

平成 30 年 6 月 1 日現在

機関番号：16201

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2014～2017

課題番号：26730038

研究課題名（和文）ペトリネットを用いたモデルベースドミューテーションテスト法の開発と評価

研究課題名（英文）Development and Evaluation of Model-Based Mutation Testing Techniques Using Petri Nets

研究代表者

高木 智彦（Takagi, Tomohiko）

香川大学・工学部・講師

研究者番号：70509124

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 2,000,000円

研究成果の概要（和文）：本研究では、並行ソフトウェアの振舞いをより精密に表現するために、ペトリネットの一種であるブレース/トランジションネットを拡張した形式的モデルを定義した。そして、各種メトリクスに基づいて形式的モデルを重み付けし、拡張されたミューテーションスコアを導出したり、テストケースやミュータントモデルを選びすぐって生成したりする手法を構築した。さらに、ミュータントモデルからネガティブテストケースを選びすぐって生成する手法を構築した。

研究成果の概要（英文）：In this study, we defined EPN (Extended Place/transition Net) to represent the behavior of concurrent software in more detail. We constructed a technique to weight EPN based on various kinds of metrics, and techniques to calculate an extended mutation score, generate good test cases and mutant models. Additionally, we constructed a technique to generate good negative test cases from mutant models.

研究分野：ソフトウェア工学

キーワード：ソフトウェアテスト

1. 研究開始当初の背景

ソフトウェアの品質を確保するためには、出荷前に十分なテストを実施して故障を発見し、その原因となっている欠陥を除去しなければならない。しかしながら、近年広く用いられ重要性が増している並行ソフトウェア（構成要素が相互作用を行いながら並行動作するソフトウェア）は振舞いが複雑であり、有限の開発時間や労力の中で、潜在する故障を発見することは容易ではない。並行ソフトウェアのための新たなテスト手法を開発することが、ソフトウェア開発における重要な課題の一つとなっている。

一般的に、テストケース（テストすべき項目）は、ソフトウェアの仕様を表す形式的モデルやソースコードなどに基づいて設計される。形式的モデルに基づいてテストケースを設計する手法は MBT (model-based testing) と呼ばれるが、これに mutation testing を導入した、比較的新しいテスト手法が MBMT (model-based mutation testing) である。MBMT は、ソフトウェアの複雑な振舞いを抽象化し、体系的にテストケースを設計できるという MBT の特徴と、特定の故障に着目したり、テストケースを評価したりできるという mutation testing の特徴を備えていると考えられ、上記課題に対する有効な手法として着目した。ただし、MBMT を並行ソフトウェアに効果的に適用するためには、並行ソフトウェアの振舞いの表現に適した形式的モデルを用いた MBMT を開発する必要がある。

2. 研究の目的

そこで本研究では、並行ソフトウェアの振舞いの表現に適したペトリネットを用いた MBMT を開発する。本手法では、まず並行ソフトウェアの期待される振舞いを表すペトリネットであるオリジナルモデルを作成する。次に、ミューテーションオペレータと呼ばれる欠陥挿入方法をオリジナルモデルに適用することにより、特定の故障を含むペトリネットであるミュータントモデルを生成する。そして、ミュータントモデルに基づいてネガティブテストケース（ミュータントモデル上で故障状態に到達できるテストケース）を設計したり、テストケースを評価したりする。本手法の要は、オリジナルモデルからミュータントモデルを生成するアルゴリズムや、ミュータントモデルからネガティブテストケースを生成するアルゴリズム、ミューテーションスコア（テストケースを評価するためのメトリクス）の導出方法である。

3. 研究の方法

(1) 主要なステップ：本研究は、ミュータントモデル生成アルゴリズムの構築、ネガティブテストケース生成アルゴリズムの

構築、テストツールの開発、評価・修正、形式的モデルやミューテーションスコアの拡張、というステップから構成される。最初は、基本的なペトリネットとして知られるプレース/トランジションネットを形式的モデルとして採用し、～ をスパイラル的に繰り返すことによって本手法を発展させていく。各ステップの概要は以下の通りである。

ミュータントモデル生成アルゴリズムの構築：一般的に、ミューテーションオペレータと故障の間の因果関係を明らかにすることは困難なため、遺伝的アルゴリズムに代表される、試行錯誤によって近似最適解を求めるアプローチをとることとする。遺伝的アルゴリズムを採用する場合は、遺伝的表現（ミュータントモデルをエンコーディング・デコーディングする方法）や遺伝的操作（ミュータントモデルに対して交叉、突然変異、選択を適用する方法）を検討する。最初の世代の生成やその後の突然変異の実行には、ミューテーションオペレータが必要なため、採用した形式的モデルに適するミューテーションオペレータの定義やその適用方法も検討する。

ネガティブテストケース生成アルゴリズムの構築：単純な形式的モデルに対しては、グラフ探索アルゴリズムを用いることを検討する。形式的モデルを拡張した結果、実行可能性の問題（特定の状態遷移が可能になるための条件を導出することが困難となる問題）などが生じた場合は、遺伝的アルゴリズムに代表される、試行錯誤によって近似最適解を求めるアプローチをとることとする。

テストツールの開発：～で構築したアルゴリズムをテストツールに実装する。

評価・修正：例題に対してテストツールを試験的に適用することにより、有効性を評価する。問題が発見された場合は、前ステップに戻って原因を分析し、修正する。

形式的モデルやミューテーションスコアの拡張：より複雑な並行ソフトウェアの振舞いや特性を表現できるようにするために、ひいては、より精密なネガティブテストケースの生成を可能とするために、形式的モデルを拡張する。形式的モデルの拡張に伴って、ミュータントモデル生成アルゴリズムやネガティブテストケース生成アルゴリズムも拡張しなければならないので、～に戻って作業を繰り返す。また、必要に応じて、より精密なテストケースの評価を可能とするために、ミューテーションスコアの拡張も行う。

(2) 研究体制：本研究は、研究代表者 1 名によって実施する。ただし、効果的に研究を進めるために、必要に応じて大学教員や大学院生などの研究協力者から支援を受ける。

4. 研究成果

主な研究成果は以下の通りである。

(1) 形式的モデルやミューテーションスコアの拡張： プレース/トランジションネットに対して、アクション（状態遷移時に実行されるべきデータ処理）やガード（状態遷移が可能になるための条件）を定義できるように拡張した形式的モデル（拡張プレース/トランジションネット）を考案し、その編集を支援する機能をテストツールに実装した。アクションやガードは、VDM（Vienna development method）の仕様記述言語を用いて記述する。これによって、より複雑な並行ソフトウェアの振舞いや特性を形式的に表現できるようになると考えられる。また、拡張プレース/トランジションネットをVDM仕様に変換する方法を検討したので、既存のVDM用ツールを用いてその動作を確認することができる。さらに、故障が潜在している可能性やソフトウェア信頼性への影響度を示唆する各種メトリクスに基づいてプレース/トランジションネットを重み付けし、それらを加味したミューテーションスコア（拡張ミューテーションスコア）を導出する手法を構築した。これによって、本手法におけるテストケースのより精密な評価が期待できる。

(2) ミュータントモデル生成アルゴリズムの構築： ミューテーションオペレータとして、モデルベースドミューテーションオペレータとコードベースドミューテーションオペレータを導入した。そして、拡張プレース/トランジションネットとして記述されたオリジナルモデルに対して、手動でミューテーションオペレータを適用することによってミュータントモデルを構築する方法を検討し、テストツールに実装した。さらに、拡張プレース/トランジションネットとして記述されたオリジナルモデルから、指定された数のミュータントモデルを選びすぐって生成するアルゴリズムを構築した。これは、自然界における生物進化を模倣したアプローチである遺伝的アルゴリズムを応用したもので、ミュータントモデルが遺伝子に、解候補（ミュータントモデルの集合）が生物の個体に対応する。(1)の各種メトリクスに基づく重み付け手法を導入し、大きい重みが付された部分に関連する故障を含むミュータントモデルが優れている、という考えに基づいて解の探索を行う。本アルゴリズムをテストツールに実装し、例題への適用を通してその有効性を評価した。

(3) ネガティブテストケース生成アルゴリズムの構築： 拡張プレース/トランジションネットとして記述されたオリジナルモデルに基づいて、指定された数のテストケースを選びすぐって生成するアルゴリズムを構築

した。ガードとアクションの導入に起因する実行可能性の問題に対処するため、試行錯誤を繰り返すアプローチを採用した。(1)の各種メトリクスに基づく重み付け手法を導入し、大きい重みが付された部分を優先的にテストできるようなテストケースを生成する。本アルゴリズムをテストツールに実装し、例題への適用を通してその有効性を評価した。次に、この成果を参考にして、拡張プレース/トランジションネットとして記述されたオリジナルモデルから生成されたミュータントモデルに基づいて、ネガティブテストケースを選びすぐって生成するアルゴリズムを構築した。アリがエサを探す行動を模倣したアプローチであるアントコロニー最適化手法を採用しており、ミュータントモデルに含まれる故障をエサに見立ててそこに至る最短経路の探索を行う。本アルゴリズムをテストツールに実装し、例題への適用を通してその有効性を評価した。

(4) 研究成果の位置付けと今後の展望： 本研究で得られた成果を、国際論文誌や国際会議、国内研究集会などで発表した。MBMTにペトリネット（プレース/トランジションネット）を導入し、さらにそれを拡張して表現力を高めている点、試行錯誤によって近似最適解を求めるアプローチをミュータントモデルやネガティブテストケースの生成などに応用している点が特徴である。個別のテストの状況に対応するために、拡張プレース/トランジションネットの重み付けに使用するメトリクスの選択や、各アルゴリズムの実行時のパラメータ設定をテスト担当者が適切に行わなければならないが、これにはある程度の知識や経験が必要と考えられる。また、テスト対象ソフトウェアが大規模・複雑な場合、拡張プレース/トランジションネットの作成に多くの時間や労力を要する可能性がある。今後の研究では、各アルゴリズムの性能向上に加えて、これらの作業を支援する仕組みを検討する予定である。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計1件)

Tomohiko Takagi, Shogo Morimoto, Tetsuro Katayama, "Development of a Tool for Extended Place/Transition Net-Based Mutation Testing and Its Application Example", Journal of Robotics, Networking and Artificial Life, Vol.4, No.2, pp.168-174, Sep. 2017 (査読有).
doi:10.2991/jrnal.2017.4.2.14

〔学会発表〕(計10件)

Tomohiko Takagi, Shogo Morimoto, "Development of a Mutant Generation Tool Using a Genetic Algorithm for

Extended Place/Transition Nets", International Conference on Artificial Life and Robotics, Feb. 2018 (査読有).
Tomohiko Takagi, Tetsuro Katayama, "Negative Test Case Generation from an Extended Place/Transition Net-Based Mutants", International Conference on Artificial Life and Robotics, Feb. 2018 (査読有).
Tomohiko Takagi, Akinori Akagi, Tetsuro Katayama, "Heuristic Test Case Generation Technique Using Extended Place/Transition Nets", International Conference on Applied Computing and Information Technology, July 2017 (査読有).
Tomohiko Takagi, Shogo Morimoto, Tetsuro Katayama, "Development of a Tool for Extended Place/transition Net-Based Mutation Testing", International Conference on Artificial Life and Robotics, Jan. 2017 (査読有).
Tomohiko Takagi, Tatsuki Teramoto, "Extended Mutation Score Based on Weighted Place/Transition Nets to Evaluate Test Suites", International Conference on Computer and Information Science, June 2016 (査読有).

〔図書〕(計0件)

〔産業財産権〕

出願状況(計0件)

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
出願年月日：
国内外の別：

取得状況(計0件)

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
取得年月日：
国内外の別：

〔その他〕

ホームページ等

6. 研究組織

(1) 研究代表者

高木 智彦 (TAKAGI, Tomohiko)
香川大学・工学部・講師

研究者番号：70509124

(2) 研究分担者
()

研究者番号：

(3) 連携研究者
()

研究者番号：

(4) 研究協力者
()