Test und Verlässlichkeit Grosse Übung zu Foliensatz 4: Tests und Kontrollen

Prof. G. Kemnitz

18. Juli 2022

Contents

2 Baugruppentest

Aufgabe 4.1: MDA und ICT

1. Wodurch unterscheidet sich der analoge In-Circuit-Test von einer Zweipunktmessung zur Kontrolle auf Fertigungsfehler?
2. Ersetzt ein digitaler In-Circuit-Test Zweipunktmessungen zur Kontrolle auf Fertigungsfehler vollständig?
3. Was bedeutet bei Boundry-Scan »Ersatz der Nadelbettadapters durch Silicon Nails«?

Zur Kontrolle

1. Die Strom-Spannungs-Beziehung einer Zweipunktmessung zur Kontrolle auf Fertigungsfehler hängt außer vom Bauteil zwischen den Punkten auch von der umgebenden Schaltung ab. Beim analogen In-Circuit-Test werden die wegfließenden Ströme von einem der Punkte unterdrückt und so die Abhängigkeit der gemessenen Strom-Spannungs-Beziehung von anderen Bauteilen unterbunden. Vereinfacht die Testerstellung.
2. Kein vollständiger Ersatz. Digitaler ICT ist ein Test unter Spannung. Mindestens zur Kontrolle und Beseitigung von Kurzschlüssen vor Anlegen der Spannung sind Zweipunktmessung zwischen den Leitungen erforderlich.
3. Bei Boundary-Scan erfolgt der Lese- und Schreibzugriff der logischen Pegel der Leitungen auf einer Baugruppe mit integrierten Teststrukturen (Schieberegisterringen) statt der Kontaktierung mit einem Nadeladapter.

3 Inspektion

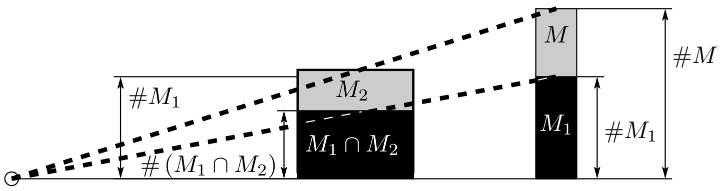
3.1 Capture-Recapture

Aufgabe 4.2: Inspektionsfehlerüberdeckung

Inspektionsergebnisse für ein Programm aus 1000 Codezeilen:

- Inspekteur 1: 85 gefundene Fehler
- Inspekteur 2: 76 gefundene Fehler
- Schnittmenge: 56 übereinstimmende gefundene Fehler.

Schätzen Sie nach dem Verfahren »Capture-Recapture« die
a) Gesamtanzahl der Fehler?
b) Anzahl der nicht gefundenen Fehler?
c) Inspektionsfehlerüberdeckung?



a) Geschätzte Gesamtfehleranzahl:

$$\#F = \#M \approx \frac{\#M_1 \cdot \#M_2}{\#(M_1 \cap M_2)} = \frac{85 \cdot 76}{56} = 115{,}4$$

b) Geschätzte Anzahl der gefundenen Fehler:

$$\#EF \approx \#(M_1 \cup M_2) = 85 + 76 - 56 = 105$$

c) Inspektionsfehlerüberdeckung:

$$IFC \approx 1\frac{\#EF}{\#F} = \frac{105}{115{,}4} = 91\%$$

Aufgabe 4.3: Effizienz und Effektivität

In der Aufgabe zuvor hat der erste Inspekteur zehn Stunden für das Aufspüren seiner 85 gefundenen Fehler und der zweite Inspekteur 12 Stunden für das Aufspüren seiner 76 Fehler benötigt. Wie groß waren Effizienz[1] und Effektivität[2] beider Inspekteure einzeln und wie groß waren Effizienz und Effektivität der gesamten Inspektion?

Zur Kontrolle

	Insp. 1	Insp. 2	zusammen
gefundene Fehler	85	76	85+76-56=105
Zeit	10 h	12 h	22 h
Effizienz	$8{,}5\ \frac{\text{Fehler}}{\text{h}}$	$6{,}3\ \frac{\text{Fehler}}{\text{h}}$	$4{,}8\ \frac{\text{Fehler}}{\text{h}}$
Effektivität	$85\ \frac{\text{Fehler}}{1000\,\text{NLOC}}$	$76\ \frac{\text{Fehler}}{1000\,\text{NLOC}}$	$105\ \frac{\text{Fehler}}{1000\,\text{NLOC}}$

[1] Gefundene Fehler pro Mitarbeiterstunde.
[2] Gefundene Fehler auf 1000 Nettocodezeilen.

3.2 Inspektion als Zufallstest

Aufgabe 4.4: Inspektion als Zufallstest

In einem Inspektionsprozess mit n Inspekteuren, die sich alle das System je 30 Stunden lang anschauen, betrage der Zusammenhang zwischen der Anzahl der nicht erkannten Fehler und der Anzahl der Inspekteure:

$$\#F(n) = \#F(1) \cdot \left(\frac{n}{1}\right)^{-k}$$

($\#F(1) = 100$ – zu erwartende Anzahl der nicht erkannte Fehler mit einem Inspekteur; $k = 0{,}5$ – Abnahmeexponent).

1. Wie viele Inspekteure sind erforderlich, um die zu erwartende Anzahl der nicht erkannten Fehler auf 25 zu reduzieren?
2. Bestimmen Sie die zu erwartende Effizienz für den zweiten bis fünften Inspekteur.

Zur Kontrolle

1. Anzahl der Inspekteure zur Reduzierung der zu erwartenden Anzahl der nicht nachweisbaren Fehler von 100 auf 25:
$$n = \left(\frac{\#F(n)}{\#F(1)}\right)^{-\frac{1}{0,5}} = 4^2 = 16$$
Zusätzlich zum ersten noch 15 weitere Inspekteure.

2. Zu erwartende Anzahl erkannter Fehler Inspekteur n:
$$\begin{aligned} \#F(n) &= \#F(n-1) - \#F(n) \\ &= 100 \cdot \left(\frac{1}{\sqrt{n-1}} - \frac{1}{\sqrt{n}}\right) \end{aligned}$$

n	2	3	4	5
$\#F(n-1) - \#F(n)$	29,3	13,0	7,7	5,3
Effizienz* $= \frac{\#F(n-1)-\#F(n)}{30\,\mathrm{h}}$	0,976	0,433	0,258	0,176

* in gefundenen Fehlern pro Stunde.

4 Kontrolle digitaler SL

4.3 Syntax

Aufgabe 4.5: Kontrollautomat

Ein (vereinfachter) Rechnerbefehlssatz besteht aus vier verschiedenen Befehlstypen

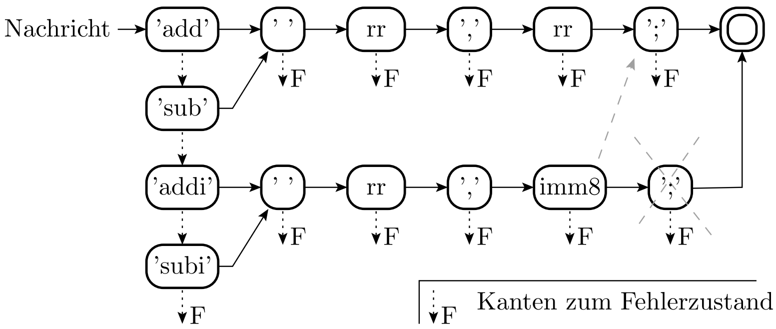
```
add␣rr,rr;
addi␣rr,imm8;
sub␣rr,rr;
subi␣rr,imm8;
```

␣ – Leerzeichen; »rr« Bezeichner eines der 32 Register ("r0", "r1", ... "r31"); »imm8« für die Wert einer 8-Bit Hexzahl ("0x00", "0x01", ..., "0xFF"; "0x" gefolgt von zwei Hex.-Ziffern mit den Zifferenwerten '0' bis 'F').

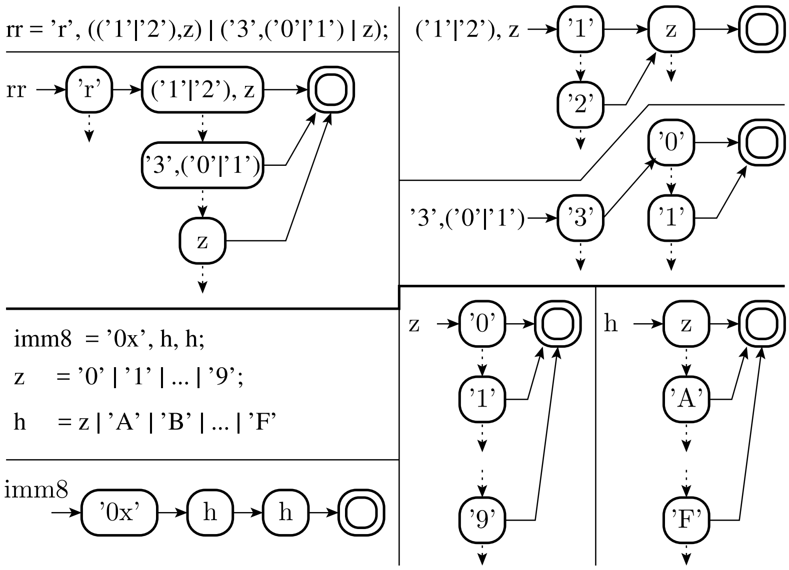
a) Beschreiben Sie das Befehlsformat in der EBNF mit den Ersetzungsregeln für Sequenz, Option, Wiederholung etc.

b) Entwerfen Sie einen deterministischen Kontrollautomaten auf Syntaxfehler als Graph für einen Moore-Automaten.

```
Befehl = ((’add’ | ’sub’), ’␣’, rr, ’,’, rr,   ’;’) |
         (’addi’| ’subi’,’␣’, rr, ’,’, imm8, ’;’);
rr     = ’r’, ((’1’|’2’),z) | (’3’,(’0’|’1’) | z);
imm8   = ’0x’, h, h; z      = ’0’ | ’1’ | ... | ’9’;
h      = z | ’A’ | ’B’ | ... | ’F’;
```



Automaten für den Test der Sprachbestandteile:

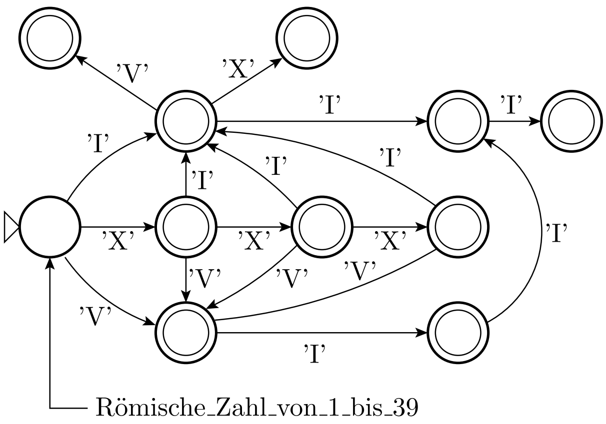


Aufgabe 4.6: Syntaxtest für römische Zahlen

Entwerfen Sie einen Mealy-Kontrollautomaten[3] für einen Syntaxtest für römische Zahlen mit einem Wert von 1 bis 39.

Wert		Wert		Wert		Wert	
1	I	11	XI	21	XXI	31	XXXI
2	II	12	XII	22	XXII	32	XXXII
3	III	13	XIII	23	XXIII	33	XXXIII
4	IV	14	XIV	24	XXIV	34	XXXIV
5	V	15	XV	25	XXV	35	XXXV
6	VI	16	XVI	26	XXVI	36	XXXVI
7	VII	17	XVII	27	XXVII	37	XXXVII
8	VIII	18	XVIII	28	XXVIII	38	XXXVIII
9	IX	19	XIX	29	XXIX	39	XXXIX
10	X	20	XX	30	XXX		

[3] Ein Mealy-Automat, der die Zeichen an den Kanten abräumt.



I	XI	XXI	XXXI
II	XII	XXII	XXXII
III	XIII	XXII	XXXII
IV	XIV	XXIV	XXXIV
V	XV	XXV	XXXV
VI	XVI	XXVI	XXXVI
VII	XVII	XXVII	XXXVII
VIII	XVIII	XXVIII	XXXVIII
IX	XIX	XXIX	XXXIX
X	XX	XX	

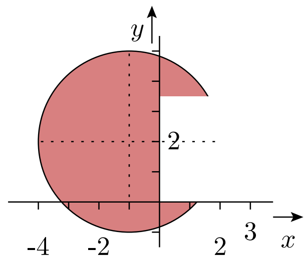
(potentieller) Endzustand

Bei allen Eingaben, für die keine Kante gezeichnet ist, Übergang in den Fehlerzustand.

4.4 Invarianten, WB

Aufgabe 4.7: Kontrollausdruck

Die Wertpaare (x, y) sollen Punkte der im nachfolgenden Bild eingezeichneten Kreisfläche mit dem Mittelpunkt $(-1, 2)$ und dem Radius 3 mit dem ausgeschnittenen rechteckigen Bereich sein.



Entwickeln Sie einen Kontrollausdruck für die Wertebereichskontrolle, der genau dann wahr ist, wenn ein Punkt (x, y) im zulässigen Bereich liegt.

$$((x < 0) \vee (y < 0) \vee (y > 3{,}5)) \wedge \left((x+1)^2 + (y-2)^2 < 3^2\right)$$

4.5 Fehlererk. Codes

Aufgabe 4.8: Arithmetischer Code

a) Bilden Sie für den Bitvektor

$$x = 110010001000011101_2$$

das fehlererkennende Codewort durch Multiplikation seines Wertes als vorzeichenfreie ganze Binärzahl mit der Primzahl $c = 10313$ (Bestimmung des Dezimalwerts, Multiplikation und Konvertierung des Produkts in einen Binärvektor).

b) Mit welcher Wahrscheinlichkeit werden mit dem gewählten fehlererkennenden Code Datenverfälschungen des codierten Bitvektors $s = c \cdot x$ erkannt?

c) Werden mit dem gewählten Code Verfälschung von s erkannt, die die Bitstellen 3 und 14 invertieren? Hinweis: Eine Verfälschung von s ist am Divisionsrest der Abweichung vom Sollwert $\Delta s / c = (s - s_{\text{soll}}) / c \neq 0$ erkennbar.

Eingabewert hexadezimal: 11.0010.0010.0001.1101 = 0x3221D

- Mit Octave (Matlab) Produkt als hexadezimal:

```
>> printf('CW=0x%x\n',0x3221D*10313)
CW=0x7e394245
```

binär: 0b111.1110.0011.1001.0100.0010.0100.0101

b) Erkennungswahrscheinlichkeit:

$$p_{\mathrm{E}} \approx 1 - \frac{1}{10313} = 99{,}990\%$$

c) Keine Maskierung, wenn Bit 3 und 14 invertiert ist:

$$\mathrm{Rest}(\frac{0\mathrm{b}100.0000.0000.1000}{10313}) \neq 0\surd$$

Für Differenzen ungleich null, die kleiner als der Quotient sind, immer erfüllt.

4.6 Prüfkennzeichen

Aufgabe 4.9: Prüfsummen
Bilden Sie für die Bytefolge

`0x13, 0xF2, 0x33, 0xE6`

die Prüfsumme:

a) durch byteweises Aufsummieren unter Vernachlässigung der Überträge.

b) durch bitweise EXOR-Verknüpfung der Bytes.

c) Welche der beiden Prüfsummen erkennt, dass die nachfolgenden Datenfolgen verfälscht sind? c) Welche der be

```
F1: 0x13, 0x33, 0xF2, 0xE6
F2: 0x13, 0xF2, 0x37, 0xE6
F3: 0x13, 0xF1, 0x90, 0x56
```

Wert unverf.	(Teil-) Prüfsum.	binär
0x13		
0xF2		
0x33		
0xE6		
	EXOR:	

Wert	(Teil-) Prüfsum.	binär
0x13	0x13	0001 0011
0xF2	0x05	1111 0010
0x33	0x38	0011 0011
0xE6	0x1E	1110 0110
	EXOR:	0011 0100

Wert unverf.	(Teil-) Prüfsum.	binär
0x13		
0xF2		
0x33		
0xE6		
	EXOR:	

Wert F1	(Teil-) Prüfsum.	binär
0x13		
0x33		
0xF2		
0xE6		
	EXOR:	

Wert F2	(Teil-) Prüfsum.	binär
0x13		
0xF2		
0x37		
0xE6		
	EXOR:	

Wert F3	(Teil-) Prüfsum.	binär
0x13		
0xF1		
0x90		
0x56		
	EXOR:	

Wert	(Teil-) Prüfsum.	binär
0x13	0x13	0001 0011
0xF2	0x05	1111 0010
0x33	0x38	0011 0011
0xE6	0x1E	1110 0110
	EXOR:	0011 0100

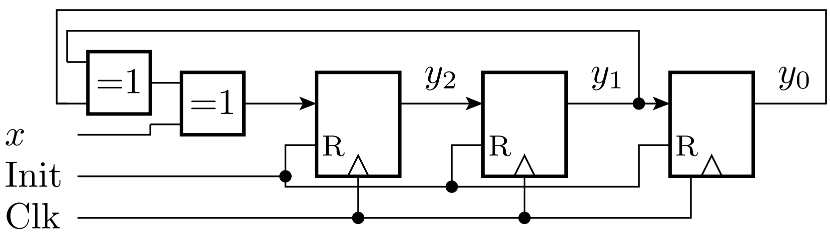
Wert	(Teil-) Prüfsum.	binär
0x13	0x13	0001 0011
0x33	0x46	0011 0011
0xF2	0x38	1111 0010
0xE6	0x1E	1110 0110
	EXOR:	0011 0100

Wert	(Teil-) Prüfsum.	binär
0x13	0x13	0001 0011
0xF2	0x05	1111 0010
0x37	0x3C	0011 0111
0xE6	0x22	1110 0110
	EXOR:	0011 0000

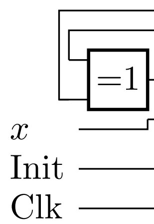
Wert	(Teil-) Prüfsum.	binär
0x13	0x13	0001 0011
0xF1	0x04	1111 0001
0x90	0x94	1001 0000
0x46	0xDA	0100 0110
	EXOR:	0011 0100

Aufgabe 4.10: Prüfkennzeichen mit LFSR

Gegeben ist folgendes linear rückgekoppelte Schieberegister:



	x	y_2	y_1	y_0
0	1	0	0	0
1	0			
2	1			
3	1			
4	0			
5	0			
6	1			
7	1			
8	0			
9	1			
10	0			
11	0			
12	1			
13	0			
14	1			
15	0			
PKZ:				



a) Auf welches Prüfkennzeichen $\mathbf{y} = y_2y_1y_0$ wird die Datenfolge 1011 0011 0100 1010 beginnend mit dem linken Bit und Startwert 000 abgebildet? Füllen Sie dazu die Tabelle in der Abbildung aus.

b) Wie hoch ist Fehlererkennungswahrscheinlichkeit?

$$p_{\mathrm{E}} \approx 1 - 2^{-3} = 87{,}5\%$$

4.7 Fehlerkorr. Codes

Aufgabe 4.11: Kreuzparität

a) Ergänzen Sie Bitwerte für die Längs- und Querparität.

b) Woran ist eine Invertierung des rot unterlegten Bits zu erkennen?

Längsparität

1011001001101000	
1100001110010011	
0110010010101101	
1000100001100101	
1101001011010011	
1101000010011110	
1010011000010101	
1011010010100110	

Querparität

Längsparität

1011001001101000	1
1100001110010011	0
0110010010101101	0
1000100001100101	0
1101001011010011	1
1101000010011110	0
1010011000010101	1
1011010010100110	0
1000110111001111	

Querparität

Die Invertierung des rot unterlegten Bits ist an einem Paritätsfehler in Zeile 6 und in Spalte 7 zu erkennen.

Aufgabe 4.12: (8,12)-Hamming-Code

b_{12}	b_{11}	b_{10}	b_9	b_8	b_7	b_6	b_5	b_4	b_3	b_2	b_1
x_7	x_6	x_5	x_4	q_3	x_3	x_2	x_1	q_2	x_0	q_1	q_0

$$\begin{aligned}
q_0 &= x_0 \oplus x_1 \oplus x_3 \oplus x_4 \oplus x_6 \\
q_1 &= x_0 \oplus x_2 \oplus x_3 \oplus x_5 \oplus x_6 \\
q_2 &= x_1 \oplus x_2 \oplus x_3 \oplus x_7 \\
q_3 &= x_4 \oplus x_5 \oplus x_6 \oplus x_7
\end{aligned}$$

a) Bilden Sie die Codeworte für die darzustellenden Werte: $w_1 = 0x73$, $w_2 = 0x1D$ und $w_3 = 0xD6$?

b) Bestimmen Sie für die Codeworten $c_4 = 0xA24$, $c_5 = 0x5D6$ und $c_6 = 0x141$, ob zulässig oder korrigierbar und wenn zulässig oder korrigierbar, den Wert?

Bitnummer	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1
Zuordnung	x_7	x_6	x_5	x_4	q_3	x_3	x_2	x_1	q_2	x_0	q_1	q_0
Kontrollbits												
$\mathbf{x}_1 = 0x73$												
$\mathbf{x}_2 = 0x1D$												
$\mathbf{x}_3 = 0xD6$												
$\mathbf{b}_4 = 0xA24$												
$\mathbf{b}_5 = 0x5D6$												
$\mathbf{b}_6 = 0x141$												

Bitnummer	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	
Zuordnung	x_7	x_6	x_5	x_4	q_3	x_3	x_2	x_1	q_2	x_0	q_1	q_0	
Kontrollbits													
$\mathbf{x}_1 = 0x73$	0	1	1	1	1	0	0	1	1	1	1	0	$\mathbf{b}_1 = 0x79E$
$\mathbf{x}_2 = 0x1D$	0	0	0	1	1	1	1	0	0	1	1	1	$\mathbf{b}_2 = 0x1E7$
$\mathbf{x}_3 = 0xD6$	1	1	0	1	1	0	1	1	1	0	0	1	$\mathbf{b}_3 = 0xDB9$
$\mathbf{b}_4 = 0xA24$	1	0	1	0	0	0	1	0	0	1	0	0	$\Delta\mathbf{q}_4 = 3$
$\mathbf{b}_5 = 0x5D6$	0	1	0	1	1	1	0	1	0	1	1	0	$\Delta\mathbf{q}_5 = 9$
$\mathbf{b}_6 = 0x141$	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	1	$\Delta\mathbf{q}_6 = 15$

Wertekontrolle

Aufgabe 4.13: Kontrollausdruck

Scheiben Sie einen Testrahmen für das nachfolgende fehlerhafte C-Programm zur Wurzelberechnung:

```
uint8_t wurzel(uint16_t x){
 uint8_t w=0;
 uint16_t sum=0;
 while (sum<x){sum += (w<<1)+1;
 w++;}
 return w;
}
```

zum Test mit 1000 zufälligen Werten. Ergebniskontrolle mit der inversen Funktion und Fenstervergleich

$$y^2 \le x < (y+1)^2$$

Protokollierung aller x und y , die die Ergebniskontrolle nicht bestehen. Zufallszahlenerzeugung mit »rand()« aus »stdlib.h«.

Zur Kontrolle

```
#include <stdlib.h>
#include <time.h>
#include <stdio.h>
int main(){
 uint16_t x, y, xmin, xmax;
 srand(time(NULL));    // Init. Pseudozufallsg.*
 for (idx=0; idx<1000; idx++){
  x = rand() & 0xFF;  // Begrenzung auf 8 Bit
  y = wurzel(x);      // Testobjekt
  xmin = y*y;         // inversen Fkt.
  xmax = (y+1)*(y+1); // zu Kontrolle
  if ((x<xmin)||(x>xmax)){
   printf("x=%d,␣y=%d,␣y^2=%d,␣(y+1)^2=%d\n",
      x, y, xmin, xmax);
  }
 }
}
```

*time(NULL) liefert Sekunden seit dem 01.01.1970.

Aufgabe 4.14: Vergleichsfenster

Zwei zu vergleichende voneinander unabhängige normalverteilte Zufallsgrößen X_1 und X_2 haben denselben Erwartungswert und die Standardabweichungen $\mathrm{sd}[X_1] = 3$ und $\mathrm{sd}[X_2] = 4$. Wie groß ist für eine Kontrolle

```
if (abs(X1-X2)>eps) {<Fehlerbehandlung>};
```

der Radius ε des Vergleichsfenster mindestens zu wählen, damit die Wahrscheinlichkeit für Vergleichs-Phantom-FF $p_{\mathrm{Phan}} \le 0{,}1\%$ ist?

$\mathbb{E}[X_1 - X_2] =$ $\varepsilon =$

$\mathrm{sd}[X_1 - X_2] =$

z	...,0	...,1	...,2	...,3	...,4	...,5	...,6	...,7	...,8	...,9
0,...	0,5000	0,5398	0,5793	0,6179	0,6554	0,6915	0,7257	0,7580	0,7881	0,8159
1,...	0,8413	0,8643	0,8849	0,9032	0,9192	0,9332	0,9452	0,9554	0,9641	0,9713
2,...	0,9772	0,9821	0,9861	0,9893	0,9918	0,9938	0,9953	0,9965	0,9974	0,9981
3,...	0,9987	0,9990	0,9993	0,9995	0,9997	0,9998	0,9998	0,9999	0,9999	1,0000

Differenz der Erwartungswerte:

$$\mathbb{E}[X_1 - X_2] = 0$$

Die Varianz der Differenzen ist die Summe der Varianzen:

$$\mathrm{sd}[X_1 - X_2] = \sqrt{\mathrm{Var}[X_1] + \mathrm{Var}[X_2]} = \sqrt{3^2 + 4^2} = 5$$

Standardisierter Normalverteilungswert für beiderseitig $\alpha_1 = \alpha_2 = 0{,}05\%$ ist etwa 3,3.

z	...,0	...,1	...,2	...,3	...,4	...,5	...,6	...,7	...,8	...,9
0,...	0,5000	0,5398	0,5793	0,6179	0,6554	0,6915	0,7257	0,7580	0,7881	0,8159
1,...	0,8413	0,8643	0,8849	0,9032	0,9192	0,9332	0,9452	0,9554	0,9641	0,9713
2,...	0,9772	0,9821	0,9861	0,9893	0,9918	0,9938	0,9953	0,9965	0,9974	0,9981
3,...	0,9987	0,9990	0,9993	0,9995	0,9997	0,9998	0,9998	0,9999	0,9999	1,0000

Mindestintervallradius für das Vergleichsfenster:

$$\varepsilon \approx 3{,}3 \cdot 5 = 16{,}5$$

Aufgabe 4.15: Diversitätsabschätzung

Bei einer Kontrolle durch Verdopplung und Vergleich wurden von $\#FF = 300$ Fehlfunktionen $\#k_{\mathrm{ist}} = 5$ nicht erkannt.

1. Auf welchen Bereich der zu erwartenden Anzahl der nicht erkannten Fehlfunktionen lässt das Experiment schließen? Zulässige Irrtumswahrscheinlichkeiten, dass im Experiment ein Werte oberhalb oder unterhalb des Bereichs hätte auftreten können, $\alpha_1 = \alpha_2 = 10\%$.
2. Auf welchen Bereich der Diversität lässt das Experiment schließen?

Hinweise:

1. Zählwert X ist poisson-verteilt.
2. Schätzwert der zu erwartenden Diversität nach TV-F1, Abschn. 3.2 Überwachungsverfahren:
$$\hat{Div} = \frac{\#DFF}{\#FF} = 1 - \frac{\#k_{\mathrm{ist}}}{\#FF}$$

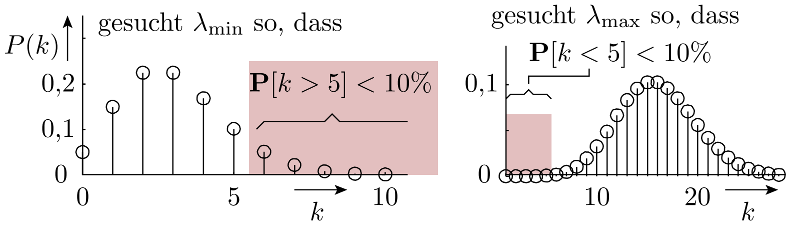
Zur Kontrolle

Von $\#FF = 300$ Fehlfunktionen wurden $x_{\mathrm{ist}} = \#FF_{\mathrm{M}} = 5$ nicht erkannt. Zulässige Irrtumswahrscheinlichkeiten: $\alpha_1 = \alpha_2 = 10\%$.

---

1. Unter- und Obergrenze des zu erwartenden Zählwerts:

   [3,15, 7,99]



$\alpha_1 = \alpha_2$	$k_{\mathrm{ist}} = 4$	$k_{\mathrm{ist}} = 5$	$k_{\mathrm{ist}} = 6$
2%	[1,53, 9,08]	[2,09, 10,6]	[2,68, 12,0]
10%	[2,43, 6,68]	[3,15, 7,99]	[3,89, 9,28]
20%	[3,09, 5,51]	[3,90, 6,73]	[4,73, 7,91]

2. Unter- und Obergrenze der zu erwartenden Diversität:

$$\mathbb{E}\left[Div\right]_{\min} = 1 - \frac{\lambda_{\max}}{\#FF} = 1 - \frac{7{,}99}{300} = 97{,}3\%$$

$$\mathbb{E}\left[Div\right]_{\max} = 1 - \frac{\lambda_{\min}}{\#FF} = 1 - \frac{3{,}15}{300} = 99{,}0\%$$