

Przetwarzanie obrazów i systemy wizyjne

dr inż. Marcin Kielczewski

Instytut Automatyki i Robotyki

p. 420(EL) tel. 665 2848

marcin.kielczewski@put.poznan.pl

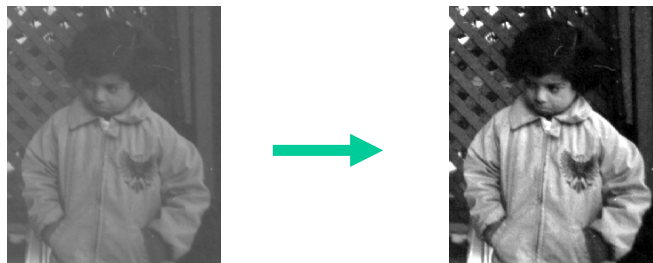
<http://marcin.kielczewski.pracownik.put.poznan.pl/>

Literatura

1. Fu K.S., Gonzalez R.C., Lee C.S.G., ROBOTICS, Control, Sensing, Vision, and Intelligence, McGraw-Hill 1987
2. Gonzalez R.C., Woods R.E., Digital Image Processing, Prentice Hall, SE, 2002
3. B. Siciliano, O. Khatib (Eds.) Springer Handbook of Robotics, Springer-Verlag 2008
4. Bradski G., Kaehler A. Learning OpenCV. Computer Vision with the OpenCV Library, O'Reilly Media, 2008
5. Corke P., Robotics, Vision and Control, Fundamental algorithms in Matlab, 2011
6. Tadeusiewicz R., Systemy wizyjne robotów przemysłowych, WNT 1992
7. Tadeusiewicz R., Korohoda P., Komputerowa analiza i przetwarzanie obrazów, WFPT 1997
8. Malina W., Ablameyko S., Pawlak W., Podstawy cyfrowego przetwarzania obrazów, EXIT 2002

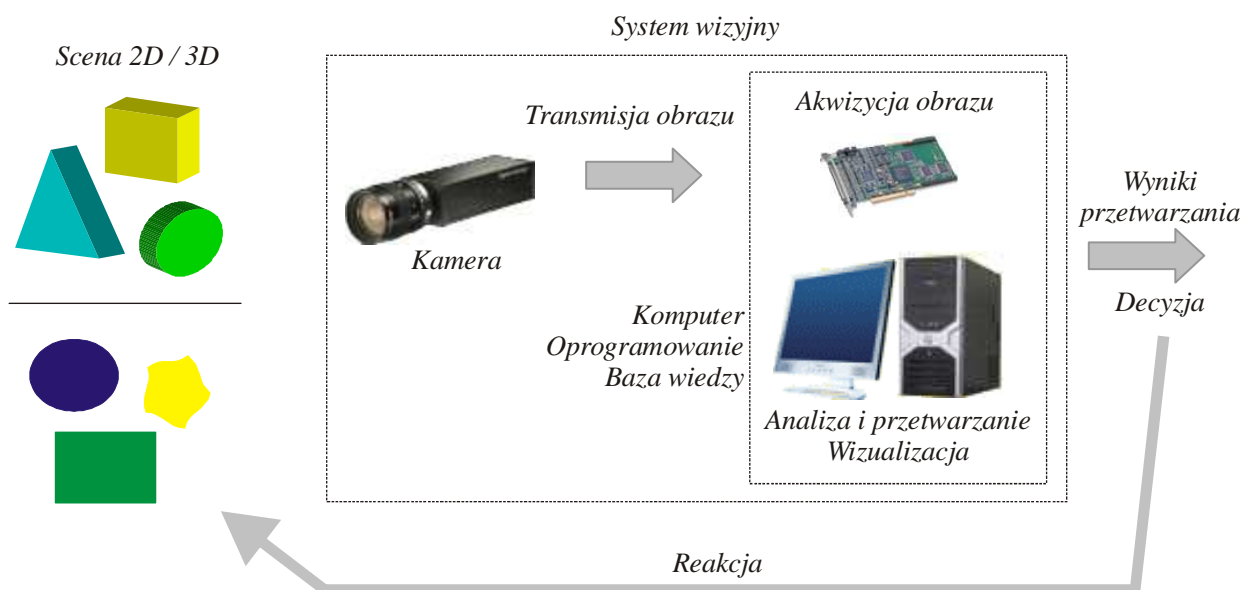
Przetwarzanie obrazów

- Przetwarzanie obrazów – stosowanie szeregu przekształceń zmieniających lub poprawiających ich jakość, podkreślających ich cechy składowe pod kątem lepszej obserwacji, automatycznej analizy i rozpoznawania oraz doprowadzenia do postaci wygodnej do pomiaru wybranych cech, kodowania czy transmisji
- Proces poprawy jakości obrazu nie prowadzi do zwiększenia jego treści, ale zwiększa zakres dynamiczny wybranych cech, co ułatwia możliwość ich detekcji
- Procedury poprawy jakości obrazu obejmują różnorodne operacje np. zmiany poziomów szarości i kontrastu, redukcja poziomu szumów, wyostrenie krawędzi i polepszanie ostrości, filtracja przestrzenna, interpolacja i powiększanie, pseudokoloryzacja, itd.



3

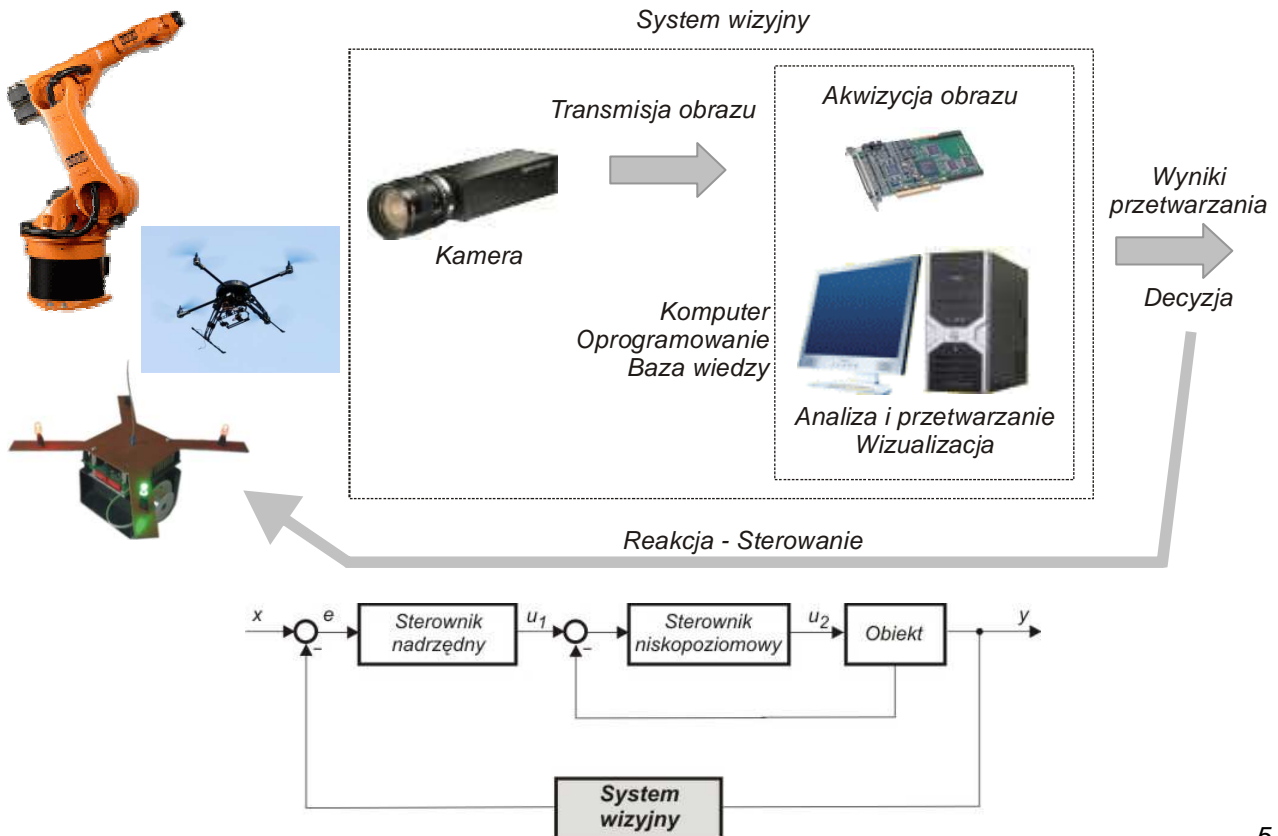
Schemat komputerowego systemu przetwarzania obrazu



Tor wizyjny – zespół układów optycznych i elektronicznych służących do przetwarzania obrazu optycznego na sygnały elektryczne oraz odwzorowania obrazu na urządzeniach wyświetlających

4

Sprzężenie wizyjne w robotyce



5

Systemy wizyjne w robotyce

Zastosowania systemów wizyjnych w robotyce

- pozycjonowanie detali, kontrola poprawności montażu, jakości wyrobów
- element sprzężenia zwrotnego w układzie sterowania umożliwiający określenie położenia i orientacji
- w medycynie do przeprowadzania teleoperacji czy w sterowaniu robotów asystentów wspomagających lekarzy podczas operacji
- roboty humanoidalne – układy wizyjne (stereowizyjne) mają stanowić element inteligentnego sensora i namiastkę wzroku człowieka
- nawigacja w nieznanym środowisku, określanie wzajemnego położenia przedmiotów i budowa map otoczenia (SLAM)
- patrolowanie i monitorowanie rozległych terenów, zastosowania wojskowe (drony, teleoperacja)
- przeszukiwanie obszarów kataklizmów czy rejonów potencjalnie niebezpiecznych dla człowieka
- eksploracja mórz czy powierzchni innych planet

6

Podstawowe problemy i źródła komplikacji

- Akwizycja, przesyłanie i przetwarzanie ogromnych ilości danych (cyfrowa transmisja obrazu, np. 640x480 kolor 25Hz -> ok. 22MB/s; FullHD 1920x1080 25Hz -> ok. 148 MB/s)
- Problem z niedoskonałościami informacji obrazowej:
 - niedoskonałości procesu akwizycji obrazu (szумы i zakłócenia, zniekształcenia optyczne, chromatyczne, itp.) – można poprawiać poprzez udoskonalenia techniczne
 - natury procesu akwizycji obrazu (mapowanie 3D->2D – nie można tego wyeliminować, oświetlenia sceny – w przemyśle stosuje się oświetlacze)
- Duża złożoność obliczeniowa algorytmów przetwarzania obrazów i obszerność pamięciowa procesów (zastosowania Deep learning)
- Czasochłonność w uzyskaniu pełnej dostępnej informacji z obrazu
- Problem z realizacją z dużą częstotliwością w czasie rzeczywistym
- Konieczność uwzględnienia wiedzy przy przetwarzaniu obrazu
 - z dziedziny (ang. *domain knowledge*)
 - zdroworozsądkowej (ang. *common sense knowledge*) zwłaszcza w uczeniu z informacji obrazowej – stosowanie oprócz technik formalnych, metod i algorytmów heurystycznych dla konkretnych problemów

7

Relacje z innymi dziedzinami

- Rozpoznawanie obrazów (ang. *Pattern Recognition*)
- Widzenie komputerowe (ang. *Computer Vision*)
- Rozumienie obrazów (ang. *Image Understanding*)
- Robotyka (ang. *Robotics*)
- Przetwarzanie sygnałów (ang. *Signal Processing*)
- Grafika komputerowa (ang. *Computer Graphics*)
- Sztuczna inteligencja (ang. *Artificial Intelligence*)
- Uczenie maszynowe (ang. *Machine Learning*)
- Psychologia poznawcza (ang. *Cognitive Science*)
- Algebra (np. w morfologii matematycznej, ang. *Morphology*)
- Statystyka (ang. *Statistics*)

8

Widzenie komputerowe (maszynowe)

Etapy procesu widzenia komputerowego

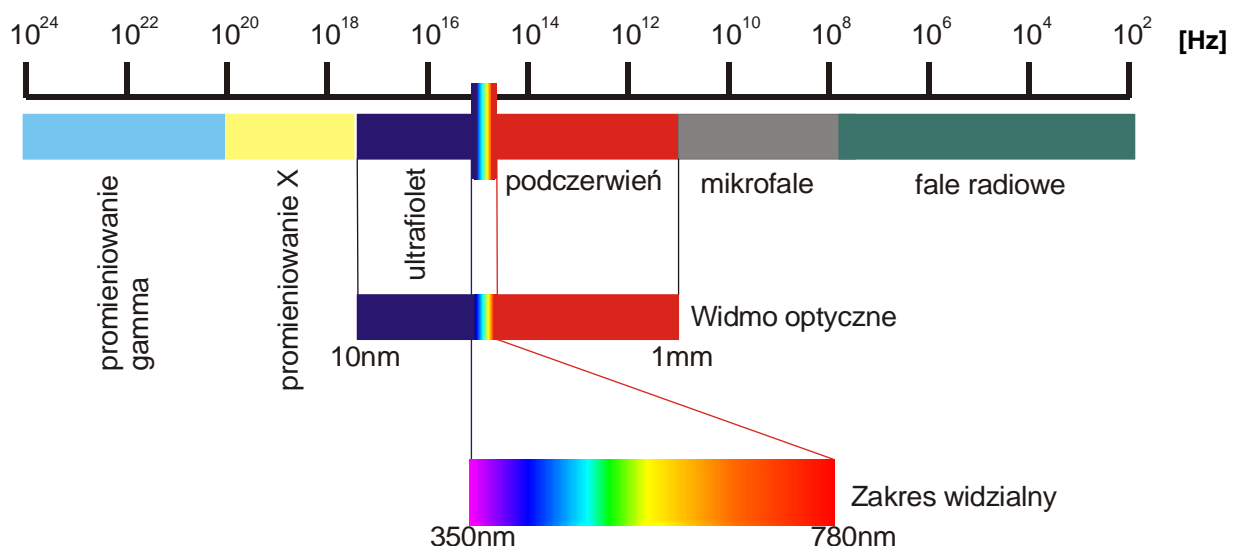
- Akwizycja
- Przetwarzanie wstępne
- Segmentacja
- Wydzielanie i opis cech
- Analiza i rozpoznawanie (rozumienie)
- Interpretacja wyników

Dlaczego warto?

- >80% (90%) informacji wpływa do mózgu drogą wzrokową
- „Cywilizacja wizualna”, rozwój technik multimedialnych
- Rosnąca dostępność sprzętu, spadek cen, wzrost mocy obliczeniowej komputerów, rozwój algorytmów analizy obrazu
- Coraz większe spektrum potencjalnych i realnych zastosowań (zwłaszcza w zadaniach uciążliwych dla człowieka) np.: automatyczna kontrola jakości produktów, identyfikacja, systemy dozoru i monitoringu, robotyka, prowadzenie pojazdów, zastosowania medyczne, astronomia, biologia, wojskowe, itd.

9

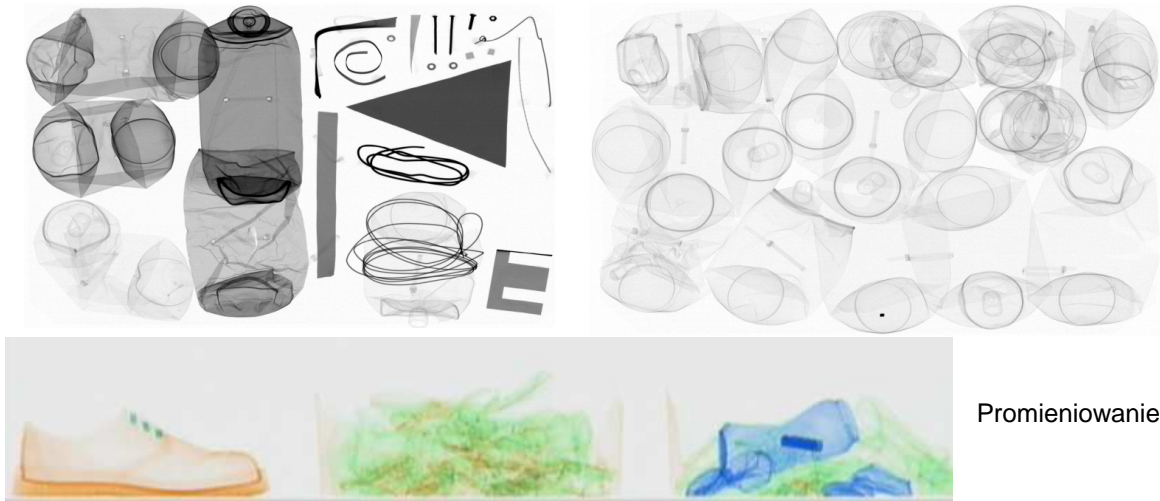
Obraz a widmo fal elektromagnetycznych



- Zakres promieniowania gamma – obrazowanie w medycynie nuklearnej
- Promieniowanie X – obrazy rentgenowskie (medycyna i kontrola), astronomia
- Ultrafiolet – litografia, biologia (mikroskopy fluorescencyjne), kontrola jakości elementów w przemyśle
- Podczerwień – termografia i termowizja, detekcja różnych materiałów z tworzyw sztucznych
- Mikrofales – obrazy tworzone na podstawie danych z radarów
- Zakres fal radiowych – obrazy rezonansu magnetycznego

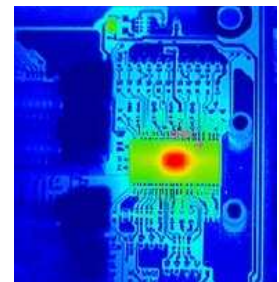
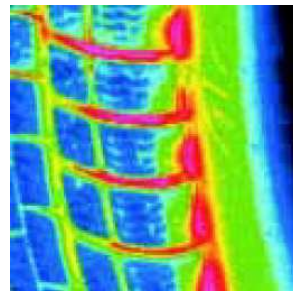
10

Przykłady obrazów z różnych zakresów widma



Promieniowanie X

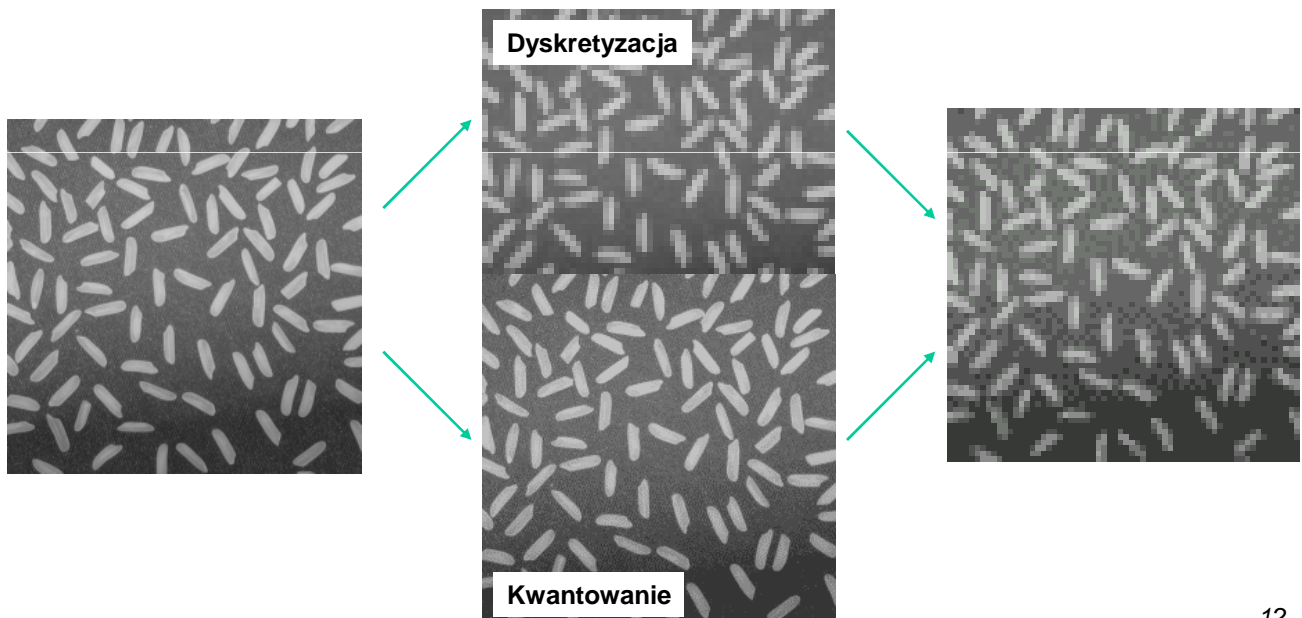
Podczerwień



11

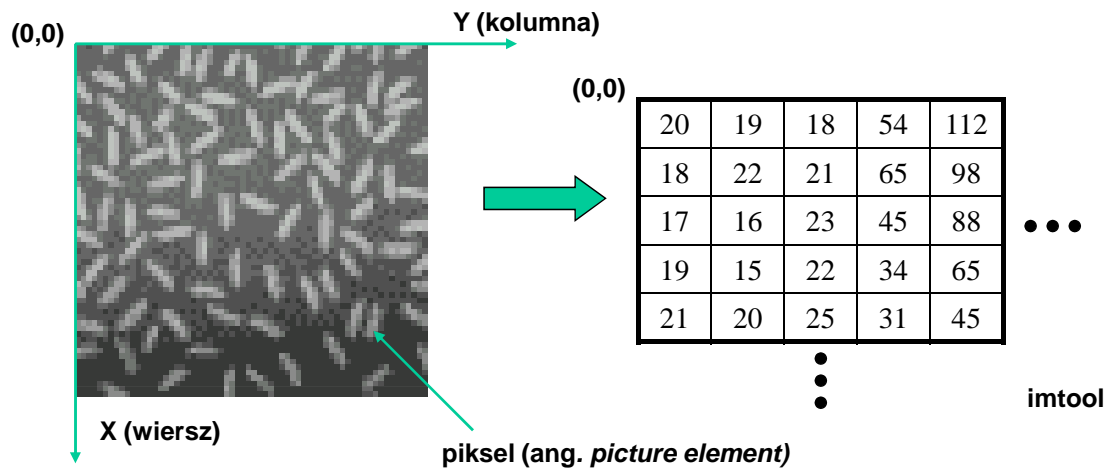
Obraz cyfrowy

- Analiza obrazu przez system komputerowy wymaga przetworzenia z postaci analogowej na postać cyfrową – dokonuje się tego przez dyskretyzację i kwantyzację obrazu
 - Dyskretyzacja obrazu jest realizowana przez dwuwymiarowe próbkowanie w ściśle określonych miejscach przestrzeni (zazwyczaj w węzłach siatki prostokątnej)
 - Kwantyzacja polega na podziale ciągłego zakresu wartości jasności na przedziały i przypisaniu każdemu punktowi wybranej wartości dyskretnej reprezentującej dany przedział



12

Obraz cyfrowy jako macierz liczb



- Obraz cyfrowy – macierz dwuwymiarowa (M,N) o M wierszach i N kolumnach, której elementy są nieujemne i przyjmują skończoną liczbę wartości
- Funkcja obrazowa $f(x,y)=0,1,\dots,L-1$, gdzie $x=0,1,\dots,M-1$, $y=0,1,\dots,N-1$, L – określa liczbę poziomów szarości (np. $L=256$)

13

Podstawowe klasy obrazów cyfrowych

- Obrazy monochromatyczne, o wielu poziomach szarości, najczęściej $L=256$, piksele reprezentowane są przez 1 bajt (8 bitów, $2^8=256$)
- Obrazy binarne $L=2$, piksele przyjmują wartości 0 lub 1, $f(x,y)=0,1$, reprezentacja na pojedynczym bicie (wykorzystywane często przy oznaczaniu przynależności punktów do tła lub obiektów)
- Obrazy kolorowe – dla modelu RGB $f(x,y)=R(x,y),G(x,y),B(x,y)$; najczęściej przyjmuje się 8 bitów na każdą składową (kolor 24bit) co daje możliwość zakodowania $2^{24}=16777216$ kolorów



Red



Green



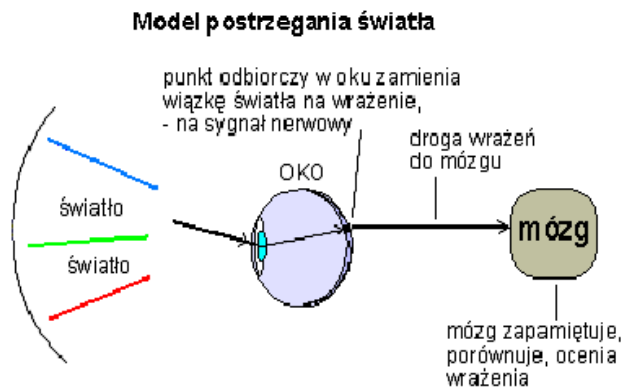
Blue



14

Postrzeganie światła przez człowieka

- Kolor a barwa – pojęcia używane zamiennie
 - Kolor określa właściwości surowca (np. kolor farby)
 - Barwa odnosi się do wrażenia odbieranego przez człowieka zależnego od składu widma i długości fali elektromagnetycznej
- To, co oko ludzkie odbiera jako różnobarwne światło, jest w rzeczywistości falą elektromagnetyczną, pochodzącą z wąskiego pasma częstotliwości (długości fali). Każda częstotliwość fali z zakresu światła widzialnego odpowiada innej barwie, a kolory spektrum zmieniają się od czerwonego przez zielony do fioletu.

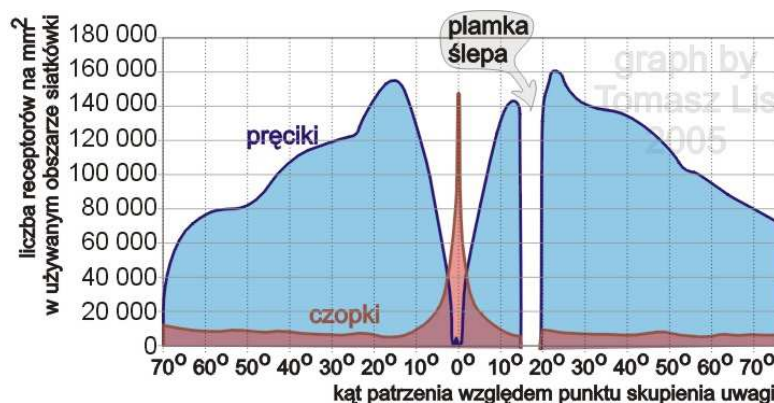
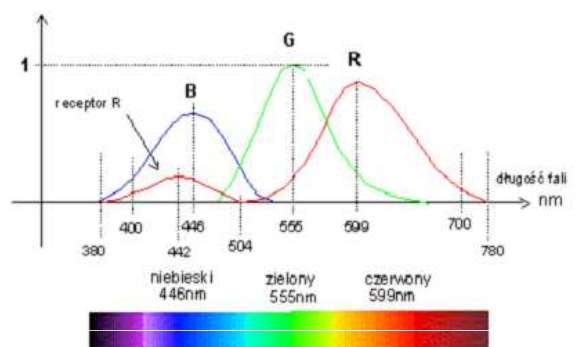


- Światło jest przetwarzane w impulsy nerwowe przy pomocy receptorów: pręcików (ok. 130 milionów) i czopków (ok. 7 milionów) rozłożonych na siatkówce. Czopki odpowiadają za postrzeganie barwy i najlepiej pracują przy jasnym oświetleniu (widzenie fotopowe - dzienne). Pręciki są czułe tylko na natężenie światła („widzą” na szaro), pozwalają widzieć przy słabym oświetleniu (widzenie skotopowe - nocne)

Postrzeganie światła przez człowieka

- Czopki odpowiadają za postrzeganie trzech składowych koloru ze szczytową czułością na światło czerwone, zielone i niebieskie (uwaga na zachodzenie pasm odbiorczych - to samo wrażenie może powstać w wyniku różnych konfiguracji fali świetlnej)
- Czopki i pręciki nie są rozłożone równomiernie na siatkówce, najwięcej czopków jest skupionych w otoczeniu plamki żółtej. W miejscu gdzie jest nerw wzrokowy znajduje się plamka ślepa. Gęstość rozłożenia receptorów oraz efekty dyfrakcyjne wyznaczają rozdzielczość wzroku – wynosi ona ok. 1 minuty kątowej

Proporcje wrażeń w receptorach na światło białe



Postrzeganie światła przez człowieka

- Prawo Webera-Fechnera

Dostrzegalny dla zmysłu wzroku przyrost natężenia promieniowania jest proporcjonalny do natężenia już działającego.

- Jeśli przypiszemy barwie białej wartość 1 a barwie czarnej 0 to przykładowo różnica między 0,1 i 0,11 oraz 0,5 i 0,55 odpowiada takiej samej zmianie jasności dla oka ludzkiego. Innymi słowy – oko ludzkie działa jak system logarytmujący

$$\Delta I = k \cdot \log(I/I_0)$$

Dla prawidłowo skonstruowanej skali szarości poziomy jasności powinny zmieniać się w skali logarytmicznej a nie liniowo!

Przykład: $I_0=1/8$ i chcemy mieć cztery równomierne poziomy szarości, wtedy

$$I_0=1/8, I_1=1/4, I_2=1/2, I_3=1$$



Poziom jasności zmienia się liniowo – wrażenie wykładnicze (wrażenie zbyt szybko narastającej czerni)



Poziom jasności zmienia się wykładniczo – wrażenie liniowe

17

Postrzeganie światła przez człowieka

Widzenie barwne

Postrzeganą barwę najczęściej określa się przy pomocy trzech pojęć:

- odcień barwy (kolor)
- nasycenie
- jasność

Odcień barwy dotyczy takich pojęć jak czerwony, zielony, żółty, itd., określa wrażenie związane z konkretną długością fali.

Nasycenie mówi jak daleko dana barwa jest od poziomu szarości o tym samym natężeniu czyli oznacza „mieszanie z barwą białą, np. czerwony jest wysoce nasycony, podczas gdy różowy mało (generalnie barwy nienasycone zawierają więcej światła białego niż nasycone).

Jasność wrażenie związane z wielkością strumienia świetlnego, określa achromatyczną intensywność światła emitowanego bądź odbijanego przez obserwowany obiekt.

- Rejestrowanie, przetwarzanie obrazów kolorowych, odtwarzanie na różnych urządzeniach wyświetlających, drukujących, porównywanie barw wymaga możliwości ilościowego opisu barw (potrzebny jest model matematyczny).
- Podstawą różnych opisów przestrzeni barw jest trójpodbudzeniowa teoria widzenia, według której sygnały z trzech rodzajów czopków odpowiedzialnych za percepcję trzech składowych RGB tworzą szerokie nakładające się na siebie pasma. Teoria ta odpowiada wyobrażeniu, że kolor dowolny można przedstawić jako sumę ważoną trzech barw podstawowych. Jednak za pomocą trzech czystych barw widmowych RGB nie da się uzyskać wszystkich dostępnych odcieni, konieczne jest stosowanie wag ujemnych lub należy wprowadzić inne barwy podstawowe.

18

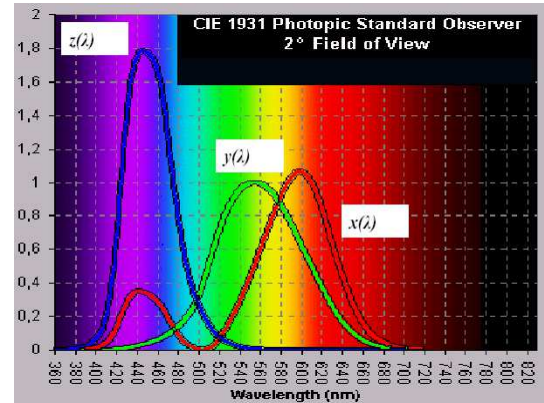
Modele przestrzeni barw (kolorów)

Dwie grupy modeli przestrzeni barw

1. Modele niezależne od urządzenia (ang. *device independent*):
 - CIE XYZ, CIE xy, CIE uvL, CIELab
 - HLS, HSI, HSV, HSB (modele użytkownika)
2. Modele zależne od urządzenia (ang. *device dependent*):
 - RGB
 - CMY, CMYK
 - YUV, YIQ

Diagram chromatyczności CIE (modele CIE)

W 1931 roku międzynarodowa komisja o nazwie CIE (Commission Internationale de l' Eclairage) zdefiniowała system współrzędnych barwnych XYZ, w którym światło o dowolnej barwie daje się przedstawić za pomocą trzech nieujemnych strumieni X,Y,Z. W systemie tym funkcje barw podstawowych spełniają trzy fikcyjne barwy **X,Y,Z**, położone poza zakresem barw widmowych.



19

Modele przestrzeni barw

- Znając rozkład danego światła względem barw widmowych (czerwonej, zielonej i niebieskiej) można wyznaczyć wielkości strumieni X,Y oraz Z jako

$$X = 0,490R + 0,310G + 0,200B$$

$$Y = 0,177R + 0,812G + 0,011B$$

$$Z = 0,000R + 0,010G + 0,990B$$

Składowa Y – luminancja strumienia światła, dobrana jest w taki sposób, aby krzywa dopasowania koloru dla tej składowej odpowiadała funkcji czułości oka na światło o stałej luminancji.

Składowe X i Z – chrominancja (barwa) strumienia światła.

Międzynarodowa Komisja Oświetleniowa określiła wartości składowych X,Y,Z dla światła monochromatycznych o określonej mocy i o różnych długościach fali.

- Normalizacja składowych X,Y,Z

$$x = X/(X+Y+Z)$$

$$y = Y/(X+Y+Z) \quad \text{stąd} \quad x+y+z = 1 \quad \text{oraz} \quad z = 1-(x+y), \quad x,y,z > 0$$

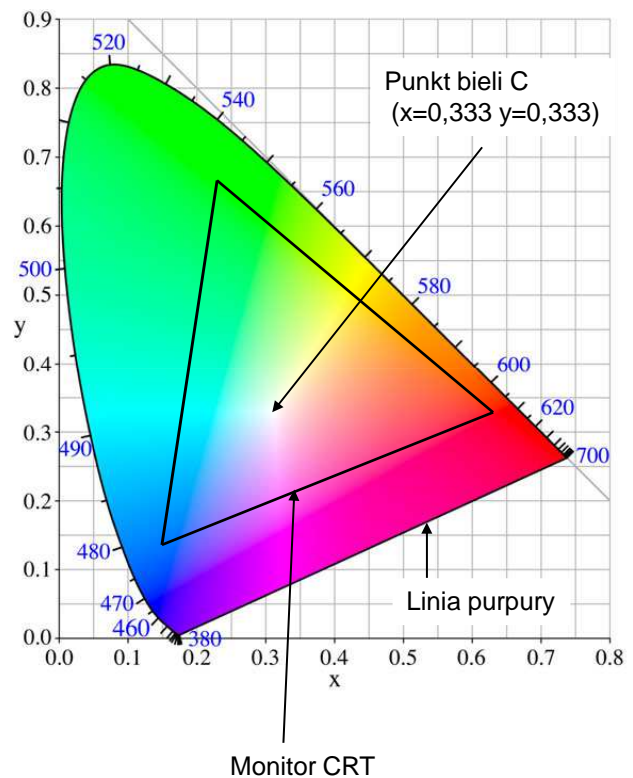
$$z = Z/(X+Y+Z)$$

Po podzieleniu wartości składowych X,Y,Z przez czynnik normalizujący (X+Y+Z) uzyskuje się wartości współrzędnych trójchromatycznych, które nie są zależne od strumienia energii świetlnej. Współrzędne x,y służą do jednoznacznego określania barw tworząc diagram chromatyczności

20

Modele przestrzeni barw

- Diagram chromatyczności określa kolory niezależnie od ich luminancji. Wszystkie czyste barwy (największe nasycenie) znajdują się na zakrzywionym brzegu obszaru.
- Wszystkie barwy widzialne dają się przedstawić ze współczynnikami $x, y > 0$. Wartości składowych R,G,B kolorów rzeczywistych mogą przyjmować również wartości ujemne, co nie jest możliwe do zobrazowania np. na monitorze. Przez odpowiedni dobór barw podstawowych można wpływać na obszar barw odtwarzanych.
- Diagram pozwala nazywać kolory, określać mieszanie kolorów, definiować i porównywać tzw. gamuty (podzbiory przestrzeni barw) i jest podstawą dla innych modeli.
- Wada modelu CIE xy – nie jest jednorodny percepcyjnie, operacje wektorowe na wykresie chromatyczności nie są zgodne z odczuwaniem przez człowieka: np. zmiana dwóch barw o taki sam wektor nie musi być postrzegana tak samo.

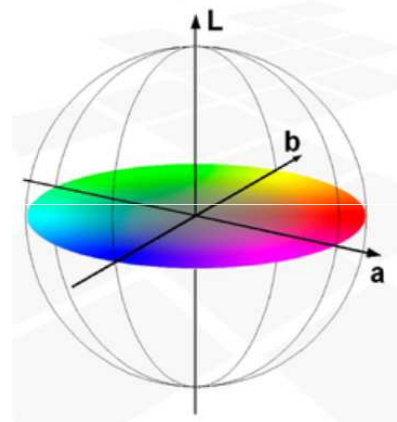


21

Modele przestrzeni barw

Model CIE L*a*b

- W 1976 roku komisja CIE zdefiniowała model, który daje możliwości uzyskania jednorodności percepcyjnej. Opiera się on na teorii barw przeciwstawnych wykorzystywanej do opisu widzenia człowieka. Zgodnie z tą teorią człowiek koduje barwy jako trzy sygnały: jasność, stosunek czerwień/zieleń, stosunek błękit/żółć. Oznacza to że nie może być postrzegana barwa jednocześnie czerwona i zielona (analogicznie jednocześnie niebieska i żółta).
- Model L*a*b określa luminancję (jasność obrazu) przez parametr L (zakres 0 do 100), dwa pozostałe parametry określają chromatyczność: **a** reprezentuje oś zielono-czerwoną, **b** oś niebiesko-żółtą, mogą przyjmować wartości z zakresu -120 do +120.

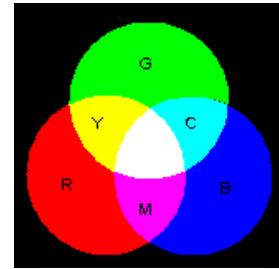


22

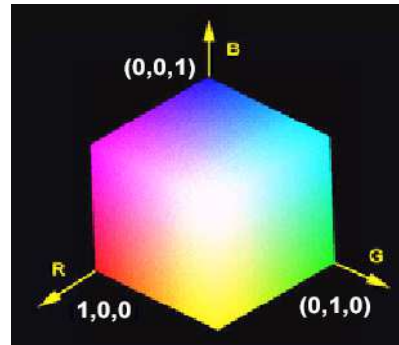
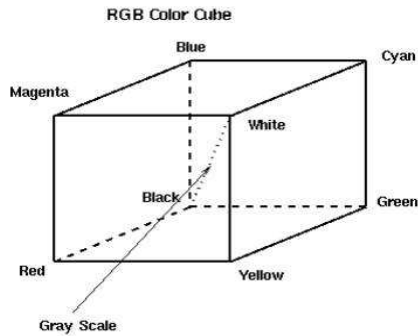
Modele przestrzeni barw

Model RGB – addytywna synteza koloru

- Model RGB wywodzi się bezpośrednio z teorii trójpodbudzenia, stosowany przy generowaniu obrazu w monitorach ekranowych, do reprezentacji obrazów w pamięci komputera (mało intuicyjny przy określaniu barwy)
- Model ten jest przedstawiany w postaci sześcianu jednostkowego rozpostartego na osiach RGB
- Każdy punkt znajdujący się wewnątrz sześcianu barw reprezentowany jest przez wektor $[R \ G \ B]^T$, przy czym składowe R, G, B mogą przyjmować wartości od 0 do 1



Mieszanie światła

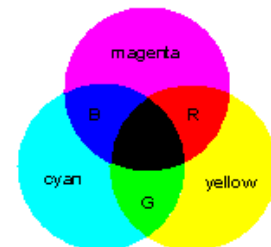


23

Modele przestrzeni barw

Model CMY – subtraktywna synteza koloru

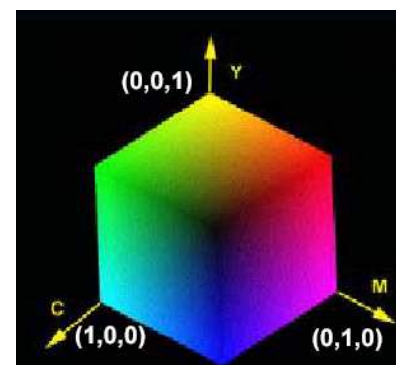
- Model CMY stosowany jest w poligrafii, drukarkach, ploterach czyli urządzeniach nie posiadających aktywnego źródła światła (kolory odbierane są dzięki odbiciu światła białego od powierzchni i „pochłanianiu” kolorów – proces subtraktywny)
- Trzy barwy podstawowe: Cyan (seledynowa), Magenta (purpurowa), Yellow (żółta), które pochłaniają selektywnie składowe padającego światła białego. Kolor Cyan powoduje, że w świetle odbitym nie ma składowej czerwonej, Magenta zielonej, a Yellow niebieskiej.
- Przejście z modelu RGB do CMY



Mieszanie pigmentów

$$\begin{bmatrix} C \\ M \\ Y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \\ 1 \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix}$$

gdzie $[1 \ 1 \ 1]^T$ oznacza czerń w modelu CMY



24

Modele przestrzeni barw

Model CMYK

- Model CMYK powstał przez wzbogacenie trzech barw podstawowych CMY kolorem czarnym black – cel uzyskanie podczas wydruku dobrze odwzorowanej czerni oraz zwiększenie kontrastu
- Konwersja modelu CMY na CMYK

$$\begin{bmatrix} C \\ M \\ Y \\ K \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} c \\ m \\ y \\ k \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} k \\ k \\ k \\ 0 \end{bmatrix}, \quad k = \min\{c, m, y\}$$

25

Modele przestrzeni barw

Model YUV i YIQ

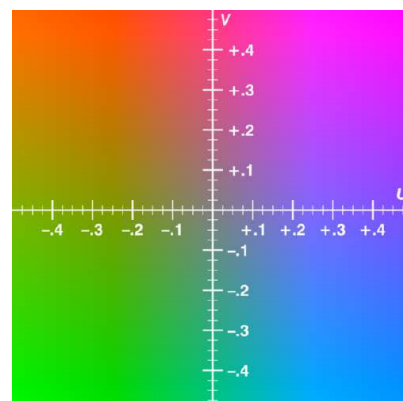
- Modele barw stosowane w telewizji analogowej. YUV w systemie europejskim PAL, YIQ w amerykańskim NTSC. Oba modele stanowią liniowe przekształcenie modelu RGB i powstały jako rezultaty badań nad optymalizacją warunków transmisji sygnałów telewizyjnych.
- Składowa Y (luminancja) w obu modelach jest identyczna i pełni taką samą rolę jak w modelu XYZ, niesie informację o jasności

$$Y = 0,299R + 0,587G + 0,114B$$

- Dwie pozostałe reprezentują sygnały chrominancji obrazu i określają barwę zakodowaną różnicowo.

$$\begin{aligned} \text{PAL:} \quad U &= 0,493(B - Y) \\ V &= 0,877(R - Y) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{NTSC:} \quad I &= 0,740(R - Y) - 0,270(B - Y) \\ Q &= 0,480(R - Y) + 0,410(B - Y) \end{aligned}$$



26

Modele przestrzeni barw

- Przekształcenie z modelu RGB na YUV

$$\begin{bmatrix} Y \\ U \\ V \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0,299 & 0,587 & 0,114 \\ -0,147 & -0,289 & 0,437 \\ 0,615 & -0,515 & -0,100 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix}$$

- Przekształcenie z modelu RGB na YIQ

$$\begin{bmatrix} Y \\ I \\ Q \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0,299 & 0,587 & 0,114 \\ 0,596 & -0,275 & -0,321 \\ 0,212 & -0,528 & 0,311 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix}$$

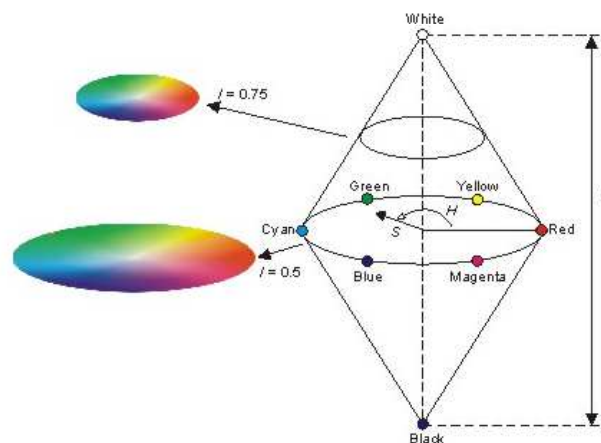
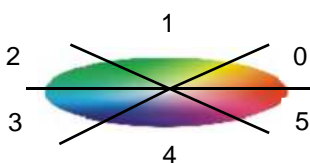
- Zgodnie z obowiązującymi standardami telewizyjnymi wartość luminancji powinna być kodowana za pomocą 8 bitów, natomiast sygnały chrominancji za pomocą 4 bitów. Wynika to z faktu iż oko ludzkie jest bardziej czułe na zmiany luminancji niż na niepoprawne odwzorowanie barw.

27

Modele przestrzeni barw

Modele HLS i HSI

- Modele posiadające bardziej intuicyjny sposób określania koloru, stosowane przy wybieraniu i poszukiwaniu kolorów
- Barwa opisana jest za pomocą jednej składowej Hue (barwa) reprezentującej barwę spektralną fali świetlnej. Ogólne przyporządkowanie częstotliwości fal zakresu widzialnego wynika z podziału pełnego kąta 360 stopni na trzy części po 120 stopni (koło kolorów Newtona). Centrum barwy czerwonej odpowiada kąt 0 lub 360 stopni, zielonej 120, a niebieskiej 240 stopni.
- Składowa Saturation (nasycenie) reprezentuje nasycenie barwy (zakres 0 do 1). Dla S=0 składowa barwy H jest nieokreślona.
- Składowa Lightness dla HLS (zakres 0 do 1) reprezentuje średnie światło barwy.
- W przypadku modelu HSI składowa Intensity (zakres 0 do 1) określa intensywność barwy.

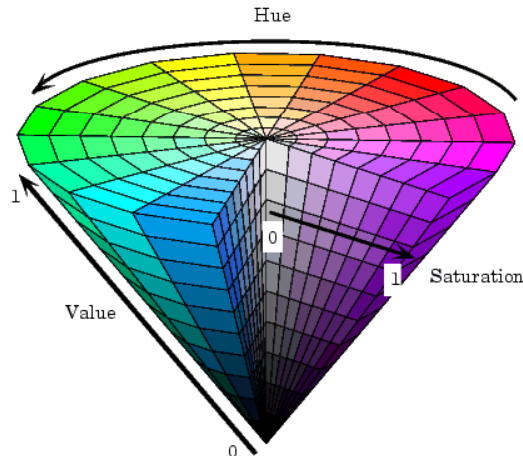


28

Modele przestrzeni barw

Modele HSV i HSB

- Modele podobne do HLS i HSI, również umożliwiają określanie kolorów w sposób nawiązujący do postrzegania i nazywania barw przez człowieka.
- Składowa barwy jest określona analogicznie jak w modelach HLS i HSI i opisana jest za pomocą jednej składowej Hue. Składowa Saturation podobnie reprezentuje nasycenie barwy (zakres 0 do 1). Dla $S=0$ składowa barwy H jest nieokreślona.
- Składowa Value lub Brightness reprezentuje poziom bieli z której wywodzi się barwa (zakres 0 do 1).



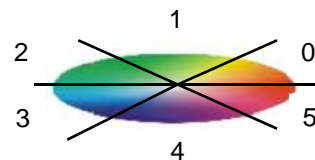
29

Modele przestrzeni barw

Transformacja RGB na HSV (HSB)

Algorytm:

1. Uporządkuj rosnąco elementy (r,g,b) i przypisz im wartości kolejno m_0, m_1, m_2
2. Składowa $V=m_2$
3. Składowa $S=(m_2-m_0)/m_2$
4. Z m_0 i m_2 wyznacz numer sekcji n w kole kolorów Newtona
5. Oblicz wartość proporcji F jako:
 $F=(m_1-m_0)/(m_2-m_0)$ dla $n=\{0,2,4\}$ lub
 $F=(m_2-m_1)/(m_2-m_0)$ dla $n=\{1,3,5\}$
6. Oblicz $H=n*60+F*60$



Transformacja HSV (HSB) na RGB

Algorytm:

1. Wyznacz m_2 ze składowej $V(B)$ $m_2=V$
2. Wyznacz m_0 z nasycenia $m_0=V(1-S)$
3. Wyznacz numer sekcji n w kole kolorów Newtona $n=(H \bmod 60)$
4. Oblicz wartość proporcji F jako $F=(H-n*60)/60$
5. Oblicz
 $m_1=m_0+(m_2-m_0)*F$ dla $n=\{0,2,4\}$ lub
 $m_1=m_2-(m_2-m_0)*F$ dla $n=\{1,3,5\}$
6. Przyporządkuj m_0, m_1, m_2 wartościom (r,g,b) zgodnie z numerem sekcji n

30