

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 6 月 10 日現在

機関番号：14401

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2011～2013

課題番号：23500046

研究課題名(和文)全ペアテストによる高効率なソフトウェアテストの実現

研究課題名(英文)Effective software testing using all-pairs testing

研究代表者

土屋 達弘 (Tsuchiya, Tatsuhiro)

大阪大学・情報科学研究科・教授

研究者番号：30283740

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,800,000円、(間接経費) 840,000円

研究成果の概要(和文)：2機能の組み合わせをすべてテストするという全ペアテストを拡張し、高い不具合発見能力と効率を両立させるソフトウェアテストの実現に取り組んだ。具体的には、全ペアテストのテストケース生成の自動化、および、全ペアテストのホワイトボックステストへの拡張、というサブテーマを並行して進めた。まず、課題であった禁則処理を二分決定グラフを用いることで効率的に行う手法を実装した全ペアテストケース生成ツールを作成した。また、後者については、システムの制御フローを表現するグラフを対象として、全ペアテストの概念に基づく新しいテストカバレッジ基準を提案し、テストケース集合を自動的に生成できることを示した。

研究成果の概要(英文)：This study aimed to extend the ability of all-pairs testing to achieve high capability of fault detection and high efficiency. Two issues addressed were: automatic generation of test cases for all-pairs testing and applying the notion of all-pairs testing to white-box testing. In the context of the first issue, a test case generation tool was developed. A notable feature of this tool is that it uses binary decision diagrams for constraint handling. In the context of the second issue, new test coverage criteria were proposed for testing control flows. These coverage criteria share a similar concept with ordinary all-pairs testing. An approach for automatic test case generation based on these criteria was also proposed.

研究分野：総合領域

科研費の分科・細目：ソフトウェア

キーワード：ソフトウェアテスト 全ペアテスト ブラックボックステスト ホワイトボックステスト

### 1. 研究開始当初の背景

本研究では、組み合わせテストの一種である全ペアテストに注目した。組み合わせテストでは、テスト対象のソフトウェアシステムを複数のパラメータでモデル化する。また、各パラメータが取り得る値は、有限個と仮定する。このとき、テストケースは、各パラメータについて、それが取り得る値を一つに定めたベクトルとなる。組み合わせテストは、すべてのパラメータ値の組み合わせをテストする代わりに、少数のパラメータ間でそれらの取り得る値の組み合わせすべてを網羅するというテスト手法である。全ペアテストは組み合わせテストの中で最もよく用いられるもので、任意の二つのパラメータについて、それらの値からなるペアをすべてテストするという手法である。

全ペアテストは、その概念は1980年代半ばには登場しているが、2000年代以降、実際のソフトウェア開発現場での実践が進んでいる。全ペアテストの利点として、必要なテストケース数を抑えられる上に、高い不具合検出率が得られることがあげられる。

一方、その適用上の課題として、禁則と呼ばれるテストケースが満たすべき制約の処理手法が未発達で、制約処理を実装したテストケース生成がほとんどなかったことがあげられる。

また、全ペアテストの概念を、従来のブラックボックステストの文脈以外に援用する試みはほとんどなされていなかった。

### 2. 研究の目的

本研究では、全ペアテストの機能、および、適用範囲を拡張することで、高い不具合検出能力と効率性を併せ持つソフトウェア手法の実現を目的とした。具体的には、1.全ペアテストのテストケース生成の自動化、および、2.全ペアテストのホワイトボックステストへの拡張、という二つの目的は設定し、研究を行った。特に1では、禁則の処理を効率的に行うことが可能な、実用に耐えうるテストケース生成ツールの作成を目標とした。

禁則は、テストケースが満たすべき条件であり、たとえば、ある機能(パラメータ)で特定のオプション(値)を使用した場合、別の機能で選択可能なオプションが制限を受ける、といった場合が典型的な例である。実際のテストケース設計では、このような禁則が複数存在することが常であるため、実用的な全ペアテスト用のテストケース自動生成では、禁則に違反しないテストケースだけを用いてテストをプランニングし、かつ、そのようなテストケースで実行できるすべての値のペアをテストすることが必要となる。

### 3. 研究の方法

(1) 全ペアテストのテストケース生成の自動化では、禁則処理をどう実現するかが問題である。そこで、まずSATソルバを用いて、

禁則を考慮した上でテストケース集合を生成する手法を開発した。SAT(充足可能性判定問題)とは、与えられたブール式が充足可能か(式全体が真となるような変数への値の割り当てがあるか)を決定する問題であり、近年この問題を解くツール(SATソルバ)の性能は劇的な向上を遂げている。研究では、与えられた禁則を考慮した上で、全ペアテストが実現される状況を大きな一つのブール式であらわす。このブール式をSATソルバによって解くことができれば、全ペアテストの条件を満たすテストケース集合が、ブール式の充足解として得られることになる。

次に、SATソルバの代わりに、2分決定グラフというブール式を表すことができるデータ構造を用いて制約処理を行う手法について研究を行った。提案手法では、2分決定グラフを、テストケースが禁則に違反していないか、あるいは、テストケースの一部が禁則に違反しないテストケースに拡張できるかといった判定に用いる。特に、テストケースの一部に対し、このような判定が行えることから、テストケースを漸次的に生成していく既存のテストケース生成アルゴリズムに組み入れる形できる。これは、テストケースの生成と禁則処理を同時に行う先のSATを用いた手法と大幅に異なる。図1に禁則を表す2分決定グラフの例を示す。

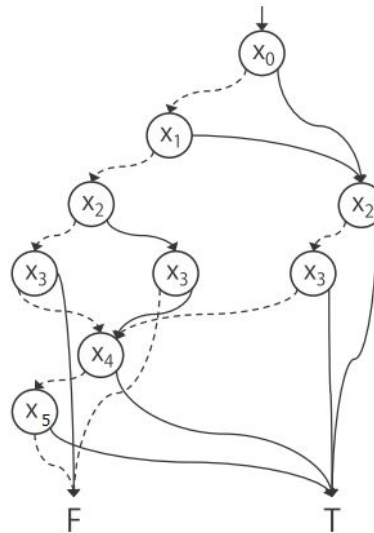


図1. 禁則を表す2分決定グラフの例。

この2分決定グラフは、任意のテストケース、もしくは、テストケースの一部について、根から葉に至るパスが必ず対応するように作成する。このとき、そのテストケース(またはその一部)が禁則に違反するならば、パスがFで終わり、そうでなければTに到達するように、禁則を考慮して作成する。したがって、一度このようなグラフを作成すれば、入力に対し、根から葉まで辿ることで、禁則に違反するかどうかを判断できる。

(2) 全ペアテストのホワイトボックステストへの拡張については、制御フローテストにおいて、制御フローグラフ上のすべてのノードのペアを網羅する、および、すべての辺のペアを網羅するという新しいテストカバレッジ基準を提案した。これらのカバレッジ基準の概念は、全ペアテストの基本的な考え方である2要素の組み合わせを網羅するという概念を、ホワイトボックステストに援用したものである。さらに、ソフトウェアシステムの制御フローが状態遷移図で与えられた場合についても、同様なカバレッジ基準を提案した。

更に、これらのカバレッジ基準を満たすテストケースの自動生成手法として、モデル検査を用いる方法を提案した。モデル検査は、アルゴリズムやシステムの正しさを、状態探索によって示す自動検証手法である。もし、成り立つべき性質が成り立たなかった場合、モデル検査ツールは、その性質が成り立たない状態に至る状態系列を反例として出力する。このモデル検査ツールの能力を利用して、テストケースを自動的に生成することが可能である。具体的には、すべてのノードペア、もしくは、辺ペアに対し、それらのペアが実行されない、という性質をモデル検査で検証し、実際には実行可能なのであれば、そのことを示す状態系列が反例として得られる。この状態系列がそのペアを実行するシステムの動作となるため、この状態系列をテストケースとして用いることができる。

#### 4. 研究成果

(1) 全ペアテストのテストケース生成の自動化では、SATソルバを利用した手法を実装し、いくつかの問題例に適用した。SATソルバとしては、よく知られたminisatを利用した。提案手法と既存のテストケース生成ツールであるPICTで得られた結果を、生成時間と生成されるテストケース数の点で比較した。その結果、求解に時間はかかるが、パラメータ数が50程度以下の問題であれば、全ペアテストを実現するテストケース数の小さいテストケース集合が得られることが分かった。

このSATに基づく手法に対し、2分決定グラフを用いた手法は、取り扱うことのできる問題の規模とテストケースを生成する性能の点で大幅に優れていることが分かった。たとえば、パラメータ数が100近い大きなモデルでも、実用的な時間でテストケース集合を得ることができる。実装したテストケース生成ツールでは、単純なグリーディー手法に2分決定グラフを用いた禁則処理を組み合わせている。与えられた禁則すべてを一つのブール式で表現し、コンピュータの内部では2分決定グラフの形で管理する。グリーディー手法では、一つずつテストケースを生成し、また各テストケースの生成では、一つずつパラメータ値を定めていく。このとき、必

ず最終的に禁則に違反しないテストケースが得られるように、パラメータの値の候補が選ばれる度に、2分決定グラフを参照して有効な値であることを保証する。Java言語を用いてこの禁則処理手法を実装したテストケース生成ツールを作成した。また、このツールを拡張する形で、パラメータの異なる値に重みづけを行い、テストケース集合中の値毎の出現頻度を制御するという拡張についても開発を行った。

(2) 全ペアテストの概念を援用した、制御フローテスト用のカバレッジ基準については、包摂関係と呼ばれるカバレッジ基準間の関係について考察した。結果、命令カバレッジ、分岐カバレッジ(状態遷移グラフの視点ではノードカバレッジと辺カバレッジ)を包摂する関係であることを示した。また、モデル検査を用いたテストケース自動生成では、NuSMVモデル検査器を用いて、テスト対象のシステムがモデル検査器の入力言語によってモデル化されている場合、検証する性質が自動で生成でき、したがって、提案したカバレッジ基準を満たすテストケース集合を自動で生成できることを、例を用いて示すことができた。

#### 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文](計 1件)

Toru Namba, Tatsuhiko Tsuchiya, Tohru Kikuno, Using satisfiability solving for pairwise testing in the presence of constraints, IEICE Transactions on Fundamentals of Electronics, Communications and Computer Sciences, 査読有, E95-A, 2012, 1501-1505.  
DOI: 10.1587/transfun.E95.A.1501

[学会発表](計 7件)

永元雄宙, 小島英春, 土屋達弘, インタラクショナルテストにおける故障ペアを特定可能なテストケース集合生成方法の提案電子情報通信学会ソフトウェアサイエンス研究会 2014年1月31日, 愛知。

土屋達弘, カシヤ ジ ソウザ カルヴァーリョ, 状態遷移テストにおけるカバレッジ基準の提案とモデル検査を用いたテストケース生成について, 報処理学会ソフトウェア工学研究会ウィンターワークショップ, 2014年1月23日~24日, 大洗。

Satoshi Fujimoto, Hideharu Kojima, Tatsuhiko Tsuchiya, A value weighting method for pair-wise testing, 20<sup>th</sup>

Asia-Pacific Software Engineering Conference (APSEC 2013), 2013年12月, バンコク.

藤本哲, 小島英春, 土屋達弘, パラメータ値に対する重み付けを考慮したテストケース集合の拡張, 電子情報通信学会ディペンダブルコンピューティング研究会 2013年4月26日, 東京.

重岡大樹, 小島英春, 土屋達弘, パラメータ値に関する制約を考慮したランダムテストの不具合検出率について, 電子情報通信学会ソフトウェアサイエンス研究会, 2013年1月, 石垣.

田中真吾, 小島英春, 土屋達弘, パラメータ値に関する制約を考慮したランダムテストのためのテストケース生成手法, 電子情報通信学会ディペンダブルコンピューティング研究会, 2012年10月, 東京.

Toru Namba, Tatsuhiko Tsuchiya, Tohru Kikuno, Constructing Test Sets for Pairwise Testing: A SAT-Based Approach, 2011 Second International Conference on Networking and Computing, 2011年11月30日~12月2日, 大阪.

〔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

<http://www-ise4.ist.osaka-u.ac.jp/~t-tsuchiya/CIT/>

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

土屋 達弘 (TSUCHIYA, Tatsuhiro)

大阪大学・大学院情報科学研究科・教授

研究者番号: 30283740

### (2) 研究分担者

( )

研究者番号:

### (3) 連携研究者

( )

研究者番号: