

DIGITALNA SLIKA

PERCEPCIJA SLIKE

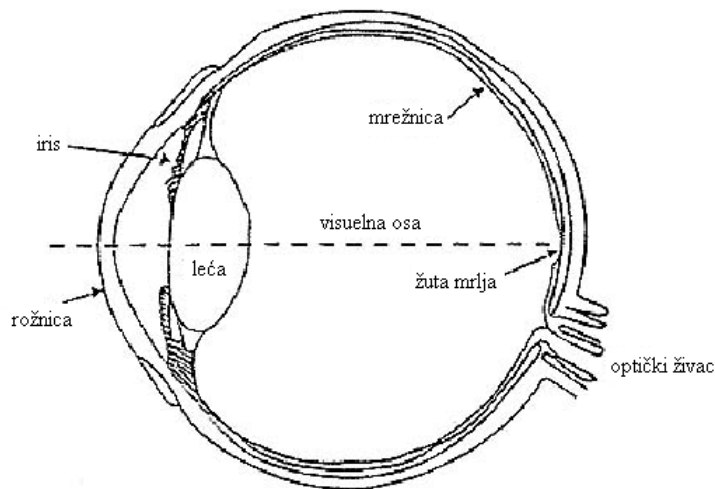
Napomena: Formule ne treba pamtiti, potrebno je moći ih prepoznati kad su napisane.

Mnoge aplikacije koje koriste obradu slike generišu sliku koju će posmatrati čovjek (za razliku od, recimo, automatske inspekcije u industriji). Zbog toga je veoma važno poznavati karakteristike i ograničenja ljudskog vida – “prijemnika” 2D signala. Važno je znati da:

- ljudski vizuelni sistem nije dovoljno ispitan,
- ne postoji objektivna mjera kvaliteta slike koja odgovara ljudskoj prosudbi o kvalitetu slike,
- “tipični” posmatrač ne postoji.

Unatoč svemu, istraživanja u oblasti perceptualne psihologije obezbjeđuju neka važna sagledavanja vizuelnog sistema. Uopštena građa ljudskog oka je prikazana na Slici 5. Retina ljudskog oka je prekrivena fotoreceptorskim ćelijama. Fotoreceptorske ćelije apsorbuju svjetlost od slike koju na retinu fokusiraju leća i rožnica (cornea). One generišu nervne impulse koji putuju ka mozgu kroz optičke nerve od kojih se svaki sastoji od oko milion vlakana. Frekvencija ovih impulsa je funkcija osvjetljenosti retine.

Fotoreceptorske ćelije su najgušće u području žute mrlje (fovea). Pri jakoj svjetlosti, otvor zjenice je mali i svjetlost je fokusirana na žutu mrlju, što omogućava dobro razaznavanje detalja. Pri slaboj svjetlosti, otvor zjenice je veći, te je svjetlost rasuta po većem dijelu retine i slika je loše fokusirana.

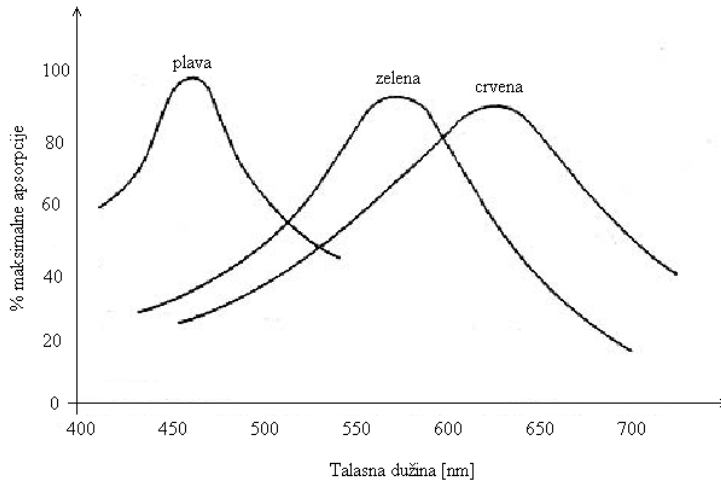


Slika 5. Uproštena građa ljudskog oka

Fotoreceptorske ćelije su mješavina ćelija dva tipa: štapića i čunića (konusnog oblika), tako nazvanih po njihovom obliku. Štapići su mnogo osjetljiviji i omogućavaju

monohromatski vid u noći. Čunici omogućavaju gledanje u boji, ali samo pri visokom nivou osvjjetljenosti. Postoje tri tipa konusnih ćelija. One dijele vidljivi dio spektra u tri opsega: crveni, zeleni i plavi. Zbog toga su ove tri boje označene kao osnovne boje ljudskog vida. Slika 6 prikazuje osjetljivost ova tri tipa konusnih ćelija po talasnim dužinama svjetlosti iz vidljivog dijela spektra.

Zasnovano na psihofizičkim mjeranjima, CIE (Commision Internationale de l'Eclairage) je prihvatila ove krive kao kao krive osjetljivosti "tipičnog" posmatrača za tri navedena pigmenta.



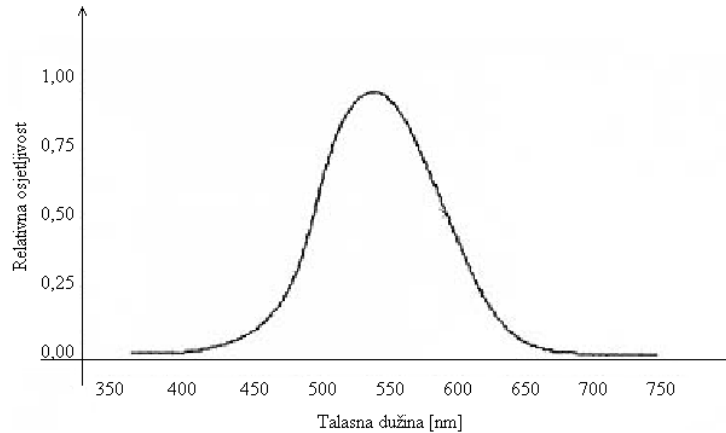
Slika 6. [14] Osjetljivost fotoreceptorskih ćelija ljudskog oka

Subjektivni osjećaj intenziteta svjetlosti

Postoje različiti načini da se opiše osjetljivost ljudskog vidnog sistema. Za početak, pretpostavimo da je intenzitet osvjjetljenosti homogenog regiona slike funkcija talasne dužine (boje) data sa $I(\lambda)$. Dalje, pretpostavimo da je $I(\lambda) = I_0$ konstanta.

Osjetljivost na boje (talasnu dužinu svjetlosti)

Percepcija intenziteta svjetlosti u funkciji talasne dužine (*spektralna osjetljivost*) za "tipičnog posmatrača" je prikazana na Slici 7.



Slika 7. [14] Percepcija “tipičnog posmatrača” u funkciji talasne dužine

Osjetljivost na promjenu intenziteta svjetlosti

Ako variramo intenzitet svjetlosti jedne talasne dužine, onda, u dobroj aproksimaciji, odziv vidnog sistema R je proporcionalan logaritmu intenziteta. To je poznati Weber-Fechner-ov zakon:

$$R = \log(I_0).$$

Kontrast

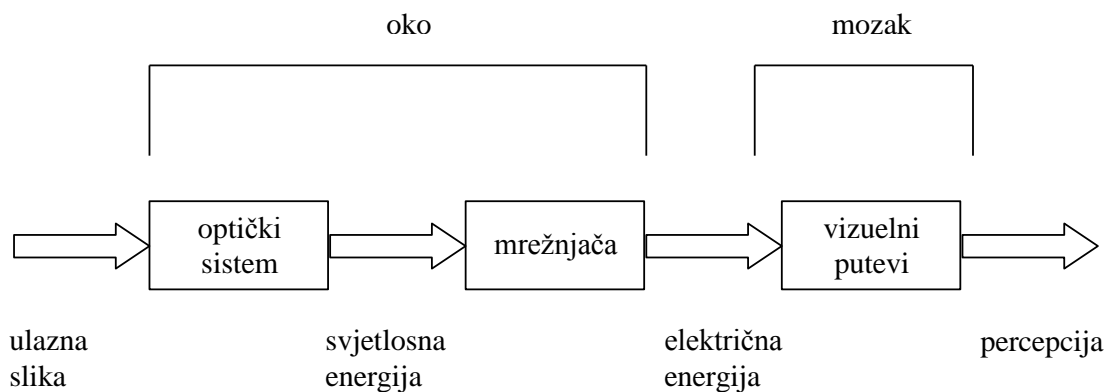
Kontrast predstavlja razliku svjetlina dvije susjedne površine. *Apsolutna vrijednost svjetline* nekog objekta je od manjeg značaja od *relativne svjetline (kontrasta)*. Objekti koji imaju istu vrijednost lume (*lightness*), kao što su unutrašnji kvadrati na Slici 8, mogu izazvati različit subjektivni osjećaj svjetline (*brightness*) zavisno od kontrasta.



Slika 9. Uticaj kontrasta na subjektivni osjećaj svjetline

MODEL LJUDSKOG VIZUELNOG SISTEMA

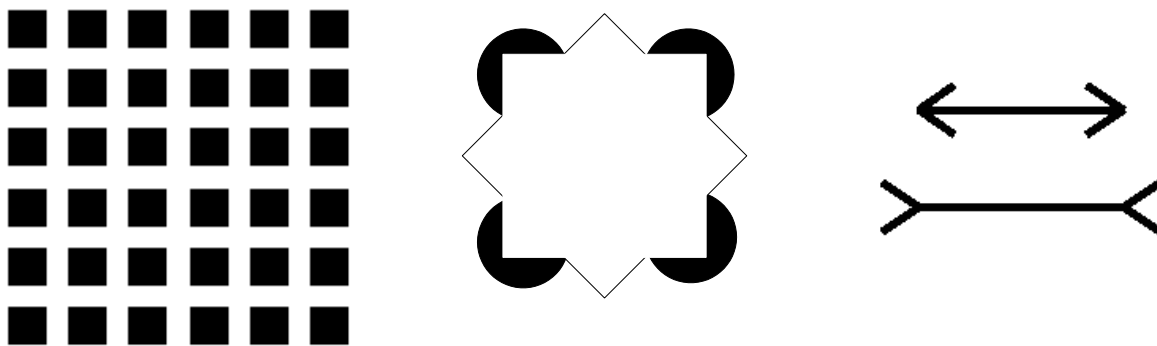
Opis ljudskog vidnog sistema inženjerskim terminima može navesti nekoga da zaključi kako postoji dovoljno znanja o ljudskom vidnom sistemu te da se može izvršiti modeliranje vidnog sistema standardnim tehnikama, Slika 10.



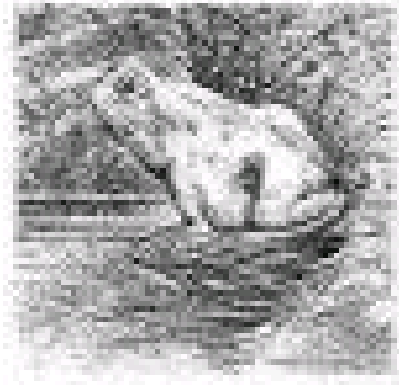
Slika 10. Grubi model ljudskog vidnog sistema

Optičke iluzije

Dva jednostavna primjera optičkih iluzija, prikazana na Slici 11 dokazuju da navedena razmatranja predstavljaju grubo pojednostavljenje i da se ovakav model može koristiti sa ekstremnom pažnjom. Lijeva slika stvara iluziju sivila između kvadrata, tamo gdje ona stvarno ne postoji. Dalje, postoji osjećaj dinamičke promjene u slici, uzrokovan, dijelom, naglim, nesvjesnim pomacima oka. Desna slika stvara iluziju pojačanog kontrasta i nepostojećih kontura, od kojih se ništa ne može objasniti predloženim opisom percepcije (kao vidnog sistema).



Slika 11.a. Optičke iluzije



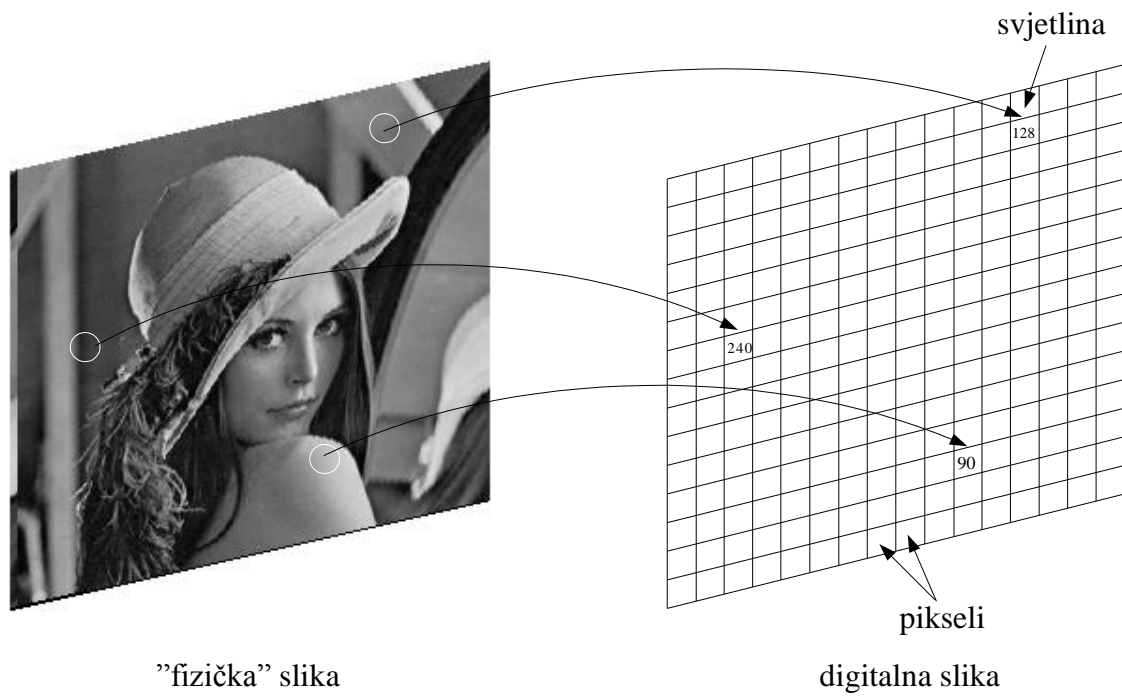
Slika 11.b. Optičke iluzije

DIGITALNA SLIKA - OSNOVNI POJMOVI I DEFINICIJE

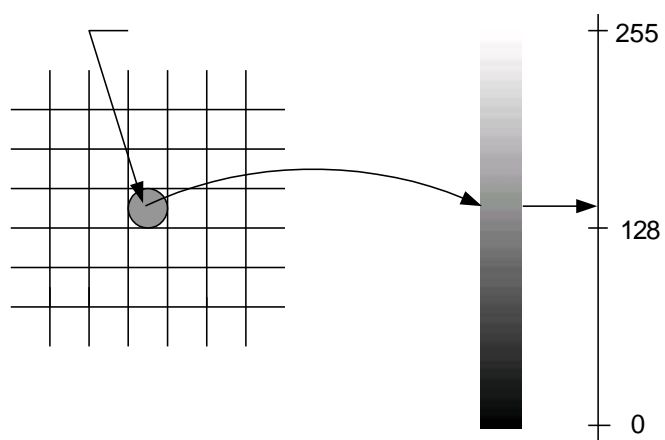
Uobičajeno je da se opšta definicija slike ograniči. Ako se drugačije ne naglasi, *digitalnu sliku* definišemo kao *odmjerenu, kvantovanu funkciju dvije varijable koja je generisana optičkim sredstvima, odmjerena u jednako razmaknutim tačkama i kvantovana jednakim intervalima amplitude*. Prema tome, digitalna slika se predstavlja dvodimenzionalnom matricom kvantovanih vrijednosti.

Dvodimenzionalna slika se može razmatrati kao funkcija dvije realne varijable, npr., $a(x, y)$, gdje je a amplituda (što odgovara svjetlini) slike na poziciji datoj realnim koordinatama (x, y) .

Digitalna slika $a[m, n]$ u 2D diskretnom prostoru se izvodi iz analogne slike $a(x, y)$ iz 2D kontinualnog prostora procesom odmjeravanja koji se često naziva *digitalizacija*. Kontinualna 2D slika se podijeli u M vrsta i N kolona, Slika 16. Presjek vrste i kolone je označen kao *piksel*. Pridružena vrijednost $a[m, n]$ u cjelobrojnim kordinatama $[m, n]$ $\{m = 0, 1, 2, \dots, M - 1\}$ i $\{n = 0, 1, 2, \dots, N - 1\}$ odgovara nivou svjetline, Slika 17. U većini slučajeva kontinualna slika je funkcija više varijabli, uključujući dubinu (perspektivu), boju i vrijeme. Mi ćemo u ovom kursu obrađivati samo 2D statičke slike.



Slika 16. Digitalizacija slike - korespondencija između fizičke i digitalne slike



Slika 17. Digitalizacija slike – pridruživanje vrijednosti svjetline

Riječ *skeniranje (scanning)* koristimo da označimo selektivno adresiranje specifičnih lokacija unutar slike. Svaki od malih podregiona slike u procesu skeniranja se naziva element slike ili *piksel (pixel)*. Pravougaona matrica za skeniranje je poznata pod imenom *raster*. U slučaju trodimenzionalnih slika svaki od malih podregiona slike u prostoru se naziva *voksel (voxel)*. *Gustina odmjerenja (sampling density)* digitalne slike je broj odmjerenih tačaka po jedinici mjere (npr., piksela po milimetru) u domenu slike. Recipročna vrijednost gustine odmjerenja je *razmak piksela*.

Odmjerenje (sampling) označava mjerenje svjetline na mjestu svakog piksela. Odmjerenje se obično izvodi sa uređajima koji su osjetljivi na svjetlost i koji proizvode napon proporcionalan intenzitetu svjetlosti u svakom pikselu slike.

Kvantizacija (quantization) je metod predstavljanja izmjerenih vrijednosti cijelim brojevima. Senzori slike su uobičajeno praćeni analogno/digitalnim konvertorima koji generišu broj proporcionalan naponu.

Rezolucija u nivou sivila (gray scale resolution) je broj nivoa svjetline po jedinici mjere amplitude slike (jačine osvjetljenosti slike). Smještajući digitalnu sliku sa 8-bitnim bajtovima, npr., vodi skali od 256 nivoa svjetline.

Slika 18 ilustruje efekat korištenja različitog broja nivoa sivila (256, 64 i 16) za zapis svjetline sivih slika, dok je na Slici 19 prikazan proces digitalizacije na primjeru slike "Lena" sa 256 nivoa sivila.



Slika 18. Efekat korištenja različitog broja nivoa sivila. S lijeva na desno: digitalizacija slike "Lena" sa 256, 64 i 16 nivoa sivila



a) "kontinualna" slika



b) raster



c) slika usrednjena po pikselima

90	135	165	151	166	140	132	147
133	151	164	166	101	103	129	154
168	155	158	99	99	88	55	91
185	144	41	27	26	49	46	90
168	73	30	57	56	183	74	77
91	102	96	86	114	143	116	86
96	119	126	122	123	134	126	98
95	119	140	151	151	149	126	106

d) matrica svjetlina koje odgovaraju dijelu digitalne slike

Slika 19. Proces digitalizacije slike "Lena" sa 256 nivoa sivila

Gama korekcija

Kad kod sivih slika govorimo o svjetlini piksela, razlikujemo *subjektivni osjećaj svjetline (brightness)*, koji je posljedica našeg čula vida da razazna da li neka oblast emituje (ili reflektuje) više ili manje svjetlosti i objektivne mjere svjetline i intenziteta svjetlosti. Kratko ćemo subjektivni osjećaj svjetline zvati *svjetlina*.

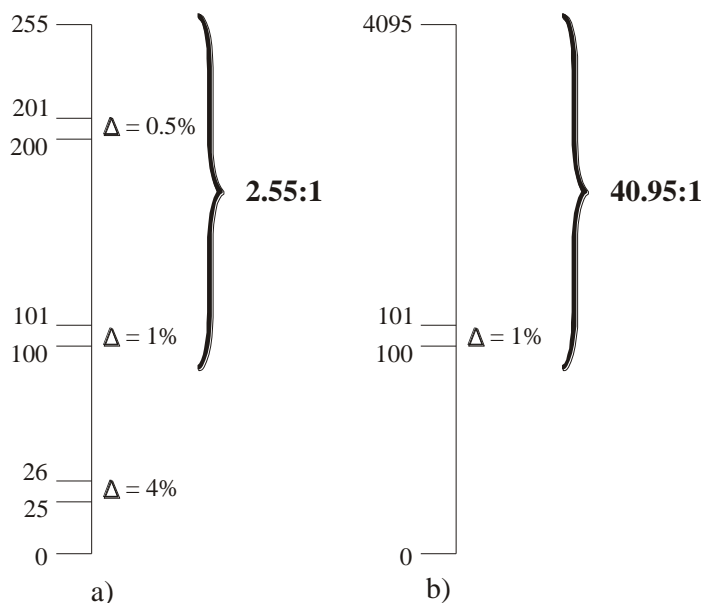
Intenzitet svjetlosti se definiše kao snaga izračena u datom pravcu; *zračenje* je intenzitet po jedinici površine. Ovakva terminologija ne uzima u obzir talasnu dužinu svjetlosti, koja je značajna za slike u boji.

Luminansa je zračenje korigovano težinskom funkcijom koja uzima u obzir osjetljivost čula vida na pojedinim talasnim dužinama. Međunarodna komisija za standardizaciju CIE (Commission Internationale de l'Éclairage) za luminansu je uvela oznaku Y. Kasnije ćemo vidjeti da sistemi za obradu i prikaz slike rijetko koriste vrijednosti piksela koje su proporcionalne luminansi; vrijednosti koje se ovdje koriste su često nelinearno povezane sa luminansom. U tom slučaju se preporučuje da se za komponentu koja predstavlja luminansu koristi oznaka Y' da bi se naglasilo da postoji nelinearna veza te komponente i stvarne luminanse. Nekad je pogodno koristiti i relativnu luminansu, koja se dobija kada normalizujemo vrijednosti luminanse sa maksimalnom luminansom. Relativna luminansa može imati samo vrijednosti od nula do jedan.

Pojam *luma (lightness)* ćemo usvojiti za *objektivnu mjeru svjetline* koja pokušava da što bolje opiše subjektivni doživljaj luminanse i predstavlja standardnu aproksimaciju odziva čula vida na svjetlost. Njena oznaka je L* u skladu sa CIE. Ova veličina se dobija podvrgavajući luminansu nelinearnoj prenosnoj funkciji koja simulira vid. Praktično se može pokazati da je relativna luminansa podignuta na stepen 0.4 približno jednaka L*.

Ljudski vid ne može razlikovati dva nivoa luminanse ako je njihov odnos manji od 1.01, drugim riječima, prag vida za razliku luminansi je oko 1%.

Razmotrimo vrijednosti piksela koje su proporcionalne luminansi, pri čemu nula predstavlja crno, a maksimalna vrijednost 255 predstavlja bijelo, kao na datoj slici.



Kodovanje luminanse sa a) 8 bita i b) 12 bita

Kod vrijednosti 100, relativna razlika između susjednih luminansi je 1% dok kod vrijednosti 25 ona iznosi 4%. Granica između regiona sa odmjercima čija je vrijednost 100, i onih sa 101 će vjerovatno biti primjetna. Kako se vrijednost piksela smanjuje ispod 100, ta razlika će biti sve primjetnija.

Ukoliko bismo imali testnu sliku sa kontinualnom promjenom luminanse sa lijeva na desno, s tim da je luminansa piksela na krajnjoj lijevoj strani nula, a na krajnjoj desnoj strani 255, umjesto kontinualne promjene luminanse duž horizontalne ose uočili bismo skokoviti prelaz na mjestima gdje razlika između susjednih luminansi iznosi više od 1%. Skokoviti prelazi bi se manifestovali kao vertikalne trake i ta pojava se naziva *banding* (eng. band-traka). Na slici sa proizvoljnom raspodjelom luminanse to bi se manifestovalo kao pojava kontura (contouring) na mjestima gdje je raspodjela luminanse inače kontinualna.

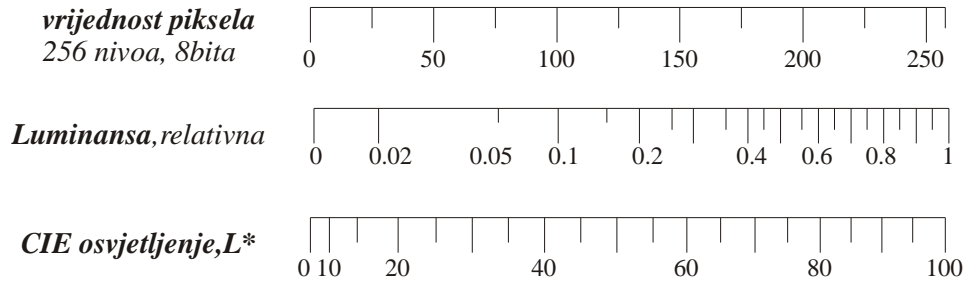
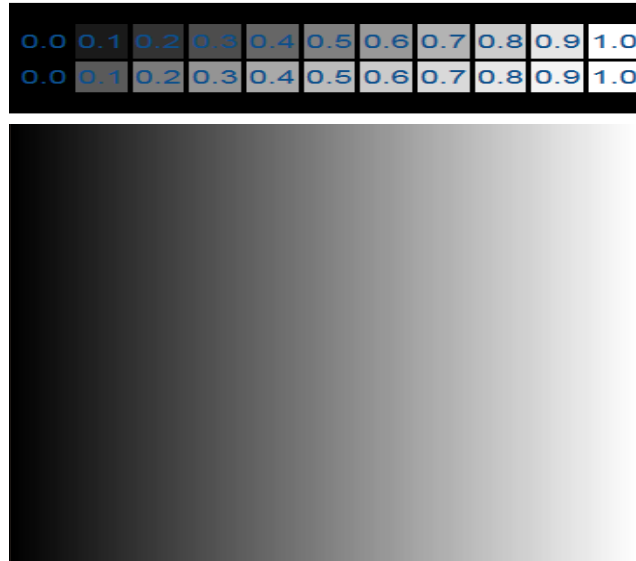
Linearne vrijednosti iznad nivoa 100 nemaju pojavu artifakata. Povećanjem vrijednosti luminanse razlika se smanjuje, i kad vrijednost dođe na 200, relativni odnos susjednih luminansi je samo 0.5%. Razlika između nivoa 200 i 201 nije vidljiva, i ukoliko bi se vrijednost 201 izbacila, ne bi se primijetila nikakva razlika.

Zbog toga umjesto linearnog kodovanja sa velikim brojem bita, koristimo manji broj vrijednosti koje su dodijeljene nelinearno na osnovu perceptualne skale. Kad bi se prag kontrasta ponašao striktno prema pravilu 1% duž čitave tonske skale, luminansa bi se mogla kodovati logaritamski. Zbog određenih odstupanja se ne koristi logaritamsko već eksponencijalno kodovanje, pri čemu je vrijednost eksponenta oko 0.4.

Na sljedećoj slici prikazana je testna slika kod koje se luminansa mijenja od minimalne do maksimalne vrijednosti i to sa lijeve na desnu stranu. U ovom slučaju, luminansa piksela je nelinearno povezana sa dodijeljenim brojčanim vrijednostima piksela, tako da se ispoštuje pravilo 1% duž čitave tonske skale. Vrijednost piksela se koduje sa 8 bita, pa se vrijednosti piksela kreću od 0 do 255. Vrijednost piksela u jednoj koloni matrice slike je ista, i može se očitati na skali ispod slike. Ispod nje je data i skala relativne luminanse piksela. Iako luminansa ima nelinearnu skalu, imamo osjećaj da na slici imamo njenu

kontinualnu promjenu. Ova nelinearna transformacija luminanse odgovara lumi L^* , objektivnoj mjeri našeg subjektivnog doživljaja sjetline. Linearnom porastu vrijednosti lume odgovara linearan porast brojeva 0-255 te kažemo da je luma linearno kodovana.

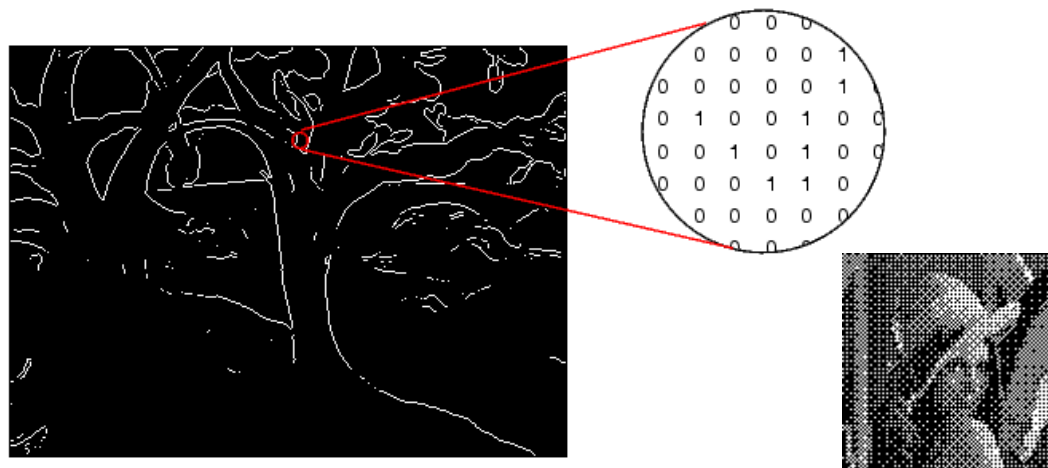
Luminansa crvenog, zelenog ili plavog osnovnog svjetla koju proizvodi monitor je proporcionalna naponu podignutom približno na stepen 2.5. Interesantno je napomenuti da je prenosna funkcija ekrana sa katodnom cijevi (Cathode Ray Tube - CRT) približno jednaka inverznoj osjetljivosti oka na svjetlost.



Linearno kodovanje lume

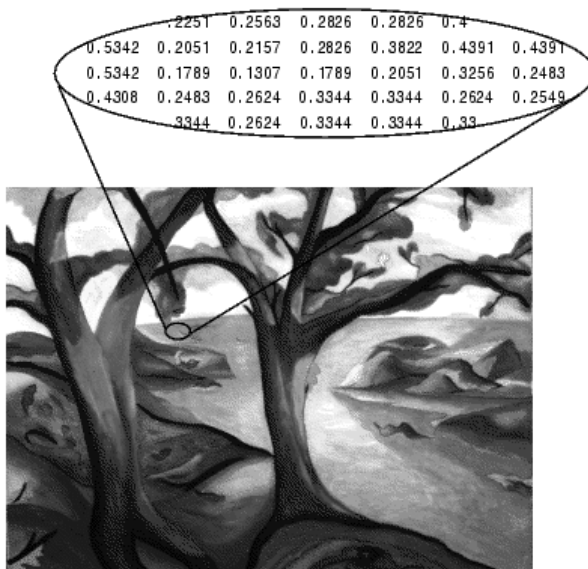
Strukture podataka kod digitalne slike

Jedna od klasifikacija dijeli digitalne slike na *binarne*, *sive (gray-scale)* i *multispektralne* slike. Kod binarnih slika vrijednost svjetline u svakoj tački (pikselu) se kvantuje sa “0” (crno) ili “1” (bijelo). Primjeri binarnih slika su dati na Slici 20. Često se slike sa samo dva nivoa nazivaju monohromatskim slikama. Jedna monohromatska slika dimenzija 640 x 480 zahtijeva oko 37.5 KB za memorisanje.



Slika 20. [11] Predstavljanje binarnih slika

Sive slike imaju više nivoa sivila, što znači da je svjetlini u svakoj tački pridružena jedna brojčana vrijednost iz konačnog skupa. Često se koristi opseg vrijednosti 0-255, gdje je 0-crno, a 255-bijelo, ili 0-1, kao na Slici 21, gdje je 0-crno a 1-bijelo. Uobičajeno se ove slike nazivaju crno-bijele slike (kao kod crno-bijele fotografije ili crno-bijele televizijske slike). Mi ćemo zadržati naziv sive slike da bi ih razlikovali od binarnih slika. Siva slika dimenzija 640 x 480 zauzima oko 300 KB memorijskog prostora.



Slika 21. [11] Predstavljanje sivih (crno-bijelih) slika

Multispektralne slike čine podskup fizičkih slika koje imaju više od jedne lokalne osobine definisane u svakoj tački. Primjer su tri-spektralne, crveno-zeleno-plave (red-green-blue) slike koje se uobičajeno koriste kod fotografije i televizije u boji. Dok binarne i sive slike imaju samo jednu vrijednost za svjetlinu u svakoj tački, slike u boji imaju tri vrijednosti svjetline, po jednu za crvenu, zelenu i plavu, Slika 22a. Ove tri vrijednosti predstavljaju intenzitet svjetlosti u različitim spektralnim opsezima koje oko vidi kao različite boje.



Slika 22a. [11] Predstavljanje slika u boji

Kod bit-mapiranih slika u boji memorišu se tri matrice, za svaku komponentu boje posebno, tako da je i potreban memorijski prostor tri puta veći nego kod sivih slika. Kod indeksiranih slika, koje koriste look-up tabele, potreban memorijski prostor je znatno manji. U ovom slučaju, svaki element matrice (koji odgovara pikselu) sadrži pokazivač na lokaciju u drugom vektoru gdje se nalazi informacija boji. Veličina ove druge matrice zavisi od broja upotrijebljenih boja. Na Slici 22b prikazana je slika gdje je boja kodovana sa 8 bita (256 različitih boja). Ova slika (uz korištenje look-up tabele) zauzima 307.2 KB. Na Slici 22c prikazana je slika sa 24 bita (256x256x256=16.777.216 mogućih boja) koja zauzima 921.6 KB.



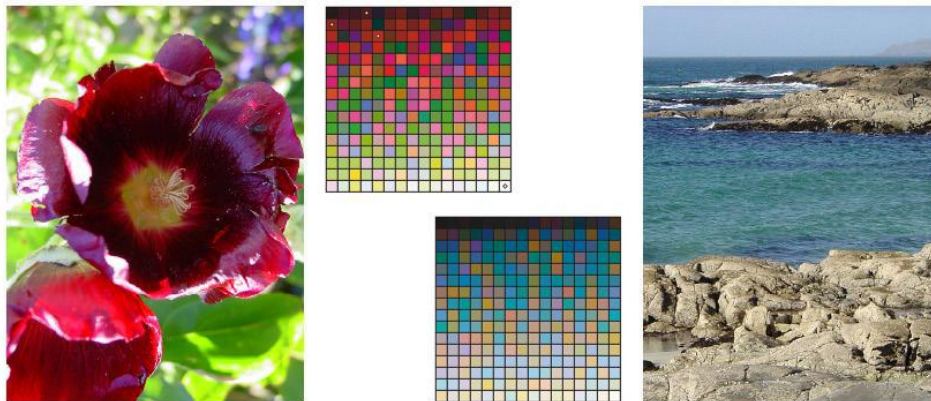
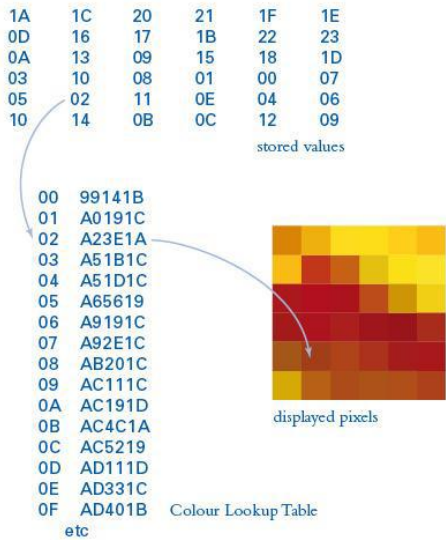
Predstavljanje slika u boji sa različitim brojem bita po pikselu (gornja slika: 8 bita po pikselu, donja slika 24 bita po pikselu)

Koliko boja može da razazna čovjek?

Bibliographic Entry	Result (w/surrounding text)	Standardi zed Result
<p>Calkins, David J. <i>Mapping color perception to a physiological substrate. The Visual Neurosciences Volumes 1 and 2</i> [institutional subscription required]. The MIT Press, 1993.</p>	<p>"The tremendous variability in the spectral composition of light reflected from surfaces lends itself to eliciting a daunting gamut of more than 100,000 discriminable colors, and the variation in the names we assign these colors is limited only by scope of human experience."</p>	<p>100,000</p>
<p>Wyszecki, Gunter. <i>Color</i>. Chicago: World Book Inc, 2006: 824.</p>	<p>"Experts estimate that we can distinguish perhaps as many as 10 million colors."</p>	<p>10 million</p>
<p>Kleiner, Kurt. <i>What we gave up for colour vision</i>. "New Scientist." January 24, 2004: 12.</p>	<p>"Humans, other apes, and Old World monkeys have trichromatic vision, with eyes containing three colour receptors, sensitive to blue, green, and yellow-red. They allow us and our Old World relatives to distinguish around 2.3 million colours."</p>	<p>2.3 million</p>
<p>Myers, David G. <i>Psychology</i>. Michigan: Worth Publishers, 1995: 165.</p>	<p>"Our difference threshold for colors is so low that we can discriminate some 7 million different color variations (Geldard, 1972)."</p>	<p>7 million</p>
<p><u>Color</u>. Wikipedia. 2006.</p>	<p>"It has been estimated that humans can distinguish roughly 10 million different colors, although the identification of a specific color is highly subjective, since even the two eyes of a single individual perceive colors slightly different."</p>	<p>10 million</p>

Broj bita koji se koriste za zapis vrijednosti boje (colour depth) određuje koliko različitih boja možemo koristiti. U cilju smanjenja veličine fajlova koristi se mali broj bita za zapis boje, ali to dovodi do posterizacije i slabijeg kvaliteta slike.

Kad se koriste indeksirane boje, formiraju se tabele koje sadrže vrijednosti boja koje se koriste na slici.



Images and their palettes

Za razliku od bit-mapirane grafike vektorska grafika, koju koriste programi za dizajn pomoću računara (CAD) i programi za 3D animaciju, zauzima puno manje memorijskog prostora. Npr:

```
RECT 0, 0, 200, 200, RED, BLUE
```

opisuje pravougaonik koji počinje od koordinata 0,0, širine 200 i visine 200 piksela, crvenog obruba i plave unutrašnjosti. Ovakav koncizan opis pravougaonika sadrži manje od 30 bajtova, dok bi odgovarajuća bit-mapirana slika zauzela bar 30-ak KB. Web stranice koje koriste vektorsku grafiku brže se učitavaju i, kada koriste animaciju, omogućavaju brže izvršavanje. Vektorski objekti se lako skaliraju bez gubljenja rezolucije i kvaliteta slike. Kad se vektorski nacrtani objekti jako smanje, mada na monitoru od 72 dpi izgledaju uvijek dobro, vjerovatno će i dalje dobro izgledati kad se odštampaju na štampaču u boji sa 300 dpi. Pretvaranje vektorske grafike u bit-mapiranu je lako, dok je obrnut postupak (koji se naziva autotracing) teži i na raspolaganju je u nekim aplikacijama za vektorsko crtanje.

KOLOR MODELI

Svrha kolor modela je da uspostavi specifikaciju boja u formi standarda koji bi bio generalno prihvaćen.

Budući da je ljudski vid zasnovan na tri receptora, potrebna su nam tri parametra da opišemo osjećaj boje. Specifičan način pridruživanja brojeva (tristimulus vrijednosti) svakoj boji naziva se kolor prostor.

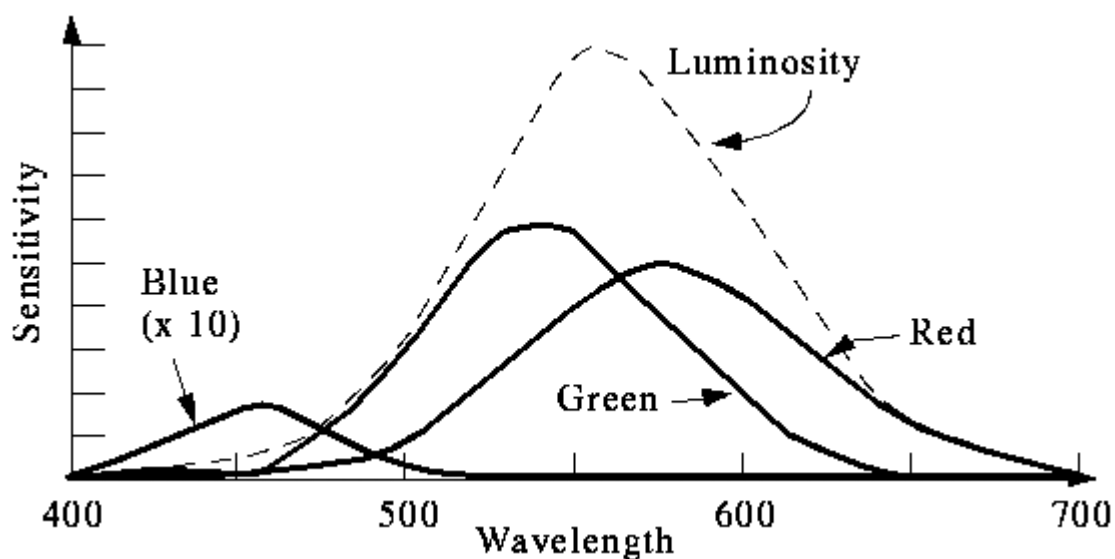
Po trihromatskoj teoriji, osjećaj boje nastaje selektivnom pobudom tri klase receptora u oku. Signal koji dolazi do mozga je odziv tri receptora. Možemo ga predstaviti sa tri broja:

$$R = \int I(\lambda)S_R(\lambda)d\lambda$$

$$G = \int I(\lambda)S_G(\lambda)d\lambda$$

$$B = \int I(\lambda)S_B(\lambda)d\lambda$$

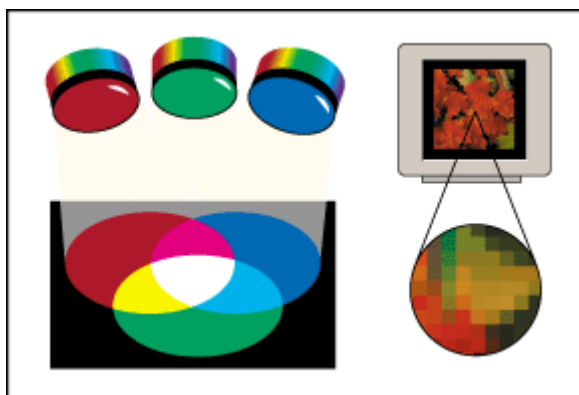
gdje I predstavlja svjetlosnu energiju, a S je funkcija osjetljivosti.



CIE hromatski dijagram - CIE RGB i CIE XYZ kolor modeli

International Commission on Illumination (CIE) RGB kolor prostor je specifičan jer je zasnovan na direktnom mjerenju ljudske percepcije boja (serija eksperimenata iz kasnih 1920-tih) i čini osnovu za definisanje mnogih drugih kolor prostora. Rezultati eksperimenata se poslužili za specifikaciju RGB kolor prostora iz kojeg je izveden CIE XYZ kolor prostor.

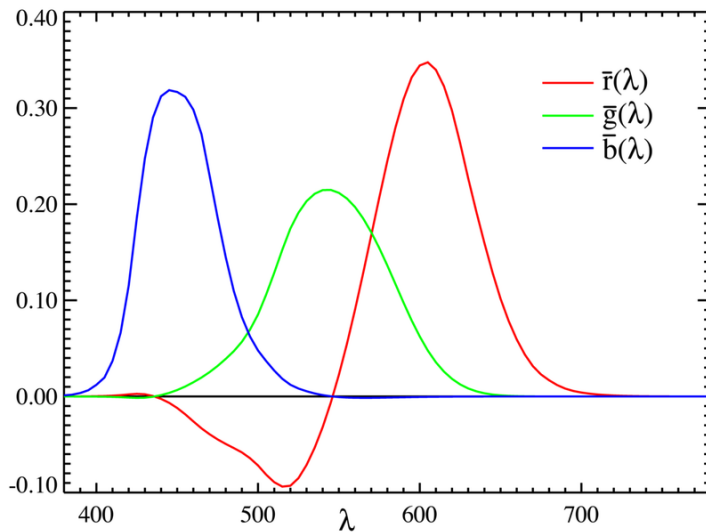
Velik dio vidljivog spektra se može predstaviti miješanjem tri osnovne boje. Po RGB modelu, boja se formira sabiranjem tri osnovne boje različitog intenziteta: crvene (*Red*), zelene (*Green*) i plave (*Blue*), Slika 207. Za $R=G=B$ dobiju se sve sive nijanse od crne do bijele.



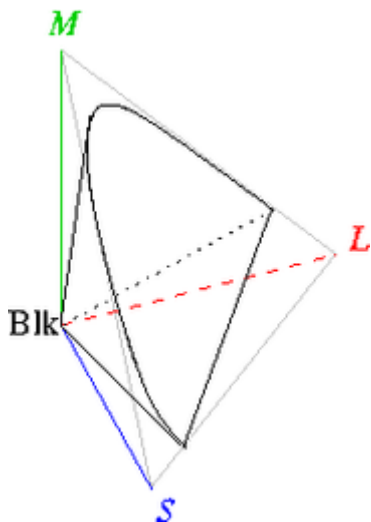
Slika 207. [13] RGB color model

Seriya eksperimenata je provedena kako bi se došlo do modela ljudskog viđenja boja. U provedenim eksperimentima posmatrači su podešavali boju koja je formirana od tri primarne boje, fiksnih talasnih dužina: 700 nm (crvena), 546.1 nm (zelena) i 435.8 nm (plava), podesivog intenziteta dok ne bi dobili testnu boju.

Na taj način se došlo do CIE RGB kolor prostora. Nije bilo moguće sve vidljive boje dobiti na ovaj način, te je u tim slučajevima vršeno dodavanje neke od primarnih boja testnoj boji (to odgovara negativnim vrijednostima na grafikonu).



Prostor boja zasnovan na tristimulus teoriji se može posmatrati kao trodimenzionalan Euklidov prostor, gdje ose odgovaraju podražajima na niskoj (S), srednjoj (M) i visokoj (L) talasnoj dužini svjetlosti. Prostor boja koje čovjek može da vidi je u vidu potkovice. Zasićenije boje su na rubu ovog regiona.



$$R = \int_0^{\infty} I(\lambda) \bar{r}(\lambda) d\lambda$$

$$G = \int_0^{\infty} I(\lambda) \bar{g}(\lambda) d\lambda$$

$$B = \int_0^{\infty} I(\lambda) \bar{b}(\lambda) d\lambda$$

Luminansa predstavlja subjektivni doživljaj svjetline i matematički se može predstaviti težinskom sumom R, G i B komponenti:

$$Y = 0.2126 R + 0.7152 G + 0.0722 B$$

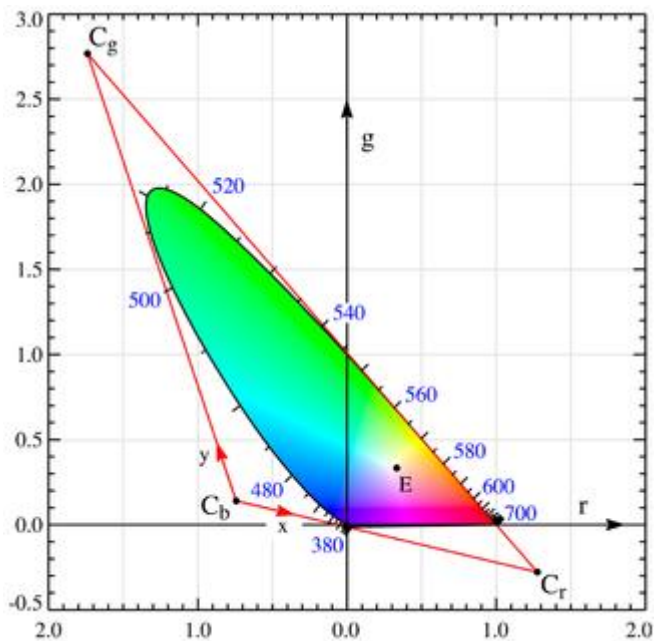
Informaciju o boji nosi hrominansa (dvije komponente):

$$r = \frac{R}{R + G + B},$$

$$g = \frac{G}{R + G + B}.$$

Jedan od prvih matematički definisanih kolor prostora, nastao kao posljedica izučavanja percepcije boja, je CIE XYZ kolor prostor (poznat i kao CIE 1931 kolor prostor), kreiran od strane International Commission on Illumination (CIE) 1931. godine.

Linearnom transformacijom CIE RGB kolor prostor se prevodi u CIE XYZ kolor prostor.

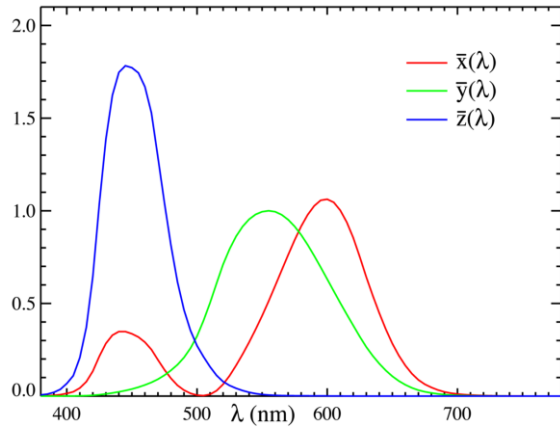


Odgovarajuće tristimulus vrijednosti su preko novih krivih osjetljivosti date sa:

$$X = \int_0^{\infty} I(\lambda) \bar{x}(\lambda) d\lambda$$

$$Y = \int_0^{\infty} I(\lambda) \bar{y}(\lambda) d\lambda$$

$$Z = \int_0^{\infty} I(\lambda) \bar{z}(\lambda) d\lambda$$



CIE XYZ kolor prostor je projektovan tako da Y parametar bude mjera subjektivnog osjećaja svjetline ili luminanse. Preostala dva parametra data sa:

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

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

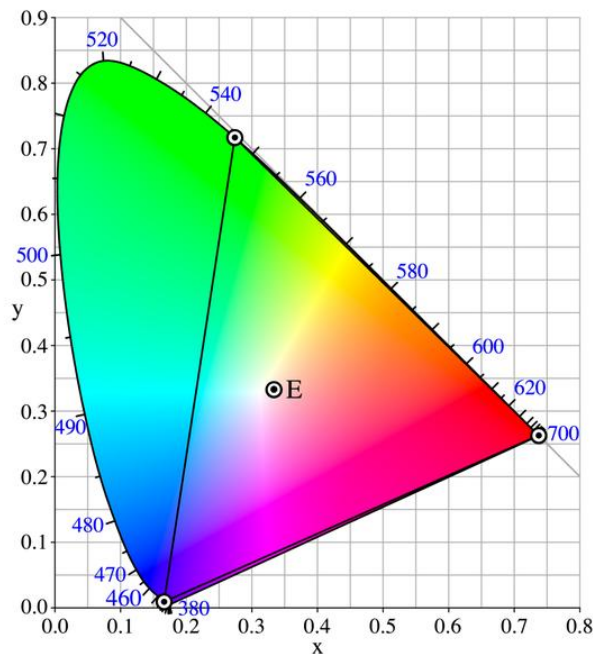
određuju hrominansu. Iz ova tri parametra moguće je rekonstruisati X i Z:

$$X = \frac{Y}{y} x$$

$$Z = \frac{Y}{y} (1 - x - y)$$

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} = \frac{1}{b_{21}} \begin{bmatrix} b_{11} & b_{12} & b_{13} \\ b_{21} & b_{22} & b_{23} \\ b_{31} & b_{32} & b_{33} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix} = \frac{1}{0.17697} \begin{bmatrix} 0.49 & 0.31 & 0.20 \\ 0.17697 & 0.81240 & 0.01063 \\ 0.00 & 0.01 & 0.99 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix}$$

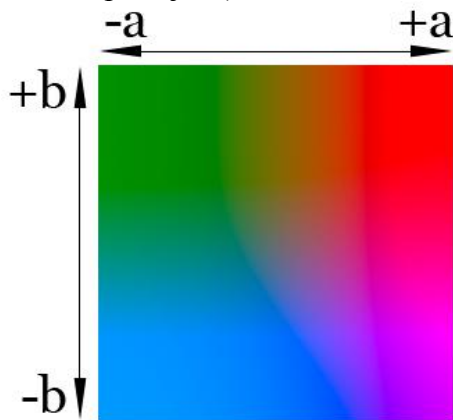
Dijagram hrominansi na sljedećoj slici ilustruje bitne osobine CIE XYZ kolor prostora.



- Dijagram hrominansi daje sve boje koje prosječni posmatrač može da vidi. Ovaj region se naziva *gamut* ljudskog vida. Ilica gamuta odgovara monohromatskoj svjetlosti (naznačene su talasne dužine u nm). Manje zasićene boje su locirane prema centru.
- Ako se izaberu dvije tačke na rubu, onda duž koja spaja ove dvije tačke određuje sve boje koje se mogu dobiti mješavinom ove dvije boje. Sve boje koje se mogu dobiti sa tri izvora nalaze se u trouglu određenom sa tri tačke na rubu. Vidljivo je da sa tri izvora svjetlosti nije moguće prekriti kompletan gamut.
- Distanca na xy hromatskom dijagramu ne odgovara stepenu razlike među bojama. Ovaj problem rješavaju CIE Luv i CIE Lab kolor prostori.

L*a*b (Lab) kolor model

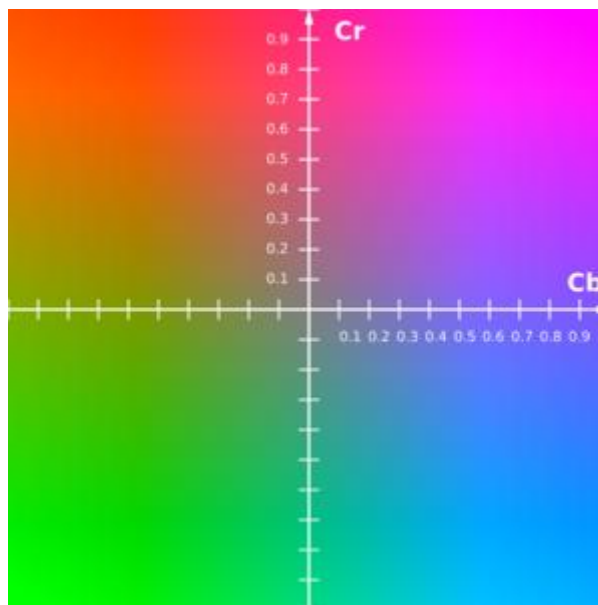
L*a*b je CIE model, uveden 1976. godine. Tri parametra modela su: luma L^* ($L^*=0$ je crno, $L^*=100$ je bijelo), a^* je pozicija boje između zelene i crvene (negativne vrijednosti odgovaraju zelenoj a pozitivne crvenoj), dok je pozicija između plave i zelene opisana sa b^* (negativne vrijednosti odgovaraju plavoj a pozitivne zelenoj). Lab kolor model je kolorometrijski (boje koje posmatrač doživljava na isti način jednako se i koduju), perceptualno uniforman (razlike po hue komponenti za isti iznos izazivaju osjećaj uniformne promjene) i neovisan o uređajima.



YUV (YCbCr) kolor model

YUV signali se kreiraju direktno is RGB modela. Y komponenta je luminansa koja se dobije težinskom sumom R,G i B komponenti. U (Cb) signal se zatim kreira oduzimanjem Y komponente od plave komponente originalne slike, dok se V (Cr) signal dobije oduzimanjem Y komponente od crvene komponente originalne slike.

Lumenentna komponenta daje sivu verziju slike.

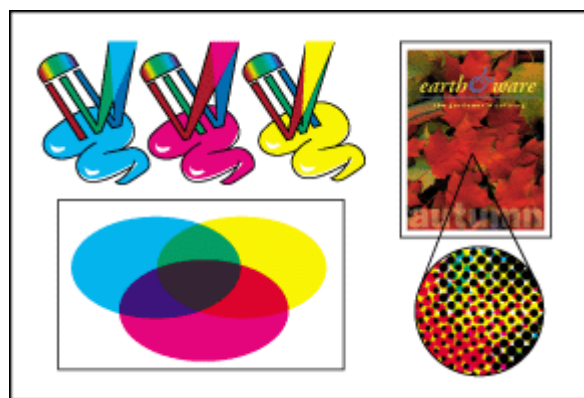


Slika 210. YCbCr model

YCbCr kolor je uveden 1982. godine i postao je dio video standarda.

CMYK kolor model

Na područjima gdje se boje RGB modela preklapaju nastaju cijan (Cyan), magenta (Magenta), žuta (Yellow) i bijela (White). Za razliku od aditivnog RGB modela, po CMYK modelu boje se dobivaju oduzimanjem, Slika 208. Ovaj model je zasnovan na apsorpciji svjetlosti koja pada na obojeni papir. Kada bijela svjetlost (kompletan spektar) padne na obojeni papir, dio svjetlosti se apsorbuje, a dio reflektuje do očiju. Ako se iskombinuju čista cijan, magenta i žuta, apsorpcija će biti maksimalna što će proizvesti crnu boju. Ovaj model se koristi u štampi. Kako prilikom štampe nikad nije moguće postići čistu boju, umjesto crne dobije se tamno smeđa, te se sa tri osnovne boje ovog modela: cijan (Cyan), magenta (Magenta) i žuta (Yellow) kombinuje i crna (K). CMY i RGB su komplementarne boje: svaki par boja iz RGB modela formira jednu od CMY boja i obrnuto.



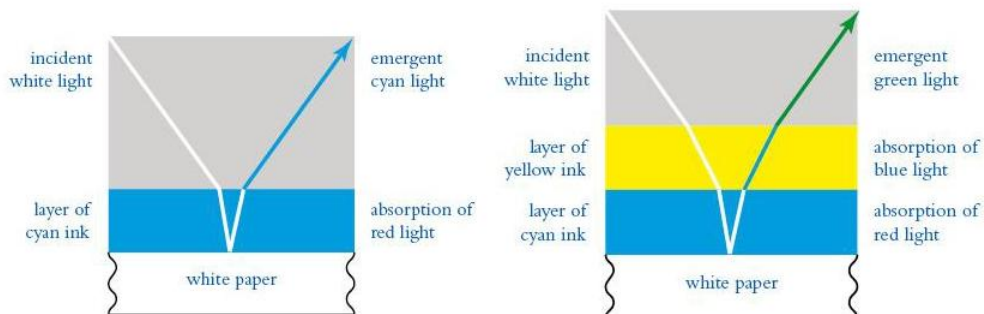
Slika 208. [13] CMYK model

Cijan, magenta i žuta su reflektujuće osnovne boje (subtractive primaries), komplementarne crvenoj, zelenoj i plavoj boji, respektivno.

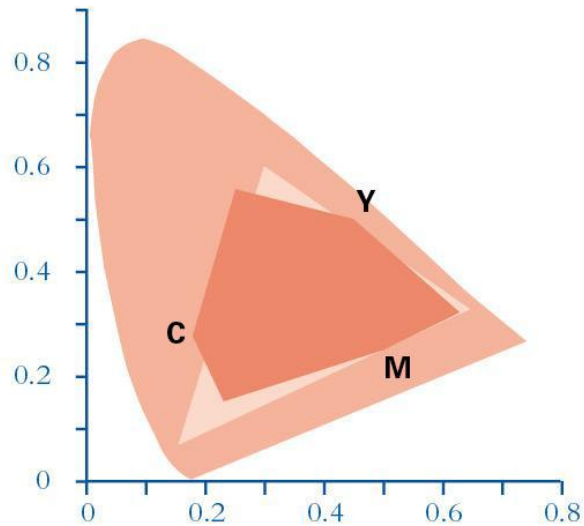
$$C = G + B = W - R$$

$$M = R + B = W - G$$

$$Y = R + G = W - B$$

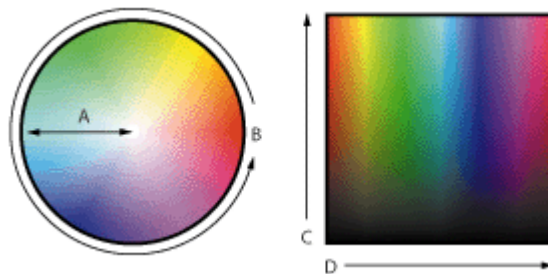


CMYK kolor model pokriva manji opseg boja iz gamuta ljudskog vida nego RGB kolor model. Dakle, postoje boje koje se mogu zapisati u RGB formatu, a ne mogu u CMYK, ali ima i manji broj boja za koje vrijedi i obrnuto (vidi sljedeću sliku).



HSB i HSI kolor modeli

Osim navedenih kolor modela u praksi se koriste i mnogi drugi, kao npr: u HSB (Hue, Saturation, Brightness– dominantna boja, zasićenost, svjetlina) koji se koristi u Photoshopu i HSI (Hue, Saturation, Intensity – dominantna boja, zasićenost, intenzitet). Komponente HIS modela su prikazane na Slici 209.



Slika 209. [13] HSI kolor model: A – zasićenost, B,D – dominantna boja, C – intenzitet

Standardni formati fajlova

Formati neovisni o platformi su: GIF, PNG, TIFF, JPG.

GIF

GIF (Graphics Interchange Format) je 8 bita po pikselu bitmapirani format slike koji koristi 256 različitih boja iz 24-bitnog RGB kolor prostora. Format je uveden 1987. godine (CompuServe) i široko je u upotrebi, naročito na webu. Podržava animacije sa odvojenim paletama od 256 boja za svaki frejm. Koristi kompresiju sa gubicima i kompresiju bez gubitaka (LZW), tako da veličina fajla može da se značajno smanji bez narušavanja vizuelnog kvaliteta slike. GIF format nije pogodan za kolor fotografije i druge slike sa "kontinualnim" bojama. GIF je bio patentiran (Unisys) ali Software Freedom Law Center tvrdi da od 1. oktobra 2006. godine više nema patentnih ograničenja u pogledu njegove implementacije.

PNG

PNG (Portable Network Graphics) je nastao iz želje da se pronade ekvivalent GIF formatu sa manje zakonskih i tehničkih ograničenja, kao što je npr. broj boja. PNG podržava sive slike i slike u boji sa 24 bitnim RGB bojama. PNG je dizajniran prvenstveno za razmjenu sadržaja preko weba i ne podržava druge kolor modele, kao npr. CMYK. Koristi kompresiju sa gubicima i kompresiju bez gubitaka. U poređenju sa GIF formatom, PNG format postiže veću kompresiju, ima veću dubinu boja, ali ne podržava animacije. PNG format je široko podržan, ali ipak ne toliko kao GIF.

TIFF

Tagged Image File Format (skraćeno TIFF) je format fajla koji se primarno koristi za memorisanje različitih tipova slika (monohromatske, sive, 8-bitne & 24-bitne RGB, itd. Originalno ga je kreirala kompanija Aldus 1980-tih godina, a kasnije je podržan od strane Microsofta. TIFF je popularan format za slike sa velikom dubinom boja. Podržan je od većine aplikacija. TIFF je fleksibilan i prilagodljiv format fajla koji može da koristi različite vrste kompresije. TIFF nema prednosti nad JPEG formatom i čini se da mu popularnost pada.

JPEG

JPEG je standard za kompresiju slika. Kreiran od strane Joint Photographics Experts Group. Uzima u obzir ograničenja ljudskog vizuelnog sistema kako bi postigao visok nivo kompresije. Kompresija sa gubicima dopušta korisniku da bira između kvaliteta i nivoa kompresije. Biće detaljno razrađen u dijelu vezanom za kompresiju.

Mnoge aplikacije kreiraju svoje vlastite formate fajlova za memorisanje slika koji su ovisni o platformi. Najpopularniji formati ovog tipa su: BMP, PAINT i PICT.

Microsoft Windows: BMP

BMP je standardni grafički format za Microsoft Windows. Koristi ga Paintbrush i mnogi drugi programi. Slike se memorišu sa 2 (1-bit), 16 (4-bit), 256 (8-bit), 65,536 (16-bit), ili 16.7 miliona (24-bit) boja. BMP fajlovi su obično bez kompresije. Stoga 800×600 24-bitna slika zauzima oko 1.4 MB. Npr., slika veličine 1058×1058 koja zauzima 477.6 KB u PNG formatu zauzima oko 3.2 MB u BMP formatu. Stoga su BMP fajlovi generalno nepodesni za prenos slika.