

# POLITECHNIKA ŚLĄSKA

## w Gliwicach

---

WYDZIAŁ INŻYNIERII BIOMEDYCZNEJ

Katedra Informatyki i Aparatury Medycznej

### LABORATORIUM PRZETWARZANIA OBRAZÓW MEDYCZNYCH

## Filtry

Opracowanie: dr inż. Sylwia Pośpiech-Kurkowska, dr inż. Paweł Badura

## 1 Cel ćwiczenia

Celem ćwiczenia jest zapoznanie się z podstawowymi zagadnieniami związanymi z liniową i nieliniową filtracją cyfrową obrazów.

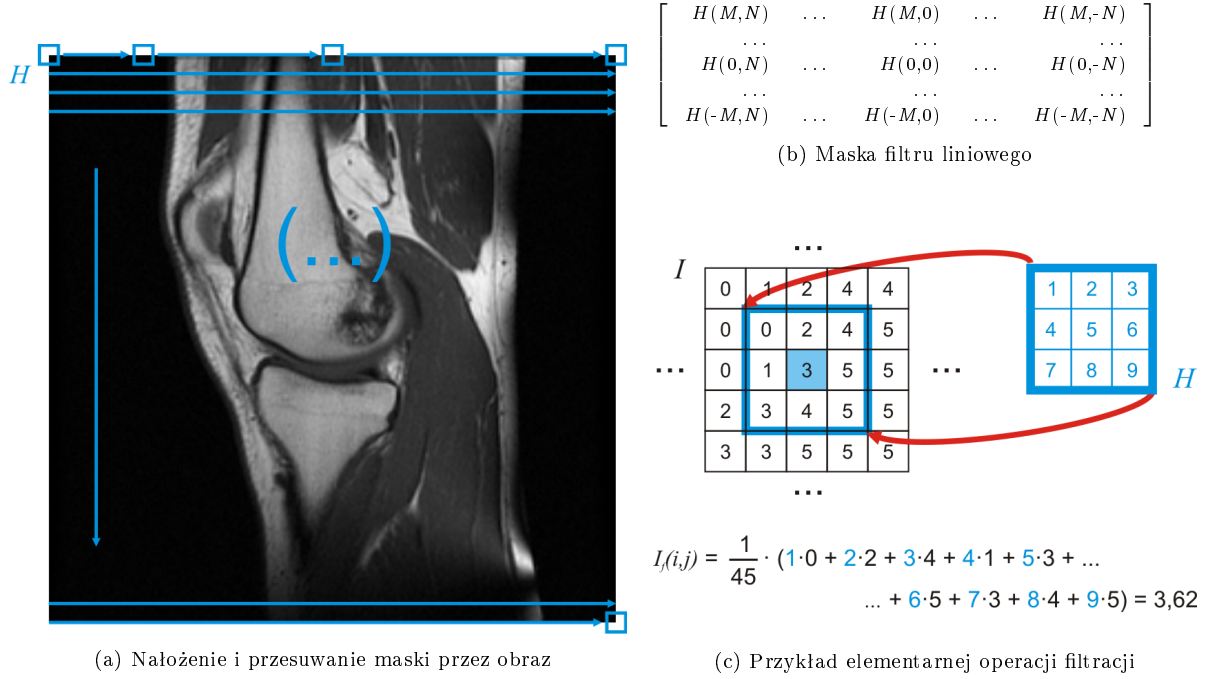
## 2 Wprowadzenie

### 2.1 Filtracja i zakłócenia

Filtracja jest przekształceniem kontekstowym tj. o wartości piksela w obrazie wynikowym decydują również wartości sąsiednich pikseli w obrazie pierwotnym, wzięte z odpowiednimi wagami. Filtrację stosuje się aby usunąć zakłócenia lub uwydatnić interesujące dla użytkownika aspekty obrazu np. poprawić nieostry kontrast. Źródłem zakłóceń w obrazach mogą być między innymi:

- metoda obrazowania (losowa natura promieniowania, rozproszenie wiązki na strukturach anatomicznych),
- uszkodzenia mechaniczne nośnika, np. zarysowania kliszy,
- urządzenie tworzące obraz np. w urządzeniach CCD (kamery, skanery) szum spowodowany jest termiczną generacją nośników, defektami struktury półprzewodnika czy niedokładnościami w odizolowaniu światłoczułego obszaru każdego piksela od obszarów położonych obok.

Zakłócenia obrazu mogą widoczne jako rozmycie, drobne plamki na obszarach jednolitego koloru (śnieg) czy pojedyncze punkty mocno różniące się intensywnością od otoczenia (szum impulsowy, typu „sól i pieprz”, ang. *salt*



Rys. 1: Ilustracja operacji filtracji liniowej

and pepper noise). Zależnie od rodzaju zakłóceń dobiera się metody ich redukcji. Przy rozmyciu stosuje się filtry wyodrządzające, przy zaśnieniu – filtry o własnościach wygładzających. Wybrane przekształcenie stanowi zawsze kompromis między usunięciem zakłóceń a zniekształceniem istotnej zawartości obrazu.

## 2.2 Filtry liniowe

Przetwarzany obraz cyfrowy reprezentowany jest przez indeksowaną tablicę liczb. Podobnie filtrowi odpowiada tablica współczynników wagowych zwana maską filtru (Rys. 1b). Filtracja jest liniowa, jeśli wartość wyjściowa piksela jest liniową kombinacją wejściowych wartości pikseli z jego otoczenia. Jednym ze sposobów realizacji takiej filtracji jest splot tablicy współczynników filtru z obrazem pierwotnym, oznaczana:

$$I_f = H * I, \quad (1)$$

gdzie:  $I$  – obraz pierwotny,  $I_f$  – obraz po przekształceniu,  $H$  – maska filtru, a operator „ $*$ ” oznacza splot.

Maski filtrów mają najczęściej rozmiar kwadratu bądź prostokąta o długościach boków wyrażonych nieparzystą liczbą pikseli (np.  $3 \times 3$  lub  $5 \times 5$ ); element przetwarzany znajduje się wtedy w centrum. Filtrację splotową można przedstawić wzorem:

$$I_f(i,j) = \frac{1}{\alpha} \sum_{k=-M}^M \sum_{l=-N}^N H(k,l) \cdot I(i-k,j-l), \quad (2)$$

gdzie:  $I_f(i,j)$ ,  $I(i,j)$  – piksel o indeksach  $i, j$  w obrazie pierwotnym i przefiltrowanym;  $H(k,l)$  – współczynnik filtru o indeksach  $k, l$ ;  $\alpha$  – współczynnik skalujący:

$$\alpha = \sum_{k=-M}^M \sum_{l=-N}^N H(k,l). \quad (3)$$

Współczynnik skalujący wprowadza się, żeby uniknąć zmian jasności obrazu. Przykład operacji filtracji liniowej przedstawia Rys. 1.

Z zależnością (2) wiąże się ważny wymóg zdefiniowania ułożenia współczynników filtru w masce. Aby możliwe było nałożenie maski filtru na rozpatrywany fragment obrazu i proste przemnożenie odpowiadających sobie elementów obrazu i maski (Rys. 1c), maska ta musi być sformułowana z indeksami „odwróconymi” (Rys. 1b), np. maska o wymiarach  $3 \times 3$  ( $M = N = 1$ ) ma postać:

$$H = \begin{bmatrix} H(1,1) & H(1,0) & H(1,-1) \\ H(0,1) & H(0,0) & H(0,-1) \\ H(-1,1) & H(-1,0) & H(-1,-1) \end{bmatrix}.$$

Układ współczynników w masce filtru decyduje o uzyskiwanych rezultatach. W nawiązaniu do teorii filtracji sygnałów oraz do ćwiczenia pt. „Transformata Fouriera” charakter filtrów określa się często w odniesieniu do ich charakteru przepustowości w dziedzinie częstotliwości.

### 2.2.1 Filtry dolnoprzepustowe – wygładzanie

Efektem zastosowania filtrów dolnoprzepustowych jest wygładzenie obrazu i rozmycie krawędzi. Wykorzystywane są do usuwania zakłóceń wysokoczęstotliwościowych. Zdolność do usuwania zakłóceń i stopień rozmycia zależą od wielkości filtru i jego parametrów. Na Rys. 2 zamieszczono przykłady masek o działaniu dolnoprzepustowym lub – inaczej – uśredniającym.

$\begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & 2 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 1 & 2 & 1 \\ 2 & 4 & 2 \\ 1 & 2 & 1 \end{bmatrix}$
(a) Filtr czysto uśredniający	(b) Filtr uśredniający ze wzmocnionym elementem centralnym	(c) Filtr typu gaussowskiego

Rys. 2: Wybrane maski filtrów liniowych dolnoprzepustowych

### 2.2.2 Filtry górnoprzepustowe – detekcja krawędzi, wyostanie

Związane z filtracją górnoprzepustową przetwarzanie wyostające wzmacnia detale obrazu. Do filtrów górnoprzepustowych należą filtry oparte na różnicowych aproksymacjach operatorów różniczkowych. Filtry Prewitta i Sobela, zwane gradientowymi, stanowią dyskretny odpowiednik pierwszej pochodnej obrazu i są wrażliwe na kierunek zmian. Na Rys. 3a i 3b pokazano ich wersje wykrywające krawędzie poziome. Maski dla innych kierunków można otrzymać przez obrót o odpowiedni kąt. Filtr Laplace’a (Rys. 3c) odpowiada drugiej pochodnej. Współczynnik skalujący dla tych filtrów wynosi 0, dlatego jest pomijany. Filtrom, których reprezentantami są te z Rys. 3, poświęcone jest inne ćwiczenie pt. „Krawędziowanie”.

$\begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 0 \\ -1 & -1 & -1 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 1 & 2 & 1 \\ 0 & 0 & 0 \\ -1 & -2 & -1 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 1 & -2 & 1 \\ -2 & 4 & -2 \\ 1 & -2 & 1 \end{bmatrix}$
(a) Filtr Prewitta	(b) Filtr Sobela	(c) Filtr Laplace’a

Rys. 3: Wybrane maski filtrów liniowych górnoprzepustowych gradientowych

Inny typ filtrów górnoprzepustowych przedstawia Rys. 4a, 4b. Ich cechą charakterystyczną jest współczynnik skalujący równy jeden i uzyskiwany efekt wyostania obrazu. Wzmacniają one punkty i krawędzie niezależnie od ich kierunku. Z kolei Rys. 4c, 4d pokazują tzw. filtry kierunkowe, których zastosowanie daje efekt płaskorzeźby.

Analogicznie do zaprezentowanych masek typu N i NE można uzyskać maski dla pozostałych kierunków (S, E, W, SE, SW, NW).

$$\begin{array}{cccc}
 \begin{bmatrix} 0 & -1 & 0 \\ -1 & 5 & -1 \\ 0 & -1 & 0 \end{bmatrix} & 
 \begin{bmatrix} -1 & -1 & -1 \\ -1 & 9 & -1 \\ -1 & -1 & -1 \end{bmatrix} & 
 \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & -2 & 1 \\ -1 & -1 & -1 \end{bmatrix} & 
 \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ -1 & -2 & 1 \\ -1 & -1 & 1 \end{bmatrix} \\
 \text{(a) Filtr niekierunkowy, typ 1.} & \text{(b) Filtr niekierunkowy, typ 2.} & \text{(c) Filtr kierunkowy N} & \text{(d) Filtr kierunkowy NE}
 \end{array}$$

Rys. 4: Wybrane maski filtrów liniowych górnoprzepustowych wyostrzających

## 2.3 Filtry nieliniowe

Filtry nieliniowe są na ogół bardziej skomplikowane w realizacji, ale mają bogatsze możliwości. Do tej grupy należą m.in. filtry statystyczne oraz filtry adaptacyjne.

Filtracja statystyczna odbywa się w dwóch etapach: najpierw wartości objęte maską filtru są porządkowane, następnie wybierana jest wartość spełniająca określony warunek. I tak, filtr medianowy zwraca środkową wartość ze zbioru, filtry minimum i maksimum odpowiednio wartość najmniejszą i największą. Najczęściej wykorzystywanym filtrem z tej grupy jest filtr medianowy, realizujący wygładzanie obrazu. W odróżnieniu od filtrów liniowych jest on odporny na wartości ekstremalne oraz zwraca wartości z dziedziny obrazu pierwotnego. Stosuje się go do usuwania zakłóceń typu „sól i pieprz”. Operacja sortowania zwiększa nakład obliczeniowy w porównaniu do filtrów splotowych o tych samych rozmiarach maski.

Niekorzystny efekt rozmywania krawędzi próbuje się zmniejszyć przez stosowanie adaptacyjnych masek (współczynniki zależą od lokalnych wartości pikseli obrazu). Przykładem takiego przetwarzania jest filtr Wienera, jego działanie wygładzające jest silniejsze na obszarach o niewielkiej wariancji, a słabsze w pobliżu krawędzi.

## 2.4 Filtracja a brzegi obrazu

Dla pikseli leżących w pobliżu brzegów obrazu maska filtru wykracza poza obraz. Powstały problem rozwiązuje się przez pozostawienie pikseli na obrzeżu bez zmian bądź przez uzupełnianie brakujących pikseli poza obrazem. Stosowane jest uzupełnienie zerami, powielonymi wartościami brzegowymi lub wartościami odbijającymi symetrycznie wewnątrz obrazu (Rys. 5). Nieodpowiedni dobór metody może spowodować pojawienie się artefaktów w postaci ramki.

## 2.5 Filtracja obrazów w środowisku Matlab

W realizacji filtracji obrazów zadania przydatne są następujące funkcje środowiska Matlab:

- Funkcje realizujące filtrację liniową zgodnie z opisem z rozdziału 2.2:

```

If = imfilter(I, H);
If = filter2(H, I);

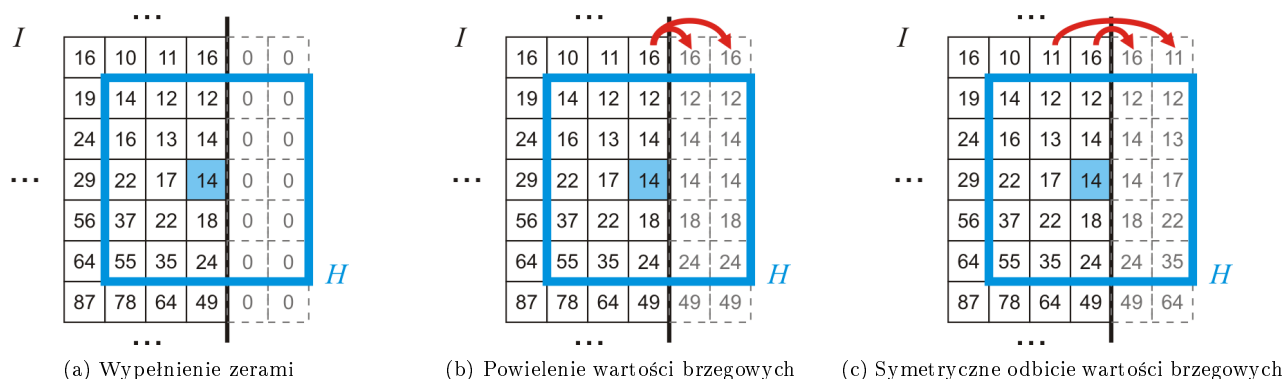
```

- Funkcja generująca podstawowe parametryzowane maski filtrów liniowych:

```

H = fspecial(type, parameters);

```



Rys. 5: Ilustracja technik uzupełniania brakujących pikseli poza obrazem

- Funkcje realizujące filtrację nieliniową:

```
If = medfilt2(I, [m n]);      (filtracja medianowa,)
If = ordfilt2(I, order, domain); (filtracja porządkowa (min, max, mediana itp.),)
If = wiener2(I, [m n]);      (filtracja Wienera,)
```

- Inne funkcje pomocnicze:


```
freqz2(H);      (charakterystyka częstotliwościowa maski filtru,)
In = imnoise(I, type, parameters); (dodanie zakłóceń wybranego typu do obrazu.)
```

Opis znaczenia i dopuszczalne wartości argumentów powyższych funkcji znaleźć można w pomocy programu Matlab.

### 3 Program ćwiczenia

W ramach ćwiczenia studenci wykorzystują udostępnione przez prowadzącego m-pliki w celu badania wybranych własności dwuwymiarowych filtrów cyfrowych. Wskazane fragmenty kodu wymagają uzupełniania; student powinien również zmieniać wartości wskazanych parametrów algorytmów w celu uzyskania pożądanych rezultatów. Uzyskane wyniki oraz wnioski studenci notują w protokole ćwiczenia, załączonym do instrukcji. Student jest zobowiązany stawić się na zajęcia z wydrukowanym wzorem protokołu ćwiczenia. **UWAGA!** Numer aktualnie realizowanego zadania należy wskazać przez nadanie w głównym skrypcie odpowiedniej wartości zmiennej **zadanie**. Na początku ćwiczenia należy również przypisać zmiennej **nrsekcji** własny numer sekcji.

#### Zadanie 1. Filtry liniowe. Charakterystyki częstotliwościowe

Uruchom skrypt **Lab\_07.m**. Z rozwijanego menu w lewym górnym rogu otwartego okna możesz wybrać jeden z przygotowanych typów filtrów lub wskazać własną maskę wpisując wartości współczynników do interaktywnej tablicy. Jeżeli korzystasz z predefiniowanej maski filtru, możesz regulować wartości przypisanych jej parametrów: rozmiar maski, **sigma**, **alpha**. Sprawdź w pomocy programu Matlab, które maski wykorzystują które parametry i jakie są ich dopuszczalne wartości. Widmo amplitudowe maski filtru wyświetlane jest w prawej części okna w postaci płaszczyzny, którą można obracać za pomocą narzędzia  w menu okna.

Zaobserwuj wartości współczynników i widma przygotowanych masek i rozwiąż poniższe zadania:

- a) Wypełnij tabelę w polu 1a. protokołu. W ostatniej kolumnie zidentyfikuj typ przepustowości filtru i wpisz ewentualne uwagi.
- b) Zaproponuj i wpisz do interaktywnej tablicy oraz protokołu współczynniki maski filtru Sobela dla krawędzi ukośnych.
- c) Jaka jest maska filtru wszechprzepustowego, tzn. dla którego widmo w pełnym zakresie częstotliwości przyjmuje wartość 1? Odpowiedź zweryfikuj i wpisz do protokołu.

### **Zadanie 2. Filtry nieliniowe**

Zbadaj działanie filtrów: minimum, medianowego i maksimum. Uzupełnij kod o obliczanie średniej intensywności obrazu oryginalnego i przefiltrowanego (funkcja pomocnicza `Lab_072_PopupmenuCallback`) i uzupełnij tabelę w części 2. protokołu.

### **Zadanie 3. Filtry wygładzające. Usuwanie zakłóceń**

Zbadaj cztery podane rodzaje filtrów wygładzających (dolnoprzepustowych) pod kątem ich użyteczności w usuwaniu dwóch różnych rodzajów zakłóceń. Uzupełnij tabelę w części 3. protokołu.

### **Zadanie 4. Filtry wyostrzające. Detekcja krawędzi**

Wykorzystując interfejs zadania 4. wpisz do interaktywnej tablicy i zbadaj maski filtrów realizujących niżej wymienione zadania. Wybrane maski filtrów o rozmiarach  $3 \times 3$  wpisz do tabeli w części 4. protokołu. Przeanalizuj:

- a) wybrany filtr wykrywający krawędzie poziome,
- b) wybrany filtr wykrywający krawędzie pionowe,
- c) wybrany filtr wykrywający krawędzie ukośne (kąt  $-45^\circ$ ),
- d) wybrany filtr bazujący na drugiej pochodnej obrazu,
- e) wybrany filtr wyostrzający niekierunkowy,
- f) filtr kierunkowy NW.

## **Literatura**

- [1] Malina W., Smiatacz M., Cyfrowe przetwarzanie obrazów, AOW EXIT, 2008.
- [2] Tadeusiewicz R., Korohoda P., Komputerowa analiza i przetwarzanie obrazów, Wyd. Fundacji Postępu Telekomunikacji, 1997. <http://winntbg.bg.agh.edu.pl/skrypty2/0098/>
- [3] Koprowski R., Wróbel Z., Praktyka przetwarzania obrazów w programie MatLab, AOW EXIT, 2004.
- [4] Gonzalez R. C., Woods R. E., Digital Image Processing, Prentice Hall, 2002.
- [5] Shih F. Y., Image Processing and Pattern Recognition. Fundamentals and Techniques, Wiley, 2010.
- [6] Pomoc programu Matlab.