

Laboratorium

Przetwarzanie obrazów i systemy wizyjne

Ćwiczenie 5

Przekształcenia morfologiczne.

Przekształcenia morfologiczne

Przekształcenia podobne do filtrów, z tym że element obrazu nie jest modyfikowany zawsze lecz tylko jeśli spełniony jest określony warunek.

Przekształcenia morfologiczne są jednym z najważniejszych operacji w komputerowej analizie obrazu, pozwalają na najbardziej złożone operacje związane z analizą kształtu elementów obrazu.

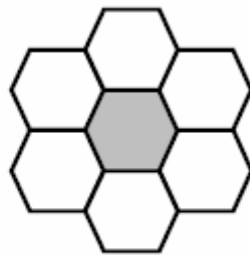
Wadą przekształceń morfologicznych jest duża złożoność obliczeniowa.

Podstawowe pojęcia

Element strukturalny obrazu - podzbiór obrazu (przy dyskretnej reprezentacji obrazu - pewien podzbiór jego elementów) z wyróżnionym jednym punktem (tzw. punktem centralnym).

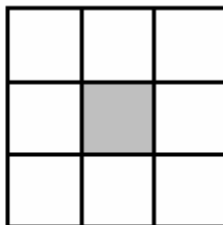
Najczęściej stosowanym elementem strukturalnym jest koło o promieniu jednostkowym.

Element strukturalny jest bardziej zbliżony do koła. Element strukturalny składa się z 7 elementów a nie 9 co zmniejsza złożoność obliczeniową. Element strukturalny nie preferuje dwóch abstrakcyjnych kierunków poziomego i pionowego.



Element strukturalny (koło o promieniu jednostkowym) na siatce heksagonalnej.

Tradycyjnie przyjmowany jest element strukturalny w postaci siatki prostokątnej gdyż jest prostszy w realizacji.



Element strukturalny (koło o promieniu jednostkowym) na siatce kwadratowej.

Ogólny algorytm przekształcenia morfologicznego

1. Przyłożenie punktu centralnego do wszystkich punktów obrazu
2. Sprawdzenie czy lokalna konfiguracja punktów odpowiada układowi zapisanemu w elemencie strukturalnym
3. Wykonanie, w przypadku zgodności konfiguracji punktów, operacji określonej dla danego przekształcenia

Różnica pomiędzy przekształceniami morfologicznymi a innymi przekształceniami obrazów polega na tym, że:

- przekształcenia punktowe transformują każdy punkt obrazu w taki sam sposób bez względu na to jakich ma sąsiadów,
- filtry uzależniają wynik od sąsiedztwa danego punktu, ale przekształcenie jest wykonywane zawsze nawet jeśli wartość obrazu w danym punkcie nie ulega zmianie,
- przekształcenia morfologiczne przekształcają tylko tę część punktów obrazu, których otoczenie jest zgodne z elementem strukturalnym, co pozwala na bardziej rozbudowane planowanie przekształceń.

Typowe przekształcenia morfologiczne

Erozja

W implementacji komputerowej erozja jednostkowa polega na usunięciu tych wszystkich punktów obrazu o wartości 1, które posiadają choć jednego sąsiada o wartości 0.

Erozję można również zinterpretować jako tzw. filtr minimalny, tzn. taki operator, który każdemu punktowi przypisuje minimum z wartości jego sąsiadów.

Przeprowadzanie erozji

Proces przeprowadzenia erozji można wykonać posługując się następującym elementem strukturalnym:

1	1	1
1	1	1
1	1	1

gdzie zastosowane symbole oznaczają:

- 0 - piksel o szarości mniejszej od tła („zgaszony”),
- 1 - piksel o szarości większej od tła („zapalony”),
- x - piksel o dowolnej szarości (zapalony lub zgaszony - jest to bez znaczenia).

Jeżeli punkt centralny i otoczenie elementu strukturalnego zgadza się z lokalną konfiguracją punktów obrazu to nowa wartość punktu centralnego obrazu przyjmuje wartość 1, natomiast w przeciwnym przypadku 0.

Odpowiada to dla obrazu binarnego realizacji operacji logicznej AND.

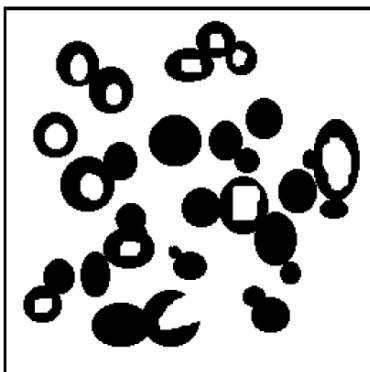
Kształt elementu strukturalnego

Najczęściej erozję przeprowadza się za pomocą elementu strukturalnego przypominającego kształtem koło, ale można też używać innych elementów strukturalnych np.: pary punktów, odcinków trójkątów itp.

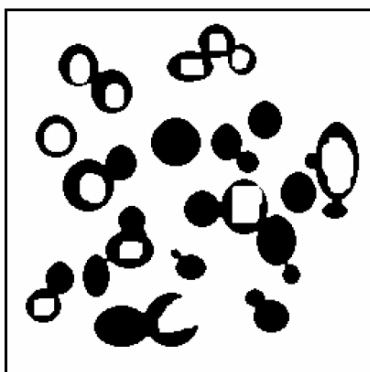
Elementy liniowe jako elementy strukturalne są przydatne do wyszukiwania fragmentów obrazu zorientowanych liniowo w tym samym kierunku co element strukturalny.

Np. sprawdzenie czy w badanym obrazie przedstawiającym materiał włóknisty nie ma zakłóceń.

Erozja -przykłady



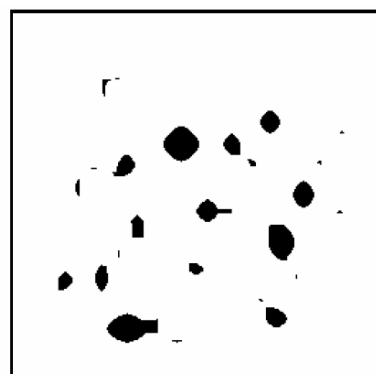
Obraz przed erozją



Obraz po dwukrotnej erozji



Obraz po czterokrotnej erozji



Obraz po pięciokrotnej erozji

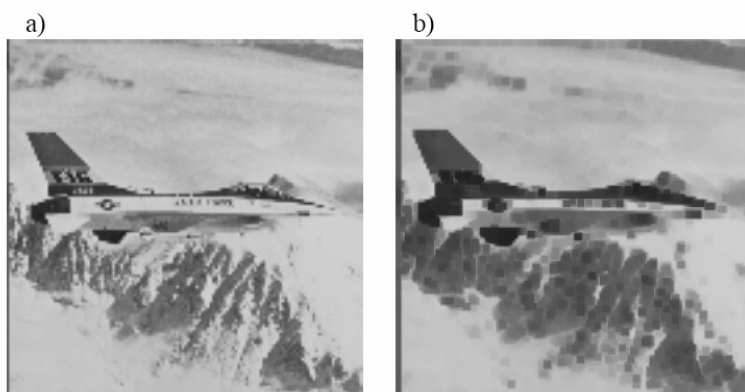
Cechy erozji o znaczeniu praktycznym

- Jest addytywna co oznacza, że erozję o złożonej wielkości można interpretować jako złożenie odpowiedniej ilości erozji o wielkości jednostkowej. Bardzo ważna cecha przy praktycznej realizacji przekształcenia.
- Erozja złożonym elementem strukturalnym jest równoważna złożeniu erozji poszczególnymi tego elementu strukturalnego
- Położenie punktu centralnego elementu strukturalnego nie ma większego znaczenia. Translacja punktu centralnego o wektor powoduje translację obrazu wynikowego o ten sam wektor.
- Erozja ma zdolność do eliminowania drobnych szczegółów i wygładzania brzegu figury.
- Erozja elementami strukturalnymi o podłużnym kształcie pozwala uwypuklić fragmenty obrazu zorientowane liniowo w tym samym kierunku co element strukturalny.
- Erozja dokonuje generalizacji obrazu. Odizolowane, drobne wyróżnione obszary zostają usunięte. Brzegi wyróżnionych obszarów zostają wygładzone, ich długość zostaje zdecydowanie zmniejszona. Zmniejszone zostają także ich powierzchnie. Często większe wyróżnione obrazy zostają podzielone na mniejsze. Spada nasycenie obrazu.

Przykłady działania erozji na obrazy naturalne



Erozja obrazu „Lena”; a) obraz oryginalny, b) erozja 3x3, c) erozja 5x5.



Erozja obrazu „Jet”; a) obraz oryginalny, b) erozja 5x5.

Typowe przekształcenia morfologiczne

Dylatacja

Dylatacja jest przekształceniem odwrotnym do erozji. Aby zdefiniować operację dylatacji zakłada

się, że istnieje nieregularny obszar na obrazie X i koło B o promieniu r , które będzie elementem strukturalnym. Wówczas dylatację figury X elementem B można zdefiniować na trzy różne sposoby:

- figura po dylatacji jest zbiorem środków wszystkich kół B , dla których choć jeden punkt pokrywa się z jakimkolwiek punktem figury właściwej,
- koło B przetacza się po zewnętrznej stronie brzegu figury; kolejne położenia środka koła B wyznaczają brzeg figury po dylatacji,
- analogicznie jak w przypadku erozji, dylatację można zdefiniować jako filtr maksymalny.

Operację dylatacji można przeprowadzić posługując się elementem strukturalnym:

x	x	x
x	0	x
x	x	x

Element strukturalny dla dylatacji.

Jeżeli punkt centralny i otoczenie elementu strukturalnego zgadza się z lokalną konfiguracją punktów obrazu to nowa wartość punktu centralnego obrazu przyjmuje wartość 1, ale pod warunkiem, że nie wszystkie wartości otoczenia obrazu są równe 0. W przeciwnym razie wartość punktu centralnego w obrazie pozostaje bez zmian.

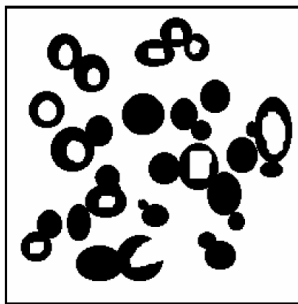
Odpowiada to dla obrazu binarnego realizacji operacji logicznej OR z następującym elementem strukturalnym.

1	1	1
1	1	1
1	1	1

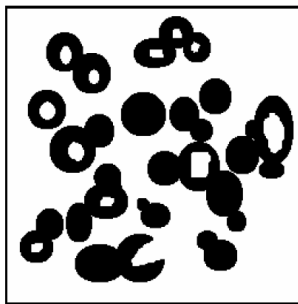
Podstawowe własności dylatacji są następujące:

- zamykanie małych otworów i wąskich zatok w konturach obiektów na obrazie;
- zdolność do łączenia obiektów, które położone są blisko siebie;
- dylatację obrazu kolorowego można przedstawić jako złożenie dylatacji przeprowadzonych dla poszczególnych składowych;

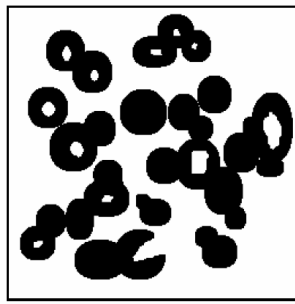
Przykłady dylatacji dla obrazu sztucznego



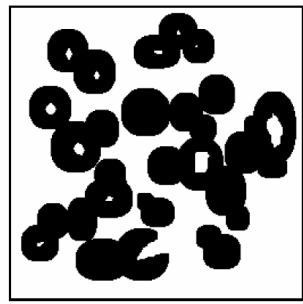
Obraz przed dylatacją



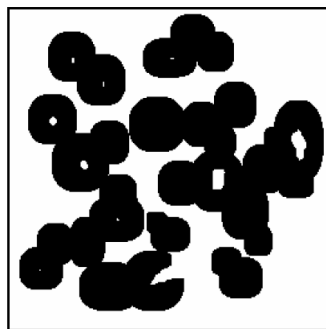
Obraz po jednokrotnej dylatacji



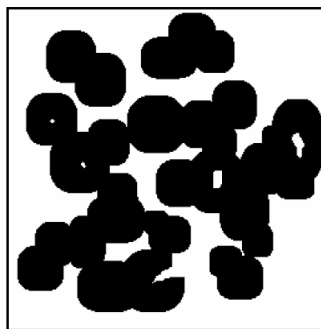
Obraz po dwukrotnej dylatacji



Obraz po trzykrotnej dylatacji



Obraz po czterokrotnej dylatacji



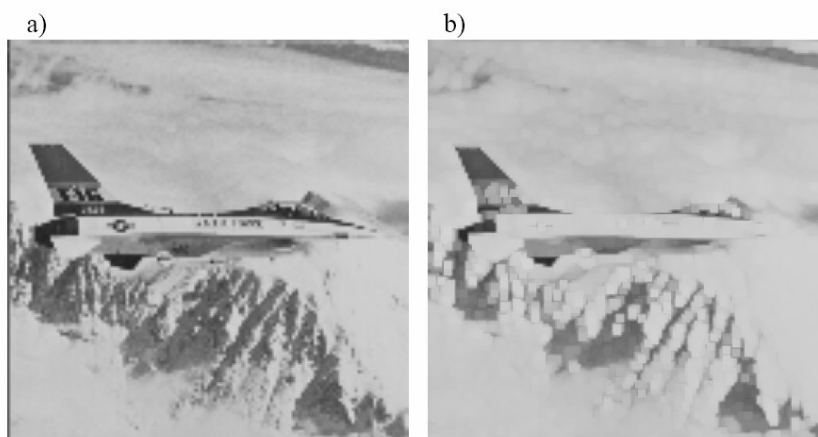
Obraz po pięciokrotnej dylatacji

Przebieg dylatacji prostego obrazu (pokazany w negatywie).

Przykłady dylatacji dla obrazów rzeczywistych



Dylatacja obrazu „Lena”; a) obraz oryginalny, b) dylatacja 3x3, c) dylatacja 5x5.



Dylatacja obrazu „Jet”; a) obraz oryginalny, b) dylatacja 5x5.

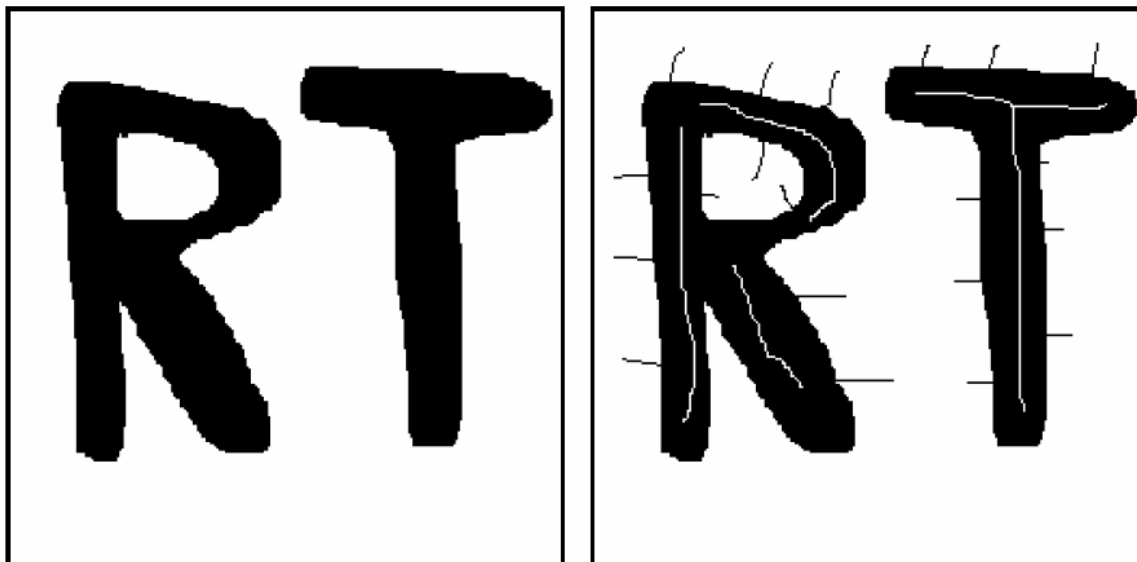
Otwarcie i zamknięcie

Omówione wcześniej operacje erozji i dylatacji mają niestety określone wady. Zmieniają one w sposób wyraźny pole powierzchni przekształcanych obszarów. Erozja zmniejsza je a dylatacja zwiększa.

Aby wyeliminować te wady wprowadzono przekształcenia będące złożeniem poprzednich. Są nimi otwarcie i zamknięcie, które można zdefiniować następująco:

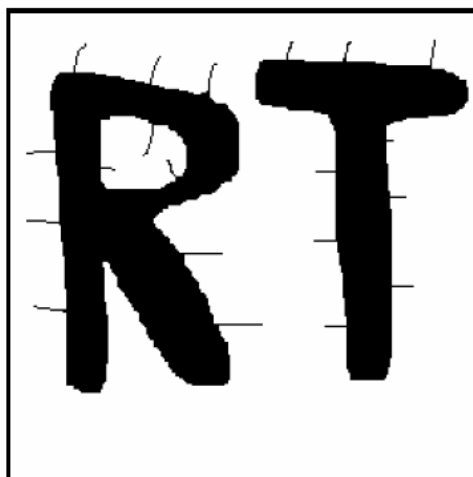
$$\begin{aligned}\text{otwarcie} &= \text{erozja} + \text{dylatacja} \\ \text{zamknięcie} &= \text{dylatacja} + \text{erozja}\end{aligned}$$

Przykłady otwarcia i zamknięcia



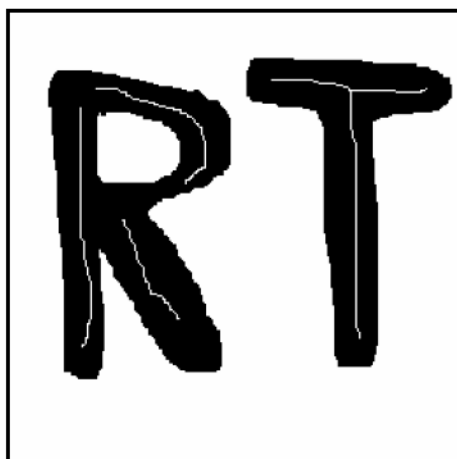
Obraz binarny i jego zakłócona wersja.

Jedynie operacja domknięcia



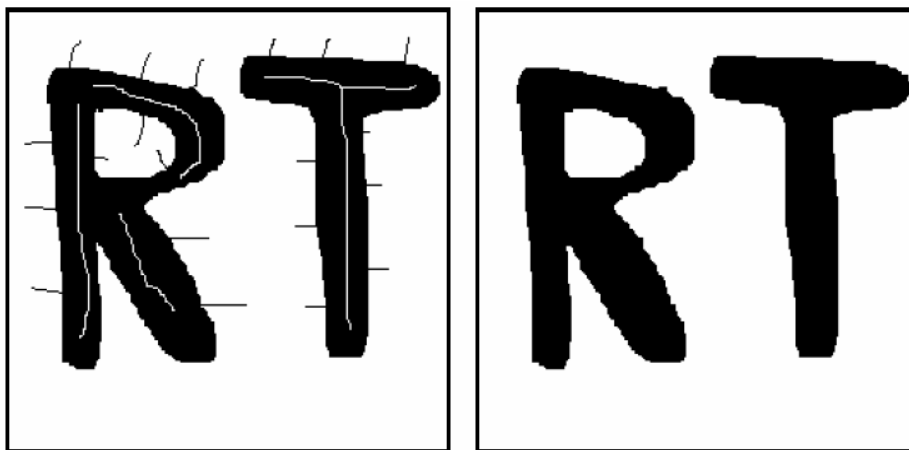
Zakłócony obraz po operacji domknięcia jest wolny od części zakłóceń.

Jedynie operacja otwarcia



Zakłócony obraz po operacji otwarcia jest wolny od innego typu zakłóceń.

Operacja domknięcia i otwarcia zastosowana jednocześnie



Zakłócony obraz po operacji domknięcia i otwarcia jest wolny od wszystkich zakłóceń.

Detekcja ekstremów

Aby wyodrębnić z obrazu lokalne ekstrema (maksima i minima) można wykorzystać zdefiniowane wcześniej przekształcenia otwarcia i zamknięcia.

Aby wyszukać lokalne maksima należy od wyniku otwarcia danego obrazu odjąć obraz wyjściowy, a następnie dokonać binaryzacji z dolnym progiem otrzymanej różnicy:

$$M(f) = B(O(f) - f),$$

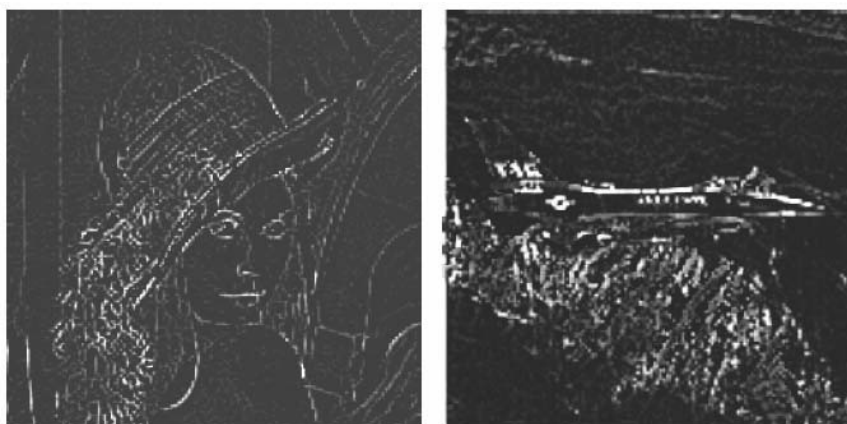
gdzie: $B(f)$ - binaryzacja z dolnym progiem obrazu f .



Wynik działania operacji *top-hat* w wersji angażującej operację otwarcia.

Aby wyszukać lokalne minima należy dokonać podobnej operacji, z tym, że pierwszą operacją będzie domknięcie:

$$m(f) = B(C(f) - f)$$



Wynik działania operacji *top-hat* w wersji angażującej operację zamknięcia.

Łatwo zauważyć, że operacja ta daje podobny wynik, jak operatory wydzielające krawędzie (na przykład Laplasjan)

Ścienianie

Ścienianie jest odmianą przekształceń morfologicznych.

Ścienianie obiektu X przy użyciu elementu strukturalnego B polega na przyłożeniu tego elementu do każdego punktu obrazu w ten sposób, że punkt centralny pokrywa się z analizowanym punktem i podjęciem jednej z dwóch decyzji:

- nie zmieniać punktu gdy element nie pokrywa się z jego sąsiedztwem
- zmieniać wartość punktu na 0 jeżeli element strukturalny pasuje do sąsiedztwa analizowanego punktu

Ścienianie może być powtarzane wielokrotnie, aż do momentu gdy następny krok nie wprowadza żadnych zmian w obrazie

Przykład elementów strukturalnych wykorzystywanych do ścieniania

x	1	1
1	1	1
1	1	1

1	1	x
1	1	1
1	1	1

1	1	1
1	1	1
1	1	x

1	1	1
1	1	1
x	1	1

Przykłady elementów strukturalnych wykorzystywanych przy ścienianiu.

Wynikiem ścieniania jest zawsze obraz binarny

W większości przypadków obrazem wejściowym dla operacji ścieniania jest również obraz binarny, chociaż to nie jest konieczne.

Przykładem ścieniania może być wyodrębnianie krawędzi

$$\begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & X & 1 \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}$$

Element strukturalny wykorzystywany przy ścienianiu.

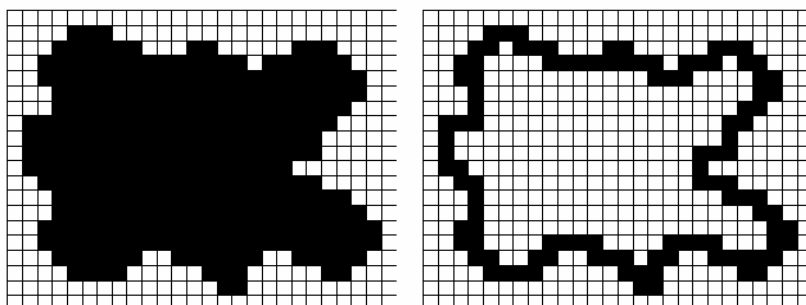
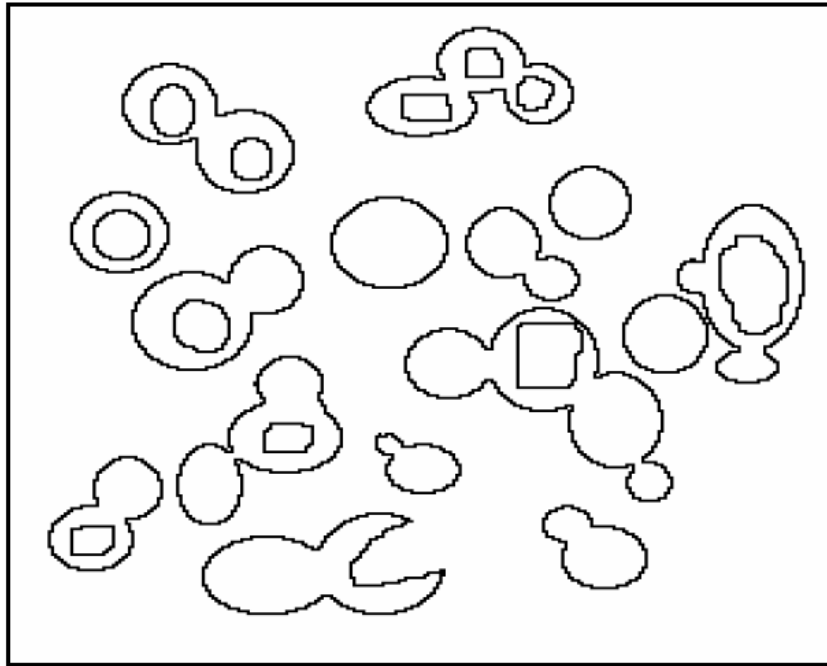


Figura przed i po ścienianiu elementem strukturalnym



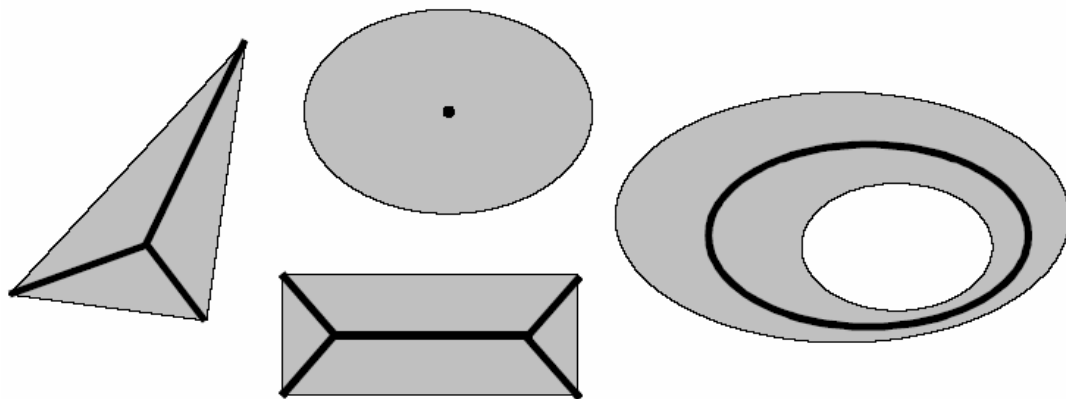
Bardziej złożony obraz przed i po ścienianiu elementem strukturalnym

Szkieletyzacja

Szkieletyzacja jest operacją pozwalającą wyodrębnić osiowe punkty (szkielety) w analizowanym obrazie.

Definicja

Szkielet figury jest zbiorem wszystkich punktów, które są równoodległe od co najmniej dwóch punktów należących do brzegu.



Wybrane figury i ich szkielety.

Szkieletyzacja-własności

Szkielet figury jest znacznie od niej mniejszy, a odzwierciedla w pełni jej topologiczne własności.

Analiza szkieletu figur umożliwia przeprowadzenie następujących analiz obrazu:

- klasyfikacja cząstek na podstawie ich kształtu
- określenie orientacji podłużnych obiektów
- rozdzielenie „posklejanych” obiektów
- wyznaczenie linii środkowej szerszej linii
- symulacja procesu rozrostu cząstek oraz tworzenia struktury ziarnistej

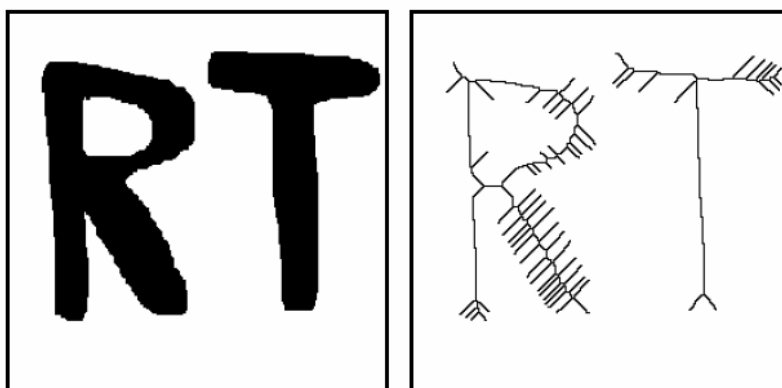
Szkieletyzacja może być realizowana jako ścienianie z następującym elementem strukturalnym:

$$\begin{bmatrix} X & 0 & X \\ X & 1 & X \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}$$

Element strukturalny używany do ścieniania przy szkieletyzacji.

W praktyce do ścieniania często stosowane są różne elementy strukturalne naprzemiennie, np.: elementy alfabetu Golay’a

$$\begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ X & 1 & X \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \text{ i } \begin{bmatrix} 1 & X & \boxed{1} \\ X & 1 & X \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}^{33} \text{ lub } \begin{bmatrix} 1 & 1 & \boxed{X} \\ 1 & 1 & 0 \\ 1 & 1 & X \end{bmatrix}^{34}.$$

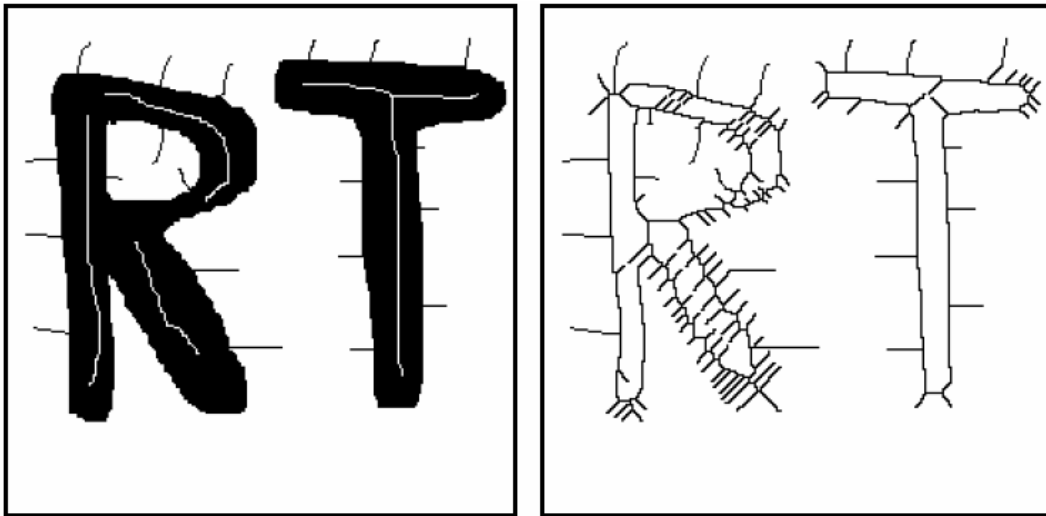


Efekt szkieletyzacji prostego obrazu binarnego (po lewej obraz przed szkieletyzacją, po prawej po szkieletyzacji).

³³ tzw. element „L” alfabetu Golay’a

³⁴ tzw. element „M” alfabetu Golay’a

Niestety proces szkieletyzacji może wprowadzać do obrazu pewne „artefakty” w postaci bocznego gałęzowania linii szkieletu. Efekt ten jest szczególnie dokuczliwy, jeśli obraz oryginalny posiada zakłócenia.



Efekt szkieletyzacji zakłóconego obrazu binarnego (po lewej obraz przed szkieletyzacją, po prawej po szkieletyzacji).

Zadania

1. Utworzyć funkcje realizujące operacje erozji i dylatacji z wykorzystaniem operacji AND i OR, wykonać operacje erozji i dylatacji jednokrotnej i wielokrotnej dla obrazów binarnych z wykorzystaniem opracowanych funkcji.
2. Zrealizować operacje erozji, dylatacji, otwarcia i zamknięcia dla przykładów obrazów binarnych znajdujących się w instrukcji i na własnych obrazach binarnych, korzystając z modułu `scipy.ndimage.morphology` i wykorzystując różne rodzaje elementów strukturalnych.
3. Wykorzystując operacje erozji i dylatacji wyznaczyć krawędzie obiektu na obrazie:
 - a) odejmując od obrazu binarnego, obraz zerodowany,
 - b) odejmując od obrazu po dylatacji obraz binarny przed dylatacją.
4. Zaprezentować i omówić działanie na obrazach binarnych operacji z modułu `skimage.morphology` **remove_small_objects**, **skeletonize**, **thin**, **black_tophat**, **white_tophat** z biblioteki `scikit-image`.
5. Korzystając z modułów `scipy.ndimage.morphology` lub `skimage.morphology` zrealizować operacje erozji, dylatacji, otwarcia i zamknięcia dla obrazów w odcieniach szarości.