Verlässliche Echtzeitsysteme

Übungen zur Vorlesung

Codierung, Fehlerinjektion

Tobias Klaus, Florian Schmaus, Peter Wägemann

Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg
Lehrstuhl Informatik 4 (Verteilte Systeme und Betriebssysteme)
https://www4.cs.fau.de

19. April 2016

Überblick

1. C-Quiz Teil IV
2. Fehlerinjektion mit FAIL*
3. Wiederholung Software-TMR
4. Eliminierung von Bruchstellen in TMR
5. Aufgabenstellung

Überblick

Annahmen

- C99
- x86 bzw. x86-64, d. h.
  - vorzeichenbehaftete Integer als Zweierkomplement implementiert
  - `char` hat 8 Bit
  - `short` hat 16 Bit
  - `int` hat 32 Bit
  - `long` hat 32 Bit auf x86 und 64 Bit auf x86-64

Frage 10

Angenommen `x` hat Typ `int` und ist positiv. Ist `x << 1` ...

1. definiert für alle Werte
2. definiert für manche Werte
3. definiert für keinen Wert

von x?

Erklärung

- Es darf nicht in das Vorzeichenbit hineinverschoben werden

$\Rightarrow$ nicht definiert für große Werte von x

Frage 11

Angenommen `x` hat Typ `int`. Ist `x << 31` ...

1. definiert für alle Werte
2. definiert für manche Werte
3. definiert für keinen Wert

von x?

Erklärung

- Es darf nicht in das Vorzeichenbit hineinverschoben werden

$\Rightarrow$ funktioniert hier nur mit `x == 0`

Frage 12

Angenommen `x` hat Typ `int`. Ist `x << 32` ...

1. definiert für alle Werte
2. definiert für manche Werte
3. definiert für keinen Wert

von x?

Erklärung

- Verschiebung um Bitbreite eines Datentyps nicht zulässig

Überblick

Überblick

Fehlerinjektion mit FAIL*

- https://www4.cs.fau.de/Lehre/SS16/V_VEZS/Uebung/Folien/Fail.pdf

FAIL* – Marker

```
#ifndef _include_fail_h
#define _include_fail_h

//Mark start of injection
volatile void __attribute__((noinline)) fail_start_trace(void);
//Mark end of injection
volatile void __attribute__((noinline)) fail_stop_trace(void);

//everything ok: valid code and right values
volatile void __attribute__((noinline)) fail_marker_positive(void);
//everything ok: valid code but wrong values
volatile void __attribute__((noinline)) fail_marker_negative(void);
//invalid code
volatile void __attribute__((noinline)) fail_marker_detected(void);

#endif /* _include_fail_h */
```

- Markierung Start/Ende für „Golden Run”
- Ziel: Minimierung Auftreten von `fail_marker_negative`

FAIL* – Beispiel: Verwendung Marker

```
void cyg_user_start() {
  ...
  fail_trace_start() // Start Fehlerinjektion
  filter()
  vote()             // (codierter) Mehrheitsentscheid
  fail_trace_stop()  // Ende Fehlerinjektion

  actuate()          // Signaturen entfernen, Fehler überprüfen

  ...
}


void actuate() {
  ...
  if (checksum == expected_checksum){
    fail_marker_positive() // SDC behandelt :-)
  }else{
    fail_marker_negative() // undetektierte SDC :-(
  }
}
```

FAIL* – Datenbank einrichten

- Datei anlegen: `~/.my.cnf`
- Folgende Daten eintragen:

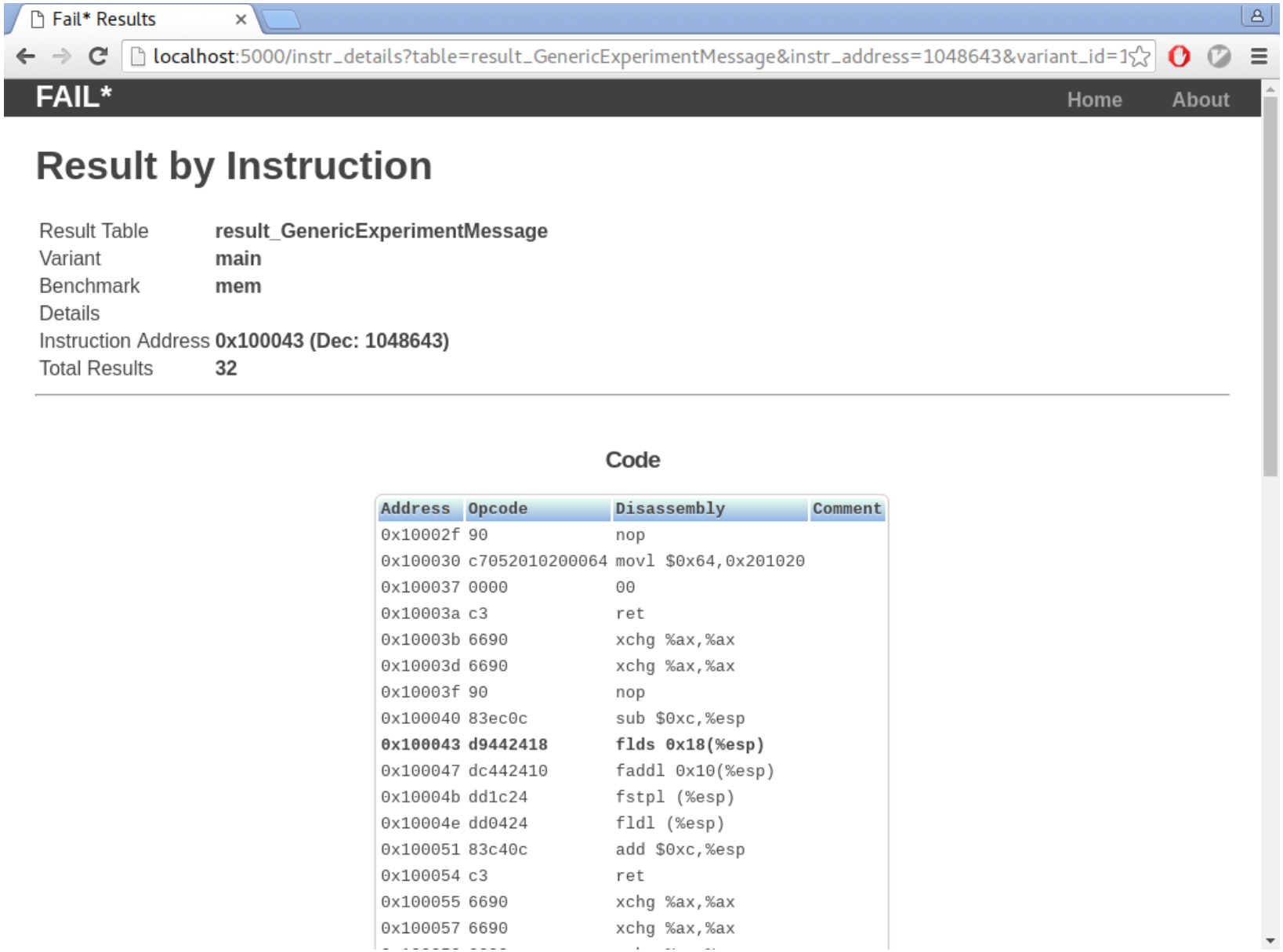
```
[client]
user=vezs20
password=XXXXXXXXXXXXXXX
host=i4jenkins.cs.fau.de
database=vezs20
```

- Zugangsdaten wurden verteilt

FAIL* – Workflow

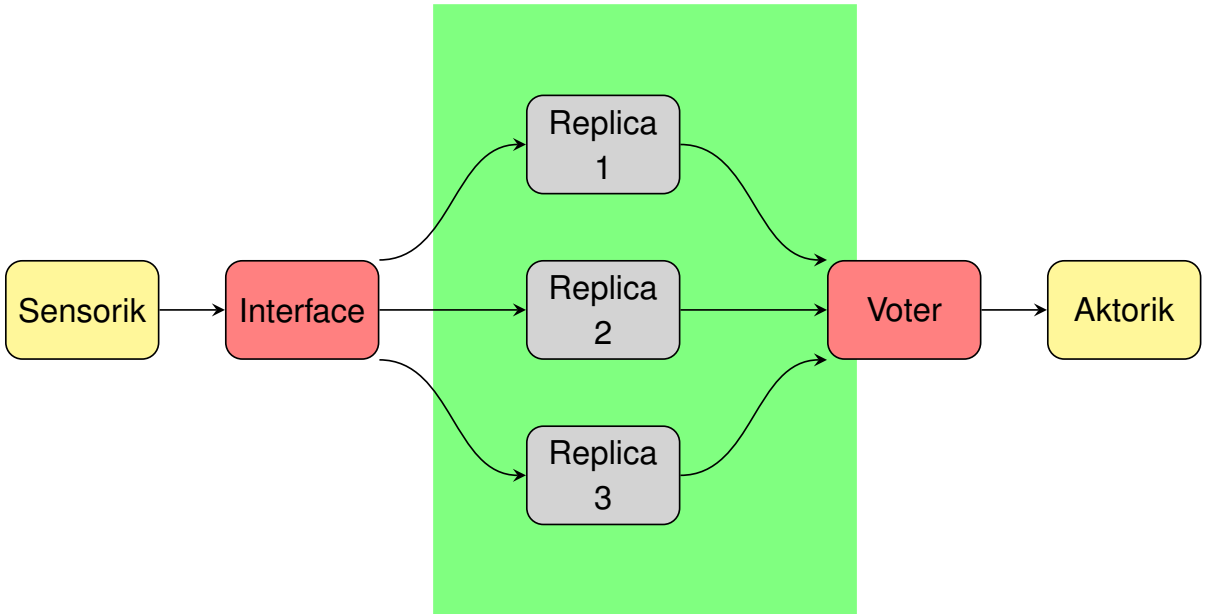
1. `make trace`
   - Erstellung des „Golden Runs”
   - Speicherung der Experimente in Datenbank
   - Faltung des Fehlerraums
2. `make inject`
   - Durchführung Fehlerinjektion
   - Überblick der Ergebnisse in lokal angelegter Datei: `ean_result.csv`
     ☞ Abschätzung des zeitlichen Aufwands
3. `make resultbrowser`
   - Startet lokalen Webserver
   - Ergebnisse per Webbrowser einsehbar

FAIL* – Resultbrowser



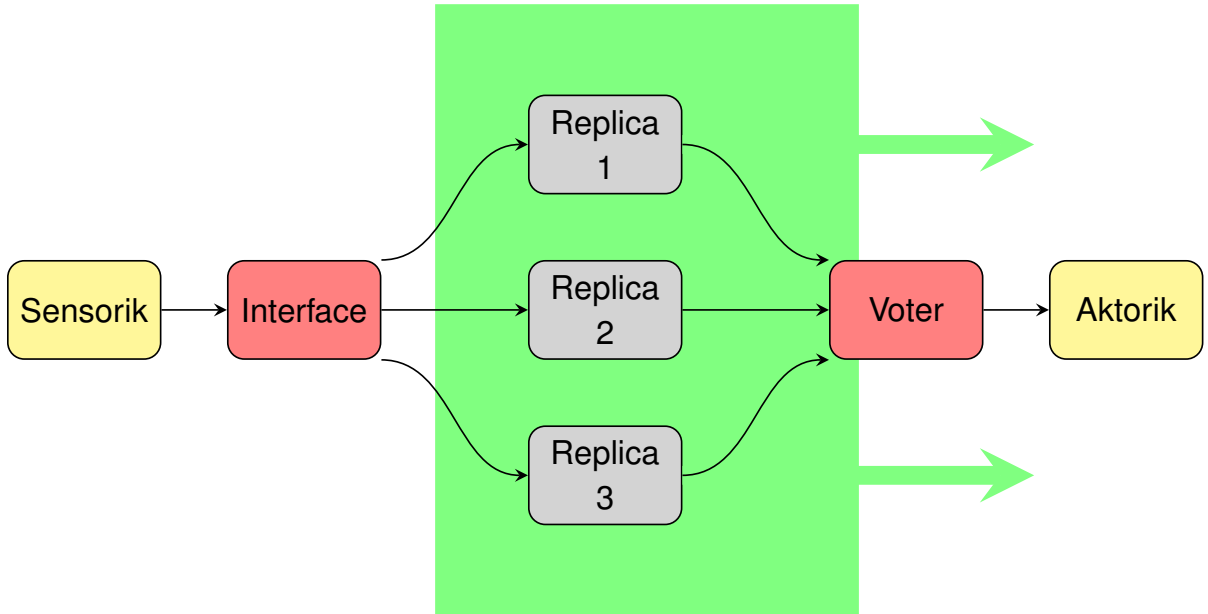
Überblick

Klassische “Triple Modular Redundancy” (TMR)



- Schnittstelle sammelt Eingangsdaten (Replikdeterminismus)
- Verteilt Daten und aktiviert Replikate
- Mehrheitsentscheider (Voter) wählt Ergebnis
- Ergebnis wird an Aktuator versendet

Klassische “Triple Modular Redundancy” (TMR)



Redundanzbereich

Ausschließlich Replikatausführung.

- ⇝ Erweiterung der Ausgangsseite mit Informationsredundanz
- ⇝ Mehrheitsentscheid über codierte Prüfsumme

Überblick

Erweiterte arithmetische Codierung

nach Forin 1989: “Vital coded microprocessor principles and application for various transit systems” [1]

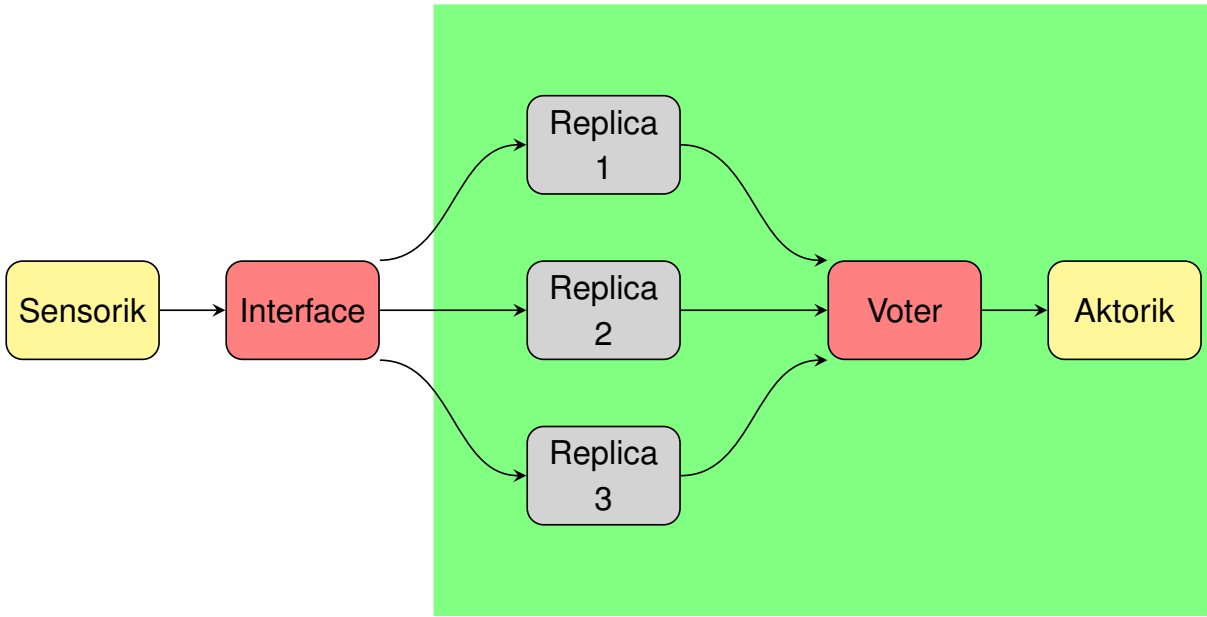
- Arithmetisch codierter Wert V_C
- Ausgangswert
- Schlüssel
- Variablenspezifische Signatur
- Zeitstempel

$$V_C = V * A + B_V + D$$

Wertebereichseinschränkungen

- Schlüssel A sollte so groß wie möglich sein:
  - $\rightsquigarrow$ Möglichst geringe Restfehlerwahrscheinlichkeit ($P = 1/A$)
- Wertebereich des dynamischen Zeitstempels
  - $D = \{x | x \in \mathbb{N}_0 \wedge x \leq D_{max}\}$
  - Zeitstempel darf überlaufen: $D_{max} + 1 = 0$
- Für jede Signatur B_* muss dann gelten
  - $B_* + D_{max} < A$
  - Die minimale Distanz zwischen jeweils zwei Signaturen im System muss kleiner D_{max} sein: $\forall i, j : |B_i - B_j| < D_{max}$

Erweiterung I – codierte Ausgangswerte



- Replikate liefern arithmetisch codierte Ergebnisse
- Mehrheitsentscheid auf codierten Prüfsummen
- Übertragung codierter Ergebnisse

Vereinfachung für diese Übung

Für diese Übungsaufgabe:

- Kein Zeitstempel
- Nur Absicherung der Ausgangsseite!

EAN Vergleichsoperator

- Voting basiert auf codierter Vergleichsoperation:

$\rightsquigarrow X_C = Y_C \Rightarrow X * A + B_X = Y * A + B_Y$

- Im fehlerfreien Fall gilt:

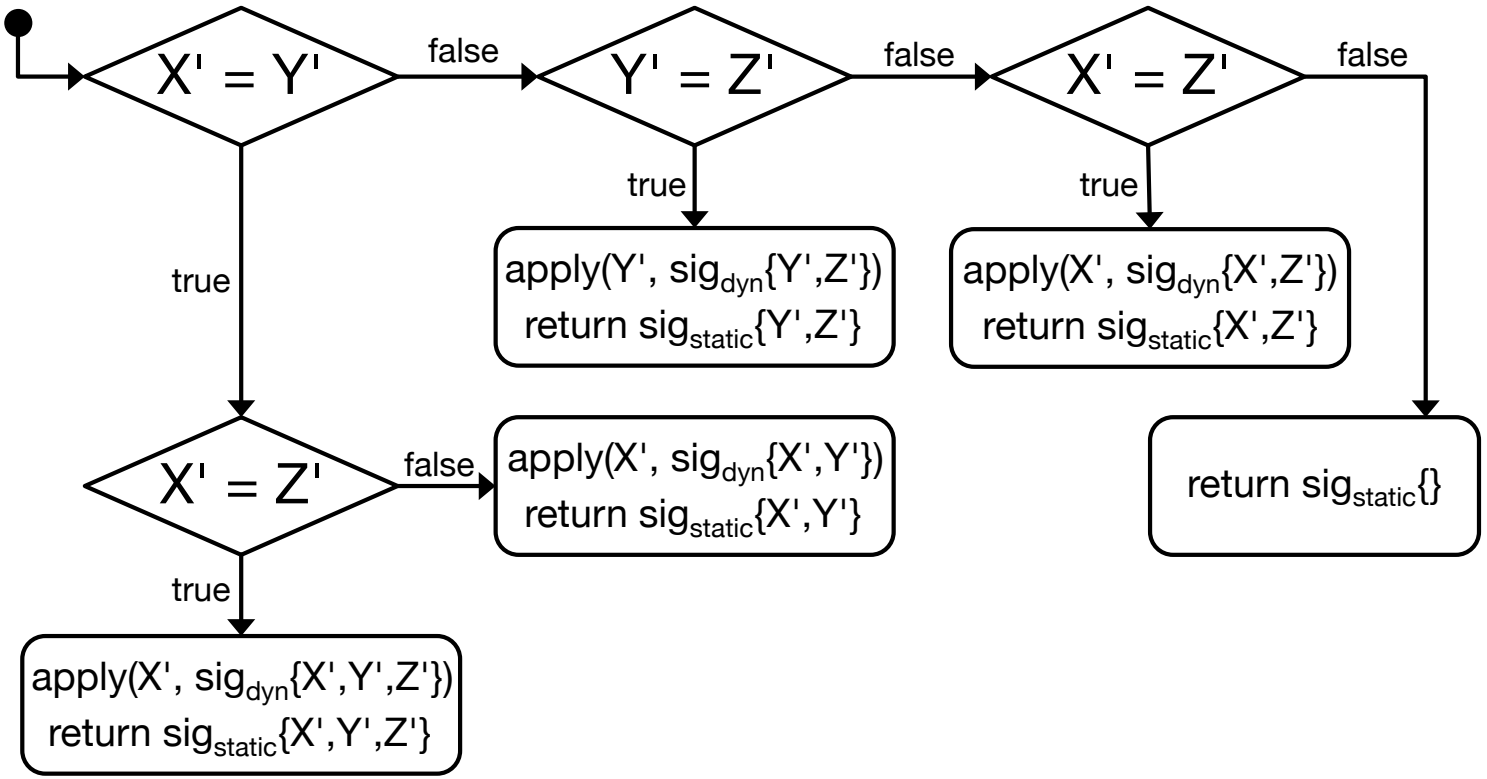
$X = Y$, $A = A$ aber $B_X \neq B_Y$!

- *Rohwerte* sind identisch
- Schlüssel ist per Definition identisch
- Signaturen sind unterschiedlich (aber konstant!)

Bestimmung der Gleichheit durch Differenzbildung:

$\rightsquigarrow X_C - Y_C = B_X - B_Y = const.$

Codierter Mehrheitsentscheid



- Bestimmung von dynamischer und statischer Signatur:

$\rightsquigarrow$ $sig_{dyn}(X', Y') : X' = Y' \Rightarrow X' - Y'$

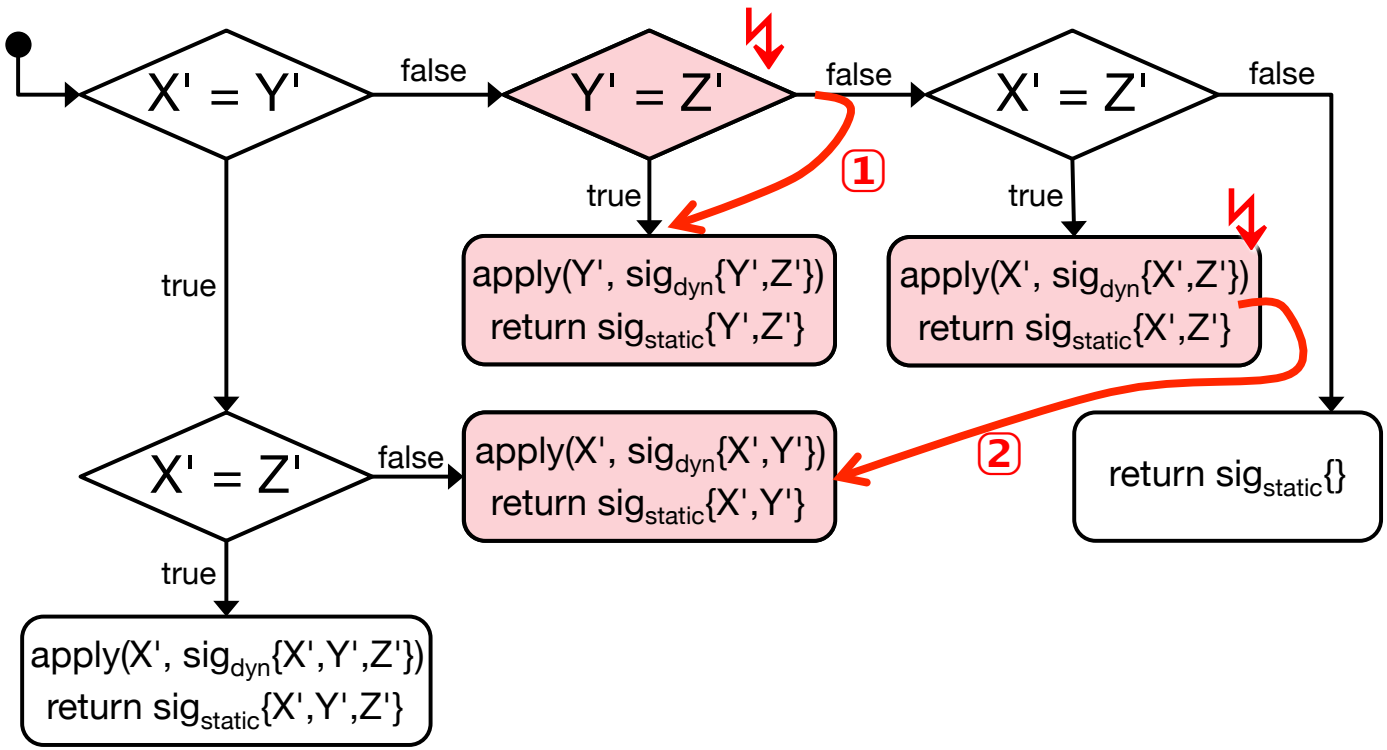
$\rightsquigarrow$ $sig_{static}(X', Y') : X' = Y' \Rightarrow B_X - B_Y$

Codierter Mehrheitsentscheid (Forts.)

1. Vergleichsoperation wird durchgeführt (z. B. $X' = Y' \wedge X' = Z'$)
   - Berechnung von sig_{dyn}
   - Vergleich mit sig_{static}
2. Verzweigunsentscheidung wird nachberechnet:
   - Wiederholte (redundante) Berechnung von sig_{dyn}
   - Addiere sig_{dyn} (*apply*) zum gewählten Ergebnis
3. Konstante Signatur des durchlaufenen Zweiges identifiziert Gewinner (Rückgabewert: sig_{static})
   - Aktor wählt entsprechendes Replikatergebnisse
   - Führt inverse Operation zu *apply* durch

Im Voter wurde die *dynamisch berechnete Signatur der Verzweigungsentscheidung* hinzu addiert. Im Aktor wird mit der entsprechenden *konstanten Signatur zurückgerechnet*.

Codierter Mehrheitsentscheid - Fehlerfall



1. Falsche Verzweigungsentscheidung: ($Y' \neq Z'$)
   - Y' wird als korrekt angenommen, sig_{dyn} wird berechnet
   - allerdings ist sig_{dyn} tatsächlich $\neq sig_{static}$
   - Fehler wird bei der inversen Operation zu *apply* erkannt
2. Falscher (plötzlicher) Sprung
   - X' wird als korrekt erkannt, sig_{dyn} wird erneut berechnet
   - Ein fehlerhafter Sprung zu einem anderen Block führt zu einem inkonsistenten

Überblick

Aufgabenstellung

Aufgabe

- Absichern des Voters per EAN mittels CoRed-Ansatz
- Absichern des Akzeptanzmaskierers am Eingang

- Jedes Replikat hat genau einen Ausgabewert (integer $\mapsto$ enc_t): eine codierte Prüfsumme des Ergebnisses

  $\rightsquigarrow$ Festlegung für jeden der drei Ausgabewerte (X', Y', Z') jeweils *unterschiedliche* aber *konstante* Signatur (SIG_X, SIG_Y, SIG_Z)
- Nutzung des nächstgrößeren Datentyps X für den ursprünglichen Wert X'

  $\rightsquigarrow$ Wahl einer Zahl A mit möglichst großem Hamming-Abstand unter *Vermeidung* möglicher *Überläufe bei der Codierung*

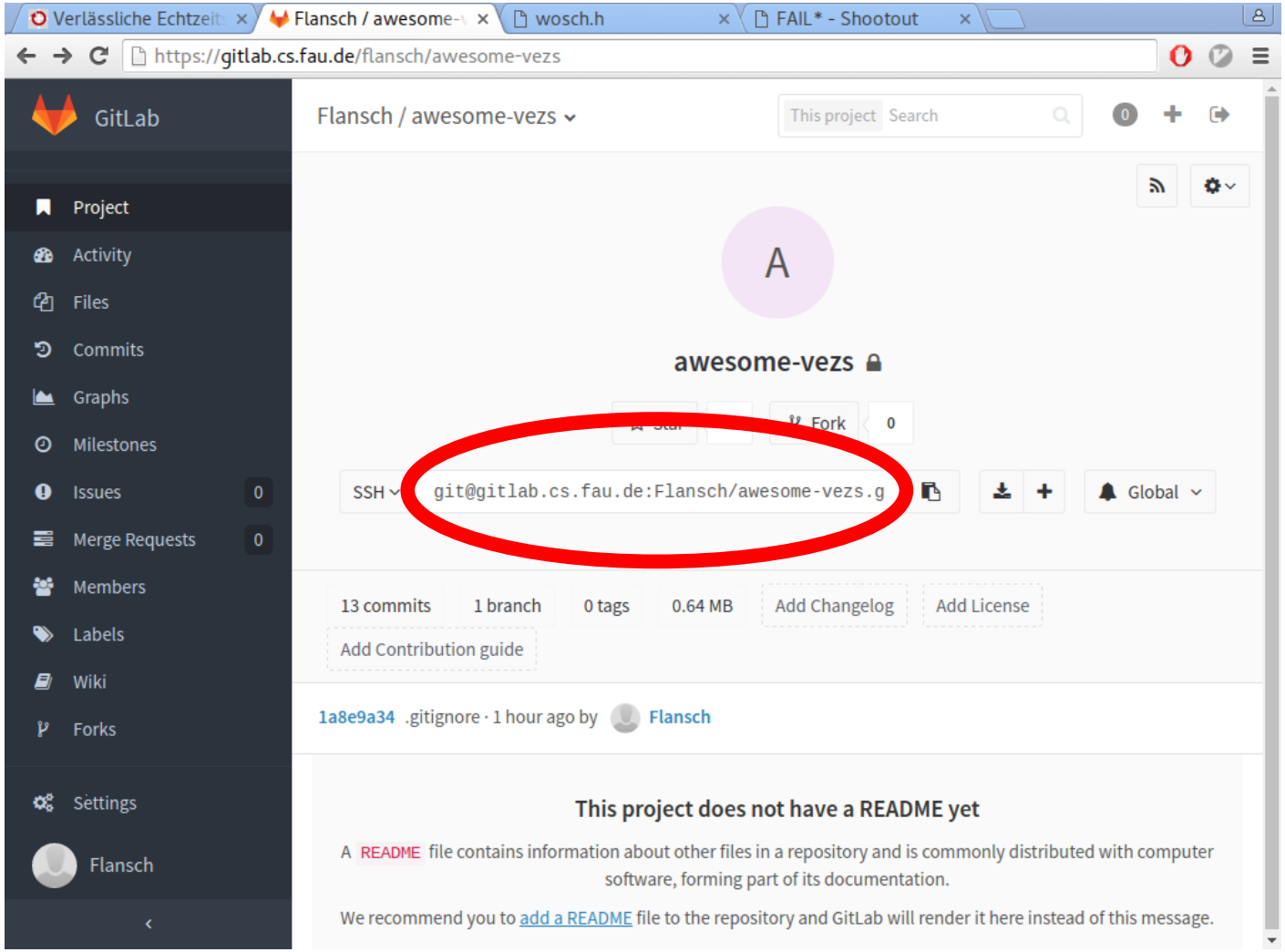
Hinweise

Für jede Operation zwischen zwei codierten Werten

ist eine eigene Operation mit konstanten Signaturwerten notwendig!

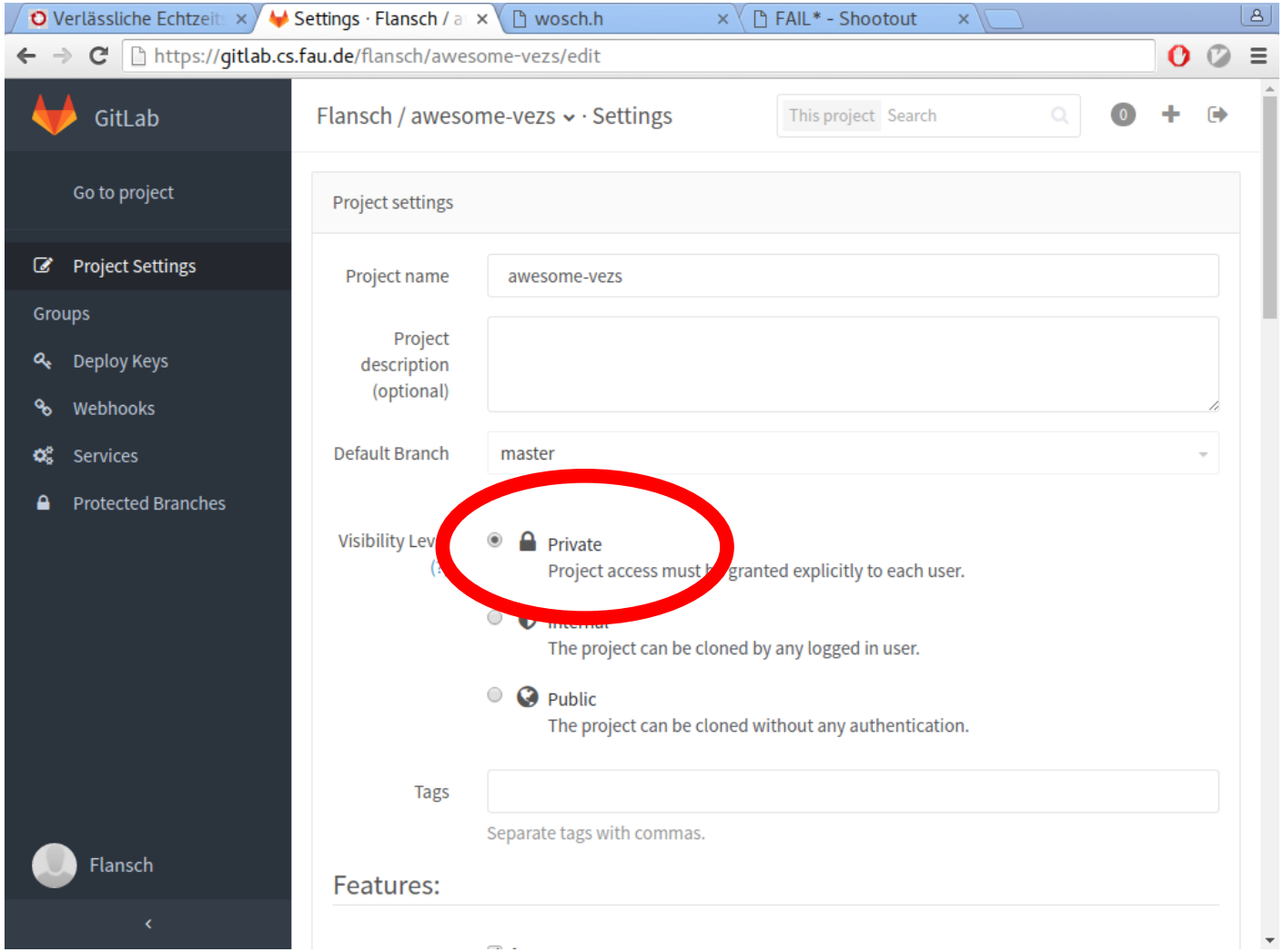
- Bestenliste wird automatisch auf Webseite veröffentlicht
- Wie werden Resultate generiert?

Repository Zugriff



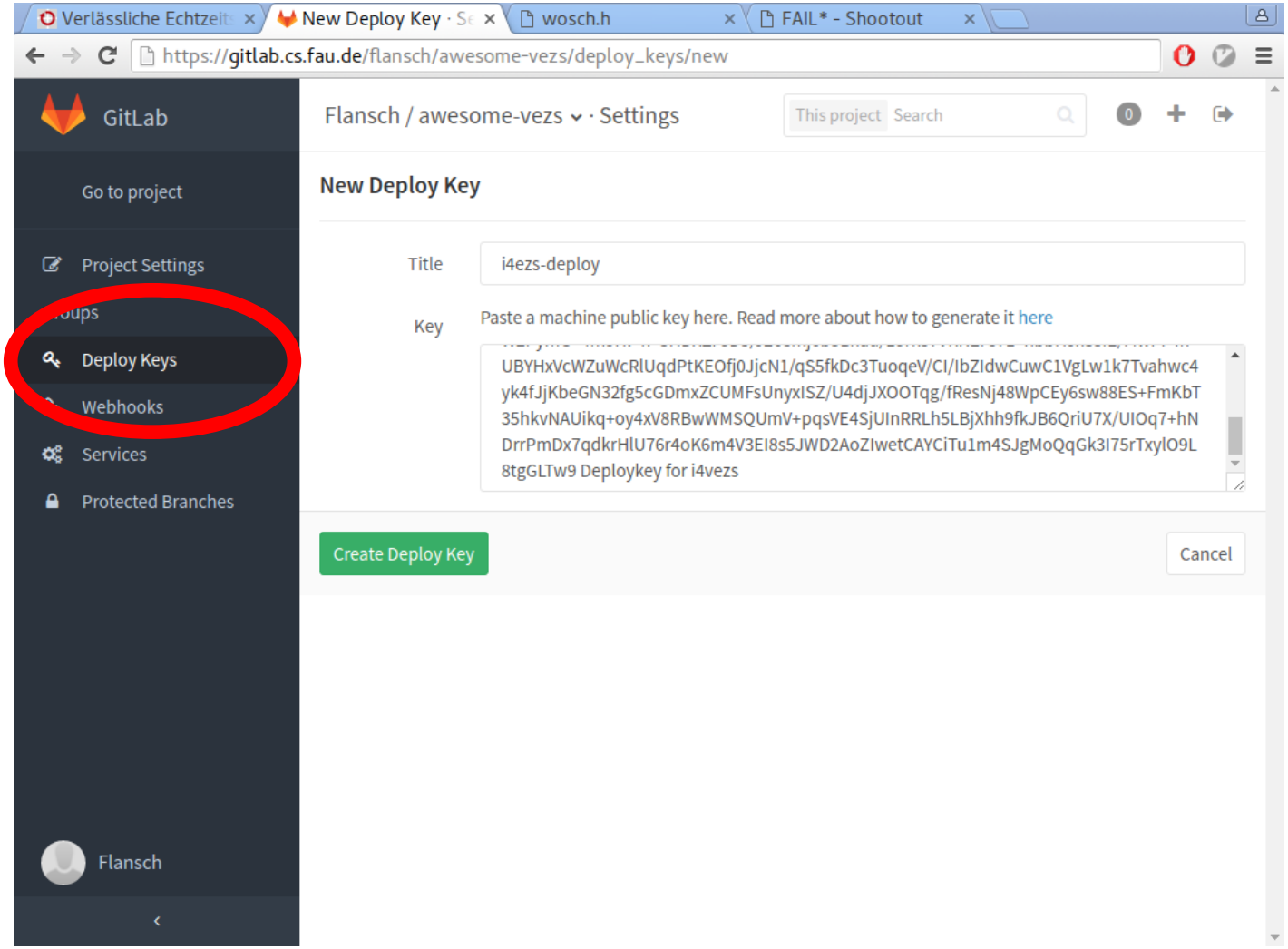
- Repository URL mit Gruppe per Mail an Übungsleiter

Repository Einstellungen

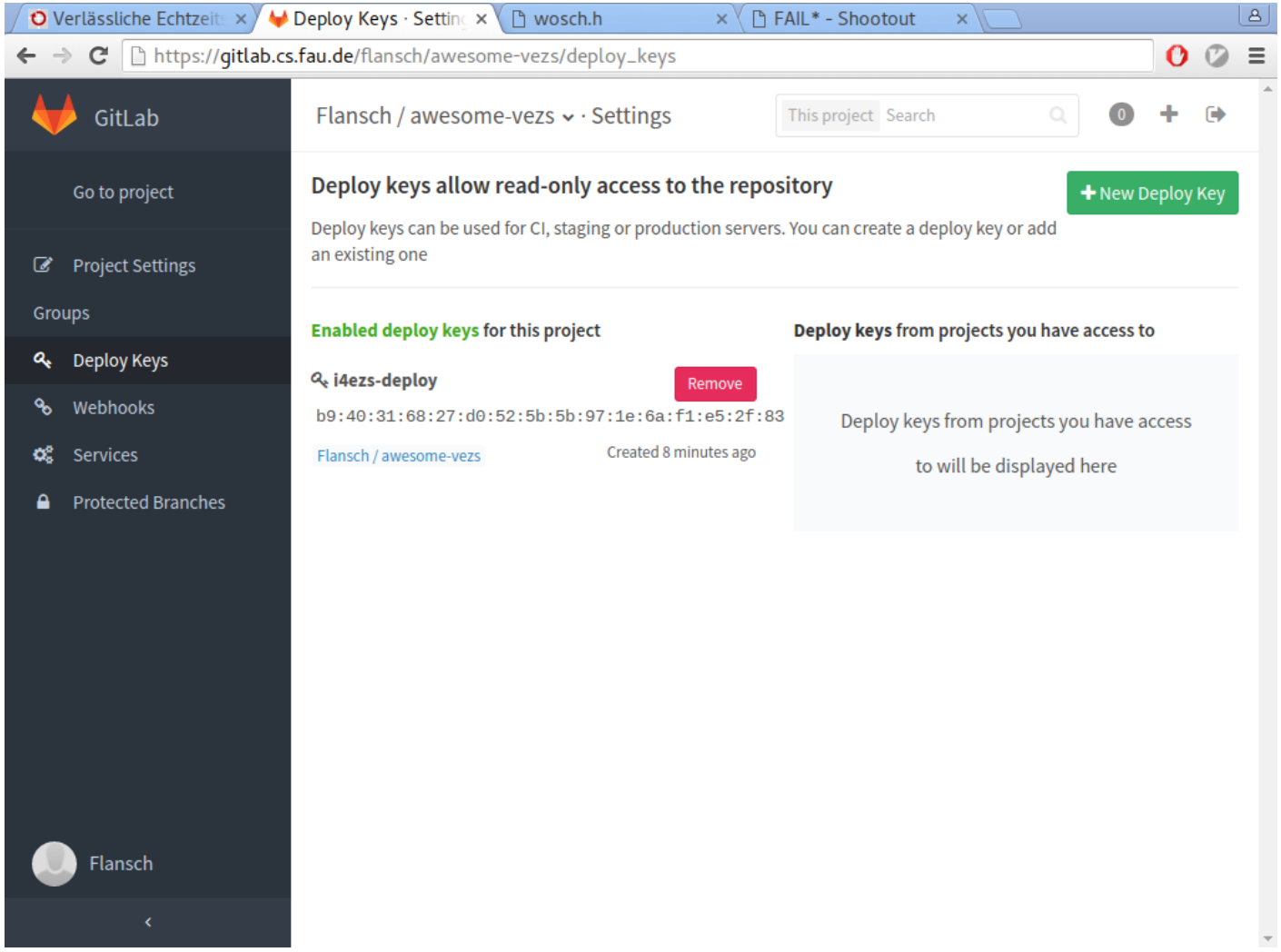


- Privates Repository konfigurieren

Repository Einstellungen – Deploy-Key hinterlegen



Repository Einstellungen – Überprüfung Deploy-Key



Literatur I

Forin.
Vital coded microprocessor principles and application for various transit systems.
IFA-GCCT, pages 79–84, 1989.