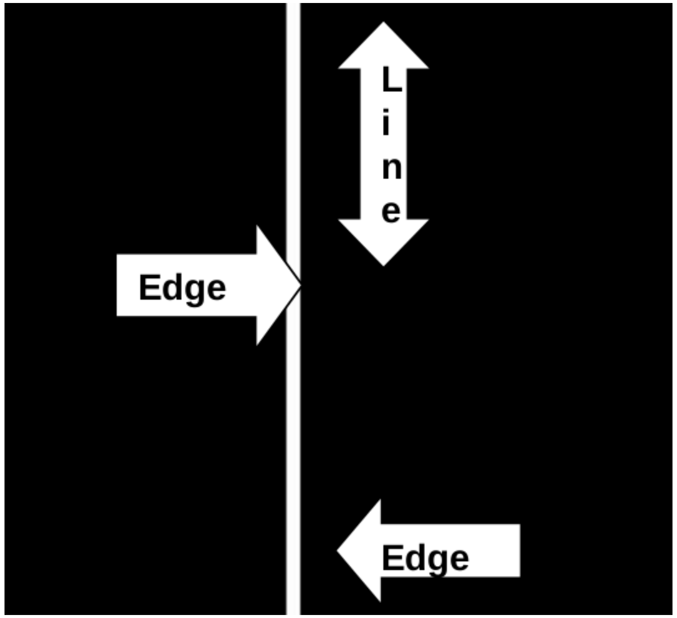
Wizja Maszynowa

Przetwarzanie obrazu - wykrywanie cech geometrycznych wykład 4

Adam Szmigielski
aszmigie@pjwstk.edu.pl

materials: $ftp(public)://aszmigie/WM$

Relacja między krawędziami i liniami



- Krawędzie i linie są prostopadłe,
- Przedstawiona tutaj linia jest pionowa, a kierunek krawędzi jest poziomy.
- Przejście od czerni do bieli następuje poziomo, jest to kierunek krawędzi, linia jest pionowa.

Cele wykrywania krawędzi

- Utwórz rysunek linii sceny na podstawie obrazu tej sceny.
- Ważne cechy można wyodrębnić z krawędzi obrazu (np. rogi, linie, krzywe).
- Te funkcje są używane przez algorytmy wyższego poziomu widzenia komputerowego (np. segmentacja, rozpoznawanie).

Cele wykrywacza krawędzi

Celem jest skonstruowanie operatorów wykrywania krawędzi, które wyodrębniają

- informacje o orientacji (informacje o kierunku krawędzi) i
- siła krawędzi.

Niektóre metody mogą zwracać informacje o istnieniu krawędzi w każdym punkcie, aby przyspieszyć przetwarzanie.

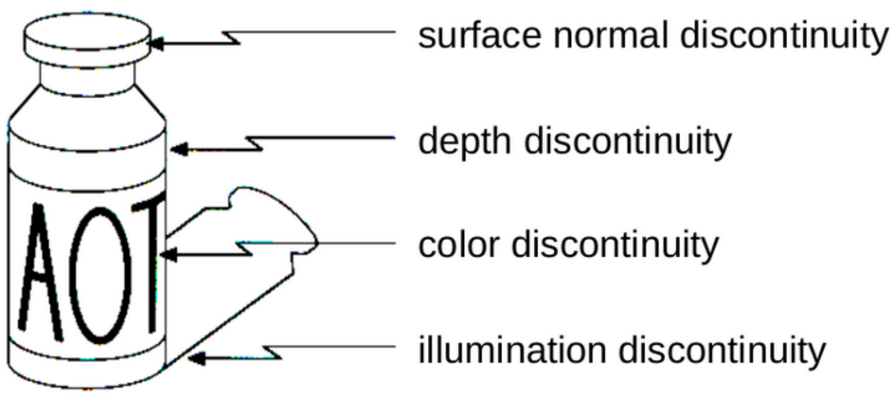
Co powoduje zmiany intensywności?

Aspekty geometryczne

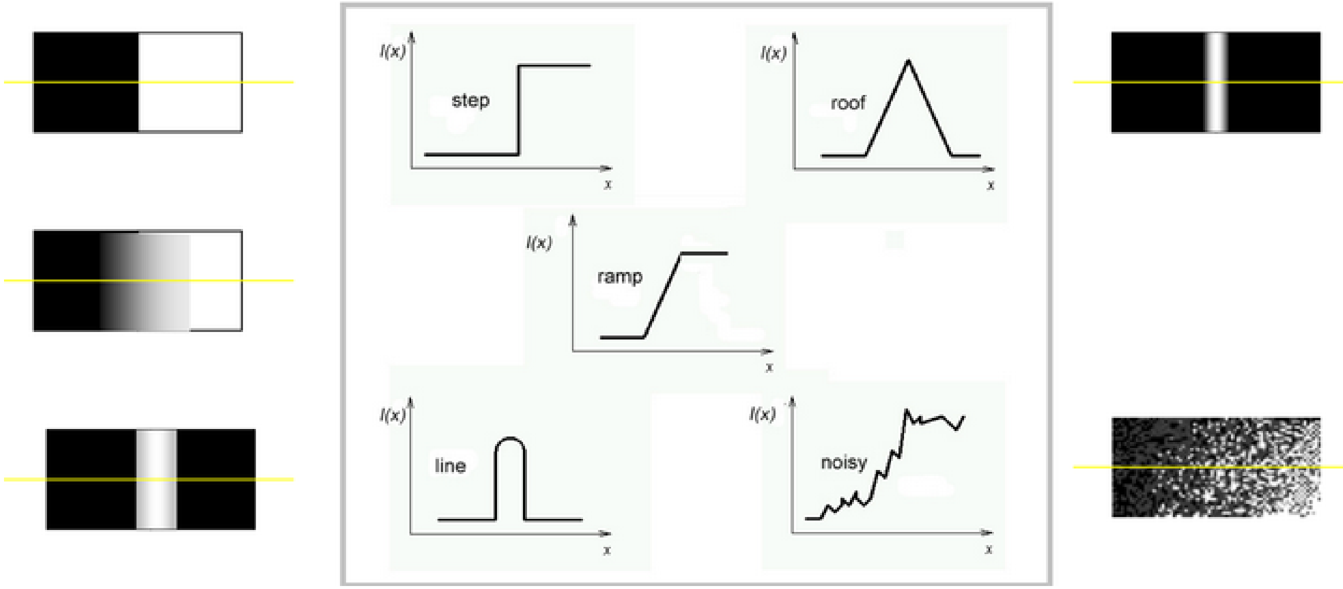
- nieciągłości orientacji powierzchni (graniczne),
- Nieciągłości głębokości,
- nieciągłości koloru i tekstury,

Aspekty niegeometryczne

- Zmiany oświetlenia,
- Zwierciadła,
- Cienie
- Odbicia wewnętrzne

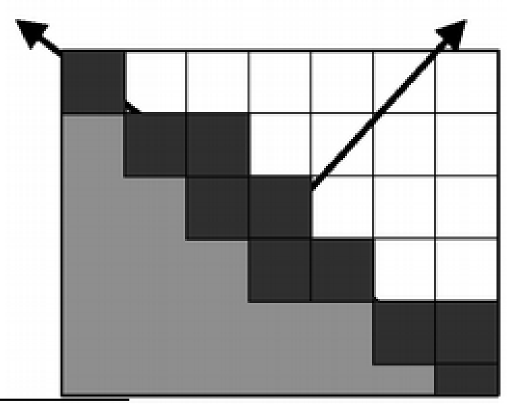


Definicja krawędzi



- Krawędź to granica między dwoma regionami o stosunkowo odmiennych właściwościach poziomu szarości.
- Krawędzie to piksele, w których funkcja jasności zmienia się gwałtownie.
- Detektory krawędzi są zbiorem bardzo ważnych lokalnych metod wstępnego przetwarzania obrazu, używanych do lokalizowania (ostrych) zmian funkcji intensywności.

Deskryptory krawędzi



- Rozmiar krawędzi: $S = \sqrt{dx^2 + dy^2}$
- Kierunek krawędzi: wektor jednostkowy prostopadły do normalnej krawędzi. $\alpha = arctan(\frac{dy}{dx})$
- Normalna krawędzi: wektor jednostkowy w kierunku zmiany maksymalnej intensywności.
- Pozycja krawędzi lub środek: pozycja obrazu, w której znajduje się krawędź.
- Siła krawędzi: związana z kontrastem obrazu wzdłuż normalnej.

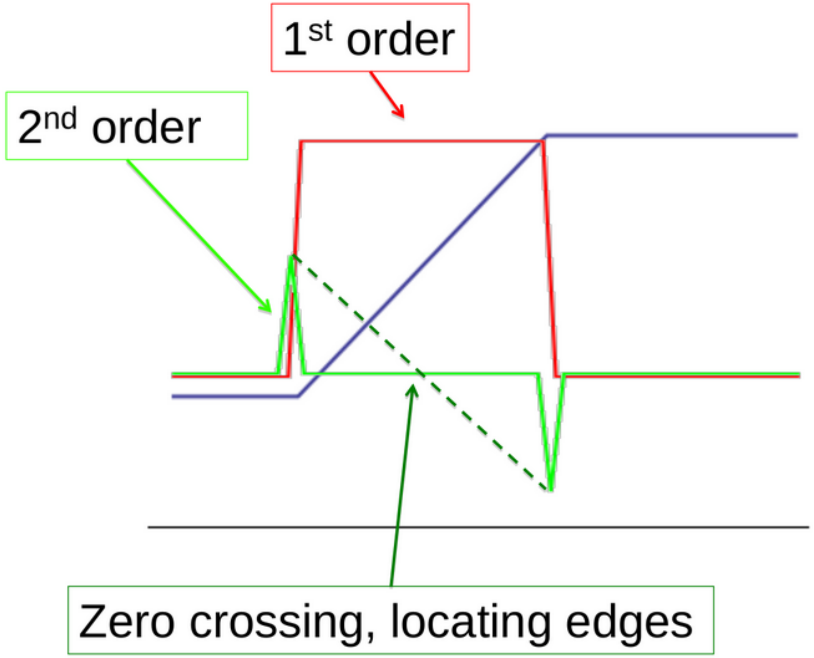
Główne kroki w wykrywaniu krawędzi

1. **Wygładzanie:** tłumią jak najwięcej szumów, nie niszcząc prawdziwych krawędzi,
2. **Wzmocnienie:** zastosuj zróżnicowanie w celu poprawienia jakości krawędzi (tj. wyostrzenie),
3. **Progowanie:** określa, które piksele krawędziowe mają zostać odrzucone jako szum, a które powinny zostać zachowane,
4. **Lokalizacja:** określa dokładne położenie krawędzi.

Wykrywanie krawędzi za pomocą pochodnych

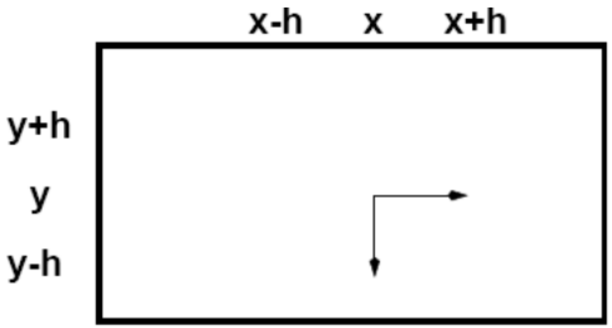
- Rachunek opisuje zmiany funkcji ciągłych za pomocą pochodnych.
- Obraz jest funkcją 2D, więc operatory opisujące krawędzie są wyrażane za pomocą pochodnych cząstkowych.
- Punkty leżące na krawędzi można wykryć:
  - wykrywanie lokalnych maksimów lub minimów pierwszej pochodnej,
  - pozycja wykrywająca przejście przez zero drugiej pochodnej

Pochodne pierwszego i drugiego rzędu



- Pochodna pierwszego rzędu daje grube krawędzie,
- Pochodna drugiego rzędu daje podwójną krawędź,
- Pochodne drugiego rzędu znacznie poprawiają drobne szczegóły.

Wykrywanie krawędzi za pomocą pierwszej pochodnej



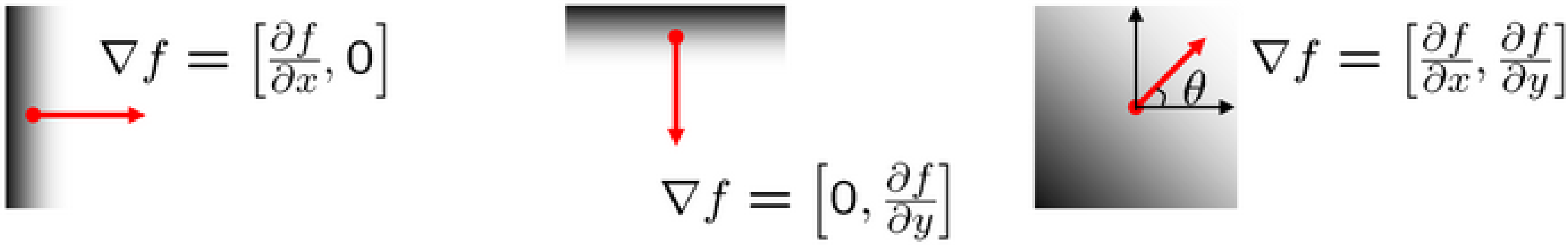
- Różnica wsteczna: $f'(x) \approx f(x) - f(x-1)$
- Różnica do przodu: $f'(x) = f(x+1) - f(x)$
- Centralna różnica: $f'(x) = f(x+1) - f(x-1)$

Wykrywanie krawędzi

- Operatory brzegowe oparte na gradiencie
  - Prewitt
  - Sobel
  - Roberts
- Przejścia przez zero w Laplasjanie
- Detektor krawędzi Canny
- Przekształcenie Hougha do wykrywania linii prostych
- Przekształcenie Hougha do wykrywania linii okręgów

Deskryptory krawędzi przy użyciu gradientu

- Gradient obrazu: $\nabla f = [\frac{\partial f(x,y)}{\partial x}, \frac{\partial f(x,y)}{\partial y}]$
- Gradient wskazuje kierunek największej zmiany intensywności



- Kierunek gradientu (orientacja normalnej krawędzi) jest określony wzorem:

$$\alpha[x,y] \approx \tan^{-1}\left(\frac{\partial f(x,y)}{\partial y} / \frac{\partial f(x,y)}{\partial x}\right)$$

- Siła krawędzi jest określana przez wielkość gradientu:

$$M[x,y] \approx \sqrt{\left(\frac{\partial f(x,y)}{\partial x}\right)^2 + \left(\frac{\partial f(x,y)}{\partial y}\right)^2}$$

Wykrywanie krawędzi za pomocą drugiej pochodnej

- Przybliżone znalezienie maksimów / minimów wielkości gradientu poprzez znalezienie miejsc, w których:

$$\frac{\partial f^2(x,y)}{\partial x^2} = 0$$

- Nie zawsze można znaleźć dyskretne piksele, w których druga pochodna wynosi zero - zamiast tego poszukaj przejścia przez zero.

Wykrywanie krawędzi oparte na gradiencie

- Pomysł (przestrzeń ciągła): lokalna wielkość gradientu wskazuje siłę krawędzi

$$|grad(f(x,y))| = \sqrt{(\frac{\partial f(x,y)}{\partial x})^2 + (\frac{\partial f(x,y)}{\partial y})^2}$$

- Obraz cyfrowy: użyj różnic skończonych do przybliżonych pochodnych:

difference $\begin{pmatrix} -1 & 1 \end{pmatrix}$

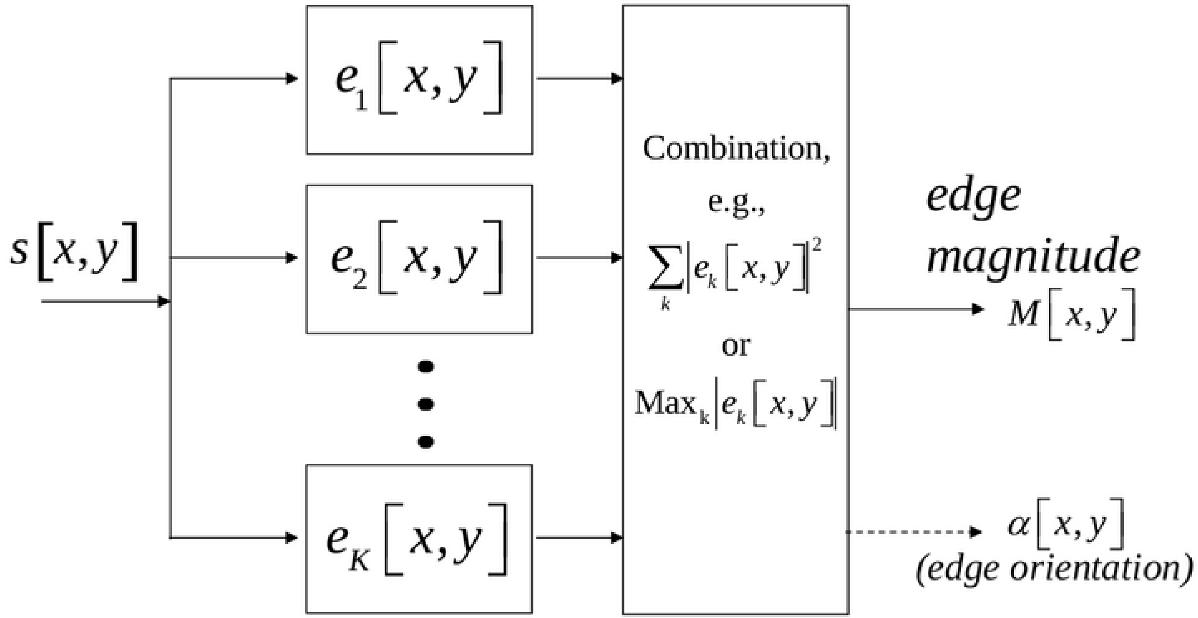
central difference $\begin{pmatrix} -1 & [0] & 1 \end{pmatrix}$

Prewitt $\begin{pmatrix} -1 & 0 & 1 \\ -1 & [0] & 1 \\ -1 & 0 & 1 \end{pmatrix}$

Sobel $\begin{pmatrix} -1 & 0 & 1 \\ -2 & [0] & 2 \\ -1 & 0 & 1 \end{pmatrix}$

- Szablony krawędzi

Praktyczne wykrywacze krawędzi



- Krawędzie mogą mieć dowolną orientację,
- Typowy schemat wykrywania krawędzi wykorzystuje szablony krawędzi $K = 2$,
- Niektórzy używają $K > 2$.

Filtry gradientowe (K=2)

Central Difference $\begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 \\ -1 & [0] & 1 \\ 0 & 0 & 0 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 0 & -1 & 0 \\ 0 & [0] & 0 \\ 0 & 1 & 0 \end{pmatrix}$ Roberts $\begin{pmatrix} [0] & 1 \\ -1 & 0 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} [1] & 0 \\ 0 & -1 \end{pmatrix}$

Prewitt $\begin{pmatrix} -1 & 0 & 1 \\ -1 & [0] & 1 \\ -1 & 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} -1 & -1 & -1 \\ 0 & [0] & 0 \\ 1 & 1 & 1 \end{pmatrix}$

Sobel $\begin{pmatrix} -1 & 0 & 1 \\ -2 & [0] & 2 \\ -1 & 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} -1 & -2 & -1 \\ 0 & [0] & 0 \\ 1 & 2 & 1 \end{pmatrix}$

Filtry gradientowe (K=8)

Kirsch $\begin{pmatrix} +5 & +5 & +5 \\ -3 & [0] & -3 \\ -3 & -3 & -3 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} -3 & +5 & +5 \\ -3 & [0] & +5 \\ -3 & -3 & -3 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} -3 & -3 & +5 \\ -3 & [0] & +5 \\ -3 & -3 & +5 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} -3 & -3 & -3 \\ -3 & [0] & +5 \\ -3 & +5 & +5 \end{pmatrix}$

$\begin{pmatrix} -3 & -3 & -3 \\ -3 & [0] & -3 \\ +5 & +5 & +5 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} -3 & -3 & -3 \\ +5 & [0] & -3 \\ +5 & +5 & -3 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} +5 & -3 & -3 \\ +5 & [0] & -3 \\ +5 & -3 & -3 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} +5 & +5 & -3 \\ +5 & [0] & -3 \\ -3 & -3 & -3 \end{pmatrix}$

Orientacja krawędzi

Central Difference

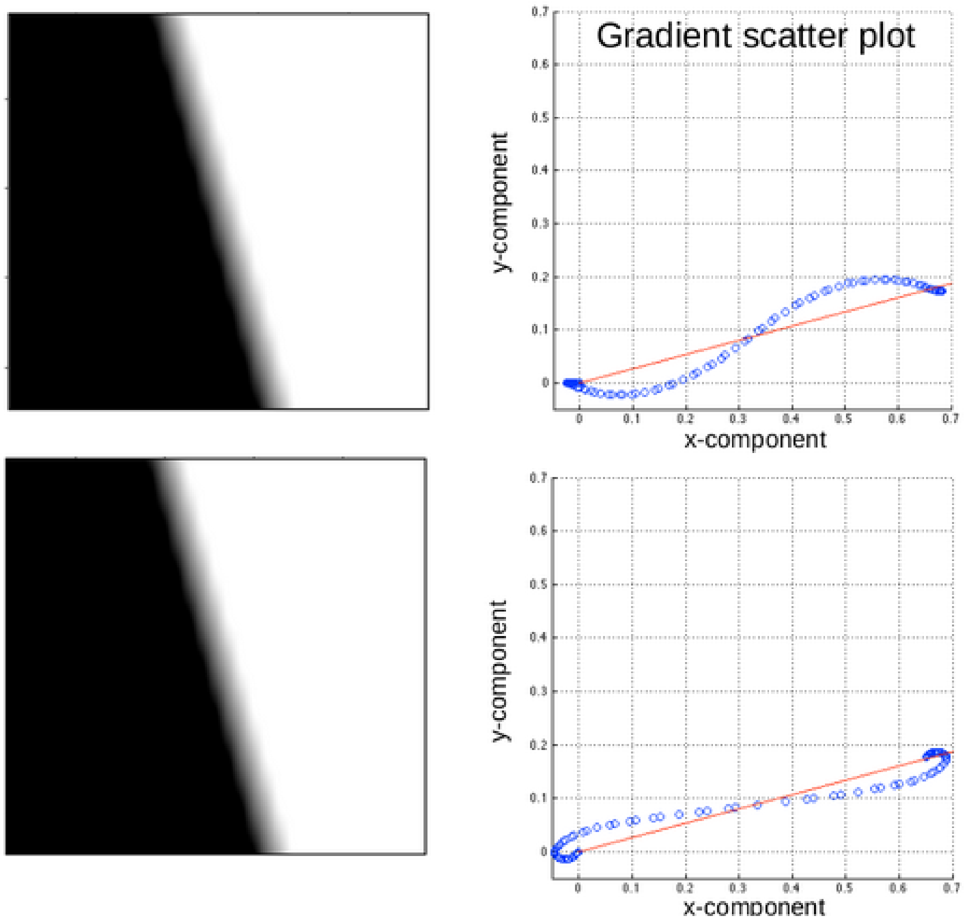
$$\begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 \\ -1 & [0] & 1 \\ 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}$$

$$\begin{pmatrix} 0 & -1 & 0 \\ 0 & [0] & 0 \\ 0 & 1 & 0 \end{pmatrix}$$

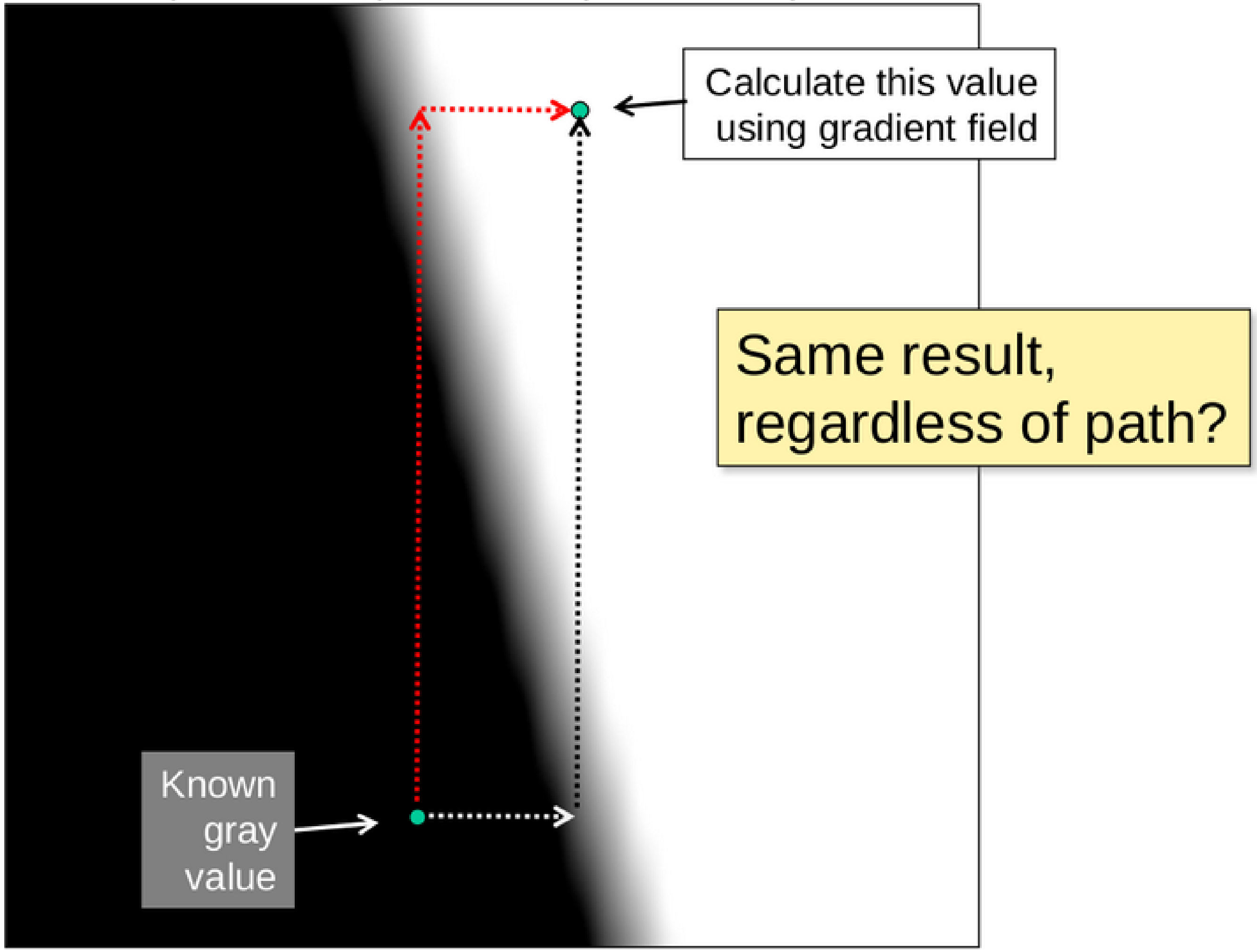
Roberts

$$\begin{pmatrix} [0] & 1 \\ -1 & 0 \end{pmatrix}$$

$$\begin{pmatrix} [1] & 0 \\ 0 & -1 \end{pmatrix}$$



Problem ze spójnością gradientu

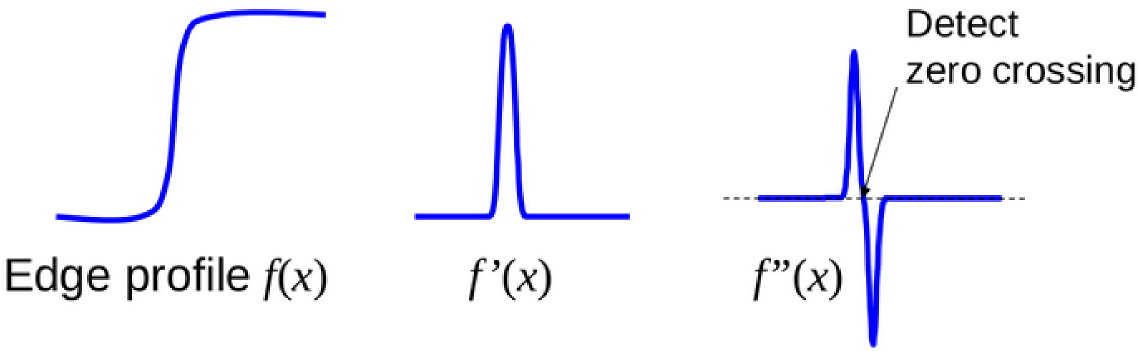


Operator Laplace'a

Wykryj krawędzie, biorąc pod uwagę drugą pochodn

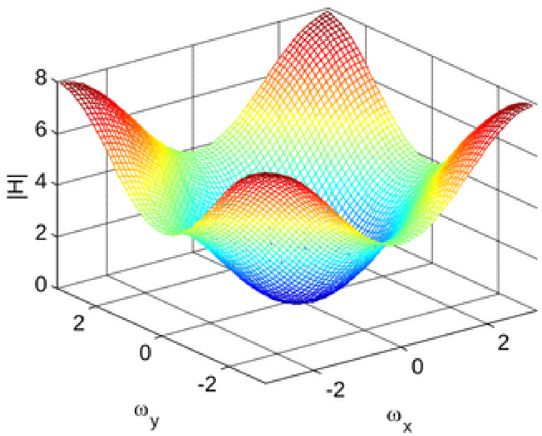
$$\nabla^2 f(x,y) = \frac{\partial^2 f(x,y)}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 f(x,y)}{\partial y^2}$$

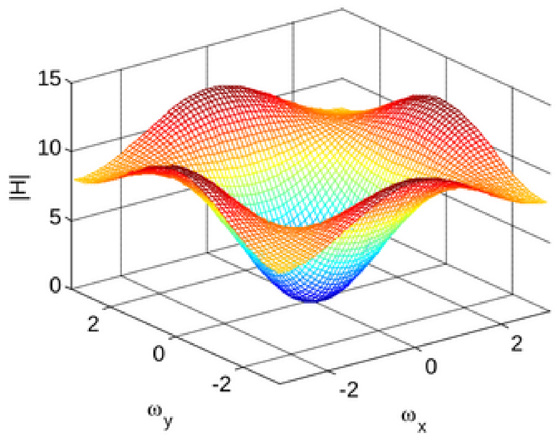
- Operator izotropowy (niezmienny rotacyjnie)
- Punkty przecięcia oznaczają położenie krawędzi



Przybliżenia operatora Laplace'a filtrem 3×3

$$\begin{pmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 1 & [-4] & 1 \\ 0 & 1 & 0 \end{pmatrix} \qquad \begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & [-8] & 1 \\ 1 & 1 & 1 \end{pmatrix}$$





- Wrażliwy na bardzo drobne szczegóły i szum -> najpierw rozmycie obrazu,
- Reaguje jednakowo na mocne i słabe krawędzie -> tłumi przejścia przez zero przy niskim gradiencie.

Druga pochodna w 2D: Laplasjan

$$\frac{\partial^2 f}{\partial x^2} = f(i, j+1) - 2f(i, j) + f(i, j-1)$$

$$\frac{\partial^2 f}{\partial y^2} = f(i+1, j) - 2f(i, j) + f(i-1, j)$$

$$\nabla^2 f = -4f(i, j) + f(i, j+1) + f(i, j-1) + f(i+1, j) + f(i-1, j)$$

$$\begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 1 & -2 & 1 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 0 & -2 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 1 & -4 & 1 \\ 0 & 1 & 0 \end{bmatrix}$$

Właściwości Laplasjanu

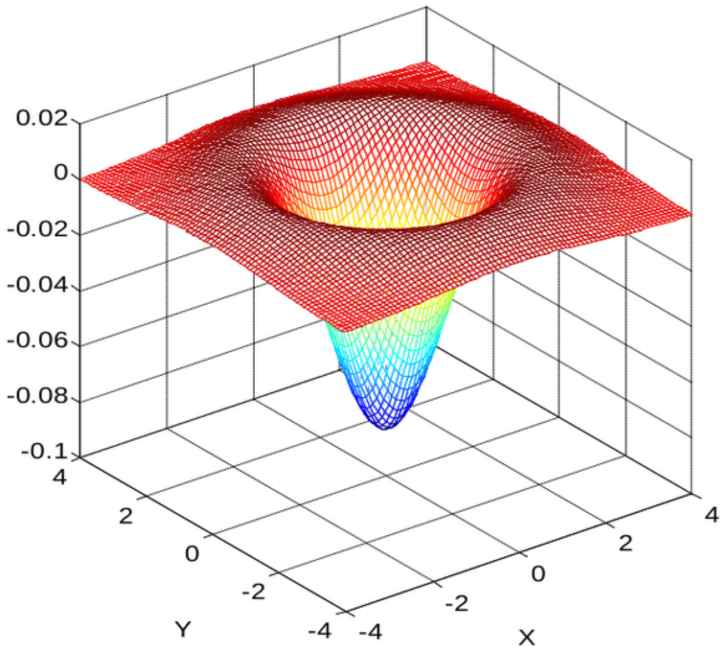
- Jest operatorem izotropowym.
- Implementacja jest tańsza niż gradient (tzn. tylko jedna maska).
- Nie dostarcza informacji o kierunku krawędzi.
- Jest bardziej wrażliwy na szum (tj. różnicuje się dwukrotnie).

Laplasjan z rozkładu Gaussa - Laplacian of Gaussian (LoG)

Filtrowanie obrazu za pomocą operatorów Gaussa i Laplaca można połączyć w splot z operatorem Laplasjana z rozkładu Gaussa (LoG)

$$LoG(x,y) = -\frac{1}{\pi\sigma^4}(1 - \frac{x^2+y^2}{2\sigma^2})e^{-\frac{x^2+y^2}{2\sigma^2}}$$

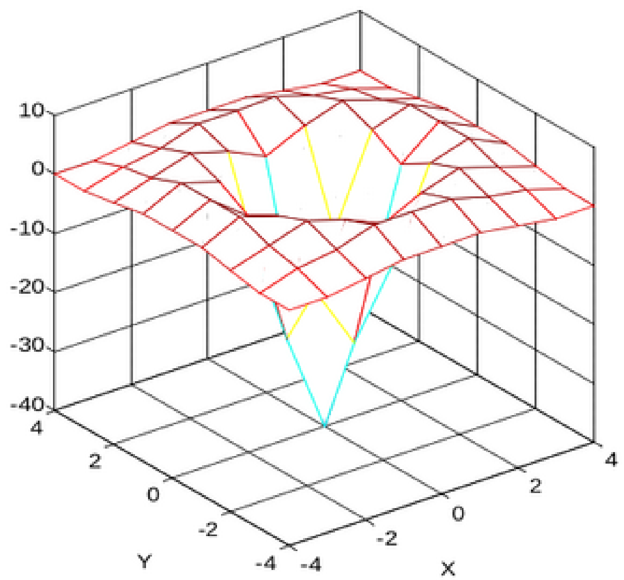
$\sigma = \sqrt{2}$



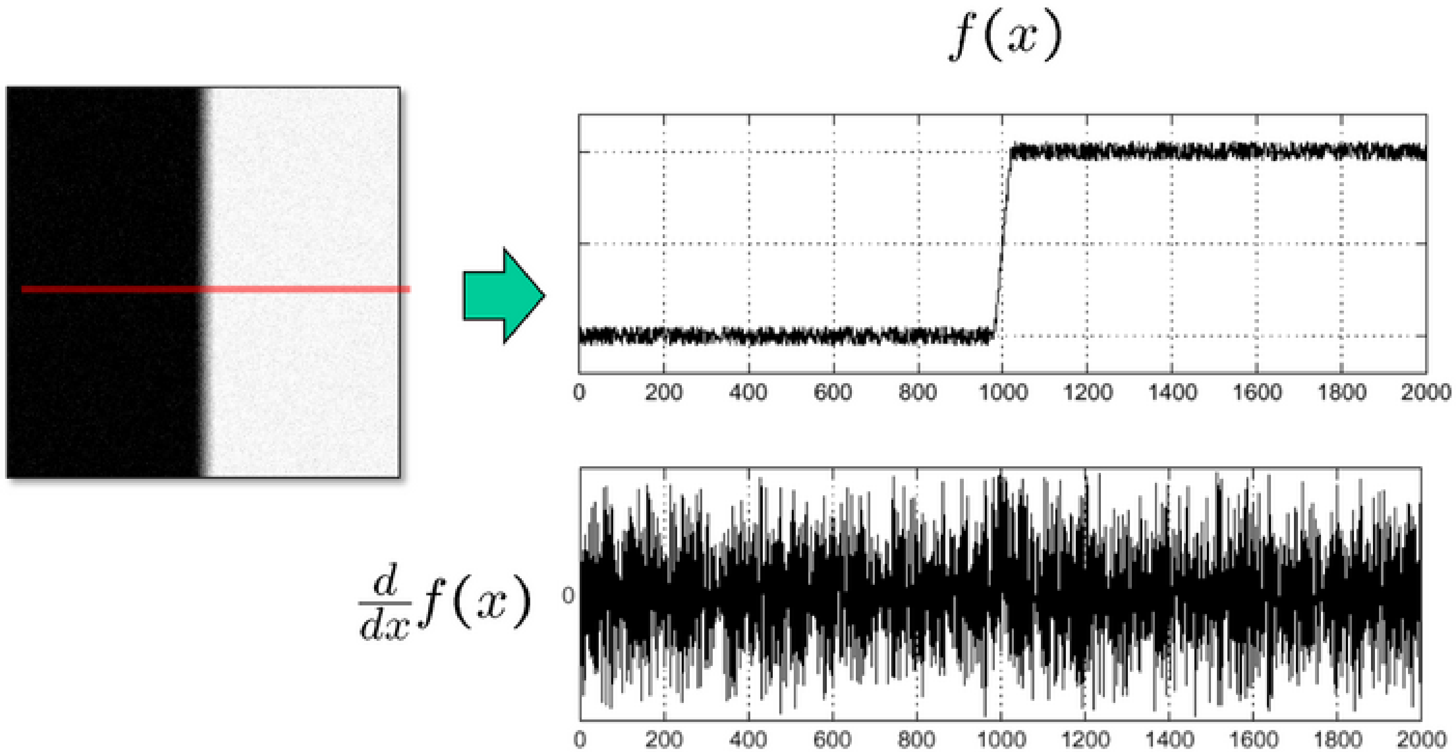
Dyskretne przybliżenie LoG

$$\sigma = \sqrt{2}$$

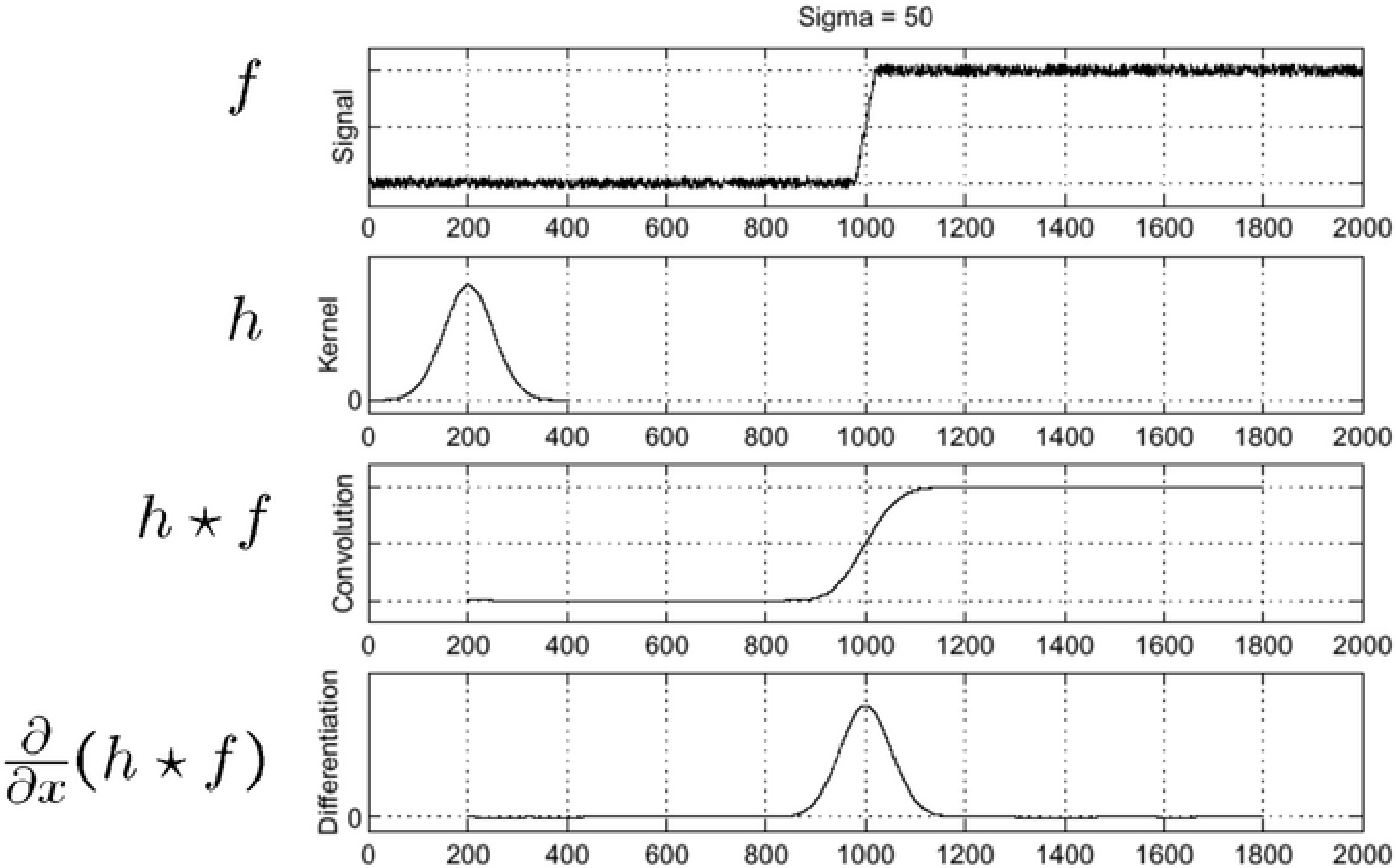
0	0	1	2	2	2	1	0	0
0	2	3	5	5	5	3	2	0
1	3	5	3	0	3	5	3	1
2	5	3	-12	-23	-12	3	5	2
2	5	0	-23	-40	-23	0	5	2
2	5	3	-12	-23	-12	3	5	2
1	3	5	3	0	3	5	3	1
0	2	3	5	5	5	3	2	0
0	0	1	2	2	2	1	0	0



Wpływ szumu na pochodne



Wpływ wygładzania na pochodne



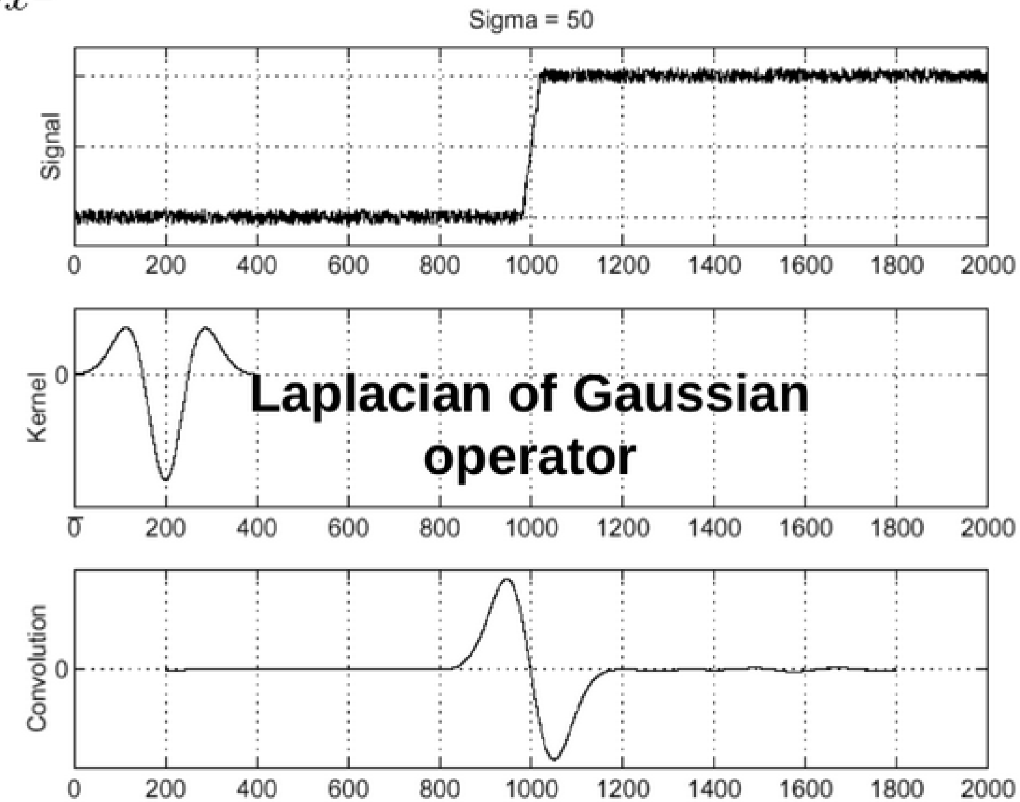
Wpływ wygładzania LoG

$$\frac{\partial^2}{\partial x^2}(h \star f)$$

f

$\frac{\partial^2}{\partial x^2}h$

$(\frac{\partial^2}{\partial x^2}h) \star f$



Detektor krawędzi Canny

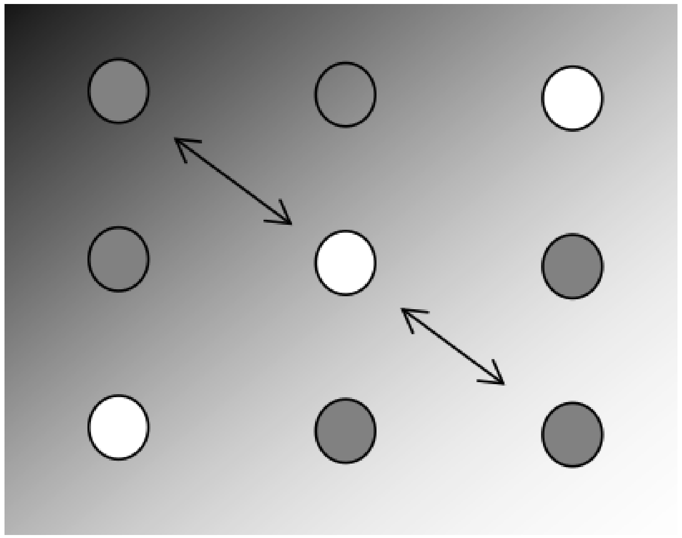
1. Wygładź obraz filtrem Gaussa,
2. Przybliżona wielkość i kąt gradientu (użyj filtru Sobela, Prewitta etc.)

$$M[x,y] \approx \sqrt{(\frac{\partial f(x,y)}{\partial x})^2 + (\frac{\partial f(x,y)}{\partial y})^2}\ \alpha[x,y] \approx \tan^{-1}(\frac{\partial f(x,y)}{\partial y} / \frac{\partial f(x,y)}{\partial x})$$

3. Zastosuj tłumienie niemaksymalne do wielkości gradientu,
4. Podwójne sproguj w celu wykrycia mocnych i słabych pikseli brzegowych,
5. Odrzuć piksele o słabej krawędzi nie połączone z pikselami o silnej krawędzi.

Tłumienie niemaksymalne Canny

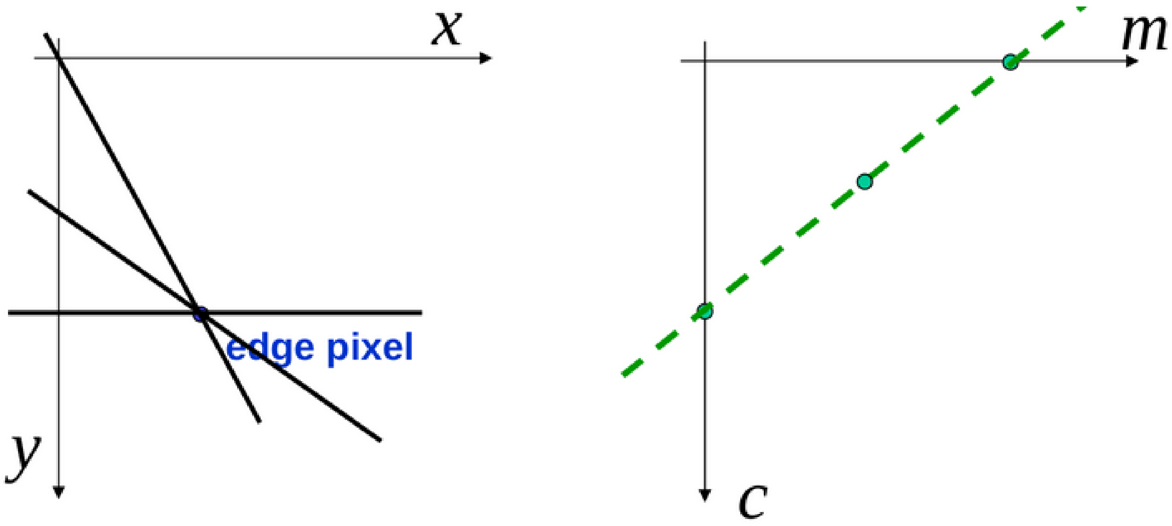
- Kwantyzuj krawędź normalną w jednym z czterech kierunków: poziomy, -45° , pionowy, $+45^\circ$
- Jeśli $M[x, y]$ jest mniejszy niż którykolwiek z jego sąsiadów w normalnym kierunku krawędzi -> wyłącz; w przeciwnym razie zachowaj.



Progowanie i tłumienie słabych krawędzi - progowanie histerezy

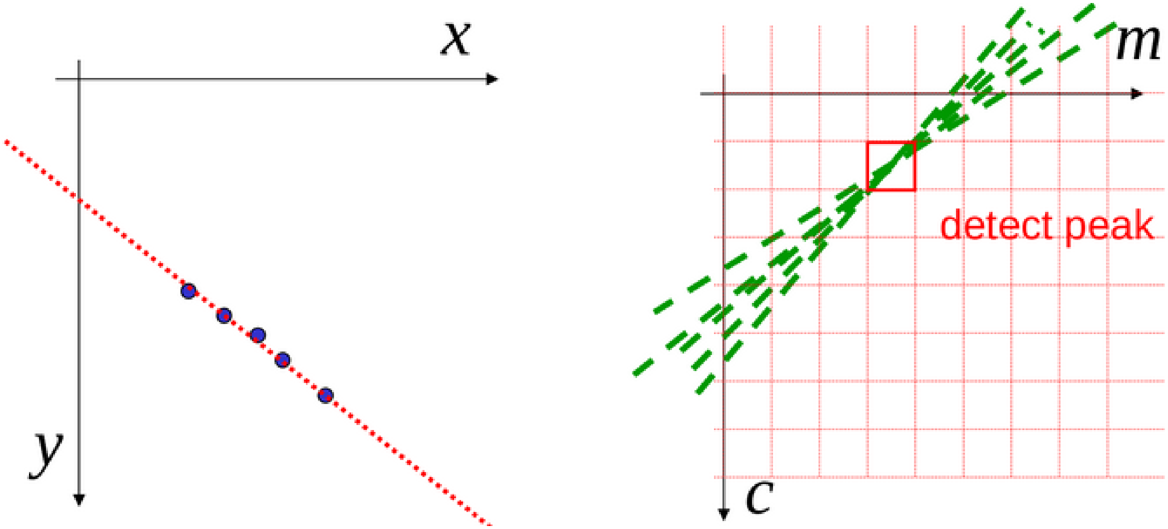
- Podwójne progowanie wielkości gradientu:
  - Mocne krawędzie: $M[x, y] \geq \Theta_{high}$ definitywne krawędzie,
  - Słabe krawędzie: $\Theta_{high} > M[x, y] \geq \Theta_{low}$ być może krawędź,
  - Nie-krawędź: $M[x, y] < \Theta_{low}$ definitywnie nie jest to krawędź,
- Typowe ustawienie: $\Theta_{high}/\Theta_{low} = 2 \ldots 3$
- Oznakowanie regionu pikseli krawędzi
- Odrzuć regiony bez mocnych pikseli krawędzi
- W przypadku krawędzi możliwych zdecyduj o krawędzi uwzględniając piksele sąsiednie.

Transformacja Hough'a



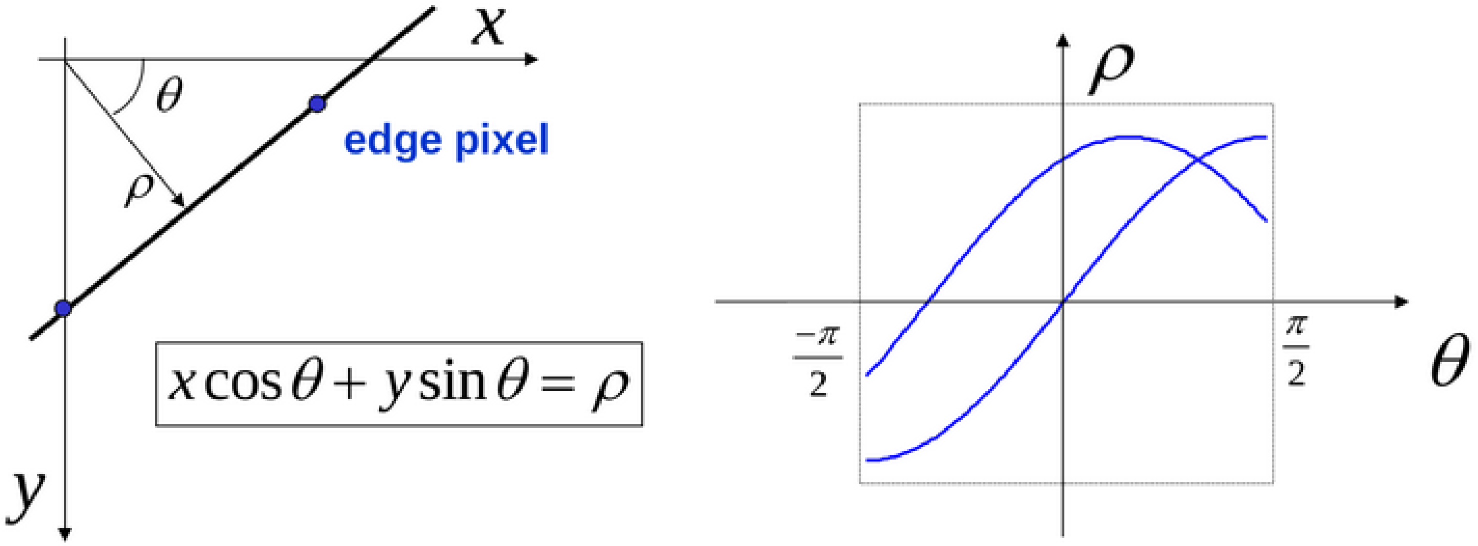
- Problem: dopasuj linię prostą (lub krzywą) do zestawu pikseli krawędzi
- Transformacja Hough'a (1962): uogólniona technika dopasowywania szablonów
- Rozważ wykrywanie linii prostych $y = mx + c$

Transformacja Hough'a



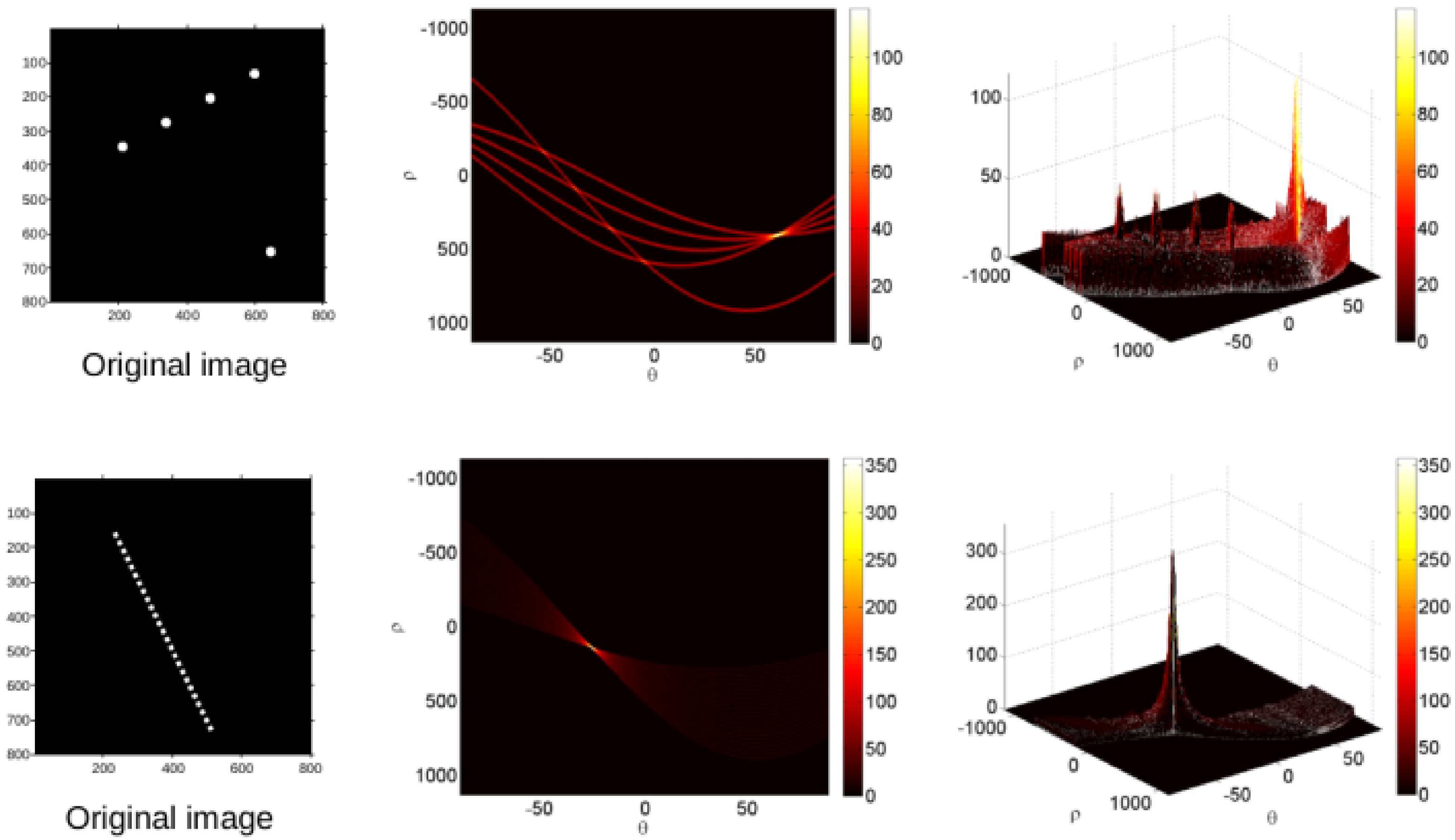
- Podzielić płaszczyznę (m, c) na dyskretne " pojemniki ", zainicjować wszystkie liczniki pojemników zerem 0,
- Narysuj linię w przestrzeni parametrów $[m, c]$ dla każdego piksela krawędziowego $[x, y]$ i przedział przyrostu liczy się wzdłuż linii.
- Wykryj pik na płaszczyźnie $[m, c]$.

Transformacja Hough'a

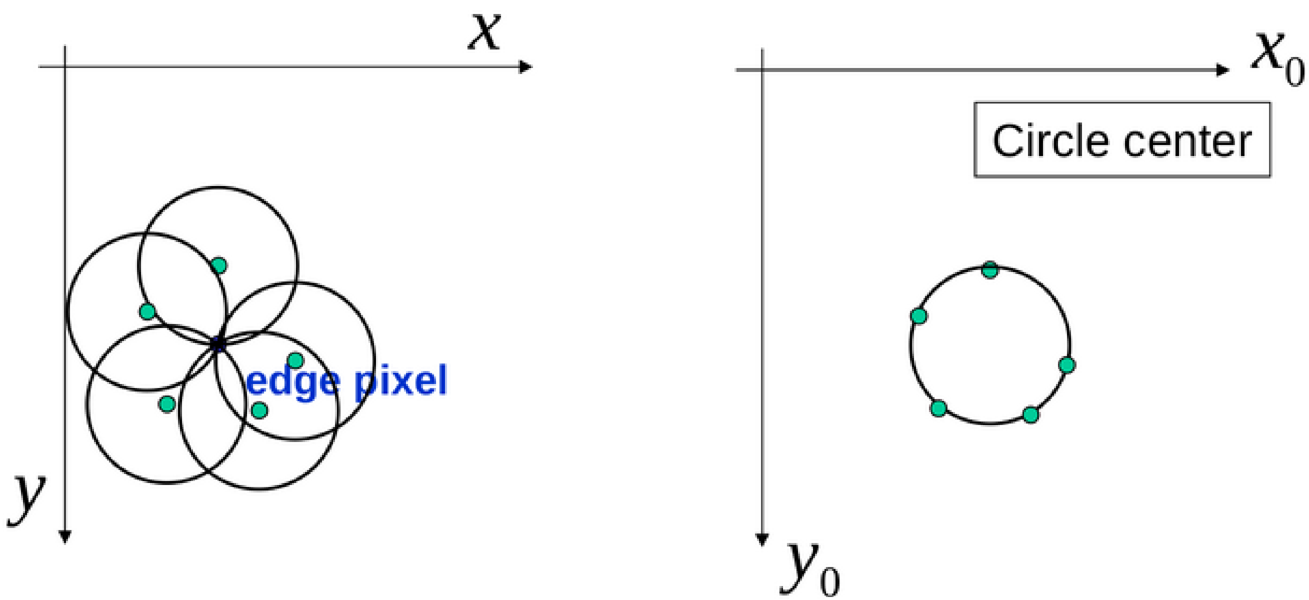


- Alternatywna parametryzacja pozwala uniknąć problemu z nieskończonym nachyleniem
- Podobny do transformacji Radona

Transformacja Hough'a - przykład

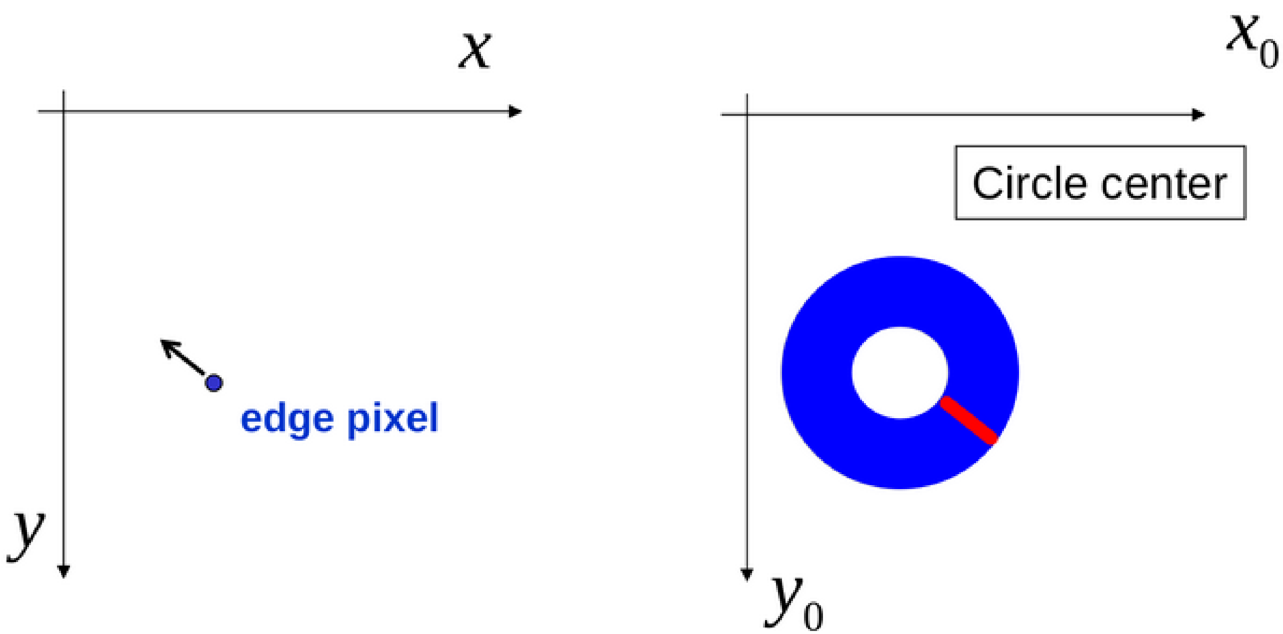


Transformacja Hough'a dla okręgów



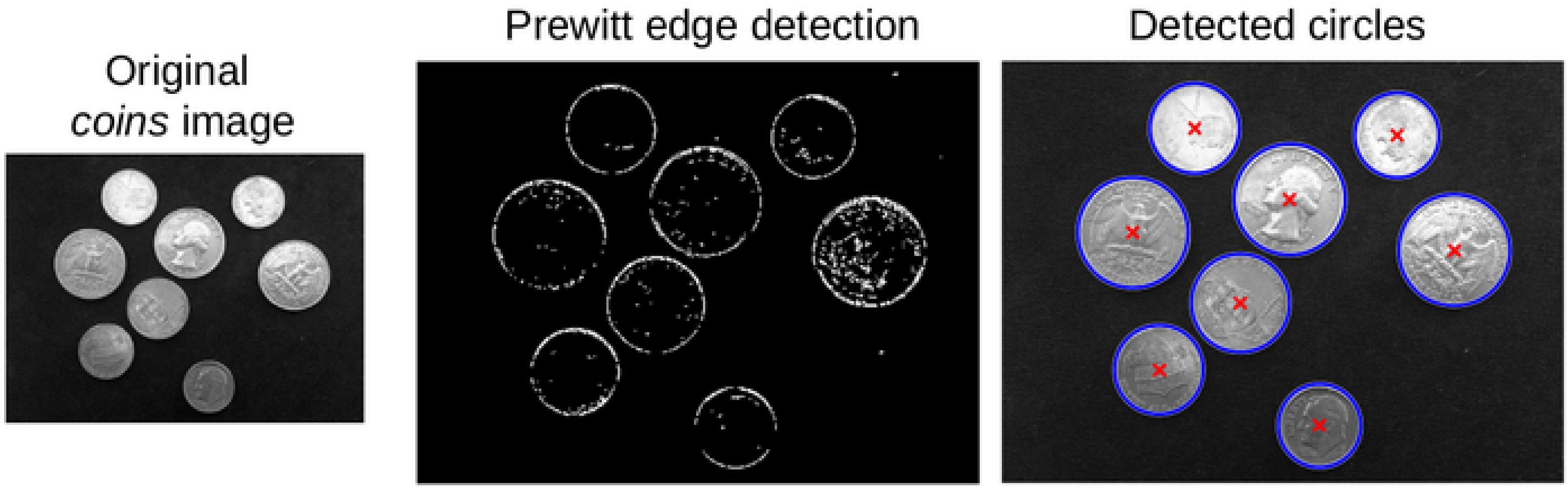
- Znajdź okręgi o stałym promieniu r,
- Odpowiednik splotu (dopasowanie szablonu) z okręgiem.

Transformacja Hough'a dla okręgów o nieznanym promieniu



- $3-d$ Transformacja Hough'a dla parametrów (x_0, y_0, r),
- $2-d$ Transformacja Hough'a wspomagana przez orientację krawędzi -> “szprychy” w przestrzeni parametrów.

Transformacja Hough'a dla okręgów - przykład



Wykrywanie narożników

Narożnik w koncepcji "ostro zakrzywionej krawędzi", przecięcie 2 krawędzi, linie

- Typ ciekawych miejsc, ciekawych miejsc (inne: zakończenia linii, jasne lub ciemne punkty),
- Pierwsze algorytmy wykrywające narożniki:
  - wykrywanie krawędzi,
  - śledzący krawędzie i wykrywający nagłą zmianę ich kierunku,
- Nowsza generacja algorytmów - krzywizna o dużym gradiencie,
- Zalecane jest wcześniejsze wygładzenie obrazu.

Zadania na laboratoria

Dana jest pewna liczba monet 5 zł i pewna liczba monet 5 gr. Monety mogą znajdować się na tacy lub poza nią. Napisz program, który będzie określałł liczbę i rodzaj monet na tacy oraz poza tacą. Przetestuj program na zdjęciach. Dostroj system w taki sposób aby uzyskać mozliwie najlepszą efektywność. Rozaważ wcześniejąszą analizę obrazu (jak rozmywanie, progowanie, wykrywanie krawędzi etc.). Wykorzystaj obie transformacje Hougha. Oceniana będzie efektywność działania systemu.