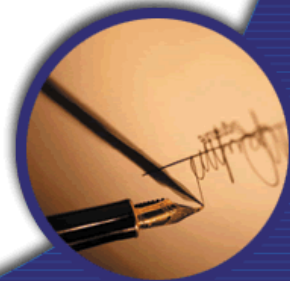


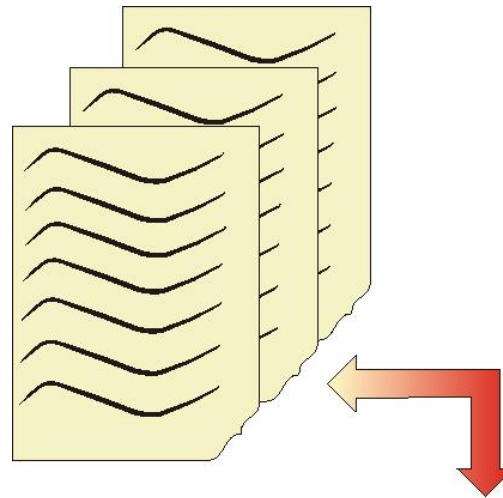
# Obraz i komputer

- Trzy dziedziny informatyki
  - Grafika komputerowa
  - Przetwarzanie obrazów
  - Rozpoznawanie obrazów
- Podział przede wszystkim ze względu na dane wejściowe i wyjściowe



# Grafika komputerowa

Dane wejściowe w formie  
Opisu, kodu itp.



Dane wyjściowe w postaci  
obrazu



# Przetwarzanie obrazu

Dane wejściowe: obraz

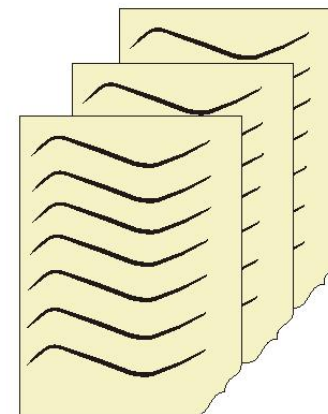


Dane wyjściowe: obraz

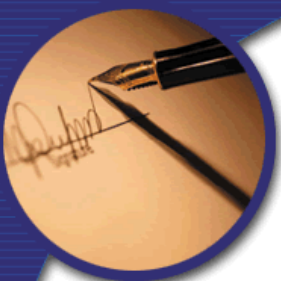


# Rozpoznawanie obrazu

Dane wejściowe: obraz

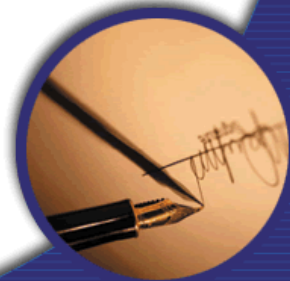


Dane wyjściowe: opis

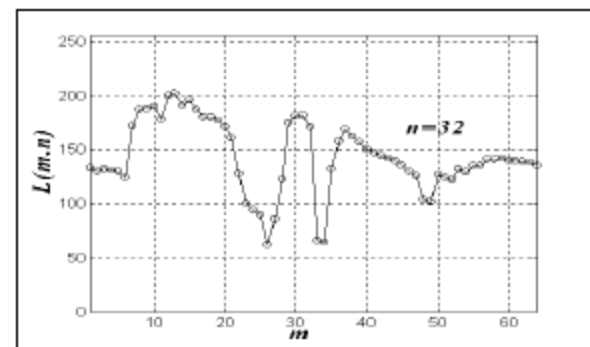
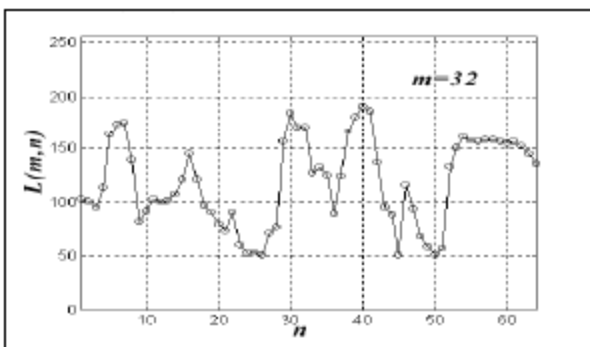
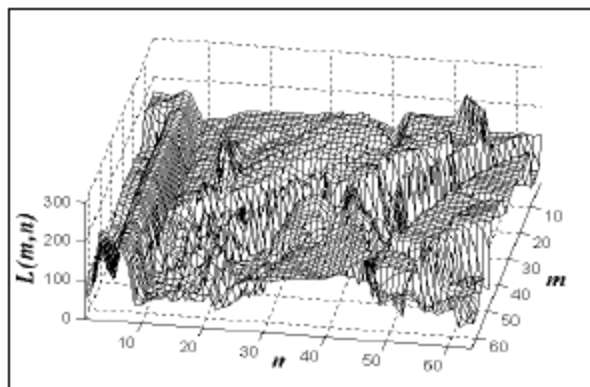
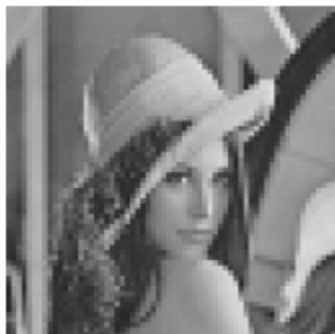


# Obraz rastrowy

- macierz  $M \times N$  (lub  $M \times N \times O$ )
- komórki macierzy nazywane są **pikselami (wokselami w 3D)**
- każdy piksel zawiera wektor (kanałów) opisujący kolor:
  - 1-bitowy dla obrazów binarnych
  - 1-elementowy dla obrazów monochromatycznych
  - 3-elementowy dla obrazów barwnych ([R G B], [H S V], [L a b], ...)
  - wieloelementowy dla obrazów multimodalnych
- różne są zakresy tych kanałów, np: [0-255] lub [0-1]

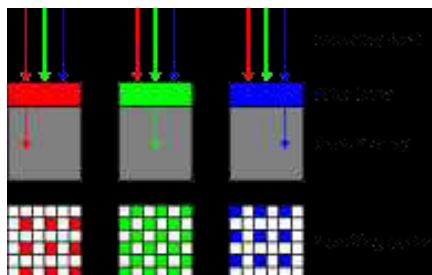
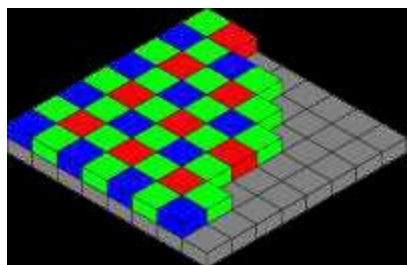


# Obraz jako funkcja



# Powstawanie obrazu cyfrowego

- pozyskiwanie obrazu w formie cyfrowej (kamery cyfrowe, ...)
- digitalizacja obrazów analogowych (skanery, ...)
- w obu przypadkach źródłem jest „w przybliżeniu” *coś analogowego*
- światło jest reprezentowane przez fotony – dualizm korpuskularno-falowy
- matryce światłoczułe (głównie CCD lub CMOS)
  - złożone, 3 kolory na 1 chipie, tańsze
  - monochromatyczne (po rozdzieleniu kolorów), droższe, wyższa jakość obrazu



Filtr Bayera na matrycy złożonej.

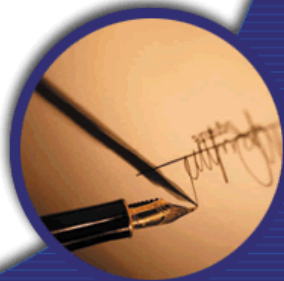
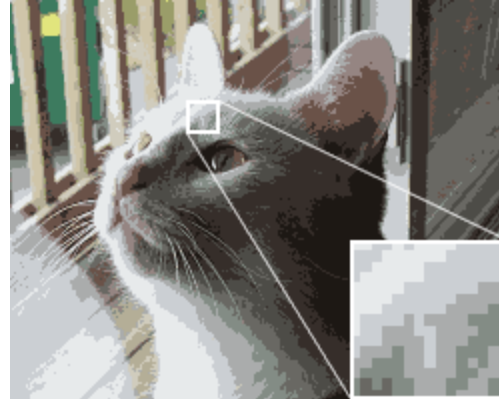
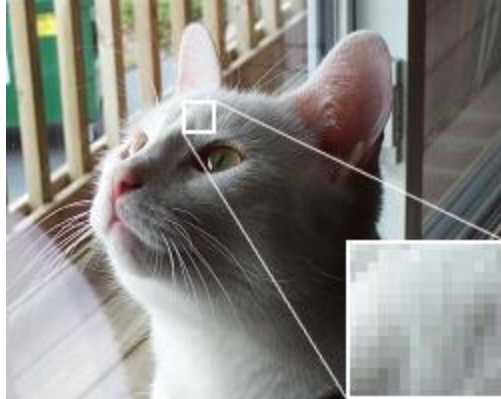
Kolor zielony przenosi większość informacji o luminancji.

Obraz finalny jest interpolowany z takiej matrycy.



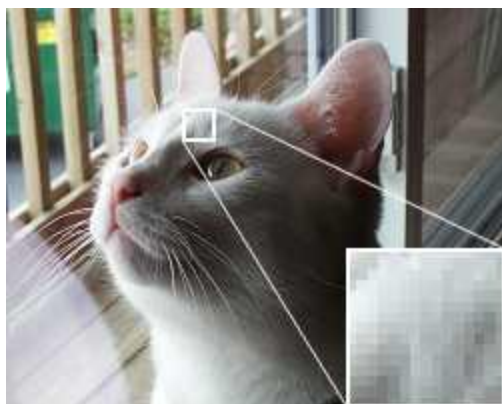
# Kwantyzacja kolorów

- działanie polegające na zmniejszeniu liczby kolorów w obrazie rastrowym przy zachowaniu jak najmniejszych błędów. Ma na celu czytelną prezentację obrazów zawierających dużą liczbę kolorów



# Dithering - rozpraszanie

- Symulacja większej liczby kolorów niż ich rzeczywista liczba (paleta) przez złożenie wzorca z istniejących kolorów
- Również „złagodzenie” krawędzi (przejścia kolorów)
- Ma zastosowanie np. w druku lub w hafciarstwie



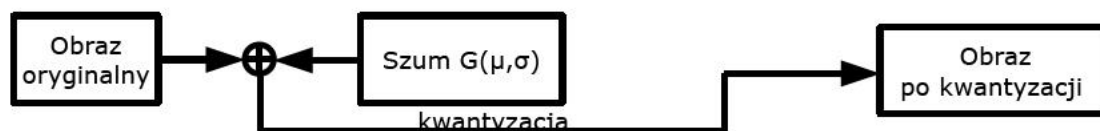
Złagodzenie przejścia przy użyciu większej liczby kolorów

# Rozsiewanie losowe

Czasami wystarczy przed kwantyzacją dodać do obrazu losowy szum o rozkładzie Gaussa ( $\mu=0, \sigma=M/(4q)$ )

gdzie:  $M$  – maksymalna wartość intensywności (zwykle 255)

$q$  – liczba bitów kolorów w skwantyzowanym obrazie



16 kolorów

8 kolorów

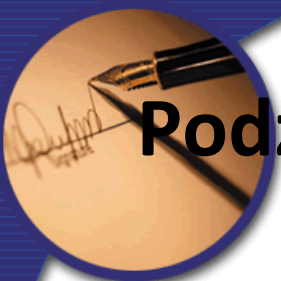
4 kolory

kwantyzacja  
bez szumu



kwantyzacja  
po dodaniu szumu

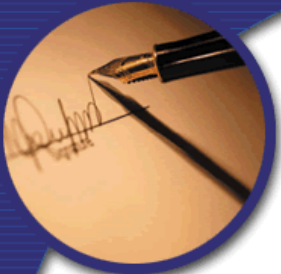




# Podział i ogólna charakterystyka algorytmów przetwarzania obrazu

- przekształcenia geometryczne;
- przekształcenia punktowe (bezkontekstowe);
- przekształcenia kontekstowe (filtry konwolucyjne, logiczne i medianowe);
- przekształcenia widmowe (wykorzystujące transformację Fouriera);
- przekształcenia morfologiczne





# Operacje bezkontekstowe

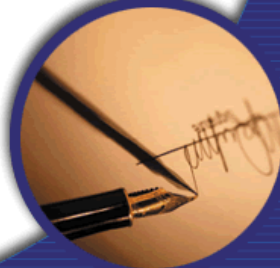
- przekształcają obraz/obrazy na inne obrazy

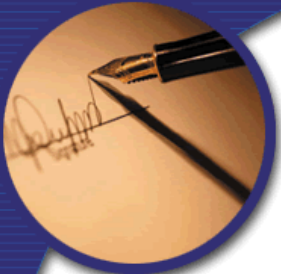
$$I \Rightarrow J \quad |x|x...x| \Rightarrow J$$

- operacje na pojedynczych pikselach obrazu

$$I(x,y) \Rightarrow J(x,y)$$

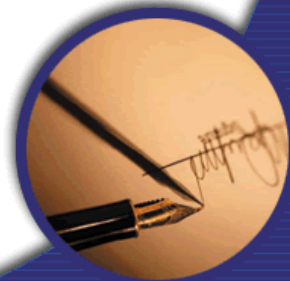
- **otoczenie przetwarzanego piksela nie ma wpływu na operację**
- wszystkie piksele o jednakowej intensywności są traktowane identycznie
- służą różnym celom:
  - poprawa jakości obrazu (kontrastu, jasności)
  - wydobywanie, uwypuklenie pewnych cech
  - zmiana histogramu
  - zmiana kolorów
  - arytmetyka na obrazach (dodawanie, odejmowanie)
  - korekcja Gamma





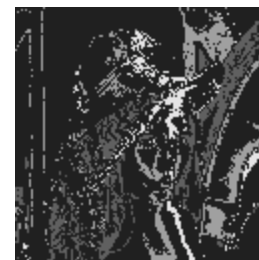
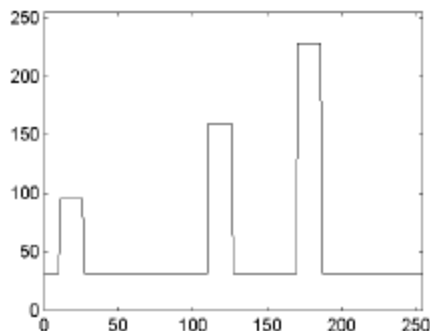
# Operacje bezkontkwestowe

- Modyfikowana jest jedynie wartość (np. stopień jasności) poszczególnych punktów obrazu. Relacje geometryczne pozostają bez zmian.
- Jeżeli wykorzystywana jest funkcja ściśle monotoniczna (rosnąca lub malejąca), to zawsze istnieje operacja odwrotna, sprowadzająca z powrotem obraz wynikowy na wejściowy. Jeżeli zastosowana funkcja nie jest ściśle monotoniczna, pewna część informacji jest bezpowrotnie tracona.
- Operacje te mają za zadanie jedynie lepsze uwidocznienie pewnych treści już zawartych w obrazie. Nie wprowadzają one żadnych nowych informacji do obrazu.



# Operacje bezkontekstowe - przykład

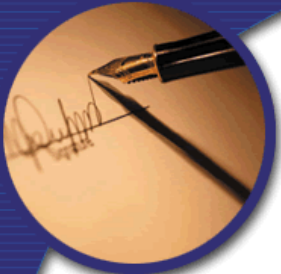
Transformacja polegająca na uwidocznieniu na wynikowym obrazie wyłącznie niektórych poziomów szarości źródłowego obrazu – z pominięciem wszystkich innych.



Proszę o wypłacenie panu Ry  
kwoty 92800 złotych

Proszę o wypłacenie panu Ry  
kwoty 92800 złotych



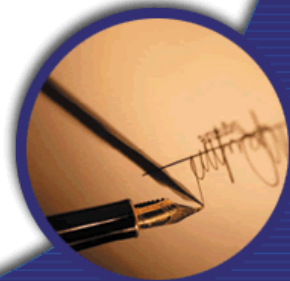


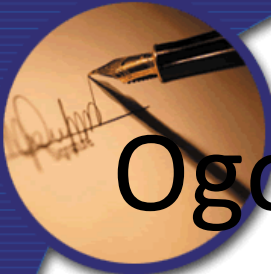
# Wady stosowanej metody

Wadą omówionych wyżej odwzorowań punktowych, wykorzystujących głównie arbitralnie określane przez badacza przekodowanie stopni szarości obrazu, jest to, że reguła przekształcenia musi być każdorazowo wymyślona przez osobę analizującą obraz - a to w ogólnym przypadku wcale nie jest łatwe.

Źródłowy obraz zawiera punkty mające 256 rozróżnialnych poziomów szarości – skąd się w tej sytuacji dowiedzieć, które poziomy należy wzmocnić, a które osłabić?

Możliwych kombinacji może być bardzo wiele i można znaczną część życia spędzić na bezowocnym poszukiwaniu tej właściwej.





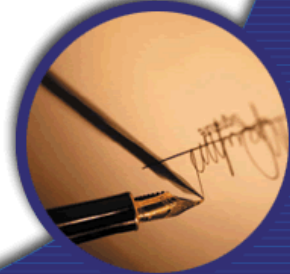
# Ogólne polepszenie jakości obrazu

Dla ogólnego polepszenia jakości obrazu (bez określania z góry, czego się na obrazie szuka) można użyć następujących dwóch wygodnych przekształceń:

**Normalizacja** - polegająca na sprowadzeniu przedziału zmian

wartości punktów wyjściowego obrazu do pewnego, ustalonego zakresu.

Operacja ta zazwyczaj poprzedza lub kończy inne przekształcenia obrazu (w szczególności arytmetyczne).



# Ogólne polepszenie jakości obrazu

**Modulacja (korekcja) gamma** - mająca za zadanie redukcję nadmiernego kontrastu obrazu wyjściowego. Wykorzystywana funkcja ma postać:  $x \rightarrow xy$ , gdzie:  $\gamma$  - stały wykładnik, zazwyczaj liczba naturalna.



$$Image(x, y) \Rightarrow 255 \cdot \left( \frac{Image(x, y)}{255} \right)^\gamma$$

- bardzo częsta operacja dostosowywania kolorów do nieliniowej charakterystyki monitorów CRT
  - gamma monitorów CRT ok. 2.2
  - korekcja gamma  $1/2.2$

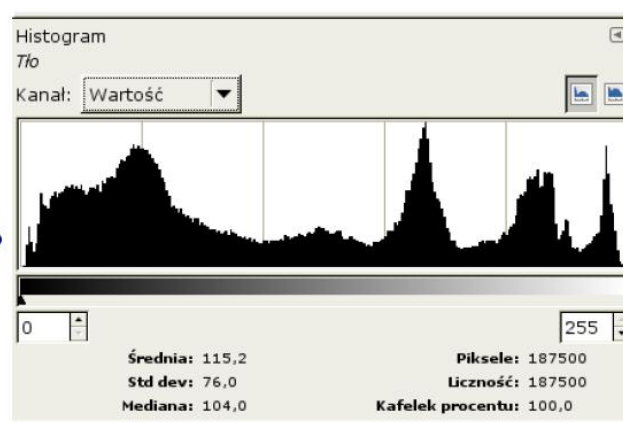
# Histogram obrazu

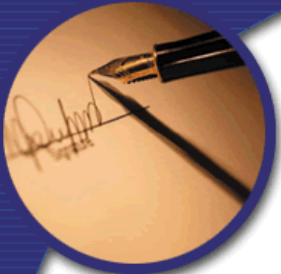
- wykres obrazujący, ile pikseli o każdej intensywności jest w obrazie
- w osi *OX* odłożone są wszystkie możliwe intensywności w obrazie
- pozycja *Y* punktu (wysokość słupka) jest proporcjonalna do liczby pikseli obrazu o intensywności *X*

$$h(i) = \sum_{m=0}^{M-1} \sum_{n=0}^{N-1} p(i / (m,n)) \quad i = 0, 1, \dots, 2^B - 1$$

gdzie

$$p(i / (m,n)) = \begin{cases} 1 & \text{gdy } L(m,n) = i \\ 0 & \text{w przeciwnym przypadku} \end{cases}$$





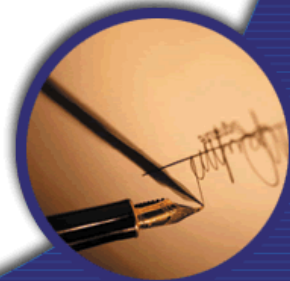
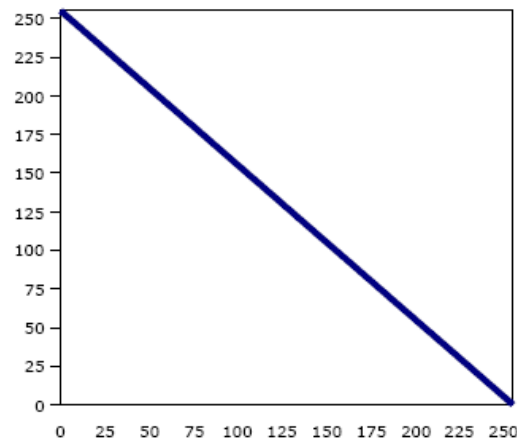
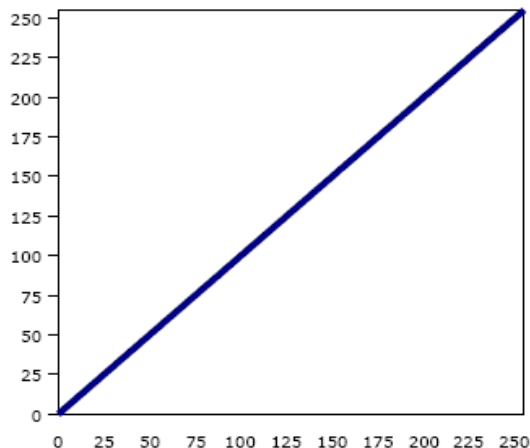
# Zmiana wartości piksela

- definiuje operacje bezkontekstowe przykładowa LUT
- tablica określająca wartość piksela po operacji

$$I(x,y) \Rightarrow LUT(I(x,y))$$

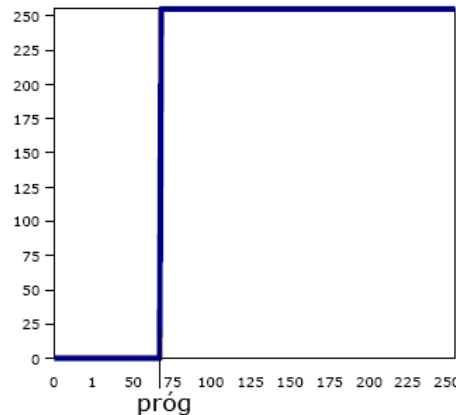
| piksel | f(piksel) |
|--------|-----------|
| 0      | 13        |
| 1      | 34        |
| 2      | 234       |
| ...    | ...       |
| 254    | 11        |
| 255    | 255       |

LUT operacji tożsamościowej

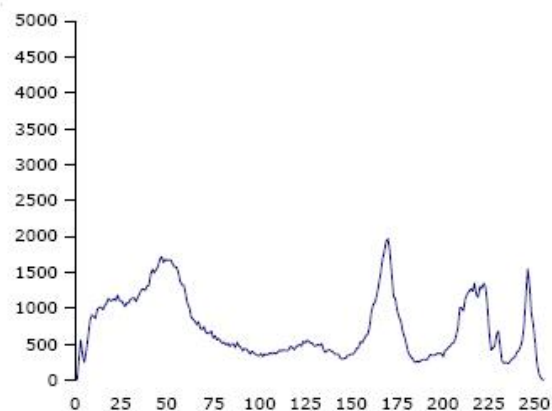
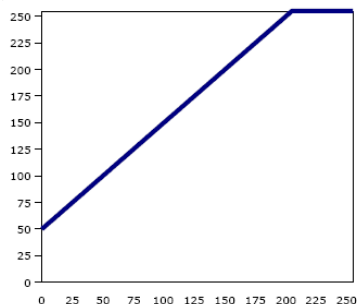


# Progowanie

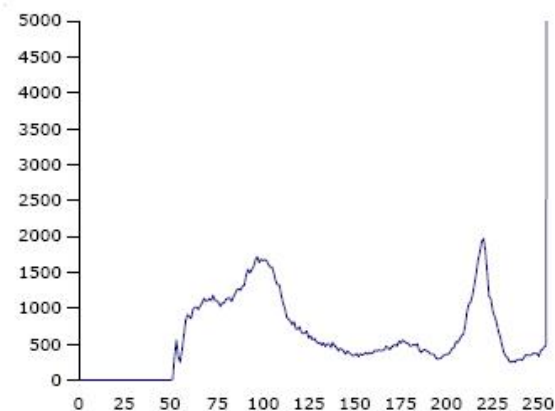
$$Image(x, y) \Rightarrow \begin{cases} 0 & \text{jeżeli } Image(x, y) < próg \\ 255 & \text{jeżeli } Image(x, y) \geq próg \end{cases}$$



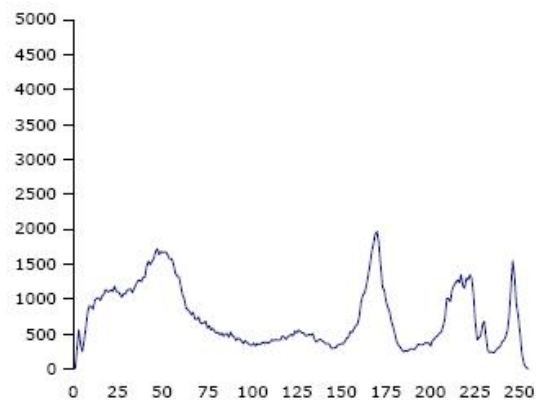
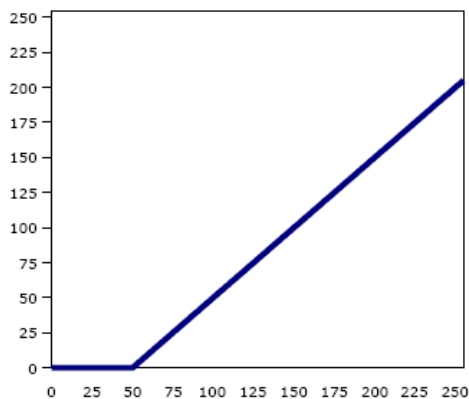
# Rozjaśnianie



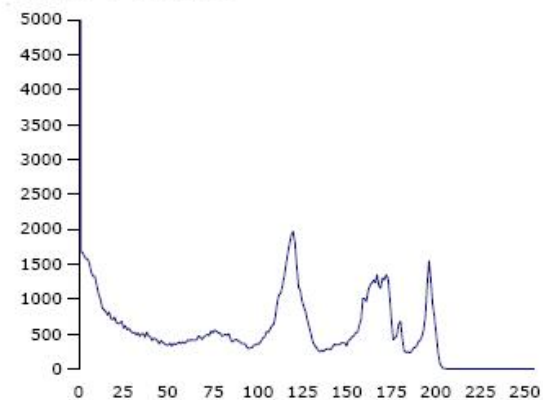
skala Y obcięta

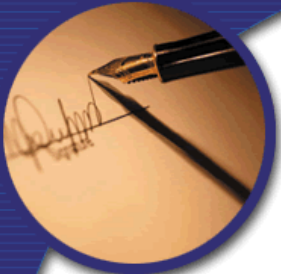


# Przyciemnianie



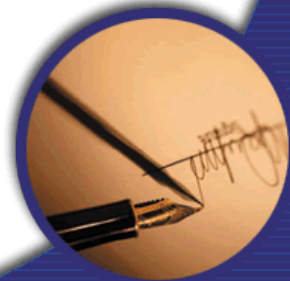
skala Y obcięta

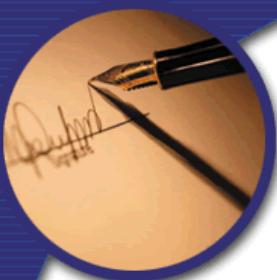




# Utrata informacji

- Przy zmianie jasności mogą zostać ucięte wartości niektórych pikseli (najczęściej wartości skrajne)
- Jest to bezpowrotna utrata informacji



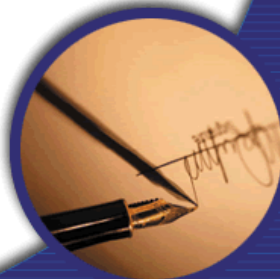


# Wyrównywanie histogramu

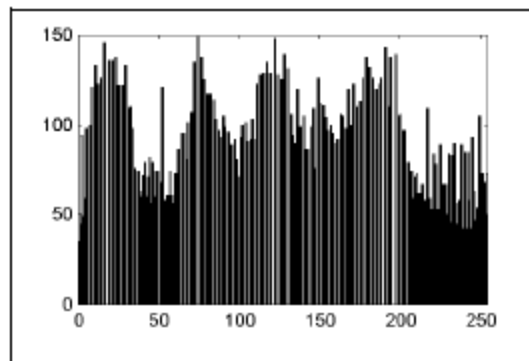
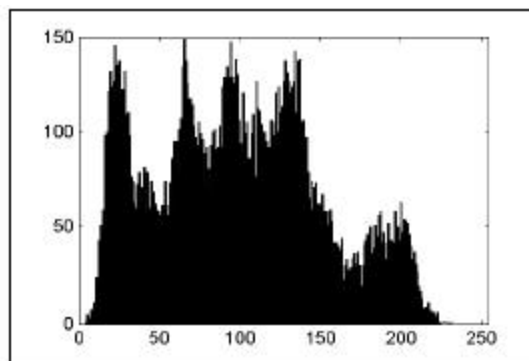
Operacja ta polega na zmianie położenia (wzdłuż poziomej osi, odpowiadającej stopniom szarości poszczególnych pikseli) kolejnych słupków, zawierających zliczenia liczby pikseli o danej szarości.

Kryterium, jakie jest stosowane przy tym przesuwaniu jest następujące. Jeśli założymy, że dla pewnych liczb całkowitych  $m$  i  $n$  należących do dziedziny funkcji  $h(i)$  spełniony jest warunek  $h(m) > 0$  i  $h(n) > 0$  i równocześnie  $h(i) = 0$  dla wszystkich  $m < i < n$ , to wówczas należy tak przemieszczać punkty  $m$  i  $n$ , by minimalizować wartość  $Q$  wyznaczaną ze wzoru:

$$Q = \left| \frac{\sum_{i=0}^{2^B-1} h(i)}{2^B - 1} - \frac{h(m)}{n - m} \right|$$

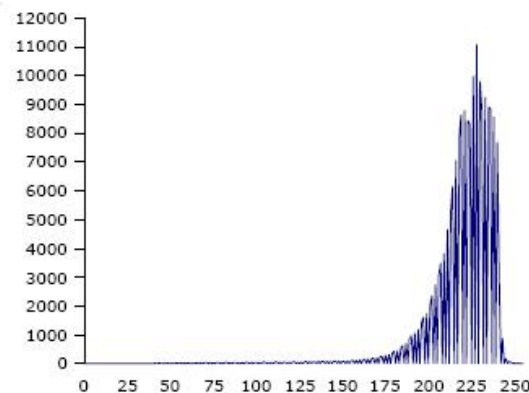
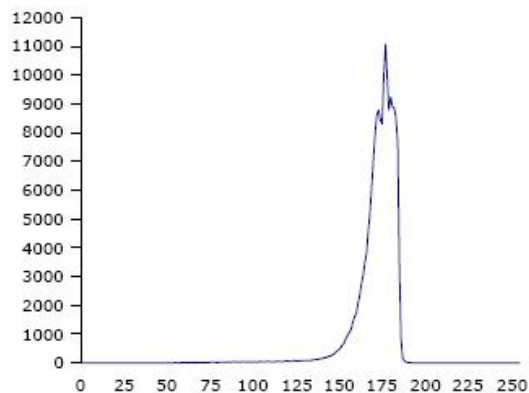
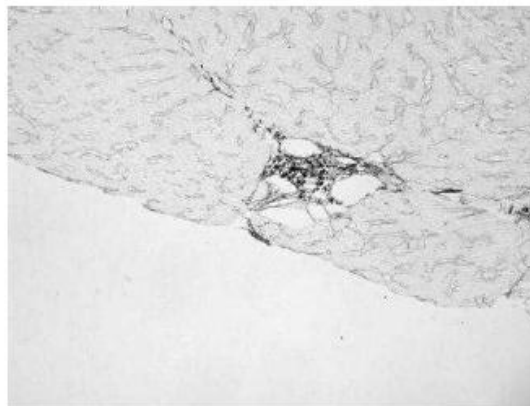
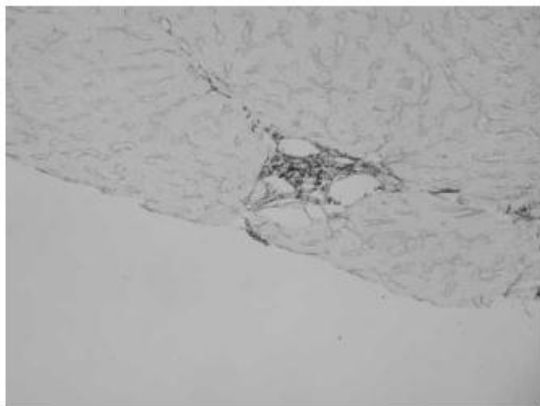


# Wyrównywanie histogramu

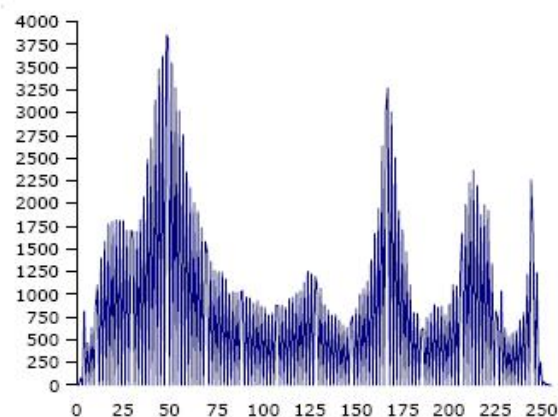
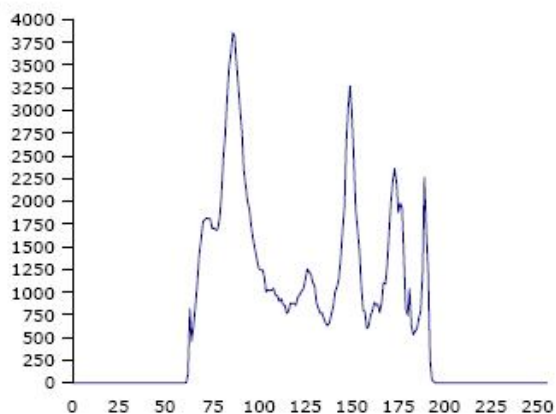


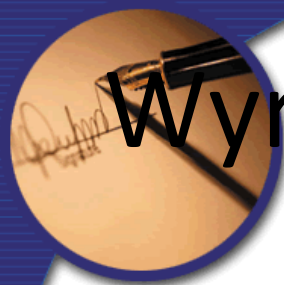
# Rozciągnięcie histogramu

$$I(x, y) \Rightarrow (I(x, y) - \min) \cdot \frac{255}{\max - \min}$$



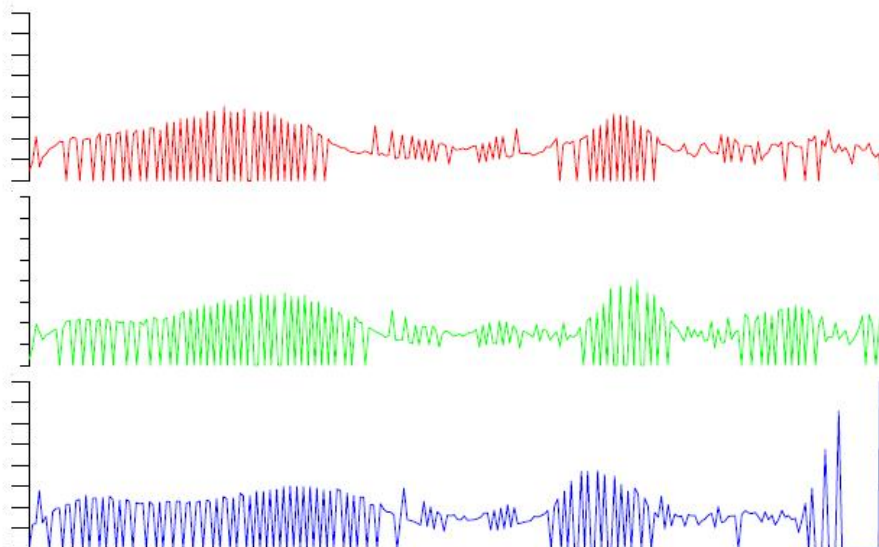
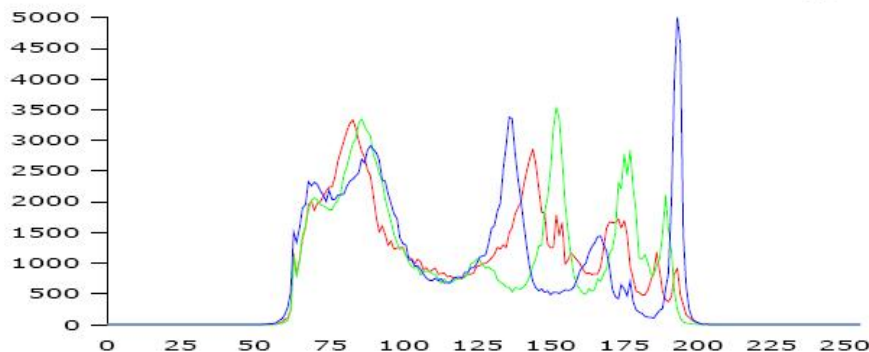
# Rozciągnięcie histogramu





# Wyrównywanie histogramu obrazu RGB

- Każdy kanał wyrównywany jest niezależnie



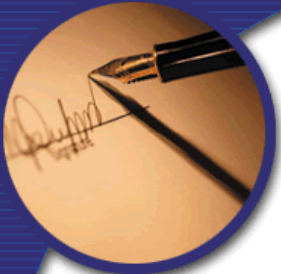
# Negatyw obrazu kolorowego

każdy kanał z RGB odwracany jest niezależnie

$$Image(x,y,kanał) = 255 - Image(x,y,kanał)$$

- operacja bezstratna – odwracalna





# Balans kolorów

- balans kolorów (skala każdego z kanałów RGB) decyduje o naturalności kolorów (zgodnością z percepcją człowieka w świetle naturalnym)
- różne oświetlenie zmienia balans kolorów, konieczna jest korekcja balansu
- w prostych urządzeniach odbywa się to poprzez „korekcję balansu bieli”
  - mierzy się kolor wzorcowej bieli w danym oświetleniu ( $R0$ ,  $G0$ ,  $B0$ )
  - wszystkie kolory modyfikuje się wg równania macierzowego

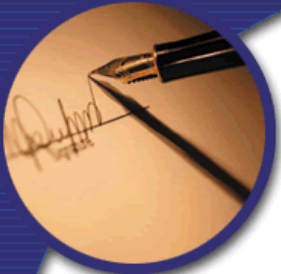
$$[R] [255/R0 \ 0 \ 0] [R]$$

$$[G] \Rightarrow [0 \ 255/G0 \ 0] * [G]$$

$$[B] [0 \ 0 \ 255/B0] [B]$$

- w bardziej zaawansowanych urządzeniach wykonuje się kalibrację kolorów wg tablicy kolorów wzorcowych – zależności są bardziej złożone niż powyżej



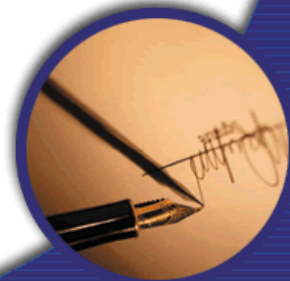


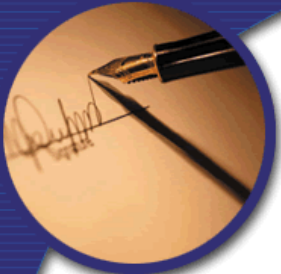
# Arytmetyka obrazów

- z dwóch lub więcej obrazów powstaje jeden wynikowy
- zwykle stosowana do obrazów w skali szarości lub binarnych (ale nie tylko)

*Image1(x,y) x Image2(x,y) => Image1(x,y) operation Image2(x,y)*

- dodawanie obrazów
- odejmowanie obrazów
- mnożenie obrazów
- dzielenie obrazów
- operacje bitowe (OR, AND, XOR, NOT)





# Dodawanie obrazów

- efekt podwójnej ekspozycji

$$Image(x,y) = Image1(x,y) + Image2(x,y)$$

lub

$$Image(x,y,kanal) = Image1(x,y,kanal) + Image2(x,y,kanal)$$

- może pojawić się problem z wartościami powyżej maksymalnej wartości
- różne sposoby poradzenia sobie z tym zjawiskiem:

– przeskalowanie obrazu wynikowego do oryginalnej skali

$$Image(x,y) = ( Image1(x,y) + Image2(x,y) ) / 2$$

– ustawienie wartości przekraczających *maks* na *maks*

$$Image(x,y) = \min( maks, Image1(x,y) + Image2(x,y) )$$

– efekt cykliczności – wartość wynikowa modulo *maks*

$$Image(x,y) = ( Image1(x,y) + Image2(x,y) ) \% 256$$

- zastosowania:

– efekt artystyczny

– nakładanie tekstur

– usuwanie szumu poprzez uśrednianie (dodanie proporcjonalne) kolejnych obserwacji tej samej sceny

– uwypuklenie pewnych cech po dodaniu ich obrazu

(np. wyostanie przez dodanie krawędzi)

– dodanie stałej wartości rozjaśnienia obraz



# Proporcjonalne dodawanie obrazów

$$Image(x,y) = ( Image1(x,y) + Image2(x,y) ) / 2$$

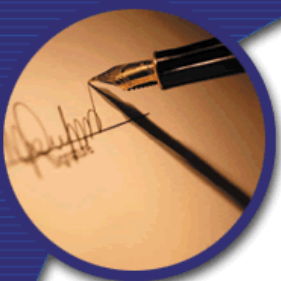


+



=





# Odejmowanie obrazów

$$Image(x,y) = Image1(x,y) - Image2(x,y)$$

lub

$$Image(x,y,kanal) = Image1(x,y,kanal) - Image2(x,y,kanal)$$

- może pojawić się problem z wartościami ujemnymi
- różne sposoby poradzenia sobie z tym zjawiskiem:
  - wartość bezwzględna różnicy

$$Image(x,y) = | Image1(x,y) - Image2(x,y) |$$

- ustawienie wartości ujemnych na 0

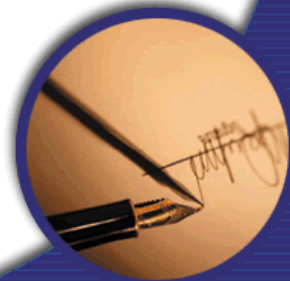
$$Image(x,y) = \max(0, Image1(x,y) - Image2(x,y))$$

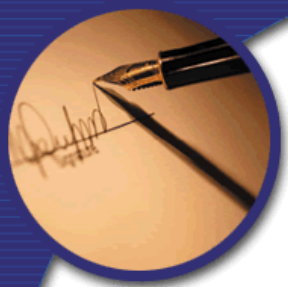
- efekt cykliczności – wartość wynikowa modulo *maks*

$$Image(x,y) = ( Image1(x,y) - Image2(x,y) + 256 ) \% 256$$

- zastosowania:

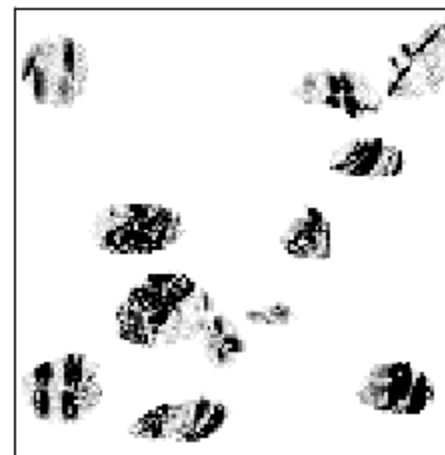
- obrazy różnicowe – wyodrębnianie różnic między obrazami podobnych obiektów lub tego samego obiektu w na różnych obrazach
- odejmowanie od obrazu niejednorodnego tła – w sytuacji gdy np. oświetlenie przy akwizycji było nierówne
- odjęcie stałej wartości zmniejsza jasność obrazu





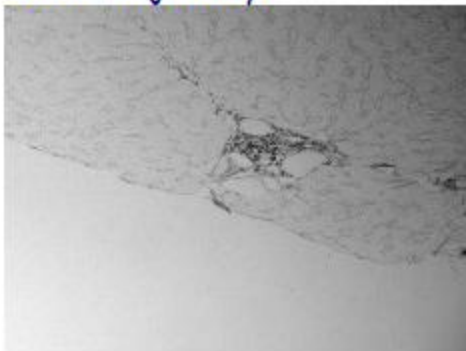
# Odejmnowanie obrazów

- Znajdź różnice w szukanych obrazach



# Odejmowanie tła

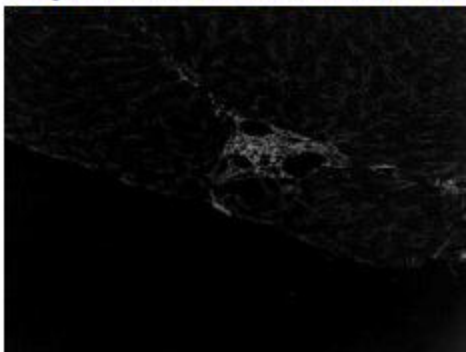
Obraz wejściowy



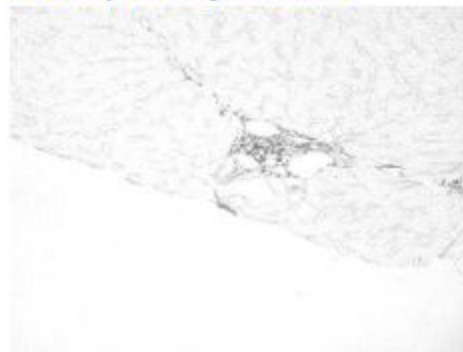
Kamera filmuje jednolite tło

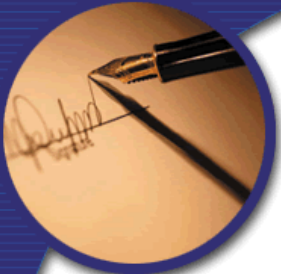


Odjęcie tła od obrazu z obcięciem wartości



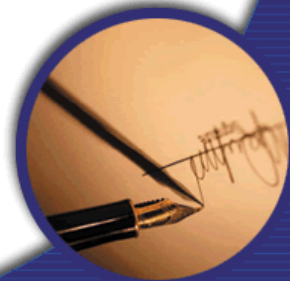
Negatyw odejmowania





# Kanał alfa obrazów

- czwarty kanał, obok RGB, HSV, ...  
(lub drugi dla obrazów monochromatycznych)
- określa, w którym miejscu obraz jest przezroczysty (transparentny, najczęściej reprezentowany przez kolor czarny, waga  $W=0$ ) a w którym nieprzezroczysty (ang. *solid*, *opaque*, reprezentowany zwykle przez kolor biały, waga  $W=1$ )
- obraz przezroczysty „przepuszcza” część obrazu pod nim w stopniu określonym przez alfę (przezroczystość)
- ma to znaczenie przy nakładaniu się kilku obrazów



# Kanał alfa - przykład

obraz + jego kanał alfa

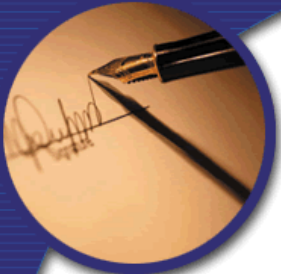


nałożony na ten obraz+jego kanał alfa



daje następujący wynik





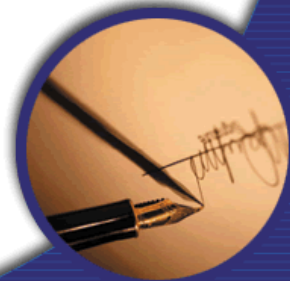
# Mnożenie obrazów

$$Image(x,y) = Image1(x,y) * Image2(x,y)$$

lub

$$Image(x,y,kanal) = Image1(x,y,kanal) * Image2(x,y,kanal)$$

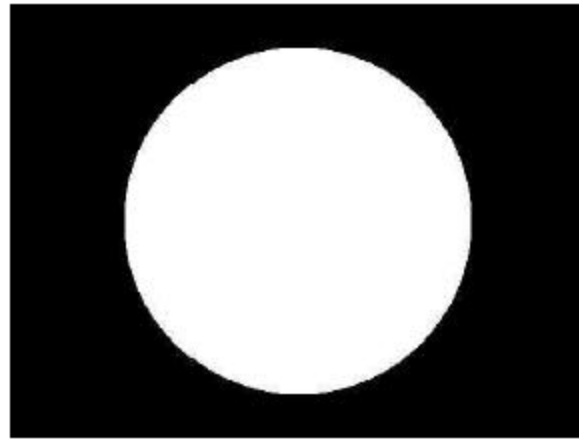
- jak w dodawaniu może się pojawić problem z przekraczaniem zakresu
- rzadko stosuje się mnożenie 2 rzeczywistych, różnych obrazów
- wyjątek – mnożenie przez obraz binarny – nakładanie maski, ale lepiej nadają się tu bitowe operacje (AND)
- częściej mnożenie obrazu przez liczbę – rozjaśnia to obraz lepiej niż dodanie do obrazu stałej
- jeśli składowe obrazu reprezentowane są przez wartości z przedziału  $[0,1]$   
wynik mnożenia nie wykracza z zakresu
- mnożenie takiego obrazu przez samego siebie powoduje pociemnienie obrazu



# Maskowanie binarne obrazów



\*



||

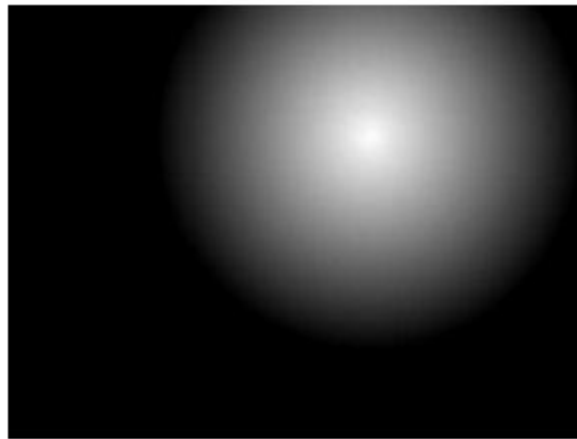


0 - czarny  
1 - biały

# Maskowanie ciągłe obrazów



\*



||



0 - czarny  
1 - biały

# Dzielenie obrazów

$$Image(x,y) = Image1(x,y) / Image2(x,y)$$

lub

$$Image(x,y,kanal) = Image1(x,y,kanal) / Image2(x,y,kanal)$$

- uwaga na dzielenie przez zero !!!
- podobne zastosowanie do odejmowania obrazów (lepsze efekty)
- dzielenie przez tło



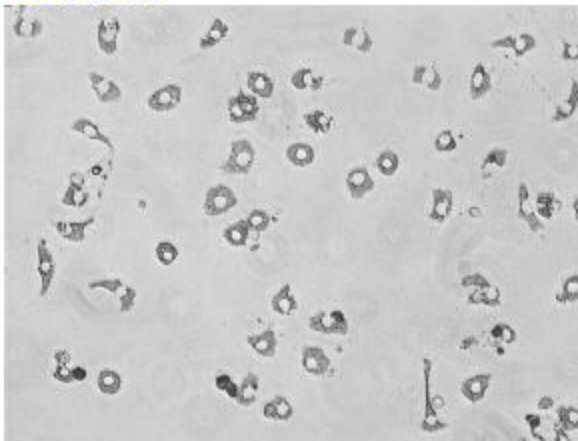
- wykrywanie w ruchu obrazu



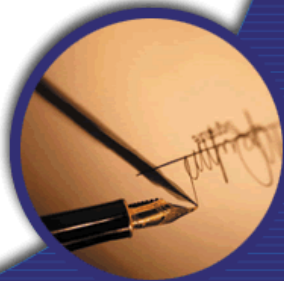
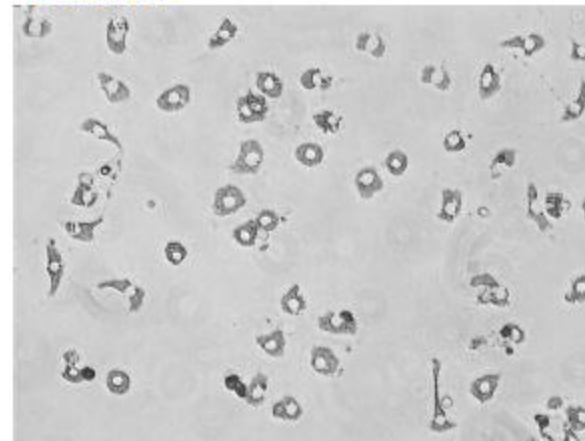
# Dzielenie obrazów – wykrywanie ruchu

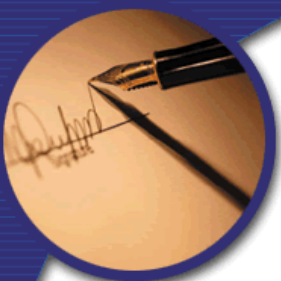
jedna z komórek poruszyła się, która ?

Obraz I1



Obraz I2



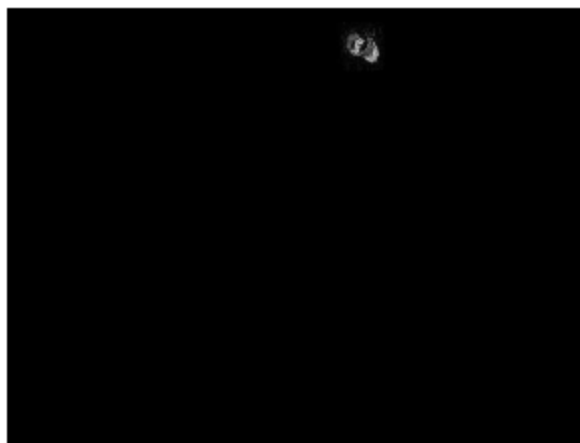


# Wykrywanie ruchu c.d

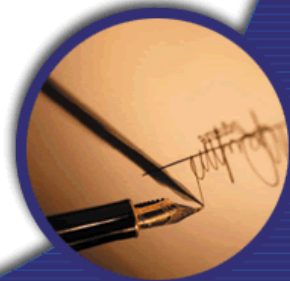
Obraz  $I1/I2$  - pozycja początkowa

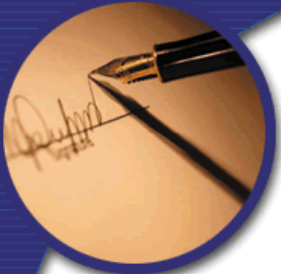


Obraz  $I2/I1$  - pozycja końcowa



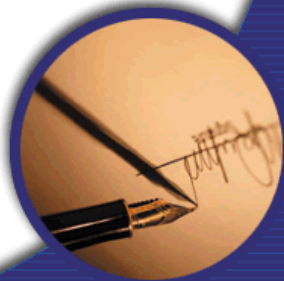
Obraz  $(I1/I2 - I2/I1)$   
- dynamika ruchu

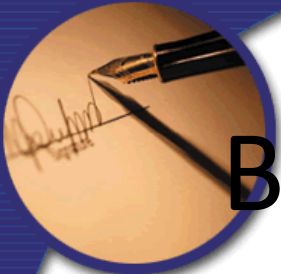




# Binaryzacja

- Celem binaryzacji jest radykalna redukcja ilości informacji zawartej w obrazie.
- Przeprowadzenie procesu binaryzacji polega na tym, aby obraz mający wiele poziomów szarości zamienić na obraz, którego piksele mają wyłącznie wartość 0 i 1.





# Binaryzacja z dolnym progiem

- binaryzacja z dolnym progiem:

$$L'(m,n) = \begin{cases} 0; & L(m,n) \leq a \\ 1; & L(m,n) > a \end{cases}$$

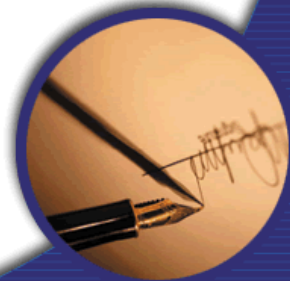
gdzie:

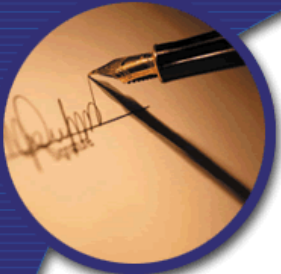
$L(m,n)$  - jasność punktu w obrazie źródłowym  $L(m,n) \in [0, 2^B - 1]$ ;

$L'(m,n)$  - wartość odpowiedniego punktu w obrazie wynikowym

$L'(m,n) \in \{0, 1\}$ ,

$a$  - próg binaryzacji.





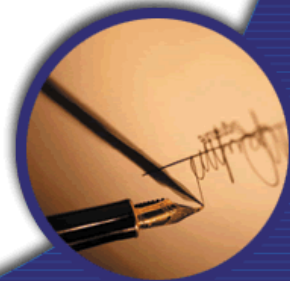
# Binaryzacja z podwójnym ograniczeniem

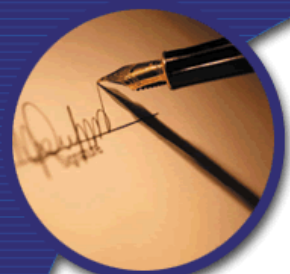
- **binaryzacja z podwójnym ograniczeniem:**

$$L'(m,n) = \begin{cases} 0; & L(m,n) \leq a_1 \\ 1; & a_1 < L(m,n) \leq a_2 \\ 0; & L(m,n) > a_2 \end{cases}$$

gdzie dodatkowo:

$a_1, a_2$  - progi binaryzacji,  $a_1 < a_2$  ;





# Binaryzacja warunkowa

- binaryzacja warunkowa (binaryzacja z histerezą):

$$L'(m,n) = \begin{cases} 0; & L(m,n) \leq a_1 \\ s; & a_1 < L(m,n) \leq a_2 \\ 1; & L(m,n) > a_2 \end{cases}$$

gdzie dodatkowo:

$s$  - wartość sąsiadujących punktów,  $s \in \{0,1\}$ ;

