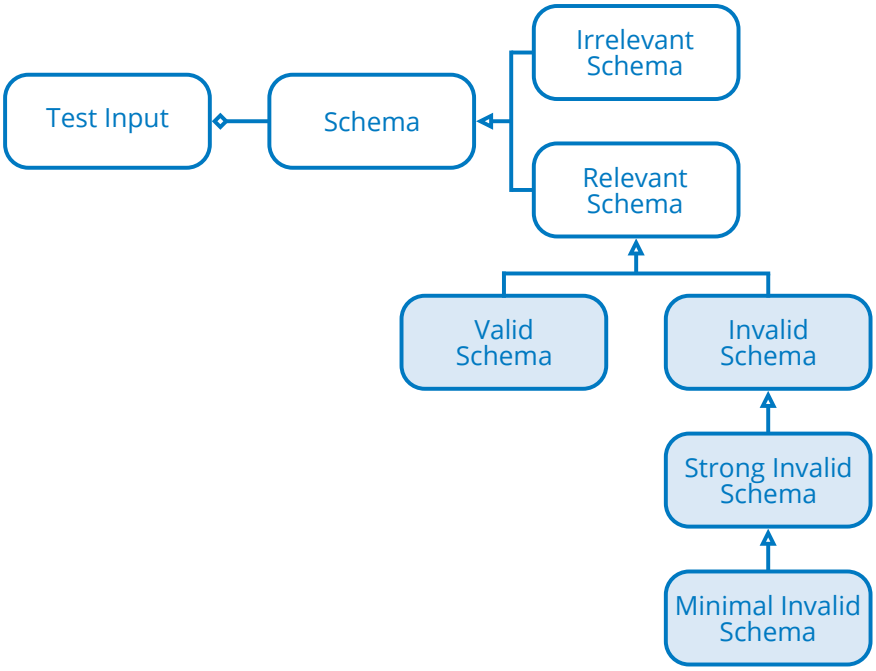
Konrad Anton Fögen

# Combinatorial Robustness Testing based on Error-Constraints




Aachener Informatik-Berichte,
Software Engineering

Band 47

Hrsg: Prof. Dr. rer. nat. Bernhard Rumpe
Prof. Dr. rer. nat. Horst Lichter

# Combinatorial Robustness Testing based on Error-Constraints

Von der Fakultät für Mathematik, Informatik und Naturwissenschaften der
RWTH Aachen University zur Erlangung des akademischen Grades eines
Doktors der Naturwissenschaften genehmigte Dissertation

vorgelegt von

**Konrad Anton Fögen, M. Sc.**
aus Höxter

Berichter: Universitätsprofessor Dr. rer. nat. Horst Lichter
Professor Angelo Gargantini, Ph.D.

Tag der mündlichen Prüfung: 10. Februar 2021

**Aachener Informatik-Berichte, Software Engineering**

herausgegeben von
Prof. Dr. rer. nat. Bernhard Rumpe
Software Engineering
RWTH Aachen University

Band 47

**Konrad Anton Fögen**
RWTH Aachen University

# Combinatorial Robustness Testing based on Error-Constraints

Shaker Verlag
Düren 2021

**Bibliographic information published by the Deutsche Nationalbibliothek**
The Deutsche Nationalbibliothek lists this publication in the Deutsche Nationalbibliografie; detailed bibliographic data are available in the Internet at http://dnb.d-nb.de.

Zugl.: D 82 (Diss. RWTH Aachen University, 2021)



Printed in Germany.

ISBN 978-3-8440-7929-6
ISSN 1869-9170

Shaker Verlag GmbH • Am Langen Graben 15a • 52353 Düren
Phone: 0049/2421/99011-0 • Telefax: 0049/2421/99011-9
Internet: www.shaker.de • e-mail: info@shaker.de

# Kurzfassung

Robustheit ist eine wichtige Eigenschaft einer Software, welche zusätzlich zur Funktionalität getestet werden muss. Dies erfordert ungültige Werte und ungültige Wertekombinationen, um die Reaktion einer Software auf die Eingabe dieser Werte beobachten zu können.

Kombinatorisches Testen (CT) ist eine effektive spezifikationsbasierte Testmethode, die auf einem Eingabeparametermodell (IPM) basiert, mit dem Eingaben für das Testen ausgewählt werden. Die Effektivität von CT verschlechtert sich jedoch, wenn ungültige Werte oder ungültige Wertekombinationen vorhanden sind. Dieses Phänomen wird als Maskierungseffekt ungültiger Eingaben bezeichnet und ist in der Forschung bereits bekannt. Das Phänomen führte zu Erweiterungen der CT Testmethode, welche wir als Kombinatorisches Testen für Robustheit (CRT) bezeichnen. Das Ziel von CRT ist es, das Erkennen von Fehlern zu verbessern, indem der Maskierungseffekt ungültiger Eingaben vermieden wird. Vermieden wird er durch die Trennung von Tests mit gültigen Werten und gültigen Wertekombinationen und Tests mit ungültigen Werten und ungültigen Wertekombinationen.

Obwohl CRT eine vielversprechende Erweiterung von CT ist, argumentieren wir, dass sie immer noch unzureichend erforscht ist. Zum Beispiel wird in verwandten Arbeiten das IPM mit semantischen Informationen erweitert, um Werte als ungültig markieren zu können. Wertekombinationen können allerdings nicht direkt als ungültig markiert werden.

In dieser Arbeit entwickeln wir daher die Idee des CRT weiter. Das Ziel ist eine neue CRT Testmethode mit einem Modellierungsansatz, um ungültige Werte und ungültige Wertkombinationen gleichermaßen gut zu spezifizieren. Dieser Modellierungsansatz soll auch in explizite Testabdeckungskriterien und Testauswahlstrategien integriert werden. Zudem soll dieser Modellierungsansatz durch automatisierte Techniken weiter unterstützt werden.

Zunächst führen wir ein kontrolliertes Experiment durch, um zu überprüfen, ob CRT als Erweiterung notwendig ist, oder ob CT bereits geeignet ist, um Robustheit von Software zu testen. Basierend auf den Ergebnissen verfeinern wir das $t$-Faktor Fehlermodell, sodass Robustheitsfehler und der inhärente Maskierungseffekt ungültiger Eingaben berücksichtigt werden.

Dann entwickeln wir eine neue Testmethode für CRT und führen das Robustheits-Eingabeparametermodell (RIPM) ein, welches die Struktur der IPMs um das Konzept der Error-Constraints erweitert. Dabei handelt es sich um einen zusätzlichen Satz logischer Ausdrücke zur Beschreibung der Gültigkeit von Werten und Wertekombinationen.

Mit dem verfeinerten $t$-Faktor Fehlermodell und der neuen RIPM Struktur werden neue Testabdeckungskriterien, welche die zusätzlichen semantischen Informationen einbeziehen, und neue Testauswahlstrategien, welche die Testabdeckungskriterien erfüllen, entwickelt.

Das neue Konzept der Error-Constraints erfordert zusätzlichen Aufwand. Daher entwickeln wir zwei zusätzliche Techniken, welche die Modellierung der Error-Constraints unterstützen. Zuerst entwickeln wir eine Technik zur Identifizierung und Reparatur von Inkonsistenz innerhalb der Error-Constraints. Zudem entwickeln wir eine Technik zur automatischen Generierung von Error-Constraints, welche auf der Konformität mit einem anderen System basiert.

Zu guter Letzt werden alle oben genannten Konzepte und Techniken operationalisiert und in ein Framework zu Testautomatisierung integriert, welches einen Prozess, eine Architektur und eine Java-basierte Referenzimplementierung umfasst.

# Abstract

Robustness is an important property of a software, which must be tested in addition to a software's functionality. This requires invalid values and invalid value combinations to be able to observe a software's reaction to them.

Combinatorial testing (CT) is an effective specification-based test method that is based on an input parameter model (IPM) with which test inputs are selected. But its effectiveness deteriorates in the presence of invalid values or invalid value combinations. This phenomenon is called invalid input masking effect and is already acknowledged in some research. The phenomenon led to extensions of CT that we call combinatorial robustness testing (CRT). The objective of CRT is to improve the fault detection by avoiding invalid input masking. This is achieved by separating the testing of valid values and valid value combinations from the testing of invalid values and invalid value combinations.

While CRT is a promising extension of CT, it is still insufficiently researched. For instance, in related work, IPMs are extended with additional semantic information to specify invalid values. However, invalid value combinations cannot be specified directly.

Therefore, the objective of this work is to further expand the idea of CRT. The aim is to develop a new CRT test method with a modeling approach to specify invalid values and invalid value combinations equally well. This modeling approach should also be incorporated into explicit test adequate criteria and test selection strategies. Furthermore, this modeling approach shall be supported by automated techniques.

First, we conduct a controlled experiment to check if CRT is necessary at all or if CT is already appropriate to test robustness. Based on the result, we continue and develop a refined $t$-factor fault model that incorporates robustness faults and the inherent invalid input masking effect.

Next, we develop a new test method for CRT and introduce a new structure that extends the structure of IPMs. It is called robustness input parameter model (RIPM) and contains the concept of error-constraints which is an additional set of logical expressions to describe the validity of values and value combinations.

With the refined $t$-factor fault model and the new RIPM structure, new test adequacy criteria that incorporate the additional semantic information and new test selection strategies that satisfy the test adequacy criteria are developed.

The new concept of error-constraints requires additional effort in modeling. Therefore, we develop two techniques to support the modeling of them. First, we develop a technique to identify and repair inconsistencies among error-constraints. Second, we develop a technique to automatically generate error-constraints based on the conformance to another system.

Last but not least, all aforementioned concepts and techniques are operationalized and integrated in a test automation framework which includes a process, an architecture, and a Java-based reference implementation.

# Contents