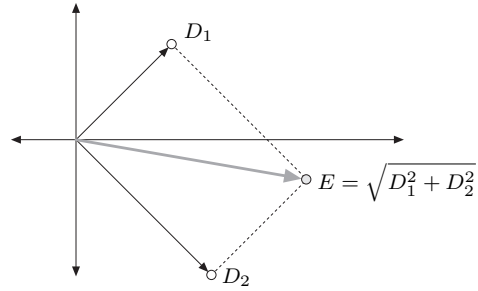


Abbildung 7.7

Kantenstärke beim Roberts-Operator. Die Kantenstärke $E(u, v)$ wird als Summe der beiden orthogonalen Richtungsvektoren $D_1(u, v)$ und $D_2(u, v)$ berechnet.



Filterantworten analog zum Betrag des Gradienten (Gl. 7.5) berechnet, allerdings mit (um 45°) gedrehten Richtungsvektoren (Abb. 7.7).

7.3.3 Kompass-Operatoren

Das Design eines guten Kantenfilters ist ein Kompromiss: Je besser ein Filter auf „kantenartige“ Bildstrukturen reagiert, desto stärker ist auch seine Richtungsabhängigkeit, d. h., umso enger ist der Winkelbereich, auf den das Filter anspricht.

Eine Lösung ist daher, nicht nur ein Paar von relativ „breiten“ Filtern für zwei (orthogonale) Richtungen einzusetzen, sondern einen Satz „engerer“ Filter für mehrere Richtungen. Klassische Beispiele sind der Kantenoperator von Kirsch [52] und der **Robinson-Operator**³, der für acht verschiedene Richtungen im Abstand von 45° folgende Filter vorsieht:

$$\begin{aligned}
 H_0^K &= \begin{bmatrix} -1 & 0 & 1 \\ -2 & 0 & 2 \\ -1 & 0 & 1 \end{bmatrix} & H_1^K &= \begin{bmatrix} -2 & -1 & 0 \\ -1 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & 2 \end{bmatrix} & (7.17) \\
 H_2^K &= \begin{bmatrix} -1 & -2 & -1 \\ 0 & 0 & 0 \\ 1 & 2 & 1 \end{bmatrix} & H_3^K &= \begin{bmatrix} 0 & -1 & -2 \\ 1 & 0 & -1 \\ 2 & 1 & 0 \end{bmatrix} \\
 H_4^K &= \begin{bmatrix} 1 & 0 & -1 \\ 2 & 0 & -2 \\ 1 & 0 & -1 \end{bmatrix} & H_5^K &= \begin{bmatrix} 2 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & -1 \\ 0 & -1 & -2 \end{bmatrix} \\
 H_6^K &= \begin{bmatrix} 1 & 2 & 1 \\ 0 & 0 & 0 \\ -1 & -2 & -1 \end{bmatrix} & H_7^K &= \begin{bmatrix} 0 & 1 & 2 \\ -1 & 0 & 1 \\ -2 & -1 & 0 \end{bmatrix}
 \end{aligned}$$

Von diesen acht Filtern H_0, H_1, \dots, H_7 müssen allerdings nur vier tatsächlich berechnet werden, denn die übrigen vier sind bis auf das Vorzeichen identisch zu den ersten. Zum Beispiel ist $H_4^K = -H_0^K$, sodass aufgrund der Linearitätseigenschaften der Faltung (Gl. 6.18) gilt

$$I * H_4^K = I * -H_0^K = -(I * H_0^K). \quad (7.18)$$

Die acht Richtungsbilder D_0, D_1, \dots, D_7 für den **Robinson-Operator** werden also folgendermaßen ermittelt:

³ ROBINSON, G.: *Edge detection by compass gradient masks*. Computer Graphics and Image Processing, 6(5), S. 492–501, 1977.

$$\begin{aligned} D_0 &= I * H_0^K & D_1 &= I * H_1^K & D_2 &= I * H_2^K & D_3 &= I * H_3^K \\ D_4 &= -D_0 & D_5 &= -D_1 & D_6 &= -D_2 & D_7 &= -D_3 \end{aligned} \quad (7.19)$$

Die eigentliche Kantenstärke E^K an der Stelle (u, v) ist als Maximum der einzelnen Filterergebnisse definiert, d. h.

$$\begin{aligned} E^K(u, v) &= \max(D_0(u, v), D_1(u, v), \dots, D_7(u, v)) \\ &= \max(|D_0(u, v)|, |D_1(u, v)|, |D_2(u, v)|, |D_3(u, v)|), \end{aligned} \quad (7.20)$$

und das am stärksten ansprechende Filter bestimmt auch die zugehörige Kantenrichtung

$$\Phi^K(u, v) = \frac{\pi}{4}j, \quad \text{wobei } j = \operatorname{argmax}_{0 \leq i \leq 7} D_i(u, v). \quad (7.21)$$

Im praktischen Ergebnis bieten derartige „Kompass“-Operatoren allerdings kaum Vorteile gegenüber einfacheren Operatoren, wie z. B. dem Sobel-Operator. Ein kleiner Vorteil des **Robinson**-Operators ist allerdings, dass er keine Wurzelberechnung (die relativ aufwendig ist) benötigt.

7.3.4 Kantenoperatoren in ImageJ

In der aktuellen Version von ImageJ ist der Sobel-Operator (Abschn. 7.3.1) für praktisch alle Bildtypen implementiert und im Menü

Process → Find Edges

abrufbar. Der Operator ist auch als Methode `void findEdges()` für die Klasse `ImageProcessor` verfügbar.

7.4 Weitere Kantenoperatoren

Neben der in Abschn. 7.2 beschriebenen Gruppe von Kantenoperatoren, die auf der ersten Ableitung basieren, gibt es auch Operatoren auf Grundlage der *zweiten* Ableitung der Bildfunktion. Ein Problem der Kantendetektion mit der ersten Ableitung ist nämlich, dass Kanten genauso breit werden wie die Länge des zugehörigen Anstiegs in der Bildfunktion und ihre genaue Position dadurch schwierig zu lokalisieren ist.

7.4.1 Kantendetektion mit zweiten Ableitungen

Die zweite Ableitung einer Funktion misst deren lokale *Krümmung* und die Idee ist, die Nullstellen oder vielmehr die Positionen der Nulldurchgänge der zweiten Ableitung als Kantenpositionen zu verwenden. Die zweite Ableitung ist allerdings stark anfällig gegenüber Bildrauschen,