

Wprowadzenie do technologii cyfrowych

Roman Simiński

roman.siminski@us.edu.pl

roman@siminskionline.pl

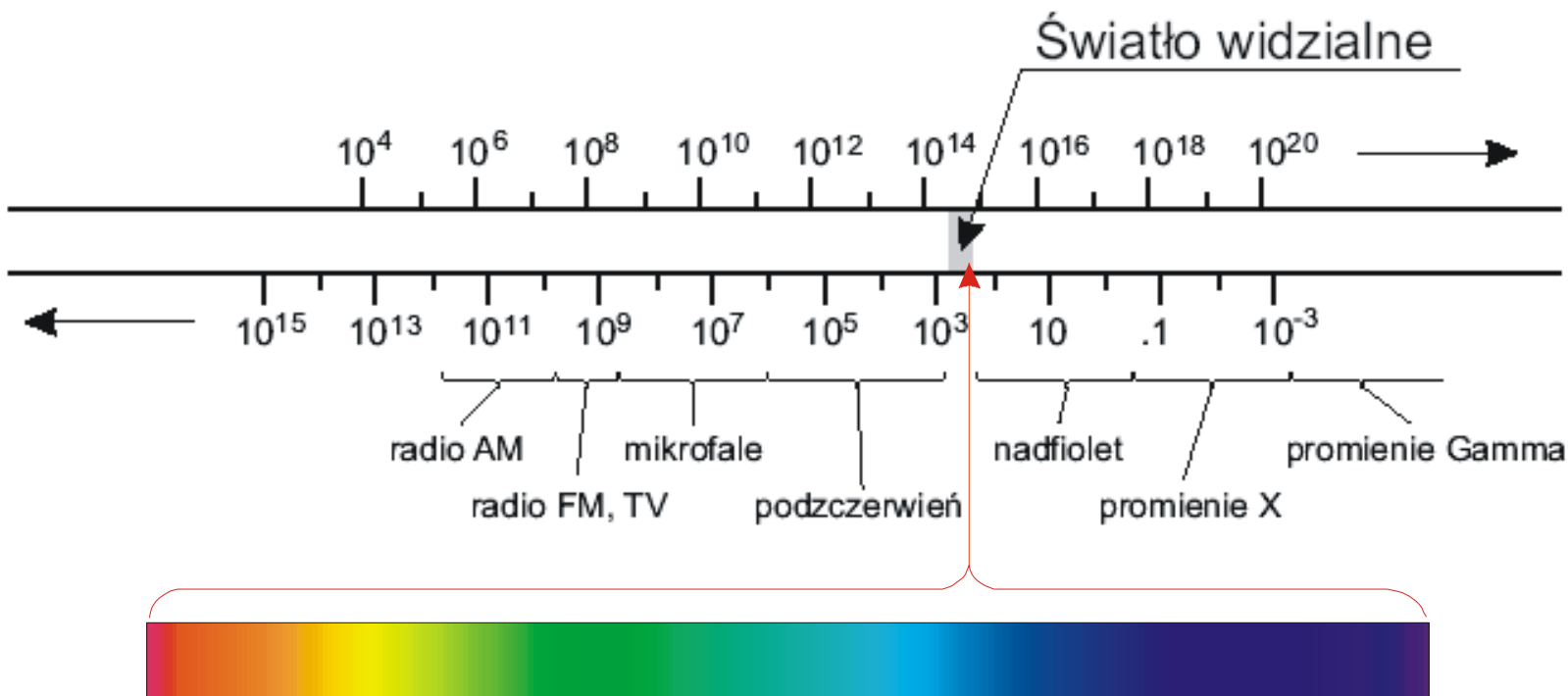
Cyfrowe reprezentacje

Grafika

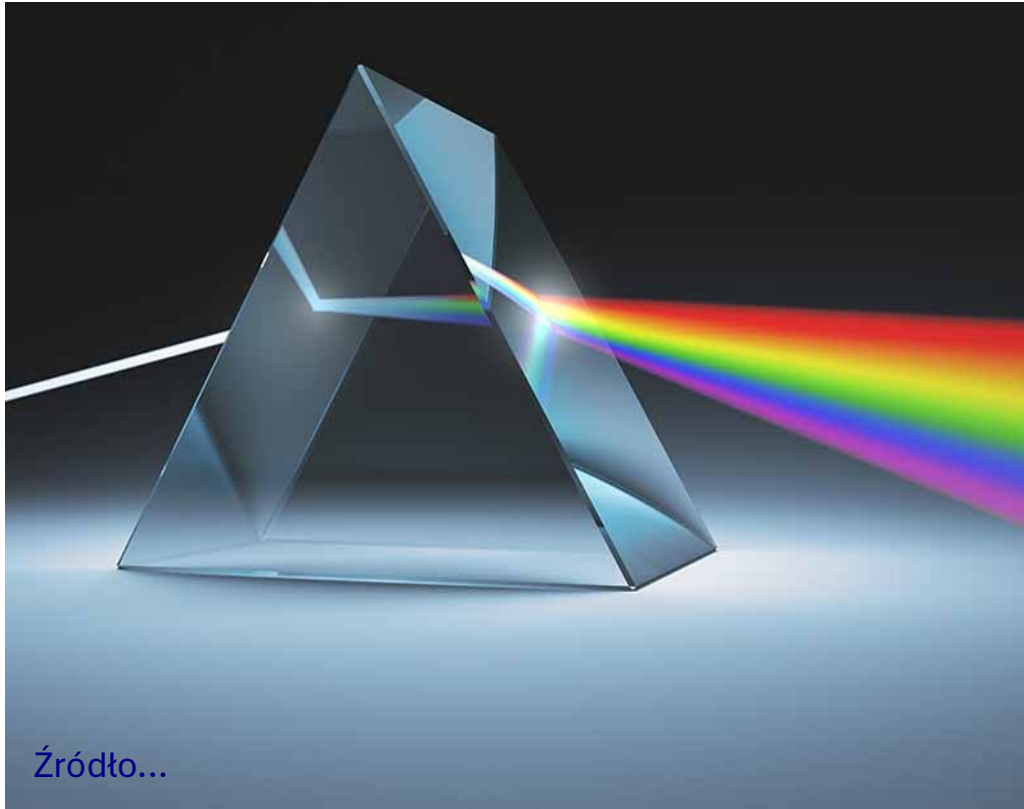


Kolor w ujęciu fizycznym

- Światło barwne to fala elektromagnetyczna, pochodząca z wąskiego pasma częstotliwości. Najniższa fala, widoczna dla człowieka to czerwień ($4.3 \cdot 10^{14}$ Hz) a najwyższa to fiolet ($7.5 \cdot 10^{14}$ Hz).



Światło, które widzimy jest mieszanią barw



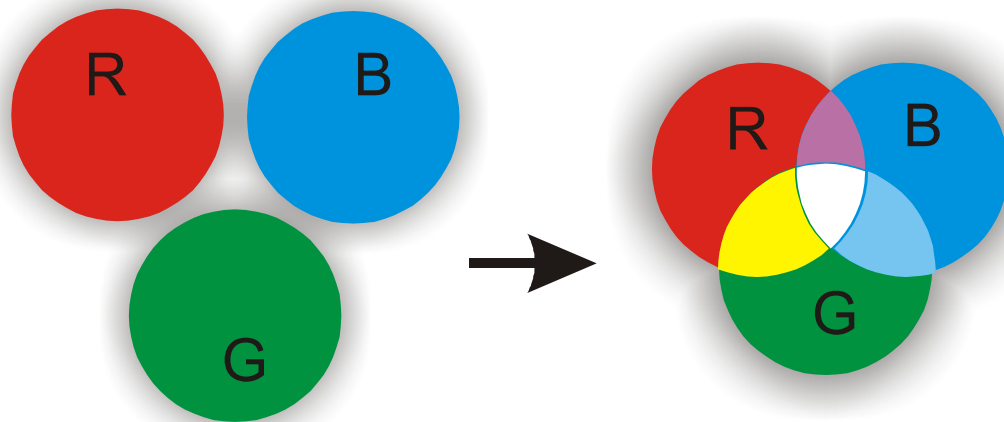
- Rozszczepienie światła jest to zjawisko rozkładu światła białego na jego barwne składowe.
- Poszczególnym kolorom światła odpowiadają różne częstotliwości fali elektromagnetycznej.
- Prędkości rozchodzenia się poszczególnych fal kolorów składowych są różne, dlatego załamują się w różny sposób.
- Przejście promieni przez kolejną ściankę pryzmatu wzmacnia rozszczepienie.

Obraz analogowy — właściwości

Kolor w modelu RGB powstaje jako wynik mieszania barw podstawowych:

- **R**, barwa czerwona (ang. red), fala o długości ok. 630 nm;
- **G**, barwa zielona (ang. green) fala o długości ok. 530 nm;
- **B**, barwa niebieska (ang. blue) fala o długości ok. 450 nm.

Model RGB zakłada że barwy składowe koloru dodają się mieszając — addytywna synteza koloru.



Obraz analogowy — właściwości

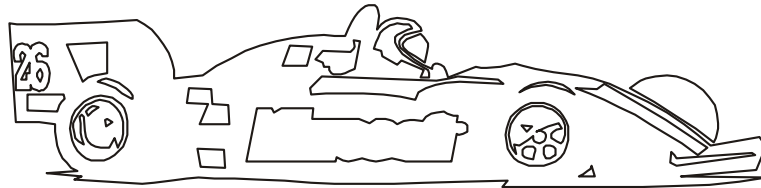
- Tonalność — występowanie tej samej barwy w różnych odcieniach (różne nasycenie barwy i jej jasność).



- Ciągłotonalność — ciągłe i płynne przejścia pomiędzy różnymi odcieniami w obrębie tej samej barwy oraz pomiędzy różnymi barwami.

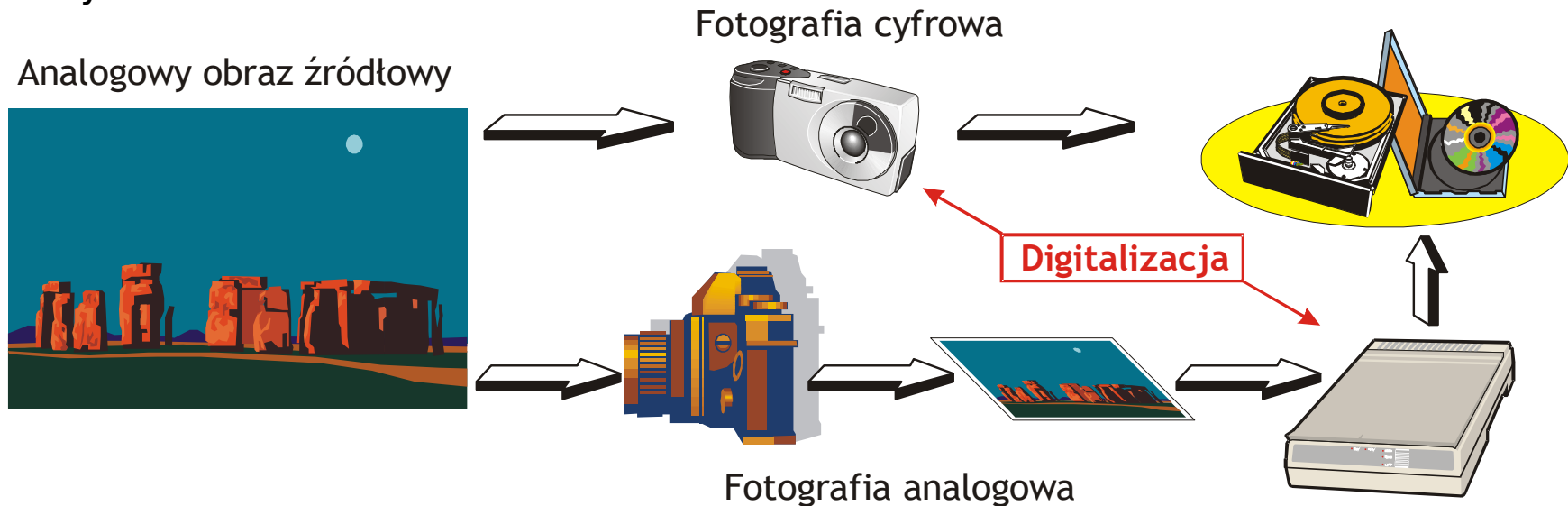


- Kreska — bywają obrazy jedno lub kilkubarwne bez żadnych odcieni. Są to obrazy monobarwne (np. czarno-białe) lub kilkukolorowe.



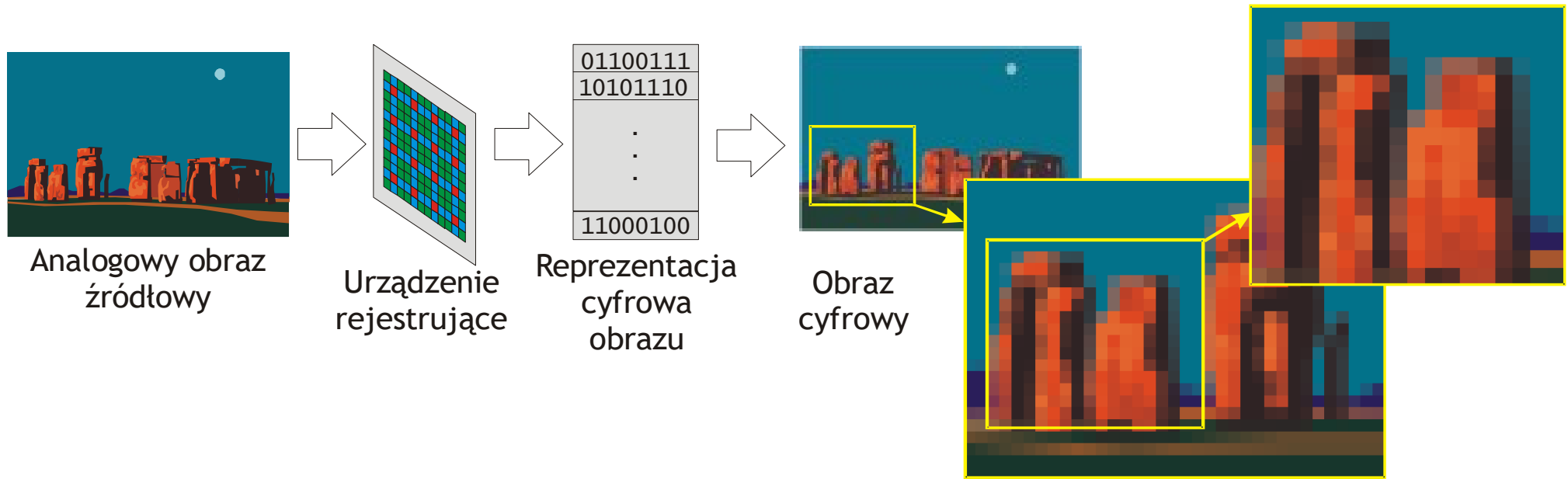
Jak powstaje obraz cyfrowy?

- Do rejestracji obrazu cyfrowego stosuje się układy czujników fotoelektrycznych. Gdy na taki czujnik pada światło – fotony – przetwarza je on na prąd elektryczny.
- Prąd elektryczny uzyskany z czujnika trafia do przetwornika analogowo-cyfrowego gdzie następuje proces dyskretyzacji i digitalizacji ciągłego sygnału prądowego.
- Czujniki takie występują w skanerach, cyfrowych aparatach fotograficznych i cyfrowych kamerach.



Jak powstaje obraz cyfrowy?

W wyniku procesu cyfrowej rejestracji obrazu (żargonowo: digitalizacji) powstaje obraz złożony z punktów, utworzonych w oparciu o informacje pozyskane z elementów światłoczułych.



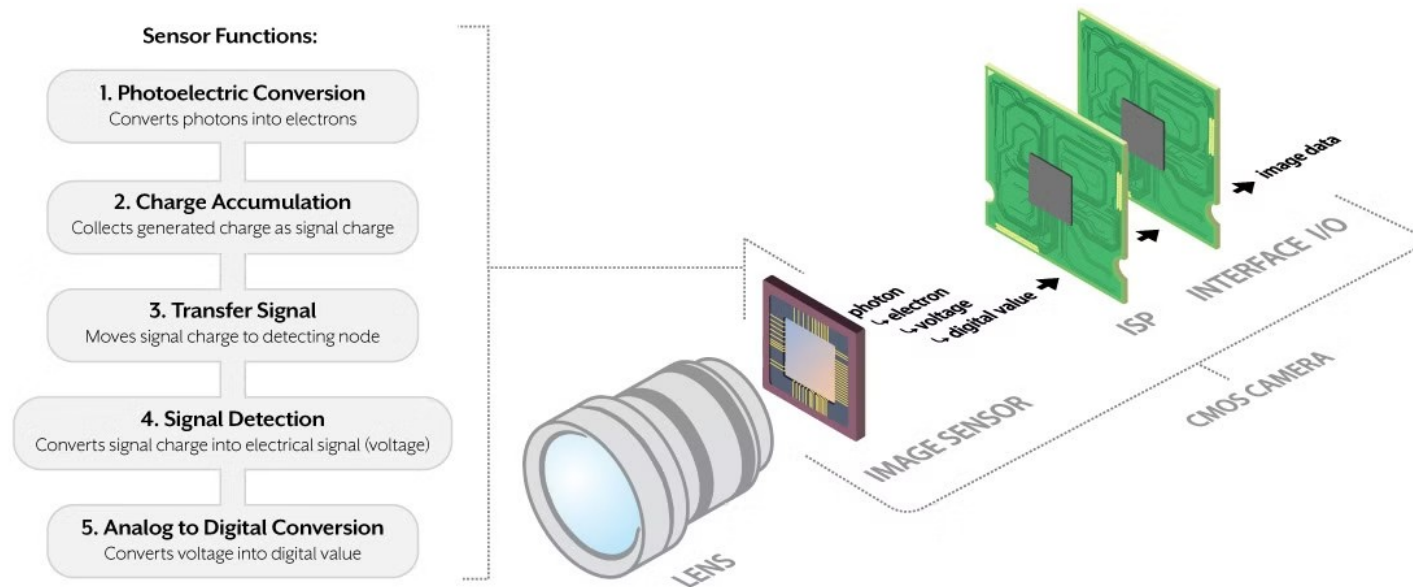
Obraz cyfrowy — właściwości

- Obrazy cyfrowe po digitalizacji to prostokątne obszary, zbudowane z identycznych pod względem wielkości i kształtu kwadratowych elementów zwanych pikselami.
- Wymiary tak zapisanego obrazu są zawsze wielokrotnościami piksela.



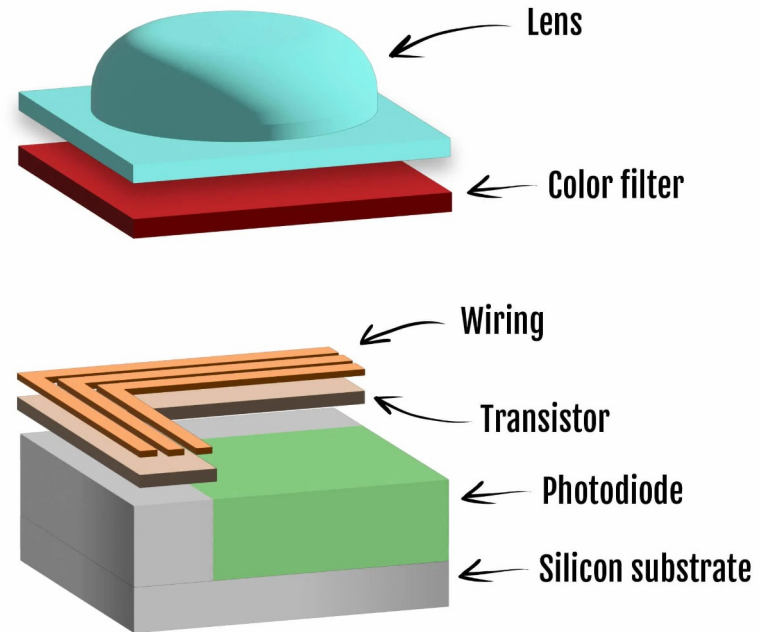
Jak powstaje obraz cyfrowy?

W aparacie fotograficznym matryca światłoczuła odbiera padające światło (fotony), które jest skupiane przez obiektyw. Czujniki matrycy generują informację w postaci sygnału elektrycznego, z czego powstaje postać cyfrowa tworzona przez przetwornik analogowo-cyfrowy.



Elementy światłoczułe i matryca

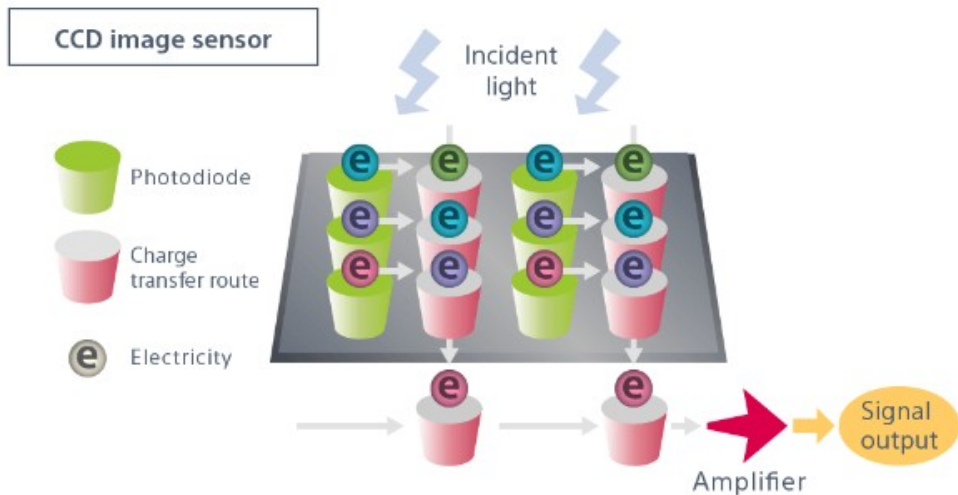
- Fotony padają za pośrednictwem soczewki fotodiodę, gdzie są przekształcane w prąd elektryczny, którego natężenie odpowiada intensywności wykrytego światła.
- Sygnał prądowy jest wzmacniany na poziomie każdego piksela, a następnie przesyłany do konwertera analogowo-cyfrowego (ADC), który przekształca sygnał na format cyfrowy.



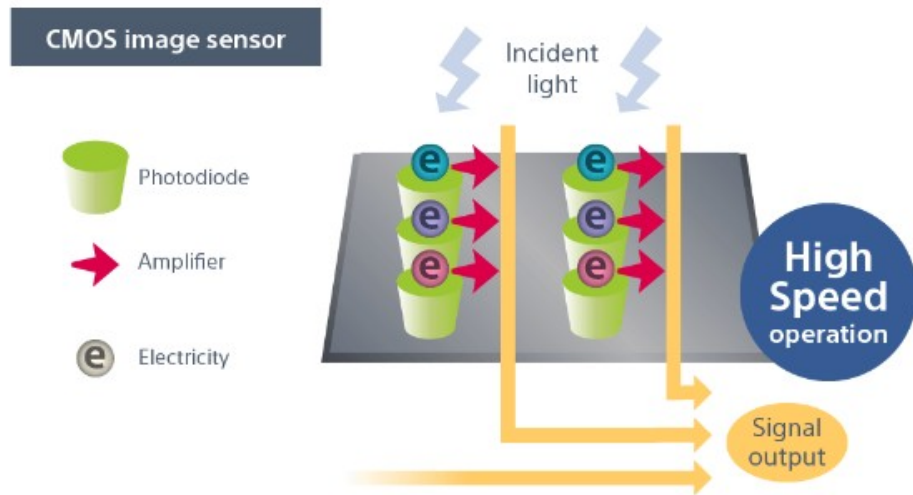
Źródło...

Sensory CCD i CMOS

Structural comparison between CCD and CMOS image sensors



Light is turned into electricity by each photodiode, which relays the electricity. The amplifier located at the exit amplifies the electricity and turn it into a signal.



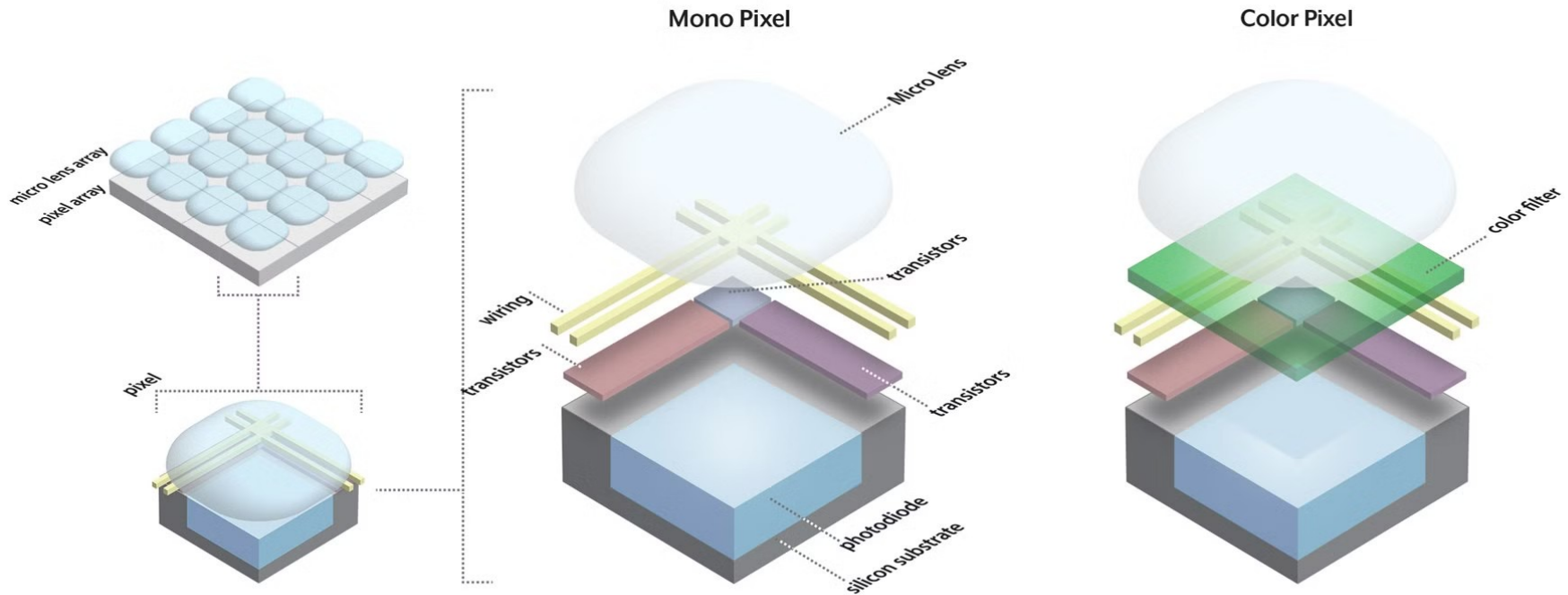
Each photodiode is equipped with an amplifier, so that the converted electricity is amplified on the spot and turned into a signal. All these signals are transmitted straightaway.

Więcej...

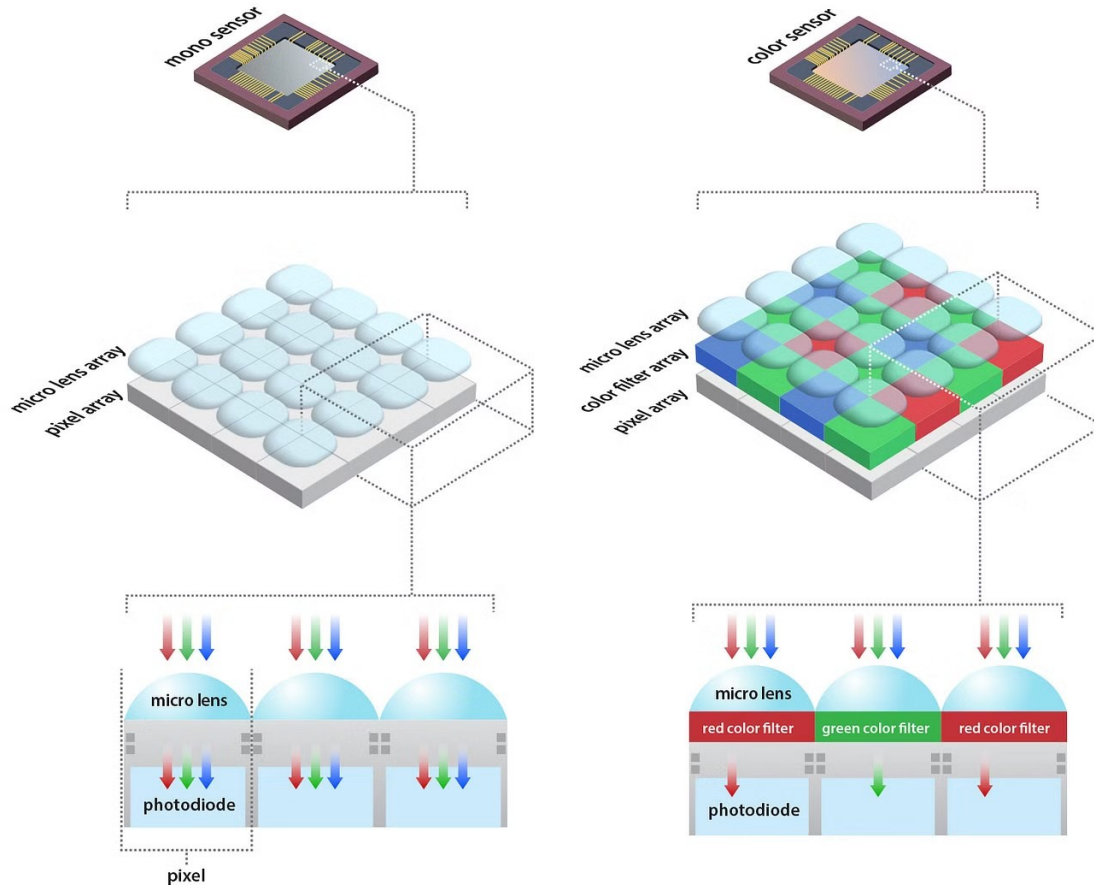
Źródło...

Elementy światłoczułe i matryca

- Rozmiar piksela mierzony jest w mikrometrach (μm) i obejmuje całkowitą powierzchnię zarówno fotodiody, jak i otaczającej elektroniki. Rysunek przedstawia uproszczony schemat piksela CMOS – monochromatycznego i kolorowego.



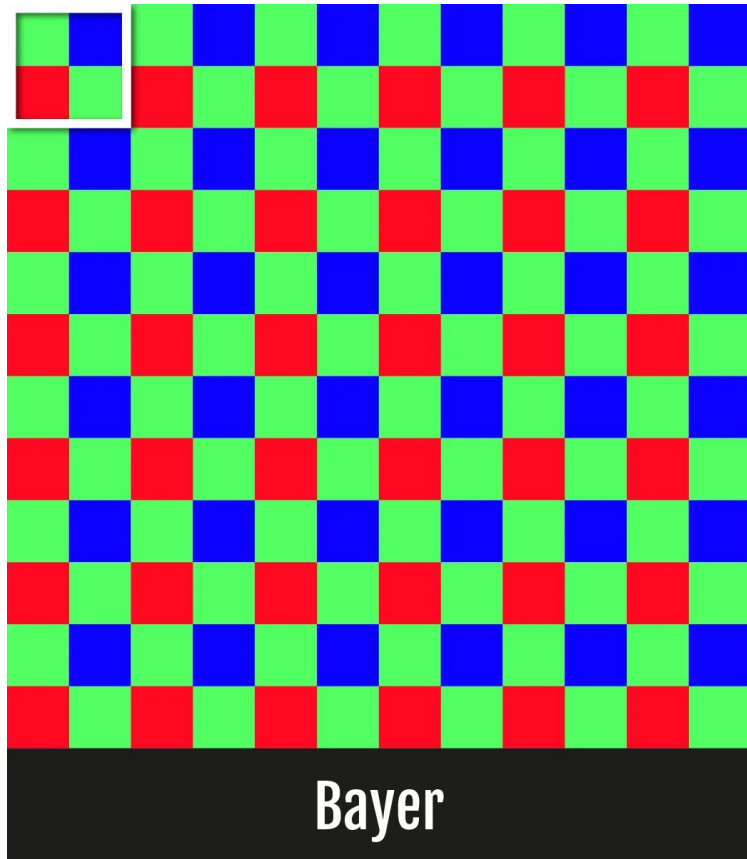
Elementy światłoczułe i matryca



Źródło...

- Na matrycę pada światło „białe”, będące mieszaniną różnych kolorów.
- Sensory kolorowe posiadają warstwę filtra koloru, przepuszczające tylko pożądaną składową koloru ze światła białego.
- W ten sposób dochodzi do separacji barw podstawowych dla każdego z pikseli.
- Oko ludzkie nie jest równomiernie czułe na wszystkie kolory podstawowe – kolor zielony jest obierany słabiej.

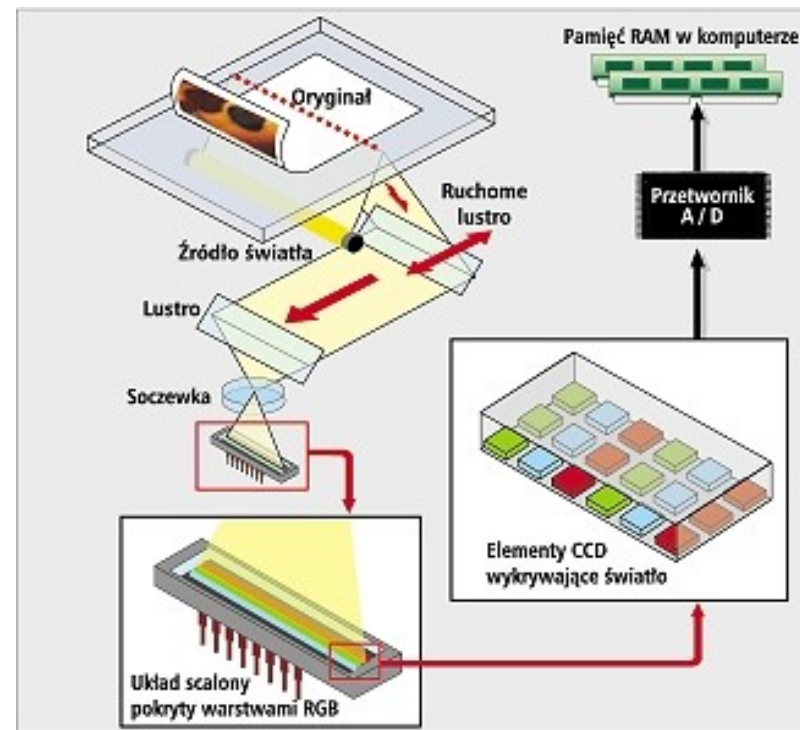
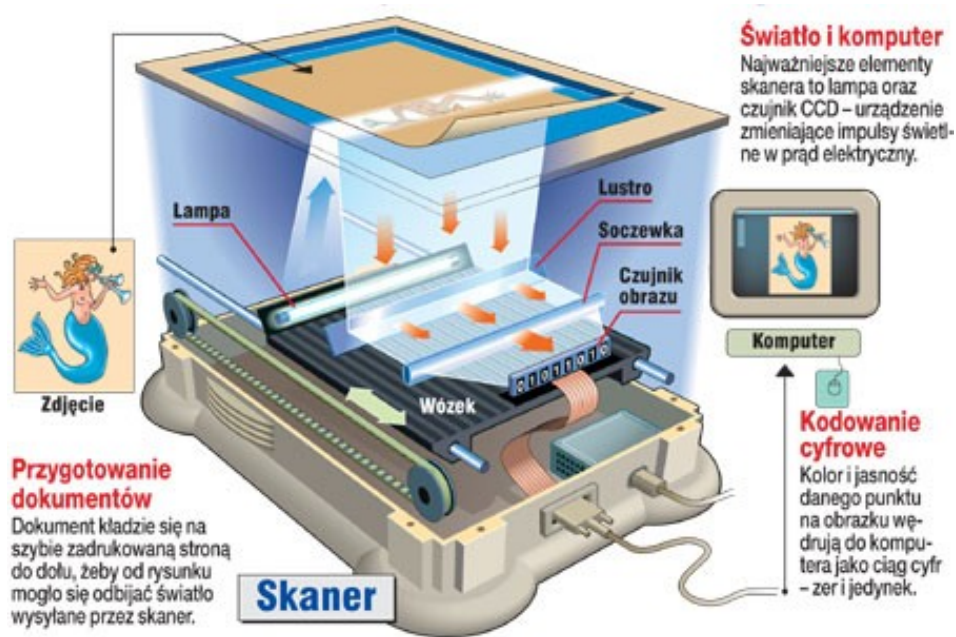
Elementy światłoczułe i matryca



- Matryca światłoczuła składa się z elementów światłoczułych z filtrami – dla kolorów czerwonego, zielonego i niebieskiego.
- Dla każdego piksela przyporządkowuje się element światłoczuły z filtrami dla światła czerwonego, zielonego i niebieskiego.
- Matryce światłoczułe występują w różnych układach, z których najpopularniejszym jest układ Bayera.
- Ten układ wykorzystuje nierówną liczbę filtrów: 50% zielonych, 25% czerwonych i 25% niebieskich.
- Istnieją także inne wzory filtrów o różnych układach i proporcjach RGB.

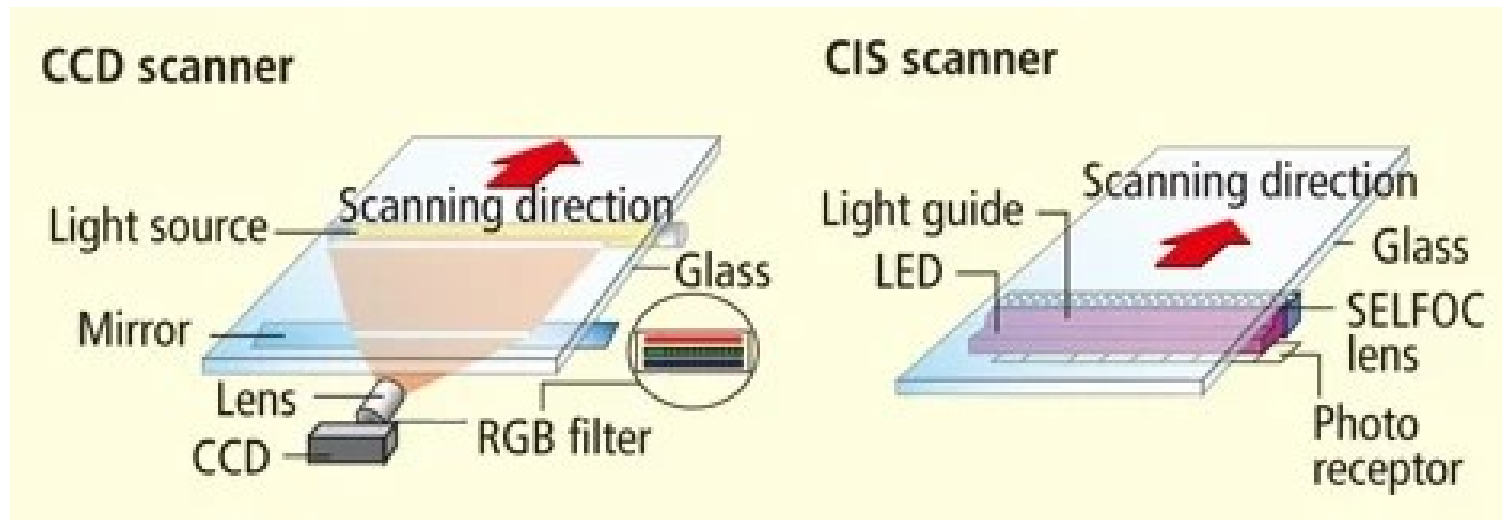
Krotko o skanerach i skanowaniu

- Skaner — przekształca optyczne informacje na komputerowe dane. Za pomocą sensorów bada kolor i jasność odczytywanego obrazu.



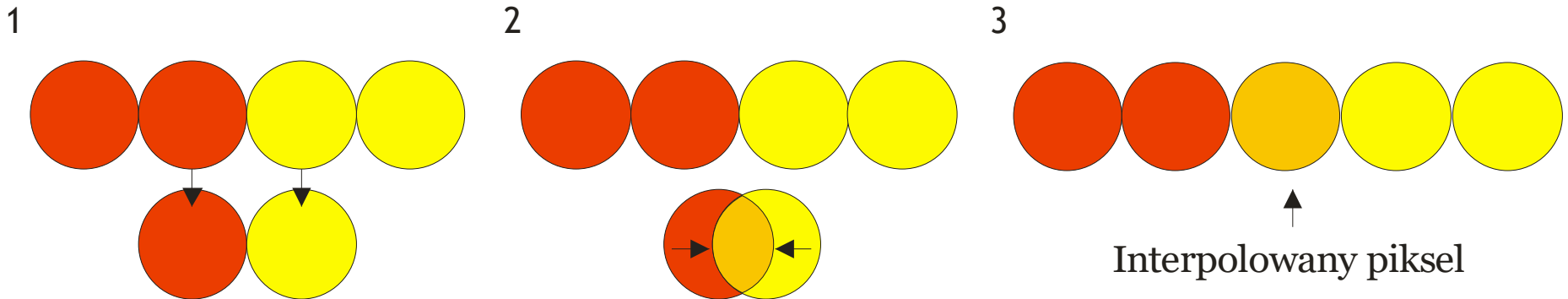
Krotko o skanerach i skanowaniu

- Technologia CCD — bazuje na miniaturowych fotoczułych elementach półprzewodnikowych przetwarzających natężenie padające nań światła na impulsy elektryczne. Podczas skanowania materiał oświetlany jest przez lampę.
- Technologia CIS — bazuje sensorach optycznych umieszczonych 1-2 mm pod szybą skanera; standardowa lampa zastępowana jest matrycą diod LCD w kolorach RGB. Nie trzeba stosować specjalnych lamp oraz skomplikowanych filtrów i luster.



Rozdzielczość optyczna i interpolowana

- **Rozdzielczość optyczna** – gęstość elementów światłoczułych na listwie przesuwanej nad skanowaną ilustracją, podawana jest w postaci dwóch liczb (np. 300x600 dpi.) — liczba elementów skanujących znajdujących się na jednym calu powierzchni elementu (każdy tworzy jeden piksel w osi poziomej) x odległość o jaką ramię przesuwane się pomiędzy ekspozycjami.
- **Rozdzielczość interpolowana** – na podstawie obrazu uzyskanego z rzeczywistą rozdzielczością optyczną, oprogramowanie skanera tworzy dodatkowe piksele poprzez uśrednienie wartości ich jasności oraz koloru, i wstawienie ich pomiędzy piksele rzeczywiście zeskanowane.

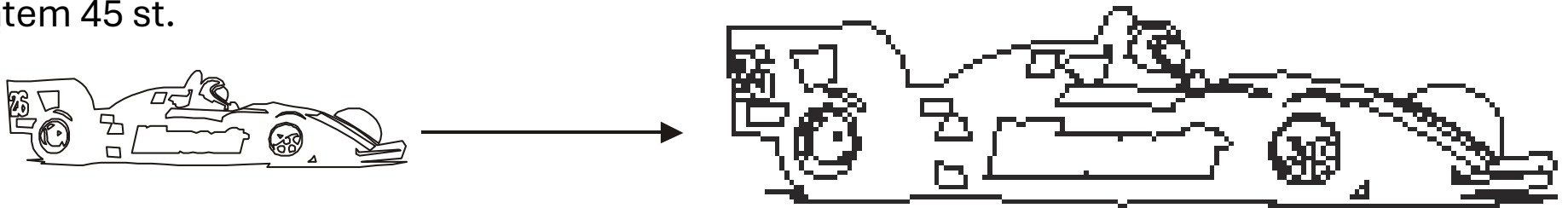


Obraz cyfrowy — właściwości

- Cechą charakterystyczną pojedynczego piksela jest jego monobarwność. W obszarze zajmowanym przez piksel nie występuje ciągłotonalność.
- Obraz cyfrowy cechuje skokowa zmiana barwy i jasności przy przechodzeniu z jednego piksela do następnego.

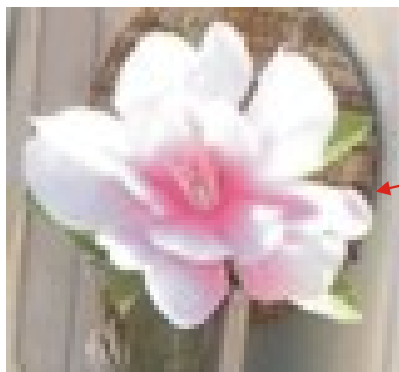


- Obrazy kreskowe tracą jakość. Najlepiej prezentują się kreski poziome, pionowe i nachylone pod kątem 45 st.

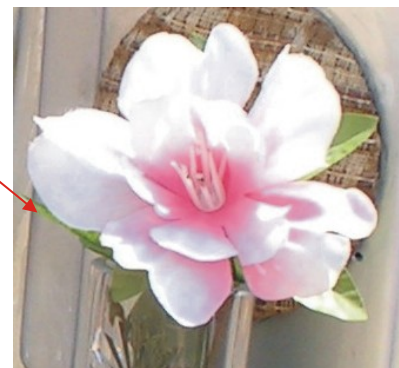
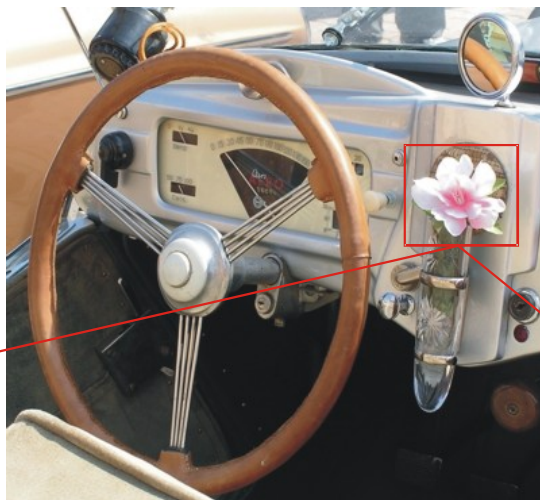


Obraz cyfrowy — właściwości

- Rozdzielczości obrazu cyfrowego, to *liczba pikseli przypadająca na jednostkę długości obrazu cyfrowego*. Określona zwykle *liczbą pikseli przypadającą na cal* — **ppi** (pixels per inch) lub znacznie częściej **dpi** (dots per inch).
- Rozdzielczość obrazu cyfrowego określa jego *zdolność do oddawania szczegółów*.

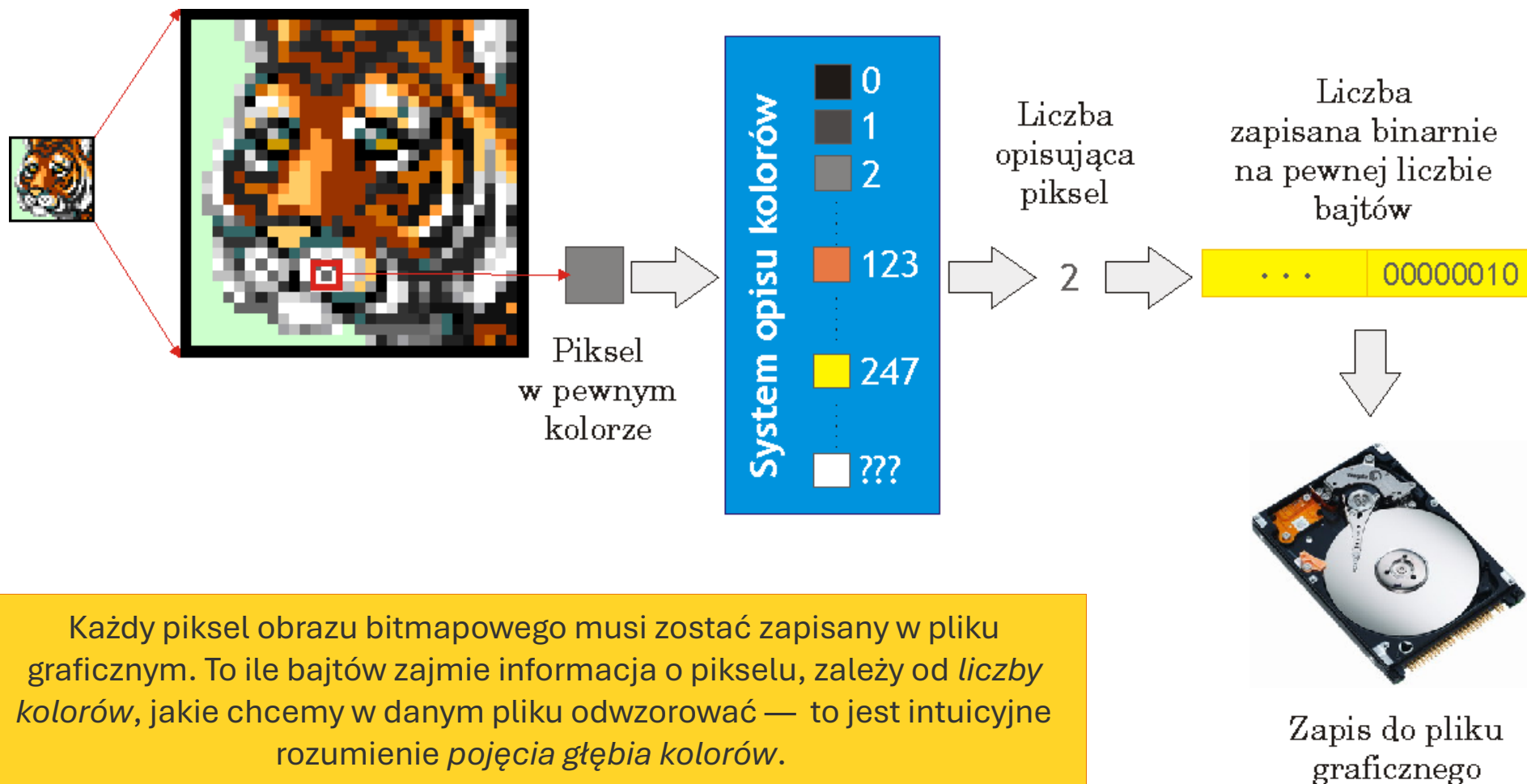


Rozdzielczość
niska



Rozdzielczość
wysoka

Kodowanie kolorów pikseli w grafice rastrowej



Każdy piksel obrazu bitmapowego musi zostać zapisany w pliku graficznym. To ile bajtów zajmie informacja o pikselu, zależy od *liczby kolorów*, jakie chcemy w danym pliku odwzorować — to jest intuicyjne rozumienie *pojęcia głębia kolorów*.

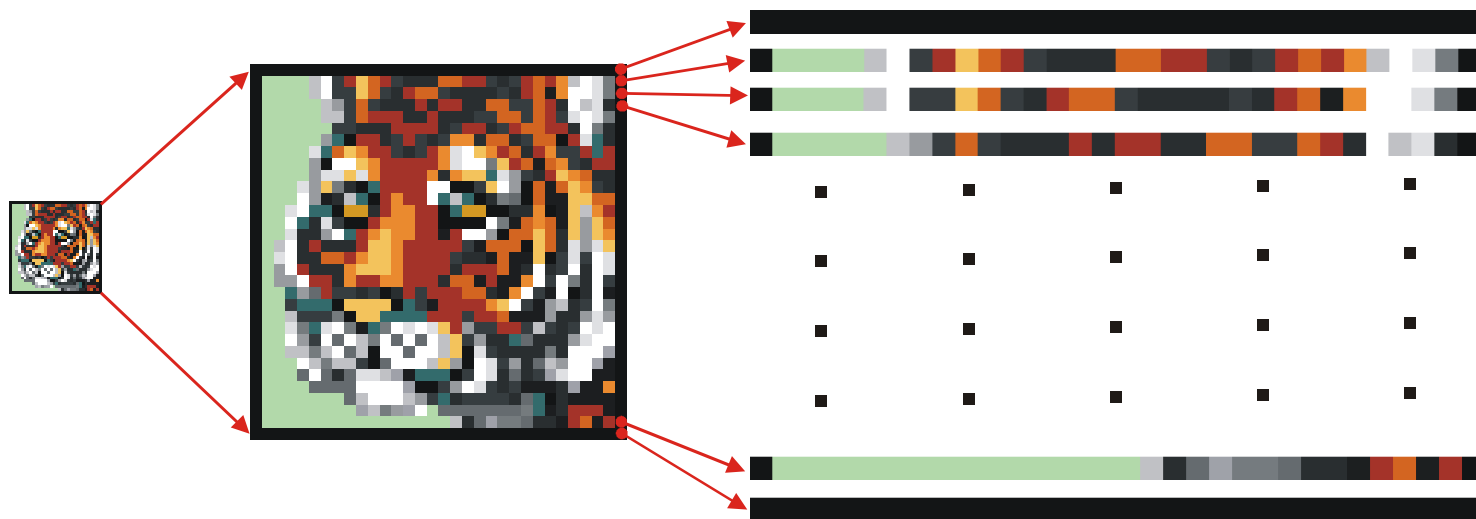
Głębina kolorów

- Głębina kolorów — liczba bitów/bajtów w cyfrowej reprezentacji obrazu, przydzielonych do każdego piksela w celu zapisania informacji o jego barwie.
- Im większa głębina kolorów, tym większa liczba odcieni może być reprezentowana w obrazie cyfrowym.



Coraz mniejsza, cyfrowa głębina kolorów

Wróćmy jeszcze do przykładu grafiki...



Ciąg pikseli



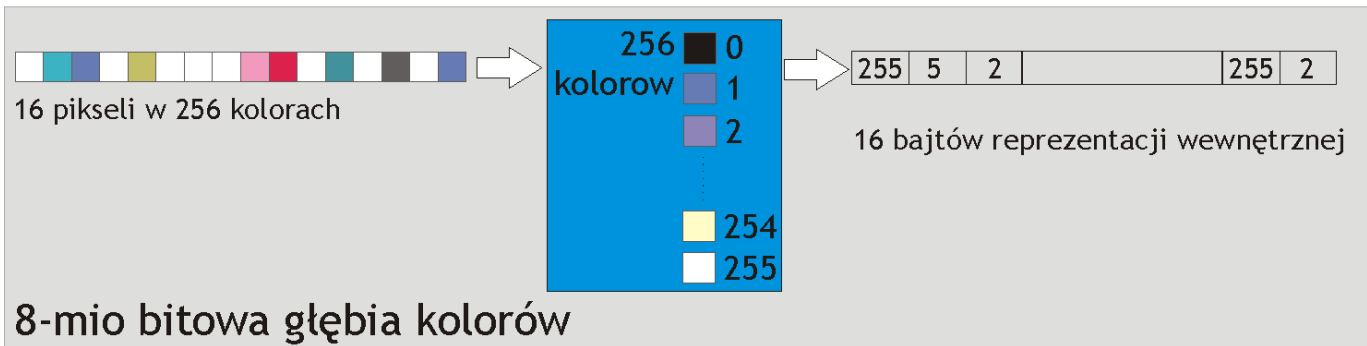
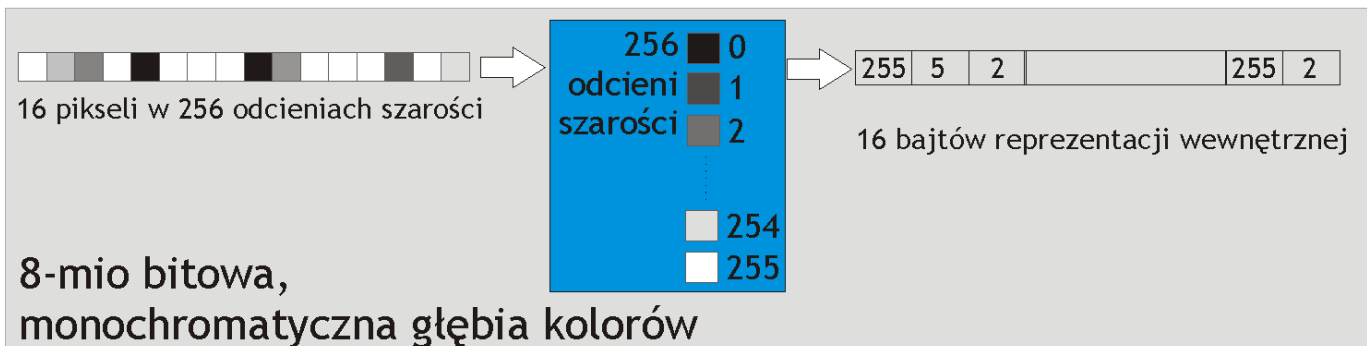
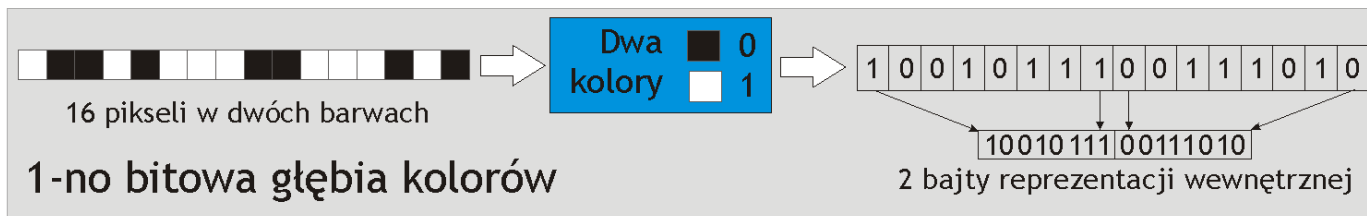
System opisu kolorów



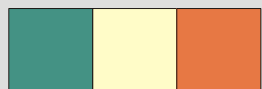
Liczby kodujące
kolory

0	2	2	2	2	14	15	15	14	7	0
---	---	---	---	---	----	----	-------	----	----	---	---

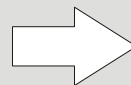
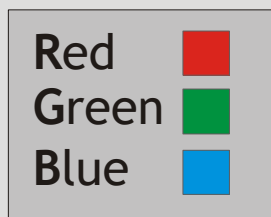
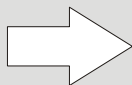
Różne podejścia do numerowania kolorów



Odwzorowanie dużej liczby kolorów



3 piksele, każdy
w jednym z 16.7 mln kolorów

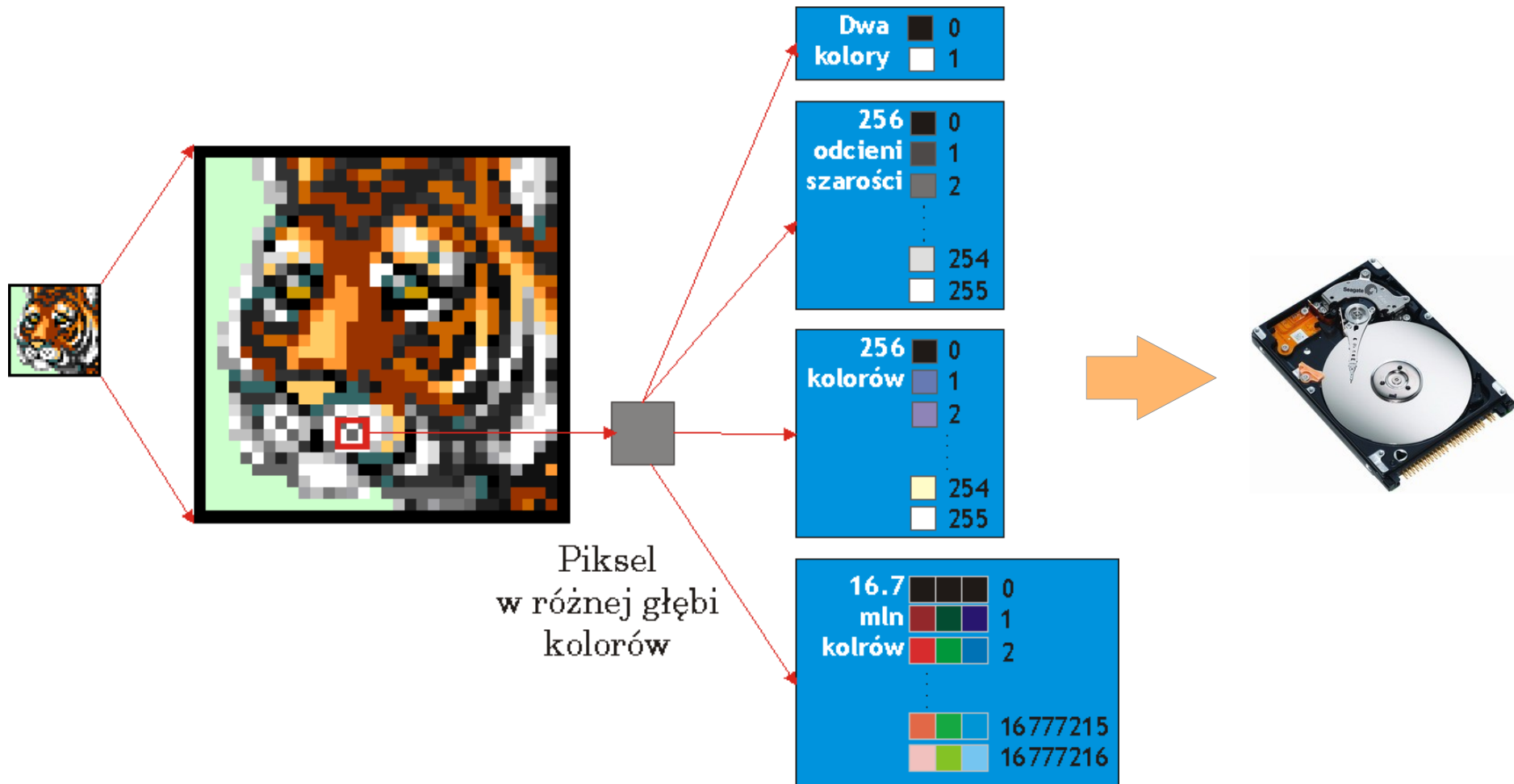


68	255	231
146	252	120
132	200	68

24-ro bitowa głębokość kolorów
tzw. True color

9 bajtów reprezentacji wewnętrznej
przy 8-miu bitach na każdy kanał
pojedynczego piksela

Różne systemy numerowania, różne zapotrzebowanie na zasoby komputera



Różne systemy numerowania, różne zapotrzebowanie na zasoby komputera

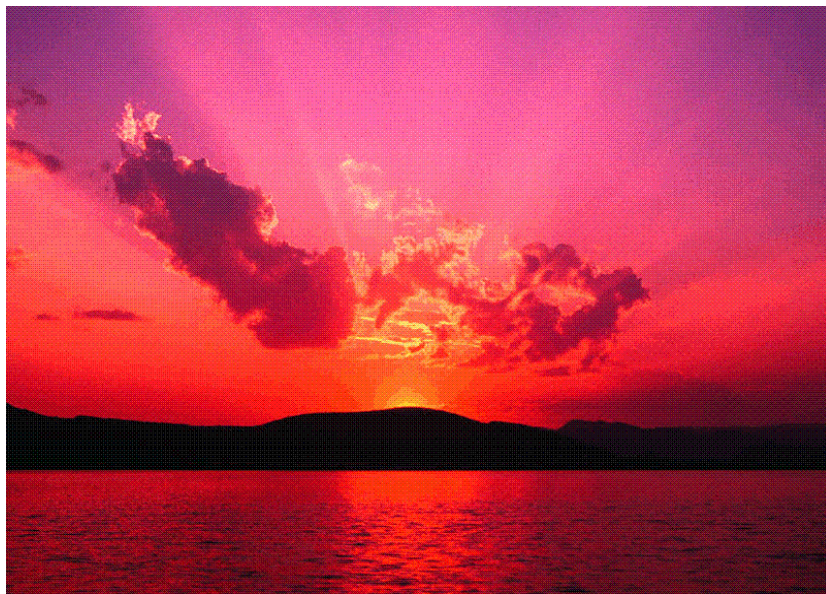


Kolor 24 bitowy
rozmiar pliku bez kompresji 1,37 MB

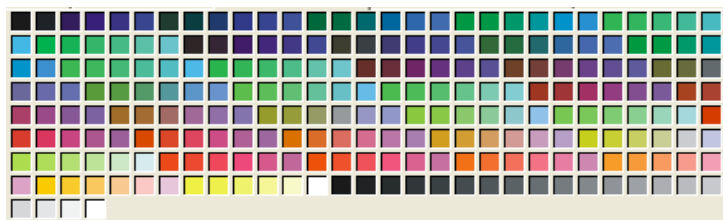


Odcienie szarości
rozmiar pliku bez kompresji 467 kB

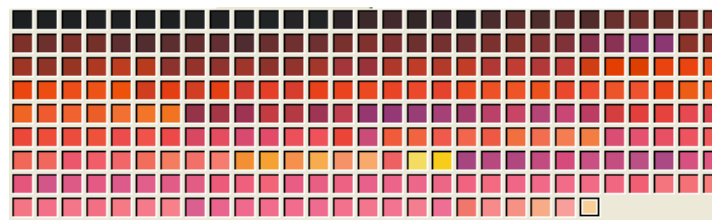
Różne systemy numerowania, różne zapotrzebowanie na zasoby komputera



Standardowa paleta 256 kolorów
rozmiar pliku bez kompresji 469 kB



Zoptymalizowana paleta 256 kolorów
rozmiar pliku bez kompresji 469 kB



Różne systemy numerowania, różne zapotrzebowanie na zasoby komputera



Czarno-biały

rozmiar pliku bez kompresji 58 kB



Duotone

rozmiar pliku bez kompresji 620 kB

Kanały kolorów wcale nie są kolorowe



Obrazek oryginalny



Kanał czerwieni



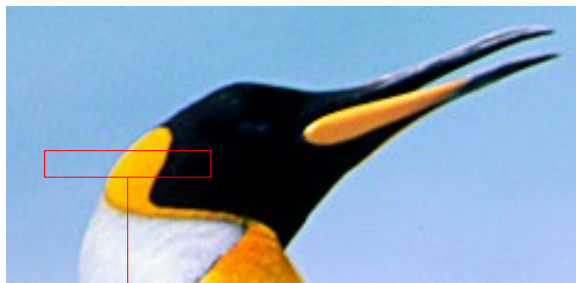
Kanał zieleni



Kanał niebieskiego

Kompresja obrazu

- Kompresja bezstratna (ang. *lossless compression*) — grupa metod zmniejszania rozmiaru przechowywanych informacji, pozwalająca na odtworzenie informacji w postaci identycznej z postacią pierwotną.
- Kompresja stratna (ang. *lossy compression*) — grupa metod zmniejszania rozmiaru przechowywanych informacji, nie gwarantująca odtworzenia informacji w postaci identycznej z postacią pierwotną.



Dwie grupy 19-stu powtarzających się czarnych pikseli.

Zamiast powtórzeń:

19x ■

19x ■



Dlaczego godzimy się na kompresję stratną?

- Kompresja wykorzystuje niedoskonałość ludzkich zmysłów.
- Metody kompresji stratnej zazwyczaj posługują się modelami psychoakustycznymi i psychowizualnymi.
- Na podstawie analizy tych modeli odrzuca się najmniej istotne elementy dźwięku czy obrazu, pozostawiając elementy ważniejsze dla rozpoznawania dźwięku lub obrazu przez zmysły.



Rozmiar obrazu w pikselach: 1024 x 768

Rozmiar bez kompresji: 2,25 MB (2 359 350B)

Rozmiar z kompresją: 757 KB (775 702 B)

Trzykrotne zmniejszenie rozmiaru obrazu

JPEG — najpopularniejsza, stratna metoda kompresji

- JPEG to nazwa zastawu metod kompresji obrazów cyfrowych, przeznaczonego głównie do przetwarzania zdjęć.
- Najlepiej spisuje się przy kompresji obrazów, które nie mają zbyt wielu ostrych krawędzi i małych detali.
- JPEG (Joint Photographic Experts Group) to grupa ekspertów która opracowała metodę kompresji — tak też nazwano tę metodę.
- JFIF (JPEG Interchange File Format) to format plików wykorzystujących kompresję JPEG, pliki te mają zwykle rozszerzenie „.jpg” lub „.jpeg”.

JPEG — koncepcja kompresji

- Przetworzenie obrazu do postaci opisującej jasność (luminancję) i barwę (chrominancję).
- Odrzucenie części informacji o barwie — ludzie znacznie dokładniej postrzegają drobne różnice jasności od drobnych różnic barwy.
- Obraz dzielony jest na bloki 8×8 pikseli, na blokach wykonywana jest odwracalna, *dyskretna transformata kosinusowa* (DCT).
- Liczby będące wynikiem transformacji kosinusowej są poddawane dalszemu przetwarzaniu (kwantyzacja, porządkowanie zygzakowe) a następnie poddawane są *kompresji Huffmana*.

Kompresja JPEG — przykład kompresji stratnej



Kompresja 0%
29,2 kB



Kompresja 20%
7,88 kB



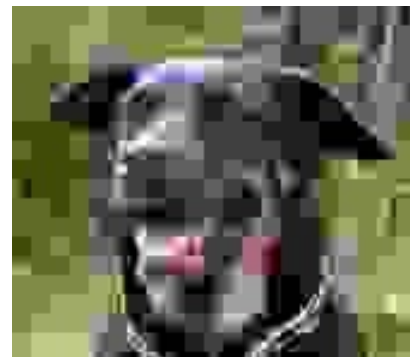
Kompresja 40%
5,54 kB



Kompresja 60%
4,39 kB

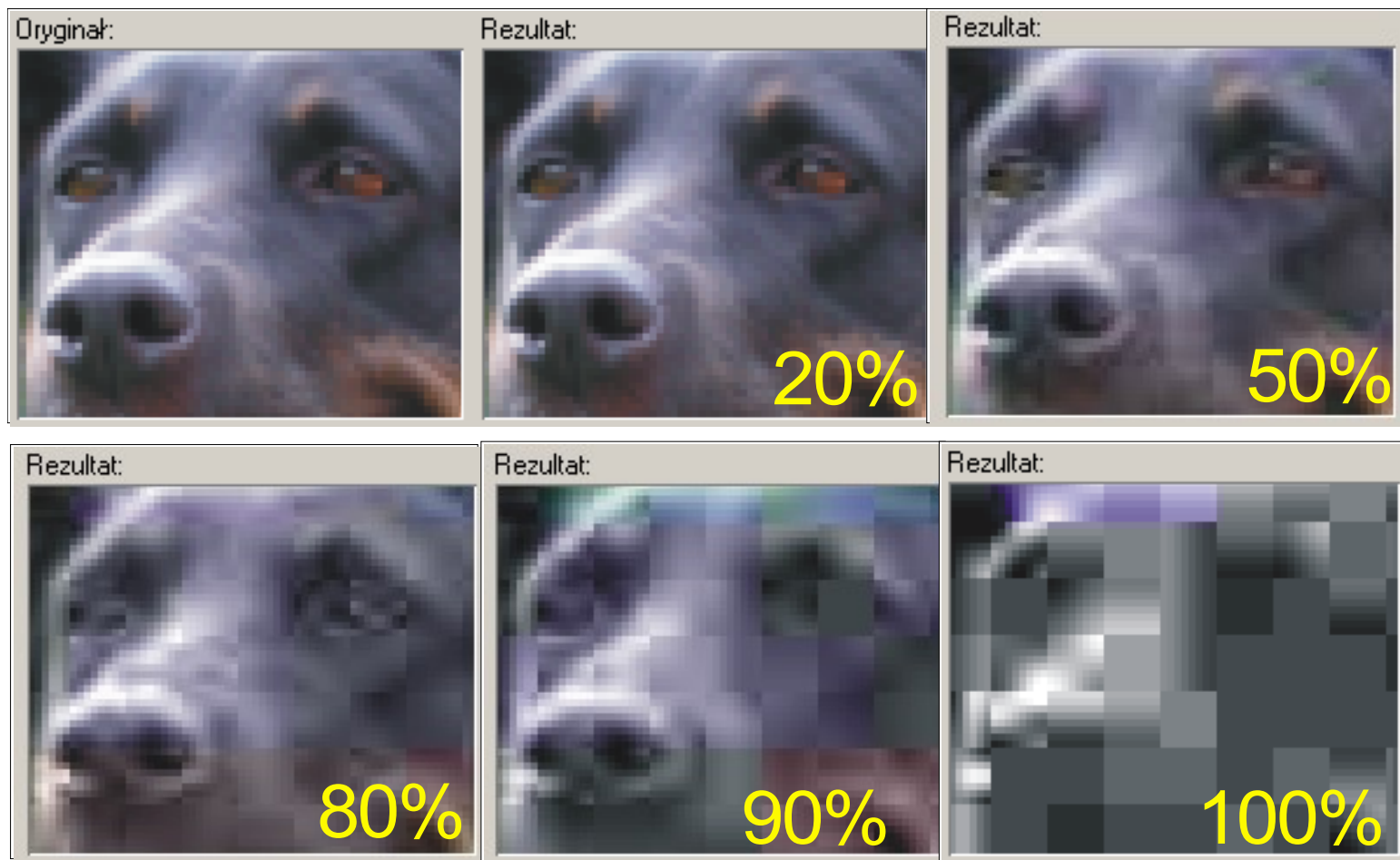


Kompresja 80%
3,09 kB



Kompresja 100%
1,26 kB

Kompresja JPEG — pod lupą



Obraz cyfrowy w postaci bitmapowej

Grafika bitmapowa (rastrowa) - obraz złożony jest z pojedynczych kolorowych punktów o jednakowej wielkości (piksele). Obszar ilustracji podzielony jest na siatkę pikseli czyli tzw. raster. Ilustracje mają ustaloną wysokość i szerokość w pikselach oraz głębię kolorów czyli liczbę możliwych kolorów przypadającą na każdy piksel.

Cechy obrazów rastrowych:

- kolory i kształty w mapach bitowych sprawiają wrażenie ciągłych, jeśli oglądane są z pewnej odległości (utrata jakości podczas skalowania),
- czasochłonne, zwykle nieodwracalne przekształcenia,
- duża objętość plików,
- złożona edycja poszczególnych elementów obrazu,
- wierne odwzorowanie rzeczywistości.



JPEG (Joint Photographic Experts Group)

Cechy:

- Format stratny – podczas kompresji traci część danych, co zmniejsza rozmiar pliku.
- Obsługuje 24-bitową głębię koloru (16,7 miliona kolorów).
- Nie obsługuje przezroczystości.

Zastosowania:

- Zdjęcia cyfrowe.
- Strony internetowe, i wszędzie tam gdzie ważna jest „mała waga” pliku.

PNG (Portable Network Graphics)

Cechy:

- Format bezstratny – kompresuje pliki bez utraty jakości.
- Obsługuje przezroczystość (kanał alfa).
- Doskonały dla grafik z ograniczoną paletą kolorów.

Zastosowania:

- Logo, ikony i grafiki na strony internetowe.
- Obrazy wymagające przezroczystości.

BMP (Bitmap Image File)

Cechy:

- Format nieskompresowany – duży rozmiar pliku.
- Prosty, ale zachowuje pełną jakość obrazu.
- Obsługuje różne głębokości koloru.

Zastosowania:

- Tam gdzie jakość grafiki ma większe znaczenie niż rozmiar.
- Nierzadko używany ze względu na dużą objętość plików.

GIF (Graphics Interchange Format)

Cechy:

- Obsługuje animacje.
- Używa palety do 256 kolorów (8-bitowy kolor).
- Obsługuje prostą przezroczystość.

Zastosowania:

- Krótkie animacje i proste grafiki internetowe.
- Ikony, bannery reklamowe.

TIFF (Tagged Image File Format)

Cechy:

- Format bezstratny lub stratny – możliwość wyboru.
- Obsługuje wysoką głębię kolorów (do 48 bitów na kanał).
- Duże pliki, ale bardzo wysoka jakość obrazu.

Zastosowania:

- Grafika profesjonalna i publikacje drukowane.
- Archiwizacja obrazów w wysokiej jakości.

RAW (ang. surowy)

Cechy:

- Format nieskompresowany (lub minimalnie przetworzony).
- Zawiera surowe dane z sensora aparatu.
- Wymaga specjalistycznego oprogramowania do edycji i konwersji.

Zastosowania:

- Fotografia profesjonalna – maksymalna kontrola nad edycją.

HEIF/HEIC (High Efficiency Image File Format)

Cechy:

- Format nowoczesny, wydajniejszy niż JPEG.
- Obsługuje przezroczystość, animacje, HDR.
- Bardzo dobra jakość przy mniejszych rozmiarach plików.

Zastosowania:

- Zdjęcia i wideo na urządzeniach mobilnych (np. iPhone).

WebP

Cechy:

- Stworzony przez Google.
- Obsługuje kompresję stratną i bezstratną.
- Obsługuje przezroczystość i animacje.
- Mniejszy rozmiar pliku niż JPEG czy PNG przy zachowaniu jakości.

Zastosowania:

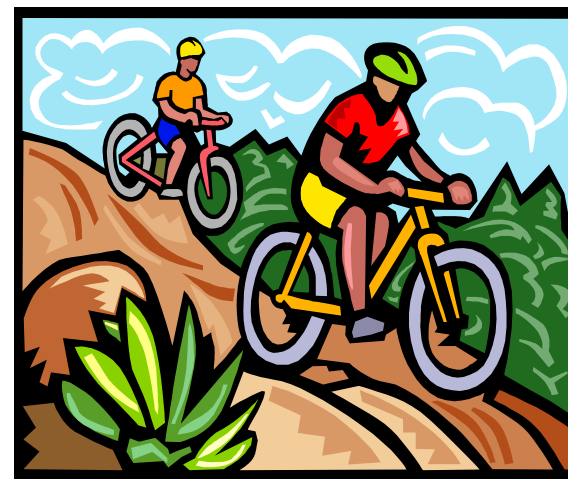
- Optymalizacja grafiki na stronach internetowych.

Obraz cyfrowy w postaci wektorowej

Grafika wektorowa – obraz składa się z wielu geometrycznych obiektów - ich kształt, wypełnienie i miejsce położenia opisane są formułami matematycznymi. Obiekty złożone są z odcinków - wektorów o określonym punkcie zaczepienia, kierunku (nachyleniu) i długości. Inne cechy obiektu są również opisane matematycznie, np. kształt konturu czy rodzaj wypełnienia.

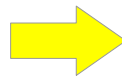
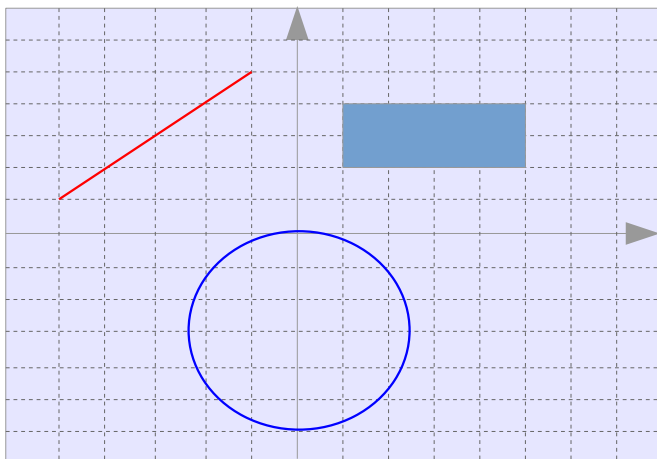
Cechy obrazów wektorowych:

- może być skalowany bez pogorszenia jakości,
- może być poddawany złożonym przekształceniom,
- przekształcenia są odwracalne,
- mała objętość plików,
- duża kontrola na wyglądem i położeniem obiektów rysunku,
- niezależna edycja poszczególnych obiektów,
- nie zapewnia fotograficznej wierności odwzorowania.



Obraz cyfrowy w postaci wektorowej

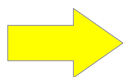
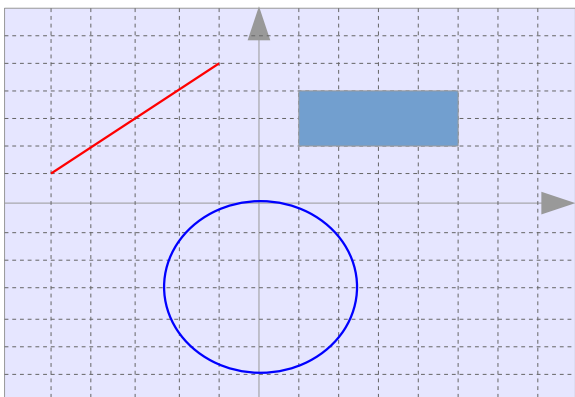
- Rysunek wektorowy składa się z wielu geometrycznych obiektów - ich kształt, wypełnienie i miejsce położenia opisane są formułami matematycznymi.
- Obiekty złożone są z odcinków - wektorów o określonym punkcie zaczepienia, kierunku (nachyleniu) i długości. Inne cechy obiektu są również opisane matematycznie, np. kształt konturu czy rodzaj wypełnienia.



```
K 0,-3, 3, Blue, None  
P 1, 4, 5, 2, Black, LightBlue  
O -5, 1, -1, 5, Red
```

Obraz cyfrowy w postaci wektorowej

- Jest kilka wiodących formatów plików wektorowych, zwykle bezpośrednio związanych z programem do ich tworzenia Adobe AI – .ai, Corel Draw – .cdr, OpenOffice Draw – .odg.
- Uniwersalnym formatem grafiki wektorowej jest SVG (ang. Scalable Vector Graphics) party na języku XML.



```
<g id="id1" class="Slide" clip-path="url(#presentation_clip_path)">
  <g class="Page">
    <g class="com.sun.star.drawing.LineShape">
      <g id="id3">
        <rect class="BoundingBox" stroke="none" fill="none" x="2973"
        <path fill="none" stroke="rgb(255,0,0)" stroke-width="53" st
        6750,2750"/>
      </g>
    </g>
    <g class="com.sun.star.drawing.CustomShape">
      <g id="id4">
        <rect class="BoundingBox" stroke="none" fill="none" x="9749"
        <path fill="rgb(114,159,207)" stroke="none" d="M 11875,5000
        11875,5000 Z"/>
        <path fill="none" stroke="rgb(51,51,51)" d="M 11875,5000 L 9
        11875,5000 Z"/>
      </g>
    </g>
    <g class="com.sun.star.drawing.CustomShape">
      <g id="id5">
        <rect class="BoundingBox" stroke="none" fill="none" x="6223"
        <path fill="none" stroke="rgb(52,101,164)" stroke-width="53"/>
      </g>
    </g>
  </g>
</g>
```

SVG

Krzywe Béziera — najpopularniejsza metoda opisu grafiki wektorowej

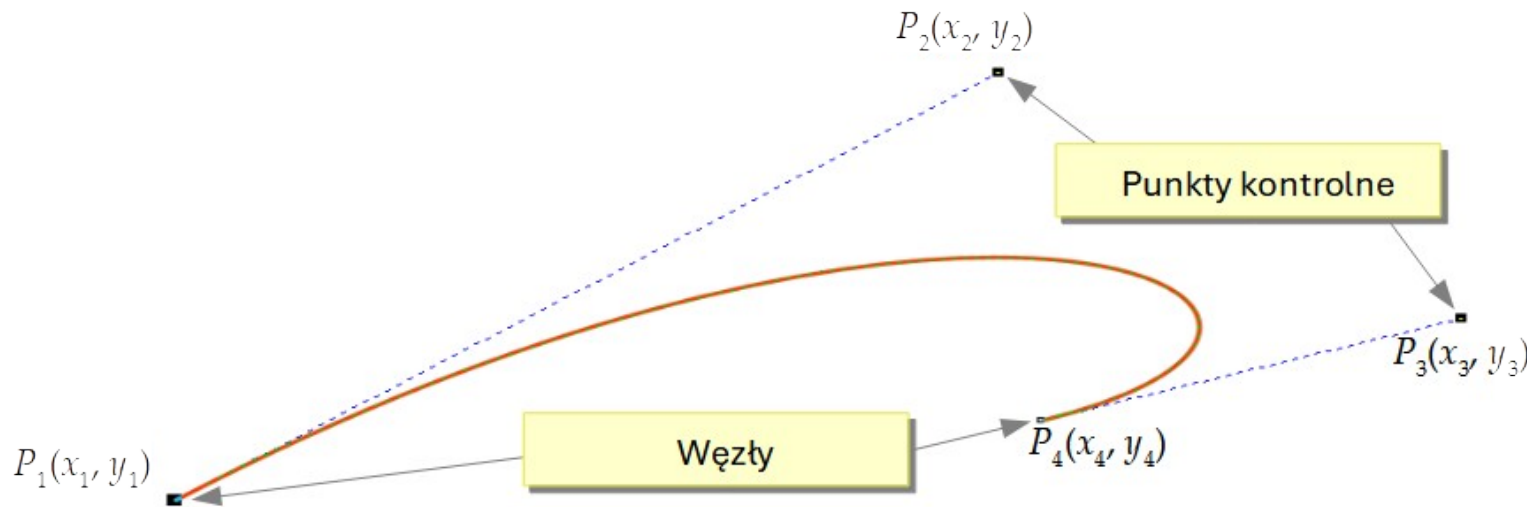
- Nad krzywymi opisującymi dowolne kształty geometryczne pracowali niezależnie Pierre Bézier, francuski inżynier firmy Renault oraz Paula de Casteljaou pracujący dla konkurencyjnej firmy Citroën.
- Prace nad krzywymi prowadzone były przez obu naukowców od początku lat 60, ale przez długi okres objęte ścisłą tajemnicą służbową.
- Pod koniec lat 60-tych pojawiły się pierwsze ogólnodostępne publikacje Pierre Béziera przedstawiające jego koncepcje, natomiast prace de Casteljaou ukrywał Citroën jeszcze przez kilka lat - pierwsze wzmianki o nim pojawiają się dopiero w 1971, gdy prace Béziera były znane od dawna.
- Do rozpowszechnienia się krzywych Béziera znacząco przyczynił się A.R. Forrest artykułem *Interactive interpolation and approximation by Bezier polynomials* opublikowanym w 1972 roku w branżowym piśmie The Computer Journal.

Krzywe Béziera — krzywe parametryczne

Krzywe Béziera to krzywe parametryczne, najczęściej trzeciego stopnia. Kształt jest określony czterema punktami:

- dwoma punktami krańcowymi krzywej (tzw. węzłami) (P_1, P_4),
- dwoma punktami kontrolnymi (P_2, P_3).

Krzywa interpoluje dwa krańcowe punkty krzywej i aproksymuje dwa punkty kontrolne.



Dziękuję za uwagę

roman.siminski@us.edu.pl

roman@siminskionline.pl