

AUTOMATSKO BOJANJE CRNO BIJELIH FOTOGRAFIJA UZ POMOĆ ALGORITAMA UMJETNE INTELIGENCIJE

AUTOMATICALLY COLORIZE BLACK AND WHITE PHOTOS USING ARTIFICIAL INTELLIGENCE ALGORITHMS

Ivan Šlogar¹, Miroslav Slamić²

¹Tehničko veleučilište u Zagrebu – student

²Tehničko veleučilište u Zagrebu

SAŽETAK

U radu je na praktičnim primjerima prikazana metoda za automatsko bojanje crno bijelih fotografija zasnovana na algoritmima dubokog učenja. Uz napredak postignut u području automatskog bojanja crno bijelih fotografija, naglasak je na najnovijoj metodi prezentiranoj u literaturi i praktično implementiranoj kao Web servis. Kroz rad se, između ostalog, želi istaknuti uspjeh same metode naspram dosada postojećih metoda te inovacije koje ona donosi. Svrha razvijanja novih metoda jest razvoj poboljšanih algoritama koji toliko dobro mogu obojiti crne-bijele fotografije da ljudi ne mogu razaznati original od „lažne“, čime će postotak prevare narasti na 50%. Važno je napomenuti da ovi algoritmi ne rade na principu da oboje fotografiju isto kako izgleda original, već je cilj obojati dovoljno realno kako bi se prevarilo gledatelja.

U radu su napravljena ispitivanja uspješnosti spomenutog algoritma na vlastitim fotografijama. Uz provedena ispitivanja koristili smo histograme originalnih i obojanih fotografija kako bi se dobilo više informacija o uspješnosti metode. Prikazani rezultati istraživanja napravili smo na dva skupa fotografija, iz baze Image-net i vlastitim fotografijama.

Ključne riječi: *konvolucionalne neuronske mreže, RGB, Lab, automatsko bojanje fotografija*

ABSTRACT

This paper has used practical examples to demonstrate the method for automatic colorization of black and white photographs based on deep learning algorithms. With the advancements accomplished in the field of automatic colorization of black and white photographs, the highlight was on the latest method demonstrated in the literature and implemented as a Web service. The paper aims, among other things, to highlight the success of the method itself against existing methods and the innovations it brings. The purpose of developing new methods is to develop improved algorithms that can color black and white photos so well that people cannot distinguish between the original and the „fake“, increasing the fooled percentage to 50%. It is important to point out that these algorithms do aim to color the photo to look same as the original, instead they aim to color realistically enough to fool the viewer.

In this paper, the performance tests of the forementioned algorithm were made on personal photographs. Along with the conducted research, histograms of original and colored photographs were used in order to obtain more information about the method's success. Displayed results of the conducted research were made on two sets of photographs, one originating from Image-net database and the other consisting of personal photographs.

Keywords: *convolutional neural networks, RGB, Lab, automatically coloring photos*

1. UVOD

1. INTRODUCTION

Bojanje ili kolorizacija je proces kojim se iz crno-bijelih fotografija proizvedu fotografije u bojama koje predstavljaju semantičke boje i tonove ulazne slike (npr. boja oceana na vedri dan mora biti zelenkasta ili plavkasta, ne može nikako biti smeđa ili crvena).

Dosadašnje metode za bojanje crno-bijelih slika sastojale su se od :

- metoda koje su veoma zavisile o ljudskom faktoru, čovjek je morao odlučivati koje boje bi odgovarale na fotografiji,
- metoda koje su proizvodile desaturirane (nezasićene) slike što znači nedostatak boja, slike su bile više crno-bijele.

Istraživanja prikazana u ovom radu temelje se na postignutim rezultatima metode primijenjene na kolorizaciju obrađene u radu Zhang et al. [1]. Uz prikaz provedenog istraživanja u ovom radu proveli smo i istraživanje na vlastitim ispitanicima koristeći fotografije s ImageNet-ove baze fotografije uz fotografije koje smo osobno snimili. Od ispitanika je traženo da identificiraju obojano fotografiju, a uz ispitivanje su korišteni histogrami kao moguće sredstvo usporedbe kvalitete obojanih i originalnih fotografija.

2. PREGLED PODRUČJA RADA

2. AREA OF WORK OVERVIEW

Većinom se kod kodiranja boja na slikama koristi RGB [6] model, to je model u kojem se crvena, zelena i plava boja zajedno kombiniraju kako bi se dobile ostale boje, pa samo njihova zastupljenost određuje koja će se boja dobiti. No pri bojanju crno-bijelih slika ne koristi se RGB model već takozvani Lab [4] model.

Takozvani Lab model definiran je od strane Internacionalne komisije za rasvjetu 1976. godine. On izražava boje kroz 3 brojčane vrijednosti: L označava intenzitet svijetla (Lightness), a i b označavaju zeleno-crveni i plavo-žuti spektar boja [2].

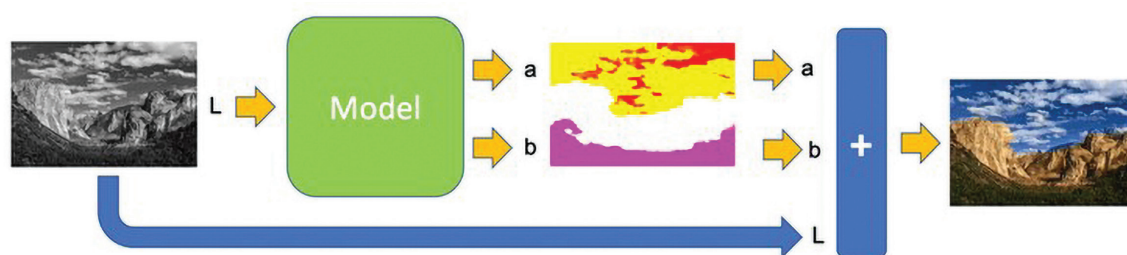
Lab prostor boja stvoren je nakon osnutka teorije suprotnih boja, u kojoj dvije boje ne mogu biti crvena i zelena u isto vrijeme ili žuta i plava. Za razliku od RGB modela, Lab boja je dizajnirana da imitira ljudski vid. Pokušava se percipirati na način čovjeka, gdje njena komponenta L blisko nalikuje na ljudsko shvaćanje intenziteta boje. Računalo prima L komponentu i na temelju nje pokušava estimirati a i b komponente, te na taj način iz crno-bijele stvoriti sliku u boji, koja će na kraju biti u mogućnosti uvjeriti čovjeka kako nije „lažna“.

Najnovije metode bojanja crno-bijelih slika koriste konvolucijske neuronske mreže (CNN) [5], to je tip neuronskih mreža koji se koristi za obradu slika i videa, a sadrži više slojeva. One uče tako da pomoću malih i kratkih uzoraka generiraju veće i duže (složenije uzorke). Svaka neuronska mreža mora biti „trenirana“, u ovom slučaju to se odvija tako da neuronska mreža prima jako veliki broj slika na kojima može učiti (preko 500 000, čak i preko 1 000 000). Na temelju tog ulaznog materijala za učenje, mreža se razvija i može sa sve većom preciznošću računati koja boja treba biti na određenom dijelu slike. Na temelju toga može dobiti vrijednosti a i b varijabli kako bi se iz crno-bijele slike dobila slika u boji [5].

Istraživanja u ovom radu temelje se na metodi objavljenoj u radu Zhang et al. [1,3] koja predstavlja najnoviju inovaciju naspram dosadašnjih metoda jer koristi klasifikaciju boja, no na većem modelu. Trenirana je na puno većem broju podataka i ima nekoliko inovacija u funkciji gubitka i mapiranju završnog rezultata.

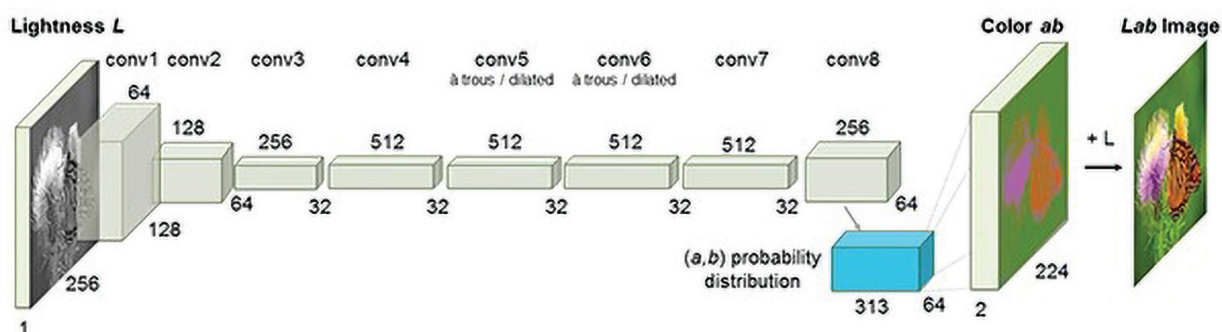
Sama funkcija koristi klasifikaciju pri računanju mogućeg gubitka informacija prilikom računanja boja te rebalansira rijetke klase. Za arhitekturu koriste jedno-kanalnu mrežu sa dodanom dubinom i razrijeđenim konvolucijama, a za treniranje je korištena ImageNet baza fotografija [3].

Prethodno ovoj metodi, algoritmi bojanja su se razlikovali po načinu na koji su dobivali i obrađivali podatke za modeliranje veza između crno-bijelih fotografija i fotografija u boji. Metode bez parametara primale su crno-bijelu sliku i boju za referencu, koja je najčešće bila dana od strane korisnika, kako bi se mogla koristiti kao mjerilo.



Slika 1 Primjer primjenjivanja modela na crno-bijelu fotografiju [4]

Figure 1 An example of applying a model to black and white photograph [4]



Slika 2 Arhitektura Zhang et al. metode [3]

Figure 2 Architecture of Zhang et al. method [3]

Nakon toga nastaje finalna fotografija premještanjem boje sa analognih područja na referentnu fotografiju. Parametrizirane metode međutim predviđaju funkcije iz velikih setova podataka sačinjenih od fotografija u boji koje su im dane prilikom treniranja, no u njima se javlja problem sa regresijom u prostoru boja ili klasifikacijom kvantiziranih vrijednosti boja.

Za implementaciju algoritma korišten je OpenCV. OpenCV skup je biblioteka računalnog vida i strojnog učenja na bazi otvorenog koda. Pruža infrastrukturu aplikacijama koje koriste računalni vid i ubrzava korištenje strojne percepcije u komercijalnim proizvodima.

S preko 2500 algoritama optimiziranih za strojno učenje i računalni vid, koje čine kako najnovije tako i neke klasične metode, OpenCV se primjenjuje pri detekciji objekata, oblika, klasifikaciji ljudskih pokreta na fotografijama i videu, dobivanje slika velike rezolucije kombinacijom slika manjih rezolucija te, ono najbitnije za ovaj rad, automatsko bojanje crno bijelih fotografija. OpenCV podržava brojne programske jezike kao što su Python, MATLAB, C, Java, C++ te je također podržan na operacijskim sustavima kao što su Linux, Android, Windows i Mac [7].

Autori rada [3] pokazali su da je njihova metoda uspješnija po kriteriju „zavaravanja“ gledatelja od dotadašnjih metoda. Sam cilj razvoja bio je razvoj algoritma koji će moći dovoljno dobro obojati crno bijelu sliku kako sam gledatelj ne bi znao koja slika je original, a koja je rezultat obrade crno bijele slike. Objavljena metoda trenirana je sa preko milijun slika uzoraka, koristeći ImageNet-ovu bazu slika.

Autori su u projektu uradili usporedbu svoje metode naspram dvije popularne postojeće metode Dahl i Larsson [9, 10], kao i običnih jednostavnih metoda kod kojih čovjek određuje koje boje odgovaraju.

U tom istraživanju sudionici su prvo dobili 10 parova slika od kojih je jedna bila original a druga je bila crno bijela slika obrađena njihovom metodom. Sudionici su trebali odabrati koja slika je „lažna“ te su dobili rezultate nakon svakog odabira. Ovom metodom utvrdilo se da osoba razumije zadatak koji će imati u testu. Nakon uspješnog završetka zadatka, sudionici su dobili 40 parova slika, no ovaj put im nije rečeno da li je njihov odabir bio točan.

Rezultati studije pokazuju da je ova metoda uspješno prevarila gledatelja u 32% slučajeva, s obzirom da je dotad najuspješnije bilo 27% [10] ovo se smatra dobrim poboljšanjem u području automatskog bojanja crno bijelih slika, no i dalje je cilj razviti savršenije metode, koje bi obojale slike tako dobro da ljudi ne bi mogli razaznati koja je original, a koja „lažna“. Uz uspješnost takve metode od 50% gledatelji bi jednostavno morali nagađati koja je „lažna“ [3].

3. REZULTATI ISTRAŽIVANJA PROVEDENIH U OVOM RADU

3. RESULTS OF THE RESEARCH CONDUCTED IN THIS PAPER

Za ovo istraživanje korišteno je trideset fotografija različitih motiva (osobe, pejzaž, predmeti), od kojih je petnaest izvorno sa ImageNet-ove baze fotografija dok drugih petnaest čine vlastite originalne fotografije snimljene u svrhu istraživanja provedenog u ovom radu. Sve slike pretvorene su u crno bijelu sliku te su obojane Zhang metodom [3]. Bojanje slika obavljeno je korištenjem Web servisa na Internet stranici Algorithmia koji je utemeljen na algoritmima razvijenim od strane Richard Zhang, Phillip Isola, i Alexei A. Efros [11]. Istraživanje je vršeno na način da je ispitanicima ponuđen par fotografija koji je sadržavao original i obojanu istu fotografiju te su ispitanici morali prepoznati koja je fotografija original, a koja je obojana.

Fotografije sa ImageNeta imaju format 240x240 dok osobne fotografije su u formatu 320x240, osim fotografija osoba, koje su fotografirane u većim formatima. Razlog malog formata jest činjenica da je i sam algoritam treniran na malim fotografijama radi performansa i memorije. Također, ako je manje detalja na fotografiji vidljivo, lakše je kreirati realistično obojanu fotografiju. Fotografije osoba fotografirane su u većim formatima kako bi se ispitala i uspješnost metode na većim formatima i kako bi se evidentirali rezultati histograma na istima. Za snimanje fotografija korištena je besplatna mobilna android aplikacija „Open Camera“. Današnji mobilni uređaji imaju visoko rezolucijske kamere, te je trebalo naći način snimanja manje kvalitetnih fotografija.

Između mnogih mogućnosti koje nudi aplikacija, korištena je radi svojstva fotografiranja nisko rezolutnih fotografija, koje su bile prijeko potrebne za ovaj rad.

Kroz provedeno istraživanje i obradu fotografija dobiveni su neki veoma dobri, no i neki veoma loši rezultati bojanja, a primjeri obje vrste rezultata bojanja prikazani su u nastavku. Za potrebe istraživanja prikazanog u ovom radu koristili smo i histograme originalnih i obojanih fotografija.

Histogram je točna reprezentacija distribucije brojevnih vrijednosti na fotografiji. Histogram fotografije prikazuje učestalost vrijednosti raspoređenih na njoj i služi kao grafička reprezentacija tonske distribucije na digitalnoj slici. Važno je napomenuti vezano za histograme da tonski raspon označava područje gdje je najveći intenzitet vrijednosti prisutan na slici. Lijeva strana reprezentira crna i tamna područja poznatija kao sjene, sredina reprezentira srednje sivo i srednje tonska područja, a desna strana reprezentira svjetlija i potpuno bijela područja.

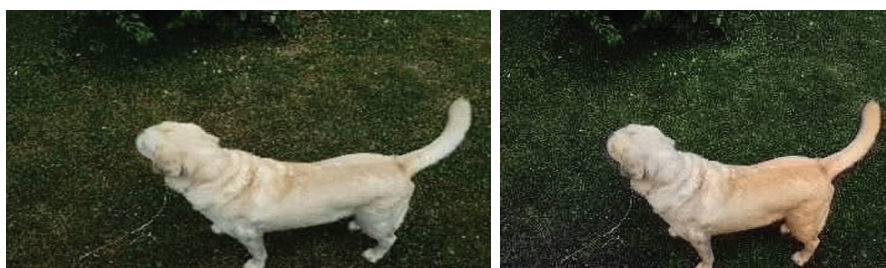
Svrha korištenja histograma jest mogućnost određivanja kvalitete obojane fotografije na temelju usporedbe histograma originalne i obojane fotografije, te određivanje korelacije između histograma i realističnosti obojane fotografije [8]



Slika 3 ImageNet fotografija Priroda

Figure 3 ImageNet photograph Nature

Prvi par fotografija izvorno je sa ImageNet-a, dok je drugi vlasništvo autora. Ova dva para ostvarila su najbolji uspjeh pri zavaravanju ljudi. Slika prirode ostvarila je uspjeh od 60%, dok se slika psa ostvarila uspjeh od 53%. Ovaj postotak smatra se značajnim jer se savršenim bojanjem smatra postotak od 50% jer onda ispitanici ne znaju koja je fotografija original te moraju nagađati.



Slika 4 Vlastita fotografija Pas
Figure 4 Personal photograph Dog

Neki od najboljih rezultata bojanja prikazani su na slijedećim slikama:



Slika 5 ImageNet fotografija Burger
Figure 5 ImageNet phototograph Burger



Slika 6 Vlastita fotografija Auto
Figure 6 Personal photograph Car

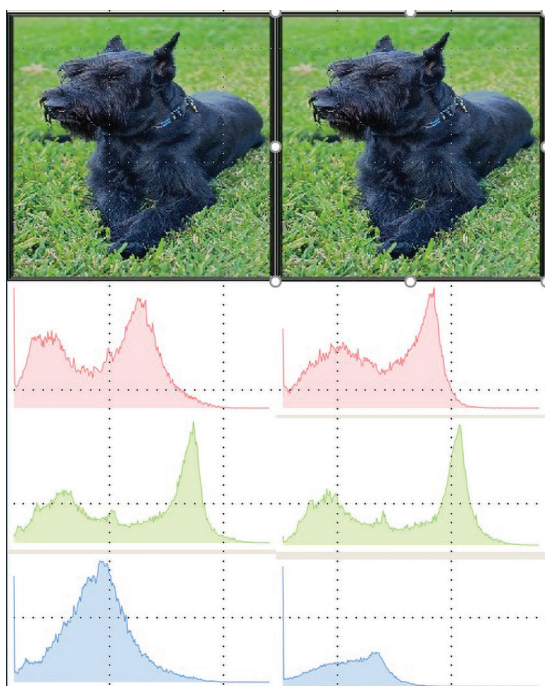
Oba para fotografija ostvarila su 0% uspješnosti pri zavaravanju ljudi, dok je u prvom primjeru nedostatak boja očiti indikator o originalnosti fotografije, u drugom primjeru javlja se problem kod miješanja i prelijevanja boja, čineći obojenu fotografiju nerealističnom. Konačni rezultati provedenog istraživanja prikazani su u Tablici 1.

Nakon dobivanja rezultata za svaku fotografiju posebno, koji su vidljivi u tablici 1, zbrajanjem uspješnosti prevare ImageNet-ovih i vlastitih fotografija dolazimo do podataka da su ImageNet-ove fotografije ostvarile uspjeh od 13%, dok su vlastite fotografije ostvarile uspjeh od 15% pri zavaravanju ljudi. Razlika u uspjesima na ovako malom broju ispitanika je zanemariva (samo 5 glasova), no iz oba slučaja evidentno je kako su ispitanici sa velikom uspješnosti identificirali većinu originalnih fotografija.

Tablica 1. Rezultati provedenog istraživanja

Table 1. Results of the conducted research

Fotografija (ImageNet)	Zavarane osobe	Fotografija (vlastita)	Zavarane osobe
Priroda 1	46.66%	Auto 1	0%
Priroda 2	60%	Auto 2	0%
Priroda 3	36.36%	Auto 3	0%
Pas 1	20%	Cvijeće 1	0%
Pas 2	13.3%	Cvijeće 2	40%
Pas 3	0%	Cvijeće 3	0%
Ptica 1	0%	Lopta	33.33%
Ptica 2	0%	Pas 1	0%
Ptica 3	20%	Pas 2	53.33%
Hrana 1	0%	Pas 3	40%
Hrana 2	0%	Drvo	33.33%
Hrana 3	0%	Uzorak	13.33%
Wok 1	6.6%	Osoba 1	0%
Wok 2	0%	Osoba 2	0%
Wok 3	0%	Osoba 3	13.33%



Slika 7 Primjer dobrog bojanja sa pripadajućim histogramima

Figure 7 An example of good colorization with corresponding histograms

Histogrami su napravljeni kako bi se vidjelo postoji li korelacija između histograma dobro obojane fotografije i originala i loše obojane fotografije i originala, tj. da li se iz samih histograma može predvidjeti uspješnost i kvalitetu obojane fotografije.



Slika 8 Primjer lošeg bojanja sa pripadajućim histogramima

Figure 8 An example of bad colorization with corresponding histograms

Iz primjera sa slike 7 vidljiva je velika razlika u histogramu plavog kanal, no gledajući same fotografije, obje imaju realistične boje i nije lagano identificirati original, tj. lažnu fotografiju. Gledajući samo fotografije sa slike 8 odmah je vidljivo koja fotografija je obojana, a koja original, dok gledajući histograme, razlike kroz sva 3 kanala veoma su male, skoro pa neprimjetne.

4. ZAKLJUČAK

4. CONCLUSION

Nakon provedenog istraživanja i analize histograma zaključili smo da, iako sam algoritam ima veliki potencijal pri bojanju fotografija što je vidljivo iz sličnosti samih fotografija (originala i obojanih), ipak postoji nedostatak pri bojanju fotografija iz svakodnevnog života. Fotografije s manje detalja, slabijim svjetlom, bez sjena, ili s manje boja pokazuju bolje rezultate.

Suprotno tome, na fotografijama sa žarkim bojama, reflektivnim površinama, mnogim kombinacijama boja ili prisutnosti sjena može se primijetiti sam nedostatak algoritma.

Unatoč poboljšanju u uspješnosti pri zavarivanju ljudi u usporedbi sa prijašnjim radovima i metodama koje pokazuje ovaj algoritam, iz osobnog istraživanja provedenog evidentno je kako je rezolucija predstavlja problem jer rezolucija i kvaliteta fotografija koje ljudi fotografiraju ili videa koji snimaju stalno raste, a trenutno pri učenju algoritma zbog količine podataka koji se generiraju zavisno o veličini fotografije ne može se trenirati na fotografijama veće kvalitete. Trenutno se ne može uspoređivati sa originalnim fotografijama osim u idealnim uvjetima.

Najveću prepreku unaprjeđenju algoritama za bojanje trenutno pruža memorija, jer nakon obrade samo jedne male fotografije 240x240, neuronske mreže koje kreiraju algoritam za bojanje stvaraju 12Mb podataka, što trenutno onemogućuje treniranje mreža na fotografijama većih rezolucija. Kada se riješi problem memorije, neuronske mreže moći će biti trenirane na još većem setu podataka i na fotografijama boljih rezolucija, što će znatno poboljšati efikasnost same metode.

5. REFERENCE

5. REFERENCES

- [1.] Adrian Rosebrock, Black and white image colorization with OpenCV and Deep Learning, 2019, in Deep Learning, OpenCV, Tutorials. <https://www.pyimagesearch.com/2019/02/25/black-and-white-image-colorization-with-opencv-and-deep-learning/>, 21.6.2019.
- [2.] Rafael Huertas, An overview of recent color-difference formulae, INTERNATIONAL Symposium on Graphic Engineering and Design GRID (7; 2014; Novi Sad), pages 15-28, ISBN 978-86-7892-645-7.
- [3.] Zhang R., Isola P., Efros A.A. (2016) Colorful Image Colorization. In: Leibe B., Matas J., Sebe N., Welling M. (eds) Computer Vision – ECCV 2016. ECCV 2016. Lecture Notes in Computer Science, vol 9907. Springer, Cham, Print ISBN 978-3-319-46486-2
- [4.] Satoshi Iizuka, Edgar Simo-Serra, Hiroshi Ishikawa, Let there be color!: joint end-to-end learning of global and local image priors for automatic image colorization with simultaneous classification, ACM Transactions on Graphics (Proc. of SIGGRAPH 2016): Volume 35 Issue 4, July 2016.
- [5.] Jason Brownlee, Deep Learning for Computer Vision, Machine Learning Mastery, Ebook 2019., <https://machinelearningmastery.com/>, 21.6.2019.
- [6.] Veronica Marchiafava and Lia Luzzatto (Editors), Colour and Colorimetry Multidisciplinary Contributions. Vol. XIV B, 2018, ISBN 978-88-99513-09-2.
- [7.] OpenCV, <https://opencv.org/about/>, 6.8.2019.
- [8.] Raghunath D, Image Histograms in OpenCV, Medium, 2019., <https://medium.com/@rndayala/image-histograms-in-opencv-40ee5969a3b7>, 6.8.2019.
- [9.] Arshiya Sayyed, Apeksha Rahangdale, Rutuja Hasurkar, Kshitija Hande, Automatic Colorization Of Gray-scale Images using Deep Learning, International Journal of Science, Engineering and Technology Research (IJSETR), Volume 6, Issue 4, April 2017, ISSN: 2278 -7798
- [10.] Larsson, Gustav & Maire, Michael & Shakhnarovich, Gregory. (2016). Learning Representations for Automatic Colorization. Computer Vision – ECCV 2016: 14th European Conference, Amsterdam, The Netherlands, October 11–14, 2016, Proceedings, Part IV (pp.577-593), DOI: 10.1007/978-3-319-46493-0_35, Issn: 0302-9743.
- [11.] Algorithmia, Bojanje fotografija algoritmom Zhang et al., <https://demos.algorithmia.com/colorize-photos/>, 6.8.2019.

AUTORI · AUTHORS

Ivan Šlogar

Rođen u Zagrebu 1993. Godine gdje se školovao i živi. Od 2014. godine studirao je na Tehničkom Veleučilištu u Zagrebu na preddiplomskom stručnom studij u računarstvu, smjer programsko inženjerstvo. Na zadnjoj godini studija zapošljava se u struci kao analitičar kvalitete proizvoda te uz rad na puno radno vrijeme završava 2017. godine preddiplomski studij. Nakon toga nastavlja obrazovanje na Specijalističkom diplomskom studiju informatike na TVZ-u. U rujnu 2019. uspješno je obranio diplomski rad na temu “Primjena algoritama umjetne inteligencije na automatsko bojanje crno-bijelih fotografija” koji je bio inspiracija za objavljivanje rada u ovom časopisu.

Miroslav Slamić - nepromjenjena biografija nalazi se u časopisu Polytechnic & Design Vol. 3, No. 1, 2015.

Korespondencija

miroslav.slamic@tvz.hr