Bedingungsüberdeckungstesttechniken: Vergleich, Bewertung und Anwendung in der Praxis (Kurzfassung)

Peter Liggesmeyer [1]

Abstract

Bei sicherheitskritischen Softwareanwendungen ist die Prüfung der Verarbeitungslogik sehr wichtig. Empirische Untersuchungen zeigen, dass in diesem Anwendungsbereich die komplizierte Verarbeitungslogik in der Regel entsprechend kompliziert aufgebaute Entscheidungen in der Software verursacht. Die Überprüfung derartiger Strukturen ist mit dem Zweigüberdeckungstest, der als Minimalkriterium des strukturorientierten Softwaretests gilt, nicht gewährleistet. Der Bedingungsüberdeckungstest (condition coverage test) beachtet die logische Struktur von Entscheidungen der zu testenden Software. Es existieren unterschiedliche Ausprägungen mit spezifischen Stärken und Schwächen. Der so genannte modified condition/decision coverage wird vom Standard RTCA DO-178 B für sicherheitskritische Software (Level A) in der Avionik verbindlich gefordert. Einerseits zielen Bedingungsüberdeckungstest auf einen möglichst umfassenden Test der Logik von zusammengesetzten Entscheidungen. Andererseits ist es erforderlich, den Testaufwand niedrig zu halten, akzeptierte Minimalkriterien der Testabdeckung (Zweigüberdeckungstest) zu erfüllen und praktikable Vollständigkeitskriterien zu definieren. Die Bedingungsüberdeckungstests unterscheiden sich erheblich in bezug auf diese Anforderungen. Darüber hinaus entstehen erhebliche Unterschiede durch unterschiedliche Formen der Evaluation von Entscheidungen (vollständige vs. unvollständige Evaluation).

1 Einleitung

Im Englischen bezeichnet man den Bedingungsüberdeckungstest als *condition coverage test.* Es existieren unterschiedliche Ausprägungen, von denen die schwächste - der einfache Bedingungsüberdeckungstest *(simple condition coverage test)* - nicht den Anweisungs- und Zweigüberdeckungstest subsumiert. Der so genannte Mehrfach-Bedingungsüberdeckungstest *(multiple condition coverage test)* subsumiert die Zweigüberdeckung, besitzt jedoch andere Schwächen, die im folgenden noch näher erläutert werden. Einen praktikablen Mittelweg stellen der minimale Mehrfach-Bedingungsüberdeckungstest *(minimal multiple condition coverage test)* und der so genannte *modified condition/decision coverage test* dar.

Die Grundidee der Bedingungsüberdeckungstests ist die gründliche Überprüfung zusammengesetzter Entscheidungen der zu testenden Software [2]. Für einen vollständigen Zweigüberdeckungstest ist es hinreichend, dass die Auswertung aller Entscheidungen jeweils einmal den Wert *wahr* und einmal den Wert *falsch* liefert. Diese Strategie berücksichtigt nicht den Aufbau der Entscheidungen.

Darüber hinaus existieren zwei unterschiedliche Modi zur Evaluation von Entscheidungen:

- Vollständig: Es werden stets alle Teilentscheidungen einer Entscheidung geprüft
- Unvollständig: Die Prüfung von Teilentscheidungen wird beendet, sobald der Wahrheitswert der Gesamtentscheidung bekannt ist.

Die Form der Prüfung von Entscheidungen besitzt erheblichen Einfluß auf die Eigenschaften der Bedingungsüberdeckungstests. Das Ziel ist die Definition von Bedingungsüberdeckungstesttechniken, die möglichst unabhängig von der Evaluationsform eine konstante Leistungsfähigkeit besitzen. Es wird ferner gezeigt werden, dass die Annahme falsch ist, eine vollständige Evaluation von Teilentscheidungen führe zu einer besseren Aussagequalität des Tests.

2 Bedingungsüberdeckungstesttechniken

Das einfachste Verfahren des Bedingungsüberdeckungstests *((simple) condition coverage)* fordert den Test aller atomaren Teilentscheidungen gegen *wahr* und *falsch.* Im allgemeinen Fall kann nicht garantiert werden, dass der einfache Bedingungsüberdeckungstest den Zweigüberdeckungstest subsumiert. Ob der Zweigüberdeckungstest subsumiert wird, bestimmt die Art, wie Entscheidungen evaluiert werden. Bei vollständiger Evaluation ist der Zweigüberdeckungstest im einfachen Bedingungsüberdeckungstest nicht enthalten (Tab. 1). Das Symbol || kennzeichnet die logische Oder-Verknüpfung. Die logische Und-Verknüpfung wird mit && notiert. Wie Tab. 2 zeigt, führt jede Kombination von Testfällen, die eine

1 Hasso-Plattner-Institut für Softwaresystemtechnik
an der Universität Potsdam
Fachgebiet Softwaretechnik

vollständige Bedingungsüberdeckung erreicht, im Falle der unvollständigen Evaluation (hier von links nach rechts) von Entscheidungen auch zu einem vollständigen Zweigüberdeckungstest.

Der Bedingungs-/ Entscheidungsüberdeckungstest *(condition/decision coverage)* garantiert ergänzend zu einer einfachen Bedingungsüberdeckung einen vollständigen Zweigüberdeckungstest. Er verlangt, dass die Zweigüberdeckung explizit zusätzlich zur Bedingungsüberdeckung hergestellt wird. Da dies bei einer unvollständigen Evaluation von Entscheidungen bereits der einfache Bedingungsüberdeckungstest sicherstellt, ist diese Technik nur für den Fall der vollständigen Evaluation von Entscheidungen von Bedeutung.

Der minimale Mehrfach-Bedingungsüberdeckungstest *(minimal multiple condition coverage)* verlangt, dass neben den atomaren Teilentscheidungen und der Gesamtentscheidung auch alle zusammengesetzten Teilentscheidungen gegen *wahr* und *falsch* geprüft werden. Da Entscheidungen in mehreren Hierarchieebenen strukturiert sein können, ist es sinnvoll, diese Struktur beim Testen zu beachten.

Wie man leicht zeigen kann, ist aber auch diese Technik blind gegenüber wichtigen Fehlern. Die

	A	B	C	D	A || B	C || D	(A || B) && (C || D)
I	f	f	-	-	f	-	f
II	f	t	f	f	t	f	f
III	f	t	f	t	t	t	t
IV	f	t	t	-	t	t	t
V	t	-	f	f	t	f	f
VI	t	-	f	t	t	t	t
VII	t	-	t	-	t	t	t

Tab. 2. Mögliche Wahrheitswerte bei unvollständiger Evaluation von Entscheidungen

Durchführung der Testfälle 1 und 16 nach Tab. 3 führt zu einer vollständigen Testabdeckung entsprechend des minimalen Mehrfach-Bedingungsüberdeckungstests. Würde die Entscheidung aber nicht (A||B)&&(C||D) sondern (A&&B)||(C&&D) lauten, so erhielte man ein exakt identisches Ergebnis. Die Testfälle sind blind in bezug auf diesen Fehler (man beachte, dass in diesem

	A	B	C	D	A || B	C || D	(A || B) && (C || D)
1	f	f	f	f			
2	f	f	f	t			
3	f	f	t	f			
4	f	f	t	t			
5	f	t	f	f			
6	f	t	f	t	t	t	t
7	f	t	t	f			
8	f	t	t	t			
9	t	f	f	f			
10	t	f	f	t			
11	t	f	t	f	t	t	t
12	t	f	t	t			
13	t	t	f	f			
14	t	t	f	t			
15	t	t	t	f			
16	t	t	t	t			

Tab. 1. Testfälle für eine einfache Bedingungsüberdeckung (vollständige Evaluation)

	A	B	C	D	A || B	C || D	(A || B) && (C || D)
1	f	f	f	f	f	f	f
2	f	f	f	t			
3	f	f	t	f			
4	f	f	t	t			
5	f	t	f	f			
6	f	t	f	t			
7	f	t	t	f			
8	f	t	t	t			
9	t	f	f	f			
10	t	f	f	t			
11	t	f	t	f			
12	t	f	t	t			
13	t	t	f	f			
14	t	t	f	t			
15	t	t	t	f			
16	t	t	t	t	t	t	t

Tab. 3. Testfälle für eine minimale Mehrfachbedingungsüberdeckung (vollständige Evaluation)

Fall alle Operatoren fehlerhaft wären).

Der modifizierte Bedingungs-/Entscheidungs-überdeckungstest *(modified condition/decision coverage)* verlangt Testfälle, die demonstrieren, dass jede atomare Teilentscheidung den Wahrheitswert der Gesamtentscheidung unabhängig von den anderen Teilentscheidungen beeinflussen kann [1]. Die Anwendung dieser Technik wird vom Standard RTCA DO-178 B [3] für sicherheitskritische Software (Level A) in der Avionik gefordert. Grundsätzlich zielt die Technik auf einen möglichst umfassenden Test der Logik von zusammengesetzten Entscheidungen mit einem vertretbaren Testaufwand. Der Zusammenhang zwischen der Anzahl der atomaren Teilentscheidungen einer Entscheidung und der Anzahl der erforderlichen Testfälle ist linear. Für den Test einer Entscheidung mit *n* Teilentscheidungen sind aber mindestens *n+1* Testfälle erforderlich.

Tab. 4 stellt ein Beispiel für Testfälle eines modifizierten Bedingungs-/Entscheidungsüber-deckungstests bei vollständiger Evaluation von Entscheidungen dar. Links neben der Tabelle ist angedeutet, welches Testfallpaar welche atomare Entscheidung testet. Die Testfälle 2 und 6 weisen identische Wahrheitswerte für die Teilentscheidungen A, C und D auf. Sie unterscheiden sich in den Wahrheitswerten der Teilentscheidung B. In Testfall 2 besitzt B den Wahrheitswert *falsch*. In Testfall 6 ist B *wahr*. Außerdem liefert Testfall 2 das Gesamtergebnis *falsch*, während in Testfall 6 die Gesamtentscheidung den Wert *wahr* besitzt. Damit ist nachgewiesen, das die atomare Teilentscheidung B unabhängig von den anderen atomaren Teilentscheidungen den Wahrheitswert der Gesamtentscheidung beeinflußt. Eine entsprechende Situation liegt für die Testfälle 2 und 10 bezogen auf A, 9 und 10 bezogen auf D und 9 und 11 bezogen auf C vor. Die Wahrheitswerte der jeweils anderen drei atomaren Teilentscheidungen sind jeweils fest. Die Wahrheitswerte der jeweils betrachteten Teilentscheidung und der Gesamtentscheidung ändern sich.

		A	B	C	D	A || B	C || D	(A || B) && (C || D)
	1	f	f	f	f			
	2	f	f	f	t	f	t	f
	3	f	f	t	f			
B	4	f	f	t	t			
	5	f	t	f	f			
A	6	f	t	f	t	t	t	t
	7	f	t	t	f			
	8	f	t	t	t			
D	9	t	f	f	f	t	f	f
C	10	t	f	f	t	t	t	t
	11	t	f	t	f	t	t	t
	12	t	f	t	t			
	13	t	t	f	f			
	14	t	t	f	t			
	15	t	t	t	f			
	16	t	t	t	t			

Tab. 4. Testfälle für den modifizierten Bedingungs-/Entscheidungsüberdeckungstest (vollständige Evaluation von Entscheidungen)

Der Mehrfach-Bedingungsüberdeckungstest *(multiple condition coverage)* fordert den Test aller Wahrheitswertekombinationen der atomaren Teilentscheidungen. Diese Vorgehensweise ergibt ohne Zweifel einen sehr umfassenden Test von zusammengesetzten Entscheidungen. Der Mehrfach-Bedingungs-überdeckungstest subsumiert den Zweigüberdeckungs-test und alle anderen Bedingungsüberdeckungs-testtechniken. Nachteilig ist sein hoher Testaufwand. Bei einer Entscheidung, die aus *n* Teilentscheidungen zusammengesetzt ist, sind stets 2^n Testfälle notwendig. Ein derartiges exponentielles Wachstum der Anzahl der Testfälle - und damit des Testaufwands - ist in der Regel nicht akzeptabel.

3 Schlussfolgerungen

Bedingungsüberdeckungstests sind der konsequent folgende Schritt nach der Einführung von Zweigüberdeckungstesttechniken. In Anwendungsbereichen wie der Luftfahrttechnik werden sie durch Standards gefordert. Die Erreichung eines geeigneten Kompromisses aus Leistungsfähigkeit und Testaufwand ist möglich. Dabei müssen Eigenschaften des Laufzeitsystems beachtet werden. Eine vollständige Evaluation von Entscheidungen führt – anders als man das vielleicht intuitiv erwarten würde – nicht zu einer gesteigerten Aussagequalität der Bedingungsüber-deckungstests. In der Regel ist die Aussagequalität im Falle der unvollständigen Evaluation von Entscheidungen besser. In jedem Fall ist zu gewährleisten, dass die Art der Evaluation von Entscheidungen beim Testen mit der Art der Evaluation bei der späteren Nutzung der Software übereinstimmt.

Literatur

1. Chilenski J.J., Miller S.P., Applicability of modified condition/decision coverage to software testing, Software Engineering Journal, September 1994, pp. 193-200
2. Liggesmeyer P., Modultest und Modulverifikation, BI-Wissenschaftsverlag, Mannheim 1990
3. RTCA/DO-178B Software Considerations in Airborne Systems and Equipment Certification, RTCA, Inc., 1992