

ساخت رابط کاربری گرافیکی در محیط متلب برای پردازش تصاویر دریافتی از تداخل سنج نوری

محمدرضا رشیدیان وزیری*

استادیار، پژوهشکده فوتونیک و فناوری‌های کوانتومی، پژوهشگاه علوم و فنون هسته‌ای

تاریخ دریافت: 1398/04/22 تاریخ پذیرش: 1398/07/02

Building a Graphical User Interface (GUI) in MATLAB for Processing the Received Images from an Optical Interferometer

M.R. Rashidian Vaziri*

Assistant Professor, Photonics and Quantum Technologies Research School, Nuclear Science & Technology Research Institute Tehran, Iran

Received: 2019/07/13 Accepted: 2019/08/24

Abstract

In this work, we report on updating and automating an old-fashioned interferometer by using image processing techniques and developing a Graphical User Interface (GUI) in the MATLAB environment. After updating the system and receiving the digital images of interference fringe patterns from the interferometer and their transfer to the MATLAB environment, the ability of image rotation, as a geometric operation, is provided in the GUI. Following the detection of the dominant noise in the received images, digital filters that best suited for their remove and image enhancement are identified. It is found that the two image processing filters which have the best results in removing the noises, are the linear average and the nonlinear median filters. The possibility of choosing these two filters along with their corresponding neighborhoods are provided in the GUI. For automating the system and for machine vision detection of optical surface qualities, an algorithm is developed to detect the interference fringes and to determine the space between them. The accuracy of the algorithm and the developed GUI in measuring the quality of the optical elements is tested by using the known standard quality elements. It is found that the GUI is capable of measuring the optical quality with high precision.

Keywords

Image processing, Interferometry, MATLAB, Graphical User Interface.

چکیده

این پژوهش به توصیف نحوه به‌روزرسانی و اتوماسیون یک سیستم تداخل سنج با استفاده از روش‌های پردازش تصویر و از طریق ساخت یک رابط کاربری گرافیکی در محیط متلب پرداخته است. پس از به‌روزرسانی و دریافت تصاویر دیجیتال از طرح نوارهای تداخلی از تداخل‌سنج و انتقال آنها به رابط کاربری در محیط متلب، امکان اعمال تبدیل هندسی دوران تصاویر در رابط کاربری فراهم آمده است. پس از شناسایی نوع نوفه غالب در تصاویر، صافی‌هایی که به بهترین شکل به حذف آنها در تصاویر و ارتقای آنها کمک می‌کردند شناسایی شدند. دو نوع صافی پردازش تصویری که بهترین نتیجه را در حذف نوفه‌ها داشتند، صافی‌های خطی میانگین و غیرخطی میانه بودند. امکان انتخاب این دو نوع صافی همراه با همسایگی‌های آنها در رابط کاربری فراهم شده است. برای اتوماسیون سیستم و تشخیص بر اساس بینایی ماشین میزان کیفیت سطوح اپتیکی، الگوریتمی برای تشخیص نوارهای تداخلی و تعیین فاصله آنها ابداع و برنامه‌نویسی شده است. با استفاده از قطعات استاندارد و با کیفیت مشخص، نتایج بیانگر صحت کارکرد رابط کاربری و اندازه‌گیری دقیق کیفیت سطح قطعات نوری داشت.

واژگان کلیدی

پردازش تصویر، تداخل‌سنجی، متلب، رابط کاربری گرافیکی.

*Corresponding Author: rezaeerv@gmail.com

* نویسنده مسئول: محمدرضا رشیدیان وزیری

مقدمه

تداخل‌سنج‌ها ابزارهای نوری هستند که در بسیاری از کاربردهای اندازه‌گیری دقیق می‌توانند به کار گرفته شوند [1]. این ابزارها بر پایه فرآیند فیزیکی تداخل امواج نوری کار می‌کنند که در آن زمانی که دو جبهه موج نوری هم‌دوس بر یکدیگر برهم نهی شوند، طرحی از نوارهای تداخلی روشن و تاریک را شکل می‌دهند. طرح نوارهای تداخلی در صورتی شکل می‌گیرد که بین میدان‌های الکتریکی دو جبهه موج نوری اختلاف فاز وجود داشته باشد [1]؛ بدین طریق هر فرآیند فیزیکی که قادر به ایجاد این اختلاف فاز بین دو جبهه موج باشد، از طریق تداخل‌سنج قادر به شناسایی و کمی‌سازی خواهد بود.

پس از ساخت و آماده‌سازی، کیفیت سطح قطعات نوری، نظیر آینه‌ها، منشورها، عدسی‌ها و غیره، باید به شکلی دقیق بررسی شود تا شرایط استاندارد لازم برای کاربردهای خاص را داشته باشند [2]. گزینه مطلوب برای این نوع بررسی‌ها، استفاده از تداخل‌سنج‌های مختلف و به ویژه تداخل‌سنج‌های نوع فیزو است [3]. در تداخل‌سنج‌های اولیه، اطلاعات مربوط به کیفیت سطوح اپتیکی با انتقال تصاویر دریافتی روی فیلم‌های عکاسی و بررسی دستی آنها به انجام می‌رسید. با گسترش روزافزون فناوری‌های نوین و افزایش چشمگیر سرعت دوربین‌های دیجیتال و رایانه‌ها، امکان انتقال بلادرنگ این تصاویر به رایانه و بررسی دقیق طرح نوارهای تداخلی مهیا شده است [3]؛ بدین طریق و با حذف نیروی انسانی از فرآیند ثبت تصاویر و بررسی آنها، دقت اندازه‌گیری‌های تداخل‌سنجی افزایش چشمگیری داشته و گسترش بیشتر استفاده از تداخل‌سنج‌ها را به همراه داشته است. به منظور بررسی دقیق تصاویر طرح نوارهای تداخلی در رایانه، باید از روش‌های پردازش تصویر برای ارتقا و حذف نوفه‌های زاید استفاده کرد.

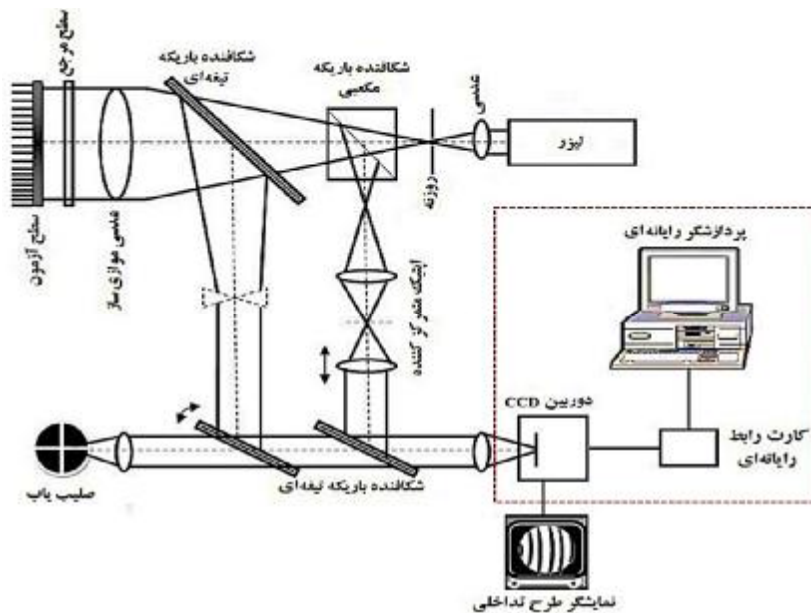
متلب زبان برنامه‌نویسی سطح بالایی است که با جعبه ابزارهای مختلفی که در نسخه‌های مختلف به تدریج به آن افزوده شده، امروزه کاربرد گسترده‌ای در زمینه‌های مختلف علمی و مهندسی دارد. به طور ویژه، جعبه ابزار پردازش تصویر این برنامه قابلیت‌های متعددی داشته و به صورت گسترده برای کاربردهای پردازش تصویر استفاده می‌شود.

[4]؛ به‌علاوه، این زبان برنامه‌نویسی قابلیت ویژه‌ای برای توسعه و ساخت رابط‌های کاربری گرافیکی دارد [5]. امکان شناسایی انواع سخت‌افزارهای متصل به سیستم رایان‌های در محیط متلب در کنار قابلیت آن در توسعه رابط‌های کاربری گرافیکی، این زبان برنامه‌نویسی را به ابزاری قدرتمند برای دیجیتال کردن ابزارها و استفاده آسان و کاربرپسند آنها تبدیل می‌کند.

در سالیان اخیر و با رشد روزافزون قابلیت پردازش و ثبت داده‌های دیجیتالی، رابط‌های کاربری متعددی برای ابزارهای تصویربرداری مختلف و تسهیل استفاده از آنها در محیط متلب ارائه شده است [6-8]. در این مقاله نیز به توصیف نحوه به روزرسانی و اتوماسیون یک تداخل‌سنج فیزو با توسعه یک رابط گرافیکی در محیط متلب خواهیم پرداخت که در آن از روش‌های پردازش تصویر برای ارتقای تصاویر، حذف نوفه‌ها و تفسیر طرح نوارهای تداخلی استفاده شده است.

تداخل‌سنج فیزوی مورد استفاده

در شکل (1)، طرح چیدمان تداخل‌سنج فیزوی مدل Moller-Wedel V-100 استفاده شده در این کار نشان داده شده است. در این تداخل‌سنج از باریکه لیزر هلیوم-نئون به عنوان منبع هم‌دوس نوری مورد نیاز برای شکل‌دهی طرح تداخلی استفاده شده است. باریکه پس از خروج از لیزر صافی و باز شده و پس از عبور از شکافنده باریکه مکعبی به سمت سطوح مرجع و آزمون هدایت می‌شود. در حالت اول فرض کنید که شکافنده تیغ‌های متحرک در مسیر باریکه قرار نداشته باشد. در این حالت باریکه پس از موازی‌سازی به قطعات مرجع و آزمون برخورد کرده و دو باریکه مورد نیاز برای شکل‌گیری طرح تداخلی به وجود خواهند آمد. این دو باریکه حاصل از بازتاب از سطح فوقانی قطعه آزمون و سطح زیرین قطعه مرجع خواهند بود. منظور از قطعه آزمون، قطعه اپتیکی است که کیفیت سطح آن پس از ساخت و آماده‌سازی باید بررسی شود. قطعه مرجع نیز قطع‌های اپتیکی استاندارد است که کیفیت سطح قطعه آزمون نسبت به آن سنجیده می‌شود.



شکل 1. طرح تداخل سنجی که در این کار با تعویض دوربین، اتصال کارت رابط رایان‌های و رایانه (موارد) نشان داده شده در داخل کادر مستطیلی با خطوط منقطع) ارتقا داده شده است.

CCD به روزتر و با قابلیت اتصال به رایانه جایگزین شد. دوربین با تهیه یک کارت رابط به رایانه متصل شده و سپس در نرم‌افزار متلب شناسایی شده است. پس از اتصال این اجزا، تصاویر دیجیتال طرح نوارهای تداخلی به صورت بلادرنگ و از طریق دوربین به محیط متلب منتقل شده و آماده انجام کارهای پردازش تصویر و اندازه‌گیری کیفیت سطح شده‌اند. کالیبراسیون دوربین در محیط متلب و با استفاده از جعبه ابزاری که به همین منظور توسعه یافته به انجام رسیده است [9].

روش اندازه‌گیری کیفیت سطح

همان طور که در توصیف شکل (1) ذکر شد، برای اندازه‌گیری کیفیت سطح قطعه آزمون از یک قطعه اپتیکی استاندارد با کیفیت بالا و سطح تخت استفاده می‌شود. اگر سطح قطعه آزمون نیز به شکلی آرمانی تخت باشد، طرح نوارهای تداخلی ثبت شده توسط تداخل‌سنج به شکل نوارهای صاف و موازی خواهد بود. اگر سطح قطعه آزمون تخت کامل نبوده و اندکی انحنا داشته باشد، در این حالت طرح نوارهای تداخلی اندکی خمیدگی پیدا خواهد کرد. تصویرهای شبیه‌سازی شده برای این دو حالت در شکل (2) نشان داده شده است؛ بنابراین در حالت عادی و پیش از رسیدن به سطح قطعه آزمون کاملاً تخت، طرح نوارهای تداخلی به شکل نشان

دو باریکه شکل گرفته مجدد به سمت شکافنده باریکه مکعبی حرکت کرده و پس از بازتاب، از بخش اپتیک متمرکزکننده عبور خواهند کرد. این دو باریکه روی هم افتاده، در نهایت از شکافنده باریکه تیغ‌های بازتاب یافته و پس از جمع‌آوری توسط یک عدسی به سطح حساس به نور دوربین خواهند رسید. طرح تداخلی حاصل از برهم‌نهی این دو باریکه روی سطح حساس به نور دوربین، به نمایشگر منتقل شده و نشان داده خواهد شد. در حالت دوم، اگر شکافنده تیغ‌های متحرک توسط کاربر در مسیر باریکه قرار گیرد، بخشی از باریکه‌های مرجع و آزمون از این تیغه بازتاب یافته و مسیر ثانوی‌های را در تداخل‌سنج طی خواهند کرد. این مسیر ثانویه برای کنترل چشمی و تراز کردن قطعه آزمون در مسیر اولیه توسط صفحه صلیب یاب استفاده می‌شود. پس از تراز کردن تداخل‌سنج می‌توان مجدد شکافنده تیغ‌های را از مسیر باریکه‌های مرجع و آزمون خارج کرد.

تداخل‌سنج توصیف شده به رغم بهره بردن از قطعات اپتیکی باکیفیت و چیدمان پایدار، به دلیل قدیمی بودن، دیجیتال نبوده و امکان استفاده از رایانه برای تحلیل طرح نوارهای تداخلی در آن وجود نداشت. برای دیجیتال کردن سیستم، اجزای نشان داده شده در داخل کادر مستطیلی با خطوط منقطع (شکل (1) را ببینید) به آن افزوده شده‌اند. ابتدا دوربین قدیمی موجود روی سیستم با یک دوربین

داده شده در شکل (2-ب) خواهد بود و باید میزان تخت نبودن آنها با توجه به این طرح کمی سازی شود.

(الف)



(ب)

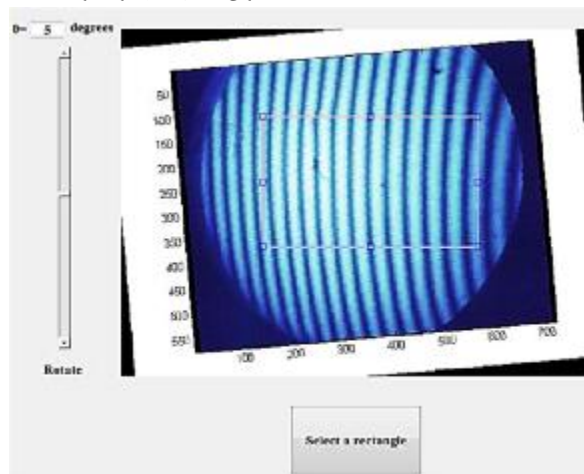


شکل 2. طرح تداخلی حاصل از برهم نهش دو باریکه برای الف) سطح آزمون تخت و ب) سطح آزمون انحنادار

روش استاندارد مورد استفاده برای اندازه گیری کیفیت سطح در شکل (2-ب) نشان داده شده است. در صورت در اختیار داشتن طرح نوارهای تداخلی کم نوفه و قابل تشخیص، دوخط راست مماس بر مرکز دو نوار تداخلی مجاور هم را در نظر بگیرید (خطوط نشان داده شده به صورت توپر). خط راستی را نیز که بین دو نقطه لبه پائینی نوار تداخلی و در محلی که مرز دایره های را قطع می کنند، رسم شده است در نظر بگیرید (خط نشان داده شده به صورت منقطع). اگر فاصله بین خطوط به صورت نشان داده شده در شکل باشند، میزان صافی سطح را می توان با محاسبه نسبت $\Delta x/x$ کمی سازی کرد. بدین طریق اگر Δx برابر با صفر باشد، مقدار کسر برابر با صفر و مطابق با انتظار نوارهای تداخلی صاف متناظر با یک سطح تخت کامل، نظیر مورد نشان داده شده در شکل (2-الف)، حاصل خواهد شد؛ بنابراین کوچک تر بودن حاصل تقسیم نشان دهنده تخت تر بودن سطح و کیفیت بالاتر آن خواهد بود. برای بعددار کردن حاصل تقسیم، آن را در نصف طول موج نور استفاده شده در تداخل سنجی ضرب کرده و برحسب واحد متر بیان می کنند:

$$Q = \frac{\Delta x}{x} \cdot \frac{l}{2} \quad (1)$$

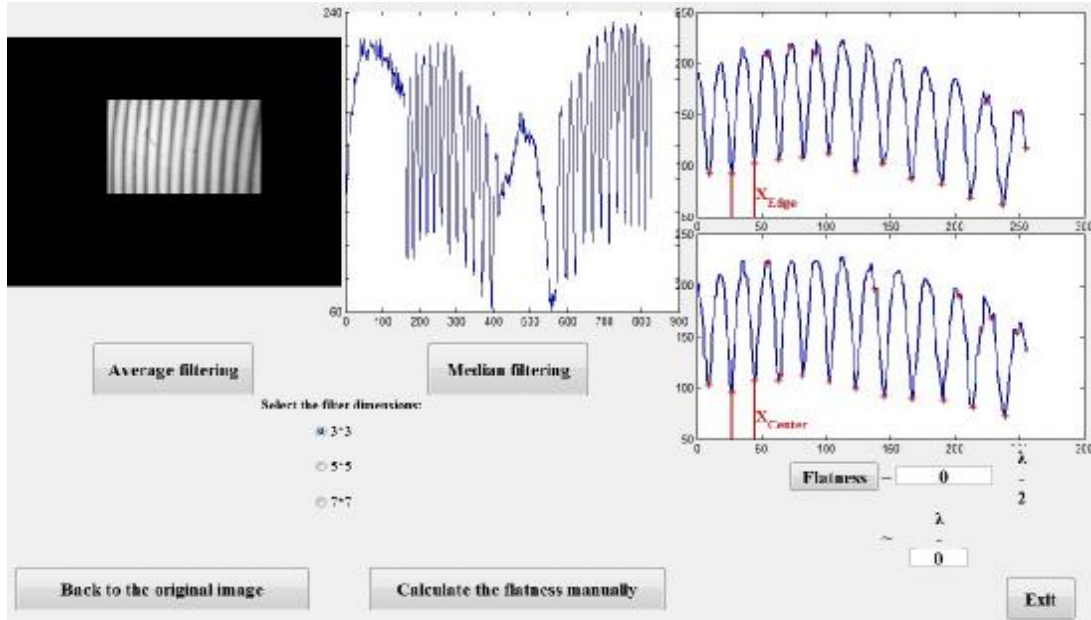
که در آن l طول موج نور استفاده شده و Q مشخصه بیان کننده کیفیت سطح قطعه آزمون است؛ به عنوان مثال اگر نور مورد استفاده در تداخل سنج حاصل از



شکل 3. صفحه نخست رابط کاربری گرافیکی

نوفه‌ها از طرح نوارهای تداخلی و محاسبه کیفیت سطح مطابق با روش ذکر شده در بخش قبل باشد. شکل (3)، تصویر صفحه ابتدایی رابط کاربری ارائه شده برای تداخل‌سنج در محیط متلب را نشان می‌دهد. در این صفحه تصویر طرح نوارهای تداخلی دریافتی از تداخل‌سنج به همراه یک نوار پیمایشگر عمودی به منظور دوران دادن طرح

خروجی یک لیزر هلیوم نئون معمول باشد، نانومتر $632/8 =$ λ ، و x و Δx به ترتیب برابر با $5/02$ و $1/24$ (واحد دلخواه) اندازه‌گیری شده باشند، کیفیت سطح برابر با $0/078$ میکرومتر خواهد بود؛ بنابراین به روش تداخل‌سنجی، کیفیت سطح را با دقتی در حد چند صد میکرومتر یا چند ده نانومتر می‌توان تعیین کرد که نشان از دقت بسیار بالای آن دارد.



شکل 4. صفحه مربوط به محاسبه خودکار کیفیت سطح در رابط کاربری سیستم

نوارها وجود دارد. الگوریتم محاسبه کیفیت سطح توسعه داده شده در این کار، با فرض آنکه نوارهای تداخلی تخت اولیه عمود بر محور افقی باشند، همانند شکل (2-الف)، برنامه‌ریزی شده است. می‌توان با استفاده از نوار پیمایشگر عمودی تعبیه شده در مجاورت شکل، همانند شکل (2-ب)، طرح نوارهای تداخلی را به اندازه‌های دوران داد تا به این حالت دست یافت. نوار پیمایشگر امکان دوران 360 درجه‌های تصویر را در هر یک از دو جهت ساعت گرد و پادساعت گرد مهیا می‌کند. با جابه جایی نوار پیمایشگر، میزان دوران طرح برحسب درجه نیز در بالای نوار به نمایش درخواهد آمد. پس از دوران طرح تا میزان مطلوب، با انتخاب گزینه Select a rectangle و کلیک روی تصویر، می‌توان به صورت دلخواه، بخشی از نوارهای تداخلی که عاری از نوفه‌های نامطلوب باشند را انتخاب کرد.

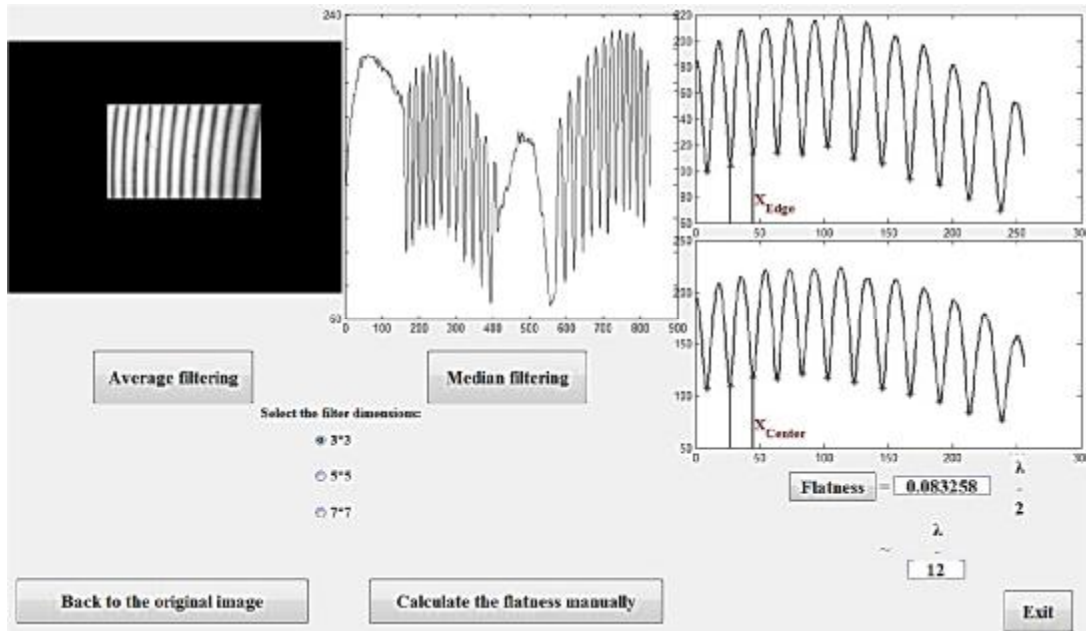
پس از انتخاب ناحیه دلخواه، با کلیک دوگانه روی ناحیه انتخاب شده می‌توان به صفحه بعد رابط کاربری، شکل (4)،

رابط کاربری در محیط متلب بر پایه استفاده از روش‌های پردازش تصویر

برای استفاده آسان از تداخل‌سنج توسط کاربران ناآشنا با زبان‌های برنامه‌نویسی و روش‌های پردازش تصویر، به توسعه یک رابط کاربری گرافیکی ساده برای دستگاه نیاز بود. همان طور که در توصیف شکل (1) ذکر شد، باریکه‌های نوری در داخل دستگاه تداخل‌سنج از قطعات نوری متعددی عبور کرده و یا بازتاب می‌یابند. به علت عبور باریکه‌ها از قطعات طول مسیر نوری، که به علت وجود ناهمواری‌های سطحی و ناهمگنی‌های حجمی توزیع ضریب شکست ممکن است کامل نبوده و یا آلوده به ذرات گرد و خاک باشند، طرح تداخلی نهایی نیز به نوفه آلوده خواهد بود. بنابراین رابط کاربری گرافیکی باید به گونه‌ای توسعه می‌یافت که با برنامه‌نویسی در پس زمینه خود با اتکا به روش‌های پردازش تصویر، قادر به حذف مؤثر این نوع

با توجه به اینکه الگوریتم استفاده شده برای تشخیص این کمینه‌ها، با مقایسه سطح شدت هر سه نقطه متوالی کم‌ترین مقدار را به عنوان کمینه شناسایی می‌کند؛ بنابراین در صورت وجود هرگونه نوفه روی طرح تداخلی ثبت شده که کمینه‌های محلی را شکل می‌دهند این الگوریتم دچار خطا خواهد شد.

منتقل شد. ذکر این نکته ضروری است که ناحیه انتخاب شده در صورتی که دربردارنده نوارهای تداخلی بیشتری باشد، الگوریتم محاسبه کیفیت سطح قطعه اپتیکی که در ادامه توصیف خواهد شد، پاسخ بهتری را بر جای خواهد گذاشت. همان طور که در شکل (4) نشان داده شده است، تصویر ناحیه



شکل 5. تشخیص کمینه‌های طرح‌های نوسانی پس از اعمال صافی‌های پردازش تصویر حذف نوفه

همان طور که در دو طرح نوسانی نشان داده شده در قسمت بالا و سمت راست شکل (4) قابل مشاهده است، این الگوریتم کمینه‌های موضعی حاصل از وجود نوفه را نیز به عنوان کمینه طرح نوسانی شناسایی خواهد کرد. برای محاسبه فاصله بین کمینه‌های طرح نوسانی حاصل از خود طرح تداخلی، باید به گونه‌ای این کمینه‌ها جعلی حاصل از نوفه را حذف کرد. نوع نوفه‌های که به طور معمول در تصویربرداری با نورهای هم‌دوس با آن روبرو هستیم، نوفه پیسه لیزری است [10]. به علت هم‌دوسی بالای نور لیزر، بازتاب‌ها و پراکندگی‌های آن از روی سطوح ناکامل مختلف پس از تداخل با یکدیگر طرح نقطه‌های تاریک و روشنی، به مشابَهت نوفه نمک و فلفل، با نام پیسه لیزری ایجاد خواهد کرد. روش‌های مختلفی برای حذف نوفه پیسه لیزری، همانند استفاده از صافی‌های میانه، وینر و میانگین از طرح‌های تداخلی لیزری پیشنهاد شده است [10]. نتایج بررسی‌های مقدماتی و پیش از ساخت رابط کاربری، نشان داد که استفاده از صافی‌های فضایی غیرخطی میانه و خطی میانگین با همسایگی 3×3 بهترین نتیجه را برای حذف

مستطیلی انتخابی در شکل (3)، به این صفحه منتقل شده است. برنامه‌نویسی به گونه‌ای انجام شده است که اطلاعات ناحیه اضافی اطراف مستطیل به این صفحه منتقل نشده و در محاسبات در نظر گرفته نشود. شکل میانی و بالای رابط کاربری، نشان‌دهنده تغییرات شدت در محیط اطراف ناحیه مستطیل شکل است. همان طور که در این شکل مشخص است، تغییرات شدت در امتداد طول‌های مستطیل، که نوارهای تداخلی را قطع می‌کنند، به صورت نوسانی است در حالی که تغییرات شدت در امتداد عرض‌های مستطیل که تقاطعی با نوارهای تداخلی ندارند، نوسانی نیست؛ شکل بالا و سمت راست رابط کاربری، نشان‌دهنده تغییرات نوسانی در امتداد طول پایینی ناحیه مستطیل شکل است. در زیر این شکل نیز تغییرات نوسانی در امتداد خطی که از میان دو عرض ناحیه مستطیل شکل عبور کرده و نوارهای تداخلی را قطع می‌کند، نشان داده شده است. برنامه‌نویسی به گونه‌ای انجام شده که به صورت خودکار کمینه‌های این تغییرات نوسانی را شناسایی کرده و محل آنها را با علامت ستاره (*) قرمز رنگ مشخص می‌کند.

بیشتر استفاده شده و از عمومیت بیشتری نزد کاربران اپتیکی برخوردار است.

بایستی دقت داشت که در الگوریتم خودکار استفاده شده در این کار، x و Δx با میانگین‌گیری روی کل تعداد نوارهای تداخلی در ناحیه مستطیل شکل انتخاب شده توسط کاربر محاسبه می‌شوند. میانگین‌گیری این مقادیر، دقت محاسبات را نسبت به حالت اندازه‌گیری دستی، که در آن تنها از دو نوار برای محاسبه این مقادیر استفاده می‌شود، افزایش خواهد داد. در صورت رضایت از انجام محاسبات و هم‌خوانی مقدار flatness محاسبه شده با مقدار تقریبی مورد انتظار، می‌توان پس از ثبت مقدار flatness، با فشردن دکمه Exit از رابط کاربری خارج شد. در صورت عدم رضایت از انجام محاسبات می‌توان با فشردن یکی از دو دکمه Back to the original image و Calculate the flatness manually یا بخش‌های دیگر رابط کاربری منتقل شد. در صورت فشردن دکمه Back to the original image، کاربر به صفحه نشان داده شده در شکل (3) منتقل شده و می‌تواند با انتخاب ناحیه مستطیل شکل دیگری از طرح نوارهای تداخلی، محاسبات را برای این ناحیه جدید تکرار کند. در صورت فشردن دکمه Calculate the flatness manually، کاربر به صفحه نشان داده شده در شکل (6) منتقل خواهد شد. در این صفحه با مشاهده طرح نوارهای تداخلی، امکان محاسبه دستی کیفیت سطح، توسط کاربر مهیا خواهد بود. برای سهولت تشخیص و اندازه‌گیری مقادیر x و Δx دو نوار پیمایشی در سمت چپ و بالای شکل تعبیه شده‌اند. نوار پیمایشی سمت چپ امکان طرح و نوار پیمایشی بالا امکان بزرگ‌نمایی آن را فراهم می‌آورد. پس از دوران و بزرگ‌نمایی طرح با استفاده از پیمایشگرها، مقادیر دوران و بزرگ‌نمایی در خانه‌های تعبیه شده نمایش داده خواهند شد. شکل (6)، طرح نوارهای تداخلی را پس از دوران $+5$ درجه‌های و با بزرگ‌نمایی $1/5$ برابر نشان می‌دهد. پس از دوران و بزرگ‌نمایی طرح به میزان دلخواه می‌توان مقادیر x و Δx را به صورت دستی محاسبه کرد. با انتخاب دکمه x و انتقال مکان‌نما روی تصویر طرح تداخلی، می‌توان این فاصله را مطابق با شکل (2)، بین مراکز دو نوار تداخلی تاریک متوالی اندازه‌گیری کرد. به این منظور، با کلیک کردن روی مرکز نوار تداخلی تاریک اول و انتقال آن تا مرکز نوار تداخلی تاریک دوم، می‌توان پاره خطی که طول آن برابر با x باشد را رسم کرد. مطابق با شکل (6)، برای سهولت انتخاب این پاره خط و کمک به کاربر در تشخیص مراکز نوارهای تداخلی، دو خط مستقیم قرمز رنگ که عمود بر دو انت‌های پاره خط هستند بر روی

نوفه‌های موجود در تصاویر دیجیتال طرح نوارهای تداخلی سیستم تداخل‌سنج استفاده شده، بر جای می‌گذارند. همان طور که در شکل (4)، نشان داده شده است، استفاده از دو نوع صافی فضایی میانگین و میانه در این رابط کاربری پیاده‌سازی شده است. با هر بار کلیک روی دکمه‌هایی در نظر گرفته شده، یک بار طرح دوبعدی نوارهای تداخلی صافی خواهد شد. علاوه بر این، امکان انتخاب اندازه همسایگی صافی میانگین و میانه نیز فراهم شده است. می‌توان با انتخاب هر یک از گزینه‌های 3×3 ، 5×5 و 7×7 به ترتیب از ماتریس‌های صافی با ابعاد 3×3 ، 5×5 و 7×7 استفاده کرد. با وجود فراهم آوردن امکان استفاده از صافی‌های با اندازه بزرگ‌تر در این رابط کاربری، مطابق با رویه معمول مورد استفاده در کاربردهای پردازش تصویر، استفاده از کوچک‌ترین ابعاد ماتریس صافی (3×3) به کاربر پیشنهاد می‌شود. تجربه کار با طرح‌های مختلف نوارهای تداخلی ثبت شده توسط تداخل‌سنج فیزو، نشان‌دهنده آن است که یک یا دو بار استفاده از هر کدام از این صافی‌ها برای حذف نوفه‌ها کفایت خواهد نمود. کافی بودن دفعات اعمال صافی‌ها را می‌توان با دقت در محل ستاره‌های موجود در دو شکل نشان‌دهنده طرح‌های نوسانی به دست آورد. این دو طرح نوسانی با هر بار اعمال صافی‌های حذف نوفه به روزرسانی خواهند شد. مطابق با شکل (5)، در صورتی که روی هر دو شکل محل کمینه‌های مشخص شده توسط علامت * به درستی تشخیص داده شده باشد، دیگر نیازی به اعمال بیشتر صافی‌ها نخواهد بود. توجه داشته باشید که روی هر یک از دو طرح نوسانی، فاصله بین دو کمینه متوالی مشخص شده است. برنامه‌نویسی به گونه‌ای انجام شده است که به صورت خودکار محل دومین و سومین کمینه تشخیص داده شده و با رسم خط مشخص خواهند شد. در حقیقت، X_{Center} و X_{Edge} به ترتیب بیانگر فاصله بین دو نوار تداخلی تیره در لبه پائینی ناحیه مستطیل شکل و خطی که از مرکز دو عرض آن عبور می‌کند هستند. مطابق با فرمول‌بندی که در شکل (2) نشان داده شده است، x را می‌توان برابر با X_{Center} در نظر گرفت. Δx را نیز می‌توان با محاسبه اختلاف فاصله بین کمینه‌های متناظر موجود در دو نمودار نوسانی موجود در قسمت بالای سمت راست شکل (5) به دست آورد. با کلیک بر روی دکمه Flatness، میزان کیفیت و یا تخت بودن سطح مطابق با رابطه (1) محاسبه شده و به دو شکل نمایش داده خواهد شد. در حالت اول به صورت ضریبی اعشاری از $\lambda/2$ و در حالت دوم و پس از گرد کردن به صورت کسری از λ ، حالت نمایش دوم

جمع بندی

در این کار به توصیف نحوه به روزرسانی و اتوماسیون یک سیستم تداخل سنج با استفاده از روش‌های پردازش تصویر و از طریق ساخت یک رابط کاربری گرافیکی در محیط متلب پرداخته شده است. برای بررسی صحت کار رابط کاربری و الگوریتم استفاده در تعیین کیفیت سطوح اپتیکی، از قطعات آزمونی با کیفیت‌های از پیش مشخص، با کیفیت‌های $\lambda/4$ ، $\lambda/8$ و $\lambda/12$ به عنوان قطعه آزمون در چیدمان تداخل سنج استفاده شده است. در تمامی موارد، کیفیت سطح اندازه‌گیری شده در تطابق با کیفیت سطح مشخص قطعه بود (جدول 1).

جدول 1. نتایج اندازه‌گیری کیفیت سطح قطعات استاندارد اپتیکی. کیفیت سطح اندازه‌گیری شده قطعات، با میانگین‌گیری روی داده‌های حاصل از 10 بار تصویربرداری از هر قطعه به دست آمده است.

قطعه	$\lambda/4$	$\lambda/8$	$\lambda/12$
کیفیت سطح اندازه‌گیری شده (نانومتر)	$\lambda \pm 4\lambda/108$	$\lambda \pm 8\lambda/168$	$\lambda \pm 12\lambda/192$

رابط کاربری و الگوریتم توسعه داده شده برای آن را می‌توان با کمی رابط کاربری و الگوریتم توسعه داده شده برای آن را می‌توان با کمی تغییر، برای شناسایی نوع دوربین دیجیتال به کار گرفته شده در آنها، در سایر تداخل‌سنج‌های مورد استفاده برای این منظور نیز استفاده کرد.

References

- [1] P. Hariharan, Basics of interferometry: Elsevier, 2010.
- [2] J. M. Geary, Introduction to optical testing vol. 15: SPIE Press, 1993.
- [3] E. P. Goodwin and J. C. Wyant, "Field guide to interferometric optical testing," 2006.
- [4] R. C. Gonzalez, R. E. Woods, and S. L. Eddins, Digital image processing using MATLAB vol. 624: Pearson-Prentice-Hall Upper Saddle River, New Jersey, 2004.
- [5] C. S. Lent, Learning to program with MATLAB: Building GUI tools: Wiley Hoboken, NJ, 2013.
- [6] P. Lanari, et al. "XMapTools: A MATLAB©-based program for electron microprobe X-ray image processing and geothermobarometry." Computers & Geosciences 62 (2014): 227-240.

تصویر نشان داده خواهند شد. با رسم این پاره خط توسط کاربر، طول آن توسط برنامه اندازه‌گیری شده و در محل مربوط به آن نشان داده خواهد شد. برای محاسبه فاصله x می‌توان از دکمه‌های با همین نام روی رابط کاربری استفاده کرد. با انتخاب این دکمه و انتقال مکان‌نما روی تصویر می‌توان یک نقطه را انتخاب کرد. برای محاسبه دقیق Δx ، نقطه ذکر شده را باید دقیقاً روی مرکز نوار تداخلی تاریکی که دربردارنده یکی از خطوط قرمز رنگ است به گون‌های انتخاب کرد که حاشیه بالا یا پایین تصویر را قطع کند. همان طور که در شکل (6) نشان داده شده است، با انتخاب این نقطه، برنامه به طور خودکار خط سبز رنگ منقطعی را به موازات دو خط قرمز رنگ قبلی رسم خواهد کرد. پس از رسم این خط، فاصله آن به صورت خودکار تا نزدیک‌ترین خط قرمز رنگ مجاور آن اندازه‌گیری شده و در محل مربوط نشان داده خواهد شد. با کلیک روی دکمه Flatness، میزان کیفیت و یا تخت بودن سطح محاسبه شده و همانند قبل به دو شکل نمایش داده خواهد شد. درنهایت می‌توان پس از ثبت مقدار flatness محاسبه شده، با فشردن دکمه Exit از رابط کاربری خارج شد.

- [7] V. Chu, and G. Hamarneh. "MATLAB-ITK interface for medical image filtering, segmentation, and registration." Medical Imaging 2006: Image Processing. Vol. 6144. International Society for Optics and Photonics, 2006.
- [8] H. Esmail and A. Aboshgifa. "Detecting brain tumour from MRI image using matlab gui programme." International Journal of Computer Science & Engineering Survey (IJCSES) 6.6 (2015).
- [10] <http://www.ee.oulu.fi/~jth/calibr/>.
- [11] D. Gabor, "Laser speckle and its elimination," IBM Journal of Research and Development, vol. 14, pp. 509-514, 1970.
- [12] J. Jaybhay and R. Shastri, "A study of speckle noise reduction Filters," Signal & Image Processing: An International Journal (SIPIJ) Vol, vol. 6, 2015.