بیست و سومین کنفرانس اپتیک و فوتونیک و نهمین کنفرانس مهندسی و فناوری فوتونیک ایران
دانشگاه تربیت مدرس
۱۲-۱۴ بهمن ۱۳۹۵
23rd Iranian Conference on Optics and Photonics and 9th Conference on Photonics Engineering and Technology
Tarbiat Modares University, Tehran, Iran
January 31- February 2, 2017

طراحی جبران‌کننده‌ی کامل تک عدسی با قابلیت تبدیل جبهه‌ی‌موج تخت به سهموی، به منظور اندازه‌گیری دقت سطوح سهموی به روش تداخل‌سنجی

مسعود مردانی [۱] ، امید سعادتمند [۲]

[۱و۲] شرکت صنایع الکترواپتیک صا ایران

در این مقاله با طراحی یک مجموعه‌ی اپتیکی جبران‌کننده‌ی کامل تک عدسی، جبهه‌موج تخت خروجی از یک تداخل‌سنج به جبهه‌موج سهموی تبدیل خواهد شد و با استفاده از آن سطوح غیرکروی سهموی مورد آزمون قرار خواهد گرفت. در روشی که در این مقاله به آن پرداخته شده است، طراحی جبران‌کننده‌ی کامل با استفاده از تنها یک تک عدسی انجام شده است که در آن یک سطح تک عدسی، غیرکروی می‌باشد. با تک عدسی شدن جبران‌کننده، در مقایسه با جبران‌کننده‌ی دو عدسی، نیازی به تنظیم دقیق فاصله‌ی بین دو عدسی، تنظیم دقیق هم‌مرکزی و هم‌راستایی دو عدسی نخواهد بود و به این طریق دقت اندازه‌گیری افزایش چشمگیر خواهد یافت. همچنین با تک عدسی شدن جبران‌کننده، خطای سطوح عدسی‌ها و همچنین خطای ناشی از همگنی ماده‌ی اپتیکی کاهش خواهد یافت.

کلید واژه: جبران‌کننده‌ی کامل، غیرکروی، سهموی، تداخل‌سنجی، طراحی اپتیکی

Design of perfect null compensator, using a single lens, with capability to converting flat wavefront to parabolic wavefront for testing parabolic surfaces with interferometry method

Masoud Mardani [1], Omid Saadatmand [2]

[1, 2] Electro-Optical Industries of Sa-Iran

In this article, by design of a single lens, perfect optical null compensator, flat output wavefront of an interferometer is converted to parabolic wavefront and by that, parabolic surfaces can be tested. In method that is presented in this article, design of null compensator is done by using of one single lens that one side of that is aspherical. By using this single element null compensator, in comparing by two elements null compensators, it is not necessary to do accurate adjustment of distance between these two lenses and also it is not necessary to do accurate adjustment of alignment of them and according to these, accuracy of measurements is increased significantly. In addition, by reduction of number of lenses, surface error of lenses and also error of homogeneity of optical materials is reduced significantly.

Keywords: perfect null compensator, Aspheric, Parabolic, Interferometry, Optical Design

این مقاله به شرط در دسترس بودن در وبگاه www.opsi.ir معتبر است.

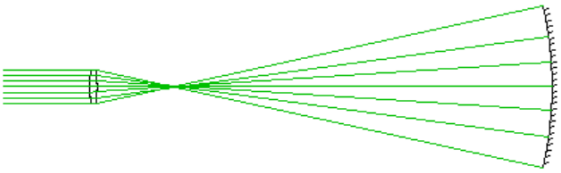
[Downloaded from opsi.ir on 2026-11-08]

مقدمه

در سامانه‌های تصویربرداری با قطر دهانه‌ی بزرگ نظیر تلسکوپ‌ها، استفاده از سطوح اپتیکی غیرکروی اجتناب ناپذیر است. به منظور ساخت سطوح غیرکروی، لازم است دقت سطح به روشی دقیق اندازه‌گیری شود، [3,4,5]. در [1] و [2]، به آزمون سطوح سهموی با طراحی جبران‌کننده‌ی کامل دو **عدسی** پرداخته شده است. در این مقاله یک روش تداخل‌سنجی ارائه خواهد شد که در آن با استفاده از تنها یک تک **عدسی** با قطر D=40mm، امکان اندازه‌گیری دقت یک سطح سهموی با قطر D=190.0mm ، شعاع R=434.6 mm و ثابت مخروطی k=-1.0 فراهم خواهد شد. جبران‌کننده‌ی تک **عدسی** طراحی شده یک سطح کروی با شعاع R=71.07 mm و یک سطح غیرکروی با شعاع R=248.78mm و ثابت مخروطی k=54.8 دارد. در این مقاله، در مقایسه با [1] و [2]، نیازی به انجام دقیق تنظیمات مربوط به فاصله‌ی دو **عدسی** و همچنین تنظیمات دقیق هم مرکزی و هم‌راستایی دو **عدسی** نخواهد بود و از این طریق دقت اندازه‌گیری افزایش محسوس خواهد یافت. همچنین به دلیل تک **عدسی** شدن جبران‌کننده، تاثیر خطای سطوح اپتیکی و همچنین همگنی مواد اپتیکی در اندازه‌گیری نیمرخ سطح سهموی مورد آزمون کاهش خواهد یافت.

طراحی چیدمان آزمون

در شکل۱ چیدمان آزمون سطح سهموی، در نرم افزار طراحی اپتیکی Zemax، [6]، دیده می‌شود. اطلاعات مربوط به طراحی این مجموعه در شکل۲ دیده می‌شود. در این چیدمان، جبهه‌موج تخت خروجی از تداخل‌سنج بر تک **عدسی** جبران‌کننده وارد و جبهه‌موج سهموی به منظور آزمون سطح سهموی، از آن خارج خواهد شد.



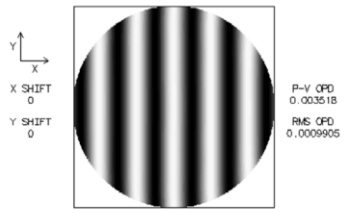
شکل۱: چیدمان اپتیکی پیشنهادی برای آزمون سطح سهموی با طراحی جبران‌کننده‌ی کامل تک عدسی

Ent beam radius 20.000000 Field angle 5.7296e-05 Primary wavln 0.63280

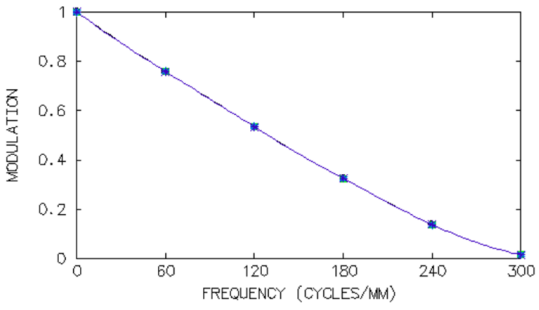
SRF	RADIUS		THICKNESS		APERTURE RADIUS		GLASS		SPECIAL
OBJ	0.000000		1.0000e+20		1.0000e+14		AIR		
AST	71.070000		9.000000		20.000000	AS	BK7	C	C
2	-248.780000		538.288977	V	19.138952	S	AIR		CA
3	-434.600000		-538.288977	P	95.000000		REFL_HATCH		A
4	-248.780000	P	-9.000000	P	19.138884	S	BK7	C	CA
5	71.070000	P	-100.000000		19.999945	S	AIR		C
IMS	0.000000		0.000000		20.000086	S			

شکل۲: اطلاعات مربوط به طراحی مجموعه‌ی جبران کننده‌ی کامل تک عدسی در نرم‌افزار Zemax

همانگونه که در الگوی تداخلی شکل۳ دیده می‌شود، جبران کننده‌ی طراحی شده، با بیشینه‌ی ناهمواری برابر با PV=0.003518λ (λ=0.6328μm) ، از دقت بسیار بالائی برخوردار است. منحنی MTF چیدمان اپتیکی شکل۱، حاصل از نرم‌افزار طراحی اپتیکی Zemax، که بیانگر کیفیت سیستم طراحی شده در فرکانس‌های فضایی مختلف می‌باشد در شکل۴ دیده می‌شود. در این شکل منحنی MTF بر منحنی MTF طرح محدود به پراش منطبق شده است که این مساله دلالت بر کیفیت بسیار بالای طراحی دارد.



شکل۳: الگوی تداخلی جبران‌کننده‌ی کامل تک عدسی طراحی شده



شکل۴: منحنی MTF جبران‌کننده‌ی کامل تک عدسی طراحی شده

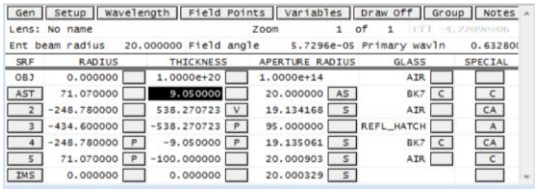
۳- تحلیل حساسیت چیدمان

۳-۱-حساسیت چیدمان به وجود خطا درضخامت مرکزی جبران‌کننده‌ی تک عدسی

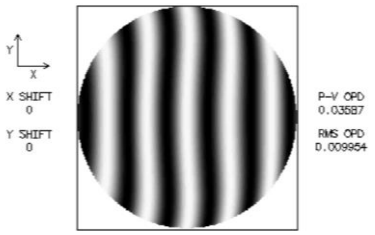
با اعمال خطا در ضخامت مرکزی عدسی جبران کننده به میزان 0.05mm ، در پنجره‌ی شکل۵، الگوی تداخلی مشابه شکل۶ خواهد شد. همانگونه که در این الگو دیده می‌شود، تاثیر این خروج از تلرانس در اندازه‌گیری دقت سطح سهموی مورد آزمون ناچیز می‌باشد.

این مقاله به شرط در دسترس بودن در وبگاه www.opsi.ir معتبر است.

[Downloaded from opsi.ir on 2026-11-08]



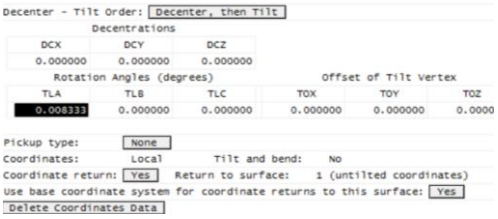
شکل۵: اعمال خطا به میزان 0.05mm در ضخامت عدسی جبران‌کننده



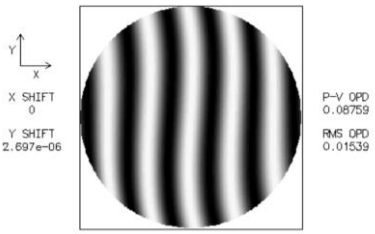
شکل۶: الگوی تداخلی در صورت خروج از تلرانس ضخامت مرکزی عدسی جبران‌کننده به میزان 0.05mm

۳-۲- حساسیت چیدمان به وجود خطای هم‌مرکزی عدسی جبران‌کننده‌ی کامل

با اعمال خطای هم‌مرکزی در عدسی جبران‌کننده‌ی کامل به میزان 0.008333°=30arcsec، در پنجره‌ی شکل۷، الگوی تداخلی مشابه شکل۸ خواهد شد. همانگونه که در این الگو دیده می‌شود، تاثیر این خروج از تلرانس در اندازه‌گیری دقت سطح سهموی مورد آزمون ناچیز می‌باشد.



شکل۷: اعمال خطا به میزان 0.008333°=30arcsec در هم‌مرکزی عدسی جبران‌کننده



شکل۸: الگوی تداخلی در نتیجه‌ی اعمال خطا به میزان 0.008333°=30arcsec در هم‌مرکزی عدسی جبران‌کننده

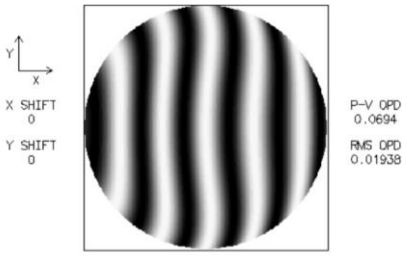
۳-۳-حساسیت چیدمان به وجود خطا در شعاع سطوح عدسی جبران‌کننده‌ی کامل

با اعمال خطا به میزان 0.03mm در شعاع سطح کروی عدسی جبران‌کننده، در پنجره‌ی شکل۹، الگوی تداخلی مشابه شکل۱۰ خواهد بود. همانگونه که در این الگو دیده می‌شود، تاثیر این خروج از تلرانس در اندازه‌گیری دقت سطح سهموی مورد آزمون ناچیز می‌باشد.

Ent beam radius 20.000000 Field angle 5.7296e-05 Primary wavln 0.632

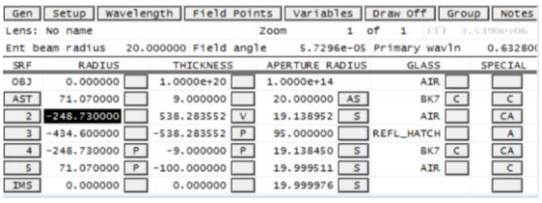
SRF	RADIUS		THICKNESS		APERTURE RADIUS		GLASS		SPECIA
OBJ	0.000000		1.0000e+20		1.0000e+14		AIR		
AST	71.040000		9.000000		20.000000	AS	BK7	C	C
2	-248.780000		538.257050	V	19.138588	S	AIR		CA
3	-434.600000		-538.257050	P	95.000000		REFL_HATCH		A
4	-248.780000	P	-9.000000	P	19.140348	S	BK7	C	CA
5	71.040000	P	-100.000000		20.001769	S	AIR		C
IMS	0.000000		0.000000		20.000549	S			

شکل۹: اعمال خطا به میزان 0.03mm در شعاع سطح کروی عدسی جبران‌کننده

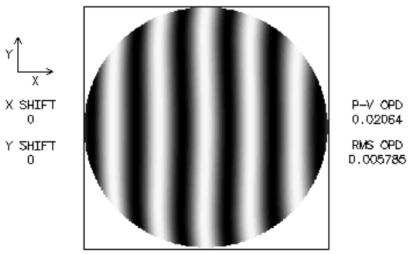


شکل۱۰: الگوی تداخلی در نتیجه‌ی اعمال خطا به میزان 0.03mm در شعاع سطح کروی عدسی جبران‌کننده

همچنین در صورت اعمال خطا به میزان 0.05mm در شعاع سطح غیرکروی عدسی جبران‌کننده، در پنجره‌ی شکل۱۱، الگوی تداخلی مشابه شکل۱۲ خواهد بود. همانگونه که در این الگو دیده می‌شود، تاثیر این خروج از تلرانس در اندازه‌گیری دقت سطح سهموی مورد آزمون ناچیز می‌باشد.



شکل۱۱: اعمال خطا به میزان 0.05mm در شعاع سطح غیرکروی عدسی جبران‌کننده



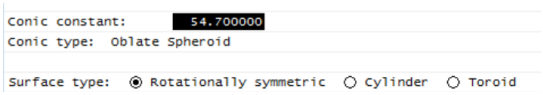
شکل۱۲: الگوی تداخلی در نتیجه‌ی اعمال خطا به میزان 0.05mm در شعاع سطح غیرکروی عدسی جبران‌کننده

این مقاله به شرط در دسترس بودن در وبگاه www.opsi.ir معتبر است.

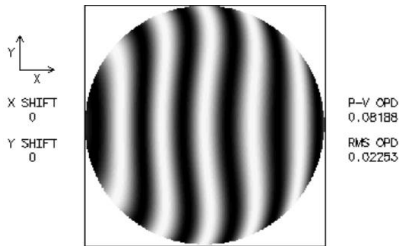
[Downloaded from opsi.ir on 2026-11-08]

۳-۴-حساسیت چیدمان به وجود خطا در ثابت مخروطی سطح غیرکروی عدسی جبران‌کننده

با اعمال خطا به میزان 0.1 در ثابت مخروطی سطح غیرکروی عدسی جبران‌کننده، در پنجره‌ی شکل۱۳، الگوی تداخلی مشابه شکل۱۴ خواهد شد. همانگونه که در این الگو دیده می‌شود، تاثیر این خروج از تلرانس در اندازه‌گیری دقت سطح سهموی مورد آزمون ناچیز می‌باشد.



شکل۱۳: اعمال خطا به میزان 0.1 در ثابت مخروطی عدسی جبران‌کننده



شکل۱۴: الگوی تداخلی در نتیجه‌ی اعمال خطا به میزان 0.1 در ثابت مخروطی عدسی جبران‌کننده

۴- نتیجه‌گیری

حد نهایی هر یک از تلرانس‌های ارائه شده در تحلیل حساسیت طرح، با توجه به قابل حصول بدون تلرانس در روند ساخت و همچنین با توجه به مطلوب بدون کیفیت طرح در صورت اعمال تلرانس استخراج شده است. در حساسیت طرح نسبت به خروج از تلرانس پارامترهای مختلف دیده می‌شود که بیشترین حساسیت مربوط به خطای سنترینگ جبران‌کننده می‌باشد و لازم است در روند ساخت با توجه ویژه مورد کنترل قرار گیرد. با توجه به تک عدسی بودن جبران‌کننده‌ی طراحی شده، در مقایسه با جبران‌کننده‌های دو عدسی طراحی شده در [1] و [2]، نیازی به انجام تنظیمات دقیق مربوط به فواصل عدسیها و همچنین تنظیمات دقیق پارامترهای هم‌مرکزی و هم‌راستایی بین عدسیها در مجموعه‌ی جبران‌کننده نخواهد بود و از این طریق دقت اندازه‌گیری افزایش چشمگیر خواهد یافت. همچنین با توجه به کاهش تعداد عدسیها، تاثیر خطای سطوح اپتیکی و همچنین تاثیر ناهمگنی مواد اپتیکی در دقت اندازه‌گیری کاهش خواهد یافت. از طرف دیگر با توجه به تک عدسی شدن جبران‌کننده، برپایی چیدمان آزمون، آسان‌تر و در مدت زمان کمتر امکان‌پذیر خواهد شد.

مراجع

[۱] امید سعادتمند، مسعود مردانی، حمیدرضا فلاح، مرتضی حاجی محمودزاده، "طراحی اپتیکی جبران‌کننده‌ی کامل به منظور انجام آزمون دقت سطح در آینه‌ی اولیه‌ی سهموی یک تلسکوپ فضائی"، هجدهمین کنفرانس اپتیک و فوتونیک ایران و چهارمین کنفرانس مهندسی فوتونیک، ۱۳۹۰

[۲] مسعود مردانی، امید سعادتمند، " طراحی جبران‌کننده‌ی کامل با قابلیت تبدیل جبهه‌ی‌موج تخت به سهموی، به منظور اندازه‌گیری دقت سطوح سهموی به روش تداخل‌سنجی"، بیست و دومین کنفرانس اپتیک و فوتونیک ایران و هشتمین کنفرانس مهندسی فوتونیک، ۱۳۹۴

[3] Daniel Malacara, *Optical Shop Testing*, 2007.

[4] J. R. Moya, and J. E. A. Landgrave, "*Third-Order Design of Refractive Offner Compensators*" Appl. Opt 26, 2667 (1987).

[5] A. Offner "A *null Corrector for Paraboloidal Mirrors*"Appl.Opt. 2,153 (1963).

[6] Optical Design Program User's Guide, October 15 2007, www.zemax.com

این مقاله به شرط در دسترس بودن در وبگاه www.opsi.ir معتبر است.

[Downloaded from opsi.ir on 2026-11-08]