

令和 6 年 6 月 11 日現在

機関番号：32689

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2020～2023

課題番号：20K11756

研究課題名（和文）可変性マイニングによる有用性優先の可変性管理手法の研究

研究課題名（英文）Utility-first variability management method using variability mining

研究代表者

岸 知二（Kishi, Tomoji）

早稲田大学・理工学術院・教授

研究者番号：30422661

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,100,000円

研究成果の概要（和文）：本研究では、可変性マイニングによって得られる利用傾向を活用した有用性優先の可変性管理手法を提案した。実際に使われる可変性の組み合わせパターンや出現頻度を論理的制約や確率情報として抽出し、利用傾向に関わる部分を優先的に扱う有用性優先の可変性管理手法を行うものである。IoT分野で様々なデバイスとBluetooth通信で接続されるシステムをとりあげ、デバイスごとの利用方法の間の可変性と利用頻度を通信ログからイベント系列としてマイニングし、それに基づきシステムのテストケースを優先度付けする手法、可変性を持つシステム定義の検証を一度に行うファミリーベースのモデル検査を行う手法をそれぞれ提案した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

可変性は製品系列開発、OSやミドルウェアのような多様な構成を持つシステム、近年は様々な接続構成をもつIoTなどの分野における重要概念である。可変性に関わるシステムの分析や検証には従来は論理的なアプローチがとられてきたが、システム規模の拡大とともに考慮すべき構成数が組み合わせ的に増加し、スケーラビリティの課題が発生している。確率的な手法の提案もあるが、正確性を損なう課題がある。そうした中、スケーラビリティにすぐれた新たな可変性管理の手法が必要とされている。

研究成果の概要（英文）： In this study, we proposed a utility-first variable management method that utilizes usage trends obtained by variable mining. This method extracts the combination patterns and frequencies of variables actually used as logical constraints and probability information, and prioritizes the parts related to usage tendencies in a utility-first variable management method.

We proposed a method to extract from communication logs the frequency of use and usage patterns of each device to obtain logical constraints and probabilistic information on variability. Based on the mined information, we proposed a method for prioritizing test cases and a family-based model checking method for verifying multiple products at once.

研究分野：ソフトウェア工学

キーワード：ソフトウェアモデル ソフトウェアプロダクトライン フィーチャモデル テスト優先度付け モデル検査

様式 C - 19、F - 19 - 1 (共通)

(1) 研究開始当初の背景

(1) (可変性管理の重要性)可変性とは製品間で異なり得る機能的・非機能的特徴を意味する。可変性はシステム構成や操作方法など複数の側面に組合せ的なバリエーションを生み出すため、開発や運用においては適切な可変性管理が不可避となる。可変性管理は製品系列開発の分野で長らく議論されてきたが、OS・ミドルウェア、IoT プラットフォーム、自己適用システムなどでも同様の問題があり、近年はより広い対象における課題として研究の重要度が一層増している。

(2) (可変性管理の課題)可変性の解析やバリエーションの導出などに関わる可変性管理の研究分野では、フィーチャモデルに代表される可変性に関わる論理的制約を記述するモデルに基づく手法がほとんどである。しかしながら産業界のシステムでは可変性が数千から数万に及ぶものがあり、現在の手法はスケーラビリティの観点からは限界に近づきつつあり、スケーラビリティの改善がこの分野における重要課題のひとつとなっている。

(3) (研究動向)可変性管理におけるスケーラビリティ改善の研究として、可変性の生起確率に基づいて確率的な手法を適用するアプローチがある。確率を扱う可変性モデルの拡張提案がいくつか存在しその応用が期待されるが、現状では可変性に関わる論理的制約の考慮が不適切であり、在りえない組合せの確率が導出されるなど不十分である。こうした背景や研究動向の中、正確性を失わずにスケーラビリティを改善できる可変性管理技術の確立が求められている。

2. 研究の目的

(1) 確率的可変性モデリング手法の提案：可変性に関わる論理的制約と確率情報を記述するための、モデリング手法を提案する。

(2) 可変性マイニング手法の提案：システム構成や操作方法などに関わる利用データから、可変性に関わる論理的制約や確率情報をマイニングする手法を提案する。

(3) 有用性優先による可変性管理手法の提案：可変性マイニングで得られた情報から利用傾向を判断し、それを活用することで膨大なバリエーションの中から、より有用性の高いと判断される部分を特定し優先度付けする手法を提案する。なお有用性議論を行うには可変性管理の具体的な応用を想定することが重要であり、本研究では可変性を持ったシステムのテストを応用対象として研究を進める。

3. 研究の方法

(1) (マイニング手法の提案)システムの利用データから可変性に関する論理的制約と可変性の生起確率をマイニングする手法を提案する。具体的な応用対象としては IoT システムとし、その利用時の通信ログをキャプチャし、そのデータから可変性をマイニングする手法を検討、提案、評価する。

(2) (テストへの応用)マイニングされた可変性に関する論理的制約と可変性の生起確率をテストに応用する手法を検討する。具体的にはマイニングされた情報に基づきテストケースの優先度付けを行うことで、テストケースの中から確率情報に基づいて有用性の高いと判断されるテストケースを優先してテストする手法を検討、提案、評価する。

(3) (モデル検査への応用)他の応用として可変性を持つシステムの多様な構成群に関わる性質を一度に検証するファミリーベースモデル検査への適用を検討する。なおファミリーベースモデル検査は通常モデル検査以上にスケーラビリティの問題が顕著となるため、

4. 研究成果

(1) (マイニング手法)様々なデバイスと Bluetooth 通信で接続されるシステムを対象にし、可変性をマイニングする手法を提案した。具体的には機能や操作方法の異なる複数の Bluetooth スピーカを対象に、オーディオプレーヤとの間の通信をキャプチャし、Bluetooth プロファイルの AVRCP の操作イベントを取り出し、それを N グラムに分割し、スピーカごとの操作単位の違いから論理的制約を、出現頻度から確率情報を取得した。論理的制約についてはログに出現する特徴 (操作単位) を解析し、必ず同時に出現する特徴 (同値)、ある特徴が出現する際には必ず出現

する特徴(包含),同時に出現しない特徴 f (排他)などをマイニングした。確率情報は従来の運用プロファイルの作成と同等の手法を用いて,特徴の生起確率を求めた。論理的情報の表現には FM(Feature Model)と可変性を持つシステムの遷移モデルである FTS(Featured Transition System)を用い,確率情報の表現には運用プロファイルを用い,ログからこれらのモデルをリバースして生成した。なおこの手法では,実際のオーディオプレーヤの動作シーケンスとの対応付けが正しく行えないことがあることが分かり,手法をさらにオーディオプレーヤの遷移と対応付けるように改良し,対応付けが正確に行えるようにした(図1)。

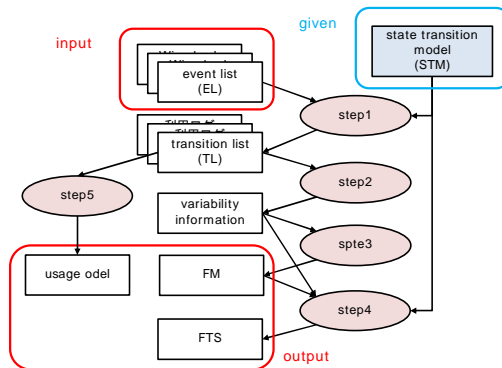


図1 可変性マイニングの全体像

(2) (テストへの応用)マイニングされた情報に基づき,可変性を持つシステムのふるまいをテストするためのテストケースの優先度付けを行う手法を提案した。論理的制約のみに基づいて優先度付けを行うと,あり得ない操作を含むテストケースは排除されるが有用性の反映ができない。一方確率情報のみに基づいて優先度付けを行うと,有用性の反映は可能だが,あり得ない操作を含むテストケースが排除できない。本手法はマイニングされた論理的制約と確率情報の両方を用いて優先度付けを行うため,実際に存在する操作のみを含みかつ有用性を反映した優先度付けが期待できる。評価では,遷移系に対する N スイッチテストを対象とし,提案手法を,論理的可変性情報のみを用いた優先度付け,確率情報のみを用いた優先度付け,ランダムな順序付けと比較し,AUC を用いて比較することで,より適切な優先度付けが行われることを確認した(図2)。

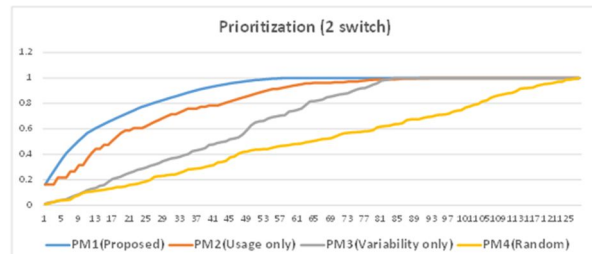


図2 テスト優先度付けの結果

(3) (モデル検査への応用)テスト以外への応用を検討する一環として,可変性を持ったシステムの複数の構成に関わる性質を一度に検証するファミリーベースモデル検査手法を確率情報に基づいて行う方法を提案した。ファミリーベースモデル検査は多くの場合専用のモデル検査器を用いて行われるが,本手法では汎用の確率モデル検査器である PRISM を用い,確率に応じてシステム構成を生起させるパスを作成し(図3の EXT part),それを検証対象となる FTS (図3の FTS part)と接続することで検証を行う。EXT part では可変性マイニングされた確率情報を反映させるが,本モデル検査情報をより一般的に使えるようにするために,FM の論理的制約からすべての構成が等確率で生起する状況におけるモデル検査も可能とするように,EXT part を構成した。これに基づき,製品群において性質が成り立ちうるかどうかを検証することが可能となった。このファミリーベースモデル検査は製品群に対する性質の成立・不成立を検証するが,その結果に基づいて性質が成立・不成立する具体的な構成例を求める手法についても提案した。通常構成例の絞り込みは制約を付加しながら行うため,特徴数が多くなると徐々に計算時間が低下するという傾向を示すが,本手法ではそれらの制約を EXT part に反映しつつ PRISM コードを都度生成しなおすことにより,特徴数が増加するにつれ一回の絞り込み時間を加速することができ,効率的に構成例を得ることができ,この点に特徴がある。

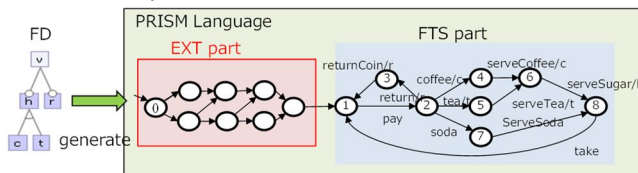


図3 ファミリーベースモデル検査の全体像

(4) ファミリーベースモデル検査は単一システムのモデル検査以上に状態爆発の問題が起りやすくなる。そこで可変性モデルを構成数の少ない複数の可変性モデルへと分割し,それらを独立にモデル検査する手法を提案した。ここではフィーチャの生起確率である FIP を求め,それをメトリクスとしてフィーチャを選択し,フィーチャモデルに対応する命題論理式を Shannon 展開することにより,フィーチャモデルをより構成数の小さな複数のフィーチャモデルに分割する。モデル検査は分割されたフィーチャモデル毎に行うため,モデル検査の回数は増えるが,個々のモデル検査は構成数が減少することによりスケーラビリティの課題を軽減できる。この手法は構成数の減少を保証するものではないが,多くの場合構成数の有意な削減を行えることを確認した。提案したファミリーベースモデル検査において 24 時間かかっても検証が停止しなかったベンチマークに対してこの手法を適用し,フィーチャモデルを分割することで個々のフィーチャモデルが検証可能となることが確認できた。具体的には 1024 分割することで,個々のフィーチャモデルに基づく検証が 77 秒で完了し,すべてをシーケンシャルに検証した場合,

約 22 時間で検証が完了することが分かった (図 4)。なおフィーチャモデルを分割することで複数の検証を並行に実行することが可能となる。評価では 8 つの検証プロセスを同時に実行することで、全検証が約 6 時間で完了することを確認し、スケーラビリティの改善効果が確認できた。

#division	Time (s)	Est. Total Time (s)
16	9,952.148	159,234
256	331.0714	84,754
1024	77.95	79,820
4096	24.432	100,073

図4 分割によるスケーラビリティの改善

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計3件（うち査読付論文 3件／うち国際共著 0件／うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 Tomoji Kishi , Taiki Koyama , Natsuko Noda , Keisuke Horiuchi , Kensho Li , Chaoqun Zhang	4. 巻 2021
2. 論文標題 A Test Prioritization Method for Configurable Software Systems based on Variability Mining	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Proceedings of Asia Pacific Conference on Robot IoT System Development and Platform	6. 最初と最後の頁 42-49
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 小山大揮, 岸知二	4. 巻 XXVII
2. 論文標題 可変性マイニングを指向したイベント系列ベースの運用プロファイルの提案	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 ソフトウェア工学の基礎XXVII	6. 最初と最後の頁 39 - 44
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Tomoji Kishi	4. 巻 2023
2. 論文標題 Family-based Model Checking using Probabilistic Model Checker PRISM	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Proceedings of the 30th Asia-Pacific Software Engineering Conference (APSEC 2023),	6. 最初と最後の頁 375-385
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1109/APSEC60848.2023.00048	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計4件（うち招待講演 0件／うち国際学会 0件）

1. 発表者名 李健翔, 岸知二
2. 発表標題 ソフトウェア検証のための可変性マイニング手法
3. 学会等名 情報処理学会第85回全国大会予稿集
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 岸知二
2. 発表標題 確率的モデル検査器を用いたファミリーベースモデル検査についての考察
3. 学会等名 電子情報通信学会 知能ソフトウェア工学研究会 予稿集
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 内藤 裕暉, 岸 知二
2. 発表標題 可変性を持つシステムの確率的モデル検査手法
3. 学会等名 情報処理学会ソフトウェア工学研究会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 小山大揮, 岸知二
2. 発表標題 可変性マイニングに基づく イベント系列ベースの運用プロファイルテスト手法
3. 学会等名 情報処理学会第83回全国大会予稿集
4. 発表年 2021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
---------	---------