

Barvne pretvorbe v CIECAM02 in CIELAB

Colour Transforms in CIECAM02 and CIELAB

Izvirni znanstveni članek/*Original Scientific Paper*

Prispelo/*Received* 03-2013 • Sprejeto/*Accepted* 05-2013

Izvleček

Z razvojem napredne barvne metrike so se odprle nove možnosti za izboljšanje kakovosti barvnih reprodukcij. Ena izmed njih je tudi uporaba modela barvnega zaznavanja CIECAM02, ki pri napovedi barvnega videza dražljaja upošteva tudi vpliv okolice. Namen raziskave je bil ugotoviti, kako pripraviti barvne preslikave z uporabo modela barvnega zaznavanja CIECAM02 in jih uspešno izvesti ter ugotoviti, ali bodo dale boljše rezultate kot preslikave, izvedene brez modela barvnega zaznavanja, tj. v barvnem prostoru CIELAB. Za program Octave so bile pripravljene funkcije preslikav v barvnem prostoru CIELAB in v modelu barvnega zaznavanja CIECAM02, ki so barve zunaj ciljnega barvnega prostora preslikave na njegov rob. Preslikave so bile izvedene med prostoroma Adobe RGB in sRGB ter med prostoroma Wide Gamut RGB in sRGB na dvajsetih testnih poljih. Vse preslikave so bile uspešno izvedene, saj so se vse barve ustrezno preslikale v ciljni barvni prostor. Povprečne barvne razlike med originalnimi in preslikanimi barvami so bile manjše pri preslikavi z uporabo modela barvnega zaznavanja CIECAM02 in pri preslikavi iz Adobe RGB v barvni prostor sRGB. Preslikava barv je bila izvedena tudi pri spremembi ozadja. V tem primeru je bilo ujemanje originalnih in preslikanih polj boljše pri preslikavi s CIECAM02. Na splošno so bili rezultati pri preslikavi CIECAM02 boljši kot pri preslikavi z uporabo barvnega prostora CIELAB.

Ključne besede: barvna reprodukcija, napredna barvna metrika, model barvnega zaznavanja CIECAM02, barvne preslikave

Abstract

New possibilities to improve the quality of colour reproduction have arisen with the development in advanced colourimetry. One of such possibilities is the colour appearance model CIECAM02, which uses the influence of surroundings to estimate the appearance of a stimulus. The aim of this research was to investigate how to prepare gamut mapping algorithms with a successful use of the colour appearance model CIECAM02 and to establish whether the gamut mapping with the CIECAM02 model gives better results than the gamut mapping without the colour appearance model, e.g. in the CIELAB colour space. The gamut mapping algorithms in the CIELAB colour space and with the CIECAM02 colour appearance model were prepared as functions in Octave, with an extra step which maps all colours to the destination gamut. The gamut mapping algorithms were applied for twenty colour patches on the mapping between the Adobe RGB and sRGB colour space and on the mapping between the Wide Gamut RGB and sRGB colour space. All gamut mapping was conducted successfully, since all colours were mapped into the destination colour space. The lowest average colour differences between the original and mapped colours were calculated for the CIECAM02 gamut mapping algorithm for the gamut mapping between the Adobe RGB and sRGB colour space. The gamut mapping algorithms were also tested when changing background, better matching between the original test colour patches and mapped test colour patches being given by the CIECAM02 gamut mapping algorithm. Generally, gamut with CIECAM02 delivered better results than the algorithm in the CIELAB colour space.

Keywords: colour reproduction, advanced colourimetry, colour appearance model CIECAM02, colour gamut mapping

1 Uvod

Dosedanje raziskave [1–5] so pokazale, da klasična barvna metrika ne zadošča vsem zahtevam, ki jih postavlja sodobni uporabnik, čeprav se uporablja že osemdeset let. Z razvojem modernih tehnologij in s čedalje bolj razširjeno uporabo barvnega upravljanja so nastali novejši nivoji barvne reprodukcije in novi sistemi barvnega upravljanja, kot na primer WCS (ang. Windows Colour System), ki uporablja model barvnega zaznavanja [1, 6]. Sistemi za barvno upravljanje se lahko aplicirajo tudi na področje tekstilstva, saj uporaba digitalnega tiska na tekstilu narašča, potreba po natančnemu prikazu barve pa se kaže tako pri izdelovalcih kot prodajalcih, ki želijo svoje izdelke prikazati na različnih napravah [7–8]. Številne raziskave so pokazale, da na zaznavanje barve ne vplivata samo svetlobni vir in opazovalec, ampak tudi drugi dejavniki. To so ozadje in okolica, velikost dražljaja, pojavi pri zaznavanju barve, osvetlitev in kompleksni svetlobni pogoji, odbita svetloba z drugih predmetov in tudi pojavi, ki so specifični za posamezen medij in okolje, v katerem se pojavljajo (na primer bleščanje in odsevi, zahteva po visokem kontrastu ali zelo velike površine dražljajev) [9–13]. Na zaznavo in poimenovanje barve prav tako vplivajo tudi kulturno-zgodovinsko okolje in psihološki vidiki [14–15]. Z namenom širitve klasične barvne metrike so v sedemdesetih letih prejšnjega stoletja začeli nastajati modeli barvnega zaznavanja, ki so poleg dražljaja, opazovalca in svetlobnega vira pri izračunu barve upoštevali nekatere od prej omenjenih dejavnikov [1, 4]. Pomemben korak na tem področju se je zgodil leta 1996 s predlogom CIE za enotni model barvnega zaznavanja za splošno uporabo [13]. V letu 1997 je nastal model barvnega zaznavanja CIECAM97s, ki so ga zaradi pomanjkljivosti kmalu nadgradili v model CIECAM02 [16–18]. CIECAM02 je zanesljiv in preprost ter uporaben model [13, 18–20], ki kljub nekaterim pomanjkljivostim še ni doživel popolne prenove. Predlaganih je bilo nekaj popravkov, ki te pomanjkljivosti delno ali v celoti odpravijo [21–23]. Model je primeren za uporabo v barvni reprodukciji in barvnem upravljanju (uporabljen je kot vezni prostor v WCS barvnem upravljanju), pri napovedi upodobitve barve pod različnimi svetlobami, pri določanju pojava metamerije ter pri določanju barvnega obsega barvnih prostorov pri določenih pogojih opazovanja. CIECAM02 se slabo obnese pri ekstremnih pogojih, kot na primer pri

zelo nasičenih vzorcih [11], pri napovedovanju znanih barv na črnem ozadju [7] in pri kompleksnih dražljajih, kot so na primer slike ali video [9].

Izhodišče za CIECAM02 so standardizirane barvne vrednosti za dražljaj (CIEXYZ), standardizirane barvne vrednosti za belo točko, svetlost v okolju prilagoditve, standardizirana barvna vrednost ozadja ter tip okolice (povprečno svetlo okolje, temno okolje in mračno okolje) in z njo povezani parametri. Model CIECAM02 v osnovni različici uporablja model barvne prilagoditve CAT02, ki pa se je izkazal za pomanjkljivega, saj lahko privede do negativnih barvnih vrednosti. Model CIECAM02 poda kot ciljne vrednosti zaznavne lastnosti barve: svetlost J , kromu C , kot barvnega tona h , sijavost Q , barvitost M in nasičenost s . Obstaja tudi nasproten model, s katerim lahko iz zaznavnih lastnosti barve izračunamo standardizirane barvne vrednosti [1, 24].

Glede enotnosti barvne zaznave je CIECAM02 podoben barvnemu prostoru CIELAB [25], kjer lahko pride do odstopanja v barvi v modrih in sivih tonih, zato lahko pride do napak pri barvnih preslikavah [10, 26–27].

Barvna preslikava je metoda pripisovanja barv ciljnega barvnega prostora barvam originala in je del barvne reprodukcije [24, 28–29]. Pri tem je treba zagotoviti maksimalen kontrast, sivinska os mora ostati nespremenjena, prilagoditi je treba število barv, ki so zunaj barvnega obsega, premik barvnih tonov mora biti minimalen, zaželeno pa je povečati nasičenost [30].

Če se pri barvni preslikavi med vhodnim in ciljnim barvnim prostorom pogoji opazovanja razlikujejo, so za barvne preslikave uporabni modeli barvnega zaznavanja, saj predstavljajo metodo preslikave, ki je specifična za posamezne pogoje opazovanja [31]. Namen naše raziskave je bil proučiti model barvnega zaznavanja CIECAM02 in s pomočjo njega izvesti barvne preslikave iz večjega (Adobe RGB in Wide Gamut RGB) v manjši (sRGB) barvni prostor. Za primerjavo smo pripravili še preslikavo brez modela barvnega zaznavanja v barvnem prostoru CIELAB. Razlog za izbiro delovnih prostorov je ta, da sta Adobe RGB in sRGB standardna delovna prostora, ki se zelo pogosto uporabljata kot vhodna barvna prostora in ju uporablja večina naprav, tako vhodnih (digitalna kamera) kot prikazovalnih (računalniški zaslon in projektor), medtem ko je Wide Gamut RGB barvni prostor, zanimiv zaradi veliko večjega barvnega obsega v primerjavi s prvima dvema. Raziskava

je zanimiva tako za področje tekstilstva kot za področje grafike oziroma za vse, ki se srečujejo z barvnim delokrogom, ki vključuje zajem, prikaz in upodobitev barv.

2 Eksperimentalni del

Algoritmi barvnih preslikav po navadi niso dostopni uporabnikom, zato smo funkcije za barvne preslikave CIECAM02 in CIELAB pripravili sami. Funkcije preslikav smo zapisali v taki obliki, da ustrezajo programu Octave, kjer smo preslikave tudi izvedli. Octave je programski jezik, primeren za numerične izračune, in ima preprost uporabniški vmesnik z ukazno vrstico, funkcije pa lahko pripravimo v urejevalniku besedil.

Na sliki 1 se nahaja potek preslikave z določanjem barv zunaj ciljnega barvnega prostora.

Preslikave so vključevale pogoj, ki preverja, ali je katera izmed izračunanih vrednosti RGB za barvni prostor sRGB vrednosti manjša od 0 ali večja od 100 (kar pomeni v realnih vrednostih med 0 in 255). Če obstajajo take vrednosti, se preslikava ponovi tako, da se v vsaki ponovitvi zmanjšata kroma C (v primeru CIECAM02) in kroma C_{ab}^* (v primeru CIELAB) za eno enoto, dokler niso RGB vrednosti za barvni prostor sRGB med 0 in 100 (v realnih vrednostih med 0 in 255). Pri tem je bil uporabljen osnovni model CIECAM02 z originalno matriko CAT02 [1], negativnih vrednosti pri izračunih pa nismo zaznali.

Barvne preslikave smo izvedli na dvajsetih poljih, najprej iz Adobe RGB v barvni prostor sRGB, nato pa še iz Wide Gamut RGB v barvni prostor sRGB. Pri prvi preslikavi je bela točka prostora ista, in sicer D65, pri drugi preslikavi pa se spremeni iz D50 (bela točka barvnega prostora Wide Gamut RGB) na D65 (bela točka barvnega prostora sRGB). V prvem primeru so bili pogoji opazovanja med vhodnim in

ciljnim barvnim prostorom enaki, v drugem primeru pa smo spremenili svetlost ozadja z 90 % na 50 % in na 10 % svetlosti ter preslikali 10 polj.

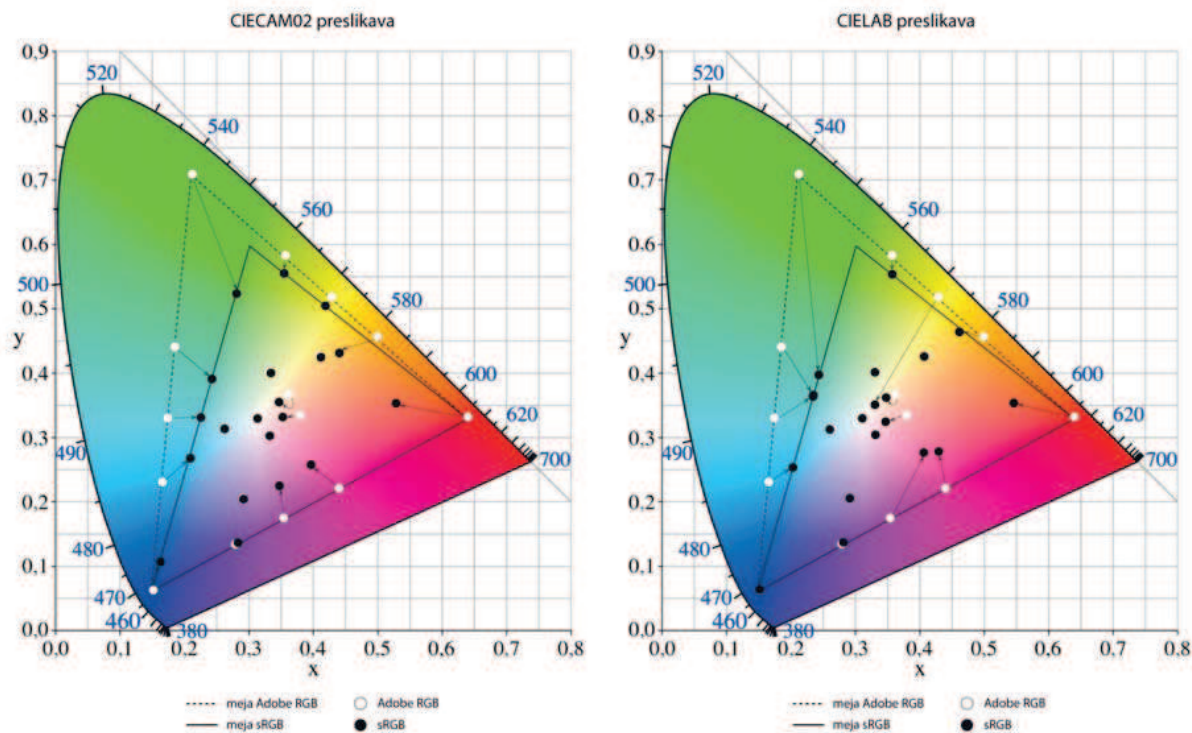
Rezultate preslikav brez spremembe svetlosti ozadja smo ovrednotili z izračunom povprečnih barvnih razlik med originalnimi in preslikanimi barvami, rezultate preslikave pri spremembi svetlosti ozadja pa smo ovrednotili vizualno.

3 Rezultati

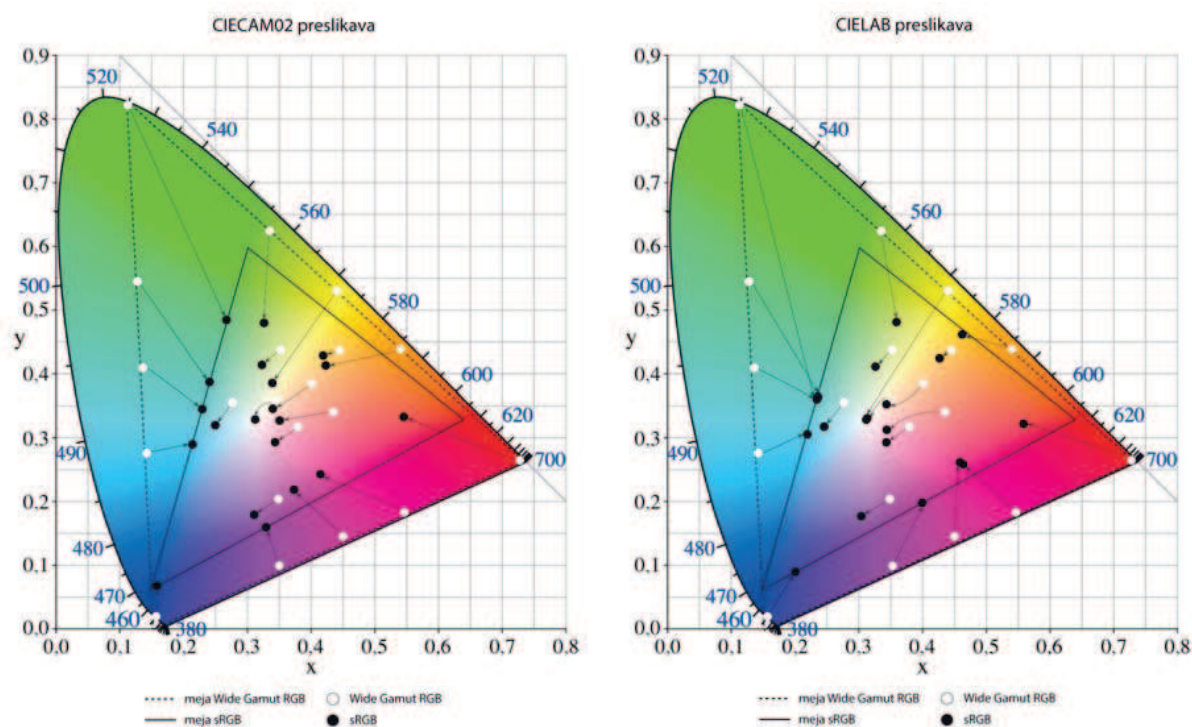
Na naslednjih slikah so prikazana barvna polja pred barvno preslikavo v vhodnem barvnem prostoru (označeno z belimi točkami) in v ciljnem barvnem prostoru sRGB (označeno s črnimi točkami). S puščicami je ponazorjena smer preslikave. Opazimo, da se vsa polja, ki so od začetka zunaj ciljnega barvnega prostora, preslikajo na njegov rob. Glede na to, da je CIE 1931 x, y barvni diagram dvodimenzionalna projekcija maksimalnega obsega tridimenzionalnega prostora na ravnino, je videti, kot da se nekatere barve preslikajo v notranjost barvnega prostora, vendar se dejansko preslikajo na njegov rob. Tako vrsto preslikave imenujemo odrez po metodi linij, kjer so barve usmerjene k najbližji barvi v ciljnem prostoru. Polja, ki so od začetka v ciljnem barvnem prostoru, ostanejo pri preslikavi iz Adobe RGB v barvni prostor sRGB na istem mestu, razen dveh polj, ki se premakneta (slika 2). Pri preslikavi iz Wide Gamut RGB v barvni prostor sRGB pa se polja, ki so od začetka v ciljnem barvnem prostoru, premaknejo zaradi spremembe bele točke (slika 3). Pri preslikavi CIELAB iz Adobe RGB v sRGB (slika 2 desno) opazimo, da se dve barvi preslikata v isto točko, primeru iz Wide Gamut RGB v sRGB pa celo tri barve preslikajo v isto točko (slika 3 desno). Takšna preslikava povzroči posterizacijo, ki negativno vpliva na kakovost reprodukcije.



Slika 1: Potek preslikave z določanjem barv zunaj ciljnega barvnega prostora



Slika 2: Preslikava polj iz Adobe RGB v barvni prostor sRGB, levo s preslikavo CIECAM02, desno s preslikavo CIELAB



Slika 3: Preslikava polj iz Wide Gamut RGB v barvni prostor sRGB, levo s preslikavo CIECAM02, desno s preslikavo CIELAB

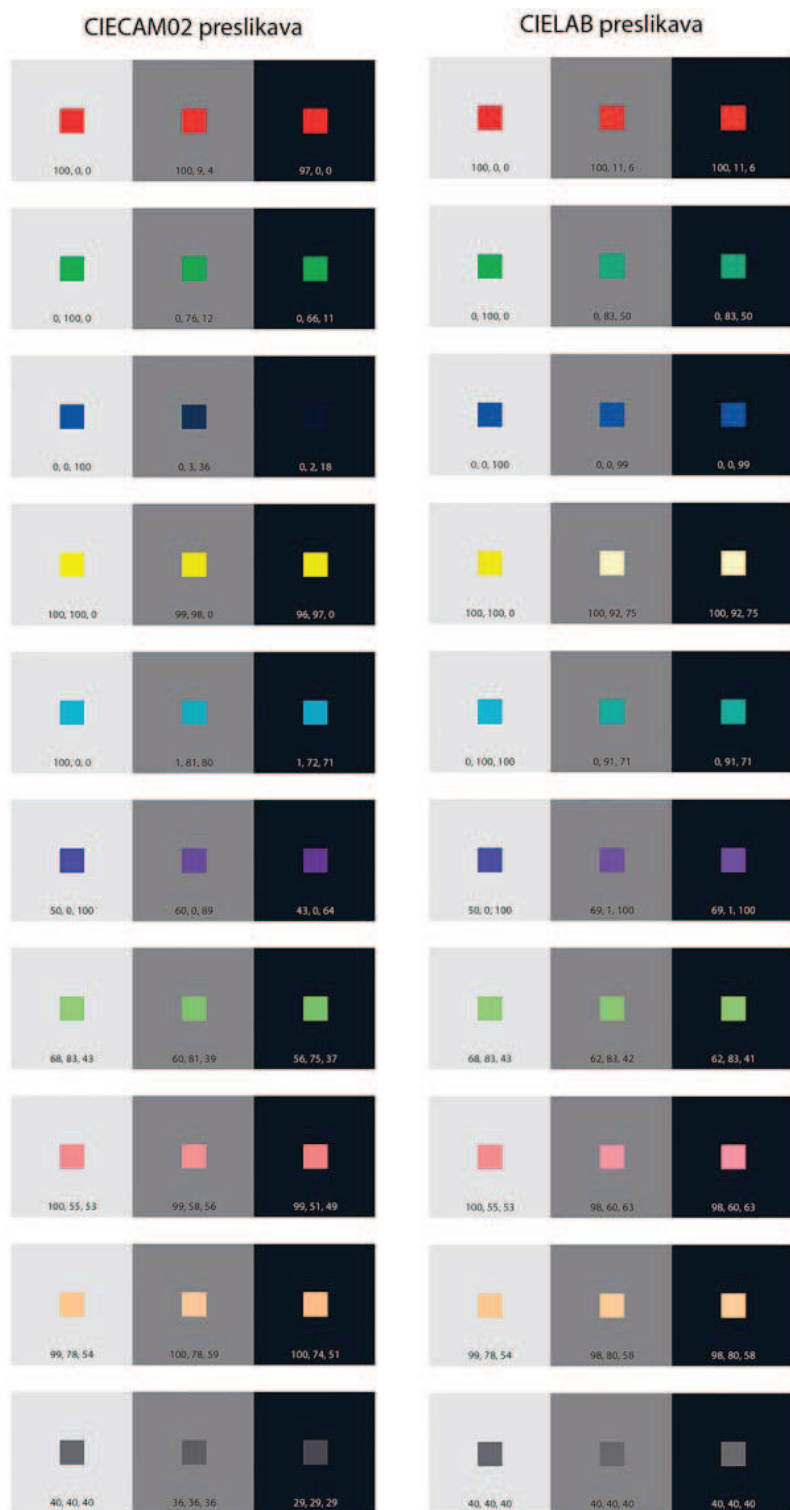
V preglednici 1 so prikazane povprečne barvne razlike za vse izvedene preslikave na 20 poljih, ki so prikazana na slikah 2 in 3.

Preglednica 1: Povprečne barvne razlike za vse preslikave

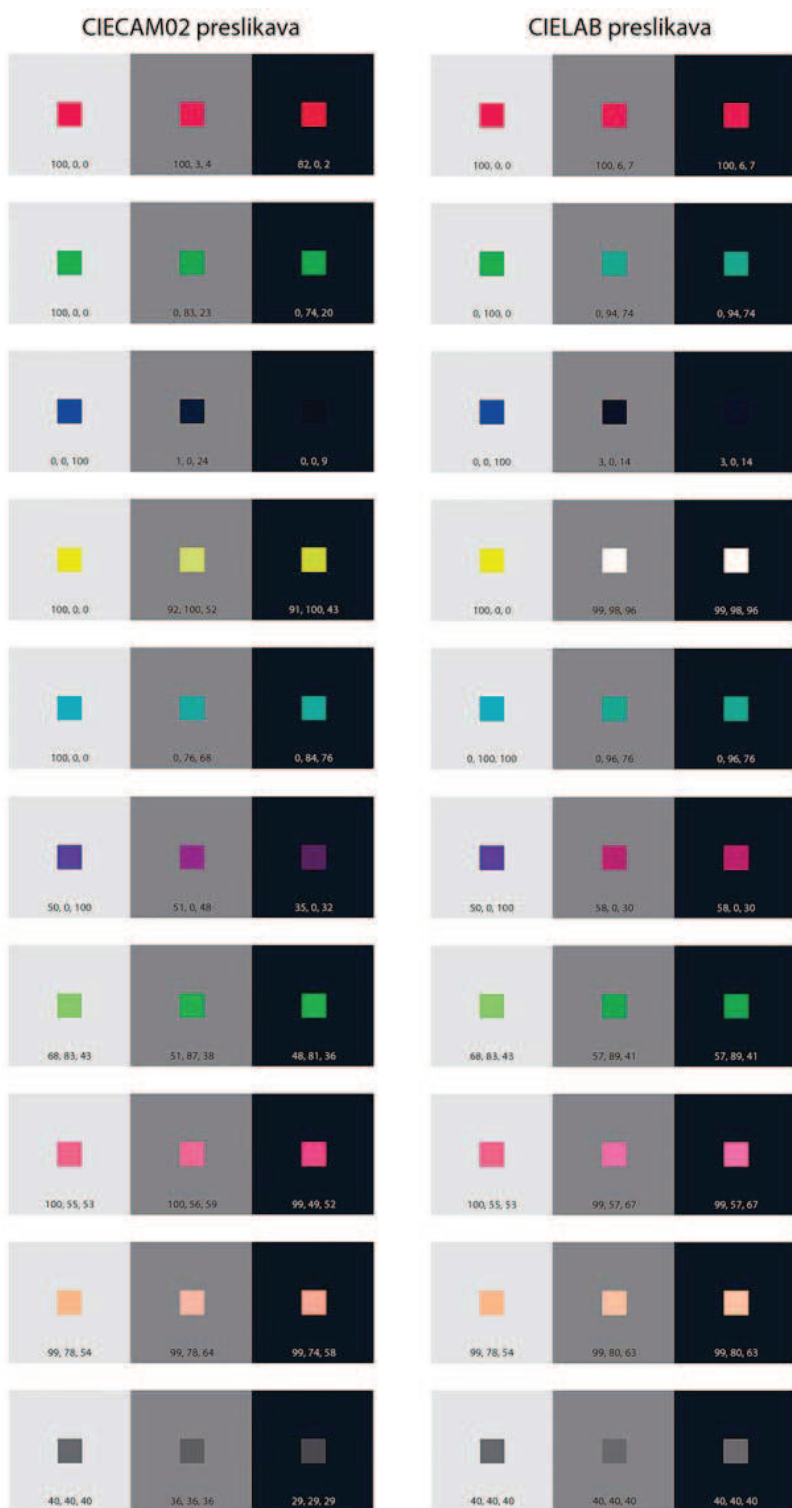
Barvni prostor	ΔE_{ab}^*	
	CIECAM02	CIELAB
iz Adobe RGB v sRGB	22,59	26,28
iz Wide Gamut RGB v sRGB	55,98	60,40

Najprej opazimo, da so vse povprečne barvne razlike zelo velike, in sicer pri preslikavi iz Adobe RGB v barvni prostor sRGB več kot 20, pri preslikavi iz Wide Gamut RGB v barvni prostor sRGB pa več kot 55. Tako velike barvne razlike so posledica izbire barvnih polj, za katera smo računali barvne razlike. Dvanajst polj je ležalo zunaj ciljnega barvnega prostora, in sicer na robu maksimalnega barvnega obsega originalnega prostora, zato je razdalja, za katero so se polja premaknila, zelo velika. To je vidno tudi na slikah 2 in 3, kjer sta s puščicami prikazani smer in razdalja, po kateri so se polja preslikala. Največjo barvno razliko smo izračunali pri zelenem polju pri preslikavi CIELAB iz Wide Gamut RGB prostora ($\Delta E_{ab}^* = 189,23$). Iz slike 3 je razvidno, da se je polje premaknilo za večjo razdaljo kot pri preslikavi CIECAM02. Posebej izstopa tudi modro polje pri preslikavi CIECAM02 iz Adobe RGB v barvni prostor sRGB ($\Delta E_{ab}^* = 60,39$), saj se to polje v primerjavi s preslikavo CIELAB preslika v drugo smer (slika 2). Povprečne barvne razlike med originalnimi in preslikanimi barvami, ki so bile že od začetka v ciljnem barvnem prostoru (8 polj), so pri obeh preslikavah iz Adobe RGB v barvni prostor sRGB manjše od 1, razen pri dveh pastelnih barvah, kjer so večje. Pri obeh preslikavah iz Wide Gamut RGB v barvni prostor sRGB so barvne razlike pri omenjenih pastelnih barvah večje, saj je prišlo do premika zaradi spremembe bele točke.

Iz rezultatov, prikazanih v preglednici 1, lahko povzamemo, da je povprečna barvna razlika pri preslikavi s pomočjo CIECAM02 v vseh primerih manjša. Povprečna barvna razlika pri preslikavi iz Wide Gamut RGB v barvni prostor sRGB pa je v obeh primerih večja kot pri preslikavah iz Adobe RGB v



Slika 4: Ujemanje barv na pripadajočem ozadju pri preslikavah CIECAM02 (levo) in CIELAB (desno) iz Adobe RGB v barvni prostor sRGB, številke na sliki so RGB-vrednosti barvnih polj od 0–100



Slika 5: Ujemanje barv na pripadajočem ozadju pri preslikavah CIECAM02 (levo) in CIELAB (desno) iz Wide Gamut RGB v barvni prostor sRGB, številke na sliki so RGB-vrednosti barvnih polj od 0–100

barvni prostor sRGB, saj je tudi barvni obseg tega prostora veliko večji od obsega Adobe RGB.

Preslikavo s pomočjo modela barvnega zaznavanja CIECAM02 smo primerjali s preslikavo, izvedeno s pomočjo barvnega prostora CIELAB, ki razen spremembe bele točke ne upošteva nobenih drugih pogojev opazovanja. Preslikavi smo ovrednotili tako, da smo vizualno primerjali ujemanje desetih testnih polj pred preslikavo iz Adobe RGB in Wide Gamut RGB v barvni prostor sRGB ob spremembi svetlosti ozadja z 90 % na 50 % in na 10 % svetlosti, potem pa še po preslikavi. V prvem stolpcu je prikazano ujemanje originalne barve in barve, preslikane s preslikavo CIECAM02, v drugem stolpcu pa ujemanje originalne barve in barve, ki je bila preslikana s pomočjo preslikave CIELAB na pripadajočem ozadju (sliki 4 in 5). Cilj preslikave je bil ohraniti znano barvo kljub spremembi svetlosti ozadja.

Ugotovili smo, da pri večini testnih polj dobimo boljše ujemanje med originalom in preslikavo, ki smo jo izvedli z modelom barvnega zaznavanja CIECAM02. Slabše ujemanje pri preslikavi iz Adobe RGB v sRGB smo dobili pri modri barvi, iz Wide Gamut RGB v sRGB pa pri modri in vijoličasti barvi. V primerjavi z dosedanjimi raziskavami bi pričakovali napačno preslikavo modre barve pri prostoru CIELAB, saj je ta v tem delu neenoten [23–25]. Kot je bilo že omenjeno, se CIECAM02 slabše obnese pri napovedovanju dražljajev na zelo svetlih in zelo temnih ozadjih [9], kar je mogoče opaziti pri preslikavi modre in cian barve na slikah 4 in 5. Preslikava iz Adobe RGB v barvni prostor sRGB s pomočjo CIELAB je bila pri modri barvi boljše, medtem ko je bila pri vseh drugih barvah boljše preslikava z uporabo CIECAM02. Pri preslikavi iz Wide Gamut RGB v sRGB s pomočjo CIELAB pa je bila tudi rumena barva zelo slabo preslikana, saj na temnejšem ozadju postane bela, kar lahko zelo vpliva na barvni obseg končne reprodukcije. Ponovno lahko pri preslikavi CIELAB iz Wide Gamut RGB v barvni prostor sRGB opazimo takšen premik barv, ki bi povzročil posterizacijo, in sicer pri zelenem in cian polju na sliki 5.

4 Sklepi

Raziskava je pokazala, da sta tako CIECAM02 kot CIELAB uporabna za izvedbo barvnih preslikav, kar so potrdile tudi druge raziskave [21, 23, 25]. Prav

tako lahko potrdimo, da je dal model barvnega zaznavanja CIECAM02 boljše rezultate kot CIELAB, v nasprotju s pričakovanji [25] pa se je CIECAM02 slabše obnesel pri preslikavi modre in vijoličaste barve pri spremembi ozadja. Model barvnega zaznavanja CIECAM02 je bil nekoliko boljši, saj smo dobili manjšo povprečno barvno razliko in boljše vizualno ujemanje originalnih in preslikanih barv pri spremembi svetlosti ozadja, razen pri modri in vijoličasti barvi. Boljši rezultati pri preslikavi s pomočjo CIECAM02 so posledica dejstva, da modeli barvnega zaznavanja poleg spremembe bele točke upoštevajo tudi dejavnike, ki so povezani z zaznavanjem barve. Zato so modeli barvnega zaznavanja uporabni pri barvnih reprodukcijah, kjer se vhodni in ciljni pogoji opazovanja ne ujemajo, z njimi pa lahko dosežemo kakovostnejšo barvno reprodukcijo. V tej raziskavi je bil uporabljen osnovni model barvnega zaznavanja CIECAM02, v nadaljnje pa bi bilo smiselno upoštevati predlagane popravke, preslikave izvesti ter proučiti dobljene rezultate.

Viri

1. FAIRCHILD, Mark D. *Color appearance models*. Chichester, West Sussex, England: John Wiley & Sons, 2005. 385 str.
2. *Readings on color - vol. 1 : the philosophy of color*. Edited by A. Byrne, D. R. Hilbert. Massachusetts: Massachusetts Institute of Technology, 1997. 345 str.
3. WYSZECKI, G. Current developments in colorimetry. *AIC Color* 73, 1973, str. 21-51.
4. HUNT, R.W.G. *The reproduction of colour*. Chichester, West Sussex, England: John Wiley & Sons, 2004. 702 str.
5. MACADAM, D.L. Visual sensitivities to color differences in daylight. *Journal of the Optical Society of America*, 1942, vol. 32, no. 5, str. 247-274.
6. *WCS Gamut Map Model Profile Schema and Algorithms* [dostopno na daljavo]. Microsoft Developer Network, 2010, [citirano 26.6.2012]. Dostopno na svetovnem spletu: <[http://msdn.microsoft.com/en-us/library/windows/desktop/dd372430\(v=vs.85\).aspx#Hue_Mapping](http://msdn.microsoft.com/en-us/library/windows/desktop/dd372430(v=vs.85).aspx#Hue_Mapping)>.
7. ĐORĐEVIĆ, D., JAVORŠEK, A., HLADNIK, A. Comparison of chromatic adaptation transforms used in textile printing sample preparation. *Coloration Technology*, 2010, vol. 126, no. 5, str. 275-281, doi: 10.1111/j.1478-4408.2010.00258.x.
8. KAZLAUCIUNAS, Algy. Photorealistic ink-jet digital printing – factors influencing image quality, image stability and print durability. *Coloration Technology*, 2010, vol. 126, no. 6, str. 315-324, doi: 10.1111/j.1478-4408.2010.00271.x.
9. CHOI, S. Y., LUO M. R., POINTER, M. R., LI, C., RHODES, P. A. Changes in colour appearance of a large display in various surround ambient conditions. *Color Research and Application*, 2010, vol. 35, no. 3, str. 200-212, doi: 10.1002/col.20567.
10. LIU, Zhen, LU, Liang, TSAI, Sengyan. The research on mechanism of color management systems based on iCAM color appearance model. *Computers and Mathematics with Application*, 2009, vol. 57, no. 11-12, str. 1829-1834.
11. KUANG, J., JOHNSON M. G., FAIRCHILD, M. D. iCAM06 : A refined image appearance model for HDR image rendering. *Journal of Visual Communication & Image Representation*, 2007, vol. 18, no. 5, str. 406-414.
12. XIAO, Kaida, LUO, Ronnier M., LI, Changjun, HONG, Guowei. Color appearance of room colors. *Color research and application*, 2010, vol. 35, no. 4, str. 284-293, doi: 10.1002/col.20575.
13. SOLTIC, Snjezana, CHALMERS, Andrew N., JAMMALAMADAKA, Radhika. Application of the CIECAM02 colour appearance model to predict the effect of gamma on the colours viewed on CRT monitors. *Signal Processing : Image Communication*, 2004, vol. 19, no. 10, str. 1029-1045.
14. ROBERSON, Debi, DAVIDOFF, Jules, DAVIES, Ian R. L., SHAPIRO, Laura R. Colour categories and category acquisition in Himba and English. V *Progress in Colour Studies: Volume II. Psychological Aspects*. Edited by Carole P. Biggam and Nicola Pitchford. Amsterdam, New York: John Benjamins Publishing, 2006, str. 159-172.
15. WINAWER, Jonathan, WITTHOFT, Nathan, FRANK, Michael C., WU, Lisa, WADE, Alex R., BORODITSKY, Lera. Russian blues reveal effects of language on color discrimination. *Proceeding of National Academy of Sciences of the United States of America*, 2007, vol. 104, no. 19, str. 7780-7785, <<http://www.pnas.org/content/104/19/7780.short>>.

16. JAVORŠEK, Andrej. *Preizkus modela barvnega zaznavanja CIECAM97s v standardnih pogojih : diplomsko delo*. Ljubljana, 2004. 38 str.
17. FAIRCHILD, Mark D. Status of CIE color appearance models. V *9th Congress of International Colour Association : proceedings volume*. Edited by R. Chung, A. Rodrigues. Rochester, 6.6.2002, str. 550–553. Dostopno na svetovnem spletu: <<http://www.cis.rit.edu/fairchild/PDFs/PRO13.pdf>>.
18. FAIRCHILD, Mark D. A Revision of CIECAM97s for practical applications. *Color Research and Application*, 2001, vol. 26, no. 6, str. 418–427.
19. MORONEY, Nathan, FAIRCHILD, Mark D., HUNT, R.W.G., LI, Changjun., LUO, M. Ronnier, NEWMAN, Todd. The CIECAM02 color appearance model. V *The 10th Color Imaging Conference : Color Science and Engineering Systems, Technologies, and Applications*. Scottsdale, Arizona, 2002, vol. 10, str. 23–27.
20. LI, Changjun, LUO, M. Ronnier, HUNT, Robert W.G., MORONEY, Nathan, FAIRCHILD, Mark D., NEWMAN, Todd. The performance of CIECAM02. V *The 10th Color Imaging Conference : Color Science and Engineering Systems, Technologies, and Applications*. Scottsdale, Arizona, 2002, vol. 10, str. 28–32.
21. BRILL, Michael H., SUSSTRUNK, Sabine. Repairing gamut problems in CIECAM02 : A progress report. *Color Research and Application*, 2008, vol. 33, no. 5, str. 424–426.
22. LI, Changjun, PERALES, Esther, LUO, M. Ronnier, MARTINEZ-VERDU, Francisco. Mathematical approach for predicting non-negative tristimulus values using the CAT02 chromatic adaptation transform. *Color Research and Application*, 2012, vol. 37, no. 4, str. 255–260, doi: 10.1002/col.20694.
23. LOU Ming Ronnier, LI, Changjun. CIECAM02 and its recent developments. V *Advanced Color Image Processing and Analysis*. Edited by C. Fernandez-Maloigne. New York: Springer, 2013, str. 19–58.
24. BRATUŽ, Nika, JAVORŠEK, Andrej, JAVORŠEK, Dejana. Barvne preslikave s pomočjo CIECAM02 in CIELAB. *Grafičar*, št. 1, 2013, str. 20–23.
25. MORONEY, Nathan, ZENG, Huan. *Field trials of the CIECAM02 color appearance model* [dostopno na daljavo], [citirano: 20.5.2012]. Palo Alto: Hewlett-Packard Laboratories, 2003. Dostopno na svetovnem spletu: <http://www.hpl.hp.com/personal/Nathan_Moroney/cie-2003-moroney.pdf>.
26. XIAO, Kaida, WUERGER, Sophie, FU, Chenyang, KARATZAS, Dimosthensis. Unique hue data for colour appearance models. Part I: Loci of unique hues and hue uniformity. *Color Research and Application*, 2011, vol. 36, no. 5, str. 316–323, doi: 10.1002/col.20637.
27. LINHARES, J.M.M., NASCIMENTO, S.M.C. Color Diversity Index – The effect of chromatic adaptation. V *International Conference on Applications of Optics and Photonics*. Edited by M.F. Costa, P. Tavares, H. Correia. *Proceedings of the SPIE*, 2011, vol. 8001, str. 8001104–8001109.
28. MOROVIČ, Ján. *Color gamut mapping*. Chichester, West Sussex, England: John Wiley & Sons, 2008. 287 str.
29. *Barvni geslovník* [dostopno na daljavo], [citirano 20.5.2012]. *Grafičar*, 2008 Dostopno na svetovnem spletu: <http://www.graficar.si/index.php?option=com_content&task=view&id=18&Itemid=46>.
30. MOROVIČ, Ján, LUO, M. Ronnier. The fundamentals of gamut mapping: a survey. *The Journal of Imaging Science and Technology*, 2001, vol. 45, no. 3, str. 238–290.
31. XIAO, Kaida, LUO, Ronnier M., LI, Changjun., HONG, Guowei. Color appearance of room colours. *Color Research and Application*, 2010, vol. 35, no. 4, str. 284–293.