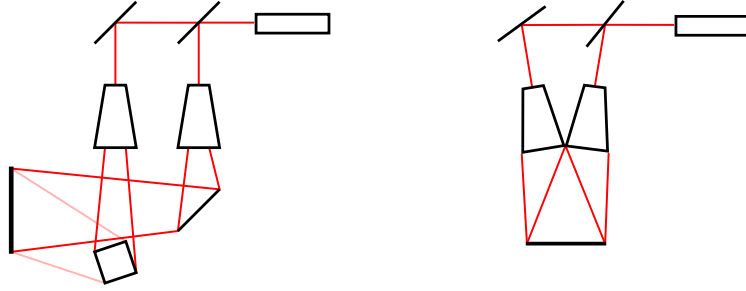


Fizikalni praktikum V: Holografija

Žan Ambrožič

22. 10. 2025



Skica 1: Postavitvi poskusov

1 Uvod

S holografijo lahko shranimo podatke o globinski porazdelitvi površine predmeta, to dosežemo z interferenco dveh žarkov, razcepljenih iz enega samega (običajno koherentnega laserskega). S prvim (predmetnim) žarkom osvetlimo predmet, z drugim (referenčnim) pa direktno fotografsko ploščo (oba žarka pred tem razpršimo). Koordinatni sistem postavimo na fotografsko ploščo. Električno poljsko jakost snopov zapišemo kot:

$$E_p(x, y) = E_{p,0}(x, y)e^{-i\Phi(x, y)}e^{-i\omega t}; \quad E_r(x, y) = E_{r,0}(x, y)e^{-i\Psi(x, y)}e^{-i\omega t}. \quad (1)$$

Zaradi konherentnosti je skupna električna poljska jakost vsota obeh:

$$E(x, y) = E_p(x, y) + E_r(x, y), \quad (2)$$

gostoto svetlobnega toka, ki je sorazmerna kvadratu amplitude električne poljske jakosti, pa zapišemo kot:

$$I = (E_p + E_r)(E_p + E_r)^* = |E_p|^2 + |E_r|^2 + E_p E_r^* + E_p^* E_r = |E_{p,0}|^2 + |E_{r,0}|^2 + E_p E_r^* + E_p^* E_r. \quad (3)$$

Kot vidimo, sta prva člena neodvisna od razlike razdalj, druga pa določata intenziteto zaradi interference. Počrnitev filma je odvisna od prejete energije na enoto površine, odvisnost transmitivnosti (T) emulzije je podana s prejeto energijsko gostoto:

$$T \propto \frac{W^\gamma}{S} \propto I^\gamma, \quad (4)$$

kjer je γ odvisna od lastnosti emulzije in načina razvijanja. Amplitudno prepustnost definiramo kot $T_a = \sqrt{T}$. Ob upoštevanju enačbe (3) in dejstva, da je predmetni žarek zaradi odboja znatno šibkejši od referenčnega, dobimo:

$$T_a = C|E_r|^\gamma \left(1 + \frac{\gamma(E_p E_r^* + E_p^* E_r)}{2|E_r|^2} \right) = A + B(E_p E_r^* + E_p^* E_r), \quad (5)$$

kjer so A , B in C konstante. Osvetlitev razvitega holograma z referenčnim žarkom nam da sliko:

$$E_h = T_a E_r = A E_r + B(|E_r|^2 E_p + E_r^2 E_p^*). \quad (6)$$

Sliko zaznamo kot tridimenzionalno, prvi člen nam da delno oslabljen referenčni snop, drugi člen je kot žarek iz predmeta, tretji pa daje realno sliko predmeta.

Če fotografsko ploščico osvetlimo z referenčnim žarkom v smeri normale in predmetnim pod kotom α glede nanjo, dobimo interferenčni vzorec. Valovna vektorja brez škode za splošnost vzamemo v xz -ravnini:

$$\mathbf{k}_p = \begin{bmatrix} k \sin(\alpha) \\ 0 \\ k \cos(\alpha) \end{bmatrix}; \quad \mathbf{k}_r = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ k \end{bmatrix}. \quad (7)$$

S ploščico v ravnini $z = 0$ dobimo:

$$I = C \left| 1 + e^{ikx \sin(\alpha)} \right|^2 = C' (1 + \cos(kx \sin(\alpha))), \quad (8)$$

kar je kosinusna uklonska mrežica s periodo

$$d = \frac{2\pi}{k \sin(\alpha)}. \quad (9)$$

Račun s Fraunhoferjevim uklonskim integralom pokaže, da pri osvetlitvi dobimo še dva uklonjena žarka prvega reda, simetrično glede na prepuščen val (poleg centralne ojačitve od kosinusa (zapis z eksponenti) prideta še nasprotna člena, ki sta potem na nasprotnih straneh centra).

2 Pripomočki

- Laser ($\lambda = 633 \text{ nm}$),
- optična miza,
- delilnik žarka, zrcala, razpršilnika, stojalo za steklece,
- predmet,
- fotografska ploščica,
- razvijalec, voda, fiksir.

3 Naloga

1. Sestavi postavitev za snemanje holograma in ga posnemi.
2. Posnemi interferogram dveh ravnih valov.

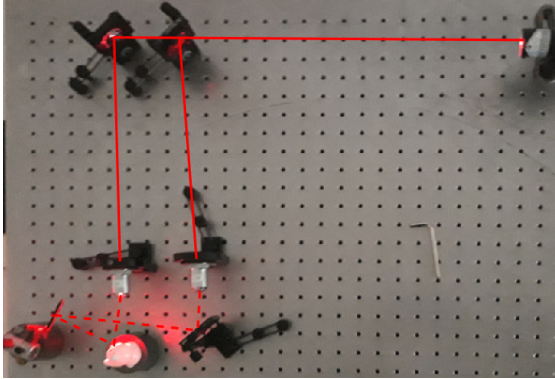
4 Metodologija

Za snemanje holograma predmeta postavimo optične elemente, kot kaže leva postavitev na skici 1. Pri tem pazimo, da je razlika poti med žarkoma do holograma minimalna, ter da svetloba iz razpršilcev izhaja pod primernim kotom (tudi navpično). Ploščico osvetlimo za 10s ter jo nato razvijemo (2 minuti v razvijalcu, 1 minuta v vodi, 3 minute v fiksirju ter 5 minut spiranja pod tekočo vodo). Ploščico pustimo, da se posuši, nato jo osvetlimo z enim razpršenim žarkom in v njej poiščemo hologram.

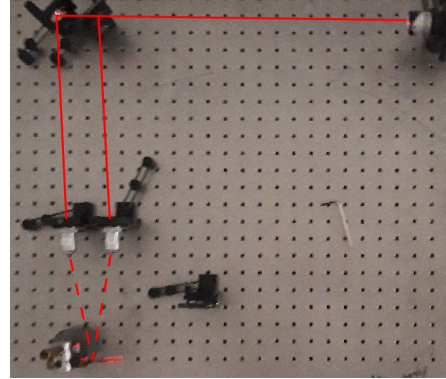
Za uklonsko mrežico pripravimo elemente na optični mizi, kot kaže desna postavitev na skici

1. Ponovno pazimo, da je razlika med potmi žarkov čim manjša ter da se oba snopa prekrivata na

mestu, kamor bomo potem postavili fotografsko ploščico. Postopek snemanja in razvijanja ploščice je enak kot v prvem delu. Ko se ploščica posuši, jo postavimo v nerazpršen laserski žarek ter izmerimo prvo ojačitev.



Slika 1: Postavitev za snemanje holograma. Razlika med kotoma kolimiranih snopov je manj kot 5° , razlika med (na fotografsko ploščico) vpadlima predmetnim in referenčnim snopom je med 0° in 45° . Povprečen kot je okoli 20° , od tod lahko ocenimo razdaljo med maksimumi na hologramu kot $d \approx 1,9 \mu\text{m}$, kar je manj ločljivo od tisoč črt na milimeter, zato nas lastnost emulzije ne omejuje.

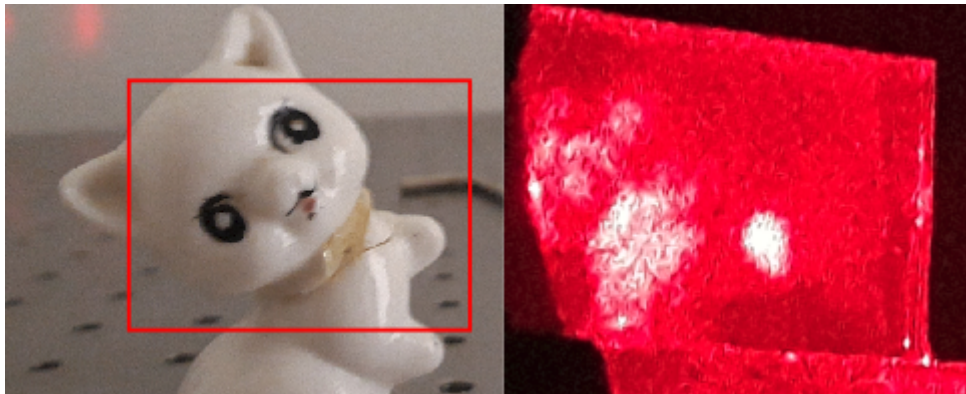


Slika 2: Postavitev za snemanje mrežice. Razlika med kotoma kolimiranih snopov je manj kot 2° , razlika med (na fotografsko ploščico) vpadlima razpršenima snopoma pa je (odvisno od dela ploščice, ki ga gledamo) okoli $(20 \pm 5)^\circ$.

5 Meritve

5.1 Hologram

Hologram smo zajeli s kamero telefona, ki žal zaradi vsiljenih avtomatskih nastavitvev ekspozicije ne more poustvariti z očesom vidnega holograma.



Slika 3: Hologram in objekt, s približno označenim vidnim delom na hologramu.

5.2 Uklonska mrežica

Pri uklonski mrežici nas zanima kot med centralno in prvo ojačitvijo. Najprej preverimo, da je centralna ojačitev res na mestu, kamor bi laser svetil brez mrežice. Izmreimo, da je razdalja med steno in mrežico $D = (86,5 \pm 0,5) \text{ cm}$, oddaljenost prve ojačitve (po steni, ki je približno pravokotna na vpadli žarek) pa $x = (26,0 \pm 0,5) \text{ cm}$.

6 Analiza

Kot med centralno in prvo ojačitvijo znaša:

$$\alpha = \arctan\left(\frac{x}{D}\right) = (16,7 \pm 0,4)^\circ. \quad (10)$$

Upoštevajoč valovno dolžino laserja, za d dobimo:

$$d = \frac{\lambda}{\sin(\alpha)} = (2,20 \pm 0,05) \mu\text{m}. \quad (11)$$

Iz enačb je razvidno še, da je kot med centrom in prvo ojačitvijo enak razliki kotov vpadlih snopov na mestu razvite ploščice, kjer smo skozenj posvetili z žarkom.

7 Rezultati

Pri poskusu nam je uspelo narediti hologram tridimenzionalnega telesa (z visokim albedom), v katerem je shranjen tudi relief objekta (slika je žal preslaba, da bi lahko z nje razbrali karkoli uporabnega). V drugem delu nam je v fotografsko ploščico uspelo shraniti tudi ukonsko mrežico, ki smo jo uporabili za interferenčni vzorec, iz katerega smo določili razdaljo med režami.