



Digitalna obrada slike

Lekcija II

OKO – ljudski senzor za vid

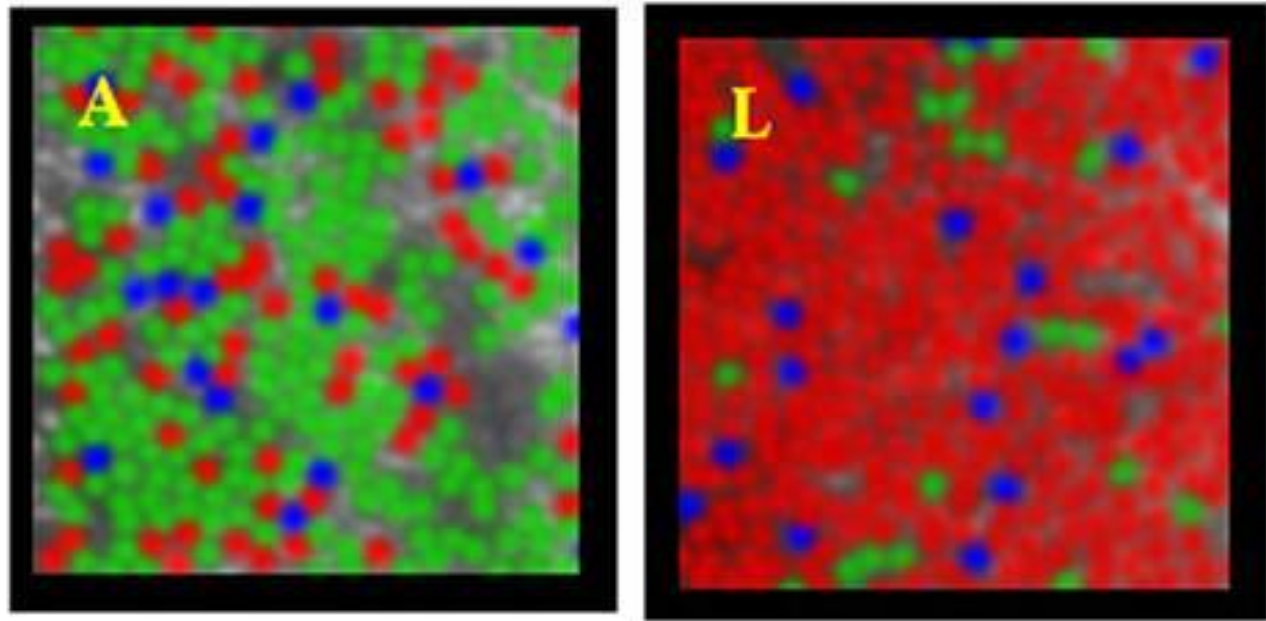
Kolorni modeli



Osjetljivost oka

- Osjetljivije je na nižim frekvencijama gdje je crvena boja nego na višim gdje je plava.
- Tokom dana oko je najosjetljivije na talasnoj dužini **555 μm** (blisko zelenoj).
- Sa padom osvjetljaja frekvencija najosjetljivije tačke opada i ide ka tamno crvenim nijansama (talasna dužina raste).
- Oko se prilagođava osvjetljenju.
- Da bi imali utisak o gledanju istog predmeta potrebno je da se održi odnos ukupnog osvjetljaja sa osvjetljajem predmeta koji se gleda.

Raspored ćelija u retini



Raspored ćelija u retini je jedinstven za svakog čovjeka i može biti drastično različit kao u ova dva slučaja. Neki naučnici misle da je ovo signal da je mozak još značajniji za viziju nego se do skora mislilo odnosno da su obrade u mozgu znatno složenije.



Osjetljivost oka

- Sposobnost oka da vidi promjenu sjajnosti zavisi od ukupne sjajnosti predmeta koji se gleda.
- Ako je predmet svijetao potrebna je veća promjena sjajnosti nekog detalja da bi se primjetila i obrnuto kod tamnih objekata.
- Odnos primjetljivog kvanta osvjetljaja sa ukupnim osvjetljajem je za jedno oko konstanta.
- Postoji i prag detekcije šuma (smetnji) u slici.
- Prag raste sa osvjetljajem odnosno oko teže uočava smetnje u svijetloj nego u tamnoj slici.



Osjetljivost oka

- Osjetljivost na kontrast podrazumjeva sposobnost oka da vidi određeni broj nivoa osvjetljaja.
- Osjetljivost na kontrast opada sa pojavom šuma u slici.
- Kod slike sa puno detalja šum je teže uočiti nego kod slike bez detalja.
- Šum koji je zavisan od slike se lakše uočava od onog koji je nezavisan.
- Šum kod TV gledaoca stvara zamor.



Kolorni modeli i istorija

- Istorijat kolornih modela je veoma dugačak.
- **Aristotel** je mislio da su boje zraci koji stižu iz raja.
- **Aguilonius** i **Sigfrid Forsius** bavili su se se problemom boja u renesansi. Prvi je pokušao da kreira kolorni model na osnovu promjena osvjetljaja od svitanja do sumraka.
- **Newton** je otkrio prizmu i činjenicu da se u bijelom sadrže sve ostale boje.
- **Gothe** je razmatrao boje filozofski i definisao model zasnovan na jednakostraničnom trouglu.



Kolorni modeli i istorija

- **Runge** je kreirao revolucionarni model boja zasnovan na sferi čije koordinate je određivala "obojenost, bjelost i tamnost".
- **Maxwell** je razmatrao kolorne modele i došao do Gotheovog trougla u čijim je uglovima postavio crvenu, zelenu i plavu boju.
- 1931-te godine međunarodna komisija za osvjetljenje CIE (**Commission Internationale de l'Eclairage**) je standardizovala **RGB** kolorni model.

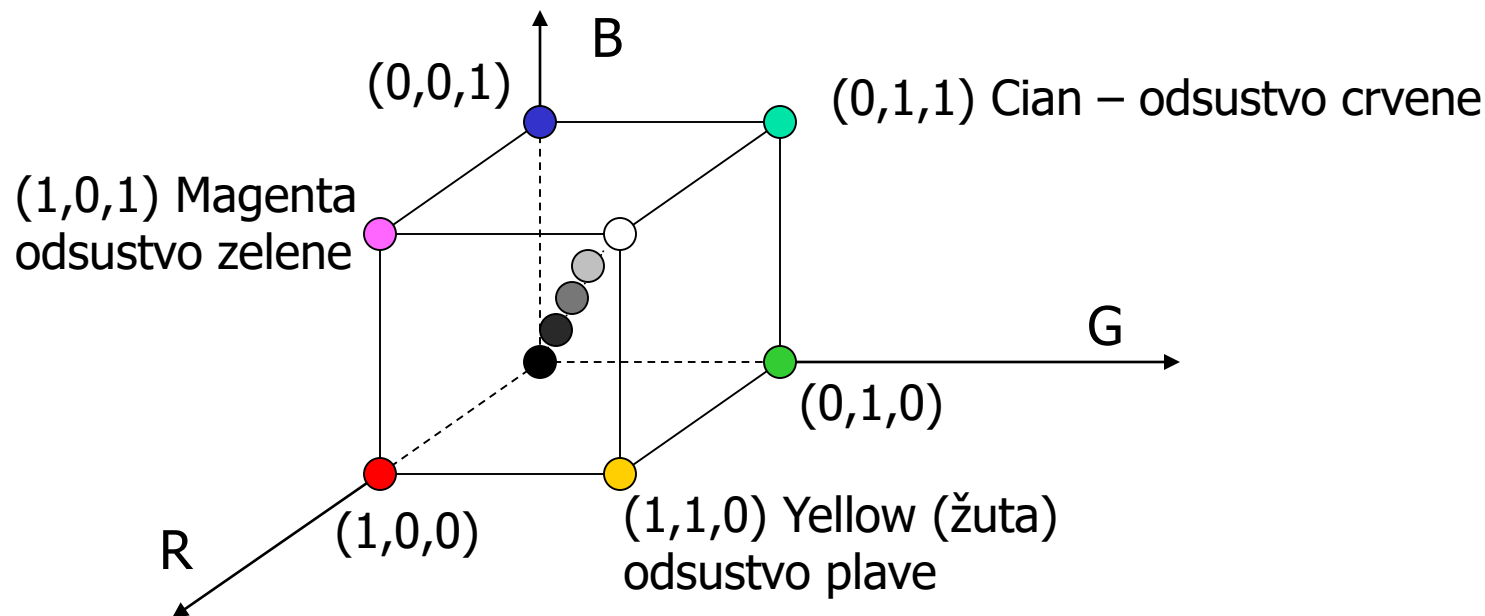


Kolorni modeli i zapis slike

- Očigledno je da mi sve boje koje vidimo dobijamo kombinacijom slika koje su proizveli čunčići koji su osjetljivi na plavu, zelenu i crvenu boju.
- Dakle, svaku boju koju vidimo možemo prikazati kao vektor sa tri komponente **boja**=[**r,g,b**].
- Još je 1802-ge godine Thomas Young uočio ovu pravilnost. On je uočio da se kombinacijom neke tri nezavisne! nijasne može dobiti bilo koja vidljiva boja.
- Model prikaza boje se naziva trokanalnim gdje su pojedini kanali količine odgovarajuće nijanse pojedinih boja.

RGB kocka

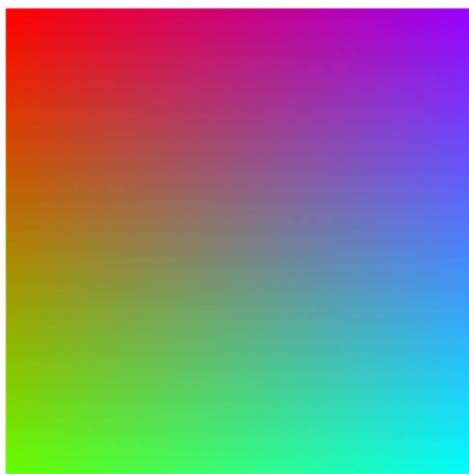
- Jedan od načina za prikaz boja je preko RGB kocke u Dekartovim koordinatama.
- Koordinate su tri osnovne boje: crveno, zeleno i plavo.
- Maksimum osvjetljaja u bilo kojoj boji je 1 a minimum 0.





RGB kocka

- Crno=(0,0,0)
- Bijelo=(1,1,1)
- Na glavnoj dijagonali kocke $r=g=b$ se nalaze sivoskalirane (ahromatske) nijanse.
- Odsustvo boje se može dobiti za $r=g=b$ uz informaciju o osvjetljaju.



Primjer: Presjek kolorne kocke
sa ravni $0.5r+0.3g+0.2b=1$.



RGB model

- RGB model je osnova ekranskog prikazivanja.
- Npr. monitori su premazani sa fosfornim zrnima koji daju crveni, zeleni i plavi osvjetljaj.
- RGB model se naziva i **aditivni model** jer se rezultujuća boja dobija kao "zbir" tri osnovne boje.
- Jasan je i rezultat Newtonovog eksperimenta koji pokazuje da se bijelo dobija kao puni osvjetljaj u svim osnovnim bojama.
- Memorijski zapis podataka u RGB modelu zahtjeva $M \times N$ (piksela) $\times 3$ (boje) $\times k$ (bita za zapis svake boja).
- Najčešće je $k=8$ ali postoje i drugi modeli.



Kolorna tabela

- Očigledno je RGB zapis memorijski zahtjevan.
- Postoji više načina za umanjivanje memorijskih zahtjeva. Najprostiji je da umanjite broj nivoa u plavoj boji jer su ljudi i onako najmanje osjetljivi na plavu boju.
- Drugi mnogo sofisticiraniji metodi su zasnovani na kolornoj mapi (u engleskoj literaturi se zove **CLUT** – **color look-up table** ili **colormap**).
- Svaki piksel se od ovakvog zapisa kodira sa r bita.
- Svaki od brojeva od 0 do $2^r - 1$ predstavlja jednu od boja RGB modela.



Kolorna tabela

- Informacije o kodiranju boja se nalaze u posebnoj tabeli (CLUT) koja se pridružuje zapisu slike.
- Mogući oblik CLUT-a je:

šifra boje

količina
crvene, plave i
zelene nijanse
za datu boju

0	1	2	3	...	2^r-2	2^r-1
r_0	r_1	r_2	r_3	...	r_{2^r-2}	r_{2^r-1}
g_0	g_1	g_2	g_3	...	g_{2^r-2}	g_{2^r-1}
b_0	b_1	b_2	b_3	...	b_{2^r-2}	b_{2^r-1}



Kolorna tabela

- Postavlja se pitanje što sa bojama iz RGB modela koje postoje u slici a koje se ne mogu prikazati datom kolornom tabelom?
- Najčešće se bira boja iz CLUT-a koja je “najbliža” po nekom kriterijumu željenoj boji.
- Memorijski zapis preko kolorne tabele koja je data u prethodnom primjeru traži: $M \times N \times r$ bita za zapis slike + $(r + 3 \times 8) 2^r$ bita za zapis kolorne tabele.
- Postoje mnoge varijante. Npr. umjesto čitave kolorne tabele šalje se samo informacija koja je kolorna tabela a dekodier ima tu kolornu tabelu pa je rekonstruiše na osnovu ove informacije.
- Postoji određeni broj kolornih mapa koje su često u upotrebi.



Model boja za štampanje

- Dok se kod ekrana projektora i monitora boja dobija sabiranjem osnovnih nijansi to očigledno nije slučaj sa štampanjem.
- Svi znamo da smo kombinovanjem boja na papiru (npr. vodenim bojama) dobijali veoma tamno odnosno praktično crno.
- Razlog je taj što mi primamo sa papira dio svjetlosti koji se sa njega odbije.
- Papir je bijeli dok nema nanesene boje na njemu jer se sva svjetlost sa papira odbija.
- Nanošenjem boja na papir dio svjetlosti prestaje se odbijati sa papira i mi dobijamo tamniju sliku.



Model boja za štampanje

- Dakle, dodajući boju na papir dobijamo tamniju sliku odnosno ako želimo svjetliju moramo postaviti manje boje na papir.
- Stoga je model boja za štampanje **subtraktivan** (oduzimački).
- Boje za štampanje se formiraju u CMY (**cian**-**magenta**-**žuta**) modelu.
- Svaka od osnovnih boja ovog modela predstavlja odsustvo jedne od boja RGB modela.



pogledajte poziciju ovih boja u kolornoj kocki



CMY model

- Veza CMY modela i RGB modela:
 - $C=1-R$ $M=1-G$ $Y=1-B$
- Problem CMY modela je nemogućnost reprodukcije velikog broja boja.
- Teško se reprodukuju drečave i fluorescentne nijanse te crna!!!
- Svega oko 1milion boja je moguće reprodukovati dobro.
- Najveći problem je crna boja na koju su ljudi veoma osjetljivi (značajna je za prepoznavanje oblik, ivica predmeta, itd).
- Razlog: izmješajte cijan, magentu i žutu i dobićete tamnu ali ne crnu boju (ili ćete morati da potrošite ogromnu količinu boje što je ekonomski neisplativo).



CMYK model

- Stoga se štampanje vrši u CMYK modelu (4-kanalnom modelu). K znači crno (uzeto je posljednje slovo iz riječi **black** jer je B rezervisano za plavo).
- Veza CMY i CMYK modela:
 $K = \min(C, M, Y)$
 $C' = C - K$
 $M' = M - K$
 $Y' = Y - K$

CMY i CMYK model – poređenje



CMYK slika

CMY slika





Drugi štamparski modeli boja

- Broj boja koje se mogu prikazati CMYK modela je znatno veći nego kod CMY modela.
- Ovo se posebno odnosi na neke važne boje kao što je crna.
- Nažalost na ovaj način se ne mogu reprodukovati sve važne boje pa je pronalaženje novih, boljih, modela boja za štampanje važno pitanje.
- Najpoznatiji koji danas koriste i neki malo skuplji štampači je HIFI model.
- Kod ovog modela (koji još nije standardizovan) postoji 7 procesnih boja (7 kanala).
- Dodatni kanali su najčešće zeleni, oranž i svijetlo ljubičasti.



HiFi modeli

- HiFi – High Fidelity modeli boja se mogu podijeliti u tri metodologije:
 - CMYK model + dodatne palete za specijalizovane skupove boja (npr. metaliziranih ili nijansi koje se teško reprodukuju).
 - Projektovanje preko više od četiri procesne boje (obično šest do osam) kada se biraju četiri od njih koje su najbolje za reprodukciju (zbog mehanike štamparskih mašina obično se ograničavamo na četiri kanala u reprodukciji). Ova tehnologija zahtjeva dosta procesiranja ali je u mehaničkom smislu zahtjevnija isto koliko i štampanje CMYK sistemom.
 - Projekcija na većem broju boja (opet obično šest do osam ali danas postoje modeli sa više od deset). Štampanje se zatim vrši u svim navedenim procesnim bojama. Ovdje postoji mehanički problem reprodukcije u štampariji jer sasvim male mehaničke pogreške između pojedini kanala u štampi dovode do očiglednih razmazanih ivica.



Neugebauerov model

- Najpoznatiji model iz treće grupe je Neugebauerov modela iz 1989. sa 8 boja gdje se pored CMYK boja pojavljuje još bijela (W), kao i boje RGB modela. Ovaj model se dobija iz CMYK modela kao

$$W=(1-C)(1-M)(1-Y)$$

$$C'=C(1-M)(1-Y)$$

$$M'=(1-C)M(1-Y)$$

$$Y'=(1-C)(1-M)Y$$

$$R'=(1-C)MY$$

$$G'=C(1-M)Y$$

$$B'=CM(1-Y)$$

$$K=CMY$$

- Osnovni cilj predmetne tehnike je da se dobiju boje koje su manje saturisane (sa manjim vrijednostima) od polaznih kako bi se lakše reprodukovale zasićenije varijante boja.
- Postoji mogućnost da se ovaj model proširi i sa crnom u gornjim jednačinama pa model onda 16 nijansi. Za detalje pogledati https://www.researchgate.net/publication/253737942_Expanded_Neugebauer_model_for_printer_color_formation



RGB→GRAY

- Kako se reprodukcija slika koje su nastale u kolornim nijansama često vrši u crno-bijelim postavlja se pitanje kako izvršiti odgovarajuću konverziju.
- Kako sivoskalirane nijanse (na engleskom se često ovaj model boja naziva **grayscale**) predstavljaju dijagonalu kolorne kocke jedan način je proglasiti kao odgovarajuću sivoskaliranu nijansu vrijednost:

$$\text{GRAY} = (\text{R}^2 + \text{G}^2 + \text{B}^2)^{1/2}$$

kako je kvadratni korjen zahtjevna operacija ovo se rijetko radi

postoji i problem realističnosti ovakve slike

rezultat se mora kvantizovati u odgovarajućem broju nivoa



RGB→GRAY

- Najčešće se koristi aritmetička sredina pojedinih kanala:
$$\text{GRAY} = (\text{R} + \text{G} + \text{B}) / 3$$
- Ponekad se koriste jednostavnije sheme kod kojih se sivoskaliranim kanalom proglašava crveni ili zeleni kanal: $\text{GRAY} = \text{R}$ $\text{GRAY} = \text{G}$.
- Plavi kanal se veoma rijetko koristi jer nije realističan.
- Postoje i druge sheme koje ćemo učiti kasnije na ovom času.
- $\text{GRAY} \rightarrow \text{RGB}$ učićemo pred kraj kursa kada budemo govorili o pseudobojeanju.



Binarna slika

- Binarnom slikom se naziva slika koja ima samo dvije nijanse.
- Najčešće su to crna i bijela.
- Bijela se pamti kao bit 1 dok se crna pamti kao bit 0.
- Najčešće se ova slika dobija iz sivoskalirane tako što se sivoskalirana slika poredi sa pragom:

$$b(m, n) = \begin{cases} 1 & g(m, n) \geq T \\ 0 & g(m, n) < T \end{cases}$$

binarna slika

sivoskalirana slika

prag

Binarna slika se koristi u industrijskim aplikacijama, kod detekcije ivica itd. O izboru praga i binarnoj slici više riječi biće kasnije u kursu.



Trokanalani modeli

- U Dekartovim koordinatama smo boju prikazivali preko vektora sa koordinatama (**R**,**G**,**B**).
- Međutim Young (1802. godine) je uočio da se preko 3 nezavisne informacije o boji (tri nezavisna vektora u kolornim koordinatama) mogu prikazati sve boje kao i kod RGB modela.
- Dalje, može se izvršiti transformacija u npr. polarne ili sferne kordinate i kreirati odgovarajući modeli boja.
- Praksa je takođe nametnula neke modele boja.
- Pregled nekih modela boja van standardnih RGB i CMYK slijedi.

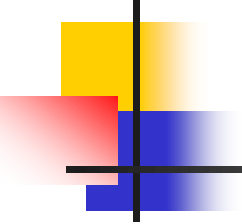


Trokanalni model

- Pretpostavimo da imamo tri nezavisne osnovne boje (c_1, c_2, c_3) .
- Sve boje se mogu prikazati kao vektor (C_1, C_2, C_3) koji predstavlja količinu pojedinih osnovnih boja.
- **Hromatizam** se može definisati kao:

$$h_i = \frac{C_i}{C_1 + C_2 + C_3}, \quad (i = 1, 2, 3)$$

Alternativan način da se prikažu (memorišu i obrađuju) boje je preko (h_1, h_2, Y) gdje je $Y = C_1 + C_2 + C_3$ osvjetljaj ili luminiscenca. Ova procedura je osnova mnogih kolornih modela.



CIE modeli boja

- Međunarodna komisija za osvjetljenje CIE je 1931 razvila RGB model (zove se RGB CIE jer se razlikuje od standardnog računarskog modela).
- R_{CIE} odgovara talasnoj dužini 700nm, G_{CIE} $\lambda=546.1nm$ i B_{CIE} $\lambda=435.8nm$.
- Referentno bijelo kod ovog modela je $R_{CIE}=G_{CIE}=B_{CIE}=1$.
- RGB CIE model ne sadrži sve boje koje se mogu reprodukovati pa je stoga definisana linearna transformacija ovog modela koja se naziva XYZ model koja daje sve vidljive boje.



Veza RGB CIE i XYZ CIE modela

- XYZ i RGB su linearno zavisni i njihova transformacija se može opisati kao:

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.490 & 0.310 & 0.200 \\ 0.177 & 0.812 & 0.011 \\ 0.000 & 0.010 & 0.990 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix}$$

$X=Y=Z=1$ referentno bijelo

X, Y, Z bi trebale da predstavljaju talasne dužine svjetlosti na koje su čunčici i štapići najosjetljiviji.

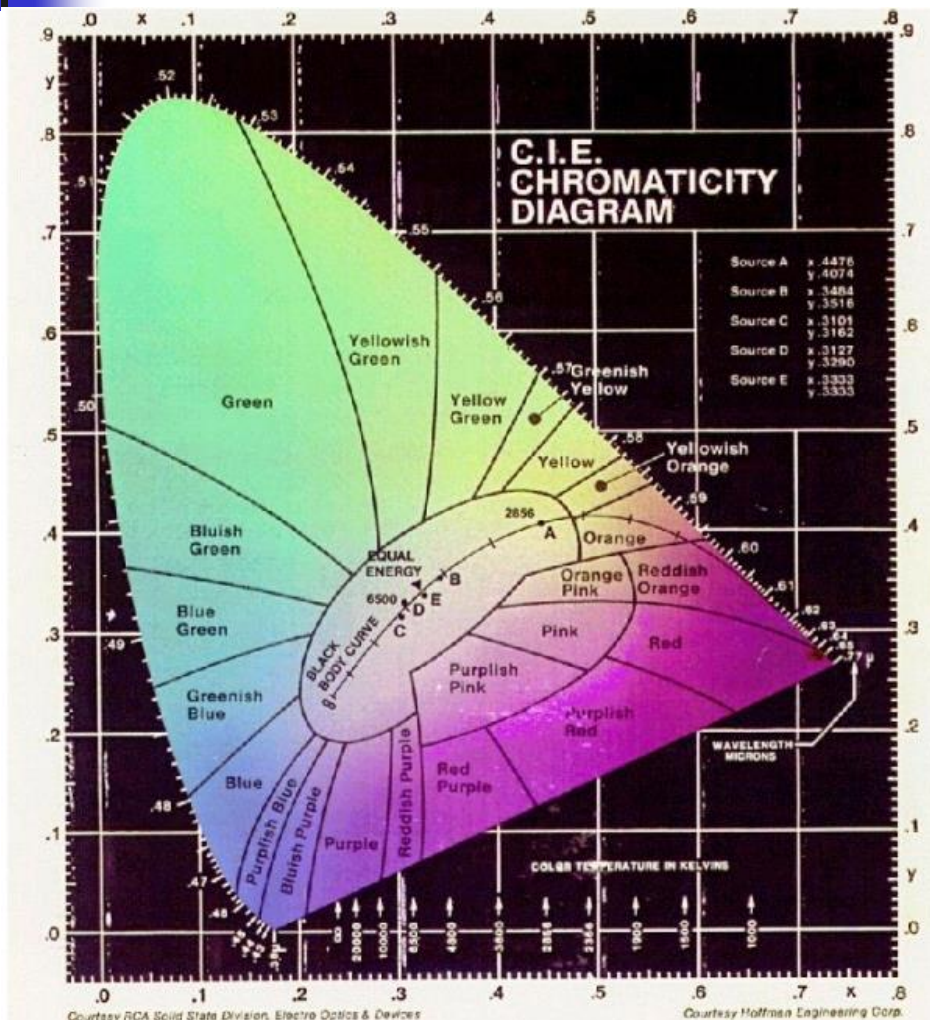
Y odgovara talasnoj dužini na kojoj su štapići najosjetljiviji.

Uvedimo dvije hrominentne komponente:

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

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

CIE hromatični dijagram



Važnost ovog hromatičnog dijagrama je ta što se i danas osvjetljava pojedinih svjetlosnih izvora navode u njemu tako da je (x,y) hromatični dijagram i dalje osnova za projektovanje osvjetljenja.

Problem dijagrama je postojanje zona eliptičnog oblika unutar dijagrama sa bojama nevidljivim za ljude.



“Računarski” i CIE RGB modeli

- “Računarski” RGB model je nastao kao preporuka **NTSC-a** (National Television Systems Committee).
- Veza između RGB CIE i RGB NTSC je linearna i data preko matrice transformacije:

$$\begin{bmatrix} R_{CIE} \\ G_{CIE} \\ B_{CIE} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1.167 & -0.146 & -0.151 \\ 0.114 & 0.753 & 0.159 \\ -0.001 & 0.059 & 1.128 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix}$$



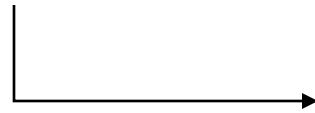
Modifikacije XYZ modela

- Tri se modifikacije koriste za prevazilaženje problema kod XYZ modela:

- UCS model (model sa uniformnom hromatičnom skalom)

$$u = \frac{4X}{X + 15Y + 3Z}$$

$$v = \frac{6X}{X + 15Y + 3Z}$$



luminentna komponenta kao kod XYZ-a

- UVW model

$$U = 2X/3$$

$$V = Y$$

$$W = (-X + 3Y + Z)/2$$



Modifikacije XYZ modela

- $U^*V^*W^*$ model se formira tako da referentno bijelo bude u koordinatnom početku

$$W^* = 25(100Y)^{1/3} - 17, \quad 0.01 \leq Y \leq 1$$

$$U^* = 13W^*(u - u_0)$$

(u_0, v_0) su koordinate referentne bijele boje

$$V^* = 13W^*(v - v_0)$$



Kolorometrija

- Kolorometrija je oblast koja koristi poređenje boja.
- Npr. u industriji se može smatrati da je neki proces okončan ako je boja tekućeg procesa (recimo u prehrambenoj industriji pečenja) bliska nekoj unaprijed zadatoj.
- Pretpostavimo da je u RGB modelu tekuća boja (R_1, G_1, B_1) dok je željena (R_2, G_2, B_2) . Distanca između ove dvije boje se može opisati kao:

$$\sqrt{(R_1 - R_2)^2 + (G_1 - G_2)^2 + (B_1 - B_2)^2}$$

↙
Euklidska distanca a mogu se
definisati i neke druge

Nažalost ovako definisana distanca kod RGB modela može da da veoma mala rastojanja između veoma različitih boja i velika rastojanja između sličnih.



Kolorometrija

- Svi modeli koji su linearno vezani (vezani preko linearne transformacije koordinata) za RGB model pate od istog problema.
- Stoga je za kolorometriju definisan **Lab** model boja.
- **Lab** model se može definisati na više načina ovdje dajemo definiciju preko **XYZ** modela:

$$L^* = -16 + 116\sqrt[3]{Y / Y_0}$$

← luminentna komponenta

$$a^* = 500[\sqrt[3]{X / X_0} - \sqrt[3]{Y / Y_0}]$$

← $a^* > 0$ znači crveno dok $a^* < 0$ znači zeleno

$$b^* = 200[\sqrt[3]{Y / Y_0} - \sqrt[3]{Z / Z_0}]$$

← $b^* > 0$ znači plavo dok $b^* < 0$ znači žuto



Kolorometrija

- (X_0, Y_0, Z_0) predstavlja referentno bijelo (gotovo uvijek je to $(1, 1, 1)$).
- Euklidska distanca u Lab koordinatama se smatra dobrom mjerom razlike između boja.
- Pored ovoga postoje i drugi pristupi u definisanju distance između boja.



HSL i slični modeli boja

- Da se podsjetimo:
 - Svaka boja se može prikazati preko tri nezavisne boje;
 - Ljudi imaju dva tipa vizije: noćnu zasnovanu na osvjetljaju i dnevnu zasnovanu na bojama;
 - Pored Dekartovih koordinata opis RGB kocke se može obaviti i preko sfernih i polarnih koordinata;
 - Prije pojave TV-a u boji postojala je crno-bijela TV, prelaskom na novi sistem morala se zadržati mogućnost da stari korisnici i dalje mogu da primaju crno-bijelu sliku.
- Ovo je dovelo do definisanja mnoštva modela od kojih je možda najpoznatiji **HSL**.



HSL model boja

- H – *hue* (nijansa)
S – *saturation* (zasićenje)
L – *luminosity* (osvjetljaj)
- H je ugao. U HSL modelu uglovi od 0 do 240 predstavljaju vidljivu svjetlost dok su uglovi od 240-360 UV svjetlost.
- Procedura za transformaciju RGB-modela u HSL:
Korak 1. Transformacija koordinata.

$$x_{HS} = \frac{1}{\sqrt{6}}[2R - G - B] \qquad y_{HS} = \frac{1}{\sqrt{2}}[G - B] \qquad L = \frac{1}{\sqrt{3}}[R + G + B]$$



RGB→HSL

- **Korak 2.** Iz (x_{HS}, y_{HS}) Dekartovih koordinata u polarne (radius je mjera saturacije dok je ugao mjera nijanse)

$$\rho = \sqrt{x_{HS}^2 + y_{HS}^2}$$

$$\phi = \angle (x_{HS}, y_{HS})$$

Dobijeni koordinatni sistem (ϕ, ρ, L) odgovara HSL-u ali se obično vrše dodatne operacije.

- **Korak 3.** Normalizacija saturacije.

$$S = \frac{\rho_{\max}}{\rho} = 1 - \frac{3 \min(R, G, B)}{R + G + B} = 1 - \frac{\sqrt{3}}{L} \min(R, G, B)$$



RGB→HSL

- Korak 4. Dodatno procesiranje ugla (nijanse).

$$\theta = \arccos \left[\frac{0.5[(R - G) + (R - B)]}{\sqrt{(R - G)^2 + (R - B)(G - B)}} \right]$$

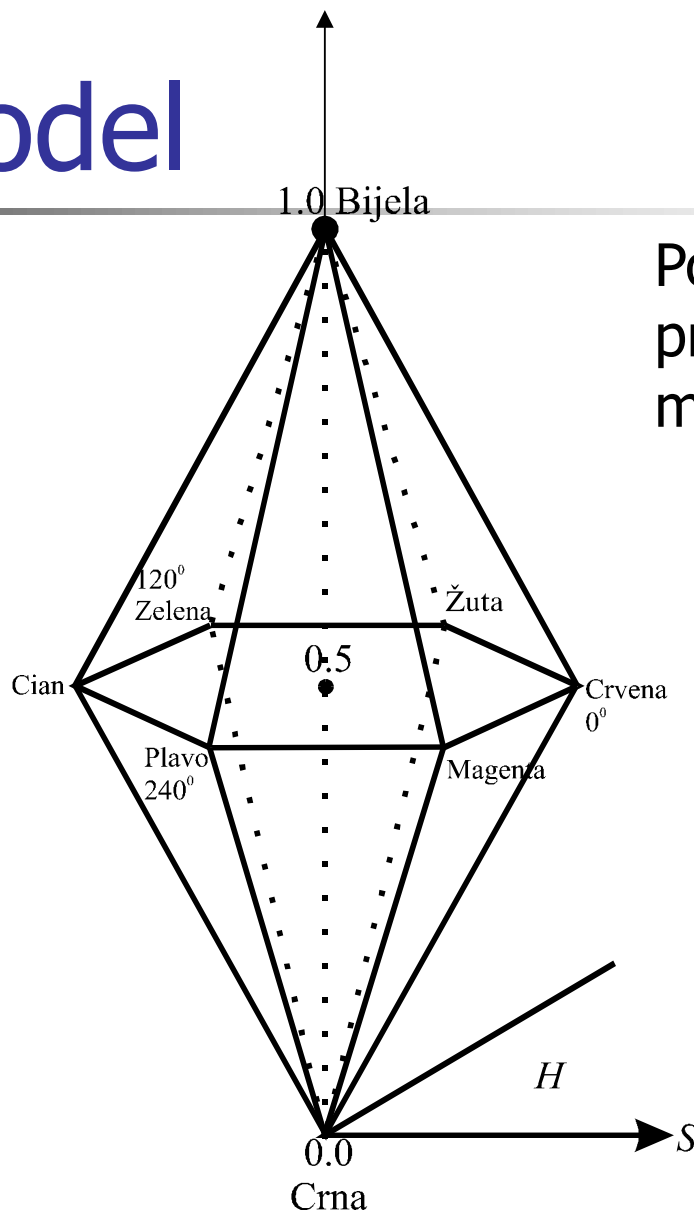
- Korak 5. Konačna relacija za **H**:

$$H = \begin{cases} \theta & G \geq B \\ 2\pi - \theta & G \leq B \end{cases}$$

HSL model

- Na sličan način se može izvršiti transformacija **HSL→RGB**. Odradite ovo sami uz eventualnu konsultaciju knjige.

Popularni način prikaza HSL modela boja.





Modeli boja za video signal

- Slični su HSL i ostalim relevantnim modelima.
- Postoji uvijek jedna komponenta koja odgovara sivoskaliranoj (tzv. crno-bijeloj) slici zbog kompatibilnosti unazad sa starijim tipovima TV-a.
- NTSC koristi **YIQ** model boja gdje je intenzitet dat kao:

$$Y = 0.2999R + 0.587G + 0.114B$$

dok su hrominentne komponente:

$$I = \cos 30^\circ [0.877(R - Y)] - \sin 30^\circ [0.493(B - Y)] = 0.569R - 0.271G - 0.322B$$

$$Q = \sin 30^\circ [0.877(R - Y)] - \cos 30^\circ [0.493(B - Y)] = 0.211R - 0.522G - 0.311B$$



Modeli boja za video-signal

- PAL model boja (YUV – Y je isto kao kod NTSC-a):

$$U = 0.436B - 0.147R - 0.289G = 0.493(B - Y)$$

$$V = 0.615R - 0.515G - 0.100B = 0.877(R - Y)$$

- SECAM model boja (YDrDb – Y je isto kao kod NTSC-a):

$$D_b = 1.333B - 0.450R - 0.883G = 1.505(B - Y)$$

$$D_r = 0.217B - 0.133R + 1.116G = 1.902(R - Y)$$

Svi modeli kod TV signala su slični HSL-u.



Vježba br.1

- Realizovati vezu RGB CIE i standardnog RGB modela.
 - Ovdje ćemo realizovati nekoliko aspekata problema:
 - Kreiraćemo matricu koja daje inverznu transformaciju iz RGB CIE u RGB model.
 - Pogledaćemo granice u kojima treba izvršiti diskretizaciju u slučaju RGB CIE modela.
 - Izvršiti vizuelizaciju kanala slike za RGB i RGB CIE model.

```
>> A=    [1.167 -0.146 -0.151;  
          0.114 0.753 0.159;  
          -0.001 0.059 1.128];  
  
>> B=inv(A)  
B =  
    0.8417    0.1561    0.0907  
   -0.1290    1.3189   -0.2032  
    0.0075   -0.0688    0.8972
```



Vježba br.1

- Ako su granice originalnog RGB modela od 0 do 1 po svim nijansama te granice se mijenjaju u RGB CIE modelu.
 - Tako se minimum R komponente CIE modela dobija za $R=0, G=1, B=1$ i iznosi -0.297 dok se maksimum dobija za $R=1, G=0, B=0$ i iznosi 1.167 .
 - Kod G CIE minimum se dobija za $R=G=B=0$ i iznosi 0 , dok se maksimum dobija za $R=G=B=1$ i iznosi 1.026 .
 - Kod B komponente maksimum se dobija za $R=0, G=B=1$ i iznosi 1.186 dok se minimum dobija za $R=1, G=B=0$ i iznosi -0.001 .

- Da bi vizuelizovali pojedine kanale možemo se poslužiti sledećim naredbama:

```
a=double(imread('spep.jpg'));  
b(:,:,1)=1.167*a(:,:,1)-0.146*a(:,:,2)-0.151*a(:,:,3);  
b(:,:,2)=0.114*a(:,:,1)+0.753*a(:,:,2)+0.159*a(:,:,3);  
b(:,:,3)=-0.001*a(:,:,1)+0.059*a(:,:,2)+1.128*a(:,:,3);
```

Kanale sada možete prikazati naredbama tipa:

pcolor(flipud(b(:,:,1))),shading interp



Za samostalni rad

- Spisak miniprojekata i zadataka za samostalni rad:
 1. Naučiti zadatke iz knjige.
 2. Realizovati sve modele boja koji su dati na ovoj prezentaciji ili u knjizi i kreirati prelaze između datih modela. Izvršiti vizuelizaciju kanala boje za date modele.
 3. Pretpostavite sledeći eksperiment. Boje koje se ne mogu odštampati su one koje u CMYK modelu imaju bilo koji od kanala osim crnog preko 90% maksimalne dozvoljene vrijednosti. Pored CMY posjedujete i nezavisni kolorni prostor sa druge tri boje (npr. roze, zeleno i oranž). Boje možete štampati ili u CMY ili u ovom modelu sa odgovarajućom količinom crne. Pravila za mogućnost štampanja u ovom modelu su ista kao i kod CMY (štampaju se "pozitivne" vrijednosti do 90% bilo koje boje). Koliko boja iz RGB modela štampate preko CMYK a koliko dodavanjem još tri boje?



Za samostalni rad

- Spisak miniprojekata i zadataka za samostalni rad:
- 4. Kreirajte neki od kolorometrijskih modela i transformaciju standardnog RGB modela u ovaj model. Zatim snimajte proces pečenja kolača ili prženja palačinki ili neki sličan kućni kuvarski poduhvat. Glavni rezultat prve serije snimanja treba da budu dva ishoda; prosječna boja kolača na nekoliko minuta prije nego što je kolač gotov i prosječna boja kolača kada je kolač gotov. Kreirajte drugu seriju eksperimenata tokom koje ponovo vršite snimanje istog procesa. Kreirajte slike. Na osnovu dobijenih slika i vrijednosti boja dobijenih u prvom eksperimentu procjenite u kojoj se fazi nalazi kolač. Odrediti procenat pogodaka i promašaja.
- 5. Napisati program koji realizuje konverziju iz RGB u Neugebauerov model boja.