Inżynieria Mechatroniczna

Podstawy Sztucznej Inteligencji i Głębokiego Uczenia
Przetwarzanie Obrazów - Wstęp

Krzysztof Holak
Akademia Górniczo-Hutnicza w Krakowie

1

Harmonogram

- **Wykład 1 : Wstęp**
- Wstępne przetwarzanie obrazu
- Filtracja obrazów
- Wykrywanie krawędzi

- Wykład 2: Segmentacja obrazu
- Wykład 3: Cechy obrazu
- Wykład 4: Przetwarzanie wideo

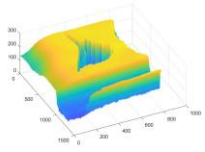
2

Co jest obraz ?

Obraz jako **funkcja 2D** z = f(x,y)

x, y – współrzędne punktów na obrazie
z – wartość funkcji (intensywność, kolor itp.)

To podejście pozwala nam tworzyć algorytmy przetwarzania obrazu korzystając z narzędzi np. analizy matematycznej
(np . gradient obrazu)



3

Co jest obraz ?

Obraz jako **macierz** pikseli A = A(i,j)

i, j – numer wiersz i kolumny piksela w macierzy
A(i,j) – wartość piksela (intensywność, kolor itp.)

To podejście pozwala nam tworzyć algorytmy przetwarzania obrazu korzystając z narzędzi np. Analizy matematycznej
(Obraz cyfrowy jest zawsze dyskretny!)

4

Reprezentacja obrazu

Reprezentujemy obraz cyfrowy jako macierz A(i,j) o rozmiarze MxN
Obraz cyfrowy jest **zdyskretyzowany** i **skwantowany**

M,N – liczba wierszy i kolumn w macierzy A – **rozdzielczość przestrzenna**
Liczba bitów na piksel do przedstawienia kolor lub jasności – **głębia bitowa**

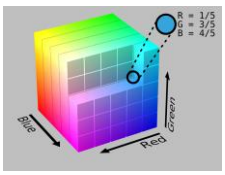
Obraz w skali szarości – 8 bitów na piksel (256 odcieni szarości)
Obraz kolorowy (True Color) – 8 bitów na kanał koloru, 24 bity na piksel
Obraz binarny (czarno-biały) – 1 bit na piksel

Inne representacje: obraz multispektralny , hiperspektralny …

5

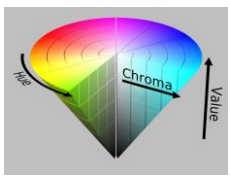
Obraz kolorowy

Przestrzeń RGB



Domyślna w Matlabie
Nieintuicyjna
Kanały współzależne

Przestrzeń HSV



Intuicyjna
Oddzielona informacja o kolorze i jasności

6

Obraz RGB

R

G

B

7

Obraz HSV

H

S

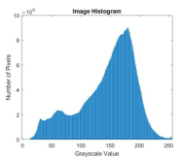
V

8

Histogram obrazu

Histogram obrazu – wykres słupkowy reprezentujący liczbę pikseli o danej jasności

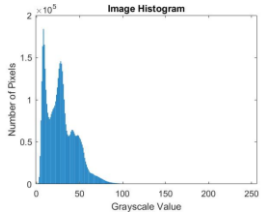
Histogram charakteryzuje jasność i kontrast obrazu– mówi wiele o tym, jak wygląda obraz
Dyskretna wersja funkcji gęstości prawdopodobieństwa znalezienia piksela o danej jasności



9

Przykłady histogramów

Ciemny obraz



10

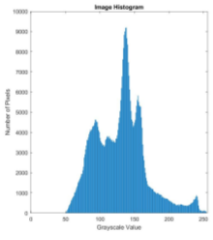
Przykłady histogramów

Histogram obrazu o wysokim kontraście vs obrazu o niskim kontraście

11

Przykłady histogramów

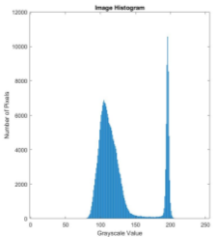
Obraz o wysokim kontraście



12

Przykłady histogramów

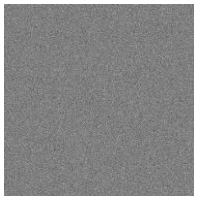
Obraz o niskim kontraście

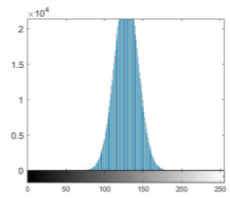


13

Przykłady histogramów

Obraz o niskim kontraście

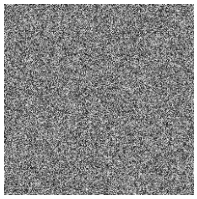


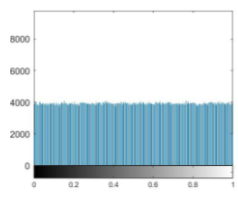


14

Przykłady

Obraz o wysokim kontraście

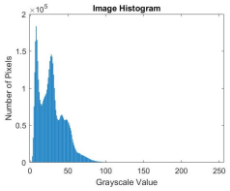




15

Wyrównanie histogramu

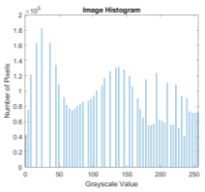
Poprzedni przykład podpowiada sposób na poprawę kontrastu obrazu poprzez rozciągnienie histogramu na wszystkie poziomy jasności – **wyrównywanie histogramu**



16

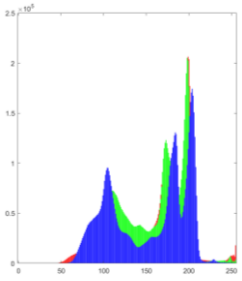
Wyrównanie histogramu

Dowód z **teorii prawdopodobieństwa**– prawdopodobieństwo gęstości dla monotonicznych funkcji zmiennych losowych



17

Histogramy dla obrazów kolorowych



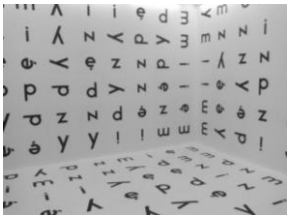
18

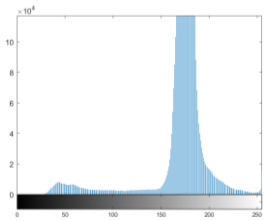
Histogramy dla obrazów kolorowych - wyrównanie

19

Histogramy w praktyce

Użyj histogramu, aby znaleźć próg i zbinaryzować obraz!

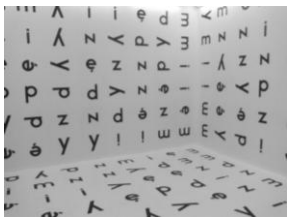


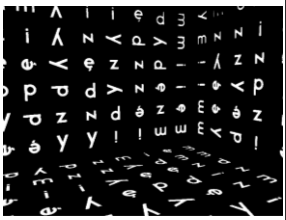


20

Histogramy w praktyce

Użyj histogramu, aby znaleźć próg i zbinaryzować obraz!





21

Podstawowe operacje na obrazach

- **Przetwarzanie punktowe**

Wynikowa wartość piksela jest funkcją tylko wartości wejściowego piksela
y = f(x)

- **Przetwarzanie lokalne**

Wynikowa wartość piksela jest funkcją wartości wejściowego piksela i pikseli z jego otoczenia
y = f(x,h (x))

- **Przetwarzanie globalne**

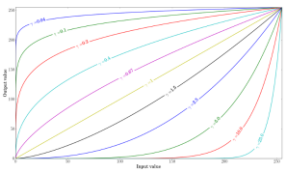
Wynikowa wartość pixela jest funkcją wszystkich wartości pikseli na obrazie
y = f(x,I)

22

Podstawowe operacje na obrazach

- **Przetwarzanie punktowe**

Zmiana jasności
Korekcja gamma
Operacje arytmetyczne
Operacje logiczne
Progowanie



- Przetwarzanie lokalne
- Przetwarzanie globalne

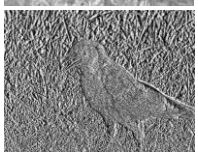
Źródło: OpenCV

23

Podstawowe operacje na obrazach

- Przetwarzanie punktowe

- **Przetwarzanie lokalne**



Filtry liniowe
Filtry nieliniowe
Filtry morfologiczne
Wykrywanie krawędzi
Korelacja obrazów

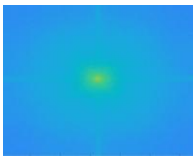
- Przetwarzanie globalne

24

Podstawowe operacje na obrazach

- Przetwarzanie punktów
- Przetwarzanie lokalne
- **Przetwarzanie globalne**

Transformacje obrazu:
Transformata Fouriera
Transformata Cosinusowa
Transformata Falkowa



25

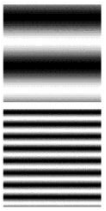
Filtry

Aby zrozumieć koncepcję filtracji obrazu, przypomnijmy sobie, że obraz jest funkcją 2D - lub **sygnałem 2D** !

Obraz, jak każdy inny sygnał ma reprezentację w dziedzinie częstotliwości
Częstotliwość przestrzenna (SF)!
Dwie zmienne (częstotliwość w **kierunkach x i y**)

Kierunek

Obraz o niskich SF Obraz o wysokich SF



26

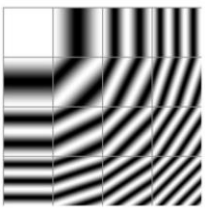
Filtry

Niskie częstotliwości

Średnia wartość jasności obrazu
(częstotliwość zerowa, składowa DC)
Powoli zmieniająca się jasność obrazu

Wysokie częstotliwości

Szybko zmieniająca się jasność
Ostre krawędzie
Narożniki, detale
Szumy

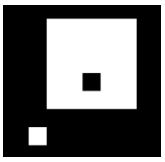


27

Filtracja liniowa

Matematycznie jest zrealizowana przez **dyskretny splot** maski filtra z obrazem
Wyniki zależą od maski filtra

$$h[m,n] = \sum_{k,l} g[k,l]\ f[m+k, n+l]$$



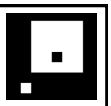
Przykład: g - filtr prostokątny o wymiarach 3x3
f- prosty obraz binarny

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

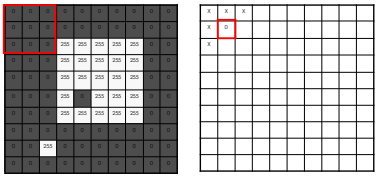
28

Dyskretny splot

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



$$h[m,n] = \sum_{k,l} g[k,l]\ f[m+k, n+l]$$

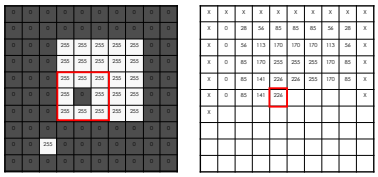


29

Dyskretny splot

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

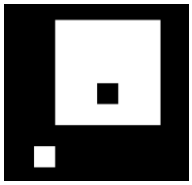
$$h[m,n] = \sum_{k,l} g[k,l]\ f[m+k, n+l]$$

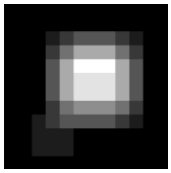


30

Wyniki filtracji

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





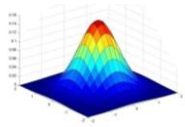
Co obserwujemy ?
Zamazane krawędzie, zredukowany „ szum ”, mniejszy obraz

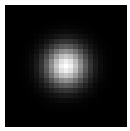
31

Filtry dolnoprzepustowe

Maski mają tylko dodatnie współczynniki
Suma wszystkich współczynników wynosi 1 (brak zmiany jasności !)
Współczynniki decydują o wpływie sąsiadów na centralny piksel pod maską

Przykłady: filtr prostokątny, **filtr gaussowski**

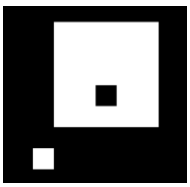


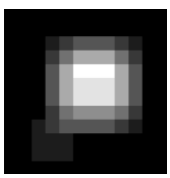


$$G_\sigma = \frac{1}{2\pi\sigma^2} e^{-\frac{(x^2+y^2)}{2\sigma^2}}$$

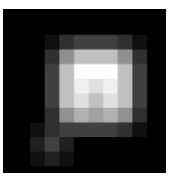
32

Wyniki filtracji





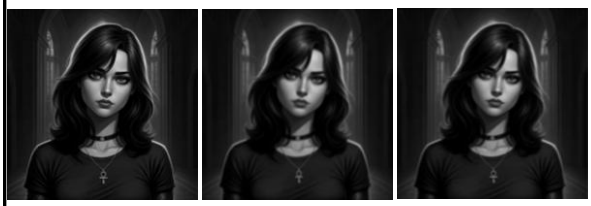
$\frac{1}{9}\begin{bmatrix}1&1&1\\1&1&1\\1&1&1\end{bmatrix}$



$\frac{1}{16}\begin{bmatrix}1&2&1\\2&4&2\\1&2&1\end{bmatrix}$

33

Wyniki filtracji



Box 13 x 13 Gauss 13 x 13, sigma 5

Jaki wpływ na wyniki ma rozmiar filtra ?
O czym decydują parametry filtru Gaussa?

34

Wyniki filtracji

Box 13 x 13 Gauss 13 x 13, sigma 5

Przyjrzyj się szczegółom!

35

Filtry dolnoprzepustowe do usuwania szumu

Sól i pieprz Szum: 0,3 Gauss 7 x 7, sigma 2

Jaki jest efekt?

36

Filtry dolnoprzepustowe do usuwania szumu

Sól i pieprz Szum: 0,5

Gauss 7 x 7, sigma 2

Jaki jest efekt?

MATLAB

37

Nieliniowa filtracja szumów

Dla niektórych rodzaj szumu, np. impulsowego(„sól i pieprz ") można zastosować filtr dający lepszy efekt!

Filtr medianowy – nieliniowy filtr, **nie może** być zrealizowany przez operacje splotu!
Oblicza medianę pikseli pod maską dla każdego położenia maski

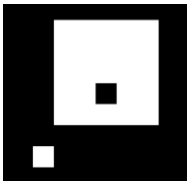
$$\begin{matrix} 255 & 255 & 255 \\ 255 & 18 & 255 \\ 255 & 255 & 255 \end{matrix}$$

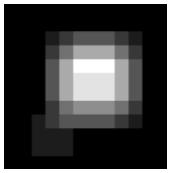
Jaki byłyby wynik filtracji?

Box 3x3: 288 (i dodatkowo zmiana otoczających pikseli)
Mediana 3x3: 255 (bez zmiany pikseli otoczenia)

38

Wyniki filtracji





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

Filtr medianowy

39

Wyniki filtracji

Sól i pieprz szum: 0,5

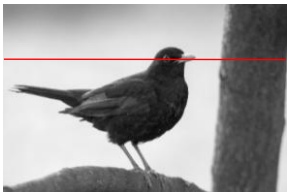
Filtr medianowy 7 x 7

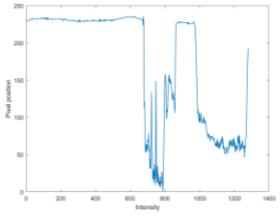
Jaki jest efekt?

40

Wykrywanie krawędzi

Jak wyglądają krawędzie na rzeczywistych obrazach?
Szum I





41

Filtry górnoprzepustowe

Powróćmy do operacji konwolucji (splotu)

Użyjmy następującej maski

$$S_x = \begin{bmatrix} 1 & 0 & -1 \\ 2 & 0 & -2 \\ 1 & 0 & -1 \end{bmatrix} \qquad S_y = \begin{bmatrix} 1 & 2 & 1 \\ 0 & 0 & 0 \\ -1 & -2 & -1 \end{bmatrix}$$

Jaki będzie wynik filtracji liniowej tą maską?

42

Wyniki filtracji górnoprzepustowej

$S_x =$

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

$S_y =$

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

43

Filtry górnoprzepustowe

Przepuszczają tylko wysokie częstotliwości przestrzenne – krawędzie, narożniki szum itp.
Mogą działać jak **detektory krawędzi**!
Nazywane są również filtrami do liczenia **pochodnych obrazu** lub **gradientowe**

$$\frac{\partial f(x,y)}{\partial x} = \lim_{\varepsilon \to 0} \frac{f(x+\varepsilon, y) - f(x,y)}{\varepsilon}$$

$$\frac{\partial f(x,y)}{\partial x} \approx \frac{f(x+1, y) - f(x,y)}{1}$$

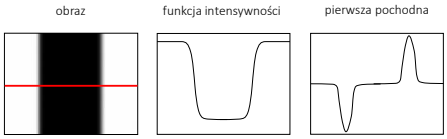
W praktyce jest stosowanych wiele masek– Sobel, Prewitt , Roberts dla policzenia pierwszej pochodnej obrazu

Laplasjan dla wyznaczenia drugiej pochodnej obrazu $\nabla^2 f = \frac{\partial^2 f}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 f}{\partial y^2}$

44

Wykrywanie krawędzi

Krawędź – miejsce na obrazie, gdzie pojawia się szybka zmiana intensywności piksela
Źródła krawędzi ?
Czy wszystkie krawędzie na obrazie to prawdziwe krawędzie świata 3D ?



Krawędzie jako **maksima** pierwszej pochodnej obrazu

45

Co jest źródłem krawędzi?

46

Gradient obrazu

1) Wybierz filtry liczące pierwszą pochodną obrazu (np.maska Sobela)
2) Splot maski filtra z obrazem w celu uzyskania jego pochodnych kierunkowych
3) Oblicz gradient dla każdego piksela – jego długość i kierunek

$\nabla f = \left[\frac{\partial f}{\partial x}, 0\right]$

$\nabla f = \left[\frac{\partial f}{\partial x}, \frac{\partial f}{\partial y}\right]$

θ

$\nabla f = \left[0, \frac{\partial f}{\partial y}\right]$

$\nabla f = \left[\frac{\partial f}{\partial x}, \frac{\partial f}{\partial y}\right]$ gradient

$\theta = \tan^{-1}\left(\frac{\partial f}{\partial y} / \frac{\partial f}{\partial x}\right)$ kierunek

$\|\nabla f\| = \sqrt{\left(\frac{\partial f}{\partial x}\right)^2 + \left(\frac{\partial f}{\partial y}\right)^2}$ długość

47

Wykrywanie krawędzi

Problem szumu

Zmniejszyć szum przez splot obrazu z **filtrem LP** i następnie splot z **filtrem HP** aby wykryć **krawędzie**
Z filtru Gaussa i Laplasjanu można uzywkać w ten sposób **filtr LoG**

48

Wyniki dla filtru Laplace'a i LoG

Laplasjan

Filtr LoG

49

Filtracja HP vs Detekcja krawędzi

Filtr LoG

Detektcja krawędzi

50

Wykrywanie krawędzi

Cel: Wykryj wszystkie (istotne) prawdziwe krawędzie, pomin krawędzie nieistotne (np. pochodzące od cieni)
Krawędź – to krzywa 1D, powinna być szerokości jednego piksela

Po filtracji HP: Wielokrotne krawędzie, „rozmazane" szerokie krawędzie, ponieważ wartość gradientu jest znacząca na całej grubości krawędzi

Rozwiązanie: **Detektor Canny'ego** – jedna z najbardziej znanych metod przetwarzania obrazu

51

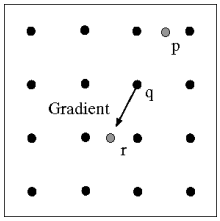
Filtr Canny'ego

Kroki algorytmu Canny'ego

1) Obliczeniepochodnych kierunkowych obrazu i wektora gradientu
2) Obliczenie długości i kierunku gradientu
3) Ścienienie szerokich krawędzi do jednopikselowej szerokości
4) Podwójne progowanie z histerezą w celu łączenia krawędzi

52

Non-maxima supression



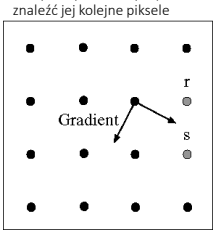
Punkt krawędzi jest w pikselu q , jeśli wielkość gradientu w punktach p i r jest mniejsza niż wielkość gradientu w tym punkcie

Źródło: D. Forsyth

53

Łączenie krawędzi

Zaczynamy w zadanym punkcie krawędzi i poruszamy się wzdłuż jej kierunku by znaleźć jej kolejne piksele



W punkcie krawędzi budujemy styczną i poruszamy się w jej kierunku, aby wybrać kolejny punkt krawędzi.

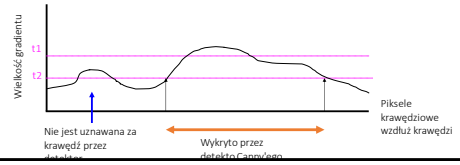
Źródło: D. Forsyth

54

Łączenie krawędzi – dwuprogowa histereza

Podążamy wzdłuż kierunku krawędzi, aby znajdować jej kolejne piksele

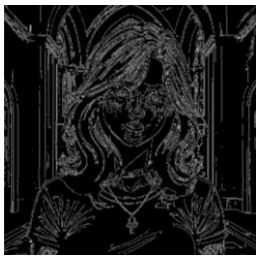
Używamy dwa progi do zamykania przerw w krawędziach
Używamy wyższego progu t_1 , aby rozpocząć śledzenie krawędzi,
następnie używamy niższego progu t_2 ,aby przestać ją śledzić



55

Wykrywanie krawędzi – filtr Canny'ego

t1 = 0,25, t2 = 0,1 sigma =1



t1 = 0,05, t2 = 0,01 sigma =1

56

Wykrywanie krawędzi – filtr Canny'ego

t1 = 0,25, t2 = 0,1 sigma =1

t1 = 0,25, t2 = 0,1 sigma =5

57

Filtracja morfologiczna

Najczęściej używana do filtracji obrazu binarnego
Teoretyczny opis i działanie na przyszłym wykładzie
Dzisiaj będziemy ich używać jako **filtrów min/max**
Maska może mieć dowolny kształt (**element strukturalny**)

Wynikową wartością piksela zostaje najniższa/najwyższa wartość pikseli z otoczenia bezpośrednio pod maska wyśrodkowaną na przetwarzanym pikselu

Podstawowe **operacje morfologiczne**

Erozja
Dylatacja
Otw
Zamknięcie

58

Filtracja morfologiczna

Erozja : rozmiar elementu typu dysk = 9

Dylatacja : rozmiar elementuty pu dysk = 9

59

Filtracja morfologiczna

Otwarcie : rozmiar elementu typu dysk = 9

Zamknięcie : rozmiar elementu typu dysku = 9

60

Filtracja morfologiczna

Porównywaj szczegóły na głowie ptaka

Erozja

Otwarcie

Dylatacja

Zamknięcie

61

Poprawa jakości filtrami morfologicznymi

62

Materiał do powtórki

- Opisz reprezentację cyfrową obrazów w skali szarości i kolorowych
- Co to jest histogram obrazu?
- Czym charakteryzuje się histogram obrazu o dużym/małym kontraście?
- Jaki jest wpływ wyrównania histogramu na obraz i jego histogram?
- Za co odpowiadają niskie i wysokie częstotliwości przestrzenne w obrazie?
- Opisz w jaki sposób przeprowadza się filtrację liniową na obrazach 2D
- Jak filtry dolno- i górnoprzepustowe zmieniają obraz?
- Jak działa filtracja medianowa?
- W jaki sposób wyznaczyć gradient obrazu?
- Opisz filtry liniowe do wykrywania krawędzi na obrazie
- Jakie są główne kroki algorytmu Canny'ego?

63

Dziękuję za uwagę

64