

令和 6 年 6 月 18 日現在

機関番号：16201
研究種目：基盤研究(C)（一般）
研究期間：2017～2023
課題番号：17K00103
研究課題名（和文）拡張状態遷移モデルから生成されるVDM仕様に基づく体系的テストケース設計手法

研究課題名（英文）Systematic Test Case Design Methods Based on VDM Specifications Generated from Extended State Transition Models

研究代表者
高木 智彦（TAKAGI, Tomohiko）
香川大学・創造工学部・准教授

研究者番号：70509124
交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 1,900,000円

研究成果の概要（和文）：本研究では、VDM（Vienna Development Method）で用いられるモデリング言語を状態遷移モデルに導入した。これを拡張状態遷移モデルと呼ぶ。拡張状態遷移モデルとして、EFSM（Extended Finite State Machine）やEPNAT（Extended Place/transition Net with Attributed Tokens）、拡張画面遷移図を提案した。これらを用いてソフトウェアの振る舞いモデルを作成する手法や、その振る舞いモデルをVDM仕様に変換する手法、テスト充分性を評価する基準、VDM仕様に基づいてテストケースを設計する手順などを構築した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

MBT（Model-Based Testing）において状態遷移モデルに基づいてテストケースを設計する場合、状態遷移モデルの表現力はソフトウェアテストの有効性に影響を与える。そこで、本研究ではVDM（Vienna Development Method）で用いられるモデリング言語を状態遷移モデルに導入し、拡張した。MBTとVDMの融合を試みる点に学術的な新規性がある。拡張状態遷移モデルに基づいて生成されるVDM仕様を用いてテストケースを設計し、ソフトウェアの状態空間を効果的にテストすることによって、ソフトウェアの信頼性確保に寄与できると考えられる。

研究成果の概要（英文）：In this study, a modeling language in VDM (Vienna Development Method) has been introduced into state transition models, which are called extended state transition models. EFSM (Extended Finite State Machine), EPNAT (Extended Place/transition Net with Attributed Tokens), and ESTD (Extended Screen Transition Diagram) have been proposed as the extended state transition models. Also, the following have been constructed: techniques to create behavioral models of software by using them, techniques to convert from the behavioral models to VDM specifications, criteria to evaluate test sufficiency, procedures to design test cases based on the VDM specifications, and so on.

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 ソフトウェアモデリング

様式 C - 19、F - 19 - 1 (共通)

1. 研究開始当初の背景

MBT (Model-Based Testing) では、テスト対象ソフトウェアの期待される振る舞いを表す形式的モデルに基づいてテストケース (テストすべき項目) を生成する。形式的モデルとして、ステートマシンやペトリネットに代表される、状態遷移モデルが広く利用されている。しかしながら、伝統的な状態遷移モデルでは、アクション (状態遷移に付随する複雑なデータ処理を伴う振る舞い) や制約条件 (遷移が発火するための条件や、変数が満たすべき条件など) を形式的かつ抽象的に (すなわち、コンピュータによる解釈実行が可能、かつ、要求仕様の本質的な内容に焦点を絞って) 表現することが困難である。モデル内の記述が形式的でなければ (たとえば自然言語であれば)、コンピュータはテストケース生成の過程でモデルを十分に解釈実行できないので、テストに必要な入力条件や期待結果をテスト担当者が手作業で追加設計したり、テストケースの実行可能性を手作業で検証して修正したりしなければならない。また、抽象的でなければ (たとえば実装レベルのコードを記述する場合では)、テスト担当者がモデルを作成したり理解したりするのに多くのエフォートを必要とする。よって、モデルの表現力の欠如は、MBT の有効性に大きな影響を与えるものである。

2. 研究の目的

そこで本研究では、VDM (Vienna Development Method) で用いられるモデリング言語を状態遷移モデルに導入して、アクションや制約条件を形式的かつ抽象的に記述することを目指した状態遷移モデル (拡張状態遷移モデル) を提案する。そして、拡張状態遷移モデルを用いたモデリング手法、および拡張状態遷移モデルに基づく VDM 仕様の生成方法を提案する。VDM 仕様は専用のツール上で解釈実行可能であり、テストケース生成に利用することができる。同時に、VDM 仕様は専用のツール上で検証することもできるので、モデルの誤りに起因して不正確なテストケースを導出するリスクを低減できると考えられる。モデリング言語を導入するので、拡張状態遷移モデルの抽象度は維持されたと考えられる。さらに、体系的にテストケースを設計するために、拡張状態遷移モデルに対応するテスト充分性評価基準 (何をどこまでテストすれば充分かを判断するための評価基準) や、テストケース設計手順を構築する。

3. 研究の方法

(1) 主要なステップ

本研究は、新たな拡張状態遷移モデルの構築、拡張状態遷移モデルを用いたモデリング手法の構築、拡張状態遷移モデルに基づく VDM 仕様の生成方法の構築、拡張状態遷移モデルに対応するテスト充分性評価基準の構築、テストケース設計手順の構築、テストツール (~ に基づく評価用のモデリング・テストケース設計支援ツール) の試作、テストツールと例題を用いた適用実験、適用実験の結果の分析と課題の抽出、というステップから構成される。構築した手法の課題をできるだけ早い段階で明らかにして改善に繋げるためにスパイラル的に繰り返す。特に ~ 、 ~ はそれぞれ密接な繋がりがあため、短いサイクルで繰り返す。

(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) EFSM (Extended Finite State Machine) に関する手法

拡張状態遷移モデルとして、FSM に VDM を導入した EFSM を提案した。なお、EFSM の図としての表現を、特に拡張状態遷移図と呼ぶことがある。EFSM モデル (EFSM によるソフトウェアの振る舞いモデル) を VDM 仕様に変換する方法についても検討した。そして、EFSM のためのテスト充分性評価基準として、拡張 N スイッチ網羅基準を定義した。これは、FSM において利用される N スイッチ網羅基準を拡張したもので、テストで網羅すべき要素として、状態遷移列だけでなくアクションの内容まで考慮に含めている点の特徴である。さらに、EFSM モデルを効果的に構築するためのテストファーストを提案した。EFSM モデルとその VDM 仕様、テストケースの表記について整理したうえで、テストファーストの手順やテストケースの評価手法を構築した。

(2) EPN (Extended Place/transition Net) に関する手法

EPN は、ペトリネットの一種として知られる PN に VDM を導入した拡張状態遷移モデルである。EPN によるモデリングには専門的な知識や技量が必要であるので、それらをテスト担当者が獲得することを支援するためのデバッグ訓練手法やモデリング訓練手法を提案した。これは、EPN モデル (EPN によるソフトウェアの振る舞いモデル) およびその EPN モデルに基づくソフトウェアの振る舞いを可視化することによって、訓練者の直感的な理解の促進を目指したものである。EPN モデルは PN 部と VDM++部から構成されているが、VDM++部にビジュアルプログラミングを導入する試みも行なった。そして、EPN モデルと VDM 仕様を相互変換することによってモデリングを支援する手法を提案した。相互変換によって、テスト担当者は視点を変えながら (全体を俯瞰したり、細部に注目したりしながら) モデリングを行ったり、既存の VDM ツールと連携しながらモデリングを行ったり、成果物間の一貫性を維持したりできるようになることが期待できる。さらに、EPN のためのテスト充分性評価基準として、状態遷移 N タプル網羅基準を定義した。状態遷移 N タプル網羅基準を用いることによって、ターゲットとする欠陥に関連すると考えられる任意の数の状態遷移に注目し、それらの実行順序を網羅するようなテストが可能になる。

(3) EPNAT (EPN with Attributed Tokens) に関する手法

拡張状態遷移モデルとして、上述の EPN をさらに拡張した EPNAT を提案した。EPNAT の特徴は、インスタンス変数 (ソフトウェアを構成するモジュールやサブシステムなどのオブジェクトの振る舞いを特徴付ける変数) をトークンに持たせている点である。これによって、同じ振る舞いと変数を持つオブジェクトに対応する EPN モデル中の複数の部分ネットが、EPNAT モデル (EPNAT によるソフトウェアの振る舞いモデル) では一つの部分ネットに統合されるため、可読性や表現力を高めることができると考えられる。EPNAT によるモデリング手順や、EPNAT モデルを VDM 仕様に変換するためのコーディングパターンについても提案した。次に、EPNAT モデルのレビューを支援するために、対話形式で EPNAT モデルを動作させてその結果を可視化する手法を提案した。そして、レビューの過程をテストケースとして記録し、EPNAT モデルが更新された際の回帰テストに使用する手法を提案した。このテストケースは、EPNAT モデルに基づいて作成されたソフトウェアに対しても適用可能である。

(4) 拡張画面遷移図に関する手法

拡張状態遷移モデルとして拡張画面遷移図を提案した。拡張画面遷移図は、特に Web アプリケーションのためのモデルで、通常の画面遷移図にアクションや制約条件を付与することによって、より精密に仕様を記述することができる。まず、拡張画面遷移図によるソフトウェアの振る舞いモデルを VDM 仕様に変換する手法を構築した。次に、大量のデータを扱う性質を持つ Web アプリケーションのために、広域データフロー基準の概念を導入したテスト充分性評価基準を検討した。テストケースは、このテスト充分性評価基準における測定対象をできるだけ効率的に実行できることが望まれる。そこで、発見的手法を用いて VDM 仕様 (拡張画面遷移図によるソフトウェアの振る舞いモデル) からテストケースを生成するアルゴリズムを検討した。

(5) 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、ソフトウェア工学の分野に関係する国際論文誌や国際会議、国内研究集会で発表した。詳細は、後述の「主な発表論文等」を参照されたい。MBT と VDM の融合を試みている点に学術的な新規性がある。本研究はソフトウェアテストに関するものであるが、設計をはじめとした上流工程とも密接な関係がある。拡張状態遷移モデルに基づいて生成される VDM 仕様を用いてテストケースを設計し、ソフトウェアの状態空間を効果的にテストすることによって、ソフトウェアの信頼性確保に寄与できると考えられる。ただし、実行すべきテストケースの量が多くなる可能性がある。テスト工程に投入できるエフォートは有限であるため、たとえばテストケースに優先順位を付けるなどの工夫について、今後検討が必要である。一部の成果は、異なる拡張状態遷移モデルの間で、ある程度共通して応用できる可能性がある。たとえば、EPN におけるテスト充分性評価基準として提案した状態遷移 N タプル網羅基準や、VDM++部に導入したビジュアルプログラミングは、EFSM や EPNAT、拡張画面遷移図にも応用できる可能性がある。ビジュアルプログラミングは、テストケース設計におけるモデリング支援手法として発展させることができる可能性がある。特に、モデルに基づいてソフトウェア開発を行なう MDD (Model-Driven Development) においては、モデルの品質は最終的なソフトウェアの品質に大きな影響を与える。VDM 仕様は専用のツール上で検証することもできるので、本研究の成果に基づいてモデルの検証技術を開発することを計画している。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計4件（うち査読付論文 4件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 4件）

1. 著者名 T. Takagi, A. Usuda	4. 巻 Vol.9, No.1
2. 論文標題 A Technique for Learning Software Modeling Using Extended Place/Transition Net and Its Prototype Tool	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Journal of Robotics, Networking and Artificial Life	6. 最初と最後の頁 pp.81-86
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.57417/jrnal.9.1_81	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

1. 著者名 T. Takagi, R. Kurozumi	4. 巻 Vol.8, No.2
2. 論文標題 Simulation and Regression Testing Technique for Software Formal Specifications Based on Extended Place/Transition Net with Attributed Tokens	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Journal of Robotics, Networking and Artificial Life	6. 最初と最後の頁 pp.112-116
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.2991/jrnal.k.210713.009	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

1. 著者名 T. Takagi, R. Kurozumi	4. 巻 Vol.7, No.3
2. 論文標題 Software Modeling Technique and its Prototype Tool for Behavior of Multiple Objects Using Extended Place/Transition Nets with Attributed Tokens	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of Robotics, Networking and Artificial Life	6. 最初と最後の頁 pp.194-198
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.2991/jrnal.k.200909.011	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

〔学会発表〕 計12件（うち招待講演 0件/うち国際学会 9件）

1. 発表者名 石上 椋一, 松本 翔, 長尾 康生, 高木 智彦
2. 発表標題 Webアプリケーションのための拡張画面遷移図からVDM++仕様への変換手法
3. 学会等名 情報科学技術フォーラム
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 石上 棕一, 二宮隆徳, 横井秀太, 高木智彦
2. 発表標題 Webアプリケーションの画面遷移上のデータフローのための発見的手法によるテストケース生成
3. 学会等名 情報処理学会全国大会
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 A. Usuda, R. Ishigami, T. Takagi
2. 発表標題 Training of Software Formal Modeling Using Visual Blocks for Actions and Guards of Extended Place/Transition Net
3. 学会等名 International Conference on Artificial Life and Robotics (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 T. Takagi, K. Sakata
2. 発表標題 Test-First for Abstracted Behavior of Software Using Extended Finite State Machine
3. 学会等名 International Symposium on Software Reliability Engineering (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 T. Takagi, R. Kurozumi, T. Katayama
2. 発表標題 State Transition Tuple Coverage Criterion for Extended Place/Transition Net-Based Testing
3. 学会等名 Pacific Rim International Symposium on Dependable Computing (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 T. Takagi, R. Kurozumi
2. 発表標題 Prototype of a Modeling Tool to Convert between Extended Place/Transition Nets and VDM++ Specifications
3. 学会等名 International Conference on Artificial Life and Robotics (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 高木智彦、赤木章紀
2. 発表標題 VDMの仕様記述言語を導入した状態遷移図とそのテスト基準の提案
3. 学会等名 情報処理学会全国大会
4. 発表年 2018年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関