



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.

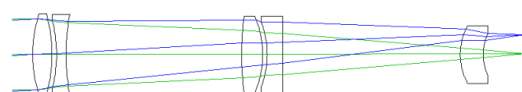
Keywords: alignment, de-center, modulation transfer function, autocollimator, microscope objective

۱- مقدمه

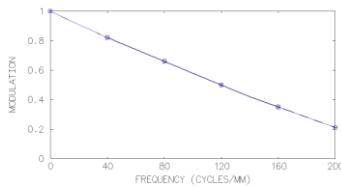
در یک سامانه‌ی تصویربرداری، هم‌محور و هم‌مرکز بودن دقیق عدسی‌ها در کیفیت تصویر اهمیت فراوان دارد این اهمیت به گونه‌ای است که در یک سامانه‌ی تصویربرداری چنانچه قطعات اپتیکی و مکانیکی، با دقت بالا ساخته شوند اما روشی به منظور انجام تنظیمات هم‌مرکز و هم‌راستایی، طراحی و اجرا نشود کیفیت تصویر نامطلوب خواهد بود [1]. در روشی که در مرجع [2] طراحی و اجرا شده هم‌مرکز 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 مونتاژ 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 آن چه 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 هم‌مرکز و عدم هم‌راستایی عدسی‌ها در تابع انتقال مدولاسیون، MTF یک سامانه‌ی 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، هم‌مرکز 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 سامانه‌ی تصویربرداری اجرا و تاثیر آن در افزایش کیفیت تصویر سامانه مورد ارزیابی قرار خواهد گرفت.

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

چیدمان اپتیکی عدسی‌ها در سامانه‌ی تصویربرداری مورد نظر، در شکل ۱ دیده می‌شود در شکل ۲، منحنی MTF سامانه‌ی طراحی شده، منطبق بر منحنی MTF سامانه‌ی محدود به پراش دیده می‌شود چنانچه در نرم‌افزار، به عنوان مثال عدسی شماره ۲، مطابق شکل ۳، به میزان $DCY=0.1mm$ در راستای y جابه‌جا 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 راستای 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 سامانه‌ی تصویربرداری



شکل ۲، منحنی MTF سامانه‌ی طراحی شده

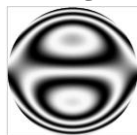
Surface 1

Decenter - Tilt Order: Secondary, then Tertiary					
Decenterations					
DCX	DCY	DCZ	Offset of Tilt Vertex		
0.000000	0.100000	0.000000			
Rotation Angles (degrees)					
TLA	TLB	TLC	TDX	TDY	TDZ
0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000

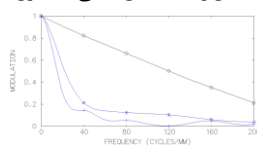
Pickup type: Tilt and bend:

Coordinate return: Use base coordinate system for coordinate returns to this surface:

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



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



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

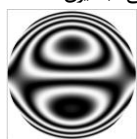
Surface 1

Decenter - Tilt Order: Secondary, then Tertiary					
Decenterations					
DCX	DCY	DCZ	Offset of Tilt Vertex		
0.000000	0.000000	0.000000			
Rotation Angles (degrees)					
TLA	TLB	TLC	TDX	TDY	TDZ
0.170000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000

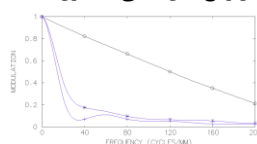
Pickup type: Tilt and bend:

Coordinate return: Use base coordinate system for coordinate returns to this surface:

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 جابه‌جایی 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 موازی از اتوکلیماتور

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

چنانچه یک عدسی کلونی کننده در برابر اتوکلیماتور قرار داده شود مشابه شکل ۱۱، جبهه موج تخت به جبهه موج کروی تبدیل خواهد شد

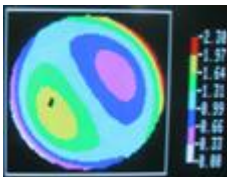


شکل ۱۱، خروج جبهه موج کروی از اتوکلیماتور با قرار دادن عدسی شیئی در برابر آن

با جابه‌جا کردن عدسی شیئی در راستای محور اپتیکی و منطبق کردن جبهه موج 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 کلونی کننده در راستای محور اتوکلیماتور به گونه‌ای جابه‌جا شود که جبهه موج 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 کلونی کننده در راستای محور اپتیکی و بازتاب متوالی جبهه موج 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 جبهه موج 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 پراش مقایسه شده است.



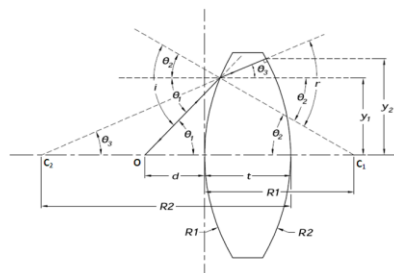
شکل ۱۲، الگوی تداخلی حاصل از آزمون MTF بر روی سامانه قبل از انجام تنظیمات



شکل ۱۳، نمایش تغییر شکل جبهه موج در نتیجه عبور از سامانه حداکثر ناهم‌رازی هادر

جبهه موج برابر با $PV=230$ می‌باشد

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



شکل ۹: تصویر یک عدسی وردیلی پرتو در آن به منظور تطبیق جبهه موج کروی بر سطح پشتی برای زاویه 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:

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

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

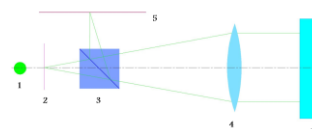
و در نهایت برای فاصله‌ی d داریم:

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

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

۴- نتایج تجربی

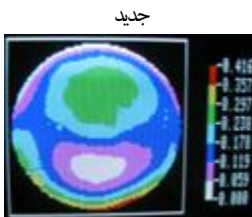
به منظور تنظیم دقیق هم‌مرکزی و هم‌راستایی عدسی‌ها در یک سامانه‌ی تصویربرداری، لازم است از یک اتوکلیماتور، همراه با یک عدسی کلونی کننده استفاده شود. نمای شماتیک یک اتوکلیماتور در شکل ۱۰ دیده می‌شود.



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



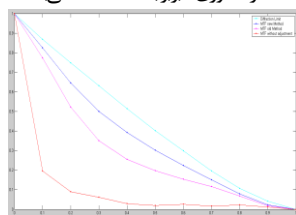
شکل ۱۸، الگوی تداخلی حاصل از آزمون MTF بر روی سلفه پس از انجام تنظیمات به روش



شکل ۱۹، نمایش ناهمواری جبهه‌موج در نتیجه‌ی عبور از سلفه پس

از انجام تنظیمات به روش جدید

حداکثر ناهمواری‌ها برابر با $PV=0.41$ می‌باشد.



شکل ۲۰، مقایسه‌ی منحنی MTF در سلفه‌ای که به روش جدید تنظیم شده است با منحنی

MTF همان سلفه که به روش [2] تنظیم شده است. منحنی MTF سلفه قبل از انجام

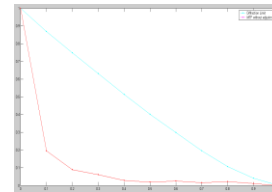
تنظیمات و منحنی MTF سلفه‌ی محدود به پرلش

۵- نتیجه‌گیری

در مونتاژ سامانه‌های اپتیکی دقیق، صرفاً مونتاژ عدسی‌ها با دقت از مرتبه‌ی صدم میلیمتر، که در مکانیک دقت بسیار بالایی می‌باشد، تضمین کننده‌ی کیفیت تصویر در سلفه‌ی تصویربرداری نخواهد بود، بلکه به منظور رسیدن به کیفیت تصویر مطلوب، لازم است با استفاده از تجهیزات دقیق اپتیکی، نظیر اتوکلیماورها، نسبت به انجام تنظیمات دقیق همراستایی و هم‌مرکزی عدسی‌ها و مونتاژ بسیار دقیق سلفه اقدام شود. در این مقاله روشی کسب شده است که با استفاده از آن بدون نیاز به طراحی و ساخت مونت‌ها و فیکسچرهای مکانیکی بسیار دقیق، با بازتاب جبهه‌موج کروی از سطوح هر عدسی، هم‌مرکزی و همراستایی عدسی‌ها تنظیم و سامانه‌ی 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 هم‌محوری و هم‌مرکزی عدسی‌ها در یک سامانه‌ی 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 سلفه قبل از انجام تنظیمات هم‌محوری و هم‌مرکزی

تداخلی حاصل از آزمون MTF می‌باشد، برابر با $PV=2.30$ و پارامتر RMS

که بیانگر انحراف استاندارد ناهمواری‌ها می‌باشد، برابر با $RMS=0.39$

اندازه‌گیری شده است. در صورتی که هم‌مرکزی و همراستایی در عدسی‌ها به

روش پیشنهادی در مرجع [2] اصلاح شود، الگوی تداخلی و ناهمواری

جبهه‌موج، در سلفه‌ی تصویربرداری حاصل، در شکل‌های ۱۵ و ۱۶ دیده

می‌شود. در شکل ۱۷، منحنی MTF در سلفه‌ای که به روش مرجع [2]

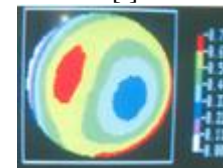
تنظیم شده است با منحنی MTF سلفه قبل از انجام تنظیمات و منحنی

MTF سلفه‌ی محدود به پرلش، مقایسه شده است.



شکل ۱۵، الگوی تداخلی حاصل از آزمون MTF بر روی سلفه پس از انجام تنظیمات به روش

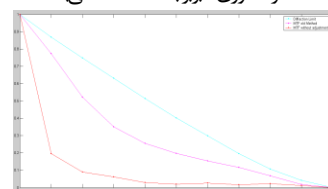
[2]



شکل ۱۶، نمایش ناهمواری جبهه‌موج در نتیجه‌ی عبور از سلفه پس

از انجام تنظیمات به روش [2]

حداکثر ناهمواری‌ها برابر با $PV=0.78$ می‌باشد.



شکل ۱۷، مقایسه‌ی نمودار MTF در سلفه‌ای که به روش [2] تنظیم شده است با منحنی

MTF سلفه قبل از انجام تنظیمات و منحنی MTF سلفه‌ی محدود به پرلش

در صورتی که هم‌مرکزی و همراستایی در عدسی‌ها به روشی که در این مقاله به

آن پرداخته شده است تنظیم شود، الگوی تداخلی و ناهمواری جبهه‌موج حاصل،

در شکل‌های ۱۸ و ۱۹ دیده می‌شود. در شکل ۲۰، منحنی MTF در سلفه‌ای

که به روش جدید تنظیم شده است با منحنی MTF همان سلفه که به

روش [2] تنظیم شده است، منحنی MTF سلفه قبل از انجام تنظیمات و

منحنی MTF سلفه‌ی محدود به پرلش، مقایسه شده است. همانگونه که از این

نتایج آزمون دیده می‌شود، 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 سلفه‌ی

تصویربرداری نسبت به روش مرجع [2] بیش از ۶۰ درصد افزایش یافته است.