as follows:</p> <p>In Chap. 1, we gave the background, motivation and objective of the research. We also stated the position of the research by discussing the previous work. In Chap. 2, we introduced the fundamentals knowledge of software evolution, Petri nets and other important properties and subclasses of Petri nets. In Chap. 3, we introduced the real world concept of software evolution. Then we gave the problem in software evolution known as backward compatibility. Backward compatibility means, for software X, does the newer version software Y and so on preserve important function in software X? In Chap. 4, we proposed a solution for the development that preserves backward compatibility throughout the evolution based on Petri net. Once a program is translated into Petri net, we can modify a program based on its model and verify whether backward compatibility is preserved or not. Backward compatibility check can be done with model checking tools, but for large and complex programs i. e. programs with state number more than 1 million states, they cannot be analyzed in practical time because of state space explosion. We utilized a tree representation called as process tree as the solution. First, we showed the complexity of the state number calculation problem. Then we gave the polynomial time procedure to solve the problem. We showed that we can verify behavioral inheritance to verify backward compatibility for minor version upgrade. Then, we proposed response property analysis for major version upgrade. Response property analysis checks important execution sequence of the program. We proposed the polynomial time procedure for response property analysis. In Chap. 4, we showed the tool development and application example of software evolution. In Chap. 5, we gave the conclusion and future works of the development method in the software evolution.</p>	

学位論文審査の結果及び最終試験の結果報告書

(博士後期課程博士用)

山口大学大学院理工学研究科

報告番号	理工博甲 第 722 号	氏名	MOHD ANUARUDDIN BIN AHMADON
最終試験担当者	主 査 山口 真悟 審査委員 松藤 信哉 審査委員 大林 正直 審査委員 葛 崎偉 審査委員 田村 慶信		
【論文題目】 A Study on Petri Net Based Model-Driven Development in Software Evolution (ソフトウェア派生開発におけるペトリネットに基づくモデル駆動開発に関する研究)			
【論文審査の結果及び最終試験の結果】 <p>ソフトウェアの長寿命化や大規模化、短納期化に伴い、新規開発の機会は減少し、現行のソースコードを変更したり、新しい機能だけをコーディングして追加したりする派生開発が一般的になっている。派生開発では、機能の追加や変更が繰り返され、ソフトウェアが「つぎはぎ」だらけになることも少なくない。その結果、変更漏れや変更間違い、変更前後の互換性の損失などの深刻な問題が発生している。これらの問題は派生開発に特有なものであり、従来の開発法では解決が困難である。したがって、派生開発に適した新たな開発法の確立が望まれている。</p> <p>本博士論文では、ソフトウェアを数学的に表現し、解析ツールが豊富なペトリネットモデルを中心とした派生開発の新たな開発法並びにその応用を示している。</p> <p>本論文の構成と内容は以下の通りである。</p> <p>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。</p> <p>第 2 章では、本研究に関連するソフトウェア派生開発とペトリネットの基本的事項について説明している。</p> <p>第 3 章では、C 言語のソフトウェアをペトリネットモデルへリバースエンジニアリングする方法と、それを実装したツール C2PNML について述べている。その特徴はリバースエンジニアリングを C 言語からペトリネット記述言語への変換と捉え、プログラミング言語処理系を活用している点にあり、新規性がある。また C 言語のソフトウェアを表すペトリネットモデルを分析し、その状態数を実用的な時間で求める方法や構造的特性を明らかにした。これらの結果の正しさを数学的に証明し、成果の信頼性を確保している。</p> <p>第 4 章では、まず派生開発におけるソフトウェアの検証問題をペトリネットモデルの解析問題として定式化した取り組みについて述べている。マイナーアップグレードの互換性はモデル間の振舞い上の継承関係、メジャーアップグレードの互換性はモデル間に同じ反応があるかによって検証可能であることを明らかにした。互換性の検証に対する数理的アプローチは、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。さらに、それらの検証をペトリネットの構造的特性を活かして、解析する方法を確立した。これらの方法は実用的な時間で利用可能であることから、本研究の実用性を示すものである。</p> <p>第 5 章では、提案法の応用として、スマート冷蔵庫の派生開発におけるネットワーク通信のセキュリティプロトコルの検証例を示し、具体的な利活用を通じて、提案法の有効性と実用性を実証している。</p> <p>第 6 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。</p>			

公聴会には 19 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、

- ・ 提案法が適用可能なソフトウェアの規模に関するもの、
 - ・ 実際の現場で運用する場合、遭遇すると思われる問題とその解決に関するもの、
 - ・ ソフトウェア以外で提案法が応用可能な分野に関するもの
- などがあり、いずれの質問に対しても申請者からの的確な回答がなされた。

以上より本研究は新規性、信頼性、実用性、有効性ともに優れ、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、関連論文の発表状況は下記のとおりである。

1. Mohd Anuaruddin Bin Ahmadon, Shingo Yamaguchi, "State Number Calculation Problem of Workflow Nets," IEICE Trans. Information and Systems, vol.E98-D, no.6, pp.1128-1136, 2015.
 2. Shingo Yamaguchi, Mohd Anuaruddin Bin Ahmadon, "Properties and Decision Procedure for Bridge-Less Workflow Nets," IEICE Trans. Fundamentals, vol.E99-A, no.2, pp.509-512, 2016.
 3. Mohd Anuaruddin Bin Ahmadon, Shingo Yamaguchi, B.B. Gupta, "Petri Net-Based Verification of Security Protocol Implementation in Software Evolution," International Journal of Embedded Systems, 2016 年 12 月採録決定.
 4. Mohd Anuaruddin Bin Ahmadon, Shingo Yamaguchi, "A Petri Net Based Support for Derivative Development of Consumer Electronic Products," Proc. of IEEE GCCE 2013, pp.212-216, 2013.
 5. Mohd Anuaruddin Bin Ahmadon, Shingo Yamaguchi, "Convertibility and Conversion Algorithm of Well-Structured Workflow Net to Process Tree," Proc. of CANDAR 2013, pp.122-127, 2013.
 6. Mohd Anuaruddin Bin Ahmadon, Shingo Yamaguchi, "Tailor Made Device Driver Design System Based on Petri Nets," Proc. of IEEE GCCE 2014, pp.703-706, 2014.
 7. Mohd Anuaruddin Bin Ahmadon, Shingo Yamaguchi, "On State Number Calculation in Petri Nets," Proc. of CANDAR 2014, pp.116-122, 2014.
 8. Mohd Anuaruddin Bin Ahmadon, Shingo Yamaguchi, B.B. Gupta, "A Petri-Net Based Approach for Software Evolution," Proc. of IEEE ICICS 2016, pp.264-269, 2016.
 9. Wenshan Tang, Zhaolong Gou, Mohd Anuaruddin Bin Ahmadon, Shingo Yamaguchi, "On Verification of Implementation of Security Specification with Petri Nets' Protocol Inheritance," Proc. of IEEE GCCE 2016, pp.497-500, 2016.
 10. Shingo Yamaguchi, Mohd Anuaruddin Bin Ahmadon, Qi-Wei Ge, Handbook of Research on Modern Cryptographic Solutions for Computer and Cyber Security - Introduction of Petri Nets: Its Applications and Security Challenges, Chapter 7, pp.145-179, IGI Global, Hershey, PA, USA, 2016. ISBN 9781522501053
- 他、参考論文として査読のある国際会議の会議録等に 7 編。