طیف سنج نوری با تک آشکارسازبا به کارگیری پردازشگر نوری دیجیتال(DLP)

سهراب سمیع زاده

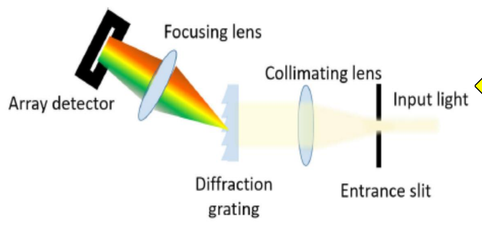
استاد راهنما: دکتر شاه آبادی

دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر، دانشگاه تهران

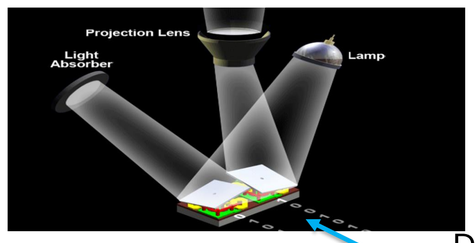
مقدمه

طیف سنج های نوری برای محاسبه ی توان نور در طول موج های مختلف به روش های متفاوتی ساخته می شوند که مهم ترین روش استفاده از پدیده ی پراش است.

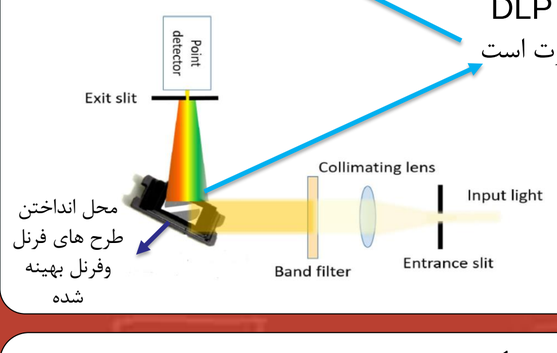
- طیف سنج های رایج مبتنی بر پراش ⟸



- هدف ⟸کاهش هزینه ی ساخت با کاهش تعداد آشکارسازها و لنزها به کمک طرح های فرنل و DLP، سپس بهینه سازی طرح ها برای افزایش پهنای باند و دقت تفکیک فرکانسی DLP شامل $768 * 1024$ آینه است که می توانند در زاویه 12+(روشن) یا 12-(خاموش) قرار گیرند.



هر آینه ی DLP به این صورت است



- جهت متمرکز کردن نور از طرح های فرنل بهره می بریم و برای پراش از ساختار تناوبی DLP و پراش بلیز استفاده می شود. ⟸

روش پیشنهادی

شبیه سازی نیازمند دانستن میدان پس از بازگشت از برخورد به DLP در نقاط مختلف است. برای این امر فرمول اندازه ی میدان را با فرض اینکه پلاریزاسیون موج ورودی موازی هرآینه ی DLP است و ورودی تنها یک موج صفحه ای تک فرکانس است محاسبه می شود:

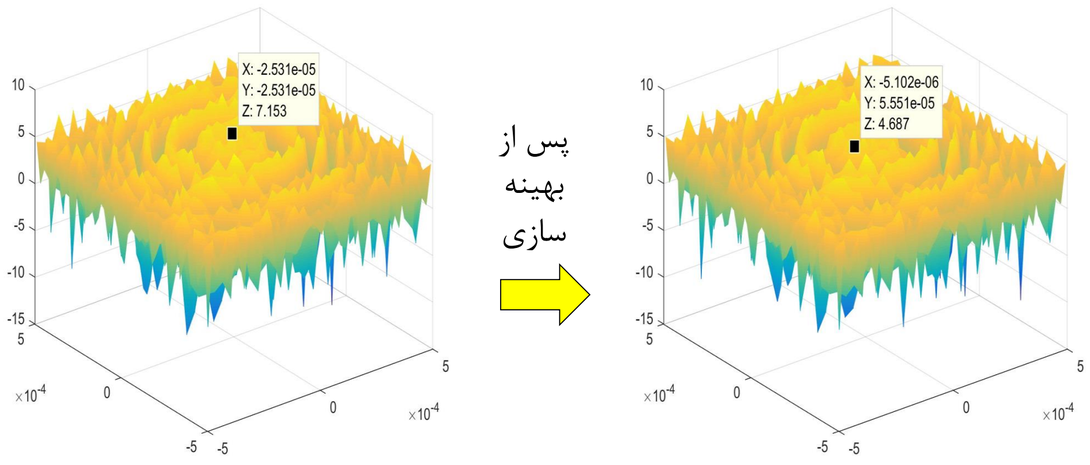
$$\vec{E}(x,y,z)=\frac{j\vec{A}}{\lambda z}e^{-jk_0z}\sum_{m=-511}^{512}\sum_{n=-383}^{384}T(m,n)e^{-j\,k_0[\sin(\theta)\cos(\phi)md+k_0\sin(\theta)\sin(\phi)nd]}e^{-\frac{j\pi\left((x-md)^2+(y-nd)^2\right)}{\lambda z}}$$

- $T(m,n)$: در صورت روشن بودن آینه 1+ و در غیر این صورت 1- است.
- $\sin(\theta)\cos(\phi)md+k_0\sin(\theta)\sin(\phi)nd$: با توجه به طراحی باید 24 درجه باشد.
- $(x-md)^2+(y-nd)^2$: با توجه به نوع DLP مورد استفاده باید 45 باشد.

به کمک الگوریتم Random Search سعی بر افزایش پهنای باند و دقت تفکیک فرکانسی با شروع از طرح های فرنل است . نتیجه برای افزایش پهنای باند برای $\lambda = 575nm$ به صورت زیر است:

پس از بهینه سازی

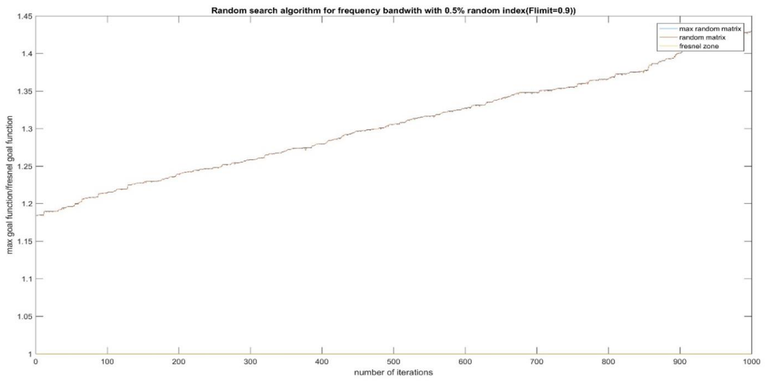
با توجه به این که برای طول موج مزاحم برای طول موج 718.5 nm،575nm می شود میدان این طول موج را برای دو حالت رسم می کنیم و مشاهده می شود که حدود 3db بهبود داریم اما به علت کاهش میدان طول موج اصلی مقدار واقعی حدود 2db می باشد.



نتایج

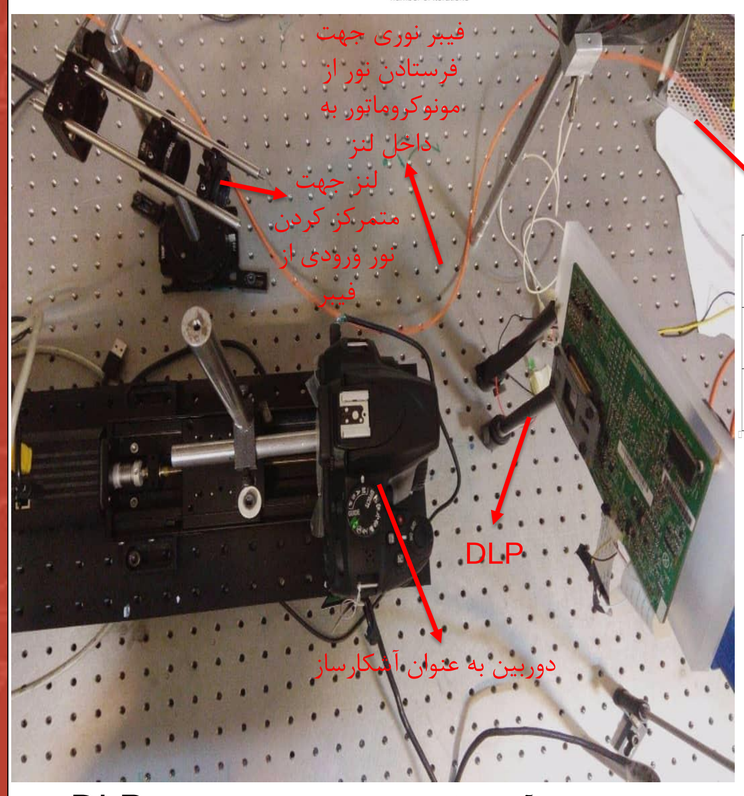
با توجه به امکانات آزمایشگاهی تنها می توان اثر افزایش پهنای باند را مشاهده کرد و فرکانس هایی که می توانیم اندازه گیری کنیم $\lambda = 515nm$ و $\lambda = 618nm$ پس نتایج شبیه سازی و اندازه گیری را برای این فرکانس درحالتی که طرح 618 نانومتر برروی DLP باشد در دو حالت مقایسه می کنیم:

شبیه سازی:



ملاحظه می شود که پس از 1000 مرتبه انجام عملیات بهینه سازی در نهایت نسبت توان 618 به 515 نانومتر به اندازه ی **1.53db** بهتر شده است که موجب افزایش پهنای باند می شود.

اندازه گیری:



نمونه ی آزمایشگاهی طیف سنج مبتنی بر DLP

پس از اندازه گیری به این نتایج رسیدیم

	طول موج ورودی 618 نانومتر	طول موج ورودی 515 نانومتر
اندازه ی میدان الگوی 618 نانومتر فرنل	165.8	42.07
اندازه ی میدان الگوی 618 نانومتر بهینه شده	163.7	36.26

$$A=\frac{Intensity\ of\ 618}{Intensity\ of\ 515}$$

$$A_{fresnel}=\frac{165.9}{42.07}=3.941$$

$$A_{optimized}=\frac{163.7}{36.26}=4.515$$

$$10\log\left(\frac{4.515}{3.941}\right)=0.59db$$

با توجه به محاسبات فوق نسبت نسبت شدت این دو طول موج در طرح بهینه شده $0.59db$ افزایش یافته است.

جمع بندی

ساخت طیف سنج با کمک DLP این ویژگی مثبت را دارد که قابل برنامه ریزی است و می توان بنا بر نیاز به یک ویژگی خاص به عنوان مثال پهنای باند یا قدرت تفکیک فرکانسی آن را تنظیم کرد. داشتن تنها یک آشکارساز و نبود تراش از مواردی است که می تواند هزینه ی ساخت را کاهش دهد. با استفاده از طرح های فرنل بهینه شده می توان پارامتر مورد نظر را بهتر و دقیق تر اندازه گیری کرد که جواب های آن مشاهده شد.

کاربرد های صنعتی:

طیف سنج نوری برای اندازه گیری طیف توان سیگنال بر حسب طول موج مورد استفاده قرار می گیرد. امروزه طیف سنج های نوری کاربرد وسیعی در مهندسی دارند و بسیاری از سنسورها مانند سنسوردما، سنسورهای شیمیایی و سنسورهای پزشکی از طیف سنج های نوری در داخلشان استفاده می‌کنند.

مراجع اصلی

1. A. Elahi and Mahmoud Shahabadi, “A grating-optic-less visible spectrometer using Fresnel zone plate patterns on a digital light processor,” *IEEE Sensors Journal*, 2018.
2. Saleh, B. E. A., & Teich, M. C. (1991). *Fundamentals of photonics*. New York:Wiley.
3. H. H. Barrett and F. A. Horrigan, “Fresnel zone plate imaging of gamma rays; theory,” Appl. Opt., vol. 12, no. 11, pp. 2686–2702, Nov 1973.