

SLIKE U BOJI

Korištenje boje u obradi slike je motivisano sa dva osnovna razloga. Prvi je taj da je boja moćan deskriptor koji pojednostavljuje identifikaciju objekata i njihovo izdvajanje. Drugi razlog je to što ljudi mogu razlikovati daleko više nijansi boja nego nijansi sivoga, što je posebno značajno kad se radi interaktivna (pod kontrolom posmatrača) analiza slike.

Obrada slika u boji se može podijeliti u dvije oblasti. Jedna je uobičajena obrada slika u boji dok je druga tzv. *pseudocolor*, odnosno korištenje boje za obradu slika koje u svojoj suštini nemaju boju.

Iako je percepcija i interpretacija boje psihološki fenomen koji još uvijek nije u potpunosti razjašnjen, fizička priroda boje se može opisati nekim formalnim zakonima zasnovanim na eksperimentalnim i teoretskim rezultatima. Isaac Newton je još 1666. godine opisao razlaganje sunčeve svjetlosti na spektar boja pri prolasku kroz staklenu prizmu. Ljudi i neke životinje vide boju kao dio spektra koji se reflektuje od objekta.

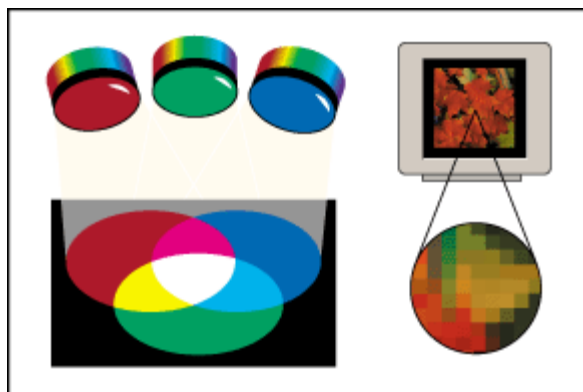
Osnovne karakteristike koje se koriste da bi razlikovali jednu boju od druge su: *svjetlina*, koja odgovara intenzitetu, *dominantna boja (hue)* koja odgovara dominantnoj talasnoj dužini i *zasićenost*, koja je obrnuto proporcionalna količina bijele svjetlosti koja je dodata dominantnoj boji. Drugi pristup je trihromatska teorija po kojoj je predstavljanje boje zasnovano na karakteristikama ljudskog vida koji svaku boju razlaže na tri komponente: crvenu, zelenu i plavu.

KOLOR MODELI

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

RGB kolor model

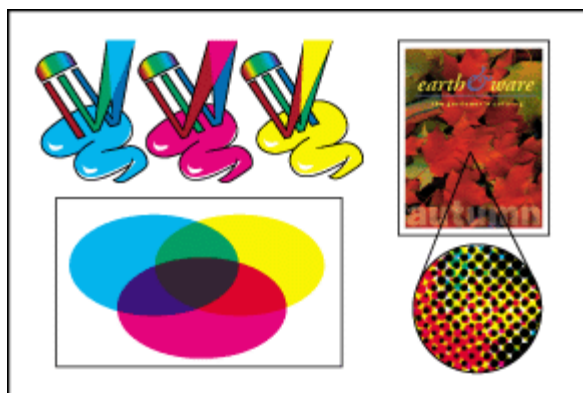
Po trihromatskoj teoriji, osjećaj boje nastaje selektivnom pobudom tri klase receptora u oku. Velik dio vidljivog spektra se može predstaviti miješanjem tri osnovne boje. Po RGB modelu, boja se formira sabiranjem tri osnovne boje različitog intenziteta: crvene (*Red*), zelene (*Green*) i plave (*Blue*),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



Slika 207. [13] RGB color model

CMYK kolor model

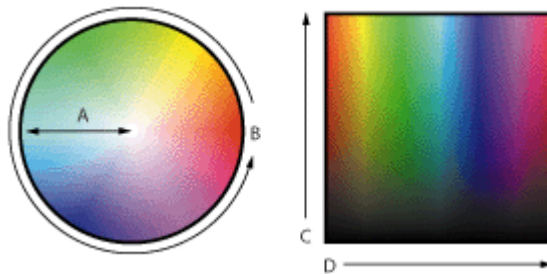
Na područjima gdje se boje RGB modela preklapaju nastaju cijan (Cyan), magenta (Magenta), žuta (Yellow) i bijela (White). Za razliku od aditivnog RGB modela, po CMYK modelu boje se dobivaju oduzimanjem, Slika 208. Ovaj model je zasnovan na apsorpciji svjetlosti koja pada na obojeni papir. Kada bijela svjetlost (kompletan spektar) padne na obojeni papir, dio svjetlosti se apsorbira, a dio reflektuje do očiju. Ako se iskombinuju čista cijan, magenta i žuta, apsorpcija će biti maksimalna što će proizvesti crnu boju. 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

HSI kolor model

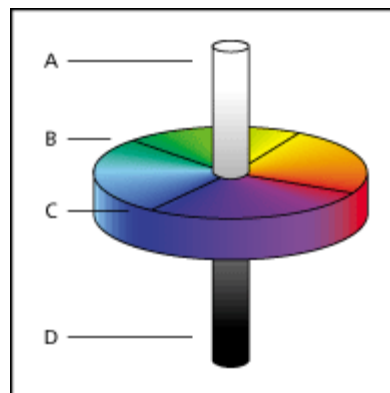
HSI (hue, saturation, intensity – dominantna boja, zasićenost, intenzitet) kolor model odgovara ljudskoj percepciji, samo je umjesto subjektivnog osjećaja svjetline koji je nemoguće izmjeriti usvojen intenzitet. Komponente modela su prikazane na Slici 209.



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

CMYK kolor model

YCbCr model se sastoji od lumentne (Y) i dvije hrominentne komponente: Cb, koja pokriva spektar od plave do žute, i Cr, za spektar od zelene do crvene, Slika 210. Lumentna komponenta daje sivu verziju slike, dok dvije hrominentne komponente obezbjeđuju konvertovanje sive slike u sliku u boji.



Slika 210. YCbCr model (DA – Y, B – Cr, C – Cb)

OSNOVE DIGITALNE OBRADJE SLIKA U BOJI

Postoji obilje tehnika za manipulaciju slikama u boji od kojih su mnoge interaktivne. Cilj većine je poboljšanje kvaliteta slike, odnosno dobijanje slike koja se posmatraču najviše dopada.

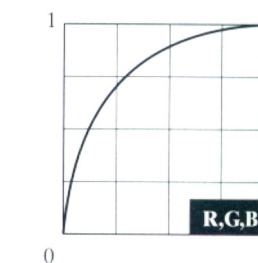
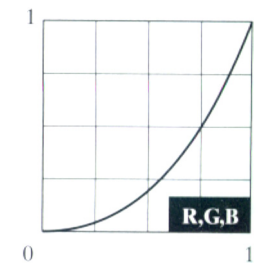
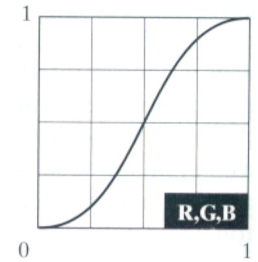
Operacije nad histogramom

Slično transformaciji histograma sivih slika, i ovdje se radi o transformaciji histograma, ali pojedinačno za svaku komponentu odabranog kolor modela. Najznačajnije primjene su u poboljšanju kvaliteta slika u boji.

Interaktivni postupci transformacije histograma

Jedna od osnovnih primjena sastoji se u eksperimentalnom podešavanju svjetline i kontrasta bez uticaja na promjenu boja, da bi se vidjelo što više detalja na slici. U RGB i CMYK kolor prostoru za svaku komponentu kolor modela se koristi ista transformaciona funkcija, dok se u HSI modelu vrši transformacija samo komponente intenziteta. Slika 211 prikazuje najčešće korištene transformacione funkcije za korekciju slika slabog kontrasta, presvijetlih ili pretamnih slika u boji.

Nakon podešavanja svjetline i kontrasta, može se pristupiti balansiranju boja. Loše izbalansirane boje su lako okom vidljive, tako da se najčešće radi interaktivno. Uticaj loše izbalansiranosti se najlakše zapazi u područjima za koja znamo da bi trebala biti bijela. U bijelim područjima sve tri komponente RGB ili CMY modela imaju jednake vrijednosti. Ako to nije slučaj, umjesto bijele vidjećemo drugu boju. Boja ljudske kože je također veoma karakteristična. Promjene na boji kože ljudi veoma lako zapaze. Na Slici 212 dati su primjeri transformacija koje je u pojedinim slučajevima lošeg balansa boja potrebno primijeniti da bi korigovali sliku.



(a)

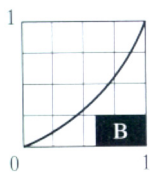
(b)

(c)

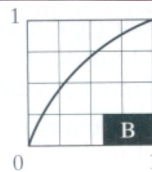
Slika 211. [1] (a) Slike lošeg kvaliteta, odozgo prema dole: sa lošim kontrastom, presvijetla, pretamna. (b) Korigovane slike. (c) Transformacione funkcije.



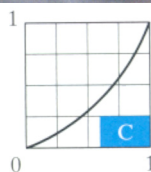
(a)



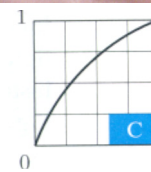
(b)



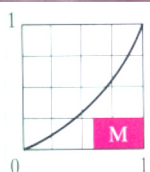
(c)



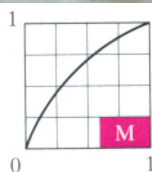
(d)



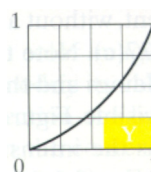
(e)



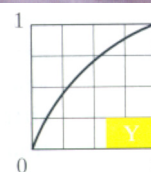
(f)



(g)



(h)

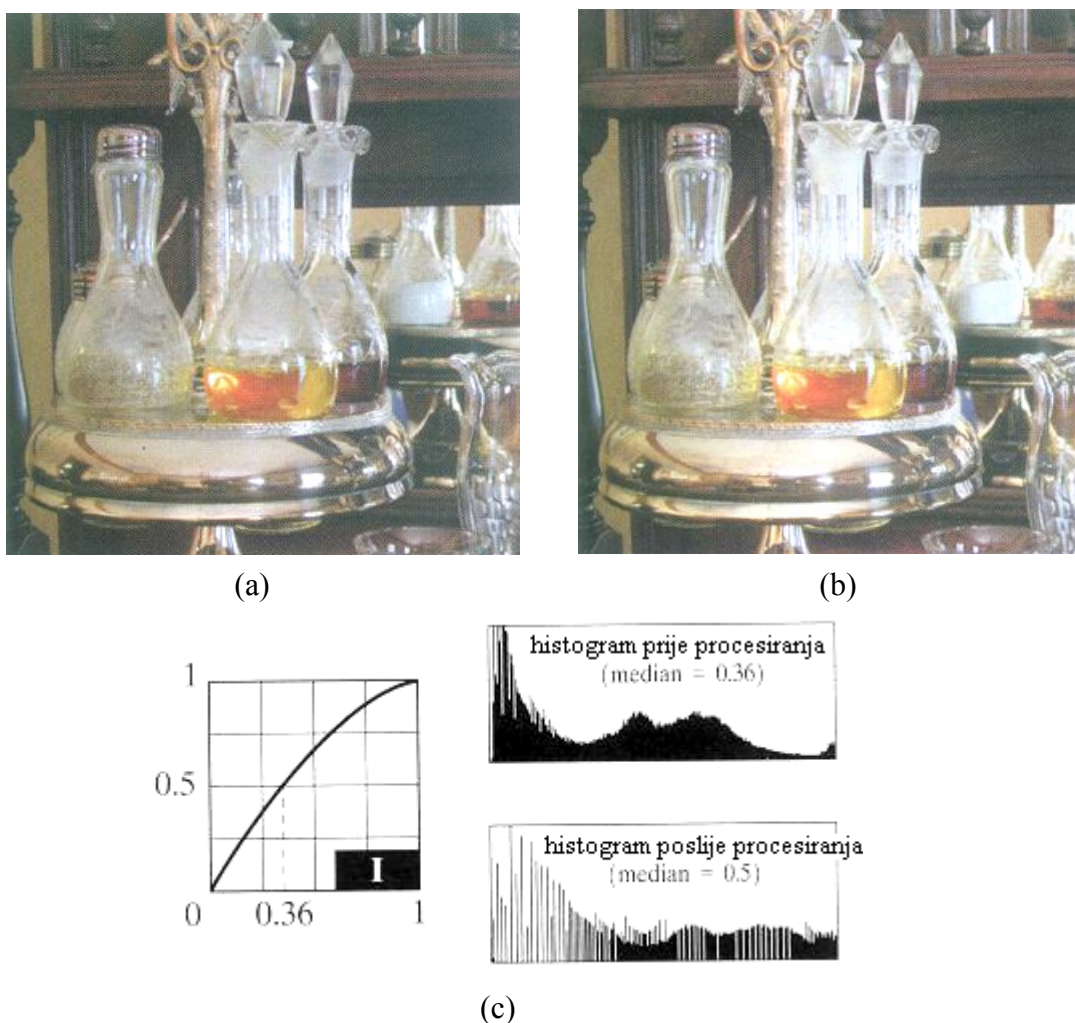


(i)

Slika 212. [1] Transformacione funkcije za korigovanje slika sa lošim balansom boja:
 (a) original (korigovana slika), (b) suviše crne, (c) premalo crne,
 (b) suviše cyan, (c) premalo cyan, (b) suviše magente, (c) premalo magente,
 (b) suviše žute, (c) premalo žute

Automatski metodi transformacije histograma

Za razliku od opisanog interaktivnog pristupa, kod sivih slika je moguće automatski pronaći funkciju preslikavanja koja će transformisati histogram tako da on postane uniforman, odnosno izvršiti njegovu ekvalizaciju. Ako bi ovaj pristup proširili na svaku komponentu kolor modela, došlo bi do promjene boja na slici. Zbog toga je bolje ekvalizaciju primijeniti samo na intenzitetsku komponentu. HSI model je idealan za ovakav pristup. Slika 213 daje primjer ekvalizacije intenzitetske komponente. Slika 213(a) sadrži mnogo tamnih nijansi i ima median vrijednost 0.36. Nakon ekvalizacije detalji na tamnim površinama su bolje vidljivi, Slika 213(b), ali je i cijela slika svjetlija, median vrijednost je 0.5. Histogram prije i poslije transformacije intenzitetske komponente, kao i sama funkcija preslikavanja, dati su na Slici 213(c).



Slika 213. [1] (a) Originalna slika. (b) Slika nakon transformacije histograma intenzitetske komponente. (c) Histogrami slika prije i poslije procesiranja i transformaciona funkcija.

Glacanje i izostravanje slika u boji

Kod sivih slika smo vidjeli da najjednostavniji postupak glaćanja slika predstavlja konvoluciju sa konvolucionim kernelom kod koga su sve vrijednosti unutar prozora jednake jedinici. U tom slučaju se konvolucija svodi na jednostavno usrednjavanje u granicama prozora koji zahvata konvolucioni kernel. Ako se princip proširi na RGB slike u boji, onda se usrednjavanje radi po sve tri komponente boje:

$$\bar{\mathbf{c}}(x, y) = \frac{1}{K} \sum_{(s,t) \in S_{xy}} \mathbf{c}(s, t) = \begin{bmatrix} \frac{1}{K} \sum_{(s,t) \in S_{xy}} R(s, t) \\ \frac{1}{K} \sum_{(s,t) \in S_{xy}} G(s, t) \\ \frac{1}{K} \sum_{(s,t) \in S_{xy}} B(s, t) \end{bmatrix},$$

gdje je S_{xy} prozor u kom se vrši usrednjavanje.

Komponente vektora \mathbf{c} i $\bar{\mathbf{c}}$ su skalarne slike.

Na Slici 214(b) i Slici 214(c) dat je rezultat glaćanja Slike 214(a) korištenjem RGB i HSI kolor modela, respektivno. Prednost HSI modela je u tome što prilikom glaćanja ne dolazi do promjene boja na slici jer se vrši glaćanje samo po intenzitetskoj komponenti. Promjena boja pri korištenju RGB modela je to veća što je veća dimenzija prozora unutar koga se vrši usrednjavanje.

Izoštavanje sivih slika se radi pomocu Laplasijana. Kako je Laplasijan vektora definisan kao vektor čije su komponente Laplasijani individualnih skalarnih komponenti ulaznog vektora:

$$\nabla^2 [\mathbf{c}(x, y)] = \begin{bmatrix} \nabla^2 [R(x, y)] \\ \nabla^2 [G(x, y)] \\ \nabla^2 [B(x, y)] \end{bmatrix},$$

princip se može proširiti i na slike u boji. Na Slici 214(d) je rezultat izoštravanja Slike 214(a) zasnovan na Laplasijanu u RGB prostoru, dok je na Slici 214(e) rezultat izoštravanja samo intenzitetske komponente HSI kolor prostora. Slično kao kod glaćanja prednost ima ovaj drugi način jer ne dolazi do promjene boja na slici.



(a)



(b)



(c)



(d)



(e)

Slika 214. [1] (a) Original. (b) Glačanje u RGB prostoru. (c) Glačanje I komponente u HSI prostoru. (d) Izoštavanje u RGB prostoru. (e) Izoštavanje I komponente u HSI prostoru.

Segmentacija slika u boji

Segmentacija je proces koji sliku dijeli na regione unutar kojih pikseli pokazuju neka zajednička svojstva.

Segmentacija na osnovu boje

Ako želimo da izvršimo segmentaciju na osnovu boje, onda je prirodno razmišljati u HSI kolor prostoru jer je boja predstavljena hue komponentom.

Međutim, dobri rezultati se dobiju i segmentacijom u RGB prostoru. Neka je \mathbf{a} srednja boja regiona koje želimo izdvojiti iz slike i neka je \mathbf{z} proizvoljna tačka u RGB kolor prostoru. KažeDa bismo mogli reći da li su boje slične, moramo definisati mjeru sličnosti. Najjednostavnije je koristiti Euklidovu distancu. Tako kažemo da je \mathbf{z} slično \mathbf{a} ako je Euklidova distanca između \mathbf{a} i \mathbf{z} manja od neke specificirane vrijednosti D_0 :

$$D(\mathbf{z}, \mathbf{a}) = \|\mathbf{z} - \mathbf{a}\| = \left[(\mathbf{z} - \mathbf{a})^T (\mathbf{z} - \mathbf{a}) \right]^{\frac{1}{2}} = \left[(z_R - a_R)^2 + (z_G - a_G)^2 + (z_B - a_B)^2 \right]^{\frac{1}{2}} \leq D_0.$$

Izdvajanje ivica

Gradijent, koji smo kod sivih slika koristili za izdvajanje ivica, nije definisan za vektorske veličine, tako da unapred znamo da njegovo korištenje po pojedinačnim komponentama kolor prostora neće dati dobre rezultate. Podsjetimo se da je za skalarnu (sive) slike gradijent vektor koji ukazuje na smjer maksimalne promjene svjetline u nekoj koordinati slike.

Gradijent se na vektorske slike može proširiti na sljedeći način. Neka su \mathbf{r} , \mathbf{g} i \mathbf{b} jedinični vektori RGB kolor prostora. Definišimo vektore:

$$\mathbf{u} = \frac{\partial R}{\partial x} \mathbf{r} + \frac{\partial G}{\partial x} \mathbf{g} + \frac{\partial B}{\partial x} \mathbf{b}$$

i

$$\mathbf{v} = \frac{\partial R}{\partial y} \mathbf{r} + \frac{\partial G}{\partial y} \mathbf{g} + \frac{\partial B}{\partial y} \mathbf{b}.$$

Napravimo unutrašnje proizvode vektora:

$$g_{xx} = \mathbf{u} \cdot \mathbf{u} = \mathbf{u}^T \mathbf{u} = \left| \frac{\partial R}{\partial x} \right|^2 + \left| \frac{\partial G}{\partial x} \right|^2 + \left| \frac{\partial B}{\partial x} \right|^2,$$

$$g_{yy} = \mathbf{v} \cdot \mathbf{v} = \mathbf{v}^T \mathbf{v} = \left| \frac{\partial R}{\partial y} \right|^2 + \left| \frac{\partial G}{\partial y} \right|^2 + \left| \frac{\partial B}{\partial y} \right|^2,$$

$$g_{xy} = \mathbf{u} \cdot \mathbf{v} = \mathbf{u}^T \mathbf{v} = \frac{\partial R}{\partial x} \frac{\partial R}{\partial y} + \frac{\partial G}{\partial x} \frac{\partial G}{\partial y} + \frac{\partial B}{\partial x} \frac{\partial B}{\partial y}.$$

Primijetimo da su ovo funkcije koordinata x i y . Di Zenzo je 1986 godine pokazao da je smjer maksimalne promjene vektorske funkcije (RGB slike) $\mathbf{c}(x, y)$ dat uglom:

$$\theta = \frac{1}{2} \tan^{-1} \left[\frac{2g_{xy}}{g_{xx} - g_{yy}} \right]$$

i da vrijednost te promjene iznosi:

$$F(\theta) = \left\{ \frac{1}{2} \left[(g_{xx} + g_{yy}) - (g_{xx} - g_{yy}) \cos 2\theta + 2g_{xy} \sin 2\theta \right] \right\}^{\frac{1}{2}}.$$

Za računanje parcijalnih derivacija neophodnih da bi se izračunao smjer i intenzitet ove maksimalne promjene mogu se koristiti ranije spomenuti operatori, npr. Sobelov operator.

Na Slici 215(a) je prikazan gradijent Slike 214(a) izračunat ovim vektorskim metodom, dok je Slika 215(b) jednostavan zbir gradijenata izračunatih pojedinačno za R, G i B komponente slike. Slika 215(a) je kompletnija i daje više detalja u ivicama što se vidi sa razlike ove dvije slike prikazane na Slici 215(c), pa čak i direktnim upoređivanjem, npr. posmatrajući okolinu desnog oka.



(a)

(b)

(c)

Slika 251. [1] (a) Gradijent izračunat vektorskim metodom. (b) Zbir gradijenata pojedinih komponenti RGB slike. (c) Razlika (a)-(b).

KOMPRESIJA SLIKA U BOJI

Pri kodovanju slika u boji, prvo se izvrši transformacija $RGB \rightarrow YCbCr$. Slika lumentne komponente Y se dijeli na blokove od 8×8 piksela. Slike hrominentnih komponenti Cb i Cr se dijele na blokove od 16×16 piksela, koji se zatim, decimacijom sa 2, svode na dimenzije 8×8 piksela. Tako na svaka četiri bloka Y komponente dolazi po jedan blok hrominentnih komponenti Cb i Cr . Daljnja kompreija se radi nezavisno za svaku od tri komponente slike Y , Cb i Cr .

Kompresijom slike u boji se može postići veći stepen kompresije nego kompresijom gray-scale slika, uz jednak subjektivni osećaj izobličenja slike. Na Slici 216 je prikazana slika *Cvijeće* u boji sa tri različita stepena kompresije, koji su približno dva puta veći od odgovarajućih stepena kompresije gray-scale slike.



(a)



(b)



(c)

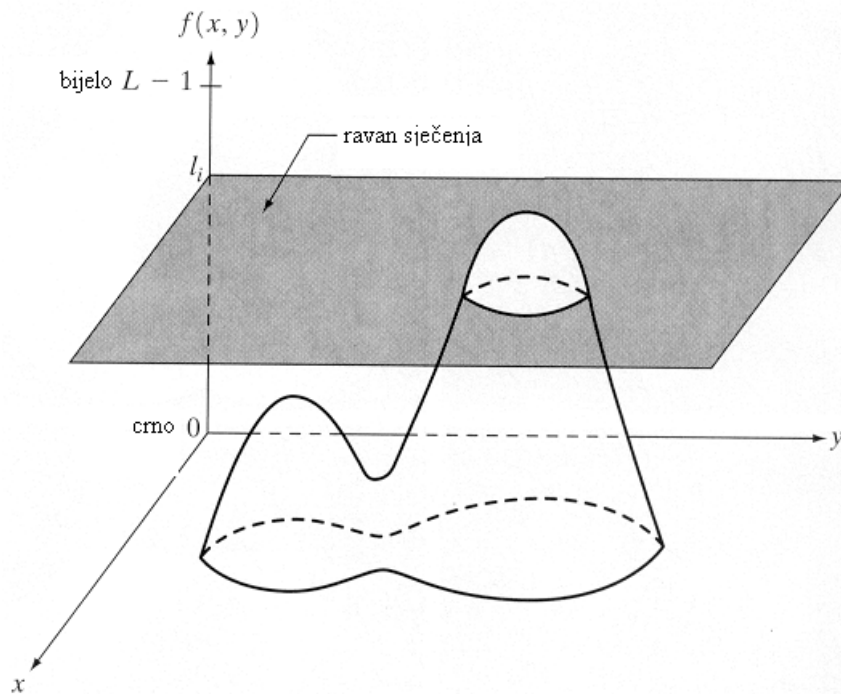


(d)

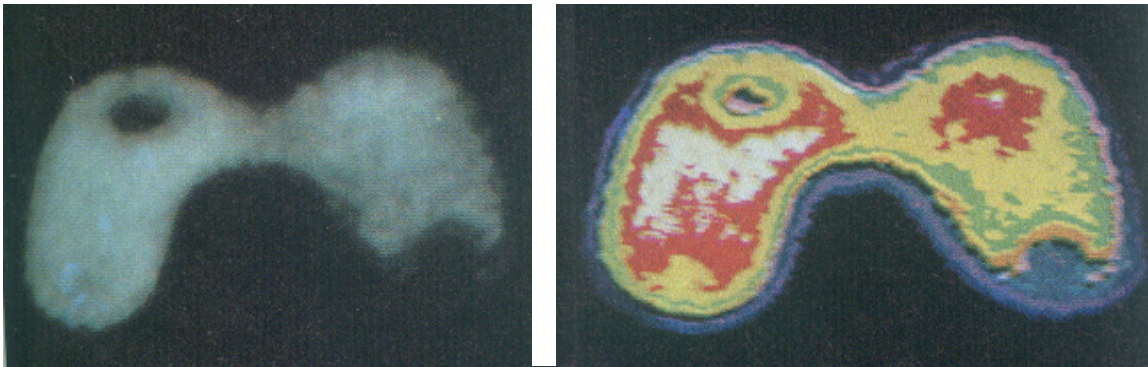
Slika 216. [15] JPEG kompresija slike u boji *Cvijeće*: (a) Originalna slika, (b) Slika komprimovana 10 puta, (c) Slika komprimovana 20 puta, (d) Slika komprimovana 43 puta.

PSEUDOKOLOR

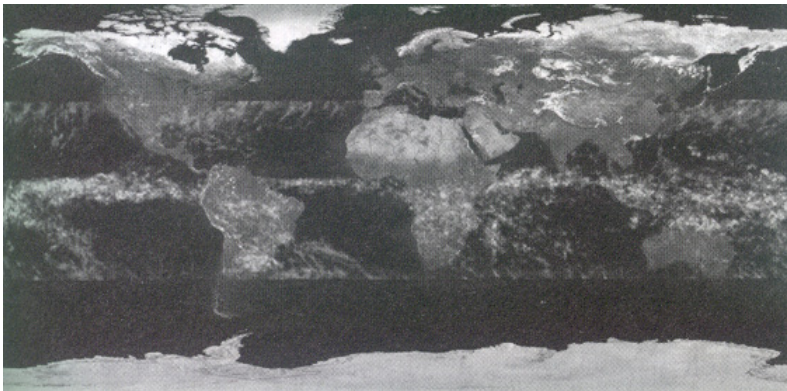
Pod pojmom pseudokolor podrazumijevamo pridruživanje boja vrijednostima svjetlina sivih slika po nekom specificiranom kriteriju. Osnovna svrha upotrebe pseudokolora je bolja vizualizacija promjena na sivim slikama. Kriterij na osnovu koga se vrši dodjeljivanje boja je najčešće baziran na vrijednostima svjetlina sivih slika, tako što se svjetlinama koje pripadaju jednom opsegu vrijednosti dodijeli jedna boja, svjetlinama iz sljedećeg opsega druga boja, itd... Slika 217 prikazuje postupak "sjeckanja" slike, tj. dvodimenzionalne funkcije, tako da se dobije L nivoa, kojima će se pridružiti L različitih boja. "Sjeckanje" se najčešće vrši ekvidistantnim ravnima. Opsegu svjetlina koje se nađu između dvije ravni pridružuje se jedna boja. Primjene su veoma česte u medicini, Slika 218, i kartografiji, Slika 219.



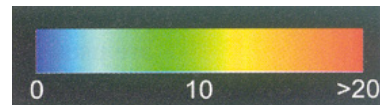
Slika 217. [1] Geometrijska interpretacija formiranja nivoa za pridruživanje boja



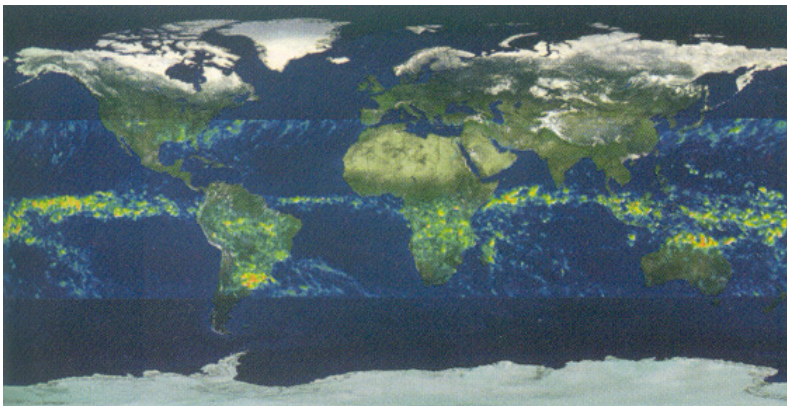
Slika 218. [1] (a) Siva slika štitne žlijezde. (b) Ista slika prikazana u pseudokoloru sa osam boja.



(a)



(b)



(c)



(d)

Slika 219. [1] (a) Siva slika na kojoj intenzitet svjetlina označava prosječnu mjesečnu količinu padavina. (b) Kolor mapa koja prikazuje način pridruživanja boja. (c) Ista slika prikazana u pseudokoloru sa datom kolor mapom. (d) Uvećani dio slike (c).