



Evolutionärer Test des Zeitverhaltens von Realzeit-Systemen

Evolutionary Testing of the Temporal Behaviour of Real-Time Systems

Joachim Wegener, Humboldt-Universität zu Berlin
Preisträger des Dissertationspreises 2002 der Ernst-Denert-Stiftung

Zusammenfassung Mit dem evolutionären Test steht eine neue Testmethode zur Verfügung, die eine systematische und weitgehend automatische Prüfung des Zeitverhaltens von Realzeit-Systemen ermöglicht. Der Test wird als ein Optimierungsproblem interpretiert, das mit evolutionären Algorithmen gelöst wird. Es werden die Eingabesituationen mit den längsten und kürzesten Ausführungszeiten gesucht, um dynamisch zu überprüfen, ob Verletzungen der für das zu testende Realzeit-System spezifizierten Zeitschranken auftreten.

Summary Evolutionary testing represents a new test method which makes the systematic and largely automated testing of the temporal behaviour of real-time systems possible. The test is interpreted as an optimisation problem which is solved using evolutionary algorithms. The input situations with the longest and shortest execution times are searched for, in order to check dynamically whether violations of the timing constraints specified for the real-time system under test occur.

KEYWORDS D.2.5 [Testing]; C.3 [Special-Purpose and Application-Based-Systems] Real-Time Systems; G.1.6 [Optimization]

Die Entwicklung von Realzeit-Systemen ist von hoher industrieller Bedeutung. Mehr als 90% aller produzierten elektronischen Bauelemente wird in eingebetteten Systemen verbaut, die zumeist auch zeitliche Anforderungen erfüllen müssen. Der Test bildet die wichtigste analytische Qualitätssicherungsmaßnahme für eingebettete Systeme. Nicht selten entfallen 50% der gesamten Entwicklungskosten auf den Test der Systeme. Für die Prüfung von Real-

zeit-Systemen sind funktionales wie zeitliches Programmverhalten gleichermaßen gründlich zu testen. Es mangelt jedoch an Testmethoden, die eine umfassende und weitgehend automatisierte Prüfung der zeitlichen Eigenschaften unterstützen. Folglich werden derartige Tests in der Praxis in der Regel zu unsystematisch durchgeführt und verursachen hohe Kosten. Diese Mängel sollen durch evolutionäre Tests behoben werden.

Ziel des evolutionären Tests ist es, Fehler im Zeitverhalten eines zu prüfenden Systems automatisch aufzudecken, indem nach Eingabesituationen mit besonders langen oder kurzen Ausführungszeiten gesucht wird. Führt die Ausführung der gefundenen Eingabesituationen zu einer Verletzung der spezifizierten Zeitschranken, so liegt ein Fehler

im zu testenden System vor, der in der Entwicklung beseitigt werden muss.

Der evolutionäre Test fasst die Suche nach Eingabesituationen mit extremen Ausführungszeiten als Optimierungsproblem auf, das mit evolutionären Algorithmen gelöst wird. Es handelt sich um ein iteratives Verfahren, das auf einer Menge von Individuen parallel operiert. Individuen repräsentieren gültige Eingabesituationen für das zu testende System. Die Zielfunktion der Optimierung bilden die Ausführungszeiten des Testobjekts, die für die generierten Eingabesituationen gemessen werden. Für das Zeitverhalten interessante Individuen werden miteinander kombiniert (Rekombination) und zufällig verändert (Mutation), um zu neuen Individuen mit längeren oder kürze-

Die Dissertation von Herrn Dr. Wegener wurde mit dem Dissertationspreis 2002 der Ernst-Denert-Stiftung für Software-Engineering ausgezeichnet. Die Gutachter des Promotionsverfahrens, das im Jahre 2001 an der Humboldt-Universität zu Berlin durchgeführt wurde, waren Prof. Dr. Klaus Bothe, Humboldt-Universität zu Berlin, Prof. Dr. Andreas Spillner, Hochschule Bremen, Prof. Dr. Miroslaw Malek, Humboldt-Universität zu Berlin und Prof. Dr. Fevzi Belli, Universität Paderborn.



ren Ausführungszeiten zu gelangen. Wird nach der längsten Ausführungszeit gesucht, so werden Individuen mit langen Ausführungszeiten miteinander kombiniert. Auf der Suche nach der kürzesten Ausführungszeit werden Individuen mit kurzen Ausführungszeiten kombiniert. Der Suchraum ist durch den Eingabedatenraum des zu testenden Systems gegeben.

In einer Reihe von Experimenten konnte die Leistungsfähigkeit des evolutionären Tests nachgewiesen werden. Dazu wurde der evolutionäre Test mit anderen Verifikationsverfahren zur Prüfung zeitlicher Eigenschaften verglichen. Im Einzelnen wurden Vergleiche mit statischen Analysen, Zufallstests sowie Funktions- und Strukturtests durchgeführt. In den meisten Fällen gelingt es dem evolutionären Test, die längsten und kürzesten Ausführungszeiten des zu prüfenden Systems präzise anzunähern und genauere Abschätzungen der extremen Ausführungszeiten zu liefern als die anderen Verifikationsverfahren.

Die Voraussetzungen für einen Einsatz evolutionärer Tests sind gering. Wenn das ausführbare Testobjekt vorliegt, eine Möglichkeit für die Durchführung von Zeitmessungen in der Testumgebung besteht und die Ausführung einzelner Eingabesituationen nicht so lange dauert, dass ein Test mit einer Vielzahl von Eingabesituationen nicht in einem vernünftigen Rahmen möglich ist, kann der Zeitverhaltenstest vollständig automatisiert werden.

Der evolutionäre Test lässt sich gut mit anderen Verifikationsverfahren kombinieren und kann einfach in bestehende Entwicklungsprozesse integriert werden. Durch die Kombination von Funktionstests und evolutionären Tests ergibt sich eine leistungsfähige Teststrate-

gie für Realzeit-Systeme, die sowohl das funktionale als auch das zeitliche Verhalten von Realzeit-Systemen abdeckt. Hierzu werden die aus dem Funktionstest bekannten Eingabesituationen in den evolutionären Test integriert. Der evolutionäre Test profitiert damit vom Wissen des Testers über das zu prüfende System. Durch die Kombination von statischen Abschätzungen der längsten und kürzesten Ausführungszeiten mit evolutionären Tests lassen sich die extremen Ausführungszeiten des Realzeit-Systems präzise eingrenzen.

Im Gegensatz zu anderen Black-Box-Testverfahren können für evolutionäre Tests klare Abbruchkriterien für die Beendigung des Tests formuliert werden. Hierfür wird der Konvergenzstatus der generierten Individuen beurteilt. Ist keine ausreichende Diversität der Individuen mehr vorhanden, d.h. der evolutionäre Test ist gegen einen Bereich extremer Ausführungszeiten konvergiert, so macht eine Fortsetzung des Tests keinen Sinn, da die Wahrscheinlichkeit gering ist, durch eine Fortsetzung des Testlaufs weitere Individuen mit extremeren Ausführungszeiten zu finden.

Mit dem evolutionären Test steht eine neue, auf den Test des Zeitverhaltens spezialisierte Testmethode zur Verfügung, mit der sich das Zeitverhalten von Realzeit-Systemen systematisch und weitgehend automatisch prüfen lässt. Der evolutionäre Test besitzt damit das Potential, zu einer Verbesserung der Qualität und zu einer Senkung der Entwicklungskosten von Realzeit-Systemen beizutragen. Eine Anwendung auf andere Systemklassen, die zeitliche Anforderungen zu erfüllen haben, erscheint problemlos möglich, beispielsweise für die Prüfung interaktiver Systeme.

Der evolutionäre Test stellt einen wichtigen Schritt für den Einsatz von Optimierungsverfahren in der Softwaretechnik und insbesondere für den Test software-basierter Systeme dar. Das beschriebene Verfahren bildet die Grundlage zahlreicher internationaler und nationaler Veröffentlichungen. Die erzielten Ergebnisse wurden bereits durch andere Autoren in eigenen Arbeiten aufgegriffen und bestätigt.

Literatur

- [1] Wegener, J.: Evolutionärer Test des Zeitverhaltens von Realzeit-Systemen. Shaker Verlag, Aachen 2001.



Dr. Joachim Wegener hat an der Technischen Universität Berlin Informatik studiert und an der Humboldt-Universität zu Berlin zum evolutionären Test von Realzeit-Systemen promoviert. Für diese Arbeit wurde er mit dem Software-Engineering-Preis 2002 der Ernst-Denert-Stiftung ausgezeichnet. Er ist Leiter des Fachgebiets „Software Analysis and Testing“ der DaimlerChrysler Forschung und war wesentlich an der Entwicklung des Testsystems TESSY und des Klassifikationsbaum-Editors CTE beteiligt. Durch die enge Verzahnung von Forschung und Entwicklung bei DaimlerChrysler ist er zudem als Qualitätsbeauftragter für Entwicklungsprojekte der Mercedes-Benz PKW-Entwicklung tätig. Joachim Wegener ist Mitglied im Seminar Network und leitet den Arbeitskreis „Test eingebetteter Systeme“ der Gesellschaft für Informatik.

Adresse: DaimlerChrysler AG, Research and Technology, Alt-Moabit 96a, 10559 Berlin, E-Mail:

Joachim.Wegener@daimlerchrysler.com