بیست و ششمین کنفرانس اپتیک و
فوتونیک ایران و دوازدهمین کنفرانس
مهندسی و فناوری فوتونیک ایران،
دانشگاه خوارزمی،
تهران، ایران.
۱۵-۱۶ بهمن ۱۳۹۸

بررسی فیلتر میان گذر در اندازه گیری مرفولوژی میکروذرات با استفاده از میکروسکوپ فاز کمی

محمدرضا جعفرفرد، زهرا آرمندصفت

دانشگاه علم و صنعت ایران

چکیده - اندازه گیری حجم اشیاء فازی یکی از ویژگی های متمایز میکروسکوپ فاز کمی (*QPM*) است. با این حال، دقت اندازه گیری توسط خطاهای مختلف موجود در سیستم اندازه گیری و فیلتر میان گذر که در الگوریتم استخراج فاز استفاده می شود، محدود می شود. در این مقاله ضمن بررسی الگوریتم استخراج فاز، با مقایسه ی شش دسته فیلتر میان گذر مناسبترین فیلتر را برای نمونه های مورد بررسی به گونه ای تعیین می کنیم که خطای نسبی در اندازه گیری حجم کمینه باشد..

کلید واژه- اشیاء فازی، فیلتر میان گذر، میکروسکوپ فاز کمی

An Investigation of band pass filter in phase volume measurement

Mohammadreza Jafarfard, Zahra Armandsefat

Abstract-volume measurement of a phase object is one of the most distinctive capabilities of quantitative phase microscopy (QPM). However, the accuracy of a measured volume is limited by the different noises of a measurement system and the finite band pass filter used in the phase extraction algorithm. In this paper, we investigate the phase extraction algorithm and through comparison six kind of band pass filters determine optimum filter so that minimizes the morphological error in the phase volume measurement.

Keywords: band pass filter, phase object, quantitative phase microscopy

[Downloaded from opsi.ir on 2026-11-18]

این مقاله درصورتی دارای اعتبار است که در سایت www.opsi.ir قابل دسترسی باشد.

مقدمه

شکل سه بعدی و حجم اشیاء فازی، مانند سلول های زیستی و ذرات معلق را می توان به کمک میکروسکوپ فازی کمی (QPM) اندازه گیری کرد. این اندازه گیری می تواند برای کاربردهای مختلف پزشکی و صنعتی مورد استفاده قرار گیرد. در دهه گذشته، چندین روش QPM مانند میکروسکوپ فازی فوریه ، میکروسکوپ فازی هیلبرت، میکروسکوپ هولوگرافی دیجیتال پیشنهاد شده است[۱-۴]. این روش ها دارای مزایای متعددی مانند تصویربرداری سریع و حساسیت فاز فضایی بالا هستند. با این وجود، دقت روش های QPM توسط چندین منبع اصلی خطا مانند خطای عددی در الگوریتم استخراج فاز ، منابع اختلال ناشی ازقطر کم لکه، یا خطای الکترونیکی و خطای دیجیتالیCCD محدود می شود . تلاش های متعددی برای کاهش این خطاهای ناخواسته انجام شده است.

در این مقاله، خطای ذاتی QPM را که عمدتا توسط فیلتر میان گذر استفاده شده در فضای فرکانس در فرآیند محاسبه فاز عددی ایجاد می شود، تحلیل می کنیم.ضمن بررسی هایمان نشان می دهیم فیلترهای میان گذر با اندازه ی بزرگ و یا کوچک سبب تولید مقادیر زیادی خطا می شود از طرفی یک اندازه ی بهینه به ازای هر نمونه وجود دارد به طوریکه مقدار خطا حداقل خواهد بود. در نهایت با مقایسه ی خطای کمینه هر فیلتر مناسب ترین فیلتر را برای نمونه هایمان پیشنهاد می دهیم.

برای بررسی این روش از مهره به عنوان نمونه استفاده می کنیم. مهره (یک کره با شعاع و ارتفاع کم) می تواند یک شبیه سازی ساده برای سلول باشد.

مبانی نظری

اندازه گیری فاز یک جسم براساس تداخل بین دو پرتو نور است. یک پرتو با عبوراز نمونه حاوی اطلاعات آن وپرتو دیگر به عنوان پرتو مرجع می باشد. از زاویه میان دو پرتو برای تولید یک فرکانس فضایی خاص در طرح تداخلی استفاده می شود. اطلاعات فاز نمونه با استفاده از تجزیه و تحلیل عددی تخمین زده می شود و برای تعیین حجم نمونه مورد استفاده قرار می گیرد. برای سادگی، یک تابع یک بعدی را مورد بررسی قرار می دهیم. الگوی تداخل را می توان توسط رابطه ی زیر به دست آورد:

$$I(x) = I_R + I_S(x) + (۱)$$
$$2\sqrt{I_R I_S(x)}\cos[qx + \Phi(x)] + N(x)$$

در این رابطه I_R و$I_S(x)$ به ترتیب تابع توزیع بازتابندگی موج مرجع و نمونه هستند؛ ازآنجا که اکثر اشیاء فاز(phase objects) تقریبا شفاف هستند، I_S را میتوان یک عدد ثابت در نظر گرفت و q فرکانس فضایی ثابت در طول محور x در یک طرح تداخلی است که با انتخاب زاویه بین پرتونمونه و پرتو مرجع مشخص می شود. Φ(x) فاز تولید شده توسط یک نمونه و N (x) خطای سیستم است که معمولا توسط قطر کوچک لکه ، نوسانات هوا و یا خطای الکترونیکی یا خطای دیجیتالی یک آشکارساز ایجاد می شود.

برای استخراج جمله ی فاز در معادله (۱)، یک طرح تداخلی ثبت شده را به فضای فرکانس می بریم. تبدیل فوریه معادله (۱) شامل سه قله است : قله یDC مربوط به جمله ی I_R و دو قله که شامل فاز است. با حذف فرکانس های فضایی منفی و قله ی DC واقع در مرکز، اطلاعات نمونه را می توان به صورت زیر بیان کرد:

$$F(k) = \sqrt{I_R I_S} \times \delta(k-q) \otimes (۲)$$
$$FT\left(e^{i(\Phi(x))}\right) + FT(N'(x))$$

با استفاده از تبدیل فوریه ی معکوس رابطه ی (۲) می توانیم رابطه ی فاز را به دست آوریم.تابع $F(k)$ در $k=q$ دارای بیشینه خواهد بود در حوالی این نقطه بیشترین اطلاعات را درباره ی نمونه خواهیم داشت و به علت خواص ریاضی تابع در فرکانس های دورتر اطلاعات نمونه کاهش یافته به طوریکه تحت تاثیر خطای سیستم قرار می گیرند. به منظور

این مقاله درصورتی دارای اعتبار است که در سایت www.opsi.ir قابل دسترسی باشد.

[Downloaded from opsi.ir on 2026-11-18]

کاهش اثرات خطا بر روی اطلاعات می توانیم از یک فیلتر مناسب در فضای فرکانس استفاده کنیم به گونه ای که فرکانس های مناسب با بیشترین اطلاعات وکمترین خطا باقی بماند.به عنوان مثال اگراز فیلترگاوسی استفاده کنیم :

$$f(x) = FT^{-1}\left(F(k).e^{-\left(\frac{k-q}{w}\right)^2}\right) \cong \sqrt{I_R I_S}.e^{i(\Phi(x)+qx)} \quad (۳)$$

با استخراج بخش زاویه ای رابطه ی (۳) می توانیم اختلاف فاز نمونه با محیط آن را بدست آوریم . با حذف اثرفاز محیط ، فاز نمونه به دست می آید لازم به ذکر است فاز به دست آمده در بازه ی π تا $-\pi$ است و باید مرحله ی واپیچش (unwrapping) روی آن انجام شود.[۷]

طبق تعریف درصد خطای نسبی در اندازه گیری حجم به صورت مجموع اختلافات حجم اندازه گیری شده و واقعی در نقاط مختلف بخش بر حجم واقعی کل است :

$$\frac{\delta V}{V} = \frac{\Sigma_i(|t_A - t_M|)i}{\Sigma_i(t_A)i} \quad (۴)$$

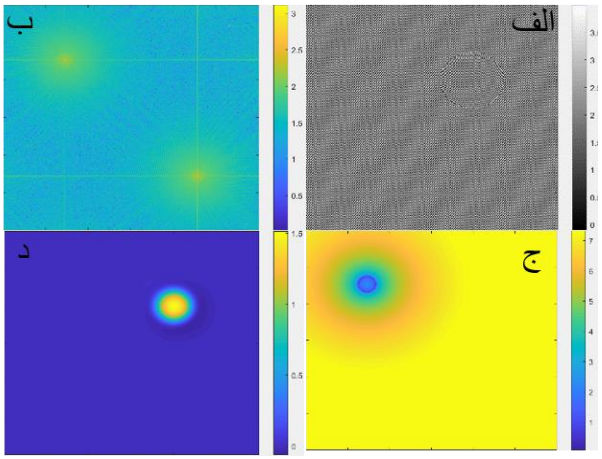
در این رابطه t_M و t_A به ترتیب ضخامت حقیقی و اندازه گیری شده برای نمونه در نقطه ی i می باشند.

با تغییر اندازه ی فیلتر(w) در رابطه ی (۳) مقدار خطای نسبی در رابطه ی (۴) تغییر می کند. بررسی های ما نشان می دهد برای هر نمونه به ازای یک خطای ثابت مقدار بهینه ای در یک اندازه ی فیلتر مشخص برای خطا خواهیم داشت.

به چنین فیلتری با خطای کمینه فیلتر بهینه می گوییم.

در الگوریتم این بررسی از فیلترهای دیگری نیز می توانیم بهره ببریم، برای این منظور کافی است در رابطه ی (۳) به جای تابع گاوسی $\left(e^{-\left(\frac{k-q}{w}\right)^2}\right)$ از تابع مربوط به فیلتر مورد نظر استفاده کنیم.

ما در این مقاله به طور مشابه فیلترهای مربعی، ولچ، پواسون، بارتلت و هن را نیز مورد بررسی قرار دادیم . برای هر یک از این فیلترها، با تغییر اندازه ی آن فیلتر بهینه را مشخص نمودیم.



شکل۱ :بازسازی تصویر یک مهره به کمک الگوریتم استخراج فاز((الف) تصویر شدت مهره در داخل طرح تداخلی (ب) تبدیل فوریه ی طرح شدت در فضای فرکانس (ج) تصویر در فضای فرکانس تحت تاثیر یک فیلتر مناسب (د) نتیجه بازسازی تصویر پس از الگوریتم واپیچی)

نتایج

مهره به عنوان نمونه در این مقاله مورد بررسی قرار گرفته است. این نمونه شش فیلتر را مورد مطالعه قرار داده و مناسب ترین فیلتر را با توجه به خطای مینیمم تعیین شده است.

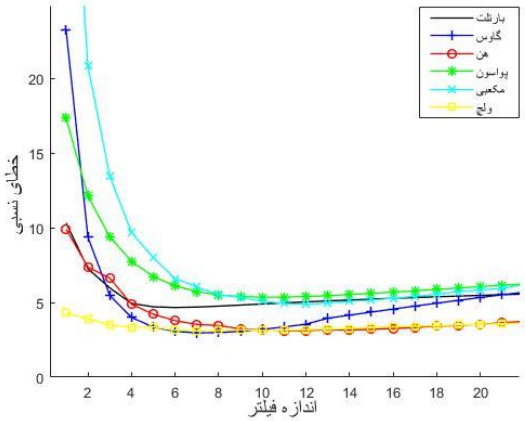
در شکل ۱ الگوریتم استخراج فاز برای یک کره به شعاع ۵ میکرومتر و فازی برابر ۰.۰۲ نشان داده شده است. برای شبیه سازی این نمونه از برنامه متلب استفاده نمودیم. در شکل ۱-الف تصویر شدت مهره در داخل طرح تداخلی، در شکل ۱-ب تبدیل فوریه ی طرح شدت در فضای فرکانس، در شکل ۱-ج تصویر در فضای فرکانس تحت تاثیر یک فیلتر مناسب و در شکل ۱-د نتیجه بازسازی تصویر را پس از الگوریتم واپیچی مشاهده می شود.

به منظور تعیین فیلتر بهینه سایز فیلتر را در یک بازه ی مناسب تغییر داده و تغییرات آن را به کمک رسم نمودار

این مقاله درصورتی دارای اعتبار است که در سایت www.opsi.ir قابل دسترسی باشد.

[Downloaded from opsi.ir on 2026-11-18]

مقدار خطای نسبی بر حسب اندازه ی فیلتر بررسی می کنیم.



شکل ۲: اثر اندازه فیلتر میان گذر بر روی دقت اندازه گیری مورفولوژی نمونه مکعبی(نمودار تغییرات خطای نسبی بر حسب اندازه ی فیلتر(تعداد پیکسل) برای نمونه کروی)

شکل ۲ اثر اندازه فیلتر میان گذر بر روی دقت اندازه گیری مورفولوژی را نشان می دهد. در این شکل نمودار تغییرات خطای نسبی بر حسب اندازه ی فیلتر (برحسب تعداد پیکسل) برای شش فیلتر با نمونه ی مهره رسم شده است. این نمودار نشان می دهد برای تمام فیلترها تغییرات روند مشخصی دارد به طوریکه ابتدا مقدار خطای نسبی با افزایش اندازه فیلتر کاهش می یابد و پس از رسیدن به یک مقدار حداقلی با افزایش اندازه فیلتر همواره مقدار خطای نسبی افزایش می یابد. لذا به ازای هر نوع فیلتر یک فیلتر بهینه با اندازه مشخص خواهیم داشت.

همچنین مطابق این نمودار، با مقایسه ی فیلترهای بهینه مختلف نتیجه خواهیم گرفت فیلتر گاوسی بهینه نسبت به فیلترهای بهینه دیگر کمترین خطای نسبی را دارد در نتیجه فیلتر گاوسی برای نمونه های کروی مناسب ترین فیلتر است.

نتیجه‌گیری

در این مقاله اثر تغییرات فیلتر میان گذر بر روی دقت اندازه گیری مورفولوژی میکروذرات بررسی شد. نمونه ی کروی در داخل طرح تداخلی شبیه سازی شده و به وسیله روش هیلبرت فاز نمونه به دست آمد. به منظور بررسی اثر خطای فیلتر در الگوریتم استخراج فاز با تغییرات اندازه ی فیلتر، شکل فاز به دست آمده با فاز اصلی مقایسه شده و برای شش نوع فیلتر مربعی، گاوسی، پواسون، ولچ، هن، بارتلت فیلتر بهینه تعیین شده است. نتایج نشان داد فیلتر گاوسی برای خطای کمتری دارد و یک مقدار بهینه برای فیلتر میان گذر وجود دارد که مقدار خطای اندازه گیری فاز را کمینه میکند و بهتر است در اندازه گیری با روش هیلبرت از این مقدار بهینه ی فیلتر مناسب استفاده شود. این بررسی به ازای نمونه های کروی با اندازه ی مختلف و تحت تاثیر خطای متفاوت تکرار شد، نتایج نشان می دهد همواره فیلتر گاوسی مناسب ترین فیلتر در اندازه گیری مورفولوژی میکروذرات است.

مرجع‌ها

[1] C. L. Curl, C. Bellair, P. Harris, B. E. Allman, A. Roberts, K. A.

[2] Nugent,and L. M. Delbridge, “Single cell volume measurement by quantitative phase microscopy (QPM): a case study of erythrocyte morphology,” Cell. Physiol. Biochem. 17, 193–200 (2006).

[3] G. Coppola, P. Ferraro, M. Iodice, and S. DeNicola, “Method for measuring the refractive index and the thickness of transparent plates with a lateral-shear, wavelength-scanning interferometer,” Appl. Opt. 42, 3882–3887 (2003).

[4] A. Roberts, E. Ampem-Lassen, A. Barty, K. A. Nugent, G. W.

[5] Baxter, N. Dragomir, and S. T. Huntington, “Refractive-index profiling of optical fibers with axial symmetry by use of quanti- tative phase microscopy,” Opt. Lett. 27, 2061–2063 (2002).

[6] M. R. Jafarfard, B. Tayebi, and D. Y. Kim, “Dual-wavelength diffraction phase microscopy for real-time dispersion measure- ment,” Proc. SPIE 9203, 92030T (2014).

[7] G. Popescu, L. P. Deflores, J. C. Vaughan, K. Badizadegan, H.

[8] G. Popescu, T. Ikeda, R. R. Dasari and M. S. Feld, “Diffraction

این مقاله درصورتی دارای اعتبار است که در سایت www.opsi.ir قابل دسترسی باشد.

[Downloaded from opsi.ir on 2026-11-18]