بیست و دومین کنفرانس اپتیک و فوتونیک ایران
و هشتمین کنفرانس مهندسی و فناوری فوتونیک ایران
۶ تا ۸ بهمن ماه ۱۳۹۴، دانشگاه یزد

طراحی، شبیه سازی و برپایی چیدمان سیستم فرستنده در فاصله یابهای لیزری مبتنی بر PSD

روح اله چالمه[۱] محسن حاتمی[۱] غلامرضا هنرآسا[۱] عبداله کشاورز ایمان کامل

[۱] شیراز، دانشگاه صنعتی شیراز، دانشکده فیزیک

شبیه سازی یک سیستم عدسی و لیزر برای یک فاصله یاب لیزری توانستیم توان خروجی و قطر لکه مناسب پرتو لیزر را محاسبه کنیم، این فاصله یاب بر اساس آشکارسازی به وسیله *PSD* کار می کند، این یک فاصله یاب دقیق است که اخیراً مورد استفاده قرار گرفته است. بر این اساس چیدمان آزمایشگاهی برپا شده و نشان دادیم که نتایج در فواصل حدود ۱ متری با نتایج شبیه سازی شده توافق دارد.

کلید واژه : فاصله یاب لیزری، آشکارساز PSD، دیود لیزر، همسو کننده، زیمکس

Transmitter design, simulation and setup layout, in laser rangefinders by using PSD detector

Roohollah chalmeh[1], Mohsen hatami[1], Gholamreza honar asa[1] Abdollah keshavarz Iman kamel

[1] **Shiraz university of technology**

By simulation we could calculated suitable output power and spot size for laser system range finder and lens. This rangefinder is designed by PSD. This rangefinder is studied in these years because of its accuracy. We set up an experimental system and show that the result of experimental is agree with simulation in the range of 1 meter.

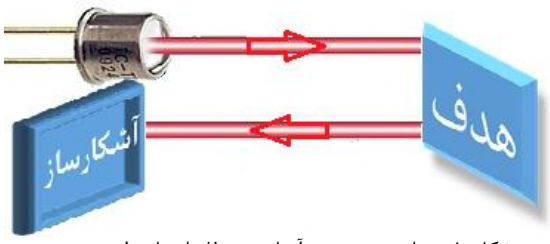
Keywords: laser rangefinder , PSD detector , diode laser , collimator , zemax

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

۱- مقدمه

امروزه یکی از روش‌های اندازه‌گیری دقیق، فاصله‌یابی لیزری است؛ که به علت غیرتماسی بودن این روش نسبت به روش‌های مرسوم دیگر از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. از دیگر مزایای اندازه‌گیری لیزری می‌توان به دقت بالای این روش اشاره کرد. متداولترین روشهای اندازه‌گیری به وسیله لیزر، شامل روش جابجایی فاز، روش FMCW و روش زمان پرواز و روش مثلثاتی است. این روش‌ها در محدوده چندین میلی‌متر تا چندین کیلومتر کاربرد دارند. نوع چینش عناصر اصلی در تمام روش‌های فاصله‌یابی لیزری به شکل زیر است:

- منبع لیزری، پرتو را در راستای مستقیم گسیل می‌دهد.
- هدف در فاصله و محدوده‌ای مشخص آن را دریافت و سپس مقداری از آن را بازتاب می‌کند.
- مقدار اندکی از پرتوهای بازتاب شده به سطح آشکارساز می‌رسند و آشکارساز بسته به نوع آن تحلیل را در مورد فاصله هدف نشان می‌دهد. آشکارساز می‌تواند در زوایا و فواصل مختلفی نسبت به منبع لیزری قرار گیرد که در اینجا فرض کرده‌ایم، هم‌راستا و در کنار منبع لیزری است.شکل(۱)



شکل ۱ : عناصر و چینش آنها جهت فاصله یابی لیزری

نوع آشکارساز و ویژگی‌های آن از قبیل طول موج دریافتی، میزان دقت، سطح بیشینه توان ورودی بر سطح آن، روش تحلیل فاصله و... تاثیر بسزایی در انتخاب روش فاصله‌یابی، نوع لیزر و محدوده اندازه گیری فاصله‌یاب دارد. یکی از معروف‌ترین انواع آشکارسازها پین-فوتودیود[۱]ها هستند[۱و۲]. PSD[۲] نوع خاصی از پین-فوتودیودها است که نسبت به موقعیت نور بازتابیده دریافتی از هدف مورد نظر بسیار حساس است. این نوع آشکارساز به دلایل منحصر به فردی از قبیل سرعت بالای پاسخ‌گویی در حدود $1\mu s$، آشکارسازی مرکز ثقل موقعیت لکه نوری و عدم وابستگی آشکارسازی به شکل لکه، موقعیت‌یابی عالی به صورت پیوسته و با دقت، در کاربردهایی از قبیل فاصله‌یابی بسیار دقیق اپتیکی در فواصل کوتاه، اندازه‌گیری جابه جایی با دقت بالا و... به کار می‌رود[3].

در این مقاله ابتدا مطابق با خصوصیات PSDها، طراحی سیستم فرستنده در فاصله‌یاب‌های لیزری مبتنی بر PSD را انجام دادیم، سپس با شبیه سازی آن، مدل را در حالت ایده‌آل بررسی و با برپایی چیدمان، نتایج عملی خود را با مدل شبیه سازی شده مقایسه کردیم.

۲- منبع لیزر

انتخاب منبع لیزر مناسب و در نتیجه پرتو لیزر مناسب، با توجه به مشخصات PSD خواهد بود. PSDی انتخابی ما متعلق به شرکت Hamamatsu مدل pin-cushion است که با توجه به خصوصیات آن الزاماتی که برای انتخاب لیزر خواهیم داشت عبارتند از:

جدول(۱) : خصوصیات PSD

پارامتر	علامت	کمینه	معمول	بیشینه
طول موج قابل آشکارسازی	λ (nm)	۳۲۰	-	۱۰۶۰
حساسیت به نور	$S(\frac{A}{w})$	-	۰/۶	-
توان ورودی اپتیکی	P_R (w)	-	۱۶/۶ و یا۱/۶۶	۱۶۷

جهت محاسبه توان معمول بر PSD از شدت جریان فوتونی که در برگه مشخصات به طور معمول $10\mu A$ و $1\mu A$ ذکر شده است[**3**]، استفاده می‌کنیم، از طبق رابطه حساسیت به نور آشکارساز که جریان فوتونی را با توان پرتو لیزر بر روی آشکارساز مرتبط می‌کند، خواهیم داشت:

$$P_{op}=\frac{I_{op}}{S}=\frac{۱۰}{۰/۶}=۱۶/۶۶\mu w \qquad (۱)$$

توان محاسبه شده در رابطه بالا برای جریان فوتونی $10\mu A$ به دست آمده است.

توان مورد نیاز فرستنده برای فاصله‌یابی برای حالتی که اندازه لکه کوچک‌تر از اندازه هدف باشد، به صورت زیر با توان دریافتی آشکارساز، فاصله، بازتابش هدف و میزان عبور محیط مرتبط خواهد بود[۴]:

$$P_T=\frac{۸P_rR^۲}{\sigma D^۲T_{op}} \qquad (۲)$$

۱. PIN Photodiode
۲. Position Sensitive Detector

P_R توان دریافتی توسط آشکارساز است، P_T توان منبع، σ ضریب بازتابش هدف، D طول اپتیکی گیرنده، T_{op} ضریب عبور اجزای اپتیکی فاصله‌یاب در رفت و برگشت است و R فاصله هدف خواهد بود.

اگر توان دریافتی در رابطه بالا(P_r) را $16/66\mu w$ قراردهیم و هدفی با بازتابش ۲۰ درصد را در فاصله کوتاه معمول ۳ متری قرار دهیم و ضریب عبور اجزای اپتیکی فاصله‌یاب را در هر مسیر به صورت معمول ۰/۹ و قطر گیرنده را نیز ۱۷ میلی متر در نظر بگیریم، توان فرستنده مناسب آن برابر با $25/89w$ خواهد بود.

به منظور به دست آوردن بیشینه و کمینه محدوده فاصله-یابی با توان به دست آمده، رابطه (۲) را به صورت زیر بازنویسی می‌کنیم

$$R=\sqrt{\frac{\sigma D^{2}T_{op}P_T}{8P_r}} \qquad (۳)$$

بیشترین توان یا۱۶۷میکروووات توسط PSD، درحالت کمینه فاصله‌یابی یا ۰/۹۵متر دریافت خواهد شد و در حالت بیشینه فاصله یابی یا ۹/۵۳متر، کم‌ترین توان معمول یا ۱/۶۶میکروووات دریافت خواهد شد. جدول (۲) به صورت خلاصه این محاسبات را نشان می دهد.

جدول (۲) : محاسبه توان پرتو لیزر در فواصل مختلف

توان دریافتی(μw)	۱/۶۶۶	۱۶/۶۶	۱۶۷
فاصله محاسبه شده(m)	۹/۵۳۷	3	۰/۹۵۲

با توجه به محاسبات توان انجام شده و جدول مشخصات PSD از یک دیود لیزر مناسب جهت منبع لیزر فاصله-یابی استفاده شده است. لازم به ذکر است، دیود لیزرها به خاطر اندازه کوچک، قیمت نسبتا پایین و طول موج مناسب پرتو لیزرشان، کاربردشان بسیار زیاد شده است و مناسب‌ترین گزینه هستند[۵]. مشخصات دیود لیزر انتخابی در جدول(۳) آمده است[۶].

۳- شبیه سازی اپتیکی اجزاء فرستنده

یکی از خصوصیات دیودلیزرها به جهت گوسی بودن توزیع شدت پرتو لیزر، واگرایی زیاد پرتو لیزر آن‌ها است و به جهت رسیدن بیشینه پرتوها به هدف، لازم است از یک همسو کننده در مقابل لیزر استفاده شود. یک همسو کننده مناسب شرط فاکتور کیفیت را نیز ارضا خواهد کرد[۷]. فاکتور کیفیت (β) شرایط اندازه گیری اثرات پراش را فراهم می‌کند و اعتبار طراحی اپتیک هندسی را تعیین می‌کند که به صورت زیر تعریف می شود:

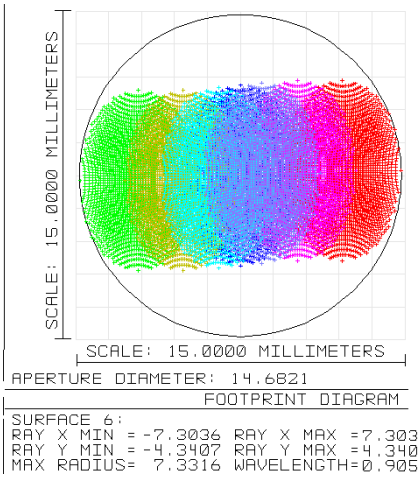
$$\beta=\frac{2\pi w_0 w_f}{d\lambda} \qquad (۴)$$

در معادله بالا w_0 شعاع پرتو ورودی و w_f شعاع پرتو خروجی همسوکننده است، λ طول موج پرتو و d فاصله بین سطح ابتدایی و سطح پایانی این عنصر است. هنگامی که $\beta\rangle 32$ باشد، آنگاه اثرات پراش ناچیز و اپتیک هندسی مناسب این سیستم است.

یک عدسی مناسب می‌تواند نقش یک همسو کننده را بازی کند، بنابراین یک عدسی مقعر غیرکروی با فاصله کانونی ۱۶/۵میلی‌متر و جنس اکریلیک و با قطر ۱۷میلی-متر انتخاب و صدق خصوصیات همسو کننده مناسب را برای این عدسی بررسی می‌کنیم.

جهت شبیه سازی خروجی لیزر و عدسی در فواصل و موقعیت های مختلف از نرم افزار زیمکس بهره برده شده است. در این نرم افزار مدل‌سازی کاملا در حالت ایده‌آل نمایش داده می‌شود و می‌توان اندازه لکه و میزان واگرایی و سایر اطلاعات مورد نیاز را مورد بررسی قرار داد.

درون نرم افزار، عدسی را مقابل خروجی دیود لیزر در همان فاصله کانونی و هدف را در فاصله مفروض ۱ متری از عدسی قرار می‌دهیم. با تغییر اندک فاصله عدسی و لیزر، کوچک‌ترین و مناسب‌ترین اندازه لکه روی هدف را مشاهده می‌نماییم که مقدار ۱۴/۶ میلی‌متر است. شکل۴ نمونه این لکه را نشان می‌دهد.



شکل ۴ : شکل لکه لیزر در فاصله ۱ متری

همچنین

جدول (۳) : مشخصات دیود لیزر

نوع پرتو لیزر	طول موج پرتو	توان متوسط پرتو	فرکانس پرتو	واگرایی پرتو ($\theta_x \times \theta_y$)	پهنای پالس	ابعاد خروجی (x×y) µm
پالسی	۹۰۵nm	۰/۰۲w	۱۰khz	۴/۵×۱۲/۵°	۸۰ns	۲۰۰×۱۰

در این فاصله شعاع لکه نوری روی سطح ورودی و خروجی عدسی را می‌یابیم. و فاکتور کیفیت را برای عدسی محاسبه می‌نماییم. با توجه به نرم افزار شعاع لکه بر سطح ورودی و خروجی عدسی را به همراه ضخامت عدسی در رابطه (۴) قرار می دهیم و مقدار فاکتور را محاسبه می‌کنیم:

$$\beta = \frac{2\pi \times 3/9 \times 4/5 \times 10^{-6}}{7/6 \times 905 \times 10^{-12}} = 16032 \qquad (5)$$

بنابراین عنصر اپتیکی قابل استفاده است. همچنین جهت بررسی تغییر واگرایی پرتو در نرم افزار زیمکس در قسمت ردیابی پرتو خواهیم داشت:

جدول(۸) : واگرایی پرتو لیزر در فواصل مختلف

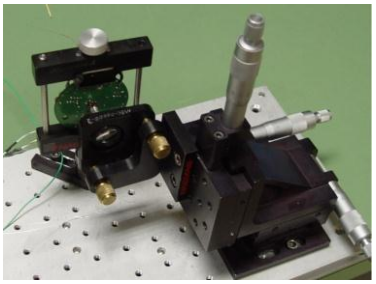
واگرایی پرتو در مقابل لیزر	$4/5 \times 12/5^{\circ}$
واگرایی پرتو در مقابل هدف	$0/007 \times 0/02^{\circ}$

بنابراین میزان واگرایی کاهش بسیار مطلوبی داشته است.

۴-برپایی چیدمان و مقایسه نتایج باشبیه سازی

با توجه به دقیق بودن فاصله‌یاب‌های لیزری و همچنین استفاده بهینه از پرتو لیزر، عناصر و المان‌های آن نیز باید با دقت خاصی نسبت با سایر عناصر قرار بگیرند.

همانطور که در شکل (۵) مشاهده می‌نمایید، با قرار دادن لیزر و عدسی مقابل آن بر روی صفحه اپتیکی و قرار دادن هدف در فاصله مختلف مقابل آن‌ها، کلیت چیدمان برپا شده است و حال باید با تنظیم دقیق آن به بهترین جواب دست یابیم. ابتدا با استفاده از لیزر هلیم نئون در یک راستا و در یک محور بودن دو مرکز عدسی و دیود لیزر را بررسی کردیم سپس با تغییر فاصله بین عدسی و لیزر توسط ریز سنج، کوچک‌ترین اندازه لکه نوری را به دست آوردیم، این فاصله همان فاصله کانونی واقعی عدسی است[۸] و در این فاصله پرتوهای نور لیزر بهترین هم-راستایی را دارند. جهت محاسبه اندازه لکه با توجه به گوسی بودن پرتو، با استفاده از روش روزنه قابل تنظیم، ابتدا به جای هدف در همان فاصله یک روزنه با دهانه متغیر قرار می‌دهیم، سپس یک توان‌سنج پشت آن قرار داده و تمام توان لیزر را دریافت می‌کنیم، آنگاه با کوچک کردن روزنه اندازه ۸۷درصد توان پرتو را می‌یابیم. این طول همان اندازه مورد نظر است، نتایج به دست آمده را در جدول(۹) مشاهده می‌نمایید، اندازه قطر لکه به صورت میانگین در راستای x برابر با ۱۴/۶میلی متر است.



شکل ۵ : نمونه منبع چیدمان

جدول(۹) : اندازه واقعی لکه پرتو لیزر در فاصله ۱ متری

سطح مورد نظر	شعاع لکه(راستای x) (mm)			
هدف(فاصله۱ متری)	۱۴/۴	۱۴/۷	۱۴/۷	۱۴/۵

۵- نتایج

در این مقاله طراحی و برپایی چیدمان یک سیستم عدسی و لیزر که به عنوان سیستم فرستنده جهت فاصله-یاب‌های مبتنی بر PSD استفاده می شود، ارائه شد. ابتدا با توجه به محدودیت‌های آشکارساز PSD، از قبیل محدوده طول موجی حساس، توان قابل دریافت و...، لیزر مناسب آن انتخاب گردید و به جهت واگرایی پرتو لیزر($4/5 \times 12/5^{\circ}$) ($\theta_x \times \theta_y$) از یک عدسی به عنوان همسوکننده با فاکتور کیفیت ۱۶۰۳۲ استفاده شد و در نتیجه زوایای واگرایی به($0/007 \times 0/02^{\circ}$) کاهش یافت. سپس با شبیه سازی این چیدمان، شعاع لکه نوری در فاصله نمونه ۱متری از آن را ۱۴/۶میلی متر به دست آوردیم و در نهایت با توجه به نتایج شبیه سازی، چیدمان برپا شد و مناسب‌ترین فاصله جهت عدسی و لیزر در نظر گرفته شد، خصوصیات لکه در عمل بررسی شد و به طور میانگین اندازه لکه ۱۴/۵۷میلی‌متر به دست آمد، که با نتیجه شبیه سازی توافق دارد و سیستم فرستنده جهت فاصله‌یاب آماده شد. البته وجود برخی خطاها اجتناب ناپذیر است. که عبارتند از:۱.خطای قرائت ۲.خطای درونی هر عنصراپتیکی ۳.در یک راستا نبودن دقیق مرکز عناصر

۷- منابع

[۱] Mohammad Nejad Sh., Comparison of TOF, FMCW and Phase-Shift LaserRange-Finding Methods by Simulation and Measurement , Quartarly Journal of Technology & Education Vol.1, No.1 Autumn 2006 .

[2] Kennedy , The basics of Triangulation Sensors, http://archives.sensorsmag.com/articles/0598/tri0598,May.1998.

[3]PSD(POSITION SENSITIVE DETECTOR),www.hamamatsu.com.

[4] VK arora, Proximity fuzes: Theory and Techniques, 2010.

[5] profile optische , basic notes laser diode , http://imedea.uibcsic.es/salvador/coms_optiques/addicional/profile/profilld.pdf, may2000.

[۶] laser diode datasheet , http://www.osram-os.com.

[۷] Serkan M. , Reshaping of a Divergent Elliptical Gaussian Laser Beam Into a Circular, Collimated, and Uniform Beam With Aspherical Lens Design , IEEE SENSORS JOURNAL, VOL. 9, NO. 1, JANUARY 2009.

[8] Pedrotti F., Introduction to optics, 1993.