



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



طراحی و اجرای روش بسیار دقیق تنظیم هم‌مرکزی و هم‌راستائی عدسی‌ها در یک سامانه‌ی تصویربرداری به منظور بهبود کیفیت تصویر با بازتاب جبهه‌موج کروی از سطوح عدسی‌ها

مسعود مردانی، امید سعادت‌مند، میثم اشتری، سمیه خلیلی و مهرداد سلطانیان

دانشگاه صنعتی مالک اشتر

چکیده - در این تحقیق روشی بسیار دقیق، به منظور تنظیم هم‌راستائی و هم‌مرکزی عدسی‌ها، در یک سامانه‌ی تصویربرداری ارائه خواهد شد. در این روش از جبهه‌موج کروی خروجی از یک اتوکلیماتور و عدسی کانونی‌کننده به منظور تنظیمات استفاده خواهد شد. با بازتاب جبهه‌ی موج کروی از سطح روئی هر عدسی، هم‌مرکزی و با بازتاب جبهه‌موج کروی از سطح پشتی هر عدسی، هم‌راستائی آن تنظیم خواهد شد. تنظیمات هم‌مرکزی و هم‌راستائی، برای کلیه‌ی عدسی‌های سامانه‌ی تصویربرداری انجام و سامانه با کیفیت بسیار بالا مونتاژ خواهد شد.

کلید واژه- هم‌راستائی، هم‌مرکزی، تابع انتقال مدولاسیون، اتوکلیماتور، عدسی کانونی‌کننده

Designing & performing an accurate method for accurate adjustment of tilt and de-center in lenses in an optical system for quality enhancement

Masoud Mardani¹, Omid Saadatmand¹, Meysam Ashtari¹, Somaye Khalili¹, Mehrdad Soltanian¹

¹ Malek-e-Ashtar University

Abstract-in this research an accurate method for adjustment of tilt and de-center in an optical system is presented. In this method exit spherical wave-front of and autocollimator and objective is used. De-center and tilt of each lens are adjusted through reflecting spherical wave-front from the front surface and back surface of each lens, respectively. Adjustment of de-center and tilt for all lenses is performed while the performance of system is enhanced considerably.

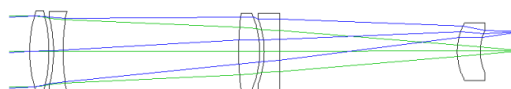
Keywords: alignment, de-center, modulation transfer function, autocollimator, microscope objective

۱- مقدمه

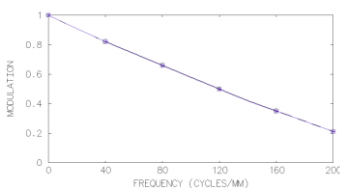
در یک سلمنه‌ی تصویربرداری، هم‌محور و هم‌مرکز بودن دقیق عدسی‌ها، در کیفیت تصویر اهمیت فراوان دارد این اهمیت به‌گونه‌ای است که در یک سلمنه‌ی تصویربرداری چنانچه قطعات اپتیکی و مکانیکی، با دقت بالا ساخته شوند اما روشی به منظور انجام تنظیمات هم‌مرکزی و هم‌راستایی، طراحی و اجرا نشود، کیفیت تصویر نامطلوب خواهد بود [1]. در روشی که در مرجع [2] طراحی و اجرا شده هم‌مرکزی عدسی‌ها با بازتاب جبهه‌موج کروی از سطح بالایی هر عدسی و هم‌راستایی آن‌ها با بازتاب جبهه‌موج تخت از تیغه‌ی متوازی‌السطوح قرار گرفته بر روی مونت مکانیکی هر عدسی تنظیم شد در روش اجرا شده در مرجع [2] دقت تنظیم هم‌راستایی، بسیار وابسته به دقت مونت‌ها هر لنز داخل مونت مکانیکی آن است زیرا آنچه در عمل، هم‌راستایی می‌شود محور مکانیکی مونت مکانیکی است و نه محور اپتیکی عدسی، بنابراین هر آن‌چه خطا در انطباق محور اپتیکی عدسی با محور مکانیکی مونت وجود داشته باشد در هم‌راستایی نیز وارد خواهد شد در این تحقیق در ابتدا با شبیه‌سازی در نرم‌افزار طراحی اپتیکی OSLO [3]، تاثیر عدم هم‌مرکزی و عدم هم‌راستایی عدسی‌ها، در تابع انتقال مدولاسیون، MTF یک سلمنه‌ی تصویربرداری، مورد ارزیابی قرار خواهد گرفت. سپس روش جدیدی به منظور تنظیم هم‌راستایی عدسی‌ها طراحی و اجرا خواهد شد در روش جدید با بازتاب جبهه‌موج کروی از سطح بالایی هر عدسی، هم‌مرکزی هر لنز تنظیم خواهد شد و با بازتاب جبهه‌موج کروی از سطح پشتی هر عدسی، هم‌راستایی آن لنز تنظیم خواهد شد روش طراحی شده، برای یک سلمنه‌ی تصویربرداری اجرا و تاثیر آن در افزایش کیفیت تصویر سلمنه، مورد ارزیابی قرار خواهد گرفت.

۲- شبیه‌سازی تاثیر عدم هم‌مرکزی و عدم هم‌راستایی بر کیفیت تصویر در یک سامانه‌ی تصویربرداری در نرم‌افزار OSLO

چیدمان اپتیکی عدسی‌ها در سلمنه‌ی تصویربرداری مورد نظر، در شکل ۱ دیده می‌شود در شکل ۲، منحنی MTF سلمنه‌ی طراحی شده، منطبق بر منحنی MTF سلمنه‌ی محدود به پرلش دیده می‌شود چنانچه در نرم‌افزار، به عنوان مثال عدسی شماره ۲، مطابق شکل ۳، به میزان $DCY=0.1mm$ در راستای y جبهه‌جا شود، الگوی تداخلی و منحنی MTF حاصل به ترتیب مطابق با شکل‌های ۴ و ۵ خواهد شد. از طرف دیگر چنانچه عدسی شماره ۲، مطابق شکل ۶ به میزان $TLA=10arcmin=0.17^\circ$ نسبت به راستایی محور اپتیکی کج شود، الگوی تداخلی و منحنی MTF حاصل به ترتیب مطابق با شکل‌های ۷ و ۸ خواهد شد.



شکل ۱، چیدمان اپتیکی عدسی‌ها در سلمنه‌ی تصویربرداری



شکل ۲، منحنی MTF سلمنه‌ی طراحی شده

Surface 1

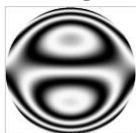
Decenter - Tilt Order		Decenter - Tilt		Tilt	
DCX	DCY	DCZ	TLA	TLB	TLG
0.000000	0.100000	0.000000			
Rotation Angles (degrees)			Offset of Tilt Vertex		
TLA	TLB	TLG	TOX	TOY	TOZ
0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000

Pickup type: None Local Tilt and bend No

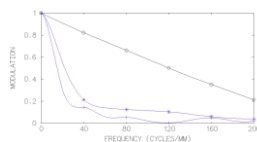
Coordinate return: No Yes

Use base coordinate system for coordinate returns to this surface: No Yes

شکل ۳، جبهه‌جا کردن عدسی ۲، به میزان $DCY=0.1mm$



شکل ۴، الگوی تداخلی حاصل از جبهه‌جا شدن عدسی ۲، به میزان $DCY=0.1mm$



شکل ۵، منحنی MTF حاصل از جبهه‌جا شدن عدسی ۲، به میزان $DCY=0.1mm$

Surface 1

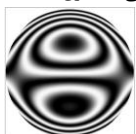
Decenter - Tilt Order		Decenter - Tilt		Tilt	
DCX	DCY	DCZ	TLA	TLB	TLG
0.000000	0.000000	0.000000			
Rotation Angles (degrees)			Offset of Tilt Vertex		
TLA	TLB	TLG	TOX	TOY	TOZ
0.170000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000

Pickup type: None Local Tilt and bend No

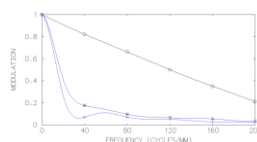
Coordinate return: No Yes

Use base coordinate system for coordinate returns to this surface: No Yes

شکل ۶، کج شدن عدسی ۲، به میزان $TLA=10arcmin=0.17^\circ$



شکل ۷، الگوی تداخلی، حاصل از کج شدن عدسی ۲، به میزان $TLA=10arcmin=0.17^\circ$



شکل ۸، منحنی MTF حاصل از کج شدن عدسی ۲، به میزان $TLA=10arcmin=0.17^\circ$

از شکل‌های ۵ و ۸ دیده می‌شود MTF در نتیجه‌ی جبهه‌جایی و کج شدن آن به میزان جزئی، بسیار کاهش خواهد یافت.

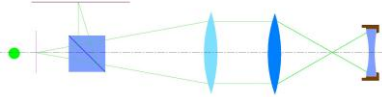
۳- تعیین موقعیتی که در آن جبهه‌موج کروی بر سطح پشتی عدسی منطبق می‌شود

به منظور تعیین موقعیتی که در آن موقعیت جبهه‌موج کروی بر سطح پشتی عدسی منطبق می‌شود لازم است ردیابی پرتو صورت پذیرد. در شکل ۹ نقطه‌ی C_1 مرکز انحنای سطح جلویی، نقطه‌ی C_2 مرکز انحنای سطح پشتی و نقطه‌ی O ، نقطه‌ی به فاصله‌ی d ، از سطح جلویی می‌باشد که اگر کانون عدسی کانونی کننده در آن نقطه قرار گیرد، جبهه‌موج کروی ساطع شده از آن بر سطح پشتی منطبق خواهد بود.

شکل ۱۰، خروج نور مولزی از اتوکلیماتور

1 منبع نور، 2 ریتیکل، 3 باریک‌شکن، 4 عدسی شیئی، 5 CCD

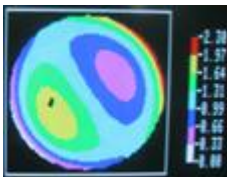
چنانچه یک عدسی کانونی کننده در برابر اتوکلیماتور قرار داده شود، مشابه شکل ۱۱، جبهه‌موج تخت به جبهه‌موج کروی تبدیل خواهد شد.



شکل ۱۱، خروج جبهه‌موج کروی از اتوکلیماتور با قرار دادن عدسی شیئی در برابر آن با جابه‌جا کردن عدسی شیئی در راستای محور اپتیکی و منطبق کردن جبهه‌موج کروی بر سطح بالائی هر عدسی، تصویری از الگوی ریتیکل اتوکلیماتور، در کانون آن تشکیل خواهد شد با جابه‌جا کردن عدسی مورد آزمون در صفحه‌ی عمود بر محور اپتیکی، این تصویر نیز جابه‌جا و به مرکز کانون منتقل و هم‌مرکزی تنظیم خواهد شد. پس از تنظیم هم‌مرکزی، لازم است هم‌راستایی عدسی مورد آزمون نیز تنظیم شود. به این منظور لازم است عدسی کانونی کننده در راستای محور اتوکلیماتور به گونه‌ای جابه‌جا شود که جبهه‌موج کروی پس از وارد شدن به عدسی مورد آزمون، بر سطح کروی پشتی آن منطبق و از آن بازتاب شود. با انجام این کار تصویر دیگری از الگوی ریتیکل اتوکلیماتور، در کانون آن تشکیل خواهد شد با تغییر راستای عدسی مورد آزمون، این تصویر نیز جابه‌جا و به مرکز کانون منتقل خواهد شد لازم است با جابه‌جا کردن عدسی کانونی کننده در راستای محور اپتیکی و بازتاب متوالی جبهه‌موج کروی از سطوح بالائی و پشتی، از تنظیم هم‌زمان هم‌مرکزی و هم‌راستایی عدسی اطمینان حاصل شود. تنظیم هم‌مرکزی و هم‌راستایی به روش بالا، برای تمامی عدسی‌های یک سامانه‌ی تصویربرداری انجام و سامانه‌ی تصویربرداری با دقت بسیار بالا مونتاژ خواهد شد. چنانچه هر عدسی با دقت داخل مونت خود مونتاژ شود ولی روش تنظیم هم‌مرکزی و هم‌راستایی بالا اجرا نشود، سامانه‌ی اپتیکی با کیفیت نه چندان مطلوب، مونتاژ خواهد شد که الگوی تداخلی و جبهه‌موج حاصل، در شکل‌های ۱۲ و ۱۳ دیده می‌شود. در شکل ۱۴ منحنی MTF برای سامانه‌ی که در آن تنظیم هم‌مرکزی و هم‌راستایی انجام نشده است، با منحنی MTF سامانه‌ی محدود به پریش مقایسه شده است.

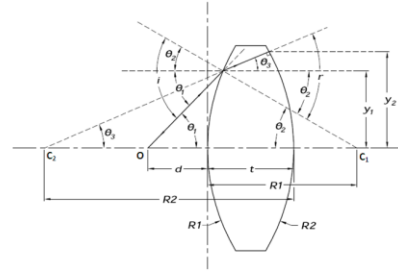


شکل ۱۲ الگوی تداخلی حاصل از آزمون MTF بر روی سامانه قبل از انجام تنظیمات



شکل ۱۳، نمایش تغییر شکل جبهه‌موج در نتیجه عبور از سامانه حداکثر ناهموری هادر جبهه‌موج برابر با $PV=230$ می‌باشد

با توجه به شکل ۱۲، پارامتر PV که بیانگر بیشینه ناهموری‌ها در الگوی



شکل ۹: تصویر یک عدسی وردیلی پرتو در آن به منظور تطبیق جبهه‌موج کروی بر سطح پشتی برای زاویه‌ی تابش i داریم:

$$i = \theta_1 + \theta_2$$

زاویه شکست r از رابطه‌ی زیر حاصل خواهد شد:

$$r = \theta_3 + \theta_2$$

برای زوایای θ_1 ، θ_2 و θ_3 داریم:

$$\theta_1 = \frac{y_1}{d}, \quad \theta_2 = \frac{y_1}{R_1}, \quad \theta_3 = \frac{y_2}{R_2}$$

برای y_2 داریم:

$$y_2 = \frac{y_1 R_2}{R_2 - t}$$

از رابطه‌ی اسنل داریم:

$$i = nr$$

$$\theta_1 + \theta_2 = n(\theta_2 + \theta_3)$$

با جایگذاری از روابط بالا داریم:

$$\frac{y_1}{d} + \frac{y_1}{R_1} = n \left(\frac{y_1}{R_1} + \frac{y_2}{R_2} \right)$$

$$\frac{y_1}{d} + \frac{y_1}{R_1} = n \left(\frac{y_1}{R_1} + \frac{y_1 R_2}{R_2 (R_2 - t)} \right)$$

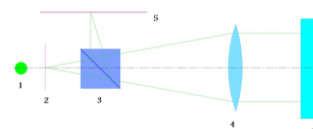
و در نهایت برای فاصله‌ی d داریم:

$$d = \frac{R_1 (R_2 - t)}{n R_1 + (n - 1) (R_2 - t)}$$

بنابراین چنانچه کانون عدسی کانونی کننده به اندازه‌ی فاصله‌ی d از راس سطح جلویی دور شود، جبهه‌موج کروی ساطع شده از آن، بر سطح پشتی منطبق خواهد شد.

۴- نتایج تجربی

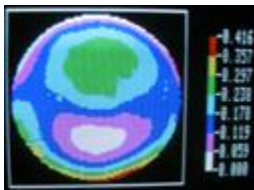
به منظور تنظیم دقیق هم‌مرکزی و هم‌راستایی عدسی‌ها در یک سامانه‌ی تصویربرداری، لازم است از یک اتوکلیماتور، همراه با یک عدسی کانونی کننده استفاده شود. نمای شماتیک یک اتوکلیماتور در شکل ۱۰ دیده می‌شود.



توجه به این نکته ضروریست که در روش جدید، نسبت به روش مرجع [2]، نیازی به طراحی و ساخت فیکسچرهای دقیق مکئیکی، به منظور مونتاژ کردن دقیق هر عدسی داخل مونت نگهدارندهی خود نمی باشد.

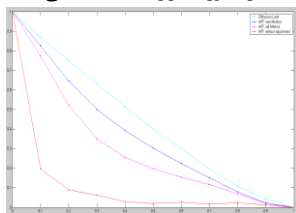


شکل ۱۸، الگوی تلاخی حاصل از آزمون MTF بر روی سملنه پس از انجام تنظیمات به روش جدید



شکل ۱۹، نمایش ناهمواری جبهه موج در نتیجهی عبور از سملنه پس از انجام تنظیمات به روش جدید

حداکثر ناهمواری ها برابر با $PV=0.41$ می باشد.



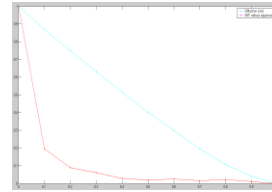
شکل ۲۰، مقایسهی منحنی MTF در سملنه ای که به روش جدید تنظیم شده است، با منحنی MTF همان سملنه که به روش [2] تنظیم شده است. منحنی MTF سملنه قبل از انجام تنظیمات و منحنی MTF سملنه ای محدود به پرش

۵- نتیجه گیری

در مونتاژ سامانه های اپتیکی دقیق، صرفاً مونتاژ عدسی ها با دقت از مرتبهی صدم میلیمتر، که در مکئیکی دقت بسیار بالایی می باشد، تضمین کنندهی کیفیت تصویر در سملنه ای تصویربرداری نخواهد بود، بلکه به منظور رسیدن به کیفیت تصویر مطلوب، لازم است با استفاده از تجهیزات دقیق اپتیکی، نظیر اتوکلیما تورها، نسبت به انجام تنظیمات دقیق همراستایی و هممرکزی عدسی ها و مونتاژ بسیار دقیق سملنه اقدام شود. در این مقاله روشی کسب شده است که با استفاده از آن بدون نیاز به طراحی و ساخت مونت ها و فیکسچرهای مکئیکی بسیار دقیق، با بازتاب جبهه موج کروی از سطوح هر عدسی، هممرکزی و همراستایی عدسی ها تنظیم و سملنه ای تصویربرداری با کیفیت تصویر بسیار بالا حاصل خواهد شد.

مراجع

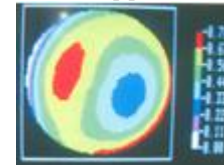
- [1] Paul R. Yoder Jr., *Mounting Optics in Optical Instruments*, SPIE, 2008
- [2] مسعود مردانی و همکاران، طراحی و اجرای روش دقیق تنظیم هم محوری و هم مرکز عدسی ها در یک سامانه ای تصویربرداری به منظور بهبود کیفیت تصویر، هجدهمین کنفرانس اپتیک و فوتونیک ایران.
- [3] Oslo Optics Software for Layout and Optimization, 2009, Lambda Research Corporation



شکل ۱۴، منحنی MTF در سملنه قبل از انجام تنظیمات هم محوری و هم مرکز تلاخی حاصل از آزمون MTF می باشد، برابر با $PV=2.30$ و پارامتر $RMS=0.39$ که بیانگر انحراف استاندارد ناهمواری ها می باشد، برابر با $RMS=0.39$ اندازه گیری شده است. در صورتی که هم مرکز و همراستایی در عدسی ها به روش پیشنهادی در مرجع [2] اصلاح شود، الگوی تلاخی و ناهمواری جبهه موج، در سملنه ای تصویربرداری حاصل، در شکل های ۱۵ و ۱۶ دیده می شود. در شکل ۱۷، منحنی MTF در سملنه ای که به روش مرجع [2] تنظیم شده است، با منحنی MTF سملنه قبل از انجام تنظیمات و منحنی MTF سملنه ای محدود به پرش، مقایسه شده است.

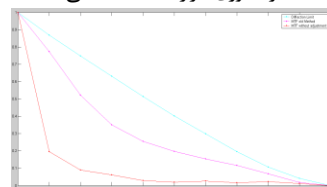


شکل ۱۵، الگوی تلاخی حاصل از آزمون MTF بر روی سملنه پس از انجام تنظیمات به روش [2]



شکل ۱۶، نمایش ناهمواری جبهه موج در نتیجهی عبور از سملنه پس از انجام تنظیمات به روش [2]

حداکثر ناهمواری ها برابر با $PV=0.78$ می باشد.



شکل ۱۷، مقایسهی نمودار MTF در سملنه ای که به روش [2] تنظیم شده است با منحنی MTF سملنه قبل از انجام تنظیمات و منحنی MTF سملنه ای محدود به پرش در صورتی که هم مرکز و همراستایی در عدسی ها به روشی که در این مقاله به آن پرداخته شده است تنظیم شود، الگوی تلاخی و ناهمواری جبهه موج حاصل، در شکل های ۱۸ و ۱۹ دیده می شود. در شکل ۲۰، منحنی MTF در سملنه ای که به روش جدید تنظیم شده است، با منحنی MTF همان سملنه که به روش [2] تنظیم شده است، منحنی MTF سملنه قبل از انجام تنظیمات و منحنی MTF سملنه ای محدود به پرش، مقایسه شده است. همانگونه که از این نتایج آزمون دیده می شود، در روش جدید نسبت به روش مرجع [2]، پارامتر PV از ۰.۷۷ به ۰.۴۴ و پارامتر RMS از ۰.۱۳ به ۰.۰۷۹ کاهش یافته است. به این ترتیب با اجرای روش جدید، کیفیت تصویر در سملنه ای تصویربرداری نسبت به روش مرجع [2]، بیش از ۶۰ درصد افزایش یافته است.