

## Akwizycja obrazu na przykładzie aparatu fotograficznego; operacje na obrazach (I)

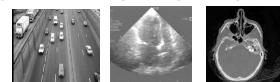
WYKŁAD 2  
Dla studiów niestacjonarnych  
2021/2022

Dr hab. Anna Korzyńska, prof. IBIB PAN

## Obraz w naukach technicznych i przyrodniczych to:

Zwarty, jednorodny i przestrzennie uporządkowany zbiór sygnałów:

- związanych z cechą/cechami pomiarowymi, na bazie których tworzymy obraz (natężenie fali elektromagnetycznej, akustycznej, wielkości nie falowe np. czas relaksacji)
- dostosowanych do materialnego nośnika obrazu (papieru, kliszy, dyskietki, pamięci dyskowej itp.)
- niosących informację o odwzorowywanej rzeczywistości



2

## Rozdzielczość obrazu

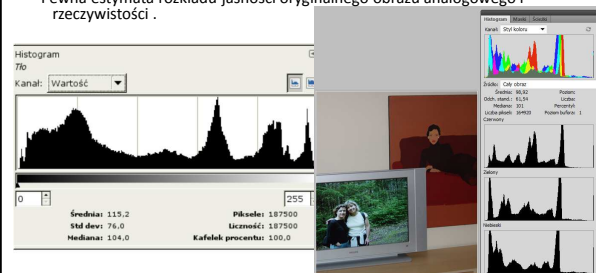
- **Rozdzielczość przestrzenna** - określa stopień rozróżnialności detali; tym lepsza, im większa wartość  $N$ /na jednostkę długości. Jest wyrażana w jednostkach zwanych punktami na cal (*ang. Dot per inch*)
- **Rozdzielczość poziomów szarości** - określa ilość rozróżnianych poziomów szarości lub kolorów; tym lepsza, im większa wartość  $M$ . Jest dobierana tak, aby wartość  $M$  była potęgą liczby 2 - co ułatwia kodowanie.
- Inne rozdzielczości: **całkowita**, **interpolowana**, urządzeń prezentacji obrazu jak monitor, drukarka, ploter, **urządzeń akwizycji**.

3

## Histogram definicja

**Histogram to wykres słupkowy przedstawiający ilość pikseli o każdej potencjalnej wartości poziomu szarości lub intensywności koloru występującej w obrazie.**

- Statystyka odzwierciedlająca rozkład jasności punktów w obrazie.
- Pewna estymata rozkładu jasności oryginalnego obrazu analogowego i rzeczywistości.



## Akwizycja obrazu cyfrowego

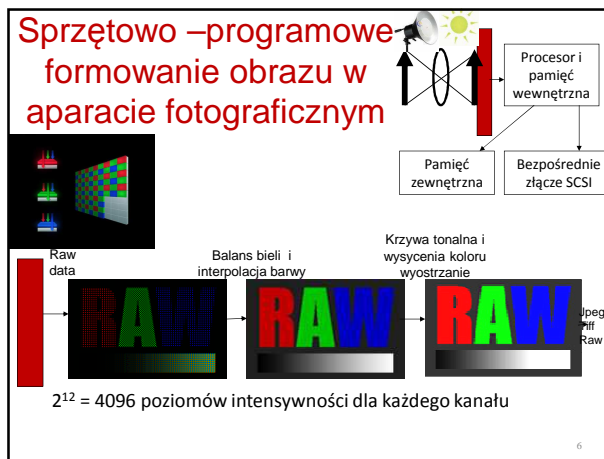
**Akwizycja (pozyskiwanie, zbieranie) obrazu** - przetworzenie informacji o fizycznym obiekcie lub scenie do postaci zbioru danych dyskretnych ( $f(x,y)$  **obraz cyfrowy**) nadających się do zapisania w pamięci komputera, a następnie do **wyświetlenia, drukowania** i dalszego przetwarzania za pomocą odpowiedniego oprogramowania.

Elementy procesu akwizycji:

1. Oświetlenie obrazu.
2. Formowanie obrazu (optyczne).
3. Detekcja obrazu.
4. Formowanie wyjściowego sygnału z urządzenia (kamera, skaner)

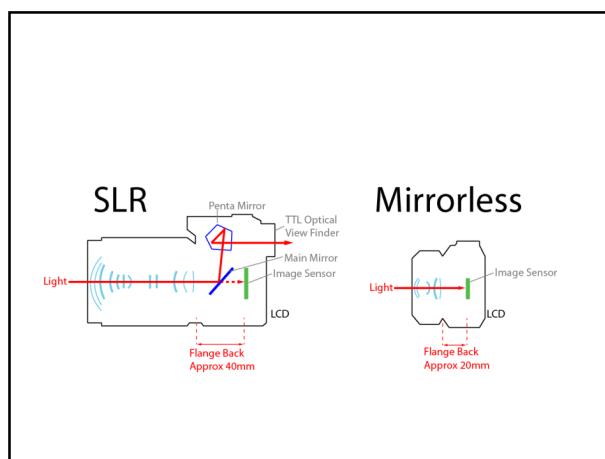
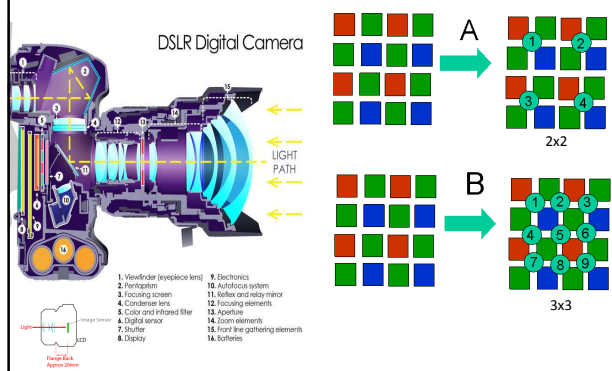
5

## Sprzętowo-programowe formowanie obrazu w aparacie fotograficznym



6

## Droga światła i demozaikowanie

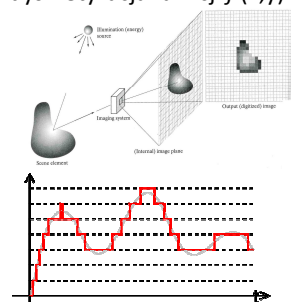


## Najważniejsze elementy formowanie sygnału w procesie akwizycji

**Dyskretyzacja obrazu** to dyskretyzacja funkcji  $f(x,y)$  na dwóch poziomach:

—przestrzenna  
(próbkiwanie dziedziny funkcji)

—amplitudowa  
(kwantyzacja wartości funkcji)



## Inherentne cechy procesu akwizycji

- Nakładanie szumu i delikatnego rozmycia krawędzi (dla aparatu cyfrowego – szumu kwantyzacji, czyli odpowiednika ziarna dla tradycyjnej fotografii oraz s-owaty kształt linii profilu przechodzącej przez krawędzie)
- Nakładanie zniekształceń (dla aparatu cyfrowego - zniekształcenia obiektywów szerokokątnych, dystorsje soczewek, gorące i zimne piskles w matrycy, halo na około obiektów fotografowanych na tle nieba)

Urządzenia akwizycji charakteryzuje się przez podanie informacji o poziomie szumu i rozmycia krawędzi oraz zakłóceń radiometrycznych, geometrycznych i chromatycznych

## Zniekształcenia obrazu

w procesie akwizycji:

- Zniekształcenia **radiometryczne** to zniekształcenia odczytu wartości cechy, na podstawie której tworzymy obraz;
  - nierównomierność oświetlenia,
  - błędami konwersji oświetlenia – sygnał elektryczny (tzn. błędami detekcji, uszkodzeniami przetworników)
- Zniekształcenia **geometryczne** to zniekształcenia odczytu położenia odczytanych wartości względem siebie
- dla obrazów kolorowych i wielospektralnych
- Zniekształcenia (aberracje) **chromatyczne** to zniekształcenia wynikające z charakterystyki współczynnika odbicia lub przejścia przez ośrodek fali elektromagnetyczne o różnej długości

Celem wstępnego przetwarzania obrazu jest redukcja zniekształceń obrazu powstałych w procesie akwizycji

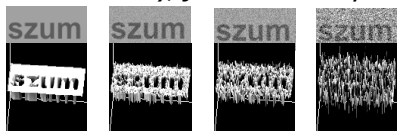
## Szum powstaje na skutek

- Nałożenia termicznych ruchów elektronów w materii na mierzony sygnał, który jest zamieniany na prąd (np.: w przetwornikach zamieniających światło na prąd zgodnie ze zjawiskiem fotoelektrycznym)
- Niestabilności źródła formowania sygnału, np.: promieniowania X, fali akustycznej czy radiowej;

Zrozumienie zjawiska i jego przyczyn zwykle prowadzi do unikania zaszumienia, a nie do jego likwidacji czy choćby redukcji

## Miara szumu

Stosunek sygnału do szumu (ang. signal to noise ratio – SNR), jednostka decybele dB.



Brak „odczuwania” szumu oznacza, że jego stosunek do sygnału jest taki, że nasze sensory (wzrokowe, słuchowe) odbierają sygnał a pomijają szum.

13

## Szum nakładany na obraz powstały w cyfrowym aparacie

wynika z:

- Parametrów technicznych matrycy fotoczułej (wielkość sensora)
- Niestabilności światła lub z jego niewielkiej ilości (nocą)
- Zjawisk towarzyszących zamianie światła na prąd (ang. *banding noise*, *trunced*, ..)
- Nałożenia termicznych ruchów elektronów na mierzony sygnał



Szum periodyczny  
ang. periodic noise

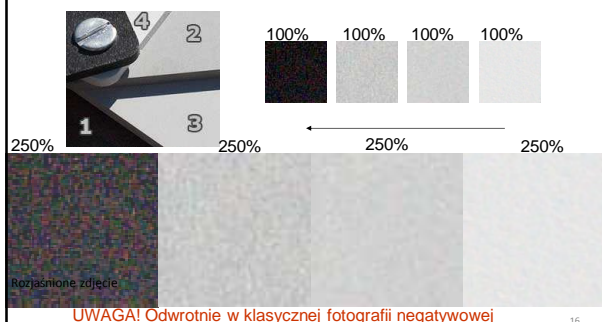
14

## Szum w obrazach cyfrowych zależy od:

- typu (egzemplarza) aparatu cyfrowego
- od ustawień przy wykonywaniu zdjęcia (czułość ISO, czas naświetlenia)
- jasności fotografowanych obiektów i obszarów (w cieniach szumu jest więcej niż w tonach jasnych)
- temperatury otoczenia - im wyższa tym silniej widać  
(ang. Fixed pattern noise)

15

## Rozłożenie szumu na obrazie



16

## Redukcja szumu

- Na poziomie akwizycji:
  - Wybór maksymalnie długiego czasu naświetlania
  - Wybór niskich czułości ISO
  - Chłodzenie matrycy
  - Wykonywanie zdjęć wielokrotnych (bracketing)
  - Wykonywanie zdjęć lekko prześwietlonych (HighKey)
- Na poziomie przetwarzania (obróbki) obrazów:
  - Uśrednianie zdjęć wielokrotnych
  - Filtrowanie
- Uwaga: **Nie redukujemy** szumu przez
  - Rozjaśnianie obrazu w miejscach niedoświetlenia
  - Rozjaśnianie cieni w obrazie

17

## Uśrednianie czasowe (dotyczy obrazów statycznych)

$N \times N$  – liczba pikseli w obrazie.  
Np. dla  $N=4$  liczba pikseli w obrazie wynosi  $N \times N = 16$ .

15	14	10	0
12	11	5	0
11	4	3	2
3	2	0	1

$$P_{js} = \frac{\sum_{i=1}^n P_{ji}}{n}$$

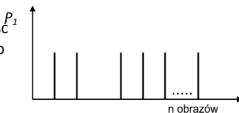
$P_{ji}$  – wartość j-tego piksela obrazu w i-tej chwili czasowej

$P_{js}$  – wartość średnia j-tego piksela obrazu w n chwilach czasowych

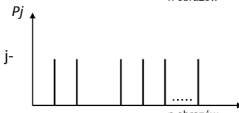
n – liczba pojawień się obrazu  $i = 1, n$

$N \times N$  – liczba pikseli w obrazie  $j = 1, N \times N$

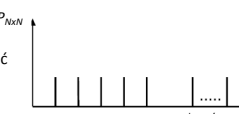
$P_1$  – wartość pierwszego piksela obrazu

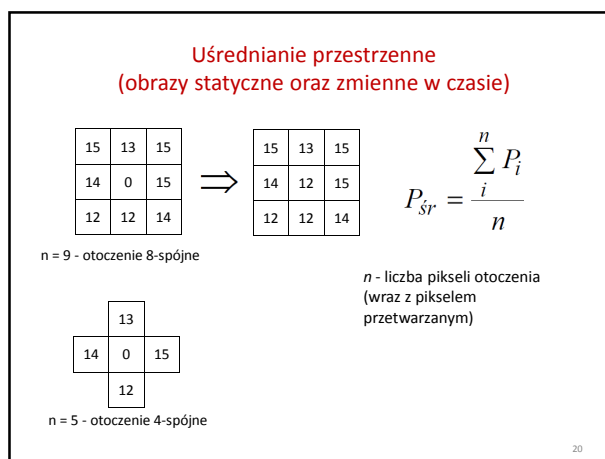
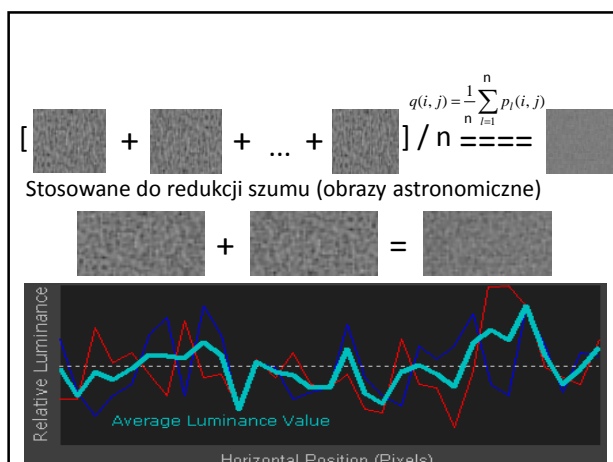


$P_j$  – wartość j-tego piksela obrazu



$P_{N \times N}$  – wartość ostatniego piksela



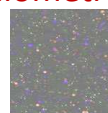


20

## Zniekształcenia radiometryczne

## Zniekształcenia radiometryczne

(ang. fixed pattern noise)

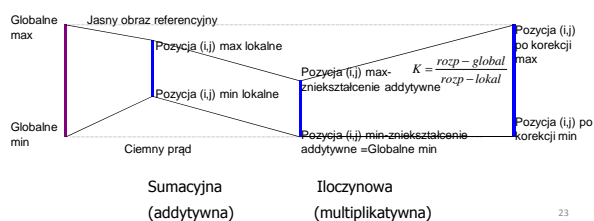


- mają charakter **stacjonarny**,
- są **nieprawidłowym** odwzorowaniem jasności światła, padającego na element światłoczuły, na odpowiadającą mu wartość zapisaną w tablicy obrazu (powstaje podczas zamiany kwantu światła na prąd albo podczas kodowania),
- nasilają się przy bardzo **długim czasie ekspozycji**
- nasilają się w miarę **podnoszenia temperatury otoczenia**.

22

## Korekcja radiometryczna

Korekcja zapewnia jednakowe odwzorowanie jasności bez względu na to w jakim miejscu pola widzenia jasność jest rejestrowana.



23

## Proces korekcji radiometrycznej

Korekcja sumacyjna *jednorodnego jasnego*

obrazu odniesienia  $[P_{od}(x,y)]$ :

$[KORA(x,y)]$			
0	0	2	0
0	1	1	0
1	1	0	0
1	2	0	1

$[P_{od}(x,y)]$			
10	11	12	12
12	14	11	11
13	10	12	10
10	11	11	10

$[P(x,y)]$			
8	8	2	1
8	9	2	3
4	3	3	1
3	2	1	1

$P_{KORA}(x, y) = P_{od}(x, y) - KORA(x, y)$  dla  $x=1,...,N_x$ ,  $y=1,...,N_y$   
 $KORA(x,y)$  - wartość (poziom jasności) piksela obrazu przy zasłoniętym obiektywie (ciemny obraz odniesienia)  
 $P_{od}(x,y)$  - wartość piksela *jednorodnego jasnego* obrazu odniesienia  
 $P_{KORA}(x,y)$  - wartość piksela *jednorodnego jasnego* obrazu odniesienia po korekcji sumacyjnej

24

## Korekcja iloczynowa

$$P_{KORM}(x,y) = [P(x,y) - KORA(x,y)] \cdot KORM(x,y)$$

$P(x,y)$  - wartość piksela obrazu wejściowego

$KORM(x,y)$  – wartość współczynnika korekcji dla piksela o współrzędnych  $(x,y)$  obliczona według wzoru:

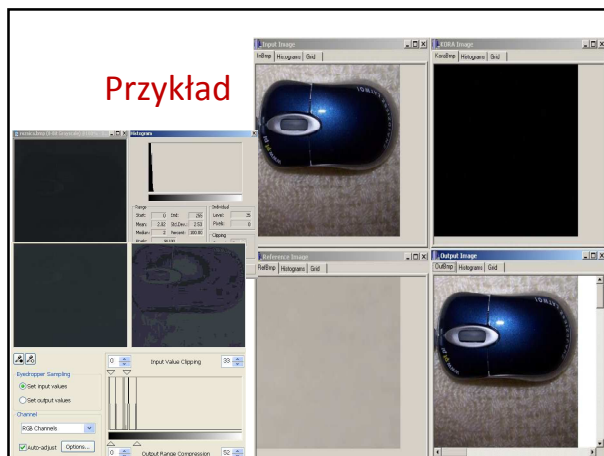
$$KORM(x,y) = P_{KORA\ max} / P_{KORA}(x,y)$$

$P_{KORA\ max}$  - maksymalna wartość piksela w obrazie  $[P_{KORA}(x,y)]$

$P_{KORM}(x,y)$  - wartość piksela obrazu wynikowego (po korekcji radiometrycznej)

25

## Przykład

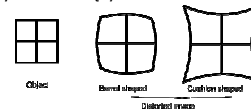


## Zniekształcenia geometryczne

### Zniekształcenia geometryczne

**Zniekształcenia geometryczne (dystorsje) są spowodowane:**

- nieliniowością układów optycznych wchodzących w skład toru optycznego np.: mikroskopu



- nierównoległością płaszczyzn obrazu i matrycy światłoczułej np.: krzywizna Ziemi w zdjęciach satelitarnych, zmienna wysokość powierzchni ziemi w zdjęciach do sporządzania map, skaningowy mikroskop elektronowy,
  - obrotom płaszczyzn obrazu i matrycy światłoczułej np.: skróty perspektywy
  - zmianami skali
- lub połączeniem powyżej wymienionych.



### Konieczność usuwania zniekształceń geometrycznych:

- Pomiary odległości i pól powierzchni,
- Dopasowywanie obiektów na obrazach,
- Dopasowywanie obrazów na potrzeby rekonstrukcji obrazu z fragmentów,
- Tworzenie map, planów na podstawie zdjęć,
- Nakładania obrysów mapy na zdjęcia satelitarne, pogodowe.
- Nakładanie map rozkładu potencjału elektrycznego na powierzchnie 3D.

### Realizacja korekcji zniekształceń geometrycznych

- Aproksymacja transformacji wielomianem
- Przekształcenia rozciągające
- Przekształcenia afiniczne

29

### Aproksymacja transformacji wielomianem pierwszego stopnia

$$u = ax + by + c$$

$$v = dx + ey + f$$

$x, y$  - obraz niezniekształcony,

$u, v$  - obraz zniekształcony,

punkty kontrolne (niewspółliniowe)  $(x_1, y_1), (x_2, y_2), (x_3, y_3),$   
 $(u_1, v_1), (u_2, v_2), (u_3, v_3),$

30

## Aproksymacja transformacji wielomianem pierwszego stopnia

transformacja globalna wyrażona równaniami

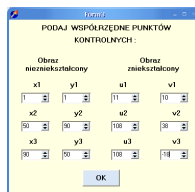
$$u=ax+by+c$$

$$v=dx+ey+f$$

punkty kontrolne (niewspółliniowe):

$x, y$  - obraz niezskształcony;  $u, v$  - obraz zniekształcony,

Korekcja obrotu, przesunięć i skrótu perspektywy



Przykład:

Dane:

$$(x_1, y_1) = (8, 10)$$

$$(x_2, y_2) = (6, 4)$$

$$(x_3, y_3) = (10, 2)$$

$$(u_1, v_1) = (14, 6)$$

$$(u_2, v_2) = (11, 7)$$

$$(u_3, v_3) = (10, 5)$$

Znaleźć:

obraz skorygowany.

(znalezienie  $a, b, c, d, e, f$ , rozwiązując

6 równań liniowych

1-go stopnia).

Obraz zniekształcony

5	5	2	3	2	3	3	2	2	3	3	2	1	1	0	0
6	6	3	2	3	4	5	3	2	4	0	1	1	1	1	0
5	4	3	2	1	0	0	1	4	2	3	2	2	2	8	
4	3	2	2	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
1	1	1	1	1	1	1	7	7	1	1	1	1	1	1	
1	1	1	1	1	1	1	9	8	7	1	1	1	1	1	
1	1	1	1	1	1	9	12	9	8	1	1	1	1	1	
1	1	1	1	1	9	9	12	9	9	1	1	1	1	1	
1	1	1	1	1	9	10	12	11	9	1	1	1	1	1	
1	1	1	1	1	9	12	11	9	1	1	1	1	1	1	
1	1	1	1	1	9	11	11	12	9	1	1	1	1	1	
1	1	1	1	9	11	12	11	11	9	1	1	1	1	1	
2	1	1	1	9	12	12	10	9	1	1	1	1	1	1	
3	1	1	1	8	9	12	10	12	8	1	1	1	1	1	
6	5	2	3	7	8	8	10	12	12	9	1	1	1	1	
5	6	4	3	2	1	8	8	9	7	1	1	1	1	1	

15

32

## Siatka afiniczna

### Transformacja lokalna

Przekształcenia afiniczne płaszczyzny i przestrzeni w siebie obejmują m.in. **izometrie** (np. przesunięcie równoległe, obrót, symetrię osiową, symetrię płaszczyznową, symetrię z obrotem, symetrię z poślizgiem), **jednokładności** i **powinowactwa osiowe**.

Niezmiennikami afinicznymi są: równoległość prostych i skośne położenie prostych



## Zniekształcenia chromatyczne

## Zniekształcenia chromatyczne

- Powstają wtedy, gdy tworzymy obraz wykorzystując więcej niż jeden zakres fali elektromagnetycznej (obrazy wielokanałowe np.: trójkanałowe, multispektralne)
- oraz wtedy, gdy wykorzystujemy różne cechy pomiarowe do tworzenia pojedynczego obrazu (obrazy multimodalne)

Fale elektromagnetyczne o różnej długości inaczej załamują się na soczewkach

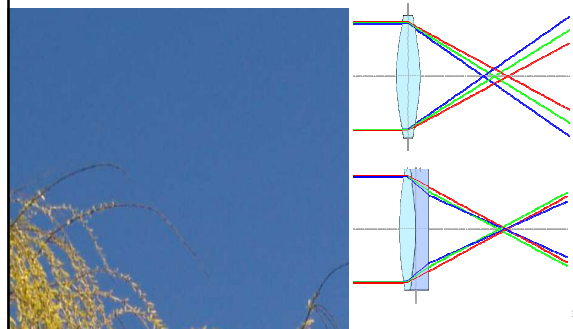
Wczesne (1909) przykłady fotografii kolorowej składanej na szkle obfitują w efekty rozdzielania barwy na kanały



Zdjęcia w kolorze z 1909  
Siergiej Prokudin-Gorski,  
pionier barwnej fotografii

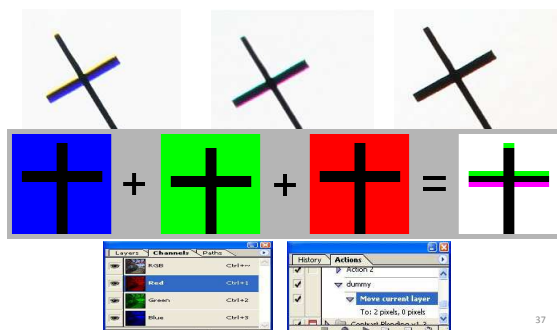
35

## Korekcja optyczna zniekształceń chromatycznych



36

## Korekcja programowa zniekształceń chromatycznych



## Narzędzia do przetwarzania obrazów

## Operacje na obrazach

Metody w przetwarzaniu obrazów ze względu na sposób liczenia:

- Globalne (operacje na wszystkich pikselach obrazu)
- Lokalne (operacje na ROI; ang. region of interest)
  - Punktowe;
  - Małym otoczeniu

Ze względu na **typy matematycznych (w tym arytmetycznych, logicznych, statystycznych) operacji**, które są wykonywane na wartościach intensywności.

Funkcje operacji na obrazach będą omawiane przy każdej operacji oddzielnie.

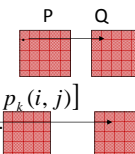
39

## Operacje na obrazach

### ➤ Operacje punktowe (jednopunktowe):

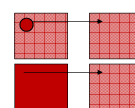
$$\text{Jednoargumentowe} \\ [q(i, j)] = f[p(i, j)]$$

$$\text{Wieloargumentowe} \\ [q(i, j)] = f[p_1(i, j), p_2(i, j), \dots, p_k(i, j)]$$



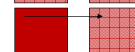
### ➤ Operacje sąsiedztwa (kontekstowe)

$$[q(i, j)] = f[p(i, j), p(i-1, j-1), p(i+1, j+1), \dots]$$



### ➤ Operacje globalne transformaty

$$[q(i, j)] = f[P]$$



40

## Operacje punktowe (lokalne, jednopunktowe)

Podział:

Jednoargumentowe

Wieloargumentowe

41

## Operacje punktowe

### Proste:

- operacje jednoargumentowe – transformacje jasności
- operacje arytmetyczne: jedno-, dwu- i wieloargumentowe
- manipulowanie histogramem

### Zaawansowane:

- metody progowania
- wyrównywanie histogramu
- klasyfikacja punktów obrazu

42



## Operacje jednopunktowe jednoargumentowe

Są to operacje, w których na wartość zadanego piksela obrazu wynikowego o współrzędnych  $(i, j)$  ma wpływ wartość **tylko jednego piksela** obrazu pierwotnego o współrzędnych  $(i, j)$ :

$$[q(i, j)] = f[p(i, j)] \quad f - \text{operator (liniowy lub nieliniowy)}$$

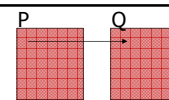
$[p(i, j)]$  - obraz pierwotny

$[q(i, j)]$  - obraz wynikowy

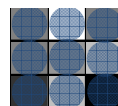
$p(i, j), q(i, j)$  - wartości piksela o współrzędnych  $(i, j)$  obrazu pierwotnego i wynikowego

43

## Operacje punktowe jednoargumentowe



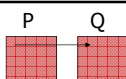
Wartość piksela obrazu wyjściowego zależy od wartości piksela o takich samych współrzędnych na obrazie wejściowym (nie uwzględniamy sąsiedztwa)



Wykonywanie po wierszach, „piksel po pikselu”

44

## Operacje punktowe



Definiowane przez:

- Definicję funkcji; z jawnie postawionymi warunkami logicznymi np.: dla UOP (Uniwersalnego Operatora Punktowego);
- Wykres funkcji we współrzędnych OXY; na osi OX są **wszystkie potencjalne** wartości poziomów szarości obrazu pierwotnego P, a na OY obrazu po przekształceniu Q;

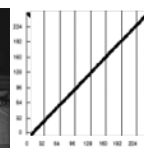
- Tablica przekodowań (LUT – Look Up Table).

0	1	2	...	$L_{p_{max}}$	P
					Q

45

## Tożsamość

Identyczność;



Kopiowanie obrazu

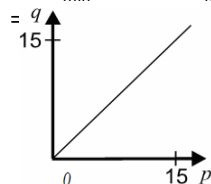
46

## Rodzaje operacji jednopunktowych jednoargumentowych

Operacja identyczności

$$q(i, j) = p(i, j) \quad \text{dla } L_{min} \leq p \leq L_{max}$$

Dla  $L_{min} = 0$ ,  $L_{max} = 15$  (czyli  $M = 16$ ): [q]

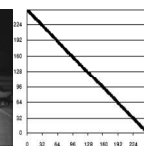


15	15	0	0	2
13	13	15	0	0
0	0	7	14	14
0	1	2	3	4
15	14	13	12	11

47

## Negacja

Negatyw obrazu



Do prezentacji informacji zawartej w ciemnych tonach (cieniach) jeśli jasne tony są nieistotne

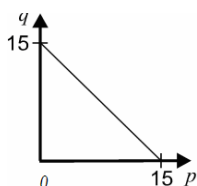
48



### Operacja odwrotności (negacji)

$$q(i,j) = L_{\max} - p(i,j) \text{ dla } L_{\min} \leq p \leq L_{\max}$$

Dla  $L_{\min} = 0$ ,  $L_{\max} = 15$  (czyli  $M=16$ ):  $q(i,j)$   
 $= 15 - p(i,j)$



[q]	0	0	15	15	13
	2	2	0	15	15
	15	15	8	1	1
	15	14	13	12	11
	0	1	2	3	4

15	15	0	0	2
13	13	15	0	0
0	0	7	14	14
0	1	2	3	4
15	14	13	12	11

49

### Stosowanie negatywów

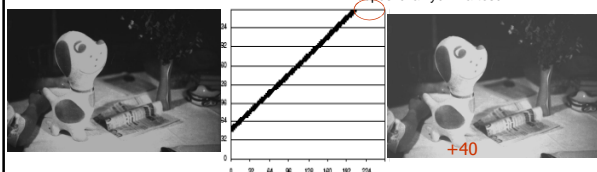
Zdjęcia Rtg



50

### Dodawanie liczby do obrazu

Rozjaśnianie obrazu

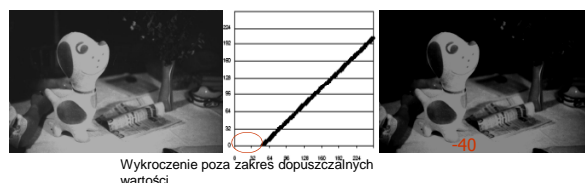


Do prezentacji informacji zawartej w ciemnych tonach (cieniach), jeśli jasne tony są nieistotne

51

### Odejmowanie liczby od obrazu

Przyciemnianie obrazu

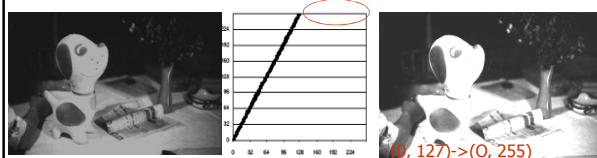


Do prezentacji informacji zawartej w jasnych tonach, jeśli ciemne tony są nieistotne

52

### Mnożenie obrazu przez liczbę

Rozjaśnianie obrazu

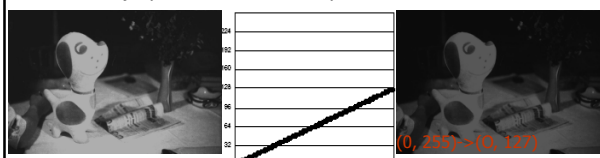


Do prezentacji informacji zawartej w ciemnych i średnich tonach (cieniach), jeśli jasne tony są nieistotne

53

### Dzielenie obrazu przez liczbę

Przyciemnianie obrazu i skalowanie obrazów o podwyższonym zakresie poziomów szarości do obrazów o mniejszym zakresie tonalnym



Do prezentacji informacji zawartej w jasnych tonach, jeśli ciemne tony są nieistotne, przy zawężeniu zakresu poziomów szarości

## Manipulowanie histogramem

Zapewnianie odpowiedniego zakresu poziomów szarości przez:

- Rozciąganie (na pełny zakres poziomów jasności – normalizacja)
- Zawężanie
- Modulowanie

Zapewnia dostosowanie do formy prezentacji, do przekazu informacji lub emocji, do planowanych kolejnych operacji na obrazie,

55

## Liniowe rozciąganie histogramu

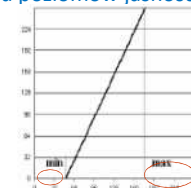
Optymalne wykorzystanie zakresu poziomów jasności:

- Zagospodarowanie całego zakresu dostępnych poziomów szarości

- Wykorzystanie skrajnych zakresów do prezentacji

zakresów średnich

(mało liczne, nieistotne)



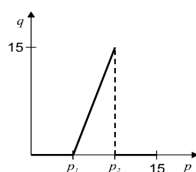
$$q(i, j) = \begin{cases} L_{\min} & \text{dla } p(i, j) < \min \\ \frac{(p(i, j) - \min) * L_{\max}}{\max - \min} & \text{dla } \min \leq p(i, j) \leq \max \\ L_{\max} & \text{dla } p(i, j) > \max \end{cases}$$

56

## Operacja rozciągania

Ogólnie:

$$q = \begin{cases} (p - p_1) \frac{L_{\max}}{(p_2 - p_1)} & \text{dla } p_1 < p \leq p_2 \\ 0 & \text{dla } p \leq p_1, p > p_2 \end{cases}$$

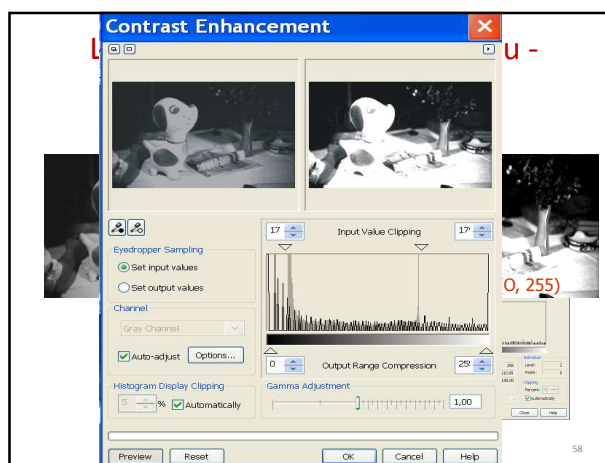


Dla  $L_{\min} = 0, L_{\max} = 15$  (czyli  $M=16$ )

$$q = \begin{cases} (p - p_1) \frac{15}{(p_2 - p_1)} & \text{dla } p_1 < p \leq p_2 \\ 0 & \text{dla } p \leq p_1, p > p_2 \end{cases}$$

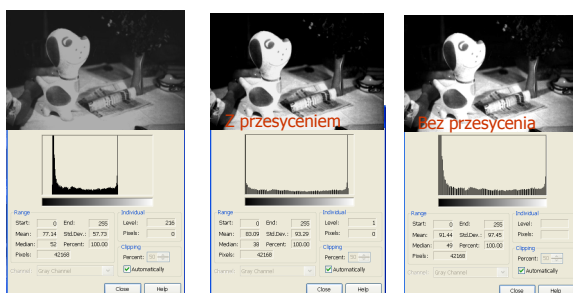
Wyznaczyć obraz [q] i jego histogram dla  $p_1=4, p_2=8$

57

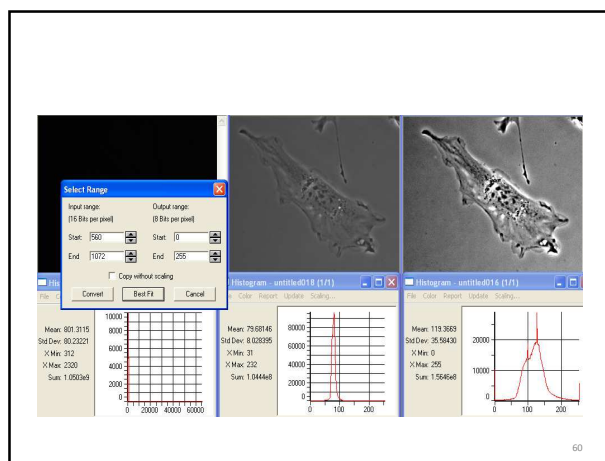


58

## Liniowe rozciąganie histogramu



59



60

## Nieliniowe rozciąganie histogramów

Służy do uwypuklenia pewnych zakresów poziomów szarości kosztem innych, według typowych funkcji matematycznych:

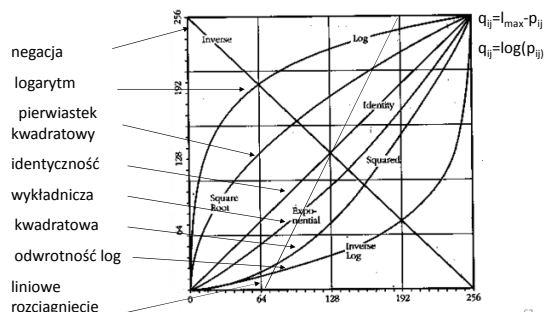
gamma, wykładniczej, pierwiastkowej, kwadratowej, logarytmicznej czy odwrotności funkcji logarytmicznej

lub

według dowolnie zdefiniowanej funkcji UOP (za pomocą: krzywej tonalnej lub tablicy LUT)

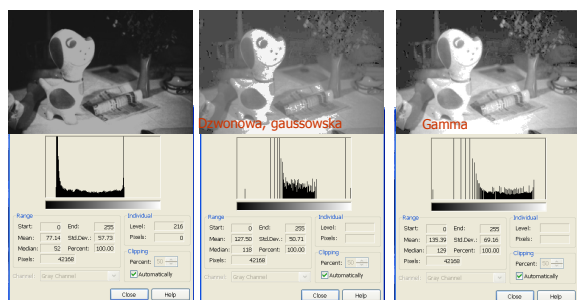
61

## Transformacje jasności według znanych matematycznych funkcji



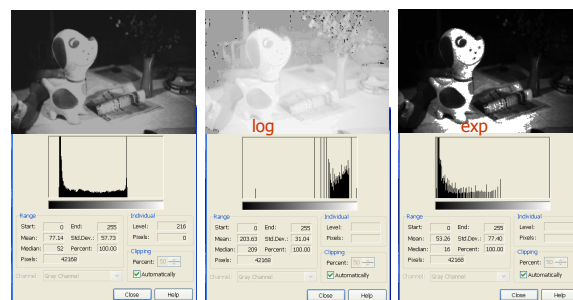
62

## Nieliniowe rozciąganie histogramów



63

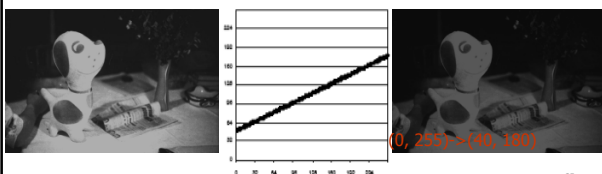
## Nieliniowe rozciąganie histogramów



64

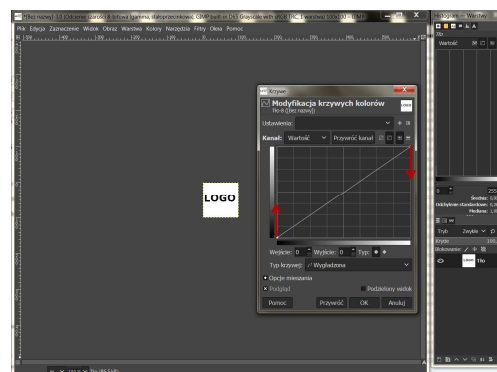
## Zwężenie zakresu poziomów szarości

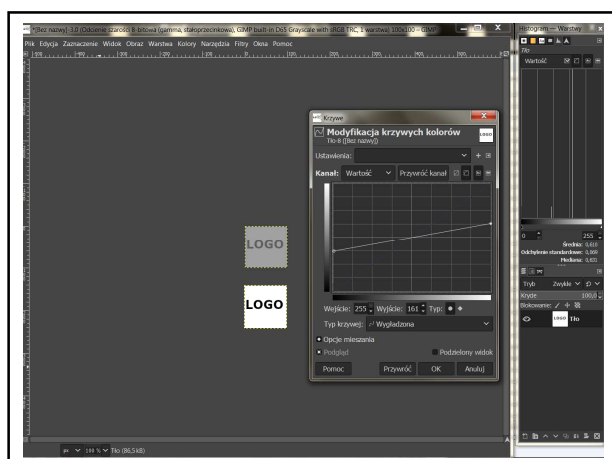
Przez zmniejszenie ilości poziomów faktycznie występujących w obrazie w stosunku do potencjalnie występujących



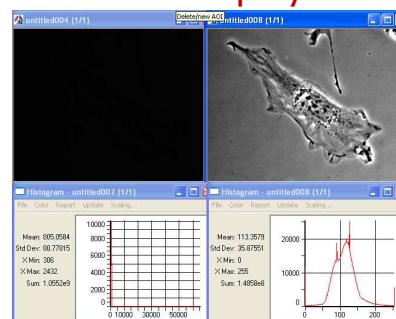
65

## Manipulacja przez zawężanie zakresu histogramu





## Zwężenie zakresu poziomów szarości - przykład

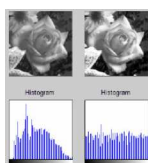


68

## Wyrównywanie histogramu

### Wyrównywanie histogramu:

takie przekształcenia jasności, aby wszystkie jasności były równomiernie reprezentowane w obrazie (narzędzie matematyczne to dystrybucja, czyli całka z histogramu)



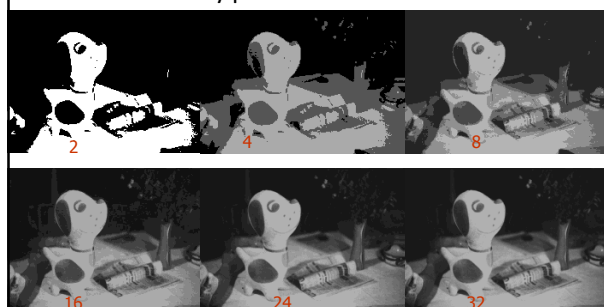
### Wyrównanie typu equalizacja (ang. Equalisation):

Rozszerzenia odległości między słupkami odpowiadającymi odcieniom szarości silniej reprezentowanymi (czyli o wysokich słupkach) a zawężenie pomiędzy słupkami o małej wysokości.

69

## Redukcja liczby poziomów szarości- przykłady

Różne liczby przedziałów kwantowania



## Redukcja liczby poziomów szarości - posteryzacja

Powtórna kwantyzacja na mniejszą zadaną liczbę poziomów szarości (2, 3, 4, 5, ..., 255) – posteryzacja (od ang. Posterize)

Cel:

1. artystyczny – obraz posteryzowany o ostrych granicach i niewielkiej ilości tonów,
2. prosta segmentacja,
3. kompresja

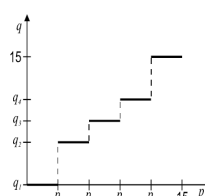
Inż. W. Romer „Izohelja” w Kamera Polska



71

## Operacja nierównomiernej redukcji poziomów szarości

Przykład dla  $L_{min} = 0$ ,  $L_{max} = 15$  (czyli  $M=16$ )



$$q = \begin{cases} 0 & \text{dla } p \leq p_1 \\ q_2 & \text{dla } p_1 < p \leq p_2 \\ q_3 & \text{dla } p_2 < p \leq p_3 \\ q_4 & \text{dla } p_3 < p \leq p_4 \\ 15 & \text{dla } p_4 < p \leq 15 \end{cases}$$

Wyznaczyć obraz  $[q]$  i jego histogram dla:

$p_1 = 2, p_2 = 4, p_3 = 6, p_4 = 8; q_2 = 3, q_3 = 6, q_4 = 9;$   
Posteryzacja:  $p_2 - p_1 = p_3 - p_2 = \dots; q_2 - q_1 = q_3 - q_2 = \dots;$

72

## Progowanie

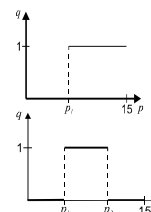
Jest to taka wersja operacji zmniejszenia ilości poziomów szarości do dwóch, dla której istnieje możliwość arbitralnego wyboru wartości progu ( $p_1$ ) czyli szarości granicznej, od której przyporządkowujemy wyższy poziom szarości (najczęściej biel) i poniżej której przyporządkowujemy niższy próg szarości (najczęściej czerni).

$$q = \begin{cases} L_{\min} & \text{dla } p \leq p_1 \\ L_{\max} & \text{dla } p > p_1 \end{cases}$$

73

## Różne typy progowania

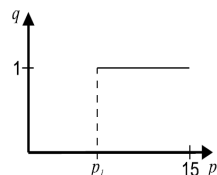
- Progowanie z pojedynczym progiem segmentacji
- Progowanie przedziałami
- Progowanie z warunkiem spójności lub warunkiem nałożonym na wielkość obiektu
- Progowanie adaptacyjne
- Progowanie rekurencyjne
- Progowanie hierarchiczne (piramidowe, skalowalne)



74

### Operacja progowania (binaryzacji)

$$q = \begin{cases} 0 & \text{dla } p \leq p_1 \\ 1 & \text{dla } p > p_1 \end{cases}$$

 $p_1 = 5$ 


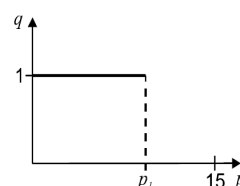
15	15	0	0	2
13	13	15	0	0
0	0	7	14	14
0	1	2	3	4
15	14	13	12	11

1	1	0	0	0
1	1	1	0	0
0	0	1	1	1
0	0	0	0	0
1	1	1	1	1

75

### Operacja odwrotnego progowania (binaryzacji)

$$q = \begin{cases} 1 & \text{dla } p \leq p_1 \\ 0 & \text{dla } p > p_1 \end{cases}$$

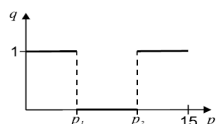
 $p_1 = 5$ 


15	15	0	0	2
13	13	15	0	0
0	0	7	14	14
0	1	2	3	4
15	14	13	12	11

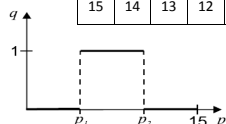
0	0	1	1	1
0	0	0	1	1
1	1	0	0	0
1	1	1	1	1
0	0	0	0	0

76

### Operacje progowania przedziałami (binarne)

 $p_1 = 2, p_2 = 12$ 


1	1	1	1	0
1	1	1	1	1
1	1	0	1	1
1	1	0	0	0
1	1	1	0	0



0	0	0	0	1
0	0	0	0	0
0	0	1	0	0
0	0	1	1	1
0	0	0	1	1

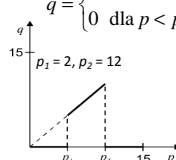
77

### Operacje progowania z zachowaniem poziomów szarości

Dla  $L_{\min} = 0, L_{\max} = 15$  (czyli  $M=16$ )

Z zachowaniem identyczności

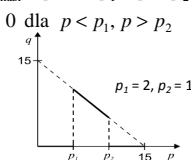
$$q = \begin{cases} p & \text{dla } p_1 \leq p \leq p_2 \\ 0 & \text{dla } p < p_1, p > p_2 \end{cases}$$



0	0	0	0	2
0	0	0	0	0
0	0	7	0	0
0	0	2	3	4
0	0	0	12	11

Z zachowaniem odwrotności (negacji)

$$q = \begin{cases} L_{\max} - p & \text{dla } p_1 \leq p \leq p_2 \\ 0 & \text{dla } p < p_1, p > p_2 \end{cases}$$



0	0	0	0	13
0	0	0	0	0
0	0	8	0	0
0	0	13	12	11
0	0	0	3	4

78

## Przykład progowania

Progowanie dobrze  
segmentuje tylko  
wtedy, gdy:

-istnieje rozdzielność  
poziomów szarości  
lub kolorów obiektu  
i tła

-gdy „dolinka” progów  
jest głęboka  
(najlepiej zerowa)

