



غربال نوری چند کانونی با توزیع بسل-گوسی روزنه‌ها

سیداکبر حسینی^۱، آرش ثباتیان^۲

^۱شرکت مخابرات ایران، منطقه البرز، کرج

^۲دانشکده فیزیک دانشگاه ارومیه، ارومیه

چکیده - در این مقاله تلاش شده است تا با استفاده از تابع بسل-گوسی، توزیع روزنه‌های غربال نوری به صورت نوسانی میرایی حاصل شود. این تابع توزیع روزنه‌ها را در برخی مناطق چگال و در بعضی مناطق صفر می‌کند. بدین ترتیب با حفظ توزیع فازی کروی، نوعی فیلتر فضایی اعمال می‌شود که نور پراشیده را به نحو مطلوبی مدوله می‌کند. در نتیجه این نوع از مدوله سازی نوری، کانون‌های اقماری در امتداد محور اپتیکی پدیدار می‌شود. نتایج تجربی در چیدمان آزمایش تصویرگیری همدوس با موج تابشی تخت، فرض اولیه را تایید می‌کند.

کلید واژه- تیغه منطقه‌ای فرنل، غربال نوری، توزیع بسل-گوسی، فیلتر فضایی.

Multifocal photon-sieve with Bessel-Gaussian distribution of pinholes

¹Seyed akbar hosseini, ²Arash sabatyan

¹Telecommunication company of Iran, karaj

² Department of Physics, University of Urmia, Urmia

Abstract- In this paper we try to use Bessel-Gaussian function to create damping oscillating distribution of pinholes in photon-sieve. This function concentrates the density of pinholes in some Fresnel zones and vanishes in some parts. Thus, by preserve the phase distribution function, a kind of spacial filtering exerts to modulating the diffracting beam in desired way. As the consequence of this modulation, the satellite focal points will be appearing in direction of optical axis. Experimental results in coherence imaging setup with input plan wave confirms the initial assumption.

Keywords: Fresnel zone plate, photon-sieve, Bessel-Gaussian function, spacial filter

۱- مقدمه

سامانه‌های اپتیکی پراشی، به عنوان مدوله‌کننده‌های نوری^۱ در طیف وسیعی از صنایع مورد استفاده قرار می‌گیرند. در این میان چگالنده‌های نوری نقش بسزایی را ایفا می‌کنند. اولین چگالنده نوری پراشی به نام تیغه منطقه‌ای فرنل^۲، که از نواحی دایروی هم مرکز که به صورت یک در میان تاریک و روشن تشکیل شده است، توسط فرنل معرفی شد. نور از نواحی روشن عبور کرده و پس از انتشار در نقطه‌ی کانونی متمرکز می‌شود. شعاع منطقه فرنلی $n\lambda$ از رابطه

$$r_n = \sqrt{n\lambda f} \quad (1)$$

که در آن λ طول موج و f فاصله کانونی است. تعداد حلقه‌ها که وابسته به شعاع عدسی پراشی (R)، طول موج و فاصله کانونی است از رابطه عدد فرنل به صورت

$$N_{max} = \frac{R^2}{\lambda f} \quad (2)$$

محاسبه می‌شود. رابطه فازی متناظر با تیغه منطقه‌ای فرنل، رابطه توزیع فازی کروی

$$\varphi(r) = \frac{2\pi r^2}{\lambda 2f} \quad (3)$$

است. برای افزایش کیفیت تصویر در کانون، مدل جدیدی از عدسی پراشی توسط کیپ و همکارانش [1] در سال ۲۰۰۱ معرفی شد که از تعبیه روزنه‌ها بر مناطق تاریک تیغه منطقه‌ای فرنل حاصل می‌شود. قطر این روزنه‌ها منطبق بر پهنای مناطق فرنلی است. به دلیل امکان کنترل توزیع روزنه‌ها، نحوه مدوله سازی نور به وسیله این عدسی پراشی به صورت مطلوبتری قابل کنترل است.

۲- تئوری

یکی از روشهای اعمال تغییر در عملکرد غربال نوری، تغییر توزیع روزنه‌های تعبیه شده بر مناطق تاریک فرنل است. تغییر در توزیع روزنه‌ها، تابع انتقال اپتیکی را متناسب با نتیجه مورد نظر تغییر می‌دهد. در نتیجه با مدوله کردن فرکانسهای فضایی مختلف می‌توان به نتایج دلخواه در توزیع کانونی نور دست یافت. از جمله توزیعهای انجام شده می‌توان به توزیع فراکتالی^۳ [2]، رندم^۴ [3] و گاوسی^۴ [4] اشاره کرد. به

عبارتی دیگر تابع توزیع همانند فیلتر فضایی عمل می‌کند و امکان دستکاری فرکانسهای فضایی را می‌دهد. تابع توزیع بسل-گاوسی به فرم

$$w_n = w_0 J_0(ar_n) \exp\left(-\frac{(r_n - r_0)^2}{\beta^2}\right) \quad (4)$$

انتخاب شده که در آن w_0 ، α و β ثابتهایی هستند که باید تعیین شوند. J_0 تابع بسل نوع اول مرتبه صفر است. با تقسیم مقدار تابع توزیع بر شعاع متوسط مناطق فرنلی، تابع چگالی توزیع ρ_n بدست می‌آید:

$$\rho_n = \frac{w_n}{\pi(r_n + r_{n+1})} \quad (5)$$

۳- شبیه‌سازی عددی

نمونه‌های غربال نوری با مقادیر ثابت $w_0=2000$ ، $\beta=1000$ و دو مقدار برای $\alpha=6$ و 8 در محیط نرم افزار مطلب طراحی شدند (شکل ۱). مقادیر طول موج تابشی ($\lambda=635nm$)، شعاع نمونه ($R=7/5mm$) و فاصله کانونی ($f=1000mm$) در نظر گرفته شده‌اند. تابع چگالی توزیع روزنه‌ها در شکل ۲ محاسبه و ترسیم شده است. به روش عددی و به کمک ابزار فوریه سریع در نرم‌افزار مطلب، تابع انتقال اپتیکی بهنجار^۵ هر دو نمونه محاسبه و ترسیم شده است. با توجه به متفاوت بودن ضریب ثابت α در دو نمونه‌ی غربال نوری، فیلتر فضایی این نمونه‌ها نیز متفاوت است. ترسیم عرضی تابع انتقال اپتیکی هر دو نمونه برای مقایسه در شکل ۳ نشان داده شده است. توزیع شدت فرنل به کمک تئوری هم‌تافتگی^۶ با استفاده از ابزار فوریه سریع در نرم‌افزار مطلب محاسبه و ترسیم شده است. در شکل ۴ توزیع شدت محوری هر دو نمونه، و در شکل ۵ توزیع شدت عرضی در صفحه کانونی اصلی محاسبه و ترسیم شده است.

^۴ Random

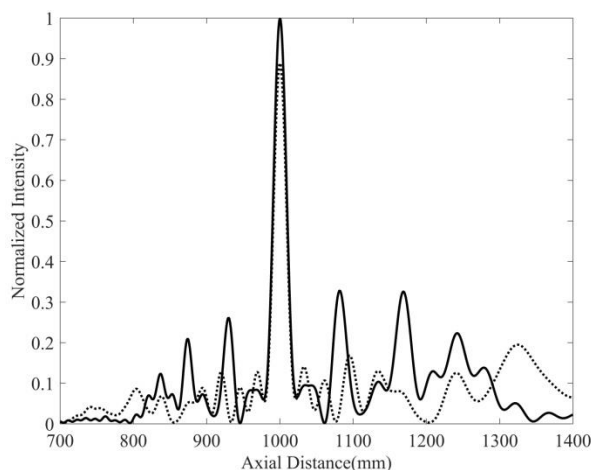
^۵ Normalized OTF

^۶ Convolution

^۱ Optical modulator

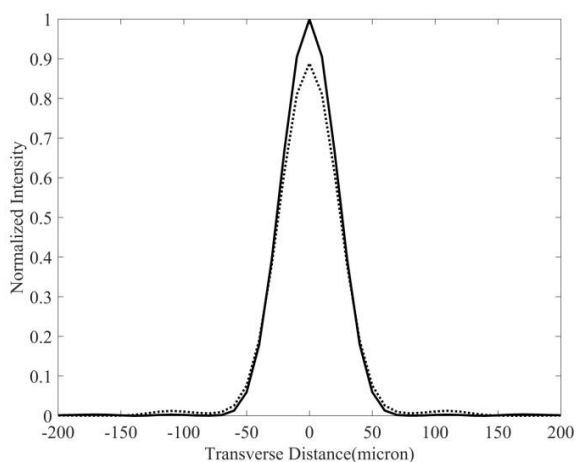
^۲ Fresnel zone plate

^۳ Fractal photon-sieve



شکل ۴: شبیه‌سازی عددی توزیع شدت محوری، خط ممتد برای

$\alpha=8$ و نقطه‌چین برای $\alpha=6$

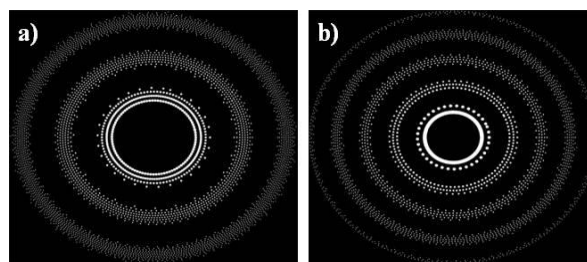


شکل ۵: شبیه‌سازی عددی توزیع شدت عرضی کانون اصلی، خط ممتد

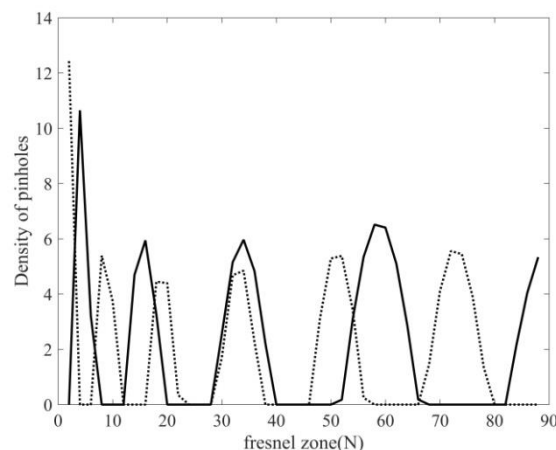
برای $\alpha=8$ و نقطه‌چین برای $\alpha=6$

۴- نتایج تجربی

نمونه‌های طراحی شده در محیط نرم‌افزار مطلب، با تفکیک ۲۴۰۰ dpi به روش لیتوگرافی بر روی فیلم شفاف برای انجام آزمایش چاپ شدند. آزمایش با نور تخت لیزر جامد GaAs در طول موج ۶۳۵ نانومتر طبق چیدمان شکل ۵ انجام شد. به وسیله ابزار CCD از فاصله ۸۰۰ تا ۱۲۰۰ میلی‌متر در فواصل ۱ میلی‌متری تصویرگیری و تصاویر حاصل برای تحلیل به کامپیوتر ارسال شد. شکل ۶ تصویر و نمودار توزیع شدت عرضی تجربی در صفحه‌ی کانونی اصلی و شکل ۷ تصویر کانون‌های اقماری برای نمونه $\alpha=8$ را نشان می‌دهد.

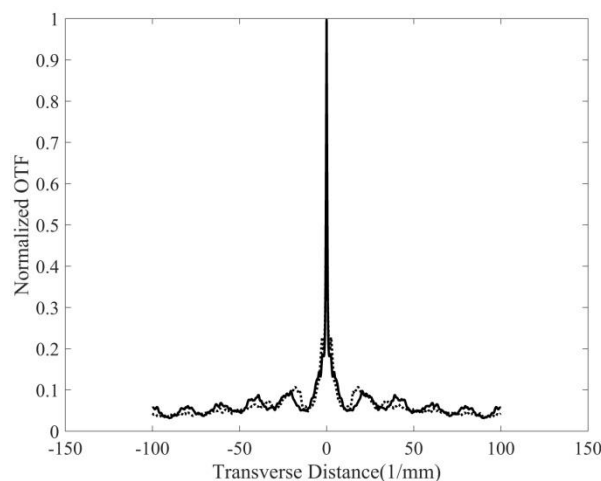


شکل ۱: نمونه‌های طراحی شده (a) $\alpha=8$ (b) $\alpha=6$



شکل ۲: تابع چگالی توزیع روزنه‌ها، خط ممتد برای $\alpha=8$ و نقطه‌چین

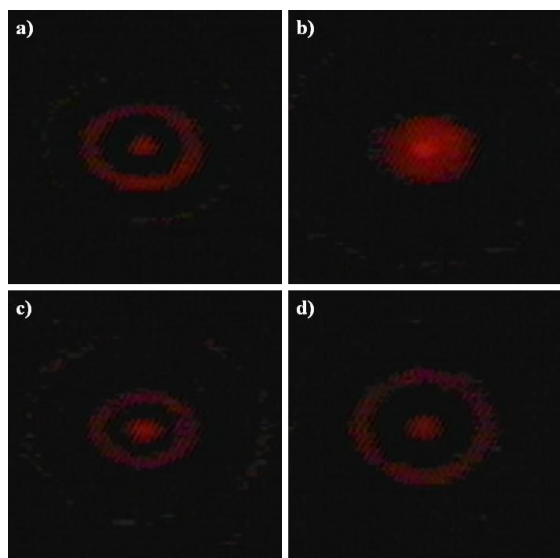
برای $\alpha=6$



شکل ۳: تابع انتقال اپتیکی بهنجار، خط ممتد برای $\alpha=8$ و نقطه‌چین

برای $\alpha=6$

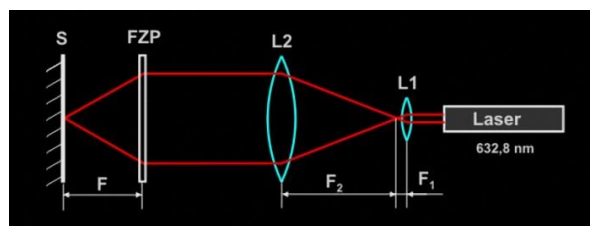
شدت کانون‌های اقماری بین ۲۰ تا ۳۰ درصد تراز شدت کانون اصلی است (شکل ۸).



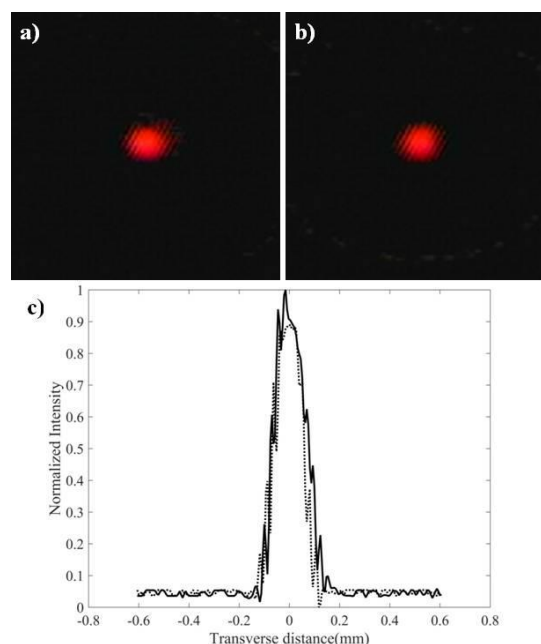
شکل ۸: تصویر توزیع شدت عرضی کانون‌های اقماری نمونه $\alpha=8$ در فواصل محوری (a) $Z=874$ (b) $Z=930$ (c) $Z=1082$ (d) $Z=1168$ میلی‌متر

مرجع‌ها

- [1] L. Kipp, M. Skibowski, R. L. Johnson, R. Berndt, R. delung, S. Harm and R. Seemann "Sharper images by focusing soft X-rays with photon sieves," *Nature* 414 (6860), 184-188, (2001).
- [2] Giménez, F., Monsoriu, J. A., Furlan, W. D. & Pons, A. *Fractal photon sieve*. *Opt. Express* 14, 11958–11963 (2006).
- [3] Sabatyan, A., Roshaninejad, P., "Super-resolving random-Gaussian apodized photon sieve," *Appl. Opt.* 51, 6315 - 6318 (2012).
- [4] Sabatyan, A., and Mirzaie, S. "Efficiency enhanced photon sieve using a Gaussian/overlapping distribution of pinholes," *Appl. Opt* 50, PP. 1517-1522, (2011).



شکل ۶: شماتیک چیدمان آزمایش



شکل ۷: تصویر کانون اصلی برای نمونه (a) $\alpha=8$ (b) $\alpha=6$ برای (c) ترسیم توزیع شدت تجربی (خط ممتد برای $\alpha=8$ و نقطه‌چین برای $\alpha=6$)

۵- نتیجه‌گیری

تابع توزیع بسل-گوسی با روند نوسانی میرا در امتداد شعاع نمونه، مناطق توزیع چگال را به نحوی مدیریت می‌کند که نتیجه آن ایجاد چند پارگی توزیع کانونی در امتداد محور اپتیکی می‌شود. با مقایسه نمودارها و نتایج تجربی، می‌توان نتیجه گرفت که اثر فیلتر بسل-گوسی بر کانون به صورت کانون‌های اقماری حول کانون اصلی ظاهر می‌شود. در نمونه‌ای که ضریب ثابت $\alpha=8$ در نظر گرفته شده است، با توجه به چگالی بیشتر روزه‌ها در مناطق متراکم و تعداد کمتر مناطق متراکم، توزیع کانون‌ها منظم‌تر است و تراز