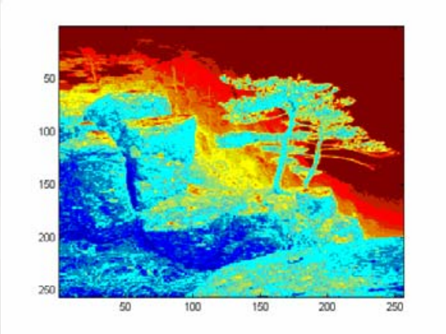
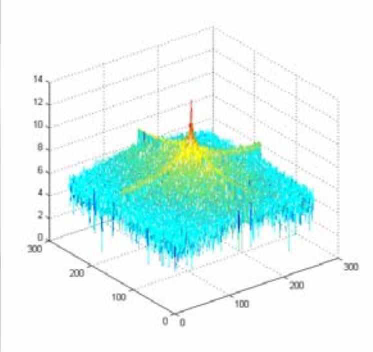
Cyfrowe metody przetwarzania obrazu- część 2





Prof. dr hab. inż. Małgorzata KUJAWIŃSKA

Politechnika Wrszawska

Instytut Mikromechaniki i Fotoniki

ul. Św. Andrzeja Boboli 8, 02-525 Warszawa

e-mail: m.kujawinska@mchtr.pw.edu.pl

Operacje geometryczne i arytmetyczne

Podstawowe operacje w ramach wstępnego przekształcenia obrazu:

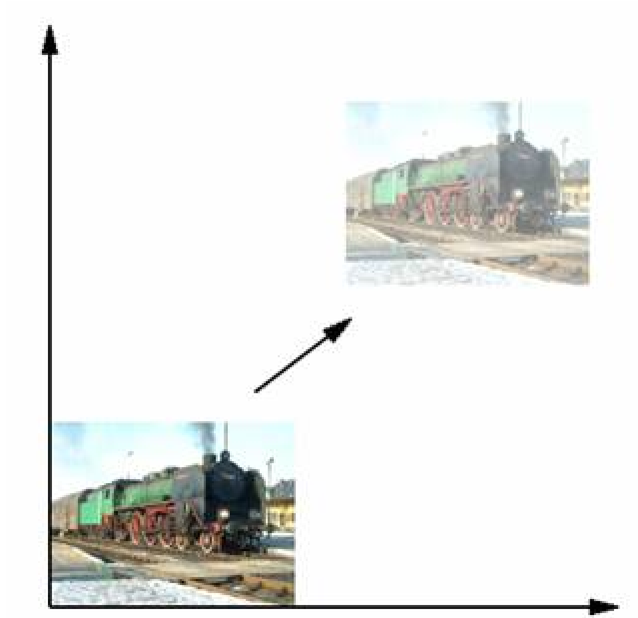
Operacje geometryczne - w których położenie piksela (i, j) zmieniane jest zgodnie z zadaną relacją matematyczną, a jego intensywność nie ulega zmianie,

Operacje arytmetyczne - w których nowa wartość intensywności piksela obliczana jest na podstawie jego poprzedniej wartości zgodnie z przyjętą relacją arytmetyczną., natomiast położenie geometr. piksela nie ulega zmianie.

Operacje geometryczne

Przekształcenia geometryczne są stosowane do przestrzennego dopasowania obrazów uzyskanych w różnym czasie lub z różnych źródeł.
Brak odpowiedniego dopasowania może skutkować w pogorszeniu ich jakości ze względu na utratę ważnych lub interesujących informacji.
Do podstawowych przekształceń geometrycznych zaliczmy:

Przesunięcie,

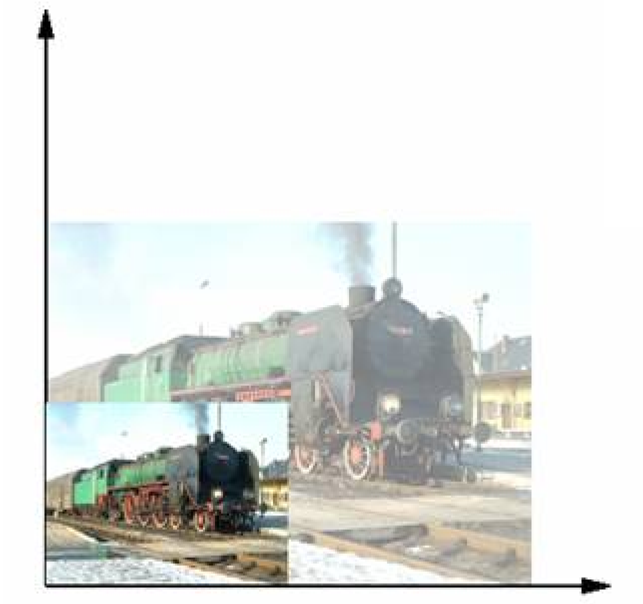


$$x_{nowe} = x_0 + x_1$$
$$y_{nowe} = y_0 - y_1$$

Skalowanie,
Obrót,
Odbijanie symetryczne

Skalowanie obrazu

Obraz o wymiarach (x oryg, y oryg) ma być przeskalowany w kierunku osi x ze współczynnikiem x wsp, a w kierunku osi y ze współczynnikiem y wsp. Nowe wymiary obrazu to (x nowe, y nowe).



$$x_{\text{nowe poł piksela}} = x_{\text{oryg poł piksela}} * x_{\text{wsp}}$$

$$y_{\text{nowe poł piksela}} = y_{\text{oryg poł piksela}} * y_{\text{wsp}}$$

Skalowanie-cd

Przy wyznaczaniu nowych współrzędnych pikseli podczas zwiększania wymiaru obrazu, mogą powstać nieciągłości między pikselami. Pewnym rozwiązaniem tego problemu jest **próbkowanie obrazu wejściowego**. W tym celu korzysta się z równań:

$$X_{\text{oryg poł piksela}} = X_{\text{nowe poł piksela}} / X_{\text{wsp}}$$

$$Y_{\text{oryg poł piksela}} = Y_{\text{nowe poł piksela}} / Y_{\text{wsp}}$$

Pozycje starego piksela są obliczane w funkcji nowego piksela. Dla każdego piksela obrazu wyj. obliczana jest intensywność na podstawie obrazu oryginalnego, czyli oryginalny obraz jest próbkowany.
Wadą tego podejścia jest fakt, że po przeskalowaniu obraz będzie wyglądał jakby się składał z bloków.
Wyjściem -- interpolacja.

Obrót

Obrót jest znacznie bardziej złożonym przekształceniem od dotychczas omówionych.
Wykorzystuje, bowiem interpolację i korekcję współczynnika kształtu obrazu. Poniżej podane są równania reprezentujące obrót wokół początku układu współrzędnych o kąt γ.

$$x_{nowe} = x_{oryg} \cos(\gamma) - y_{oryg} \sin(\gamma)$$
$$y_{nowe} = x_{oryg} \sin(\gamma) + y_{oryg} \cos(\gamma)$$

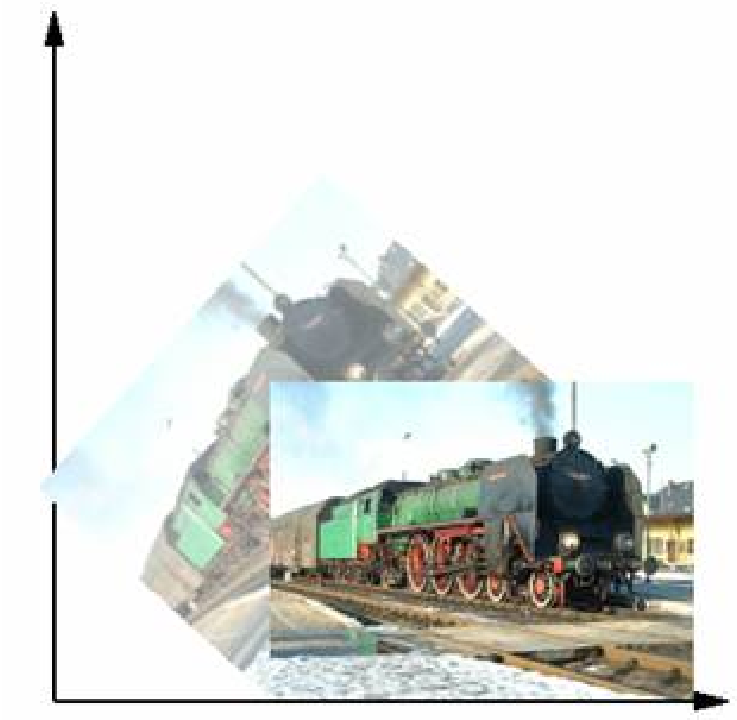
gdzie (x_{nowe}, y_{nowe}) oznaczają nowe współrzędne piksela obróconego obrazu, zaś (x_{oryg}, y_{oryg}) - współrzędne piksela w oryginalnym obrazie.

Ogólna postać tych wzorów pozwalająca na obrót obrazu wokół dowolnego punktu (A, B)

$$x_{nowe} = A + (x_{oryg} - A) \cos(\gamma) - (y_{oryg} - B) \sin(\gamma)$$
$$y_{nowe} = B + (x_{oryg} - A) \sin(\gamma) + (y_{oryg} - B) \cos(\gamma)$$

Obrót - cd

Analogicznie jak przy skalowaniu po obrocie obrazu korzystamy z równań odwrotnych. Unikamy w ten sposób występowania nieciągłości w obrazie. Możemy również stosować interpolację, dzięki czemu uzyskujemy obraz gładki bez widocznych bloków.

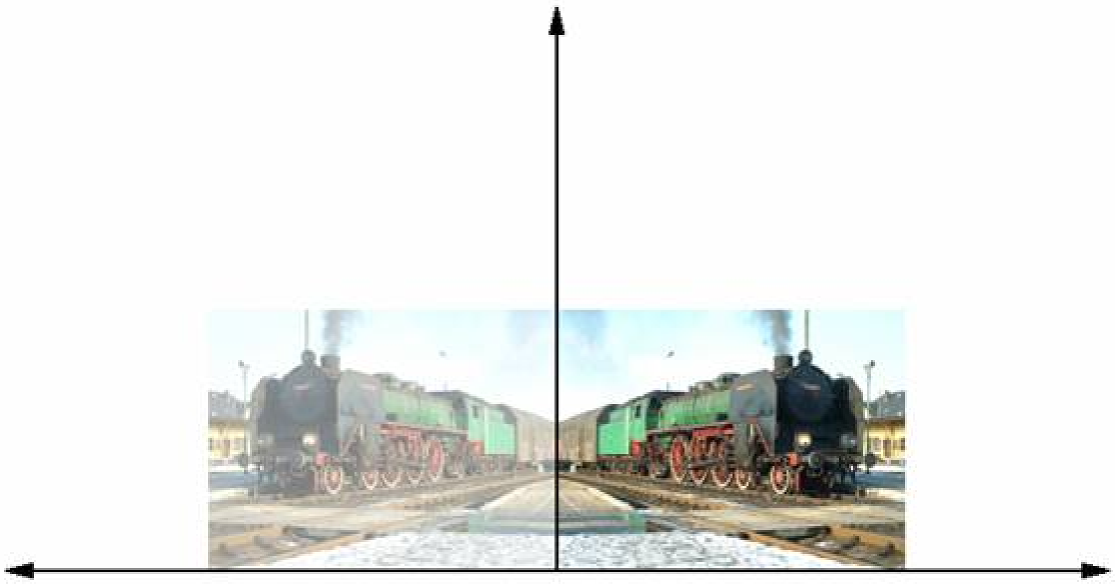


Odbijanie symetryczne

Odbijanie symetryczne obrazu to nic innego jak zmiana przyporządkowania pikseli. Wzory dla odbicia w poziomie i pionie wyglądają następująco:

$$x_{nowe} = (x_{max} - 1) - x_{oryg}$$
$$y_{nowe} = (y_{max} - 1) - y_{oryg}$$

x nowe, y nowe- współrzędne piksela po odbiciu, x_{max} , y_{max} - rozdzielczość obrazu wzdłuż osi x i y , x_{nowe}, y_{nowe} - współrzędne piksela w oryginalnym obrazie.



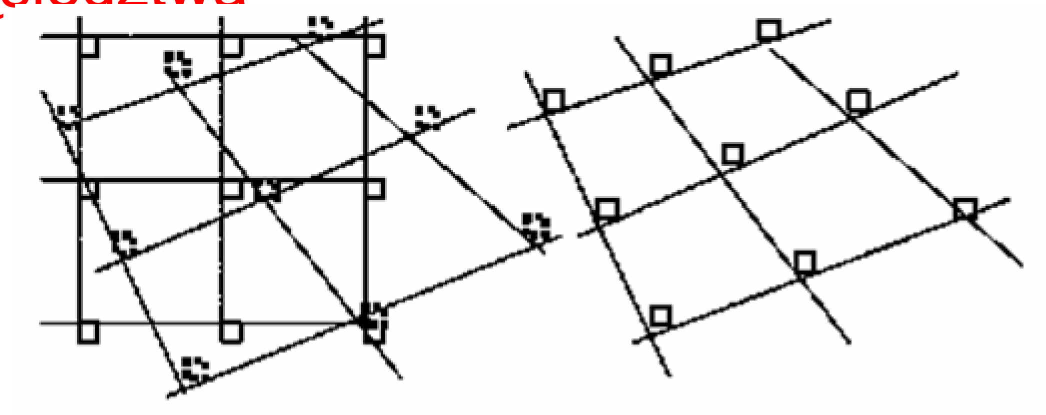
Interpolacja

Interpolacja obrazu przy zmianie rozdzielczości

Podczas zwiększania rozdzielczości obrazu sąsiednie piksele są od siebie odsuwane . Tak powstałe luki musimy uzupełnić pikselami o odpowiedniej intensywności.

Interpolacja jest to proces polegający na wyznaczeniu wartości na podstawie wartości sąsiednich. Dzieje się tak podczas zwiększania rozdzielczości obrazu, kiedy między już istniejące piksele trzeba wstawić nowe o wartości intensywności bazującej na intensywnościach sąsiednich pikseli. Istnieje kilka podstawowych algorytmów:

- metoda najbliższego sąsiedztwa
- interpolacja Bi-linearna
- interpolacja Bikubiczna
- interpolacja Sinc



Interpolacja - cd

Metody interpolacji różnią się między sobą sposobem wyznaczania "brakujących" wartości. Jednakże bez względu na metodę interpolacji wynikowy obraz będzie zawsze w pewnym stopniu rozmyty.

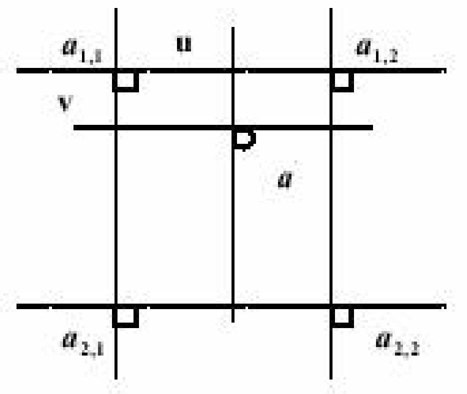
Interpolacja-cd

Metoda najbliższego sąsiedztwa

Najprostszą, a zarazem dającą najgorsze rezultaty metodą uzupełniania powstałych na skutek skalowania nieciągłości jest metoda najbliższego sąsiedztwa. Piksele są kopiowane w puste miejsca, jakie powstały podczas rozciągania obrazu. Wygląda to jakby piksele były powiększane. Oraz poddany takiej operacji cechuje się dużymi jednobarwnymi blokami i ostrymi krawędziami.

Interpolacja Bi-linearna, bikubiczna

Interpolacja bilinearna wyznacz wartość danego piksela na podstawie średniej wyznaczonej z otaczających go pikseli .



Interpolacja - cd

Wartość intensywności punktu a wyznacza się z następującego wzoru:

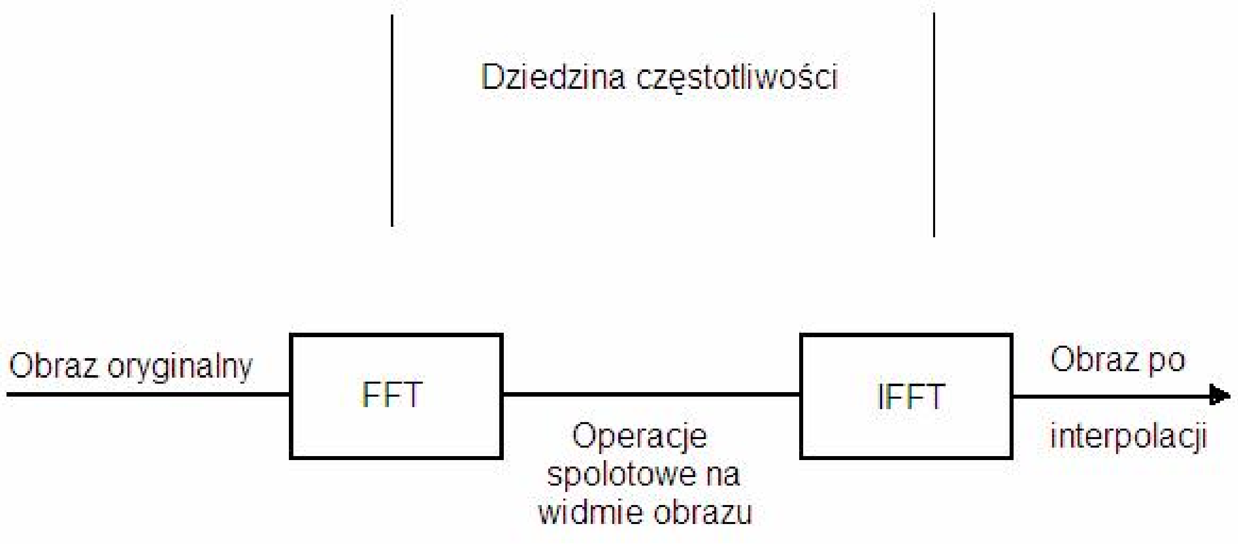
$$a = uva_{1,1} + (1\text{-}u)va_{1,2} + u(1\text{-}v)a_{2.1} + (1\text{-}u)(1\text{-}v)a_{2,2}$$

gdzie: *a* $_{x}$,$_{yy}$ - punkty o znanej intensywności
a - punkt , którego intensywność wyznaczamy
u , *v* - odległości znanych punktów *a* x,y od szukanego punktu *a* liczone wzdłuż osi x i y.

Metoda ta daje nam znacznie lepsze rezultaty niż metoda najbliższego sąsiedztwa. Obraz interpolowany tę metodą jest nieco rozmazany. Interpolacja bikubiczna oparta jest na tym samym mechanizmie, co bilinearna z tą różnicą, że do wyznaczania wykorzystuje piksele z większego otoczenia (rys 4.9d). Daje to nieco lepsze wyniki, okupione jest to jednak zwiększonym zapotrzebowaniem na moc obliczeniową.

Interpolacja sinc

Interpolacja sinc polega na przekształceniu całego obrazu za pomocą szybkiej transformaty Fouriera (FFT) Dalsze przekształcenia już odbywają się w dziedzinie częstości. Widmo obrazu jest splatane z funkcją sinc. Na koniec obraz sprowadzany jest z powrotem do dziedziny przestrzennej wywołując odwrotną transformatę Fouriera (IFFT).



Interpolacja - cd

Interpolacja sinc daje najlepsze rezultaty (patrz rys.), lecz wymaga zarazem największej mocy obliczeniowej.

Istnieją również bardziej zaawansowane metody interpolacji takie jak S-Spline, Genuine Fractals, Kneson, Q Image. Są to metody adaptacyjne, które traktują każdy piel inaczej w zależności od jego położenia w obrazie. Do wartości branych pod uwagę przy wyznaczaniu intensywności dochodzą wagi. Niektóre metody wyszukują najpierw krawędzie w obrazie uwzględniając informacje o nich przy interpolacji. Dzięki temu ostre krawędzie pozostają bez zmian nawet przy znacznym powiększeniu.

Morphing

Zniekształcenia geometrycznie obrazów są szeroko stosowane w filmie, telewizji i grach komputerowych do tworzenia efektów specjalnych. Przekształcenia te bazują na zmianie położenia kilku punktów kontrolnych, inne punkty w jego okolicy są automatycznie dopasowywane. Stosując ten efekt można uzyskać np. efekt płynnego zmiany jednego obiektu w drugi jak to zostało pokazane na rys.

Efekt "morphingu" uzyskany poprzez stopniowe zniekształcanie obrazu

Operacje zniekształcania obrazu

Dodatkowo operacja zniekształcenia obrazu jest często stosowana do poprawy jakości odwzorowania geometrycznego w przypadku dużych aberracji układu optycznego systemu detekcji obrazu (Rys).

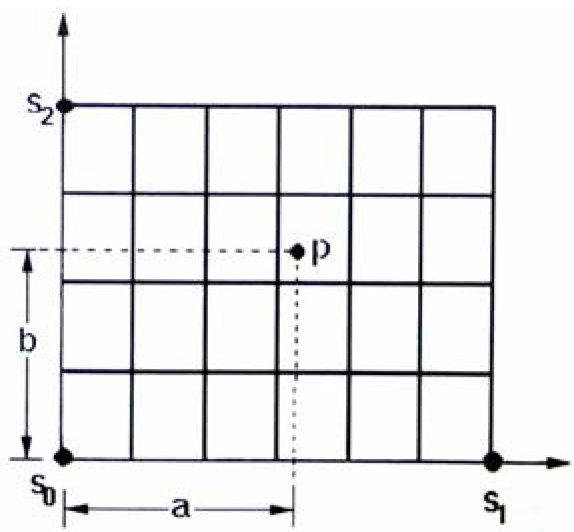
Aby zrealizować zniekształcenie obrazu stosujemy różnorodne przekształcenia.

Do najczęściej stosowanych należą przekształcenie afiniczne i dwuliniowe.

Przekształcenia afiniczne

Za pomocą przekształceń afinicznych możemy odwzorować dowolny obszar o kształcie prostokąta lub równoległoboku. Każdemu punktowi *p* równoległoboku przypisany jest unikatowy zestaw wartości określających położenie danego punktu. Zakładamy obszar prostokątny w przestrzeni 2D, w którym zdefiniowane są punkty s 0, s 1, s 2. Położenia punktu *p* określają znormalizowane parametry (*a, b*), zawierające się w przedziale <0, 1>.

$$p(a, b) = s_0 + (s_1 - s_0)\, a + (s_2 - s_0)\, b$$



Przekształcenia afiniczne - cd

Przekształcenie afiniczne z (a, b) do *p* jest sumą interpolacji liniowych wzdłuż krawędzi. Wektor *a* leży na odcinku wyznaczonym przez punkty s 0, s 1, wektor *b* leży na odcinku wyznaczonym przez punkty s 0, s 2. Pozycja punktu *p* jest wynikiem dodania (4.10.) do siebie wektorów *a* i *b* do punktu s 0. Na podstawie powyższego równania wynika, że możemy odnaleźć punkt *p* na podstawie parametrów (*a, b*) i na odwrót zgodnie z równaniami:

$$\begin{bmatrix} x \\ y \end{bmatrix} = \underbrace{\begin{bmatrix} x_0 \\ y_0 \end{bmatrix}}_{s_0} \begin{bmatrix} \underbrace{\begin{matrix} (x_1 - x_0) \\ (y_1 - y_0) \end{matrix}}_{s_1} & \underbrace{\begin{matrix} (x_2 - x_0) \\ (y_2 - y_0) \end{matrix}}_{s_2} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a \\ b \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} a \\ b \end{bmatrix} = \left(\frac{1}{(x_1 - x_0)(y_2 - y_0) - (x_2 - x_0)(y_1 - y_0)} \right) \begin{bmatrix} (y_2 - y_0) & (x_2 - x_0) \\ (y_1 - y_0) & (x_1 - x_0) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x - x_0 \\ y - y_0 \end{bmatrix}$$

Równania te otrzymujemy przekształcając równanie (4.1) do postaci macierzowej.

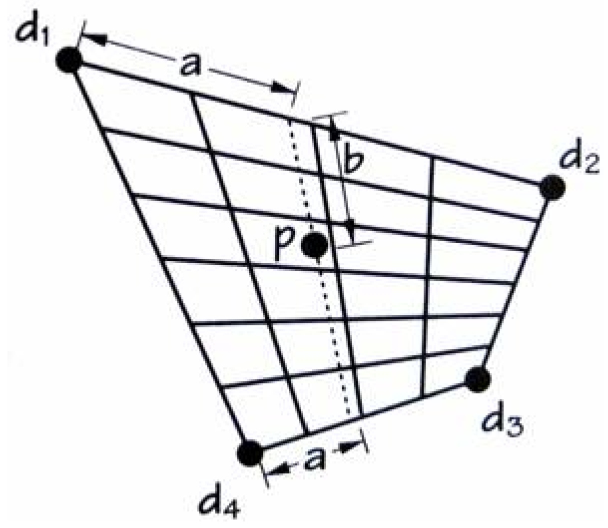
Odwzorowanie dwuliniowe

W odwzorowaniu dwuliniowym, podobnie jak w przekształceniu afinicznym, możemy wyznaczyć znormalizowane parametry dla dowolnego punktu *p* zawartego wewnątrz dowolnego czworoboku poprzez interpolację wzdłuż brzegów. Zakładamy, że czworobok zdefiniowany jest przez odcinki zawarte między czterema punktami d 1, d 2, d 3, d 4, tak jak na rys. 4.17. Na podstawie interpolacji linowej z parametrem a możemy wyznaczyć punkty k 1, k 2 leżące na prostych wyznaczonych przez punkty d 1, d 2 i d 3, d 4.

(4.12a .b.)

$$k_1(a) = d_1 + (d_2 - d_1)\,a$$

$$k_2(a) = d_4 + (d_3 - d_4)\,a$$



Położenie punktu p znajdujemy przez interpolację między punktami k 1, k 2 z parametrem b:

Odwzorowanie dwuliniowe - cd

$$p(a,b) = k_1 + (k_2 - k_1)\,b = d_1 + (d_2 - d_1)\,a + (d_4 - d_1)\,b + (d_1 - d_2 + d_3 - d_4)\,a\,b$$

Równanie powyższe określa przekształcenie dwuliniowe, czyli takie w którym położenie punktu p wyznaczane jest w wyniku sekwencji dwóch kroków interpolacji linowej. Równanie to jest uogólnieniem równania (4.9). Jeżeli człon ab jest równy 0 to obydwa równania przybierają taką samą postać. O ile bez żadnych trudności można wyznaczyć położenie punktu *p* mając dane (a, b), to o wiele trudniej jest wyznaczyć (a, b) mając dany punkt *p*. Jednak w naszym wykładzie problem ten zostanie pominięty.

Algorytm zniekształcenia dwuliniowego

Algorytm realizujący zniekształcenie dwuliniowe wygląda następująco:

- Generowana jest siatka punktów kontrolnych;
- Spośród tych punktów kontrolnych wybierany jest dowolny punkt (lub punkty), który ma być zniekształcony. Obszar zniekształcenia jest ograniczony przez punkty otaczające wybrane punkty kontrolne.
- Obszar zniekształcenia obejmuje wszystkie piksele, które mogą być zmienione w wyniku zniekształceń. Wybrane punkty kontrolne położone są w środku obszarów zniekształceń;
- Wybrane punkty kontrolne mogą być teraz przesunięte w dowolne położenie wewnątrz obszaru zniekształceń;
- Przeliczana jest zawartość obszaru zniekształcenia, a następnie wyświetlona na ekranie.
- Punkty kontrolne są umieszczane z powrotem na miejscach sprzed zniekształcenia

Zniekształcenie dwuliniowe - cd

Program zniekształcający działa na zasadzie odwzorowania czterech czworokątów przestrzeni wejściowej na cztery prostokąty w przestrzeni wyjściowej. Punkt kontrolny w obszarze zniekształcenia dzieli obraz wejściowy w obszarze zniekształcenia na cztery czworokąty. Po zakończeniu procesu zniekształcenia przesuwany jest z powrotem do środka obszaru zniekształcenia, tak, aby dzielił obszar zniekształcenia na cztery równe prostokąty. Wejściowy czworobok adresowany jest przez przekształcenie dwuliniowe, wyjściowy prostokąt adresowany, natomiast przez przekształcenie afiniczne. W obydwu przekształceniach wartości a i b zmieniają się w zakresie <0, 1> i adresują wszystkie punkty zawarte w ich obszarach. Dlatego w celu zdefiniowania zniekształcenia dwuliniowego wymagane jest, żeby wejściowy czworokąt i wyjściowy prostokąt miały ta sam wartości (a, b) i tę samą barwę.
Istnieją dwa sposoby zniekształcenia obrazu:

- odwzorowanie w przód,
- odwzorowanie wstecz.

Zniekształcenie dwuliniowe - cd

Przy odwzorowaniu w przód barwa każdego piksela z obszaru zniekształceń obszaru wejściowego zapisywana jest w odpowiednim pikselu obrazu wyjściowego. W odwzorowaniu wstecz wyznaczmy kolejno barwy każdego piksela obrazu wyjściowego na podstawie barwy odpowiadającego mu piksela lub pikseli obrazu wejściowego. Różnica między tymi dwoma sposobami jest widoczna szczególnie w tych miejscach, gdzie obraz jest rozciągany. W odwzorowaniu w przód mogą powstać nieciągłości tam gdzie danemu pikselowi wyjściowemu nie został przypisany żaden piksel wejściowy. Niezbędna staje się interpolacja brakujących pikseli. Można tego uniknąć stosując odwzorowania wstecz, gdzie każdy piksel wyjściowy ma przypisaną konkretną barwę.
Powtarzanie wielu operacji zniekształceń w obrębie tego samego obszaru prowadzi do błędów i zakłóceń w obrazie wyjściowym, gdyż każda operacja zapisuje wynik w miejsce oryginalnego obrazu. Żeby uniknąć tej niedogodności stosuje się tzw. mapę zniekształceń, która przechowuje pozycje z przestrzeni wejściowej dla każdego piksela z przestrzeni wyjściowej.

Przykład zastosowania zniekształcenia dwuliniowego

Operacje arytmetyczne

- **Operacje arytmetyczne (punktowe) mogą być dokonywane na:**
- **pojedynczym obrazie (zmiana jasności, kontrastu, binaryzacja, ograniczenie jasności)**
- **między kilkoma obrazami (suma, różnica, część wspólna, mnożenie, itp.).**

W operacjach punktowych, nowa wartość intensywności piksela obliczana jest na podstawie jego poprzedniej wartości.

$$I(x_k, y_k) = f(\cdot I(x_p, y_p))$$

gdzie: f - oznacza odpowiednią operację arytmetyczną,
I(x p,y p) - Intensywność piksela przed wykonaniem operacji arytmetycznej.
I(x k,y k) - Intensywność piksela po wykonaniu operacji arytmetycznej.

Operacje na pojedynczym obrazie
BINARYZACJA

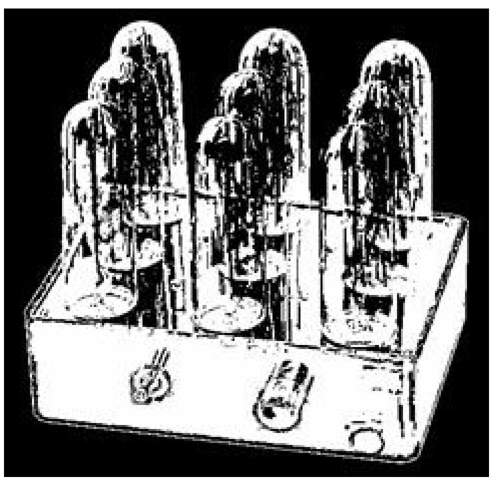
Binaryzacja polega na zamianie obrazów wieloodcieniowych na obrazy binarne. Przekształcenie to jest prawie zawsze wykorzystywane w analizie obrazów, gdyż wiele operacji może być przeprowadzonych wyłącznie na obiektach binarnych.
Do operacji takich należą:

- Pomiary (określanie liczebności elementów obrazu, pola powierzchni, obwodu, itp.)
- Analiza i modyfikacja kształtu obiektów
- Definiowanie przekształceń obrazów wieloodcieniowych, które są traktowane jako zbiór tylu obrazów binarnych ile jest odcieni szarości.

Typy binaryzacji

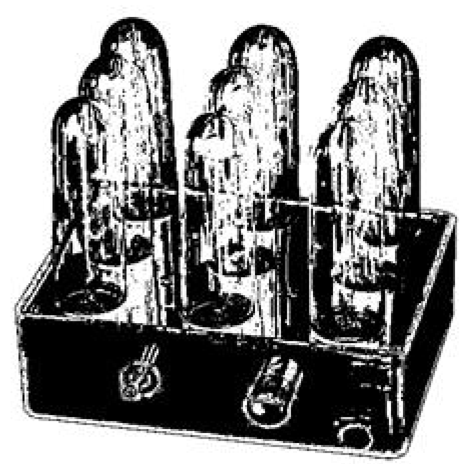
- Binaryzacja z dolnym progiem - piksele, których wartość intensywności jest niższa od założonego poziomu zostaje zamienione na czarny, a reszta na biały

$$g_{n,m} = \begin{cases} 1 & dla \quad f_{n,m} > t \\ 0 \end{cases}$$



- Binaryzacja z górnym progiem - piksele, których wartość intensywności jest wyższa od założonego poziomu zostaje zamienione na czarny, a reszta na biały

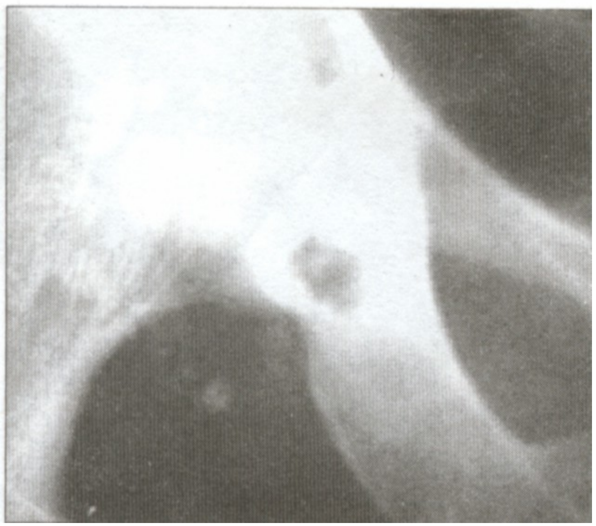
$$g_{n,m} = \begin{cases} 0 & dla \quad f_{n,m} > t \\ 1 \end{cases}$$

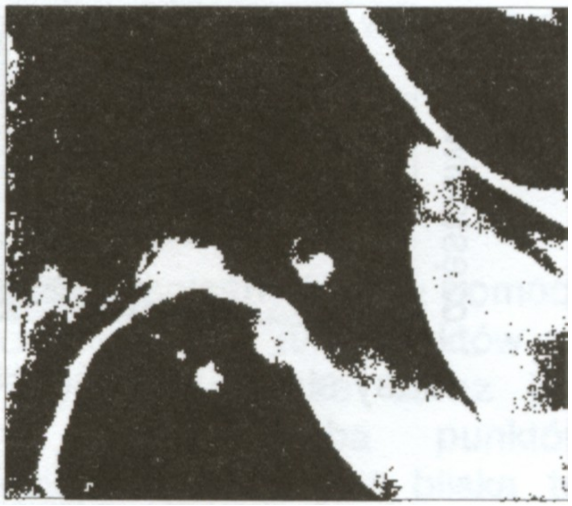


Binaryzacja- cd

♦ Binaryzacja z podwójnym ograniczeniem. Wprowadza się dwa progi: dolny i górny. Na białe zamieniany są piksele, których wartość intensywności zawiera się między tymi progami, reszta zamieniana jest na czarne.

$$g_{n,m} = \begin{cases} 0 & dla \quad t_1 > f_{n,m} > t_2 \\ 1 & \end{cases}$$





Binaryzacja - cd

- **Binaryzacja warunkowa**. Również i tu określa się dwa progi: $p1$ i $p2$, gdzie $p1>p2$. Każdy punkt obrazu o współrzędnych (x,y) ma przypisaną wartość intensywności $I(x,y)$. Stosuje się tu następujące warunki:
  - Jeżeli $I(x,y) > p1$ - punkt zostaje zmieniony na biały
  - Jeżeli $I(x,y) < p2$ - punkt zostaje zmieniony na biały
  - Jeżeli $p2 < I(x,y) < p1$ - punkt, oraz sąsiadujące z nim punkty zostaje zmieniony na biały, jeżeli okoliczne piksele są również białe, w przeciwnym razie zamieniany jest na czarny.

- **Binaryzacja wielokryterialna** stosowana jest wtedy, jeżeli w obrazie występuje kilka grup obiektów znacznie różniących się poziomem szarości. Tworzy się wtedy kilka obrazów binarnych tak, aby każdy odpowiadał jednej z grup obiektów.

Poprawa jakości obrazu

Poprawę jakości obrazu osiąga się przez zmianę jasności obrazu B i kontrastu C. Nową wartość intensywności obrazu oblicza się ze wzoru:

$$I(x_k, y_k) = B + C \cdot I(x_p, y_p)$$

gdzie:
I(x p, y p) - intensywność punktu przed dokonaniem operacji arytmetycznej
I(x k, y k) - intensywność punktu po dokonaniu operacji arytmetycznej

- Ograniczenie jasności
- Poprawa kontrastu
- Normalizacja

Ograniczenie jasności

Ograniczenie jasności **-** polega na ograniczeniu w obrazie ilości barw. Zakładany jest poziom lub poziomy intensywności.

A: Intensywność pikseli, których intensywność jest mniejsza od tego poziomu nie jest zmieniana, reszta zamieniana na intensywność założonego progu.

B: Intensywność pikseli, których intensywność jest większa od założonego poziomu pozostaje bez zmian, reszta zamieniana na intensywność założonego progu.

A

B

Ograniczenie jasności – obrazy barwne

Operację ograniczenia jasności możemy również przeprowadzić dla obrazów barwnych. Musimy wtedy założyć poziomy dla każdej ze składowych barw osobno.

Ograniczenie jasności: **od góry** - piksele, których wartość intensywności jest niższa od założonego poziomu pozostaje bez zmian, wartość reszty pikseli zostaje zmieniona na wartość założonego progu.

Oganiczenie jasności

- **Od dołu - **piksele, których wartość intensywności jest wyższa od założonego poziomu pozostaje bez zmian zostaje zamieniona, wartość reszty pikseli zostaje zmieniona na wartość założonego progu

Ograniczenie jasności -cd

• **Dwustronne - wprowadzamy dwa progi: górny i dolny.** Piksele, których wartość intensywności mieści się między tymi progami pozostają bez zmian. Wartość pikseli o intensywności większej od górnego progu zostaje zamieniona na wartość górnego progu. Wartość pikseli o intensywności mniejszej od dolnego progu zostaje zamieniona na wartość dolnego progu.

Dodawanie i odejmowanie wartości

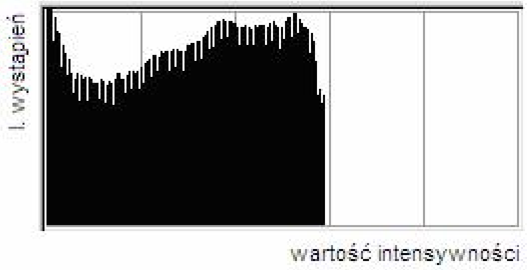
Zmiany jasności obrazu można dokonać w bardzo prosty sposób, dodając lub odejmując stałą liczbę do intensywności każdego piksela. Jednak zbytnio zwiększając jasność może dojść do sytuacji, gdy piksele pomimo różnej intensywności osiągną maksymalną wartość 255.
Aby nie dopuścić do tego, należy obserwować histogram obrazu.

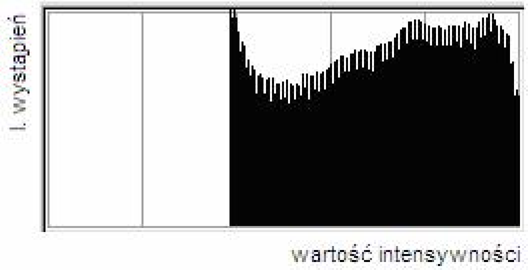
Jasność obrazu można zdefiniować jako średnią intensywność pikseli w obrazie:

$$B = \frac{1}{NM}\sum_{y=0}^{M-1}\sum_{x=0}^{N-1} f(x,y)$$

gdzie:
f(x,y) - funkcja jasności
M - rozmiar obrazu w kierunku y;
N - rozmiar obrazu w kierunku x;

Dodawanie i odejmowanie wartości





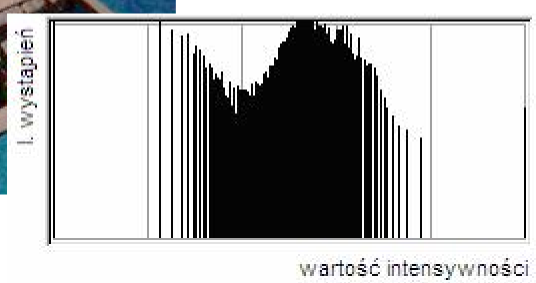
Kontrast

Kontrast definiowany jest poprzez maksymalne i minimalne wartość intensywności w obrazie:

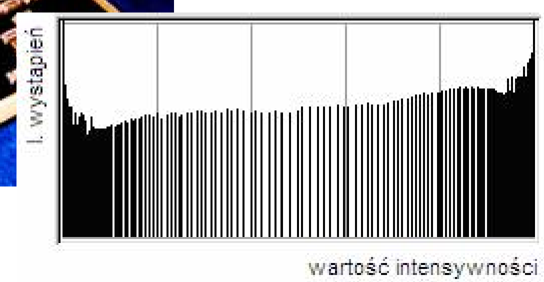
$$C = \frac{\max\left[f(x,y)\right] - \min\left[f(x,y)\right]}{\max\left[f(x,y)\right] + \min\left[f(x,y)\right]}$$

Kontrast przyjmuje wartości pomiędzy 0 a 1. Jest on najwyższy dla obrazu, którego intensywności są rozłożone w pełnym przedziale intensywności obrazu tzn [0,255].

Niski kontrast



Wysoki kontrast



Normalizacja obrazu

Zakładamy, obraz szaroodcieniowy, którego minimalna intensywność wynosi I min a maksymalna I max, gdzie I max< 255 a I min>0. Oznacza to, że najjaśniejsze punkty obrazu nie są białe, na najciemniejsze nie są czarne, a więc nie jest wykorzystana cała dynamika układu. Taki obraz normalizujemy tzn. stosujemy funkcję liniową, która rozszerzy zakres wartości intensywności punktów do przedziału <0, 255>.

Operacja ta jest wykonywana jako pierwsze przekształcenie podczas analizy.

Niekiedy wartości poszczególnych punktów wykraczają poza zakres <0 - 255>. W takim przypadku również przypisujemy maksymalnej wartości wartość 255, a najmniejszej 0, pozostałe wartości są przemnażane tak, żeby się zmieściły w tym zakresie.

gdzie: f min - maksymalna intensywność piksela w obrazie
f min - minimalna intensywność piksela w obrazie
f n,m - intensywność piksela wejściowego
g n,m - intensywność piksela wyjściowego

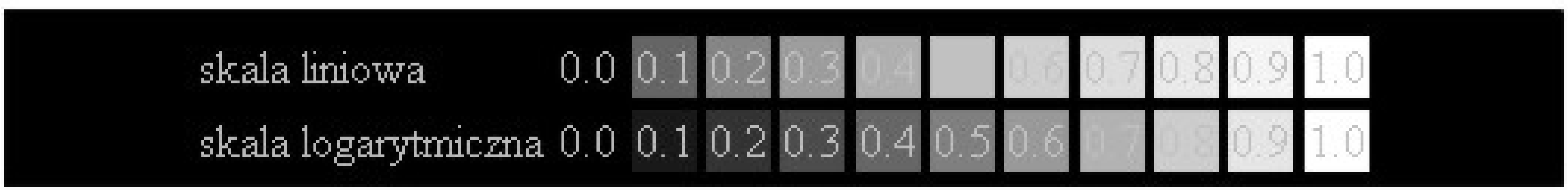
$$g_{n,m} = g_{\max}\left(\frac{f_{n,m} - f_{\min}}{f_{\max} - f_{\min}}\right)$$

Normalizacja obrazu- cd

Korekcja gamma

W sprzęcie wizualnym wykorzystuje się nieliniowy związek między luminancją i sygnałem wideo. W szerokim zakresie luminancji ludzkie oko ma zdolność odróżniania relatywnych różnic między luminancjami poszczególnych obiektów aniżeli ich bezwzględnych różnic. Wzrok ludzki działa w sposób logarytmiczny.

Na rys. różnica między intensywnościami dla wartościami 0,0 a 0,1 dla skali liniowej jest znaczna, natomiast dla wartości 0,7 do 1 są już trudniej dostrzegalne. Dlatego korzystne staje się rozciągnięcie skali dla małych intensywności, a ściśnienie jej dla dużych. Działanie to ma jeszcze jedną zaletę, błędy kwantyzacji i inne szumy są równomiernie rozmieszczone w skali.



Korekcja gamma -cd

Do konwersji między sygnałem o intensywności L a skalą szarości korzysta się ze wzoru:

$$g = (const \cdot L)^{\gamma}$$

gdzie const - stała, γ oznacza współczynnik korekcji gamma w danym systemie akwizycji obrazu. Dla najczęściej spotykanych kamer wideo wartość γ wynosi 0,5. Nieliniowość kamer jest kompensowana przez systemy wyświetlania. Dla monitorów kineskopowych relacja między skalą szarości, a intensywnością wyświetlanych pikseli przybiera postać:

$$L = (const \cdot g)^{\gamma}$$

W systemach komputerowych korekcja gamma nie zawsze jest wskazana. Jest to szczególnie ważne w widzeniu maszynowym, gdyż na skutek ścieśniania tracone są niektóre szczegóły. Korekcję gamma można wykonać ładując do tablicy korekcji funkcję kwadratową.

Wyrównanie hstogramu

Jeżeli obraz składający się z *i* punktów zapisany zostanie za pomocą j stopni szarości to otrzymujemy

$$p = i/j$$

punktów na jeden stopień szarości. Jeżeli liczba punktów przypadająca na każdy poziom szarości jest bliska jej średniemu poziomowi p to obraz taki uważany jest za poprawnie skontrastowany. Wyrównanie histogramu polega na poprawnym skontrastowaniu obrazu.

$$g_{n,m} = T(f_{n,m})$$

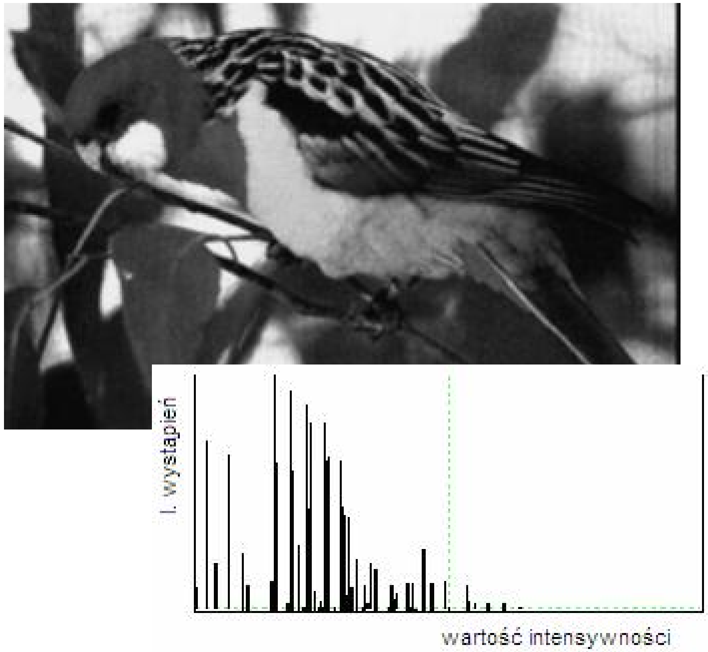
gdzie:

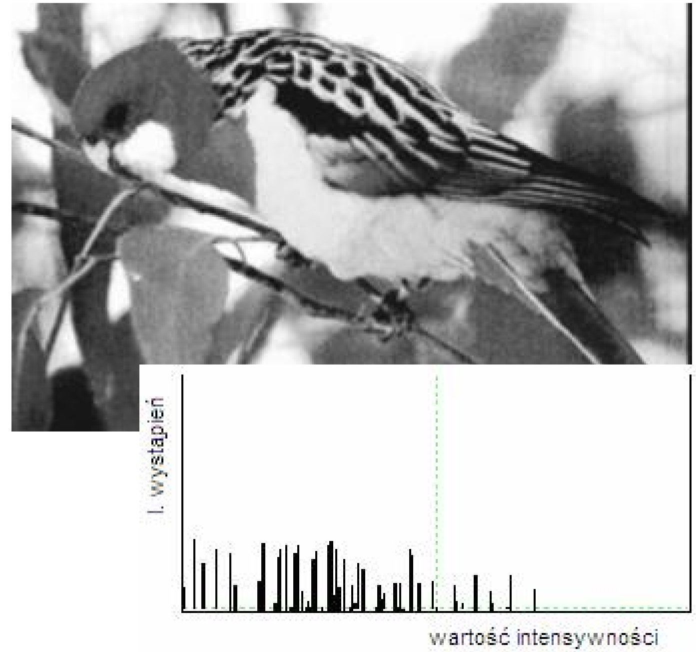
g n,m - intensywność piksela po wyrównaniu

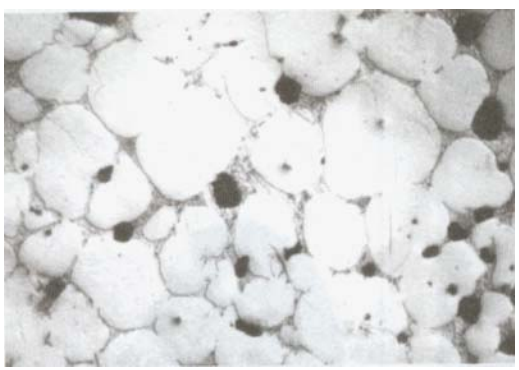
f n,m - intensywność piksela przed wyrównaniem

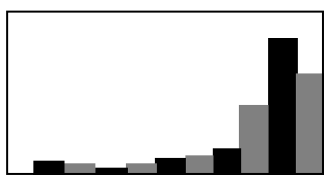
T - współczynnik mnożenia dla danego poziomu szarości

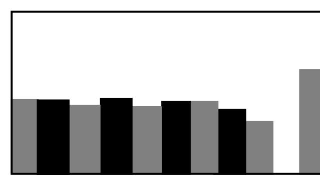
Wyrównanie histogramu - cd

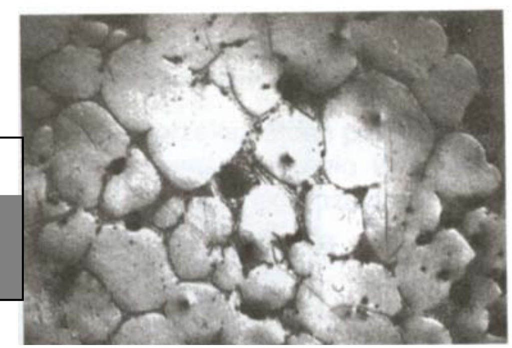










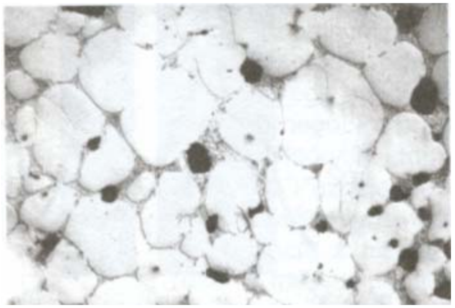


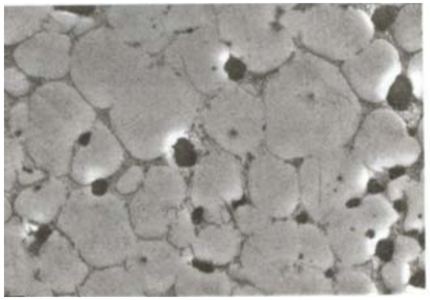
Lokalne wyrównanie histogramu

Odmianą wyrównania histogramu jest wyrównanie lokalne, w którym obraz dzieli się na szereg obszarów, dla których przeprowadza się niezależnie wyrównywanie histogramu. Jest to szczególnie przydatne przy kompensacji nierówno oświetlonych obrazów.

Intensywność pikseli opisana jest liczbami, najczęściej z przedziału <0,255>, jeżeli więc obrazy mają takie same wymiary to możliwe jest przeprowadzanie operacji arytmetycznych pomiędzy nimi.

$$g_{n,m} = T(f_{n,m}, d_{n,m})$$





gdzie:

g - intensywność punktów obrazu wynikowego,

f - intensywność pierwszego obrazu,

d - intensywność drugiego obraz.

Tablice korecyjne : LUT

Operacje realizowane z wykorzystaniem tablic korekcyjnych

(ang.: *look up tables*, lub w skrócie LUT)

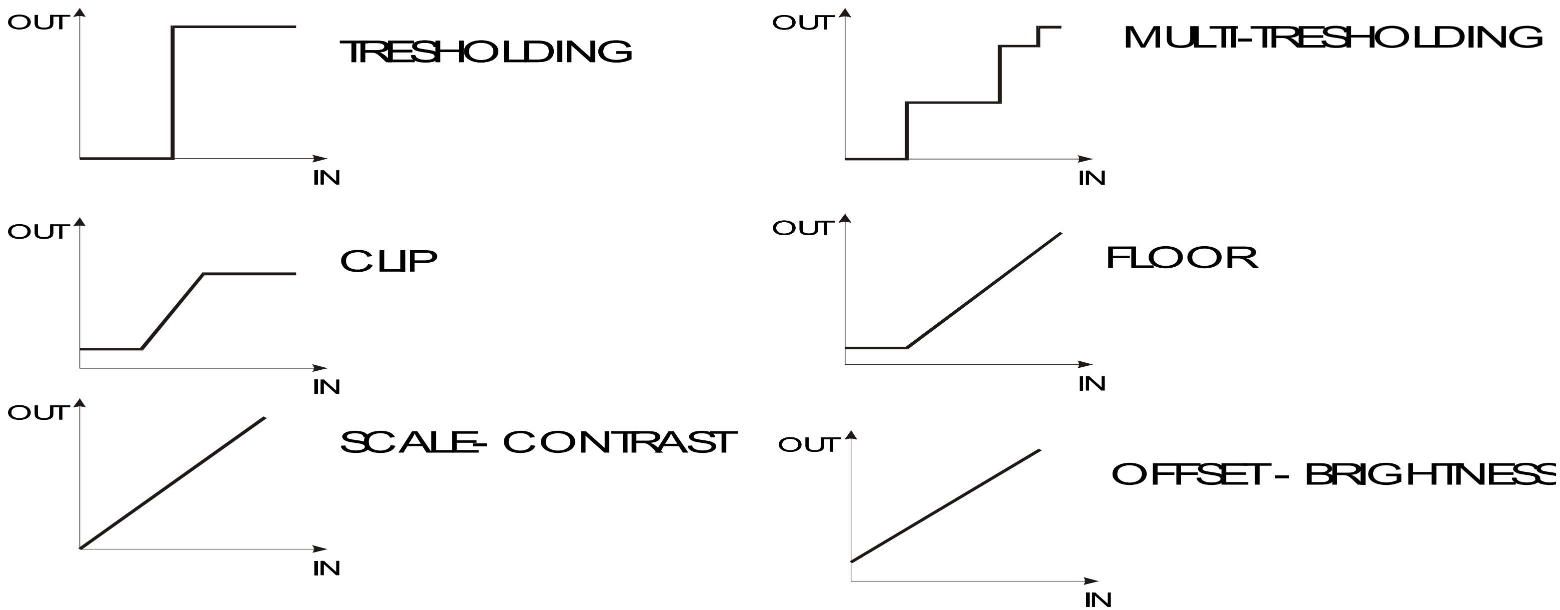
nie modyfikują samego obrazu, lecz sposób, w jaki jest wyświetlany.

Najprostszym sposobem wyświetlania obrazu wieloodcieniowego jest wyświetlenie każdego piksela o takim stopniu szarości, jaki jest w pamięci.

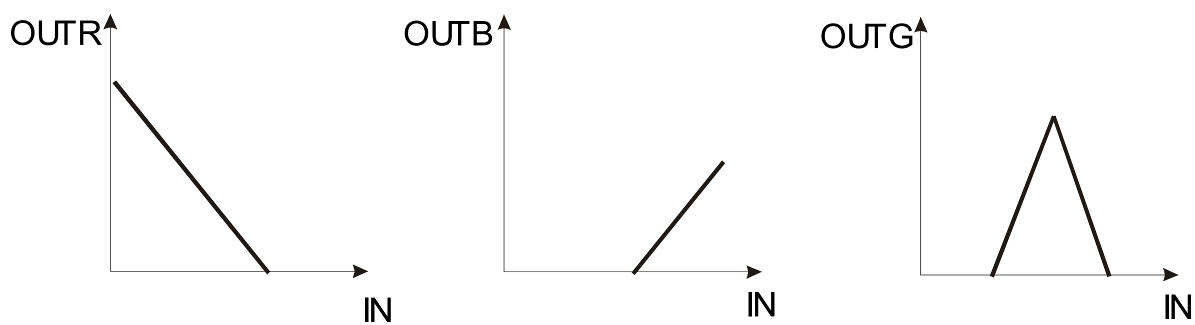
Jeżeli w tablicy zapiszemy intensywności przeliczone zgodnie z zadaną funkcją wartości wówczas będziemy mogli je wizualizować w czasie rzeczywistym bez obciążenia procesora).

Do modelowania LUT powinno stosować się funkcje monotoniczne. W przypadku funkcji wielowartościowych (wartość bezwzględna, solaryzacja) następuje zmiana informacji w obrazie co często może mieć nieporządane efekty pomiarowe lub niewłaściwego rozpoznania obiektu.

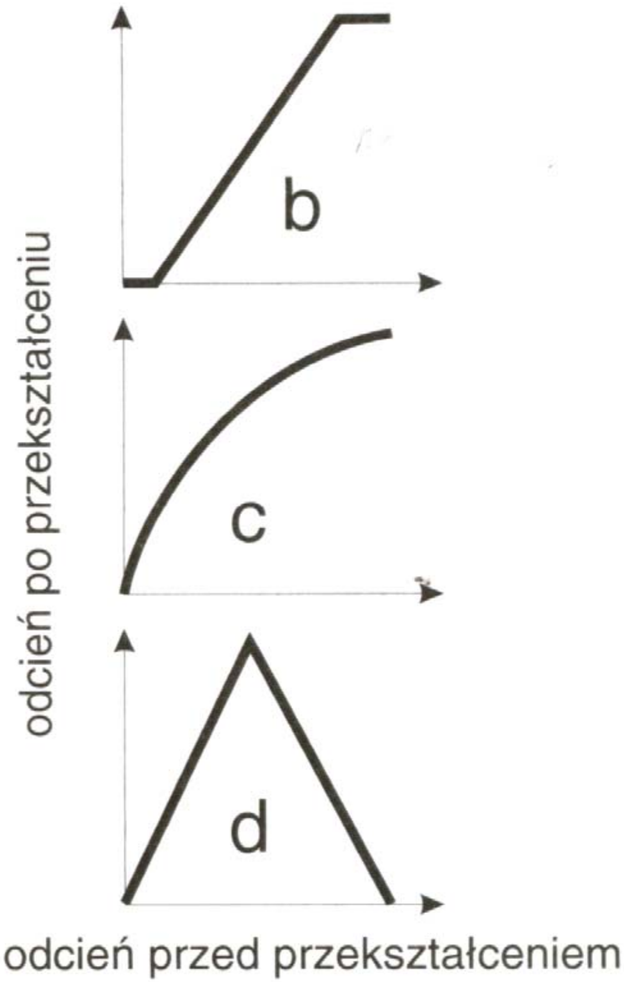
Operacje LUT

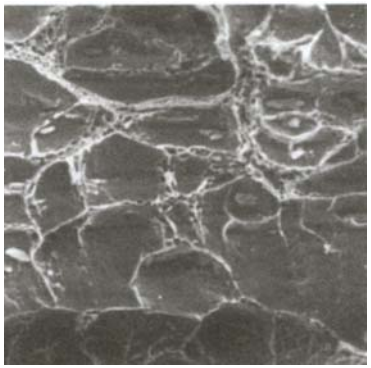


Pseudokolorowanie



LUT

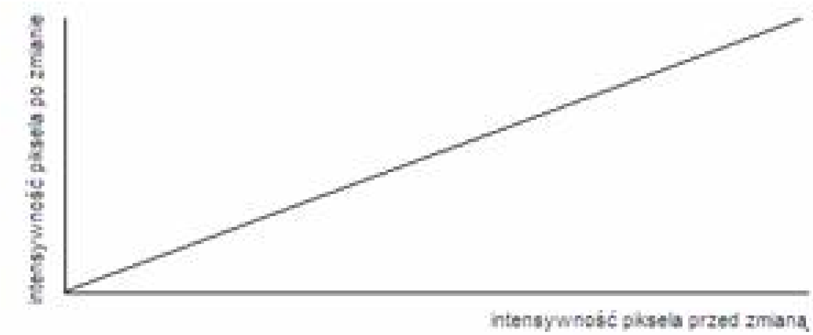


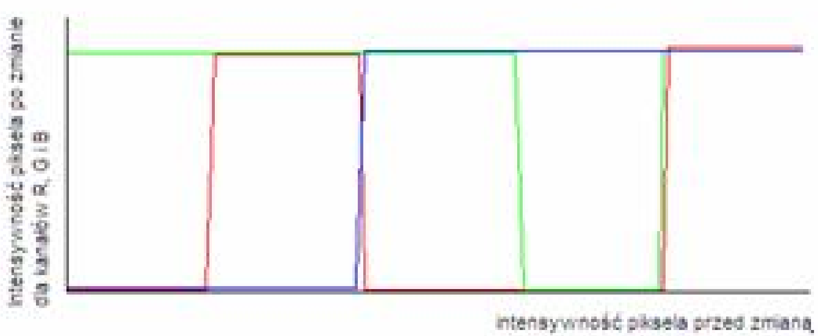


solaryzacja

Pseudokolorowanie

Jedną z operacji na LUT jest pseudokolorowanie.
Polega ono na zastąpienie obrazu szaroodcieniowego obrazem barwnym.
Piksele o założonych wartościach intensywności zastępowane są pikselami o wartościach R G B.





Operacje na obrazach

Warunek tych samych rozmiarów Obrazów.
Jeżeli wartość I przekroczy 255 należy dokonać normalizacji

Uśrednianie obrazu:
dodawanie N kolejnych obrazów tej samej sceny w celu uśrednienia sumacyjnych szumów wysoko-częstotliwościowych w obrazie (gł. szumów termicznych detektora).
Poprawa stosunku do szumu w obrazie:

$$\sqrt{N}$$

Operacje dwuwartościowe

- Dodawanie

$$g_{n,m} = f_{n,m} + d_{n,m}$$

- Odejmowanie

$$g_{n,m} = f_{n,m} - d_{n,m}$$

- Mnożenie

$$g_{n,m} = f_{n,m} * d_{n,m}$$

- Dzielenie

$$g_{n,m} = f_{n,m} / d_{n,m}$$

- Dodawanie z wagami

$$g_{n,m} = A * f_{n,m} + B * d_{n,m}$$

- Operacje min/max

$$g_{n,m} \quad \max(f_{n,m}, h_{n,m}) = \begin{Bmatrix} f_{n,m} \;\; gdy \;\; f_{n,m} > h_{n,m} \\ h_{n,m} \end{Bmatrix}$$

- Operacje logiczne na pixelach lub bitach obrazu

Operacje na obrazach - cd

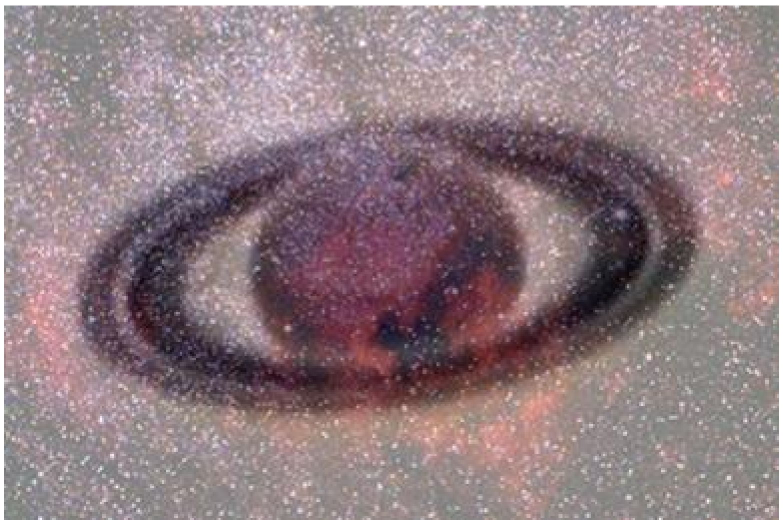
Przykłady:

- Dodawanie

$$g_{n,m} = f_{n,m} + d_{n,m}$$

- Odejmowanie

$$g_{n,m} = f_{n,m} - d_{n,m}$$



Operacje na obrazach - cd

- Mnożenie

$$g_{n,m} = f_{n,m} \cdot d_{n,m}$$

- Dzielenie

$$g_{n,m} = f_{n,m} / d_{n,m}$$

Operacje na obrazach - cd

- Dodawanie z wagami

$$g_{n,m} = A \cdot f_{n,m} + B \cdot d_{n,m}$$

- Operacje min/max

$$g_{n,m}\left(f_{n,m}, d_{n,m}\right) = \begin{cases} f_{n,m} & \text{gdy} \quad f_{n,m} > d_{n,m} \\ d_{n,m} & \end{cases}$$

Filtracja obrazu

Filtry są operacjami, w których intensywność w pikselu bieżącym wyliczana jest na podstawie intensywności w tym pikselu oraz w pikselach z otoczenia. **Typy filtrów:**

- przekształcenia kontekstowe (filtry konwolucyjne, logiczne i statystyczne)

- przekształcenia widmowe (wykorzystujące transformację Fouriera)

Za pomocą filtrów możemy poprawić jakość obrazu (np. usunąć szumy detektora lub niejednorodne oświetlenie w obrazie), możemy również wydobyć z obrazów interesujące nas cechy (np. podkreślić krawędzie lub granice między obiektami).

Przy filtracji rozważamy każdy piksel (i, j) i jego otoczenie o wymiarze (M,N) oraz tzw. maskę filtru h(n,m) .

$P_{i-1,j-1}$	$P_{i,j-1}$	$P_{i+1,j-1}$
$P_{i-1,j}$	$P_{i,j}$	$P_{i+1,j}$
$P_{i-1,j+1}$	$P_{i,j+1}$	$P_{i+1,j+1}$

$= f(i, j, M, N)$

h_{1j-1}	$h_{0,-1}$	$h_{1,-1}$
$h_{1,0}$	$h_{0,0}$	$h_{1,0}$
$h_{1,1}$	$h_{0,1}$	$h_{1,1}$

$= h\,(m, n) = h_{n,m}$

Filtry nieliniowe -statystyczne

Podstawowe filtry nieliniowe polegają na zmianie kontrastu. przy użyciu funkcji logarytmicznych, wykładniczych czy potęgowych.

W praktyce znaczna większość nieliniowych filtrów to operatory oparte na lokalnym sąsiedztwie analizowanego punktu.

Wykorzystują one lokalne rozkłady intensywności pikseli, ich miary statystyczne.

Filtr medianowy
Filtr maksymalny lub minimalny
Filtr modalny

Operacje statystyczne- filtr medianow(Środkowy)

- **Filtry medianowe**

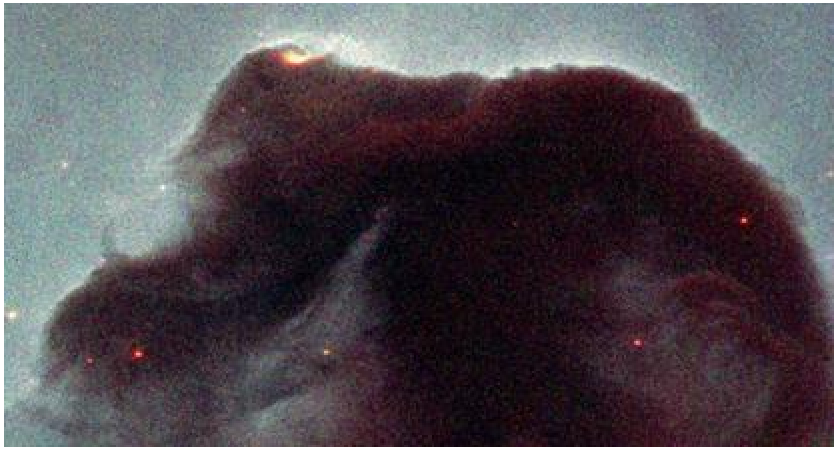
  Bazują na obliczeniu w obszarze maski filtra, mediany (czyli środkowej) wartości intensywności w wybranym obszarze.

$$h_{K,K} = \begin{bmatrix} h_{-K,-K} & h_{-K,K} & \cdots & h_{-K,K} \\ h_{-K+1,K} & & & \vdots \\ \vdots & & & \vdots \\ h_{K,-K} & \cdots & \cdots & h_{K,K} \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} h_{-K,K} & \cdots & h_{K,-K} & \cdots & h_{-K,K} \end{bmatrix}$$

Bardzo dobrze usuwa szum impulsowy. Nie wprowadza do obrazu żadnych nowych krawędzi i pozwalają na zachowanie ostrych krawędzi.

Działanie filtru medianowego



Filty maksymalne i minimalne

Działają one na podobnej zasadzie, co filtr medianowy, tyle że zastępują wartość danego piksela przez maksymalną lub minimalną wartość z jego otoczenia.

Filtr minimalny określany jest również jako filtr erozyjny, gdyż powoduje zmniejszenie pola obiektów różniących się znacznie intensywnością od tła. Filtry maksymalne , zwane również dylatacyjnymi powodują zwiększenie pola tychże samych obiektów.

Operacje statystyczne – filtry modalne

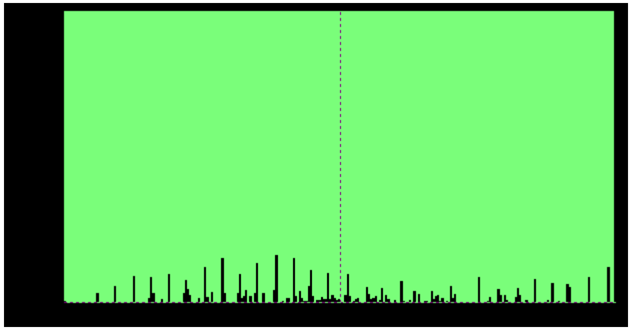
Filtry modalne

Bazują na obliczeniu w obszarze maski filtru wartości modalnej-wartości najbardziej prawdopodobnej w otoczeniu piksela bieżącego

$$h_{K,K} = \begin{bmatrix} h_{-K,-K} & h_{-K,K} & \cdots & h_{-K,K} \\ h_{-K+1,K} & & & \vdots \\ \vdots & & & \vdots \\ h_{K,-K} & \cdots & \cdots & h_{K,K} \end{bmatrix}$$

Metoda- liczenie lokalnego histogramu

$$\begin{bmatrix} h_{-K,K} & \cdots & h_{K,-K} & \cdots & h_{-K,K} \end{bmatrix}$$



Filtracja splotowa

Wartość intensywności w pikselu bieżącym oblicza się jako operację liniową rozkładu intensywności w otoczeniu tego piksela zgodnie z:

$$F(i, j) = O\,[f(i, j, M, N)]$$

Zazwyczaj operację O stanowi operacja splotu. Najpierw definiuje się maskę splotu h(m,n) zawierającą wagi pikseli z sąsiedztwa piksela bieżącego. Rozmiar maski jest liczbą nieparzystą (np. 3x3, 5x5,7x7) tak, aby piksel, dla którego liczona jest wartość był w jej środku. Za względu na prostotę implementacji maska ma zazwyczaj kształt kwadratu lub prostokąta. Podczas filtracji obrazu, maska przykładana jest kolejno do każdego piksela, dla którego liczona jest intensywność zgodnie z wzorem:

$$F(i,j) = \frac{1}{\sum\limits_{m=-M}^{M}\sum\limits_{n=-N}^{N} h_{m,n}} \bullet \sum_{m=-M}^{M}\sum_{n=-N}^{N}(h_{m,n} \bullet f_{i-m,j-n})$$

Filtracja splotowa-operacja liniowe na obrazach

$$g_{n,m} = h_{K,L} \otimes f_{n,m}$$

- ❒ Realizacja praktyczna

Macierz filtru:

$$h_{K,L} = \begin{bmatrix} h_{-K,\_L} & h_{-K,-L+1} & \cdots & h_{-K,L} \\ h_{-K+1,L} & & & \vdots \\ \vdots & & & \vdots \\ h_{K,-L} & \cdots & \cdots & h_{K,L} \end{bmatrix}$$

Macierz otoczenia pixela:

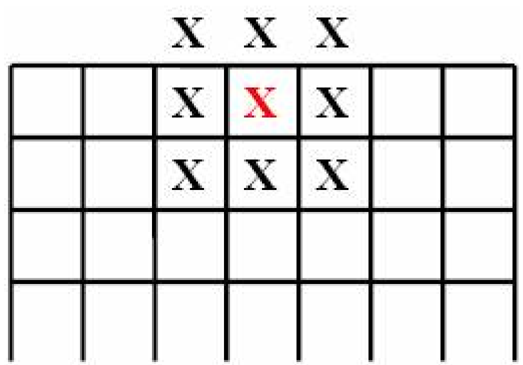
$$f_{n,m} = \begin{bmatrix} f_{n-K,m-L} & f_{n-K,m-L+1} & \cdots & f_{n-K,m+1} \\ f_{n-K+1,-L} & & & \vdots \\ \vdots & & & \vdots \\ f_{n+K,m-L} & \cdots & \cdots & f_{n,m} \end{bmatrix}$$

Operacja filtracji

$$g_{n,m} = h_{K,L}{}^{T} f_{n,m} = \sum_{k=-K}^{K} \sum_{l=-L}^{L} h_{k,l} f_{n-k,m-l} = h_{K,L} * f_{n,m}$$

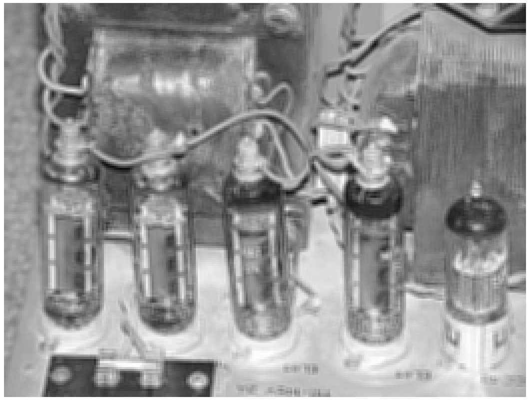
Filtracja na brzegach

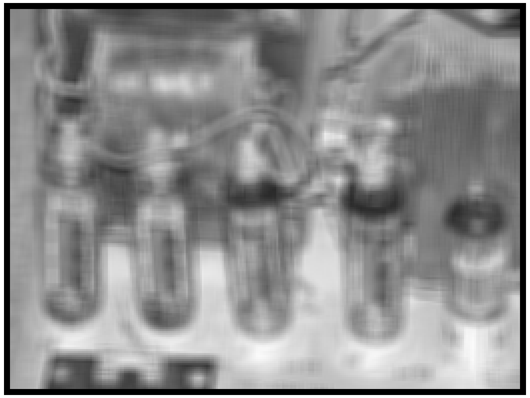
Działanie takie nie sprawdza się dla pikseli leżących na brzegach obrazu Dlatego często maskuje się brzegowe piksele a potem przeprowadza ekstrapolację na brzegach lub pozostawia te piksele bez zmian (tzn. nie przeprowadza się na nich operacji filtracji). W przypadku maski filtru 3x3, tracimy po jednym rzędzie pikseli, gdy zaś stosujemy większe maski traconych pikseli brzegowych jest (M/2 -1) i (N/2-1) odpowiednio w kierunku x i y.

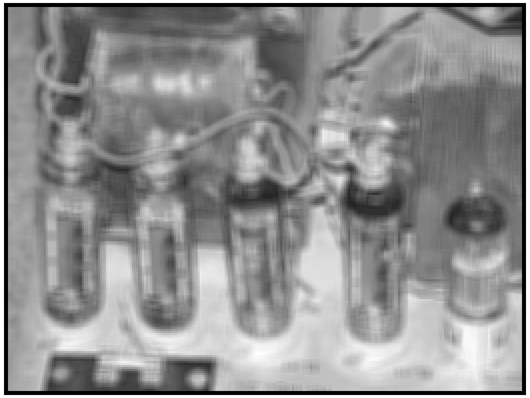


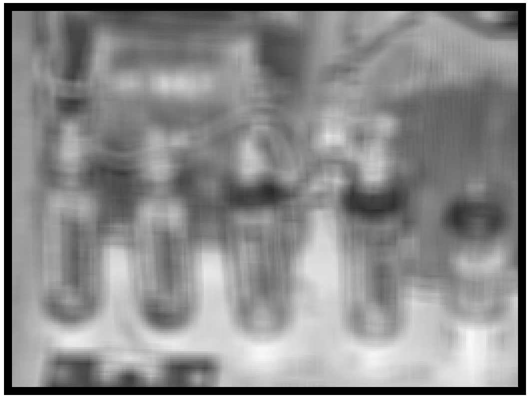
Wpływ filtracji na obraz

Stosowanie filtrów powoduje rozmycie obrazu i utratę szczegółów (dla filtru 3x3 traci się szczegóły jednopikselowe, ogólnie dla filtru N×N traci się szczegóły o wymiarze (N/2-1) oraz przesunięcie krawędzi.









Podstawowe typy filtrów

Najważniejsze grupy filtrów bazujących na operacjach liniowych (splocie)

filtry dolnoprzepustowe (usuwające szumy wysokoczęstotliwościowe);
filtry górnoprzepustowe (usuwające/modyfikujące tło lub wolne zmiany jasności w obrazie);
filtry różniczkowe (wykrywające/podkreślające krawędzie).

Maska splotu h $_{n,m}$ będąca reprezentacją filtru w płaszczyźnie obrazu ma również swoją reprezentację *H(u,v)* w płaszczyźnie widmowej obrazu daną wzorem reprezentującym transformatę Fouriera maski:

$$H(u,v) = \sum_{k=-K}^{K} \sum_{l=-L}^{L} h_{n,m} \exp\left(-2\pi j(uk\Delta + vl\Delta)\right)\Delta^2$$

Funkcja *H(u,v)* nazywana jest też funkcją przenoszenia dla operacji splotu i podobna jest do funkcji przenoszenia układu optycznego odwzorowującego obraz.

Reprezentacja filtracji splotowej w pł TF

Splot filtru reprezentowany jest w płaszczyźnie częstości przestrzennych jako iloczyn transformaty Fouriera obrazu *F(u,v)* z funkcją przenoszenia *H(u,v)*

$$G(u,v) = H(u,v)F(u,v)$$

gdzie

$$F(u,v) = \sum_{n=0}^{N-1}\sum_{m=0}^{M-1} f_{n,m} \exp\left(-2\pi j\left(un\Delta + vm\Delta\right)\right)\Delta^2$$

i

$$G(u,v) = \sum_{n=0}^{N-1}\sum_{m=0}^{M-1} g_{n,m} \exp\left(-2\pi j\left(un\Delta + vm\Delta\right)\right)\Delta^2$$

Wynika stąd, że filtracja przeprowadzana w dziedzinie obrazu poprzez operację splotu i w dziedzinie częstości przestrzennych obrazu poprzez operację mnożenia powinny dać ostatecznie ten sam wynik.
Dlatego poniżej przy opisie filtrów przedstawione są równocześnie maska splotu i jej funkcja przenoszenia wskazująca na to jak modyfikowane będą przez filtr częstości przestrzenne obrazu.

Filtry dolnoprzepustowe

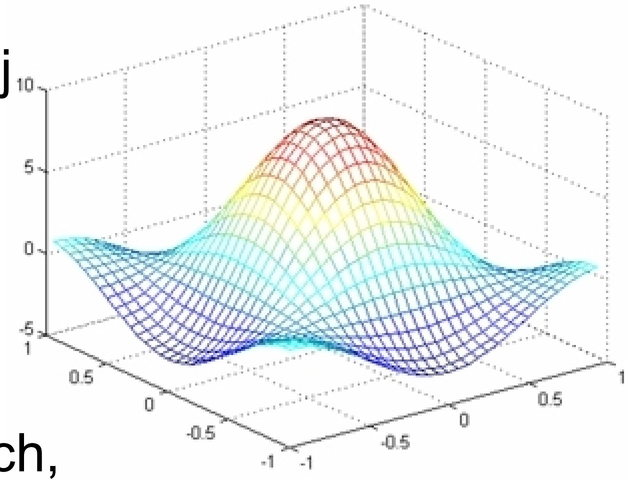
Filtry dolnoprzepustowe odcinają z obrazu elementy o wysokiej częstości pozostawiając te o niskiej (stąd nazwa). Z obrazu usuwane są zatem gwałtowne zmiany natężeń sąsiednich pikseli czego wynikiem jest rozmycie krawędzi obrazu. Filtry te są używane do eliminacji szumów w obrazie.
Do najczęściej stosowanych filtrów dolnoprzepustowych należą filtr: uśredniający i filtr Gaussa.

$$\frac{1}{9}\begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix} \qquad \frac{1}{k}\begin{bmatrix} 1 & 2 & 1 \\ 2 & 4 & 2 \\ 1 & 2 & 1 \end{bmatrix}$$

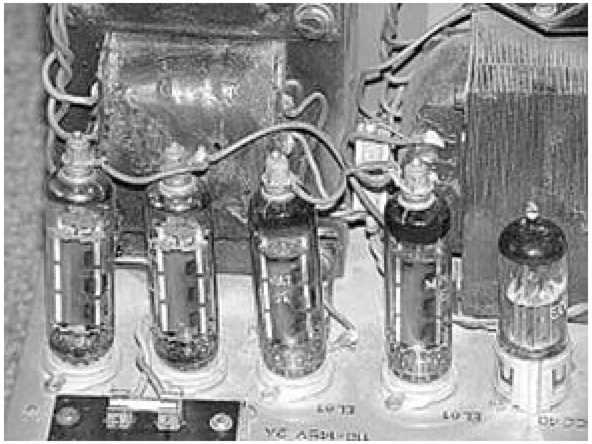
k – suma współczynników wagowych, aby zachować stałą intensywność średnią w obrazie

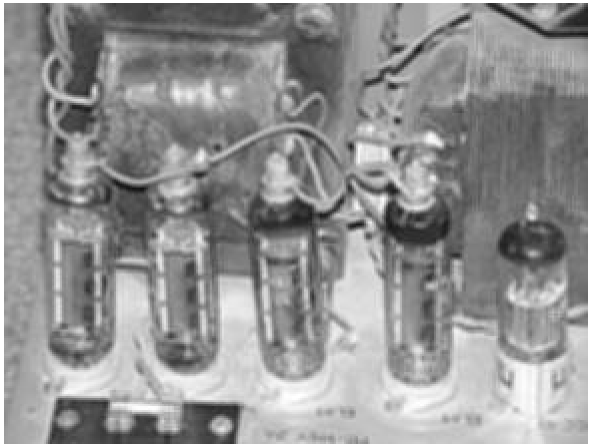
Filtr dolnoprzepustowy uśredniający

Filtr uśredniający zbudowany jest z macierzy, w której wszystkie elementy mają taką samą wartość.
Filtr ten jest splotem z funkcją prostokątną.
Transformata Fouriera prostokąta jest funkcją sinc, która nie eliminuje wszystkich wysokich częstości, ale ze względu na kolejne ekstrema funkcji sinc przepuszcza część informacji o wyższych częstościach, a więc lepiej odwzorowuje małe elementy i krawędzie.



$$\frac{1}{9}\begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}$$





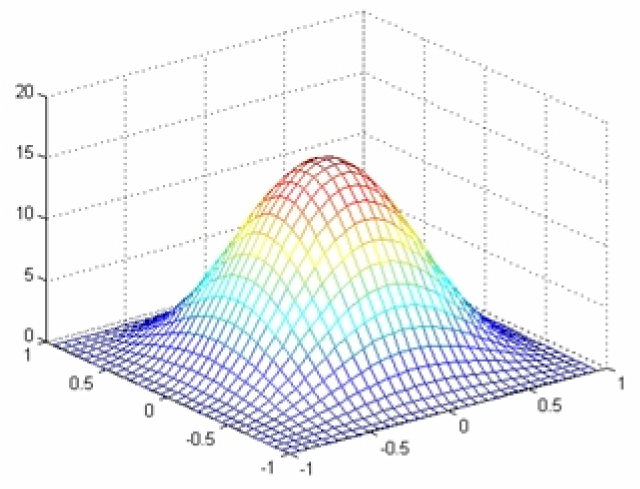
Filtr dolnoprzepustowy Gaussowski

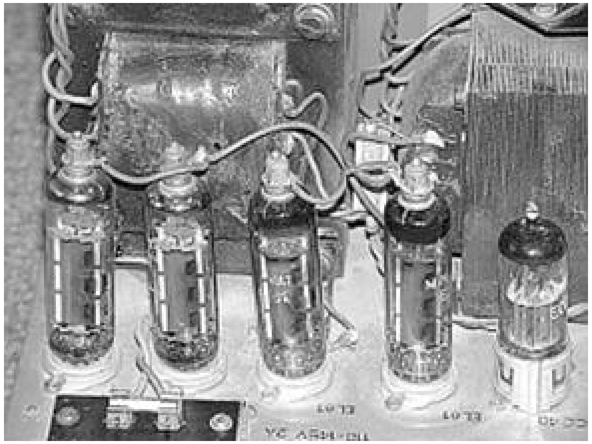
Filtr Gaussowski

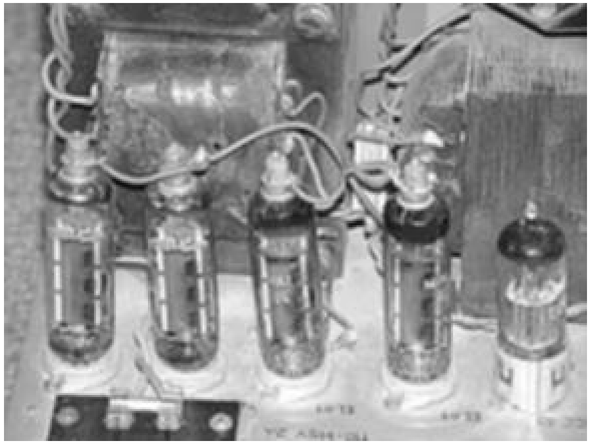
Filtr gaussowski reprezentowany jest przez maskę splotu o zmiennych wartościach współ. wagowych.

Transformata Fouriera funkcji Gaussa jest również funkcją Gaussa, która tłumi wysokie częstości przestrzenne w obrazie w sposób monotoniczny przez co daje bardziej jednoznaczne wyniki niż filtr uśredniający.

$$\frac{1}{16}\begin{bmatrix} 1 & 2 & 1 \\ 2 & 4 & 2 \\ 1 & 2 & 1 \end{bmatrix}$$





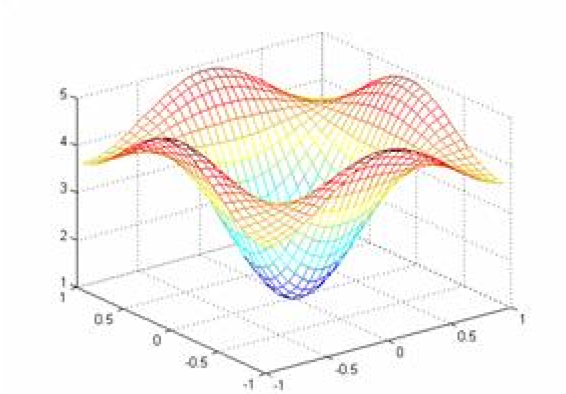


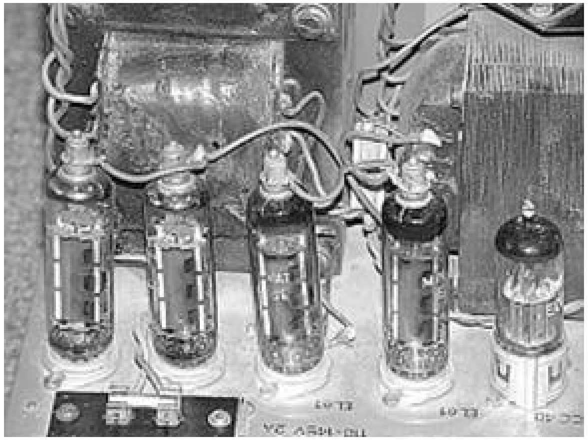
Filtr górnoprzepustowy

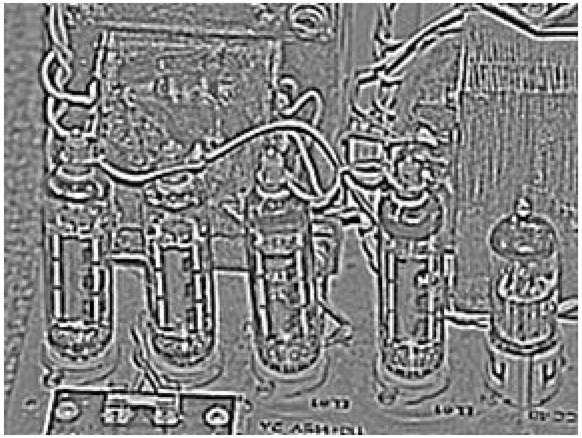
Filtr górnoprzepustowy wydobywa z obrazu elementy o dużej częstości, czyli nagłe zmiany w intensywności pikseli.
Tego typu filtry stosujemy wtedy, gdy chcemy wyszczególnić w obrazie szczegóły. Dodatkowo, w przypadku, jeżeli częstości przestrzenne treści obrazu i tła nie nachodzą na siebie (tzn. zmiany jasności od tła są bardzo wolnozmienne, a w obrazie mamy dużo szczegółów) możliwe jest usunięcie zmian jasności w tle.
Zwiększana jest różnica między elementem centralnym maski i elementami jego otoczenia. Niestety wraz ze szczegółami wyostrzony zostaje również szum (zmniejsza się stosunek sygnału do szumu). Jest to niedogodność przy stosowaniu tego typu filtrów.
Jedną z metod realizacji filtru górnoprzepustowego jest odjęcie od siebie obrazu niezmienionego i obrazu po zastosowaniu filtru dolnoprzepustowego.

Filtr górnoprzepustowy prostokątny

$$\begin{bmatrix} -1 & -1 & -1 \\ -1 & 8 & -1 \\ -1 & -1 & -1 \end{bmatrix}$$

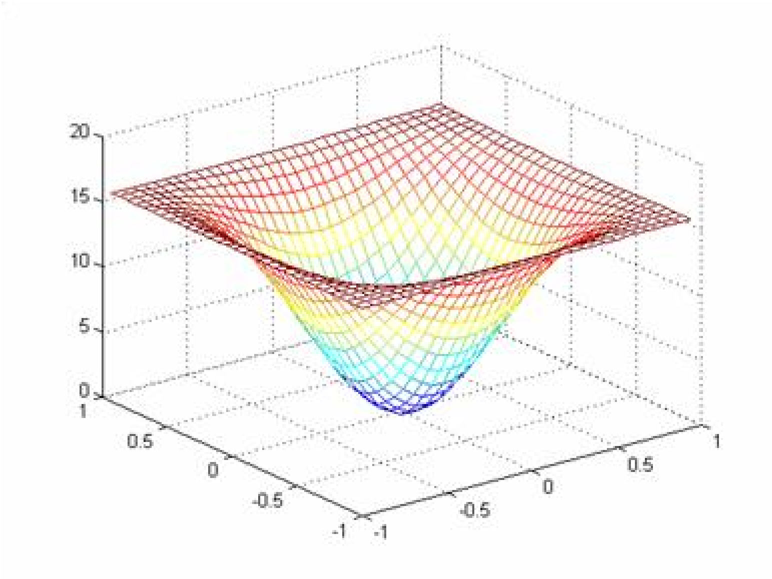


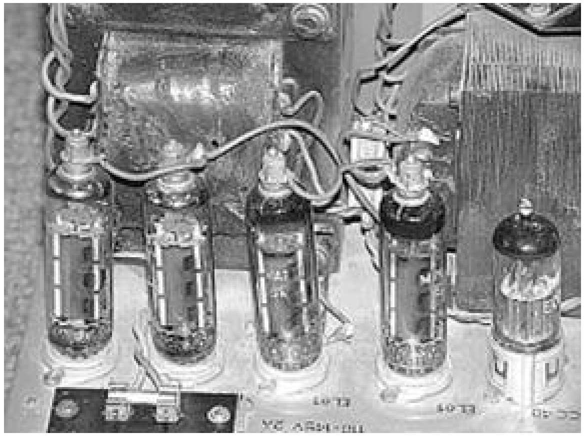




Filtr górnoprzepustowy Gaussowski

$$\begin{bmatrix} -1 & -2 & -1 \\ -2 & 12 & -2 \\ -1 & -2 & -1 \end{bmatrix}$$





Filtr Gaussowski -cd

- Filtry będące „odwrotnością” Gaussowskiej filtracji dolnoprzepustowej

$$h = \begin{bmatrix} -1 & -2 & -1 \\ -2 & 12 & -2 \\ -1 & -2 & -1 \end{bmatrix}$$

Operatory różniczkujące

Zadanie - wykrycie miejsc geometrycznych w obrazie, w których występują duże gradienty funkcji jasności lub inaczej mówiąc wykrycie lub podkreślenie krawędzi obiektów w obrazie.

Na obrazie komputerowym trudno jest wyznaczyć pochodną. Dlatego stosuje się lokalne gradienty, które są jej przybliżeniem. Gradient obrazu I(x,y) definiuje się w kierunkach x i y jako:

$$G_y = \frac{\partial I(x,y)}{\partial y}$$

$$\Delta f_x = \begin{bmatrix} 0 & 0 & -1 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \qquad \Delta f_y = \begin{bmatrix} 0 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

$$\left\| \nabla f(x,y) \right\| = \left| \frac{\delta f}{\delta x} \right| + \left| \frac{\delta f}{\delta y} \right|$$

Operatory Robertsa

Do wyznaczenia wartości gradientów w różnych kierunkach służą operatory Robertsa.
Maski tego operatora działające na intensywność w kierunkach
-45, 90, +45, 0, -90, 180

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

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

Bardzo czułe na szumy można go stosować na obrazach o bardzo dobrej jakości ub po uprzednim zastosowaniu filtru usuwającego szumy wysoko-częstotliwościowe (np. filtru gaussowskiego)

Filtry Sobela i Prewitta

Jeśli chcemy wykrywać krawędzie w obrazach z dużym szumem wysokoczęstotliwościowym należy stosować operatory Sobela i Prewitta.

Są one połączeniem filtru gradientowego z odpowiednio filtrem uśredniającym, prostokątnym oraz gaussowskim.

$$\Delta f_x = \begin{bmatrix} -1 & 0 & 1 \\ -1 & 0 & 1 \\ -1 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad \Delta f_y = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 0 \\ -1 & -1 & -1 \end{bmatrix}$$

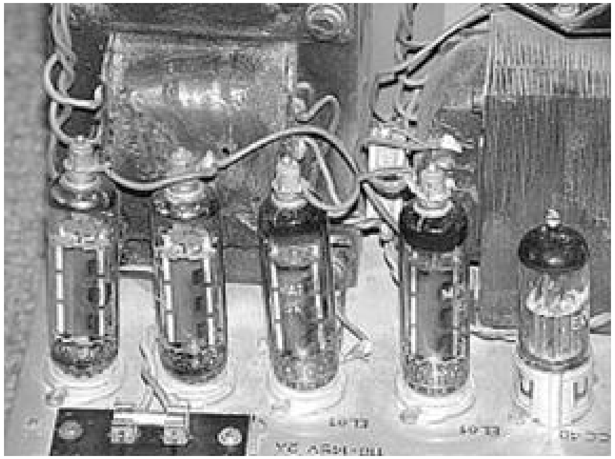
F. Prewitta

$$\Delta f_x = \begin{bmatrix} -1 & 0 & 1 \\ -2 & 0 & 2 \\ -1 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad \Delta f_y = \begin{bmatrix} 1 & 2 & 1 \\ 0 & 0 & 0 \\ -1 & -2 & -1 \end{bmatrix}$$

F. Sobela

Wynik działania filtrów różniczkujących

Obrazy krawędzi uzyskano poprzez binaryzację z odpowiednim progiem zróżniczkowanego obrazu .



R

P

S

Operatory różniczkujące

- Operatory standardowe

$$\Delta f_x = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ -1 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \qquad \Delta f_y = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & -1 & 0 \end{bmatrix}$$

- Operatory Robertsa

$$\Delta f_x = \begin{bmatrix} 0 & 0 & -1 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \qquad \Delta f_y = \begin{bmatrix} 0 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

- Operatory Prewitta

$$\Delta f_x = \begin{bmatrix} -1 & 0 & 1 \\ -1 & 0 & 1 \\ -1 & 0 & 1 \end{bmatrix} \qquad \Delta f_y = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 0 \\ -1 & -1 & -1 \end{bmatrix}$$

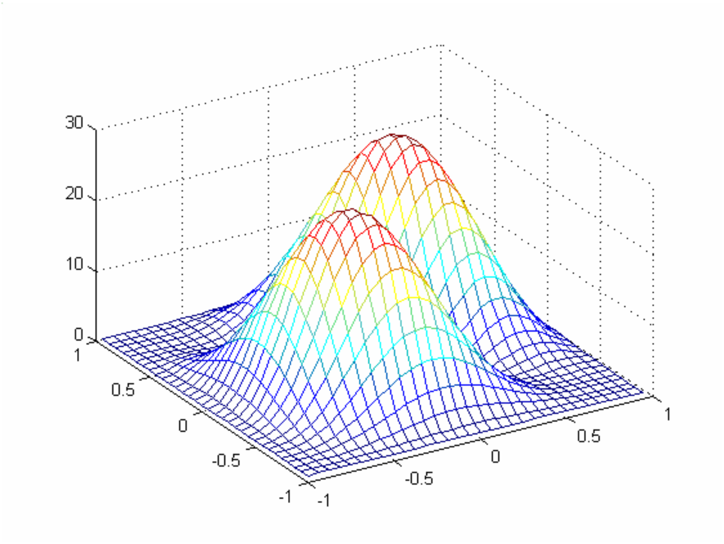
- Operatory Sobela

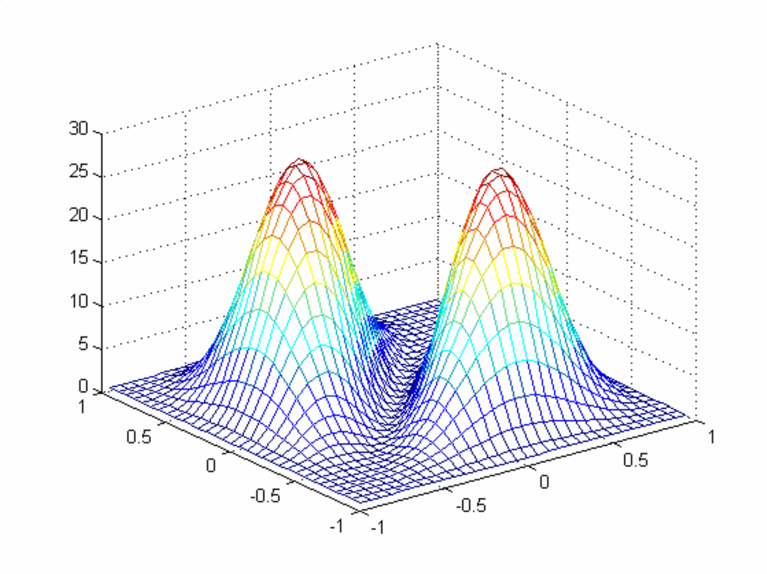
$$\Delta f_x = \begin{bmatrix} -1 & 0 & 1 \\ -2 & 0 & 2 \\ -1 & 0 & 1 \end{bmatrix} \qquad \Delta f_y = \begin{bmatrix} 1 & 2 & 1 \\ 0 & 0 & 0 \\ -1 & -2 & -1 \end{bmatrix}$$

Filtry różniczkujące- wykrywające krawędź

- Kierunkowe wykrywanie krawędzi w obrazie

$$h_{SE} = \begin{bmatrix} -1 & -1 & 0 \\ -1 & 1 & 1 \\ 0 & 1 & 1 \end{bmatrix} \qquad h_{NE} = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 1 \\ -1 & 1 & 1 \\ -1 & -1 & 0 \end{bmatrix}$$





Różniczki drugiego rzędu -Laplasjan

W podobny sposób można wyznaczać różniczki (gradienty) drugiego rzędu. Najczęściej stosowanym operatorem w tym przypadku jest Laplasjan, który wyliczany jest jako suma różniczek drugiego rzędu po kierunkach x i y.
Podstawową zaletą tego operatora jest jego izotropowość lub niezmienniczość względem obrotu.
Laplasjan dla obrazu traktowanego jako funkcja dwóch zmiennych I(x,y) ma postać

$$\nabla^2(x,y) = \frac{\partial^2 F(x,y)}{\partial^2 x} + \frac{\partial^2 F(x,y)}{\partial^2 y}$$

Typowa maska Laplasjana

$$h = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 1 & -4 & 1 \\ 0 & 1 & 0 \end{bmatrix}$$

Laplasjan

- Filtry bazujące na operatorze Laplace'a

$$\nabla^2 f(x,y) = \frac{\delta^2 f}{\delta x^2} + \frac{\delta^2 f}{\delta y^2}$$

- Wyprowadzenie wzoru na maskę filtru Laplace'a

$$\frac{\delta f}{\delta x} = f(x-0.5,y) - f(x+0.5,y)$$

$$\frac{\delta f}{\delta y} = f(x,y-0.5) - f(x,y+0,5)$$

$$\frac{\delta^2 f}{\delta x^2} = f(x-1,y) - f(x,y) - f(x,y) + f(x+1,y)$$

$$\frac{\delta^2 f}{\delta y^2} = f(x,y-1) - f(x,y) - f(x,y) + f(x,y+1)$$

$$\frac{\delta^2 f}{\delta x^2} = f(x+1,y) - 2f(x,y) + f(x-1,y)$$

$$\frac{\delta^2 f}{\delta y^2} = f(x,y+1) - 2f(x,y) + f(x,y-1)$$

$$\nabla^2 f(x,y) = -4f(x,y) + f(x+1,y) + f(x-1,y) + f(x,y+1) + f(x,y-1)$$

Detekcja krawędzi/Laplasjan

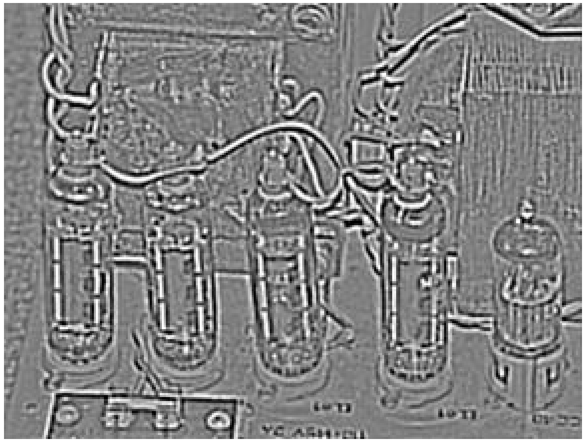
Detekcja krawędzi przy pomocy Laplasjana bazuje na procesie binaryzacji obrazu poddanego temu przekształceniu.
Rozwiązanie to nie jest korzystne, gdyż Laplasjan będący operatorem drugiej pochodnej jest szczególnie czuły na szumy. Ograniczenie wpływu szumu można uzyskać przez zwiększenie rozmiaru stosowanej macierzy.
Również w procesie lokalizacji krawędzi wykorzystuje się detekcję punktów, w których Laplasjan zmienia znak. Sposób postępowania w tym przypadku jest następujący:

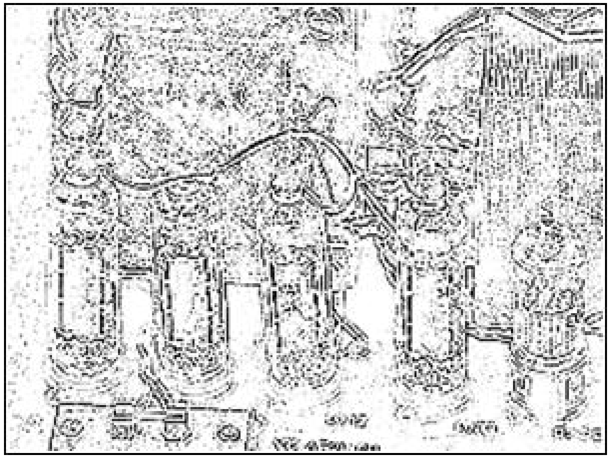
- wykonujemy Laplasjan
- przeprowadzamy binaryzację z progiem dolnym o wartości 0. W ten sposób wykryjemy wszystkie punkty w wartościach większych lub równych 0,
- przeprowadzamy detekcję brzegu obrazu binarnego. Wychwytujemy wszystkie punkty, których wartość jest równa bądź też bliska 0.

Detekcja krawędzi

Wielką zaletą tego rozwiązania jest niewielka grubość krawędzi (grubość jednego piksela).

$$\begin{bmatrix} 0 & -1 & 0 \\ -1 & 4 & -1 \\ 0 & -1 & 0 \end{bmatrix}$$





Kłopoty z szumami jednakże operacja ta jest podstawową przy tzw. segmentacji konturowej.

W tym przypadku po operacji wykrywania krawędzi następuje sekwencja przetwarzania, która ma na celu usunięcie punktów zbędnych (bocznych gałęzi, punktów szumowych, a następnie połączenie punktów krawędzi tak, aby tworzyły zamkniętą krawędź wyodrębnionego obiektu

Filtry adaptacyjne

Charakterystyka filtrów adaptacyjnych zmienia się w zależności od analizowanego obszaru.

Filtry adaptacyjne działają w następujący sposób:

► każdemu punktowi oraz jego otoczeniu przypisywana jest wartość, która pozwala na zakwalifikowania go jako punkt należący lub nie należący do krawędzi,

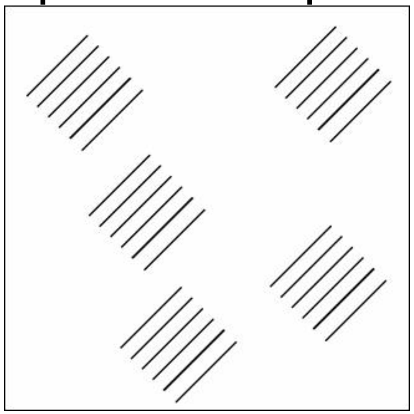
► na obszarach zakwalifikowanych jako "nie należące do krawędzi" stosuje się filtry uśredniające, reszta obszarów na jest zmieniana.

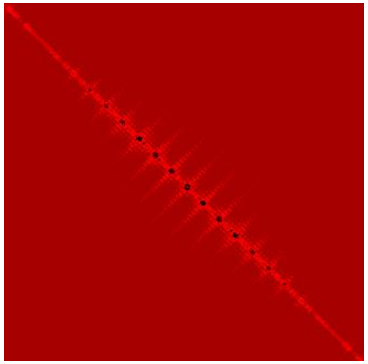
Przynależność danego punktu do obszarów krawędzi jest ustalana na podstawie wariancji intensywności jego otoczenia. Innymi słowy, jeżeli sąsiadujące ze sobą piksele różnią się znacznie swoją intensywnością to najprawdopodobniej należą do krawędzi.

Filtry w płaszczyźnie widmowej (TF)

Transformata Fouriera, jest transformatą w dziedzinę częstości przestrzennych obrazu, która rozkłada jasność obrazu na funkcje bazowe (części sinusowe oraz cosinusowe) o różnych częstościach.

Rezultatem działania transformaty jest funkcja w dziedzinie częstości, reprezentująca widmo częstotliwościowe funkcji pierwotnej (obrazu). Operacje realizowane za pomocą transformaty Fouriera są tzw. operacjami globalnymi (w odróżnieniu od poprzednio omówionych, które są operacjami lokalnymi), tzn. jeden punkt w płaszczyźnie częstości przestrzennych reprezentuje wiele punktów w płaszczyźnie obrazu..





Transformata Fouriera

Transformatę Fouriera stosuje się do operacji:

Spoltu i rozpltou,
Filtracji.

Pierwszym z omówionych zastosowań będzie operacja splotu. Splot dwóch funkcji opisany jest następującym wzorem:

W dziedzinie ciągłej

$$f(x,y)*g(x,y)=\int_{-\infty}^{\infty}\int_{-\infty}^{\infty}f(x-x',y-y')g(x',y')dx'dy'$$

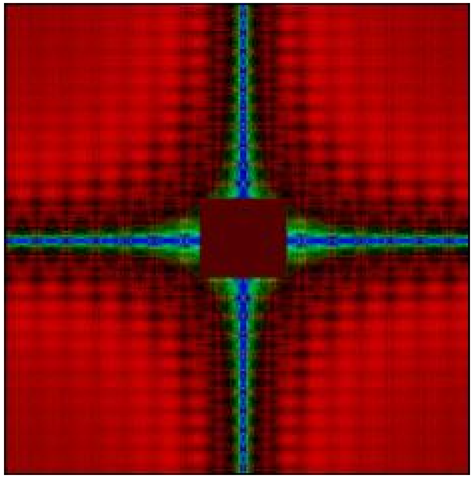
W dziedzinie dyskretnej

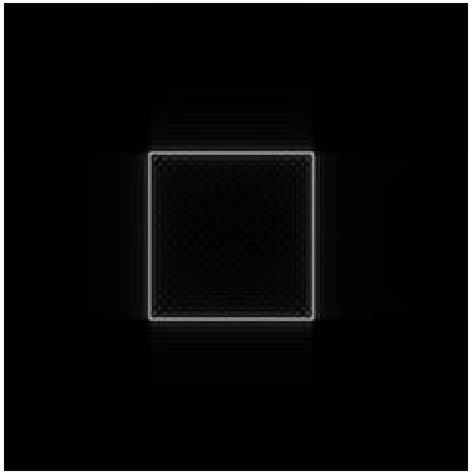
$$f(m,n)*g(m,n)=\sum_{m'=-\infty}^{\infty}\sum_{n'=-\infty}^{\infty}f(m-m',n-n')g(m',n')dm'dn'$$

Splot w dziedzinie obrazu (funkcji poziomów jasności) jest jednoznaczny z mnożeniem w dziedzinie częstotliwości przestrzennych. Z tego wynika, że jeżeli chcemy spleść ze sobą dwie funkcje, należy obliczyć ich transformaty Fouriera, pomnożyć je przez siebie a ich iloczyn przetransformować do dziedziny przestrzennej (obrazu) za pomocą odwrotnej transformaty Fouriera. Operacja ta jest o wiele mniej pracochłonna niż liczenie splotu z wzorów podanych wyżej.

Filtr górnoprzepustowy

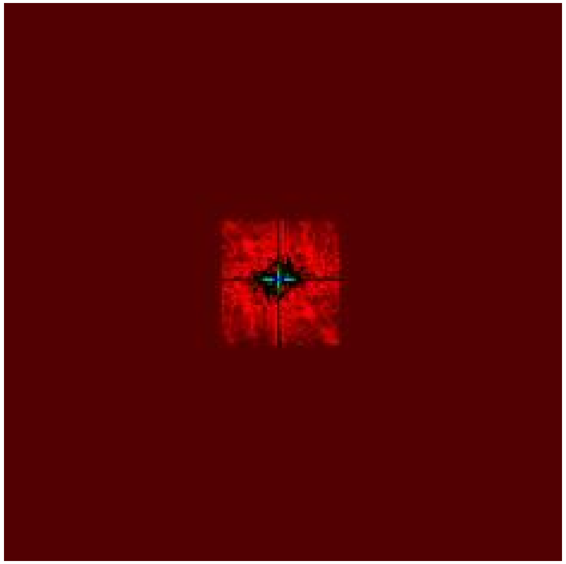
Jeżeli chcemy stworzyć w dziedzinie częstotliwości filtr górnoprzepustowy, czyli taki który uwypukli wszystkie nagłe zmiany intensywności w obrazie, musimy usunąć z widma obszar odpowiadający za niskie częstości. Zgodnie z właściwościami transformaty Fouriera musimy usunąć środek widma, tak jak na obrazie poniżej.

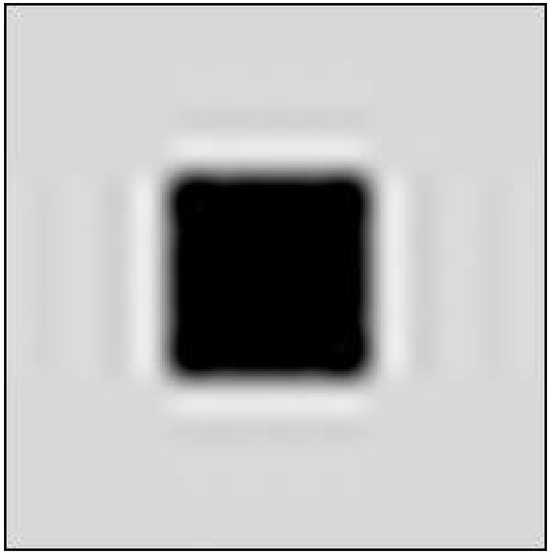




Filtr dolnoprzepustowy

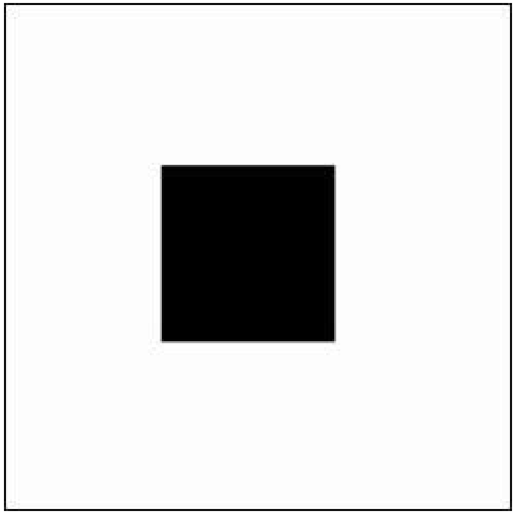
Filtr dolnoprzespustowy tworzymy dokładnie w odwrotny sposób, czyli wyrzucamy z widma obszar odpowiedzialny za wysokie częstości.

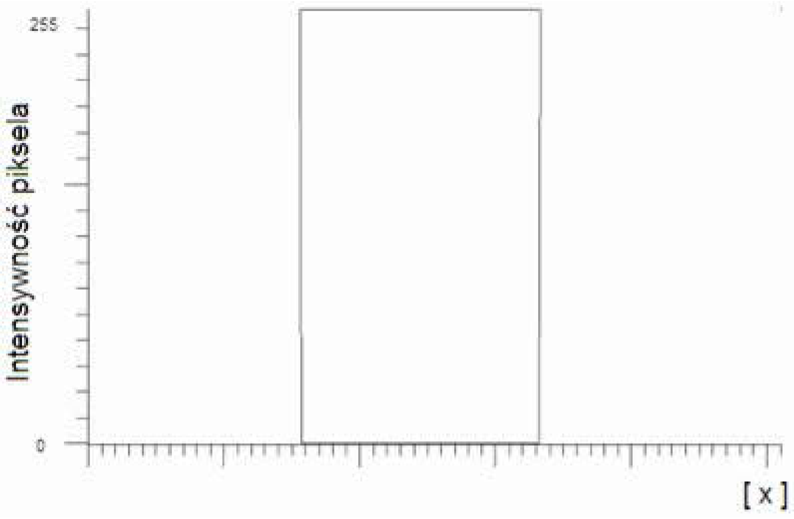




Działanie filtrów dolnoprzepustowych

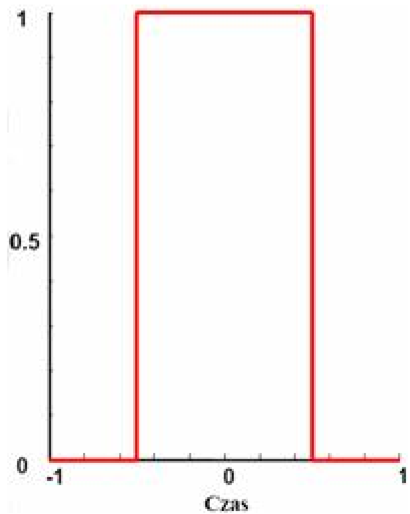
Poniżej zostaną przedstawione działania różnych filtrów dolnoprzepustowych. Żeby pokazać jak wpływają one na obraz przedstawione są także intensywności poszczególnych pikseli w przekroju poprzecznym obrazu kwadratu.

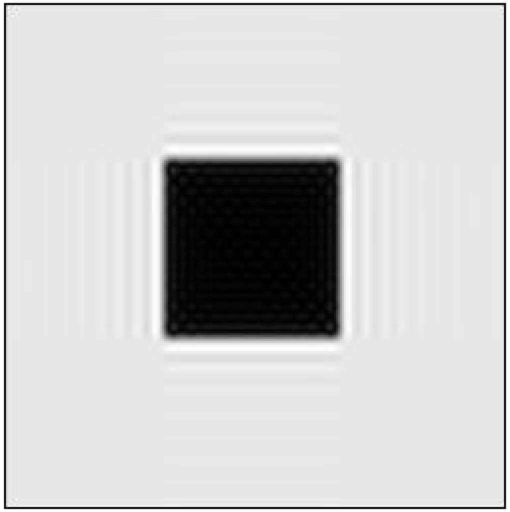


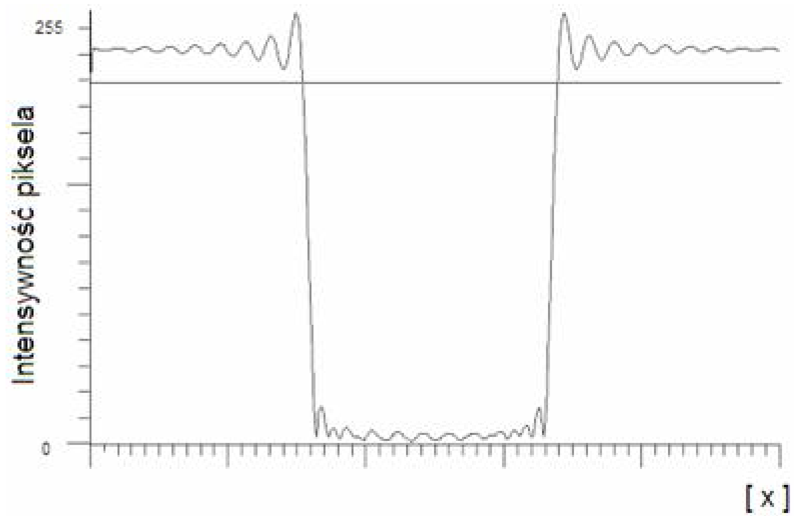


Obraz oryginalny

Okna w filtracji TF

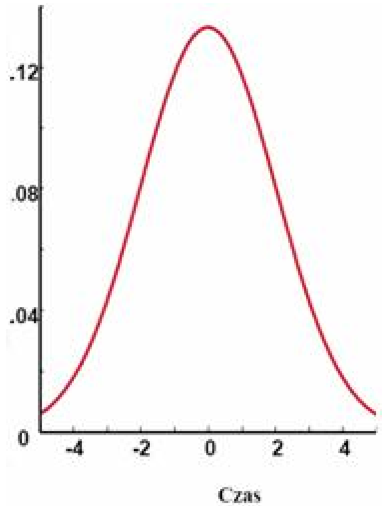


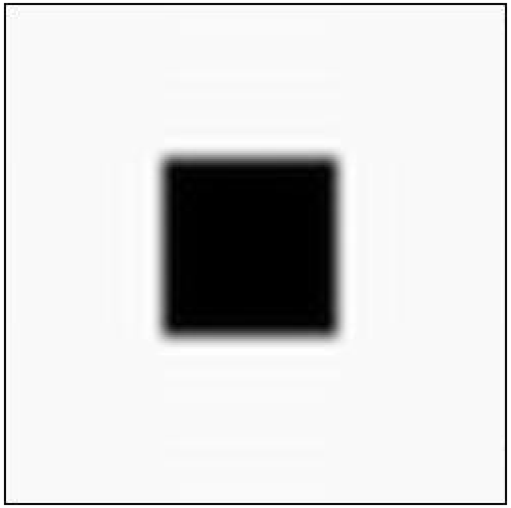


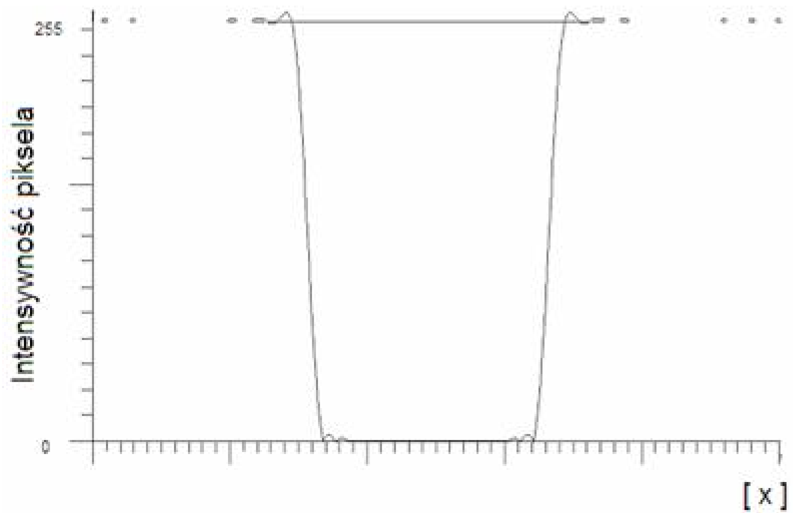


Filtr prostokątny

Okna w filtracji TF

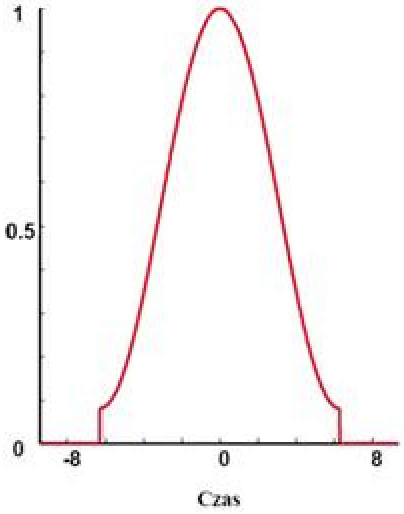


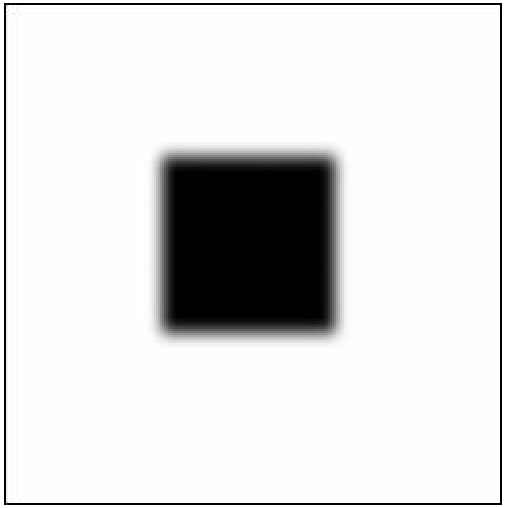


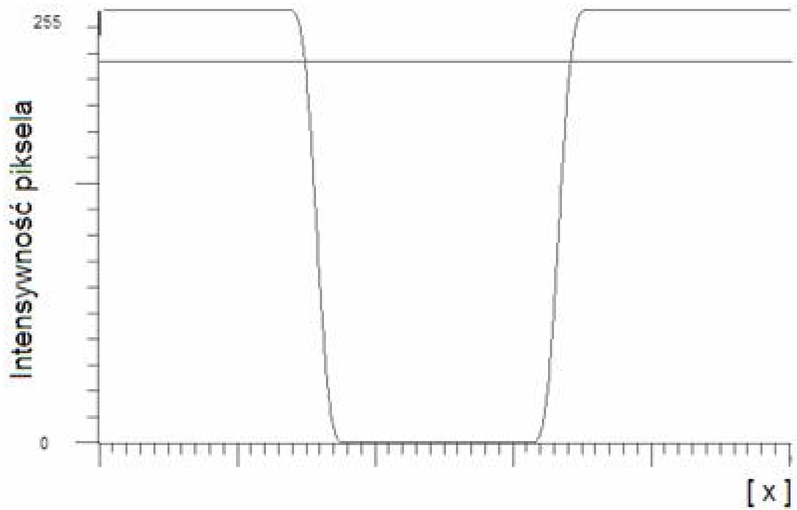


Filtr gaussowski

Okna w filtracji TF

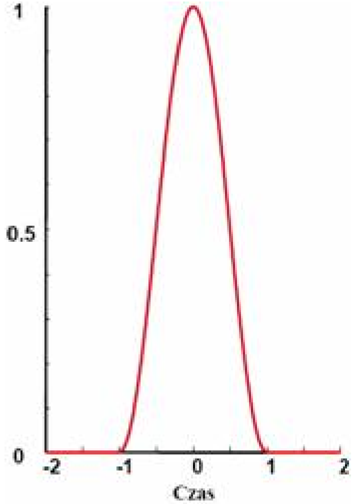


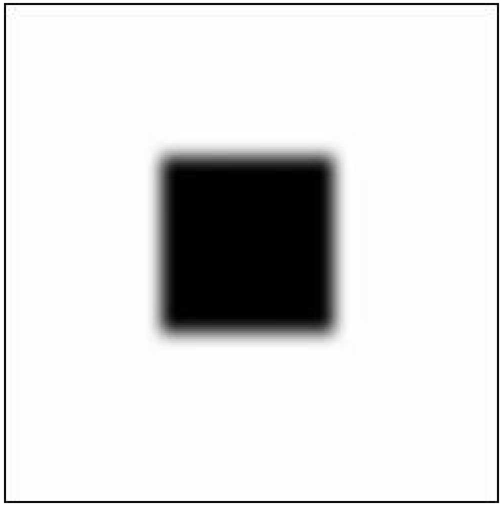


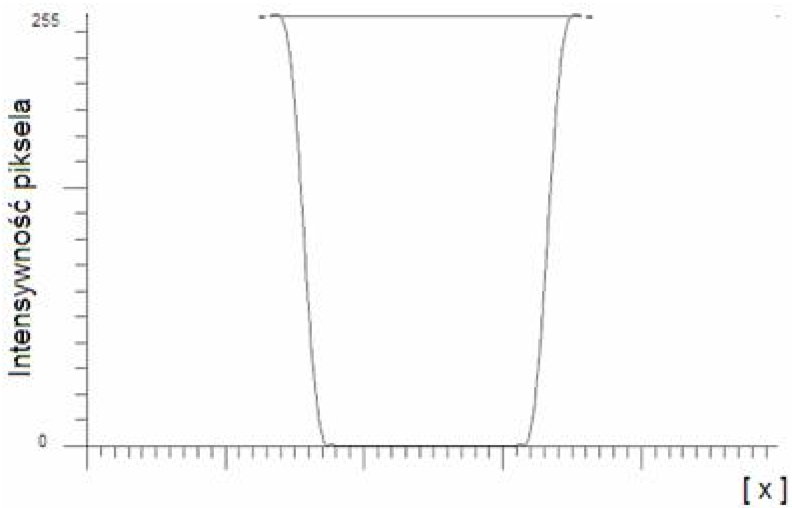


Filtr Hamminga

Okna w filtracji TF

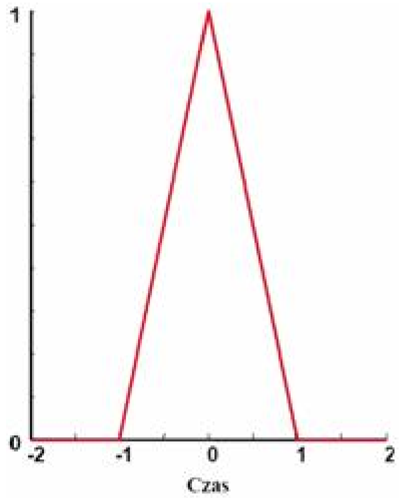


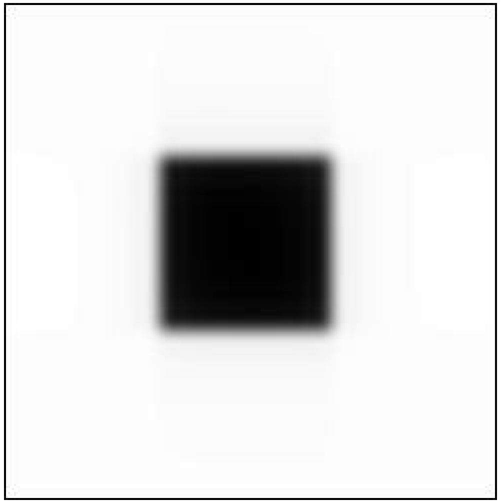


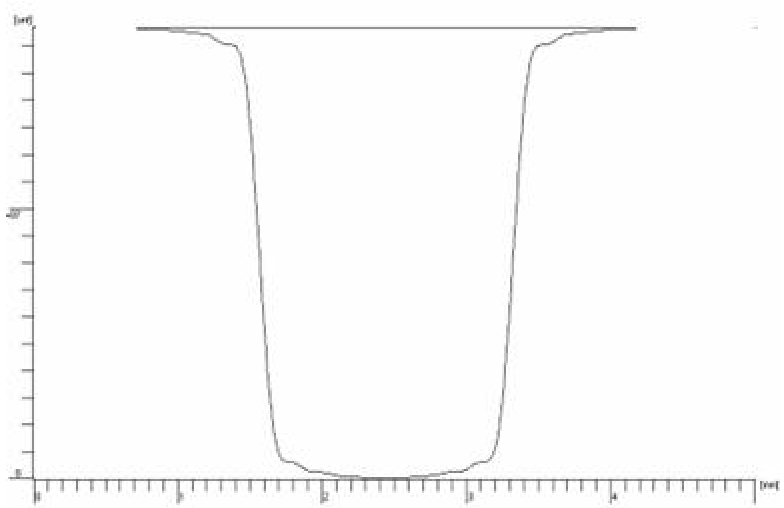


Filtr Bartletta

Okna w filtracji TF



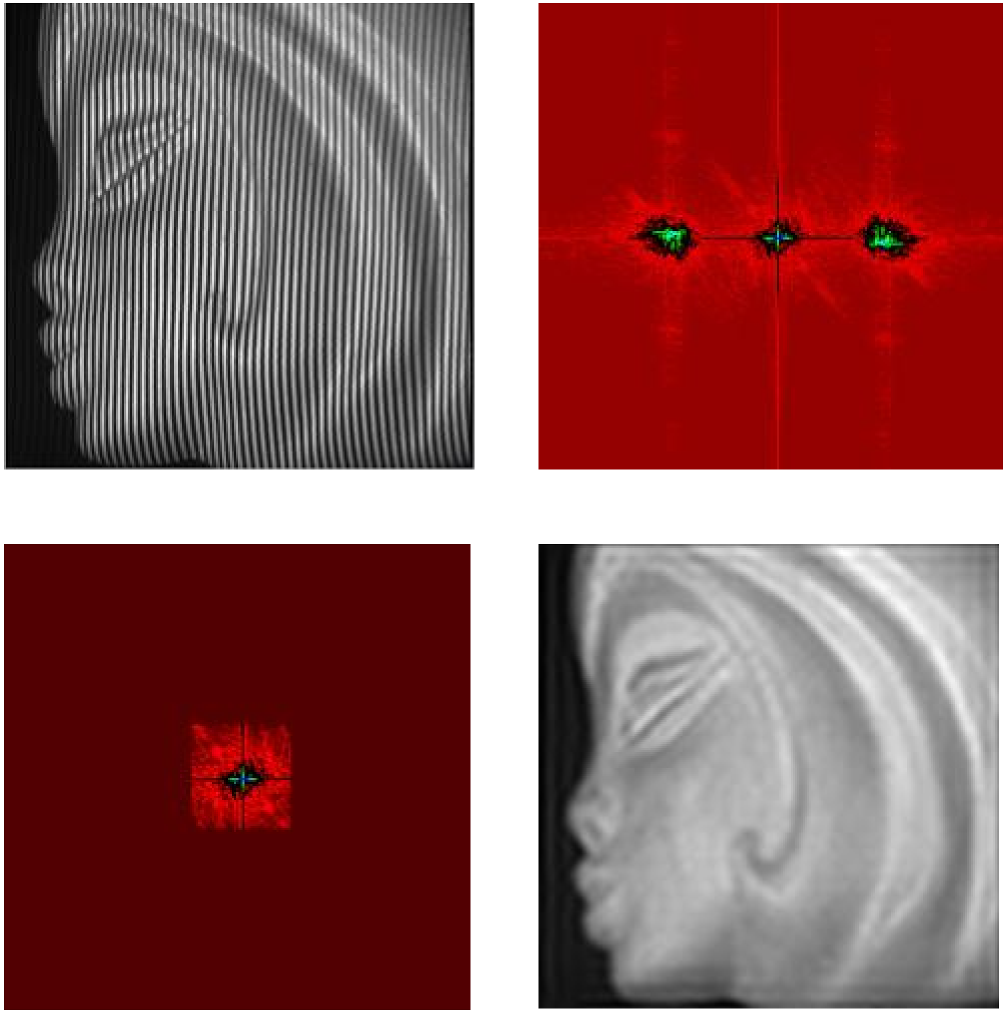




Usuwanie części informacji

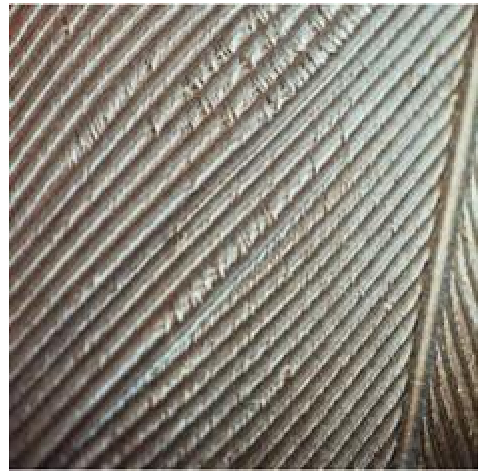
Filtr w dziedzinie częstotliwości mogą również służyć do bardziej zaawansowanych celów.

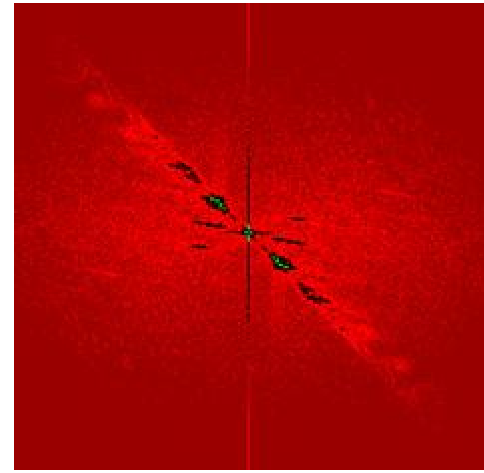
Za ich pomocą możemy np. usuwać z obrazu struktury o charakterze periodycznym tak jak na rysunku obok – fltr dolnoprzepustowy.

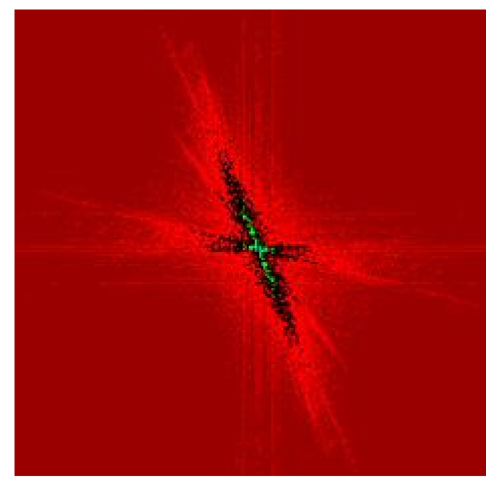


Usuwanie części informacji

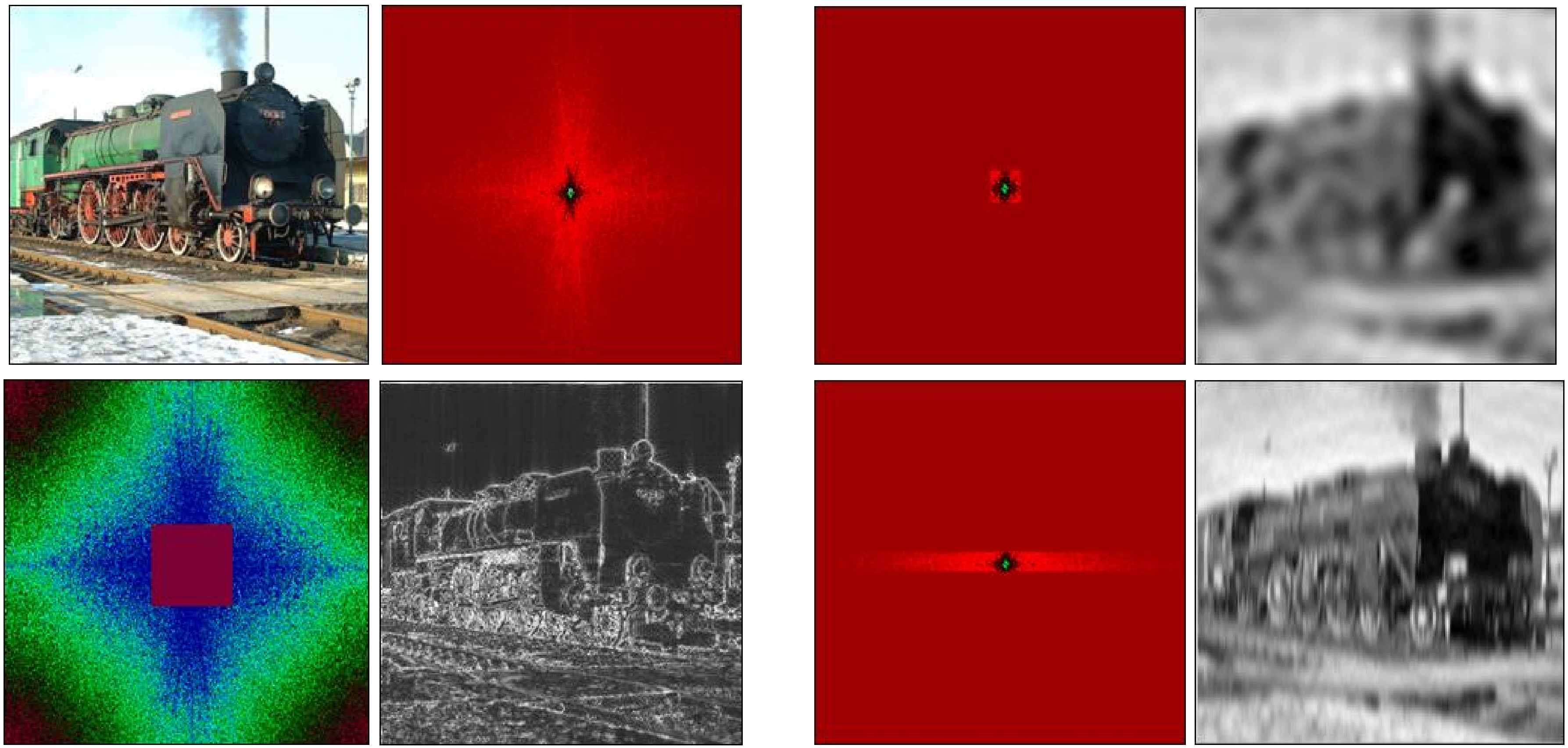
Na obrazach obiektów rzeczywistych periodycznych takie rozdzielenie jest o wiele trudniejsze, gdyż ich struktura jest bardziej nieregularna i nie jest zawsze oczywiste, którą część widma należy usunąć, by osiągnąć żądany efekt.







Przykłady zastosowania filtrów TF



Podsumowanie filtracji w pł. częstości przestrzennych

Ogólnie działanie na widmie stanowiącym globalną reprezentację obrazu jest znacznie trudniejsze i niesie ze sobą niebezpieczeństwo niekontrolowanego usunięcia z obrazu potrzebnej informacji.

Filtracja w płaszczyźnie obrazu jest trudna do automatyzacji w procesie przetwarzania obrazu i dlatego wiele handlowych systemów przetwarzania obrazu nie oferuje tej opcji.

Filtracja przestrzenna w prosty sposób może zwiększyć stosunek sygnału do szumu

PRZEKSZTAŁCENIA MORFOLOGICZNE

Przekształcenia morfologiczne pozwalają przeprowadzać na obrazie najbardziej złożone operacje, związane z:
- określeniem liczebności obiektów,
- ich analizą kształtu i wzajemnego rozmieszczenia obiektów,
- umożliwiają realizację złożonych procesów symulacji.

Przekształcenia morfologiczne, podobnie jak filtry, uwzględniają otoczenie każdego analizowanego punktu obrazu.
Jednak z tą różnicą, że w przypadku filtrów, punkty modyfikowane są zawsze, natomiast operacje morfologiczne działają tylko wtedy, gdy spełniony jest pewien warunek logiczny.
Inaczej mówiąc, otoczenie punktu poddawanego przekształceniu musi odpowiadać pewnemu wzorcowi struktury (maska), nazywanemu elementem strukturalnym z wyróżnionym jednym punktem, tzw. punktem centralnym.

0 0 0
0 1 0
0 0 0 Siatka kwadratowa

 0 0
0 1 0
 0 0 Siatka heksagonalna

Realizacja operacji morfologicznej

Realizacja przekształcenia morfologicznego polega na:

- **przyłożeniu centralnego punktu kolejno do wszystkich punktów obrazu;**
- **sprawdzeniu, czy lokalna konfiguracja punktów odpowiada tej, zapisanej w masce;**
- **wykonaniu, w przypadku zgodności konfiguracji punktów, operacji określonej dla danego przekształcenia.**

Zwykle jest to po prostu zmiana koloru lub odcienia danego punktu.

Przekształcenia morfologiczne są one zazwyczaj przekształceniami iteracyjnymi, czyli polegającymi na wielokrotnym powtarzaniu pewnego elementarnego ciągu operacji w odniesieniu do obrazu uzyskanego w wyniku operacji poprzedniej.

Przykłady operacji morfologicznych

Do najbardziej popularnych operacji morfologicznych należą:

- usuwanie szumu typu "sól i pieprz",
- dylatacja, erozja,
- zamykanie, otwieranie,
- szkieletyzacja.

Operacje morfologiczne wykonywane są najczęściej na obrazach binarnych.

Czasem zachodzi potrzeba wykorzystania ich dla obrazów wielobarwnych. Jednakże takie podejście jest o wiele bardziej złożone i wymaga o wiele większej mocy obliczeniowej.

Szum typu „pieprz”

$$\begin{array}{ccc} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{array} \qquad \begin{array}{ccccc} & 0 & & 0 & \\ 0 & & 1 & & 0 \\ & 0 & & 0 & \end{array}$$

X- piksel o dowolnej wartości

$$\begin{array}{ccc} 0 & 0 & 0 \\ X & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{array} \qquad \begin{array}{ccccc} & 0 & & 0 & \\ X & & 1 & & 0 \\ & 0 & & 0 & \end{array}$$

Filtracja sól i pieprz

Gdy w jednym z pikseli jest wartość X to ten punkt może mieć dowolną wartość "0" lub "1". Jest to równoważne z zastosowaniem dwóch osobnych masek .

$$\begin{array}{ccc} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{array} \quad \text{i} \quad \begin{array}{ccc} 0 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{array} \qquad\qquad \begin{array}{ccccc} & 0 & & 0 & \\ 0 & & 1 & & 0 \\ & 0 & & 0 & \end{array} \quad \text{i} \quad \begin{array}{ccccc} & 0 & & 0 & \\ 1 & & 1 & & 0 \\ & 0 & & 0 & \end{array}$$

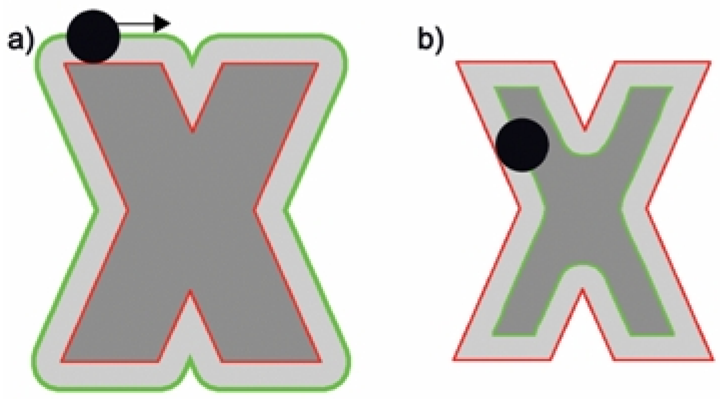
Filtracja sól i pieprz polega na usuwaniu z obrazu odosobnionych punktów jasnych (sól) i ciemnych (pieprz). W tym celu stosuje się kolejno maski pokazane poniżej.

$$\begin{array}{ccc} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{array} \qquad\qquad \begin{array}{ccc} 1 & 1 & 1 \\ 1 & 0 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \end{array}$$

sól   pieprz

Erozja i dylatacja

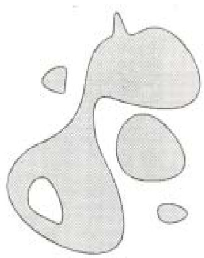
Najczęściej stosowanymi operacjami morfologicznymi są dylatacja (rys. A) i erozja (rys. B). Cały proces można łatwo wytłumaczyć na zasadzie przetaczania okręgu po obiekcie. Tor jego środka wyznacza nowy obiekt. W przypadku dylatacji okrąg przetaczany jest na zewnątrz, natomiast w przypadku erozji wewnątrz. Obie operacje mają ten sam parametr, czyli promień okręgu. Należy zwrócić uwagę, że te operacje zmieniają pole powierzchni figury, co zazwyczaj jest zjawiskiem niekorzystnym zarówno przy analizie jak i wizualizacji przetworzonego Microsoft Office Word 2003 obrazu.



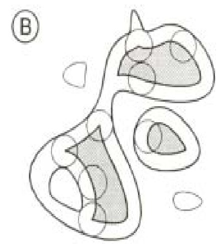
Erozja i dylatacja

Miarą wielkości erozji jest wielkość elementu strukturalnego (Erozję można zdefiniować jako działanie filtru minimalnego).

a) figura przed erozją



b) figura po erozji

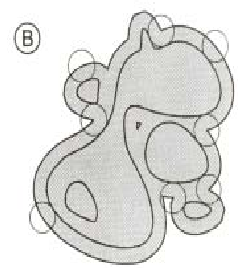


Dylatacja

= negatyw erozji negatywu obrazu → działanie filtru maksymalnego

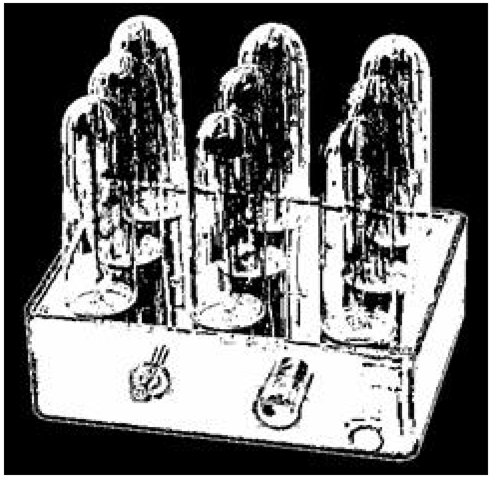
a) działanie przed dylatacją

b) figura po dylatacji

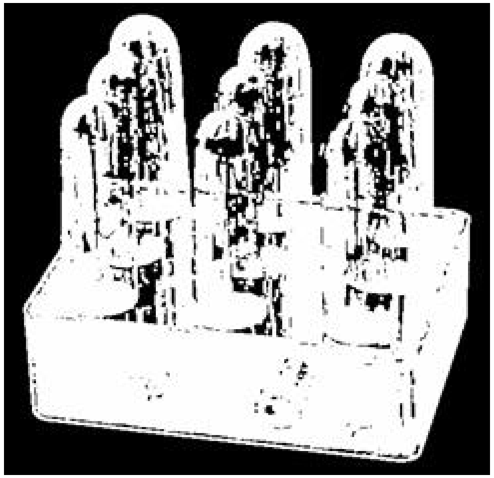


Dylatacja i erozja- przykład

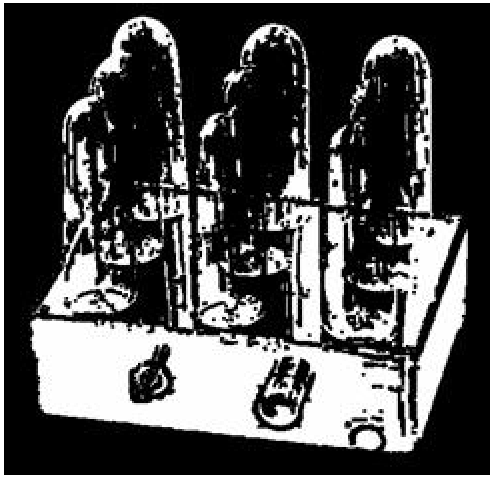
Przykład: wynik działania operacji dylatacji i erozji.



Obraz oryginalny



Obraz poddany dylatacji



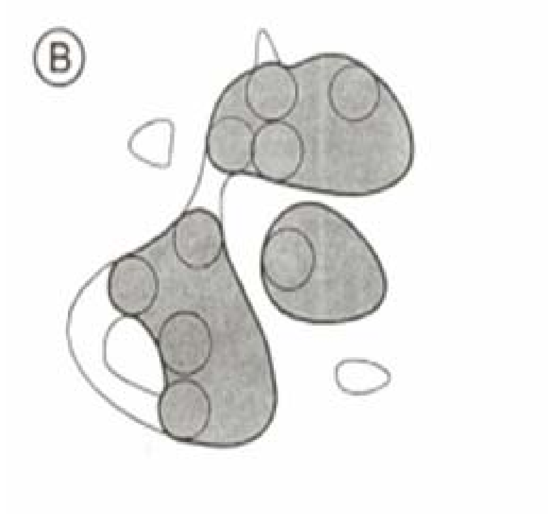
Obraz poddany erozji

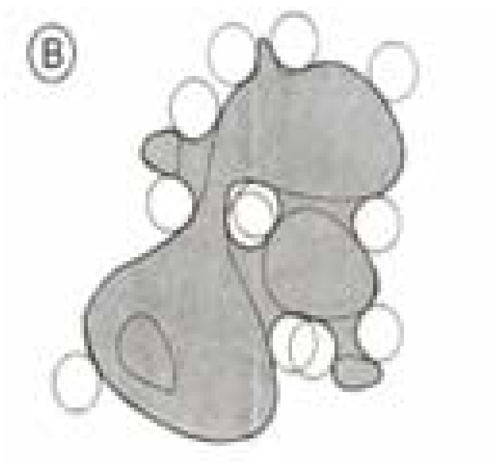
Proste filtry morfologiczne takie jak erozja i dylatacja wygładzają brzegi figur. Wadą ich jest to, że zmieniają pole powierzchni figury: erozja zmniejsza, dylatacja zwiększa. Istnieje zatem problem stworzenia takiego przekształcenia, które by wygładzało brzegi nie zmieniając przy tym wymiaru samej figury.

Otwarcie i zamknięcie

Otwarcie = erozja + dylatacja
Zamknięcie = dylatacja i erozja

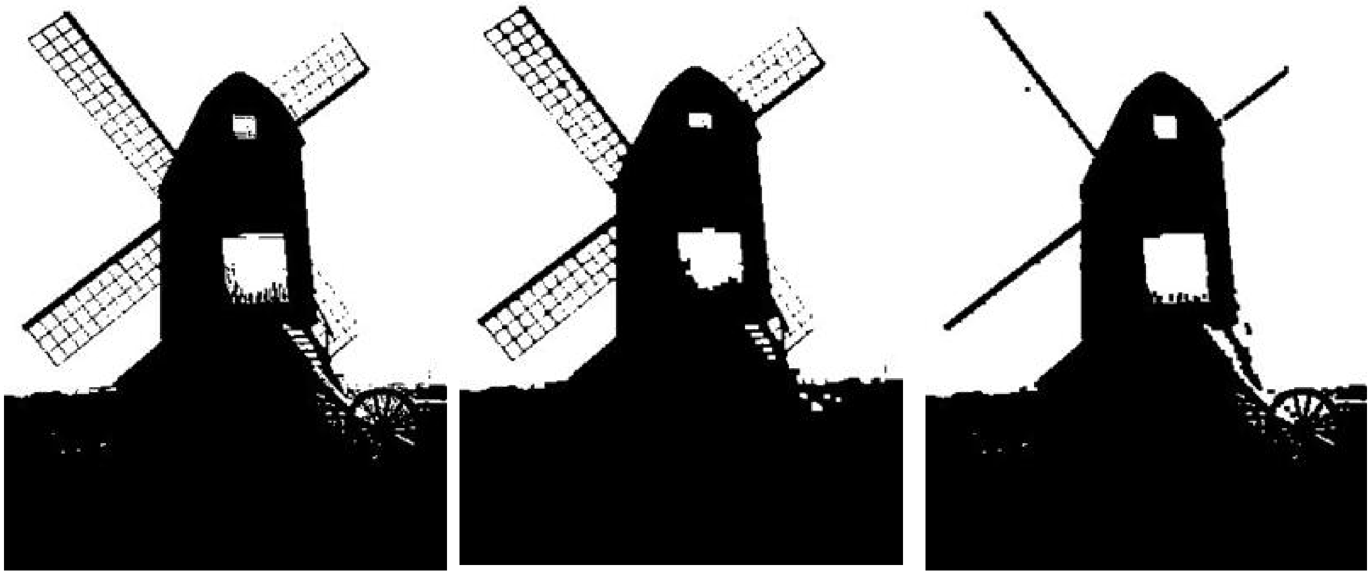
Operacja otwarcia usuwa z obrazu niewielkie obiekty i drobne szczegóły (półwyspy, wypustki) nie zmieniając w sposób znaczny wymiaru zasadniczej figury, może również rozłączyć niektóre obiekty, które lokalnie stykają się ze sobą .





Otwarcie i zamknięcie - przykład

- **Zamknięcie wypełnia drobne wcięcia i zatoki, może również posklejać niektóre cząstki**
- **Przekształcenia te nie zmieniają wymiaru ani kształtu dużych figur o gładkim brzegu.**

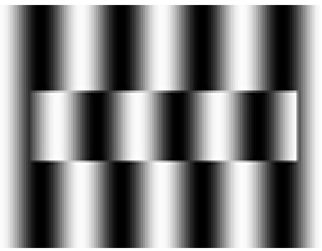


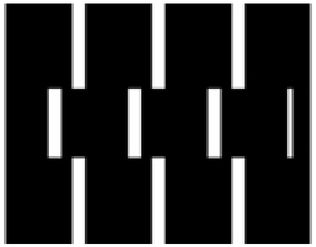
Szkieletyzacja

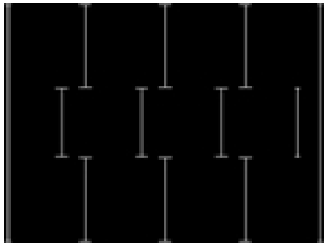
Szkieletyzacja jest operacją morfologiczną, której celem jest przygotować reprezentację obiektu w postaci szkieletu będącego linią o grubości jednego piksela.

Operacja ta przeprowadzane jest na obrazie binarnym poprzez tzw. sterowaną erozję. Erozja przeprowadzana jest iteracyjnie na wydzielonym obiekcie binarnym. Po każdym przejściu operacji erozji sprawdzane jest czy element strukturalny odpowiada linii o 1-no pikselowej grubości. Jeżeli tak to dalszy proces iteracji jest lokalnie zatrzymany.

Dodatkowym elementem strukturalnym należy chronić końce linii aby nie doszło do skrócenia szkieletu.







Szkieletyzacja - zastosowanie

Innym zastosowaniem szkieletyzacji jest identyfikacja linii papilarnych. W tym celu stosuje się poszukiwanie i zliczanie punktów, które spełniają warunki na elementy strukturalne tzw. punktów potrójnych (rozgałęzienia, puntów końcowych czy lokalnych pętli.

Przykłady - zadania

1. Sprawdź poprawność wykonania ścieżek na płytce obwodu drukowanego

2. Przelicz cząsteczki występujące w polu widzenia

3. Przedstaw w reprezentacji szkieletowej:
   - zadane prążki interferencyjne
   - psa/kota, postać człowieka

4. Przygotuj obraz do śledzenia markerów