

Diagnostyka obrazowa

Ćwiczenie czwarte Przekształcenia morfologiczne obrazu

1 Cel ćwiczenia

Ćwiczenie ma na celu zapoznanie uczestników kursu „Diagnostyka obrazowa” z definicjami operacji morfologicznych oraz podstawowymi operacjami morfologicznymi jakie możemy wykonywać na obrazach. Przykłady i zastosowanie operacji morfologicznych zostaną zaprezentowane z wykorzystaniem programu ImageJ.

2 Operacje morfologiczne - teoria

Przekształcenia morfologiczne obrazu wywodzą się z morfologii matematycznej, t.j. działu matematyki opartego na teorii zbiorów, topologii i funkcjach losowych. Morfologia matematyczna jest teorią i jednocześnie techniką przetwarzania i analizy struktur geometrycznych. Jest bardzo często stosowana w technologii przetwarzania obrazów, ale może być również wykorzystywana w analizie struktur przestrzennych.

W odróżnieniu od operacji punktowych na obrazach, przekształcenia morfologiczne bazują na analizie związków zachodzących między punktami należącymi do sąsiedztwa punktu analizowanego na obrazie. Punkt jest modyfikowany w zależności od wartości logicznej wyrażenia opisującego wybrany związek między tym punktem, a jego sąsiedztwem.

Przekształcenia morfologiczne są jednymi z najważniejszych algorytmów w komputerowej analizie obrazu, ponieważ pozwalają na złożone operacje związane z analizą kształtu elementów obrazu. Oprócz badania kształtów, przekształcenia te mają zastosowanie w poprawie jakości obrazów, algorytmach segmentacji obrazu, filtracji przy zachowaniu kształtu i położenia obiektów, kodowaniu obrazów. Ponieważ przekształcenia te opierają się o sąsiedztwo analizowanego punktu, mają dużą złożoność obliczeniową. Dlatego też, stosowane są przede wszystkim w przetwarzaniu obrazów binarnych.

Podstawowe przekształcenia morfologiczne to:

- erozja i dylatacja
- otwarcie i zamknięcie
- gradient morfologiczny
- szkieletyzacja

2.1 Pojęcie elementu strukturalnego

Podstawowym terminem związanym z przekształceniami morfologicznymi jest pojęcie **elementu strukturalnego**. Elementem strukturalnym określamy zbiór punktów, wykorzystywany do przekształcenia morfologicznego. Przy dyskretnej reprezentacji obrazu, jest to pewien podzbiór jego elementów z wyróżnionym tzw. punktem centralnym lub pikselem bieżącym, względem którego wyraża się współrzędne pikseli należących do elementu strukturalnego.

Element strukturalny możemy opisać jako macierz, tworzącą pewnego rodzaju szablon, który dopasowujemy do kolejnych pikseli obrazu. Odnosząc się do macierzy obrazujących przykładowe elementy strukturalne (**Rysunek 1**), wyróżniamy następujące składowe:

- **0** - punkt o mniejszym stopniu szarości niż tło (czarny w przypadku obrazów binarnych),
- **1** - punkt o większym stopniu szarości niż tło (biały w przypadku obrazów binarnych),
- **X** - punkt o dowolnym stopniu szarości (nieistotny dla algorytmu).

Centralnym punktem dla przedstawionych macierzy jest ich środek.

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

Rysunek 1: Przykłady elementów strukturalnych.

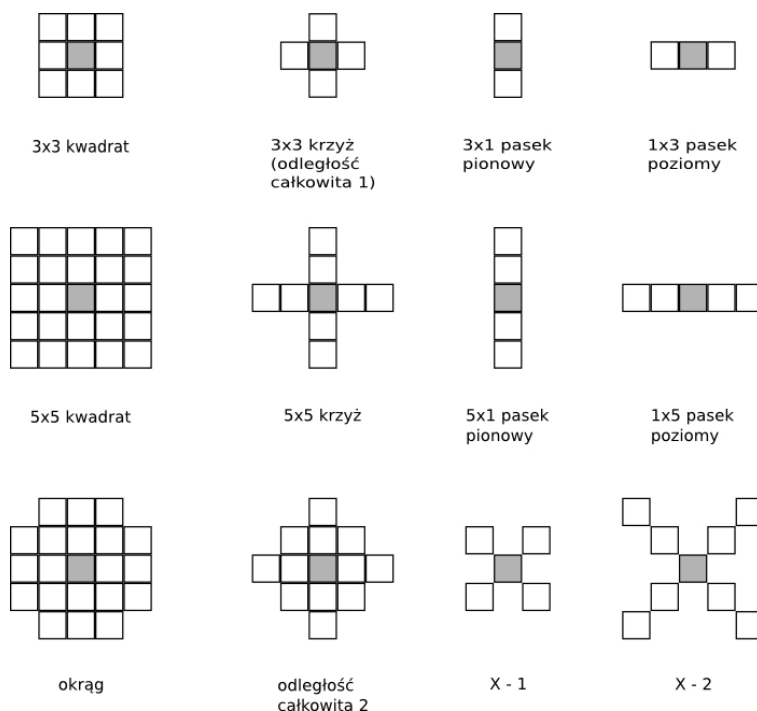
Istnieją również inne rodzaje elementów strukturalnych, na przykład o innej wielkości: **Rysunek 2**.

Nawiązując do tak zdefiniowanego elementu strukturalnego, operacja morfologiczna jest wykonywana zgodnie z następującym algorytmem:

1. Punkt centralny elementu strukturalnego jest przesuwany po wszystkich punktach obrazu.
2. W każdym punkcie obrazu sprawdza się czy jego konfiguracja odpowiada elementowi strukturalnemu.
3. Jeżeli konfiguracje analizowanego fragmentu obrazu i nałożonego na niego elementu strukturalnego są zgodne, to na punkcie centralnym zostaje wykonana pewna operacja.
4. W przeciwnym wypadku, stan punktu centralnego pozostaje bez zmian.

2.2 Erozja i dylatacja

Erozja i dylatacja są podstawowymi operacjami morfologicznymi. Możemy powiedzieć, że są względem siebie odwrotne. **Erozję** na obrazach binarnych możemy interpretować jako odcięcie pewnego pasa o zadanej szerokości wzdłuż brzegu obiektu, natomiast **dylatację**, jako nałożenie pasa o żądanej szerokości wzdłuż brzegu obiektu. Oba te procesy możemy sobie wyobrazić również jako przetaczanie elementu strukturalnego w postaci koła po granicy analizowanych obiektów.



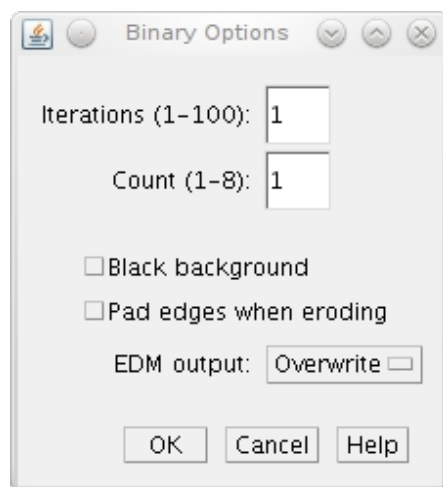
Rysunek 2: Inne elementy strukturalne.

W przypadku erozji, brzeg elementu strukturalnego (koła) leży po wewnętrznej stronie obiektu (figury), a przetaczając się po jej brzegu, środek elementu strukturalnego wyznacza brzeg figury zerodowanej. W przypadku dylatacji, środek elementu strukturalnego (koła) leży na granicy obiektu (figury), a przetaczając się po jej brzegu, zewnętrzny brzeg elementu strukturalnego wyznacza nowy brzeg figury po dylatacji.

2.2.1 Erozja

Erozję rozumiemy jako usunięcie tych wszystkich punktów obrazu o wartości 1, które posiadają przynajmniej jednego sąsiada o wartości 0. Do praktycznych zastosowań erozji możemy zaliczyć zdolność do usuwania drobnych szczegółów na obrazie i wygładzanie brzegu figury. Możemy powiedzieć, że erozja dokonuje generalizacji obrazu. Pozwala na wygładzenie brzegów dużych, wyróżnionych obszarów oraz na usunięcie drobnych, odizolowanych obszarów. Dzięki erozji można szybko znaleźć kontury obiektów lub dokonać dekompozycji złożonych obiektów na prostsze.

Erozję w programie *ImageJ* wykonujemy za pomocą opcji *Erode* znajdującej się w menu *Process->Binary*. Dodatkowo możemy określić parametry z jakimi wykonywana jest erozja. W oknie *Process->Binary->Options* (Rysunek 3) możemy sprecyzować liczbę iteracji algorytmu erozji (*Iterations*), czyli ile razy z rzędu erozja zostanie wykonana na całym obrazie. W przypadku erozji opcja *Count* określa liczbę pikseli, sąsiadów elementu centralnego, potrzebnych do usunięcia punktu o wartości 1. Zaznaczenie opcji *Black background* pozwala na zastosowanie algorytmu w przypadku białych obiektów na czarnym tle. Zaznaczenie opcji *Pad edges when eroding* powoduje, iż algorytm erozji nie bierze pod uwagę krawędzi obrazu.



Rysunek 3: Okno Binary Options.

2.2.2 Dylatacja

Dylatację rozumiemy jako dodanie do obrazu punktów o wartości 0, w pikselach, dla których nie wszyscy sąsiedzi mają wartość 1. Do praktycznych zastosowań dylatacji możemy zaliczyć łączenie obiektów położonych blisko siebie oraz wypełnianie wąskich zatok i małych otworów w konturach obiektów. Dylatacja również dokonuje generalizacji obrazu, wygładza brzegi obszarów, obiekty zostają zwiększone, a drobne wklęsłości na obiektach usunięte.

Dylatację w programie *ImageJ* wykonujemy za pomocą opcji *Dilate* znajdującej się w menu *Process->Binary*. Dodatkowo możemy określić parametry z jakimi wykonywana jest dylatacja. Analogicznie jak w przypadku erozji, w oknie *Process->Binary->Options* (Rysunek 3) możemy sprecyzować liczbę iteracji algorytmu. W przypadku dylatacji, opcja *Count* określa liczbę pikseli o wartości 1, sąsiadów elementu centralnego, potrzebnych do wstawienia punktu o wartości 0. Zaznaczenie opcji *Black background* pozwala na zastosowanie algorytmu w przypadku białych obiektów na czarnym tle.

2.3 Otwarcie i zamknięcie

Operacje erozji i dylatacji mają wady, polegające na znaczącej zmianie pola powierzchni modyfikowanych obszarów - erozja zmniejsza to pole, natomiast dylatacja zwiększa. W celu wyeliminowania tych wad wprowadzono operacje otwarcia i zamknięcia, będące złożeniem operacji erozji i dylatacji w odpowiedniej kolejności. I tak **otwarcie** to operacja erozji, po której następuje dylatacja, natomiast **zamknięcie** to operacja dylatacji, po której następuje erozja. Obie operacje (otwarcie i zamknięcie) nie zmieniają rozmiaru ani kształtu obiektów o równym, gładkim brzegu.

2.3.1 Otwarcie

Otwarcie pozwala na rozłączenie obiektów z przewężeniami. Dodatkowo, usuwa z obrazów drobne obiekty oraz wypustki figur nie zmieniając jednocześnie podstawowej części figury.

Otwarcie wykonujemy za pomocą opcji `Open` również znajdujące się w menu `Process->Binary`. Możemy też określić parametry z jakimi wykonywane jest otwarcie. Tak jak w poprzednich przypadkach, w oknie `Process->Binary->Options` (**Rysunek 3**) możemy sprecyzować liczbę iteracji algorytmu.

2.3.2 Zamknięcie

Zamknięcie pozwala na połączenie obiektów leżących blisko siebie. Dodatkowo, zamknięcie wypełnia zatoki, wąskie szczeliny, małe otwory wewnątrz figury nie zmieniając jednocześnie jej podstawowej części.

Zamknięcie wykonujemy za pomocą opcji `Close` również znajdujące się w menu `Process->Binary`. Możemy też określić parametry z jakimi wykonywane jest zamknięcie. W oknie `Process->Binary->Options` (**Rysunek 3**) możemy sprecyzować liczbę iteracji algorytmu.

2.4 Szkieletyzacja

Szkielet figury definiujemy jako zbiór punktów, które są równo-odległe od co najmniej dwóch punktów należących do brzegu figury. Algorytm szkieletyzacji polega na usuwaniu pikseli wzdłuż granic obiektów, aż do powstania szkieletu obiektów o szerokości jednego piksela. Dzięki szkieletyzacji można np. rozdzielić posklejane figury, określić orientację podłużnych obiektów czy przeprowadzić ich klasyfikację na podstawie kształtu.

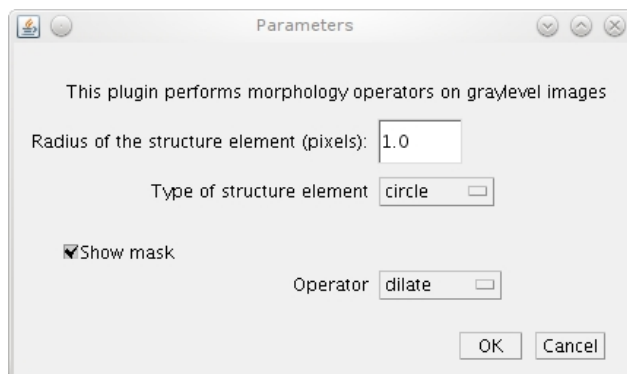
Szkieletyzację wykonujemy za pomocą opcji `Skeletonize`, również znajdujące się w menu `Process->Binary`.

2.5 Operacje morfologiczne dla obrazów monochromatycznych

Warto wspomnieć o tym, że operacje morfologiczne mogą być wykonywane również na obrazach niebędących obrazami binarnymi (8-bitowe obrazy w odcieniach szarości). Oczywiście jest, że w przypadku obrazów monochromatycznych proces erozji czy dylatacji musi zostać w pewien sposób uogólniony. Załóżmy, że prezentacja obrazu w skali szarości jest trójwymiarowa: tzn. współrzędne x i y oznaczają długość i szerokość obrazu, a z jego wysokość, odpowiadającą poziomowi skali szarości. Dla tak zdefiniowanego obrazu, erozję rozumiemy jako odcięcie pewnej warstwy o zadanej grubości względem powierzchni obiektu. Szerokość odciętej warstwy określa wielkość elementu strukturalnego. Analogicznie, proces dylatacji obrazu monochromatycznego można sobie wyobrazić jako nałożenie warstwy o zadanej grubości na powierzchnię obiektu. Ponownie, szerokość odciętej warstwy określana jest przez wielkość elementu strukturalnego. Korzystając z tak zdefiniowanych operacji erozji i dylatacji, operacja otwarcia i zamknięcia definiujemy analogicznie jak w przypadku obrazów binarnych.

Aby wykonać operacje morfologiczne dla obrazów niebinarnych w *ImageJ* należy zainstalować dodatkową wtyczkę. Wtyczkę o nazwie: `Gray_Morphology.jar` można ściągnąć ze strony: <http://rsb.info.nih.gov/ij/plugins/gray-morphology.html>. Aby zainstalować wtyczkę w *ImageJ*, należy plik `Gray_Morphology.jar` umieścić w katalogu `Plugins`, znajdującym się w folderze, w którym jest zainstalowany *ImageJ*. Po restarcie programu *ImageJ* w menu `Plugins->Morfology`, będziemy mogli odnaleźć dodatkowe polecenie `Grayscale Morfology` pozwalające na uruchomienie operacji morfologicznych dla obrazów

w skali szarości. Po wybraniu tego polecenia, pojawi się okno (**Rysunek 4**), w którym możemy wybrać nie tylko operację morfologiczną jaką chcemy przeprowadzić na obrazie, ale także rodzaj i wielkość elementu strukturalnego wykorzystywanego w algorytmie.



Rysunek 4: Okno Grayscale Morphology.

3 Program ćwiczenia

1. Wczytaj obraz `TEM_Filter` dostarczony jako jeden z przykładowych obrazów razem z programem `ImageJ`.
2. Polepsz kontrast na obrazie wykorzystując operacje rozciągnięcia i wyrównania histogramu.
3. Przekształć obraz do postaci binarnej (progowanie) tak aby pokryć jak najwięcej sporych, białych obiektów. **UWAGA:** Białe obiekty po tej operacji powinny się stać czarne.
4. Korzystając z operacji erozji, dylatacji, otwarcia i zamknięcia doprowadź do usunięcia artefaktów z tła i jego ujednolicenia. Doprowadź również do ujednolicenia analizowanych obiektów. Spróbuj skorzystać z różnych ustawień operacji morfologicznych. Które z wymienionych operacji najlepiej nadają się do wykonania tego zadania? W jakiej kolejności powinny być wykonywane?
5. Skorzystaj z operacji erozji, dylatacji, otwarcia i zamknięcia dla obrazów monochromatycznych. Spróbuj skorzystać z różnych ustawień operacji morfologicznych. Doprowadź do usunięcia artefaktów z tła, ujednolicenia tła, oraz do ujednolicenia analizowanych obiektów dla obrazu z podpunktu 2. Które z wymienionych operacji najlepiej nadają się do wykonania tego zadania? W jakiej kolejności powinny być wykonywane?

Hanna Kamińska