بیست و سومین کنفرانس اپتیک و فوتونیک و نهمین کنفرانس مهندسی و فناوری فوتونیک ایران
دانشگاه تربیت مدرس
۱۲-۱۴ بهمن ۱۳۹۵
23rd Iranian Conference on Optics and Photonics and 9th Conference on Photonics Engineering and Technology
Tarbiat Modares University, Tehran, Iran
January 31- February 2, 2017

اندازه گیری قطر هسته و ضریب شکست فیبرهای نوری بوسیله میکروسکوپ فازی هیلبرت (HPM)

محمدرضا جعفرفرد, سعیده فخرادخانی و محمد حسین مهدیه

دانشگاه علم و صنعت ایران، نارمک، تهران، ایران

چکیده

در این مقاله ، ما به معرفی میکروسکوپ فازی هیلبرت (*HPM*) به عنوان روشی نوین برای استخراج کمی فاز نمونه های شفاف می پردازیم. قابلیت استخراج فاز نمونه تنها با ثبت یک تصویر باعث می شود که این تکنیک به عنوان روشی مناسب برای بررسی سریع پدیده های دینامیک در ساختارهای شفاف مانند سلول های بیولوژی و فیبرهای نوری مورد توجه قرار گیرد. قابلیت این تکنیک برای بررسی پروفایل فیبرهای نوری با اندازه گیری پروفایل یک فیبر نوری تک مد نشان داده شده است. در این آزمایش طرح تداخلی یک فیبر نوری توسط سیستم میکروسکوپ فاز پراشی ثبت و اختلاف فاز این فیبر با محیط، بر اساس روش تبدیل هیلبرت استخراج شده است و با استفاده از اطلاعات فاز ضریب شکست و قطر هسته این فیبر, اندازه گیری شده است.

کلید واژه- میکروسکوپ فازی، تبدیل هیلبرت ، فیبر نوری،

Hilbert phase microscopy for measurement of diameter and refractive index of optical fiber

Mohammad Reza Jafarfard, Saeedeh Fakhradkhani, and Mohammad Hossein Mahdieh

Iran University of Science and Technology, Narmak, Tehran, Iran

Abstract- In this paper, we introduce Hilbert phase microscopy (HPM) for measuring quantitative phase images associated with optically transparent objects. Because of its singleshot nature, HPM is suitable for investigating rapid phenomena that take place in transparent structures such as biological cells and optical fibers. The capability of this technique for investigation of optical fibers is demonstrated with measurements of a single mode fiber. In this experiment, the interference pattern was recorded using a diffraction phase microscope and the phase difference between fiber and its medium was extracted using Hilbert transform method and by using phase information the core diameter and refractive index profile of this fiber was obtained.

Keywords: Phase microscope, Hilbert transform, Optical fiber.

این مقاله به شرط در دسترس بودن در وبگاه www.opsi.ir معتبر است.

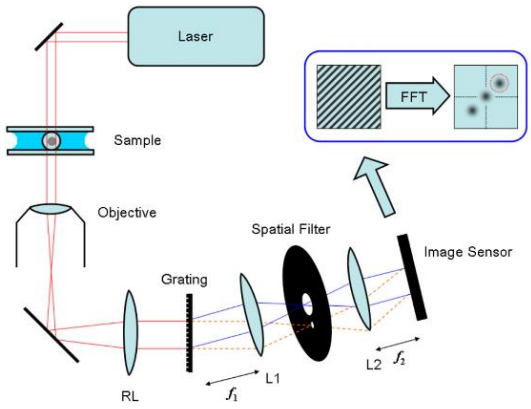
[Downloaded from www.opsi.ir on 2026-11-03]

۱- مقدمه

میکروسکوپ اپتیکی از رایج ترین روش های بررسی در زمینه دارویی و بیولوژیکی می باشد. تکنیک های متنوعی در دهه های گذشته در این زمینه توسعه یافته اند.[1] نمونه های بیولوژیکی متعددی مانند سلول های زنده, که نسبت به نور مرئی شفاف هستند, اجسام فازی مناسبی به حساب می آیند. استخراج اطلاعات فازی این نمونه های عبوری به صورت عددی با دقت بالا و نویز کم, کاربردهای نوینی را در بررسی دینامیک و ساختار های بیولوژیکی ایجاد کرد [2] . تکنیک های تداخل سنجی[3] و غیر تداخل سنجی[4] برای تصویر برداری فازی از نمونه های بیولوژیکی پیشنهاد شد. در اوایل دهه قبل, میکروسکوپ فازی فوریه به عنوان روشی مناسب برای تصویربرداری فازی در آزمایشگاه اسپکتروسکوپی دانشگاه MIT ارتقاء یافت.[5] در سال ۲۰۰۵ نیز میکروسکوپ فازی هیلبرت به عنوان روشی مناسب برای تصویربرداری فازی از نمونه های عبوری برای بررسی پدیده های دینامیکی سریع توسط این گروه تحقیقاتی ارائه شد [6]. در این روشها طرح تداخلی حاصل از دو موج با پردازش تصویر مورد بررسی قرار گرفته و فاز این نمونه ها استخراج می شوند. با استفاده از این اطلاعات فازی, ضخامت و ضریب شکست نمونه ها بدست می آیند.

همان طور که توسط گابور[7] (مبدع عکس برداری هولوگرافیک) بیان شد, فرمول مربوط به سیگنال تحلیلی مختلط که تابعی از متغیر زمان است, می تواند در اپتیک کاربرد گسترده ای داشته باشد[8] . به طور خاص, رابطه تبدیل هیلبرت بین قسمت حقیقی و موهومی یک سیگنال تحلیلی مختلط می تواند برای استخراج فاز از یک طرح تداخل[9] و یا آنالیز طرح فریز ها[10] مورد استفاده قرار گیرد. در میکروسکوپ فازی هیلبرت نیز بر همین اساس اطلاعات فازی اجسام به صورت عددی استخراج می شوند.

در این مقاله, ضمن توضیح روش هیلبرت به عنوان روشی نوین برای تصویربرداری فازی عددی, فاز یک نمونه فیبر نوری تک مد با روش هیلبرت استخراج می شود و با استفاده از اطلاعات فاز, ضریب شکست و قطر هسته این فیبر, اندازه گیری شده است.



شکل ۱:چیدمان اپتیکی ثبت هولوگرام فیبر نوری به روش DPM

۲- کارهای تجربی

طرحواره ای از چیدمان آزمایشگاهی برای ثبت هولوگرام فیبر نوری در شکل ۱ آمده است. چیدمان بر اساس روش میکروسکوپ فاز پراشی DPM می باشد.

از منبع نور لیزر هلیم نئون با طول موج ۶۳۲ نانومتر استفاده شده است. در این روش, ثبت هولوگرام با تفکیک مرتبه های مختلف پراش پرتویی که از جسم عبور کرده است, انجام می شود. بوسیله توری پراش مرتبه های پراش از هم تفکیک می شوند. با استفاده از دو آینه با فواصل کانونی f_1 و f_2 و یک فیلتر فضایی, مرتبه های اول و صفرم پراش مطابق شکل گزینش می شوند. مرتبه صفرم پراش به عنوان موج مرجع و مرتبه اول پراش که حاوی اطلاعات جسم می باشد به عنوان موج شیء روی CCD با هم تداخل می کنند و هولوگرام شیء حاصل می شود.

بزرگنمایی سیستم × 35 و ابعاد CCD به کار رفته در آزمایش 640 × 480 پیکسل می باشد.

در میکروسکوپ های فازی, فاز تصاویر هولوگرافی ثبت شده از اجسام میکروسکوپی بوسیله روش های عددی استخراج می شود. برای هولوگرام ثبت شده از یک نمونه, تابع تابندگی در صفحه تصویر در راستای x و یا y با رابطه (۱) بیان می شود.

$$I(x) = I_R + I_s(x) + 2[I_R I_S(x)]^{1/2} \cos[qx + \varphi(x)] \quad (۱)$$

که در آن, I_R و I_S به ترتیب, توزیع تابندگی موج مرجع و موج شیء می باشند. q فرکانس فضایی فریزها و $\varphi(x)$ نیز فاز حاصل از شیء می باشد, پارامتری که به دنبال استخراج آن هستیم. برای نمونه مورد بررسی در این آزمایش, $I_S(x)$

این مقاله به شرط در دسترس بودن در وبگاه www.opsi.ir معتبر است.

[Downloaded from www.opsi.ir on 2026-11-03]

تغییرات ضعیفی در راستای x دارد, بنابراین می توان آن را تقریبا ثابت در نظر گرفت.

ترم $u(x) = 2[I_R I_S(x)]^{1/2}\cos[qx + \varphi(x)]$ را می توان با استفاده از روش فیلتر فرکانسی حفظ کرد. سیگنال تحلیلی مختلطی که با تابع حقیقی $u(x)$ ایجاد می شود, با رابطه زیر تعریف می شود.

$$z(x) = \frac{1}{2}u(x) + i\frac{p}{2\pi}\int_{-\infty}^{\infty}\frac{u(x')}{x-x'}dx' \quad (۲)$$

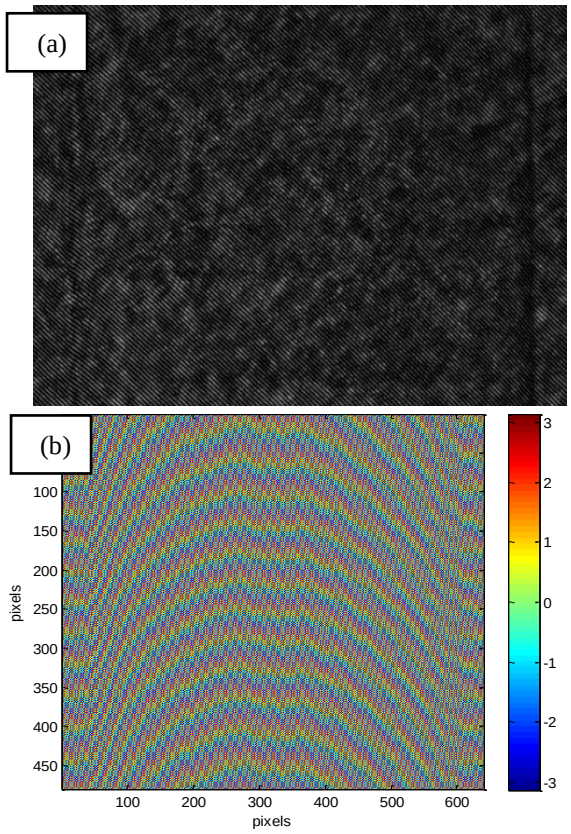
در رابطه (۲), قسمت موهومی عبارت در واقع رابطه تبدیل هیلبرت $u(x)$ می باشد. بنابراین فاز تابع مختلط $z(x)$ با رابطه $\Phi(x) = tan^{-1}\{\frac{Im[z(x)]}{Re[z(x)]}\}$ محاسبه می شود. لازم به ذکر است که فاز Φ بدست آمده بین π و $-\pi$ می باشد و باید مرحله واپیچی (unwrapping) روی آن انجام شود. در نهایت فاز شیء با رابطه $\varphi(x) = \Phi(x) - qx$ استخراج می شود. [6]

۳- نتایج روش محاسباتی

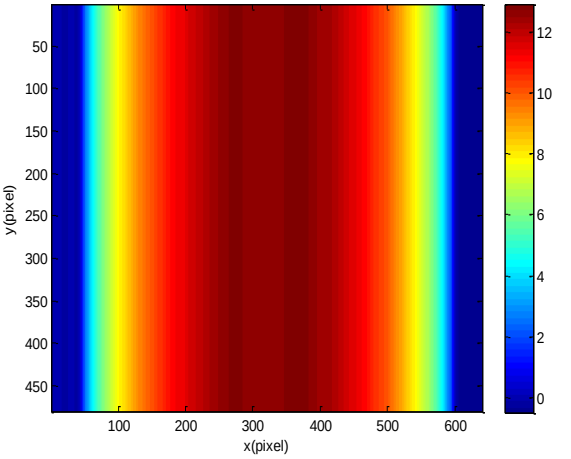
در این مقاله، ما از روش فوق برای استخراج فاز یک نمونه فیبر نوری تک مد استفاده کرده ایم.

اطلاعات شکل پروفایل ضریب شکست و سایز هسته این فیبر توسط شرکت سازنده آن داده شده است. قطر فیبر ۱۲۵ میکرون و قطر هسته آن حدود ۲۰ میکرون است. ضریب شکست غلاف این فیبر حدود ۱/۴۶۱ میباشد. مایعی که فیبر در آن غوطه ور است, دارای ضریب شکست ۱/۴۷۱ می باشد. شکل(۲) هولوگرام ثبت شده از فیبر نوری بوسیله CCD را نشان می دهد. برای حذف ترم ثابت در رابطه (۱) و بدست آوردن سیگنال تحلیلی ترم $u(x)$, از این هولوگرام ثبت شده تبدیل فوریه دو بعدی می گیریم. سپس فرکانس های صفر را حذف و سپس تبدیل هیلبرت را روی $u(x) = 2[I_R I_S(x)]^{1/2}\cos[qx + \varphi(x)]$ اعمال می کنیم.

تابع حاصل همان تابع بیان شده در رابطه (۲) می باشد که فاز شیء از آن قابل استخراج است. فاز استخراج شده از این تابع در شکل (2-b) مشاهده می شود. با انجام مرحله واپیچی و تفریق فاز خطی qx, مقدار فاز حاصل از نمونه فیبر بدست می آید,که در شکل (۳) نشان داده شده است.



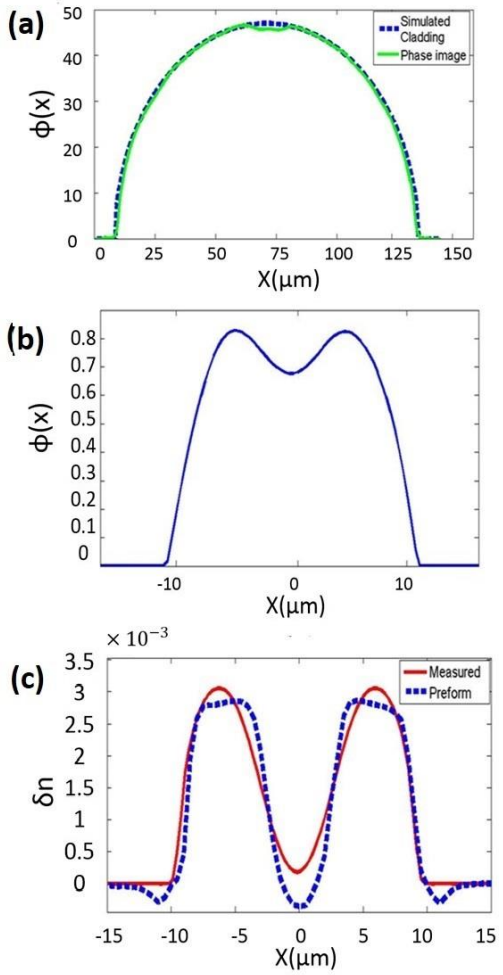
شکل(۲):(a) هولوگرام ثبت شده فیبر (b) فاز استخراج شده قبل از واپیچی



شکل(۳): فاز نهایی استخراج شده از فیبر نوری

این مقاله به شرط در دسترس بودن در وبگاه www.opsi.ir معتبر است.

[Downloaded from www.opsi.ir on 2026-11-03]



شکل(۳): (a) خط عرضی فاز نهایی استخراج شده از فیبر نوری (b) فاز حاصل از هسته (c) پروفایل ضریب شکست هسته این فیبر نوری

شکل (4-a) یک خط عرضی (cross section) از فاز به دست آمده در شکل (۳) را نشان می دهد. بعد از به دست آوردن مقدار فاز به دست آمده، فاز قسمت غلاف فیبر از روی آن شبیه سازی شد (نمودار نقطه چین آبی رنگ در شکل (4-a)) . این مقدار از مقدار اندازه گیری شده فاز کم شد تا مقدار فاز حاصل از هسته این فیبر نوری به دست آید (شکل (4-b)). پس از به دست آمدن فاز مربوط به هسته و با استفاده از روش آبل [11] (Abel) پروفایل ضریب شکست هسته به دست آمد. خط قرمز شکل (4-c) نشان دهنده پروفایل ضریب شکست اندازه گیری شده ی هسته ی این فیبر نوری است که این مقدار نشان دهنده تفاوت ضریب شکست هسته و غلاف این فیبر می باشد. نمودار خط چین آبی در این شکل نمودار واقعی این فیبر توسط سازنده آن می باشد. تطابق به دست آمده بین پروفایل اندازه گیری شده و پروفایل واقعی این فیبر، نشان دهنده توانایی و حساسیت این تکنیک برای اندازه گیری پروفایل فیبرهای با اختلاف ضریب شکست بسیار کم می باشد.

۴- نتیجه گیری

در این مقاله, با استفاده از میکروسکوپ فازی هیلبرت , ضخامت و ضریب شکست یک نمونه فیبر نوری تک مد مورد بررسی قرار گرفته است. بوسیله HPM می توان با یک ثبت هولوگرام از شیء, تصاویر فازی عددی را استخراج کرد. به دلیل اینکه در این روش تنها یک تصویر برای استخراج فاز نمونه نیاز هست، سرعت استخراج فاز در این روش نسبت به روش های پیشین که حداقل به دو تصویر احتیاج دارد, بسیار بالا می باشد. بنابراین از این روش می توان به عنوان ابزار قدرتمندی برای مطالعه و بررسی پدیده های دینامیکی سریع کشف نشده در سیستم های شفاف استفاده کرد.

مراجع

[1] D.J.Stephens and V.J.Allan, *science,vol.300*, p. 82, 2003.

[2] A.Wax, C.Yang,M.S.Hahn, *opt.letter*, vol. 26, p. 1271, 2001.

[3] D.Zicha and G.A.Dunn, "cell biology," San Diego, p. 44,1997.

[4] D.Paganin and K.A.Nugent, *phy.rev.lett*, vol. 80, p. 2586, 1998.

[5] L.P.Deflor, J.C.Vaughan and G.Popescu, *opt.lett*, vol. 29, p. 2503, 2004.

[6] R.Dasari and M.S.Feld, G.Popescu, "Hilbert phase microscopy for investigating fast dynamics in transparent system," *opt.lett*, vol. 30, 2005.

[7] J. D.Gabor, *Electr.Eng*, vol. 93, p. 329, 1946.

[8] M.Born,E.Wolf,"principles of optics",cambridge press,vol.7,p.557,1999.

[9] G.Popescu and A.Dugariu, *phys.Rev.Lett*, vol. 88, 2002.

[10] H.Ina and S.Kobayashi, M.Takeda, *opt.soc.Am.*, vol. 72, p. 156, 1982.

[11] E.-L. A. K. G. A.Robert, *Opt.Lett*, vol. 27, pp. 2061-2063, 2002.

این مقاله به شرط در دسترس بودن در وبگاه www.opsi.ir معتبر است.

[Downloaded from www.opsi.ir on 2026-11-03]