

RECOLORING ISHIMARA TEST IMAGE FOR PROTAN CVD PERSONS

Zoran Milivojević

Academy of Applied Technical and Preschool Studies, Nis, Serbia,
zoran.milivojevic@akademijanis.edu.rs

Milica Mladenović

Academy of Applied Technical and Preschool Studies, Nis, Serbia, milica.mladenovic@akademijanis.edu.rs

Abstract: In this paper, the effect of the protan CVD algorithm is analyzed. Using the protan CVD algorithm, the images are recolored, so that they are suitable for use by protan CVD people. In the first part, a trichromatic anomaly of the protanomaly type is described. After that, the protan CVD algorithm is described. The second part of the paper describes the Experiment in which the effectiveness of the CVD algorithm was tested. The CVD algorithm was applied to images from the Ishihara color blindness test database, which were purposely formed to detect protan CVD persons. The results of the Experiment are shown using images and numerical values of the average chromatic difference between every two pixels of the image. Finally, a comparative analysis of the results using objective (analysis of chromatic differences) and subjective (visual inspection of the image) methods is presented. Based on the analysis, an evaluation of the efficiency of the protan CVD algorithm was given.

Keywords: Trichromacy, Protanomaly, Image processing, Image recoloring,

RECOLORING ISHIMARA TEST SLIKA ZA PROTAN CVD OSOBE

Zoran Milivojević

Akademija tehničko-vaspitačkih strukovnih studija, Niš, Srbija, zoran.milivojevic@akademijanis.edu.rs

Milica Mladenović

Akademija tehničko-vaspitačkih strukovnih studija, Niš, Srbija, milica.mladenovic@akademijanis.edu.rs

Sadržaj: U ovom radu analiziran je efekat protan CVD algoritma, pomocu koga se vrsi prebojavanje slika tako da budu pogodne za korišćenje kod protan CVD osoba. U prvom delu opisana je trihromatska anomalija tipa protanomalija. Nakon toga opisan je protan CVD algoritam. U drugom delu rada opisan je Eksperiment u kome je testirana efikasnost CVD algoritma. CVD algoritam je primenjen nad slikama iz Ishihara color blindness test baze, koje su namenski formirane za otkrivanje protan CVD osoba. Rezultati eksperimenta prikazani su pomoću slika i numeričkih vrednosti prosečne hromatske razlike između svaka dva piksela slike. Na kraju je prikazana komparativna analiza rezultata primenim objektivnih (analiza hromatskih razlika) i subjektivnih (vizuelna inspekcija slike) metoda. Na osnovu analize data je procena efikasnosti protan CVD algoritma.

Ključne reči: Trihromatija, Protanomalija, Procesiranje slike, Prebojavanje slike

1. UVOD

Da bi se efikasno obavljale tehnike digitalnog procesiranja slike (engl. *Digital Image Processing*), kao što su prostorna filtriranja, kompresije, popravka kvaliteta slike, recoloring i dr., koje su inspirisane vizuelnim sistemom čoveka (engl. *Human Visual System*, HVS) potrebno je, pored ostalog, razumeti građu ljudskog oka. Prvenstveno se misli na raspored fotoreceptora na mrežnjači (lat. *retina*) i njihovom vezom sa ostatkom nervnog sistema za vid. Fotoreceptori su neuroni koji su osetljivi na svetlost u opsegu is $\lambda = 370 - 720$ nm (Curcio et al., 1990). U skladu sa spektralnom karakteristikom fotoreceptori se dele u dve grupe, i to: a) štapičasti, odnosno štapići (engl. *rod*) i b) kupasti, odnosno čepići (engl. *cones*). Štapičastih ćelija ima do 120.000.000 i aktivne su pri nižim intenzitetima svetlosti. Omogućavaju takozvani *crno-beli* i *noćni* vid. Čepića ima do 6.000.000 i aktivni su pri većim intenzitetima svetlosti. Omogućavaju vid u boji. Ljudi poseduju tri različite vrste čepića, koji su osetljivi na vidljivu svetlost, i to u opsegu long, *L*, (dominantna crvena boja *R*), medium, *M*, (dominantna zelena boja, *G*), i short, *S* (dominantna plava boja, *B*), vidljive svetlosti, respektivno. Oko sa ovakvom vrstom čepića omogućava normalni, odnosno trihromatski vid (engl. *trichromatic vision*) (Blake & Sekuler, 2006). Osobe sa trihromatskim vidom mogu videti sve boje. Osobe sa određenim slepilom za boje (engl. *color blind*) imaju problem sa razlikovanjem nekih, ili, u najtežim slučajevima, svih boja.

Signali iz L, M i S čepića procesiraju se u mozgu i, u svesti posmatrača stvaraju impresiju o širokom spektru boja (Zhenyang et al., 2021). Međutim, oko 200 miliona ljudi pati od nedostatka vida u boji (engl. *color vision deficiency, CVD*), što je povezano sa abnormalnostima u kupastim ćelijama, odnosno čepićima. CVD se može klasifikovati kao anomalija tipa: a) trihromacija (engl. *trichromacy*), (neki od tipova kupastih ćelija ne funkcionisu u svom spektralnom opsegu, već je opseg pomeren na jednu frekventnu stranu), b) dihromacija (engl. *dichromacy*) (*samo dve vrste kupastih ćelija su sposobne da percipiraju boju. Funkcije treće vrste ćelija su potpuno odsutne*) i c) monohromatizam (engl. *monochromacy*) (ni jedan tip konusnih ćelija ne funkcionise. Korektno funkcionišu samo štapičaste ćelije i omogućavaju crno beli vid, odnosno, doživljaj luminanse) (Milivojević et al., 2022).

Da bi se pomoglo CVD osobama da vide širi spektar boja neophodno je da se izvrši pre-procesiranje slike (Nam et al., 2005). Procesiranje se obavlja u nekom od prostora boja (engl. *color space*). Geometrijski posmatrano, procesiranjem se vrši prostorno pomeranje boja tako da se povećava rastojanje. Vizuelno posmatrano, dolazi do promena boja u slici. Ovaj proces se u naučnoj literaturi naziva prebojavanje (engl. *recoloring*) (Lin et al., 2019).

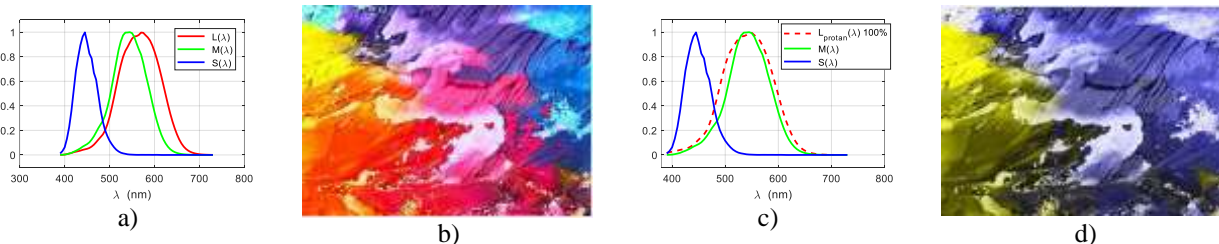
U ovom radu analiziran je efekat Recoloring (RC) algoritma na test slike, odnosno panele (engl. *plate*) iz *Ishihara color blindness test* baze, koju je formirao japanski lekar Ishihara test, profesor Univerziteta Tokio (Ishihara, 1917). Ishihara test omogućava testiranje percepcije boja i klasifikovanje CVD osoba. Najpre je opisan RC algoritam kojim se vrši procesiranje boja u LMS prostoru boja (Crenshaw, 2014). Nakon toga je opisan Eksperiment u kome su procesirane Test slike iz Baze slika. Baza slika je formirana od nekih slika iz Ishihara baze, koje se odnose na otkrivanje protan CVD osobe. Slike procesirane pomoću RC algoritma treba da omoguće prepoznavanje objekta u test slici protan CVD osobama. Rezultati eksperimenta su: a) RC slike i b) numeričke vrednosti hromatskih diferencijalnih slika. Analiza rezultata sprovedena je primenom a) subjektivne (vizuelna inspekcija slike) i b) objektivne (analiza hromatskih diferencijalnih) metode. Komparativnom analizom odredjen je efekat RC algoritma.

Organizacija rada je sledeća. U Sekciji 2 opisana je CVD anomalija. U Sekciji 3 prikazan je protan CVD algoritam. U Sekciji 4 prikazan je Eksperiment i komparativna analiza rezultata Eksperimenta. Sekcija 5 je zaključak.

2. CVD ANOMALIJA

Kod osoba sa normalnim, trihromatskim, vidom slika se u svesti posmatrača formira pomoću tri tipa kupastih ćelija (LMS). Kod CVD osoba neki ili svi tipovi kupastih ćelija ne funkcionišu korektno. Saglasno tipu ćelija koje ne funkcionišu korektno, CVD se klasifikuje kao: a) trihromatija, b) dihromatija, ili c) monohromatija. Kod trihromatije jedan tip ćelija ne funkcionise korektno, dok kod dihromatije jedan tip ćelija uopšte ne funkcionise. Kod monohromatije ne funkcionise ni jedan tip kupastih ćelija. Osobe sa monohromatijom vide samo pomoću štapičastih ćelija, što kao rezultat ima monohromatski (luminentni, crno beli vid). Kod trihromatije i dihromatije se, u zavisnosti od toga da li se anomalije javljaju u L, M ili S ćelijama, anomalije se mogu klasifikovati kao: a) protanomaliya (engl. *protanomaly*) (anomalija kod L ćelija), b) deuteranomaliya (engl. *deutanomaly*) (anomalija kod M ćelija) ili c) tritanomaliya (engl. *tritanomaly*) (anomalija kod S ćelija) (Milivojević et al., 2022). Kod normalnog vida, amplitudske karakteristike osetljivosti grupe kupastih ćelija, $S(\lambda)$, $M(\lambda)$ i $L(\lambda)$, gde je λ talasna dužina svetlosnog talasa, su raspoređene kao na sl. 1.a. Osobe sa ovakvim karakteristikama kupastih ćelija doživljavaju širok spektar boja (sl. 1.b). Protanomaliya, odnosno protan CVD, se javlja kao posledica deformacije L kupastih ćelija što se manifestuje pomeranje amplitudske karakteristike osetljivosti na svetlost za $\Delta\lambda$ u pravcu M opsega, $L_a(\lambda) = L_a(\lambda + \Delta\lambda)$. Samim tim, svetlosna energija iz oblasti zelene boje počinje da se u L kanalu reprezentuje kao crvena boja. Protan efekat se povećava sa povećanjem $\Delta\lambda$. Na slici 1.c prikazane su normalizovane normalizovane amplitudske karakteristike za protan 100% ($\Delta\lambda = 20$ nm). Doživljaj boja 100% protan CVD osoba kod Test slike prikazan je na sl. 1.d. Vidi se da protan CVD osobe ne mogu da vide širok spektar boja.

Slika 1. a) normalizovana spektralna karakteristika kupastih nervnih ćelija za kratke $S(\lambda)$, srednje $M(\lambda)$ i duge $L(\lambda)$ opsege talasnih dužina. b) Test slika sa širokim spektrom boja. c) spektralne karakteristike kod 100% protan CVD ($\Delta\lambda = 20$ nm). d) Doživljaj boja na Test slici kod 100% protan CVD osoba.



3. RECOLORING ALGORITAM ZA PROTAN CVD

U (Crenshaw, 2014) je opisan RC algoritam za prebojavanje slike kod protan CVD. Prebojavanje podrazumeva transformaciju boja i obavlja se u LMS prostoru boja. RC algoritam se realizuje u sledećim koracima.

Input: Slika I

Output: RC slika Y

Korak 1: Transformacija iz RGB prostora boje (I_{RGB}) u LMS prostor (I_{LMS})

$$\begin{bmatrix} L \\ M \\ S \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 17.8824 & 43.5161 & 4.11935 \\ 3.45565 & 27.1554 & 3.86714 \\ 0.0299566 & 0.184309 & 1.46709 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix}, \quad (1)$$

gde su R, G i B crvena, zelena i plava komponenta boja slike I u RGB prostoru boja.

Korak 2: Simulirani doživljaj boja kod protan CVD:

$$\begin{bmatrix} L_p \\ M_p \\ S_p \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 2.02344 & -2.52581 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} L \\ M \\ S \end{bmatrix}, \quad (2)$$

gde su L_p , M_p i S_p simulirane komponente u LMS prostoru boja.

Korak 3: Greška između normalne i percepcije sa greškom boje (engl. *Color Blind*, CB) u LMS prostoru:

$$\begin{bmatrix} E_L \\ E_M \\ E_S \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} L \\ M \\ S \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} L_p \\ M_p \\ S_p \end{bmatrix}, \quad (3)$$

Korak 4: Raspodela greške na M i S komponente boja:

$$\begin{bmatrix} E_{L_MOD} \\ E_{M_MOD} \\ E_{S_MOD} \end{bmatrix} = \phi \begin{bmatrix} -0.2 & 0 & 0 \\ 0.1 & 1 & 0 \\ 0.1 & 0 & 1 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} E_L \\ E_M \\ E_S \end{bmatrix}, \quad (4)$$

gde je ϕ je skalarna vrednost između 0 i 1.

Korak 5: Prebojena slika u LMS prostoru (RC slika):

$$\begin{bmatrix} L_{p,RE} \\ M_{p,RE} \\ S_{p,RE} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} E_{L_MOD} \\ E_{M_MOD} \\ E_{S_MOD} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} L \\ M \\ S \end{bmatrix}, \quad (5)$$

Korak 6: Prebojena slika u RGB prostoru:

$$\begin{bmatrix} R_{re} \\ G_{re} \\ B_{re} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.080944 & -0.130504 & 0.11672 \\ -0.01025 & 0.054019 & -0.11362 \\ -0.00037 & -0.004122 & 0.69351 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} L_{p,RE} \\ M_{p,RE} \\ S_{p,RE} \end{bmatrix}, \quad (6)$$

gde su R_{re} , G_{re} , and B_{re} prebojene komponente boja u RGB prostoru boja.

Primer primene RC algoritma nad Test slikom prikazan je na sl. 2. Test slika prikazana je na sl. 2.a. Protan CVD osobe doživljavaju boje kao na sl. 2.b (CB slika, *Korak 2*). Nakon korekcije boja RC algoritmom generisana je RC slika (sl. 2. c) koja je pogodna za protan CVD osobe.

4. EKSPERIMENTALNI REZULTATI I ANALIZA

4.1 Eksperiment

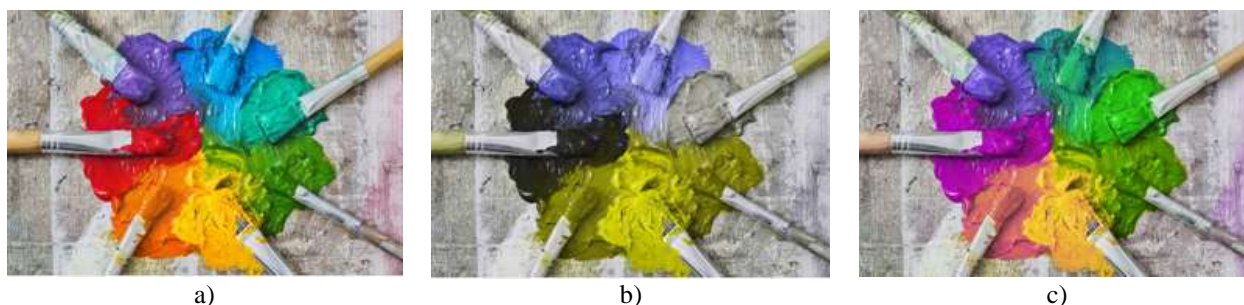
Realizovan je Eksperiment u kome je analiziran efekat recoloring algoritma. RC algoritam (Sekcija 3) primenjuje se nad slikama iz Baze slika. Baza slika je formirana od slika iz *Ishihara color blindness test* baze, koje su namenski formirane za otkrivanje protan CVD osoba. Kao rezultat primene RC algoritma generisane su slike koje su

simulacija vizuelne percepcije boja kod protan CVD osoba (CB slike) i prebojene slike koje omogućavaju protan CVD osobama da bolje percipiraju sadržaj slike. Rezultati eksperimenta analizirani su pomoću: a) subjektivne i b) objektivne metode. Subjektivna metoda podrazumevala je vizuelnu inspekciju slika. Za potrebe objektivnog upoređivanja efekta transformacija boja, izračunat je prosečna hromatska razlika između svaka dva piksela slike. Dve boje sa većom hromatskom razlikom mogu se lakše razlikovati. Slika sa većom prosečnom hromatskom razlikom je sa većim opsegom boja, i kao takva pogodna za protan CVD osobe. Najpre su podaci o svakom pikselu slike (luminentne i hrominentne komponente) iz RGB prostora boja transformisane u Lab prostor u kome se vrši izračunavanje hromatske razlike. Hromatska razlika računa se pomoću standardne CIELAB formule:

$$Lab_{ij} = \sqrt{(L_i - L_j) + (a_i - a_j) + (b_i - b_j)}, \quad (7)$$

Procena efekta RC algoritma donešeni su na osnovu komparativne analize rezultata.

Slika 2. a) Test slika. b) CB slika. c) Prebojena RC slika.



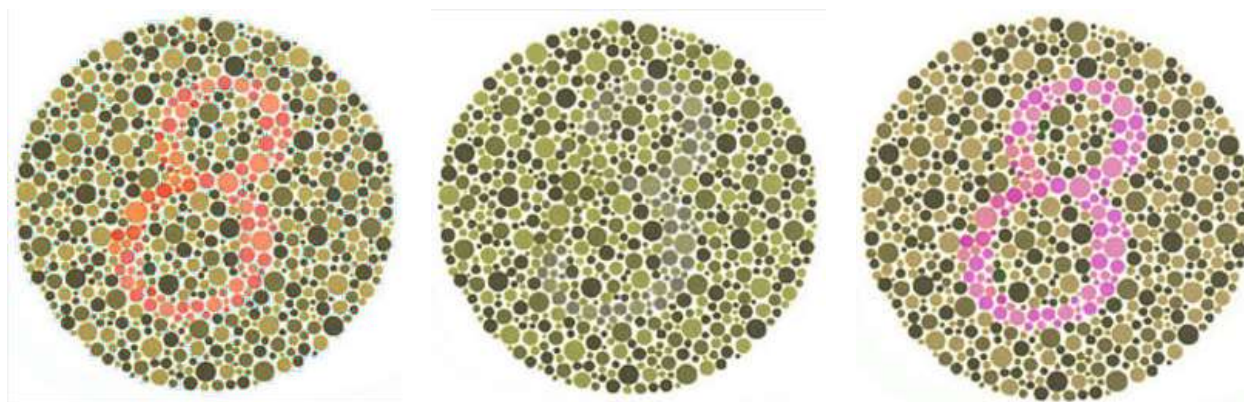
4.2 Baza

Za potrebe Eksperimenta formirana je Baza Test slika. Baza je formirana od Test slika, odnosno panela (engl. *plate*) iz *Ishihara color blindness test* baze, koje se odnose na testiranje protan CVD osobe: a) Panel 2 (sl. 3.a), b) Panel 6 (sl. 3.d), c) Panel 10 (sl. 3.g), d) Panel 16 (sl. 3.j), e) Panel 18 (sl. 3.m), f) Panel 22 (sl. p) i g) Panel 30 (sl. 3.s).

4.3 Rezultati

Ishihara color blindness test slike prikazane su na: sl. 3.a (Panel 2), sl. 3.d (Panel 6), sl. 3.g (Panel 10), sl. 3.j (Panel 16), sl. 3.m (Panel 18), sl. 3.p (Panel 22) i sl. 3.s (Panel 30). Vizuelni doživljaj protan CVD osoba (CB slike): sl. 3.b (Panel 2), sl. 3.e (Panel 6), sl. 3.h (Panel 10), sl. 3.k (Panel 16), sl. 3.n (Panel 18), sl. 3.q (Panel 22) i sl. 3.t (Panel 30). Test nakon prebojavanja (RC slike): sl. 3.c (Panel 2), sl. 3.f (Panel 6), sl. 3.i (Panel 10), sl. 3.l (Panel 16), sl. 3.o (Panel 18), sl. 3.r (Panel 22) i sl. 3.u (Panel 30). Srednje vrednosti hromatskih razlika slika Lab prikazane su u tabeli 1.

Slika 3. Ishihara color blindness test slike: a) Panel 2, d) Panel 6, g) Panel 10, j) Panel 16, m) Panel 18, p) Panel 22 i s) Panel 30. Vizuelni doživljaj protan CVD osoba (CB slike): b) Panel 2, e) Panel 6, h) Panel 10, k) Panel 16, n) Panel 18, q) Panel 22 i t) Panel 30. Test nakon prebojavanja (RC slike): c) Panel 2, f) Panel 6, i) Panel 10, l) Panel 16, o) Panel 18, r) Panel 22 i u) Panel 30.



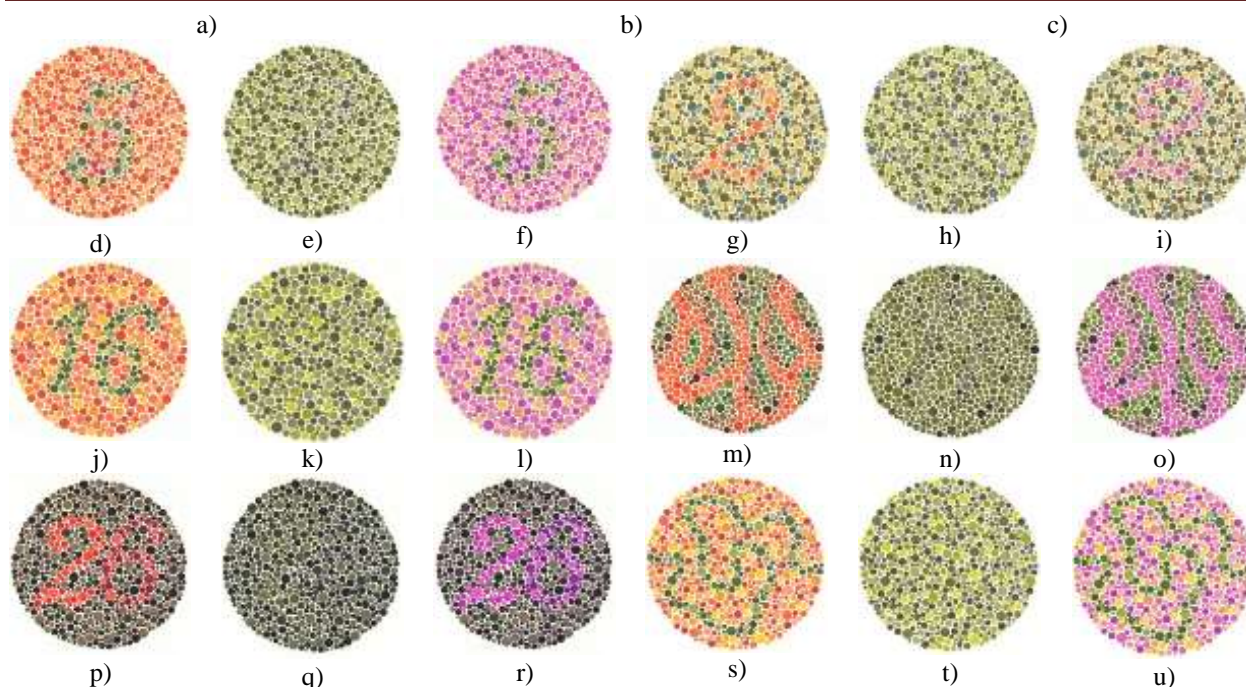


Tabela 1. Hromatske razlike slika.

| | Lab | | |
|----------|---------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|
| | Test | CB | RC |
| Panel 2 | 34.7191 | 31.5915 | 34.4003 |
| Panel 6 | 40.2448 | 31.2709 | 39.0660 |
| Panel 10 | 33.5958 | 31.3873 | 31.1883 |
| Panel 16 | 41.5020 | 32.6736 | 42.7878 |
| Panel 18 | 41.9263 | 31.7213 | 42.4006 |
| Panel 22 | 41.5938 | 36.4877 | 43.3206 |
| Panel 30 | 41.7166 | 34.1420 | 41.9078 |
| | $\overline{Lab}_{ij} = 39.3283$ | $\overline{Lab}_{ij} = 32.7535$ | $\overline{Lab}_{ij} = 39.2959$ |

4.4 Analiza rezultata

Subjektivnom metodom analize, koja podrazumeva vizuelnu inspekciju: a) Test slika, b) CB slika (percepcija protan CVD osoba) i c) RC slika, zaključuje se sledeće:

a) Test slike (paneli) su sa objektima u boji, koja je odabrana tako da je, kod normalnog vida lako prepoznati objekte dok protan CVD osobe teško, ili čak nikako, ne mogu da prepoznaju objekte,

b) CB slike, koje su simulacija percepcije boja kod protan CVD osoba, ne sadrže informacije (boje) na osnovu kojih može da se prepoznaju objekti u slici, i

c) prebojene RC slike, generisane opisanim algoritmom, omogućavaju prepoznavanje objekta (sa različitim hrominansom u odnosu na originalnu Test sliku).

Objektivnom metodom analize, komparacijom hromatskih razlika slika, zaključuje se da je srednja hromatska razlika kod prebojene CB slike ($\overline{Lab}_{ij} = 32.7535$) manja od srednje hromatske razlike Test slike ($\overline{Lab}_{ij} = 39.3283$).

Ovim se objašnjava smanjena mogućnost detekcije boja. Srednja hromatska razlika kod prebojenih RC slika ($\overline{Lab}_{ij} = 39.2959$) približno jednaka srednjoj hromatskoj razlici Test slike. Sa ovolikom hromatskom razlikom i korigovanim bojama protan CVD osobe mogu da prepoznaju objekte u slici.

5. ZAKLJUČAK

U radu je opisan algoritam za prebojavanje slika, namenjenih protan CVD osobama u cilju proširenja percepcije boja. Opisan je Eksperiment u kome je algoritam primenjen na slike iz *Ishihara color blindness test* baze. Analiza

rezultata (test slike, CB slike i RC slike) obavljena je primenom objektivnih (hromatska razlika slika) i subjektivnih (vizuelna inspekcija slika) metoda. CB slike, koje predstavljaju simulaciju vizuelne percepcije protan CVD osoba, imaju manju hromatsku razliku ($\overline{Lab}_{ij} = 32.7535$) u odnosu na Test slike ($\overline{Lab}_{ij} = 39.3283$). U CB slici ne mogu da se prepoznaju boje objekta u slici. Prebojene RC slike imaju srednju hromatsku razliku ($\overline{Lab}_{ij} = 39.2959$), sto je približno jednako hromatskoj razlici Test slika. Boje objekata u slici, mada nekorektne u kolorimetrijskom smislu, su takve da su objekti u slici jasno vidljivi i za protan CVD osobe. Ovim je pokazana uspesnost opisanog protan CVD algoritma.

LITERATURA

- Blake, R., & Sekuler, R. (2006). *Perception*. McGraw-Hill.
- Chang, C., Hu, Y., & Lin, C. (2007). "A Digital Watermarking Scheme Based on Singular Value Decomposition," Proceedings from ESCAPE 2007: *First International Symposium*, Hangzhou, 82–93.
- Crenshaw, C. (2014). *Realtime Color Vision Deficiency Correction*, U.S. Patent: 20140066196 A1.
- Curcio, C. A., Sloan, K. R., Kalina, R. E., & Hendrickson, A. E. (1990). Human photoreceptor topography. *J. Compar. Neurol.*, 292(4). 497–523.
- Ishihara, S. (1917). Tests for color-blindness. *Handaya*, Tokyo.
- Lin, H., Chen, L., & Wang, M. (2019). Improving discrimination in color vision deficiency by image re-coloring. *Sensors*, 19(10), 2250: 1-19.
- Lihao, X., & Qinyuan, L. (2021). Gamut mapping based image enhancement algorithm for color deficiencies, *Biomedical Optics Express*, 12(11), 6882-6896.
- Milivojević, Z., Prlinčević, B., & Kostić, D. (2022). Degradation Recoloring CVD Protan Image From Blok SVD Watermark, Proceedings from ERK 2022: *31th International Electrotechnical and Computer Science Conference*, Portorož, Slovenia.
- Nam, J., Yong, R., Huh, Y., & Kim, M. (2005). Visual content adaptation according to user perception characteristics. *IEEE Transactions on Multimedia*, 7(3), 435–445.
- Zhenyang, Z., Toyoura, M., Go, K., Kashiwagi, K., Fujishiro, I., Wong, T., & Mao, X. (2021). Personalized Image Recoloring for Color Vision Deficiency Compensation. *IEEE Transactions on Multimedia*, 24, 1721 - 1734.
- Zhenyang, Z., & Xiaoyang, M. (2021). Image recoloring for color vision deficiency compensation: a survey, *The Visual Computer*, 37, 2999 - 3018.