

Prostorové rozložení strukturovaných optických svazků blízkých vlnových délek

Bc. Jiří Junek <jiri.junek@tul.cz>, doc. RNDr. Miroslav Šulc, PhD

Práce se zabývá studiem prostorového rozložení strukturovaných svazků různých vlnových délek. Diskutuje vliv vlnové délky a dalších parametrů pro místo vzniku svazku. Uvádí popis, prostorové struktury dílčích svazků a jejich superpozice. Diskutuje se možnost využití získaných poznatků pro absolutní měření vzdálenosti. Je uvedena metoda pro hrubé určení absolutní vzdálenosti za generátorem. Článek odkazuje na stejnojmennou autorovu diplomovou práci.

Klíčová slova: strukturovaný svazek, kulová čočka, vlnová délka, Houghova transformace, absolutní měření vzdálenosti

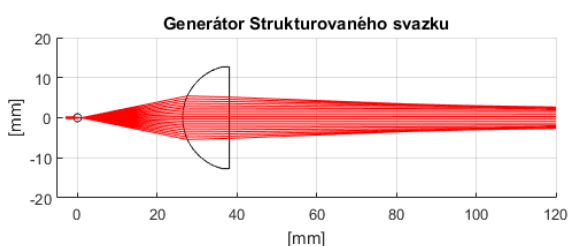
Úvod

Strukturovaný svazek nabývá rozložení intenzity podobné kvadrátu Besselovy funkce. V práci je uvedena metoda generování, která nabízí teoreticky až nekonečný dosah svazků s malou divergencí. Ačkoliv v posledních letech narůstá četnost publikovaných článků na dané téma, mají všechny strukturované svazky, generované jinou metodou, omezený rozsah šíření. Významnou vlastností je také schopnost regenerace svazku za překážkou. Informace o historii svazku jsou zahrnuty v jeho struktuře. Toto je dělá nenahraditelnými v oblasti metrologie.

Metodika

Generátor strukturovaných svazků byl sestaven pomocí kulové a plankonvexní čočky. Jedinečnost této metody spočívá v teoreticky až nekonečném dosahu svazku.

Princip generování využívá aberací optických komponent generátoru. Jedná se především o sférickou aberaci a defokus. Jednotlivé aberace lze popsat pomocí Zernikových polynomů. Obrázek 1 zobrazuje konfiguraci použitého generátoru.

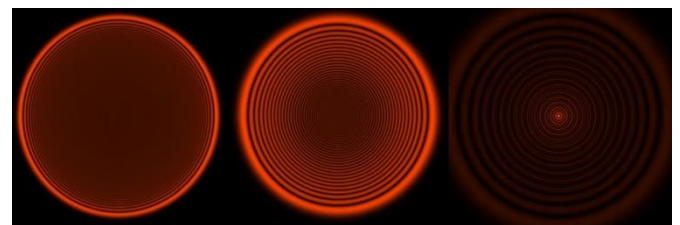


Obrázek 1: Generátor strukturovaného svazku

Uvedený obrázek 1 je vyjmutý s provedených simulací v softwaru Matlab, kde byl pomocí geometrické optiky zkoumán vliv vlnové délky na místo vzniku svazku.

Za generátorem vzniká interferenční pole [3], které tvoří strukturovaný svazek.

Uvedený vývoj vzniku strukturovaného svazku dokumentuje obrázek 2.

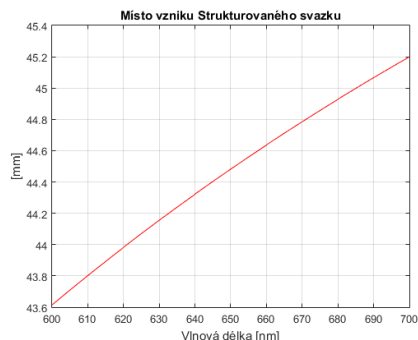


Obrázek 2: Vývoj vzniku strukturovaného svazku

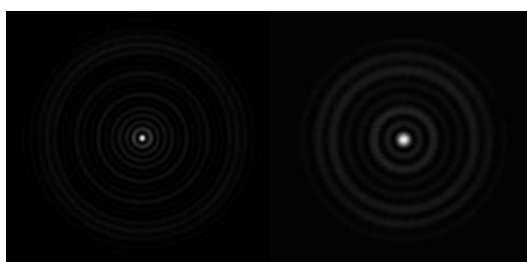
Jako místo vzniku takto generovaného strukturovaného svazku lze definovat bod, kdy první vnější paprsek protne optickou osu. Pro popis místa vzniku svazku za generátorem byl pomocí geometrických vztahů odvozen vztah zahrnující nejrůznější vlivy a konfigurace generátoru, který je podrobně popsán autorem tohoto článku v [4]. Vliv vlnové délky je patrný z obrázku 3, kdy svazky s kratší vlnovou délkou vznikají za generátorem dříve.

Samotné svazky, ale i jejich superpozice byly zkoumány kamerou na intervalu 600-910 mm, což v optickém uspořádání umožňoval motorizovaný posuv. Vývoj svazku je patrný z obrázku 4, kdy jeho levou část tvoří svazek ve vzdálenosti 600 mm a pravou část svazek 910 mm za generátorem. Jednotlivá maxima byla v obrazu hledána pomocí Houghovy transformace

pro detekci kružnic [1], což umožnilo sledovat jejich prostorový vývoj.



Obrázek 3: Závislost místa vzniku strukturovaného svazku za generátorem na vlnové délce



Obrázek 4: Prostorové rozložení svazku

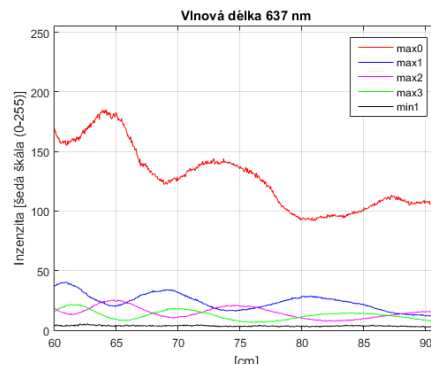
Výsledky a diskuze

Byl zkoumán vývoj svazků vlnových délek 632,8 nm, 637,0 nm, 652,5 nm a 654,3 nm. Zpracování videa bylo prováděno v softwaru Matlab. Pro ukázkou bude na obrázku 5 uveden vývoj nultého až třetího maxima svazku pro vlnovou délku 637,0 nm na definované vzdálenosti. Vývoj struktury ostatních svazků nalezneme v [4]. Z obrázku je patrné, že jednotlivá maxima oscilují téměř v opačné fázi. Jednotlivé extrémy maxim svazku jsou vůči sobě však lehce posunuty. Posunutí intenzitních průběhů jednotlivých svazků různých vlnových délek souvisí s místem jejich vzniku za generátorem.

Zkoumaná superpozice svazků různých vlnových délek v sestaveném experimentu nepřinesla další intenzitní strukturu spojenou se zánějí.

Ze získaných poznatků byla sestavena funkce v softwaru Matlab, která na kalibrované oblasti z jednoho snímku určí aktuální vzdálenost za generátorem. Metoda využívá prostorových informací, které svazek přenáší ve své struktuře. Jedná se především o intenzitní prostorové rozložení jednotlivých maxim a průměru nultého maxima.

Analýze bylo podrobena celkem 12 snímků v různých vzdálenostech za generátorem při všech uvedených vlnových délkách. Pro ilustraci jsou uvedeny výsledky z měření pro vlnovou délku svazku 637,0 nm.



Obrázek 5: Intenzitní průběh maxim svazku (637,0 nm)

Tabulka 1: Výsledky měření $\lambda = 637,0$ nm

L	\bar{x} [mm]	$\sigma_{\bar{x}}$ [mm]
650	650,2	0,3
750	748,4	0,8
850	847,8	0,7

Závěr

Byl odvozen popis pro místo vzniku svazku za generátorem. Byl navrhnut postup pro vyhodnocování prostorového rozložení svazků. Ze získaných informací byla sestavena metoda pro určení absolutní vzdálenosti. Metoda pracuje s přesností jednotek mm ($\sigma_{\bar{x}}$ je část celkové chyby). To nemůže přímo konkurovat přesnosti absolutních interferometrů [2], avšak v kombinaci s nimi může urychlit a usnadnit výpočetní algoritmus absolutní interferometrie.

Poděkování

Tato práce byla podpořena z projektu Studentské grantové soutěže (SGS) na Technické univerzitě v Liberci v roce 2018.

Reference

- [1] DUDA, R. O., HART, P. E., 1972. Use of the Hough transformation to Detect Lines and Curves in Pictures. In: Comm. ACM, January, Vol. 15, s. 1-15. Dostupné z URL: <http://www.ai.sri.com/pubs/files/tn036-duda71.pdf>
- [2] MEDHAT, M., M. SOBEE, H. M. HUSSEIN a O. TERRA, 2016. Distance measurement using frequency scanning interferometry with mode-hoped laser. *Optics & Laser Technology* [online]. **80**, 209–213. ISSN 0030-3992. Dost. z: doi:10.1016/j.optlastec.2016.01.025
- [3] SALEH, Bahaa E. A, TEICH, Malvin Carl, 1991. Fundamentals of photonics, New York: Wiley. ISBN 978-0-471-83965-1.
- [4] JUNEK, Jiří, 2018. Prostorové rozložení optických strukturovaných svazků blízkých vlnových délek. Diplomová práce. Technická univerzita v Liberci, fakulta mechatroniky, informatiky a mezioborových studií. Vedoucí práce doc. RNDr. Miroslav Šulc, PhD.