Karlsruhe Institute of Technology

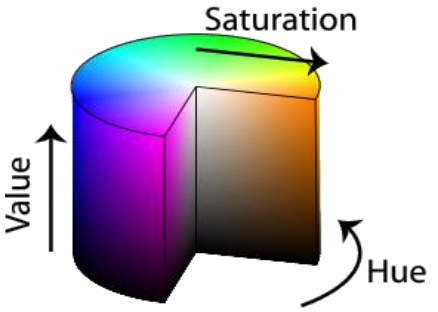
Robotik I: Einführung in die Robotik
Übung 7: Bildverarbeitung

Markus Grotz, Tamim Asfour
Institut für Anthropomatik und Robotik

KIT-Fakultät für Informatik, Institut für Anthropomatik und Robotik (IAR)
Hochperformante Humanoide Technologien (H^2T)

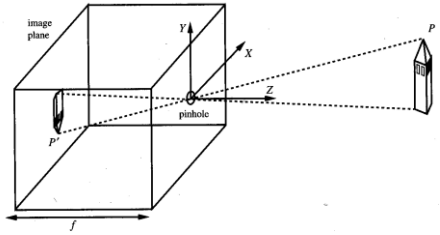
- **Aufgabe 1**

  Farbrepräsentation



- **Aufgabe 3**

  Kameramodell



- **Aufgabe 2**

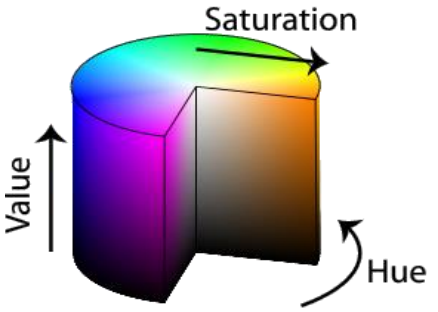
  Filter in der Bildverarbeitung

- **Aufgabe 4**

  Morphologische Operatoren

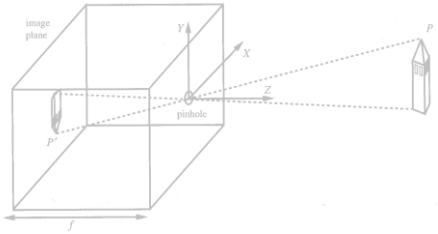
- **Aufgabe 1**

  Farbrepräsentation



- **Aufgabe 3**

  Kameramodell



- **Aufgabe 2**

  Filter in der Bildverarbeitung

- **Aufgabe 4**

  Morphologische Operatoren

HSI Farbraum

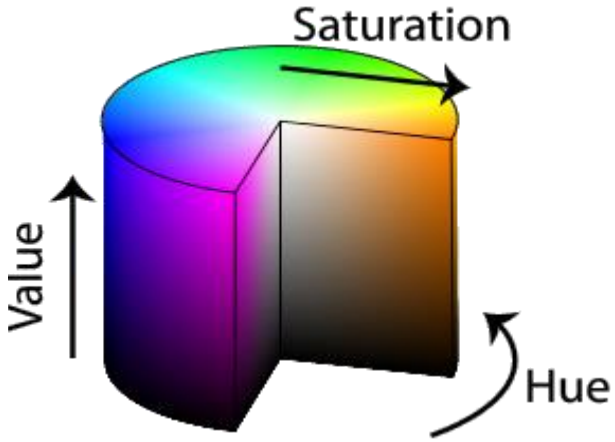
- Transformieren Sie die im RGB-Modell angegebenen Farben (120, 80, 210) und (0, 150, 130) in das HSI-Format.

$$H = \begin{cases} \theta, & falls\ B < G \\ 360 - \theta, & sonst \end{cases}$$

$$\theta = \arccos \frac{2R - G - B}{2\sqrt{(R-G)^2 + (R-B)(G-B)}}$$

$$S = 1 - \frac{3}{R+G+B} \min(R, G, B)$$

$$I = \frac{1}{3}(R + G + B)$$



Vorlesung Kapitel 11 Folie 12

Aufgabe 1

- Transformieren Sie die im RGB-Modell angegebenen Farben (120, 80, 210) und (0, 150, 130) in das HSI-Format.

- Ein Roboter betrachtet eine Müslipackung in einem fensterlosen Labor. Jemand dreht das Licht etwas heller. Ändern sich die R-, G- oder B-Werte der Müslipackung? Ändern sich die H-, S- oder I-Werte der Müslipackung?

- Ihr Haushaltsroboter betrachtet eine Müslipackung in Ihrer Küche. Draußen schiebt sich eine Wolke vor die Sonne. Ändern sich die R-, G- oder B-Werte der Müslipackung? Ändern sich die H-, S- oder I-Werte der Müslipackung?

Hue (120, 80, 210)

$$\theta = \cos^{-1}\left(\frac{2R - G - B}{2\sqrt{(R-G)^2 + (R-B)(G-B)}}\right)$$

$$= \cos^{-1}\frac{240 - 80 - 210}{2\sqrt{(120-80)^2 + (120-210)(80-210)}}$$

$$= \cos^{-1}\left(\frac{-50}{2\sqrt{1600 + 11700}}\right) \approx \cos^{-1}(0{,}2168)$$

$$\approx 102^\circ.5$$

$$\Rightarrow H = 360^\circ - \theta \approx 257.5$$

Hue (120, 80, 210)

- $c = \cos^{-1}\left(\frac{2R - G - B}{2\sqrt{(R-G)^2 + (R-B)(G-B)}}\right)$
- $c = \cos^{-1}\left(\frac{240 - 80 - 210}{2\sqrt{(120-80)^2 + (120-210)(80-210)}}\right)$
- $c = \cos^{-1}\left(\frac{-50}{2\sqrt{1600 + 11700}}\right)$
- $c \approx \cos^{-1}(0.2168)$
- $c \approx 102.5°$
- $\rightarrow H = 360° - c \approx 257.5°, da\ B \geq G$

Saturation und Intensity (120, 80, 210)

$$I = \frac{R+G+B}{3} = \frac{120+80+210}{3} \approx 136.7$$

$$S = 1 - \frac{1}{I} \min(R,G,B)$$

$$= 1 - \frac{3}{410} \cdot 80 = 1 - \frac{240}{410}$$

$$\approx 0,415$$

Saturation und Intensity (120, 80, 210)

- $I = \frac{R+G+B}{3}$
- $I = \frac{410}{3}$
- $I \approx 136.7$

- $S = 1 - \frac{3}{R+G+B}\min(R, G, B)$
- $S = 1 - \frac{3}{120+80+210}80$
- $S = 1 - \frac{240}{410}$
- $S \approx 0.415$

Hue (0, 150, 130)

$$\theta = \cos^{-1}\left(\frac{-150-130}{2\sqrt{(-150)^2+(-130)(150-130)}}\right)$$

$$= \cos^{-1}\left(\frac{-280}{2\sqrt{22500+2600}}\right)$$

$$\approx \cos^{-1}(-0,9924)$$

$$\approx 172.9^\circ \Rightarrow H = \theta$$

Hue (0, 150, 130)

- $c = \cos^{-1}\left(\frac{2R - G - B}{2\sqrt{(R-G)^2 + (R-B)(G-B)}}\right)$
- $c = \cos^{-1}\left(\frac{-150 - 130}{2\sqrt{(-150)^2 + (0-130)(150-130)}}\right)$
- $c = \cos^{-1}\left(\frac{-280}{2\sqrt{22500 + 2600}}\right)$
- $c \approx \cos^{-1}(-0.9924)$
- $c \approx 172.9°$
- $\rightarrow H = c \approx 172.9°, da\ B < G$

Saturation und Intensity (0, 150, 130)

$$I = \frac{R + G + B}{3} = \frac{280}{3} \approx 93.3$$

$$S = 1 - \frac{1}{I} \min(R, G, B)$$

$$= 1$$

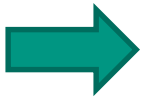
Saturation und Intensity (0, 150, 130)

- $I = \frac{R+G+B}{3}$
- $I = \frac{280}{3}$
- $I \approx 93.3$

- $S = 1 - \frac{3}{R+G+B} \min(R, G, B)$
- $S = 1$

Farbwerte

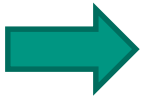
Ein Roboter betrachtet eine Müslipackung in einem fensterlosen Labor. Jemand dreht das Licht etwas heller. Ändern sich die R-, G- oder B-Werte der Müslipackung? Ändern sich die H-, S- oder I-Werte der Müslipackung?



- R, G und B ändern sich gleichmässig, d.h. vergrössern oder verringern sich um den gleichen Faktor. H und S bleiben unverändert, I verändert sich entsprechend der Helligkeitsänderung.

Farbwerte

Ihr Haushaltsroboter betrachtet eine Müslipackung in Ihrer Küche. Draussen schiebt sich eine Wolke vor die Sonne. Ändern sich die R-, G- oder B-Werte der Müslipackung? Ändern sich die H-, S- oder I-Werte der Müslipackung?



- Da sich hier nicht nur die Lichtintensität, sondern auch das Farbspektrum des Lichtes ändert, verändern sich alle Werte, auch H und S - allerdings in den meisten Fällen deutlich weniger als die RGB-Werte.

Anwendung

- Beispiele mit OpenCV
  - http://opencv.org
  - Facedetection, Optical Flow, GPU Computing

- Installation mit Python-Bindings:

```
apt-get install python-opencv
```

- Extraktion des KIT-Logo
- Verwendung des HSV-Farbraums (analog zu HSI)

Nicht klausurrelevant

OpenCV HSV Segmentation

```
import numpy as np
from matplotlib import pyplot as plt

import cv2
```

```
bgr_image = cv2.imread('armar-4.png')
rgb_image = cv2.cvtColor(bgr_image, cv2.COLOR_BGR2RGB)

plt.imshow(rgb_image)
plt.show()
```

```
hsv_image = cv2.cvtColor(bgr_image, cv2.COLOR_BGR2HSV)
```

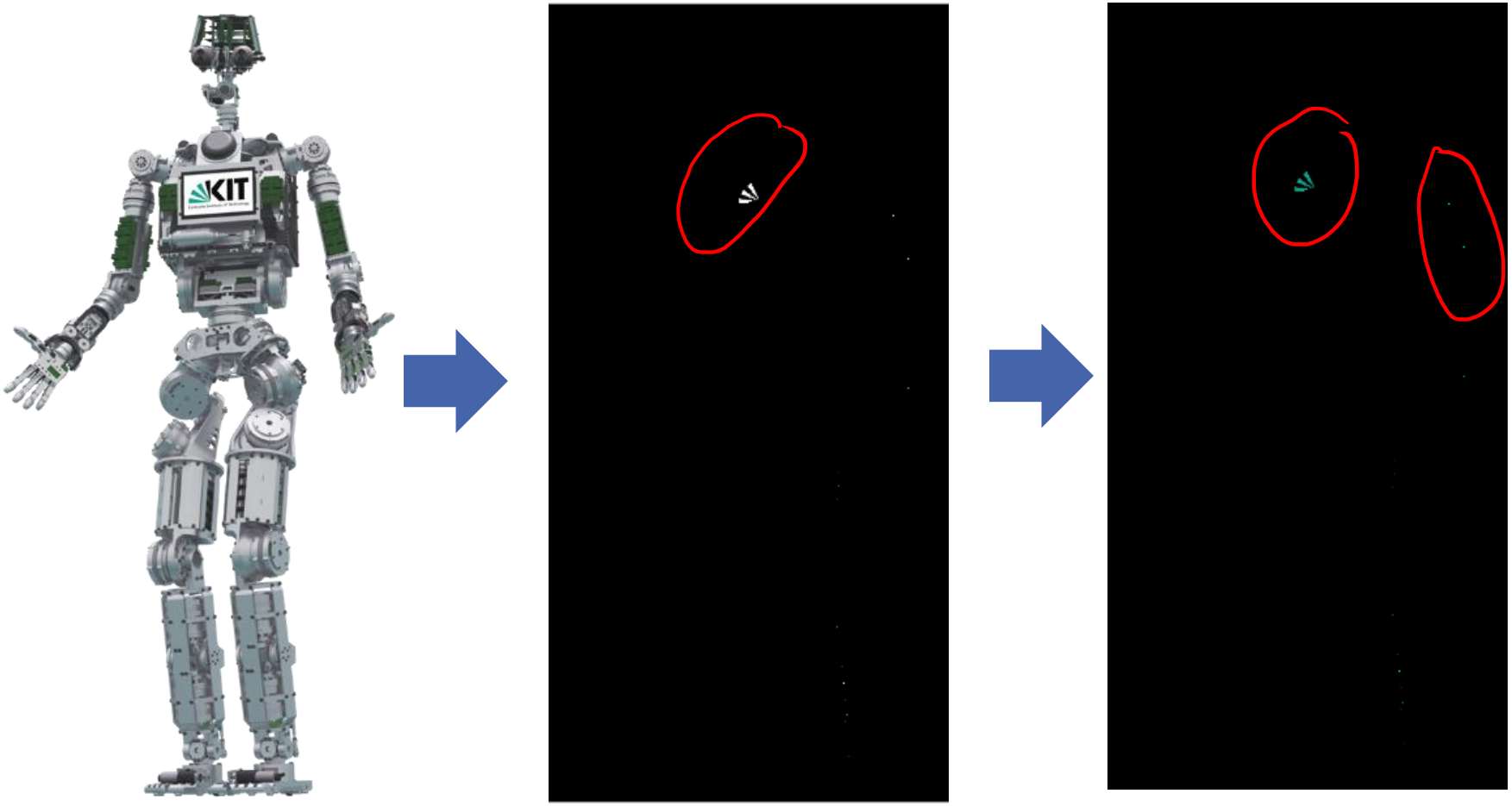
Nicht klausurrelevant

OpenCV HSV Segmentation

```
# OpenCV color range for HSV:  H: 0-180, S: 0-255, V: 0-255
# KIT green is 86.0, 255, 148

lower_green = np.array([80, 150, 150])
upper_green = np.array([90, 255, 255])

mask = cv2.inRange(hsv_image, lower_green, upper_green)
plt.imshow(mask, cmap='gray')
plt.show()

segmented = cv2.bitwise_and(hsv_image, hsv_image, mask=mask)
result = cv2.cvtColor(segmented, cv2.COLOR_HSV2RGB)

plt.imshow(result)
plt.show()
```

Nicht klausurrelevant

OpenCV HSV Segmentation



Nicht klausurrelevant

- Aufgabe 1

  Farbrepräsentation

- **Aufgabe 3**

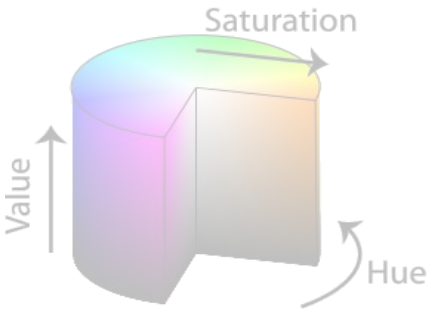
  Kameramodell

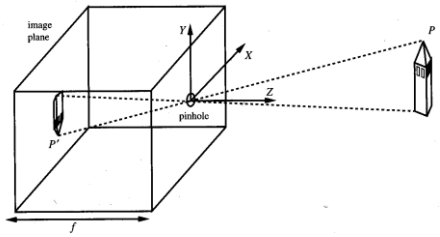
- Aufgabe 2

  Filter in der Bildverarbeitung

- Aufgabe 4

  Morphologische Operatoren





Aufgabe 3

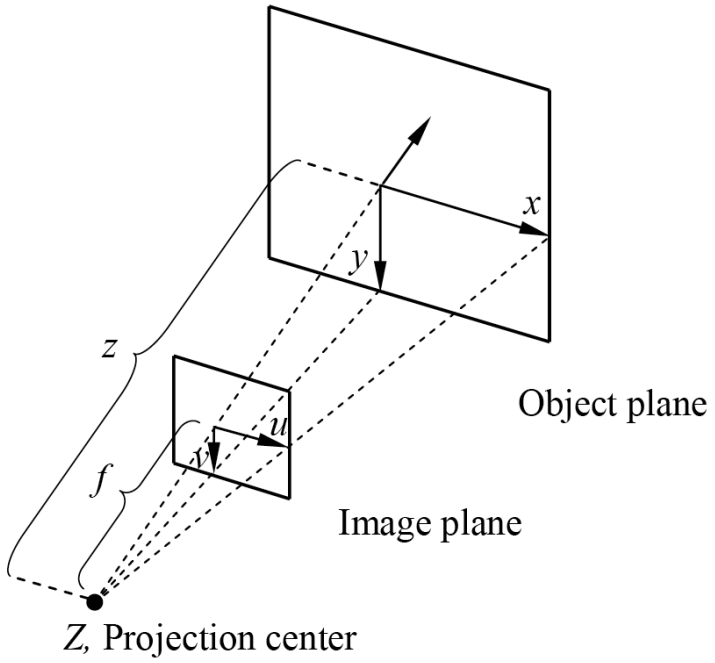
Gegeben sei eine Lochkamera in Positivlage mit Brennweite $f = 20mm$

- Sie fotografieren damit ein Gebäude aus 350 Metern Entfernung. Im Bild ist das Gebäude $0{,}8\ mm$ hoch. Wie hoch ist das Gebäude in der Welt
- Sie fotografieren den Kölner Dom, der bekanntlich $100\frac{\pi}{2}\ m$ hoch ist, vom gegenüberliegenden Rheinufer aus $800m$ Entfernung. Auf Ihrem Foto ist der Dom $314\ Pixel$ hoch. Wie viele Pixel pro Millimeter hat demnach die Kamera?

Kameramodell

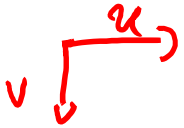
- Gegeben sei eine Lochkamera in Positivlage mit Brennweite $f = 20mm$

$$\begin{pmatrix} u \\ v \end{pmatrix} = \frac{f}{z} \begin{pmatrix} x \\ y \end{pmatrix}$$



Vorlesung Kapitel 11 Folie 20

Kameramodell



Sie fotografieren damit ein Gebäude aus $350\ Metern$ Entfernung. Im Bild ist das Gebäude $0{,}8mm$ hoch. Wie hoch ist ist das Gebäude in der Welt?

$$v = \frac{f}{z}\, y \quad \Rightarrow \quad y = v \cdot \frac{z}{f}$$

$$y = 0{,}8\,\text{mm} \cdot \frac{350\,\text{m}}{2\,\text{cm}} = 0{,}4 \cdot 35\,\text{m}$$

$$= 14\,\text{m}$$

Kameramodell

Sie fotografieren damit ein Gebäude aus $350\ Metern$ Entfernung. Im Bild ist das Gebäude $0{,}8mm$ hoch. Wie hoch ist ist das Gebäude in der Welt?

- $v = \frac{f}{z} y$
- $y = v \frac{z}{f}$
- $y = 0.8mm \cdot \frac{350m}{20mm}$
- $y = 0.8 \cdot \frac{350}{20}$
- $y = 0.4 \cdot 35m = 14m$

Kameramodell

Sie fotografieren den Kölner Dom, der bekanntlich $100\frac{\pi}{2}m$ hoch ist, vom gegenüberliegenden Rheinufer aus $800m$ Entfernung. Auf Ihrem Foto ist der Dom $314\ Pixel$ hoch. Wieviele Pixel pro Millimeter hat demnach die Kamera?

$100\frac{\pi}{2}m \approx 157m$

$314px = \frac{20mm}{800m} \cdot 157m$

$2px = \frac{20mm}{800} = \frac{1mm}{40}$

$80px = 1mm$

Kameramodell

Sie fotografieren den Kölner Dom, der bekanntlich $100\frac{\pi}{2}m$ hoch ist, vom gegenüberliegenden Rheinufer aus $800m$ Entfernung. Auf Ihrem Foto ist der Dom $314\ Pixel$ hoch. Wieviele Pixel pro Millimeter hat demnach die Kamera?

- $100\ \frac{\pi}{2}\ m \approx 157m$
- $314px = \frac{20mm}{800m} 157m$
- $314px = \frac{20mm}{800} 157$
- $2px = \frac{20mm}{800}$
- $2px = \frac{1mm}{40}$
- $80px = 1mm$

- Aufgabe 1

  Farbrepräsentation

- Aufgabe 3

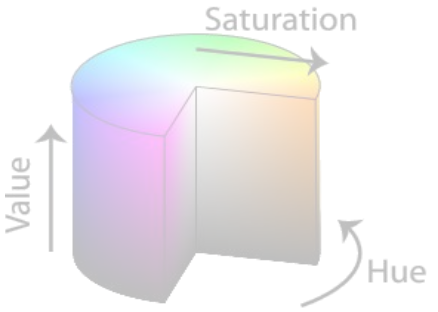
  Kameramodell

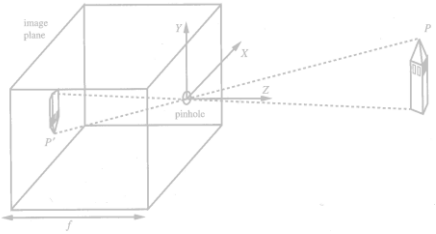
- **Aufgabe 2**

  Filter in der Bildverarbeitung

- Aufgabe 4

  Morphologische Operatoren





Filterung – Prewitt

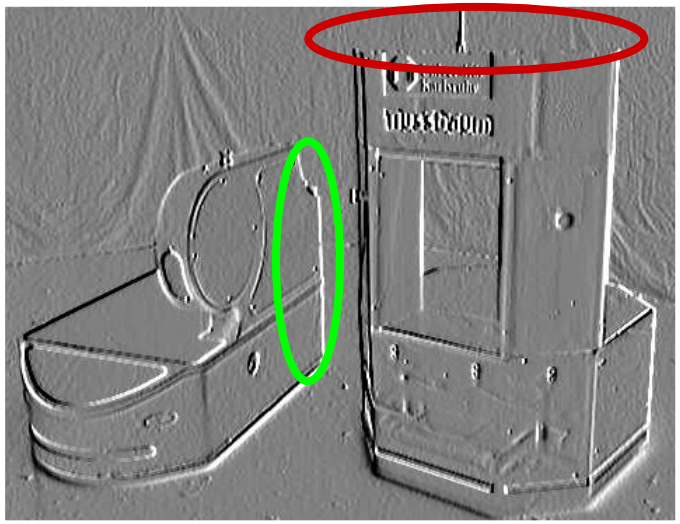
Vorlesung Kapitel 11 Folie 30

- **Prewitt-X Filter**

$$P_x = \frac{\partial g(x,y)}{\partial x}$$

  - Approximiert durch

$$p_x = \begin{pmatrix} -1 & 0 & 1 \\ -1 & 0 & 1 \\ -1 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

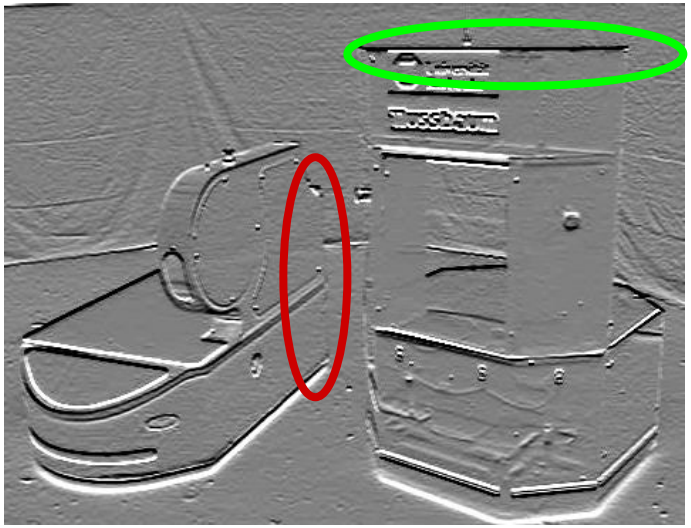


- **Prewitt-Y Filter**

$$P_y = \frac{\partial g(x,y)}{\partial y}$$

  - Approximiert durch

$$p_y = \begin{pmatrix} -1 & -1 & -1 \\ 0 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 1 \end{pmatrix}$$



- **Eigenschaften**:
  - Gute Ergebnisse bei Detektion von vertikalen bzw. horizontalen Kanten

Prewitt Filter

Gegeben sei das folgende Graustufenbild B

$$B = \begin{pmatrix} 20 & 20 & 20 & 20 & 40 & 40 & 40 & 40 & 30 & 30 & 30 \\ 20 & 20 & 20 & 20 & 40 & 40 & 40 & 40 & 30 & 30 & 30 \\ 20 & 20 & 20 & 20 & 40 & 40 & 40 & 40 & 30 & 30 & 30 \\ 50 & 50 & 50 & 50 & 50 & 50 & 50 & 50 & 20 & 20 & 20 \\ 20 & 50 & 50 & 50 & 50 & 50 & 50 & 50 & 20 & 20 & 20 \\ 20 & 20 & 50 & 50 & 50 & 50 & 50 & 50 & 20 & 20 & 20 \\ 20 & 20 & 20 & 50 & 50 & 50 & 50 & 50 & 20 & 20 & 20 \end{pmatrix}$$

- Berechnen Sie das Ergebnis der Filterung von B mit dem Prewitt-Kantenfilter in x-Richtung.

- Berechnen Sie das Ergebnis der Filterung von B mit dem Prewitt-Kantenfilter in x-Richtung.

Prewitt Filter

- $B_x(2,2) = -1\,B(1,1) + 0\,B(1,2) + 1\,B(1,3) - 1(B(2,1) + 0\,B(2,2) + 1\,B(2,3) - 1\,B(3,1) + 0\,B(3,2) + 1\,B(3,3)$

  $= -20 + 0 + 20 - 20 + 0 + 20 - 20 + 0 + 20$

  $= 0$

- $B_x(2,3) = -20 + 0 + 20 - 20 + 0 + 20 - 20 + 0 + 20 = 0$

- $B_x(2,4) = -20 + 0 + 40 - 20 + 0 + 40 - 20 + 0 + 40 = 60$

Prewitt Filter

- $B_x = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 60 & 60 & 0 & 0 & -30 & -30 & 0 \\ 0 & 0 & 40 & 40 & 0 & 0 & -50 & -50 & 0 \\ 30 & 0 & 20 & 20 & 0 & 0 & -70 & -70 & 0 \\ 60 & 30 & 0 & 0 & 0 & 0 & -90 & -90 & 0 \\ 60 & 60 & 30 & 0 & 0 & 0 & -90 & -90 & 0 \end{pmatrix}$

- $B_y = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 90 & 90 & 70 & 50 & 30 & 30 & 10 & -10 & -30 \\ 60 & 90 & 70 & 50 & 30 & 30 & 10 & -10 & -30 \\ -60 & -30 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -60 & -60 & -30 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}$

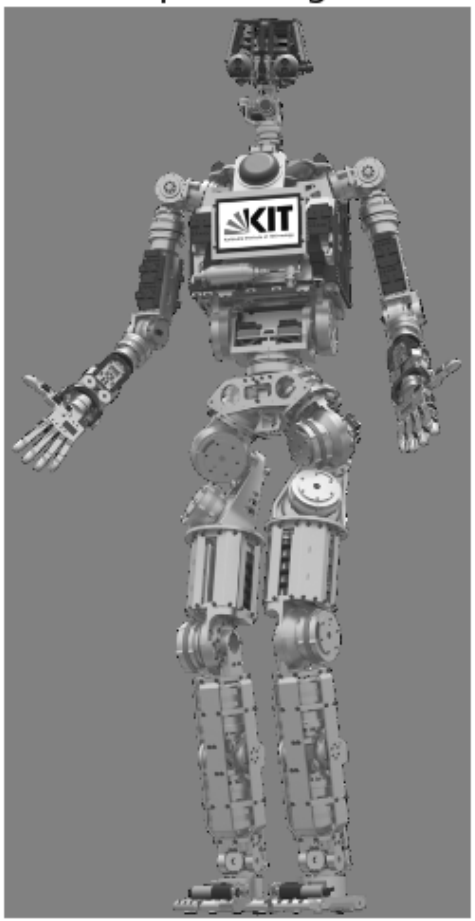
OpenCV Canny Edge Detection

```python
import cv2
from matplotlib import pyplot as plt

# cv2.CV_LOAD_IMAGE_GRAYSCALE = 0
gray_image = cv2.imread('armar-4.png', 0)

result_canny = cv2.Canny(gray_image, 100, 200)

fig, ax = plt.subplots(1, 2)
ax[0].imshow(gray_image, cmap='gray')
ax[0].set_title('input image')

ax[1].imshow(result_canny, cmap='gray')
ax[1].set_title('canny edge detection')
plt.show()
```

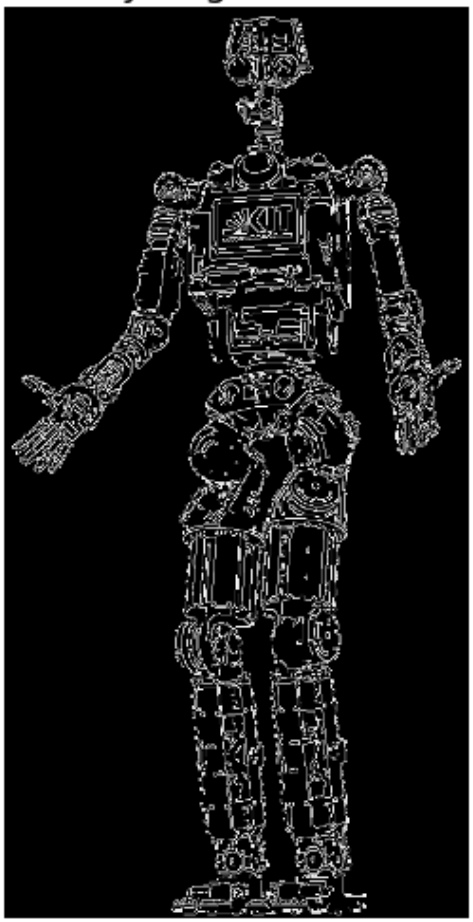
Nicht klausurrelevant

OpenCV Canny Edge Detection

input image



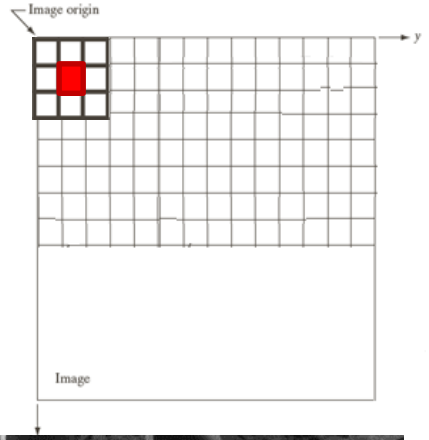
canny edge detection



Nicht klausurrelevant

Filteroperationen - Ränder

- Was passiert an den Ränder?
  - Konstanter Wert (**Constant**),
    z.B. 0: Bild wird an den Rändern auf 0 gesetzt.
  - Umschlingen (**Wrap**):
    Bild wird *„fortgesetzt“*



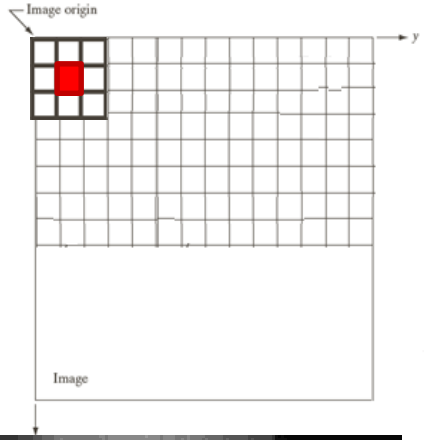
Constant

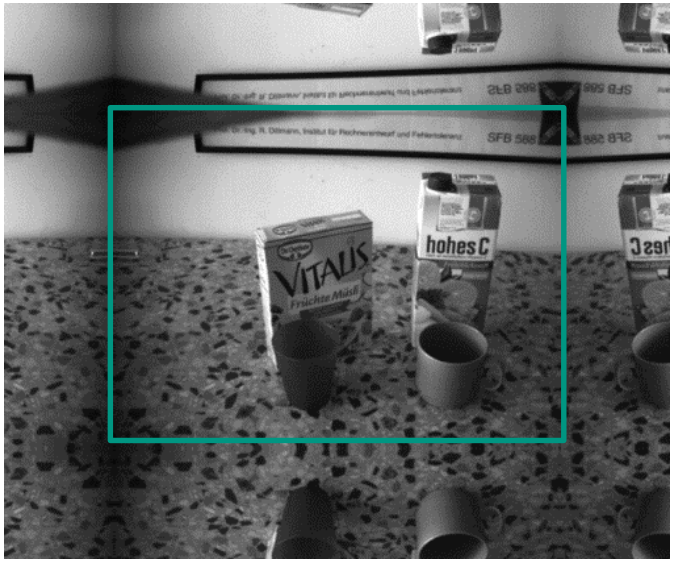
Wrap

Vorlesung Kapitel 11 Folie 53

Filteroperationen - Ränder

- Was passiert an den Ränder?
  - Spiegeln (**Mirror**, **Reflect**):
    Bild wird an den Rändern gespiegelt
  - Wiederholen (**Clamp**, **Replicate**):
    Nehme letzten Wert





Mirror

Clamp

Vorlesung Kapitel 11 Folie 54

Filteroperationen - Ränder

- Was passiert an den Ränder?
- Beispiel: ~~Median~~ Mittelwert Filter mit

$$\frac{1}{9}\begin{pmatrix}1 & 1 & 1\\ 1 & 1 & 1\\ 1 & 1 & 1\end{pmatrix}$$

- Eingabebild

$$\begin{pmatrix}30 & 60 & 90\\ 120 & 0 & 150\\ 180 & 210 & 240\end{pmatrix}$$

Filteroperationen - Ränder

Konstant:

$$\begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 30 & 60 & 90 & 0 \\ 0 & 120 & 0 & 150 & 0 \\ 0 & 180 & 210 & 240 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}$$

Ergebnis:

$$\frac{1}{9}\begin{pmatrix} 210 & 450 & 300 \\ 600 & 1080 & 750 \\ 510 & 900 & 600 \end{pmatrix}$$

Filteroperationen - Ränder

Wrap*:*

$$\begin{pmatrix} 240 & 180 & 210 & 240 & 180 \\ 90 & 30 & 60 & 90 & 30 \\ 150 & 120 & 0 & 150 & 120 \\ 240 & 180 & 210 & 240 & 180 \\ 90 & 30 & 60 & 90 & 30 \end{pmatrix}$$

Ergebnis:

$$\frac{1}{9}\begin{pmatrix} 1080 & 1080 & 1080 \\ 1080 & 1080 & 1080 \\ 1080 & 1080 & 1080 \end{pmatrix}$$

Filteroperationen - Ränder

Mirror/Clamp*:*

$$\begin{pmatrix} 30 & 30 & 60 & 90 & 90 \\ 30 & 30 & 60 & 90 & 90 \\ 120 & 120 & 0 & 150 & 150 \\ 180 & 180 & 210 & 240 & 240 \\ 180 & 180 & 210 & 240 & 240 \end{pmatrix}$$

Ergebnis:

$$\frac{1}{9}\begin{pmatrix} 480 & 630 & 780 \\ 930 & 1080 & 1230 \\ 1380 & 1530 & 1680 \end{pmatrix}$$

Filteroperationen - Ränder

Ignorieren:

$$\begin{pmatrix} 30 & 60 & 90 \\ 120 & 0 & 150 \\ 180 & 210 & 240 \end{pmatrix}$$

Ergebnis:

$$\frac{1}{9}\begin{pmatrix} X & X & X \\ X & 1080 & X \\ X & X & X \end{pmatrix}$$

- Aufgabe 1

  Farbrepräsentation

- Aufgabe 3

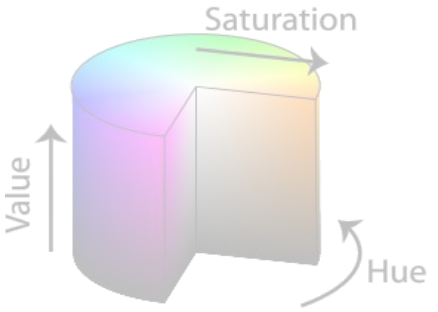
  Kameramodell

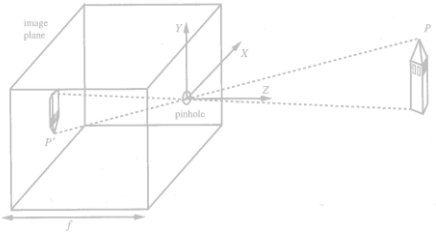
- Aufgabe 2

  Filter in der Bildverarbeitung

- **Aufgabe 4**

  Morphologische Operatoren





Morphologische Operatoren: Öffnen & Schließen

Öffnen:

- Anwendung von Erosion danach Dilatation
- Entfernt dünne Stege oder kleine außenliegende Objekte

Schließen:

- Anwendung von Dilatation danach Erosion
- Überbrückung kleiner Distanzen und Schließung von inneren Löchern

Vorlesung Kapitel 11 Folie 98

Morphologische Operatoren

- Gegeben sei das folgende Graustufenbild:

$$\begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & 255 & 255 & 255 & 255 & 255 \\ 0 & 0 & 0 & 255 & 255 & 255 & 255 & 255 \\ 0 & 255 & 255 & 255 & 255 & 255 & 255 & 255 \\ 0 & 255 & 255 & 255 & 255 & 255 & 255 & 255 \\ 0 & 0 & 0 & 255 & 255 & 255 & 255 & 255 \\ 0 & 0 & 0 & 255 & 255 & 255 & 255 & 255 \end{pmatrix}$$

- sowie das strukturierende Element

$$\begin{pmatrix} 255 & 255 & 255 \\ 255 & 255 & 255 \\ 255 & 255 & 255 \end{pmatrix}$$

$$\begin{pmatrix} 0 & 255 & 0 \\ 255 & 255 & 255 \\ 0 & 255 & 0 \end{pmatrix}$$

- Wenden Sie den morphologischen Operator *Öffnen* auf das Eingabebild an. Ignorieren Sie im Ergebnisbild die Randpixel

Morphologische Operatoren: Erosion

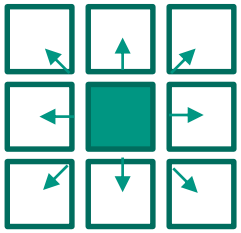
- Alle Werte auf 0 setzen.
- Teilergebnis
- $$\begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}$$

Algorithmus 20 Erosion$(I, n) \rightarrow I'$

```
k := div((n − 1), 2)
for all pixels (u, v) in I' do
    I'(u, v) := 0
end for
for v := k to h − k − 1 do
    for u := k to w − k − 1 do
        if I(u, v) = q then
            for i := −k to k do
                for j := −k to k do
                    if I(u + j, v + i) ≠ q then
                        goto NEXT
                    end if
                end for
            end for
            I'(u, v) = q
            NEXT:
        end if
    end for
end for
```

Morphologische Operatoren: Erosion

- Nachbarumgebungen prüfen
- Strukturierendes Element definiert dabei die Umgebung.
- Im Algorithmus vereinfachtes Modell



Algorithmus 20 Erosion$(I, n) \rightarrow I'$

```
k := div((n − 1), 2)
for all pixels (u, v) in I' do
  I'(u, v) := 0
end for
for v := k to h − k − 1 do
  for u := k to w − k − 1 do
    if I(u, v) = q then
      for i := −k to k do
        for j := −k to k do
          if I(u + j, v + i) ≠ q then
            goto NEXT
          end if
        end for
      end for
      I'(u, v) = q
      NEXT:
    end if
  end for
end for
```

Morphologische Operatoren: Erosion

- Eingabebild:

$$\begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & 255 & 255 & 255 & 255 & 255 \\ 0 & \mathbf{0} & 0 & 255 & 255 & 255 & 255 & 255 \\ 0 & 255 & 255 & 255 & 255 & 255 & 255 & 255 \\ 0 & 255 & 255 & 255 & 255 & 255 & 255 & 255 \\ 0 & 0 & 0 & 255 & 255 & 255 & 255 & 255 \\ 0 & 0 & 0 & 255 & 255 & 255 & 255 & 255 \end{pmatrix}$$

- Zwischenergebnis nach der ersten Iteration:

$$\begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \mathbf{0} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}$$

Morphologische Operatoren: Erosion

- Eingabebild:

$$\begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & 255 & 255 & 255 & 255 & 255 \\ 0 & 0 & \mathbf{0} & 255 & 255 & 255 & 255 & 255 \\ 0 & 255 & 255 & 255 & 255 & 255 & 255 & 255 \\ 0 & 255 & 255 & 255 & 255 & 255 & 255 & 255 \\ 0 & 0 & 0 & 255 & 255 & 255 & 255 & 255 \\ 0 & 0 & 0 & 255 & 255 & 255 & 255 & 255 \end{pmatrix}$$

- Zwischenergebnis nach der zweiten Iteration:

$$\begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \mathbf{0} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}$$

Morphologische Operatoren: Erosion

- Eingabebild:

$$\begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & 255 & 255 & 255 & 255 & 255 \\ 0 & 0 & 0 & \mathbf{255} & 255 & 255 & 255 & 255 \\ 0 & 255 & 255 & 255 & 255 & 255 & 255 & 255 \\ 0 & 255 & 255 & 255 & 255 & 255 & 255 & 255 \\ 0 & 0 & 0 & 255 & 255 & 255 & 255 & 255 \\ 0 & 0 & 0 & 255 & 255 & 255 & 255 & 255 \end{pmatrix}$$

- Zwischenergebnis nach der dritten Iteration:

$$\begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \mathbf{0} & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}$$

Morphologische Operatoren: Erosion

- Eingabebild:

$$\begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & 255 & 255 & 255 & 255 & 255 \\ 0 & 0 & 0 & 255 & \mathbf{255} & 255 & 255 & 255 \\ 0 & 255 & 255 & 255 & 255 & 255 & 255 & 255 \\ 0 & 255 & 255 & 255 & 255 & 255 & 255 & 255 \\ 0 & 0 & 0 & 255 & 255 & 255 & 255 & 255 \\ 0 & 0 & 0 & 255 & 255 & 255 & 255 & 255 \end{pmatrix}$$

- Zwischenergebnis nach der vierten Iteration:

$$\begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \mathbf{255} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}$$

Morphologische Operatoren: Erosion

- Eingabebild:

$$\begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & 255 & 255 & 255 & 255 & 255 \\ 0 & 0 & 0 & 255 & 255 & 255 & 255 & 255 \\ 0 & 255 & 255 & 255 & 255 & 255 & 255 & 255 \\ 0 & 255 & 255 & 255 & 255 & 255 & 255 & 255 \\ 0 & 0 & 0 & 255 & 255 & 255 & 255 & 255 \\ 0 & 0 & 0 & 255 & 255 & 255 & 255 & 255 \end{pmatrix}$$

- Ergebnis:

$$\begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 255 & 255 & 255 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 255 & 255 & 255 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 255 & 255 & 255 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 255 & 255 & 255 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}$$

Morphologische Operatoren: Öffnen

- Öffnen = Erosion dann Dilatation
- Eingabebild:

$$\begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & 255 & 255 & 255 \\ 0 & 0 & 0 & 255 & 255 & 255 \\ 0 & 0 & 0 & 255 & 255 & 255 \\ 0 & 0 & 0 & 255 & 255 & 255 \end{pmatrix}$$

- Ergebnis:

$$\begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 255 & 255 & 255 & 0 \\ 0 & 0 & 255 & 255 & 255 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}$$

Morphologische Operatoren: Dilatation

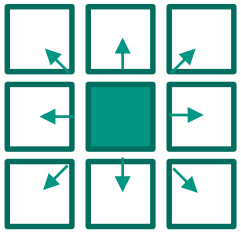
- Alle Werte auf 0 setzen.
- Teilergebnis
- $$\begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}$$

Algorithmus 19 Dilatation$(I, n) \rightarrow I'$

```
k := div((n − 1), 2)
for all pixels (u, v) in I' do
    I'(u, v) := 0
end for
for v := k to h − k − 1 do
    for u := k to w − k − 1 do
        if I(u, v) = q then
            for i := −k to k do
                for j := −k to k do
                    I'(u + j, v + i) = q
                end for
            end for
        end if
    end for
end for
```

Morphologische Operatoren: Dilatation

- Analog zur Erosion
- Nachbarumgebungen prüfen
- Strukturierendes Element definiert dabei die Umgebung.
- Im Algorithmus vereinfachtes Modell



Algorithmus 19 Dilatation$(I, n) \rightarrow I'$

```
k := div((n − 1), 2)
for all pixels (u, v) in I' do
    I'(u, v) := 0
end for
for v := k to h − k − 1 do
    for u := k to w − k − 1 do
        if I(u, v) = q then
            for i := −k to k do
                for j := −k to k do
                    I'(u + j, v + i) = q
                end for
            end for
        end if
    end for
end for
```

Morphologische Operatoren: Öffnen

- Öffnen = Erosion dann Dilatation
- Eingabebild:

$$\begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & 255 & 255 & 255 \\ 0 & \mathbf{0} & 0 & 255 & 255 & 255 \\ 0 & 0 & 0 & 255 & 255 & 255 \\ 0 & 0 & 0 & 255 & 255 & 255 \end{pmatrix}$$

- Zwischenergebnis nach der ersten Iteration:

$$\begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \mathbf{0} & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}$$

Morphologische Operatoren: Öffnen

- Öffnen = Erosion dann Dilatation
- Eingabebild:

$$\begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & 255 & 255 & 255 \\ 0 & 0 & \mathbf{0} & 255 & 255 & 255 \\ 0 & 0 & 0 & 255 & 255 & 255 \\ 0 & 0 & 0 & 255 & 255 & 255 \end{pmatrix}$$

- Zwischenergebnis nach der zweiten Iteration:

$$\begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \mathbf{255} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}$$

Morphologische Operatoren: Öffnen

- Öffnen = Erosion dann Dilatation
- Eingabebild: $\begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & 255 & 255 & 255 \\ 0 & 0 & 0 & 255 & 255 & 255 \\ 0 & 0 & 0 & 255 & 255 & 255 \\ 0 & 0 & 0 & 255 & 255 & 255 \end{pmatrix}$
- Ergebnis:

$$\begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 255 & 255 & 255 & 0 \\ 0 & 0 & 255 & 255 & 255 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}$$

OpenCV Morphologische Operatoren

```
gray_image = cv2.imread('hand_segmented.png', 0)
```

```
kernel = np.ones((10, 10), dtype=np.uint8) * 255
result_image = cv2.morphologyEx(src, cv2.MORPH_OPEN, kernel)
```

```
plt.imshow(result_image, cmap='gray')
plt.show()
```

Nicht klausurrelevant