Verlässliche Echtzeitsysteme

Dynamisches Testen

Wintersemester 2024/25

Peter Wägemann

Lehrstuhl für Systemsoftware

Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg

https://sys.cs.fau.de

Funktionale und nicht-funktionale Eigenschaften

☞ Korrektheit der Software hat viele Gesichter
- Wurde das 1) richtige 2) korrekt implementiert?

→ Alle relevanten Eigenschaften sind zu überprüfen!

1. *Funktionale Eigenschaften* (Übereinstimmung mit Spezifikation)
   - Müssen *explizit implementiert* werden ↦ `int regelschritt(int sensorwert)`
   - Eine fehlerhafte Funktion kann nicht-funktional korrekt sein
2. *Nicht-funktionale Eigenschaften* (z.B. Laufzeitverhalten)
   - Können nur *implizit implementiert* werden
   - Sind querschneidend ⇝ erst im konkreten Kontext bestimmt
   - Eine korrekte Funktion kann nicht-funktional fehlerhaft sein

   ⚠ *Robustheit* (Kapitel 3-6) ist eine nicht-funktionale Eigenschaft

⚠ Es kommt auf die Betrachtungsebene an!

Zuverlässig Software entwickeln?

- ☞ *Ziel:* Aussagen zur Korrektheit von *funktionalen* und *nicht-funktionalen Eigenschaften* von Software treffen
  - Fokus der Vorlesung: *Korrektheit* oder zumindest *Absenz von Defekten*
  - Schrittweise Annäherung über *Qualität* und *Verhalten*
- Hierfür existieren unterschiedliche Ansätze:
  - *Informelle Methoden*
    - Inspection, Review, Walkthrough, …
  - *Analytische Methoden*
    - Metriken, Kodierrichtlinien, …
  - *Dynamisches Testen*
    - Black-Box, White-Box, Regression, Unit, …
  - *Formale Methoden*
    - Statische Code-Analyse, Model Checking, …

Aussagen über die *Qualität*

Aussagen über das *Verhalten*

- ☞ In dieser Vorlesung steht das *Testen des Verhaltens* im Vordergrund

Gliederung

1 Testarten und Konzepte

2 Bewertung von Testfällen

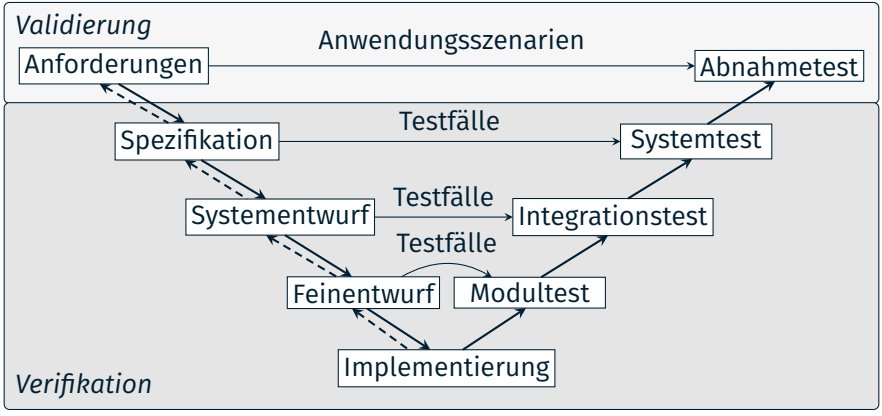
- McCabe's Cyclomatic Complexity
- Testüberdeckung
- Grenzen dynamischen Testens

3 Durchführung und Testumgebung

4 Dynamisches Testen durch Fuzzing

5 Zusammenfassung

Einordnung in den Entwicklungsprozess



Softwareentwicklung nach dem V-Modell wird zugrunde gelegt:

- Weit verbreitetes Vorgehensmodell in der Softwareentwicklung
  - *Absteigender Ast* $\rightsquigarrow$ Spezifikation, Entwurf, Implementierung
  - *Aufsteigender Ast* $\rightsquigarrow$ Verifikation & Validierung
  - *Querbeziehungen* $\rightsquigarrow$ Testfallableitung

Tests in den verschiedenen Phasen des V-Modells

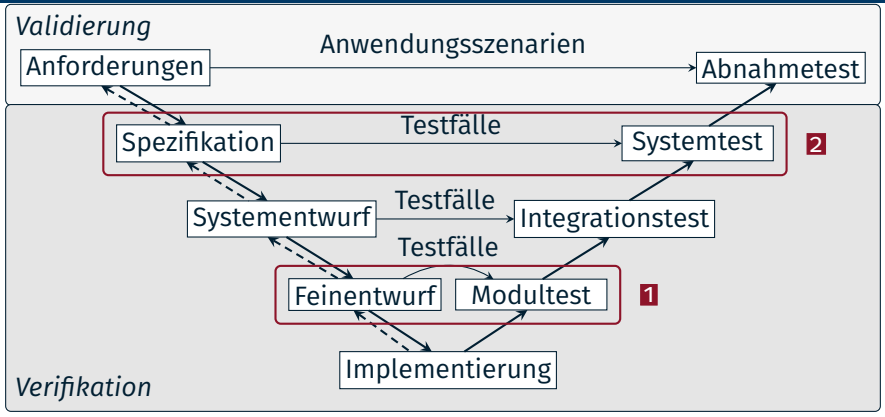
Modultest (engl. *unit testing*)
- Diskrepanz zwischen Implementierung und Entwurf/Spezifikation

Integrationstest (engl. *integration testing*)
- Probleme beim Zusammenspiel mehrerer Module

Systemtest (engl. *system testing*)
- Black-Box-Test auf Systemebene
- Vergleich: geforderte Leistung ⟷ tatsächliche Leistung
  - Funktional: sind alle Merkmale verfügbar
  - Nicht-funktional: wird z.B. ein bestimmter Durchsatz erreicht

Abnahmetest (engl. *acceptance testing*)
- Erfüllt das Produkt die Anforderungen des Auftraggebers
- Korrektheit, Robustheit, Performanz, Dokumentation, …
- Wird durch Anwendungsszenarien demonstriert/überprüft
  - Hier findet also eine Validierung statt, keine Verifikation

Fokus der heutigen Vorlesung



1. *Modultests* $\rightsquigarrow$ Grundbegriffe und Problemstellung
   - $\rightarrow$ *Black-* vs. *White-Box*, *Testüberdeckung*
2. *Systemtest* $\rightsquigarrow$ Testen verteilter Echtzeitsysteme
   - $\rightarrow$ Problemstellung und Herausforderungen

Eigenschaften von Modultests

- Modultests beziehen sich auf *kleine Softwareeinheiten*
  - Meist auf Ebene einzelner Funktionen
    - *Testbarkeit* ist zu gewährleisten ⇝ Begrenzung der notwendigen Testfälle
- Modultests erfolgen in *Isolation*
  - Für den (Miss-)Erfolg ist nur das getestete Modul verantwortlich
  - Andere Module werden durch *Attrappen* (engl. *mock-objects*) ersetzt
- Modultests werden *fortlaufend* durchgeführt
  - Jede Änderung am Quelltext auf Verträglichkeit prüfen

  → *Regressionstests* (engl. *regression testing*) ⇝ Automatisierung notwendig
- Modultests sollten auch den *Fehlerfall* prüfen
  - Es genügt nicht, zu prüfen, dass ein korrektes Ergebnis berechnet wurde

  → Der Fehlerfall (Eingaben, Zustand, …) soll einbezogen werden
- Modultest betrachten die *Schnittstelle*
  - Anwendung des *Design-By-Contract*-Prinzips ⇝ *Black-Box-Tests*
  - Interne Details (⇝ *White-Box-Tests*) führen zu fragilen Testfällen

Black-Box- vs. White-Box-Tests

- *Black-Box-Tests*
  - Keine Kenntnis der internen Struktur
  - Testfälle basieren ausschließlich auf der Spezifikation
  - Synonyme: funktionale, datengetriebene, E/A-getriebene Tests

☞ ***Frage:*** Wurden alle Anforderungen (fehlerfrei) implementiert?

- *White-Box-Tests*
  - Kenntnis der internen Struktur zwingend erforderlich
  - Testfälle basieren auf Programmstruktur, Spezifikation wird ignoriert
  - Synonyme: strukturelle, pfadgetriebene, logikgetriebene Tests

☞ ***Frage:*** Wurden nur Anforderungen (fehlerfrei) implementiert?

☞ Weiterer Verlauf der Vorlesung: Fokus auf *White-Box-Verfahren*
  - Abstrakte Interpretation, Model Checking, Coverage, WP-Kalkül, …

Problem: kombinatorische Explosion

Ohne Einsicht in die Programmstruktur ist Testen sehr mühsam!

- Beispiel: Modultests für OSEK OS [4]
  - Verschiedene Betriebssystemdienste
    - Fadenverwaltung, Fadensynchronisation, Nachrichtenkommunikation, …
  - Hohe Variabilität
    - **4** *Konformitätsklassen*: BCC1, BCC2, ECC1, ECC2
    - **3** *Varianten der Ablaufplanung (Verdrängbarkeit)*: NON, MIXED, FULL
    - **2** *Betriebsmodi*: Betrieb (STANDARD), Entwicklung (EXTENDED)
    - → **24** Varianten für jeden Testfall
- Black-Box $\rightsquigarrow$ kein Wissen über die interne Struktur nutzbar
  - konservative Annahme: Parameter beeinflussen sich gegenseitig
  - → Alle Kombinationen sind relevant: **kombinatorische Explosion!**
- Kombination aus Black- und White-Box-Tests $\rightsquigarrow$ **Gray-Box-Tests**
  - → Unabhängigkeit der Parameter kann evtl. sichergestellt werden
  - → Reduktion der Testfälle bzw. deren Varianten

Gliederung

1 Testarten und Konzepte

2 Bewertung von Testfällen

- McCabe’s Cyclomatic Complexity
- Testüberdeckung
- Grenzen dynamischen Testens

3 Durchführung und Testumgebung

4 Dynamisches Testen durch Fuzzing

5 Zusammenfassung

Hat man genug getestet?

- Kriterium: *Anzahl der Testfälle*
  - Basierend auf Metriken
    - McCabe's Cyclomatic Complexity (MCC), Function/Feature Points, …
  - Mithilfe von Statistiken aus früheren Projekten
    - Kennzahlen früherer Projekte $\rightsquigarrow$ Anzahl zu erwartender Defekte
    - Wie viele Defekte hat man bereits gefunden, wie viele sind noch im Produkt?
    - Wie viele Defekte will/kann man ausliefern?
    - $\rightarrow$ Übertragbarkeit fraglich!?
- Kriterium: *Testüberdeckung*
  - Welcher Anteil des Systems wurde abgetestet?
    - Wurden ausreichend viele Programmpfade absolviert?
    - Wurden alle Variablen, die definiert wurden, auch verwendet?

McCabe's Cyclomatic Complexity [2, Kapitel 8.1]

☞ Maß für die Anzahl der unabhängigen Pfade durch ein Programm

→ je höher die MCC, desto höher die Komplexität

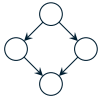
- Berechnung basiert auf dem *Kontrollflussgraphen*
  - Betrachtungsebene wichtig (wir betrachten C-Code)
  - Knoten repräsentieren *Anweisungen*, Kanten *Pfade*

→ Komplexität C: $C = e - n + 2$

– $e \mathrel{\widehat{=}}$ Anzahl der Kanten (engl. edges), $n \mathrel{\widehat{=}}$ Anzahl der Knoten (engl. nodes)

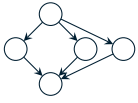
- Beispiele:

Sequenz
C = 1



Verzweigung
C = 2

Do-While
C = 2



Fallunterscheidung
C = 3

⚠ Untere Schranke für die Anzahl der Testfälle!

- In der Praxis gilt ein Wert im Bereich 1 - 10 als akzeptabel

Grundlegende Überdeckungskriterien

Wie sehr wurde ein Modul durch Tests beansprucht?

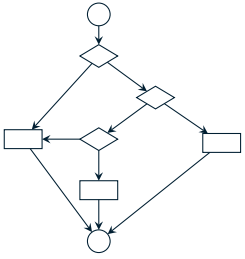
- $C_0 = s/S$ *Anweisungsüberdeckung* (engl. *statement coverage*)
  - $s \rightsquigarrow$ erreichte Anweisungen, $S \rightsquigarrow$ alle Anweisungen
  - Findet nicht erreichbaren/getesteten/übersetzten Code
  - Nachteile:
    - Gleichgewichtung aller Anweisungen
    - Keine Berücksichtigung leerer Pfade oder Datenabhängigkeiten
- $C_1 = b/B$ *Zweigüberdeckung* (engl. *branch coverage*)
  - $b \rightsquigarrow$ ausgeführte primitive Zweige, $B \rightsquigarrow$ alle primitiven Zweige
    - Verzweigungen hängen u.U. voneinander ab

    → Zweigüberdeckung und dafür benötigte Testfälle sind nicht proportional

    → Primitive Zweige sind *unabhängig* von anderen Zweigen
  - Findet nicht erreichbare Zweige, Defekterkennungsrate ca. 33%
  - Nachteile: unzureichende Behandlung von
    - Abhängigen Verzweigungen, Schleifen $\rightsquigarrow$ *Pfadüberdeckung*
    - Komplexe Verzweigungsbedingungen $\rightsquigarrow$ *Bedingungsüberdeckung*

Beispiel: Anweisungs- und Zweigüberdeckung

```
int foo(int a,int b,int c) {
  if((a > b && a > c) || c < 0) {
    if(a < b) return 1;
    else {
      if(b < c) return 2;
    }
  }
  return 4;
}
```



- Anweisungsüberdeckung
  - *Test 1*: `foo(0,0,0)`
  - Test 2: `foo(0,1,-1)`
  - Test 3: `foo(2,0,1)`
- Zweigüberdeckung
  - *Test 1*: `foo(0,0,0)`
  - Test 2: `foo(0,1,-1)`
  - Test 3: `foo(2,0,1)`
  - Test 4: `foo(2,1,1)`

- 100% Zweigüberdeckung ⟼ 100% Anweisungsüberdeckung
- Zweigüberdeckung: weite industrielle Verbreitung
  - Moderater Aufwand, gute Defekterkennungsrate

Pfadüberdeckung

C_2 = p/P *Pfadüberdeckung* (engl. *path coverage*)

- Pfade vom *Anfangs- bis zum Endknoten* im Kontrollflussgraphen
- Abstufungen der Pfadüberdeckung

  C_2a *vollständige Pfadüberdeckung*
  - Abdeckung *aller* möglichen Pfade (C_1 plus Beachtung des Pfadkontexts)
  - Problem: durch Schleifen entstehen u. U. unendlich viele Pfade

  C_2b *boundary-interior Pfadüberdeckung*
  - Wie C_2a, Anzahl der Schleifendurchläufe wird auf ≤ 2 *beschränkt*

  C_2c *strukturierte Pfadüberdeckung*
  - Wie C_2b, Anzahl der Schleifendurchläufe wird auf $\leq n$ *beschränkt*
- Bedeutung *Boundary-Interior*

  boundary Jede Schleife 0-mal betreten
  Jede Schleife 1-mal betreten, alle Pfade im Rumpf abgearbeitet
  interior mit 2 bzw. n Durchläufen erreichb. Pfade im Rumpf
- Hohe Defekterkennungsrate
- Best. Pfade können nicht erreicht werden (C_2b, C_2c), hoher Aufwand

Bedingungsüberdeckung

C_3 *Bedingungsüberdeckung* (engl. *condition coverage*)

- $C_{0,1,2}$: unzureichende Betrachtung von Bedingungen
  - Ihre Zusammensetzung/Hierarchie wird nicht berücksichtigt
- Abstufungen der Bedingungsüberdeckung

  C_3a *Einfachbedingungsüberdeckung*
  - Jede atomare Bedingung einmal mit `true` und `false` testen

  C_3b *Mehrfachbedingungsüberdeckung*
  - Alle Kombinationen atomarer Bedingungen werden getestet

  C_3c *minimale Mehrfachbedingungsüberdeckung*
  - Jede atomare/komplexe Bedingung einmal mit `true` und `false` testen

  MC/DC (engl. *modified condition/decision coverage*)
  - Sonderform der C_3c-Überdeckung
  - Jede atomare Bedingung mit `true` und `false` testen und …
  - Man muss zusätzlich die umgebende komplexe Bedingung beeinflussen
- Sehr hohe Fehlererkennungsrate
- Bestimmte Pfade (z.B. in Schleifen) können nicht erreicht werden, hoher Aufwand

Beispiel: Bedingungsüberdeckung

```
int foo(int a,int b,int c) {
  if((a > b && a > c) || c < 0) {
    if(a < b) return 1;
    else {
      if(b < c) return 2;
    }
  }
  return 4;
}
```

- Fokus dieses Beispiels hier nur auf **erste Bedingung**:

  `(a > b && a > c) || c < 0`

  - 3 atomare Teilbedingungen
    - `a > b`
    - `a > c`
    - `c < 0`

- Einfachbedingungsüberdeckung

a > b	a > c	c < 0	Testfall
w	w	w	f(1,0,-1)
f	f	f	f(0,1,1)

- Modified Condition/Decision Coverage

a > b	a > c	c < 0	(a > b && a > c) || c < 0	Testfall
w	**w**	f	w	f(1,0,0)
f	w	**f**	f	f(1,1,0)
w	**f**	**f**	f	f(1,0,1)
f	f	**w**	w	f(-1,0,-1)

Testen hat seine Grenzen!

☞ Testen ist im Allgemeinen sehr aufwändig!
- Ziel müssen möglichst vollständige Tests sein!
- Aber woher weiß man, dass man genügend getestet hat?

⚠ Vollständige Tests sind in der Praxis unrealistisch
- „…wir haben schon lange keinen Fehler mehr gefunden …“
  - Eine Auffassung, der man oft begegnet
  - → Der entscheidende Fehler kann sich immer noch versteckt halten
- Therac 25 (s. Folie II/3 ff.) wurde $>$ 2700 Stunden betrieben

Fehlerfreie Software durch Testen?

- Praktisch sind Tests für einen Korrektheitsnachweis ungeeignet!
- Testen kann nur das ***Vertrauen in Software erhöhen***!

- Formale Methoden gehen einen anderen Weg
  - Weisen Übereinstimmung anstatt Abweichung nach
  - Gegenstand kommender Vorlesungen

Gliederung

1 Testarten und Konzepte

2 Bewertung von Testfällen

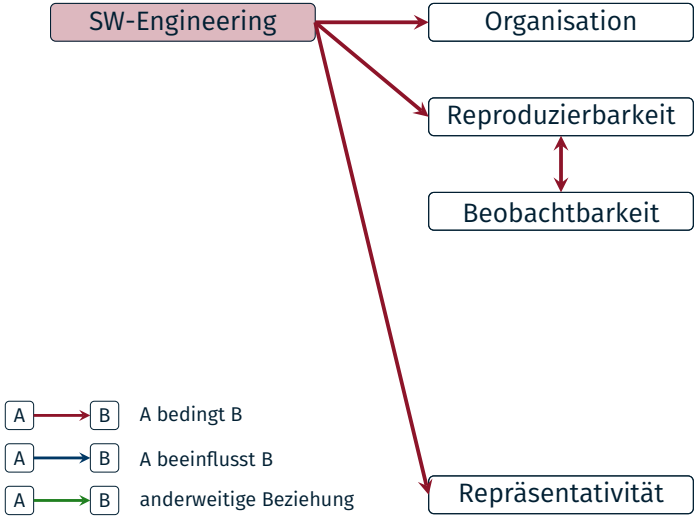
- McCabe's Cyclomatic Complexity
- Testüberdeckung
- Grenzen dynamischen Testens

3 Durchführung und Testumgebung

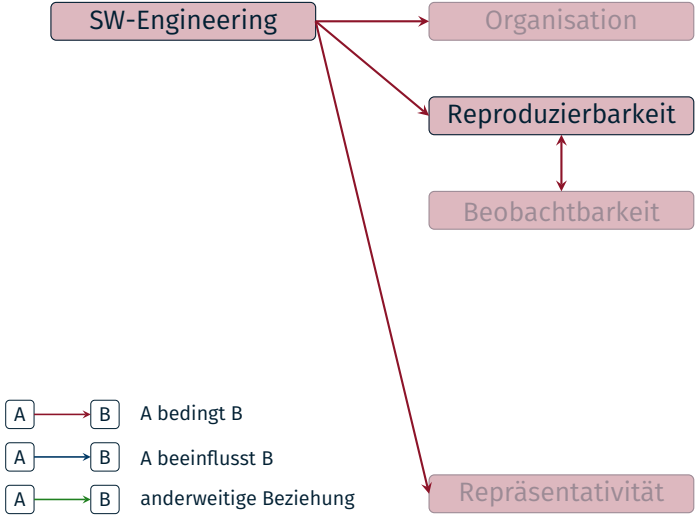
4 Dynamisches Testen durch Fuzzing

5 Zusammenfassung

Testen: Ein Problem des „SW-Engineering“



Problemfeld: Reproduzierbarkeit



Reproduzierbarkeit

Für die Fehlersuche muss man das Fehlverhalten nachstellen können!

- ☞ Wichtige Testvariante: *Regressionstests* (engl. *regression testing*)
  - Wurde der Fehler auch wirklich korrigiert?
  - Hat die Korrektur neue Defekte verursacht?
- Voraussetzung für Regressionstests $\rightsquigarrow$ *Reproduzierbarkeit (d. Fehlverhaltens)*
  - Andernfalls ist keine Aussage zur Behebung des Fehler möglich
  - Verschiedene Ursachen können dasselbe Symptom hervorrufen
- ⚠ Voraussetzung für die Reproduzierbarkeit ist:
  - *Beobachtbarkeit* und die
  - *Kontrollierbarkeit* des Systems

  → Testfälle müssen sich *deterministisch* verhalten (vgl. Replikdeterminismus IV/16 ff)

Reproduzierbarkeit ⟷ Beobachtbarkeit

Fehlverhalten zu reproduzieren erfordert mehr Wissen, als es zu erkennen

⚠ Nicht-deterministische Operationen

- Abhängigkeiten z. B. vom Netzwerkverkehr
- Zufallszahlen, interne Systemzustände (`syscall()`), …

⚠ Ungenügendes Vorabwissen

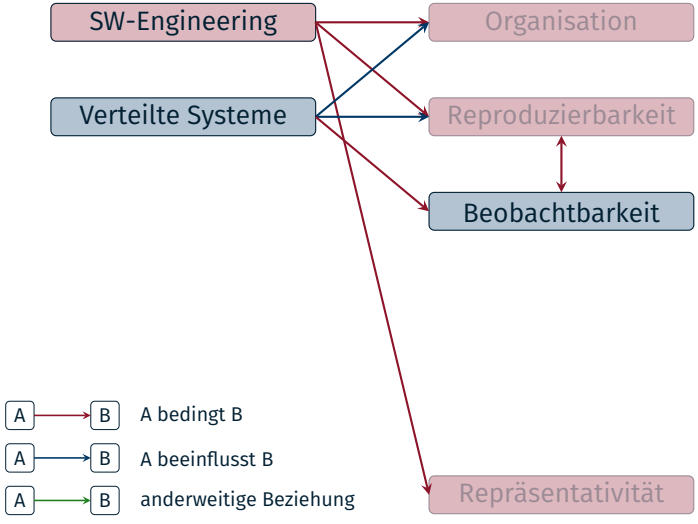
- Fadensynchronisation
- Asynchrone Programmunterbrechungen (engl. *interrupts*)
- Zeitbasis der untersuchten Systeme

☞ Dies sind *relevante Ereignisse*

- Sie beeinflussen den Programmablauf
- Hängen von der Anwendung ab

→ *Identifikation* und *Beobachtung* erforderlich

Problemfeld: Fokus „Verteilte Systeme“

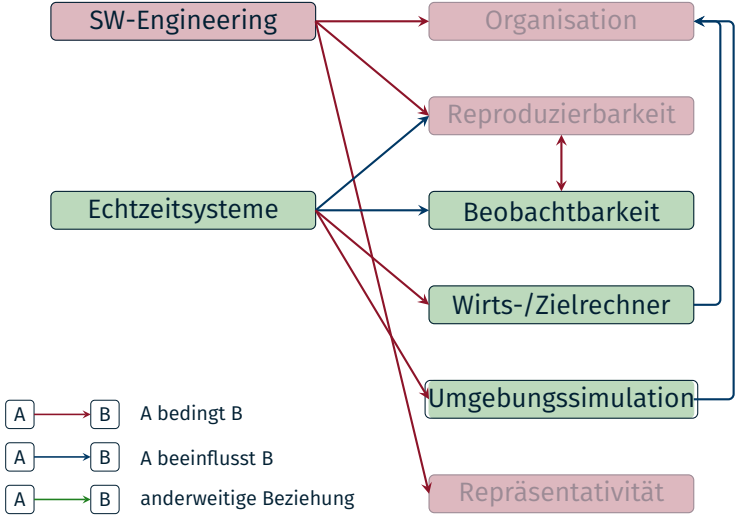


Beobachtbarkeit verteilter EZS

- ☞ Beobachtung aller relevanten Zustände des Systems
  - *Ausgaben* bzw. *Ergebnisse*
  - *Zwischenzustände* und *-ergebnisse*
- Problem: Ausgaben beeinflussen das Systemverhalten
  - Ausgaben verzögern Prozesse, Nachrichten, …⇝ Termin
- Problem: Debuggen ↦ Unmöglichkeit globaler Haltepunkte
  - Perfekt synchronisierte Uhren existieren nicht
  - → Wie soll man Prozesse gleichzeitig anhalten?
- ⚠ Bekanntes Phänomen: *Untersuchungseffekt* (engl. *probe effect*)[1]
  - Vergleiche Heisenbugs auf Folie III/25
  - → „Vorführeffekt“ – sobald man hinsieht, ist der Fehler verschwunden
  - → Muss vermieden oder kompensiert werden

[1] Der Effekt/der Einflussnahme auf eine Komponente oder ein System durch die Messung. [1]

Problemfeld: Fokus „Echtzeitsysteme“



Untersuchungseffekt: Verschärfung durch zeitlichen Aspekt

- Untersuchungseffekt auf gleichzeitige Prozesse
  - Systemzustand verteilt sich auf mehrere, gleichzeitig ablaufende Prozesse
  - Durch Beeinflussung einzelner Prozesse verändert sich der globale Zustand

  → Andere Prozesse enteilen dem beeinflussten Prozess

  → Ein Fehler lässt sich evtl. nicht reproduzieren
- Untersuchungseffekt auf Zeitstempel
  - Neben dem Datum ist häufig ein Zeitstempel notwendig
  - Erstellen des Zeitstempels selbst benötigt Zeit (Auslesen einer Uhr, …)
  - Die zu protokollierende Datenmenge wächst ebenfalls an
- Untersuchungseffekt bei Kopplung an die physikalische Zeit
  - Das kontrollierte Objekt enteilt dem beeinflussten Prozess

  → Auch einzelne Prozesse sind anfällig

Untersuchungseffekt: Lösungsmöglichkeiten

Ignoranz

- Der *Untersuchungseffekt* wird schon nicht auftreten

Minimierung

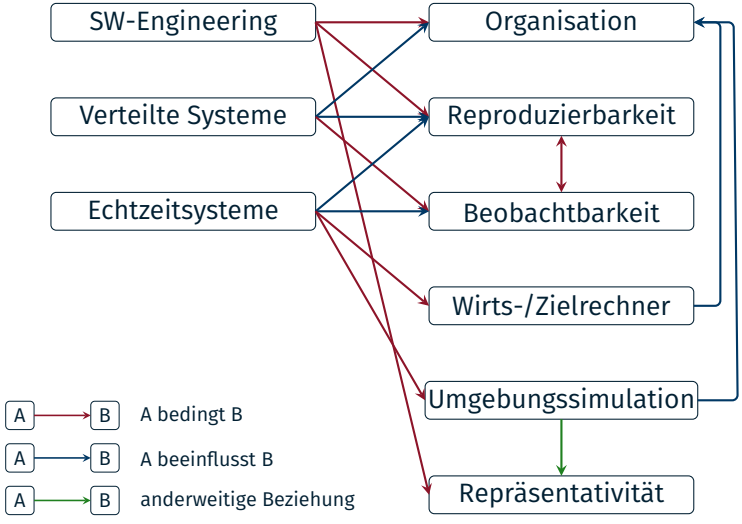
- Hinreichend effiziente Datenaufzeichnung
- Tracing z.B. Intel Power Trace, ARM CoreSight
- Kompensation der aufgezeichneten Daten
  - Verhindert nicht die Verfälschung des globalen Zustands

Vermeidung

- Datenaufzeichnung existiert auch im Produktivsystem
- Einsatz dedizierter Hardware für die Datenaufzeichnung
- Einflussnahme wird hinter einer logischen Uhr verborgen
  - Zeitliche Schwankungen sind nicht relevant

  → Solange sich eine gewisse Reihenfolge nicht ändert

Kontrollierbarkeit: Ein umfassendes Problem



Kontrollierbarkeit

- ☞ *Deterministische Ausführung relevanter Ereignisse*
  - Beibehaltung der ursprünglichen Reihenfolge
  - Zeitlich akkurat
  - Umfasst alle relevanten Ereignisse
    - Asynchrone Programmunterbrechungen
    - Interne Entscheidungen des Betriebssystems $\rightsquigarrow$ Einplanung, Synchronisation
- *Simulierte Zeit* statt realer, physikalischer Zeitbasis
  - Entkopplung von der Geschwindigkeit der realen Welt

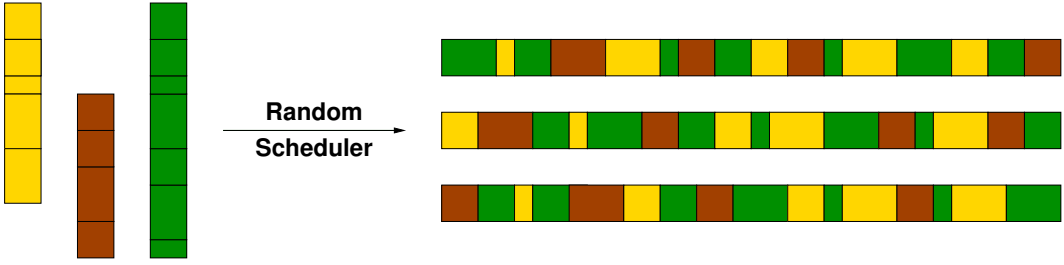
  $\rightarrow$ Ansonsten könnte die Fehlersuche sehr, sehr lange dauern …
- Ansätze zur *Kontrollierbarkeit*
  - *Analytische* Ansätze
    - Record & Replay
  - *Konstruktive* Ansätze
    - Statische Quelltextanalyse
    - Quelltexttransformation

Record & Replay

- ☞ *Vermessung* (engl. *monitoring*) zur Laufzeit
  - Aufzeichnung aller relevanten Ereignisse
  - Dieser Mitschnitt wird später erneut abgespielt
  - → *Event histories* bzw. *event traces*
- Vorteil: Lösungen für verteilte Echtzeitsysteme existieren
  - Vermeiden Untersuchungseffekt
  - Decken eine Vielzahl verschiedener Ereignisse ab
    - Systemaufrufe, Kontextwechsel, asynchrone Unterbrechungen, …
    - Synchronisation, Zugriffe auf gemeinsame Variablen, …
- ⚠ Nachteil: enorm hoher Aufwand
  - Häufig ist Spezialhardware erforderlich
  - Es fallen große Datenmengen an
    - Aufzeichnung erfolgt i. d. R. auf Maschinencodeebene, Eingaben, …
  - Es können nur beobachtete Szenarien wiederholt werden
    - Änderungen am System machen existierende Mitschnitte u. U. wertlos
  - Wiederholung & Mitschnitt müssen auf demselben System stattfinden

Konstruktion von Ausführungsszenarien

- Identifizierung möglicher Ausführungsszenarien
  - Berücksichtigung von Kommunikation, Synchronisation, Einplanung, …
- Ausführungsszenarien werden erzwungen
  - → *Random Scheduler*
    - Gleichzeitige Prozesse ↦ sequentielles Programm
  - Teste Sequentialisierungen statt der gleichzeitigen Prozesse
- Vorgehen ist mit *Model Checking* vergleichbar



Herausforderungen beim Testen verteilter EZS [5]

Herausforderungen ergeben sich vor allem aus der Systemebene:

- Herausforderungen spezifisch für *Echtzeitsysteme*
  - Starke Kopplung zur Umgebung
    - Echtzeitsysteme interagieren vielfältig mit dem kontrollierten Objekt
  - Voranschreiten der realen Zeit nicht vernachlässigbar
    - Physikalische Vorgänge im kontrollierten Objekt sind an die Zeit gekoppelt
  - Umgebung kann nicht beliebig beeinflusst werden
    - Kontrollbereich der Aktuatoren ist beschränkt
- Herausforderungen spezifisch für *verteilte Systeme*
  - Hohe Komplexität
    - Verteilung erhöht Komplexität $\rightsquigarrow$ Allokation, Kommunikation, …
  - Beobachtung und Reproduzierbarkeit des Systemverhaltens
  - Fehlende globale Zeit $\rightsquigarrow$ kein eindeutiger globaler Zustand
    - Globale, konsistente Abbilder sind ein großes Problem

☞ **Ähnliche Herausforderungen wie bei *Fehlerinjektion***

Gliederung

1 Testarten und Konzepte

2 Bewertung von Testfällen

- McCabe's Cyclomatic Complexity
- Testüberdeckung
- Grenzen dynamischen Testens

3 Durchführung und Testumgebung

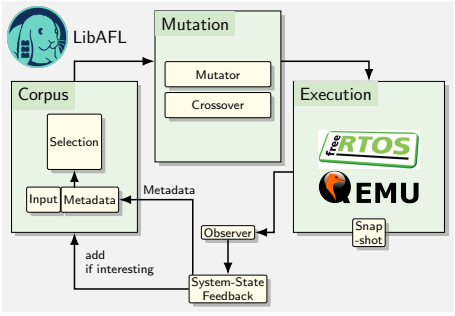
4 Dynamisches Testen durch Fuzzing

5 Zusammenfassung

Dynamisches Testen durch Fuzzing

- Random Testing + Heuristik $\approx$ Fuzzing [3]
- Oft *coverage-guided Fuzzing*
- Hier Heuristik: Maximierung der Überdeckung
- Qualität der Heuristiken $\rightsquigarrow$ Qualität der Überdeckung
- Corpus: Menge and möglichen “spannenden” Testfällen
- Genetischer Algorithmus als Teil des Fuzzings
  - Mutation: Veränderung Eingabe
  - Crossover: Kombination von Eingaben
- Fuzzing sehr gut *parallelisierbar*

Fuzzing-Implementierung von AFL



- American Fuzzy Lop (AFL) [6]
- Instrumentierung des Programms ähnlich gcov (White-Box-Test?) $\rightsquigarrow$ Überdeckungskriterium
- Feedback: Verbesserung der Überdeckung?
- Diversität $\rightsquigarrow$ Vermeidung lokaler Minima
- Kriterien für Aufnahme neuer Testfälle in Corpus: z.B. Pfadlänge
- Abbruchkriterien: Laufzeit, Fortschritt, …

Gliederung

1 Testarten und Konzepte

2 Bewertung von Testfällen

- McCabe's Cyclomatic Complexity
- Testüberdeckung
- Grenzen dynamischen Testens

3 Durchführung und Testumgebung

4 Dynamisches Testen durch Fuzzing

5 Zusammenfassung

Zusammenfassung

- Testen ist ***die*** *Verifikationstechnik* in der Praxis!
  - Modul-, Integrations-, System- und Abnahmetest
  - → Kann die Absenz von Defekten aber nie garantieren
- Modultests sind i. d. R. *Black-Box-Tests*
  - *Black-Box-* vs. *White-Box-Tests*
  - *McCabe's Cyclomatic Complexity* $\rightsquigarrow$ Minimalzahl von Testfällen
  - Kontrollflussorientierte *Testüberdeckung*
    - *Anweisungs-, Zweig-, Pfad- und Bedinungsüberdeckung*
- Testdurchführung in (verteilten) Echtzeitsystemen sind herausfordernd!
  - Problemfeld: Testen verteilter Echtzeitsysteme
    - SW-Engineering, verteilte Systeme, Echtzeitsysteme
    - Untersuchungseffekt, Beobachtbarkeit, Kontrollierbarkeit, Reproduzierbarkeit
- *Fuzzing* als weitverbreitete dynamische Testmethode

Literaturverzeichnis (1)

[1] Hamburg, M. ; Hehn, U. :
ISTQB®/GTB Standardglossar der Testbegriffe.
(2010)

[2] Laplante, P. A.:
Real-Time Systems Design and Analysis.
3.
John Wiley & Sons, Inc., 2004. –
ISBN 0–471–22855–9

Literaturverzeichnis (2)

[3] Miller, B. P. ; Fredriksen, L. ; So, B. :
An empirical study of the reliability of UNIX utilities.
33, Nr. 12, S. 32–44.
http://dx.doi.org/10.1145/96267.96279. –
DOI 10.1145/96267.96279. –
ISSN 0001–0782

[4] OSEK/VDX Group:
Operating System Specification 2.2.3 / OSEK/VDX Group.
2005. –
Forschungsbericht

Literaturverzeichnis (3)

[5] Schütz, W. :

Fundamental issues in testing distributed real-time systems.

In: *Real-Time Systems Journal* 7 (1994), Nr. 2, S. 129–157.

http://dx.doi.org/10.1007/BF01088802. –

DOI 10.1007/BF01088802. –

ISSN 0922–6443

[6] Zalewski, M. :

Technical “whitepaper” for afl-fuzz.

(2014).

http://lcamtuf.coredump.cx/afl/technical_details.txt