

可変性を持つシステムの統計的モデル検査手法

内藤 裕暉† 岸 知二†

早稲田大学大学院 創造理工学研究科 経営システム工学専攻†

1. 研究背景

近年、システムの持つ可変性が増加し、例えば SPL (Software Product Line) 開発などの重要性が高まっている。SPL とは、共通のフィーチャを持つソフトウェアプロダクトの製品群を指し、SPL 中の製品すべてが持つ特徴を共通性、一部の製品が持つ特徴を可変性と呼ぶ。体系的な再利用に基づく SPL の効率的な開発手法を SPL 開発と呼ぶ。具体的には、共通性と可変性を予め整理して、コア資産を作って、開発するアプローチである。可変性を持つシステムの特徴(フィーチャ)を記述するモデルとしてはフィーチャモデルなどがある。

一方、可変性を持つシステムのふるまいを表現するモデルには FTS (Featured Transition Systems) などがある。こうしたモデルを用い、製品群全体を対象にモデル検査を行う手法が提案されている。しかし、汎用的なツールでの検証が行えないという課題がある。

本研究では可変性を持つシステムに対して、汎用的なモデル検査ツールを用いて、複数の製品を同時に検証できる手法を提案する。フィーチャの生起確率に基づいた選択確率を FTS に付与することで、製品をひとつひとつ検証しなくても製品群のモデル検査を行えるようにする。具体的には、統計的モデル検査を適用し、プロパティが全製品のうちの程度の製品において成立するかを検証する。

2. 関連知識

2.1. 統計的モデル検査

統計的モデル検査は、シミュレーションのアプローチを用いて時相論理で表されるプロパティについて確率的に推論を行う検証手法である。一般的なモデル検査のような全数探索ではなく、統計的手法を適用しているため、検証結果が常に正しいとは限らないが、プロパティが満たされるかどうかどうかを定量的に判断することができる。

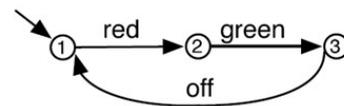
Statistical model checking method considering the probability of a system with variability

HIROKI NAITO† TOMOJI KISHI†

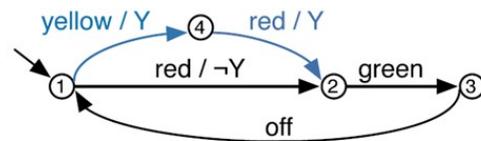
†Department of Industrial and Management Systems Engineering CSE Graduate School, Waseda University

2.2. Featured Transition Systems (FTS) [1]

FTS は、TS (Transition System) の各遷移にフィーチャ式がラベルとして与えられたものである。TS は、 S : 状態, Act : アクション, $trans$: 遷移($S \times Act \times S$)で構成されている。FTS は TS の構成要素に加え、 γ : $trans$ に対するフィーチャ式で構成される。例を図 1 に示す。



(a) The basic variant without variability



(b) With one additional feature

図 1 可変性のないシステムの TS (a) と可変性を持つシステムの FTS (b) [1]

図 1(a) は赤と緑を切り替える信号を表す TS であり、可変性はない。図 1(b) は図 1(a) に「赤に切り替える前に黄色を表示する」という新たなバリエーションを加えたものである。「① → ④」と「④ → ②」の遷移には「赤に切り替える前に黄色を表示する」フィーチャを表す「Y」がラベル付けされている。また同時に「① → ②」の遷移に「¬Y」がラベル付けされる。

2.3. FIP[2][3]

フィーチャモデルの特徴を捉える指標の一つに FIP がある。FIP は全製品数に対する各フィーチャが出現する製品数の確率を表している。楊[3] はフィーチャモデルを命題論理式に変換することで FIP を高速に求める手法を提案している。

3. 研究目的

本研究の目的は、可変性モデルである FTS を改良することで、専用のモデル検査ツールではなく、一般的に用いられるモデル検査ツールを用いた検証を行えるようにすることである。

専用のモデル検査ツールでは SPL の全製品に対して検証を行えるが、汎用的なモデル検査ツール

は単一製品しか検証できないことから、本研究では、SPL の各製品のプロパティに対する真偽を求める検証ではなく、どの程度の製品がプロパティを満たすのか定量的な検証を行う検証手法を提案する。

4. 提案手法

提案手法の概要図を図 2に示す。

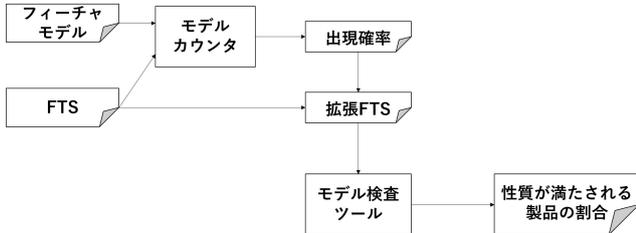


図 2 提案手法の概要図

提案手法の手順は以下通りである。

- (1) フィーチャモデルと FTS からモデルカウンタによってフィーチャの出現確率を求める。
- (2) (1)で求めたフィーチャの出現確率を FTS にマッピングし、拡張 FTS を作成する。
- (3) モデル検査ツールを用いて統計的モデル検査を行う。

4.1. フィーチャの出現確率を求める

FTS の遷移のラベルのフィーチャ式に使われるフィーチャについて、楊の FIP を求める手法[3]によって各フィーチャの出現確率を求める。

4.2. 拡張 FTS を生成する

FTS の初期状態の前に状態を増やし、任意のフィーチャ f が出現する ($f = 1$ になる)遷移と f が出現しない ($f = 0$ になる)遷移を加える。その際、 f が出現する遷移が (1)で求めた出現確率で遷移するように確率を付与する。これを FTS の遷移のラベルのフィーチャ式に使われるフィーチャの数だけ行う。

排他的なフィーチャの組み合わせが明確な場合は、その組み合わせでの遷移を加えるとより正確な検証が行えるようになる。拡張 FTS の例を図 3 に示す。

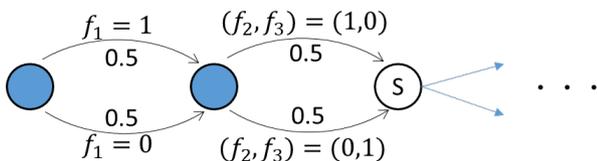


図 3 拡張 FTS の例

f_1, f_2, f_3 はフィーチャを表し、 (f_2, f_3) は排他的なフィーチャの組み合わせとする。また、 S は FTS の初期状態を表している。

拡張 FTS では、FTS の遷移にラベル付けされているフィーチャ式を遷移のガード条件とする。

4.3. 統計的モデル検査を行う

統計的モデル検査によって、製品群の中で性質が満たされる製品の割合を出力する。

5. 評価実験

VendingMachine システム[1]を対象に、到達可能性と遷移可能性の検証を行い、実際に性質が満たされる製品の正確な割合と提案手法による性質が満たされる割合を比較する。

到達可能性の検証結果の比較を表 1、遷移可能性の検証結果を表 2に示す。

表 1 到達可能性の検証結果の比較

State	prod1	prod2	prod3	prod10	prod11	prod12	割合	提案手法
1	true	true	true	true	true	true	1	1
2	true	true	true	false	false	false	0.5	0.5
3	true	true	true	true	true	true	1	1
4	false	true	true	false	false	false	0.5	0.5
5	true	true	false	false	true	true	0.666667	0.667
6	true	true	true	true	true	false	0.666667	0.667
7	true	true	true	true	true	true	1	1
8	true	true	true	false	false	false	0.5	0.5
9	true	true	true	false	false	false	0.5	0.5

表 2 遷移可能性の検証結果

Trans	prod1	prod2	prod3	prod10	prod11	prod12	割合	提案手法
1	true	true	true	false	false	false	0.5	0.5
2	true	true	true	false	false	false	0.5	0.5
3	false	false	false	true	true	true	0.5	0.5
4	false	true	true	false	false	false	0.5	0.5
5	false	true	true	false	false	false	0.5	0.5
6	true	true	false	false	true	true	0.666667	0.667
7	true	true	false	false	true	true	0.666667	0.667
8	true	true	true	true	true	false	0.666667	0.667
9	true	true	true	true	true	false	0.666667	0.667
10	false	false	false	true	true	true	0.5	0.5
11	true	true	true	false	false	false	0.5	0.5
12	true	true	true	false	false	false	0.5	0.5
13	true	true	true	false	false	false	0.5	0.5

6. 結論

この例題では、提案手法を用いた統計的モデル検査による性質が満たす製品の割合は、実際に性質が満たされる製品の正確な割合と一致していることがいえる。提案手法によって、一般的なモデル検査ツールでは全製品をひとつひとつ検証しなければならなかった課題を、1 回の実行で検証できるように克服した。

参考文献

- [1] A. Legay, et al. , "Featured Transition Systems : Foundations for Verifying Variability-Intensive Systems and Their Application to LTL Model Checking" in IEEE Transactions on Software Engineering, Vol. 39, No. 08, pp. 1069-1089, 2013.
- [2] Ruben Heradio, Supporting the Statistical Analysis of Variability Models, 41st International Conference on Software Engineering (ICSE), pp. 843-853, 2019.
- [3] 楊宇昕, 「モデルカウンターを使った FM の特徴把握方法の提案」, 早稲田大学修士論文, 2020.