

氏 名	西浦 生成
学位(専攻分野)	博士(工学)
学 位 番 号	博甲第 1015 号
学位授与の日付	令和 3 年 9 月 24 日
学位授与の要件	学位規則第 4 条第 1 項該当
研究科・専 攻	工芸科学研究科 設計工学専攻
学 位 論 文 題 目	ソフトウェアテストの自動化を目指した組み合わせテスト入力値限局手法とテストコード自動生成手法の考案
審 査 委 員	(主査)教授 水野 修 教授 辻野 嘉宏 教授 澄谷 雄

### 論文内容の要旨

ソフトウェアの品質を高め信頼性を保つことは重要な課題であり、自動化が望まれている。しかし、組み合わせテスト設計ツールに代表されるようなテストケース設計の自動化や、継続的インテグレーションに代表されるテスト自動実行環境の整備など、部分における自動化は発展している一方で、未だ十分な自動化が実現されていない。

そこで、本論文ではソフトウェアテストプロセスの自動化を目指し、入力値限局およびテストコード生成の 2 つのトピックに焦点を当て、問題の改善に取り組んでいる。まず、入力値限局とは、失敗したテストケースを含む組み合わせテストの結果から不具合を誘発する入力値の組み合わせを限局する操作を指す。入力値限局における問題点として、全てのテスト結果を分析することで組み合わせの不審さを推定する既存手法では、その精度に改善の余地がある。また限局の過程で不具合を誘発した可能性のある組み合わせを全て列挙する必要があるため、組み合わせ爆発により処理時間が膨大化することがある。次にテストコードを利用した自動テスト実行における問題点として、テストコードの作成には相応の労力がかかる。そのためテストコードを自動生成できることが望まれている。しかし、既存のテストコード自動生成技術は単純かつ低品質な単体テストのみを生成対象としていることや、構造化された仕様書のようなデータの整備が必要であるといった限界がある。これに対し、オープンソースソフトウェア(OSS)を対象とした先行調査によって、類似した機能を持つプロジェクトのテストコードを再利用することで目的のテストコードを用意できる可能性が示唆されている。しかし、実際にテストコードを自動的に再利用する方法は未だ開拓されていない。

本論文では、こうした入力値限局およびテストコード生成における課題を改善するための手法を提案する。またその評価や調査の結果を示すことで提案の有効性を明らかにする。

まず、ロジスティック回帰分析によって得られる回帰係数を疑惑値として利用でき、既存手法よりも高精度に入力値限局が可能であることを評価実験により明らかにした。また限局すべき組み合わせの回帰係数が高くなることに加え、その部分集合にも高い回帰係数が見られることを発見した。この特性を利用してことで、限局すべき組み合わせの部分集合を先に推定し、それらの

超集合として組み合わせを推定する手法を構築した。また実際のシステムに基づくテスト結果を用いた評価実験によって、処理を高速化しつつ、高い精度で実際の不具合誘発入力値を推定できることを示した。

次に、先行研究で報告されたテスト結果が非決定的になる要因のうち実行順序への依存性に焦点を絞り、非決定的なテスト結果に対応できるよう拡張された入力値限局手法を提案した。初めにテストの失敗を再現するテスト実行順序を特定し、それらを連続に実行して非決定性を排除することで、正しい限局結果を得ることが期待できる。実際のシステムに基づくテスト結果を用いた評価実験によって、提案手法の特定精度およびテストの追加実行回数の増加割合が好ましいものであることを示した。

最後に、OSS からの再利用による Java テストコードの自動生成手法の開発に取り組んだ。まず、特定のテストメソッドを実行可能性を保ちつつ自動的に移植するために必要な条件を定義し、それに基づいて OSS 中のテストメソッドが持つ依存関係等を調査することで、テストコードの再利用が現実的かつ有益であることを示した。加えて、既存テストコードの再利用によるテストコード自動生成モデルを実際に提案した。このモデルでは、テスト対象コードへの依存を分析し、機械的の操作のみによって実行可能性を維持できるテストメソッドを検出することで、移植用のテストコードを自動的に生成する。さらに、自然言語処理技術によってテスト操作の意味的な適切さを担保する。また、このモデルをいくつかの Android アプリケーションに適用した事例によって、手法の有効性および課題を示した。

## 論文審査の結果の要旨

本学位論文では、ソフトウェアテストの自動化を目指した重要なトピックとして、理論的なテスト技法としての入力値限局手法と実践的なテスト技法としてのテストコード自動生成の 2 つの観点から問題を取り組んでいる。ソフトウェアの組み合わせテストにおいてはテストケースの絞り込みが重要な課題になっており、自動的に不具合を誘発しやすいテストケースを抽出することは、その解決につながる。また、自動テストコード生成はテストに必要な工数を削減するために有望な技術である。本学位論文では、それぞれの手法を章立てて述べている。

まず、テストケースの絞り込みについては組み合わせテストケースとテスト結果に対するロジスティック回帰分析を利用して、得られた回帰係数を不具合が存在する可能性として利用する手法を提案している。そして、この手法を用いることで、従来の手法で生成された組み合わせテストケースよりも性能の良いテストケースを生成できることを示しており、優れた成果と言える。さらに、この手法では場合によってはテストケース生成に多くの時間がかかるなど新たな問題を特定し、限局すべき組み合わせの回帰係数が高くなることとその部分集合にも高い回帰係数が見られることを利用して、処理を高速化しつつテストの精度を損なわない手法を開発している。さらに、非決定的なテスト結果が得られるような環境に対しても適用可能な拡張された入力値限局手法も提案・実証しており、多くの優れた成果を残している。最後に、オープンソースソフトウェア(OSS)からの再利用に基づくテストコード自動生成手法の開発にも成功している。この方法では、再利用可能なコードの条件の定義を行い、それに基づいて OSS 中のテストコードが移植可

能かどうかを判定し、実際にテストコードとして移植する。これによって自動的なテストコード生成を支援することができ、テストの自動化を促進していくと期待できる成果である。

本論文は、ソフトウェアのテスト技法について理論面と実践面からのアプローチにより、テストの自動化に向けた多くの知見を明らかにしており、ソフトウェア工学の発展に寄与するものと評価できる。

本論文は申請者を筆頭著者とする査読を経た以下に示す3編の論文を基礎としている。

- (1) 西浦生成, 崔銀惠, 水野修, “機械学習による不具合組み合わせ特定への自動分類法の提案と評価”, 情報処理学会論文誌, Vol.59, No.4, pp.1215-1224 (April 2018).
- (2) 西浦生成, 渡辺大輝, 水野修, 崔恩灝, “組合せテストにおける実行順序に起因する非決定的不具合誘発要因特定法の提案”, 情報処理学会論文誌, Vol.62, No.4, pp.1008-1018 (April 2021).
- (3) 西浦生成, 水野修, 崔恩灝, “Java テストコードの再利用による自動生成に向けた移植可能なテストメソッドの調査”, 情報処理学会論文誌, Vol.62, No.4, pp.1019-1028 (April 2021).

また、参考論文として、査読制度のある下記の国際会議論文2編がある。

- (1) Kinari Nishiura, Eun-Hye Choi, and Osamu Mizuno, “Improving Faulty Interaction Localization Using Logistic Regression,” Proc. of 2017 IEEE International Conference on Software Quality, Reliability and Security (QRS), pp.138-149 (July 2017).
- (2) Kai Yamamoto, Masanari Kondo, Kinari Nishiura, and Osamu Mizuno, “Which Metrics Should Researchers Use to Collect Repositories: an Empirical Study,” Proc. of 2020 IEEE International Conference on Software Quality, Reliability and Security (QRS), pp.458-466 (December 2020).