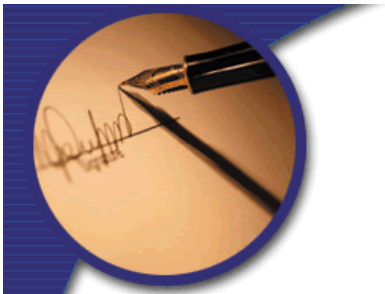




Grafika komputerowa

Dr inż. Michał Kruk





Organizacja zajęć

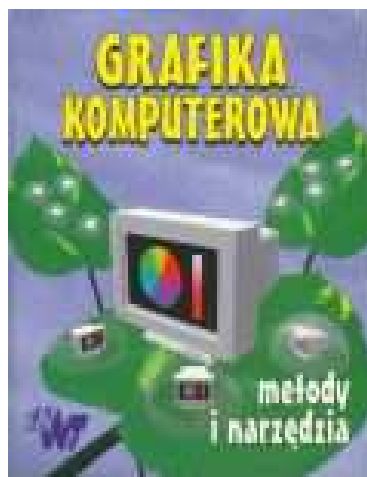
- Michał Kruk
 - Michal_kruk@sggw.pl
 - Pokój 3/44
- 2 kolokwia
 - 7 i 14 zajęcia
 - 2 * 50 punktów
 - Egzamin >50 pkt + zaliczenie LAB





Literatura

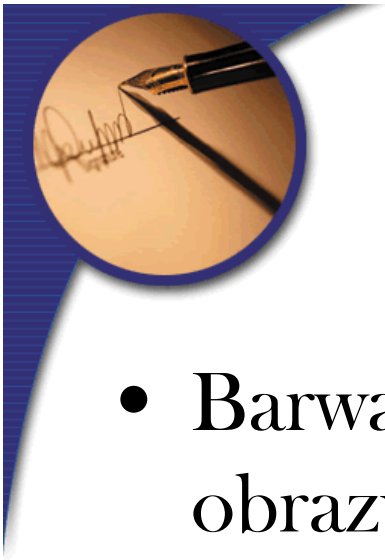
- J.D. Foley, A van Damm, Wprowadzenie do grafiki komputerowej. WNT Warszawa 1995
- Jan Zabrodzki, Grafika komputerowa metody i narzędzia, WNT Warszawa 1994





Plan wykładu

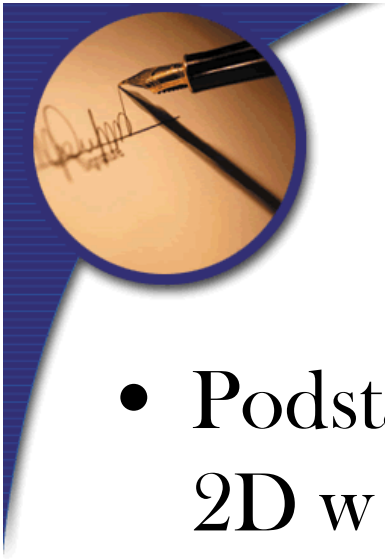
- Barwa, światło, modele barw i reprezentacja obrazu
- Podstawowe algorytmy rysowania prymitywów 2D w grafice rastrowej
- Przekształcenia geometryczne
- Rzutowanie w przestrzeni 3D
- Wyznaczanie powierzchni widocznych
- Hierarchia obiektów
- Reprezentacja krzywych i powierzchni
- Modelowanie brył
- Modelowanie oświetlenia i cieniowanie



Plan wykładu

- Barwa, światło, modele barw i reprezentacja obrazu
 - Zadania i podział grafiki komputerowej
 - Barwa i światło
 - Modele barwne
 - Transformacje
 - Gamut





Plan wykładu

- Podstawowe algorytmy rysowania prymitywów 2D w grafice rastrowej
 - Podstawy geometrii analitycznej
 - Podstawowe algorytmy rysowania prymitywów
 - Rysowanie odcinków
 - Rysowanie łuków
 - Wypełnianie wielokątów
 - Obcinanie
 - Przynależność punktu do wielokąta





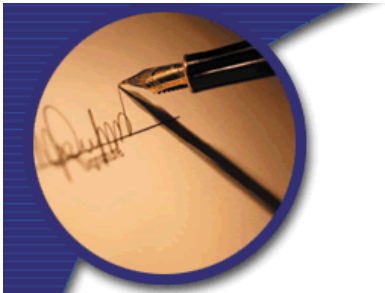
Plan wykładu

- Przekształcenia geometryczne
 - Przesunięcie
 - Skalowanie
 - Obrót
 - Współrzędne jednorodne
 - Postaci macierzowe
 - Składanie przekształceń



Plan wykładu

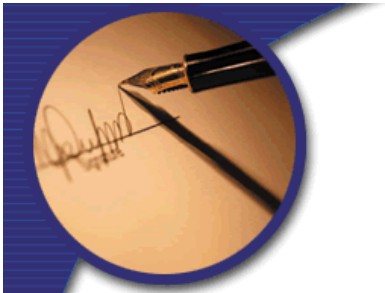
- Rzutowanie w przestrzeni 3D
 - Rzuty równoległe
 - Rzuty perspektywiczne
 - Wirtualna kamera
- Eliminacja elementów zasłoniętych
 - Algorytmy wyznaczające elementy zasłonięte



Plan wykładu

- Modelowanie obiektów
 - Modelowanie krzywych
 - Modelowanie powierzchni
 - Modelowania brył
- Metody cieniowanie
 - Cieniowanie Phong
 - Cieniowanie Gourauda





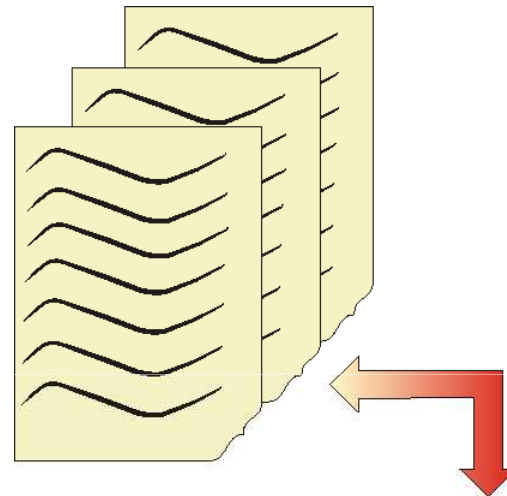
Obraz i komputer

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



Grafika komputerowa

Dane wejściowe w formie
Opisu, kodu itp.



Dane wyjściowe w postaci
obrazu

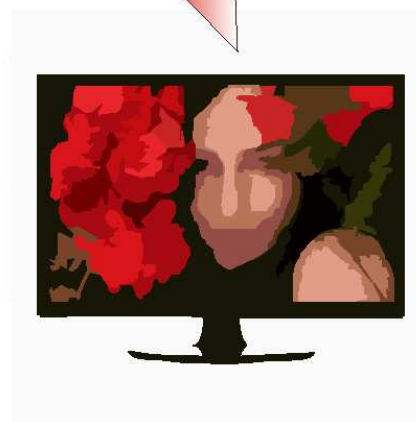


Przetwarzanie obrazu

Dane wejściowe: obraz

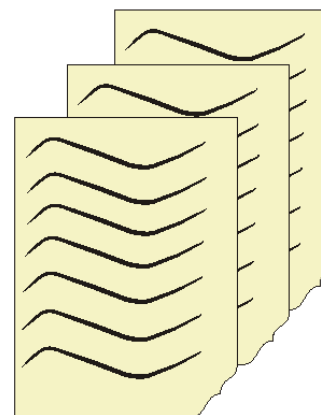


Dane wyjściowe: obraz

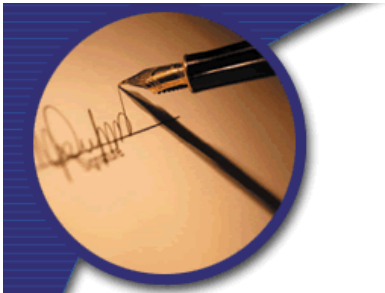


Rozpoznawanie obrazu

Dane wejściowe: obraz



Dane wyjściowe: opis



Grafika komputerowa

- Grafika komputerowa:
 - Grafika wektorowa
 - Grafika rastrowa





Grafika wektorowa

- W pełni skalowalna
- Wielkość pliku zależna od złożoności obrazu
- Zawsze „gładkie” linie
- Możliwość operowania kreską
- Brak możliwości operowania plamą





Grafika rastrowa

- Obraz zapisywany w postaci macierzy
- Wielkość obrazu niezależna od złożoności
- Skalowanie związane z utratą jakości
- Możliwość operowania kreską i plamką





Rodzaje obrazów

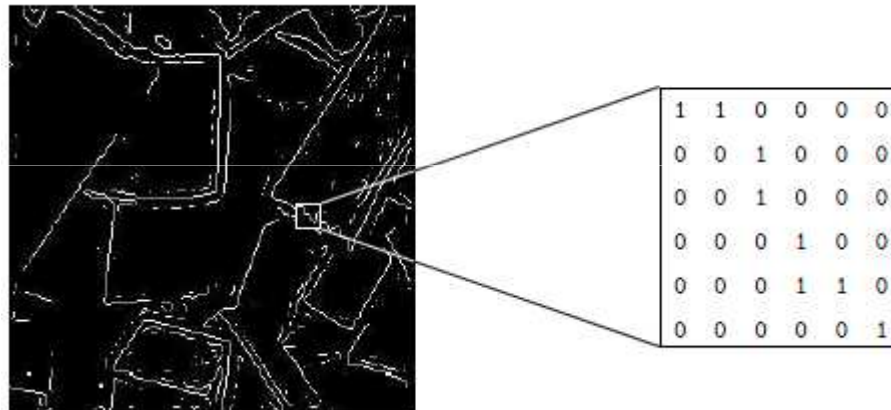
- Ze względu na wartość funkcji $L(m,n)$ możemy podzielić obrazy na
 - Obrazy binarne – o wartościach 0 lub 1
 - Obrazy szarościowe – o wartościach 0-255
 - Obrazy kolorowe – 3 obrazy szarościowe
- Obraz kolorowy można rozpatrywać jako złożenie 3 obrazów szarościowych





Obrazy binarne

- W obrazie binarnym dysponujemy jedynie dwoma wartościami 0 i 1



- Doskonałe do przechowywania tekstu, planów architektonicznych, odcisków palców
- 

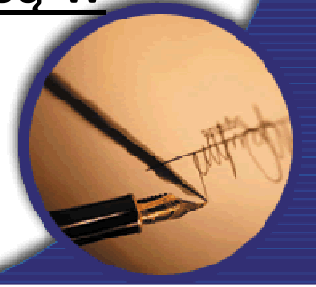


Obrazy szarościowe

- Wartości z zakresu 0-255



230	229	232	234	235	232	148
237	236	236	234	233	234	152
255	255	255	251	230	236	161
99	90	67	37	94	247	130
222	152	255	129	129	246	132
154	199	255	150	189	241	147
216	132	162	163	170	239	122

- Dla przykładu zdjęcia rentgenowskie przechowywane są w postaci obrazów szarościowych
- 

Obrazy kolorowe



49	55	56	57	52	53
58	60	60	58	55	57
58	58	54	53	55	56
83	78	72	69	68	69
88	91	91	84	83	82
69	76	83	78	76	75
61	69	73	78	76	76

Red

64	76	82	79	78	78
93	93	91	91	86	86
88	82	88	90	88	89
125	119	113	108	111	110
137	136	132	128	126	120
105	108	114	114	118	113
96	103	112	108	111	107

Green

66	80	77	80	87	77
81	93	96	99	86	85
83	83	91	94	92	88
135	128	126	112	107	106
141	129	129	117	115	101
95	99	109	108	112	109
84	93	107	101	105	102

Blue

Obraz indeksowany



4	5	5	5	5	5
5	4	5	5	6	6
5	5	5	0	8	9
5	5	5	5	11	11
5	5	5	8	16	20
8	11	11	26	33	20
11	20	33	33	58	37

Indices

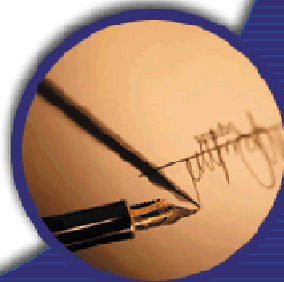
0.1211	0.1211	0.1416
0.1807	0.2549	0.1729
0.2197	0.3447	0.1807
0.1611	0.1768	0.1924
0.2432	0.2471	0.1924
0.2119	0.1963	0.2002
0.2627	0.2588	0.2549
0.2197	0.2432	0.2588
:	:	:

Colour map



Wielkości plików

- Obrazy binarne np. 512x512
 - $512 \times 512 \times 1b = 262\,144b = 32\,768\,B = 32KB$
- Obrazy szarościowe
 - $512 \times 512 \times 1B = 262\,144B = 256\,KB$
- Obrazy kolorowe
 - $512 \times 512 \times 3B = 786\,432B = 768\,KB$






Skutki dyskretyzacji

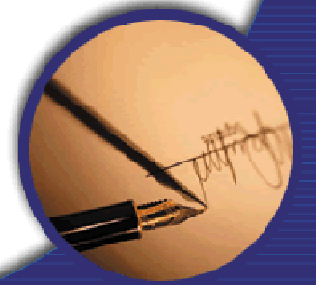
- Obraz posiada dwa typy rozdzielczości
 - Rozdzielczość przestrzenną
 - Rozdzielczość poziomów jasności
- Rozdzielczością przestrzenną nazywamy ilość wierszy i kolumn macierzy obrazu
- Rozdzielczością poziomów jasności obrazu nazywamy ilość wartości funkcji L





Zmniejszanie rozdzielczości przestrzennej

- Obrazy 256x256, 128x128, 64x 64, 32x32
16x16 i 8x8



Zmniejszanie rozdzielczości poziomów jasności

- Dla B kolejno 8,5,4,3,2,1



$$L'(m,n) = \left\lfloor \text{round} \left(\frac{L(m,n) - \left(\frac{\text{delta}}{2} - 1 \right)}{\text{delta}} \right) \cdot \text{delta} + \left(\frac{\text{delta}}{2} - 1 \right) \right\rfloor, \text{ gdzie } \text{delta} = \frac{2^B}{2^B}$$



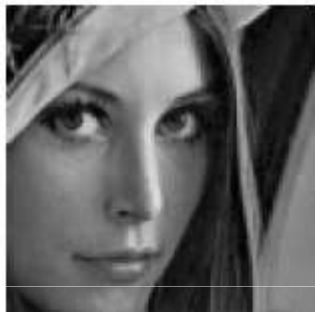
Zwiększanie rozdzielczości przestrzennej

- Metoda najbliższego sąsiada
 - przy powiększaniu odbywa się wierne kopiowanie najbliższego piksela
 - w przypadku skalowania innego niż o wielokrotność 100% jest to statystyczne kopiowanie niektórych pikseli
 - przy pomniejszaniu jest to mechaniczne pomijanie niektórych pikseli
 - metoda najprostsza i wymagająca od komputera najmniejszej mocy obliczeniowej
 - nie powoduje rozmycia kształtów
 - Wadą są widoczne grupy identycznych pikseli i ziarnistość wynikowa

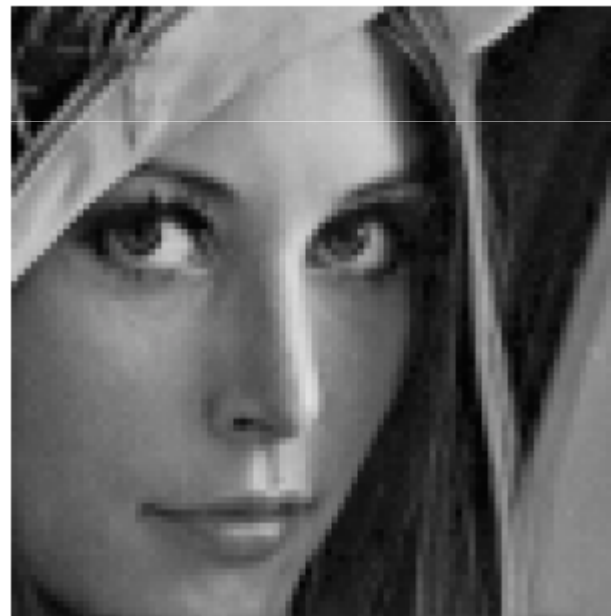


Zwiększanie rozdzielczości przestrzennej

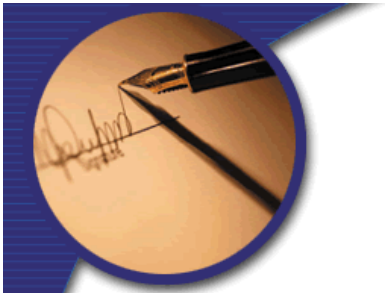
- Metoda najbliższego sąsiada



94x94



188x188



Interpolacja dwuliniowa

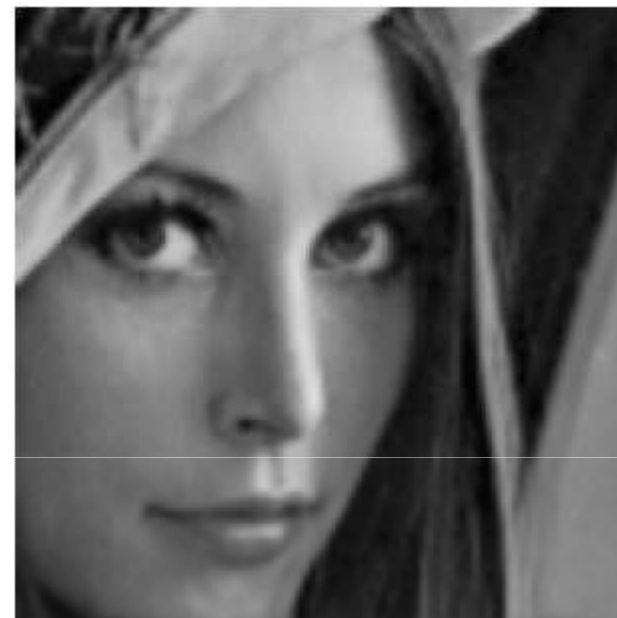
- Każdy piksel obrazu wynikowego przyjmuje wartość na podstawie wartości czterech sąsiednich punktów obrazu wejściowego
- interpolację liniową przeprowadzamy dwukrotnie - jeden raz w poziomie i jeden raz w pionie
- brak efektu ziarnistości
- rozmywa kształty
- obraz powiększony metodą najbliższego sąsiada da się odtworzyć bez zmian, interpolacja dwuliniowa powoduje stałe zniekształcenie



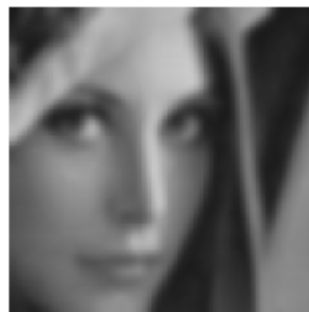
Porównanie



Interpolacja najbliższego sąsiada



Interpolacja dwuliniowa



Dziesięciokrotne przeprowadzenie interpolacji dwuliniowej





Przykład – interpolacji dwuliniiowej

Należy przekształcić obraz 4x10 w obraz 5x16.

Obliczamy współczynniki powiększenia:

$$\text{ratio}_x = \text{widthsrc} / \text{widthdst} = 4/5 = 0.8$$

$$\text{ratio}_y = \text{heightsrc} / \text{heightdst} = 10 / 16 = 0.625$$

Obliczmy wartość dla punktu (3, 7).

$$x = i * \text{ratio}_x = 3 * 0.8 = 2.4$$

$$y = j * \text{ratio}_y = 7 * 0.625 = 4.375$$

wartości w punktach (2, 4), (2, 5), (3, 4) (3, 5) wynoszą odpowiednio 20, 29, 42, 58.

Obliczmy teraz współczynniki a i b - są to części dziesiętne odpowiednich składowych.

$$a = 0.375$$

$$b = 0.4$$

Przeprowadzimy teraz interpolację liniową w kierunku poziomym:

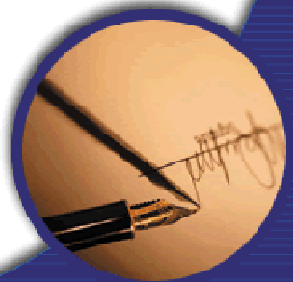
$$F_{a,0} = (1-a)*F_{0,0} + a*F_{1,0} = (1-0.375)*20 + 0.375*42 = 12.5 + 15.75 = 28.25$$

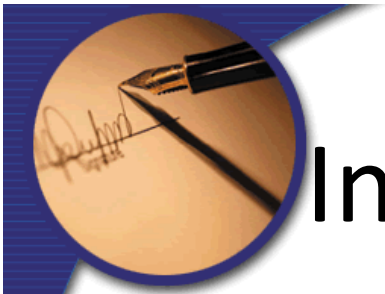
$$F_{a,1} = (1-a)*F_{0,1} + a*F_{1,1} = (1-0.375)*29 + 0.375*58 = 34.375 + 21.75 = 56.125$$

A następnie na podstawie tych wyników w kierunku pionowym:

$$F_{a,b} = (1-b)*F_{a,0} + b*F_{a,1} = (1-0.4)*28.25 + 0.4*56.125 = 16.95 + 22.45 = 39.4$$

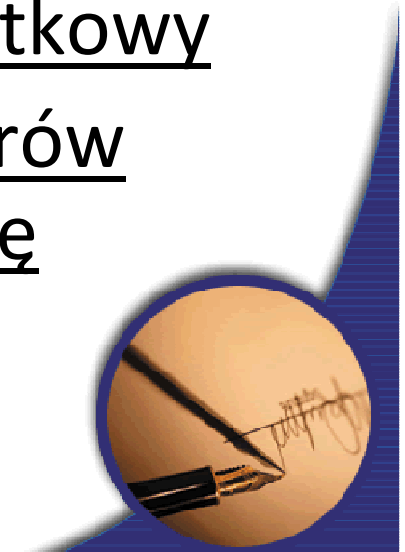
A więc wartość składowej w punkcie (3, 7) wynosić będzie 39.4. Obliczenia takie należy powtórzyć dla wszystkich punktów i wszystkich składowych.





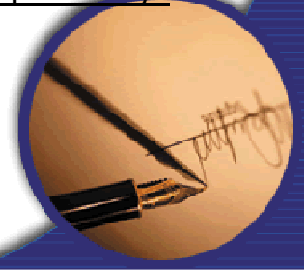
Interpolacja dwusześcienna

- ang. Bicubic
- najlepszy efekt końcowy
- opcja domyślna w większości programów
- krawędzie są naturalnie, łagodnie rozmyte, a obraz po transformacji najbardziej wśród tych trzech metod przypomina obraz początkowy
- metoda polega na uwzględnieniu kolorów wszystkich ośmiu pikseli stykających się bokami lub rogami z danym pikselem.

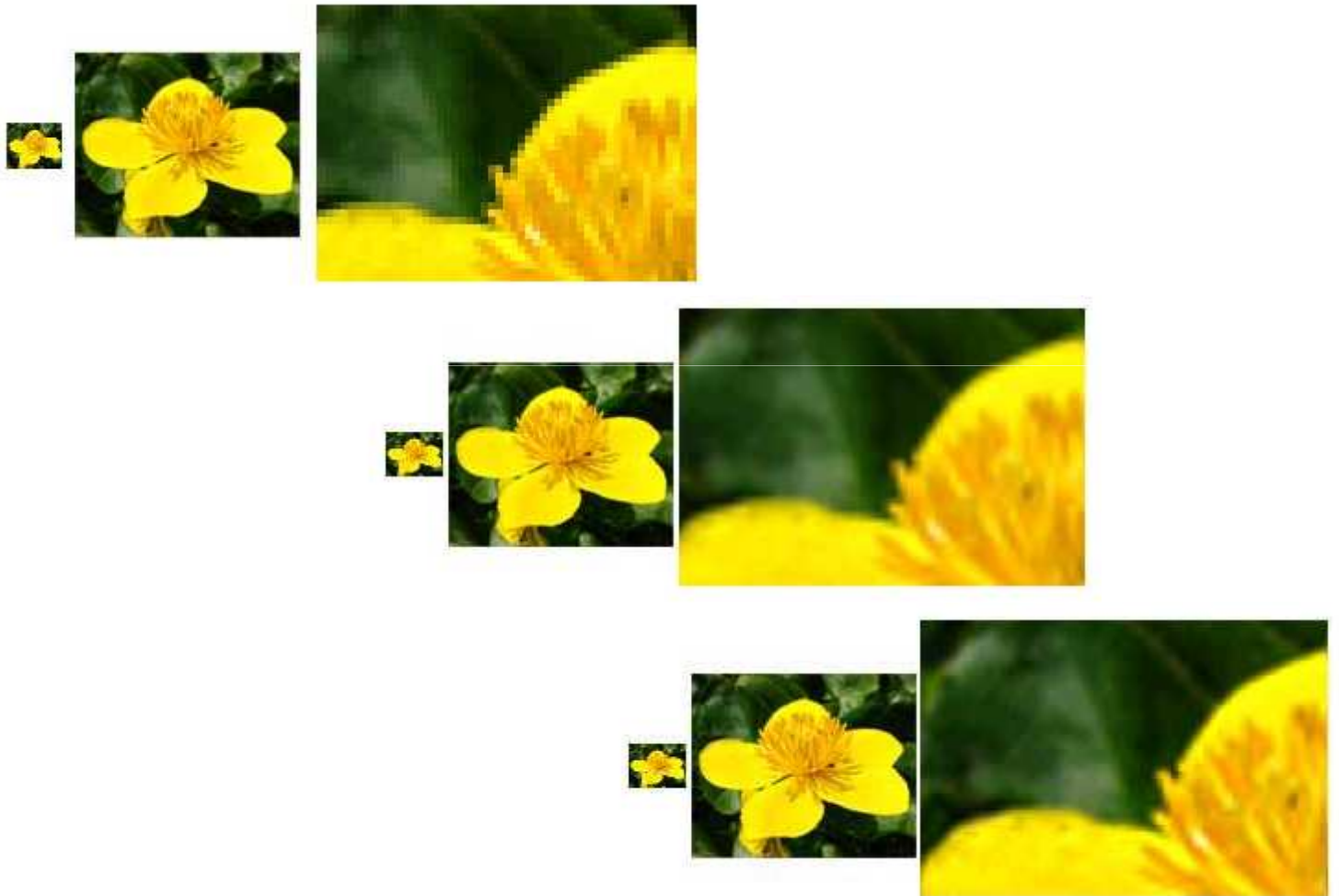




Przykład

- Należy przekształcić obraz 4x10 w obraz 5x16.
Obliczamy współczynniki powiększenia:
 $\text{ratio}_x = \text{widthsrc} / \text{widthdst} = 4/5 = 0.8$
 $\text{ratio}_y = \text{heightsrc} / \text{heightdst} = 10 / 16 = 0.625$
Obliczmy wartość dla punktu (3, 7).
 $x = i * \text{ratio}_x = 3 * 0.8 = 2.4$
 $y = j * \text{ratio}_y = 7 * 0.625 = 4.375$
wartości w punktach wynoszą odpowiednio: (1, 3) = 25, (1, 4) = 15, (1, 5) = 35, (2, 3) = 28, (2, 4) = 40, (2, 5) = 52, (3, 3) = 15, (3, 4) = 29, (3, 5) = 28.
 - Obliczmy teraz współczynniki a i b - są to części dziesiętne odpowiednich składowych.
 $a = 0.375$
 $b = 0.4$
Przeprowadzimy teraz interpolację kwadratową w kierunku poziomym:
 $F_{a,0} = F_{1,0} + (F_{2,0} - F_{0,0}) * a + (F_{0,0} - 2 * F_{1,0} + F_{2,0}) * a * a = 28 + (15 - 25) * 0.375 + (25 - 2 * 28 + 15) * 0.375 * 0.375 = 28 - 3.57 - 2.25 = 22.18$
 $F_{a,1} = F_{1,1} + (F_{2,1} - F_{0,1}) * a + (F_{0,1} - 2 * F_{1,1} + F_{2,1}) * a * a = 40 + (29 - 15) * 0.375 + (15 - 2 * 40 + 29) * 0.375 * 0.375 = 40 + 5.25 - 5.0625 = 40.1875$
 $F_{a,2} = F_{1,2} + (F_{2,2} - F_{0,2}) * a + (F_{0,2} - 2 * F_{1,2} + F_{2,2}) * a * a = 52 + (28 - 35) * 0.375 + (35 - 2 * 52 + 28) * 0.375 * 0.375 = 52 - 2.625 - 5.765625 = 43.609375$
A następnie na podstawie tych wyników w kierunku pionowym:
 $F_{a,b} = F_{a,1} + (F_{a,2} - F_{a,0}) * b + (F_{a,0} - 2 * F_{a,1} + F_{a,2}) * b * b = 40.1875 + (43.609375 - 22.18) * 0.4 + (22.18 - 2 * 40.1875 + 43.609375) * 0.4 * 0.4 = 40.1875 + 8.571894 - 2.3337 = 29.281906$
A więc wartość składowej w punkcie (3, 7) wynosić będzie 29.281906. Obliczenia takie należy powtórzyć dla wszystkich punktów i wszystkich składowych
- 

Porównanie





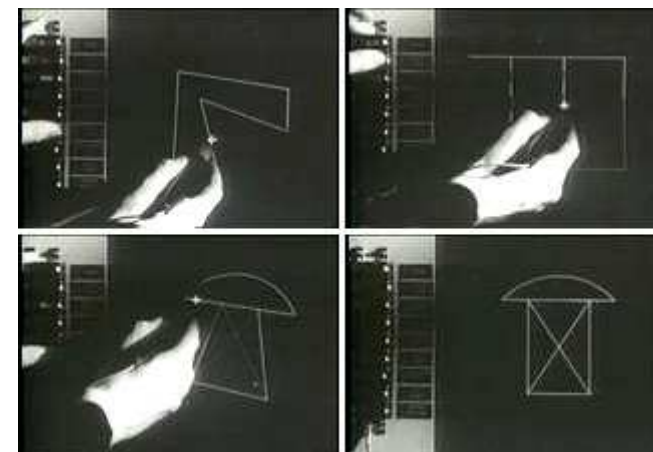
Popularne formaty

- Grafika rastrowa:
 - Kompresja stratna:
 - Jpeg, tiff, DjVu
 - Kompresja bezstratna:
 - PNG, Gif, BMP (również bez kompresji)
 - Bez kompresji:
 - BMP, PSD
- Grafika wektorowa:
 - SVG AI CDR EPS DXF DWF DWG SWF WMF



Historia grafiki komputerowej

- 1950 – komputer Whirlwind – opracowany w MIT miał wyjściowe urządzenie wyświetlające CRT
- 1963 – Sketchpad – Ivana Sutherlanda –
- 1969 – SIGGRAPH
- 1974 – Pierwsze laboratorium GK
- 1983 - Fraktale



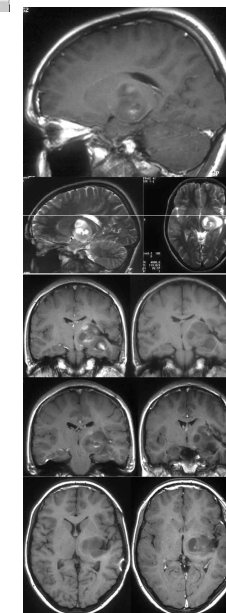
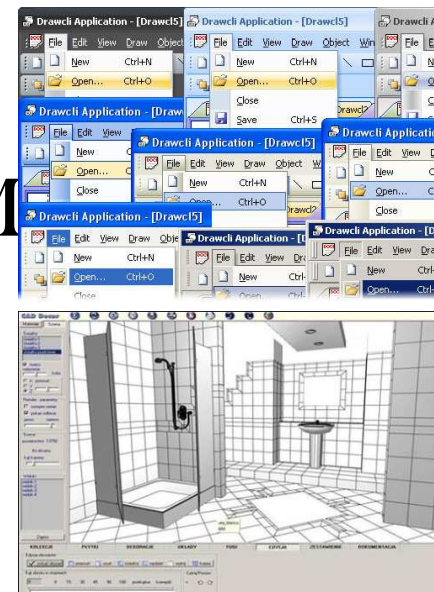


Historia grafiki komputerowej

- 1984 – metoda energetyczna - metoda wykorzystywana w grafice komputerowej do wyznaczenia globalnego rozkładu oświetlenia scen trójwymiarowych, wywodzi się z efektów badań nad promieniowaniem cieplnym
- 2001 – mapowanie fotonowe

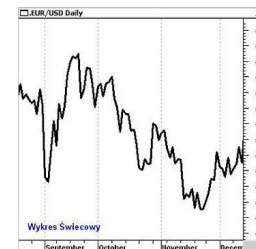
Zastosowania grafiki komputerowej

- Prezentacja wyników – wykresy
- Interfejsy użytkownika
- Medycyna
- Kartografia
- Projektowanie – CAD, CAM
- Systemy multimedialne
- Kinematografia
- Nawigacja



Zastosowania grafiki komputerowej

- Prezentacja wyników i wykresy
 - Praca naukowa
 - Szkolenia
 - Prezentacje
 - Obrazowanie powiązań
 - Diagramy, schematy



Zastosowania grafiki komputerowej

- Interfejsy użytkownika
 - 1963 – sketchpad
 - 1964 – Pierwsza mysz - Stanford
 - 1973 – pierwszy komputer z graficznym interfejsem - Alto Xerox Parc
 - 1983 – komputer Lisa firmy Apple – Komputer posiadał okienkowe GUI, Uznane jako pierwowzór tego rodzaju interfejsów

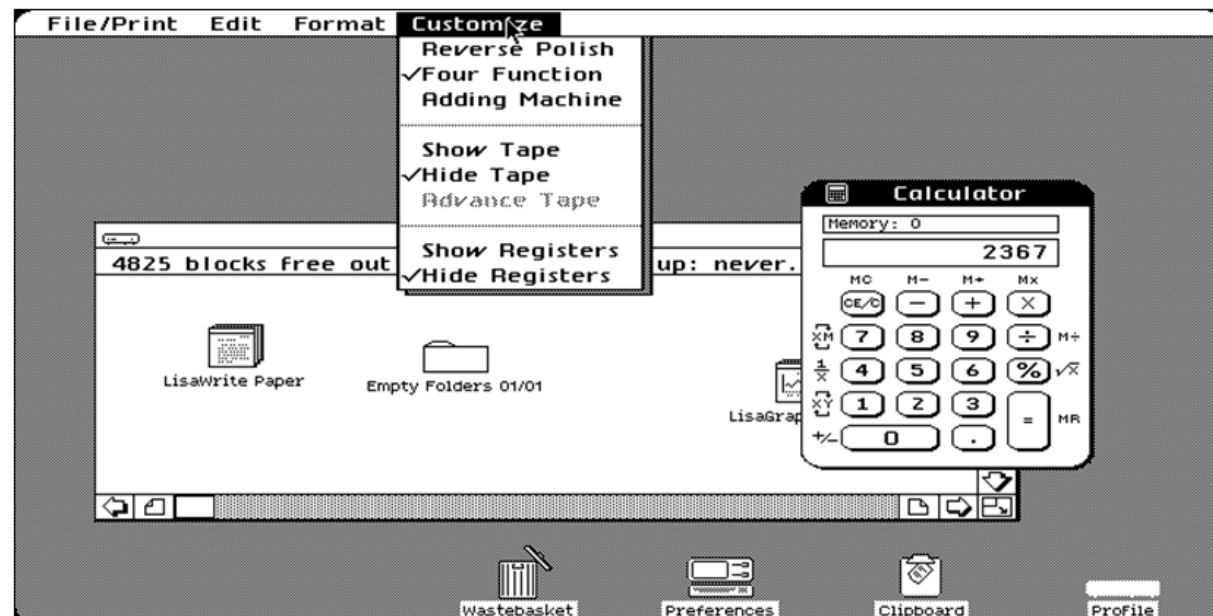
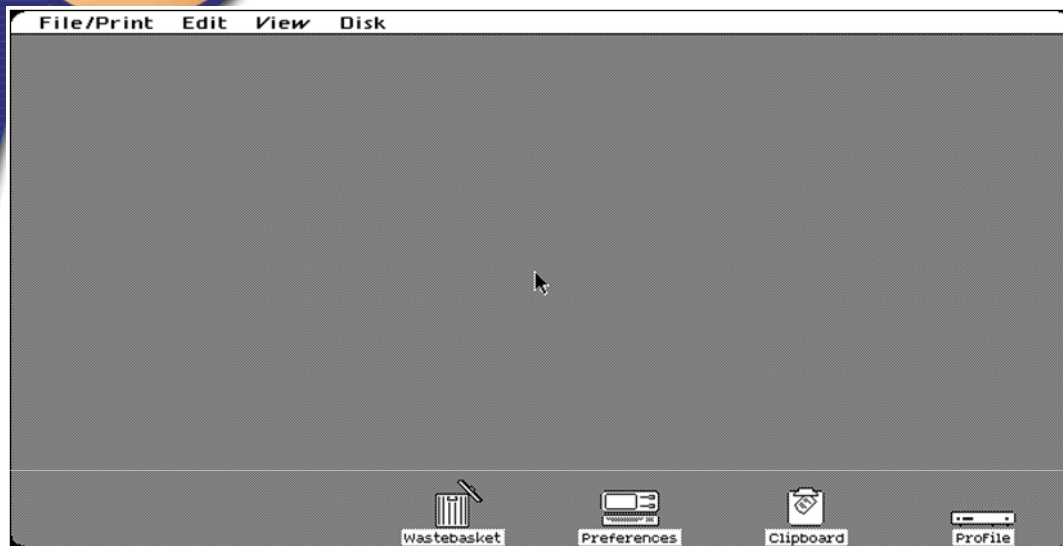


Zastosowania grafiki komputerowej

- Interfejsy użytkownika c.d.
 - Koszt Lisy ok. 10 000\$
 - System Lisa OS
 - Kalkulator
 - Edytor tekstów
 - Kosz (!)
 - Menedżer plików
 - Program do wykresów



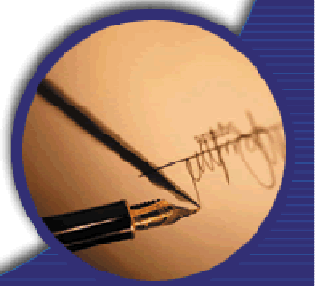
Zastosowania grafiki komputerowej





Interfejsy użytkownika c.d

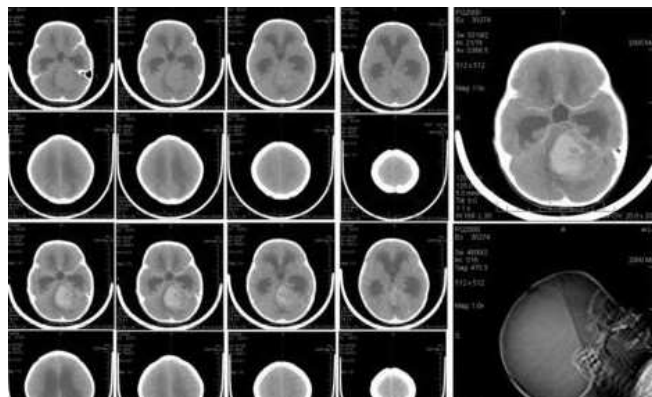
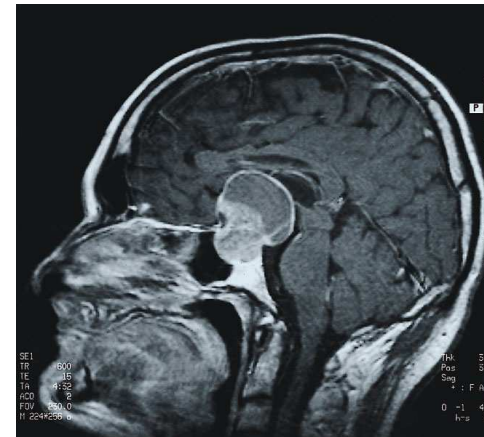
- 1984 – Macintosh
 - Nakładające się okienka
- 1984 – System X Window
 - Całkowicie przenośny system okienkowy
- 1985 – Windows 1.0
 - Brak możliwości przenoszenia i nakładania się okienek
- www.guidebookgallery.org





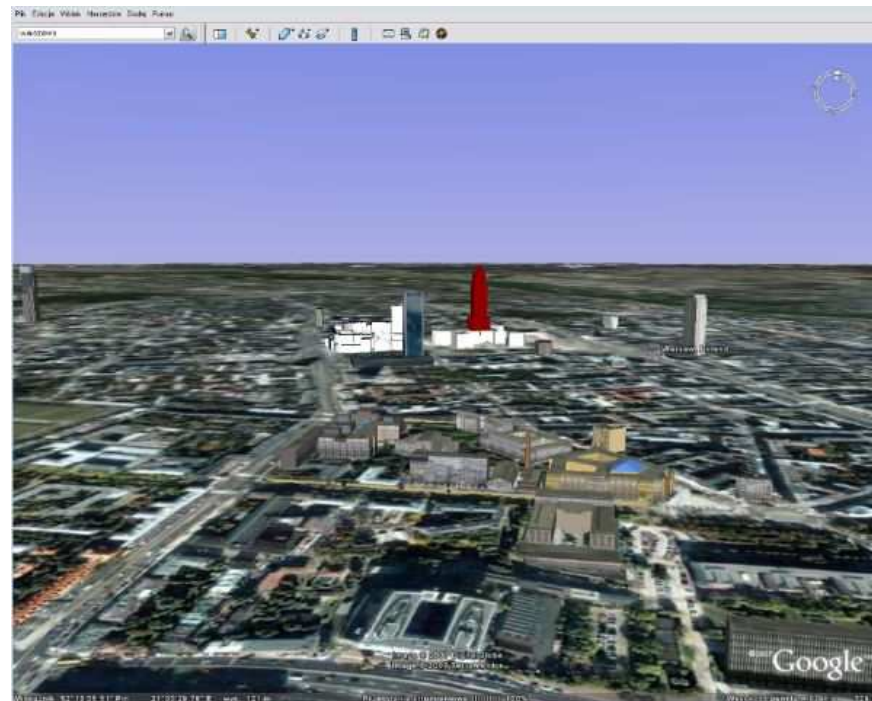
Zastosowania grafiki komputerowej

- Medycyna
 - Obrazy mikroskopowe
 - RTG
 - Wizualizacja USG
 - Tomografia
 - Rezonans



Kartografia

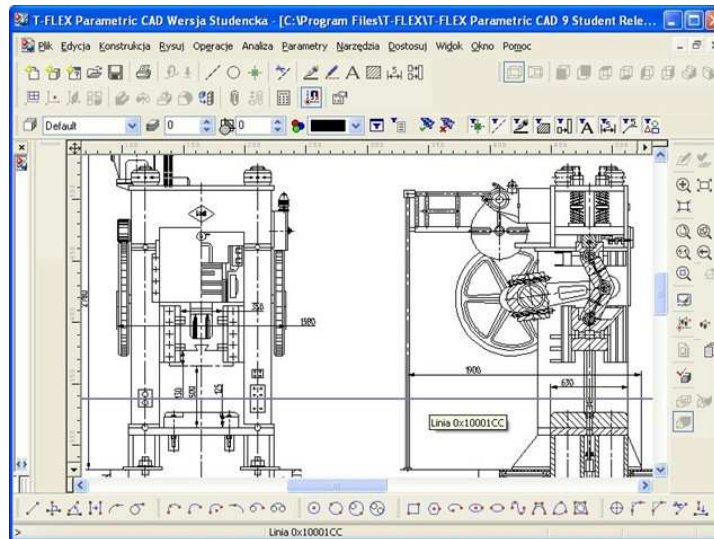
- Mapy
 - 2d
 - 3d
- Nawigacja GPS, GSM



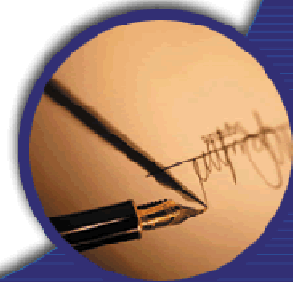


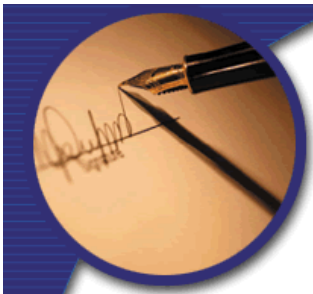
Projektowanie – CAD, CAM

- CAD - Computer Aided Design – komputerowe wspomaganie projektowania
- CAM - Computer Aided Manufacturing – komputerowe wspomaganie wytwarzania
- Computer Aided Drafting and Design - (CADD) Komputerowe wspomaganie procesu wytwarzania



Grafika komputerowa - Michał Kruk





Kinematografia i rozrywka

- Kinematografia
 - Efekty specjalne
 - Efekty 3D
 - Animacja komputerowa
- Gry komputerowe
- Wirtualne studia w TV – prognoza pogody



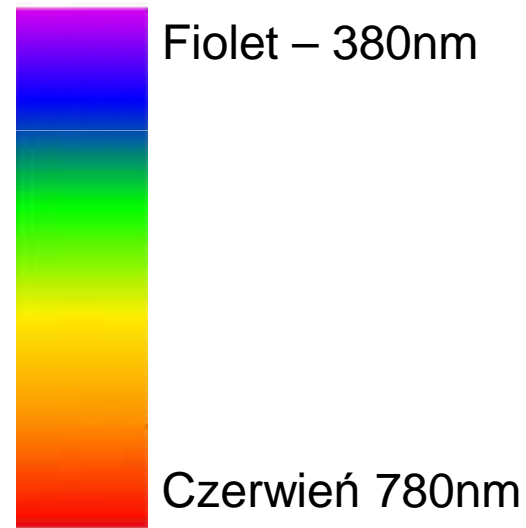
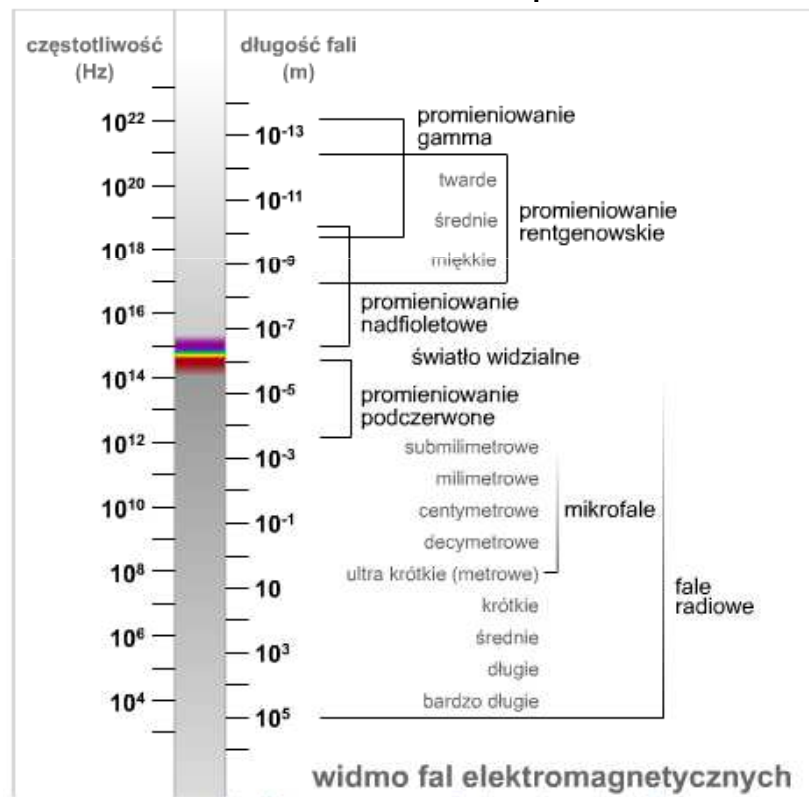


Barwa, światło, modele barw i reprezentacja obrazu



Światło

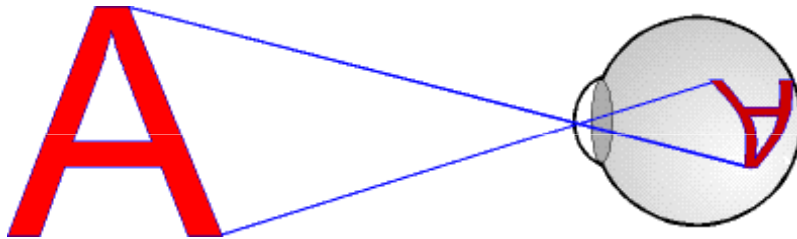
- Część promieniowania elektromagnetycznego, czyli promieniowanie widzialne odbierane przez siatkówkę oka





Barwa

- Wrażenie wzrokowe wywołane w mózgu przez promieniowanie padające na receptory oka



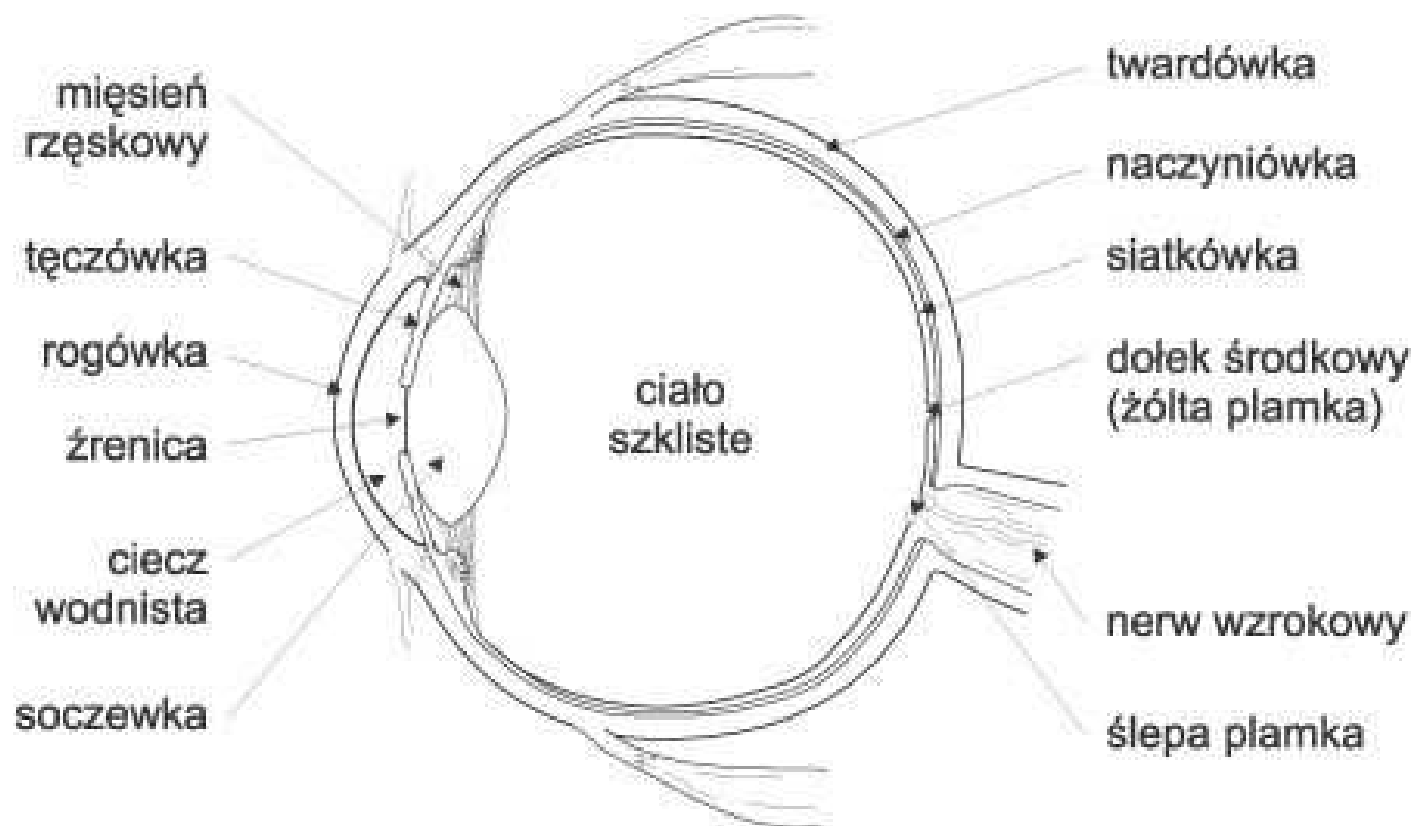
- Receptory oka – czopki (widzenie dzienne) i pręciki (nocne)
- Za widzenie barwy niebieskiej odpowiada ok. 4% czopków, za zieloną – 32%, za czerwoną – 64%



Ludzkie oko

- Siatkówka – miejsce, gdzie powstaje obraz
- Tkanka nerwowa zawierająca ponad 120 mln receptorów
 - 120 mln pręcików – rejestrują odcienie szarości
 - 6 mln czopków – rejestrują wrażenia barwne
- Liczba połączeń nerwowych siatkówki w nerwie wzrokowym wynosi ok. 1 mln (wobec ok. 126 mln receptorów. Już na etapie przetwarzania na siatkówce obraz poddawany jest „kompresji”:

Ludzkie oko



Grafika komputerowa - Michał Kruk



Barwa

- Barwy dzielimy na
 - Proste i złożone
 - Achromatyczne, monochromatyczne, chromatyczne
 - Podstawowe i wtórne
- Barwy proste to barwy otrzymane z rozszczepienia światła białego – są nierozszczepialne
- Barwy złożone – barwy składające się z mieszaniny barw prostych
- Barwy achromatyczne – barwy o nasyceniu równym zero. Czerń, biel i odcienie szarości
- Barwy chromatyczne – wszystkie barwy o nasyceniu większym od zera
- Barwy monochromatyczne – barwy proste



Barwy proste

kolor	długość fali nm (10^{-9}m)	częstotliwość THz (10^{12}Hz)
czerwony	~ 635-770	~ 480-405
pomarańczowy	~ 590-635	~ 510-480
żółty	~ 565-590	~ 530-510
zielony	~ 520-565	~ 580-530
cyjan	~ 500-520	~ 600-580
niebieski	~ 450-500	~ 670-600
indygo	~ 430-450	~ 700-670
fioletowy	~ 380-430	~ 790-700

Właściwości barwy

- Nasycenie – mieszanie z barwą białą

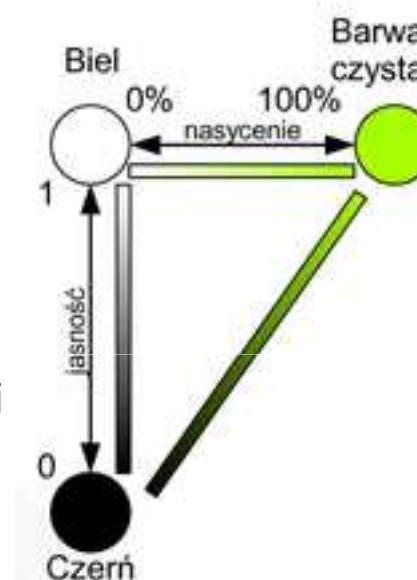
- Jasność – luminancja –

Wrażenie związane z wielkością strumienia świetlnego.

Jest miarą natężenia oświetlenia padającego

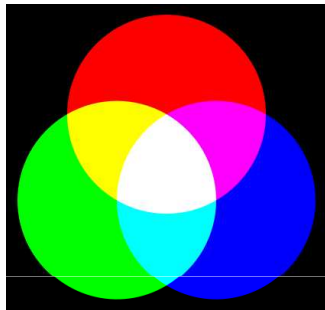
w danym kierunku. Opisuje ilość światła, które przechodzi lub jest emitowane przez określoną powierzchnię i mieści się w zadanym kącie bryłowym

$$L_v = \frac{d^2 F}{dA d\Omega \cos \theta}$$

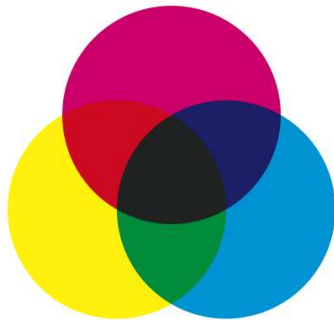


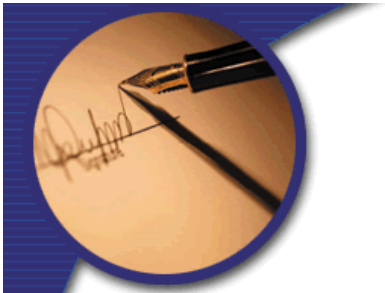
Mieszanie barw

- Mieszanie addytywne (mieszanie światła)



- Mieszanie subtraktywne (mieszanie farb)

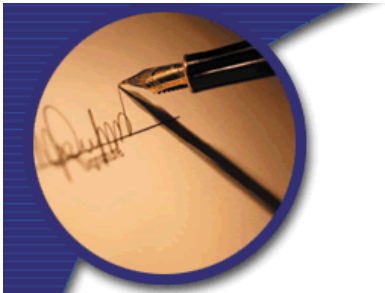




Teoria trójpobudzenia

- Wrażenia barwne odbierane są w oku przez trzy niezależne rodzaje receptorów
 - „czerwone”
 - „zielone”
 - „niebieskie”
- Teoria zapoczątkowana została w 1802 przez Younga i rozwinięta przez Helmholtza
- Nasze postrzeganie barwy jest mieszanina tych składowych





Twierdzenia Grassmana

- **Zasada tróchromatyczności**

Każdą dowolną barwę można przedstawić za pomocą trzech składowych – barw podstawowych

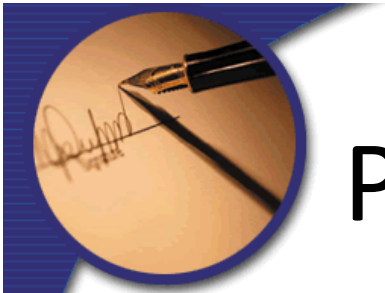
- **Zasada ciągłości**

Jeśli mamy do czynienia z mieszaniną dwóch barw, to ciągła zmiana jednej składowej powoduje ciągłą zmianę mieszaniny.

- **Zasada addytywności**

Barwa mieszaniny nie zależy od jej składu widmowego tylko od barw składników.





Prawo Webera - Fechnera

- Wartość reakcji układu biologicznego jest proporcjonalna do logarytmu bodźca

$$w = k \cdot \ln \frac{B}{B_0}$$

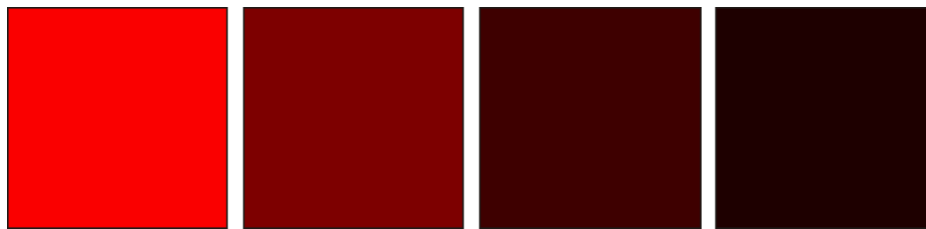
gdzie:

w - reakcja układu biologicznego (wrażenie zmysłowe),

B - natężenie danego bodźca,

B_0 - wartość początkowa natężenia danego bodźca,

\ln - logarytm naturalny.





Prawo Bezolda-Bruckego

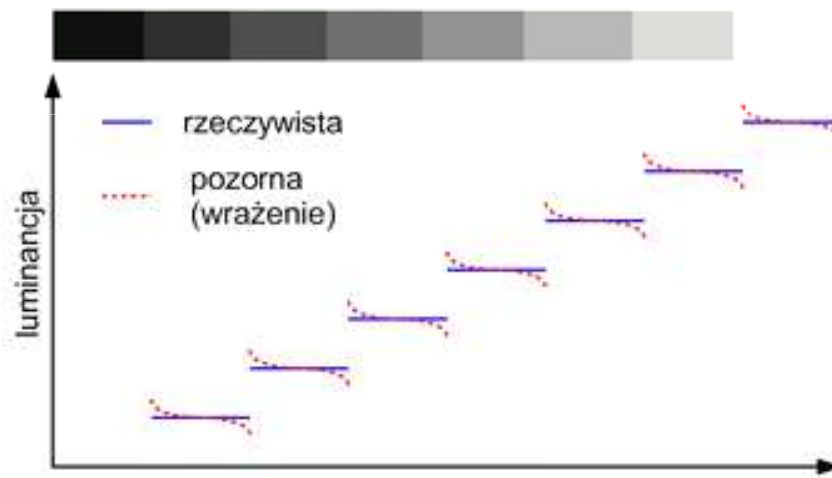
- Zmniejszenie luminancji wiąże się z wrażeniem zmniejszenia składowej żółtej i błękitnej
- Zmniejszenie nasycenia wiąże się z wrażeniem zwiększenia składowej żółtej i błękitnej
- Uwaga! Percepcyjnie zachodzi związek między atrybutami barwy (nasyceniem, jasnością i odcieniem). Każda zmiana jednej wartości powoduje zmianę naszego postrzegania barwy





Hamowanie oboczne

Zły dobór barw np. przy realizacji ciągłej zmiany między dwiema określonymi barwami zostanie natychmiast wychwycony przez oko.
Powstają wtedy tzw. pasma Macha





Metameryzm

- Zjawisko polegające na różnym odbiorze barwy tej samej substancji barwiącej (np. zawartej w farbie) uzależnionym od rodzaju światła, w którym substancja barwiąca jest oglądana.
- Substancja barwiąca o silnym metameryźmie to substancja silnie zmieniająca barwę pod wpływem zmian widma światła oświetlenia.
- Substancje barwiące wywołują odczucie barwy, ponieważ do oka obserwatora dociera światło o jakimś widmie będącym wynikiem odbicia się od substancji barwiących tych długości fal świetlnych, które nie **zostały pochłonięte przez substancje ze światła**, które je oświetla. Ponieważ barwa jest wynikiem wrażenia wywołanego przez światło odbite, a jego widmo wynika z różnicy między widmem światła oświetlającego a długościami fal pochłoniętych przez substancje barwiące, stąd barwa może ulec zmianie, gdy oświetlana jest substancja barwiąca światłem o różnym widmie.



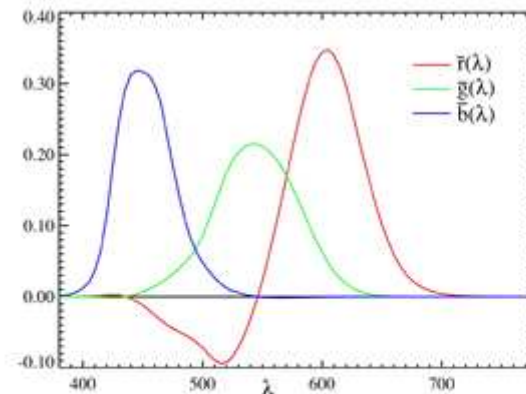
Modele barwne

- Matematyczne modele widma fal elektromagnetycznych światła białego
- Dzięki tym modelom barwę można opisać nie tylko przez podanie jej widma, ale przez modele w różnym stopniu zbliżone do ludzkiej percepcji barwy, związanej z fizjologią oka ludzkiego
- Do najbardziej znanych modeli należą:
 - RGB
 - CMYK
 - CIE L^*a^*b
 - CIE XYZ
 - HSV



Teoria trójpobudzenia

- Próba uzyskania dowolnej barwy w wyniku mieszania barw podstawowych
- Zaproponowano model oparty o barwy czerwoną, zieloną i niebieską
- Decydowała między innymi praktyczna możliwość uzyskania barwy o określonej długości fali poprzez wydzielenie prążków ze światła łuku rtęciowego
- Aby pokryć pełny zakres barw widmowych składowa czerwona musi przyjmować w pewnym zakresie wartość ujemną. Taki warunek nie ma interpretacji fizycznej – nie jest możliwa zatem realizacja praktyczna takiego mieszania



Widmowe składowe tróchromatyczne w układzie RGB



XYZ

- 1931 - Międzynarodowa Komisja Oświeceniowa (CIE) - trzy składowe trójkromatyczne, których mieszanie może pokryć pełny zakres barw widmowych i jednocześnie wartość każdej ze składowych jest zawsze większa od zera. Definiują one barwy X Y Z w postaci:

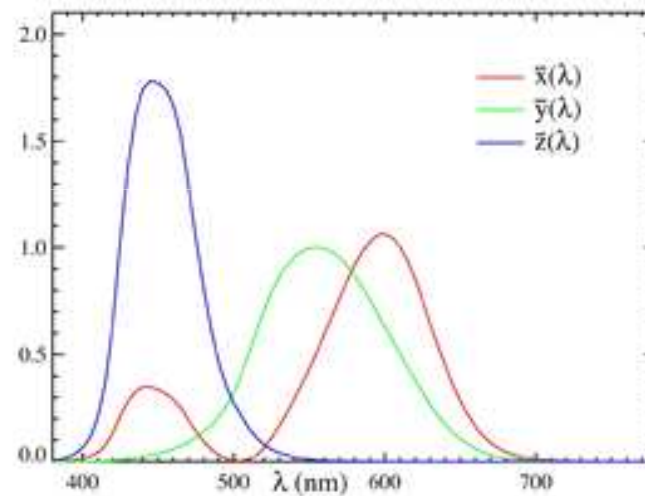
$$X = k \int P(\lambda) \bar{x}(\lambda) d\lambda$$

$$Y = k \int P(\lambda) \bar{y}(\lambda) d\lambda$$

$$Z = k \int P(\lambda) \bar{z}(\lambda) d\lambda$$

- Gdzie P jest rozkładem energetycznym strumienia świetlnego, k jest współczynnikiem dobieranym tak aby maksymalna wartość wyniosła 100
- Barwa Y odpowiadała dokładnie krzywej czułości oka na światło o stałej luminancji. Odpowiada informacji o strumieniu światła, natomiast pozostałe dwie składowe odpowiadają wyłącznie za informacje o barwie.
- Barwy podstawowe, które zostały wybrane do tego modelu są barwami teoretycznymi – leżą poza zakresem widzialnym. Nie są więc realizowalne fizycznie. Dodatkowo trzeba zwrócić uwagę na fakt, że składowa ma dwa maksima.

XYZ



Widmowe składowe tróchromatyczne w układzie XYZ



CIE XYZ

- Przyjmując normalizację składowych w postaci:

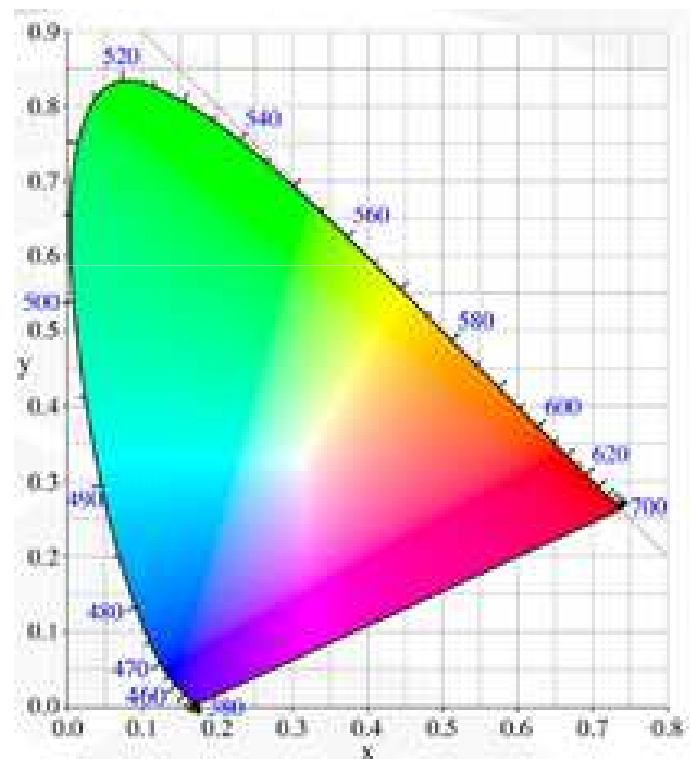
$$x = \frac{X}{X + Y + Z}$$

$$y = \frac{Y}{X + Y + Z}$$

$$z = \frac{Z}{X + Y + Z}$$

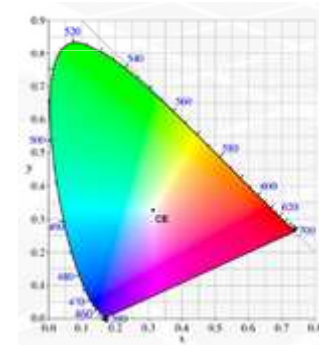
- otrzymujemy $x+y+z=1$. Jest to równanie płaszczyzny w przestrzeni barw. Płaszczyznę tę przedstawia się najczęściej w postaci rzutu na płaszczyznę xy . Tak powstaje wykres chromatyczności układu CIE XYZ.
- Na obwodzie wykresu znajdują się barwy nasycone odpowiadające określonym długościom fali.
- Przestrzeń barw CIE XYZ jest przestrzenią liniową. Oznacza to, że w przestrzeni tej obowiązuje prawo dodawania wektorów i mnożenia wektora przez skalar. Dzięki temu można wyznaczać w prosty sposób barwy wynikowe np. mieszania barw.

CIE XYZ



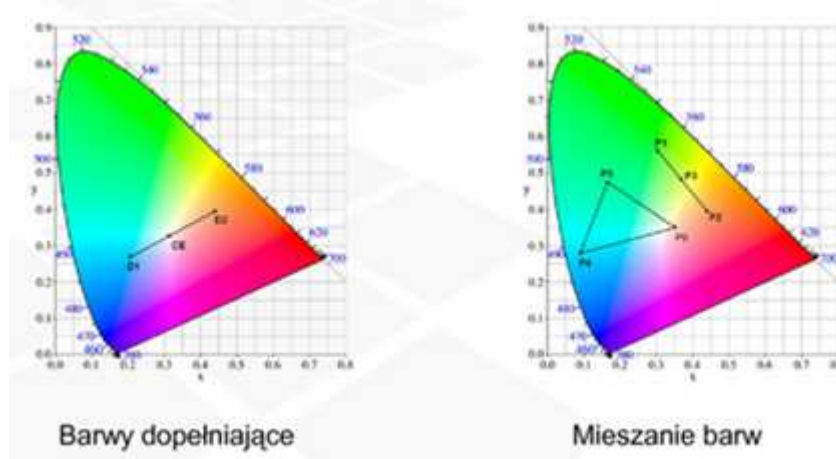
Biel

- Barwa w pełni nienasycona
- W modelu CIE XYZ przyjęto punkt bieli odpowiadający $x = y = z = 1/3$ – punkt ten nosi nazwę bieli równoenergetycznej
- Dla światła słonecznego:
 - $X=0,31$ $Y=0,316$ $Z=0,374$ – biel światła naturalnego – temperatura barwowa 6774K
- Dla światła żarowego określa się temp 3200K

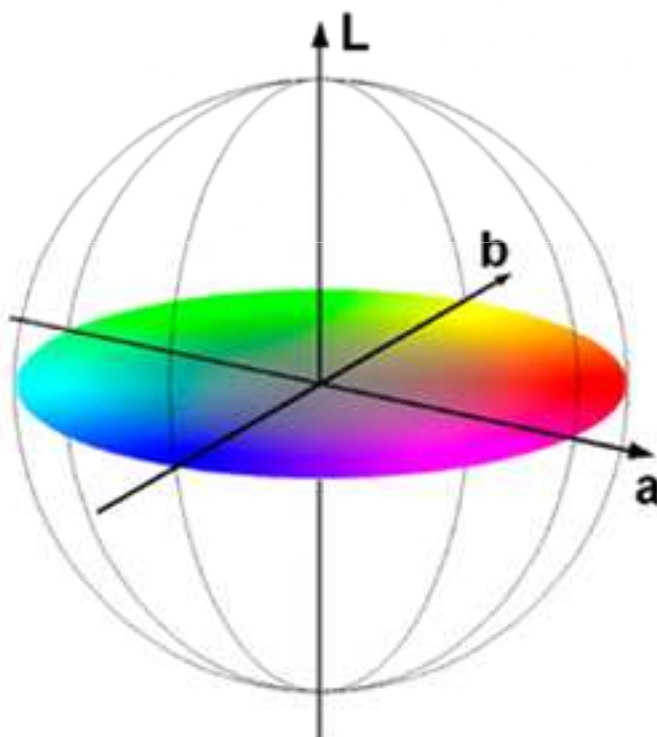


CIE XYZ

- W modelu CIE XYZ łatwo uzyskać barwy dopełniające i mieszaninę barw



CIE LAB



L – luminancja

a – relacja czerwień - zieleń

b – relacja błękit – żółć

Można wyznaczyć

odcień barwy

$$h = \arctg(a/b)$$

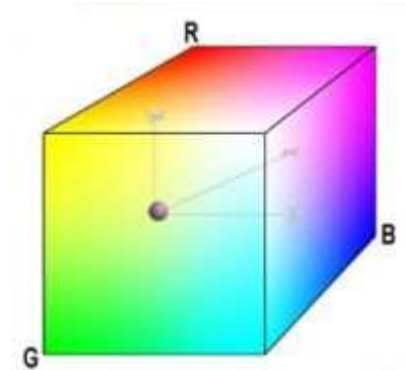
nasycenie

$$C = (a^2 + b^2)^{1/2}$$

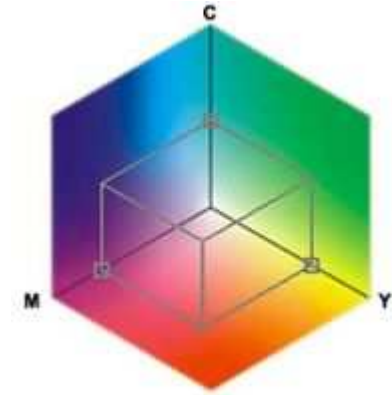
i przedstawić barwę
w układzie **LCh**

RGB

- Model oparty został na barwach addytywnych - czerwonej, zielonej i niebieskiej
- Barwy zawarte zostały w sześcianie, którego prostopadłymi osiami są różne poziomy jasności światła podstawowych
- W punkcie wierzchołkowym trzech osi znajduje się czern, wzdłuż każdej osi rośnie poziom jasności barw składowych, osiągając maksymalną wartość na końcu osi
- Różne luminofory posiadają różnice w maksymalnej jasności wynikające z różnych standardów produkcyjnych, wskutek czego na różnych monitorach obserwujemy różne odcienie barw. Rozbieżności te doprowadziły do stosowania kalibracji oraz systemów zarządzania barwą - CMS



CMYK



- Model oparty na barwach subtraktywnych
- Cyjanie(niebieskozielony), Magencie(purpura) i Yellow(żółta), a dopełnieniem do gamy CMYK jest czern
- 4 bajty – 32 bity
- Barwa zależna od nadrukowanego podłoża

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

$$C = C - G$$

$$M = M - G$$

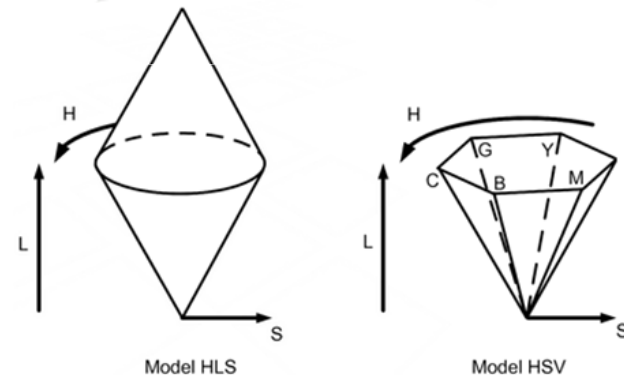
$$Y = Y - G$$

$$K = k * G$$

Gdzie $G = \min(C, M, Y)$

HLS i HSV

- Modele intuicyjne oparte na niezależności wielkości związanych z odczuciami w percepcji barwy.
 - odcień barwy widmowej ,
 - nasycenie,
 - jasność lub wartość.





TRANSFORMACJE





Transformacja CIE XYZ - RGB

- Macierz transformacji

$$\begin{pmatrix} x \\ y \\ z \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0,49000 & 0,31000 & 0,20000 \\ 0,17697 & 0,81240 & 0,01063 \\ 0,00000 & 0,01000 & 0,99000 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} r \\ g \\ b \end{pmatrix}$$



Konwersja z XYZ na Lab

$$L = 116f\left(\frac{y}{y_r}\right) - 16$$

$$a = 500 \left[f\left(\frac{x}{x_r}\right) - f\left(\frac{y}{y_r}\right) \right]$$

$$b = 200 \left[f\left(\frac{y}{y_r}\right) - f\left(\frac{z}{z_r}\right) \right]$$

gdzie funkcja $f(t)$ określona jest wzorem:

$$f(t) = \begin{cases} \sqrt[3]{t} & t > 0,008856 \\ \frac{903,3t+16}{116} & t \leq 0,008856 \end{cases}$$

gdzie funkcje f_x , f_y i f_z dane są wzorami:

$$f_x = \frac{a}{500} + f_y$$

$$f_z = f_y - \frac{b}{200}$$

$$f_y = \begin{cases} \frac{L+16}{116} & y_r > 0,008856 \\ \frac{903,3y_r+16}{116} & y_r \leq 0,008856 \end{cases}$$

$$x = x_r \begin{cases} f_x^3 & f_x^3 > 0,008856 \\ \frac{116f_x-16}{903,3} & f_x^3 \leq 0,008856 \end{cases}$$

$$y = y_r \begin{cases} \left(\frac{L+16}{116}\right)^3 & L > 0,008856 \cdot 903,3 \\ \frac{L}{903,3} & L \leq 0,008856 \cdot 903,3 \end{cases}$$

$$z = z_r \begin{cases} f_z^3 & f_z^3 > 0,008856 \\ \frac{116f_z-16}{903,3} & f_z^3 \leq 0,008856 \end{cases}$$



Konwersja RGB - HLS

$$\begin{pmatrix} R \\ G \\ B \end{pmatrix} = \begin{cases} \begin{pmatrix} \frac{1+S \cos H}{3 \cos(60-H)} \\ 1 - \frac{1-S}{3} - \frac{1+S \cos H}{3 \cos(60-H)} \\ \frac{1-S}{3} \end{pmatrix} & \text{dla } H \in]0, 120] \\ \begin{pmatrix} \frac{1-S}{3} \\ \frac{1+S \cos(H-120)}{3 \cos(180-H)} \\ 1 - \frac{1-S}{3} - \frac{1+S \cos(H-120)}{3 \cos(180-H)} \end{pmatrix} & \text{dla } H \in]120, 240] \\ \begin{pmatrix} \frac{1-S}{3} \\ 1 - \frac{1-S}{3} - \frac{1+S \cos(H-240)}{3 \cos(300-H)} \\ \frac{1+S \cos(H-240)}{3 \cos(300-H)} \end{pmatrix} & \text{dla } H \in]240, 360] \end{cases}$$

Konwersję w drugą stronę opisuje poniższy wzór:

$$\begin{pmatrix} H \\ L \\ S \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \cos^{-1} \frac{\frac{1}{2}(R-G) + (R-B)}{\sqrt{(R-G)^2 + (R-B)(G-B)}} \\ \frac{R+G+B}{3} \\ 1 - \frac{R+G+B}{3} \min(R, G, B) \end{pmatrix}$$

Konwersja HSV - RGB

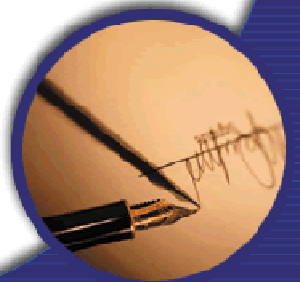
$$\begin{pmatrix} H \\ S \\ V \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \begin{cases} 0 & \text{dla } \max(R, G, B) = 0 \\ 60 \frac{G-B}{\max(R, G, B) - \min(R, G, B)} & \text{dla } \max(R, G, B) = R \\ 60 \left(2 + \frac{B-R}{\max(R, G, B) - \min(R, G, B)} \right) & \text{dla } \max(R, G, B) = G \\ 60 \left(4 + \frac{R-G}{\max(R, G, B) - \min(R, G, B)} \right) & \text{dla } \max(R, G, B) = B \end{cases} \\ \begin{cases} 1 - \frac{\min(R, G, B)}{\max(R, G, B)} & \text{dla } \max(R, G, B) \neq 0 \\ 0 & \text{dla } \max(R, G, B) = 0 \end{cases} \\ \max(R, G, B) \end{pmatrix}$$

$$\begin{pmatrix} R \\ G \\ B \end{pmatrix} = \begin{cases} \begin{pmatrix} V \\ V(1-S) \\ V(1-S) \end{pmatrix} & \text{dla } H \in [0, 60[\\ \begin{pmatrix} V(1-S(\frac{H}{60}-1)) \\ V \\ V(1-S) \end{pmatrix} & \text{dla } H \in [60, 120[\\ \begin{pmatrix} V(1-S) \\ V(1-S) \\ V \end{pmatrix} & \text{dla } H \in [120, 180[\\ \begin{pmatrix} V(1-S(3-\frac{H}{60})) \\ V(1-S) \\ V \end{pmatrix} & \text{dla } H \in [180, 240[\\ \begin{pmatrix} V(1-S(5-\frac{H}{60})) \\ V(1-S) \\ V \end{pmatrix} & \text{dla } H \in [240, 300[\\ \begin{pmatrix} V \\ V(1-S) \\ V(1-S(\frac{H}{60}-5)) \end{pmatrix} & \text{dla } H \in [300, 360[\end{cases}$$

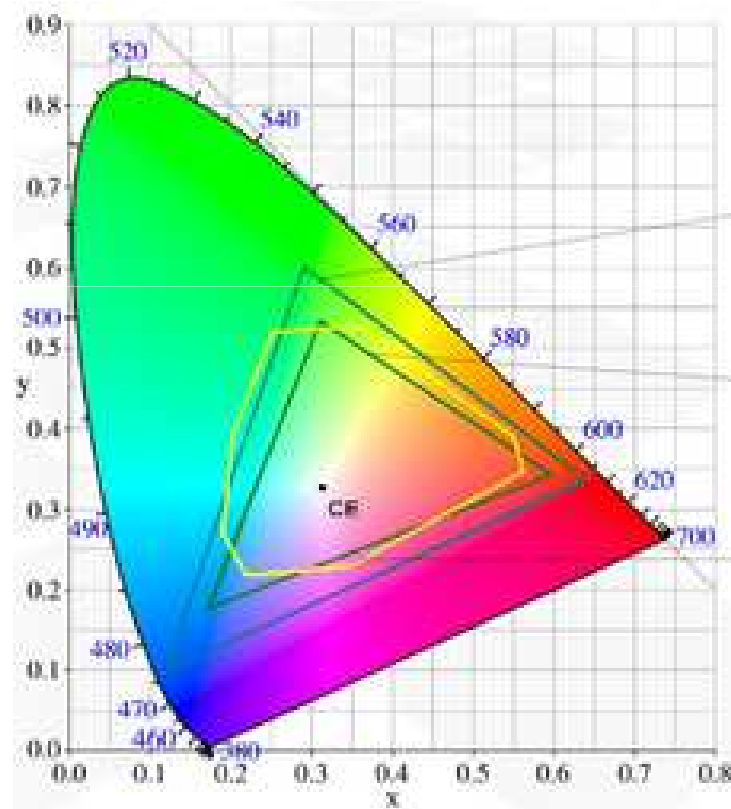


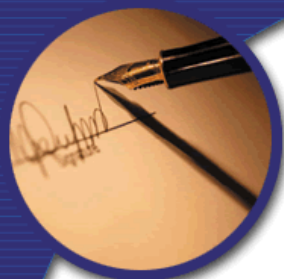
GAMUT

- Istnieje możliwość przeliczenia barwy z jednej reprezentacji na drugą. Między modelami RGB, CMY (CMYK), HSV (HLS) można przeliczyć barwy bezstratnie.
- Teoretycznie istnieje odpowiedniość barwy w każdym z tych modeli.
- W praktyce jednak każde urządzenie pozwala na reprodukcję pewnego zakresu barw wynikającego ze stosowanej technologii.
- Teoretyczne przeliczenie jest mapowane na praktyczne możliwości techniczne.
- Zakres barw urządzenia nazywa się Gamutem



Gamut



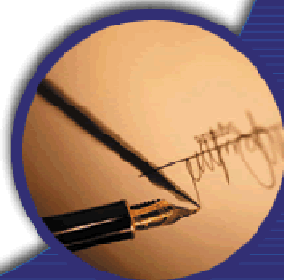


Korekcja gamma monitora

- Proces powstawania barwy na ekranie jest procesem nieliniowym.
- Jeśli rozważymy napięcie sterujące ekranu monitora U i natężenie światła świecącego luminoforu I to:

$$I = cU^\gamma$$

- c – stała, γ – nieliniowość sterowania monitora
- Najczęściej γ zawiera się między 1.5 a 2.8



Korekcja gamma



$\gamma=1,0$



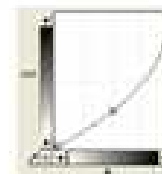
$\gamma=1,8$



$\gamma=0,5$



$\gamma=2,2$





System zarządzania kolorami

- CMS – color management system
- Stosując spektrofotometri mierzy się gamut danego urządzenia
- Następnie sprawdza jak odpowiada on wartościom RGB lub CMYK
- Pozwala to zaproponować przeliczenie rzeczywistych wartości z jednego urządzenia na wartości z drugiego w taki sposób, aby reproduktowane barwy maksymalnie sobie odpowiadały