

# SMT を用いた制約付きのロケーティングアレイの生成について

金 浩<sup>†,††a)</sup> 崔 銀恵<sup>††</sup> 土屋 達弘<sup>†</sup>

On the generation of constrained locating arrays using an SMT solver

Hao JIN<sup>†,††a)</sup>, Eunhye CHOI<sup>††</sup>, and Tatsuhiro TSUCHIYA<sup>†</sup>

あらまし ソフトウェアに対するインタラクションテストにおいて、ロケーティングアレイをテスト集合として用いることで、故障検出だけでなくその特定も可能となる。本研究では、テストパラメータ上の制約を考慮したロケーティングアレイの生成を、SMT ソルバを用いて行う方法について説明する。

キーワード ロケーティングアレイ, 組合せテスト, SMT ソルバ

## 1. ま え が き

ソフトウェアの開発において、その不具合、つまりフォールトを検出するためのデバッグに莫大なコストが費やされている。ソフトウェアシステムが日々複雑化している現在において、高効率な不具合検出手法はその重要性を著しく表し、具体的な検出手法の一つとして、組合せテスト (combinatorial testing) は注目を集めている。組合せテストはあらゆる  $k$  個のパラメータに対し、それらが取りうる値の組合せ (interaction) をすべて網羅することによって、フォールトに繋がるパラメータ値の組合せを検出できる。その根拠として、Kuhn らが 2002 年 [1] 及び 2004 年 [2] に発表された論文により、大多数のソフトウェアの不具合はパラメータ数  $k$  が 6 以下の値の組み合わせにより生じることが挙げられる。組合せテストを利用することで、複数のテストケース (test case) が生成され、それらの集合をテストスイート (test suite) と名付ける。それぞれのテストケースは各パラメータに値を振り当てることであり、一つのベクトルとなる。そして、それらのベクトルの集合がテストスイートであり、形はマ

トリックスである。

組合せテストの核となる部分は「 $k$  個のパラメータの値の組み合わせを全て網羅する」であることは明らかであり、このような網羅に対する評価を  $k$ -way カバレッジ ( $k$ -way coverage) と呼ぶ。しかし、全てのパラメータ値の組合せを網羅したとしても、テスト集合のサイズが大き過ぎるとは、そのアドバンテージは現れない。いかに  $k$ -way カバレッジの条件を満たしつつ、テストケース数を削減し、テストスイートのサイズを圧縮するかが焦点である。当問題は組合せ最適化問題の類に属し、先行研究では、様々な組合せテスト生成手法が提案されている。[3] を始めとする貪欲法による生成方法もあり、他にも [4] のような SAT ソルバを用いた生成法も存在する。

さらなる効果を求めるため、組合せテストによる検出機能のみならず、フォールトを特定する機能をも持つロケーティングアレイ (locating array) が提案されている [5]。組合せテストの特徴はパラメータ値の組合せを網羅することであり、その結果として生成されたテストスイートの中、たとえフォールトになるテストケースを発見しても、当テストケースが含む全ての組合せがフォールティインタラクション (faulty interaction) の候補であるため、そのさらなる特定は不可能である。そこで、テストケースを増加することにより、同一テストケースに含まれる組合せ間でも、他のテストケースと比較することにより、特定できるようなテストスイートのロケーティングアレイである。

<sup>†</sup> 大阪大学情報科学研究科, 吹田市

Graduate School of Information Science and Technology, Osaka University, Yamadaoka 1-5, Suita-shi, Osaka, 565-0871 Japan

<sup>††</sup> 産業総合技術研究所, 池田市

Information Technology Research Institute, AIST Kansai, Midorigaoka 1-8-31, Ikeda-Shi, Osaka, 563-8577 Japan

a) E-mail: k-kou@ist.osaka-u.ac.jp

本論文の章構成は以下の通りである。2. で制約付きロケーティングアレイについて述べ、3. では SMT 問題への変換について述べる。4. では提案手法に基づく実験を行い、実行時の動作結果・考察について述べる。最後に 5. では、研究の結論と今後の展望について述べる。

## 2. 制約付きロケーティングアレイ

1. で述べたように、ロケーティングアレイは組合せテストのカバー特性を保ちつつ、テストケースを増やすことにより、さらなる特定機能を得たテストスイートである。これまでに、ロケーティングアレイについての研究は [6] と [7] などが存在する。しかし、対象システム (SUT, System Under Testing) の固有制約を考慮したロケーティングアレイの研究はまだ少ない。一般的に、ほとんどのシステムはその仕様により、入力またはコンポーネント間で固有の制限、制約 (constraint) が存在する。これらを考慮することで、ロケーティングアレイはより実用化となる。本章ではそのような制約を考慮したロケーティングアレイの生成について述べる。

### 2.1 基本概念

- 無効な値の組合せ

SUT は複数の入力パラメータを持ち、それぞれのパラメータはまた複数の値候補から一つ値を取れるのだが、システムの仕様により、特定のパラメータの値の組合せは有効ではないことがある。このような組合せは無効な値の組合せ (invalid interaction) であり、テスト設計では、テストケースに出現してはいけない。例を挙げると、システム  $S$  において、パラメータ  $P_1$  及びパラメータ  $P_2$  は以下のような制約が存在する：

$$P_1 = v_1 \rightarrow P_2 = v_1$$

## 2.2 適応事例

## 3. SMT 問題への変換

### 3.1 エンコーディング

#### 3.1.1 無効インタラクション

#### 3.1.2 区別不能なインタラクションペア

### 3.2 Symmetry Breaking

## 4. 実験・評価

## 5. 結論

- 最終原稿の提出に関しては、各ソサイエティの「投稿のしおり」を参照してください。
- ソース・ファイルはできるだけ 1 本のファイルにまとめてください。
- 著者独自のマクロを記述したファイルや文献、図の EPS ファイルなどを忘れていないかご確認願います。

## 文 献

- [1] D.E. クヌース, 改訂新版  $\text{\TeX}$  ブック, アスキー出版局, 東京, 1992.
- [2] 磯崎秀樹,  $\text{\LaTeX}$  自由自在, サイエンス社, 東京, 1992.
- [3] 藤田眞作, 化学者・生化学者のための  $\text{\LaTeX}$ —パソコンによる論文作成の手引, 東京化学同人, 東京, 1993.
- [4] 阿瀬はる美, てくてく  $\text{\TeX}$ , アスキー出版局, 東京, 1994.
- [5] S. von Bechtolsheim,  $\text{\TeX}$  in Practice, Springer-Verlag, New York, 1993.
- [6] N. Walsh, Making  $\text{\TeX}$  Work, O'Reilly & Associates, Sebastopol, 1994.
- [7] D. Salomon, The Advanced  $\text{\TeX}$  book, Springer-Verlag, New York, 1995.
- [8] 藤田眞作,  $\text{\LaTeX}$  マクロの八衢, アジソン・ウェスレイ・パブリッシャーズ・ジャパン, 東京, 1995.
- [9] 中野賢, 日本語  $\text{\LaTeX}$  2 $\epsilon$  ブック, アスキー出版局, 東京, 1996.
- [10] 藤田眞作,  $\text{\LaTeX}$  2 $\epsilon$  階梯, アジソン・ウェスレイ・パブリッシャーズ・ジャパン, 東京, 1996.
- [11] 乙部蔵己, 江口庄英,  $\text{\pLaTeX}$  2 $\epsilon$  for Windows Another Manual, ソフトバンクパブリッシング, 東京, 1996–1997.
- [12] ポール W. エイブラハム, 明快  $\text{\TeX}$ , アジソン・ウェスレイ・パブリッシャーズ・ジャパン, 東京, 1997.
- [13] 江口庄英, Ghostscript Another Manual, ソフトバンクパブリッシング, 東京, 1997.
- [14] マイケル・グーセンス, フランク・ミッテルバッハ, アレキサンダー・サマリノ,  $\text{\LaTeX}$  コンパニオン, アスキー出版局, 東京, 1998.
- [15] ビクター・エイコー,  $\text{\TeX}$  by Topic— $\text{\TeX}$  をよく深く知るための 39 章, アスキー出版局, 東京, 1999.
- [16] レスリー・ランポート, 文書処理システム  $\text{\LaTeX}$  2 $\epsilon$ , ビアソンエデュケーション, 東京, 1999.

- [17] 奥村晴彦, [改訂版]  $\text{\LaTeX}$  2 $\epsilon$  美文書作成入門, 技術評論社, 東京, 2000.
- [18] マイケル・グーセンス, セバスチャン・ラッツ, フランク・ミッテルバッハ,  $\text{\LaTeX}$  グラフィックスコンパニオン, アスキー出版局, 東京, 2000.
- [19] マイケル・グーセンス, セバスチャン・ラッツ,  $\text{\LaTeX}$  Web コンパニオン— $\text{\TeX}$  と HTML/XML の統合, アスキー出版局, 東京, 2001.
- [20] ページ・エンタープライゼス(株),  $\text{\LaTeX}$  2 $\epsilon$  マクロ & クラスプログラミング基礎解説, 技術評論社, 東京, 2002.
- [21] 藤田眞作,  $\text{\LaTeX}$  2 $\epsilon$  コマンドブック, ソフトバンク パブリッシング, 東京, 2003.
- [22] 吉永徹美,  $\text{\LaTeX}$  2 $\epsilon$  マクロ & クラスプログラミング実践解説, 技術評論社, 東京, 2003.
- [23] <https://oku.edu.mie-u.ac.jp/~okumura/texwiki/>

## 付 録

### 1. PDF の作成方法と A4 用紙への出力

- PDF に書き出すには二通りの方法があります.

(1) `dvipdfmx` を使って PDF に変換する (以下では段幅の関係で折り返します).

```
dvipdfmx -p 182mm,257mm -x 1in -y 1in
-o file.pdf file.dvi
```

用紙サイズとして `jisb5` というオプションが使えるかもしれません. オプションの `-x 1in -y 1in` は省略できます.

(2) まず, `dvips` を使用して, `ps` に書き出します.

```
dvips -Pprinter -t b5 -O 0in,0in
-o file.ps file.dvi
```

`printer` には, 使用するプリンタ名を記述します. オプションの `-O 0in,0in` は省略できます.

次に Acrobat Distiller で PDF に変換します.

- `dvips` を使用して A4 用紙に出力する場合のパラメータはおおよそ以下のような設定になります.

```
dvips -Pprinter -t a4 -O 14mm,20mm file.dvi
printer には使用するプリンタ名を記述します. オプションの -t a4 は省略できます.
```

• Windows 上の `dviout` を利用して, 用紙の左右天地中央に版面を自動配置する場合は以下のようにします.

(1) `dviout` を起動します.

(2) メニューバーにある Option の中の Setup Parameters... を選択します.

(3) 「DVIOUT のプロパティ」というダイアログが開くので, Paper というタブを選択します.

(4) Options という枠の中に Horizontal center-

ing と Vertical centering というチェックボックスがあるので, それぞれチェックした後に Save ボタンを押します.

(5) この設定を行った後に `dvi` ファイルを開くと, 版面が用紙の中心に配置されます.

### 2. 削除したコマンド

本誌の体裁に必要なのないコマンドは削除しています. 削除したコマンドは, `\part`, `\theindex`, `\tableofcontents`, `\titlepage`, ページスタイルを変更するオプション (`headings`, `myheadings`) などです.

(平成 xx 年 xx 月 xx 日受付)

電子 花子 (正員)

1996 東北一大学情報工学科卒. 1999 東京第一大学工学部工学部助手. 某システムの研究に従事.

情報 太郎 (正員)

1995 大阪一大学工学科卒. 1997 同大学院工学研究科修士課程了. 1998 大阪(株)入社. 某コンピュータ応用の研究に従事. ABC 学会会員.

通信 次郎

1980 九州一大学理工学部卒. 1981 大阪(株)入社. 現在 ATT 日本研究所に所属.

**Abstract** IEICE (The Institute of Electronics, Information and Communication Engineers) provides a p $\text{\LaTeX}$ 2 $\epsilon$  class file, named `ieicej.cls` (ver. 3.0), for the IEICE Transactions. This document describes how to use the class file, and also makes some remarks about typesetting a manuscript by using the p $\text{\LaTeX}$ 2 $\epsilon$ . The design is based on ASCII Japanese p $\text{\LaTeX}$ 2 $\epsilon$ .

**Key words** p $\text{\LaTeX}$ 2 $\epsilon$  class file, typesetting, math formulas