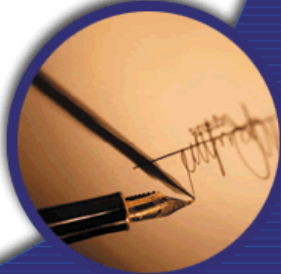
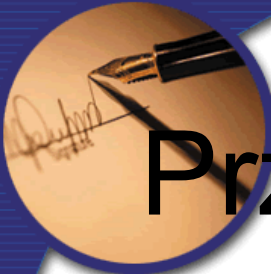


Cyfrowe przetwarzanie obrazów

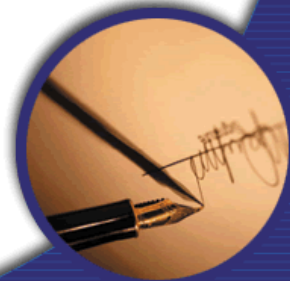
Dr inż. Michał Kruk





Przekształcenia morfologiczne

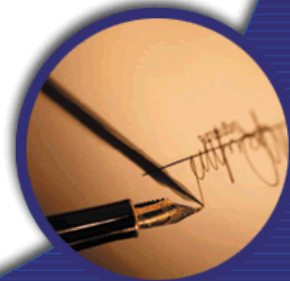
- Morfologia matematyczna została stworzona w latach sześćdziesiątych w Wyższej Szkole Górniczej w Paryżu (Ecole de Mines de Paris) przez G. Matherona i J. Serra.
- Charakteryzuje się nieliniowym podejściem do przetwarzania obrazu i bazuje na operatorach wyznaczających w sąsiedztwie punktu wartości minimalne i maksymalne
- Podstawowe przekształcenia morfologiczne są punktem wyjściowym do przetwarzania obrazu. Ich kombinacje pozwalają na stworzenie złożonych operacji umożliwiających skomplikowane przekształcenia, takie jak analiza kształtu, segmentacja czy analiza wzajemnego położenia różnych elementów danego obrazu

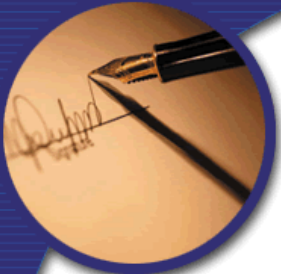




Morfologia matematyczna

- **morfologia matematyczna jest teoretycznym modelem przetwarzania** obrazów cyfrowych w nieliniowy sposób
- swoje źródła ma w teorii zbiorów Minkowskiego (suma Minkowskiego), topologii
- podstawowe operacje:
 - **dylacja (dilation),**
 - **erozja (erosion),**
 - **szkieletyzacja (skeletonization)**
- pozostałe operacje:
 - **otwarcie (opening),**
 - **zamknięcie (closing),**
 - **zmniejszanie (shrinking),**
 - **ścienianie (thinning),**
 - **pogrubianie (thickening),**
 - **obcinanie (pruning),**
 - **transformata odległościowa (distance transform)**
- ma zastosowanie głównie do **obrazów binarnych**
- ale istnieje rozszerzenie dla obraz w skali szarości
- różne cele: filtracja obrazu, segmentacja, detekcja cech, ...



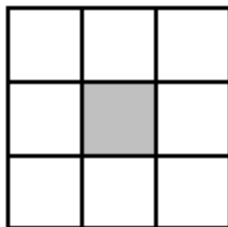
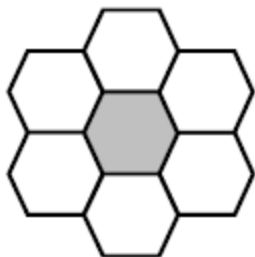


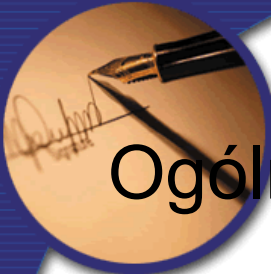
Element strukturalny

- Lub też element strukturujący

Jest to pewien wycinek obrazu (przy dyskretnej reprezentacji obrazu – pewien podzbiór jego elementów) z wyróżnionym jednym punktem (tzw. punktem centralnym).

- Najczęściej stosowanym elementem strukturalnym jest koło o promieniu jednostkowym.
- Przy wyborze rzeczywistego elementu strukturalnego nie bez znaczenia jest wybór siatki elementów obrazu.





Ogólny algorytm przekształcenia morfologicznego

- przyłożeniu centralnego punktu kolejno do wszystkich punktów obrazu;
- sprawdzeniu, czy lokalna konfiguracja punktów odpowiada układowi, zapisanemu w elemencie strukturalnym;
- wykonaniu, w przypadku zgodności konfiguracji punktów, operacji określonej dla danego przekształcenia.

W sposób bardziej ogólny i formalnie:

1. Element strukturalny jest przemieszczany po całym obrazie i dla każdego punktu obrazu wykonywana analiza koincydencji punktów obrazu i elementu strukturalnego, przy założeniu, że badany punkt obrazu jest punktem centralnym elementu strukturalnego;
2. W każdym punkcie obrazu następuje sprawdzenie, czy rzeczywista konfiguracja pikseli obrazu w otoczeniu tego punktu zgodna jest z wzorcowym elementem strukturalnym.
3. W przypadku wykrycia zgodności wzorca pikseli obrazu i szablonu elementu strukturalnego - następuje wykonanie pewnej (ustalonej) operacji na badanym punkcie. Zazwyczaj jest to prosta zmiana koloru lub nasycenia jasności tego punktu, chociaż w ogólnym przypadku można założyć wykonanie dowolnej operacji.



Element strukturalny c.d

- w morfologii matematycznej operacje są dwuargumentowe:
 - pierwszym argumentem jest obraz do przetworzenia
 - drugim argumentem jest mniejszy obraz: element strukturalny
- element strukturalny jest dużej części zastosowań kwadratem o boku $2N+1$ (3x3, 5x5) i wszystkich wartościach '1' (*foreground*)

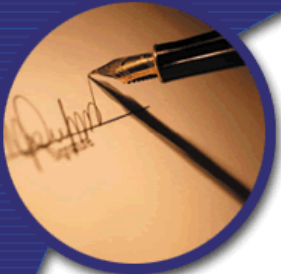


- jeden punkt/piksel jest wyróżniony i nosi nazwę punktu centralnego lub początkowego (*origin*) – nie musi on leżeć w środku (choć b. często leży)
- element strukturalny może mieć inny kształt i położenie punktu początkowego:



- w niektórych zastosowaniach pewne piksele mogą mieć wartość tła

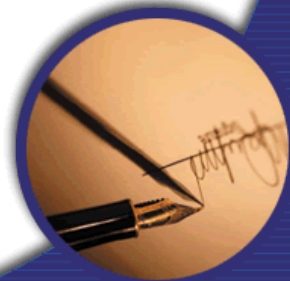




Dylacja

Dylację figury X elementem B można zdefiniować na trzy różne sposoby:

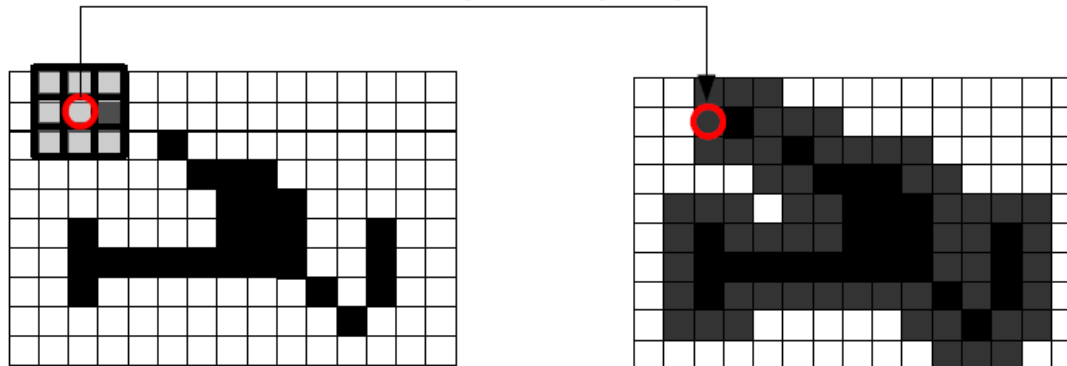
- figura po dylacji jest zbiorem środków wszystkich B , dla których choć jeden punkt pokrywa się z jakimkolwiek punktem figury wyjściowej.
- B przetacza się po zewnętrznej stronie brzegu figury. Kolejne położenia środka B wyznaczają brzeg figury po dylacji.
- dylację można zdefiniować jako **filtr maksymalny**



Dylacja

- operacja dylacji jest zastosowaniem sumy Minkowskiego do obrazów cyfrowych
- pierwszym argumentem jest obraz
- drugim element strukturalny
- zasada działania:
 - do każdego piksela obrazu przykładana się element strukturalny (SE) w jego punkcie centralnym
 - jeśli choć jeden piksel sąsiedztwa przykryty przez SE ma wartość '1', piksel bieżący też przyjmuje wartość '1' (obiektu pierwszoplanowego)

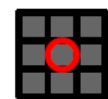
w otoczeniu zdefiniowanym przez SE jest co najmniej 1 piksel '1'

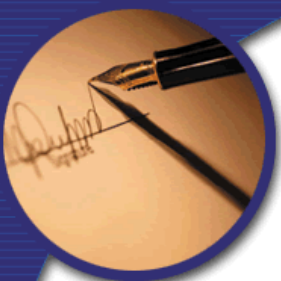


Dylacja



- jednorodny SE 3x3
- jednokrotna dylacja





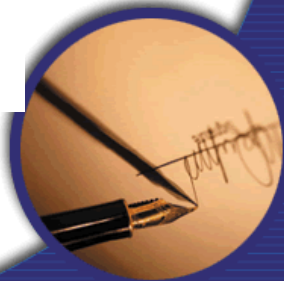
Dylacja

- obiekty zwiększają rozmiary
- zanikają detale
- „dziury” są wypełniane
- obiekt staje się lepiej widoczny - rośnie

dylacja dwukrotna

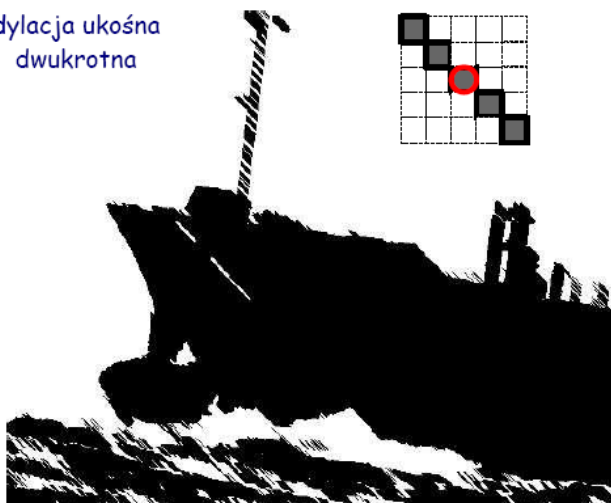
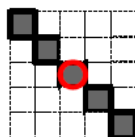


dylacja pięciokrotna



Dylacja

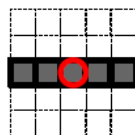
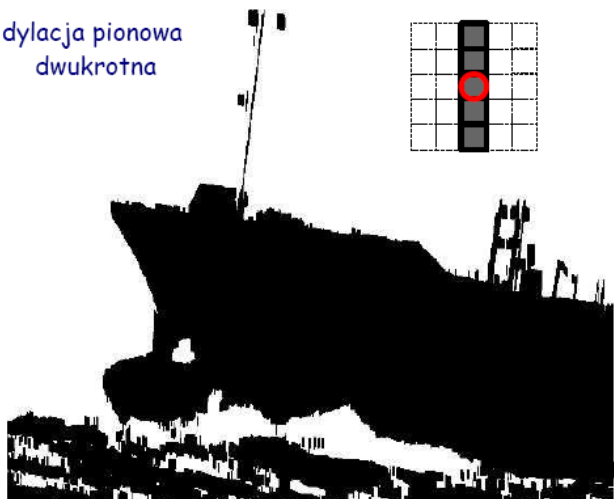
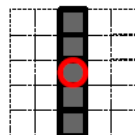
dylacja ukośna
dwukrotna



Dylacja z niestandardowymi SE

- rozrost obiektu może być kierunkowy
- pozycja początkowa może nie leżeć w środku obszary – rozrost niesymetryczny

dylacja pionowa
dwukrotna



dylacja pozioma
dwukrotna



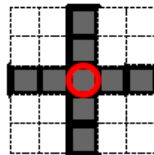
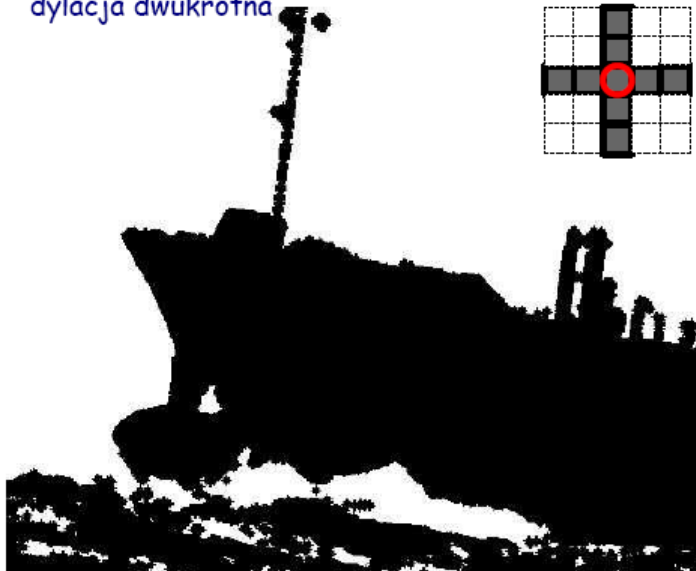
Dylacja z łącznością 4 i 8 krotną

dylacja pięciokrotna

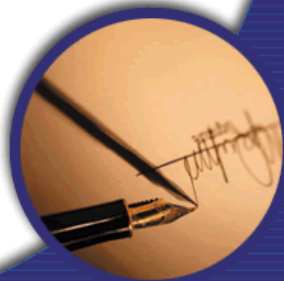
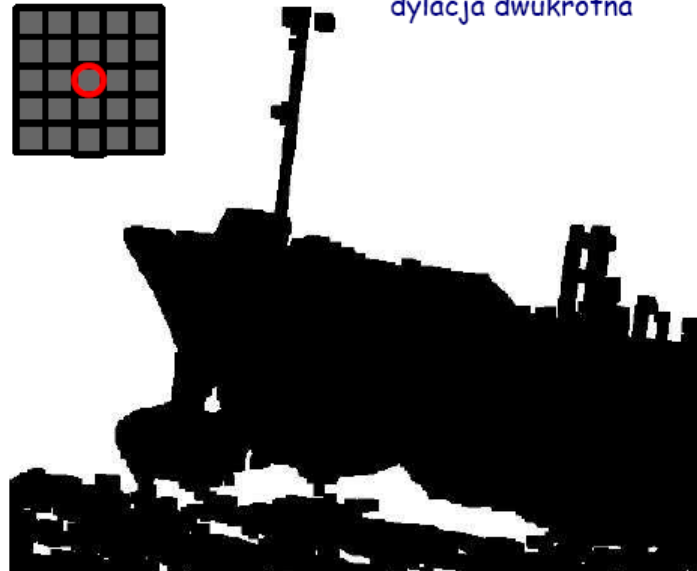
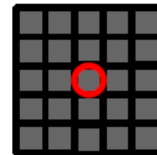


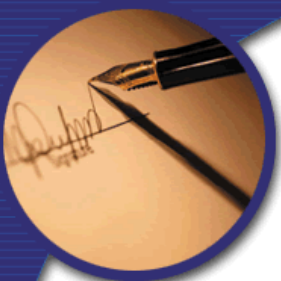
dylacja pięciokrotna

dylacja dwukrotna



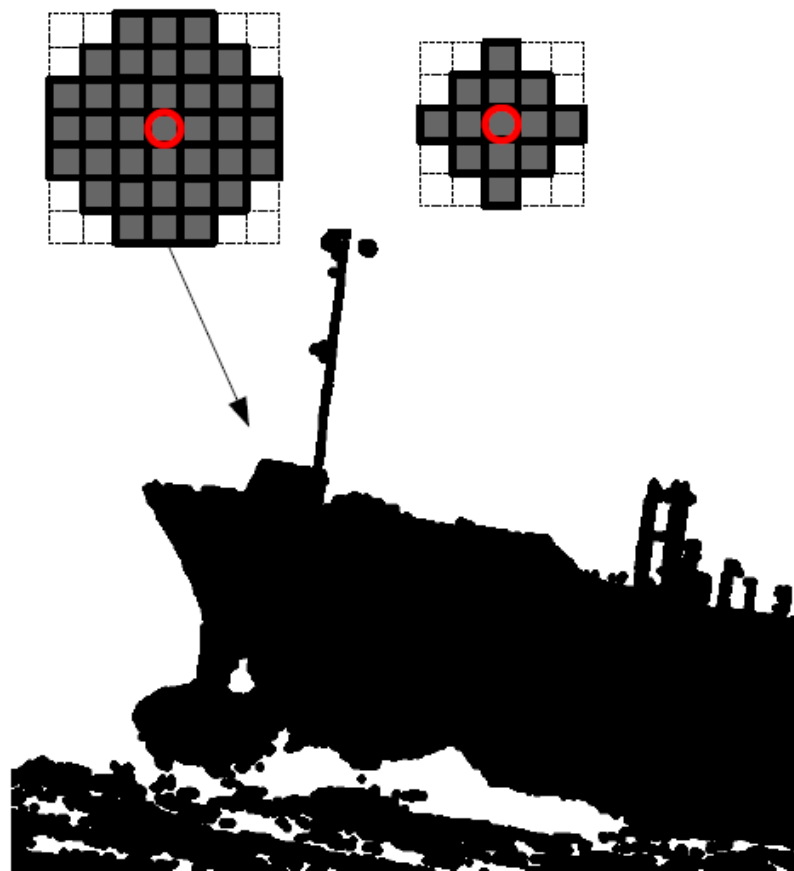
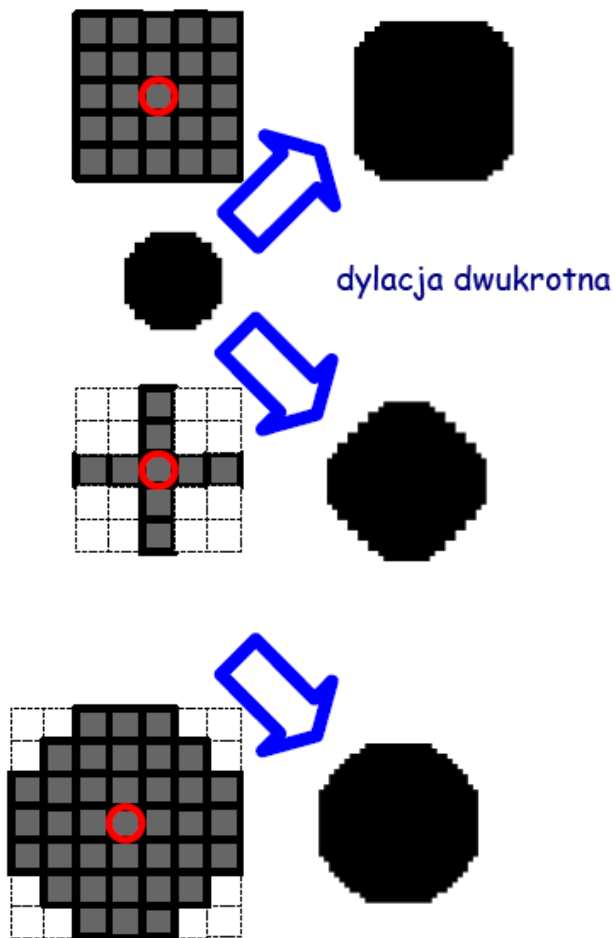
dylacja dwukrotna





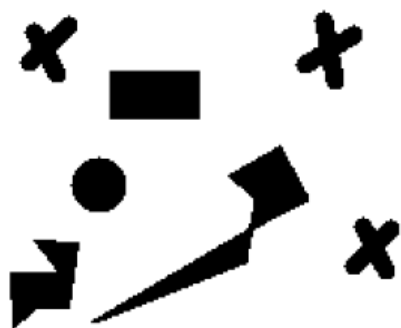
Problemy z kształtem

- duży wpływ kształtu SE na wynik dylacji
- neutralny SE – zbliżony do koła



Dylacja kołowym SE

obraz oryginalny



SE 7x7



SE 11x11

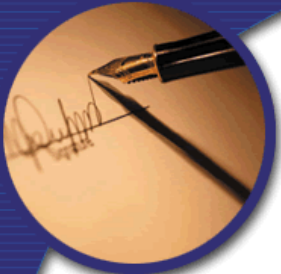


SE 15x15



SE 21x21

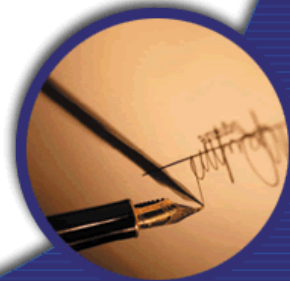




Erozja

erozję figury X elementem B można zdefiniować na dwa różne sposoby:

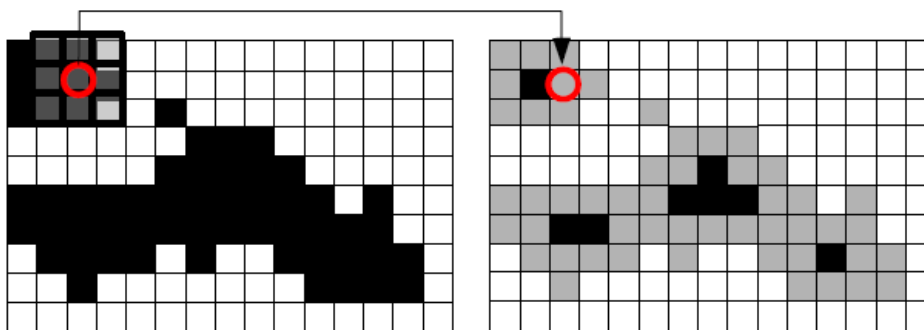
- figura zerodowana to zbiór środków wszystkich „kół” o promieniu r , które w całości zawarte są we wnętrzu obszaru X ;
- koło B przetacza się po **wewnętrznej stronie brzegu figury**. Kolejne położenia środka koła B wyznaczają brzeg figury zerodowanej



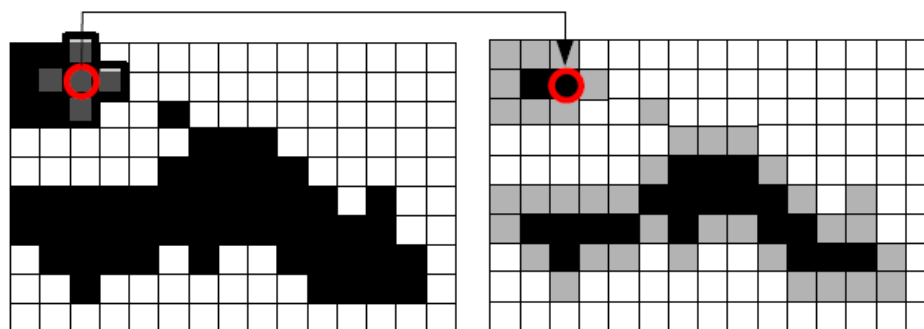
Erozja

- analogiczny do dylacji
- działanie zależy od kształtu elementu strukturalnego
 - łączność 4-krotna
 - łączność 8-krotna
- możliwość efektywnego obliczania erozji (jak dylacji): zamiast sumy logicznej (alternatywy) obrazów używamy iloczynu logicznego (koniunkcji)
- znika szum
- jednocześnie obiekt zmniejsza się
- niektóre gałęzie zanikają

w otoczeniu zdefiniowanym przez SE jest co najmniej 1 piksel '0'



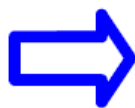
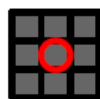
w otoczeniu zdefiniowanym przez SE nie ma żadnego piksela '0'



Erozja



- jednorodny SE 3x3
- jednokrotna erozja



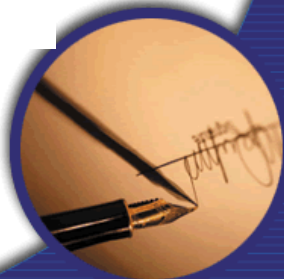
Erozja wielokrotna

- obiekty zmniejszają rozmiary
- również zanikają detale, ale inaczej niż w dylacji
- „dziury” rozszerzają się
- obiekt znika
- widać wpływ kwadratowego SE: dziury mają podobny kształt

erozja dwukrotna

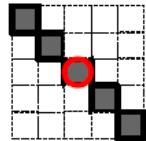


erozja pięciokrotna



Erozja kierunkowa

erozja ukośna
dwukrotna

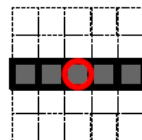
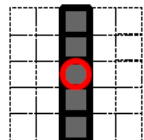


Erozja kierunkowa

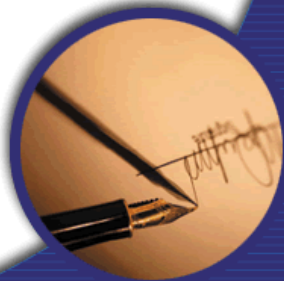
obraz oryginalny

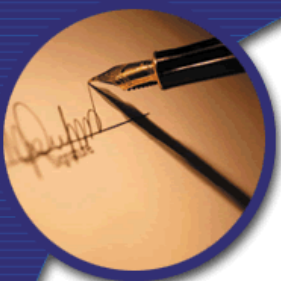


erozja pionowa
dwukrotna



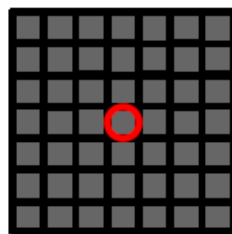
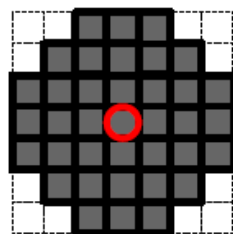
erozja pozioma
dwukrotna





Erozja z kołowym SE

- SE o kształcie zbliżonym do koła daje bardziej naturalne wyniki
- aby dobrze oddać kształt koła, SE musi mieć większy rozmiar
- większy rozmiar powoduje bardziej „drastyczną” erozję (dylację)



obraz oryginalny

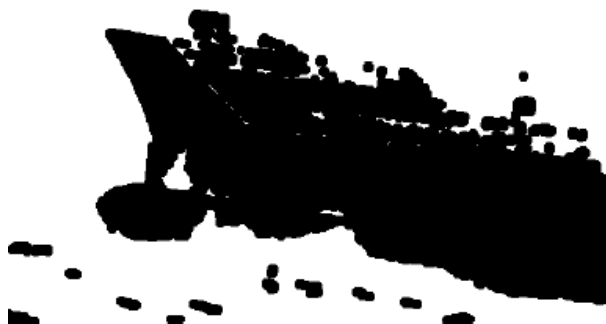


Wyodrębnianie granic

obraz 1. - początkowy



obraz 2. - po dylacji



(obraz 1. - obraz 2.) - granica zewnętrzna obiektu



Wyodrębnianie granic

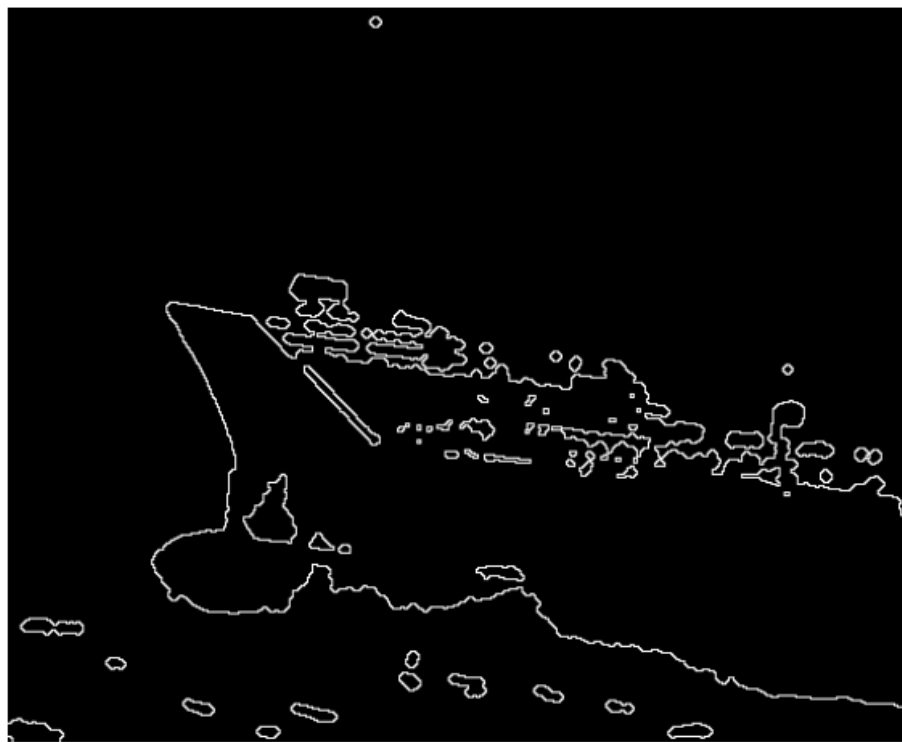
obraz 1. - początkowy



obraz 2. - po erozji

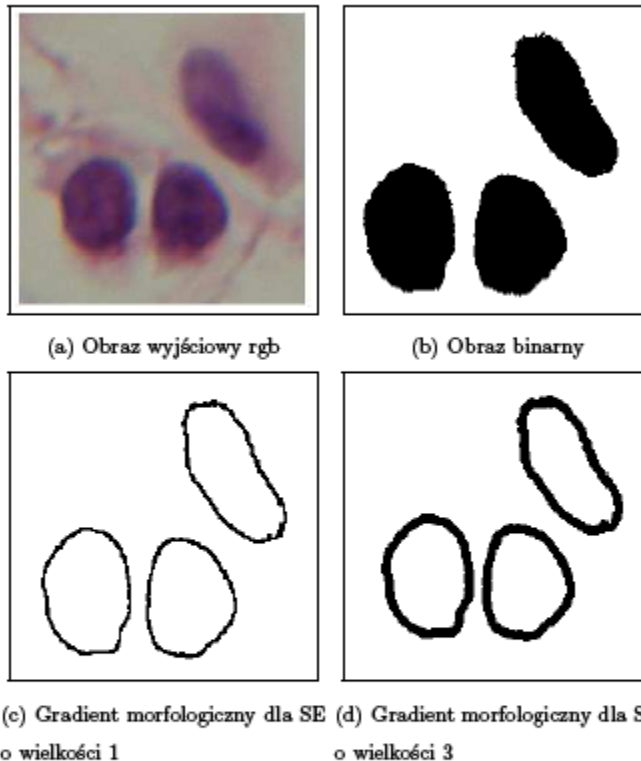


(obraz 1. - obraz 2.) - granica wewnętrzna obiektu



Wyodrębnianie granic – gradient morfologiczny

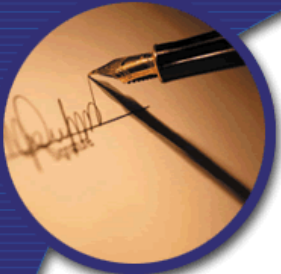
Gradient morfologiczny jest operacją będącą różnicą wyniku erozji i dylatacji.



Rysunek 3.8 Ilustracja wyników działania gradientu morfologicznego

Zapisuje się go (dla obrazów w skali szarości) wzorem:

$$g(f) = \delta(f) - \varepsilon(f)$$



Operacje złożone

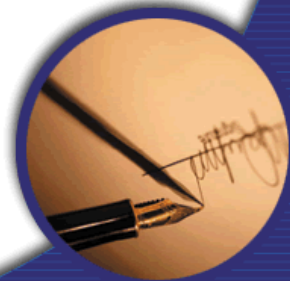
- 2 poprzednie operacje (erozja i dylacja) zmieniały rozmiary obiektu
- miały też interesujące właściwości (usuwanie detali, szumu)
- 2 te operacje wykonane jedna po drugiej zachowują rozmiary obiektu:
 - **otwarcie morfologiczne (*opening*)** jest dylacją erozji

$$I \circ SE = (I \ominus SE) \oplus SE$$

- **zamknięcie morfologiczne (*closing*)** jest erozją dylacji

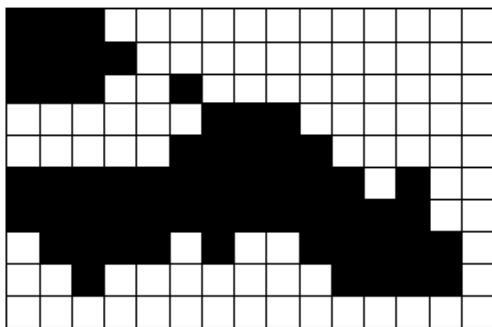
$$I \bullet SE = (I \oplus SE) \ominus SE$$

- elementy strukturalne w obu fazach operacji muszą być takie same

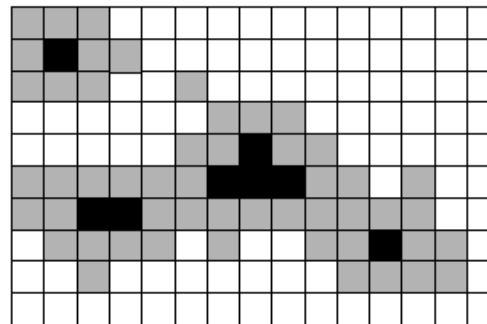


Otwarcie

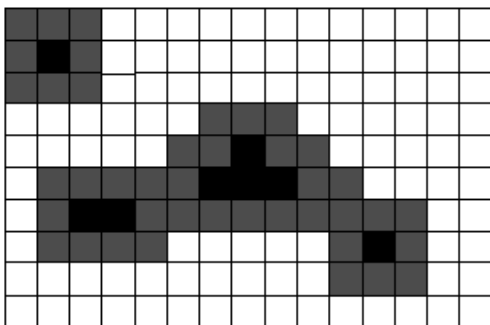
$I \circ SE =$



$\ominus) \oplus SE =$



$\oplus SE =$



- obiekt zachował rozmiary
- wszystkie wystające fragmenty zostały usunięte
- właściwość idempotencji (kolejne otwarcia nie mają znaczenia):

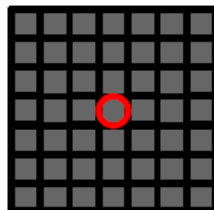
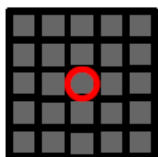
$$(I \circ SE) \circ SE = I \circ SE$$

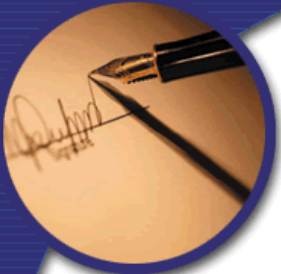
Otwarcie



- im większy rozmiar SE tym efekt usuwania detali silniejszy (znika więcej większych szczegółów)
- tym większy również wpływ kształtu SE (kwadratowe obszary)

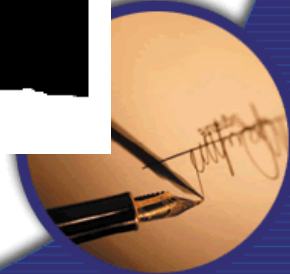
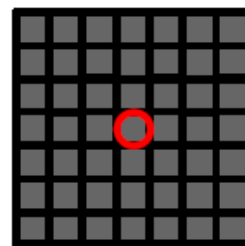
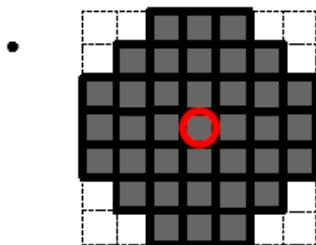
obraz oryginalny





Otwarcie kołowym SE

- tu również kształt SE zbliżony do koła daje bardziej naturalne wyniki
- szczegóły podobnej wielkości są usuwane z obu wyników, ale pozostałe obszary mają inny kształt



Wielopoziomowe otwarcie

$$(I \ominus SE \ominus SE \ominus SE) \oplus SE \oplus SE \oplus SE$$

- kilkukrotne powtarzanie erozji a następnie dytacji
ma ten same efekt co użycie większego SE

trzykrotna erozja, potem trzykrotna dylacja



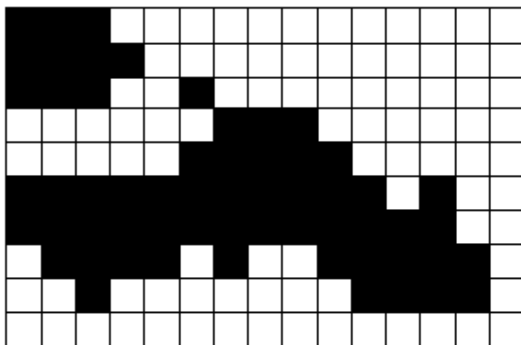
obraz oryginalny

obraz po otwarciu z SE 7x7

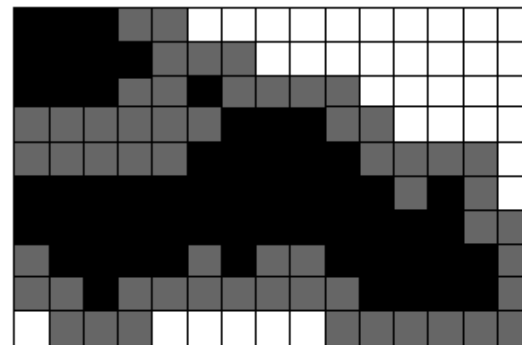


Zamknięcie

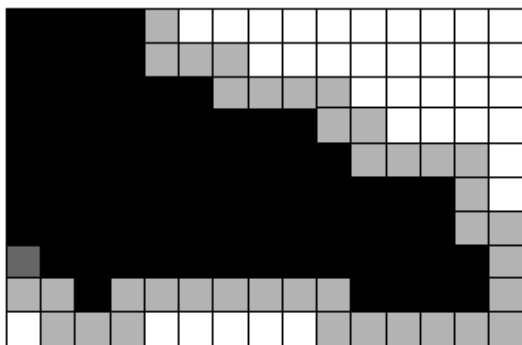
$I \bullet SE =$



$\oplus) \ominus SE =$



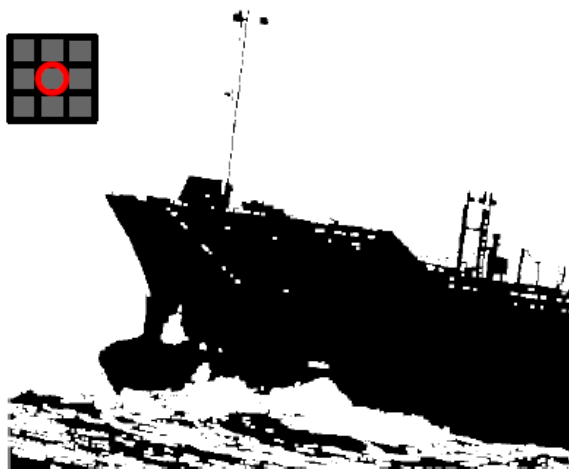
$\ominus SE =$



- obiekt zachował rozmiary
- wszystkie wklęsłe obszary zostały włączone do obiektu
- specjalne traktowanie brzegów (tu: obraz jest czasowo powiększany)
- właściwość idempotencji (kolejne otwarcia nie mają znaczenia):

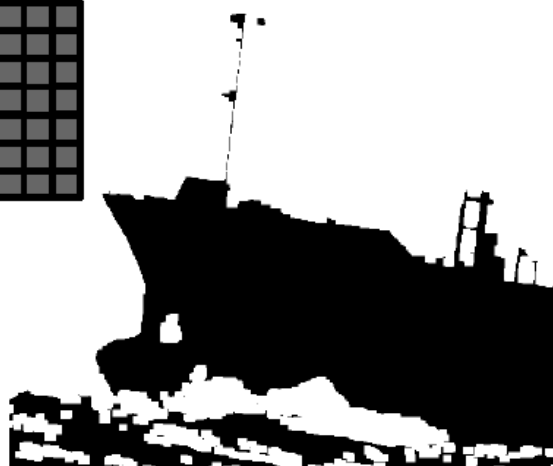
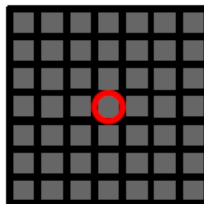
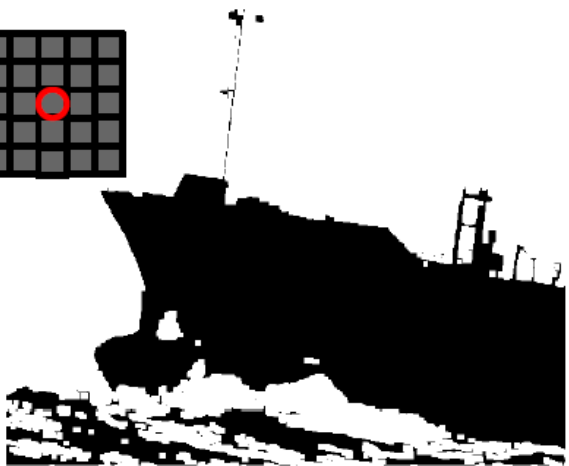
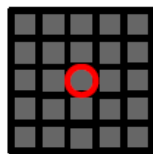
$$(I \bullet SE) \bullet SE = I \bullet SE$$

Zamknięcie



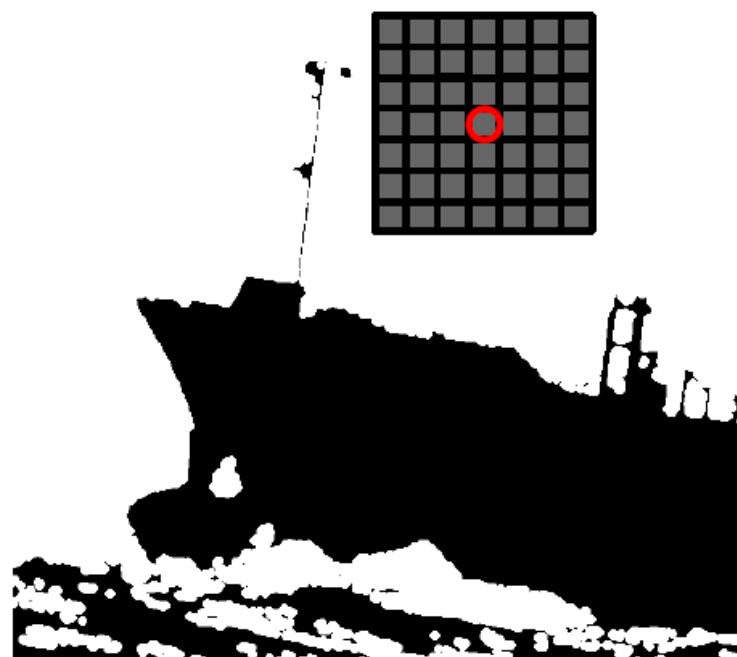
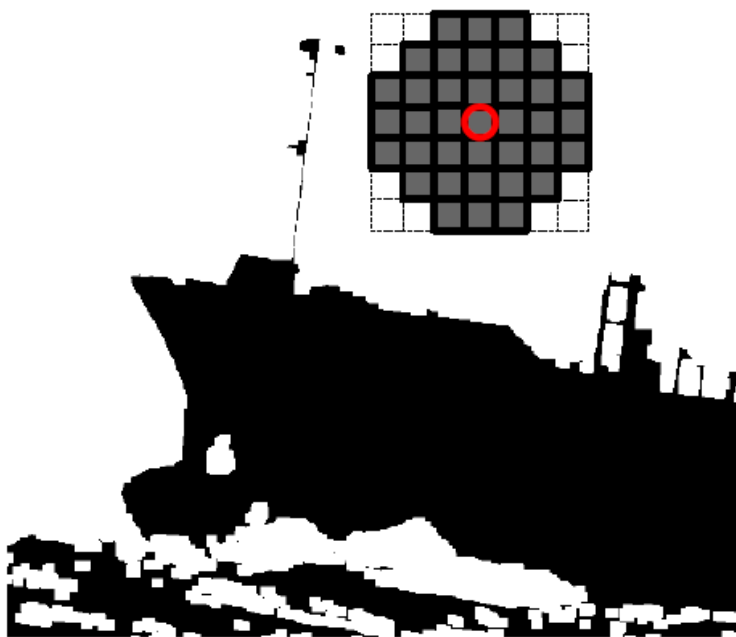
- im większy rozmiar SE tym efekt usuwania detali silniejszy:
- tym większe „dziury” są wypełniane
- tym większy również wpływ kształtu SE (kwadratowe obszary)
- tym bliższe małe detale łączą się

obraz oryginalny



Zamknięcie kołowym SE

- tu również kształt SE zbliżony do koła daje bardziej naturalne wyniki
- szczegóły podobnej wielkości są usuwane z obu wyników, ale niewypełnione obszary mają inny kształt



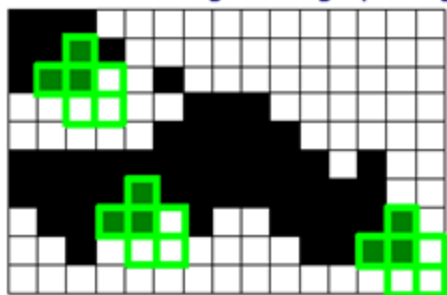
Hit-and-Miss (Hit-or-Miss)

- bazowa operacja morfologii matematycznej
- z niej można wywieść wszystkie inne
- element strukturalny ma tu 3 rodzaje pól/pikseli:
 - piksele obiektu ('1')
 - piksele tła ('0')
 - piksele nieokreślone – niebrane pod uwagę
- obraz wejściowy jest przeglądany piksel po pikselu, jeśli konfiguracja pikseli sąsiednich jest identyczna jak w SE, jest on ustawiany na wartość '1' ('0'), w przeciwnym przypadku na '0' ('1')
- aby wykryć daną cechę wyniki kilku SE mogą się sumować/mnożyć

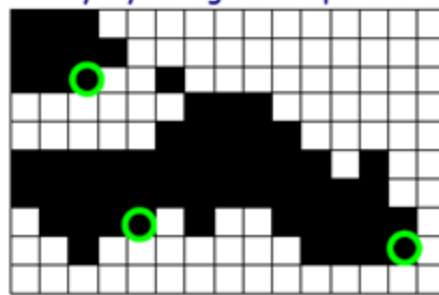


grupa SE wykrywająca rogi

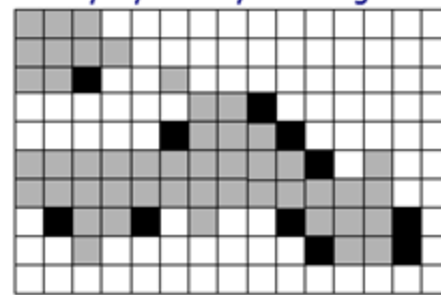
dopasowanie SE rogu dolnego-prawego



wykryte rogi dolne-prawe



wykryte wszystkie rogi





Hit-and-Miss (Hit-or-Miss)

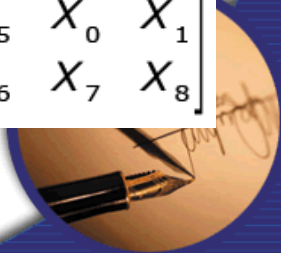
- rezultat operacji może być bardziej złożony, jeśli porównanie się powiedzie, analizowany piksel może:
 - przyjąć wartość '1' – operacje addytywne
 - przyjąć wartość '0' – operacje substraktywne
 - zachować swoją oryginalną wartość
- dla SE 3x3 może być $2^9=512$ różnych możliwych SE, dla 5x5 – 2^{25}
- operacja **erozji**: przyporządkowanie wartości '1' dla jednej kombinacji SE (same piksele '1' w otoczeniu) i wartości '0' dla 511 pozostałych
- operacja **dylacji**: przyporządkowanie wartości '0' dla jednej kombinacji SE (same piksele '0' w otoczeniu) i wartości '1' dla 511 pozostałych
- zwykle jednej logicznej kombinacji/konfiguracji do wykrycia odpowiada wiele konkretnych SE $\Rightarrow$ buduje się warunki logiczne które je zastępują:

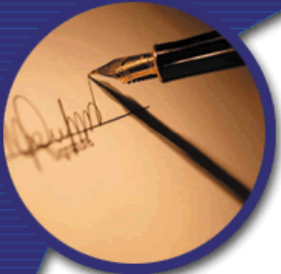


$$X_0 \rightarrow X_0 \wedge X_1 \wedge \neg X_2 \wedge X_3 \wedge \neg X_4 \wedge X_5 \wedge \neg X_6 \wedge X_7 \wedge \neg X_8$$

usunięcie czarnego piksela ('1') otoczonego przez 8 białych ('0')

$$X_0 \rightarrow X_0 \wedge (X_1 \text{ lub } X_2 \text{ lub } X_3 \text{ lub } X_4 \text{ lub } X_5 \text{ lub } X_6 \text{ lub } X_7 \text{ lub } X_8)$$

$$\begin{bmatrix} X_4 & X_3 & X_2 \\ X_5 & X_0 & X_1 \\ X_6 & X_7 & X_8 \end{bmatrix}$$


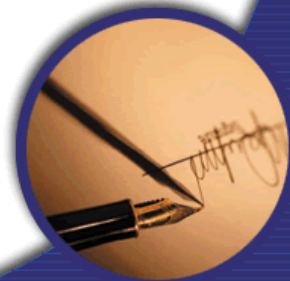


Pogrubianie - fattening

- obiekt jest zwiększany, podobnie jak w dylacji i otwarciu
- nakładanych jest szereg warunków, aby oddzielne obiekty nie połączyły się
- oparty jest na operacji „hit-and-miss”

$$\text{pogrubienie}(I, SE) = I \cup \text{hit-and-miss}(I, SE)$$

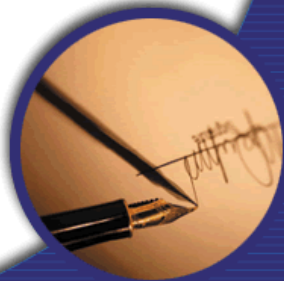
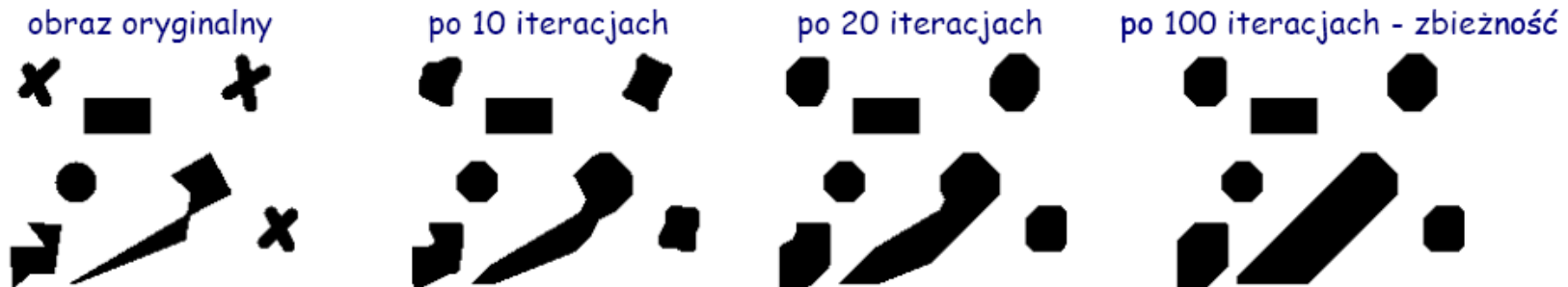
- zamiast jednego SE używana jest ich cała kolekcja
- piksel centralny SE zawsze jest równy zero
- czasami wyróżnia się 2 podoperacje, z angielskiego nazywane:
 - *fattening* – proste pogrubianie, oparte na kilku SE, w pewnych konfiguracjach obiekty mogą się połączyć
 - *thickening* – bardziej zaawansowana technika, pozbawiona wad poprzedniej





Pogrubianie – fattening – wypukły kształt – convex hull

- celem jest znalezienie wypukłej otoczki obiektów
- używanych jest 8 SE:
 - 2 wzorcowe: 
 - po 3 SE z każdego wzorcowego obrócone o 90, 180, 270 stopni
- procedura iteracyjna: po osiągnięciu zbieżności kolejne iteracje nie zmieniają wyniku (procedura zatrzymuje się sama)

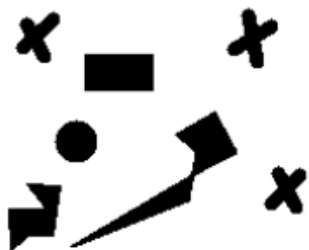


Pogrubianie – szkielet strefy wpływu - SKIZ

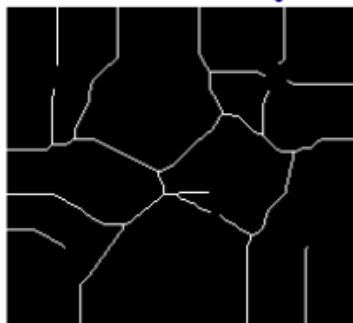
- celem jest znalezienie rozgraniczenia obiektów
- inna nazwa – **diagram Voronoi**
- procedura 2-etapowa:
 - rozrost obiektów – 8 SE powstałych z obrotów 2S E:
(aby uniknąć połączenia 2 obiektów każdy z 8 SE jest analizowany o oddzielnym przejściu przez wszystkie piksele obrazu !!!)
 - pruning – dalszy rozrost aby zlikwidować wszystkie niezamknięte kontury
(na tej samej zasadzie – 8 SE powstałe z 2 następujących:
- procedura złożona obliczeniowo
- po osiągnięciu zbieżności kolejne iteracje nie zmieniają wyniku
(procedura zatrzymuje się sama)



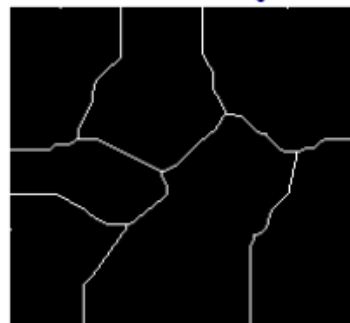
obraz oryginalny

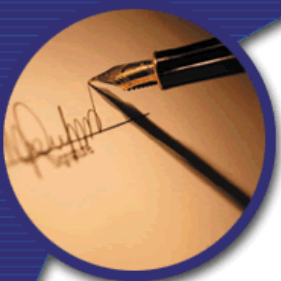


rozrost obiektów
(ok 130 iteracji)



pruning
(ok 30 iteracji)



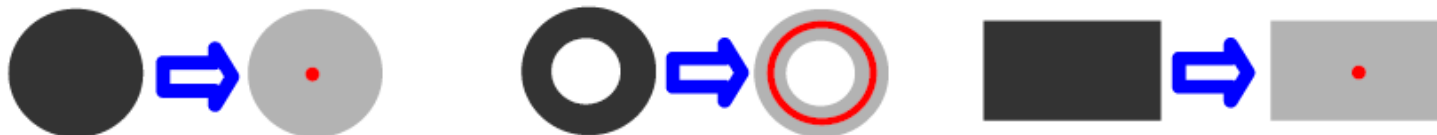


Pocienianie - thinning

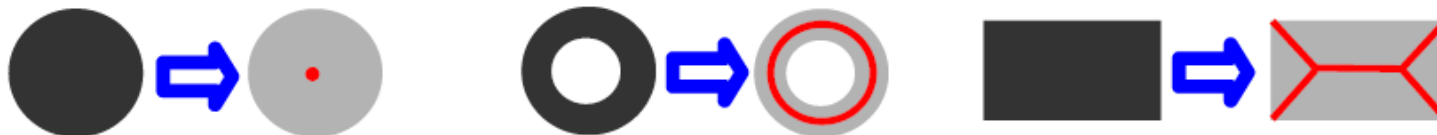
- obiekt jest zmniejszany, podobnie jak w erozji i zamknięciu
- nakładanych jest szereg warunków, aby obiekty nie znikły
- oparty jest na operacji „hit-and-miss”

$$\text{pocienienie}(I, SE) = I - \text{hit-and-miss}(I, SE)$$

- zamiast jednego SE używana jest ich cała kolekcja
- piksel centralny SE zawsze jest równy jeden
- czasami wyróżnia się 2 podoperacje, z angielskiego nazywane:
 - *shrinking* – obiekty zanikają bez dziur zanikają do pojedynczego punktu
obiekty z dziurami do zamkniętych krzywych

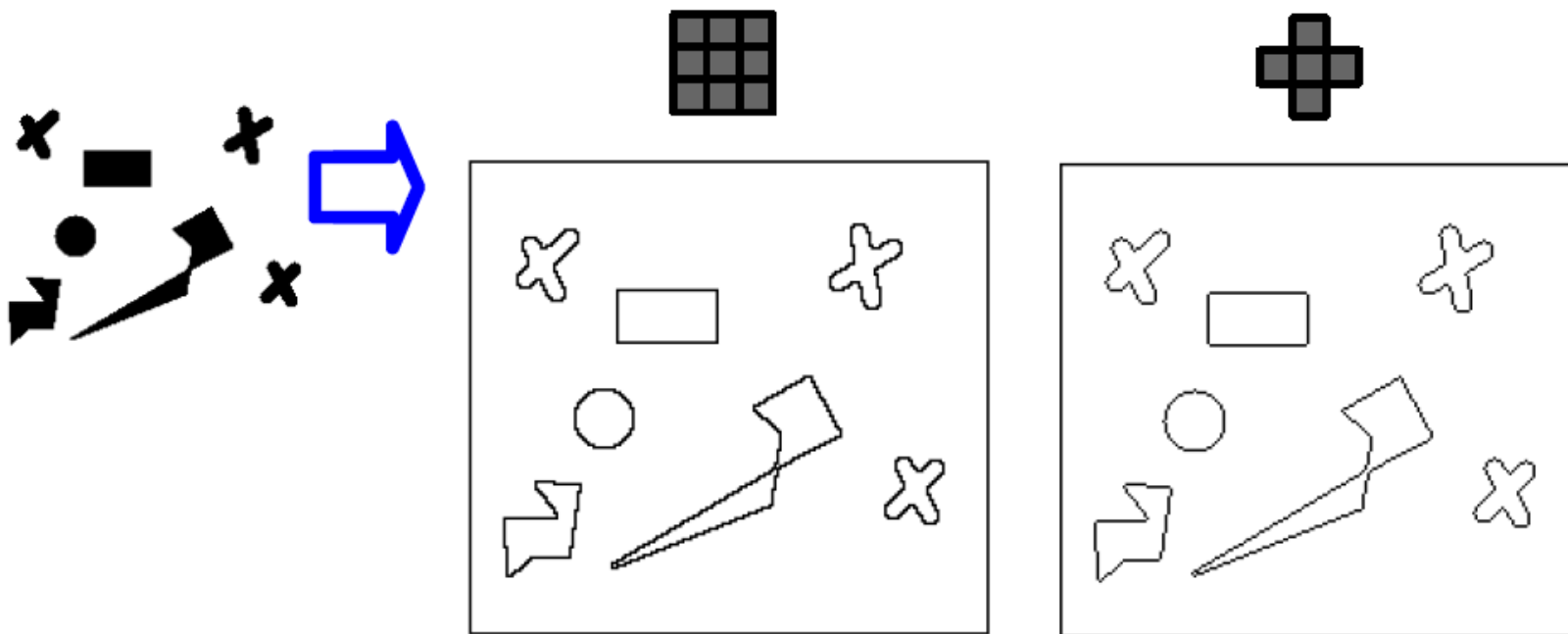


- *thinning* – obiekty zanikają do swoich szkieletów (szkieletyzacja)



Pocienianie

- celem jest znalezienie otoczki obiektu
- iteracyjne zmniejszanie obiektów 2 SE do wyboru (łączność 4-krotna lub 8-krotna)
- po osiągnięciu zbieżności kolejne iteracje nie zmieniają wyniku (procedura zatrzymuje się sama)



Pocienianie - szkieletyzacja

- celem jest znalezienie szkieletu obiektu – linii reprezentujących obiekt
- iteracyjne zmniejszanie obiektów – 8 SE powstałych z obrotów 2 SE:

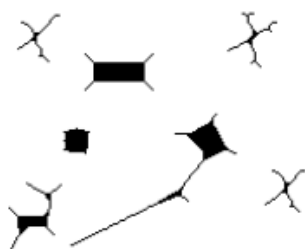


- aby uniknąć jednoczesnego usunięcia 2 ostatnich pikseli przez 2 różne SE, każdy z 8 SE jest stosowany w oddzielnym przejściu przez wszystkie piksele obrazu !!! (każda iteracja kryje w sobie 8 kompletnych iteracji)
- po osiągnięciu zbieżności kolejne iteracje nie zmieniają wyniku (procedura zatrzymuje się sama)

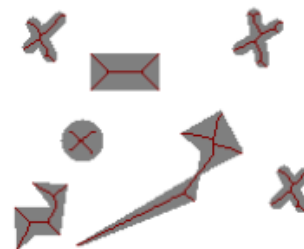
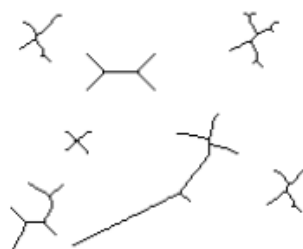
obraz oryginalny



po 5 iteracjach



po 20 iteracjach



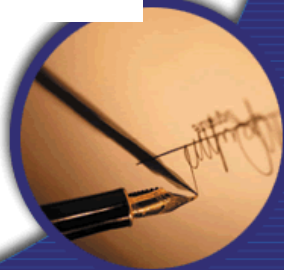
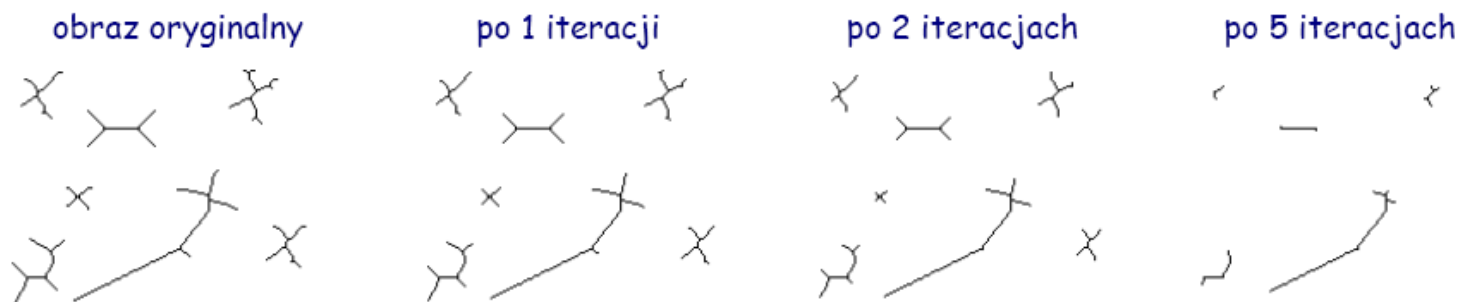


Pocienianie – pruning - przycięcie

- celem jest znalezienie oczyszczenie szkieletu z krótkich „odnóg”
- iteracyjne zmniejszanie obiektów – 8 SE powstałych z obrotów 2 SE:



- aby uniknąć jednoczesnego usunięcia 2 ostatnich pikseli przez 2 różne SE, każdy z 8 SE jest stosowany w oddzielnym przejściu przez wszystkie piksele obrazu !!! (każda iteracja kryje w sobie 8 kompletnych iteracji)
- procedura wykonywana określoną liczbę kroków – dostateczna liczba iteracji usunie wszystkie otwarte linie !!!

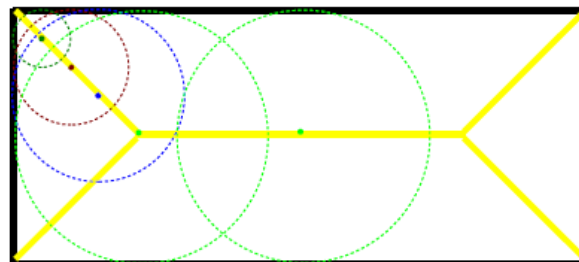


Szkieletyzacja

- szkielet jest to liniowa reprezentacja obiektu
- linie powinny dobrze obrazować wnętrze obiektu (leżeć w równej odległości od brzegów)
- można sobie wyobrazić: obiekt powoli spalany począwszy od wszystkich swoich brzegów – punkty, do których linia ognia dojdzie z co najmniej 2 kierunków uznaje się za punkty szkieletu:



- inna interpretacja:
zbiór środków okręgów stycznych
w co najmniej 2 punktach do krawędzi obiektu:



- w zasadzie są 2 rodzaje szkieletu:
 - **szkielet binarny** – obliczany przez pocienianie obiektu
 - szkielet, którego piksele mają wartość proporcjonalną do odległości od krawędzi obiektu – **MAT (Medial Axis Transform)** – obliczany jest przez **transformatę odległościową**

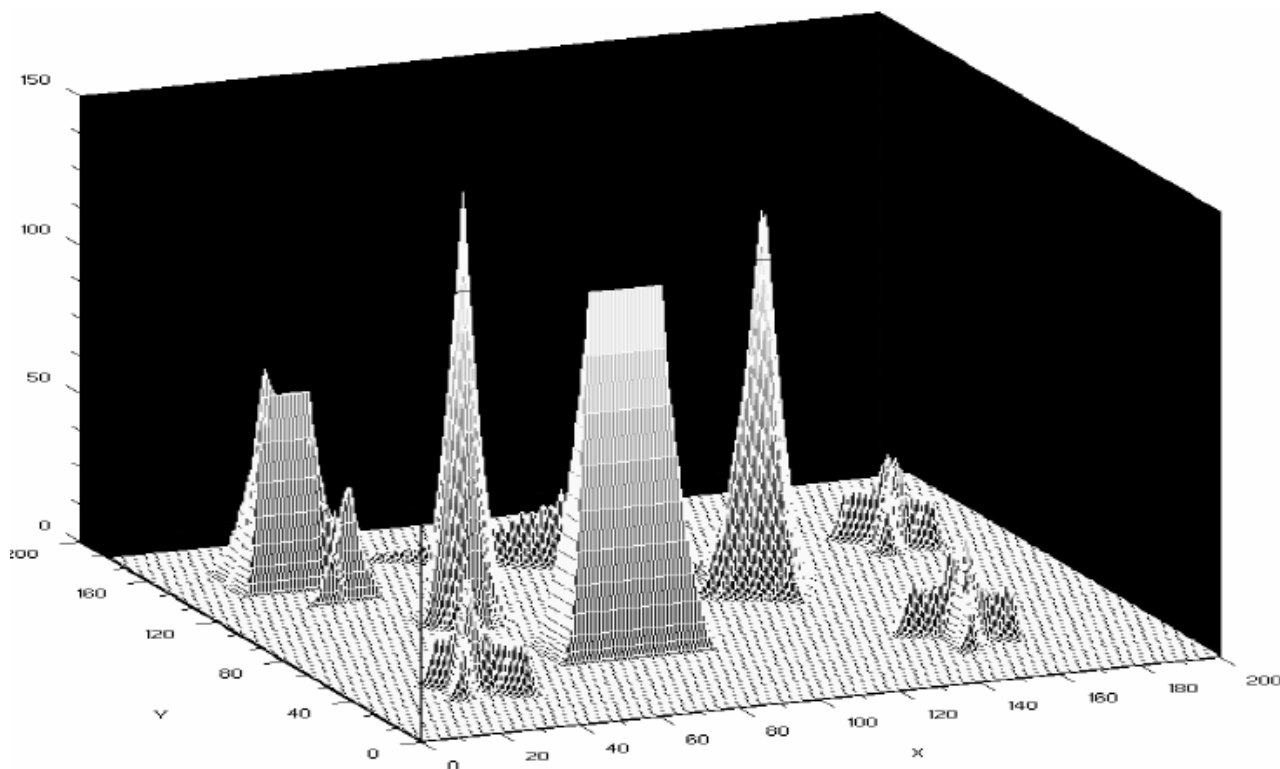
Transformata odległościowa

- jej celem jest podanie dla każdego piksela obiektu odległości do najbliższej krawędzi obiektu
- możliwe są różne metryki: euklidesowa, *city block*, *chessboard*,
- różne algorytmy:
 - proste, oparte na erozji:
 - nr iteracji która usuwa dany piksel jest jego odległością do krawędzi
 - metryka zależy od użytego SE:
 - SE 3x3 złożony z jedynek – metryka *chessboard*
 - SE 3x3 w kształcie krzyża – metryka *city block*
 - SE zbliżony do koła – metryka euklidesowa
 - bardziej zaawansowane algorytmy:
 - *Fast Marching* (z teorii *Level Sets*) – jedna iteracja
 - Rosenfeld and Pfaltz 1968 – 2 iteracje – rekursywna morfologia



Wyznaczanie MAT z transformaty odległościowej

- transformatę odległościową można przedstawić jako płaszczyznę 3D (współrzędna Z jest wartością transformaty – odległością do krawędzi)
- krawędzie tej płaszczyzny wyznaczają szkielet binarny (można je zlokalizować licząc krzywiznę transformaty)
- wartości MAT są wartościami transformaty w miejscu krawędzi



obraz oryginalny



transformata odległościowa

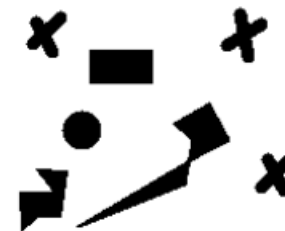


Wyznaczanie MAT z transformaty odległościowej

szkielet MAT, jako krawędzie transformaty odległościowej



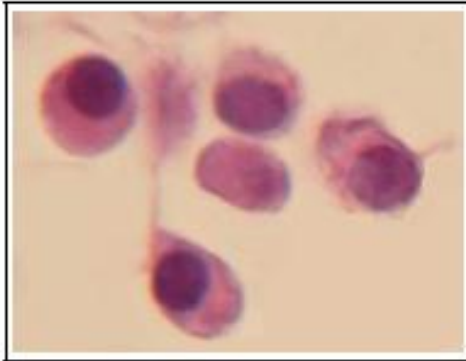
obraz oryginalny



transformata odległościowa



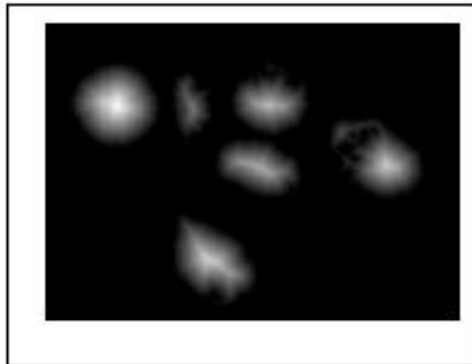
Transformata odległościowa - przykład



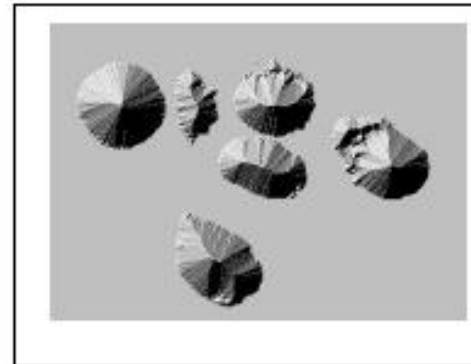
(a) Obraz oryginalny



(b) Postać binarna



(c) Postać odległościowa



(d) Graficzna reprezentacja powierzchniowa macierzy odległości

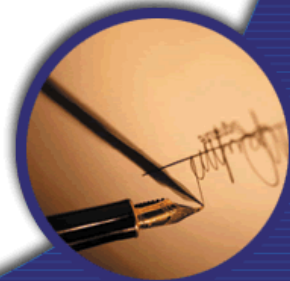


Rozszerzenie morfologii matematycznej na obrazy w skali szarości

- obraz w skali szarości $I(x,y)$ może być traktowany jako bryła pod powierzchnią 3D: $(I,y,I(x,y))$ (podobnie jak w przypadku transformaty odległościowej)
- morfologia w skali szarości jest uważana za rozszerzenie morfologii do przypadku trójwymiarowego:

$$A \oplus B = \{p+q : p \in A \wedge q \in B\}$$

gdzie zbiory A i B (obraz i SE) są trójwymiarowe



Dylacja w skali szarości

$$I(x, y) \rightarrow \max_{i=-1, \dots, +1, j=-1, \dots, +1} I(x+i, y+j)$$

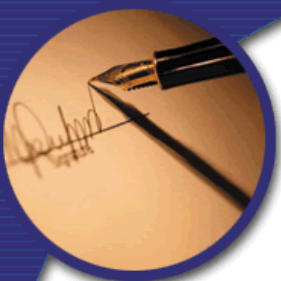
obraz oryginalny



obraz po 1 dylacji



- „rosną” obszary jasne
- znikają detale



Dylacja w skali szarości



2 iteracje



3 iteracje



5 iteracji



10 iteracji



Erozja w skali szarości

$$I(x, y) \rightarrow \min_{i=-1, \dots, +1, j=-1, \dots, +1} I(x+i, y+j)$$

obraz oryginalny



obraz po 1 dylacji



- „rosną” obszary ciemne
- znikają detale

Erozja w skali szarości



2 iteracje



3 iteracje



5 iteracji



10 iteracji



Zamknięcie w skali szarości

obraz oryginalny



zamknięcie w skali szarości



zamknięcie z większym SE



- erozja dylacji
- zanikają ciemne szczegóły
- jasne detale pozostają bez zmian

Otwarcie w skali szarości

obraz oryginalny



otwarcie w skali szarości



otwarcie z większym SE



- dylacja erozji
- zanikają jasne szczegóły
- ciemne detale pozostają bez zmian

