

Studentská Vědecká Konference 2010

TVORBA OPTICKÝCH A DIGITÁLNÍCH HOLOGRAMŮ

Martin Šimek¹

1 ÚVOD

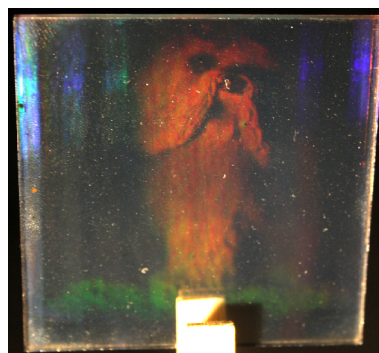
Holografie je způsob jak zachytit optické pole pro potřeby pozdější rekonstrukce. Na rozdíl od fotografie má hologram plně stereoskopický obraz s neomezenou hloubkou ostrosti a viditelností závislé na pozici pozorovatele. Díky principu založeném na interferenci elektromagnetického vlnění v oblasti viditelného spektra se holografie uplatňuje i jako nástroj pro měření rozměrů na úrovni vlnové délky světla. Během projektu jsme zjistili, že lze jít daleko než amatérská laboratoř přestane dostačovat a je nutné použít drahé profesionální vybavení.

Kromě pořizování hologramů fotochemickou cestou je možné je generovat počítačem. Stejně jako se generují virtuální scény a následně tisknou na papír, je možné podobnou scénu vygenerovat jako hologram a nechat jí vyhotovit. Tato neprobádaná oblast přináší první výsledky v podobě transmisních hologramů, na jejichž výzkumu se na katedře pracuje.

2 TVORBA OPTICKÝCH HOLOGRAMŮ

Slovo hologram má díky řadě vědeckofantastických filmů často pokřivený význam. Jeho výroba se tak může obyčejnému člověku jevit jako něco nereálného. Při podrobnějším prozkoumání tématu zjistíme, že celá věc je docela jednoduchá a vybavení na výrobu hologramů lze zakoupit jako hračku pro větší děti. Dva základní a velice efektní typy hologramů lze vyrobit doma pomocí jednoduché sady laseru, fotografických desek a přiložených chemikálií. Překvapivě dobrá podmíněnost umožňuje výrobu hologramů v improvizovaných podmínkách.

Základní princip tkví v zachycení světla (laseru) ve všech směrech, ve kterých dopadá na záznamové médium. Světlo má v každém bodě prostoru určitou fázi a amplitudu. Záznamové prostředky však reagují pouze na intenzitu. Zachycení fáze Φ a amplitudy u se řeší pomocí interference snímaného světla popsaného komplexní amplitudou $a = u e^{j\Phi}$ s referenčním osvětlením $A = v e^{j\Theta}$, které má pouze jeden směr a jeho amplitudu v fázi Θ v prostoru známe. Na snímači v každém bodě dojde k interferenci vlnění těchto dvou světél a výsledkem je intenzita závislá jak na fázi Φ tak na amplitudě u snímaného světla (a).



Obr. 1: Optický hologram sošky psa.

$$I = |a + A|^2 = a\bar{a} + A\bar{A} + a\bar{A} + \bar{a}A \quad (1)$$

Rovnice (1) ukazuje jaká světla se zaznamenají a vytvoří tak v daném bodě propustnost materiálu závislou na koeficientu materiálu β . Při osvětlení, exponovaného a následně vyvolaného materiálu, referenčním světlem A a dostáváme

$$U = (\beta I)A = (\beta a\bar{a})A + (\beta A\bar{A})A + (\beta a\bar{A})a + (\beta A\bar{a})A. \quad (2)$$

¹ Martin Šimek, student navazujícího studijního programu Inženýrská informatika, obor Počítačová grafika a výpočetní systémy, e-mail: cima@students.zcu.cz

Uplatněním asociativity komplexního násobení vidíme, že třetí člen rovnice (2) je světlo, které jsme chtěli zaznamenat a ostatní pouze referenční světla s amplitudou proporcionální různým kombinacím referenčního světla a světla našeho zájmu. Tato však neuvidíme, protože mají směr referenčního osvětlení, které nesmí být kolmé na hologram. Více viz Goodman (2005).

3 TVORBA DIGITÁLNÍCH HOLOGRAMŮ

Zaznamenávané světlo nemusí pocházet ze skutečných objektů. Celé optické pole hologramu je možné vypočítat matematicky na počítači a nějakou vhodnou technologií jej vyhotovit v podobě amplitudového hologramu. Ten opět stačí prosvítit referenčním světlem a uvidíme objekt, který sloužil jako předloha výpočtu optického pole.

Spojení „vhodné technologie“ může v někom evokovat obrovské sumy peněz, což je samozřejmě pravda, ale taková zařízení jsou překvapivě snadno a levně k dispozici i veřejnosti. Řada tiskáren provádí zakázkový osvit filmu pomocí osvitové jednotky s velikostí bodu $\Delta x = 7 \mu\text{m}$, což je pro holografii již dostačující rozměr. Nám tedy stačí vlastnit průměrný počítač s trochu větší pamětí (2 GB RAM).

Technologii tedy máme, zbývá vypočítat předlohu pro tiskárnu. Ta je závislá na optickém poli. Přidáme referenční vlnu, spočteme výslednou amplitudu a tu podle hodnoty převedeme na barvu, kterou tiskárna umí vysvítit na film. Umí jenom černou, takže pokud je amplituda větší než polovina maximální amplitudy v celém hologramu necháme film průhledný (bílá), v opačném případě film osvítíme, aby zčernal (černá). Metoda je to jednoduchá a překvapivě účinná.

Pro výpočet optického pole můžeme použít některý z již existujících programů nebo si udělat vlastní. Nejjednodušší jsou paprskově orientované algoritmy, které nahradí povrch objektu konečným počtem bodů a pak od nich spočtou pro každý element hologramu příspěvky. Implementace je elementární, a nepotřebuje ani moc paměti. Jelikož na slušný hologram potřebujeme spočítat optické pole velikosti 4096×4096 elementů a objekt bude mít obdobné množství bodů, potřebujeme 4096^4 výpočtů fáze a amplitudy světla, abychom dostali všechny elementy optického pole.

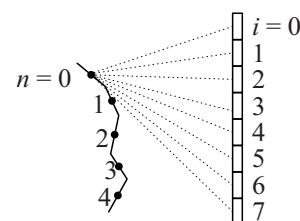
Sofistikovanější metody využívají urychlení pomocí propagace úhlového spektra, které lze spočítat použitím rychlé Fourierovy transformace, takže výsledná složitost není $O(N^4)$, ale pouze něco kolem $O(N^2 \log N)$, kde N je počet elementů na šířku/výšku hologramu. Generování hologramů počítačem je zatím velice neprozkoumaná oblast a k dořešení zbývá ještě mnoho problému.

4 ZÁVĚR

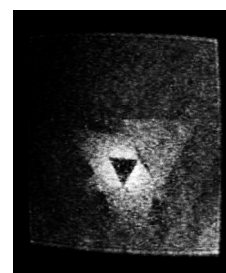
Na ZČU je malá laboratoř, kde je možné vytvářet jednoduché optické hologramy a vyzkoušet si tak základní principy. Poznatky potřebné pro tvorbu hologramů lze uplatnit i v jiných oblastech jako jsou optické sítě, radiokomunikace či optika obecně.

LITERATURA

Goodman, J. W., 2005. *Introduction to Fourier Optics Third Edition*. Roberts & Company Publisher, Greenwood Village, Colorado. ISBN 0-9747077-2-4.



Obr. 2: Princip generování hologramu.



Obr. 3: Hologram rekonstruovaný z digitálně generované předlohy.