

SIMULACIJA EFEKATA SLEPILA ZA BOJE**COLOR BLINDNESS SIMULATION**Aleksandra Haška, Željens Trpovski, *Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad***Oblast – ANIMACIJA U INŽENJERSTVU**

Kratak sadržaj – Cilj ovog rada jeste iznalaženje načina za prevazilaženje dishromatopsije i mogućnosti za njeno rano otkrivanje, kao i simulacija samog efekta radi bližeg i boljeg razumevanja kako osobe sa dishromatopsijom zaista vide. U radu je prezentovan način dolaženja do adekvatne simulacije efekata slepila za boje. U prvom delu rada obrađena je anatomija dela ljudskog oka koji je odgovoran za viđenje boja. Za implementaciju simulacije efekata protanopije, deuteranopije i tritanopije neophodno je izvršiti prelazak iz RGB u LMS prostor boja. Proces prelaska iz jednog prostora boja u drugi zahtevao je razumevanje sve tri vrste nedostatka, kako bi se na podoban način uticalo na odgovarajuće čepiće.

Cljučne reči: Dishromatopsija, LMS, RGB.

Abstract – The aim of this paper is finding ways of overcoming dyschromatopsia and the possibility of its early detection, as well as simulating its effects for better understanding of how people with color blindness actually see. The paper presents a way to get an adequate simulation of color blindness. The first part goes over human eye anatomy which is responsible for color vision. To implement a simulation of protanopia, deuteranopia and tritanopia it is necessary to perform the transition from RGB to LMS color space. The transition process requires understanding of all three types of color blindness, only then can we properly affect the appropriate cones.

Keywords: Dyschromatopsia, LMS, RGB.

1. UVOD

Smatra se da je oko, posle mozga, najkompleksniji organ u ljudskom telu, budući da je sastavljeno od preko 2 miliona delova. Ljudsko oko omogućava svakom pojedincu da razume svoje okruženje, kao i da u potpunosti iskusi život. Tako, kroz vid čovek dobija informacije o obliku, udaljenosti, bojama, kretanju i dubini posmatranog predmeta. Upravo sposobnost oka da raspozna boje čini ga kompleksnim i jednim od najsavršenijih organa u našem telu. Ljudsko oko može da razlikuje do 10 miliona boja. Međutim, nije svaki čovek sposoban da raspozna sve boje koje se nalaze u našem okruženju. Ovakve vrste oboljenja oka mogu biti genetski nasledne, urođene, ili se mogu pojaviti kao nuspojava nekog drugog ozbiljnog problema kao što je alkoholizam, upotreba pojedinih lekova, određene vrste skleroze, dijabetesa i drugo.

NAPOMENA:

Ovaj rad proistekao je iz master rada čiji mentor je bio dr Željens Trpovski, vanr. prof.

Danas postoji čitav niz poslova za koje je neophodno dobro razlikovanje boja. Takvi poslovi su najčešće povezani sa raznim vrstama dizajna i u uskoj su vezi sa estetikom. Recimo, vrste zanimanja u kojima je raspoznavanje boja neizbežno su poslovi modnih dizajnera, dizajnera enterijera i eksterijera, grafičkih dizajnera i drugih. Osim važnosti raspoznavanja boja u poslovnom svetu, mnogo relevantnije su situacije u kojima obolela osoba može da predstavlja opasnost, kako po sebe, tako i za druge. Najbolji primer za takvu situaciju jeste učestvovanje osobe sa dishromatopsijom u saobraćaju, gde postoje semafori i saobraćajni znaci koji – ukoliko nisu dobro protumačeni – mogu da dovedu do tragičnih posledica. Kako bi se ove situacije izbegle, postoje razni načini redukcije ili prevazilaženja većine vrsta pomenutih anomalija, kao i mnogobrojni testovi koji pomažu u njihovom ranom otkrivanju.

2. ANATOMIJA LJUDSKOG OKA

Najsofisticiraniji organ u ljudskom telu jeste oko (slika 1). Oko predstavlja prozor kroz koji vidimo svet, a ujedno je i naš najosetljiviji organ. Putem oka čovek prima oko 90 % informacija iz spoljašnjeg sveta i zbog toga se vid smatra najvažnijim čulom.

Oko predstavlja parni čulni organ. Osnovna podela čula vida može se svesti na tri funkcionalne celine i to:

- očni živac,
- očna jabučica,
- pomoćni organi oka.

Nervna opna očne jabučice je sastavljena iz dva funkcionalno i morfološki različita sloja (pigmentni sloj i mrežnjača) koja su, između ostalog, zadužena i za viđenje boja.

Mrežnjača je fotosenzitivan sloj, odnosno jedini sloj u ljudskom oku koji reaguje na svetlosne zrake koji ulaze u oko. Sastavljena je od nervnog tkiva i predstavlja najvažniji deo oka za proces viđenja. Sastoji se od tri sloja nervnih ćelija i dva sloja sinaptičkih veza. Ganglijske ćelije su smeštene u unutrašnjosti mrežnjače, dok su fotoreceptori na samim krajevima.

Fotoreceptori su specijalizovani neuroni osetljivi na svetlost i imaju sposobnost da svetlosnu energiju pretvore u signale koji mogu da stimulišu biološke procese. Tačnije, proteini receptora apsorbuju fotone unutar ćelije, izazivajući promenu potencijala ćelijske membrane. Takvi impulsi se šalju putem nervnih ćelija u potiljačni deo kore velikog mozga gde se nalazi centar čula vida. U njemu se prvobitno obrnuta slika pretvara u stvarnu, uspravnu i u punoj veličini. Postoje tri tipa fotoreceptora kod čoveka: kupaste ćelije (čepići), štapićaste ćelije (štapići) i fotosenzitivne ganglijske ćelije.

Štapići ili štapićaste ćelije predstavljaju fotoreceptorske ćelije koje su locirane u spoljašnjem omotaču mrežnjače. One su gotovo u potpunosti odgovorne za noćni vid. U proseku, ljudska mrežnjača sadrži oko 90 miliona štapićastih ćelija. Za razliku od čepića, ove ćelije poseduju samo jednu vrstu svetlosno osetljivih pigmenata i zbog toga imaju malu ili nikakvu ulogu u viđenju boja. Štapići su takođe odgovorni za periferni vid i karakteriše ih velika osetljivost.

Kupaste ćelije poznatije kao čepići predstavljaju još jedan tip fotoreceptorskih ćelija koje su locirane u mrežnjači ljudskog oka. Uloga čepića jeste viđenje boja, za šta im je najčešće potrebna relativno jaka svetlost, za razliku od štapića koji bolje deluju pri slabom osvetljenju. Čepići su zgusnuti u centru, sa malim poljem pomeraja od 0,3mm bez štapića, a razređeni su na periferijama mrežnjače. Ljudsko oko poseduje oko 7 miliona čepića. Odlikuje ih mala osetljivost na svetlost, ali omogućavaju percepciju boja, viđenje finijih detalja i brze promene slika. U zavisnosti od toga koji pigment poseduju, razlikujemo: S (kratkotalasne), M (srednjetalasne) i L (dugotalasne) čepiće.

3. DISHROMATOPSIJA

Najveći broj ljudi doživljava boje kombinovanjem signala nastalih aktivacijom tri vrste čepića, što predstavlja normalno viđenje boja i naziva se trihromazija. Ukoliko se izgubi funkcija jedne od te tri vrste kupastih ćelija, osoba i dalje može da prepozna prilično široku raznolikost nijansi koristeći preostale dve vrste čepića. Međutim, određeni rasponi boja, na primer raspon između crvene i zelene, teži su za razlikovanje. Takva vrsta poremećaja naziva se dishromatopsija. Dishromatopsija predstavlja zajednički naziv za različite vrste nemogućnosti opažanja boja.

Tri vrste dishromatopsije su detaljno razmatrane u ovom radu:

- Protanopija
- Deuteranopija
- Tritanopija

Protanopija predstavljaju tip nedostatka koji je urođen. Njen uzrok je nejednaka rekombinacija u nizu gena koja se nasleđuje od roditelja. Geni koji kodiraju fotopigmente L-čepića su locirani na X hromozomu. Ovaj hromozom se takođe zove hromozom pola, jer žene imaju dva X hromozoma, dok muškarci samo jedan X u kombinaciji sa Y hromozomom. Ako je nešto upisano u X hromozom, često se kaže da je povezano sa polom. Osobine povezane sa polom se češće vide na muškarcima nego na ženama jer žena uvek ima drugi X hromozom koji može da kompenzuje bilo kakve nedostatke.

Deuteranopija poznata kao zeleno-slepilo predstavlja potpunu nemogućnost opažanja svetlosti iz opsega srednjih talasnih dužina u čepićima. Deuteranopi mogu da razlikuju samo dve do tri nijanse, dok osobe sa normalnim vidom razlikuju do 7 različitih nijansi jedne boje.

Tritan defekti utiču na kratkotalasne (S) čepiće. Plavo-žuto slepilo za boje javlja se veoma retko. Razna istraživanja se značajno razlikuju u brojevima, ali se kao neko opšte usvojeno pravilo može smatrati da je maksimalno jedan od 10.000 ljudi podložan ovoj vrsti oboljenja. U odnosu na crveno-zeleno slepilo tritan defekti su autosomalni i upisani su u hromozomu 7. Ovo znači da tri-

tanopija nije povezana sa polom, tako da su žene i muškarci podjednako podložni.

4. SVETLOST I BOJE

Sredinom devetnaestog veka, rešavajući sistem od četiri jednačine koje opisuju promene električnog i magnetnog polja, britanski fizičar Džejs Klark Maksvel je došao do zapanjujućeg otkrića da se svetlost ponaša kao elektromagnetni talas, odnosno poremećaj električnog i magnetnog polja koji se prenosi kroz prostor. Odbijanjem talasa od objekata koji se nalaze u našem okruženju pa sve do ljudskog oka, gde se očnim živcem prenose do mozga, stvara se realna slika. Vidljiva svetlost predstavlja deo spektra elektromagnetnog zračenja koji se ni po čemu suštinski ne razlikuje od ostalih područja spektra i ograničavaju ga samo fiziološke osobine oka. Granice spektra koje ljudsko oko može da prepozna i da razlikuje se nalaze u intervalu od 380 – 760nm. Svaka boja koju čovek može da opazi ima karakterističnu talasnu dužinu. Najveću talasnu dužinu ima crvena boja, dok najmanju ima ljubičasta.

Normalno ljudsko oko je u stanju da razlikuje oko 26.000 boja. Zahvaljujući savršenom biološkom sastavu oka, čovek ima mogućnost da različito doživljava vidljivosti pojedinih boja. Postoje dve jedinice koje registruju vidljivost: fizička jedinica vat (W) i fiziološka jedinica lumen (lm).

Boja se može definisati kao psihofizički fenomen koji pod uticajem svetlosti tačno određene talasne dužine koja je emitovana od nekog izvora ili reflektovana od površine nekog tela, izaziva vizuelni doživljaj boje. Doživljaj boje zavisi od tri faktora:

- spektralnog sastava svetla koje pada na posmatrani predmet,
- molekularne strukture materijala sa kojeg se svetlo reflektuje ili koji ga propušta,
- čovekovih individualnih mogućnosti da opazi određenu boju.

Kako bi se što bolje definisala određena boja, razlikujemo tri atributa koja je uže definišu:

- ton boje ili tonalnost (hue),
- svetlina boje ili iluminacija (brightness),
- zasićenost ili saturacija (saturation).

5. PREVAZILAŽENJE DISHROMATOPSIJE

Iako se smatra da ne postoji lek koji leči nedostatak kao što je nemogućnost viđenja određenih boja, postoje strategije koje omogućavaju osobama koje boluju od ovog poremećaja lakše funkcionisanje u svakodnevnim aktivnostima života.

Kada su u pitanju pripreme prezentacija, reklama, veb stranica, industrijskih proizvoda itd, strategija kako da se postigne najbolji rezultat prikazivanja za osobe sa nemogućnošću viđenja čitavog spektra boja sastoji se u sledećem. Potrebno je svesno uložiti napor na delove gde boja utiče na način na koji sajt funkcioniše ili kada percepcija boje može da naruši čitljivost teksta. Poštovanjem ovih principa i pravila moguće je ostvariti zacrtani cilj, a to je postizanje prijateljskog i vizuelno lepog i prijatnog dizajna.

Osim dobre strategije koja olakšava život osobama sa dishromatopsijom, postoje i specijalne vrste sočiva koje su namenjene upravo za ovu vrstu nedostatka. Sočiva se mogu koristiti samo po danu ili u uslovima jakog osvetljenja i rade na principu promene talasne dužine svake boje koja ulazi u ljudsko oko. Dizajnirana su specijalno za svaku osobu i mogu se nositi kao kontaktna sočiva ili kao naočare sa specijalnim staklima. Rezultati pokazuju da koristeći ovakve vrste sočiva, osobe mogu bez ikakvih problema da reše čuveni test sa tablicama po Išihari, što im omogućava izrazito poboljšanje kvaliteta života.

Razvoj tehnologije je veoma napredovao i doprineo da osobe sa nedostatkom viđenja boja žive i obavljaju svakodnevne obaveze mnogo lakše nego pre. Pre svega, brojne aplikacije su dizajnirane upravo za korišćenje od strane ljudi sa opisanim nedostacima. Neke od ovih aplikacija omogućavaju korisnicima da fotografišu određen predmet i potom dodirrom željenog predela na slici saznaju boju predmeta. Postoje još sofisticiranije aplikacije koje osim boje prikazuju i naziv nijanse date boje.

Ovakve aplikacije mogu biti od koristi pri odabiru zrelog voća kao što su banane ili za pronalaženje komplementarnih boja prilikom izbora odeće. Jedna od najpopularnijih aplikacija za raspoznavanje boje na slici je *ColorBlind Helper*.

Osim aplikacija za imenovanje boja, postoje aplikacije koje prilagođavaju određene boje na fotografiji na osnovu kriterijuma obolele osobe. Ukoliko osoba ima problema sa razlikovanjem nijansi crvene ili zelene, aplikacija prilagođava nijanse tih boja tako da se najbolje prepoznaju. Osim toga, biranjem određene boje sa ekrana aplikacija zatamnjuje sve ostale boje u fotografiji. Aplikacija za prilagođavanje boja kod osoba sa dishromatopsijom naziva se *NowYouSee*.

6. SIMULACIJA EFEKTA SLEPILA ZA BOJE

Kako bi se simulirala dishromatopsija, mora se razmišljati o bojama u smislu stimulacije za L, M i S čepiće u ljudskom oku. Kako bi to uopšte bilo moguće, potrebno je pretvoriti boje iz RGB prostora boja koji se koristi u obradi u novi prostor boja nazvan LMS.

Prvi korak u ovom procesu jeste uklanjanje gama korekcije koja je primijenjena na svaku boju. Crvene, zelene i plave vrednosti su interno predstavljene kao celi brojevi u rasponu [0,255]. U ovom prikazu boja, vrednost 200 se čoveku čini dvostruko intenzivnije od vrijednosti 100, ali to ne odgovara udvostručenju energije svetlosti u fizičkom svetu. Gama korekcija pretvara intenzitet boje iz fizičkog sveta u raspored koji čovjeku izgleda uniformnije. Gama korekcija je važna, ali je neophodno ukloniti je kako bi bilo moguće izvršiti matematičke operacije na numeričkim vrednostima boja.

Crvene, zelene i plave vrednosti svake procesirane boje će biti transformisane u boje linearnog RGB prostora uklanjanjem gama korekcije koristeći sledeću formulu:

$$v' = \begin{cases} \left(\frac{v}{12,92} \right) & v \leq 0,04045 * 255 \\ \left(\frac{v}{255} + 0,055 \right)^{2,4} & v < 0,04045 * 255 \end{cases} \quad (6.1)$$

Gama korekcija se kasnije može ponovo primeniti inverznom formulom:

$$v = \begin{cases} 255(12,92v') & v' \leq 0.0031308 \\ 255(1,055v'^{0,41666} - 0,055) & v' < 0.0031308 \end{cases} \quad (6.2)$$

Nakon uklanjanja gama korekcije, svaka rezultirajuća linearna RGB vrednost se nalazi u rasponu [0,1]. Ovu formulu se može primeniti na crvene, zelene i plave vrednosti proizvoljnih procesiranih boja rezultat staviti u vektor, poput:

$$\begin{bmatrix} r_c \\ g_c \\ b_c \end{bmatrix} \quad (6.3)$$

Ovako predstavljene boje u linearnom RGB prostoru se mogu pretvoriti u XYZ prostora boja pomoću matrice transformacije M_{sRGB} . Ova sRGB matrica izračunava se pomoću XYZ vrednosti tri primarne boje koje se koriste u ovom prostoru boja.

$$M_{sRGB} = \begin{bmatrix} 0,4124564 & 0,3575761 & 0,1804375 \\ 0,2126729 & 0,7151522 & 0,0721750 \\ 0,0193339 & 0,1191920 & 0,9503041 \end{bmatrix} \quad (6.4)$$

$$M_{sRGB} \begin{bmatrix} r_c \\ g_c \\ b_c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x_c \\ y_c \\ z_c \end{bmatrix} \quad (6.5)$$

Ovo se dalje iz XYZ prostora boja u LMS prostor boja koristeći *Hunt-Pointer-Estevez* matricu transformacije:

$$M_{HPE} = \begin{bmatrix} 0,4002 & 0,7076 & -0,0808 \\ -0,2263 & 1,1653 & 0,0457 \\ 0 & 0 & 0,9182 \end{bmatrix} \quad (6.6)$$

$$M_{HPE} \begin{bmatrix} x_c \\ y_c \\ z_c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} l_c \\ m_c \\ s_c \end{bmatrix} \quad (6.7)$$

Radi jednostavnosti poželjno je pomnožiti M_{sRGB} i M_{LMS} kako bi se računala samo jedna matricu transformacije T za pretvaranje boja iz linearnog RGB prostora boja u LMS prostor boja.

$$T = M_{HPE} M_{sRGB} = \begin{bmatrix} 0,31399022 & 0,15537241 & 0,01775239 \\ 0,63951294 & 0,75789446 & 0,10944209 \\ 0,04649755 & 0,08670142 & 0,87256922 \end{bmatrix} \quad (6.8)$$

$$T \begin{bmatrix} r_c \\ g_c \\ b_c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} l_c \\ m_c \\ s_c \end{bmatrix} \quad (6.9)$$

Za pretvaranje boja iz LMS prostora boja u linearni RGB se jednostavno množi sa inverznom T^{-1} matricom.

$$T = \begin{bmatrix} 5,47221206 & -4,6419601 & 0,16963708 \\ -1,1252419 & 2,29317094 & -0,1678952 \\ 0,02980165 & -0,19318073 & 1,16364789 \end{bmatrix} \quad (6.10)$$

$$T^{-1} = \begin{bmatrix} l_c \\ m_c \\ s_c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} r_c \\ g_c \\ b_c \end{bmatrix} \quad (6.11)$$

Sada kada je predstavljeno kako pretvoriti boje iz RGB prostora boja u LMS prostor boja, moguća je i simulacija slepila za boje. Prva na redu je protanopija. Razmotriće se matrica sa varijablama a i b za dva elementa matrice:

$$\begin{bmatrix} 0 & a & b \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} l_c \\ m_c \\ s_c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} am_c + bs_c \\ m_c \\ s_c \end{bmatrix} \quad (6.12)$$

Kako se mogu koristiti samo boje koje mogu biti predstavljene u standardnom RGB prostoru boja,

primarna plava boja je najbolji izbor. Vrednosti primarne plave u linearnom RGB prostoru su $r_b = g_b = 0$ i $b_b = 1$. To se pretvara u LMS prostor boja:

$$T \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} l_b \\ m_b \\ s_b \end{bmatrix} \quad (6.13)$$

Maksimalna stimulacija S i M čepića jedinstvena za belu boju, pretpostavka mora biti odgovarajuća. U linearnom RGB prostoru bela boja je vektor jedinica, što se takođe mora pretvoriti u LMS prostor boja:

$$T \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} l_w \\ m_w \\ s_w \end{bmatrix} \quad (6.14)$$

Potrebno je pronaći takve a i b vrednosti da važe sledeće jednakosti:

$$l_b = am_b + bs_b \quad (6.15)$$

$$l_w = am_w + bs_w \quad (6.16)$$

Ako se pronađu odgovarajuće a i b vrednosti, matrica simulacije neće promeniti vrijednosti l, m ili s za belu ili za primarnu plavu boju. Kad se te boje iz LMS prostora boja prebace nazad u linearni RGB prostor pomoću T^{-1} , one će biti iste kao na početku. Trebao bi se postići bolji rezultat u simulaciji na ovaj način, jer ova simulacija slepila za boje neće promeniti belu ili plavu.

Sada se može izračunati a i b čime se dobija matrica simulacije za protanopiju:

$$S_p \begin{bmatrix} 0 & 1,05118294 & -0,05116099 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (6.17)$$

Ponavljanje gornjeg postupka s istim pretpostavkama rezultiraće ovom simulacijskom matricom:

$$S_d \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0,9513092 & 0 & 0,04866992 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (6.18)$$

Tritanopima nedostaju S čepići, te bi se ponovo mogao ponoviti gornji postupak, ali to bi bila greška. Nije tačna pretpostavka da nedostajući S čepići kod tritanopa neće uticati na njihovu sposobnost da vide plavu boju. Umesto toga, pravi se slična pretpostavka u vezi sa crvenom bojom. Ta pretpostavka daje ovu simulacijsku matricu:

$$S_t \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ -0,86744736 & 1,86727089 & 0 \end{bmatrix} \quad (6.19)$$

Ove promenjene boja u LMS prostoru se tada može pretvoriti u linearni RGB pomoću T^{-1} matrice i nakon čega se može ponovo primeniti gama korekcija. Stoga, postupak simulacije slepila za boje je jednostavno množenje matrica čime se nijanse boja kakvima ih vidi čovek sa normalnim vidom transformišu u nove, simulirane nijanse, sa gama kalkulacijom na početku i na kraju.

7. ZAKLJUČAK

Sposobnost raspoznavanja boja u savremenom životu od ogromnog je značaja na profesionalnom, umetničkom i ličnom planu svakog pojedinca, a naziva se normalna trihromazija. Nedostaci viđenja boja mogu biti nasledni (urođeni) ili stečeni. Urođeni nedostaci kolornog vida uzrokovani su defektima na fotoreceptorima unutar mrežnjače ili u prenosnom mehanizmu vidnih puteva, dok

su stečeni uglavnom posledica pojedinih oftalmoloških ili drugih bolesti. Kao što je u radu diskutovano, postoji nekoliko različitih vrsta i stepena nedostataka kolornog vida. Savremena medicinska istraživanja objasnila su poreklo njihove raznolikosti, kao i razloge postojanja razlika u učestalosti tih anomalija, ali lečenje naslednih poremećaja viđenja boja za sada nije moguće. Uprkos tome, ovi poremećaji uglavnom ne dovode do nepremostivih problema u opažanju, tim pre što su u poslednje vreme razvijene brojne strategije kojima se uspešno prevazi-laze urođena ograničenja.

Za bolje razumevanje vida sa nekom vrstom nedostatka potrebno je razumeti način na koji čovek vidi. Postoje mnoge aplikacije koje pokušavaju da simuliraju vid dishromatopa. Budući da je simulacije slepila za boje teško razumeti ili proveriti, vrlo često se matrice prelazaka iz jednog prostora boja u drugi kopiraju bez ikakvog predznanja o funkcionisanju ljudskog vida ili o samom problemu dishromatopsije. Ovaj rad pokušava da na adekvatan način temeljno objasni na koji način se dolazi do verodostojnih rezultata gde se na nivou slike ili snimka može vršiti dalje tumačenje dishromatičnog vida. Korišćenje aplikacije, dakle, omogućava da se na jednostavan način prikaže svakodnevna okolina kroz oči protanopa, deuteranopa ili tritanopa. Na taj način omogućava se svakom pojedincu precizno i tačno razumevanje svakog nedostatka na intuitivan i razumljiv način.

Dalji razvoj projekta podrazumeva implementaciju novih filtera koji bi osobama sa nedostatkom omogućiti bolji i kvalitetniji život. Učitavanjem bilo koje željene slike ili gledanjem okoline kroz kameru, osobe sa bilo kojom od pomenutih vrsta dishromatopsije bi korišćenjem jednostavnih dinamičkih UI kontrola mogle bolje da razlikuju njima problematične boje i na takav način da obezbede sebi lakše snalaženje u svakodnevici.

8. LITERATURA

- [1] Francoise Vienot, Hans Brettel, and Jhon Mollon, *Digital Video Colourmaps for Checking the Legibility of Displays by Dichromats*. May 29 1998.
- [2] Građa i funkcija oka, Vaša online enciklopedija, Januar 16, 2014

Kratka biografija:

Aleksandra Haška rođena je u Novom Sadu 1994. god. Fakultet tehničkih nauka upisala je 2013. god. Bečelorski rad iz oblasti računarske grafike odbranila je 2017. god.



Dr Željko Trpovski rođen je u Rijeci 1957. godine. Doktorirao je na Fakultetu tehničkih nauka 1998. god. Oblast interesovanja su telekomunikacije i obrada signala.