Intelligente Sehsysteme – Übungsblatt 5

Prof. Dr. W. Koch, Dr. F. Govaers, H. Hoelzemann, F. Oßwald
*E-Mail: {wolfgang.koch, felix.govaers, henry.hoelzemann, **florian.osswald**}@fkie.fraunhofer.de*

Abgabe bis Sonntag, 23.11.2025, 12:00 Uhr in Gruppen von 3 Personen.

1 Interaktive Binarisierung (1P)

Implementieren Sie eine interaktive Binarisierung in Python, wobei bis zu 9 Schwellwerte als Filtereigenschaft interaktiv wählbar sein sollen. Färben Sie die auf diese Weise gefundenen bis zu 10 verschiedenen Intensitätsintervalle in verschiedenen Farben ein. Bei nur einem Schwellwert sollten schwarz und weiß als Farben genutzt werden.

Testen Sie Ihre Implementierung auf dem Bild `Polyeder_256x256.png` mit Schwellwert 18 und auf dem Bild `Kopf-MRT-Toenn.png` mit Schwellwerten 50 und 220. Beide Bilder finden Sie zusammen mit diesem Übungsblatt in eCampus. Fügen Sie die Ergebnisbilder Ihrer Lösungsabgabe bei.

2 Methode von Otsu (2P)

Wenden Sie die Methode von Otsu auf folgenden 3-Bit-Bildbereich an und bestimmen Sie den optimalen Schwellwert mit Angabe der Herleitung.

3	2	4
6	7	2
2	5	3

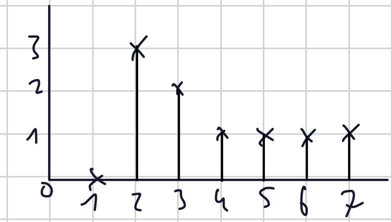
3 Connected Component Labeling (3P)

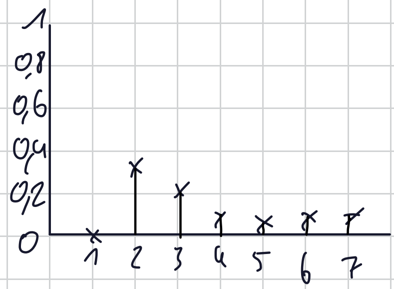
Wenden Sie Ihre Binarisierung aus Aufgabe 1 mit dem Schwellwert 120 auf das Testbild `Testbild_Werkzeuge_768x576.png` an. Schreiben Sie nun einen Filter, das alle schwarzen Regionen im binarisierten Bild – und damit alle abgebildeten Werkzeuge – erkennt. Das Filter durchläuft dafür das Bild zeilenweise und schreibt in einen Kanal des Zielbildes, zu welchem Objekt (entspricht einem zusammenhängenden Pixelbereich) die Pixel gehören. Färben Sie aufbauend auf dieser Information als Nachbearbeitung alle gefundenen Pixelbereiche unterschiedlich ein. Den Pseudocode dazu entnehmen Sie bitte dem Foliensatz der Vorlesung 5, Folien 17 bis 22 (Region Labeling). Fügen Sie das Ergebnisbild Ihrer Lösungsabgabe bei.

Aufgabe 2:

Histogramm:

3	2	4
6	7	2
2	5	3





$p_1(2) = \frac{1}{3}$

$p_1(3) = \frac{2}{9}$

$p_1(4) = \frac{1}{9}$

$p_1(5) = \frac{1}{9}$

$p_1(6) = \frac{1}{9}$

$p_1(7) = \frac{1}{9}$

$T = 0 \dots 7$

$$n_B(T) = \sum_{i=0}^{T-1} p(i)$$, kumulative Häufigkeit bis zu einem T

Für alle T:

n_B \ T	0	1	2	3	4	5	6	7
	0	0	0	$\frac{1}{3}$	$\frac{5}{9}$	$\frac{2}{3}$	$\frac{7}{9}$	$\frac{8}{9}$

$$n_0(T) = \sum_{i=T}^{l_{max}} p(i)$$

Für alle T:

n_0 \ T	0	1	2	3	4	5	6	7
	1	1	1	$\frac{2}{3}$	$\frac{4}{9}$	$\frac{1}{3}$	$\frac{2}{9}$	$\frac{1}{9}$

$$\mu_T = \sum_{i=0}^{7} i \cdot p(i) = \frac{34}{9}$$

$\mu_B^2(T) = \frac{1}{n_B(T)} \sum_{i=0}^{T-1} i\,p(i)$ → Varianz aller Hintergrundpixel

T	0	1	2	3	4	5	6	7
$\mu_B^2(T)$	0	0	0	2	$\frac{12}{5}$	$\frac{8}{3}$	3	$\frac{27}{8}$

nicht relevant Schwellenwert wird verworfen

$\mu_B^2(2) = \frac{1}{0} \sum_{i=0}^{2-1} i\,p(i) = \frac{1}{0} \cdot (\underbrace{0 \cdot p(0)}_{0} + \underbrace{1p(1)}_{0}) = \frac{1}{0} \cdot 0 = \frac{0}{0}$ → nicht definiert

$\mu_B^2(3) = \frac{1}{\frac{1}{3}} \sum_{i=0}^{3-1} i\,p(i) = 3 \cdot (0 + 0 + 2p(2)) = 3 \cdot \frac{2}{3} = 2$

$\mu_B^2(4) = \frac{1}{\frac{5}{9}} \sum_{i=0}^{4-1} i\,p(i) = \frac{9}{5}(0+0+2p(2)+3p(3)) = \frac{9}{5}\left(\frac{2}{9}+\frac{6}{9}\right) = \frac{9}{5}\left(\frac{12}{9}\right) = \frac{12}{5}$

$\mu_B^2(5) = \frac{1}{\frac{2}{3}} \sum_{i=0}^{5-1} i\,p(i) = \frac{3}{2}(0+0+2p(2)+3p(3)+4p(4)) = \frac{3}{2}\left(\frac{12}{9}+\frac{4}{9}\right) = \frac{9}{6}\left(\frac{16}{9}\right) = \frac{16}{6} = \frac{8}{3}$

$\mu_B^2(6) = \frac{1}{\frac{7}{9}} \sum_{i=0}^{6-1} i\,p(i) = \frac{9}{7}(0+0+2p(2)+3p(3)+4p(4)+5p(5)) = \frac{9}{7}\left(\frac{16}{9}+\frac{5}{9}\right) = \frac{9}{7}\left(\frac{21}{9}\right) = \frac{21}{7} = 3$

$\mu_B^2(7) = \frac{1}{\frac{8}{9}} \sum_{i=0}^{7-1} i\,p(i) = \frac{9}{8}(0+0+2p(2)+3p(3)+4p(4)+5p(5)+6p(6)) = \frac{9}{8}\left(\frac{21}{9}+\frac{6}{9}\right) = \frac{9}{8}\left(\frac{27}{9}\right) = \frac{27}{8}$

$\mu_O^2(T) = \frac{1}{n_O(T)} \sum_{T}^{7} i\,p(i)$ → Varianz aller Objektpixel

T	0	1	2	3	4	5	6	7
$\mu_O^2(T)$	$\frac{34}{9}$	$\frac{34}{9}$	$\frac{34}{9}$	$\frac{14}{3}$	6	6	$\frac{13}{2}$	7

$\mu_O^2(0) = \frac{1}{1} \sum_{0}^{7} i\,p(i) = (0p(0)+1p(1)+2p(2)+3p(3)+4p(4)+5p(5)+6p(6)+7p(7))$
$= \left(\frac{27}{9} + 7p(7)\right) = \frac{27}{9} + \frac{7}{9} = \frac{34}{9}$

$\mu_O^2(1) = \frac{1}{1} \sum_{1}^{7} i\,p(i) = (1p(1)+2p(2)+3p(3)+4p(4)+5p(5)+6p(6)+7p(7))$
$= \frac{34}{9}$

$\mu_O^2(2) = \frac{1}{1} \sum_{2}^{7} i\,p(i) = (2p(2)+3p(3)+4p(4)+5p(5)+6p(6)+7p(7))$
$= \frac{34}{9}$

$\mu_O^2(3) = \frac{1}{\frac{2}{3}} \sum_{3}^{7} i\,p(i) = \frac{3}{2}(3p(3)+4p(4)+5p(5)+6p(6)+7p(7)) =$
$= \frac{3}{2}\underbrace{\left(\frac{34}{9}-\frac{2}{9}\right)}_{\text{alles} - 2p(2)} = \frac{3}{2}\left(\frac{34}{9}-\frac{6}{9}\right) = \frac{9}{6}\left(\frac{28}{9}\right) = \frac{28}{6} = \frac{14}{3}$

$\mu_O^2(4) = \frac{1}{\frac{4}{9}} \sum_{4}^{7} i\,p(i) = \frac{9}{4}(4p(4)+5p(5)+6p(6)+7p(7)) = \frac{9}{4}\left(\frac{4}{9}+\frac{5}{9}+\frac{6}{9}+\frac{7}{9}\right) = \frac{9}{4} \cdot \frac{24}{9} = \frac{24}{4} = 6$

$\mu_O^2(5) = \frac{1}{\frac{3}{9}} \sum_{5}^{7} i\,p(i) = 3(5p(5)+6p(6)+7p(7)) = 3\left(\frac{5}{9}+\frac{6}{9}+\frac{7}{9}\right) = 3 \cdot \left(\frac{18}{9}\right) = 6$

$\mu_O^2(6) = \frac{1}{\frac{2}{9}} \sum_{6}^{7} i\,p(i) = \frac{9}{2}(6p(6)+7p(7)) = \frac{9}{2}\left(\frac{6}{9}+\frac{7}{9}\right) = \frac{9}{2} \cdot \frac{13}{9} = \frac{13}{2}$

$\mu_O^2(7) = \frac{1}{\frac{1}{9}} \sum_{7}^{7} i\,p(i) = 9(7p(7)) = 9 \cdot \frac{7}{9} = 7$

$\sigma^2_{Between}(T) = n_B(T)\, n_O(T)\, (\mu_B(T) - \mu_O(T))^2$

$\sigma^2_{Between}(1) = 0$

$\sigma^2_{Between}(2) = 0$

$\sigma^2_{Between}(3) = \frac{1}{3} \cdot \frac{2}{3}\left(2 - \frac{14}{3}\right)^2 = \frac{128}{81} \approx 1.5802$

$\sigma^2_{Between}(4) = \frac{5}{9} \cdot \frac{4}{9}\left(\frac{12}{5} - 6\right)^2 = \frac{16}{5} \approx 3.2$ → hat die höchste Interklassenvarianz

$\sigma^2_{Between}(5) = \frac{2}{3} \cdot \frac{1}{3}\left(\frac{8}{3} - 6\right)^2 = \frac{200}{81} \approx 2.4691$

$\sigma^2_{Between}(6) = \frac{7}{9} \cdot \frac{2}{9}\left(3 - \frac{13}{2}\right)^2 = \frac{343}{162} \approx 2.1173$

$\sigma^2_{Between}(7) = \frac{8}{9} \cdot \frac{1}{9}\left(\frac{27}{8} - 7\right)^2 = \frac{841}{648} \approx 1.2978$

Zwischenklassenvarianz berechnen:

$\sigma^2_{within}(T) = n_B(T) \cdot \mu_B^2(T) + n_O(T) \cdot \mu_O^2(T)$

$\sigma^2_{within}(1) = ϟ$
$\sigma^2_{within}(2) = ϟ$
$\sigma^2_{within}(3) = ϟ$

Klassen werden verworfen, weil wir durch 0 teilen

$\sigma^2_{within}(4) = \frac{5}{9} \cdot \frac{12}{5} + \frac{4}{9} \cdot 6 = 4$

$\sigma^2_{within}(5) = \frac{2}{3} \cdot \frac{8}{3} + \frac{1}{3} \cdot 6 = \frac{34}{9}$

$\sigma^2_{within}(6) = \frac{7}{9} \cdot 3 + \frac{2}{9} \cdot \frac{13}{2} = \frac{34}{9}$

$\sigma^2_{within}(7) = \frac{8}{9} \cdot \frac{27}{8} + \frac{1}{9} \cdot 7 = \frac{34}{9}$

$\overset{0}{\text{Hintergrund}} < 4 \leq \overset{7}{\text{Vordergrund}}$

$$I(x,y) \in \begin{cases} \text{Objekt}: & I(x,y) \leq t_B, \\ \text{Hintergrund}: & I(x,y) > t_B. \end{cases}$$

3	2	4
6	7	2
2	5	3

$\Leftarrow$

0	0	7
7	7	0
0	7	0

4 Haralicksche Texturmaße (2P)

Berechnen Sie bitte die Haralickschen Texturmaße

1. Energie/Uniformität,
2. Kontrast,
3. Entropie,
4. Homogenität/inverse Differenz

mit $\Delta = 1$, $\alpha = 0$ und $\Delta = 1$, $\alpha = 90$ für jedes der folgenden 4×4 Pixel großen Felder:

0	0	0	0
0	0	0	0
0	0	0	0
0	0	0	0

0	0	0	0
0	0	0	0
3	3	3	3
3	3	3	3

3	3	3	3
3	0	0	3
3	0	0	3
3	3	3	3

Gehen Sie dabei von Bildkoordinatensystemen bzw. Orientierungen gemäß dem Beispiel von Folien 44 bis 50 der 5. Vorlesung aus.

5 Split and Merge (2P)

Wenden Sie den Algorithmus Split and Merge auf den folgenden Bildausschnitt an. Ein Segment gilt als homogen, wenn der Intensitätsunterschied im Segment maximal 1 beträgt.

- Für den Split-Schritt ist der vollständige Quad-Tree zu zeichnen.
- Für den Merge-Schritt: (1) Zur Steuerung der Reihenfolge bei mehreren Kandidaten: Beginnen Sie damit, im ersten Schritt Segmente mit einem Intensitätsunterschied von $t = 0$ zusammenzufügen. In jedem weiteren Schritt soll t um eins erhöht werden. (2) Geben Sie den vollständigen Regionenadjazenzgraphen mit attributierten Regionenknoten und attributierten Kanten beim Start des Mergings sowie nach Abschluss des Mergings an.

4	6	7	6
5	6	7	6
3	2	3	4
3	2	2	5

Aufgabe 4:

0	0	0	0
0	0	0	0
0	0	0	0
0	0	0	0

1.

Horizontal

Zeile 1: (0,0), (0,0), (0,0)

Zeile 2: (0,0), (0,0), (0,0)

Zeile 3: (0,0), (0,0), (0,0)

Zeile 4: (0,0), (0,0), (0,0)

Rohe Co-Occurrence-Matrix:

$$\begin{array}{c|c} I_1 \downarrow \; I_2 \rightarrow & 0 \\ \hline 0 & \boxed{12} \end{array}$$

Normierte Matrix: $\frac{1}{N} \times P$ N = Anzahl der Pixel

N = 12 P = aktuelles Paar

$$\begin{array}{c|c} I_1 \downarrow \; I_2 \rightarrow & 0 \\ \hline 0 & \boxed{1} \end{array}$$

1. Energie: $\sum_{I_1=0}^{0} \sum_{I_2=0}^{0} p(I_1, I_2)^2$ bezieht sich auf das aktuelle Paar

$= (1)^2 = 1$

2. Kontrast: $\sum_{I_1=0}^{0} \sum_{I_2=0}^{0} (I_1 - I_2)^2 \cdot p(I_1, I_2)$

$= 0 \cdot 1 = 0$

3. Entropie: $-\sum_{I_1=0}^{0} \sum_{I_2=0}^{0} p(I_1, I_2) \cdot \log_2 (p(I_1, I_2))$

$= -(1 \cdot \log_2(1)) = 0$

4. Homogenität: $\sum_{I_1=0}^{0} \sum_{I_2=0}^{0} \frac{p(I_1, I_2)}{1 + |I_1 - I_2|}$

$= \frac{1}{1 + 0 - 0} = \frac{1}{1} = 1$

Vertikal

Spalte 1: (0,0), (0,0), (0,0)

Spalte 2: (0,0), (0,0), (0,0)

Spalte 3: (0,0), (0,0), (0,0)

Spalte 4: (0,0), (0,0), (0,0)

Rohe Co-Occurrence-Matrix:

$$\begin{array}{c|c} I_1 \downarrow \; I_2 \rightarrow & 0 \\ \hline 0 & \boxed{12} \end{array}$$

Normierte Matrix: $\frac{1}{N} \times P$ N = Anzahl der Pixel

N = 12 P = aktuelles Paar

$$\begin{array}{c|c} I_1 \downarrow \; I_2 \rightarrow & 0 \\ \hline 0 & \boxed{1} \end{array}$$

1. Energie: $\sum_{I_1=0}^{0} \sum_{I_2=0}^{0} p(I_1, I_2)^2$

$= (1)^2 = 1$

2. Kontrast: $\sum_{I_1=0}^{0} \sum_{I_2=0}^{0} (I_1 - I_2)^2 \cdot p(I_1, I_2)$

$= 0 \cdot 1 = 0$

3. Entropie: $-\sum_{I_1=0}^{0} \sum_{I_2=0}^{0} p(I_1, I_2) \cdot \log_2 (p(I_1, I_2))$

$= -(1 \cdot \log_2(1)) = 0$

4. Homogenität: $\sum_{I_1=0}^{0} \sum_{I_2=0}^{0} \frac{p(I_1, I_2)}{1 + |I_1 - I_2|}$

$= \frac{1}{1 + 0 - 0} = \frac{1}{1} = 1$

2.

0	0	0	0
0	0	0	0
3	3	3	3
3	3	3	3

Horizontal

Zeile 1: (0,0) (0,0) (0,0)

Zeile 2: (0,0) (0,0) (0,0)

Zeile 3: (3,3) (3,3) (3,3)

Zeile 4: (3,3) (3,3) (3,3)

Rohe Co-Occurrence-Matrix:

$$\begin{array}{c|cccc} I_1 \downarrow \; I_2 \rightarrow & 0 & 1 & 2 & 3 \\ \hline 0 & 6 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 2 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 3 & 0 & 0 & 0 & 6 \end{array}$$

Normierte Matrix: $\frac{1}{N} \times P$ N = 12

$$\begin{array}{c|cccc} I_1 \downarrow \; I_2 \rightarrow & 0 & 1 & 2 & 3 \\ \hline 0 & \frac{1}{2} & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 2 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 3 & 0 & 0 & 0 & \frac{1}{2} \end{array}$$

1. Energie: $\sum_{I_1=0}^{3} \sum_{I_2=0}^{3} p(I_1, I_2)^2$

$= \frac{1^2}{2} + \frac{1^2}{2} = \frac{1}{4} + \frac{1}{4} = \frac{2}{4} = \frac{1}{2}$

2. Kontrast: $\sum_{I_1=0}^{3} \sum_{I_2=0}^{3} (I_1 - I_2)^2 \cdot p(I_1, I_2)$

$= 0$

3. Entropie: $-\sum_{I_1=0}^{3} \sum_{I_2=0}^{3} p(I_1, I_2) \cdot \log_2 (p(I_1, I_2))$

$= -\left(\frac{1}{2} \cdot \log(\frac{1}{2}) + \frac{1}{2} \cdot \log(\frac{1}{2})\right) = -\left(\frac{1}{2} \cdot (-1) + \frac{1}{2} \cdot (-1)\right) = -\left(-\frac{1}{2} - \frac{1}{2}\right) = 1$

4. Homogenität: $\sum_{I_1=0}^{3} \sum_{I_2=0}^{3} \frac{p(I_1, I_2)}{1 + |I_1 - I_2|}$

$= \frac{1/2}{1+0} + \frac{1/2}{1+0} = \frac{1}{2} + \frac{1}{2} = 1$

Vertikal

Spalte 1: (0,0) (0,3) (3,3)

Spalte 2: (0,0) (0,3) (3,3)

Spalte 3: (0,0) (0,3) (3,3)

Spalte 4: (0,0) (0,3) (3,3)

Rohe Co Occurrence-Matrix:

$$\begin{array}{c|cccc} I_1 \downarrow \; I_2 \rightarrow & 0 & 1 & 2 & 3 \\ \hline 0 & 4 & 0 & 0 & 4 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 2 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 3 & 0 & 0 & 0 & 4 \end{array}$$

Normierte Matrix: $\frac{1}{N} \times P$ N = 12

$$\begin{array}{c|cccc} I_1 \downarrow \; I_2 \rightarrow & 0 & 1 & 2 & 3 \\ \hline 0 & 1/3 & 0 & 0 & 1/3 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 2 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 3 & 0 & 0 & 0 & 1/3 \end{array}$$

1. Energie: $\sum_{I_1=0}^{3} \sum_{I_2=0}^{3} p(I_1, I_2)^2$

$= \frac{1^2}{3} + \frac{1^2}{3} + \frac{1^2}{3} = \frac{1}{9} + \frac{1}{9} + \frac{1}{9} = \frac{3}{9} = \frac{1}{3}$

2. Kontrast: $\sum_{I_1=0}^{3} \sum_{I_2=0}^{3} (I_1 - I_2)^2 \cdot p(I_1, I_2)$

$= 0 + (0-3)^2 \cdot \frac{1}{3} + 0 = 9 \cdot \frac{1}{3} = 3$

3. Entropie: $-\sum_{I_1=0}^{3} \sum_{I_2=0}^{3} p(I_1, I_2) \cdot \log_2 (p(I_1, I_2))$

$= -\left(\frac{1}{3} \cdot \log_2 \frac{1}{3} + \frac{1}{3} \cdot \log_2 \frac{1}{3} + \frac{1}{3} \cdot \log_2 \frac{1}{3}\right) = \log_2(3)$

4. Homogenität: $\sum_{I_1=0}^{3} \sum_{I_2=0}^{3} \frac{p(I_1, I_2)}{1 + |I_1 - I_2|}$

$= \frac{1/3}{1+0} + \frac{1/3}{1+|0-3|} + \frac{1/3}{1+0} = \frac{1}{3} + \frac{1/3}{4} + \frac{1}{3} = \frac{2}{3} + \frac{1}{12} = \frac{9}{12} = \frac{3}{4}$

3.

3	3	3	3
3	0	0	3
3	0	0	3
3	3	3	3

Horizontal

Zeile 1: (3,3)(3,3)(3,3)

Zeile 2: (3,0)(0,0)(0,3)

Zeile 3: (3,0)(0,0)(0,3)

Zeile 4: (3,3)(3,3)(3,3)

Rohe Co-Occurrence-Matrix:

$$\begin{array}{c|cccc} I_1 \downarrow \; I_2 \rightarrow & 0 & 1 & 2 & 3 \\ \hline 0 & 2 & 0 & 0 & 2 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 2 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 3 & 2 & 0 & 0 & 6 \end{array}$$

Normierte Matrix: $\frac{1}{N} \times P$ $\quad N=12$

$$\begin{array}{c|cccc} I_1 \downarrow \; I_2 \rightarrow & 0 & 1 & 2 & 3 \\ \hline 0 & 1/6 & 0 & 0 & 1/6 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 2 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 3 & 1/6 & 0 & 0 & 1/2 \end{array}$$

1. Energie: $\sum_{I_1=0}^{3} \sum_{I_2=0}^{3} p(I_1,I_2)^2$

$= \frac{1}{6}^2 + \frac{1}{6}^2 + \frac{1}{6}^2 + \frac{1}{2}^2 = \frac{3}{36} + \frac{1}{4} = \frac{4}{12} = \frac{1}{3}$

2. Kontrast: $\sum_{I_1=0}^{3} \sum_{I_2=0}^{3} (I_1 - I_2)^2 \cdot p(I_1,I_2)$

$= 0 + (3-0)^2 \cdot \frac{1}{6} + (0-3)^2 \cdot \frac{1}{6} + 0 = 9 \cdot \frac{1}{6} + 9 \cdot \frac{1}{6} = \frac{9}{6} + \frac{9}{6} = \frac{18}{6} = 3$

3. Entropie: $-\sum_{I_1=0}^{3} \sum_{I_2=0}^{3} p(I_1,I_2) \cdot \log_2(p(I_1,I_2))$

$= -\left(\frac{1}{6} \cdot \log_2\left(\frac{1}{6}\right) + \frac{1}{6} \cdot \log_2\left(\frac{1}{6}\right) + \frac{1}{6} \cdot \log_2\left(\frac{1}{6}\right) + \frac{1}{2} \cdot \log_2\left(\frac{1}{2}\right)\right) = \frac{1}{2}\log_2(6) + \frac{1}{2}$

4. Homogenität: $\sum_{I_1=0}^{3} \sum_{I_2=0}^{3} \frac{p(I_1,I_2)}{1 + |I_1 - I_2|}$

$= \frac{1/6}{1+0} + \frac{1/6}{1+|0-3|} + \frac{1/6}{1+|3-0|} + \frac{1/2}{1+0} = \frac{1}{6} + \frac{\frac{1}{6}}{4} + \frac{\frac{1}{6}}{4} + \frac{1}{2} = \frac{4}{6} + \frac{1}{12} = \frac{9}{12} = \frac{3}{4}$

Vertikal

Spalte 1: (3,3)(3,3)(3,3)

Spalte 2: (3,0)(0,0)(0,3)

Spalte 3: (3,0)(0,0)(0,3)

Spalte 4: (3,3)(3,3)(3,3)

Rohe Co-Occurrence-Matrix:

$$\begin{array}{c|cccc} I_1 \downarrow \; I_2 \rightarrow & 0 & 1 & 2 & 3 \\ \hline 0 & 2 & 0 & 0 & 2 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 2 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 3 & 2 & 0 & 0 & 6 \end{array}$$

Normierte Matrix: $\frac{1}{N} \times P$ $\quad N=12$

$$\begin{array}{c|cccc} I_1 \downarrow \; I_2 \rightarrow & 0 & 1 & 2 & 3 \\ \hline 0 & 1/6 & 0 & 0 & 1/6 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 2 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 3 & 1/6 & 0 & 0 & 1/2 \end{array}$$

1. Energie: $\sum_{I_1=0}^{3} \sum_{I_2=0}^{3} p(I_1,I_2)^2$

$= \frac{1}{6}^2 + \frac{1}{6}^2 + \frac{1}{6}^2 + \frac{1}{2}^2 = \frac{3}{36} + \frac{1}{4} = \frac{4}{12} = \frac{1}{3}$

2. Kontrast: $\sum_{I_1=0}^{3} \sum_{I_2=0}^{3} (I_1 - I_2)^2 \cdot p(I_1,I_2)$

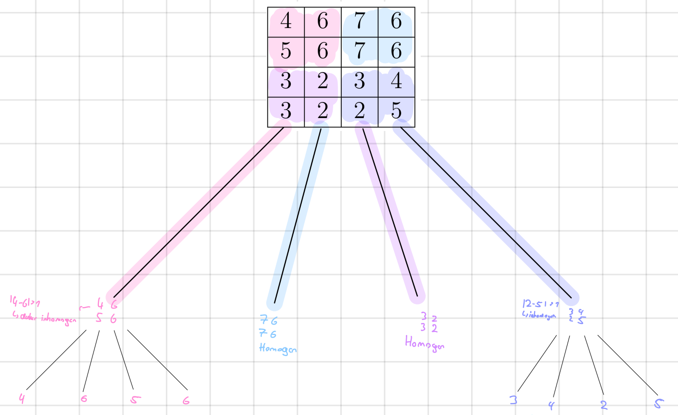
$= 0 + (3-0)^2 \cdot \frac{1}{6} + (0-3)^2 \cdot \frac{1}{6} + 0 = 9 \cdot \frac{1}{6} + 9 \cdot \frac{1}{6} = \frac{9}{6} + \frac{9}{6} = \frac{18}{6} = 3$

3. Entropie: $-\sum_{I_1=0}^{3} \sum_{I_2=0}^{3} p(I_1,I_2) \cdot \log_2(p(I_1,I_2))$

$= -\left(\frac{1}{6} \cdot \log_2\left(\frac{1}{6}\right) + \frac{1}{6} \cdot \log_2\left(\frac{1}{6}\right) + \frac{1}{6} \cdot \log_2\left(\frac{1}{6}\right) + \frac{1}{2} \cdot \log_2\left(\frac{1}{2}\right)\right) = \frac{1}{2}\log_2(6) + \frac{1}{2}$

4. Homogenität: $\sum_{I_1=0}^{3} \sum_{I_2=0}^{3} \frac{p(I_1,I_2)}{1 + |I_1 - I_2|}$

$= \frac{1/6}{1+0} + \frac{1/6}{1+|0-3|} + \frac{1/6}{1+|3-0|} + \frac{1/2}{1+0} = \frac{4}{6} + \frac{1}{12} = \frac{9}{12} = \frac{3}{4}$



5 könnte zu 4, als auch zu 6 ?

Aus der Vorlesung nicht ersichtlich, wie Kandidaten mit gleicher Abweichung gemergt werden

RAG: Vor merging: