

Operacje na obrazach (III)

WYKŁAD 4

Dla studiów niestacjonarnych
2021/2022

Dr hab. Anna Korzyńska, prof. IBIB PAN

Operacje na obrazach

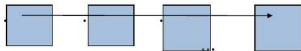
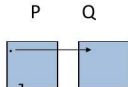
➤ Operacje punktowe (jednopunktowe):

Jednoargumentowe

$$[q(i, j)] = f[p(i, j)]$$

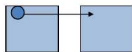
Wieloargumentowe

$$[q(i, j)] = f[p_1(i, j), p_2(i, j), \dots, p_k(i, j)]$$



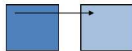
➤ Operacje sąsiedztwa (kontekstowe)

$$[q(i, j)] = f[p(i, j), p(i-1, j-1), p(i+1, j+1), \dots]$$



➤ Operacje globalne transformaty

$$[q(i, j)] = f[P]$$



Z poprzedniego wykładu

Filtracja oparta na operacjach logicznych

	a	
b	x	c
	d	

$$X' = \begin{cases} a & \text{if } a = d \\ \text{else } X \end{cases}$$

$$X' = \begin{cases} b & \text{if } b = c \\ \text{else } X \end{cases}$$

$$X' = \begin{cases} a & \text{if } a = b = c = d \\ \text{else } X \end{cases}$$

Czterospójne
otoczenie punktu

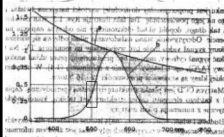
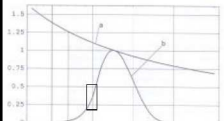
— eliminacja izolowanych
punktów i poziomych linii o
pojedynczej grubości

— eliminacja izolowanych
punktów i pionowych linii o
pojedynczej grubości

— eliminacja izolowanych
punktów

1	1	1	0
1	1	1	1
1	1	0	1
1	0	1	1
0	0	0	0
1	1	0	1
1	1	1	1
1	1	0	1
1	1	0	1

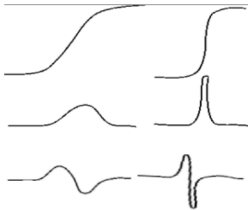
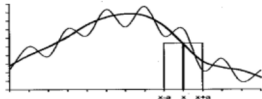
Przykład działania filtracji logicznych



Krawędziowanie i operatory krawędzujące

Działania matematyczne uwzględniające sąsiedztwo

- Całkowanie
(sumowanie, uśrednianie)
- Różniczkowanie (pierwsza pochodna)
- Laplasjany (druga pochodna)



Krawędź obrazu widoczna w przekroju (xz)

- obraz pierwotny
- po obróbce gradientowej (1-sza pochodna)
- po obróbce laplasjanowej (2-ga pochodna)

Krawędź



Pierwsza pochodna

$$\left(\frac{\partial f}{\partial x}\right)$$



Druga pochodna

$$\left(\frac{\partial^2 f}{\partial x^2}\right)$$



Operator gradientowy

-1	0	+1
----	---	----



Operator typu drugiej pochodnej

-1	0	+1
----	---	----



Rozróżnienie operacji związanych z krawędziami

- Krawędziowanie laplasjanem
- Uwypuklenia krawędzi (wyostrzenia)
- Detekcja krawędzi w określonym kierunku
- Detekcja krawędzi w dowolnym kierunku

Tekst

Tekst

Tekst

Tekst

Tekst

Tekst

Tekst

Tekst

Tekst

Detekcja (wykrywanie) krawędzi (ang. edge detection)

Jest to jedna z technik segmentacji obrazu, polegająca na znajdowaniu pikseli krawędziowych przez sprawdzanie ich sąsiedztwa.

Krawędź

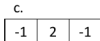
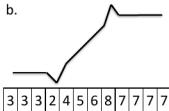
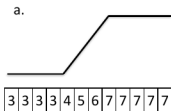
Zbiór pikseli na krzywej mający taką właściwość, że piksele w ich sąsiedztwie, lecz po przeciwnych stronach krzywej mają różne poziomy jasności.

Cel detekcji

znalezienie lokalnych nieciągłości w poziomach jasności obrazu oraz granic obiektów zawartych w obrazie.

Wyostanie krawędzi obrazu widoczne na przekroju (xz)

- a. obraz pierwotny
 - b. obraz wynikowy po obróbce i po dodaniu w sposób ważony jasności odpowiednich pikseli obrazu pierwotnego
 - c. maska laplasjanu
 - d. laplasjan
- Rezultat **uwypuklenie** (wzmacnianie) krawędzi (edge enhancement)



UWAGA!! Metoda ma podstawy w procesach fizjologicznych zachodzących w oku ludzkim zwanych hamowaniem obocznym, jej efekty opisał w Ernst Mach w 1860 roku

Obraz o wzmocnionych konturach obiektów

Wyodrębnienie przez **złożenie** obrazów:

- wejściowego,
 - po operacji zadanej laplasjanem lub filtrem rozmywającym/wygładzającym
- następnie przeskalowanie stopni szarości

0	-1	0
-1	4	-1
0	-1	0

-1	-1	-1
-1	8	-1
-1	-1	-1

1	-2	1
-2	4	-2
1	-2	1

-1	-1	-1
-1	9	-1
-1	-1	-1

0	-1	0
-1	5	-1
0	-1	0

Wykonanie operacji konstrukcji tzn. **Unsharpen Mask**

Odjęcie obrazu wygładzonego (rozmytego np. filtrem gaussa) od obrazu oryginalnego daje obraz regionów wyodrębnienia

Jak otrzymać podniesienie kontrastu na krawędziach z wykorzystaniem unsharp mask



Porównanie z obrazem o maksymalnie dobranym kontraście przez rozciągnięcia od bieli do czerni



Przykłady masek FG detekcji krawędzi

Tekst

maska 1

y-1 y y+1

x-1	1	-2	1
x	-2	5	-2
x+1	1	-2	1

maska 2

-1	-1	-1
-1	9	-1
-1	-1	-1

maska 3

0	-1	0
-1	5	-1
0	-1	0

ogólnie

w_1	w_2	w_3
w_4	w_5	w_6
w_7	w_8	w_9

Obliczanie wartości piksela obrazu wynikowego

$$g(x,y) = w_1f(x-1,y-1) + w_2f(x-1,y) + w_3f(x-1,y+1) + \\ + w_4f(x,y-1) + w_5f(x,y) + w_6f(x,y+1) + \\ + w_7f(x+1,y-1) + w_8f(x+1,y) + w_9f(x+1,y+1)$$

Uwaga

W przypadku operacji wyostrażania oraz detekcji krawędzi współczynnik maski $K=1$.



Filtry uwypuklające krawędzie (w założonym kierunkowe lub ogólnie)

- Zmniejszają udział lub wręcz usuwają informację o obszarach jednorodnych, uwypuklając informację o krawędziach
- Suma współczynników maski równa 0
- Konieczność skalowania

Tekst

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

Tekst

1	-1	-1
1	-2	-1
1	1	1

Tekst

1	-2	1
-2	4	-2
1	-2	1

Tekst


Metoda specjalnego gradientu

Stosowana w przypadkach, gdy metody filtracji górnoprzepustowej (FG) powodują wzmocnienie zakłóceń w obszarach leżących **wewnątrz** konturu.

Zasada

Krawędź uznana jest za istniejącą, jeśli wartość gradientu intensywności w pewnych punktach przekracza ustalony próg.

Metody : **Roberts**, **Sobela**, **Prewitta**, **Kirsha**, **Canny** oraz **filtry rzeźbiące**

(i,j) 

f_0	f_1	f_2
f_3	f_4	f_5
f_6	f_7	f_8

Metoda Robertsa

$$R(i,j) = \sqrt{(f_4 - f_8)^2 + (f_7 - f_5)^2};$$

$$\alpha = -\frac{\pi}{4} + \operatorname{tg}^{-1}\left(\frac{f_7 - f_5}{f_4 - f_8}\right)$$

gdzie:

$R(i,j)$ - specjalny gradient w punkcie (i,j)

α - kierunek gradientu intensywności.

Metoda Sobela

dwie składowe gradientu:

$$S_x = (f_2 + 2f_5 + f_8) - (f_0 + 2f_3 + f_6)$$

$$S_y = (f_6 + 2f_7 + f_8) - (f_0 + 2f_1 + f_2)$$

$$S(x,y) = \sqrt{S_x^2 + S_y^2}$$

Maski konwolucyjne do konstrukcji operatorów krawędziowych

Roberts

1	0	0	-1
0	-1	1	0

G_{225}

G_{45}

Sobel:

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

G_x

G_y

Prewitt:

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

G_x

G_y

Kirsha:

3	3	-5	3	3	3
3	0	-5	3	0	3
3	3	-5	-5	-5	-5

G_x

G_y

Operatory krawędziowania

Konstruowane przez nieliniową kombinację dwóch prostopadłych kierunków gradientu (liniowych transformacji)

dokładnej

$$G = \sqrt{Gx^2 + Gy^2}$$

Robertsa

Gx	1	0	lub	-1	0
	0	-1		0	1
	0	1	lub	0	-1
Gy	-1	0		1	0

przybliżonej

$$G = |Gx| + |Gy|$$

Sobela

	1	0	-1		-1	0	1
Gx	2	0	-2	lub	-2	0	2
	1	0	-1		-1	0	1
	1	2	1		-1	-2	-1
Gy	0	0	0	lub	0	0	0
	-1	-2	-1		1	2	1

Metoda Kirscha

Wartość piksela (i, j) jest zmieniana według wzoru:

$$g(i, j) = \max_{k=0}^7 \{1, \max[|5S_k - 3T_k|]\}$$

gdzie:

$$S_k = f_k + f_{k+1} + f_{k+2}$$

$$T_k = f_{k+3} + f_{k+4} + f_{k+5} + f_{k+6} + f_{k+7}$$

f - obraz źródłowy,

g - obraz wynikowy

Numeracja pikseli:

0	1	2
7	i, j	3
6	5	4

Indeksy punktów obrazu f - wartości modulo 8

Maski odpowiadające operatorowi Kirscha (maski Kirscha)

N

3	3	3
3	0	3
-5	-5	-5

NE

3	3	3
-5	0	3
-5	-5	3

E

-5	3	3
-5	0	3
-5	3	3

SE

-5	-5	3
-5	0	3
3	3	3

S

-5	-5	-5
3	0	3
3	3	3

SW

3	-5	-5
3	0	-5
3	3	3

W

3	3	-5
3	0	-5
3	3	-5

NW

3	3	3
3	0	-5
3	-5	-5

Operatory kierunkowe

$[p(i,j)]$ $j \rightarrow$

15	15	14	13	14
14	14	13	12	12
4	5	12	11	12
5	3	4	5	6
1	0	3	2	4

$i \downarrow$



$[q(i,j)]$ $j \rightarrow$

x	x	x	x	x
x	-10	2	-1	x
x	-39	-19	-18	x
x	-24	-11	-14	x
x	x	x	x	x

$i \downarrow$

SW

1	-1	-1
1	-2	-1
1	1	1

$$q_{22} = 15 + 14 + 4 + 15 + 12 - 28 - 15 - 14 - 13 = -10$$

$$q_{23} = 15 + 14 + 15 + 12 + 11 - 26 - 14 - 13 - 12 = 2$$

$$q_{32} = 14 + 4 + 5 + 3 + 4 - 30 - 14 - 13 - 12 = -39$$

$$q_{42} = 4 + 5 + 1 + 3 - 6 - 15 - 12 - 4 = -24$$

$$q_{33} = 14 + 15 + 3 + 4 + 5 - 24 - 13 - 12 - 11 = -19$$

$$q_{43} = 15 + 3 + 3 + 4 - 8 - 12 - 11 - 5 = -11$$

$$q_{24} = 14 + 13 + 12 + 11 + 12 - 24 - 13 - 14 - 12 = -11$$

$$q_{34} = 13 + 12 + 4 + 5 + 6 - 22 - 12 - 12 - 12 = -18$$

$$q_{44} = 12 + 4 + 3 + 4 + 2 - 10 - 11 - 12 - 6 = -14$$

Filtry kierunkowe rzeźbiące

Wschód			Południowy wschód			Południe			Południowy zachód					
-1	0	1		-1	-1	0		-1	-1	-1		0	-1	-1
-1	1	1		-1	1	1		0	1	0		1	1	-1
-1	0	1		0	1	1		1	1	1		1	1	0

E

SE

S

SW

W

NW

N

NE

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

Zachód

Północny zachód

Północ (N)

Północny wschód

Obraz wykorzystujący efekty płaskorzeźby



Operator Canny-ego

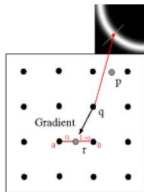
Wieloetapowy algorytm detekcji krawędzi zaproponowany przez twórcę teorii *Computational theory of edge detection* **John F. Canny** w 1986 r. Jego działanie oparte jest o znane detektory krawędzi (Robertsa, Sobela i Prewitta) i **progowanie z histerezą**, które optymalizuje wynik wyrzucając krawędzie rozmyte, nachylone pod kątami niewiele odchyłonymi od wcześniej wykrytych, zapobiega przerwaniu krawędzi w miejscach utraty kontrastu, itp..



1986. [*A computational approach to edge detection*](#). IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, vol. 8, 1986, pp. 679–698

Etapy działania operatora Canny-ego

- Zamiana obrazu kolorowego na jego wersję monochromatyczną w odcieniach szarości
- Rozmycie filtrem gaussowskim o zadanym parametrze: np.: sigma (δ)
- Obliczenie gradientu Sobele/Prewitta i kierunku gradientu według Roberts'a
- Wyłuszczenie lokalnych nie maksymalnych gradientów w obrazie gradientu celem otrzymania cienkiej linii
- Dokonanie podwójnego progowania według zadanych parametrów T_{min} i T_{max} :
 - $<T_{min}$ - brak krawędzi,
 - $>T_{max}$ - silne krawędzie
 - $\geq T_{min}$ i $\leq T_{max}$ - krawędzie słabe
- Wykonanie śledzenia krawędzi opartego na histerezie w celu ich ucięcia: słabe krawędzie będące przedłużeniem silnych są dołączane a nie będące są oznaczane do czyszczenia
- Wyczyszczenie krawędzi



Operacje morfologii matematycznej na obrazach

Operacje morfologiczne

Są to operacje, w których modyfikacja danego piksla obrazu jest uzależniona od **kształtu elementu strukturalnego** (wzorca) użytego w danej operacji oraz od **spełnienia zadanego warunku logicznego**.

Metody te oparte o matematycznej teorii zbiorów i poszukują i uwypukla lub wyrzucają cech, które ujawniają się w obrazie/obiekcie w kontekście narzędzia badawczego, którym jest element strukturalny

Cel: przygotowanie poszczególnych elementów obrazu do etapu analizy obrazów

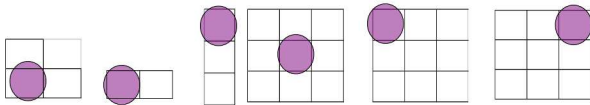
Główna cecha różniąca operacje morfologiczne od operacji punktowych i operacji sąsiedztwa:

W operacjach morfologicznych przekształcana jest tylko ta część pikseli obrazu, których otoczenie jest zgodne z elementem strukturalnym – koincydentne

Operacje morfologii matematycznej na obrazach

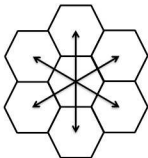
Pozwalają na budowanie złożonych operacji nieliniowych, do analizę kształtu i wzajemnego położenia obiektów.

Fundamentalne pojęcie: **element strukturalnym (strukturujący)**
– podzbiór obrazu z wyróżnionym punktem, zwanym często punktem centralnym



Podstawowy element strukturalny

Siatka heksagonalna
(1 rodzaj)



Siatka prostokątna

kwadrat

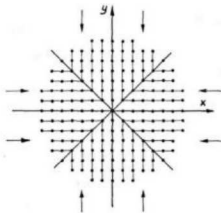


Romb/krzyż



koło

o promieniu
jednostkowym



koło o promieniu $r = 7$

Operacje morfologii matematycznej na obrazach

– w elemencie strukturalnym występują następujące symbole:

- **1** element wskazuje piksel zapalony tzn. wartość obiektu w masce binarnej
- **0** element wskazuje piksel wytłumiony tzn. wartość tła w masce binarnej
- **X** element wskazuje dowolną wartość tzn. wartość tła lub obiektu w masce binarnej

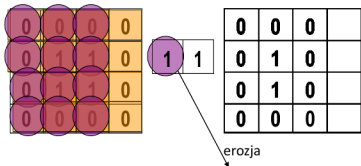
Przekształcenia polegają na pozostawieniu lub zmianie intensywności według pewnej funkcji skojarzonej z nazwą funkcji punktu przykrytego przez punkt centralny elementu strukturalnego jeśli jego otoczenie nie ma lub ma zgodność z założeniami zakodowanemu symbolami w elemencie strukturalnym.

**Operacje morfologiczne przekształcają tylko część
punktów obrazu**

Operacje morfologiczne

1. Operacje morfologiczne binarne działają na tzn. maskach czyli **obrazach binarnych**, w którym obiekty oznaczone są „1” a tło „0” lub na **obrazach w odcieniach szarości**, ale korzystając z uogólnionej definicji
2. Element strukturalny jest przemieszczany po wszystkich punktach obrazu tak, że punkt centralny elementu strukturalnego jest nakładany na kolejne punkty w kolejnych wierszach,
3. W każdym położeniu elementu sprawdza się, czy rzeczywista konfiguracja punktów jest zgodna (koincydentna) ze wzorcem zawartym w elemencie strukturalnym zakodowanym symbolami 1, 0, X
4. W przypadku wykrycia zgodności jest wykonywana operacja związana z filtrem, a w przeciwnym przypadku wartość występująca w obrazie pierwotnym jest przepisywana.

Operacje morfologiczne



Jeśli punkt otoczenia jest wygaszony (równy wartości tła - 0) przy zapalonym (większym od tła - 1) elemencie centralnym, element pod elementem centralnym zostaje wygaszany – zrównany z tłem, a w przeciwnym wypadku zostawiamy jego poprzednią wartość

Przykładowe operacje morfologiczne

- **Erozja** – oparta o różnicę Minkowskiego;

Def.: jeżeli choć jeden piksel z sąsiedztwa określonego elementem strukturalnym ma wartość „0” to punkt centralny otrzymuje wartość „0”, w przeciwnym przypadku jego wartość nie ulega zmianie

- **dylatacja** – oparta o sumę Minkowskiego;

Def.: jeżeli choć jeden piksel z sąsiedztwa określonego elementem strukturalnym ma wartość „1” to punkt centralny otrzymuje wartość „1”, w przeciwnym przypadku przyjmuje wartość „0”

- **Otwarcie** - złożenie erozji i dylatacji,
- **Zamknięcie** – złożenie dylacji i erozji.

Kwadrat



Romb/krzyż



Wykorzystanie sąsiedztwa 8-spójnego i 4-spójnego

Podstawowe operacje morfologii matematycznej

0-zgaszony; 1-zapalony; X-o dowolnej wartości.

- Erozja

$$q(i, j) = \min_{i_n, j_m \in B(i, j)} (p(i_n, j_m))$$

- Dylatacja (dylacja) negatyw erozji

$$q(i, j) = \max_{i_n, j_m \in B(i, j)} (p(i_n, j_m))$$

$B(i,j)$ element strukturalny z punktem centralnym o współrzędnych (i,j)

1	1	1
1	1	1
1	1	1

X	X	X
X	0	X
X	X	X

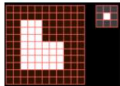
Dylatacja jest operacją **dualną** do erozji i na odwrót

Przykłady operacji erozji

Algorytm erozji opiera się na wybraniu piksela o wartości najmniejszej / minimalnej i wstawieniu go w miejsce elementu centralnego.



O małym (2x2)/dużym(6x6) kwadratowym elemencie strukturalnym

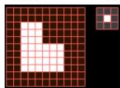


O wertykalnym/horyzontalnym elemencie strukturalnym

Minimum / Ściemnienie

Przykłady operacji dylatacji

Algorytm dylatacji opiera się na wybraniu piksela o wartości największej/ maksymalnej i wstawieniu go w miejsce elementu centralnego.



O małym (2x2)/dużym(6x6) kwadratowym elemencie strukturalnym



O wertykalnym/horyzontalnym elemencie strukturalnym

Otwarcie

Operacja morfologiczna, która opiera się na dwóch innych operacjach: erozji i dylatacji. Otwarcie polega na wykonaniu na obrazie najpierw erozji (minimum), a następnie na tak przetworzonym obrazie należy zastosować dylatację (maksimum) na tym samym elemencie strukturyzującym.

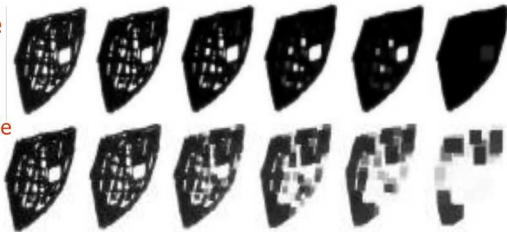
Zamknięcie

Operacja morfologiczna, która opiera się na dwóch innych operacjach: dylatacji i erozji. Zamknięcie polega na wykonaniu na obrazie najpierw dylatacji (maksimum), a następnie na tak przetworzonym obrazie należy zastosować erozję (minimum) na tym samym elemencie strukturyzującym.

Operacje otwarcia i zamknięcia na obrazach w odcieniach szarości

Otwarcie

Zamknięcie



Element strukturalny: 3x3 5x5 9x9 13x13 21x21

Komplementarność operacji

Otwarcie i zamknięcia – interpretacja geometryczna

Obrazy binarne



Otwarcie: toczenie elementu strukturalnego/strukturyzującego od wewnątrz

Zamknięcie: toczenie elementu strukturalnego/strukturyzującego od zewnątrz

Obrazy monochromatyczne w odcieniach szarości



Otwarcie/Zamknięcie: toczenie kulki/piłki czyli elementu strukturalnego/strukturyzującego od dołu/góry linii profilu dla obrazów w skali szarości

Pocienianie

Zmniejszenie obiektu o piksele będące jego krawędzią.

Pogrubianie

Zwiększenie obiektu o dodatkowe piksele tła stykające się z krawędzią obiektu.

Ekstrakcja konturu

Kolejność działań: 1) operacja erozji obrazu, 2) odjęcie wyniku erozji od obrazu pierwotnego. W wyniku otrzymujemy kontur obiektu.

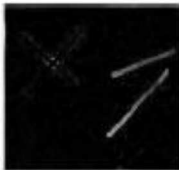
Szkieletyzacja

Operacja, która wykrywa szkielet obiektu. Przykładowy algorytm szkieletyzacji: 1) obliczyć, ile erozji można wykonać, aby obraz nie został sprowadzony do tła, 2) wykonać obliczoną ilość razy erozję i otwarcie. Wyniki kolejnych kroków erozji i otwarcia należy od siebie odjąć. Wyniki odejmowania z kolejnych kroków należy wstawić w obraz wynikowy.



obraz wynikowy

Top Hat



White Top Hat



Black Top Hat

Rekonstrukcja



Otwarcie



Rekonstrukcja

Pozostałe operacje morfologii matematycznej

- Gradient morfologiczny (= Otwarcie+Zamknięcie)
- Wygładzanie morfologiczne (=Dylacja–Erozja)
- Odcinanie gałęzi (artefaktów z nieregularności obiektów szkieletyzowanych)
- Detekcja centroidów (punktów centralnych obiektu)
- Dylatacja bez styków (SKIZ ang. Skeleton by influence zone)
- Erozja warunkowa
- Automediana

Przykład działania operacji morfologicznych

