

**INTERAKTIVNA HOLOGRAFIJA U MEDICINSKOM INŽENJERINJU****INTERACTIVE HOLOGRAPHY IN MEDICAL ENGINEERING**Jovan Grgur, *Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad***Oblast – ELEKTROTEHNIKA I RAČUNARSTVO**

**Kratak sadržaj** – U radu je opisan razvojni put i principi holografske tehnike sa naglaskom na njenoj primeni u medicinskom inženjeringu. Opisana su neka aktuelna dostignuća holografije i moguće perspektive njenog daljnjeg razvoja pre svega na unapređenju računarske tehnologije i 3D aplikacija.

**Ključne reči:** Holografija, Hologram, Biomedicinsko inženjerstvo

**Abstract** – The paper describes the development path and principles of holographic technique with an emphasis on its application in biomedical engineering. Some current achievements of holography and possible perspectives of its recent development are described, primarily on the improvement of computer technology and 3D applications.

**Keywords:** Holography, Hologram, Biomedical Engineering

**1. UVOD**

Hologram je trodimenzionalna slika kreirana interferencijom laserskih zraka ili nekog drugog koherentnog svetlosnog izvora unutar holografskog materijala. Holografija je nauka, metodologija i praksa kreiranja i aplikovanja holograma [1,2].

Tehnologija klasične, a u novije vreme digitalne fotografije poznata je toliko dugo da su ljudi navikli da gledaju 3D svet projektovan odnosno komprimovan na 2D pozadini. Treća dimenzija slike je samo iluzija i ništa više. Ova konstatacija se odnosi na obične fotografije, kao i na film, TV i video.

Izvesna iluzija postizana je primenom specijalnih naočara čiji tip zavisi od vrste prikaza (crveno-plave za fotografije i video-zapise sa dislociranim obojenim površinama, polarizovane koje se koriste pretežno u bioskopima i ASG-naočare ili *Active Shutter Glasses* za bioskope i TV koji ima 3D mogućnosti).

Hologram u svojoj izvornoj verziji je medij koji sadrži memorisanu sliku realnog objekta, odnosno visoko-kontrastni, crno-beli fotografski film, tako da je za ispravno shvatanje značenja pojmova hologram i holografija, potrebno najpre objasniti vezu sa klasičnom fotografijom.

Treba naglasiti da holografija ima vrlo malo dodirnih tačaka s tradicionalnom fotografijom. Za razliku od fotografije, hologram se sastoji od niza podataka o veličini, obliku, svetlosti i kontrastu oblika koji se prikazuje, sve to pohranjeno u mikroskopskim, kompleksnim i slojevito isprepletenim uzorcima [2].

Preciznije rečeno, za razliku od klasične fotografije – metode pri kojoj se na fotografskoj ploči ili filmu registruje samo intenzitet svetlosnog talasa, u holografiji se na foto-ploču snima i amplituda i faza svetlosnog talasa koji na nju pada.

Foto-ploča i drugi adekvatan medij koji se koristi za ovu svrhu zajedno sa snimljenom holografskom slikom naziva se hologram. Obična fotografija prikazuje samo ravnu sliku trodimenzionalnog predmeta i to viđenu isključivo iz jedne određene tačke. Na njoj se ne može pogledati šta je iza predmeta koji su u prednjem planu.

Tipično za hologram je što se radi o fotografskom zapisu svetlosnog polja, a ne o fiksiranju slike formirane pomoću sočiva. Uloga sočiva je zapravo samo u razdeljivanju koherentnog snopa na više podsnopova (Slika 1).

Na ovaj način holografija omogućava memorisanje pune trodimenzionalne strukture snimljenog objekta. Dakle, na (ili preciznije "u") hologramu se ne snima optička slika predmeta, već interferenciono-difrakcijska slika koja nastaje pri interferenciji svetlosnih talasa rasejanih na površini predmeta čije slike holografija snima i njima koherentnih referentnih talasa.

Za razliku od negativa ili pozitiva u klasičnoj fotografiji, bilo kakva oštećenja holografskog snimka ne dovode do inoperabilnosti snimka, jer svaki deo holografskog zapisa sadrži i dalje sve delove celine. Pri rezanju holograma na dva jednaka dela ne gubi se pola slike, nego se iz svake polovine opet može videti čitav objekat.

Hronološki poređani događaji koji su uticali na nastanak i razvoj holografije dati su u sledećoj listi:

- 1672. god. Isak Njutn (Isaac Newton) je uz pomoć prizme razdelio talas bele svetlosti na njegove spektralne komponente,
- 1882. godine određena je brzina svetlosti od 299.778 km/s,
- 1948. godine Denis Gabor otkriva osnovne matematičko-fizičke metode holografije za šta kasnije dobiva Nobelovu nagradu,
- 1858. godine. C. H. Tatars i A. L. Šavlov objavljuju članak „Infracrveni i optički laser“ u kojem su nagovestili mogućnost laserskog emitovanja koherentne svetlosti,
- 1960. godine. T. M. Maiman iz Kalifornije gradi prvi laser - impulsni rubinski laser, i

**NAPOMENA:**

**Ovaj rad proistekao je iz master rada čiji mentor je bio dr Dragan Ivetić, red. prof.**

• 1961. godine. Pronalaskom lasera budi se ponovno interes za holografiju. E. Leit i J. Upatniks sa „Univerziteta u Mičigenu“ ponavljaju rane Gaborove eksperimente, ovog puta uz pomoć lasera.

Iako je od otkrića teorije holografije prošlo već više od 70 godina, praktična primena ove tehnike živi tek poslednje tri decenije uporedo sa otkrićem i razvojem laserske tehnologije. Otkriće lasera se pokazalo kao bitan preduslov za kreiranje holograma. Holografija je pravi zamah doživela tek pojavom prvih modernih računara snažnije konfiguracije.

S vremenom je holografija toliko napredovala da su danas projekcije holografskih snimaka u 3D modu postale uobičajene u mnogim oblastima. Svet kulture, umetnosti, marketinga i zabave sve više koristi nove mogućnosti izražavanja koje nude hologrami.

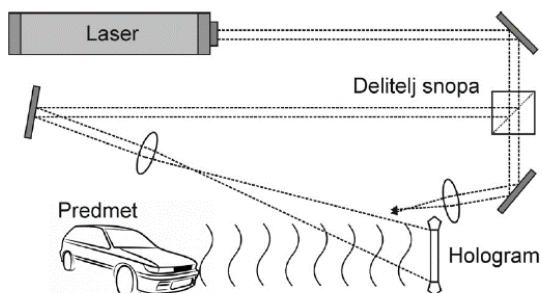
Medicina je oblast koja je obručke prihvatila mnoge izazove i mogućnosti holografije.

Firme poput Phillipsa ili Microsofta trenutno su u fazi intenzivnog razvoja holografskih sistema kako za edukaciju medicinskog osoblja tako i za podršku pri medicinskim intervencijama.

### 1.1. Princip kreiranja holograma

Referentni laserski snop koji se ne reflektuje od objekta kreće se uporedo sa snopom odraženim od objekta (predmetni snop) i zajedno formiraju određeni obrazac na fotografskoj ploči. Kada se ova dva zraka susretnu, dobija se interferencijski obrazac, odnosno tamne i svetle pruge na mestima gde se leđa (breg) ili dolje (dolina) subjekta i referentne zrake presecaju. Zatim se to usnimi na fotografsku ploču - videti Sliku 1) i dobija se hologram koji zatim treba da se razvije, prateći postupak sličan onome za pravljenje normalnog, tradicionalnog odnosno klasičnog fotografskog filma.

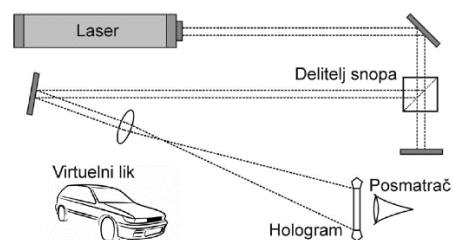
Kada se snimljeni hologram osvetli jednakim ravnomernim referentnim talasom koji pada na njega pod jednakim uglom kao i pri snimanju, svetlost kroz hologram delimično prolazi bez savijanja, kao talas nultog reda, a delimično se savija formirajući sekundarne talase.



Slika 1. Kreiranje holografske slike

Jedan sekundarni talas daje realnu sliku objekta, a drugi virtuelnu sliku. Obe slike su trodimenzionalne, s tim da se realna slika može dalje registrovati (snimiti) fotografskim postupkom, a virtuelna ne. Slika objekta dobijenog reprodukcijom holograma verna je objektu, iste je veličine kao i objekat, a zavisno od ugla posmatranja holograma moguće je videti predmete koji stoje jedan iza drugog. Posmatrač koji gleda hologram ima utisak da gleda na svetli predmet kroz okvir holograma.

Na mesto fotoploče pri gledanju odnosno rekonstrukciji postavlja se hologram. Usled difrakcije upadnog snopa (koji se sada naziva rekonstrukcioni snop) na hologramu, nastaje talas koji ima istu strukturu kao talas koji je bio reflektovan od predmeta čiji hologram se snimao (Slika 2).



Slika 2. Rekonstrukcija i posmatranje holografske slike

Hologram može sadržati veliki broj „stranica“ koje su snimljene pod različitim uglovima prema ploči, omogućavajući da se velika količina podataka sačuva na jednom hologramu. Laserski generisani podaci uvek se naknadno mogu očitati laserom.

Interferometrija je važna eksperimentalna metoda i u astronomiji, istraživanju optičkih vlakana, inženjerskoj meteorologiji, optičkoj meteorologiji, okeanografiji, seizmologiji, kvantnoj mehanici, nuklearnoj fizici, nuklearnoj medicini, fizici čestica itd. Interferometrija je skup tehnika u kojima su talasi - uglavnom elektro-magnetni - superponirani na takav način da bi se na bazi njih dobile celovite informacije o objektu posmatranja odnosno merenja.

Orijentisana ka holografiji klasična interferometrija kao metod merenja i detekcije promena na objektima značano je dobila na preciznosti.

Holografska interferometrija na talasnim dužinama od oko 10nm ima brojne prednosti. Nudi mogućnost preciznog merenja deformacija, a istovremeno je mnogo manje osetljiva na spoljašnje uticaje i holografski zapis se lako transformiše u 3D grafiku.

Koristeći isti referentni snop na jednoj foto-ploči dva puta se zapisuje slika predmeta. Ako je u vremenskom intervalu između ta dva zapisa predmet pretrpio neke promene (npr. pomerio se ili deformisao), između dva odgovarajuća predmetna snopa talasa pojavice se trajektorijska razlika. Slika površine predmeta biće pokrivena sistemom pruga interferencije, analognih običnim prugama jednake debljine kod klasične interferencije.

Po položaju tih pruga mogu se izvesti zaključci o promenama na predmetu koje su se desile u vremenskom intervalu između dve ekspozicije, a računari snabdeveni softverom baziranim na veštačkoj inteligenciji mogu automatizovati, ubrzati i izoštriti detektovanje ovakvih promena.

Sofistikovane holografske tehnike su postale nezaobilazne u fundamentalnim naučnim istraživanjima kao što je kvantna mehanika. Kvantna holografija je nova optička metoda koja omogućava potpunu karakterizaciju jednofotonske prostorne talasne funkcije, uključujući vizualizaciju njene amplitude i faze, odnosno snimanje fotona.

Smatra se da će *holografske memorije* zbog potencijalno ogromnog kapaciteta i velike brzine biti u ne tako dalekoj budućnost sve prisutnije u računarskoj industriji.

## 2. Holografija u medicini i biomedicini

Hologrami su se zadnjih nekoliko godina počeli koristiti i u medicini.

Sem uobičajene, pretežno hirurške primene lasera u medicini, u novije vreme sve je prisutnija i holografija u istraživačkoj, edukativnoj i kliničkoj medicini.

Holografija implikuje revoluciju u polju medicine, kao alat za vizuelizovanje informacija o pacijentima, za obuku studenata i specijalizanata i brojne druge primene. Savremena holografija pomaže kako u medicinskoj dijagnostici tako i pri izvođenju složenih hirurških operacija.

Dugo se čekalo da se dosegne nivo tehnološkog razvoja na kojem teorija holografije postaje široko primenljiva. Iz tog razloga je holografija u medicini i dalje prilično nova oblast primene te je još uvek u fazi intenzivnog razvoja.

Ako se žele raditi ozbiljna merenja na temelju nekog snimljenog holograma, sam postupak izrade takvih holograma nije sasvim jednostavan i veoma je skup, a često zahteva i posebne uslove snimanja.

Mnoge medicinske oblasti generišu kompleksne informacije koristeći naprednu slikovnu tehnologiju poput skeniranja ultrazvukom ili magnetnu rezonancu. Uobičajeno, elektronske informacije se koriste da bi prikazale ravnu sliku na kompjuterskom ekranu.

Ovi informacije mogu da se upotrebe da proizvodu digitalizovane 3D holografske slike (Slika 3), monohromatske ili u prirodnim bojama, a ovo poslednje bi olakšalo učenje, proučavanje, dijagnostifikovanje, hirurške intervencije itd.

Na stanje perspektive primene holografije u medicini ukazuju nedavna poboljšanja u tehnikama snimanja holograma i dostupnost alata za interpretaciju holografskih interferograma te uspeh holografskih tehnika u snimanju kroz tkiva, zatim u oftalmologiji, stomatologiji, urologiji, otologiji, patologiji i ortopediji. Sve navedeno iskazuje snažno ubeđenje da će se holografija afirmisati kao moćan alat za medicinsku upotrebu.

### 2.1. Oblasti primene holografije u medicini

U radu su detaljno obrađene sledeće oblasti primene holografije u medicini:

- Holografsko skeniranje organizma,
- Holografija u oftalmologiji, stomatologiji i otorinolaringologiji,
- Rendgenska holografija,
- Holografska podrška savremenoj hirurgiji,
- Digitalna holografska mikroskopija, i
- Holografija u edukaciji lekara



Slika 3. Microsoft-ov holografski HoloLens vizir

Holografske interferometrijske tehnike već se uveliko koriste u biomedicini.

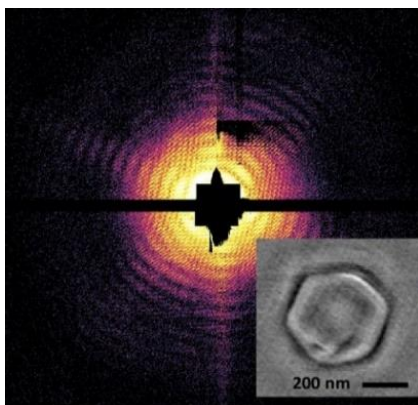
Medicinska holografska interferometrija na talasnim dužinama od oko 10nm ima brojne prednosti. Nudi mogućnost preciznog merenja deformacija, a istovremeno je mnogo manje osetljiva na spoljašnje uticaje i holografski zapis se lako transformiše u 3D grafiku.

Pored gore opisane holografske interferetrije koja se zasniva na metodu dvostruke ekspozicije, koristi se i tzv. holografska interferetrija realnog vremena. Kod tog metoda se na hologram zapisuje samo talas reflektovan predmetom u nekom početnom trenutku, tj. registruje se početno stanje predmeta. Zatim se, pri rekonstrukciji snopa, predmet ne uklanja, već se osvetljava na isti način kao i pri zapisu holograma. Kao rezultat nastaju dva talasa: talas koji se prostire od samoga predmeta u datom trenutku i talas rekonstruisan hologramom koji odgovara početnom stanju predmeta. Ti koherentni talasi interferiraju i posmatrajući kako se interferencionna slika menja u toku vremena mogu se izvesti zaključci o promenama stanja predmeta. Holografske interferetrijske tehnike se uspešno primenjuju za proučavanje različitih delova ljudskog tela - uključujući rožnjaču, pokretnost zuba, bubnu membranu, bazilarnu membranu, kohleu, temporalnu kost, inkubolarni zglobov, grudni koš, razne vrste zastoja u digestivnom traktu i kosti i dr.

*Rendgenska holografija* odnosno holografija bazirana na x-zracima ima potencijal ispitivanja uzoraka u vodenom rastvoru vrlo visoke rezolucije, bez potrebe za pripremom uzoraka, što je ranije često rezultiralo strukturnim izmenama, zapravo razarajućim oštećenjima u objektu koji se ispituje. Rendgenografski hologram ima odličnu rezoluciju i dobija se holografijom baziranom na Furijeovim transformacijama. Rendgenska holografija može se primeniti za snimanje unutrašnjih delova tela.

U poslednje vreme i u istraživanjima biološkog mikro sveta, pre svega u proučavanju bakterija i virusa (v. Sliku 4) sa kojima čovečanstvo već duže vreme vodi tešku bitku, jer su opasne epidemije i pandemije sve učestalije.

*Endoskopska interferometrijska holografija* je moćan alat za beskontaktno snimanje u visokoj rezoluciji i nerazorna merenja unutar prirodnih šupljina ljudskih unutrašnjih organa.



Slika 4. Prvi hologramski snimak virusa na bazi rendgenske holografije

Kombinovana holografija i termografija kroz jedan senzor može da kreira ravanski slojeviti hologram na bazi detektovanja termičkog odnosno infracrvenog zračenja.

Takođe je sve rasprostranjenija primena neelektromagnetne holografije bazirane na ultrazvuku za posmatranje i snimanje čovekovih unutrašnjih organa.

### 2.3. Perspektive razvoja holografije i njene dalje primene u medicini i biomedicini

Sve navedeno iskazuje snažno ubeđenje da će se holografija afirmisati kao moćan univerzalni alat koji uključuju i bogatu medicinsku upotrebu. Projektovanje 3D holografskih slika, statičkih ili dinamičkih, u realan fizički prostor je trend koji je prisutan poslednjih godina kako u svetu zabave tako i u naučnim, tehničko-tehnološkim i medicinskim primenama.

Holografske 3D slike očiju i interferometrijska ispitivanja ljudskih zuba i pokreta grudi tokom disanja već su izvedene sa visokom vernošću reprodukcije realiteta.

Potencijalne koristi od holografije koje se u skoroj budućnosti očekuju za kliničare uključuju [3]:

- intuitivno razumevanje prostorne anatomije i odnosa prema kolateralnoj vaskulaturi što obezbeđuje veću pouzdanost,
- omogućava veoma složene postupke pri intervenciji,
- vrhunsku obuku kako početničkih tako i iskusnih medicinskih kadrova,
- poboljšanje tačnosti i efikasnosti postupka, i
- smanjivanje vremena postupaka tokom intervencija, smanjenje doza zračenja, krvarenja itd.

U međuvremenu, nove tehnike vizualizacije na bazi holografije kao što je Microsoftov *HoloLens* - koji je sam po sebi već jedan veoma napredni računar - postaju do sada neprevaziđeno sredstvo za hirurge koji planiraju zamršene operacije, gde ima malo ili nimalo prostora za greške [4].

To funkcioniše otprilike ovako: pacijent se skenira pomoću CT (kompjuterizovana tomografija) ili MRI mašine (magnetna rezonanca). Rezultujuće dvodimenzionalne slike se zatim prikazuju u 3D obliku unutar *HoloLens* vizira/slušalica [4]. Uz pomoć njih lekar može tačno da utvrdi šta treba učiniti i kako.

### 3. ZAKLJUČAK

Cilj ovog rada bio je da prikaže tehnološke osnove holografije i opiše neke od najvažnijih primena ove oblasti. Poseban naglasak dat je primeni holografskog snimanja i projektovanja u raznim oblastima savremene medicine i tome je posvećen veći deo rada.

Takođe je ukazano na neke mogućnosti daljeg razvoja holografije.

Konačni zaključak jeste da su perspektive razvoja i primene holografije, posebno u realnom 3D domenu, fascinantne kako u multimedijalnom domenu, nauči i privredi, tako i u brojnim oblastima savremene medicine.

### 4. LITERATURA

- [1] <http://holography.phy.bg.ac.rs/clanak.php?r=br-33/INDEX-pojmova.html/> (pristupljeno u avgustu 2020.)
- [2] <https://en.wikipedia.org/wiki/Holography>
- [3] R. K. Kostuk, *Holography: "Principles and Applications (Series in Optics and Optoelectronics) "*, Boca Raton, FL: CRC Press, 2019
- [4] <https://news.microsoft.com/apac/features/hololens-medicine-surgery-no-surprises/> (pristupljeno u avgustu 2020.)

### Kratka biografija:



**Jovan Grgur** rođen je 1996. godine u Gacku. Završio je gimnaziju u Gacku 2015. godine. Diplomski rad na Fakultetu Tehničkih Nauka u Novom Sadu odbranio je 2019. godine. Iste godine je upisao master studije u Novom Sadu na smeru Računarstvo i automatika.  
kontakt: grgurjovan.jg@gmail.com