

# Boja u multimedijским sustavima

---

**Peterfaj, Tena**

**Undergraduate thesis / Završni rad**

**2022**

*Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj:* **Virovitica University of Applied Sciences / Veleučilište u Virovitici**

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:165:476761>

*Rights / Prava:* [In copyright](#)/[Zaštićeno autorskim pravom.](#)

*Download date / Datum preuzimanja:* **2025-02-05**

*Repository / Repozitorij:*



[Virovitica University of Applied Sciences Repository - Virovitica University of Applied Sciences Academic Repository](#)



**VELEUČILIŠTE U VIROVITICI**

**TENA PETERFAJ**

**BOJA U MULTIMEDIJSKIM  
SUSTAVIMA**

**ZAVRŠNI RAD**

**Virovitica, 2022.**

# **VELEUČILIŠTE U VIROVITICI**

**Preddiplomski stručni studij Elektrotehnike, smjer Telekomunikacije i informatika**

Tena Peterfaj

## **BOJA U MULTIMEDIJSKIM SUSTAVIMA**

### **ZAVRŠNI RAD**

radi stjecanja akademskog zvanja

stručne prvostupnice

elektrotehnike

**Virovitica, 2022.**



Veleučilište u Virovitici

Preddiplomski stručni studij Elektrotehnike - Smjer Telekomunikacija i informatika

**OBRAZAC 1b**

**ZADATAK ZAVRŠNOG RADA**

Student/ica: **TENA PETERFAJ** JMBAG: **0113133139**

Imenovani mentor: **Enes Ciriković, dipl. ing., v. pred.**

Imenovani komentor: -

Naslov rada:

*Boja u multimedijским sustavima*

**Puni tekst zadatka završnog rada:**

Prvim dijelom rada prikazat će se temeljne značajke boja i pratećih sustava u multimediji, te će se potom u nastavku teorijski obraditi njihova primjena u pojedinim tehničkim područjima.

---

**Datum uručenja zadatka studentu/ici:** 28.07.2022.

**Rok za predaju gotovog rada:** 09.09.2022.

Mentor:

**Enes Ciriković, dipl. ing., v. pred.**

*Enes Ciriković*

*Dostaviti:*

1. Studentu/ici
2. Povjerenstvu za završni rad - tajniku

## **BOJA U MULTIMEDIJSKIM SUSTAVIMA**

### **Sažetak**

U doba u kojem vlada tehnologija, multimedija je polje široko rasprostranjeno u svim djelatnostima koje je stvorilo golemi utjecaj na aspekte svakodnevnog života. Multimedija omogućuje prezentaciju teksta, zvuka, grafike, animacije i videa na interaktivan način. Rad započinje samim pojmom multimedije i multimedijskih sustava, a zatim imenuje koje su to osnovne boje, definira samu podjelu boja i navodi način kako ih ljudsko oko percipira. Osim toga rad opisuje upotrebu boja kod obrade i analize slika te kompresije i kodiranja. U radu su opisani neki sustavi boja koji se koriste kod pohranjenih i ispisanih slika kao i koji sustav boja se koristi kod prijenosa televizijskog signala te u digitalnom videu.

**Ključne riječi:** boja, multimedija, RGB, slika, sustav boja

**Mentor:** Enes Ciriković, dipl. ing., v. pred.

**Basic documentation card****COLOR IN MULTIMEDIA SYSTEMS****Abstract**

In an age dominated by technology, multimedia is a field widely spread across all industries that has created a huge impact on aspects of everyday life. Multimedia enables the presentation of text, sound, graphics, animation and video in an interactive way. The paper begins with the very concept of multimedia and multimedia systems, and then names the basic colors, defines the very division of colors and states the way the human eye perceives them. In addition, the paper describes the use of colors in image processing and analysis, as well as compression and coding. The paper describes some color systems used in stored and printed images, as well as which color system is used in television signal transmission and in digital video.

**Keywords:** color, color system, image, multimedia, RGB

**Supervisor:** Enes Ciriković, dipl. ing., v. pred.

## Sadržaj

<b>1. Uvod</b> .....	<b>1</b>
<b>2. Multimedija</b> .....	<b>2</b>
<b>2.1. Multimedijski sustavi</b> .....	<b>3</b>
2.2.1. Tekst .....	4
2.2.2. Audio .....	4
2.2.3. Grafika .....	4
2.2.4. Video .....	4
2.2.5. Animacija .....	5
<b>3. Teorija boja</b> .....	<b>6</b>
3.1. Ljudski vizualni sustav .....	8
3.2. Sustavi prikaza boja .....	10
3.3. Obrada i analiza slike .....	14
3.4. Kompresija i kodiranje slike .....	17
<b>4. Boja u slikama</b> .....	<b>21</b>
4.1. sRGB .....	21
4.2. CMY sustav boja .....	22
4.3. Transformacija iz RGB u CMY .....	22
4.4. CMYK sustav boja .....	23
4.5. HSV .....	24
<b>5. Boja u videu</b> .....	<b>26</b>
5.1. YUV sustav boja .....	26
5.2. YCbCr sustav boja .....	29
<b>6. Zaključak</b> .....	<b>30</b>
<b>Popis literature</b> .....	<b>31</b>
<b>Popis slika</b> .....	<b>32</b>

# 1. Uvod

Riječ multimedija dolazi od latinskih riječi „multum“ i „medium“, što znači povezivanje više medijskih sadržaja. To je polje koja čak i danas, nakon dva desetljeća eksplozivnog rasta, različitim ljudima predstavlja različite stvari. Za neke to može biti umjetnički medij, komunikacijski ili poslovni alat, dok za druge može biti alat za učenje. Integracija multimedije u komunikacijsko okruženje ima potencijal transformirati publiku iz pasivnih primatelja informacija u aktivne sudionike procesa učenja bogatog medijima. Izraz „bogat medij“ sinonim je za interaktivnu multimediju. Trenutno se multimedija široko koristi kao računalni interaktivni komunikacijski proces koji uključuje bilo koju kombinaciju statičnih (tekst, grafika i fotografije) i aktivnih (zvuk, animacija i video) medija. Potrebno je uključiti više od jednog medija kako bi mogli definirati multimediju.

Rad započinje samom razradom i evolucijom pojma multimedija te njezinih komponenti kao što su audio, tekst, grafika, animacija i video.

Sljedeće poglavlje se bavi osnovnom teorijom boja, uključujući ljudski vizualni sustav te njegovu poveznicu na digitalni sustav. Nadovezujući se na te osnove, poglavlje 3.2. opisuje upotrebu sustava prikaza boja u raznim digitalnim slikovnim i multimedijским zadacima. Nakon toga slijedi rasprava o obradi slika vođenoj bojama i analiza u poglavlju 3.3. te kompresija i kodiranje u poglavlju 3.4.

Poglavlje 4 opisuje sustave boja koji se najčešće koriste u slikovnim datotekama kao što su HSV, sRGB te CMY(K) dok poglavlje 5 opisuje sustav boja YUV koji se koristi kod prijenosa televizijskog signala te YCbCr sustav boja koji se koristi kod digitalnog videa.



## 2. Multimedija

Kroz povijest digitalnih tehnologija, multimedija je uvijek postojala u ovom ili onom obliku. Ne tako davno, multimedija je definirana kao kombinacija slike i zvuka. Multimedijske prezentacije su u ranim danima bile linearne. Korisnicima su se prezentirale informacije za slušanje ili čitanje ili oboje te su bili pasivni svjedoci bez ikakvog oblika interakcija osim pritiskanja gumba za pokretanje. U drugim ranijim multimedijским implementacijama, pripovjedač bi na primjer, ispričao priču s nizom nepokretnih slika ili čak video zapisa koji su bili prikazani na zaslonu. Gledatelj ne bi mogao pristupiti određenim dijelovima prezentacije koji su bili važni i korisni te ne bi mogao preskočiti dosadne dijelove. Korisnici nisu bili impresionirani ovim oblikom tehnologije i tražili su inovativne pristupe. S razvojem tehnologije interaktivnost je uvedena s videozapisima koji su reproducirani s laserskog diska kojim upravlja računalo te se tako mogla koristiti mogućnost nasumičnog pristupa sadržaja laserskog diska te omogućiti gledatelju odabir sadržaja. Ta je mogućnost korisnicima omogućila kontrolu putanje i toka sadržaja uz mogućnost zaobilazanja tema van korisnikovog interesa. Uz pomoć hiperlinkova i hipermedijskog sučelja, korisnik se može kretati kroz temu područja njegovog/njezinog interesa.

S novim razvojem, multimedijšku tehnologiju je bilo sve teže podržavati. Kapacitet diska, veća propusnost podataka, nove tehnologije kompresije videa, sofisticiraniji multimedijški softver i CD/DVD uključeni su kao standardna značajka računala. U kratkom vremenskom razdoblju, osobno računalo se pokazalo kao prikladan medij za isporuku videa u punom pokretu, preko cijelog zaslona putem inovativne tehnologije i tehnologije video kompresije. Apple računalo bilo je jedno od prvih računala u kombinaciji s ovim multimedijškim značajkama.

Definicija multimedije sada je redefinirana - povezivanje teksta, hiperveza, animacija, grafika, videa i zvuka u interaktivnom okruženju. Multimedija se neprestano mijenja i razvija jer svakim danom nove verzije proizvoda zamjenjuju stare što je stvorilo konkurenciju među tvrtkama u kojima preživljavaju samo najspremniji i najbolji. Dobra multimedijška aplikacija je ona koja tehnologiju čini nevidljivom korisniku. Svrha dobre multimedijske prezentacije je okružiti gledatelja bogatim tekstom, čistim zvukom, oštrom slikom te glatko kretanje koje se može zaustaviti i pokrenuti.

Multimedija se može podijeliti u tri kategorije na temelju funkcija i načina na koji je organizirana, a to je linearna i nelinearna, interaktivna i ne interaktivna te snimljena i u stvarnom vremenu.

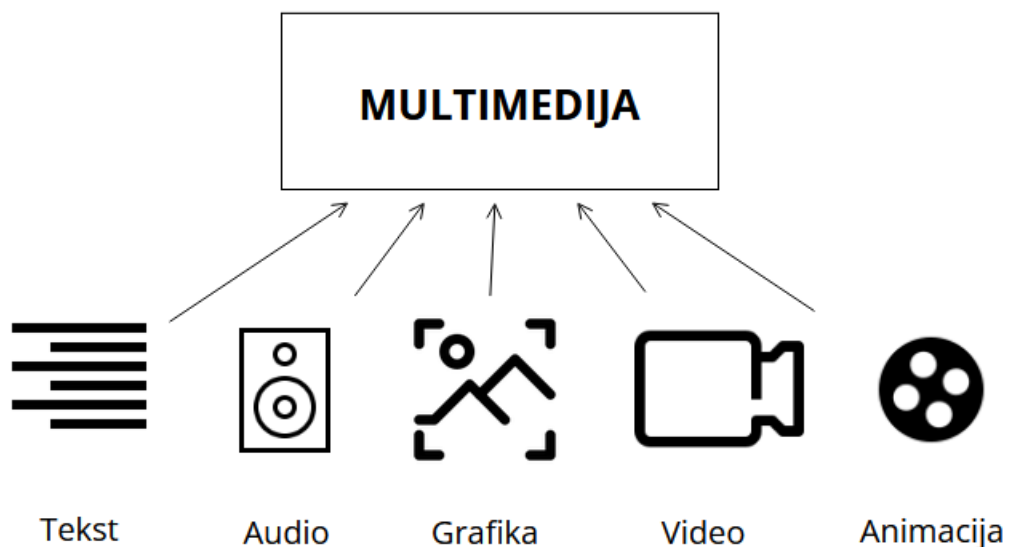
Linearna multimedija napreduje bez ikakve navigacijske kontrole za gledatelja, kao što je kino projekcija. Nelinearna nudi interaktivnost korisnika za kontrolu odabira reprodukcijских dijelova multimedijskog sadržaja.

Interaktivna multimedija povezuje izlazne uređaje s ulaznim pomoću kojih korisnik sam donosi odluku o daljnjem „toku“ sadržaja. Najčešći oblik interaktivne multimedije su računalne igre.

Multimedijске prezentacije mogu biti uživo (u stvarnom vremenu) ili snimljene. Snimljena prezentacija može dopustiti interaktivnost putem navigacijskog sustava dok multimedijска prezentacija uživo može omogućiti interakciju s izlagачem.

## 2.1. Multimedijски sustavi

Multimedijски sustavi mogu uključivati mnoge vrste medija. U osnovi, imamo pet glavnih elemenata multimedije, a to su tekst, audio, grafika, video i animacija. Primarna karakteristika multimedijskog sustava je korištenje više od jedne vrste medija za isporuku sadržaja i funkcionalnosti.



Slika 1. Multimedijски sustavi

### **2.2.1. Tekst**

Najpopularnija metoda prezentiranja informacija je tekst. Tekst je drugo ime za riječ, ono daje informaciju čitatelju. Posvuda je, i dio je svakodnevice. Vidimo ga u novinama, knjigama, web stranicama, televiziji, zaslonu računala i mnogim drugim mjestima. Tekst je najčešće korišteno fleksibilno sredstvo prikazivanja informacija. Microsoft Word i Notepad su neke od najčešće korištenih aplikacija za prikaz tekstualnih datoteka na računalu. Tekstualne datoteke mogu imati ekstenzije kao što su docx te .TXT.

### **2.2.2. Audio**

Audio u multimedijskoj aplikaciji može ponuditi korisniku informacije koje drugi mediji možda nisu. Neke vrste informacija ne mogu se učinkovito prenijeti bez upotrebe zvuka. Na primjer, govorni opis može definirati što se vidi u animaciji. Može se reći da je audio najvažnija komponenta multimedije jer povećava razumijevanje i jasnoću koncepta. Audio datoteke mogu imati ekstenzije kao što su .mp3, .mp4 i .wav.

### **2.2.3. Grafika**

Grafika je u središtu svake multimedijske prezentacije. Odnosi se na slike, digitalnu umjetnost, crteže, obrise, skice. Grafičke datoteke mogu imati ekstenzije kao što su .jpeg, .gif, .tiff. Jedna od popularnijih aplikacija za uređivanje grafike je Adobe Photoshop koji olakšava uređivanje grafike koja ju čini snažnijom i privlačnijom. Neki drugi primjeri softvera koji se temelji na grafici su Adobe InDesign i CorelDraw.

### **2.2.4. Video**

Pokretne slike sa zvukom nazivaju se video zapisi. Video je tehnologija koja elektronički snima pokretne slike. Te pokretne slike su zapravo samo niz nepokretnih slika koje se mijenjaju tako brzo da izgleda kao da se slika kreće. Video je dio multimedije koji prenosi veliku količinu informacija u kratkom vremenskom razdoblju. Dakle, to je najučinkovitije sredstvo komunikacije. U današnje vrijeme video datoteke najčešće imaju ekstenzije kao što su .mp4 i .mkv.

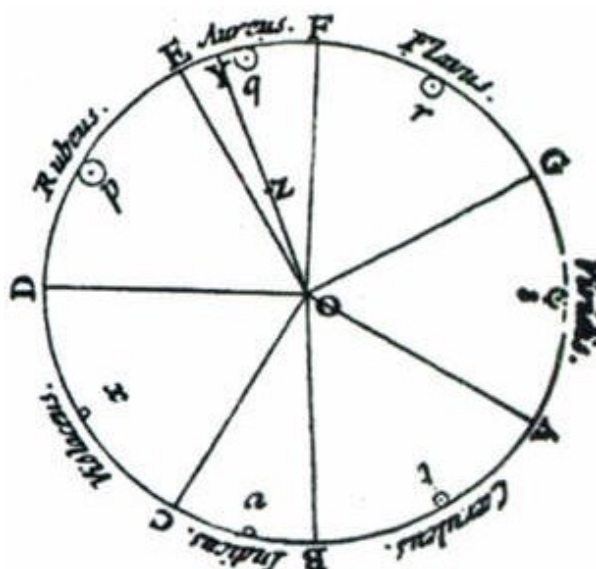
### **2.2.5. Animacija**

Animacija je brzi prikaz niza slika 2D ili 3D umjetničkih djela kako bi se stvorila iluzija kretanja. Računalna animacija je proces modificiranja slika tako da nam se čini da se slijed slika pomiče. Najčešći način predstavljanja animacije je kroz film ili video igru, iako postoje i druge metode. Ekstenzije koje koristimo kod animacije te programi koji se koriste za prikaz animacija isti su kao kod videa.

### 3. Teorija boja

Kada je Newton „organizirao“ spektar boja u krug stručnjak za boje John Gage [5] napisao je da su tako oživjele dvije snažne ideje. Prvo, odnos boja lakše je vizualizirati i zapamtiti kada su boje raspoređene u krug. Drugo, da su tako raspoređenim bojama evidentni inherentni odnosi spektralnih nijansi - sličnost boja jedna pored druge na krugu boja te kontrast boja jedna nasuprot drugoj. Takvi novo percipirani odnosi doveli su do vokabulara boja koji se koristi i danas.

Na primjer, tehnički izrazi koji opisuju Newtonovu sličnost i kontrast su, analogne nijanse (boje jedna pored druge na krugu s bojama) i komplementarne nijanse (parovi boja jedna nasuprot drugoj na krugu s bojama). Ovi vrlo korisni izrazi su od primarne važnosti, ali da bi ih razumjeli, prvo treba identificirati tri osnovna skupa boja koje čine krug boja od dvanaest nijansi: primarni, sekundarni i tercijarni.



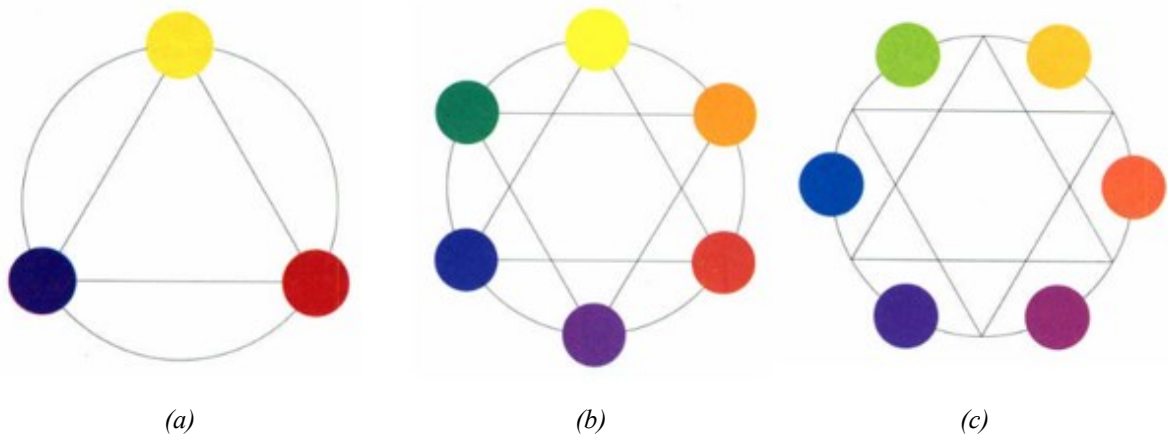
Slika 2. Newtonov krug boja iz knjige *Optika*, knjiga I, dio II, London, 1704. [5]

Tri boje koje su jednako udaljene jedna od druge na krugu boja su žuta, plava i crvena. Kako bi ih bilo lakše vizualizirati te zapamtili njihov položaj, može ih se lako povezati zamišljenim jednostraničnim trokutom unutar kruga (slika 3). Ove tri boje osnovne su boje i zovu se primarne jer ne mogu nastati miješanjem drugih boja, ali sve ostale boje mogu se miješati s obzirom na samo ove tri.

Narančasta, ljubičasta i zelena nazivaju se sekundarne boje (slika 3). Kao i primarne, ove tri nijanse jednako su udaljene jedna od druge na krugu boja. Nazivaju se sekundarnim

jer je svaki teoretski nastao od primarnih roditelja: narančasta dolazi od crvene i žute, ljubičasta od crvene i plave, a zelena od plave i žute.

Tercijarne boje su nijanse treće generacije. Svaka je formirana kombinacijom primarnih i sekundarnih nijansi. Svih šest srednjih boja imaju nazive koji označavaju dvije primarne boje: žuto-narančasta, crveno-narančasta, crveno-ljubičasta, plavo-ljubičasta, plavo-zelena i žuto-zelena. Kada se promatra krug s bojama (slika 3), može se vidjeti da se žuto-narančasta (tercijarna) nalazi između žute (primarne) i narančaste (sekundarne).



Slika 3. Primarne (a), sekundarne (b) i tercijarne boje (c) [5]

Analogne boje su one boje koje leže jedna pored druge na krugu boja, kao što su narančasta, crveno-narančasta i crvena. Analogne boje su same po sebi harmonične jer reflektiraju svjetlost sličnih valnih duljina. Obično su ograničene na tri, kao što su plava, plavo-zelena i zelena.

Komplementarne boje su parovi boja koji su suprotni na krugu boja. Značenje riječi komplement je „učiniti nešto potpunim“ ili „usavršiti nešto“.

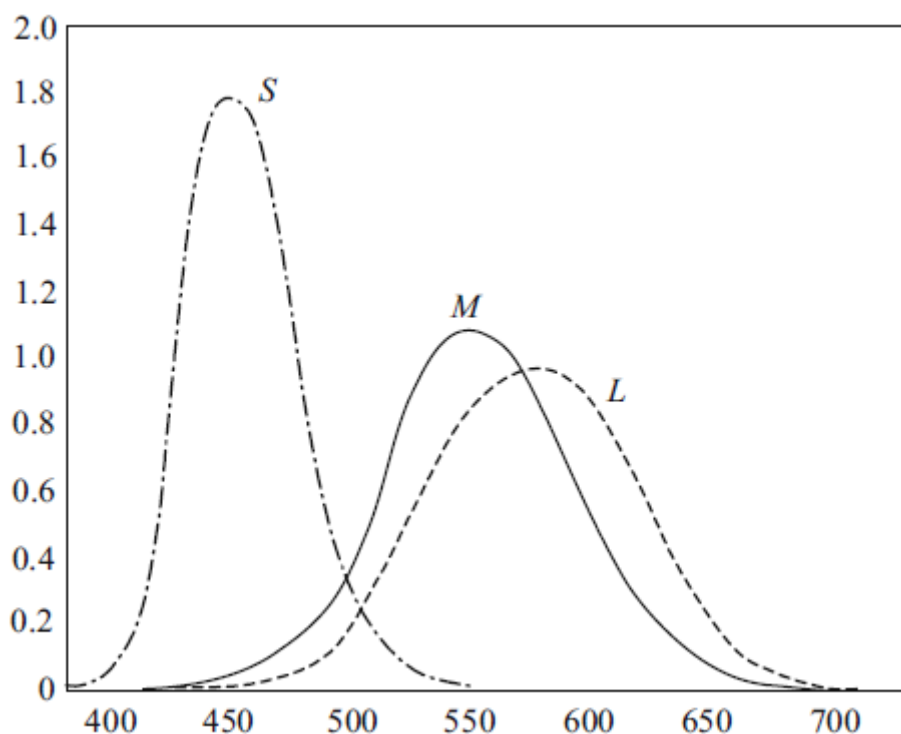
Kako bi se zamiješala određena boja, prvo treba naučiti kako tu percipiranu boju identificirati pomoću nijanse, vrijednosti i intenziteta. Određena boja se zatim miješa na temelju tog glavnog recepta. Bilo koja boja na svijetu može se identificirati ovim trodijelnim opisom. Da bi se boja mogla imenovati, prvo se imenuje nijansa identificirajući primarni izvor boje (jednu od dvanaest nijansi iz kruga boja). Zatim se određuje vrijednost, koliko je boja svjetla ili tamna. Na kraju se navodi intenzitet, svjetlinu ili tamnost boje. Imenovanje boje prema njezinim atributima slično je identificiranju objekta. Prvo se postavlja pitanje „Kojoj kategoriji pripada neki objekt?“ zatim „Koja je njegova veličina i oblik?“ i na kraju, „Od kojeg je materijala izrađen?“ Predmet, na primjer, može biti, kutija, dugačka šest

centimetara, pravokutnog oblika, izrađena od drveta. Isti postupak samoispitivanja funkcionira i za imenovanje boja. Kada se miješa određena boja treba se suočiti s pitanjem "Koja je to boja?", uvijek iznova, sve dok željena boja nije gotova.

### **3.1. Ljudski vizualni sustav**

Ljudsko oko jedno je od najosjetljivijih organa. Omogućuje čovjeku vidjeti svijet i boje koje ga okružuju. Sa zatvorenim očima, određeni predmet se može prepoznati po dodiru, mirisu ili okusu. Međutim, nemoguće je identificirati boju predmeta zatvorenih očiju. Svjetlost koja putuje kroz oko se usporava i transformira kroz različite dijelove oka. Kako se svjetlost približava oku, prvo dolazi u kontakt s rožnicom. Rožnica lomi svjetlost, uzrokujući konvergenciju slike na putu do šarenice i zjenice. Ovisno o intenzitetu i dostupnosti svjetla, šarenica će se skupiti ili proširiti kako bi se prilagodila veličini zjenice. U situacijama slabog osvjetljenja, zjenica će biti veća, dopuštajući dovoljno svjetla da prođe kroz nju i formira uočljivu sliku. U situacijama jakog svjetla, višak svjetla rezultira lošim slikama. Jednom kada svjetlost prođe kroz zjenicu, prima je kroz leću. Uz pomoć mišića, leća ima sposobnost mijenjanja oblika, što uzrokuje da se predmeti na različitim udaljenostima mogu izoštriti kako bi slika određenog predmeta bila čišća. Leća poboljšava već pročišćenu sliku s rožnice i projicira je na mrežnicu.

Mrežnica sadrži dvije vrste odgovornih fotoreceptora, koji se nazivaju štapići i čunjići [8]. Štapići, kojih obično ima oko 120 milijuna raspoređenih po mrežnici, vrlo su osjetljivi na svjetlost, ali neosjetljivi na boju. Stoga su vrlo korisni za skotopski vid, koji se odnosi na vid kod slabijeg osvjetljenja, pri čemu se obično ne vide nikakve boje i mogu se uočiti samo nijanse sive. Čunjići, kojih obično ima oko 7 milijuna smještenih na mjestu zvanom fovea, manje su osjetljivi od štapića i odgovorni su za osjetljivost na boje. Čunjići su vrlo korisni u fotopskom vidu, koji se odnosi na vid u tipičnim svjetlosnim uvjetima, gdje se mehanizam percepcije u potpunosti oslanja na manje osjetljive čunjiće jer visokoosjetljivi štapići postaju zasićeni i ne doprinose vidu. Konačno, za određene razine osvjetljenja, koje se mogu vidjeti kao postepene promjene od skotopskog do fotopskog vida, percepcija se temelji i na štapićima i na čunjićima.



Slika 4. Procijenjena efektivna osjetljivost čunjića. Vodoravna os prikazuje valne duljine u nanometrима [8]

Procjenjuje se da su ljudi sposobni razlikovati oko 10 milijuna nijansa boja [8]. Sposobnost ljudskog oka da razlikuje boje temelji se na tri vrste čunjića koji se razlikuju po spektralnoj osjetljivosti zbog različitih spektralnih apsorpcijskih karakteristika njihovih fotoosjetljivih pigmentata. Tri tipa stanica osjetljivih na boju nazvani su SML (Small, Medium i Large) zbog njihove osjetljivosti na kratke, srednje i duge valne duljine koji daju tri signala na temelju svjetlosnog raspona do kojeg je svaka vrsta čunjića stimulirana. Naime, kao što je prikazano na slici 4, oni su najosjetljiviji na svjetlost s valnim duljinama od približno 420 nm za čunjiće S, 534 nm za M čunjiće i 564 nm za L čunjiće [8], što odgovara svjetlosti koju ljudi percipiraju kao ljubičastu, zelenu i žutozelenu. Odgovor stanica osjetljivih na boju može se točno modelirati linearnim sustavom definiranim konusnim spektrom osjetljivosti.

Pripisivanje boje predmetima ili svjetlima poseban je primjer takozvane pogreške podražaja, u kojoj se osjet koji doživljava promatrač poistovjećuje s podražajem koji izaziva osjet. Bilo koji podražaj u boji se teoretski može proizvesti manipuliranjem osvjetljenja. Dakle, podražaj u boji ovisi i o osvjetljenju i o objektu i može se postići kao signalni spektar boja kroz umnožak spektra osvjetljenja i spektra površinske refleksije. Ovo također sugerira da su i osvjetljenje i refleksija objekta jednako važni za percepciju boja.



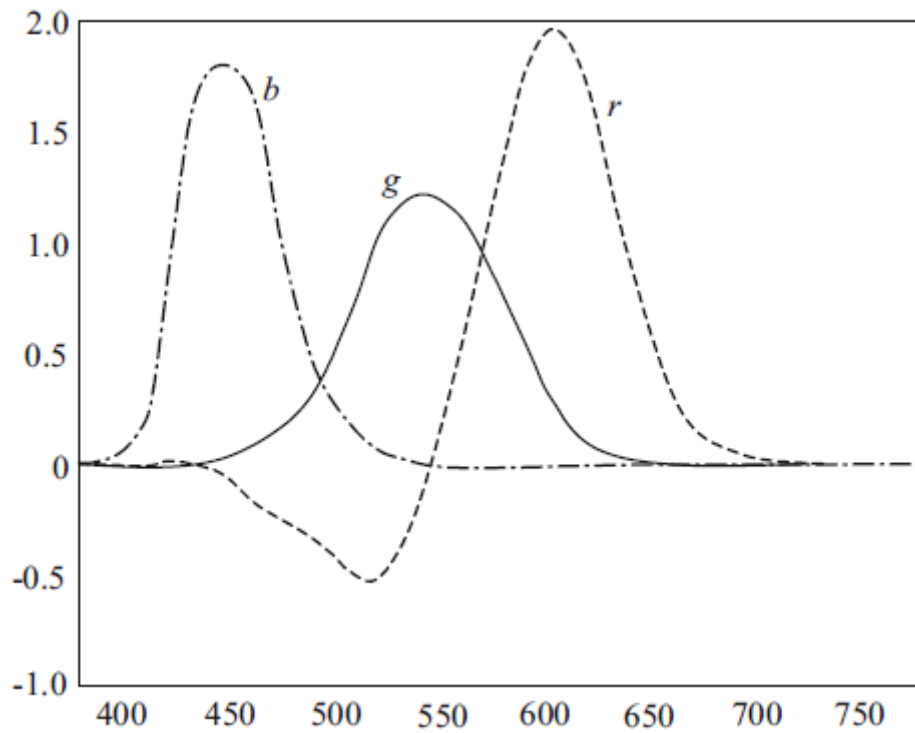
### 3.2. Sustavi prikaza boja

Budući da percepcija boje ovisi o odgovoru triju vrsta čunjića, bilo koja vidljiva boja može se prikazati pomoću tri broja koji se nazivaju tropodražajne vrijednosti. Ovo trikromatsko svojstvo ljudskog vizualnog sustava sugerira da postoje tri primarne boje ili kolorimetrijski neovisni izvor svjetlosti tako da se niti jedna od primarnih boja ne može vizualno usporediti linearnom kombinacijom druge dvije. Numerički prikaz određene boje može se odrediti pomoću trokomponentnog vektora unutar trodimenzionalnog koordinatnog sustava s primarnom bojom koja leži na svojim osima. Skup takvih vektora čini sustav boja.

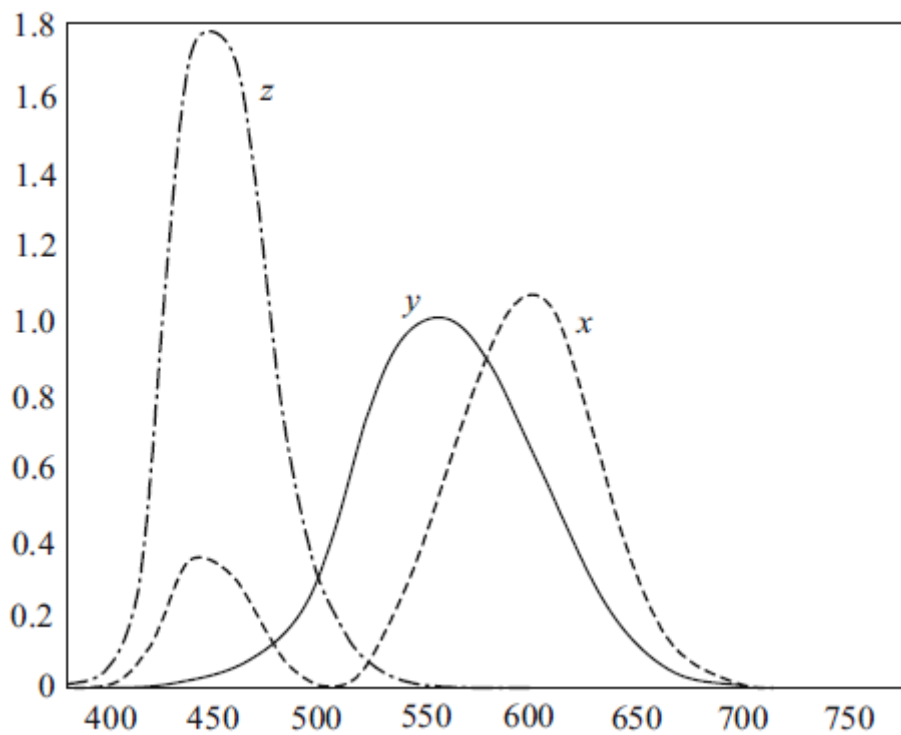
Dva sustava boja, CIE-RGB i CIE-XYZ standardizirani su od strane „Međunarodna komisija za rasvjetu (CIE, eng. *International Commission on Illumination*)“. RGB sustav boja temelji se na eksperimentima usklađivanja boja, čiji je cilj pronaći podudarnost između dobivene boje pomoću aditivne mješavine primarnih boja i osjeta boje. Slika 5 prikazuje dobivene funkcije slaganja boja. Niz zadataka, kao što su pohrana slika, obrada, analiza i vizualizacija obavljaju se u RGB sustavu boja, o čemu će biti riječi kasnije. Sustav boja XYZ dobiva se pomoću transformacija iz  $\bar{r}(\lambda)$ ,  $\bar{g}(\lambda)$ ,  $\bar{b}(\lambda)$  u  $\bar{x}(\lambda)$ ,  $\bar{y}(\lambda)$ ,  $\bar{z}(\lambda)$  funkcije podudaranja boja. Ova se transformacija može formalno napisati na sljedeći način [8]:

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.49 & 0.31 & 0.20 \\ 0.17697 & 0.81240 & 0.01063 \\ 0 & 0.01 & 0.99 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix} \quad (1)$$

Kao što se može vidjeti na slici 6,  $\bar{x}(\lambda)$ ,  $\bar{y}(\lambda)$ ,  $\bar{z}(\lambda)$  funkcije podudaranja boja izbjegavaju negativne vrijednosti, što je bio jedan od zahtjeva pri projektiranju fizičkih mjernih uređaja.



Slika 5. CIE  $\bar{r}(\lambda)$ ,  $\bar{g}(\lambda)$ ,  $\bar{b}(\lambda)$  funkcije podudaranja. Vodoravna os prikazuje valne duljine u nanometrima [8]



Slika 6. CIE  $\bar{x}(\lambda)$ ,  $\bar{y}(\lambda)$ ,  $\bar{z}(\lambda)$  funkcije podudaranja. Vodoravna os prikazuje valne duljine u nanometrima [8]

Y komponenta odgovara svjetlini dok X i Z ne odgovaraju niti jednim perceptivnim atributima. Sustav boja XYZ ne ovisi o uređaju i stoga su vrlo korisni u upravljanju bojama ili općim primjenama gdje je potrebno prikazati boje na uređajima različitih karakteristika.

Kao što je već spomenuto, osvjetljenje i refleksija objekta su čimbenici u percepciji boja. Korištenje  $f_I(\lambda)$  i  $f_R(\lambda)$  kao fizičkih mjera osvjetljenja i površinske refleksije, može se karakterizirati kao odziv boje sljedećih vrijednosti [8]:

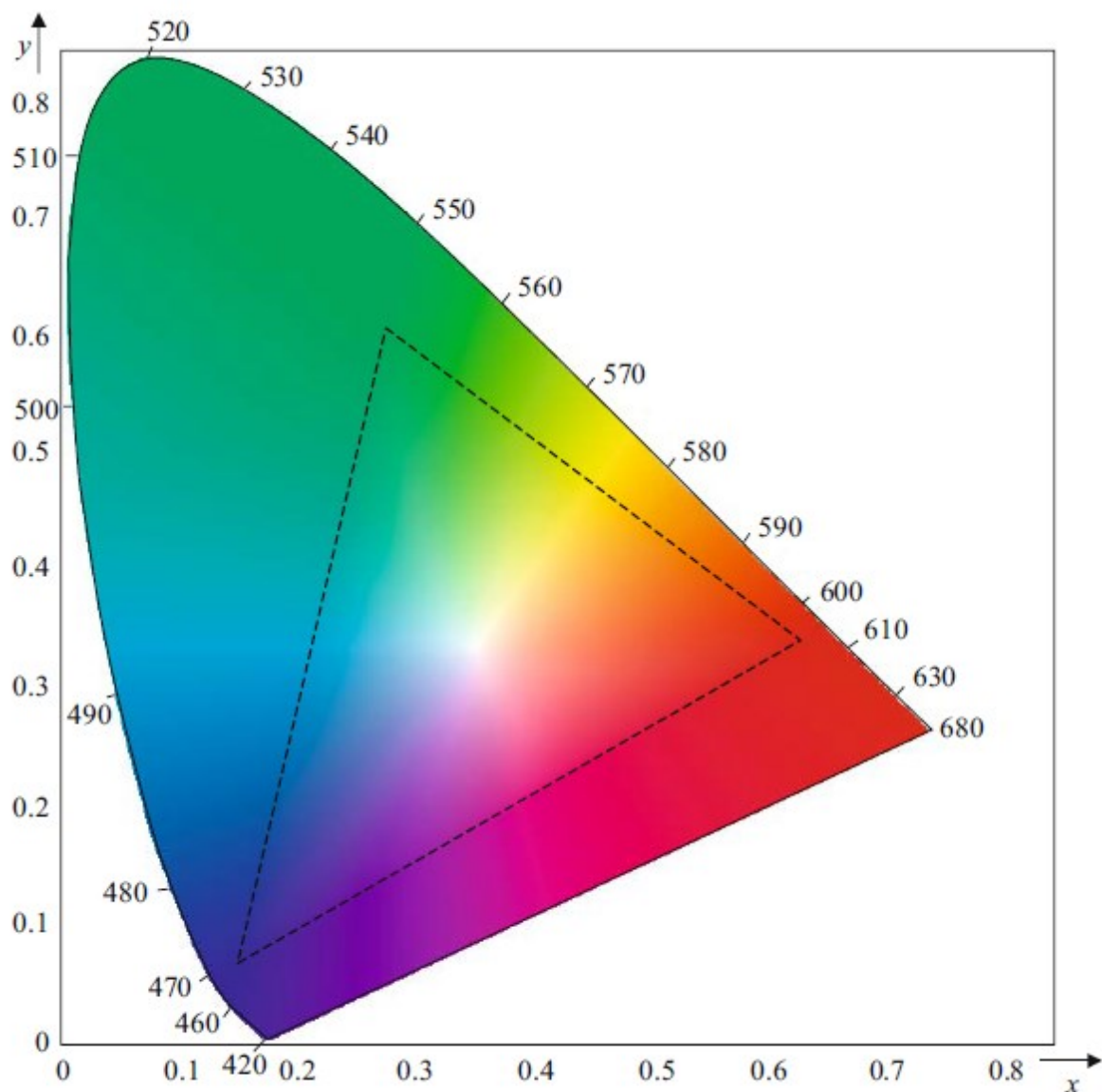
$$\begin{aligned} X &= K \int_{\lambda} f_I(\lambda) f_R(\lambda) \bar{x}(\lambda) d\lambda \\ Y &= K \int_{\lambda} f_I(\lambda) f_R(\lambda) \bar{y}(\lambda) d\lambda \\ Z &= K \int_{\lambda} f_I(\lambda) f_R(\lambda) \bar{z}(\lambda) d\lambda \end{aligned} \quad (2)$$

gdje je K faktor normalizacije izračunat na sljedeći način:

$$K = 100 / \int_{\lambda} f_I(\lambda) \bar{y}(\lambda) d\lambda \quad (3)$$

tako da je  $Y = 100$  za savršeni difuzor i  $f_R(\lambda) = 1$  za savršeni reflektor.

Za učinkovitu vizualizaciju na dvodimenzionalnom mediju, trokomponentna vektor boja se može normalizirati dijeljenjem svake njegove komponente sa zbrojem svih njegovih komponenti. Na taj način se vektori boja normaliziraju za promjene intenziteta tako da je preslikana na jediničnu ravninu koja označava njihovu kromatičnost. Prema tome, koordinate normaliziranih vektora često se nazivaju koordinatama kromatičnosti, tako da se prikaz boje na jediničnoj ravnini koji koristi ove koordinate naziva dijagram kromatičnosti.



Slika 7. CIE xy dijagram kromatičnosti [8]

Budući da normalizirane komponente zbrajaju jedinicu, svaka normalizirana komponenta se može izraziti u terminima druge dvije. Na primjer,  $z = 1 - x - y$  za komponente:

$$x = \frac{X}{X + Y + Z}; y = \frac{Y}{X + Y + Z}; z = \frac{Z}{X + Y + Z} \quad (4)$$

koji čine normaliziranu verziju tropodražajnog vektora XYZ.

Tipični dijagrami iscertava samo dvije koordinate kromatičnosti duž ortogonalnih osi. Slika 7 prikazuje dijagram kromatičnosti CIE xy za određivanje raspona ljudskog vida te za opisivanje mogućeg raspona boja koje može proizvesti izlazni uređaj. Raspon je konveksan

i njegova vanjska zakrivljena granica označava spektralno mjesto, s valnim duljinama prikazanim u nanometrima. Boje unutar spektralnog lokusa označavaju sve vidljive kromatičnosti i kao što se može vidjeti, odgovaraju nenegativnim vrijednostima koordinata kromatičnosti. Sve boje koje se mogu formirati miješanjem dviju boja smještenih na bilo koje dvije točke na ljestvici dijagrama kromatičnosti leže na ravnoj liniji koja povezuje te dvije točke. Boje dobivene miješanjem triju ili više boja nalaze se unutar trokuta ili višeg reda čiji je oblik određen točkama koje odgovaraju tim izvornim bojama. Raspon od bilo kojeg uređaja je podskup raspona ljudskog vida zbog nemogućnosti različitih uređaja za precizan prikaz svih vidljivih kromatičnosti. Trokut na slici 7 prikazuje primjer takvih ograničenja raspona.

### 3.3. Obrada i analiza slike

Slike u boji obično se obrađuju i analiziraju kao RGB podaci jer je RGB sustav prirodni sustav za prikupljanje, pohranu i prikaz slikovnih podataka u boji. Budući da rad na RGB vektorima boja ne zahtijeva konverziju na ili iz radnog sustava u boji, mogu se postići značajne računalne uštede.



(a)

(b)

Slika 8.. Predstavljanje slike pomoću: (a) RGB vrijednosti i (b) normaliziranih RGB vrijednosti [8]

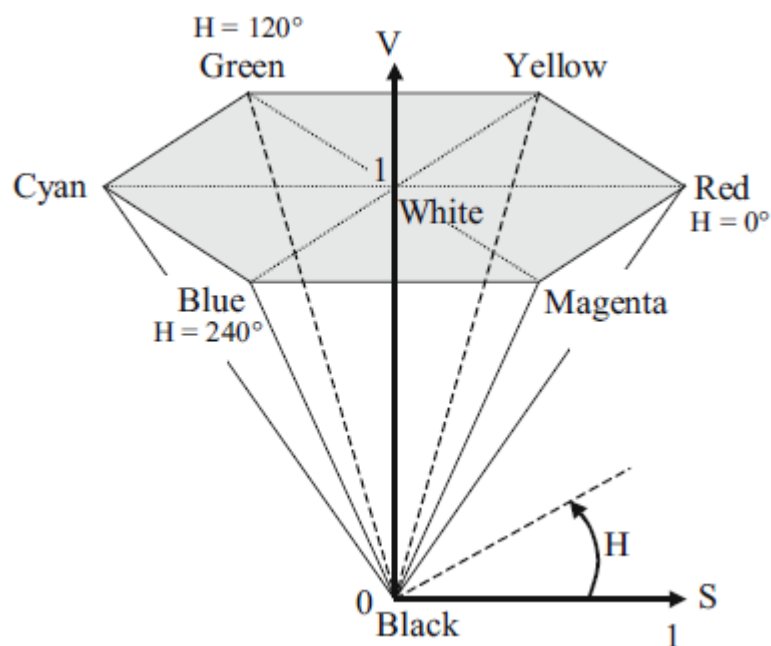
Drugi važan aspekt je da slika u prirodnoj boji obično pokazuje značajnu vrijednost korelacija između R, G i B ravnina, a mnogi algoritmi su dizajnirani da uzimaju prednost ovih spektralnih karakteristika. Na primjer, takvi algoritmi našli su svoju primjenu u područjima filtriranja šuma, detekcije rubova, interpolacije, prepoznavanje uzoraka i praćenje objekata.

Nedostatak RGB sustava boja je da su slikovni podaci prilično ranjivi na promjene osvjetljenja. RGB slike se često koriste za prevladavanje ovog problema koji je pretvoren u normalizirani RGB sustav na sljedeći način:

$$r = \frac{R}{R + G + B}; g = \frac{G}{R + G + B}; b = \frac{B}{R + G + B} \quad (5)$$

Ove normalizirane komponente označavaju kromatičnost vektora boje i tvore ravninu kromatičnosti koja se naziva Maxwellov trokut. Budući da su u određenoj mjeri neovisni o osvjetljenju, normalizirani RGB sustav često se koristi u dizajnu različitih rješenja za prepoznavanje uzoraka i praćenje objekata, kao što su detekcija/prepoznavanje lica i aplikacije za nadzor. Štoviše, svaka normalizirana komponenta je funkcija druge dvije tako da upotreba normaliziranog RGB sustava omogućuje smanjenje količine izračuna i memorije. Posljednji se pokazao posebno korisnim u zadacima koji se temelje na histogramu u boji, kao što su analiza i dohvaćanje slike, te određivanje histograma u boji pomoću normaliziranih RGB vrijednosti koje smanjuju dimenzionalnost histograma s tri na samo dvije dimenzije. Konačno, kao što je prikazano na slici 8, normalizirani RGB ne odgovara perceptivnom značenju RGB podataka o boji. Kako bi se postigla djelomična kompenzacija, komponenta osvjetljenja obično se koristi zajedno s dvije normalizirane komponente.

Kako bi shvatili odnos s ljudskim vizualnim sustavom, mnogi sustavi boja su se orijentirali prema nijansi. Primjeri sustava boja koji se temelje na takvim prikazima uključuju HSV (Hue Saturation Value), HSL (Hue Saturation Luminance), HSI (Hue Saturation Intensity) i HCI (Hue Chroma Intensity). Ovi sustavi nemaju vizualno značenje dok se u tim prostorima ne izraze trokomponentni vektori koji se pretvaraju natrag u RGB sustav. Prikaz boja objašnjen je na primjeru HSV sustavu boja.



Slika 9. HSV sustav boja [8]

Kao što je prikazano na slici 9, HSV koordinatni sustav je cilindričan i može se prikazati modelom heksagona. Komponenta boje (H) karakterizira mješavina tri komponente, dajući tako indicaciju spektralnog sastava boje. Mjeri se kutom oko vertikalne osi u rasponu od 0 do 360 stupnjeva, gdje crvena boja odgovara kutu od nula stupnjeva. Komponenta zasićenja (S) kreće se od 0 do 1 i pokazuje koliko je boja daleko od sive pozivajući se na udio čiste svjetlosti dominantne valne duljine. Konačno, komponenta vrijednosti (V) definira relativnu svjetlinu boje, s minimalnom vrijednošću od nule koja odgovara crnoj i maksimalnoj vrijednosti koja odgovara bijeloj. Pretvorba iz RGB u HSV vrijednosti definirana je na sljedeći način:

$$H = \begin{cases} \eta & \text{ako } B \leq G \\ 360 - \eta & \text{inače} \end{cases}; \quad \eta = \arccos\left(\frac{\Delta_{RG} + \frac{\Delta_{RB}}{2}}{\sqrt{\Delta_{RG}^2 + \Delta_{RB}\Delta_{GB}}}\right)$$

$$S = \frac{\max(R, G, B) - \min(R, G, B)}{\max(R, G, B)} \quad (6)$$

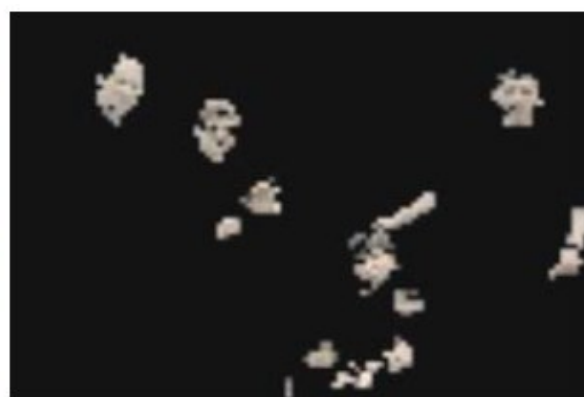
$$V = \frac{\max(R, G, B)}{255}$$

gdje je  $\Delta_{RG} = R - G$ ,  $\Delta_{RB} = R - B$  i  $\Delta_{GB} = G - B$ . H komponenta je nedefinirana, a S komponenta je nula kada god je ulazni RGB vektor čista nijansa sive, što se događa za  $R = G = B$ .

Sustavi boja orijentirani prema nijansi pokazali su se korisnima u segmentaciji slike i lica analiza slike. Primjer na slici 10 prikazuje rezultat segmentacija kože čovjeka u HSV sustavu. Međutim, sustavi boja koji su orijentirani prema nijansi kao i drugi sustavi boja koji su već predstavljani u ovom poglavlju nisu jedine mogućnosti dizajna obrada slike, analize i algoritama za prepoznavanje uzoraka za slike u boji.



(a)



(b)

Slika 10. Segmentacija ljudske kože: (a) izvorna slika i (b) segmentirana slika [8]

### 3.4. Kompresija i kodiranje slike

Nekoliko transformacija boja obično se koristi za potrebe kodiranja slika. Budući da je RGB sustav standardni sustav boja koji se koristi za prikupljanje slika te uređaja za prikaz, mnogi danas popularni formati slikovnih datoteka, kao što je BMP (Bitmap), GIF (Graphic Interchange Format) i TIFF (Tagged Image Format) pohranjuju slike u boji kao RGB podatke. U ovim formatima, svaka od tri komponente boje predstavljena je jednakom dubinom bita i svaki kanal u boji s jednakom prostornom rezolucijom. Takve reprezentacije možda nisu idealne sa stajališta učinkovitosti jer je ljudski vizualni sustav osjetljiv na zeleno, a manje osjetljiv na crveno i plavo svjetlo.

Kako bi se uzele u obzir gore navedene karakteristike ljudske percepcije, napredni formati datoteka, kao što je JPEG (Joint Photographic Experts Group) za digitalne slike i MPEG (Moving Picture Experts Group) za digitalni video, prvo RGB sliku u boji treba



pretvoriti u neki drugi sustav boja, a zatim kodirati sadržaj te slike obradom transformiranih vrijednosti piksela. Kod kodiranja slika i videa koriste se različiti prikazi svjetline i boje signala slike za kodiranje, zbog činjenice da su takvi prikazi analogni na receptivno polje koje kodira ganglijske stanice u ljudskoj retini. Svjetlina se odnosi na percipiranu svjetlinu dok je boja određena nijansom koju karakterizira ton boje te zasićenost koja označava čistoću boje.

Dva najpopularnija prikaza svjetline i boje signala slike temelji se na YUV i  $YC_bC_r$ . YUV prikaz (slika 11) koristi se u nekoliko televizijskih sustava u boji, kao što je NTSC (National Television System Committee), PAL (Phase-alternating Line) te SECAM (Electronic Color System With Memory). Komponenta osvjetljenja Y te dvije komponente boje U i V mogu se dobiti iz tripleta RGB kao što slijedi:

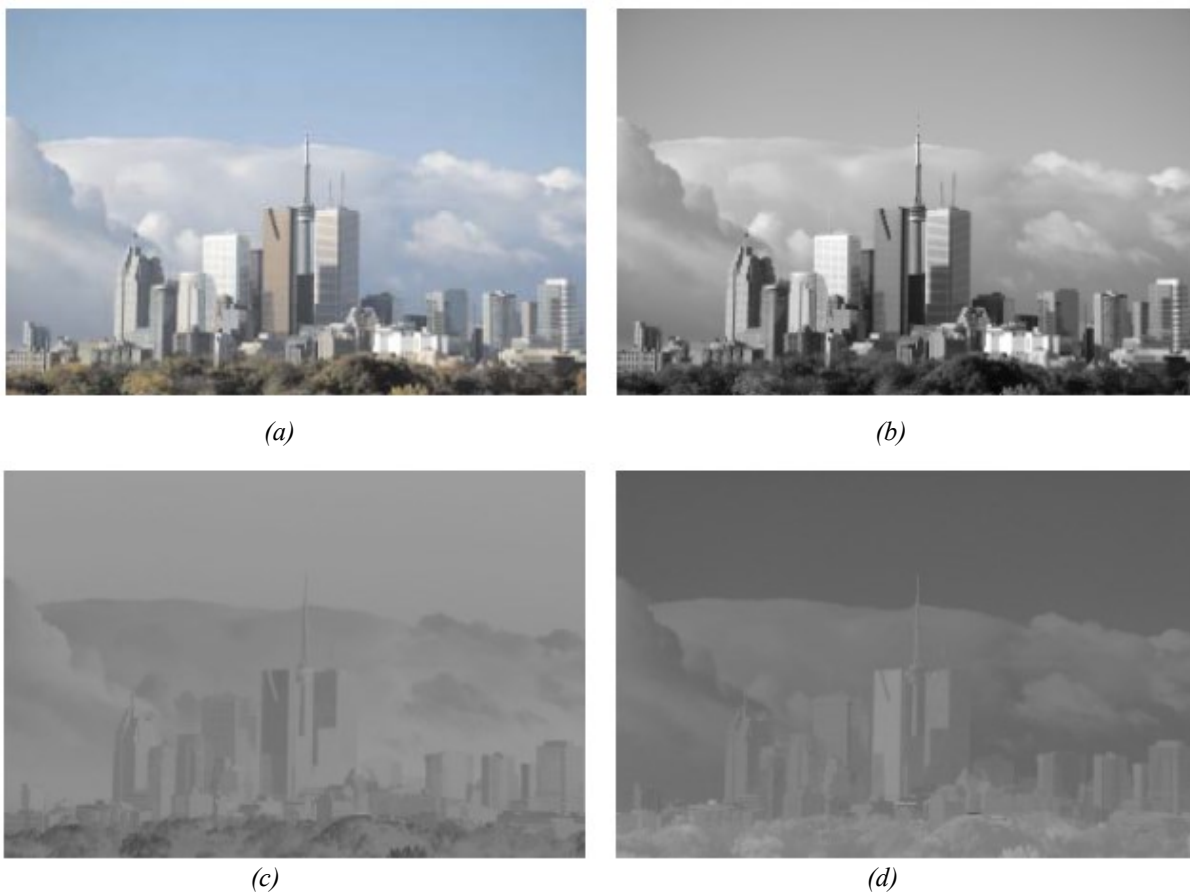
$$\begin{bmatrix} Y \\ U \\ V \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.299 & 0.587 & 0.114 \\ -0.147 & -0.289 & 0.436 \\ 0.615 & -0.515 & -0.100 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix} \quad (7)$$

U i V se mogu izraziti korištenjem Y kao  $U = 0,492 (B - Y)$  i  $V = 0,877 (R - Y)$ .

$YC_bC_r$  prikaz koristi se u digitalnom kodiranju slike i videa. Pretvorba formula od RGB do  $YC_bC_r$  vrijednosti definirana je na sljedeći način:

$$\begin{bmatrix} Y \\ C_b \\ C_r \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.299 & 0.587 & 0.114 \\ -0.169 & -0.331 & 0.500 \\ 0.500 & -0.419 & -0.081 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix} \quad (8)$$

gdje se komponente boje  $C_b$  i  $C_r$  mogu ekvivalentno izraziti pomoću Y kao  $C_b = 0,564 (B - Y)$  i  $C_r = 0,713 (R - Y)$ .



Slika 11. Reprezentacija svjetline i krominacije slike u boji: (a) izvorna slika, (b)  $Y$  ravnina svjetline, (c) ravnina krominacije  $U$  i (d) ravnina krominacije  $V$  [8]

Budući da  $U$  i  $C_b$  predstavljaju smanjenu verziju razlike između plave boje signala i signala osvijetljenja, oni također pokazuju u kojoj mjeri boja odstupa od sive do plave. Slično tome i  $V$  i  $C_r$  označavaju raspon čija boja odstupa od sive do crvene, jer se mogu izraziti kao razlika između crvenog signala i signala svjetline. Treba također napomenuti da pretvorba iz RGB u gornje prikaze svjetline i boja često uključuje gama korekciju kako bi se aproksimirao nelinearni odgovor sustava prikaza na ulazni naponski signal.

Količina podataka koja je potrebna za predstavljanje digitalne slike u bilo kojem sustavu boja, može se smanjiti kompresijom slike. Postizanje velike brzine kompresije i dobre vizualne kvalitete komprimiranih slika bio je pokretački čimbenik na tom polju. Bolje razumijevanje ljudskog vizualnog sustava, a posebno njegovu toleranciju na skromne količine gubitaka omogućila je kompresija. Drugo važno zapažanje koje se koristi u kodiranju je u vezi s prikazom svjetline i boje signala slike; naime ljudski vizualni sustav manje je osjetljiv na visoke frekvencije u boji nego u svjetlini. Stoga prostorna rezolucija ravnina boja može biti smanjena u usporedbi s osvijetljenjem bez ikakve vizualne degradacije

slika. Ravnine boja su uzorkovane faktorom u rasponu od dva do četiri, omogućujući postizanje smanjenih brzina prijenosa za informacije o boji kodiranja uz zadržavanje željene vizualne kvalitete.

## 4. Boja u slikama

Većina sustava boja koji se danas koriste orijentirani su ili prema hardveru ili prema aplikacijama čiji je cilj manipulacija bojama. Što se tiče digitalne obrade slike, hardverski orijentirani sustavi koji se najčešće koriste u praksi su RGB sustav za monitore u boji te široka klasa video kamera u boji. CMY i CMYK sustavi su za ispis u boji i HSV sustav, koji blisko korespondira s načinom na koji čovjek opisuje i tumači boje.

Svrha sustava boja je olakšati označavanje boja u nekom standardnom, općeprihvaćen načinu. Danas se koriste brojni sustavi boja zbog činjenice da je znanost o boji široko područje koje obuhvaća mnoga područja primjene.

### 4.1. sRGB

Kako bih se standardizirao sustav boja koji bih se prikazivano na zaslonima, osmišljen je sustav sRGB. Izvorno su sRGB predložili Hewlett-Packard i Microsoft, a kasnije je standardiziran od strane „Međunarodne elektrotehničke komisije (*IEC, eng. The International Electrotechnical Commission*)“. sRGB pretpostavlja određene standardne uvjeta gledanja koje su tipične za korištenje kod računalnih monitora. Također specificira transformaciju od standardne gama korekcije do one koja je linearna s intenzitetom svjetla, kako slijedi: (sa svakim kanalom boje  $I$  u (R, G, B) sada normaliziranim na raspon  $[0, 1]$ ): Za  $I = R, G, B$ , primjenjujemo funkciju:

$$\begin{cases} I = I' / 12.92 & \text{ako je } I' < 0.04045 \\ I = ((I' + 0.055) / 1.055)^{2.4} & \text{inače} \end{cases} \quad (9)$$

Uzimajući u obzir cijeli oblik krivulje, približno je to  $\gamma$  vrijednost od 2,2.

Također, sRGB standard specificira kolorimetrijsku transformaciju koja će iz linearne sRGB vrijednosti biti usmjerena na u CIEXYZ tropodražajnim vrijednostima sustava boja u središtu čovjeka:

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.4124 & 0.3576 & 0.1805 \\ 0.2126 & 0.7152 & 0.0722 \\ 0.0193 & 0.1192 & 0.9505 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix} \quad (10)$$

## 4.2. CMY sustav boja

CMY sustav boja je subtraktivan. To znači da oduzima ili maskira boje s bijele pozadine papira. Tinta smanjuje reflektirano svjetlo. Bijelo svjetlo minus crveno svjetlo ostavlja cijan, bijelo svjetlo minus zeleno svjetlo ostavlja magenta, a bijelo svjetlo minus plavo svjetlo ostavlja žuto. Bijela je prirodna boja papira, dok crna nastaje kombinacijom tih triju tinti u boji. Za razliku od CMYK sustava boja, CMY ne koristi dodatnu crnu tintu. CMY nije ekonomičan i nije tako dobar u reprodukciji tamnih nijansi.

Dakle, umjesto crvenih, zelenih i plavih primara, trebaju nam primari koji se računaju tako da se oduzima R ili G ili B. Takvi primari subtraktivne boje su cijan (C), magenta (M) i žuta (Y) tinta. Slika 12 pokazuje kako su povezana ta dva sustava, RGB i CMY. U aditivnom RGB sustavu crna označava da „nema svjetla“,  $RGB = (0, 0, 0)$ . Ali, u subtraktivnom CMY sustavu pojavljuje se crna boja koja oduzima sve svjetlosti polaganjem tinte s  $C = M = Y = 1$ .

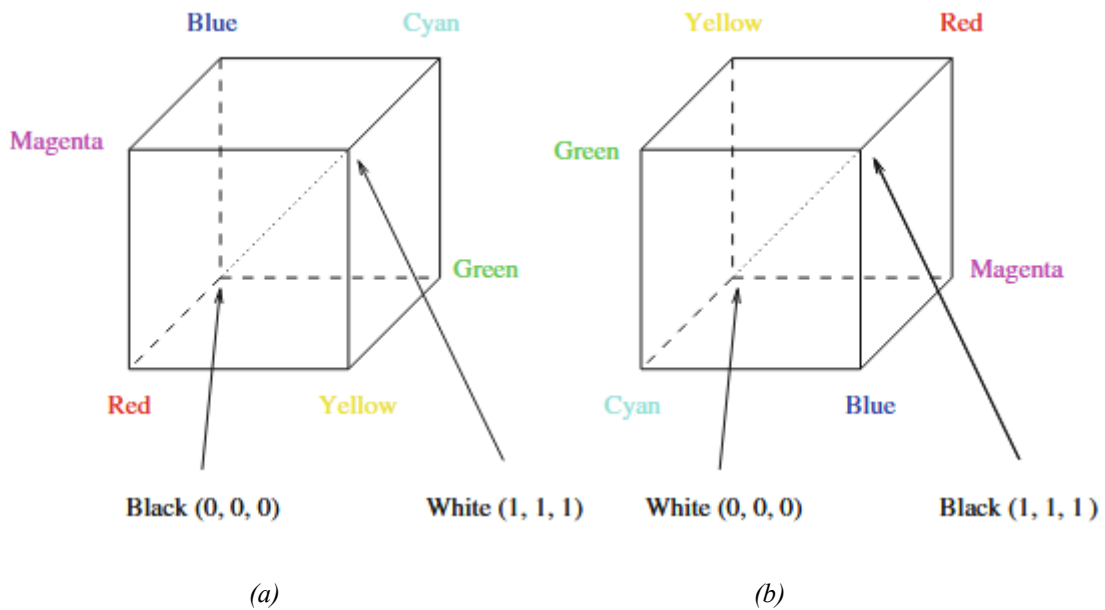
## 4.3. Transformacija iz RGB u CMY

S obzirom na ulogu tinte u subtraktivnim sustavima, najjednostavniji sustav koji se može izmisliti kako bi se odredilo koju gustoću tinte staviti na papir da bi se stvorila određena RGB boja, slijedi:

$$\begin{bmatrix} C \\ M \\ Y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \\ 1 \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix} \quad (11)$$

Tada je inverzna transformacija

$$\begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \\ 1 \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} C \\ M \\ Y \end{bmatrix} \quad (12)$$



Slika 12. (a) RGB i (b) CMY kočke boja [14]

#### 4.4. CMYK sustav boja

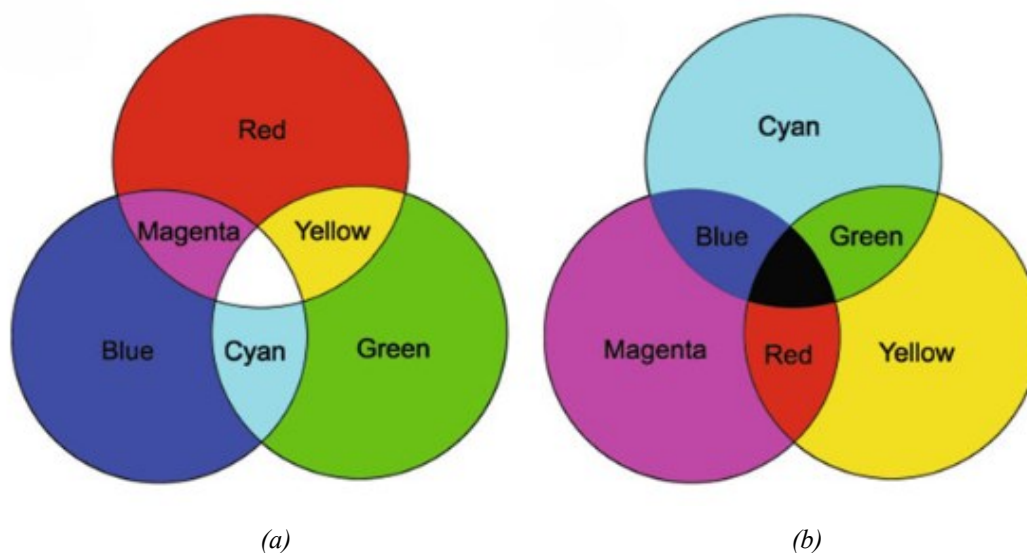
CMYK sustav boja koristi dodatnu tintu K, koja predstavlja crnu boju. Kako C, M i Y miješanjem daju skoro crnu, a ne pravu crnu tintu, jeftinije je koristiti dodatnu crnu tintu nego miješati te tri boje kako bi se dobila crna.

Budući da K predstavlja količinu crne, nova specifikacija boje je:

$$K = \min\{C, M, Y\}$$

$$\begin{bmatrix} C \\ M \\ Y \end{bmatrix} \rightarrow \begin{bmatrix} C - K \\ M - K \\ Y - K \end{bmatrix} \quad (13)$$

Slika 13 prikazuje kombinacije boja koje proizlaze iz miješanja primarnih boja dostupnih u dvije situacije, aditivna boja, u kojoj se obično navodi korištenje boja RGB-a te subtraktivna boja, u kojoj se obično navodi korištenje boja CMY ili CMYK.



Slika 13. Aditivna i suptraktivna boja: (a) RGB, koristi se za određivanje aditivne boje, (b) CMY, koristi se za određivanje subtraktivne boje [14]

## 4.5. HSV

HSV sustav boja sličniji je spektru boja koje ljudsko oko percipira i idealan sustav koji se koristi u algoritmu za obradu i uređivanje slika koja se temelji na boji. H (Hue) označava „nijansu“, ton boje kao što su crvena, žuta, zelena, plava ili kombinacija tih boja. S (Saturation) označava „zasićenje“ boje, to jest intenzitet sive boje. Pri maksimalnom zasićenju boja ne sadrži sivu dok pri minimalnom zasićenju boja uglavnom sadrži sivu. V (Value) označava „vrijednost“, što znači koliko bijele ili crne boje sadrži određena boja.

RGB podaci se pretvaraju u HSV sustav boja na sljedeći način: uz pretpostavku R,G,B u 0..255:

$$M = \max\{R, G, B\}$$

$$m = \min\{R, G, B\}$$

$$V = M$$

$$S = \begin{cases} 0 & \text{ako je } V = 0 \\ (V - m)/V & \text{ako je } V > 0 \end{cases} \quad (14)$$

$$H = \begin{cases} 0 & \text{ako je } S = 0 \\ 60(G - B)/(M - m) & \text{ako je } (M = R \text{ i } G \geq B) \\ 60(G - B)/(M - m) + 360 & \text{ako je } (M = R \text{ i } G < B) \\ 60(B - R)/(M - m) + 120 & \text{ako je } M = G \\ 60(R - G)/(M - m) + 240 & \text{ako je } M = B \end{cases}$$

gdje M i m označavaju maksimum i minimum (R, G, B) tripleta.



## 5. Boja u videu

Metode rukovanja boja u digitalnom videu uglavnom su izvedene iz starijih analognih metoda kodiranja boja za televiziju. Obično se neka verzija svjetline kombinira s informacijom boja u jednom signalu. Na primjer, metoda matrične transformacije slična je jednadžbi nazvanoj YIQ koja se koristi za prijenos televizijskog signala u Sjevernoj Americi i Japanu. Takvo kodiranje ulazi u kodiranje VHS videovrpca u tim zemljama, budući da tehnologije videovrpca koriste YIQ. U Europi se koristi PAL ili SECAM kodiranje, koji koriste matrične transformacije nazvane YUV za prijenos televizijskog signala. Konačno, digitalni video općenito koristi matričnu transformaciju nazvanu YCbCr koja je blisko povezana s YUV.

### 5.1. YUV sustav boja

U početku se YUV kodiranje koristilo za PAL analogni video. Sada postoji YUV verzija koja se također koristi u CCIR 601 standardu za digitalni video. Prvo se kodira signal svjetline (za gama-korigirane signale) jednak  $Y'$  u jednadžbi 15.

$$Y' = 0.299 * R' + 0.587 * G' + 0.114 * B' \quad (15)$$

$Y'$  je slična, ali nije jednaka CIE vrijednostima svjetline  $Y$ , s gama korekcijom. U multimediji, često se miješa razlika između  $Y$  te  $Y'$  i jednostavno se oboje nazivaju svjetlinom. Kao i magnituda ili svjetlina, potrebna nam je skala boja i to za svrhu krominacija koja se odnosi na razliku između boje i referentne bijele boje iste svjetline. Može se prikazati razlikama u boji  $U$ ,  $V$ :

$$\begin{aligned} U &= B' - Y' \\ V &= R' - Y' \end{aligned} \quad (16)$$

Iz jednadžbi 15, 16 glasi

$$\begin{bmatrix} Y' \\ U \\ V \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.299 & 0.587 & 0.114 \\ -0.299 & -0.587 & 0.886 \\ 0.701 & -0.587 & -0.114 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R' \\ G' \\ B' \end{bmatrix} \quad (17)$$

Ide se unatrag, od  $(Y', U, V)$  do  $(R', G', B')$ , invertiranjem matrice u jednadžbi 17.

Treba imati na umu da je za sivi piksel  $R' = G' = B'$  svjetlina  $Y'$  jednaka toj istoj sivoj vrijednosti  $R'$  budući da je zbroj koeficijenata u jednadžbi 15  $0,299 + 0,587 + 0,114 = 1,0$ . Također, za takvu sivu („crno-bijelu“) sliku, boja  $(U, V)$  je nula jer je zbroj koeficijenata u svakoj od donja dva u jednadžbi 17 nula. Stoga bi se televizija u boji mogla prikazati na prethodnom crnom, a bijela televizija samo pomoću  $Y'$  signala. Za kompatibilnost televizije u boji koristi se stari crno-bijeli signal bez informacija o boji identificiranjem signala  $Y'$ .

Konačno, u stvarnoj implementaciji  $U$  i  $V$  se mijenjaju u prikladniji maksimum i minimum. Mjerila su odabrana za analogni video tako da je svaki od  $U$  ili  $V$  ograničen na raspon između  $\pm 0,5$  puta maksimum  $Y'$ .

Takvo skaliranje odražava se na to kako se nositi s komponentnim videom - tri odvojena signala. Za rad s kompozitnim videom u kojem želimo sastaviti pojedinačni signal boja iz  $U$  i  $V$ , ispada da je prikladno sadržati  $U, V$  u rasponu od  $-1/3$  do  $+4/3$ . To je tako da kompozitni signal veličina  $Y' \pm \sqrt{U^2 + V^2}$  ostat će unutar granica amplitude zapisa oprema. U tu svrhu,  $U$  i  $V$  se skaliraju na sljedeći način:

$$\begin{aligned} U &= 0.492111(B' - Y') \\ V &= 0.877283(R' - Y') \end{aligned} \quad (18)$$

Transformacija iz  $R', G', B'$  u  $Y', U, V$  slijedi:

$$\begin{bmatrix} Y' \\ U \\ V \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.299 & 0.587 & 0.114 \\ -0.14713 & -0.28886 & 0.436 \\ 0.615 & -0.51499 & -0.10001 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R' \\ G' \\ B' \end{bmatrix} \quad (19)$$

Ide se unatrag, od  $(Y', U, V)$  do  $(R', G', B')$ , invertiranjem matrice u jednadžbi 19, kako slijedi:

$$\begin{bmatrix} R' \\ G' \\ B' \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1.0000 & 0.0000 & 1.13983 \\ 1.0000 & -0.39465 & -0.58059 \\ 1.0000 & 2.03211 & -0.0000 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} Y' \\ U \\ V \end{bmatrix} \quad (20)$$

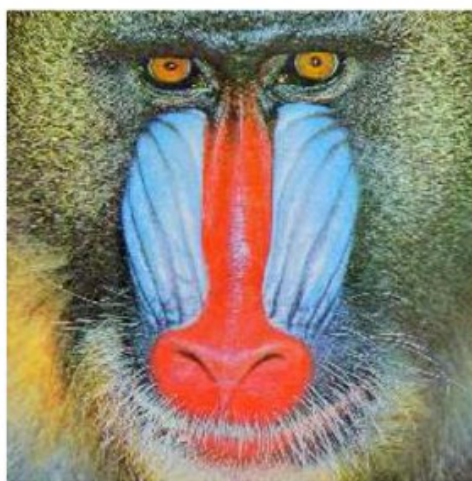
Tada se signal boje sastoji od U i V kao kompozitni signal gdje  $\omega$  predstavlja NTSC frekvenciju boja.

$$C = U * \cos(\omega t) + V * \sin(\omega t) \quad (21)$$

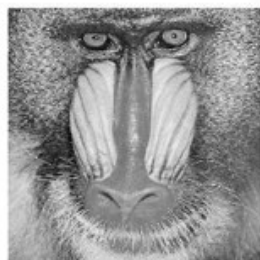
Iz jednadžbe 19 primjećujemo da nula nije minimalna vrijednost za U i V. Ako govorimo o stvarnim terminima pozitivnih boja, U je približno od plave ( $U > 0$ ) do žute ( $U < 0$ ) u RGB kocki dok je V približno od crvene ( $V > 0$ ) do cijan ( $V < 0$ ).

Slika 14 prikazuje dekompoziciju slike u boji na njezine Y', U te V komponente. Budući da su U i V negativni, za prikaz su slike pomaknute te su promijenjene verzije stvarnih signala.

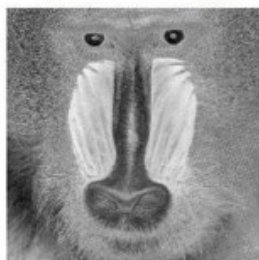
Budući da je oko najosjetljivije na crno-bijele varijacije u prostornom smislu, frekvenciji u analognom PAL signalu dodijeljena je širina pojasa od samo 1,3 MHz za U i V, dok je 5,5 MHz rezervirano za Y' signal.



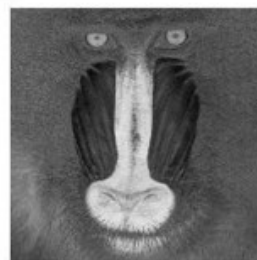
(a)



(b)



(c)



(d)

Slika 14. Y'UV dekompozicija slike u boji. (a) Izvorna slika u boji, (b) Y', (c) U, (d) V [10]

## 5.2. YCbCr sustav boja

Međunarodni standard za komponentni (tri signala, studijska kvaliteta) digitalni video službeno je ITU-R BT.601-4 (poznat kao „Rec. 601“). Ovaj standard koristi sustav boja,  $YC_bC_r$ , često jednostavno napisan YCbCr. Transformacija YCbCr koristi se u JPEG kompresiji slike i MPEG video kompresiji i usko je povezana s YUV transformacija. YUV se mijenja skaliranjem tako da  $C_b$  bude U, ali s koeficijentom 0,5 koji množi B'. U nekim softverskim sustavima,  $C_b$  i  $C_r$  su također pomaknuti tako da su vrijednosti između 0 i 1. To čini jednadžbe sljedećim:

$$\begin{aligned}C_b &= ((B' - Y' / 1.772 + 0.5)) \\C_r &= ((R' - Y' / 1.402 + 0.5))\end{aligned}\tag{22}$$

Tako napisano imamo,

$$\begin{bmatrix} Y' \\ C_b \\ C_r \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.299 & 0.587 & 0.114 \\ -0.169 & -0.331 & 0.500 \\ 0.500 & -0.419 & -0.081 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R' \\ G' \\ B' \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ 0.5 \\ 0.5 \end{bmatrix}\tag{23}$$

U praksi, Rec. 601 specificira 8-bitno kodiranje, s maksimalnom vrijednošću Y' od samo 219 i minimalnom vrijednošću +16. Vrijednosti ispod 16 i iznad 235 označavaju visinu i prostor za noge, koji je rezerviran je za drugu obradu.  $C_b$  i  $C_r$  imaju raspon od  $\pm 112$  i pomak od +128 (drugim riječima, najviše 240, a najmanje 16). Ako su R', G', B' plutajući elementi [0 .. + 1], dobivamo Y',  $C_b$ ,  $C_r$  u [0 .. 255] putem transformacije:

$$\begin{bmatrix} Y' \\ C_b \\ C_r \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 65.481 & 128.553 & 24.966 \\ -37.797 & -74.203 & 112 \\ 112 & -93.786 & -18.214 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R' \\ G' \\ B' \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 16 \\ 128 \\ 128 \end{bmatrix}\tag{24}$$

Izlazni raspon je također ograničen na [1 .. 254], budući da se Rec. 601 sinkronizacija signala daju kodovima 0 i 255.

## 6. Zaključak

Postoje dva načina na koje se može razmišljati pomoću multimedije. Prvi je razmišljati o multimediji kroz definicije, povijest, primjere i teorijske probleme. Drugi način je koristiti multimediju, istraživati mogućnosti multimedije i komunicirati pomoću nje.

Danas kada je rad od kuće, nastava na daljinu, komunikacija putem društvenih mreža i korištenje samih društvenih mreža za obradu slika i videa postala svakodnevica, ljudi sve više postaju svjesniji snage boje u multimediji i multimedije općenito. Eksplozivan rast u raznolikosti rješenja za obradu slike i videa razvijen u proteklom desetljeću rezultirao je, među ostalim, brojnim komercijalnim proizvodima za digitalne slike i multimedijske aplikacije gdje boja pruža ključne informacije ljudskim promatračima i strojevima za obradu podataka. Rad je predstavio razne metode za korištenje boja u svrhu snimanja slike i videa, obrade, analize, pohrane, prikazivanja, ispisa, kvantitativne manipulacije slike i procjenu kvalitete koji mogu pomoći čitatelju da prepozna kada i koji sustav boja koristiti za ono što mu treba.

## Popis literature

[1] S. Mahbubur Rahman, *Multimedia Technologies: Concepts, Methodologies, Tools, and Applications*, Sjedinjene Američke Države, 2008.

[2] M. Giri, Introduction to Multimedia and its Components and Applications

Dostupno na: <https://informerguru.com/multimedia-components-and-applications/>

[3] A. Sharma, *Multimedia systems*, Lovely Professional University Phagwara

Dostupno na:

[https://ebooks.lpude.in/computer\\_application/bca/term\\_5/DCAP303\\_MULTIMEDIA\\_SYS\\_TEMS.pdf](https://ebooks.lpude.in/computer_application/bca/term_5/DCAP303_MULTIMEDIA_SYS_TEMS.pdf)

[4] A. Pavithra, M. Aathilingam i S. Murukanantha Prakash, „Multimedia and its applications“, *International Journal For Research & Development In Technology*, 2018.

[5] B. Edwards, *Color: a course in mastering the art of mixing colors*, 2004.

[6] NCERT, *The human eye and the colorful world*, Book class 10

[7] T. C. Litzinger i K. Del Rio-Tsonis, „Eye Anatomy“, 2012.

[8] R. Lukac, *Recent Advances in Multimedia Signal Processing and Communications: Color in Multimedia*, 2009.

[9] D. Hema i S. Kannan, „Interactive Color Image Segmentation using HSV Color Space“, *Science and Technology Journal Vol. 7*

[10] M. El-Gayyar, Fundamentals of Multimedia: Color in Image & Video

[11] R. Gupta, „Study of Color Image Processing For Capturing and Comparing Images“, *International Journal of Recent Research in Mathematics Computer Science and Information Technology*: Vol. 2, Issue 1, 2015.

[12] P. Hidayatullah i M. Zwhdi, „Color-texture based object tracking using HSV color space and local binary pattern“, *International Journal on Electrical Engineering and Informatics*: Volume 7, June 2015.

[13] Z. Li i M. S. Drew, *Fundamentals of multimedia*, Sjedinjene Američke Države: Prentice Hall Ed edition, 2003.

[14] Z. Li i Mark S. Drew, *Fundamentals of multimedia*, Springer 2nd edition, 2014.

## Popis slika

Slika 1. Multimedijски sustavi.....	3
Slika 2. Newtonov krug boja iz knjige Optika, knjiga I, dio II, London, 1704. [5].....	6
Slika 3. Primarne (a), sekundarne (b) i tercijarne boje (c) [5].....	7
Slika 4. Procijenjena efektivna osjetljivost čunjića. Vodoravna os prikazuje valne duljine u nanometrима [8].....	9
Slika 5. CIE $\bar{r}(\lambda)$ , $\bar{g}(\lambda)$ , $\bar{b}(\lambda)$ funkcije podudaranja. Vodoravna os prikazuje valne duljine u nanometrима [8].....	11
Slika 6. CIE $\bar{x}(\lambda)$ , $\bar{y}(\lambda)$ , $\bar{z}(\lambda)$ funkcije podudaranja. Vodoravna os prikazuje valne duljine u nanometrима [8].....	11
Slika 7. CIE xy dijagram kromatičnosti [8].....	13
Slika 8. Predstavljanje slike pomoću: (a) RGB vrijednosti i (b) normaliziranih RGB vrijednosti [18].....	14
Slika 9. HSV sustav boja [8].....	16
Slika 10. Segmentacija ljudske kože: (a) izvorna slika i (b) segmentirana slika [8].....	17
Slika 11. Reprezentacija svjetline i krominacije slike u boji: (a) izvorna slika, (b) Y ravnina svjetline, (c) ravnina krominacije U i (d) ravnina krominacije V [8].....	19
Slika 12. RGB (a) i CMY (b) kocke boja [14].....	23
Slika 13. Aditivna i suptraktivna boja: (a) RGB, koristi se za određivanje aditivne boje, (b) CMY, koristi se za određivanje subtraktivne boje [14].....	24
Slika 14. Y'UV dekompozicija slike u boji. (a) Izvorna slika u boji, (b) Y', (c) U, (d) V [10].....	29



Veleučilište u Virovitici

**OBRAZAC 5**

**IZJAVA O AUTORSTVU**

Ja, TENA PETERFAJ

izjavljujem da sam autor/ica završnog/diplomskog rada pod nazivom

BOJA U MULTIMEDIJSKIM  
SUSTAVIMA

Svojim vlastoručnim potpisom jamčim sljedeće:

- da je predani završni/diplomski rad isključivo rezultat mog vlastitog rada koji se temelji na mojim istraživanjima i oslanja se na objavljenu literaturu, a što pokazuju korištene bilješke i bibliografija,
- da su radovi i mišljenja drugih autora/ica, koje sam u svom radu koristio/la, jasno navedeni i označeni u tekstu te u popisu literature,
- da sam u radu poštivao/la pravila znanstvenog i akademskog rada.

Potpis studenta/ice

Tenf.





Veleučilište u Virovitici

**OBRAZAC 6**

**ODOBRENJE ZA POHRANU I OBJAVU  
ZAVRŠNOG/DIPLOMSKOG RADA**

Ja TENA PETERFAJ

dajem odobrenje za objavljivanje mog autorskog završnog/diplomskog rada u javno dostupnom digitalnom repozitoriju Veleučilišta u Virovitici te u javnoj internetskoj bazi završnih radova Nacionalne i sveučilišne knjižnice bez vremenskog ograničenja i novčane nadoknade, a u skladu s odredbama članka 83. stavka 11. Zakona o znanstvenoj djelatnosti i visokom obrazovanju (NN 123/03, 198/03, 105/04, 174/04, 02/07, 46/07, 45/09, 63/11, 94/13, 139/13, 101/14, 60/15, 131/17).

Potvrđujem da je za pohranu dostavljena završna verzija obranjenog i dovršenog završnog/diplomskog rada. Ovom izjavom, kao autor navedenog rada dajem odobrenje i da se moj rad, bez naknade, trajno javno objavi i besplatno učini dostupnim:

- a) široj javnosti
- b) studentima i djelatnicima ustanove
- c) široj javnosti, ali nakon protoka 6 / 12 / 24 mjeseci (zaokružite odgovarajući broj mjeseci).

Potpis studenta/ice

Tenp.

U Virovitici, 07.09.2022.

*\*U slučaju potrebe dodatnog ograničavanja pristupa Vašem završnom/diplomskom radu, podnosi se pisani obrazloženi zahtjev.*