

Operacje na obrazach (III)

WYKŁAD 4

Dla studiów niestacjonarnych
2021/2022

Dr hab. Anna Korzyńska, prof. IBIB PAN

Operacje na obrazach

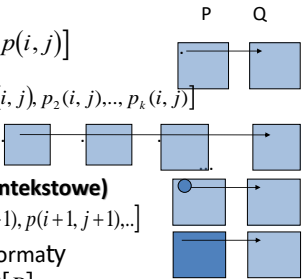
➤ Operacje punktowe (jednopunktowe):

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

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

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

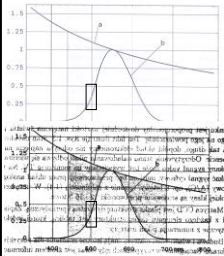
$$X' = \begin{cases} a & \text{if } a = b = c = d \\ \text{else } X \end{cases}$$

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

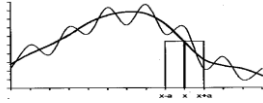
Przykład działania filtracji logicznych



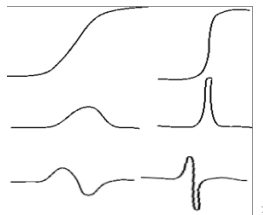
Krawędziowanie i operatory krawędzujące

Działania matematyczne uwzględniające sąsiedztwo

- Całkowanie (sumowanie, uśrednianie)

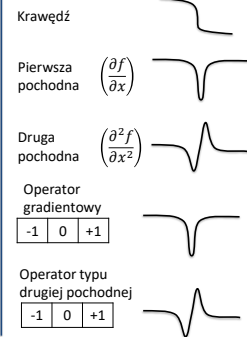


- Różniczkowanie (pierwsza pochodna)
- Laplasjany (druga pochodna)



Krawędź obrazu widoczna w przekroju (xz)

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



8

Rozróżnienie operacji związanych z krawędziami

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



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.

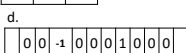
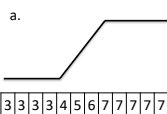
Cel detekcji

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

10

Wyostanie krawędzi obrazu widoczne na przekroju (xz)

- obraz pierwotny
 - obraz wynikowy po obróbce i po dodaniu w sposób ważony jasności odpowiednich pikseli obrazu pierwotnego
 - maska laplasjanu
 - laplasjan
- Rezultat **uwypuklenie** (wzmocnianie) krawędzi (edge enhancement)



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

11

Obraz o wzmocnionych konturach obiektów

Wyostanie przez **złożenie** obrazów:

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

0	-1	0	-1	-1	-1	1	-2	1	-1	-1	-1	0	-1	0
-1	4	-1	-1	8	-1	-2	4	-2	-1	9	-1	-1	5	-1
0	-1	0	-1	-1	-1	1	-2	1	-1	-1	-1	0	-1	0

Wykonanie operacji konstrukcji tzn. **Unsharpen Mask**

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

12

Jak otrzymać podniesienie kontrastu na krawędziach z wykorzystaniem unsharpen mask

Original

Unsharp Mask

Blurred Copy

Unsharp Mask

+

+

=

Original

Sharpened Final Image

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

TEXT

Przykłady masek FG detekcji krawędzi

maska 1

maska 2

maska 3

ogólnie

y-1

y

y+1

x-1

x

x+1

1	-2	1
-2	5	-2
1	-2	1

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

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

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 wyodrębniania oraz detekcji krawędzi współczynnik maski K=1.

TEXT

ekst

ekst

Filtry uwypuklające krawędzie (w założonym kierunkowo lub ogólnie)

Zmniejszają udział lub wręcz usuwają informację o obszarach jednorodnych, uwypuklając informację o krawędziach

Suma współczynników maski równa 0

Konieczność skalowania

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

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

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

TEXT

TEXT

TEXT

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**

Metoda Roberts

$$R(i,j) = \sqrt{(f_4 - f_8)^2 + (f_7 - f_5)^2}$$
$$\alpha = -\frac{\pi}{4} + \tan^{-1}\left(\frac{f_7 - f_5}{f_4 - f_8}\right)$$

gdzie:

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

α - kierunek gradientu intensywności.

Metoda Sobela

dwie składowe gradientu:

$$S_x = (f_2 + 2f_3 + f_8) - (f_0 + 2f_1 + f_6)$$
$$S_y = (f_6 + 2f_7 + f_8) - (f_0 + 2f_1 + f_2)$$
$$S(x,y) = \sqrt{S_x^2 + S_y^2}$$

Maski konwolucyjne do konstrukcji operatorów krawędziowych

Roberts

1	0
0	-1

0	-1
1	0

Sobel:

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

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

Prewitt:

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

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

Kirsha:

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

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

3

Operatory krawędziowania

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

dokładnej

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

przybliżonej

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

Robertsa

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

Sobela

	1	0	-1		
Gx	2	0	-2		
	1	0	-1		
	1	2	1		
Gy	0	0	0		
	-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:

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

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

Numeracja pikseli:

f - obraz źródłowy,
g - obraz wynikowy

0	1	2
7	$\begin{bmatrix} i & j \end{bmatrix}$	3
6	5	4

Indeksy punktów obrazu f - wartości modulo 8

Maski odpowiadające operatorowi Kirscha (maski Kirscha)

N	NE	E	SE
3 3 3 3 0 3 -5 -5 -5	3 3 3 -5 0 3 -5 -5 3	-5 3 3 -5 0 3 -5 3 3	-5 -5 3 -5 0 3 3 3 3
S	SW	W	NW
-5 -5 -5 3 0 3 3 3 3	3 -5 -5 3 0 -5 3 3 3	3 3 -5 3 0 -5 3 3 -5	3 3 3 3 0 -5 3 -5 -5

Operatory kierunkowe

[p(i,j)]				
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









↓

[q(i,j)]				
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

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

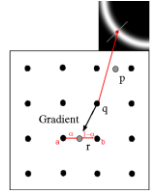
Wieloletowy algorytm detekcji krawędzi zaproponowany przez twórcę teorii *Computational theory of edge detection* **John F. Canny** w 1986 r. Jego działanie oparte jest o znane detektory krawędzi (Robertsa, Sobela i Prewitta) i **progowanie z histerezą**, które optymalizuje wynik wyrzucając krawędzie 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 Sobela/Prewitta i kierunku gradientu według Robertsa
- Wytlumienie lokalnych nie maksymalnych gradientów w obrazie gradientu celem otrzymania cienkiej linii
- Dokonanie podwójnego progowania według zanych parametrów Tmin i Tmax):
 - $< T_{min}$ - brak krawędzi,
 - $> T_{max}$ - silne krawędzie
 - $>= T_{min}$ i $<= T_{max}$ - krawędzie słabe
- Wykonanie śledzenia krawędzi opartego na histerezie w celu ich uciąglenia: 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 różniaca 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

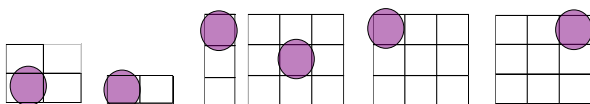
28

Operacje morfologii matematycznej na obrazach

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

Fundamentalne pojęcie: **element strukturalny (strukturujący)**

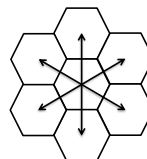
– podzbiór obrazu z wyróżnionym punktem, zwanym często punktem centralnym



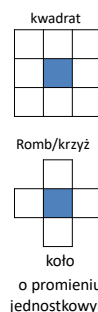
29

Podstawowy element strukturalny

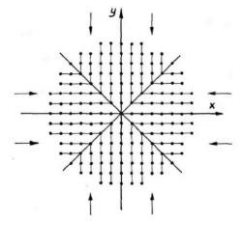
Siatka heksagonalna
(1 rodzaj)



Siatka prostokątna



o promieniu jednostkowym



koło o promieniu $r = 7$

30

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

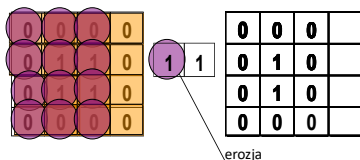
31

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.

32

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

33

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

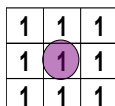
34

Podstawowe operacje morfologii matematycznej

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

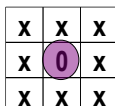
- Erozja

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



- Dylatacja (dylacja) negatyw erozji

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



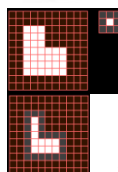
$B(i, j)$ element strukturalny z punktem centralnym o współrzędnych (i, j)

Dylatacja jest operacją dualną do erozji i na odwrót

35

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/horizontalnym elemencie strukturalnym

Minimum / Ściemnienie

Praca dyplomowa Szymona Mireckiego

36

Przykłady operacji dylacji

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



Maksimum / Rozjaśnianie

Praca dyplomowa Szymona Mireckiego

37

Otwarcie

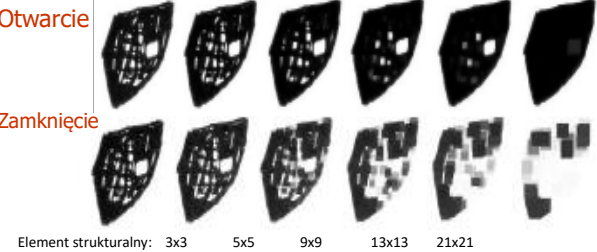
Operacja morfologiczna, która opiera się na dwóch innych operacjach: erozji i dylacji. Otwarcie polega na wykonaniu na obrazie najpierw erozji (minimum), a następnie na tak przetworzonym obrazie należy zastosować dylację (maksimum) na tym samym elemencie strukturyzującym.

Zamknięcie

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

38

Operacje otwarcia i zamknięcia na obrazach w odcieniach szarości



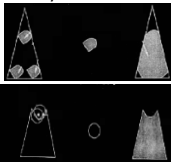
Komplementarność operacji

Praca dyplomowa Szymona Mireckiego

39

Otwarcie i zamknięcie – interpretacja geometryczna

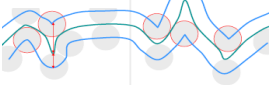
Obrazy binarne



Otwarcie: toczenie elementu strukturalnego/strukturyzującego od wewnątrz

Zamknięcie: toczenie elementu strukturalnego/strukturyzującego od zewnątrz

Obrazy monochromatyczne w odcieniach szarości



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

40

Pocienianie

Zmniejszenie obiektu o piksele będące jego krawędzią.

Pogrubianie

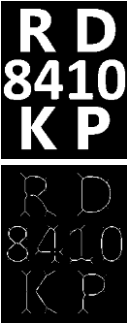
Zwiększenie obiektu o dodatkowe piksele tła stykające się z krawędzią obiektu.

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

42

Rekonstrukcja



Otwarcie

Rekonstrukcja

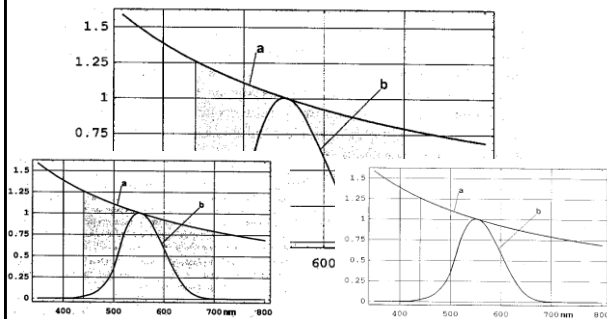
43

Pozostałe operacje morfologii matematycznej

- Gradient morfologiczny (= Otwarcie+Zamknięcie)
- Wygładzanie morfologiczne (=Dylatacja–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

44

Przykład działania operacji morfologicznych



45