



کنفرانس
چهارمین

بیستمین کنفرانس اپتیک و فوتونیک ایران
و ششمین کنفرانس مهندسی و فناوری فوتونیک ایران
۸ تا ۱۰ بهمن ماه ۱۳۹۲ - دانشگاه صنعتی شیراز



استفاده از تکنیک ماره و پردازش تصویر برای تعیین متریک دقیق جهت اتصال فیبر و موجبر

سهیلا جوادیان ورجوی^۱، خسرو معدنی پور^۲ و رضا اسدی^۳

^۱پژوهشکده اپتیک، لیزر و فوتونیک، دانشگاه صنعتی امیرکبیر

^۲آزمایشگاه مرکزی، اندازه‌گیری اپتیکی، دانشگاه صنعتی امیرکبیر

^۳مجتمع برق و الکترونیک دانشگاه مالک اشتر تهران

چکیده - در این کار پس از طراحی و ساخت توری‌هایی در کنار یک موجبر، از تکنیک ماره و پردازش تصویر برای تعیین دقیق موقعیت دو موجبر و یا فیبر و موجبر نسبت به همدیگر استفاده شده است. نتایج بدست آمده دقت بالای تکنیک ماره اپتیکی را برای اندازه‌گیری موقعیت عرضی و طولی موجبرها تأیید می‌کند. در حالی که برای اندازه‌گیری زاویه، تحلیل مستقیم تصویر توری‌ها دقت خوبی را در پی دارد.

کلید واژه- اندازه‌گیری، پردازش تصویر، تکنیک ماره، موجبر

Using Moire Technique and Image Processing for Precise Metric Determination in Fiber and Waveguide Connection

Soheila Javadian Varjovi¹, Khosro Madanipour² and Reza Asadi³

¹Optic, Laser and Photonic Institute, Amirkabir University

²Central Lab, Optical measurement ,Amirkabir University

³ Electronic department, Malekashtar University

Abstract- In this work we create a grating beside the waveguide. Then we use moiré technique and image processing for precise metric determination of fiber and waveguide position. Results confirm that optical moiré method have high precision in Longitudinal and Transverse position measurement. while analysis of grating images yield well precision for angle measurements .

Keywords: Image processing, Measurement, Moiré technique, Waveguide

۱- مقدمه

برهم نهی دو توری با گامهای مساوی که نسبت به هم زاویدار قرار گرفته‌اند، ایجاد فریزهای مارهای خطی عمود بر خطوط اولیه توری می‌نماید. گام ماره وابسته به زاویه بین توری‌ها است.

$$d_M = \frac{d}{2 \sin(\theta/2)} \quad (1)$$

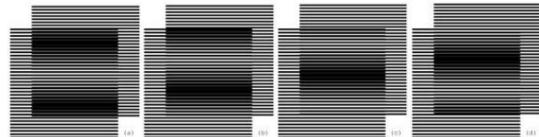
که در آن θ زاویه بین دو توری، d و d_M به ترتیب گام توری و گام ماره است [7].

جابجایی یکی از توری‌ها در راستایی عمود بر خطوط منجر به جابجایی بزرگ‌تر ماره در راستایی عمود بر حرکت توری می‌گردد. این مسئله را می‌توان به صورت زیر نشان داد

$$\frac{\delta x}{\delta y} = \frac{d}{d_M} \quad (2)$$

که در آن δx و δy به ترتیب میزان جابجایی توری و ماره، d گام توری و d_M ماره است. با توجه به رابطه اخیر با تشکیل مارهای با گام بزرگ‌تر از گام توری، جابجایی‌های کوچک توری با ضریب تبدیل $\frac{d_M}{d}$ بزرگ شده و تبدیل به جابجایی بزرگ‌تر فریزهای ماره خواهد شد.

در شکل (۱) نحوه برهم نهی و جابجایی نسبی توری‌ها و فریزهای ماره آمده است:



شکل ۱: حرکت خطوط ماره به ازای حرکت توری متغیر. جابجایی توری به اندازه گام توری منجر به جابجایی ماره به اندازه گام توری خواهد شد. الف- جابجایی صفر، ب- جابجایی $d/4$ ، ج- $d/2$ و د- $3d/4$

طبق رابطه (۲) می‌توان دقت جابجایی را بدست آورد.

$$\Delta(\delta y) = \frac{d_M}{d} \Delta(\delta x) \quad (3)$$

به طور خلاصه با استفاده از رابطه (۱) می‌توان زاویه بین دو توری و با استفاده از رابطه (۲) جابجایی نسبی دو توری را بدست آورد.

۳- کارها و نتایج تجربی

برای تنظیم اتصال فیبر به موجبر، الگوهای خطی به موازات موجبر و فیبر باید ایجاد شوند. الگویی از خطوط بر روی موجبر ایجاد می‌گردد. الگویی مشابه بر روی صفحه دیگری ایجاد می‌شود که می‌باشد بر روی

یکی از چالش‌های مهم در فوتونیک و مخابرات فیبر نوری، اتصال دقیق فیبرها و موجبرهای ساده ناهمانگی در کمترین هدر رفت و پاشندگی شود. ناهمانگی در پارامترهای هندسی و اپتیکی در اتصال دو فیبر، عامل اساسی پایین آمدن توان انتقال نور توسط فیبر است [1]. ناهمانگی بین دو فیبر در سه بعد اتفاق می‌افتد: فاصله بین دو فیبر (ناهمانگی طولی)، انحراف عمودی از محور هسته (ناهمانگی عرضی) و وجود زاویه بین دو هسته فیبر، ناهمانگی‌های عرضی و زاویه‌ای کوچک می‌توانند باعث افت توان بالایی در انتقال اطلاعات در فیبرها گردد. این مسئله در فیبرهای با قطر کمتر از ۱۵۰ میکرون که بیشتر برای ارتباطات مخابراتی کاربرد دارند، اهمیت بیشتری پیدا می‌کند [2].

روشهای مختلفی برای اتصال دقیق با اتصال کم بین فیبر و موجبر وجود دارد [3-5]. مسئله اساسی در تمامی این روش‌ها بحث متريک و اندازه‌گيری جابجایی‌های خطی و زاویه‌ای با دقت بسیار بالاست. البته این مسئله در تنظیم فعال که مبتنی بر اندازه‌گیری صورت می‌گیرد حائز اهمیت‌تر است [6].

در این کار با ایجاد الگوهای خطی به موازات فیبر و به موازات موجبر، متريکی برای اندازه‌گیری زاویه و جابجایی نسبی فیبر-موجبر به دست می‌آید. با تصویرگیری از این الگوهای خطی در حین تنظیم و تحلیل تصاویر مربوطه به صورت همزمان، سیگنالی جهت تنظیم دقیق بدست می‌آید.

به دلیل ابعاد پیکسل دوربین تصویرگیر، تحلیل مستقیم تصویر خطوط، محدودیت در دقت اندازه‌گیری جابجایی وجود دارد. بنابراین از تکنیک ماره برای افزایش دقت اندازه‌گیری جابجایی و زاویه استفاده می‌شود.

۲- مبانی نظری

بر هم نهی دو توری با گامهای متفاوت و یا با وجود زاویه بین آنها، منجر به شکل‌گیری الگوهای ماره می‌شود که به شدت به حرکت توری‌ها حساس است. در صورتی که بر هم نهی فیزیکی باشد، ماره اپتیکی و اگر بر هم نهی از طریق برنامه‌نویسی و بصورت دیجیتالی انجام شود ماره دیجیتالی نامیده می‌شود.

برای اندازه‌گیری، توری بر روی موتور سوار گردیده و به ازای جابجایی توری به اندازه ۱۰ میکرون، تصویر توری ثبت و ذخیره می‌شود. جابجایی با گام ۱۰ میکرون با استفاده از موتور انجام شد و از طریق برنامه‌نویسی میزان جابجایی توری سنجیده شد. با پردازش تصویر توری از طریق برنامه Matlab، مقادیر جابجایی‌های انجام شده محاسبه گردید که در جدول ۱ آورده شده است.

برای اندازه‌گیری میزان جابجایی از الگوریتم یافتن لبه استفاده شد. در محاسبه میزان جابجایی، اندازه بزرگنمایی اپتیک دوربین لحاظ شده است. با در دست داشتن گام توری‌ها ۲۰ میکرون بود، ضریب کالیبراسیون تبدیل پیکسل به فاصله $\frac{3}{3} \mu\text{m/pixel}$ بدست آمد.

جدول ۱: مقادیر جابجایی‌های انجام شده و نتایج حاصل از پردازش تصویر مستقیم توری.

جابجایی توری (میکرون)					
۵۰	۴۰	۳۰	۲۰	۱۰	
۲۱	۱۶	۱۲	۸	۴	تعداد پیکسل‌های جابجا شده
۶۳	۴۸	۳۶	۲۴	۱۲	جابجایی محاسبه شده از برنامه (میکرون)
۲۶	۲۰	۲۰	۲۰	۲۰	درصد خطا

با استفاده از برنامه‌نویسی مطلب جابجایی تصاویر از طریق ماره دیجیتال مورد ارزیابی قرار گرفت که نتایج حاصل از آن در جدول ۲ آورده شده است.

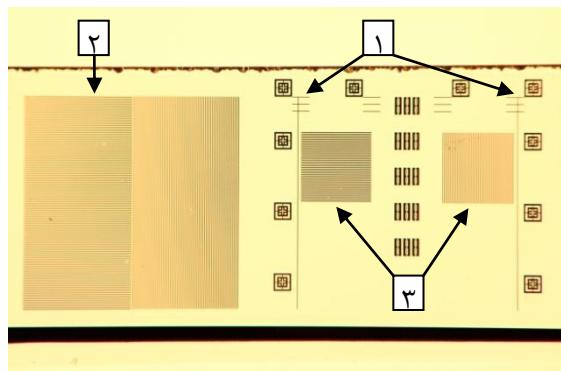
جدول ۲: مقادیر جابجایی‌های انجام شده و نتایج حاصل از بر هم نهی تصاویر توری و تشکیل ماره دیجیتال.

جابجایی توری (میکرون)					
۵۰	۴۰	۳۰	۲۰	۱۰	
۱۱۴۶/۸	۹۵۰/۱	۷۵۳/۵	۵۰۸/۴	۲۵۱/۱	جابجایی ماره (میکرون)
۶۵/۹	۵۴/۶	۴۳/۳	۲۹/۲	۱۴/۴	جابجایی توری حاصل از اندازه-گیری جابجایی ماره (میکرون)
۳۲	۳۶	۴۴	۴۶	۴۴	درصد خطا

جداول (۱) و (۲) نشان می‌دهد که میزان خطا در تعیین جابجایی به روش تحلیل مستقیم خطوط و ماره دیجیتال روش مناسبی نمی‌باشد. بنابراین سراغ ماره اپتیکی می‌رویم.

برای تعیین دقต ماره اپتیکی نیاز به بر هم نهی فیزیکی توری‌است. با استفاده از تحلیل تصاویر تهیه شده، رفتار ماره اپتیکی در مقابل جابجایی‌های کوچک مورد بررسی قرار گرفت. شکل ۵ جابجایی ماره به ازای جابجایی توری با گام ۱۰ میکرون را نشان می‌دهد.

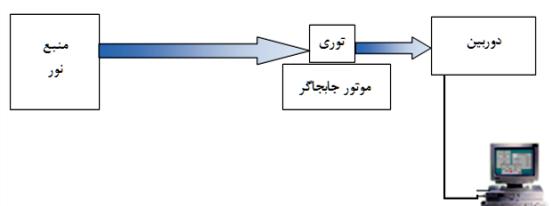
جابجایر سوار شده و حامل فیبر نوری باشد. در شکل (۱) الگوی موردنظر برای ایجاد متريک در کنار موجب و فیبر نوری نشان می‌دهد.



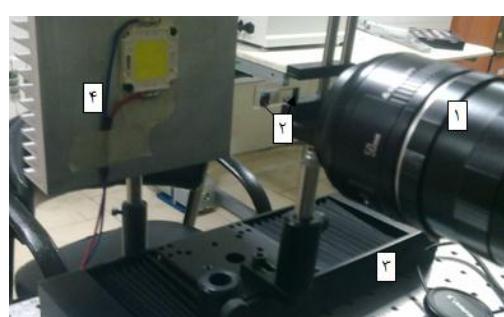
شکل ۲: تصویر موجب (۱) در کنار توری‌ها (۲) و (۳).

برای انجام اندازه‌گیری‌های خطی و تهیه تصویر، از سیستم‌ها و ابزارهای زیر استفاده می‌شود: توری با ابعاد 6×6 میلیمتر مربع و ۵۰ گام میکرون، دوربین Cannon با رزولوشن ۱۸ مگاپیکسل و اندازه پیکسل ۴/۶ میکرون، عدسی، آداپتور عدسی به دوربین، موتور جابجایر با دقیق ۱۰ میکرون، گوینیومتر با دقیق ۰/۰۴ درجه، منبع نور، ابزارهای اپتومکانیکی و رایانه.

شماتیکی از چیدمان اپتیکی بکار رفته برای اندازه‌گیری با تحلیل مستقیم و خطوط ماره دیجیتال در شکل ۴ و تصویر واقعی چیدمان در شکل ۵ آمده است. برای اندازه-گیری و تهیه تصویر ماره اپتیکی باید توری دوم روبروی توری اول و بصورت مماس بر آن قرار گیرد.



شکل ۳: چیدمان مربوط به تصویرگیری از جابجایی خطی توری.



شکل ۴: چیدمان مربوط به تهیه تصویر از جابجایی توری. ۱- دوربین، ۲- توری، ۳- موتور جابجایر و ۴- منبع نور.

نویسی مورد ارزیابی قرار گرفت که نتایج آن در جدول ۴ خلاصه شده است.

جدول ۴: مقایسه مقادیر اندازه‌گیری شده و مقادیر حاصل از برنامه.

نتیجه برنامه	زاویه گوینیومتر	درصد خطأ
۰/۲۵۴	۰/۱۹۰	۰/۱۴۹
۰/۲۴	۰/۲	۰/۱۶
۵/۸	۶	۶/۹
۰/۱۲۵	۰/۰۸۷	۰/۰۴۱
۰/۱۲	۰/۰۸	۰/۰۴
۴/۲	۸/۷۵	۲/۵

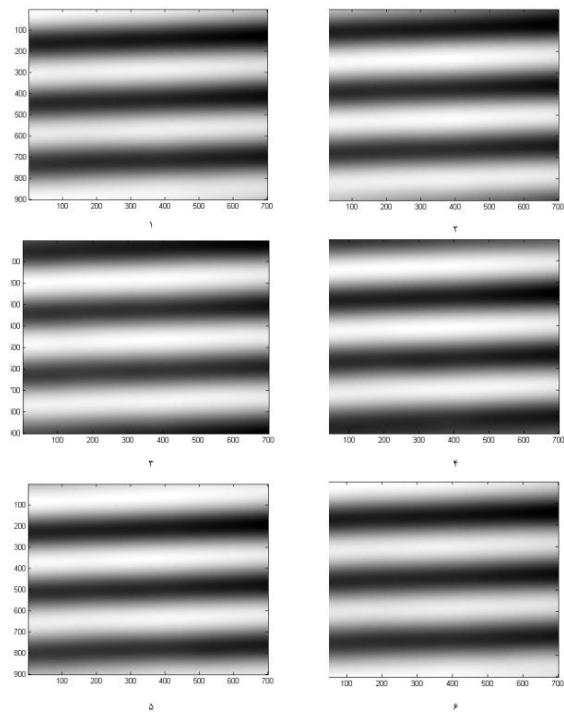
۴- نتیجه‌گیری

آنچه از مباحث مطرح شده می‌توان دریافت این است که از بین سه روش مطرح شده برای اندازه‌گیری جابجایی خطی، روش ماره اپتیکی دقیق‌تری دارد. این مسئله از آنجا ناشی می‌شود که در ماره اپتیکی تصویر از نتیجه به هم نهی دو توری تهیه می‌گردد و خطای حاصل از بعد محدود پیکسل‌ها فقط یکبار بر محاسبات و نتایج تأثیر می‌گذارد و در حالی که خطأ ثابت است، بزرگنمایی که ماره دارد باعث بالارفتن دقیق می‌شود. با توجه به رابطه ۳ و با درنظر گرفتن متوسط گام ماره در جدول ۳، کوچکترین ابعادی که از طریق ماره قابل اندازه‌گیری می‌باشد، 0.06 میکرون است. مقادیر کمتر از 0.06 میکرون با کوچکتر کردن زاویه چرخش توری‌ها نسبت به هم‌دیگر و بزرگتر کردن گام ماره امکان پذیر خواهد بود.

اندازه‌گیری زاویه با تحلیل مستقیم تغییر زاویه ماره در قابل قبولی در پی داشت. بنابراین در این سیستم به ازای دقتهای تا 0.03° درجه می‌توان از تحلیل مستقیم استفاده کرد. اما در صورت نیاز به دقتهای بالاتر استفاده از تکنیک ماره اجتناب ناپذیر است.

مراجع

- [1] T. Montalbo, Fiber to Waveguide Couplers for Silicon Photonics, 2004.
- [2] "Optical fiber connection: joints, couplers and isolators".
- [3] N. Hirose and O. Ibaragi, "Optical Component Coupling using Self-Written Waveguides," *SPIE*, vol. 5355.
- [4] C. D. Anderson, "Photopolymer Waveguide to Fiber Coupling via 3D Direct-Write Lithography," University of Portland, 2002.
- [5] K. Chang Song, J. Uk Bu a, Y. Sam Jeon a, C. Keun Park, J. Hoon Jeong, H. Joon Koh and M. Ho Choi, "Micromachined Silicon Optical Bench for the Low Cost Optical Module".
- [6] A. D. Yablon, Optical Fiber Fusion Splicing, Springer, 2005.
- [7] E. Gabrielyan, "Moiré pointer for measurement instruments," *Institute of Technology, Lausanne (EPFL)*.
- [8] W. Osten, " Digital Image Processing for Optical Metrology," in *Springer Handbook of Experimental Solid Mechanics*, Springer.



شکل ۵: تصویر جابجایی ماره‌های تشکیل شده در اثر جابجایی توری نتایج حاصل از اندازه‌گیری به روش اپتیکی در جدول ۳ قابل مشاهده است.

جدول ۳: مقادیر جابجایی‌های انجام شده و نتایج حاصل از بر هم نهی تصاویر توری و تشکیل ماره اپتیکی

گام ماره	جابجایی توری(میکرون)	جابجایی ماره(میکرون)	جابجایی توری حاصل از اندازه-گیری جابجایی ماره (میکرون)	درصد خطأ
۵۰	۴۰	۳۰	۲۰	۱۰
۷۹۱/۲	۶۳۲/۳	۴۷۹/۴	۳۲۰/۶	۱۵۰/۰
۴۸/۸	۳۹	۲۹/۶	۱۹/۸	۹/۳
۲/۳	۲/۴	۱/۴	۱/۱	۷/۴

نتایج این جدول نشان می‌دهد که ماره اپتیکی روش مناسبی برای اندازه‌گیری جابجایی از مرتبه میکرون می‌باشد.

همانگونه که گفته شد زاویه سهم مهمی در بالا بردن بهره جفت شدگی بین فیبر و موجبر دارد. برای تعیین دقیق‌تر اندازه‌گیری زاویه، از گوینیومتر برای تغییر زاویه استفاده شد. با در نظر گرفتن ابعاد توری، ابعاد پیکسل‌های دروبین و بزرگنمایی عدسی، کوچکترین زاویه‌ای که توسط پردازش تصویر قابل دستیابی است برابر با 0.03° درجه است. تغییرات زاویه‌ای اعمال شده، با استفاده از برنامه