

## Pojęcie obrazu i jego akwizycja

### WYKŁAD 1

Dla studiów niestacjonarnych 2021/2022  
Semestr letni

Dr hab. Anna Korzyńska, prof. IBIB PAN

## Co to jest obraz?

**Obraz to wynik obserwacji świata przedstawiony na ograniczonej płaszczyźnie**

(najczęściej prostokątnej)



2

## Obraz to ...

Dwuwymiarowa funkcja mówiąca o wartości pewnej mierzalnej wielkości  $f(x, y)$ , (najczęściej wartość to określa intensywność światła/luminancję lub intensywność kolorów podstawowych) w miejscu o współrzędnych  $x, y$  na ograniczonej, dwuwymiarowej, powierzchni.



Obraz niesie informację o odzwierowowanej rzeczywistości lub o wizji autora, umieszczoną na ograniczonej, dwuwymiarowej przestrzeni (2D)

Obraz analogowy – przestrzeń jest spójna; obraz cyfrowy – przestrzeń jest dyskretna



## Obraz analogowy i cyfrowy

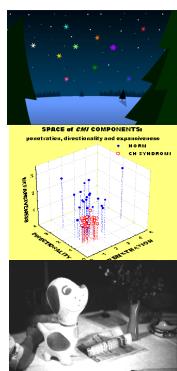
Obraz jako odzwierotowanie rzeczywistości na ograniczonej dwuwymiarowej przestrzeni; może być odzwierotowany na przestrzeni ciągłej (płótno, papier fotograficzny itp.) lub na przestrzeni dyskretnej (ekran monitora komputerowego, telewizora cyfrowego, itp.)



4

## Obrazy w komputerze

- Narysowane narzędziami grafiki komputerowej (cel informacyjny lub artystyczny)
- Wygenerowane przez oprogramowanie jak wizualizacji informacji będącej rezultatem obliczeń lub zbierania informacji (cel naukowo-informacyjny)
- Pozyskane z rzeczywistości dzięki urządzeniom akwizycji obrazów: kamery, skanery, aparaty cyfrowe, medyczne urządzenia diagnostyczne, itp.. (cel poznawczy, archiwizacyjny, użytkowy np. klasyfikacja, detekcja, itp., lub cel artystyczny)



## Jak powstał obraz cyfrowy

Obraz cyfrowy to informacja podwójnie dyskretna:

- odzwierotuje 3D na dyskretną i ograniczoną przestrzeń 2D



- informacja o intensywności (skwantowana)



31 czerwca 1964 o 13:09 UT (9:09 AM EDT)  
Vidicon B

Rozmiar w pikselach:  
1150x1150



Pierwsze kolorowe zdjęcie z boku Perseverance wybrane na Ziemi. Zostało wykonane przez jeden z kamery Hazcam. Źródło: NASA/JPL-Caltech

## Obraz cyfrowy 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, kłoszy, dyskietki, pamięci dyskowej itp.)
- niosących informację o odwzorowywanej rzeczywistości



7

## Podstawowe definicje wielkości opisujących obraz

**Obraz** to dyskretna dwuwymiarowa funkcja  $f(x, y)$  określona na ograniczonym fragmencie płaszczyzny, której wartości  $f$  to **intensywność** (jasność, kolor) w tym punkcie  $(x, y)$ .

- Dla obrazów szarościennych wartość  $f$  to luminancja
- Dla obrazów kolorowych wartość  $f$  to wektor o trzech (lub więcej) składowych, określający np.: kolor w wybranej przestrzeni koloru  $f = [f_1, f_2, f_3]$
- Dla obrazów wielomodalnych i multispektralnych wartość  $f$  to wielowymiarowy wektor określający różne dane pomiarowe.

$f \in [L_{min}, L_{max}]$  - skala szarości/intensywności składowej pojedynczego kanału obrazu

$L_{min} = 0$ , minimalna intensywność odpowiada czerni

$L_{max}$  = maksymalna intensywność odpowiada bieli

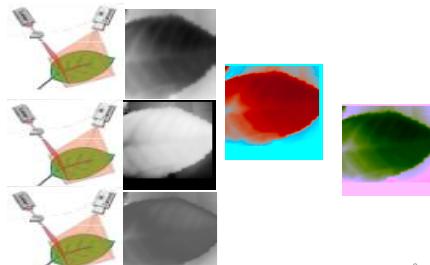
$M$  - liczba poziomów szarości  $M = L_{max} - L_{min} + 1$   $M = 2^k$

8

## Obrazy konstruowane na podstawie wielu sygnałów

### Obrazy multimedialne

Intensywność odbicia światła białego



9

## Obrazy konstruowane na podstawie wielu sygnałów

### Obrazy multispektralne



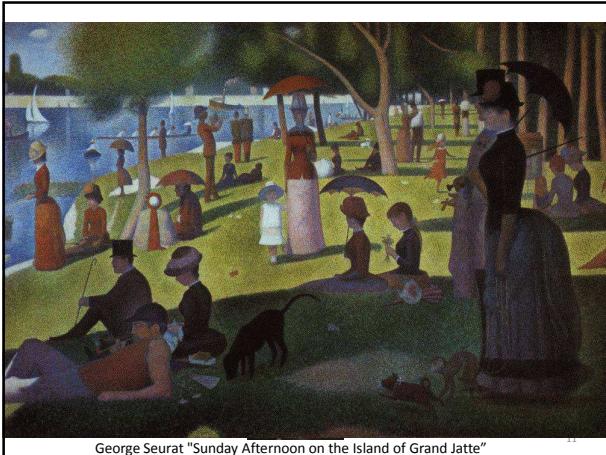
Newada



Galaktyki a520485

Zdjęcie przedstawia gromadę galaktyk „Abell 520” wykonane przez叠加 skaldowych jej obrazów wykonanych w różnych długosciach fal. Kosmiczny teleskop Chandra obserwował obiekt w zakresie promieniowania X (niebieskowczarny); Teleskop Kanadyjski, Francuski, wyspy Hawajów oraz Teleskop Subaru w zakresie widzialnym (fiolet żółty oraz pomarańczowy). Materię zaburzoną w kolor niebieski, z której to większość stanowi ciemna materia.

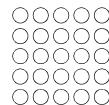
10



George Seurat "Sunday Afternoon on the Island of Grand Jatte"

11

## Model obrazu cyfrowego



- $N1=N2=5$
- $M=4$   $L_{min}=0$  czerń;  $L_{max}=3$  biel,

1 jasna szarość, 2 ciemna szarość

3 3 3 3 3	0 0 0 0 0	0 0 0 0 0
3 3 3 3 3	0 0 0 0 0	0 3 3 3 0
3 3 3 3 3	0 0 0 0 0	0 0 2 0 0
3 3 3 3 3	0 0 0 0 0	0 0 1 0 0
3 3 3 3 3	0 0 0 0 0	0 0 0 0 0

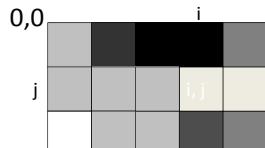
12

## Obraz cyfrowy i piksel

**Obraz cyfrowy** niesie podwójną informację o:

- lokalizacji w przestrzeni obrazu wartość intensywności cechy/cech pomiarowych oraz o samej wartości tej cech
- czyli o wartości poziomu szarości, koloru w danym punkcie  $f(i, j)=n$  gdzie  $n$  jest skalarem lub wektorem i  $i \in \{0, 1, \dots, L_{\max}\}$

**Piksel** to podstawowy element obrazu (ang. Picture element)



0,0	i	0,0	i
j		j	

N1=5  
N2=3  
Lmin=0  
Lmax=15  
M=16

13

## Rozdzielcość obrazu

- **Rozdzielcość 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)
- **Rozdzielcość poziomów szarości** – określa ilość rozróżnianych poziomów szarości lub kolorów; tym lepsza, im większa wartość  $M$ . Jest dobierana tak, aby była potęgą liczby 2.
- Inne rozdzielcości: całkowita, interpolowana, urządzeń prezentacji obrazu jak monitor, drukarka, ploter, urządzeń akwizycji.

14

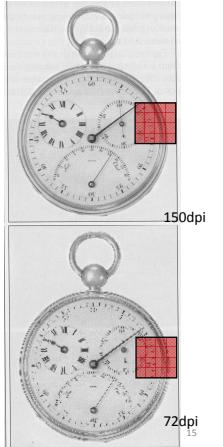
## Rozdzielcość przestrzenna

Ilość szczegółów zapisanych w obrazie na jednostkę długości (najczęściej na cal)

Granica rozdzielcości to rozmiar szczegółów i obiektów, które są widoczne na obrazku.

O rozdzielcości mówimy na poziomie:

- Akwizycji (punkty na cal),
- Wyświetlania na ekranie (linie na cal, punkty),
- Drukowania (punkty na cal)



## Wymiar obrazu w pikslach

Jeśli akwizycja była przeprowadzona na matrycy 1200x1600

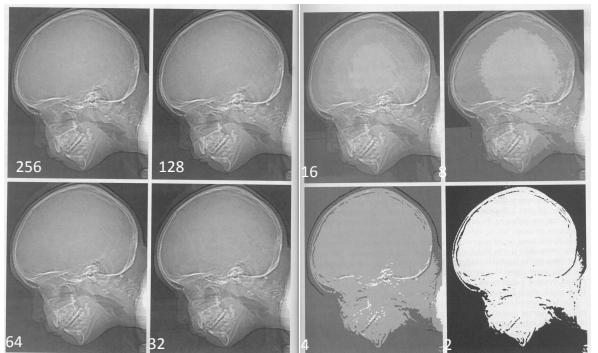
To jego rozdzielcość akwizycji wynosi:

1200:4,3cal=280 ppi  
1960:7cal=280 ppi

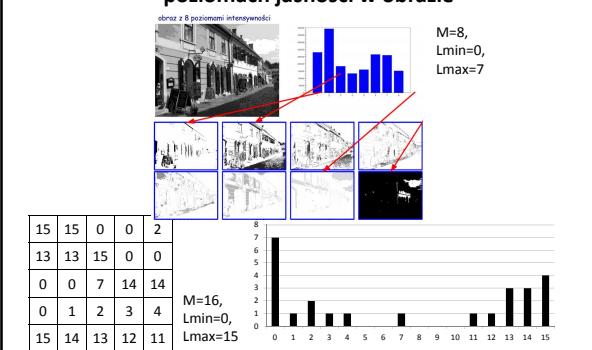


16

## Rozdzielcość poziomów szarości

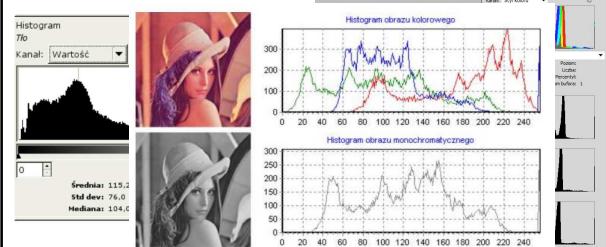


## Histogram - rozkład ilości wystąpień pikseli o zadanych poziomach jasności w obrazie



## Histogram definicja

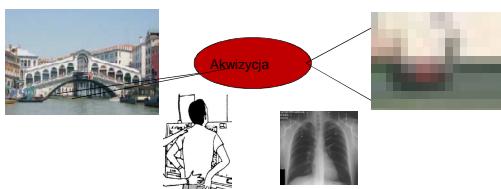
- Histogram** to wykres słupkowy przedstawiający ilość pikseli o każdej potencjalnej wartości występującej w obrazie.
- Statystyka odzwierciedlająca rozkład jasności punktów w obrazie.
  - Pewna estymata rozkładu jasności oryginalnego obrazu analogowego i rzeczywistości.



## Akwizycja obrazu

### Akwizycja (pozyskiwanie) obrazu cyfrowego

**Akwizycja obrazu** - przetworzenie **informacji o obiekcie fizycznym** do postaci zbioru danych dyskretnych (**obrazu cyfrowego**).



### 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.

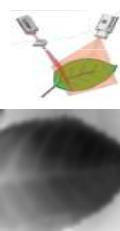
Elementy procesu akwizycji:

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

22

### Elementy procesu akwizycji

1. Formowanie obrazu/sygnalu (optyczne, akustyczne, inne)
2. Detekcja sygnału przez czujniki analogowo-cyfrowe.
3. Formowanie kodu obrazu (kamera, skaner, MRI, USG).



23

### Najważniejsze elementy procesu akwizycji (pozyskania)

#### • Formowanie obrazu

- **Dyskretyzacja obrazu**, czyli dyskretyzacja funkcji  $f(x,y)$  na dwóch poziomach:
  - przestrzenna (próbkowanie dziedziny funkcji)
  - amplitudowa (kwantyzacja wartości funkcji)

Proces wiąże się z nieuniknonią i nieodwracalną utratą informacji o wartości cech pomiarowej poza wezłami siatki, i o dokładnej wartości w punktach siatki

– Przekształcenie danych surowych w dane do zapisu obrazu

- **Kodowanie obrazu** zgodne z wybranym formatem zapisu (RAW, JPEG, TIFF)

24

## Matryce CCD jako elementy pozyskania obrazu w aparacie fotograficznym cyfrowym

Matryca CCD (charge coupled device) ma płaską periodyczną strukturę (dyskretną), której podstawowe elementy mają  $10\text{-}5\mu\text{m}$  długości i szerokości, która zamienia światło na prąd (sygnał analogowy) o napięciu proporcjonalnym do jasności. Prąd ten jest próbkowany przez konwerter A/D (framegrabber).



25

## Nagroda Nobla za sensor CCD

Fizyka 2009

Willard S. Boyle (Kanada/USA) i George E. Smith (USA)  
za "wynalezienie półprzewodnikowego obwodu  
obrazującego - sensora CCD"



Pierwszy aparat fotograficzny wykorzystujący matrycę światoczułą zamiast błony nazwywali się MAVICA  
-1981  
CCD sygnał zapisywany jako NTSC  
570 linii i 490 pixels

1969 - rozpoczęcie prac

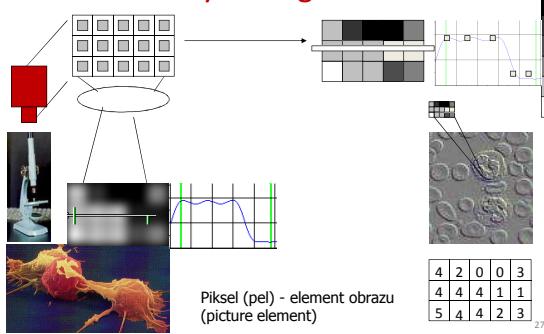
Pierwszy układ wczytujący miał zaledwie osiem pikseli ulożonych w jednym rzędzie

1973 - 100 x 100 pikseli



26

## Proces pozyskiwania obrazu cyfrowego



27

## Najważniejsze elementy formowanie sygnału w procesie akwizycji

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

- przestrzenna (próbkowanie dziedziny funkcji)
- amplitudowa (kwantyzacja wartości funkcji)

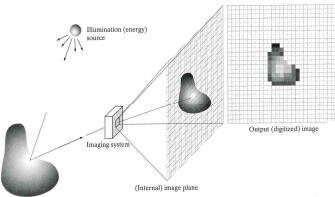
Obraz jest więc strukturą **podwójnie dyskretną**

28

## Próbkowanie sygnału

Obraz cyfrowy to funkcja  $f(x, y)$  podwójnie dyskretna:

- odwzorowuje 3D na **dyskretną** i ograniczoną przestrzeni 2D



## Kwantyzacja sygnału

- informacja o intensywności **cechy pomiarowej** jest **dyskretna** (skwantowana)



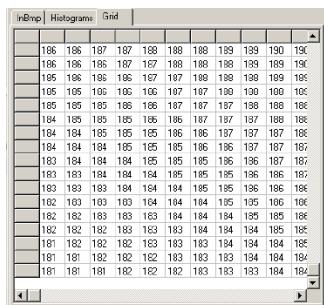
## Kwantyzacja sygnału

- To proces polegający na przypisaniu wartościom analogowym do najbliższych poziomów reprezentacji cyfrowej (np.: 8-bitowego kodu)
- Niedokładności wynikające z zaokrągleń stanowią szum kwantyzacji

- W dyskretnych punktach przestrzeni dokonujemy pomiaru sygnału na podstawie, którego tworzymy obraz
  - Wyszukanie wartości minimalnej i maksymalnej lub odczytanie z parametrów urządzeń detekcji sygnału
  - Unormowanie sygnału przez przeliczenie wartości pomiarowych na zakres  $<0,1>$
  - Wybór zakresu bitów kodu, czyli ilości przedziałów kwantowania i przeliczenie unormowanego sygnału na kody
  - Zaokrąglenie do wartości naturalnych
- | 0     | 5     | 6     | 8.5   |
|-------|-------|-------|-------|
| 2.1   | 3.3   | 5.2   | 9.0   |
| -8    | -2    | 1.2   | 3     |
| 0.5   | 0.75  | 0.8   | 0.92  |
| 0.6   | 0.66  | 0.76  | 0.95  |
| 0.1   | 0.4   | 0.56  | 0.65  |
| 127.5 | 191.1 | 204.0 | 235.8 |
| 154.2 | 169.5 | 193.8 | 242.2 |
| 25.5  | 102.0 | 142.8 | 165.7 |
| 127   | 191   | 204   | 235   |
| 154   | 169   | 193   | 242   |
| 25    | 102   | 142   | 165   |

30

## Zapis obrazu cyfrowego w pamięci komputera



31

## Charakterystyczne cechy procesu akwizycji i obrazu

32

## Inherentne cechy procesu akwizycji

- Nakładanie szumu  
(dla aparatu cyfrowego – szumu kwantyzacji, czyli odpowiednika ziarna dla tradycyjnej fotografii)
- Nakładanie zniekształceń  
(dla aparatu cyfrowego - zniekształcenia obiektywów szerokokątnych, dystorsje soczewek, gorące i zimne piksle w matrycy)

Urządzenia akwizycji charakteryzuje się przez podanie informacji o poziomie szumu i zakłóceń

33

## Szum



Szum (ang. random noise) to przypadkowe, niestacjonarne zakłócenia wartości sygnału:

- w czasie;
- w przestrzeni.

Nakładanie szumu na sygnał to inherentna cecha urządzeń elektronicznych, które albo transmitują albo odbierają sygnał w postaci prądu elektrycznego

34

## Szum powstaje na skutek

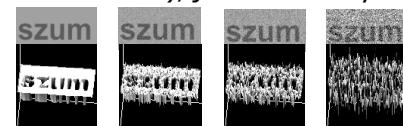
- Nałożenia termicznych ruchów elektronów w materii na mierzony sygnał, który jest zamieniany na prąd (np.: w przetwornikach zamieniających światło na prąd zgodnie ze zjawiskiem fotoelektrycznym)
- Niestabilności źródła formowania sygnału, np.: promieniowania X, fali akustycznej czy radiowej;

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

35

## Miara szumu

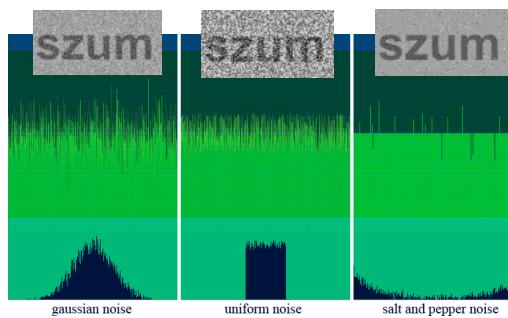
Stosunek sygnału do szumu (ang. signal to noise ratio – SNR), jednostka decybole dB.



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

36

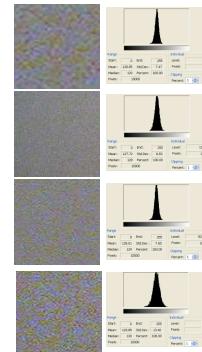
## Charakterystyka szumu w obrazie



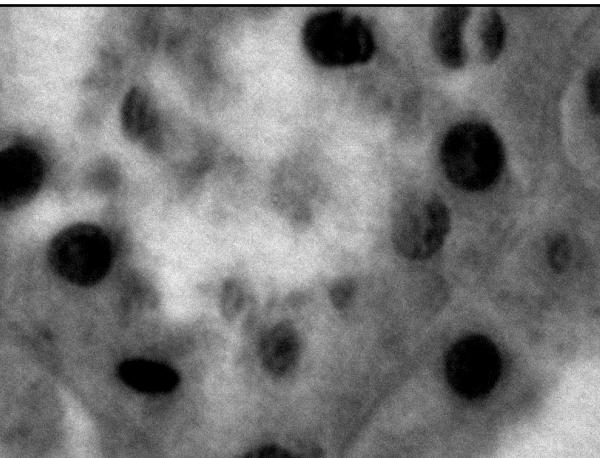
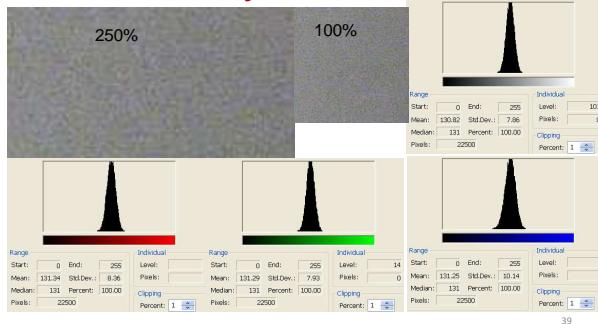
**szum**

## Typy szumu w obrazie

- Szum niskoczęstotliwościowy (ang. *coarser texture* - chropowaty gruboziarnisty)
- Szum wysokoczęstotliwościowy (ang. *fine-grained* - drobny)
- Szum o małej amplitudzie (ang. *smoother texture* - gładki)
- Szum o dużej amplitudzie (ang. *rougher texture* - szorstki)

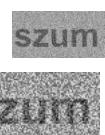


## Szum w obrazie: w luminancji i w kanałach kolorów



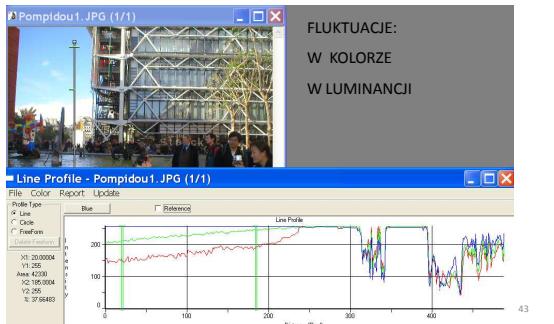
## Na jakich obrazach występuje dużo szumu?

- Rentgenowskich, w mikroskopach fluorescencyjnych, ze znacznikami emitującymi wąski zakres fal elektromagnetycznych – powód: mało fotonów (charakterystyka gaussowska)
- Mikroskop elektronowy skanujący – powód: niestabilność źródła światła - długie czasy zbierania (charakterystyka niegaussowska)
- Astronomicznych - zbieranych przy pomocy kamery integrującej sygnał



40

## Szum nakładany na obraz przez cyfrowy aparat fotograficzny



## 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, truncated, .. )
- Nałożenia termicznych ruchów elektronów na mierzony sygnał



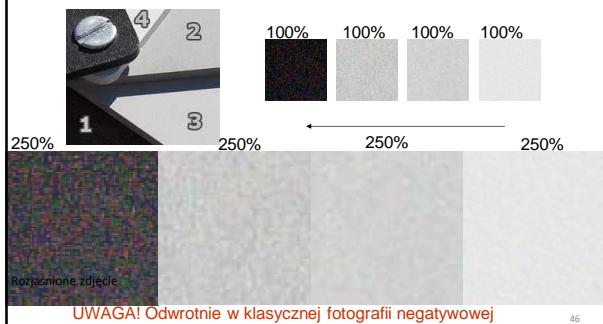
44

## Szum w obrazach cyfrowych zależny 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)

45

## Rozłożenie szumu na obrazie



46

## Redukcja szumu

- Na poziomie akwizycji:
  - Wybór maksymalnie długiego czasu naświetlania
  - Wybór niskich czułości ISO
  - Chłodzenie matrycy
  - Wykonywanie zdjęć wielokrotnych (braketing)
  - 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

47

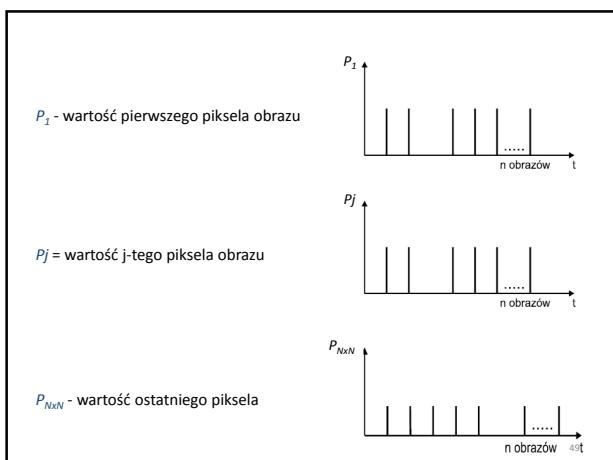
## Uśrednianie czasowe (dotyczy obrazów statycznych)

$N \times N$  – 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

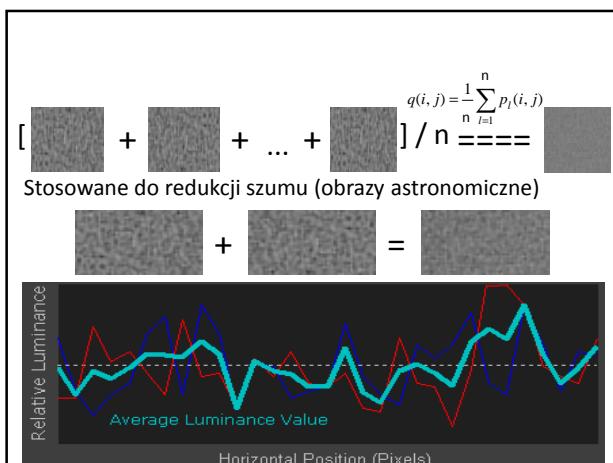
48



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

$P_{ji}$  - wartość j-tego piksela obrazu w i-tej chwili czasowej  
 $P_{js}$  - wartość średnia j-tego piksela obrazu w n chwilach czasowych  
 $n$  - liczba pojawić się obrazu  $i = 1, n$   
 $NxN$  – liczba pikseli w obrazie  $j = 1, N \times N$

50



Uśrednianie przestrzenne (obrazy statyczne oraz zmienne w czasie)

15	13	15
14	0	15
12	12	14

$\Rightarrow$

15	13	15
14	12	15
12	12	14

$P_{sr} = \frac{\sum_i^n P_i}{n}$

$n = 9$  - otoczenie 8-spójne

$n = 5$  - otoczenie 4-spójne

$n$  - liczba pikseli otoczenia (wraz z pikselem przetwarzanym)

52

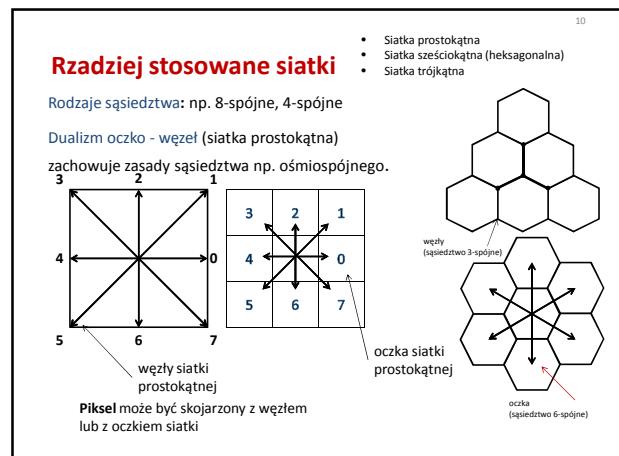
**MATERIAŁ DO WYKŁADU I ĆWICZEŃ LABORATORYJNYCH:**

R. Tadeusiewicz, P. Korohoda: Komputerowa analiza i przetwarzanie obrazów, Kraków 1997. <http://winntbg.bog.agh.edu.pl/skrypty2/0098/> (także plik... |POBD|2019-2020|Materiały|TadKoroh.pdf na UBIKu)

**Wykład**  
Material podstawowy:  
M. Doros, Przetwarzanie obrazów, Skrypt WSISIZ

**Ćwiczenia Laboratoryjne**  
Material podstawowy:  
M. Doros, A. Korzyńska, M. Przytulska, H. Gosczyńska: „Przetwarzanie Obrazów, ćwiczenia laboratoryjne”, Skrypt WSISIZ

53



9

## Sąsiedztwo

- **Siatka dyskretna (discrete net)**- wzorzec według którego dokonywana jest dyskretyzacja przestrzenna obrazu; linie, oczka, węzły
- **Siatka prostokątna** – najczęściej stosowana: oczko siatki jest kwadratem
- **Piksel** – podstawowy element obrazu; odniesienie do oczka lub węzła siatki

11

## Paradoks spójności

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

- 1 - obiekt spójny  
2 - tło: spójne(?)  
niespójne(?)

**Przeciwdziałanie:**  
przypisanie różnych rodzajów sąsiedztwa pikselom obiektu i tła