



لیزر
تکنولوژی
فوتونیک

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



طراحی، شبیه سازی و ساخت مجموعه شیئی سامانه دو منظوره تلسکوپی دید مستقیم همراه با گیرنده اپتیکی

ایمان کامل جهرمی^۱، سید محمد صادق جهانمیری^۱، اسماعیل زاهدی^۲ و عبدالمجید رضازاده^۲

^۱ صنعت سامانه های الکترو اپتیکی، شرکت صنایع الکترونیک شیراز

^۲ مرکز توسعه فناوری قطعات اپتیکی، شرکت صنایع الکترونیک شیراز

چکیده - تشخیص اهداف و ارسال و دریافت لیزر اهمیت بسزایی در دانش، تکنولوژی و فناوری های مراقبتی دارد. در این مقاله، اصول طراحی بخش اپتیکی مجموعه ای شیئی تلسکوپی دید مستقیم برای تشخیص وسیله نقلیه در فاصله ۷ کیلومتری به همراه گیرنده اپتیکی کانونی کننده لیزر برگشتی از هدف بر روی آشکارساز ارائه می گردد. پس از طراحی و شبیه سازی اولیه، فرایند بهینه سازی و تلورانس گذاری مجموعه و ملاحظات لایه نشانی تا استخراج داده های نهایی جهت ساخت دستگاه آمده است.

کلید واژه- سامانه تلسکوپی، شیئی، گیرنده اپتیکی

Design, Simulation and Manufacturing of Telescopic Sight's Objective With Optical Receiver

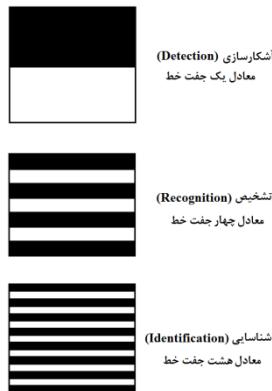
Iman Kaamel Jahromi ¹, Mohamadsadegh Jahanmiri ¹, Esmaeel Zahedi ², Abdolmajid Rezazadeh ²

¹ Electro-optic Industry, Shiraz Electronic Industry, Shiraz

² Optical Elements Manufacturing, Shiraz Electronic Industry, Shiraz

Abstract-Target recognition with Send and receive of laser beams are very important in Surveillance science and technology. In this paper we design the optical part of sight's objective for direct view optics to recognize a vehicle at distance of 7 Km with an optical receiver that collect and focus come back laser beams from target on detector. Then optimize our Design and finalize toleration. Afterward explain coating and some stations that in manufacturing must be applied.

Keywords: Objective, Optical Receiver, Telescopic Sight



شکل (۱): الگوی فرکانسی واجویی هدف (DRI)

بزرگنمایی:

در سامانه های دیدگانی از آنجا که خروجی آنها تصویری است که باید توسط چشم دیده شود بنابراین به گونه ای طراحی می شوند که با ویژگی های چشم سازگار باشد. توان تفکیک زاویه ای چشم یک دقیقه کمانی برابر با $۰/۳$ mrad است [۲]. نسبت توان تفکیک زاویه ای چشم به توان تفکیک زاویه ای تلسکوپ حداقل بزرگنمایی سامانه را تعیین می کند:

$$M = \frac{۰/۳}{۰/۸} = \frac{۳/۷۵}{۰/۸} \quad (۲)$$

در عمل برای اینکه کاربری که از تلسکوپ استفاده می کند، دچار خستگی چشم نشود، بزرگنمایی را بین دو تا سه برابر انتخاب می کنند [۱]. به همین دلیل در این سامانه از بزرگنمایی ۱۰ برابر استفاده می شود.

قطر مردمک ورودی مجموعه شبیئی:

قطر مردمک خروجی سامانه متناسب با قطر مردمک ورودی چشم در نظر گرفته می شود که از ۸ mm در نور کم تا ۲ mm در نور بسیار زیاد تغییر می کند، در نور معمول محیط برابر با ۴ mm انتخاب می گردد. بنابراین با توجه به بزرگنمایی مجموعه، قطر ناپوشیده دهانه مردمک ورودی ۴۰ mm بدست می آید. همچنین به دلیل صرفه جویی اقتصادی عدسی شبیئی به عنوان دهانه بند مجموعه در نظر گرفته می شود [۱].

فاصله کانونی موثر مجموعه شبیئی:

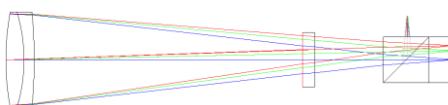
اگر F_0 فاصله کانونی موثر مجموعه شبیئی، Fe فاصله کانونی موثر مجموعه چشمی، Fr فاصله کانونی موثر مجموعه مستقیم کننده، M بزرگنمایی تلسکوپ، L طول تلسکوپ، R فاصله راحتی چشم و $S1$ و $S2$ همیوغ های

۱- مقدمه

امروزه از سامانه های دو منظوره تلسکوپی دید مستقیم به همراه گیرنده اپتیکی برای ردیابی، فاصله یابی و جستجوی اهداف به ویژه در حوزه تجسسی استفاده می شود. در این عرصه شرکت های تجاری و نظامی زیادی بر سر دستیابی به سامانه های با قدرت تفکیک و بزرگنمایی بیشتر جهت افزایش برد با هم رقابت می کنند. در چنین فضای رقابتی، با بهره گیری از رایانه و نرم افزارهای توانمند محاسباتی، حجم مبالغه اطلاعات به شکل چشمگیری افزایش یافته است. برای مثال رایانه ها در طراحی سامانه های اپتیکی زمان ردیابی پرتو را به کسری از ثانیه کاهش می دهند. این کار بوسیله ای نرم افزارهای طراحی اپتیک نظریر زیمکس (ZEMAX) و اسلو (OSLO) انجام می شود. در این نرم افزارها می توان از پرتوهای هندسی یا پرتوهای گاوسی استفاده کرد. در پرتوهای گاوسی تحلیل بر مبنای قطر لکه، واگرایی و برد ریلی پرتو انجام می شود. آنچه در طراحی دستگاه های اپتیکی با نرم افزار اهمیت دارد محوریت برنامه با انتخاب نقطه شروع مناسب است. پس از این بخش، طراحی سامانه را با ذکر اصول اپتیکی و با انتخاب عوامل موثر در تعیین نقطه شروع مناسب می آوریم. پس از آن در بخش سوم با متغیر قرار دادن شعاع و ضخامت لنزهای شبیئی و اعمال عملگرهای مناسب روند بهینه سازی دستگاه را بیان می کنیم و به تحلیل و بررسی نتایج از روی نمودارهای ارزیابی تصویر می پردازیم. سپس با تلورانس گذاری مجموعه و با توجه به نکات عملی در فرآیند ساخت و لایه نشانی، سامانه جهت ساخت مهیا می گردد.

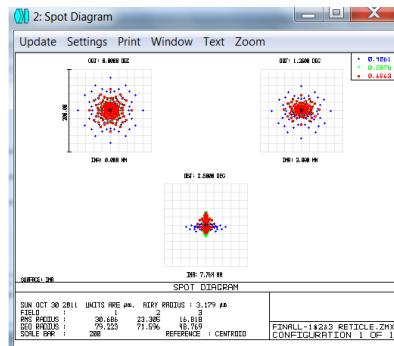
۲- اصول طراحی و تعیین مشخصات اپتیکی سامانه**توان تفکیک زاویه ای :**

بر طبق معیار ریلی، الگوی فرکانسی متناظر با سطوح مختلف واجویی هدف (DRI) در شکل (۱) نشان داده شده است. برای تشخیص وسیله نقلیه با ابعاد استاندارد $۲/۳m \times ۲/۳m$ در فاصله $Km = ۷$ جدایی دو نقطه قابل تفکیک از هم باید $۵/۷/۵$ cm باشد. از اینرو توان تفکیک زاویه ای سامانه تلسکوپی $۰/۰۸۲$ mrad به دست می آید.



شکل (۲): شماتیکی مجموعه‌ی شیئی و گیرنده

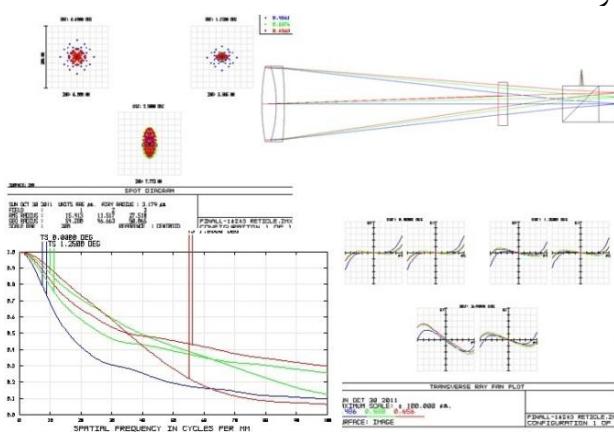
همچنین با توجه به اندازه قطر لکه در شکل (۳) چنین بر می‌آید که برای رسیدن به توان تفکیک زاویه‌ای مورد نظر، مجموعه نیاز به بهینه سازی دارد.



شکل (۳): نمودار اندازه قطر لکه مجموعه تصویر نشده

بهینه سازی :

برای این کار با تعیین معیار اندازه قطر لکه (*RMS Spot Radius*) برای تبع مریت پیش فرض و تعریف عملگرهای کنترل فاصله‌ی کلوفنی (*EFFL*) و قطر لکه (*RSCH*) و عملگرهای محدود کننده ابعاد و ضخامت لنز از قبیل (*MXCG*) و (*MNCG*) و نیز عملگرهای کنترل لبه لنز (*MNEG*) و متغیر قرار دادن شعاع ها و ضخامت ها با در نظر گرفتن ملاحظات ساخت اقیام به بهینه سازی مجموعه می نماییم [۳] [۴]. نمودارهای برخورد پرتو و اندازه قطر لکه به همراه تبع انتقال مدولاسیون در شکل (۴) نشان داده است. برای رسیدن به توان تفکیک زاویه‌ای مورد نظر، جذر میانگین مربعی شعاع لکه را به ۱۵ میکرون در روی محور سازه ایم که با شیب منحنی بسیار کم در نمودارهای برخورد پرتو کلاما مطلب دارد



شکل (۴): نمودارهای مختلف برای ارزیابی تصویر

مجموعه‌ی مستقیم کننده باشد معادله‌های زیر برقرار است [۱]:

$$F_e = \frac{M^{\tau} RL - F_O(M^{\tau} R + L)}{M^{\tau}(R + L) - F_O(M - 1)^{\tau}} \quad (2-2)$$

$$S_1 = \frac{-F_O(L - F_O - F_e)}{MF_e + F_O} \quad (2-3)$$

$$S_{\tau} = \frac{-S_1 M F_e}{F_O} \quad (2-4)$$

$$F_r = \frac{S_1 S_{\tau}}{S_1 - S_{\tau}} \quad (2-5)$$

$$\sum |\varphi| = |\varphi_o| + |\varphi_e| + |\varphi_r| \quad (2-6)$$

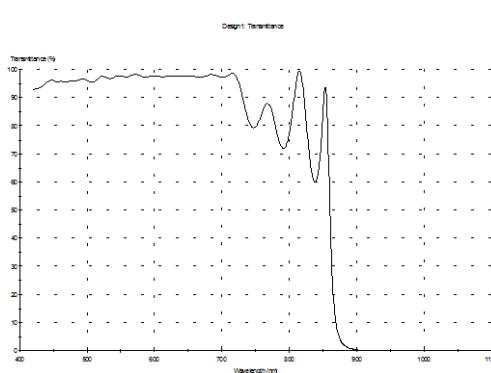
$$\varphi_i = \frac{1}{F_i} \quad i = e, o, r$$

۳- شبیه سازی و بهینه سازی

طول مناسب تلسکوپ از رابطه $L = F_O - S_1 + S_{\tau} + F_e$ بدست می آید اما با توجه به محدودیت‌های طول دستگاه که نباید بیشتر از ۱۷ اینچ باشد و توان کل تلسکوپ که باید مقنار کمینه لحاظ شود F_O را نزدیک به ۷ اینچ (۱۷۸ mm) در نظر می‌گیریم مجموعه‌ی شیئی تلسکوپ و گیرنده را جهت کلستان ایراهی‌های کروی و رنگی از ترکیب دو تابی افلام چسبیده شیشه‌های فلینت کراون (BK7) (۵۱۷۶۴۲) و (۴۸۳۳۹) F12 با دهانه ناپوشیده ۴۰mm در نظر گرفته و آنچه که لازم است قطر صفحه تصویر در فاصله کلوفنی معینی بر روی آشکارساز به کمتر از ۲۰۰ میکرون محدود شود لذاز دوتایی از نوع فرانهوفر چسبیده (*Cemented Fraunhofer*) استفاده شده است [۲]. با توجه به میدان دید تعیین شده برای گیرنده که دو برابر واگرایی لیزر ارسالی یعنی $mrad = 0.8 \times 0.4 = 0.032$ است، از رابطه

$$f.o.v = 2 \text{Arc tan} \left(\frac{D_i}{2f_o} \right) \quad (2-6)$$

با فاصله کلوفنی $f_o = 178 mm$ برای مجموعه‌ی شیئی و قطر صفحه تصویر D_i می‌توان نشان داد که برای لیزر برگشتی تا واگرایی ۸۰ میلی رادیان قطر تصویر همچنان کمتر از ۲۰۰ میکرون محقق می‌گردد برای بدست آوردن توان هر یک از عناصر، روش تقریبی رادر پیش گرفتیم توان عنصر اول را $11/54$ که تقریباً ۲ برابر عنصر دوم که یک عنصر منفی با توان $-5/97$ است در نظر گرفتیم با در نظر گرفتن ملاحظات قطر، شعاع عناصر و ZEMAX انتخاب ضخامت مناسب برای ساخت اطلاعات رادر نرم افزار وارد کرده که شماتیکی مجموعه‌ی مورد نظر را در شکل (۲) می‌بینید



شکل (۷): نمودار لایه نشانی عنصر پرتو شکاف

۴- نتیجه‌گیری

در این مقاله چگونگی طراحی و شبیه سازی وتولوئنس گذاری و ساخت مجموعه شیئی سلمانه دو منظوره‌ی تلسکوپی دید مستقیم به همراه گیرنده اپتیکی شرح داده شده است طراحی مجموعه شیئی نخست با بکارگیری اصول اولیه اپتیکی انجام گرفت سپس به منظور بهینه سازی سیستم و رسانیدن به توان نفکیک زاویه‌ای مورد نظر با انتخاب پارامترهای شعاع و ضخامت به عنوان متغیر و اعمال عملگرهای مناسب برای کاهش قطر لکه و ایراهی‌های سیستم و نیز کاهش قطر صفحه تصویر تا بعد ناحیه حساس آشکارساز مجموعه به حد پراش نزدیک می‌شود در ادامه پارامترهای متغیر مانند شعاع لحناء، ضخامتها و فواصل بهینه، بتولوئنس گذاری و توجه به نکات عملی فرآیند ساخت، آمده می‌شود از آنجا که در این سلمانه هر دو مجموعه‌ی تلسکوپی دید مستقیم و گیرنده لیزر بازگشتی، محور اپتیکی واحدی داشته و در یک مسیر واقع شده اند لذا نگرانی در خصوص هم محور سازی مجموعه وجود ندارد و این حیث حائز اهمیت است همچنین ساخت عناصر برای داشتن کمترین لحراف در مجموعه و لایه نشانی پرتوشکاف برای جداسازی نور لیزر از طیف مرئی از دقت بالای برشوردار است.

مراجع

- [۱] Warren J. Smith, *Modern Optical Engineering*, 3rd Edition, Mc Graw-Hill, 2000.
- [۲] Robert E. Fischer, BT Galeb, PR.Yoder, *optical System Design*, Second Edition, Mc Graw-Hill, 2008.
- [۳] Zemax Manual, *Optical design program user guid//2005*.
- [۴] R.R.Shannon, *The Art and Science of Optical Desing*, Cambridge university press, 1997.

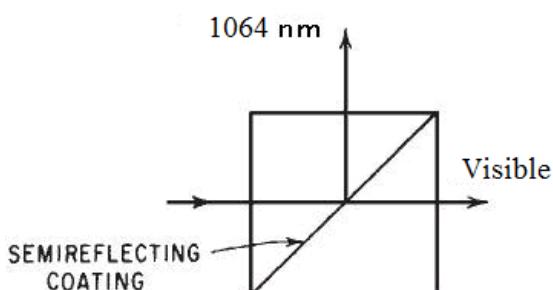
شیب منحنی در گوشه‌های تصویر برای نقطه خارج از محور(Off Axis) معادل مقدار اندازی کما است. همچنین درصد تبع انتقال مدولاسیون گواه این است که به کیفیت مطلوب تصویر موردنظر خود دست یافته ایم

شکل (۵): داده‌های ایراهی سیدل مرتبه سوم

پس از جام بهینه سازی و کاهش ایراهی‌های کروی و کما و نزدیک کردن سیستم به حد پراش می‌باشد داده‌های طراحی را با توجه به اینکه ساخت ضخامت‌های عدسی و شعاع‌های لحناء تنها تا در مقام اعشار امکان پذیر استه آمده کنیم این کار با تولوئنس گذاری بر روی داده‌های سیستم ضمن ثابت نگه داشتن فاصله‌ی کلونی موثر و کنترل پارامترهای حساس انجام می‌شود

ساخت و لایه نشانی:

لنز‌های اپتیکی علاوه بر داشتن سطوحی با صافی سطح $\lambda/20$ دارای هم محوری 17° ثالثیه می‌باشند تا پرتوهای نور با کمترین لحراف به سمت منشورهای راست گوشه دوتایی شده هدایت شوند در فرآیند ساخت این منشورهای سعی شده خلط‌ها به حداقل خود برسد و در نهایت با دقت زاویه‌ای، هرمیت و لحراف پرتو کمتر از 10° ثالثیه ساخته شده اند به طوری که پس از دوتایی نمودن نیز لحراف نور در آن‌ها به کمتر از 15° ثالثیه می‌رسد برای جدا سازی پرتو لیزر و طیف مرئی از هم، از یک ساختار پرتو شکاف دو ناحیه‌ای (Dichroic beam splitter) استفاده شده است در این ساختار، یک پوشش 20° لایه‌ای دی‌کتریک از مواد اکسید سیلیکون و اکسید تیتانیوم برای تبلیغ نور تحت زاویه 45° درجه طراحی و ساخته شده اند به طوری که عبور نور برای طیف مرئی بیشتر از 95% و بارتاب در طول موج 1064 nm نیز بیشتر از 99% باشد عنصر پرتو شکاف و نمودار پوشش در شکل (۶) و (۷) دیده می‌شود



شکل (۶): عنصر پرتو شکاف