

Przekształcenia morfologiczne

1 Element strukturalny

Przekształcenia morfologiczne są to operacje związane z zastosowaniem tzw. Elementu strukturalnego (SE). Jest to pewien wycinek obrazu z wyróżnionym jednym punktem (elementem centralnym). Element strukturalny jest przemieszczany po całym obrazie i dla każdego punktu wykonywana jest analiza koincydencji punktów obrazu i elementu strukturalnego.

Do tworzenia elementu strukturalnego służy polecenie `strel('kształt', parametry);`. Możliwe są następujące kształty:

- ('arbitrary', NHOOD); - dowolny element definiowany poprzez macierz NHOOD;
- ('pair', Offset) - zawiera dwa elementy oddalone o offset
- ('diamond', R) - kwadrat obrócony o 45° . R - połowa przekątnej
- ('disk', R) - koło o promieniu R
- ('rectangle', [M N]) - prostokąt wypełniony jedynkami
- ('line', Len, Deg) - linia o długości Len i nachyleniu Deg
- ('square', w) - kwadrat o boku w
- ('octagon', R) - ośmiokąt o promieniu R
- ('cube', w) i ('cuboid', [m,n,p]) - sześcian i prostopadłościan;
- ('sphere' - kula

2 Erozja

Aby zdefiniować erozję należy założyć, że istnieje nieregularny obszar X i koło B o promieniu r. Zerodowana figura X elementem B jest to zbiór wszystkich środków kół o promieniu r, które w całości zawarte są wewnątrz obszaru X. W implementacji komputerowej polega to na usunięciu wszystkich elementów o wartości 1, które posiadają choć jednego sąsiada o wartości 0. Można to interpretować jako filtr minimalny. Do erozji służy polecenie `imerode(obraz, SE)`. Jako elementów strukturalnych używa najczęściej następujących masek:

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

gdzie X - dowolna wartość obrazu $\{0,1\}$

W MATLABie poszczególne elementy koduje się następująco:

1 to 1; 0 to -1; X to 0.

2.1 Cechy erozji

Do najważniejszych cech erozji należą:

- w większości przypadków jest addytywna, tzn. erozję o założonej wielkości można interpretować jako złożenie odpowiedniej ilości erozji o mniejszej wielkości. Twierdzenie to jest nieprawdziwe przy bardzo małych elementach strukturalnych, których kształt istotnie odbiega od teoretycznego elementu strukturalnego;

- erozja złożonym SE jest równoważna złożeniu erozji poszczególnymi elementami tego SE;
- położenie punktu centralnego SE nie ma większego znaczenia. Zmiana położenia punktu centralnego o dany wektor powoduje przesunięcie obrazu wynikowego o ten sam wektor;
- erozja ma zdolność do eliminacji drobnych szczegółów i wygładzania brzegu figury;
- erozja elementem o podłużnym kształcie pozwala uwypuklić linijne fragmenty zorientowane w tym samym kierunku, co SE;
- erozja dokonuje generalizacji obrazu.

3 Dylatacja

Jest to przekształcenie odwrotne do erozji. Zachowując założenia z erozji, figura po dylatacji jest zbiorem środków wszystkich kół B, dla których choć jeden ich punkt pokrywa się z jakimkolwiek punktem figury X. Analogicznie do erozji, można to przekształcenie traktować jako filtr maksymalizujący. Dylatacje można dodatkowo zdefiniować jako negatywy erozji negatywu obrazu. Do dylatacji służy polecenie `imdilate(obraz, SE)`; Typowy element strukturalny dylatacji wygląda następująco:

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

Przy czym przynajmniej jeden element X musi mieć wartość 1.

3.1 Cechy Dylatacji

Do najważniejszych cech dylatacji należą:

- zamykanie małych otworów i wąskich zatok
- zdolność do łączenia obiektów blisko połączonych
- podobnie jak w przypadku erozji addytywność i możliwość zamiany dylatacji złożonym SE na dylatacje elementami składowymi.

4 Otwarcie i Zamknięcie

Są to operacje będące złożeniem erozji i dylatacji. Otwarcie polega na następujących po sobie erozji i dylatacji tym samym elementem, a zamknięcie następującej po sobie dylatacji i erozji:

$$\begin{aligned} \text{otwarcie} &= \text{dylatacja}(\text{erozja}, \text{SE}), \text{SE} \\ \text{zamknięcie} &= \text{erozja}(\text{dylatacja}, \text{SE}), \text{SE} \end{aligned}$$

Do wykonania tych operacji służą następujące polecenia:
`imopen(obraz, SE)`; `imclose(obraz, SE)`;

Otwarcie powoduje usunięcie drobnych obiektów takich jak np. półwyspy, wypustki, nie zmieniając zasadniczo wielkości figury. Może rozłączyć niektóre obiekty połączone pierwotnie przewężeniami. Zamknięcie wypełnia wąskie zatoki oraz drobne otwory wewnątrz figury. Może też połączyć leżące blisko siebie obiekty.

4.1 Cechy Otwarcia i Zamknięcia

Najważniejszymi cechami Otwarcia $O(F)$ i Zamknięcia $C(F)$ są:

- Przekształcenia te są niezmiennie wobec siebie: $O(O(F))=O(F)$ i $C(C(F))=C(F)$
- Otwarcie usuwa drobne obiekty i szczegóły, może też rozłączyć niektóre obiekty z przewężeniami
- Zamknięcie wypełnia wąskie zatoki i wcięcia oraz drobne otwory wewnątrz obiektu. Może też połączyć leżące blisko siebie elementy.
- Zależność pomiędzy polem powierzchni figury F , a wynikiem Eroзии, Otwarcia, Zamknięcia i Dylatacji tej figury jest następująca:

$$E(F) \leq O(F) \leq C(F) \leq D(F) \quad (1)$$

5 Gradient morfologiczny

Gradient morfologiczny jest definiowany na trzy sposoby:

- jako różnica między obrazem wejściowym, a wynikiem jego eroзии;
- jako różnica między wynikiem dylatacji, a obrazem wejściowym;
- jako różnica między wynikiem dylatacji obrazu wejściowego, a jego erozią. W tym wariancie wynik często bywa dzielony przez 2, jeśli interesuje nas obliczenie obwodu obiektu.

6 Tophat i bothat

Obie operacje wykorzystuje się do poprawy kontrastu obrazu.

Tophat, czyli różnica pomiędzy obrazem, a jego otwarciem. Poprawia widzialność szczegółów jaśniejszych niż tło w przypadku obrazów o słabym kontraście lub niejednorodnym tle. Do jego realizacji służy polecenie `imtophat(obraz, SE)`. Do wyrównywania niejednorodnego tła używamy głównie dużych elementów strukturalnych.

Bothat (Bottom hat, black tophat), czyli różnica pomiędzy zamknięciem, a obrazem. Do jego zastosowania służy polecenie `imbothat(obraz, SE)`. Służy do uwypuklenia obiektów ciemniejszych niż tło.

7 Rekonstrukcja

Rekonstrukcja obrazu przy użyciu markera. Obraz i marker mogą być obrazami logicznymi lub monochromatycznymi i muszą mieć ten sam rozmiar. Rekonstrukcja polega na cyklicznym dokonywaniu dylatacji obrazu i wyznaczaniu części wspólnej obrazu uzyskanego po dylatacji i obrazu wejściowego dla całego przekształcenia. Cykl ten powtarza się aż do uzyskania zbieżności, to znaczy braku zmian pomiędzy sąsiednimi iteracjami.

W MatLABie używane jest do tego polecenie:
`imreconstruct(marker, obraz, sąsiedztwo)`.

Rekonstrukcja służy do: wskazywania obiektów, wypełniania dziur w obiektach, usuwania obiektów przeciętych brzegiem, estymacji odległości geodezyjnej, etc.

8 Operacja Hit or Miss

Operacja Hit or miss (trafi, nie trafi) jest definiowane jako:

"Do każdego punktu analizowanego obrazu przykładany jest punkt centralny danego elementu strukturalnego. Jeżeli lokalne otoczenie analizowanego punktu zgodne jest z elementem strukturalnym - odpowiedni punkt obrazu wynikowego uzyskuje wartość 1. W przeciwnym przypadku wartość 0." (Tadeusiewicz & Kohoroda). Stosuje się różne elementy strukturalne, mające różne zastosowanie. I tak:

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

Pierwszy element służy do detekcji pojedynczych izolowanych punktów, drugi do detekcji punktów końcowych, a pozostałe dwa do detekcji punktów węzłowych.

Do użycia tego przekształcenia służy polecenie `bwhitmiss(obraz, SE1, SE2)` lub `W=bwhitmiss(A, SE);`

$$A = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 1 & 1 & 0 & 1 \\ 1 & 1 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & 1 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad SE = \begin{bmatrix} 1 & 0 & -1 \\ 0 & -1 & 0 \\ 1 & 0 & -1 \end{bmatrix} \quad W = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 1 & 1 \end{bmatrix}$$

9 Wypukłe otoczenie

Wypukłe otoczenie jest to najmniejsza figura wypukła zawierająca daną figurę. Realizuje się to przez pogrubienie maską, obracaną co 45°:

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

10 Ścienianie i Pogrubianie

Pogrubianie i ścienianie: Operacje te polegają na nałożeniu lub ściągnięciu wierzchniej warstwy obiektu. W procesie ścieniania wartość punktu nie zmienia się, gdy SE nie pokrywa się z jego sąsiedztwem lub zmienia jego wartość na zero, gdy SE pasuje do sąsiedztwa rozpatrywanego punktu. W procesie pogrubiania relacje są odwrotne. Do wykonywania tych operacji służy polecenie `bwmorph` z parametrami `'thicken'` i `'thin'`.

Elementem wykorzystywanym do ścieniania jest maska, obracana co 90°:

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

11 Szkieletyzacja

Szkielet figury to zbiór wszystkich środków okręgów, mieszczących się w całości wewnątrz figury i mających co najmniej dwa punkty wspólne z brzegiem figury. Szkieletyzację wykonuje się przy użyciu następujących elementów:

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

Do szkieletyzacji służy polecenie `bwmorph(obraz, 'skel')`;

12 Dylatacja bez stykania obszarów (SKIZ)

SKIZ (ang. skeleton by influence zone) jest pomocne przy rozdzielaniu elementów częściowo się stykających. Jako pierwszy krok wykonuje się erozję, a następnie pogrubienie następującym SE:

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

Gdy przekształcenie to jest stosowane cyklicznie, aż do braku zmian, uzyskuje się szkielet wpływów (SKIZ). Strefa wpływów danego punktu definiowana jest jako zbiór wszystkich punktów obrazu, dla których odległość do danego punktu jest mniejsza niż do pozostałych. Przekształcenie to czasami powoduje pewne artefakty (wąskie i głębokie zatoki), które eliminuje się w 3 krokach: negatyw \rightarrow obcięcie gałęzi \rightarrow negatyw.

13 Pakiet bwmorph

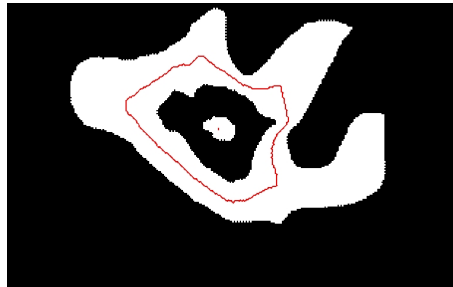
`bwmorph(obraz, 'metoda', parametr)`; Funkcja ta aplikuje operacje morfologiczne na obrazie logicznym. Do metod zaliczamy:

- `'bothat'` i `'tophat'` - operacja Bottom hat i top hat.
- `'bridge'` - łączy blisko siebie leżące piksele.
- `'clean'` - zeruje pojedynczego piksela, otoczonego samymi zerami.
- `'close'` i `'open'` - zamknięcie i otwarcie elementem `ones(3)`.
- `'diag'` - zamienia połączenia diagonalne (8-sąsiedztwo) na 4-sąsiedztwo poprzez zmianę wartości piksela leżącego pod przekątną na 1.
- `'dilate'` i `'erode'` - dylatacja i erozja elementem `ones(3)`
- `'fill'` - zmienia wartość zerowego piksela otoczonego samymi jedynkami na jeden.
- `'hbreak'` - rozdziela H-połączone piksele (w pionie i poziomie)

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

- `'majority'` - jeżeli suma maski 3x3 jest większa lub równa 5, to element centralny przyjmuje wartość 1. Jeżeli nie, to element centralny ma wartość 0.
- `'remove'` - zmienia wartość środkowego piksela na 0, jeżeli wszyscy jego 4-sąsiedzi mają wartość 1.

- ('shrink', n) - kurczy obiekty do punktów. W przypadku obiektu z "dziurami", i użycia tej funkcji z n=inf, powstaje obwódka w pomiędzy granicą zewnętrzną i wewnętrzną obiektu. Obiekty jednorodne są zmniejszane do punktu. Parametr n oznacza ilość iteracji, przy n=inf operacja jest wykonywana do momentu, kiedy pomiędzy wynikami dwóch sąsiednich iteracji nie będzie różnicy. Efekt działania tej funkcji z parametrem n=inf (kolor czerwony) naniesiony na obraz wejściowy przedstawia fig.1. Widoczna jest obwódka wokół dziury oraz pojedynczy punkt w wewnętrznym obiekcie.



Rysunek 1: Efekt działania funkcji `bwmorph('shrink',inf)` zaznaczony kolorem czerwonym

- ('skel', n) - szkieletyzacja. Działanie parametru n jest analogiczne do funkcji 'shrink'.
- 'spur' - usuwa gałęzie, np. powstałe w wyniku szkieletyzacji lub wycieniania. Służą do tego następujące elementy strukturalne:

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

- ('thicken', n) i ('thin', n) - pogrubianie i wycienianie obiektu

14 Operacje geodezyjne

Operacje geodezyjne wymagają użycia dwóch obrazów (obraz wejściowy oraz maska / marker). W wyniku tych operacji obraz wejściowy jest poddawany operacji morfologicznej, a następnie porównywany z maską. Wyróżniamy następujące operacje geodezyjne:

- **dylatacja geodezyjna (o rozmiarze 1)** - jest to wartość minimalna z obrazu wejściowego poddanej dylatacji jednostkowym elementem strukturalnym oraz maski. W przypadku obrazów logicznych jest to iloczyn logiczny maski oraz obrazu po dylatacji. Zakłada się, że $D(\text{obraz}) \leq \text{maska}$
- **erozja geodezyjna (o rozmiarze 1)** - jest to wartość maksymalna z obrazu wejściowego poddanej erozji jednostkowym elementem strukturalnym oraz maski. W przypadku obrazów logicznych jest to suma logiczna maski oraz obrazu po erozji. Zakłada się, że $E(\text{obraz}) \geq \text{maska}$
- **rekonstrukcja przez dylatację** - wykonywanie cyklicznie dylatacji geodezyjnych, aż do braku różnic pomiędzy kolejnymi dylatacjami. Jest to najczęściej stosowana rekonstrukcja morfologiczna.

- **rekonstrukcja przez erozję** - wykonywanie cyklicznie erozji geodezyjnych, aż do uzyskania braku różnicy pomiędzy kolejnymi iteracjami.
- **otwarcie przez rekonstrukcję** - Polega na wykonaniu erozji zadany elementem strukturalnym, a następnie rekonstrukcji przez dylatację.
- **zamknięcie przez rekonstrukcję** - Polega na wykonaniu dylatacji zadany elementem strukturalnym, a następnie rekonstrukcji przez erozję.