

<b>Název a číslo úlohy:</b>	<b>4 Holografie</b>
<b>Datum měření:</b>	30. března 2011
<b>Měření provedli:</b>	Vojtěch Horný, Jaroslav Zeman
<b>Vypracoval:</b>	Vojtěch Horný
<b>Datum:</b>	2. dubna 2011
<b>Hodnocení:</b>	

### Abstrakt

Cílem úlohy bylo realizovat transmisní hologram trojrozměrného objektu ve dvou-svazkovém schématu. Úspěšně byla provedena expozice, vyvolání a rekonstrukce modelu automobilu Mini Cooper.

## 1 Úvod

Holografie je metoda komplexního záznamu optické vlnoplochy založená na interferenci optických svazků. Holografický záznam obsahuje úplnou informaci o signálu, včetně fázového členu, který umožňuje prostorový vjem rekonstruovaného obrazu. Tímto se liší od fotografie, která zaznamenává pohled pouze z jednoho směru. Informaci o fázi vnášíme na záznamový materiál interferencí signální vlny s jednoduchou vlnou referenční. Zachycujeme interferenční pole ve tvaru kvaziperiodických interferenčních proužků.

Při rekonstrukci hologramu osvětlujeme záznamovou destičku rekonstrukční vlnou, která je identická s původní vlnou referenční.

Při samotném provádění holografického procesu je třeba dbát zejména na časovou koherenci obou vln. Z tohoto důvodu je nutno k záznamu používat laser. Námi použitý He-Ne laser má koherenční délku pouze 20 cm, takže délky obou větví se mohou lišit nanejvýše o pár centimetrů.

### 1.1 Pomůcky

Odpružený stůl Melles Griot, He-Ne laser LAKOS LKG 7665-P, závěrkový systém Jodon, měřič výkonu Newport, dělič svazku s proměnným dělicím poměrem, prostorový filtr s mikroskopovým objektivem, spojná čočka pro úpravu svazku, zrcadla a magnetické držáky firmy Thorlabs, reflexní matnice, držák záznamového materiálu s absorpční podložkou, záznamový materiál AGFA Gevaert 8E75, chemikálie pro vyvolání - dvousložková vývojka Ag, dvousložková bělička K7, 0,5% roztok smáčedla.

## 2 Požadované výsledky

1. Popis záznamového schématu, náčrt rozmístění jednotlivých prvků s údajem o délce jednotlivých svazků, rozdílu drah signální a referenční vlny atd.
2. Hodnoty hustoty výkonu naměřené v obou svazcích před expozicí, použitou expoziční dobu, relaxační dobu atd.
3. Stručná diskuze o záznamovém a vyvolávacím procesu
4. Diskuze rekonstrukce zhotoveného hologramu

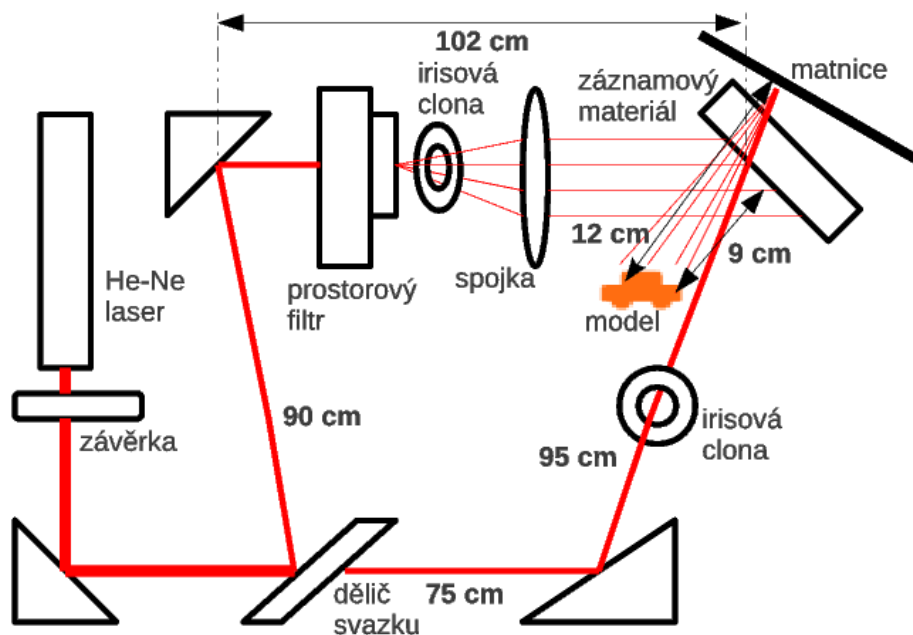


Schéma 1: Experimentální schéma pro záznam transmisního hologramu. Odděleny signální (dole) a referenční větev (nahore). Schéma je v oblasti děliče zjednodušené. Prošlý paprsek dopadal na zrcadlo, které ho nasměrovalo nahoru do referenční větve. Odražený paprsek byl zrcadlem nasměrován do signální větve.

### 3 Vypracování úlohy

#### 3.1 Návrh a sestavování záznamového schématu

Seznámili jsme se s jednotlivými součástkami, které jsme měli k dispozici a s ohledem na radu asistenta jsme navrhli záznamové schéma (viz schéma 1). Při sestavování jsme dbali přitom zvláště na podmínku časové koherence. *Délky signální a referenční větve se proto shodují.* Vzdálenosti jsme po sestavení odměřili provázkem.

Za He-Ne laser LASOS LKG 7665-P jsme umístili programovatelný závěrkový systém Jodon. Svazek byl naveden k děliči svazků s proměnným dělicím poměrem. V signální větvi jsme navedli paprsek na reflexní matnici, která osvětlovala model.

Sestavení referenční větve bylo náročnější zejména kvůli nastavování polohy držáku prostorového filtru s mikroskopovým objektivem. Bylo totiž nutné nastavit polohu objektivu tak, aby byla zachována osa svazku. Do držáku jsme umístili prostorový filtr a jemnými příčnými pohyby jsme zajistili, aby svazek procházel otvorem filtru. Postupným přibližováním mikroskopového objektivu jsme našli polohu, kdy byl otvor filtru přesně v ohnisku objektivu. Ohnisko jsme prakticky hledali tak, že jsme na přiloženém stínítku pozorovali interferenční jev. V momentu, kdy byl otvor filtru přesně v ohnisku objektivu, interferenční jev zmizel.

Do obou větví byla vsunuta irisová clona. V signální větvi proto, abychom se zbavili nedokonalostí v profilu svazku. Nedokonalosti se soustředí hlavně mimo osu svazku. V referenční větvi je clona proto, aby referenční vlna dopadala jen na záznamovou vrstvu a co nejméně svítila okolo. Mezi prostorový filtr a záznamový materiál jsme vložili ještě spojnu čočku tak, aby její ohnisko leželo uprostřed prostorového filtru.

Prakticky jsme si obkreslili obrys čočky na papír a pozorovali obraz na vzdáleném stínítku. Posuovali jsme čočkou a hledali polohu, kdy se promítaný obraz na stínítku přesně překrývá s obrysem čočky na papíře. Tímto postupem jsme vytvořili rovinnou referenční vlnu.

Signální vlnu jsme na záznamový materiál nechali dopadat kolmo a referenční pod úhlem  $45^\circ$ . Vzdálenost mezi modelem auta Mini Cooper a záznamovým materiálem jsme volili co nejmenší, ale tak, aby model nebyl osvětlován referenční vlnou. Před samotnou expozicí asistent dofouknul vzduch do odpruženého stolu.

### 3.2 Předexpoziční úpravy

Před samotnou expozicí bylo nutné nastavit příslušné energetické poměry referenčního a signálního svazku a vypočítat expoziční čas. Pomocí detektoru optického výkonu Newport jsme změřili hustoty výkonu v obou svazcích. Měření jsme prováděli vždy kolmo k svazku. Jelikož referenční svazek dopadal na záznamový materiál pod úhlem  $45^\circ$ , počítali jsme efektivní hodnotu hustoty výkonu pomocí vzorce

$$P_{ef} = P_{\perp} \cos 45^\circ,$$

kde  $P_{\perp}$  je hustota výkonu měřena kolmo ke svazku.

Jemným otáčením děliče svazku s proměnným dělicím poměrem jsme nastavovali dělicí poměr tak, aby platilo

$$\frac{\text{hustota výkonu v signálním svazku}}{\text{hustota výkonu v referenčním svazku}} = \frac{1}{10}.$$

Hustoty výkonu referenční a signální vlny byly

$$P_{ref} = 18,9 \frac{\mu\text{W}}{\text{cm}^2},$$

$$P_{sig} = 1,87 \frac{\mu\text{W}}{\text{cm}^2}.$$

Celková hustota výkonu dopadající na záznamový materiál pak je

$$P = P_{ref} \cos 45^\circ + P_{sig} \approx 15,1 \frac{\mu\text{W}}{\text{cm}^2}.$$

Použitý záznamový materiál má hustotu expoziční energie  $300 \frac{\mu\text{J}}{\text{cm}^2}$ , expoziční dobu jsme snadno určili jako

$$t = \frac{E}{P} \approx 20 \text{ s}.$$

Nastavili jsme proto na závěrce dobu expozice 20 s a několikrát jsme se pro jistotu přesvědčili, že závěrka dobře funguje.

### 3.3 Relaxace a expozice

Zatáhli jsme závěsy kolem stolu, zapnuli jsme ochranné zelené osvětlení a zhasli jsme světlo v místnosti. Vyjmuli jsme záznamový materiál z obalu. Předem připraveným kusem skla jsme poškrábali obě strany záznamové destičky v okrajové části a tím určili stranu, na které je nanesena emulze. Tato strana byla hrubá, narozdíl od hladké skleněné strany. Vložili jsme materiál do držáku, aby strana s emulzí byla vystavena k objektu. Mezi začernalou skleněnou desku držáku a záznamový materiál jsme kápli isopropylalkohol, aby zabraňoval parazitujícím odrazům na rozhraní obou skel.

Poté jsme opustili na deset minut expoziční místnost a ve vedlejší komoře jsme si připravili chemikálie k vyvolání. Relaxační doba je důležitá pro uklidnění vibrací v experimentálním schématu.

Po deseti minutách vždy jeden z nás opustil komoru (expozici jsme provedli dvakrát) a velmi opatrně a klidně vešel do expoziční místnosti. Přiblížil se ke spínači naprogramované závěrky a u ní nehybně setrval ještě další dvě až tři minuty. Po této době opatrně stiskl spínač a takřka nedýchaje dvacet sekund pozoroval expozici. Po expozici sundal záznamovou destičku z držáku a přenesl do komory k vyvolání.

Během záznamu jsme nepozorovali žádný problém.

### 3.4 Vyvolání hologramu

Během relaxační doby jsme připravili chemikálie pro vyvolávací proces, Jednalo se o vývojku, běličku a smáčedlo. Použili jsme dvousložkovou vývojku Ag v poměru 1:1 v celkovém množství cca 80 ml a dvousložkovou běličku K7 v poměru 1:1 v celkovém množství cca 80 ml. Dále jsme připravili roztok destilované vody se smáčedlem v koncentraci 0,5% v celkovém množství přibližně 100 ml.

Po expozici jsme pouze za ochranného zeleného osvětlení vložili záznamovou desku do vývojky a tam ji za intenzivního míchání ponechali dvě minuty. Poté jsme vývojku vylili a misku s destičkou vložili na dvě minuty do tekoucí vody. Po vyprání jsme vložili destičku do běličky. Po dvou minutách intenzivního máchání v běličce jsme mírně rozsvítili a dále máchali destičku, dokud nezmizela černá plocha. V prvním případě setrvala destička v běličce 6,5 minuty, podruhé 4,5 minuty. Poté jsme opět vložili destičku pod tekoucí vodu, tentokrát na 5 minut. Nakonec jsme destičku vložili na minutu do smáčedla a pak na vzduch za větrák, aby uschla. Během vyvolávání jsme nepozorovali žádný problém.

Hotový hologram jsme umístili zpět do držáku záznamového materiálu a pozorovali jsme rekonstrukci auta Mini Cooper.

## 4 Zhodnocení výsledků

Po dokončení vyvolání jsme oba naše hologramy zkoumali. Oba jsou výborné kvality, ačkoli u prvního jsme důsledně nedodržovali pokyny pro expozici a vyvolání (zejména kratší doby v jednotlivých chemikáliích, kratší relaxační doba...).

### 4.1 Rekonstrukce v bílém světle

Hologram jsme rekonstruovali pomocí bílého světla lampy a Slunce. V obou případech byla patrná jakási duhová skvrna, ve které šlo s trochou snahy rozpoznat obrys automobilu. Rozhodně byla ale pozorovatelná zdánlivá přítomnost něčeho trojrozměrného za hologramem.

### 4.2 Rekonstrukce zpětným vložení do záznamového schématu

Při rekonstrukci „referenční“ vlnou laseru byl vidět velmi ostrý a detailní obraz modelu. Tento obraz se měnil v závislosti na úhlu pohledu a dokazoval tím, že při rekonstrukci obsahuje hologram i fázovou složku původní signální vlny. V přítomnosti modelu auta se vzor a obraz zdánlivě překrývaly. Po odstranění vzoru jsme na jeho místě viděli obraz.

Při zakrytí části záznamové desky byl vidět opět celý hologram, zmenšila se ovšem velikost pozorovacího úhlu.

### 4.3 Rekonstrukce konjugovanou vlnou

Záznamovou destičku jsme otočili. Dopadající paprsek tak nejprve prošel skleněnou destičkou a následně vyvolanou záznamovou emulzí. Došlo k vytvoření skutečného obrazu, který bylo možno pozorovat na stínítku. Ostrost části obrazu záležela na vzdálenosti stínítka od holografické desky. Ostře byla vždy ta část obrazu, která byla tak daleko od záznamové desky vzdálená tak, jak byla původně od ní vzdálena ta část modelu, kterou teď zachycujeme na stínítku. Tedy v procesu oddalování stínítka od holografické desky jsme nejprve ostře viděli přední okraj auta, který byl při záznamu nejbližší holografické desce, poté postupně přední dveře, zadní okno, pneumatiky a nakonec blinkr, který byl nejdále od záznamové desky.

### 4.4 Rekonstrukce tenkým laserovým svazkem

Při rekonstrukci tenkým laserovým svazkem byl pozorován hologram auta na stínítku. Pozorovaný obraz byl velmi ostrý a jasný. Pokud jsme měnili místo na hologramu, které jsme laserem osvětlovali, pozorovali jsme změnu obrazu na stínítku. Dá se to interpretovat tak, že v každém místě hologramu je zaznamenán jiný pohled na vzor.

### 4.5 Domácí rekonstrukce

Na koleji jsem zkoušel rekonstruovat hologram červeným světlem laserové myši a modrým světlem výrazné diody na nabíječce k mobilu. Při osvětlení laserovou myší v naprosté tmě je obraz velmi jasně a ostře viditelný. Při rekonstrukci modrým světlem diody ve tmě je obrys automobilu také patrný, nicméně není již tak ostrý. Teoreticky by měl být obraz v modrém světle menší, avšak toto jsem nepozoroval. Toto srovnání má smysl dělat pouze s rovinnou vlnou, zdroj typu LED světlo na nabíječce není průkazný.

## 5 Závěr

Seznámili jsme se se základními principy holografie, připravili jsme expoziční schéma. Úspěšně jsme provedli expozici a vyvolání hologramu. Pozorovali, zkoumali a diskutovali jsme rekonstruovaný obraz.

## Literatura

- [1] *Návod k úloze 4* [online],  
[cit. 1. dubna 2011], [http://optics.fjfi.cvut.cz/files/pdf/ZPOP\\_04.pdf](http://optics.fjfi.cvut.cz/files/pdf/ZPOP_04.pdf)