

Optimalizace digitální holografické metody pro měření tvarů optických ploch

František Kaván, Ing. Pavel Psota, Ph. D.

Abstrakt

Tato práce se zabývá měřením tvarů optických a jiných ploch pomocí digitální holografické metody. Pro experimenty bylo použito více objektů, které otestovaly parametry jednotlivých metod. Byly použity dvě metody, z nichž lepší výsledky vykazovala skenovací holografická interferometrie. Přesnost této metody lze dále vylepšit spojením měření z více vlnových délek. Při spojení měření z více vlnových délek je možno pomocí této metody dosáhnout přesnosti až 2 μm .

Úvod

Výzkum je zaměřen na měření povrchů pomocí digitální holografické metody. Tato metoda se jeví jako vhodná hlavně pro broušené povrchy a obecně difuzní povrchy.

Digitální holografická interferometrie nabízí zajímavý kompromis, protože pořizovací náklady nejsou tak vysoké, jako u AFM nebo profilometrů, a zároveň přináší mnoho výhod. Měření pomocí digitální holografické interferometrie je bezkontaktní, nepoužívá žádné čočky a tím nevznáší do měření další chyby. Při správném nastavení umožňuje měření objektů s velkým poloměrem zakřivení a velkými výškovými skoky.

Experimenty a metody

Měření bylo prováděno v Off-axis uspořádání. Nejprve byla testována metoda dvouvlenné holografické interferometrie. Byl nastaven poměrně velký dráhový rozdíl jednotlivých ramen (asi 30 cm), aby byla citlivost změny fáze na změnu vlnové délky co nejvyšší. Poté byla provedena dvě měření na různých vlnových délkách a z nich zjištěna fáze ze vztahu:

$$\Delta\phi(P) = \frac{2\pi}{\lambda} \delta(P) = k\delta(P)$$

Veličina $\Delta\phi$ vyjadřuje fázový rozdíl, δ dráhový rozdíl a λ vlnovou délku. Jako další byla použita metoda skenovací holografické interferometrie. Při ní byly provedeny skeny pomocí vlnové délky a zaznamenány hologramy. Pro vyhodnocení se pak vycházelo z výše uvedeného vztahu s rozdílem, že nyní bylo známo více hodnot v tomto lineárním vztahu a taktéž bylo možné rozbalit fázi a získat tak přístup k absolutní hodnotě dráhového rozdílu mezi objektovou a referenční větví.

Výsledky a diskuse

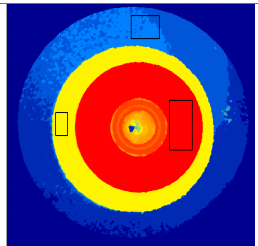
Měření pomocí dvouvlenné metody poskytlo mnoho užitečných informací ohledně korelace měřených dat. Pro první experimenty byla použita rekonstrukce pomocí algoritmu angulárního spektra.

U skenovací holografické interferometrie proběhlo vyhodnocení dráhového rozdílu pro každý bod rekonstruovaného hologramu. V každém bodě byl rozbalen vývoj fáze ϕ jako funkce vlnového čísla k . Nyní, když známe závislost fáze na vlnovém čísle, je možné zjistit dráhový rozdíl v určitém bodě jako

Rozšířený abstrakt

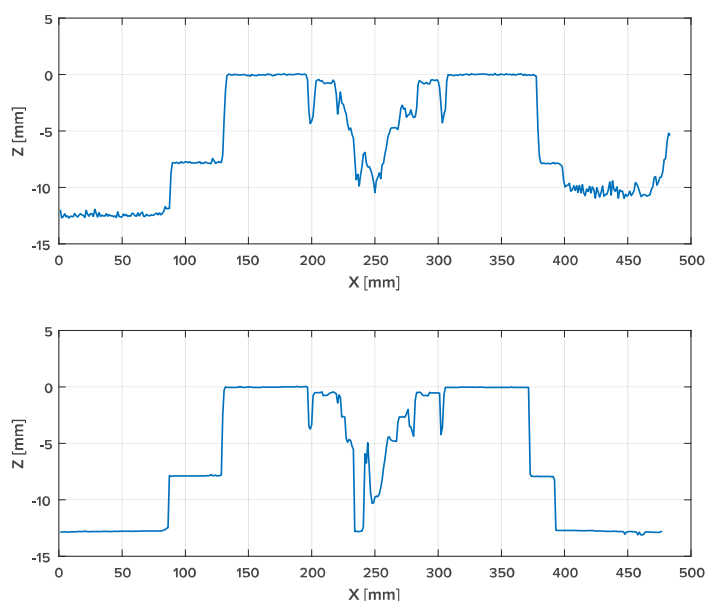
$\delta = d\phi/dk$. Dráhový rozdíl byl určen pomocí metody nejmenších čtverců jako směrnice závislosti ϕ na k . Hodnoty směrnic byly následně uloženy na odpovídající místo v 2D poli.

Přesnost tohoto měření je nepřímě úměrná rozsahu skenu ve vlnové délce. Jelikož laserové diody umožňují přeladění o 1,3 nm a jejich rozsahy se vzájemně nepřekrývají, je nutné, pro zvýšení přesnosti, data z těchto měření propojit. Po spojení jednotlivých měření dochází k výraznému nárůstu přesnosti a také k velké redukci šumu, jak je možno vidět v následující tabulce.

Plocha	σ – pro $\Delta\lambda = 1,3$ nm [μm]	σ – pro $\Delta\lambda = 92$ nm [μm]	Nárůst přesnosti	
Svrchní plocha (červená)	28	2,2	12,7x	
Střední plocha (žlutá)	39	2,3	17,0x	
Spodní plocha (modrá)	325	17	19,1x	

Závěr

Byly měřeny různé druhy objektů, které posloužily pro určení důležitých vlastností jednotlivých metod. Pro první měření byla použita metoda dvouvlnné holografické interferometrie, která má výhodu v malé paměťové náročnosti. Jako nová metoda byla také otestována skenovací holografická interferometrie. Hlavní výhodou této metody je absolutní měření a také eliminace prostorového rozbalení fáze. Přesnost metody skenovací holografické interferometrie lze zvýšit spojením měření při více vlnových délkách (Obrázek 1). To umožňuje dosažení přesnosti pohybující se okolo 2 mikrometrů pro stupňovitý objekt. Při další optimalizaci postupů by mělo být možné tuto přesnost ještě zvýšit, což z této metody, v kombinaci s bezkontaktností a poměrně nízkými pořizovacími náklady, činí velmi zajímavou možnost pro přesné měření tvaru povrchu.



Obrázek 1 – profily naměřené pomocí skenovací HI

Poděkování

Rád bych poděkoval Ing. Petru Vojtíškovi, Ph. D. za čtené rady při vzniku této práce a také centru optoelektronických systému Toptec v Turnově, kde proběhly všechny experimenty.

Reference

- [1] KREIS, Thomas. Handbook of holographic interferometry: optical and digital methods. Weinheim: WILEY-VCH, 2005. ISBN 35-274-0546-1.
- [2] HARIHARAN, P. Basics of interferometry. 2nd ed. Boston: Elsevier Academic Press, 2007. ISBN 978-012-3735-898.
- [3] LÉDL, Vít, Pavel PSOTA, Petr VOJTÍŠEK a Roman DOLEČEK. Digitální holografická interferometrie. Liberec, 2015.