03-MB-709.03

Echtzeitbildverarbeitung (5)

Prof. Dr. Udo Frese

Faltungsoperationen

Linien- bzw. Kantendetektion

Was bisher geschah

- **k-D Baum für m-Nearest Neighbour Farbsegmentierung**
  - Klassifiziere eine Farbe gemäß der absoluten Mehrheit der m nächsten Trainingsvektoren (oder weise sie zurück)
  - Bilde Binärbaum der entlang abwechselnder Dimensionen jeweils halbiert (Aufbau mit Sortieren, Median und Rekursion)
  - Suche rekursiv, steige zuerst in die nähere Hälfte ab, dann in die fernere, falls der m-t nächste bisher gefundene weiter entfernt ist als die Grenze
- **Tabelliere das Ergebnis der Klassifikation für alle Farben**
- **Vermeide Tabelle größer als Cache, dann lieber etwas rechnen**
- **Bildverarbeitung GermanTeam im Sony Four-legged RoboCup**
  - Tabellenbasierte Farbsegmentierung als Basis
  - Projektion auf den Boden durch bekannte Kamerapose
  - Lokalisation mit Partikelfiltern
  - Viele spezielle Tricks um Effizienz und Robustheit zu verbessern

Faltungsoperationen

Faltungsoperationen

Pixel mit seinen Nachbarn verknüpfen

- **Bisher: Pixel alleine (Schwellwert / Farbsegmentierung)**
- **Jetzt: Ein Pixel und seine Nachbarn**
  - ein Hilfsbild ausrechnen
  - Pixel im Hilfsbild hängt von Nachbarn im Originalbild ab
  - im Hilfsbild Pixel einzeln betrachten
- **Allgemeine Erfahrung:**
  Lineare Operationen sind
  - strukturiert
  - leicht zu verstehen
  - oft die Basis nichtlinearer Operationen

Faltungsoperationen

Lineare Abbildung von Bildern

- **Axiome:**
  - $f(i_1+i_2) = f(i_1)+f(i_2)$
  - $f(\lambda i)=\lambda f(i)$
- **Ergebnispixel $f(i)_{x',y'}$ ist gewichtete Summe der Eingangspixel $i_{x,y}$.**

$$f(i)_{x',y'} = \sum_{x,y} \alpha_{x,y,x',y'} i_{x,y}$$

- **zu allgemein, weil für 1024×768 Bild $(1024 \cdot 768)^2 = 6.2 \cdot 10^{11}$ Koeffizienten α**
- **Axiom: Translationsinvariant**
  - f(Trans(i)) = Trans(f(i))
- **Wirkt an jedem Pixel gleich.**
- **Koeffizient $\alpha_{x,y,x',y'}$ hängt nur von der Relativposition x'-x, y'-y ab.**

$$\alpha_{x,y,x',y'} = \alpha_{x'-x,y'-y}$$

$$f(i)_{x',y'} = \sum_{x,y} \alpha_{x'-x,y'-y} i_{x,y}$$

Faltungsoperationen

Lineare Abbildung von Bildern

- **Faltung, Konvolution, Operator ***
- **α Filter, Filterkern oder Faltungsmaske**
- **Filter α ist wie ein Bild,**
- *** verknüpft Bilder**
  - kommutativ
  - assoziativ
- **Oft ist α lokal**
  - 0 für große x'-x, y'-y
  - Ergebnispixel wir nur von kleiner Nachbarschaft des Eingangspixels beeinflusst

$$f(i) = \alpha * i$$

$$(\alpha * i)_{x',y'} = \sum_{x,y} \alpha_{x'-x,y'-y} i_{x,y}$$

Faltungsoperationen

$$(\alpha * i)_{x',y'} = \sum_{x,y} \alpha_{x'-x,y'-y} i_{x,y}$$

Intuitive Bedeutung der Faltung

- in einem einzelnen Pixel
- Bedeutung der Summe
- α wird *punkt-gespiegelt* mit (0,0) über $i_{x',y'}$ gelegt, multipliziert und summiert

1	0	2
0	0	0
1	0	2

*

6	6	6	6	0	0	0
6	6	6	6	0	0	0
6	6	6	6	0	0	0
6	6	6	6	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0

=

Faltungsoperationen

$$(\alpha * i)_{x',y'} = \sum_{x,y} \alpha_{x'-x,y'-y} i_{x,y}$$

$$\sum \begin{bmatrix} 2\cdot 6 & 0\cdot 6 & 1\cdot 0 \\ 0\cdot 6 & 0\cdot 6 & 0\cdot 0 \\ 2\cdot 6 & 0\cdot 6 & 1\cdot 0 \end{bmatrix}$$

12+…

$\alpha_{1,1}$

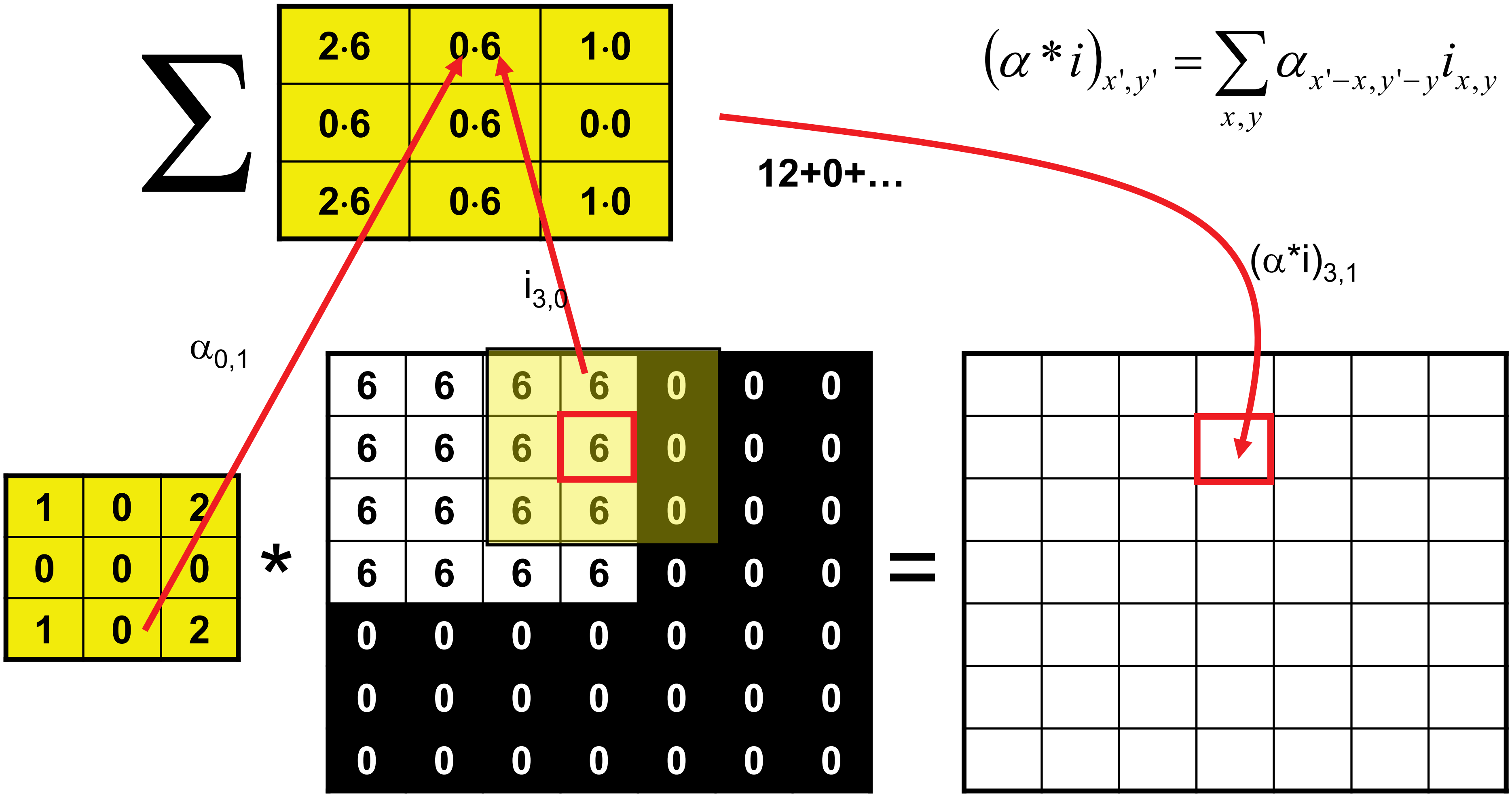
$i_{2,0}$

$(\alpha * i)_{3,1}$

$$\begin{bmatrix} 1 & 0 & 2 \\ 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 2 \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} 6 & 6 & 6 & 6 & 0 & 0 & 0 \\ 6 & 6 & 6 & \boxed{6} & 0 & 0 & 0 \\ 6 & 6 & 6 & 6 & 0 & 0 & 0 \\ 6 & 6 & 6 & 6 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \, & \, & \, & \, & \, & \, & \, \\ \, & \, & \, & \boxed{\,} & \, & \, & \, \\ \, & \, & \, & \, & \, & \, & \, \\ \, & \, & \, & \, & \, & \, & \, \\ \, & \, & \, & \, & \, & \, & \, \\ \, & \, & \, & \, & \, & \, & \, \\ \, & \, & \, & \, & \, & \, & \, \end{bmatrix}$$

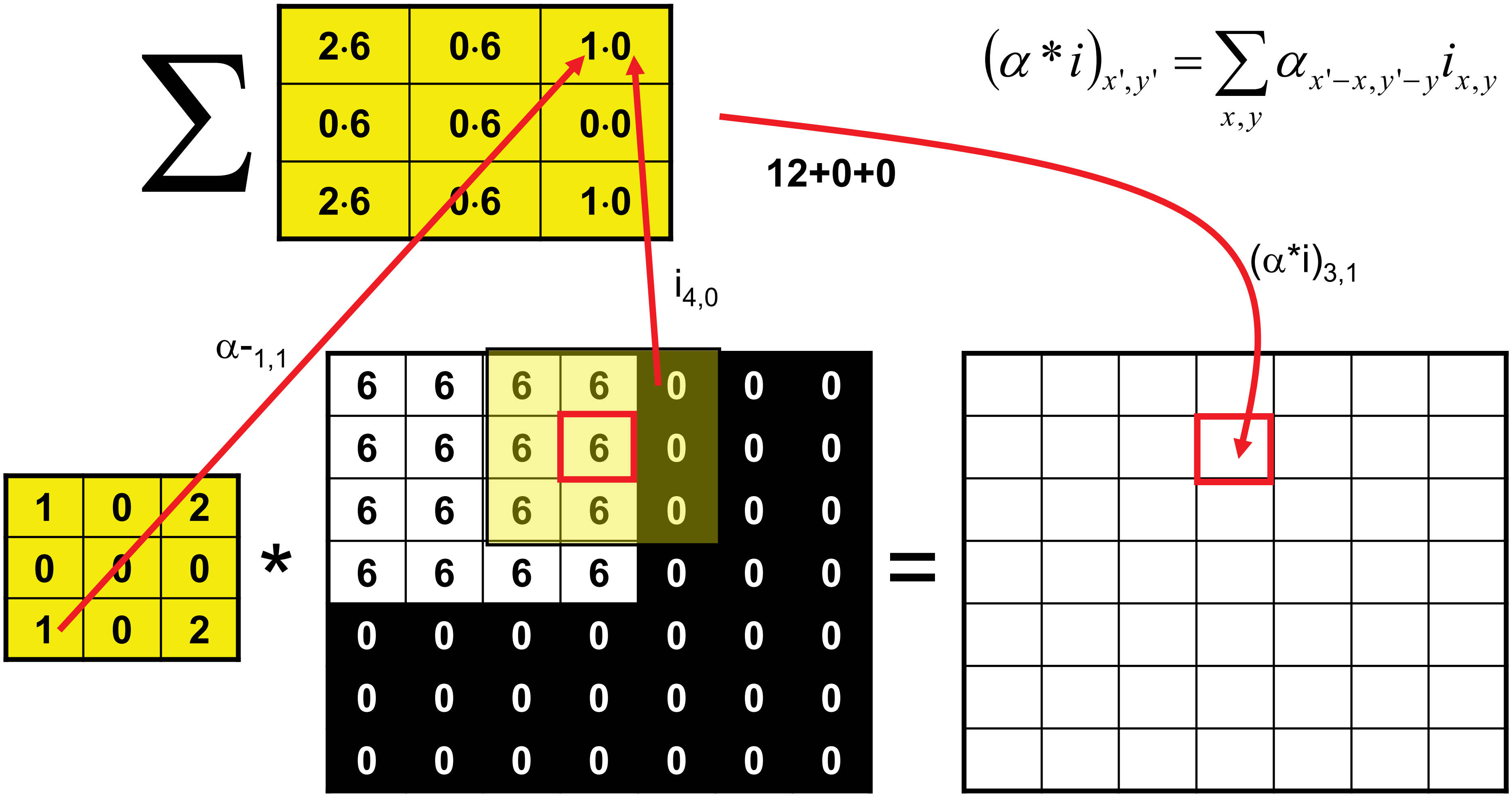
Faltungsoperationen

$$(\alpha * i)_{x',y'} = \sum_{x,y} \alpha_{x'-x,y'-y} i_{x,y}$$



Faltungsoperationen

$$(\alpha * i)_{x',y'} = \sum_{x,y} \alpha_{x'-x,y'-y} i_{x,y}$$



Faltungsoperationen

$$(\alpha * i)_{x',y'} = \sum_{x,y} \alpha_{x'-x,y'-y} i_{x,y}$$

$\sum$

2·6	0·6	1·0
0·6	0·6	0·0
2·6	0·6	1·0

12+0+0+0+0+0+12+0+0

$(\alpha{*}i)_{3,1}$

1	0	2
0	0	0
1	0	2

$*$

6	6	6	6	0	0	0
6	6	6	$\boxed{6}$	0	0	0
6	6	6	6	0	0	0
6	6	6	6	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0

$=$

			$\boxed{24}$			

Faltungsoperationen

$$(\alpha * i)_{x',y'} = \sum_{x,y} \alpha_{x'-x,y'-y} \, i_{x,y}$$

Intuitive Bedeutung der Faltung

- des ganzen Ergebnisbildes

1	0	2
0	0	0
1	0	2

*

6	6	6	6	0	0	0
6	6	6	6	0	0	0
6	6	6	6	0	0	0
6	6	6	6	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0

=

Faltungsoperationen

$$(\alpha * i)_{x',y'} = \sum_{x,y} \alpha_{x'-x,y'-y} i_{x,y}$$

$\sum$

0·?	1/6·?	0·?
1/6·?	2/6·6	1/6·6
0·?	1/6·6	0·6

$(\alpha * i)_{0,0}$

0	1/6	0
1/6	2/6	1/6
0	1/6	0

*

6	6	6	6	0	0	0
6	6	6	6	0	0	0
6	6	6	6	0	0	0
6	6	6	6	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0

=

?						

Faltungsoperationen

$$(\alpha * i)_{x',y'} = \sum_{x,y} \alpha_{x'-x,y'-y}\, i_{x,y}$$

$$\sum \begin{bmatrix} 0\cdot ? & 1/6\cdot ? & 0\cdot ? \\ 1/6\cdot 6 & 2/6\cdot 6 & 1/6\cdot 6 \\ 0\cdot 6 & 1/6\cdot 6 & 0\cdot 6 \end{bmatrix} \rightarrow (\alpha * i)_{1,0}$$

$$\begin{bmatrix} 0 & 1/6 & 0 \\ 1/6 & 2/6 & 1/6 \\ 0 & 1/6 & 0 \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} 6 & \boxed{6} & 6 & 6 & 0 & 0 & 0 \\ 6 & 6 & 6 & 6 & 0 & 0 & 0 \\ 6 & 6 & 6 & 6 & 0 & 0 & 0 \\ 6 & 6 & 6 & 6 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} ? & ? & & & & & \\ & & & & & & \\ & & & & & & \\ & & & & & & \\ & & & & & & \\ & & & & & & \\ & & & & & & \end{bmatrix}$$

Faltungsoperationen

$$(\alpha * i)_{x',y'} = \sum_{x,y} \alpha_{x'-x,y'-y}\, i_{x,y}$$

$$\sum \begin{bmatrix} 0\cdot6 & 1/6\cdot6 & 0\cdot6 \\ 1/6\cdot6 & 2/6\cdot6 & 1/6\cdot6 \\ 0\cdot6 & 1/6\cdot6 & 0\cdot6 \end{bmatrix}$$

$(\alpha^* i)_{1,1}$

$$\begin{bmatrix} 0 & 1/6 & 0 \\ 1/6 & 2/6 & 1/6 \\ 0 & 1/6 & 0 \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} 6 & 6 & 6 & 6 & 0 & 0 & 0 \\ 6 & \boxed{6} & 6 & 6 & 0 & 0 & 0 \\ 6 & 6 & 6 & 6 & 0 & 0 & 0 \\ 6 & 6 & 6 & 6 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} ? & ? & ? & ? & ? & ? & ? \\ ? & 6 & & & & & \\ & & & & & & \\ & & & & & & \\ & & & & & & \\ & & & & & & \\ & & & & & & \end{bmatrix}$$

Faltungsoperationen

$$(\alpha * i)_{x',y'} = \sum_{x,y} \alpha_{x'-x,y'-y} i_{x,y}$$

$\sum$

0·6	1/6·6	0·6
1/6·6	2/6·6	1/6·6
0·6	1/6·6	0·6

$(\alpha^* i)_{2,1}$

0	1/6	0
1/6	2/6	1/6
0	1/6	0

*

6	6	6	6	0	0	0
6	6	6	6	0	0	0
6	6	6	6	0	0	0
6	6	6	6	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0

=

?	?	?	?	?	?	?
?	6	6				

Faltungsoperationen

$$(\alpha * i)_{x',y'} = \sum_{x,y} \alpha_{x'-x,y'-y} i_{x,y}$$

$\sum$

0·6	1/6·6	0·0
1/6·6	2/6·6	1/6·0
0·6	1/6·6	0·0

$(\alpha * i)_{4,1}$

0	1/6	0
1/6	2/6	1/6
0	1/6	0

*

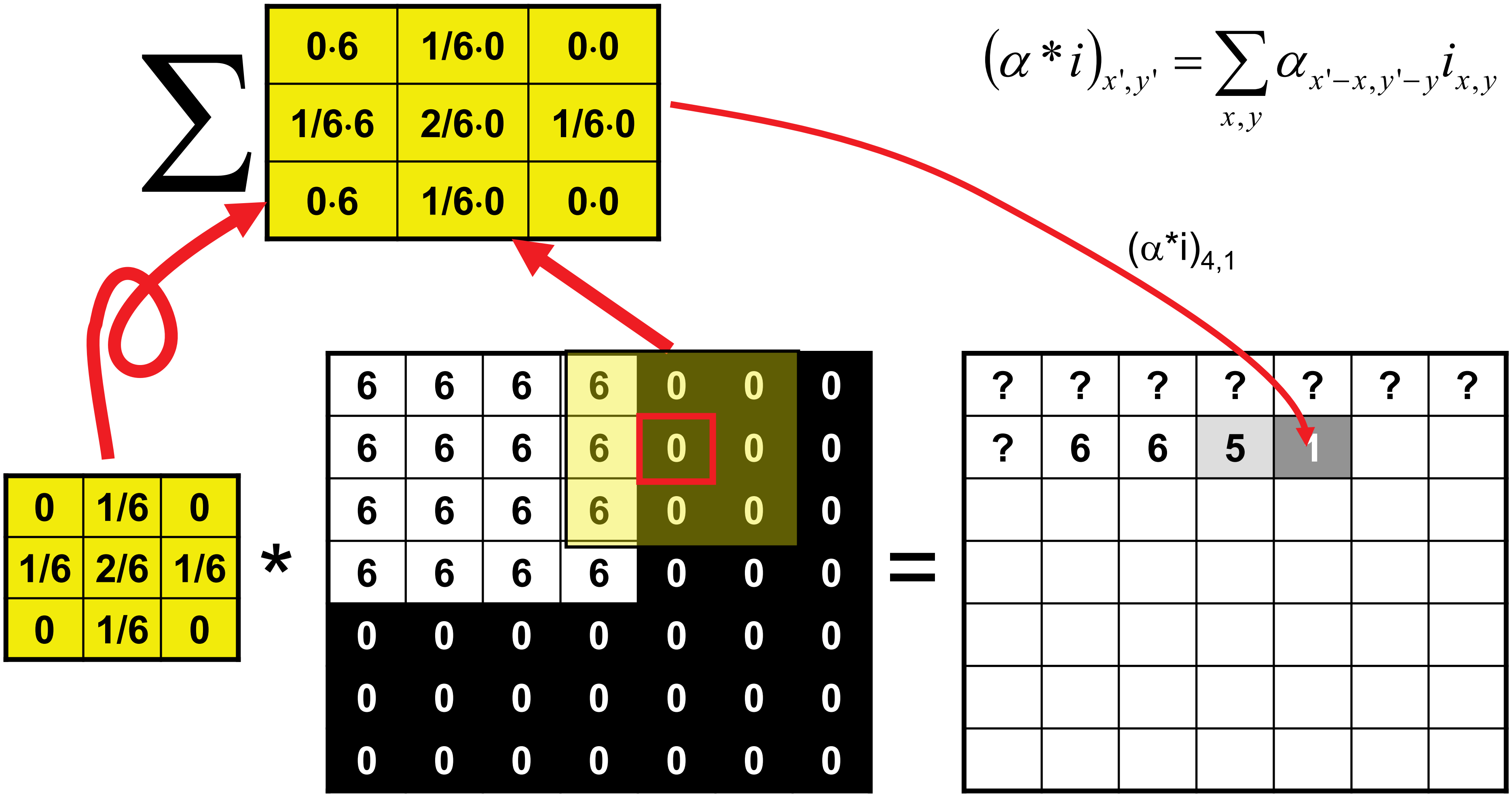
6	6	6	6	0	0	0
6	6	6	6	0	0	0
6	6	6	6	0	0	0
6	6	6	6	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0

=

?	?	?	?	?	?	?
?	6	6	5			

Faltungsoperationen

$$(\alpha * i)_{x',y'} = \sum_{x,y} \alpha_{x'-x,y'-y} i_{x,y}$$



Faltungsoperationen

$$(\alpha * i)_{x',y'} = \sum_{x,y} \alpha_{x'-x,y'-y}\, i_{x,y}$$

$\sum$

0·0	1/6·0	0·0
1/6·0	2/6·0	1/6·0
0·0	1/6·0	0·0

$(\alpha*i)_{5,1}$

0	1/6	0
1/6	2/6	1/6
0	1/6	0

*

6	6	6	6	0	0	0
6	6	6	6	0	0	0
6	6	6	6	0	0	0
6	6	6	6	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0

=

?	?	?	?	?	?	?
?	6	6	5	1	0	

Faltungsoperationen

- **Frage an das Auditorium: Wie würde man sprachlich die Wirkung des Filters beschreiben?**

0	1/6	0
1/6	2/6	1/6
0	1/6	0

*

6	6	6	6	0	0	0
6	6	6	6	0	0	0
6	6	6	6	0	0	0
6	6	6	6	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0

=

?	?	?	?	?	?	?
?	6	6	5	1	0	?
?	6	6	5	1	0	?
?	5	5	4	1	0	?
?	1	1	1	0	0	?
?	0	0	0	0	0	?
?	?	?	?	?	?	?

Faltungsoperationen

- **Frage an das Auditorium: Wie würde man sprachlich die Wirkung des Filters beschreiben?**
- **Das Bild wird geglättet oder verwischt oder unscharf.**

0	1/6	0
1/6	2/6	1/6
0	1/6	0

*

6	6	6	6	0	0	0
6	6	6	6	0	0	0
6	6	6	6	0	0	0
6	6	6	6	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0

=

?	?	?	?	?	?	?
?	6	6	5	1	0	?
?	6	6	5	1	0	?
?	5	5	4	1	0	?
?	1	1	1	0	0	?
?	0	0	0	0	0	?
?	?	?	?	?	?	?

Faltungsoperationen

Ein anderer Filter

$$\sum \begin{bmatrix} 0\cdot 6 & 0\cdot 6 & 0\cdot 0 \\ 0\cdot 6 & -1/2\cdot 6 & 1/2\cdot 0 \\ 0\cdot 6 & 0\cdot 6 & 0\cdot 0 \end{bmatrix}$$

$(\alpha{*}i)_{1,1}$

$$\begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 1/2 & -1/2 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} 6 & 6 & 6 & 6 & 0 & 0 & 0 \\ 6 & \boxed{6} & 6 & 6 & 0 & 0 & 0 \\ 6 & 6 & 6 & 6 & 0 & 0 & 0 \\ 6 & 6 & 6 & 6 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} ? & ? & ? & ? & ? & ? & ? \\ ? & 0 & & & & & \\ & & & & & & \\ & & & & & & \\ & & & & & & \\ & & & & & & \\ & & & & & & \end{bmatrix}$$

Faltungsoperationen

$$\sum$$

0·6	0·6	0·0
0·6	-1/2·6	1/2·0
0·6	0·6	0·0

0	0	0
1/2	-1/2	0
0	0	0

*

6	6	6	6	0	0	0
6	6	6	6	0	0	0
6	6	6	6	0	0	0
6	6	6	6	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				

$(\alpha * i)_{2,1}$

Faltungsoperationen

$$\sum \begin{bmatrix} 0\cdot 6 & 0\cdot 6 & 0\cdot 0 \\ 0\cdot 6 & -1/2\cdot 6 & 1/2\cdot 0 \\ 0\cdot 6 & 0\cdot 6 & 0\cdot 0 \end{bmatrix} \xrightarrow{(\alpha * i)_{3,1}}$$

$$\begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 1/2 & -1/2 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} 6 & 6 & 6 & 6 & 0 & 0 & 0 \\ 6 & 6 & 6 & \boxed{6} & 0 & 0 & 0 \\ 6 & 6 & 6 & 6 & 0 & 0 & 0 \\ 6 & 6 & 6 & 6 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} ? & ? & ? & ? & ? & ? & ? \\ ? & 0 & 0 & -3 & & & \\ & & & & & & \\ & & & & & & \\ & & & & & & \\ & & & & & & \\ & & & & & & \end{bmatrix}$$

Faltungsoperationen

$$\sum \begin{bmatrix} 0\cdot 6 & 0\cdot 6 & 0\cdot 0 \\ 0\cdot 6 & -1/2\cdot 6 & 1/2\cdot 0 \\ 0\cdot 6 & 0\cdot 6 & 0\cdot 0 \end{bmatrix}$$

Verschiebung des Wertebereiches um negative Ergebnisse zu vermeiden.

$(\alpha * i)_{3,1}$

$+3$

$$\begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 1/2 & -1/2 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} 6 & 6 & 6 & 6 & 0 & 0 & 0 \\ 6 & 6 & 6 & \boxed{6} & 0 & 0 & 0 \\ 6 & 6 & 6 & 6 & 0 & 0 & 0 \\ 6 & 6 & 6 & 6 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} ? & ? & ? & ? & ? & ? & ? \\ ? & 3 & 3 & 0 & & & \\ & & & & & & \\ & & & & & & \\ & & & & & & \\ & & & & & & \\ & & & & & & \end{bmatrix}$$

Faltungsoperationen

- **Frage an das Auditorium: Wie würde man sprachlich die Wirkung des Filters beschreiben?**

$$
\boxed{+3}\;\begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 1/2 & -1/2 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} 6 & 6 & 6 & 6 & 0 & 0 & 0 \\ 6 & 6 & 6 & 6 & 0 & 0 & 0 \\ 6 & 6 & 6 & 6 & 0 & 0 & 0 \\ 6 & 6 & 6 & 6 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} ? & ? & ? & ? & ? & ? & ? \\ ? & 3 & 3 & 3 & 0 & 3 & ? \\ ? & 3 & 3 & 3 & 0 & 3 & ? \\ ? & 3 & 3 & 3 & 0 & 3 & ? \\ ? & 3 & 3 & 3 & 3 & 3 & ? \\ ? & 3 & 3 & 3 & 3 & 3 & ? \\ ? & ? & ? & ? & ? & ? & ? \end{bmatrix}
$$

Faltungsoperationen

- **Frage an das Auditorium: Wie würde man sprachlich die Wirkung des Filters beschreiben?**
- **Vertikale Kanten werden erkannt.**

+3

0	0	0
1/2	-1/2	0
0	0	0

*

6	6	6	6	0	0	0
6	6	6	6	0	0	0
6	6	6	6	0	0	0
6	6	6	6	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	0	3	?
?	3	3	3	0	3	?
?	3	3	3	0	3	?
?	3	3	3	3	3	?
?	3	3	3	3	3	?
?	?	?	?	?	?	?

- **Frage an das Auditorium: Welches Bild gehört zu welchem Filter?**

0	0	1/28	0	0
0	2/28	3/28	2/28	0
1/28	3/28	4/28	3/28	1/28
0	2/28	3/28	2/28	0
0	0	1/28	0	0

+128

-1	-1	-1
0	0	0
1	1	1

+128

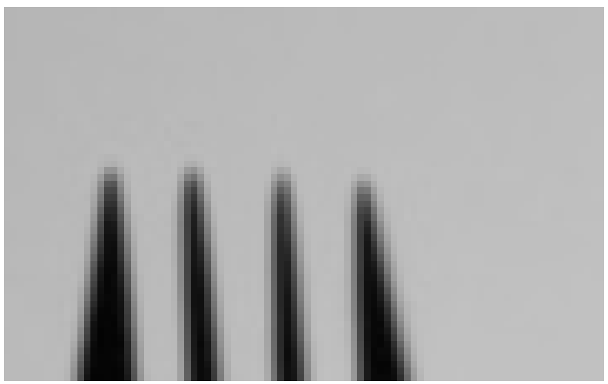
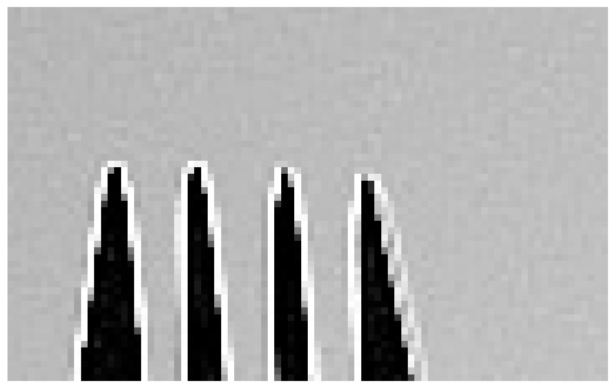
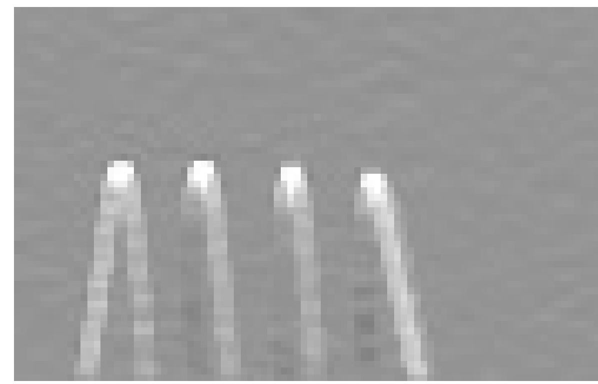
-1	0	1
-1	0	1
-1	0	1

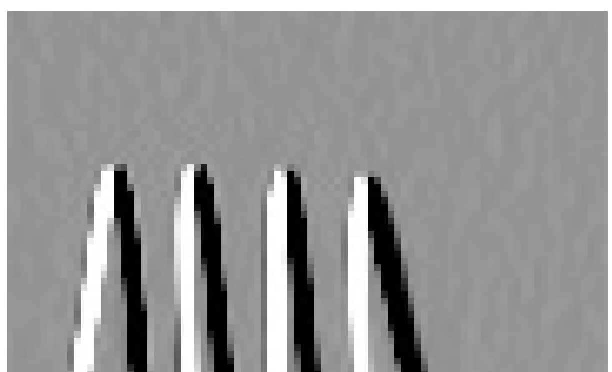
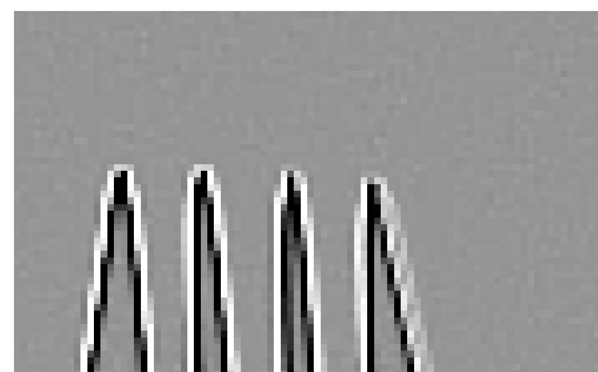
0	1/8	0
1/8	4/8	1/8
0	1/8	0

+128

-1/2	-1/2	-1/2
-1/2	8/2	-1/2
-1/2	-1/2	-1/2

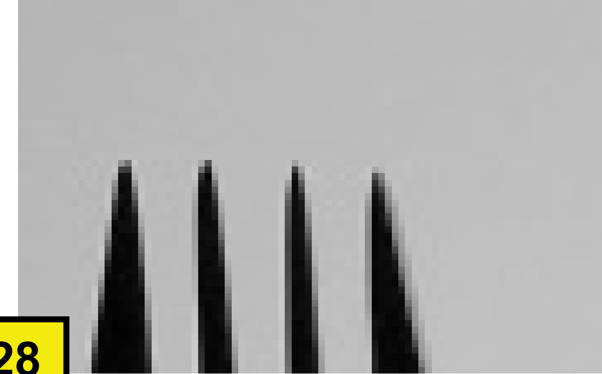
-1/2	-1/2	-1/2
-1/2	10/2	-1/2
-1/2	-1/2	-1/2

- **Frage an das Auditorium: Welches Bild gehört zu welchem Filter?**

0	0	1/28	0	0
0	2/28	3/28	2/28	0
1/28	3/28	4/28	3/28	1/28
0	2/28	3/28	2/28	0
0	0	1/28	0	0



+128

-1	-1	-1
0	0	0
1	1	1

+128

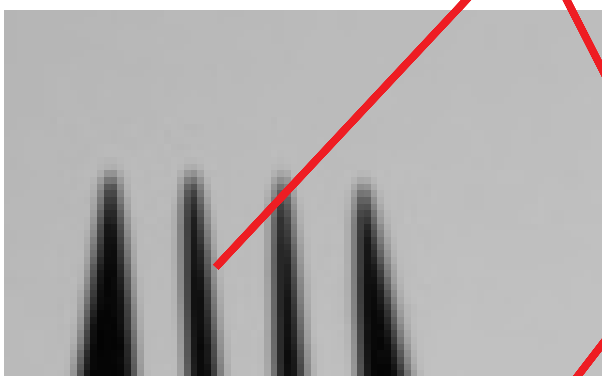
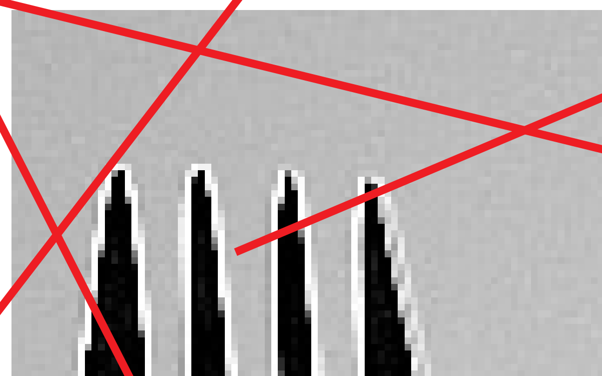
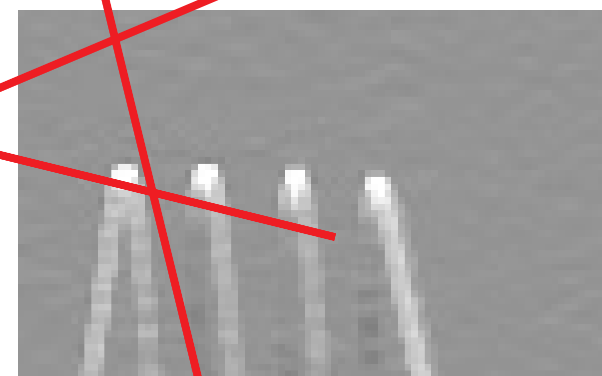
-1	0	1
-1	0	1
-1	0	1

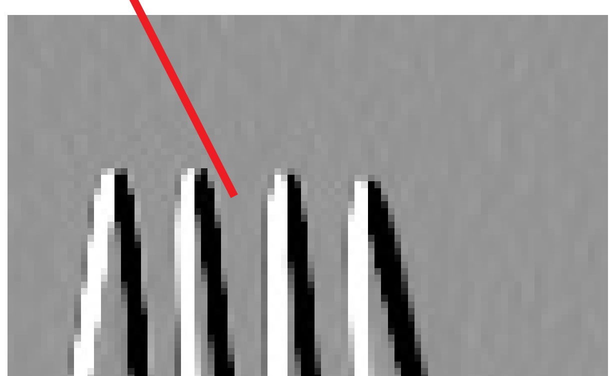
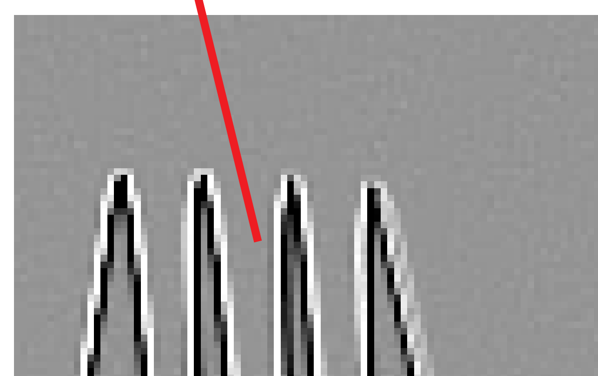
0	1/8	0
1/8	4/8	1/8
0	1/8	0

+128

-1/2	-1/2	-1/2
-1/2	8/2	-1/2
-1/2	-1/2	-1/2

-1/2	-1/2	-1/2
-1/2	10/2	-1/2
-1/2	-1/2	-1/2

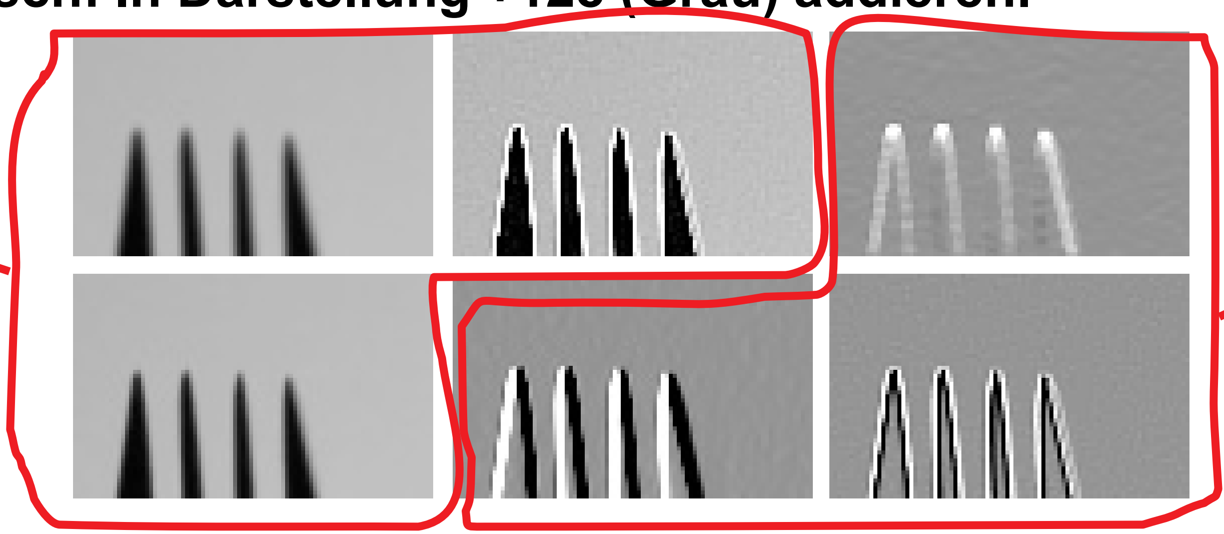



Faltungsoperationen

<u>Directed Current (DC) Anteil</u>

- **Summe der Filterkoeffizienten ist Antwort auf konstantes Bild**
- **Directed Current = Gleichstrom**
- **DC Anteil 0: Helligkeit „im Großen“ spielt keine Rolle (DC frei).**
- **DC Anteil 1: Helligkeit „im Großen“ bleibt gleich (DC treu).**
- **DC Anteil≠0: Filter skalierbar auf DC Anteil =1**
- **Technisch: In Darstellung +128 (Grau) addieren.**

DC treu



DC frei

Faltungsoperationen

Direkte Implementierung einer Faltung

- Optimierbar (nächste Vorlesung)

$$(\alpha * i)_{x',y'} = \sum_{x,y} \alpha_{x'-x,y'-y} i_{x,y}$$

```
void convolve (Image& dstImg, Image& srcImg, DoubleImage& filter)
{
    for (y2=0; y2<dstImg.height; y2++)
        for (x2=0; x2<dstImg.width; x2++) {
            double sum = 0;
            for (yF=0; yF<filter.height; yF++)
                for (xF=0; xF<filter.width; xF++) {
                    x = x2 - (xF - filter.width/2);
                    y = y2 - (yF - filter.height/2);
                    if (0<=xSrc && xSrc<srcImg.width &&
                        0<=ySrc && ySrc<srcImg.height)
                        sum += filter(x2, y2) * srcImg(x, y);
            dstImg(x2, y2) = sum + filter.offset;
        }
}
```

- **Frage an das Auditorium:**
  Was sind Merkmale, die man in Büroumgebungen, hier z.B. das MZH wohl mit Bildverarbeitung erkennen könnte?

Linien- und Kantendetektion

- **Helligkeitsschwellwert:**
  - unmöglich
- **Farbsegmentierung:**
  - rote Türen, blaue Türen, gelbe Schilder?
  - Schwierig wegen wechselnder Beleuchtung.
  - Vielleicht Farbe relativ zur Bodenfarbe bestimmen.
- **Kanten:**
  - Viele gerade Konturen in Büroumgebungen.
  - Oft senkrecht.
  - Ziemlich Beleuchtungsunabhängig.
  - Gutes Merkmal.
  - Aber Verwechselungsgefahr durch viele Kanten

Vertikale Linien

Linien- und Kantendetektion

Linien- und Kantendetektion

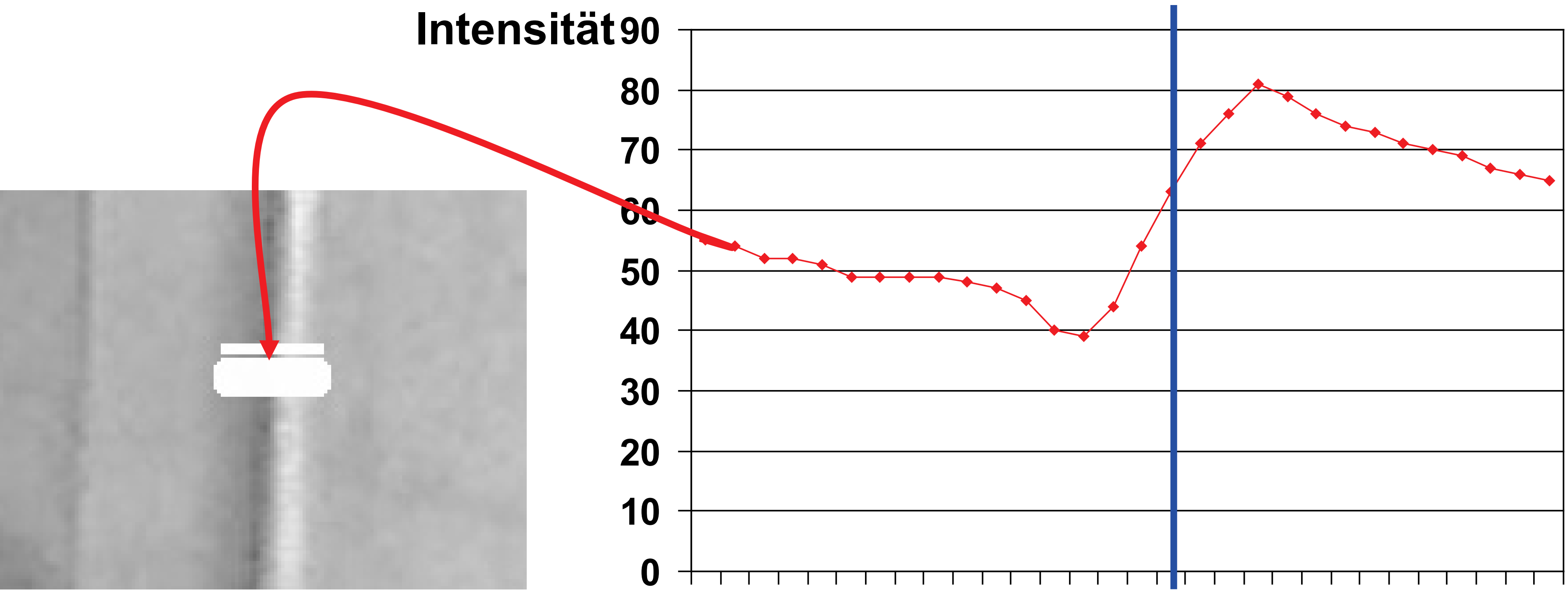
- **Bisher:**
  - Grauwert Schwellwert oder Farbsegmentierung
  - Objekt muss eine durchgängige Region im Bild sein
- **Probleme, wenn**
  - Verdeckung / Überlappung
  - Innere Struktur (Muster, Aufdruck, …)
  - Reflexionen
- **Lösung**
  - Merkmal des Randes nicht der Region
  - geometrische Struktur toleriert Verdeckungen
  - z.B. „Kanten sind gerade“

Linien- und Kantendetektion

- **Erster Schritt: Gehört ein Pixel zu einer Kante?**
  - Analog zu „gehört ein Pixel zum Objekt“ bei Schwellwert / Farbsegmentierung
  - Betrachte nicht nur Pixel alleine
  - Betrachte 3×3 Umgebung um Pixel
  - Harte Entscheidung Kante / Nicht-Kante vermeiden
  - Graduelles Ergebnis
- **Zweiter Schritt: Fasse die Kantenpunkte zu Kurven zusammen**
  - Hier: zu Geraden
  - Festes Modell dadurch Toleranz gegenüber Verdeckung
  - Geraden statt Strecken, dadurch nicht Bestimmung der Endpunkte

Linien- und Kantendetektion

Horizontaler Schnitt durch eine vertikale Kante



Idee: Eine Kante ist dort, wo sich die Intensität schnell ändert.

Linien- und Kantendetektion

Sobel-Filter

Kombination aus Differenz (quer) und Mittelwert (längs)

- Auch mit Faktor 1/8 üblich.
- Es gibt noch weitere ähnliche Filter.

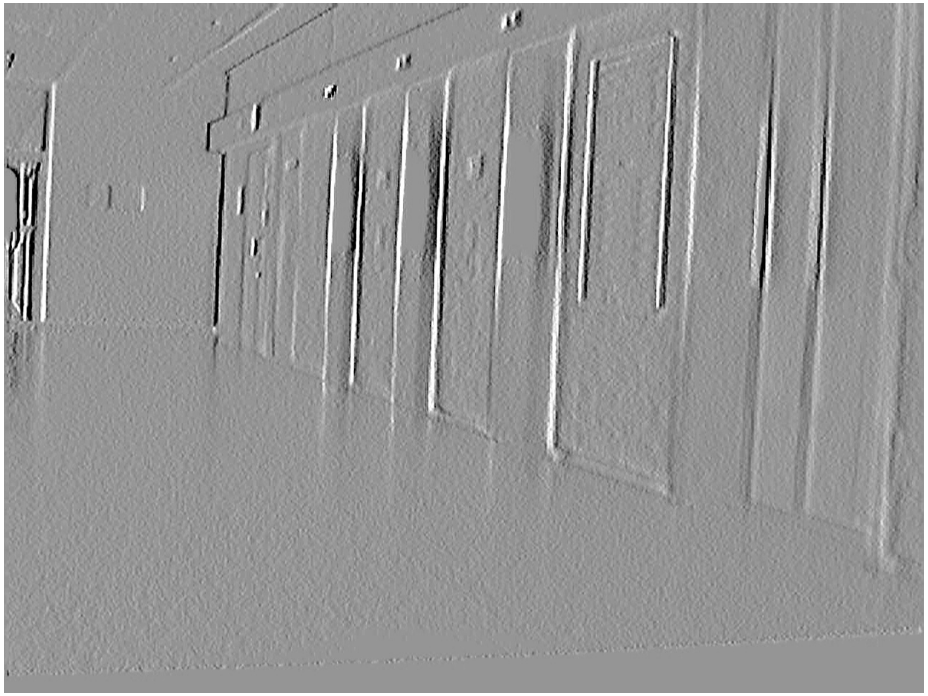
Sobel X
(vertikale Kanten)

$$\begin{bmatrix} 1 & 0 & -1 \\ 2 & 0 & -2 \\ 1 & 0 & -1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 \\ 2 \\ 1 \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} 1 & 0 & -1 \end{bmatrix}$$

Sobel Y
(horizontale Kanten)

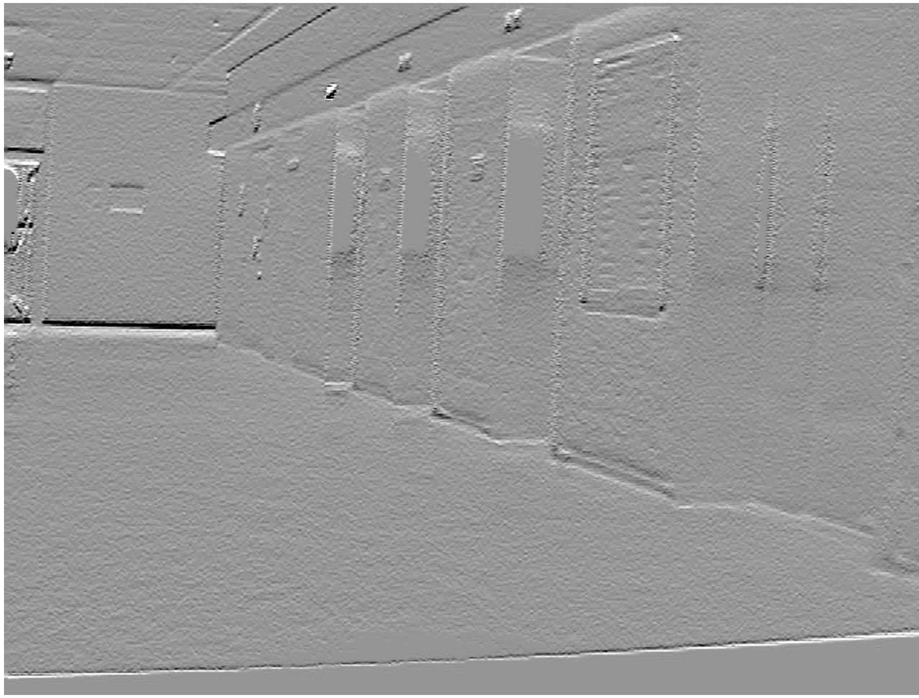
$$\begin{bmatrix} 1 & 2 & 1 \\ 0 & 0 & 0 \\ -1 & -2 & -1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \\ -1 \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} 1 & 2 & 1 \end{bmatrix}$$

Linien- und Kantendetektion



1	0	-1
2	0	-2
1	0	-1

Sobel X
(vertikale Kanten)



1	2	1
0	0	0
-1	-2	-1

Sobel Y
(horizontale Kanten)

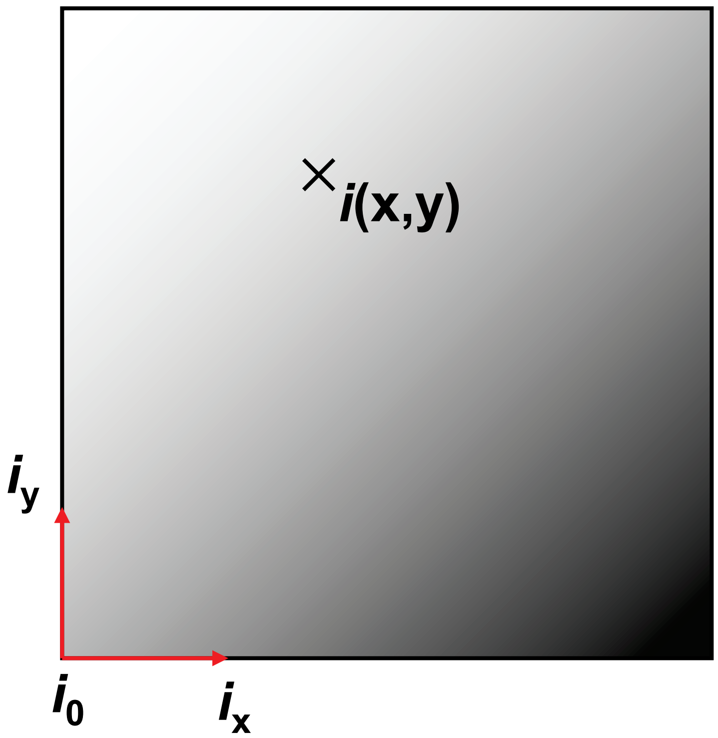
Linien- und Kantendetektion

Was sagt der Sobel-Filter?

- Angenommen, wir haben ein Bild mit einem linearen Helligkeitsverlauf, was liefert der Sobel Filter?
- Helligkeit des Pixels x, y ist

$$i(x,y) = i_0 + i_x x + i_y y$$

- i_0: Grundintensität am Pixel 0,0
- i_x: Änderung in X Richtung
- i_y: Änderung in Y-Richtung



Linien- und Kantendetektion

- **Sobel-X (s_x) / Sobel Y (s_y) bestimmen für die Änderung (Gradient) der Helligkeit in X und Y Richtung**

1	0	-1
2	0	-2
1	0	-1

1	2	1
0	0	0
-1	-2	-1

$$i(x,y) = i_0 + i_x x + i_y y$$

$$\begin{aligned}
s_x &= -1\big(i_0 + i_x(x-1) + i_y(y-1)\big) + 1\big(i_0 + i_x(x+1) + i_y(y-1)\big) \\
&\quad + -2\big(i_0 + i_x(x-1) + i_y(y)\big) + 2\big(i_0 + i_x(x+1) + i_y(y)\big) \\
&\quad + -1\big(i_0 + i_x(x-1) + i_y(y+1)\big) + 1\big(i_0 + i_x(x+1) + i_y(y+1)\big) \\
&= i_x + i_x + 2i_x + 2i_x + i_x + i_x \\
&= 8i_x
\end{aligned}$$

$$s_y = 8i_y$$

- **Sobel X / Y liefert den Gradienten in X / Y-Richtung**

Linien- und Kantendetektion

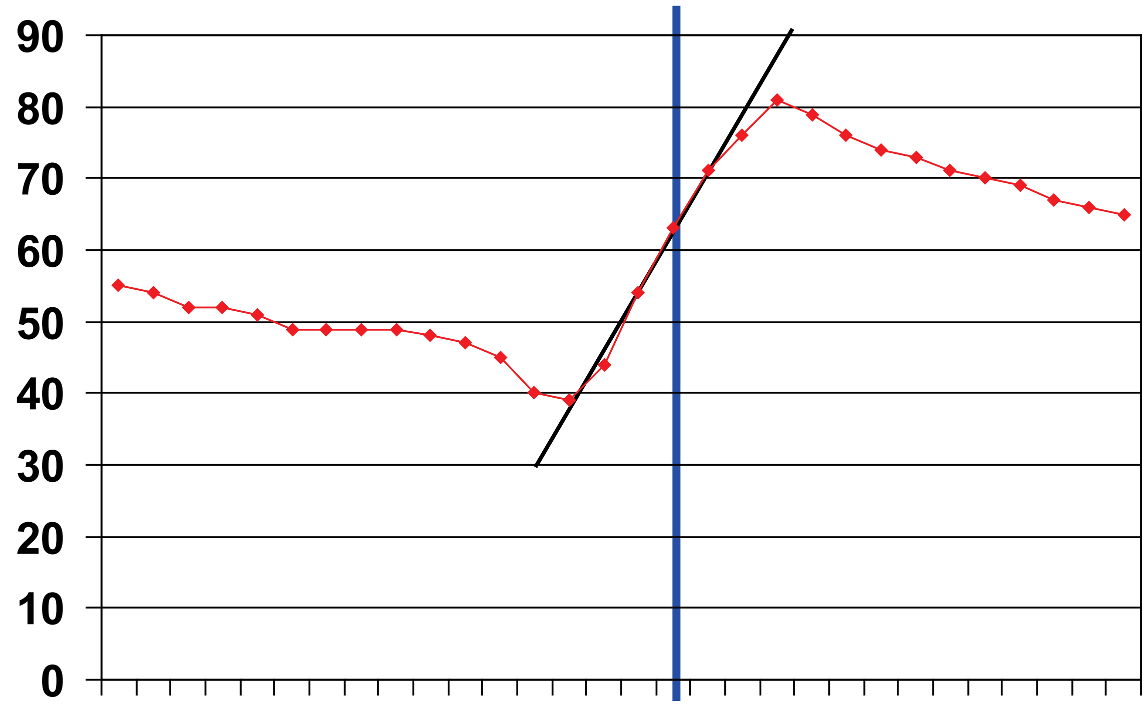
- **Was passiert mit schrägen Kanten?**
  - Sowohl Sobel X als auch Sobel Y spricht an.
  - Je horizontaler die Kante, je mehr Sobel Y
  - Je vertikaler die Kante, je mehr Sobel X
- **Sobel X (s_x) und Sobel Y (s_y) als Vektor zeigen die Richtung einer schrägen Kante an.**
  - Betrag des Vektors gibt Intensität der Kante an
  - Richtung des Vektors gibt Winkel quer zur Kante an (von dunkel nach hell)
- **Im folgenden Herleitung und Erklärung**

$$\sqrt{s_x^2 + s_y^2}$$

$$\arctan 2(s_y, s_x)$$

Linien- und Kantendetektion

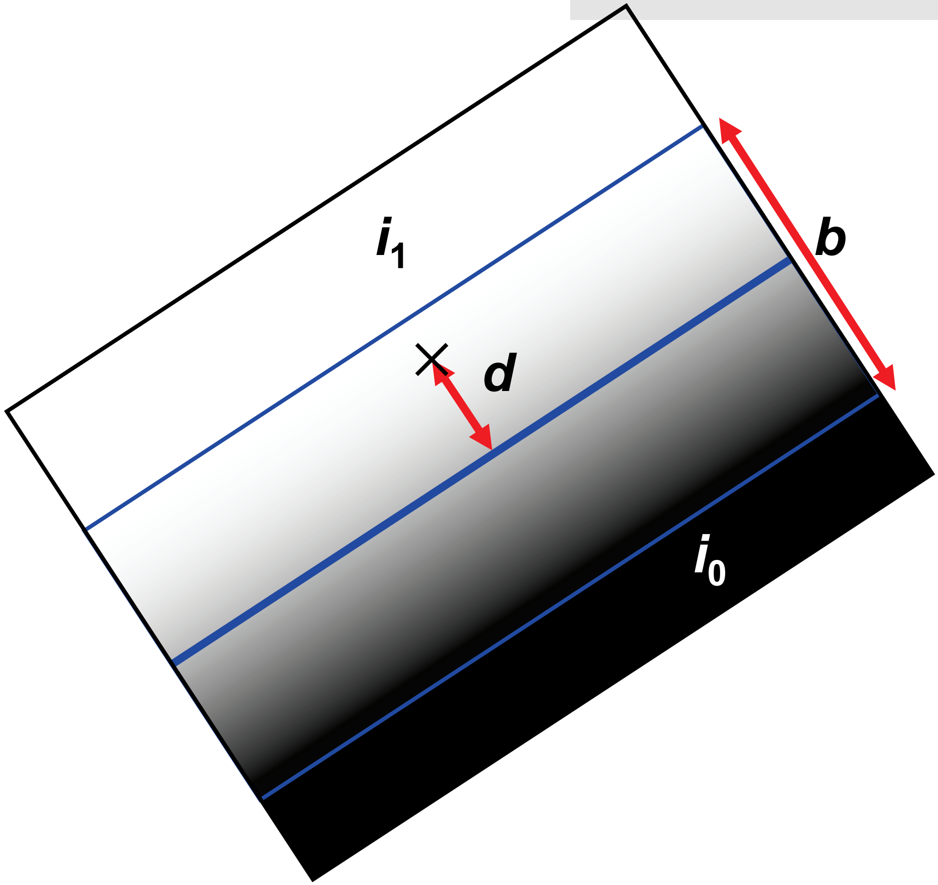
- **Beobachtung: An einer Kante ist ein (kleiner) Streifen linearen Helligkeits-wechsel**



Linien- und Kantendetektion

- **Ideale Linie (dick blau) ist umgeben von einem Bereich linearen Helligkeitsverlaufs (dünn blau)**
- **Helligkeitsverlauf von i_0 nach i_1 hat Breite *b***
- **Helligkeit eines Punktes mit vorzeichenbehaftetem Abstand *d* zur Kante ist**

$$\frac{i_0 + i_1}{2} + \frac{d}{b}\left(i_1 - i_0\right)$$

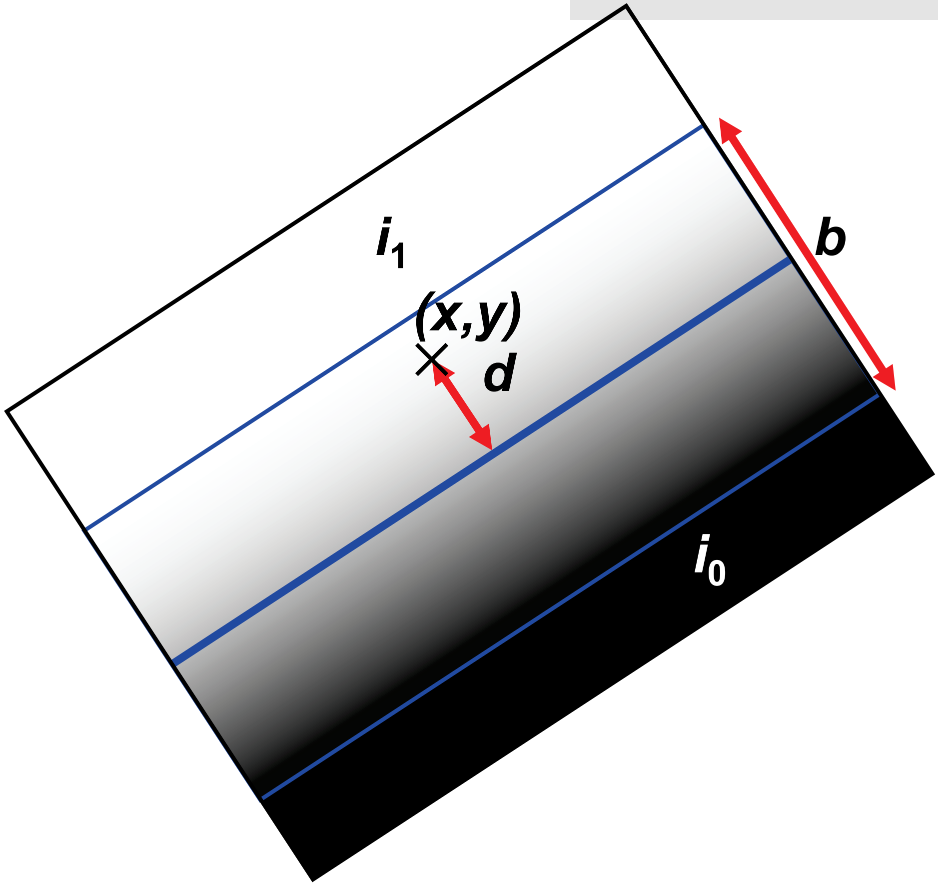


Linien- und Kantendetektion

- **Abstand d ergibt sich aus Koordinaten (x,y) und Hessescher Normalform (p Abstand Kante zum Ursprung, α Richtung Normalenvektor auf i_1)**

$$d = p + \cos\alpha \cdot x + \sin\alpha \cdot y$$

$$i = \frac{i_0 + i_1}{2} + \frac{p + \cos\alpha \cdot x + \sin\alpha \cdot y}{b}(i_1 - i_0)$$



Linien- und Kantendetektion

1	0	-1
2	0	-2
1	0	-1

1	2	1
0	0	0
-1	-2	-1

$$i = \frac{i_0 + i_1}{2} + \frac{p + \cos\alpha \cdot x + \sin\alpha \cdot y}{b}\left(i_1 - i_0\right)$$

- **Anwendung des vorherigen Ergebnisses ergibt**

$$s_x = 8\cos\alpha \frac{i_1 - i_0}{b} \qquad s_y = 8\sin\alpha \frac{i_1 - i_0}{b}$$

$$\sqrt{s_x{}^2 + s_y{}^2} = 8\frac{i_1 - i_0}{b}, \qquad \operatorname{arctan} 2\left(s_y, s_x\right) = \alpha$$

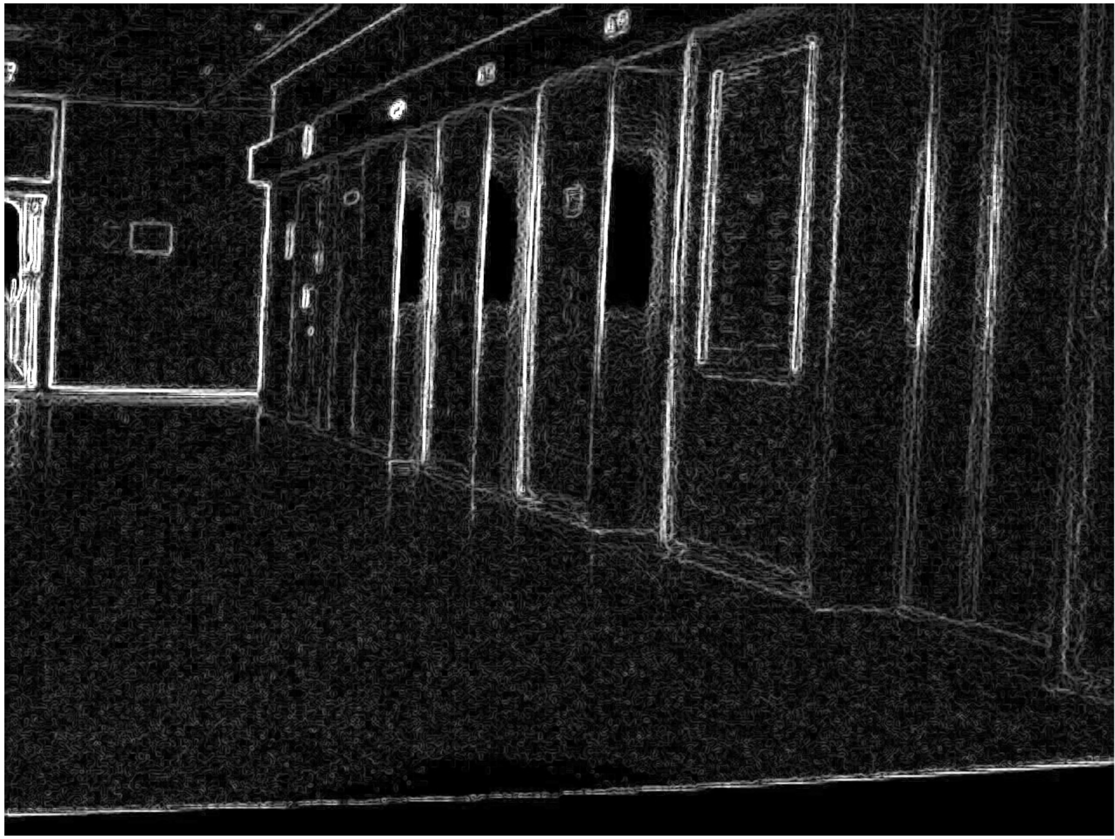
- **Die Sobellänge liefert richtungsunabhängig die Intensität der Kante**
- **Die Sobelrichtung liefert die Richtung senkrecht zur Kante**

Linien- und Kantenerkennung

- **Betrag des Sobelvektors**

$$\sqrt{s_x^{\ 2} + s_y^{\ 2}} = 8\frac{i_1 - i_0}{b}$$

- **zeigt Kanten in alle Richtungen**



Linien- und Kantendetektion

- **Sobel Operator findet Kanten / Linien**
- **Sobel X (s_x) und Sobel Y (s_y) als Vektor geben den Helligkeitsgradienten an**
  - Betrag des Vektors ist Maß für Stärke der Kante
  - Vorhandensein einer Kante mit Schwellwert
  - Richtung des Vektors gibt Richtung der Kante an
  - senkrecht zur Kante zur helleren Seite
- **Linien führen zu zwei hohen Sobelwerten mit umgekehrten Vorzeichen**
  - Daher (s_x,s_y) und ($-s_x$,$-s_y$) gleich behandeln
  - Kantenorientierung: 360°, Linienorientierung 180°

1	0	-1
2	0	-2
1	0	-1

Sobel X (vertikale Kanten)

1	2	1
0	0	0
-1	-2	-1

Sobel Y (horizontale Kanten)

Zusammenfassung

- **Faltungsoperationen**
  - Lineare, translationsinvariante Abbildung
  - Ergebnispixel ist gewichtete Summe der Pixel in der Umgebung des Eingangspixels
  - Faltung mit einem Filter
    - *Filter **gespiegelt** auf Bild an der jeweiligen Position legen*
    - *übereinanderliegende Quellpixel/Filterkoeffizienten multiplizieren*
    - *Produkte aufaddieren und in Zielpixel schreiben*
  - Bilder glätten, Kontrast vergrößern, Kanten detektieren
- **Kantendetektion mit dem Sobel Filter (SobelX, SobelY)**
  - SobelX und SobelY geben als Ergebnis einen Vektor
  - Betrag: Kantenstärke
  - Richtung: Richtung der Kante (senkrecht zum Helleren)

1	0	-1
2	0	-2
1	0	-1

1	2	1
0	0	0
-1	-2	-1