بیست و هفتمین کنفرانس اپتیک و
فوتونیک ایران و سیزدهمین کنفرانس
مهندسی و فناوری فوتونیک ایران،
دانشگاه سیستان و بلوچستان،
زاهدان، ایران.
۱۴-۱۶ بهمن ۱۳۹۹

کد مقاله : A-۱۰-۲۴۹۹-۱

طراحی و شبیه سازی دوربین چندطیفی اپتیکی با کاربرد سنجش از دور

نجما معصومی[1]، مرضیه افخمی[2] و عبدالناصر ذاکری[3]

[1]بخش فیزیک،دانشکده علوم، دانشگاه شیراز، شیراز hidee.felavin@gmail.com
[2]پژوهشکده مکانیک شیراز، شیراز marziafkhami@gmail.com
[3]بخش فیزیک، دانشکده علوم، دانشگاه شیراز، شیراز zakeri@susc.ac.ir

چکیده - در این مقاله طراحی و شبیه‌سازی یک دوربین چند طیفی در بازه طول‌موج‌های مرئی و مادون قرمز نزدیک (VNIR) با کاربرد سنجش از دور مدنظر بوده است. بدین منظور طراحی تلسکوپ اشمیت-کسگرین با یک نگهدارنده‌ی سه پایه با قابلیت تفکیک چند طیفی برای میدان دید ۶ درجه و طول موج‌های ۰.۴۸ و ۰.۶۵ و ۰.۸۲ میکرومتر با استفاده از نرم‌افزار زیمکس شبیه-سازی و نمودار تابع انتقال مدولاسیون (MTF) آنها رسم شده است. نتایج حاصل، نشان می‌دهد که تفکیک طیفی با کیفیت تصویر خوب با کمترین ابیراهی ممکن. ایجاد شده است.

کلید واژه- تلسکوپ اشمیت-کسگرین، دوربین چندطیفی.

Design and simulation of a multispectral optical camera with the use of remote sensing

Najma Masoomi[1], Marzieh Afkhami[2], and Abdolnaser Zakeri[3]

[1]Dept. of Physics, College of Science, Shiraz University, Shiraz, Iran,hidee.felavin@gmail.com
[2]Institute of Mechanics,Shiraz, Iran,marziafkhami@gmail.com
[3]Dept. of Physics, College of Science, Shiraz University, Shiraz, Iran,zakeri@susc.ac.ir

Abstract- In this paper, the design and simulation of a multi-spectral camera in the range of visible and near infrared wavelengths (VNIR) with the use of remote sensing is considered. For this purpose, a Schmidt-Cassegrain telescope was designed with a tripod holder (spider) with multi-spectral resolution for 6-degree field of view and wavelengths of 0.48, 0.65 and 0.82 micrometers using ZIMAX simulation software and its modulation transfer diagram (MTF) isplotted. The results show that spectral resolution with a good image quality and the least possible aberration has been created.

Keywords: Schmidt-Cassegrain telescope, Multi-Spectral camera

این مقاله در صورتی دارای اعتبار است که در سایت www.opsi.ir قابل دسترس باشد.

مقدمه

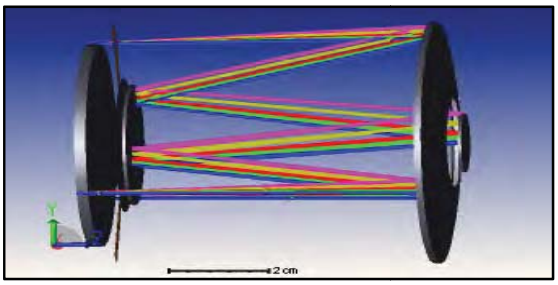
از تصویربرداری سنجش از دور، به دلیل توانایی پوشش همزمان یک منطقه بزرگ، می‌توان در کاربردهای مناطق استراتژیک مانند منابع آب، مناطق تحت کشت، نظارت بر مناطق بیابانی و غیره استفاده کرد؛ توانایی تشخیص دقیق خواص طیفی در تابش منعکس شده و انتشار در سطح و جو زمین، اطلاعات مفیدی را برای بسیاری از کاربردهای سنجش از دوربه خصوص در ماهواره‌های تصویربرداری از سطح زمین فراهم می‌کند[1]. سیستم تصویربرداری چندطیفیدارای قابلیت تفکیک ۳ تا ۱۰ باند طیفی در محدوده‌ی باند تصویربرداری است. هدف این مقاله دستیابی به پارامترهای کیفیت تصویری است که منجربه دریافت تصاویر چندطیفی با کیفیت مناسب در محدوده باندهای طیفی مرئی و مادون قرمز نزدیک شود.

طراحی دوربین چند طیفی

وقتی هدف طراحی و ساخت یک دوربین تصویربرداری سنجش از دور باشد توجه دقیق به تمامی پارامترهایی که سبب کاهش شدت نور بازتاب شده از هدف تا محل تشکیل تصویر می‌شود، بسیار حائز اهمیت است. در تصویربرداری چند طیفی انتخاب سیستم بازتابی نسبت به سیستم‌های شکستی ارجحیت دارد؛ دلیل این ترجیح این است که در سیستم‌های شکستی که از عدسی‌ها استفاده می‌شود، هر طول موج یک فاصله کانونی مجزا دارد و ابیراهی رنگی به عنوان یک معضل تاثیرگذار خود را نشان می‌دهد ولی سیستم‌های بازتابی این چالش بزرگ را ندارند. در بسیاری از سیستم‌های تصویربرداری سنجش از دور مانند ماهواره‌های تصویربرداری از تلسکوپ‌های بازتابی کسگرین استفاده می‌شود، این تلسکوپ که از یک آینه اصلی سهموی و آینه دوم هذلولی استفاده می‌کند، یک فاصله کانونی بلند را که لازمه سیستم‌های تصویربرداری سنجش از دور است ایجاد می‌کند[2]. آینه دوم کسگرین، مقدار همگرایی مخروط نور به وجود آمده از آینه اول را کم می‌کند که به این وسیله فاصله کانونی سامانه را افزایش می‌دهد. به عبارت دیگر، آینه دوم، فاصله کانونی آینه اول را بزرگنمایی می‌کند. در این تلسکوپ با وجود فاصله کانونی زیاد، طول لوله تلسکوپ (فاصله بین آینه اول و دوم) کم است. در این روش مرکز آینه اصلی تلسکوپ سوراخ شده و چشمی در پشت تلسکوپ قرار می گیرد. در تلسکوپ کسگرین به دلیل اینکه پرتوها طول لوله‌ی تلسکوپ را دوبار طی می‌کنند، طول تلسکوپ به نصف کاهش می‌یابد. برای برطرف کردن ابیراهی‌های موجود در تلسکوپ کسگرین و بهبود کیفیت تصویر، از طراحی اشمیت استفاده می‌شود. در تلسکوپ اشمیت یک تصحیح کننده غیرکروی چند جمله‌ای وارد می‌شود تا ابیراهی کروی تصحیح شود. از تغییر شعاع انحنا می‌توان برای تصحیح ابیراهی بازمانده استفاده کرد. ازآنجا که تصحیح‌کننده اشمیت در ورودی تلسکوپ قرار دارد، اندازه آن باید به همان اندازه دهانه ورودی بازتابنده باشد.در تلسکوپ‌های اشمیت باید پشت آینه دوم یک سطح سایه افکن وارد کرد تاحذف‌های داخلی در آینه اول و دوم ایجاد کند و طراحی به واقعیت نزدیکتر شود. برای نگه داشتن آینه ثانویه در تلسکوپ‌های کسگرین و اشمیت کسگرین از نگهدارنده‌ی سه پایه یا اسپایدر استفاده می‌شود که بدین ترتیب امکان تنظیم آینه دوم وجود خواهد داشت؛ تنظیمات می‌تواند شامل حرکت آینه دوم به سمت آینه اول، دور شدن از آینه اول و تنظیم شیب آینه ثانویه باشد. اسپایدر دارای بال‌هایی (Vans) است و این بال‌ها یک مانع در مسیر نور ایجاد می‌کند که سبب کاهش کیفیت تصویر خواهد شد. برای تشخیص کیفیت تصویر از دو نمودار MTF استفاده می‌شود. در نمودار MTF آنچه حائز اهمیت است، مقایسه‌ی نمودار به‌دست آمده با نمودار حد پراش است. در یک طراحی ایده‌آل هدف دستیابی به حد پراش است، در یک سامانه اپتیکی واقعی به دلیل وجود ابیراهی-ها کیفیت تصویر کاهش یافته و نمودارMTF آنها به کمتر

این مقاله در صورتی دارای اعتبار است که در سایت www.opsi.ir قابل دسترس باشد.

از حد پراش می‌رسد. در عمل، MTF سیستم تصویربرداری تنها حدود یک سوم مقداری که از طراحی اپتیکی بدست می‌آید، خواهد بود؛ این امر به دلیل تلورانس در ساخت و نرخ نمونه‌برداری محدود در آشکارساز است. برای یک سیستم تصویربرداری سنجش از دور دستیابی به MTF حدود ٪۱۰-۵ در فرکانس نایکوئیست مطلوب است، بنابراین در طراحی اپتیکی باید به MTF حدود ٪۳۰-۱۵رسید. فرکانس نایکوئیست سیستم با در نظر گرفتن آشکارسازی با ابعاد پیکسل ۱۰ میکرومتر حدود $cycle/mm$ ۵۰ خواهد بود. بنابراین رسیدن بهMTF بیش از ۰.۱۵ در فرکانس فضایی cycle⁄mm50هدف از این طراحی اپتیکی خواهد بود.در این مقاله ابتدا طراحی تلسکوپ اشمیت-کسگرین با حضور اسپایدر با دهانه ورودی برابر ۶ و فاصله کانونی موثر برابر با ۱۶.۵۹ سانتی‌متر برای میدان‌های ۰، ۱، ۴ و ۶ درجه، با استفاده از نرم‌افزار زیمکس شبیه‌سازی شده‌است (شکل۱). در طراحی تلسکوپ اسپایدر اشمیت، فاکتورهایی مانند جنس شیشه‌ی لنزها، ضخامت، شعاع انحنا، قطر و فاصله‌ی میان آن‌ها بسیار حائز اهمیت است. می‌توان با انتخاب بهینه‌ی این فاکتورها، ساختاری را به دست آورد که ابیراهی‌ها در آن کنترل شده باشد. با استفاده از بهینه-سازی می‌توان ابیراهی‌ها را درسیستم به حداقل رساند و کیفیت تصویر را ارتقاء بخشید. برای کنترل ابیراهی کروی و رنگی موجود در سیستم از لنز Even Asphere استفاده می‌شود. توان‌های مرتبه‌های زوج این لنز و شعاع آن از طریق بهینه کردن سیستم بدست می‌آید و بدلیل از بین رفتن ابیراهی‌ها، نمودار MTF آن بهبود می‌یابد. بعد از قرار دادن سطح مانع و اسپایدر پشت آینه دوم، به دلیل وجود پراش نور و جلوگیری از ورود نورهای اضافی، کیفیت تصویر کاهش می‌یابد. تلسکوپ طراحی شده شامل پنج سطح است که ویژگی‌صفحات آن‌ها در جدول ۱ آورده شده است. اعداد بر حسب سانتی‌متر بیان شده‌اند که با اعمال محدویت بر روی ضخامت و شعاع، پارامترهای بهینه به دست می‌آیند. در این طرح مرکز آینه اصلی تلسکوپ سوراخ شده و آینه ثانویه پرتوها را از میان سوراخ آینه‌ی اصلی به صفحه کانونی می‌رساند که آشکارسازها در این صفحه قرار دارند. همانطور که در شکل مشخص است، آینه ثانویه توسط یک نگهدارنده به نام اسپایدر در مسیر نور بین منبع و آینه‌ی اصلی به حالت معلق در آمده است. جنس تیغه اشمیت تصحیح‌کننده BK7G18 است که در برابر تشعشعات فضایی مقاوم است.

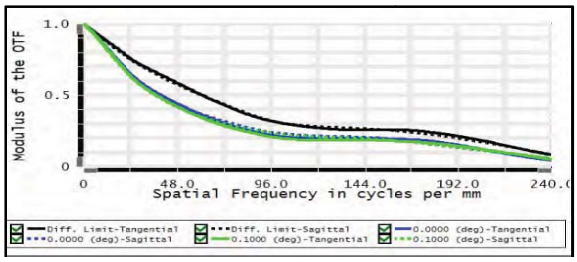


شکل۱: شماتیک از طراحی تلسکوپ اشمیت کسگرین اسپایدر

جدول ۱: داده‌های مربوط به صفحات تلسکوپ اشمیت کسگرین

شماره سطح	ضخامت	جنس	شعاع
Stop	Infinity	–	3
Even asphere	400	Bk7G18	3
Circular Obscuration	Infinity	-	2
Spider	Infinity	-	4
Standard	-20	Mirror	3.57
Standard	-20	Mirror	1.78

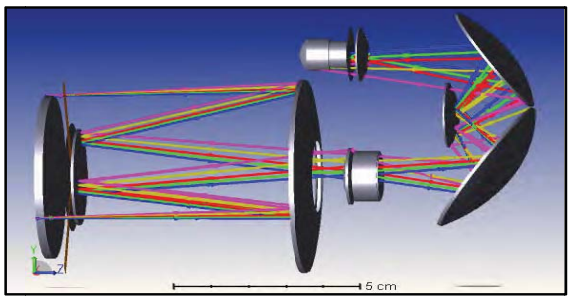
با اعمال محدویت بر روی ضخامت و شعاع پارامترهای بهینه به دست آمده‌اند، شکل ۲ نمودار MTF را نشان می‌دهد. همانطور که در شکل مشخص است داده‌های بدست‌آمده در میدانهای دور و نزدیک(خط سبز) در اطراف نمودار حد پراش(خط مشکی) هستند و این نشان‌دهنده کیفیت خوب تصویر است، مقدار MTF در فرکانس نایکوئیست حدود ۰.۲ است.



شکل ۲: نمودار MTF تلسکوپ اشمیت کسگرین اسپایدار برای میدان‌های دید ۰، ۲، ۴ و ۶ درجه بدون تفکیک طیفی.

این مقاله در صورتی دارای اعتبار است که در سایت www.opsi.ir قابل دسترس باشد.

با قرار دادن یک توری پراش و دو آینه کروی کاملا مشابه و مجموعه‌ای از لنزها در برابر نور خروجی، امکان تصویربرداری چندطیفی وجود خواهد داشت. نور پس از خروج از تلسکوپ به‌مجموعه‌ای از لنزها می‌رسد و به آینه اول برخورد کرده، بعد از انعکاس از آینه اول به توری پراش برخورد می‌کند و پس از برخورد با آینه دوم، به مجموعه‌ای از لنزها می‌رسد و از تلسکوپ خارج می‌شود (شکل۳).در جدول۲، مشخصات این طراحی بیان شده-است.

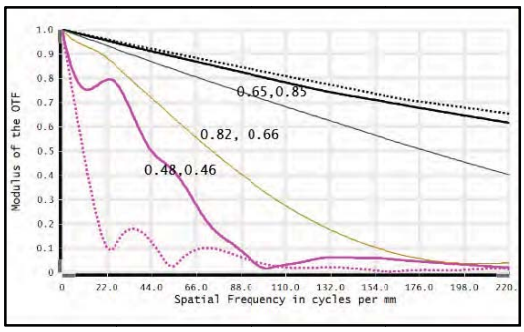


شکل ۳: شماتیک تلسکوپ اشمیت- کسگرین- چندطیفی

جدول2: داده های تلسکوپ اشمیت-کسگرین-اسپایدر چند طیفی

شعاع	جنس	ضخامت	سطح
2.738	Bk7G18	2.738	Back lens1
-1.854	Bk7G18	-1.854	Back lens2
1.655	Bk7G18	1.655	Back lens3
-4.747	Mirror	-2.615	Mirror1
-2.857	Mirror	2.615	Diffraction Grating
-4.747	Mirror	-5.490	Mirror2
8.285	Bk7G18	0.808	Front lens1
2.931	Bk7G18	0.509	Front lens2
-2.275	Bk7G18	0.195	Front lens3

نمودار MTF، تلسکوپ چندطیفی(شکل۴) برای طول موج‌های ۰.۴۸ و ۰.۶۵ و ۰.۸۲ میکرومتر رسم شده است. MTF برای این طول‌موج‌ها بالاتر از ۰.۲ در فرکانس نایکوئیست است و این نشان‌دهنده کیفیت تصویر خوب و طراحی مناسب است.در کنار هر نمودار طول‌موج‌های داده شده و MTF آن بیان شده است.



شکل۴: نمودار MTF تلسکوپ اسپایدر-کسگرین-چندطیفی برای فرکانس‌های ۰.۴۸ و 0.65 و۰.۸۲ (خطوط پر رنگ)

نتیجه گیری

در این مقاله طراحی و شبیه‌سازی یک دوربین تصویربرداری چندطیفی در ناحیه مرئی و مادون قرمز نزدیک مدنظر بوده است. برای طراحی این دوربین از طرح تلسکوپ اشمیت-کسگرین به همراه توری پراش استفاده شده است؛ برای نگه داشتن آینه ثانویه از یک اسپایدر سه باله استفاده شده است. تلسکوپ دارای دهانه ورودی برابر ۶ سانتی متر و فاصله کانونی موثر برابر با ۱۶.۵۹ سانتی-متر است که برای میدان‌های ۰، ۱، ۲، ۴ و ۶ درجه و طول موج‌های ۰.۴۸ و ۰.۶۵ و ۰.۸۲ میکرومتر با استفاده از نرم-افزار زیمکس طراحی و بهینه‌سازی شده است. نمودار MTF مقدار بیشتر از ۰.۲ در فرکانس نایکوئیست را نشان می‌دهد که نزدیک حد پراش است. با این مقدار MTF می‌توان کیفیت تصویر خوب با کمترین ابیراهی ممکن را از سیستم اپتیکی انتظار داشت.

مرجع‌ها

[1] H. Liu, S. H. Lee, and J. S. Chahl, “A multispectral 3-D vision system for invertebrate detection on crops,” *IEEE Sensors Journal*, vol. 17, pp. 7502–7515, 2017.

[2]R. Sigler, "Family of compact Schmidt-Cassegrain telescope designs," *Applied optics,* vol. ۱۳, pp. -۱۷۶۵ ۱۷۶۶, ۱۹۷۴.

این مقاله در صورتی دارای اعتبار است که در سایت www.opsi.ir قابل دسترس باشد.