Phase 3: Komponenten (Testen)

Echtzeitsystemelabor - Vorlesung/Übung

Peter Ulbrich
Wolfgang Schröder-Preikschat

Lehrstuhl für Informatik 4
Verteilte Systeme und Betriebssysteme
Friedrich-Alexander Universität Erlangen-Nürnberg

http://www4.cs.fau.de/~{ulbrich,wosch}
{ulbrich,wosch}@cs.fau.de

Übersicht

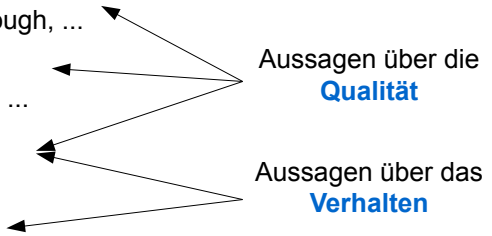
- Warum Testen?
- Testarten
- Wo kommen Testfälle her?
- Wie gut hat man getestet?
- Spezifikation von Testfällen
- Implementierung von Testfällen
- Performanztests

Warum Testen?

- verschiedene Möglichkeiten, Aussagen über Programme zu treffen:
  - **informelle Methoden**
    - Inspection, Review, Walkthrough, ...
  - **analytische Methoden**
    - Metriken, Coding Standards, ...
  - **formale Methoden**
    - Model Checking, ...
  - **dynamisches Testen**
    - Black-Box, White-Box, Regressionstests, ...

Warum Testen?

- verschiedene Möglichkeiten, Aussagen über Programme zu treffen:
  - **informelle Methoden**
    - Inspection, Review, Walkthrough, ...
  - **analytische Methoden**
    - Metriken, Coding Standards, ...
  - **formale Methoden**
    - Model Checking, ...
  - **dynamisches Testen**
    - Black-Box, White-Box, Regressionstests, ...



- ➔ Verhalten eines Programms beurteilen
  - ➔ Programm ausführen
  - formale Methoden sind oft sehr mühsam, aufwendig, unmöglich, ...

Testarten

- Testfälle in den Phasen der SW-Entwicklung
- Black-Box vs. White-Box

Tests nach den Phasen der SW-Entwicklung

- **Modultest** (engl. *module testing*)
  Diskrepanzen zwischen der Implementierung und der im Entwurf / in der Spezifikation festgelegten Funktion / Schnittstelle
- **Integrationstest** (engl. *integration testing*)
  Probleme beim Zusammenspiel mehrerer Module
- **Systemtest** (engl. *system testing*)
  Black-Box-Test: tatsächliche Leistung vs. geforderte Leistung hinsichtlich Vollständigkeit, Volumen, Stresstest und Leistung
- **Abnahmetest** (engl. *acceptance testing*)
  Erfüllt das Produkt den Anforderungen des Auftraggebers hinsichtlich Korrektheit, Robustheit, Performanz und Dokumentation

Black-Box vs. White-Box

- **Black-Box** Testing
  - keine Kenntnis der internen Struktur
  - Testfälle basieren auf Spezifikation, Programmcode wird ignoriert
  - synonym: *functional*, *data-driven*, *i/o-driven*

→ **Frage: Wurden alle Anforderungen implementiert?**

- **White-Box** Testing
  - Kenntnis der internen Struktur zwingend erforderlich
  - Testfälle basieren auf Programmcode, Spezifikation wird ignoriert
  - synonym: *structured*, *glass-box*, *logic-driven*, *path-oriented*

→ **Frage: Wurden nur Anforderungen implementiert?**

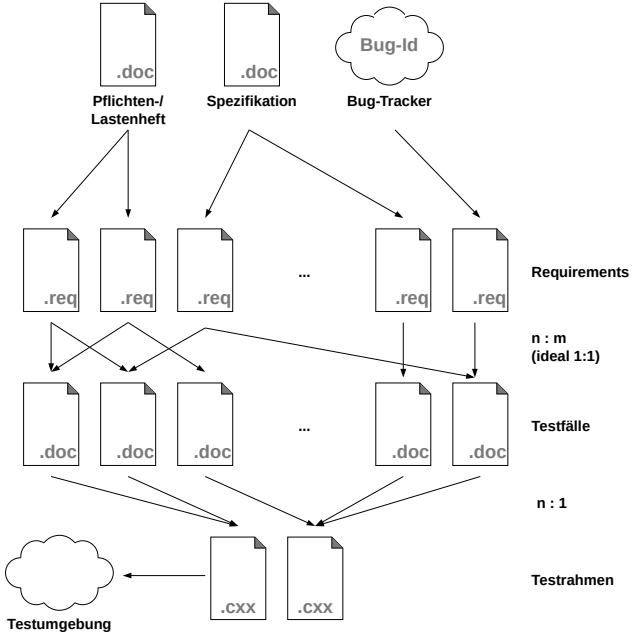
Problem: Black-Box Testing

- Beispiel OSEK OS:
  - **4** Conformance Klassen: BCC1, BCC2, ECC1, ECC2
  - **3** Scheduling Verfahren: NON, MIXED, FULL
  - **2** Statusklassen: STANDARD, EXTENDED
  - → **24** Varianten für jeden Testfall
- kein Wissen über die interne Struktur vorhanden
  - → Parameter könnten sich gegenseitige beeinflussen
  - → alle Kombinationen müssen getestet werden: **kombinatorische Explosion**
- Kombination mit White-Box Testing
  - → Unabhängigkeit der Parameter kann evtl. sicher gestellt werden
  - → Reduktion der Testfälle bzw. deren Varianten

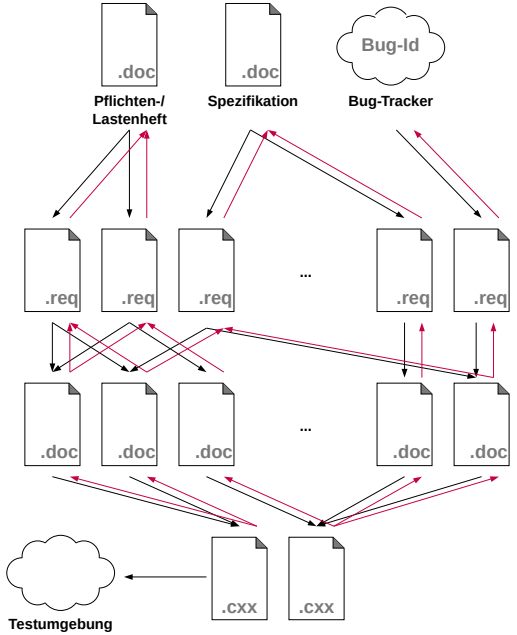
Wo kommen Testfälle her?

- Prozess
- Konstruktionshilfen für
  - Black-Box Testing
  - White-Box Testing

Prozess



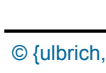
Prozess



Achtung:
auch der **umgekehrte Weg** ist wichtig!!!

Konstruktionshilfen: Black-Box

- **Äquivalenzklassentest** (engl. *partition testing*)
  Eingabewerte, die zu identischen Ergebnissen führen sollen, werden zu Äquivalenzklassen zusammengefasst, z.B. Klassifikationsbäume (Daimler-Chrysler). Ableitung der Äquivalenzklassen aus der **Spezifikation**.
- **Grenzwerttest** (engl. *boundary value testing*)
  Eingabewerte an den Grenzen der Äquivalenzklassen
- **Cause-Effect-Graphing**
  Eingabedaten ausgehend von Ursache-Wirkung-Überlegungen
- **Error-Guessing**
  Aus Erfahrung erwarteter Fehler, bezogen auf die Spezifikation
- **Zufallstest** (engl. *random testing*)
  Zufällige Eingabewerte, die einer bestimmten Verteilung gehorchen, Simulation realer Eingabewerte



Konstruktionshilfen: White-Box

- **Äquivalenzklassentest** (engl. *partition testing*)
  Eingabewerte, die zu identischen Ergebnissen führen sollen, werden zu Äquivalenzklassen zusammengefasst, z.B. Klassifikationsbäume (Daimler-Chrysler). Ableitung der Äquivalenzklassen anhand des **Programmcodes**.
- **Grenzwerttest** (engl. *boundary value testing*)
  Eingabewerte an den Grenzen der Äquivalenzklassen
- **Mehrfachbedingungstest** (engl. *multiple condition testing*)
  Bei Verzweigungen, die mehrere Bedingungen enthalten, werden alle Bedingungen getestet.

Wie gut hat man getestet?

- **minimale Anzahl** von Testfällen
- Testabdeckung – **Coverage**
  - funktionale Coverage
  - Code Coverage
  - Datenfluss Coverage

Minimale Anzahl von Testfällen

- **McCabe's Cyclomatic Complexity**
  - Maß für die Anzahl der unabhängigen Pfade durch ein Programm
  - untere Schranke für die Anzahl der Testfälle
- **Function-Point-Metrik**
  1) Zähle Funktionen und zu verarbeitetende Daten
     → unjustierter Function-Point-Wert
  2) Bewertung bestimmter, nicht-funktionaler Systemeigenschaften
     → justierter Function-Point-Wert
  3) Bezug des justierten Function-Point-Wertes mit Referenzdaten
     → Aufwandsabschätzung
  - McCabe: justierter Function-Point-Wert * 1,2
    → untere Schranke für die Anzahl der Testfälle

Funktionale Coverage

- wurden alle Anforderungen getestet
- existiert zu jeder Anforderung mindestens ein Testfall

➔ Requirement Tracing!

Code Coverage (1)

- welcher Anteil des Programmcodes wurde getestet?
- keine Testfälle an sich, Maß für die Testabdeckung

- **Statement Coverage** Sc = s / S
  - **s** = Anzahl der erreichten Statements
  - **S** = Anzahl aller Statements
  - findet
    - nicht erreichbaren Code
    - nicht getesteten Code
    - vom Compiler nicht geprüften Code
- **Branch Coverage** Bc = b / B
  - **b** = Anzahl ausgewerteter Verzweigungsmöglichkeiten
  - **B** = Anzahl aller Verzweigungsmöglichkeiten
  - Structured Programming:
    100% Branch Coverage → 100% Statement Coverage

Code Coverage (2)

- **Path Coverage** Pc = p / P
  - **p** = Anzahl getesteter Pfade durch ein Programm
  - **P** = Anzahl aller Pfade durch ein Programm
  - 100% Path Coverage impliziert 100% Branch Coverage
  - kombinatorische Explosion: sehr aufwendig
  - → Beschränkung auf nicht-pathologische Pfade
- **Conditional Coverage** Cc = c / C
  - **c** = Anzahl ausgewerteter logischer Entscheidungen
  - **C** = Anzahl aller logischen Entscheidungen
  - Ähnlich, aber nicht gleich Path Coverage → Beispiel:

```
if(A() || B()) {
   ...
} else {
   ...
}
```

A()	B()	
false	false	100% Path Coverage
true	false	50% Conditional Coverage
false	true	
true	true	

Datenfluss Coverage (1)

- jede Variable ist definiert durch
  - Definition (***Definition***)
  - Verwendung (***Use***)

- **DU-Path**
  Pfad in der Programmausführung von der Definition einer Variablen bis zu ihrer Verwendung ohne erneute Definition derselben Variable

Datenfluss Coverage (2)

- **all-defs**
  mindestens ein Pfad von jeder Definition zu mindestens einer Verwendung
- **all-p-uses** / **some-c-uses** > all-defs
  mindestens ein Pfad von jeder Definition zu jeder erreichbaren Verwendung innerhalb von Bedingungen oder mindestens einer Berechnung, falls keine erreichbare Verwendung innerhalb einer Bedingung existiert
- **some-p-uses** / **all-c-uses** > all-defs
  analog zu all-p-uses / some-c-uses
- **all-uses** > all-p-uses / some-c-uses | some-p-uses / all-c-uses
  mindestens ein Pfad von jeder Definition zu jeder erreichbaren Verwendung
- **all-DU-paths**
  alle DU-Pfade für jede Definition

Spezifikation von Testfällen

- die Spezifikation enthält
  - **Testfallbezeichner**
  - **Requirements**, die getestet werden
  - **Vorbedingungen**, **Eingabedaten**
  - **erwartetes Ergebnis**

Spezifikation von Testfällen

- Beispiel ProOSEK Testfall:

```
TESTCASE SetRelAlarm2
@SCHEDULE n,m,f
@CC BCC1, BCC2, ECC1, ECC2
@STATUS s,e
@SCENARIO
Aufruf von SetRelAlarm() mit einem bereits aktivierten
Alarm, der bei seinem Ablaufen einen Task aktiviert.
@RESULT
Der Aufruf liefert E_OS_STATE.
@REQUIREMENTS
//REQ: Kernel.API.Alarms.DeclareAlarm, TEST
//REQ: Kernel.API.Alarms.SetRelAlarm.API, TEST
//REQ: Kernel.API.Alarms.SetRelAlarm.Task, TEST
//REQ: Kernel.API.Alarms.SetRelAlarm.ISRC2, TEST
//REQ: Kernel.API.Alarms.SetRelAlarm.AlreadyInUse, TEST
TESTCASE END
```

Bezeichner

Spezifikation von Testfällen

- Beispiel ProOSEK Testfall:

Vorbedingungen / Eingabewerte

```
TESTCASE SetRelAlarm2
@SCHEDULE n,m,f
@CC BCC1, BCC2, ECC1, ECC2
@STATUS s,e
@SCENARIO
Aufruf von SetRelAlarm() mit einem bereits aktivierten
Alarm, der bei seinem Ablaufen einen Task aktiviert.
@RESULT
Der Aufruf liefert E_OS_STATE.
@REQUIREMENTS
//REQ: Kernel.API.Alarms.DeclareAlarm, TEST
//REQ: Kernel.API.Alarms.SetRelAlarm.API, TEST
//REQ: Kernel.API.Alarms.SetRelAlarm.Task, TEST
//REQ: Kernel.API.Alarms.SetRelAlarm.ISRC2, TEST
//REQ: Kernel.API.Alarms.SetRelAlarm.AlreadyInUse, TEST
TESTCASE END
```

Spezifikation von Testfällen

- Beispiel ProOSEK Testfall:

```
TESTCASE SetRelAlarm2
@SCHEDULE n,m,f
@CC BCC1, BCC2, ECC1, ECC2
@STATUS s,e
@SCENARIO
Aufruf von SetRelAlarm() mit einem bereits aktivierten
Alarm, der bei seinem Ablaufen einen Task aktiviert.
@RESULT
Der Aufruf liefert E_OS_STATE.
@REQUIREMENTS
//REQ: Kernel.API.Alarms.DeclareAlarm, TEST
//REQ: Kernel.API.Alarms.SetRelAlarm.API, TEST
//REQ: Kernel.API.Alarms.SetRelAlarm.Task, TEST
//REQ: Kernel.API.Alarms.SetRelAlarm.ISRC2, TEST
//REQ: Kernel.API.Alarms.SetRelAlarm.AlreadyInUse, TEST
TESTCASE END
```

erwartetes Ergebnis

Spezifikation von Testfällen

- Beispiel ProOSEK Testfall:

```
TESTCASE SetRelAlarm2
@SCHEDULE n,m,f
@CC BCC1, BCC2, ECC1, ECC2
@STATUS s,e
@SCENARIO
Aufruf von SetRelAlarm() mit einem bereits aktivierten
Alarm, der bei seinem Ablaufen einen Task aktiviert.
@RESULT
Der Aufruf liefert E_OS_STATE.
@REQUIREMENTS
//REQ: Kernel.API.Alarms.DeclareAlarm, TEST
//REQ: Kernel.API.Alarms.SetRelAlarm.API, TEST
//REQ: Kernel.API.Alarms.SetRelAlarm.Task, TEST
//REQ: Kernel.API.Alarms.SetRelAlarm.ISRC2, TEST
//REQ: Kernel.API.Alarms.SetRelAlarm.AlreadyInUse, TEST
TESTCASE END
```

geprüfte Requirements

Implementierung von Testfällen

- Testrahmen
- Testumgebung

Testrahmen

- genau definierte Anwendung
- enthält Implementierung eines oder mehrerer Testfälle
- Ablauf wird durch die Testumgebung gesteuert

Testrahmen

- Beispiel ProOSEK Testfall:

```
...
TASK (task1) {
   ...
   /* @TESTCASE GetAlarmBase2 */
   if((status = GetAlarmBase(alarm1,&base)) != E_OK) {
      PanicStatus("GetAlarmBase() returned wrong value!",status);
   }
   if(base.maxallowedvalue != 255 || base.ticksperbase != 50) {
      Panic("GetAlarmBase() returned wrong alarmbase for Alarm1!");
   }

   sequence[counter] = 'a';
   counter++;

   /* @TESTCASE SetAbsAlarm9 */
   if((status = SetAbsAlarm(alarm1,255,0)) != E_OK) {
      PanicStatus("SetAbsAlarm() returned wrong value!",status);
   }
   ...
   TerminateTask();
}
...
```

Testrahmen

- Beispiel ProOSEK Testfall:

Testfallbezeichner

```
...
TASK (task1) {
   ...
   /* @TESTCASE GetAlarmBase2 */
   if((status = GetAlarmBase(alarm1,&base)) != E_OK) {
      PanicStatus("GetAlarmBase() returned wrong value!",status);
   }
   if(base.maxallowedvalue != 255 || base.ticksperbase != 50) {
      Panic("GetAlarmBase() returned wrong alarmbase for
Alarm1!");
   }

   sequence[counter] = 'a';
   counter++;

   /* @TESTCASE SetAbsAlarm9 */
   if((status = SetAbsAlarm(alarm1,255,0)) != E_OK) {
      PanicStatus("SetAbsAlarm() returned wrong value!",status);
   }
   ...
   TerminateTask();
}
...
```


Testrahmen

- Beispiel ProOSEK Testfall:

Testfallimplementierung

```
...
TASK (task1) {
   ...
   /* @TESTCASE GetAlarmBase2 */
   if((status = GetAlarmBase(alarm1,&base)) != E_OK) {
      PanicStatus("GetAlarmBase() returned wrong value!",status);
   }
   if(base.maxallowedvalue != 255 || base.ticksperbase != 50) {
      Panic("GetAlarmBase() returned wrong alarmbase for
Alarm1!");
   }

   sequence[counter] = 'a';
   counter++;

   /* @TESTCASE SetAbsAlarm9 */
   if((status = SetAbsAlarm(alarm1,255,0)) != E_OK) {
      PanicStatus("SetAbsAlarm() returned wrong value!",status);
   }
   ...
   TerminateTask();
}
...
```


Testrahmen

- Beispiel ProOSEK Testfall:

Ablaufsteuerung

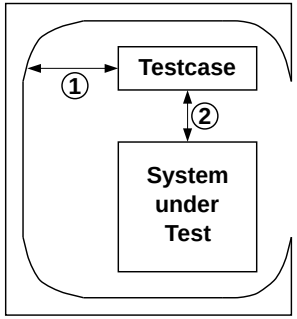
```
...
TASK (task1) {
   ...
   /* @TESTCASE GetAlarmBase2 */
   if((status = GetAlarmBase(alarm1,&base)) != E_OK) {
      PanicStatus("GetAlarmBase() returned wrong value!",status);
   }
   if(base.maxallowedvalue != 255 || base.ticksperbase != 50) {
      Panic("GetAlarmBase() returned wrong alarmbase for
Alarm1!");
   }

   sequence[counter] = 'a';
   counter++;

   /* @TESTCASE SetAbsAlarm9 */
   if((status = SetAbsAlarm(alarm1,255,0)) != E_OK) {
      PanicStatus("SetAbsAlarm() returned wrong value!",status);
   }
   ...
   TerminateTask();
}
...
```


Testumgebung

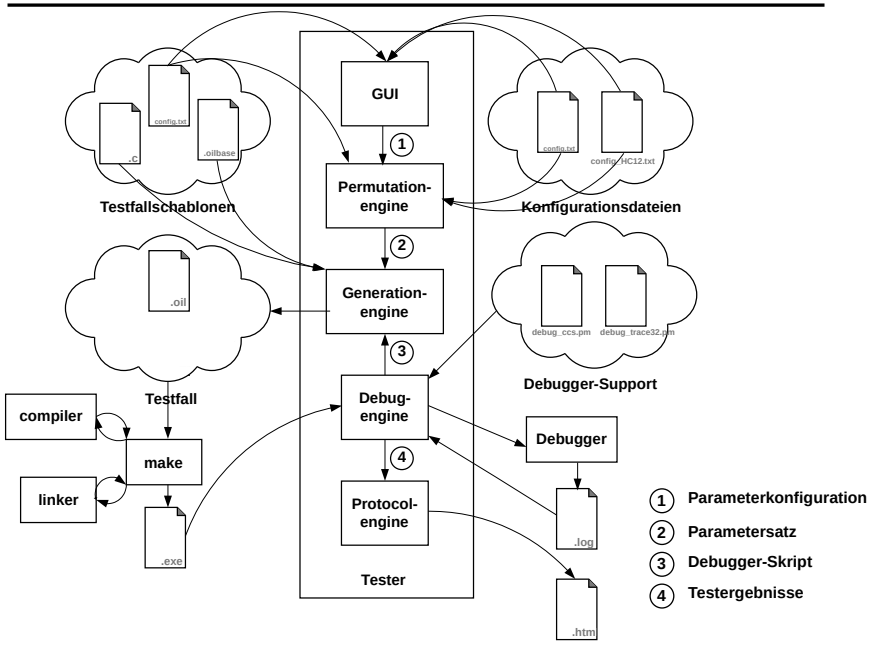
- Bereitstellung einer Test-API
  - Kontrolle des Testablaufs
- **Ausführung** der Testfälle
- **Auswertung** und **Protokollierung** der Ergebnisse



① **Test-API**

② **SUT-API**

Testumgebung – ProOSEK Testsuite



Testumgebung – ProOSEK Testsuite

- Umfang:
  - > 40 Perl-Module
  - > 15 allgemeine, architektur- und testfallspezifische Konfigurationsdateien
  - > 20 architekturspezifische Header- und Implementierungsdateien
  - sehr viele Testfälle, allgemein und architekturspezifisch
  - > 20000 LOC Perl + ASCII
- Vorteil
  - hohes Maß an Generizität, leicht erweiterbar
- Problem
  - hohes Maß an Komplexität
  - wer testet die TestSuite?

Performanztests

- Speicherbedarf
- Laufzeit

Speicherbedarf

- Wie viel Speicher wird benötigt?
  - Programmcode
  - Stack
  - Daten (lesbar / schreibbar)
- statische Auswertung des übersetzten Programms bzw. der Map-Datei
  - → Speicherbedarf des Programmcodes
  - → Speicherbedarf des Stacks (Worst Case, Average Case, ...)
  - → Speicherbedarf der Daten

Laufzeit (1)

- **statisch: *instruction counting***
  - Laufzeiten der Instruktionen sind bekannt
    → Gesamtlaufzeit kann berechnet werden
  - enorm schwierig, viele Faktoren müssen beachtet werden, um brauchbare Ergebnisse zu erzielen
    - Pipeline des Prozessors
    - Speicherhierarchie
    - Out-of-Order-Execution
    - Branch Prediction
    - Eingabedaten
    - ...

Laufzeit (2)

- **dynamisch: Messung**
  - Primitive: `start()`, `stop()`, `get_time()`
  - Messungen immer mehrmals durchführen
    - Ergebnisse mitteln
    - Median
    - Standardabweichung, Varianz
- **Achtung**
  - Kontextwechsel
  - geschachtelte Messungen
  - Unterbrechungen
  - Kalibrierung
  - misst man auch wirklich die WCET?

Zusammenfassung

- **Warum testet man**
  - um das Verhalten von Software zu erproben
- **Welche Testarten gibt es?**
  - Modul-, Integrations-, System-, Abnahmetests
  - Black-Box, White-Box Tests
- **Wo kommen Testfälle her?**
  - Requirement Engineering
  - Konstruktionshilfen
- **Hat man ausreichend getestet?**
  - minimale Anzahl von Testfällen
  - Coverage
- **Testfallspezifikation**
- **Testfallimplementierung**
  - Testrahmen, Testumgebung

Ergebnis

- Einfach Testumgebung: `make <testcase>`
  - führt Testfall aus
  - protokolliert Ergebnisse
- funktionale Tests
  - funktionaler Test von mindestens 50% der Module
  - Spezifikation & Implementierung
  - keine Coverage-Messungen
- Performanztests
  - keine Messung des Speicherbedarfs
  - Messung aller relevanten WCETs mit AbsInt aiT
  - Vernachlässigung des Betriebssystems