

## ANALIZA I REKONSTRUKCIJA RAČUNALNO GENERIRANIH HOLOGRAMA TISKANIH CTF TEHNIKOM ISPISA

### *ANALYSIS AND RECONSTRUCTION OF COMPUTER GENERATED HOLOGRAMS PRINTED BY CTF PRINTING TECHNIQUE*

Sandra Kovačević, Damir Modrić, Vladimir Cviljušac

*Grafički fakultet Sveučilišta u Zagrebu*

#### SAŽETAK

Informacijski sustavi u današnje vrijeme omogućuju bržu, jednostavniju i sigurniju komunikaciju. Sve veća potreba za sigurnošću ID-a i zaštitom branda potiče globalnu uporabu sofisticiranih tehnologija kako bi se osigurala značajne i učinkovite prepreke krivotvorenju, korištenjem sigurnosnih holograma. Tiskani računalno generirani hologrami (CGH) kao medij predstavljaju puno veći potencijal od klasične holografije. Također, otvorili su nove aspekte shvaćanja istih u pogledu i njihovih nedostataka. Analizom i rekonstrukcijom (numeričkom i optičkom), utvrđeni su limiti o korištenim programima koji su upotrijebljeni za rekonstrukciju računalno generiranih holograma tiskanih standardnim Computer to Film grafičkim postupkom. Analizom dobivenih rezultata rekonstrukcija interferiranih uzoraka pri kopiranju, utvrdili smo da se računalno generirani hologrami ne mogu kopirati navedenim metodama, odnosno nije moguće generirati kvalitetnu repliku.

**Ključne riječi:** *CGH, holografija, interferencija, optička rekonstrukcija, numerička rekonstrukcija, CTF postupak.*

#### ABSTRACT

Information systems nowadays enable faster, simpler and more secure communication. The growing need for ID security and brand protection encourages the global use of sophisticated technologies to ensure significant and effective barriers to counterfeiting, using

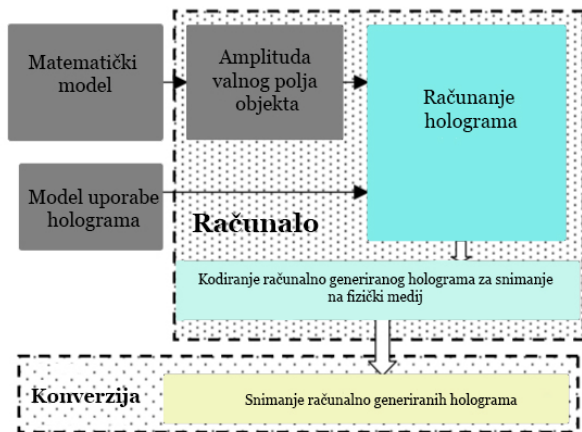
security holograms. Printed computer-generated holograms (CGH) as a medium represent much greater potential than classical holography. They also opened up new aspects of understanding them in terms of their shortcomings. By analysis and reconstruction (numerical and optical), limits were set on the programs used that were used for the reconstruction of computer - generated holograms printed by the standard Computer to Film graphic procedure. By analyzing the obtained results of reconstructions of interfering samples during copying, we found that computer - generated holograms cannot be copied by these methods, ie it is not possible to generate a quality replica.

**Keywords:** *CGH, holography, interference, optical reconstruction, numerical reconstruction, CTF printing proces*

#### 1. UVOD

Fokus istraživanja su prethodno računalno generirani hologrami otisnuti CtF (Computer to Film) standardnom grafičkom tehnikom ispisa u svrhu provjere mogućnosti kopiranja istih. Nad prikupljenim podacima provodila se analiza i usporedba interferentnih uzoraka u svrhu detektiranja deformacija prilikom kopiranja na visokim rezolucijama.[1] Obrada podataka sastajala se od dvije faze. Optička rekonstrukcija kopiranih interferentnih uzoraka programom „Adobe Photoshop CC 2015“ (korištenje alata za uređivanje razine osvjetljenja slike i pretvaranje slike u tonovima sive u crno-bijele s visokim kontrastom) i numerička rekonstrukcija primjenom specifičnog programa „ImageJ“. Korišteni program

koristi opciju FFT (Fast Fourier Transform) i omogućava brzu obradu informacija. Rezultati uzoraka pri ispisivanju na visokim rezolucijama potvrdili su da nije moguće generirane holograme reproducirati odnosno ne daju vjerodostojnu kopiju. U radu će se spominjati osnovne faze analize računalno generiranih holograma:



Slika 1 Osnovne faze u izradi računalno generiranih holograma [3]

## 2. METODA

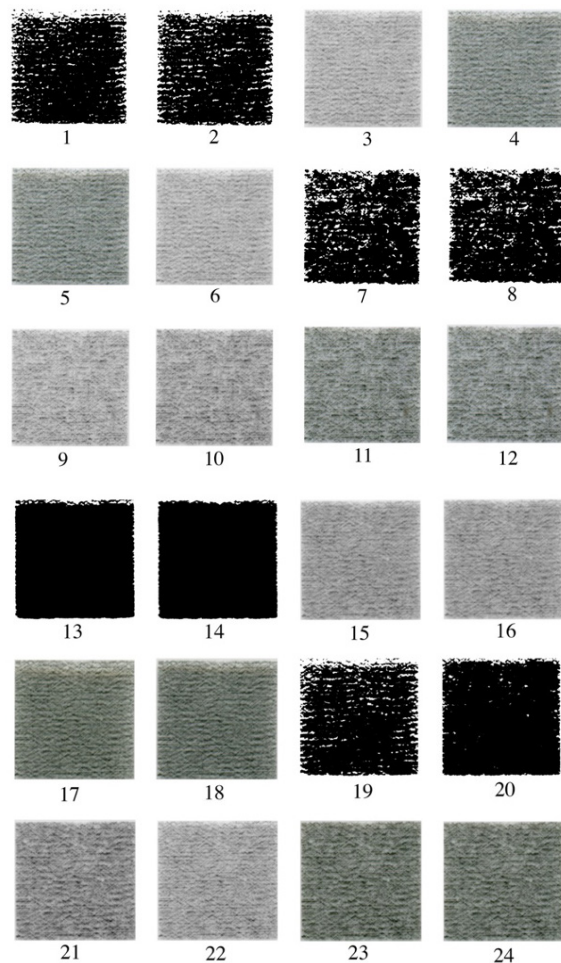
Hologrami korišteni za pripremu analize su kontinuirani i statični, binarizacija u rasponu od 50% do 95%, dok u svrhu pojednostavljenja postupka analize na hologramu je generirana slika jednostavne kocke. Postoci binarizacije daju informacije obojenja,[2] odnosno postotak 65% ukazuje da je na hologramu prilikom izrade propušteno 35% svjetla. Veličine statičnih holograma postavljene su na 5 milimetara te kako njihovo ime samo opisuje, to su hologrami kojima je rešetka dobivena jednim izračunom i objekt nije mijenjao kut. Dimenzije koje opisuju kontinuirane holograme od 5 i 6 milimetara nisu kocke već koraci u njihovim rešetkama.

Provedeno skeniranje na 3 načina: Black&White, 8 bit Grayscale, 24 i 48 bit Color kako bi se ustanovilo koji od ta tri načina daje najviše informacija odnosno zadržava izvorne zadane informacije. Radi lakše manipulacije podataka tijekom analize, skenirane holograme smo spremali u TIFF format (engl.Tag-based Image File Format), format koji podržava sažimanje podataka bez gubitka informacija.[4] Izabrali smo kao normalu hologram binarizacije 60% iz

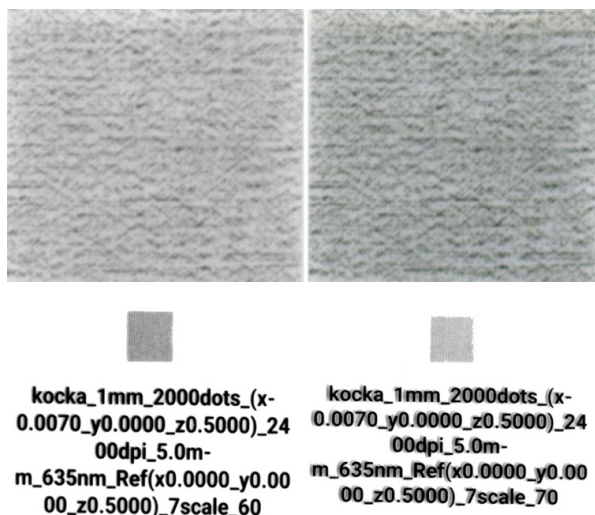
razloga što je na tom dijelu odstupanje svijetla prilikom skeniranja bilo najmanje. Razlog pojavi smatra se neravna folija prilikom skeniranja. Proces skeniranja provodio se u dvije rezolucije radi većeg opusa informacija 2400 dpi i 2540 dpi.



Slika 2 Priprema za ispis rezolucije 2400dpi



Slika 3 Prikaz holograma na korištenoj rezoluciji 2400 dpi i 2540 dpi



Slika 4 Usporedba holograma snimljenog Grayscale i 24 bit Color

## 2.1. OPTIČKA REKONSTRUKCIJA

Za proces rekonstrukcije holograma koristio se program Adobe Photoshop CC 2015. Inicijalnom analizom skeniranih holograma mogli smo zaključiti da drastične razlike u samom zapisu informacije i strukture ne postoji, pošto znamo da je sva struktura binarna.[6] Hologrami koji su propustili 40% svjetla imaju najbolju sliku. Pretpostavka je da iznad 80% će proći previše svjetla da bi rekonstrukcija bila moguća. Proces rekonstrukcije provodio se u više koraka.

1) Izrezivanje holograma kako bi u danjoj analizi bilo lakše intervenirati i manipulirati.

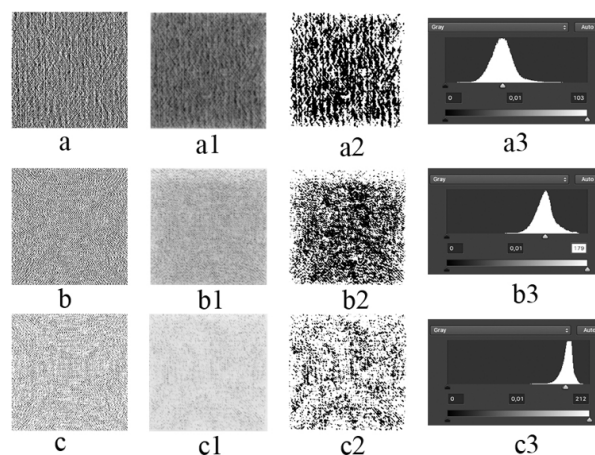
2) Kopiranje holograma. Proces skeniranja na fizikalne veličine holograma značajno ne utječe. [6] U ovom djelu procesa još se ne zna jesu li ti tonovi konkretna rešetka holograma ili su produkt skeniranja.

3) Superponiranje RGH. Za skenirani hologram „layer“ odabiremo način Miješanja boja (eng. Blend Mode) koji je jedan od najbržih načina za dobivanje slika kvalitetnog izgleda. Mijenja način na koji sloj reagira sa slojem ispod sebe. U našem slučaju izabrali smo način „Darken“. Ovaj način miješanja ne raspoređuje pixele slike, već uspoređuje samo bazu i boje, a zadržava i najtamniju od ove dvije. Uvelike nam pomaže vidjeti razliku između strukture rešetke RGH i skeniranog holograma.

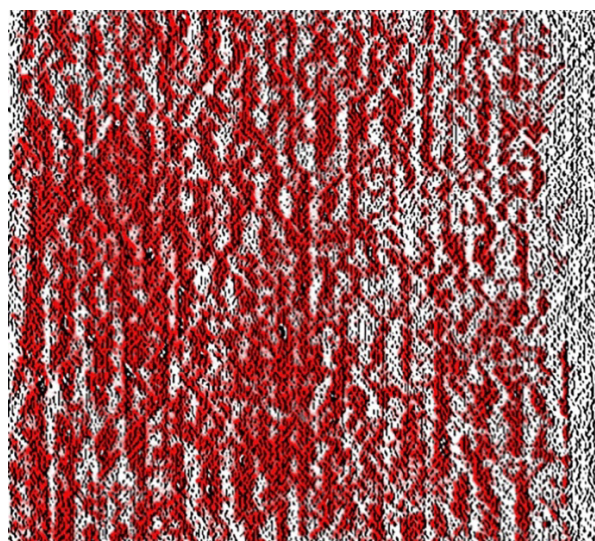
4) Kopirani hologram morali smo približiti RGH te izbaciti sjene i sive tonove koji su produkt

ogiba svjetlosti i raspršenja svjetlosti unutar materijala (folije) tijekom skeniranja.[7]

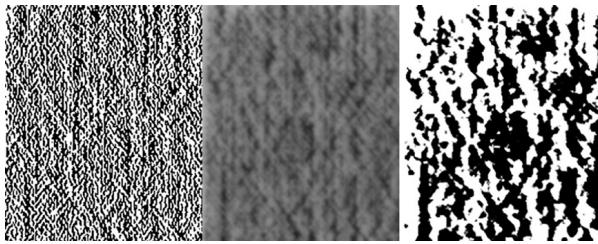
5) Zadnji korak optičke rekonstrukcije jest binariziranje holograma filterom „Threshold“. Filter pretvara slike u sivim tonovima ili slike u boji u visoko kontrastne, crno-bijele slike. Možemo odrediti i određenu razinu kao prag. Svi pixeli svjetliji od praga pretvaraju se u bijelu; a svi pixeli tamniji pretvaraju se u crnu (slika 7). U ovom koraku dolazimo do dijela istraživanja koji je ključan u prikazivanju je li naš „očišćeni“ hologram zadržao informaciju, te kolika je deformacija prilikom procesa kopiranja.



Slika 5 Prikaz rezultata: a) RGH 50% statični, a1) skenirani neobrađen hologram, a2) obrađen hologram, a3) rezultat (vrijednost 103), b) RGH 65% animirani/1 mm, b1) skenirani neobrađen hologram, b2) obrađen hologram, b3) rezultat (vrijednost 179), c) RGH 80% animirani/2 mm, c1) skenirani neobrađen hologram, c2) obrađen hologram, c3) rezultat (vrijednost 212)

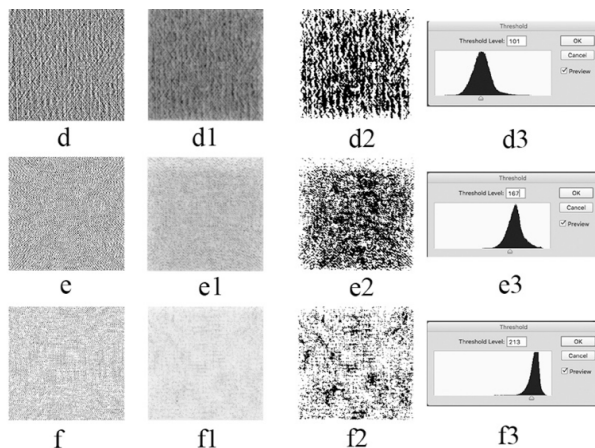


Slika 6 Prikaz razlike kopiranog holograma i originalnog RGH

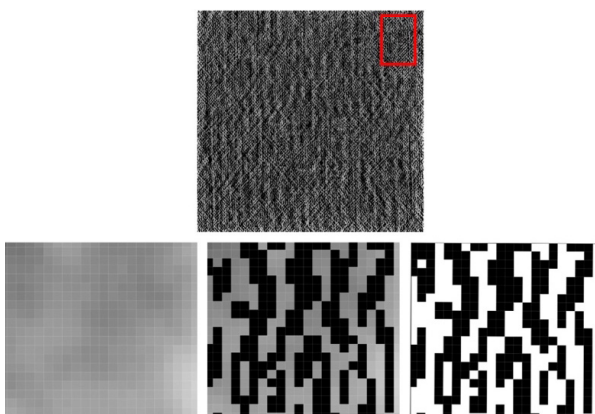


Slika 7 Uvećani prikaz statičnog holograma sa 50% prolaznosti svjetla u tri faze

Rubovi su nejednaki te se događa srastanje traka što je još jedna posljedica skeniranja i neravnomjernog ogiba svjetlosti (slika 8). Vidimo da postotak prolaznosti svjetla, odnosno postotak obojenja holograma ima veliki utjecaj na broj crnih odnosno bijelih točkica na hologramu. Možemo vidjeti po histogramu kako se raspodjela crnih i bijelih pixela razlikuje sa porastom prolaznosti svjetla kroz RGH.



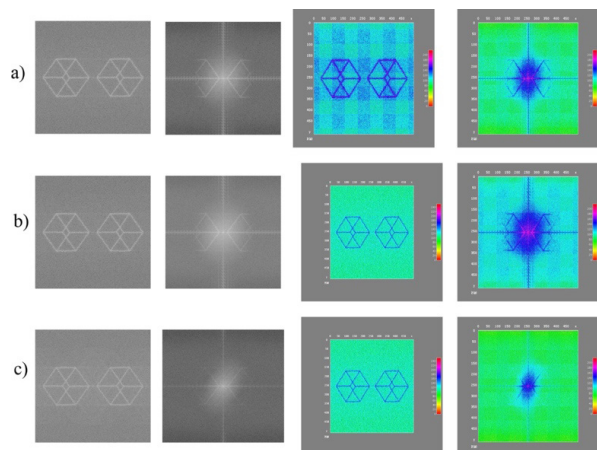
Slika 8 Prikaz rezultata: d) RGH 50% statični, d1) skenirani neobrađeni hologram, d2) obrađeni hologram, d3) rezultat (vrijednost 101), e) RGH 65% animirani/1 mm, e1) skenirani neobrađeni hologram, e2) obrađeni hologram, e3) rezultat (vrijednost 167), f) RGH 80% animirani/2 mm, f1) skenirani neobrađeni hologram, f2) obrađeni hologram, f3) rezultat (vrijednost 213)



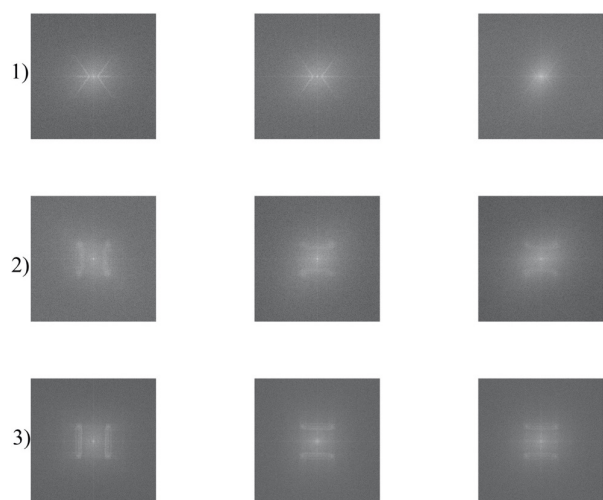
Slika 9 Prikaz obrade statičnog holograma propusnosti 50% filterom „Treshold“ (uvećano 3200%)

## 2.2. NUMERIČKA REKONSTRUKCIJA

„ImageJ“ program korišten za analizu slika, te se široko koristi u znanosti. Zbog jednostavnosti upotrebe, makro jezika za snimanje i proširive arhitekture dodataka, pruža spektar mogućnosti za fizičke znanosti. Program koristi opciju FFT (Fast Fourier Transform), algoritam koji izračunava diskretnu Fourierovu transformaciju (DFT) niza. Fourierova analiza pretvara signal iz izvora (često vremena ili prostora) u prikaz u frekvencije i obrnuto.[8] U našem slučaju FFT-om odnosno numeričkom rekonstrukcijom dolazimo do zaključka jesmo li uspjeli prvo skeniranjem, zatim optičkom rekonstrukcijom i na kraju numeričkom krivotvoriti RGH.



Slika 10 Numerička rekonstrukcija kontinuiranih holograma



Slika 11 Prikaz numeričke rekonstrukcije optički korigiranih holograma

Rezultati numeričke rekonstrukcije nam ukazuju da na skeniranim hologramima nedostaje dio rešetke. [9] Sve vrijednosti holograma blizu središta su

zadržale svoje vrijednosti, dok su vrijednosti na krajnjim točkama nestale (slika 10, 11).

### 3. ZAKLJUČAK

Po prikazima naših optičkih i numeričkih rekonstrukcija, možemo zaključiti da se primjenom komercijalnih skenera ne može kopirati naš RHG. Iz priložene slike (slika 11) vidi se kako je optički rekonstruirani hologram, odnosno njegova rešetka vidljivo degradirana nego skenirani hologram. Tijekom procesa skeniranja došlo je do disperzije svjetlosti unutar materijala (folije) što je za posljedicu imalo da smo također izgubili dio informacije. Temeljem Fourierove transformacije i upotrebu filtera za prostorne frekvencije slika pokazano je da je korišteni komercijalni skener djelovao kao niskofrekventni filter. Propuštene su niske prostorne frekvencije, dok su visoke zagušene i zato imamo slabu i nekvalitetnu rekonstrukciju (razmazanu sliku). Posljedica djelovanja filtera jesu slijepljene pruge interferencije holograma (slika 6). Problem djelovanja sustava za skeniranje kao niskofrekventnog filtera treba se još istražiti i vidjeti da li postoje neke mogućnosti kompenzacije, no to izlazi iz okvira ovog rada. Postupcima rekonstrukcije interferiranih uzoraka pokazali smo da je deformacija prevelika te da nije moguće prikazati prag prihvatljivih postotnih odstupanja kada nam inicijalni uzorak ne daje konkretne naznake. U svakom slučaju pokazano je da čak ni skenerom visoke rezolucije nije moguće dobiti kvalitetnu kopiju RHG.

### 4. REFERENCE

- [1.] Poon, Ting-Chung & Liu, Jung-Ping. (2014). Introduction to Modern Digital Holography with MATLAB.
- [2.] Ackermann, G. K., & Eichler, J. (2007). Holography: A practical approach. Weinheim: Wiley
- [3.] Yaroslavsky, Leonid. (2004). Digital Holography and Digital Image Processing.
- [4.] Hariharan, P. (2002). The reconstructed image. In Basics of Holography (pp. 15-26). Cambridge
- [5.] Vacca, J.R. (2001). Holograms & holography: design, techniques, & commercial applications.
- [6.] Seebacher, S & Osten, Wolfgang & Baumbach, T & Jüptner, W. (2001). The determination of material parameters of microcomponents using digital holography. Optics and Lasers in Engineering. 36. 103-126.
- [7.] Stephen A. Benton and V. Michael, Jr. Bove. (2008). Holographic Imaging. Wiley-Interscience (pp. 71-74).
- [8.] Itrić, Katarina, „Primjena gradijentne metode u razdvajanju komponenata prirasta rastertonske vrijednosti“, 2016., doktorska disertacija, Grafički fakultet, Zagreb
- [9.] Vladimir Cviljušac, Antun Lovro Brkić, Alan Divjak, and Damir Modrić, "Utilizing standard high-resolution graphic computer-to-film process for computer-generated hologram printing," Appl. Opt. 58, G143-G148 (2019)

### AUTORI · AUTHORS

• **Sandra Kovačević** - rođena 8.4.1991. godine u Zagrebu. Strastveni sportaš i ljubitelj košarke prisustvovala Europskom prvenstvu u sastavu reprezentacije Hrvatske. U težnji za kreativnošću upisala 2015. godine Grafički fakultet. Zajedno sa kolegicama fakulteta prisustvovala obrani boja fakulteta na sportsko znanstvenom natjecanju Tehnologijada, gdje je upoznala svog mentora Damira Modrića i uz njegovo vodstvo i zanimljiva predavanja Vladimira Cviljušca zainteresirala se za Holografiju i sve nepoznanice tog segmenta znanosti.

### Korespondencija · Correspondence

sandra.kovacevic84@gmail.com