بیست و هشتمین کنفرانس اپتیک و
فوتونیک ایران و چهاردهمین کنفرانس
مهندسی و فناوری فوتونیک ایران،
دانشگاه شهید چمران اهواز،
خوزستان، ایران.
۱۲-۱۴ بهمن ۱۴۰۰

تولید نمایه خطی پرتو لیزر دیود با استفاده از عدسی پاول: شبیه سازی و نتایج آزمایشگاهی

ابوالحسن مبشری، سید ایوب موسوی، مجتبی ارجمند

دانشگاه صنعتی مالک اشتر، مجتمع علوم کاربردی

A-moosavi@mut-es.ac.ir, Mobashery59@yahoo.com, arjmand.mj@gmail.com

چکیده – در این مقاله تغییر شکل لکه لیزر دیود سامانه لیدار اتومبیل به باریکه خطی مورد بررسی قرار گرفته است. تکنیک استفاده شده برای این تغییر شکل، استفاده از عدسی غیر کروی پاول است. در این نوع عدسی دو پارامتر شعاع انحناء و ثابت مخروطی باید به صورتی انتخاب شوند که یکنواختی شدت در تمام طول خط لیزر را تضمین کند. با استفاده از داده‌های توزیع شدت لیزر دیود، شبیه سازی عدسی موازی ساز و عدسی پاول در نرم افزار زیمکس انجام شده است. نتایج آزمایشگاهی به دست آمده تائید کننده صحت فرآیند طراحی و شبیه سازی است.

کلید واژه: ثابت مخروطی، شکل دهی پرتو، عدسی پاول، لیدار

Generating laser line of diode laser by means of Powell lens: simulation and experimental results

Abolhasan Mobashery, Seyed Ayoob Moosavi, Mojtaba Arjmand

Faculty of Applied Science, Malek Ashtar University of Technology, Iran

A-moosavi@mut-es.ac.ir, Mobashery59@yahoo.com, arjmand.mj@gmail.com

Abstract- In this paper, converting the spot light of LiDAR diode laser of self-driving cars (automotive) into a uniform linear beam is investigated. The technique used for this beam shaping is the use of Powell non-spherical lenses. To ensure the uniformity of intensity along the laser line, two critical parameters, the radius of curvature and conic constant, are obtained by optimization. Simulation of collimator lens and Powell lens were carried out in Zemax optical software by using the laser diode output ray data. The laboratory results confirm the accuracy of the design and simulation process.
Keywords: conic constant, beam shaping, Powell lens, LiDAR

[Downloaded from opsi.ir on 2026-09-04]

مقدمه

لیزرهایی که پالس‌های نوری با توان بالا و پهنای نانوثانیه تولید می‌کنند، اجزای کلیدی سیستم‌های آشکارسازی نور و فاصله یابی (LiDAR) برای رانندگی مستقل و تشخیص اشیا هستند [۱].

در سیستم LiDAR اتومبیل‌های خودران لازم است فاصله و زاویه اشیاء اطراف خودرو به صورت دقیق و پیوسته مشخص شود تا از برخورد با انسان و اشیاء جلوگیری شود. یکی از روش‌های اندازه‌گیری فاصله، زمان پرواز است که فاصله را با اندازه‌گیری زمان بازتاب نور ساطع شده از منبع نور از جسم مورد نظر محاسبه می‌کند. برای کاهش تعداد سیستم LiDAR و حذف سیستم‌های اپتومکانیکی که وظیفه جاروب پرتو در جلوی اتومبیل را دارند بهتر است که پرتو لیزر به یک خط لیزری تبدیل شود و پرتوهای بازگشتی توسط آرایه‌ای از آشکارسازها دریافت شود تا فاصله و موقعیت زاویه‌ای اشیاء مشخص شود. البته به علت کاهش چگالی شدت پرتوها در این حالت، باید از لیزردیودهای با توان بالاتر استفاده شود.

پرتوهای خروجی از لیزر دیودها واگرایی زیاد و نامتقارن دارند. بنابراین برای خطی سازی آنها لازم است اپتیک مناسبی برای آنها طراحی شود. یکی از روش‌های تولید الگوی خطی لیزر استفاده از عدسی استوانه‌ای است. اگر توزیع تابش لیزر گوسی در نظر گرفته شود و از یک عدسی ایده‌آل برای پهن کردن لکه لیزر استفاده شود، به دلیل توزیع غیر یکنواخت پرتو، شدت لکه لیزر در مرکز زیاد است و در لبه‌ها شدت کاهش می‌یابد. علاوه بر این، ابیراهی کروی ناشی از عدسی باعث می‌شود که لبه‌های خط بیشتر باز شود و کاهش بیشتری در شدت لبه‌ها را شاهد باشیم. کاهش شدت در لبه‌ی خط لیزر یک سیستم LiDAR، باعث کاهش توان سیگنال ارسالی و درنتیجه کاهش احتمال آشکارسازی سیگنال دریافتی در آن جهت می‌شود.

اگر قرار است یکنواختی در شدت حاصل شود، لازم است پرتوهای مرکزی واگرایی بیشتری را در مقایسه با پرتوهای لبه‌ای تحمل کنند. برای دستیابی به این ویژگی نوری، یک عنصر نوری ساده با دو سطح را در نظر می‌گیریم. سطح اول این عنصر نوری باید به صورتی طراحی شود که سرعت تغییر شیب پرتوها در مرکز سطح بیشتر باشد تا واگرایی پرتوها در این ناحیه با سرعت بیشتری تغییر کند و در لبه‌ها سرعت تغییر شیب کمتر باشد. سطح دوم این المان اپتیکی نباید یکنواختی پرتو را تغییر دهد. در این سطح صرفاً شکست اتفاق خواهد افتاد تا واگرایی پرتوها افزایش یابد بدون اینکه تداخلی در یکنواختی توزیع پرتوها داشته باشد. المان اپتیکی که چنین ویژگی داشته باشد عدسی پاول است[۲].

در این مقاله تبدیل نمایه نامتقارن یک لیزر دیود توان بالای چهار کاناله به خط لیزری متقارن مورد توجه قرار گرفته است و شبیه سازی آن با نرم افزار ZEMAX به همراه نتایج آزمایشگاهی ارائه شده است.

توصیف ریاضی عدسی پاول

عدسی پاول یک عدسی غیرکروی استوانه‌ای است که پرتو لیزر را به توزیع خطی تبدیل می‌کند. این عدسی متشکل از یک سطح مخروطی با شعاع انحناء کوچک و ثابت مخروطی نسبتاً بزرگ و یک سطح تخت است. سطح مخروطی در صفحه (y,z) با معادله زیر توصیف می‌شود [۳]:

$$z=\frac{cy^2}{1+\left(1-(1+Q)c^2y^2\right)^{1/2}}$$

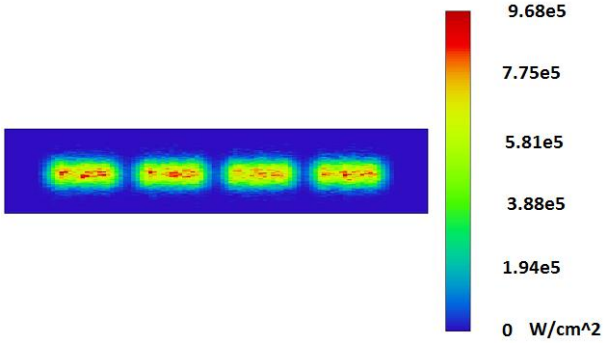
که در آن c=1/R انحنا سطح و Q ثابت مخروطی است. طراحی چنین عدسی به قطر پرتو لیزر، واگرایی پرتو خروجی، ضریب شکست عدسی و جهت عدسی نسبت به پرتو ورودی بستگی دارد. در عدسی پاول مقدار حاصل ضرب Qc بین ۰/۲۵ تا ۵۰ است [۴].

[Downloaded from opsi.ir on 2026-09-04]

نکته اصلی در مورد عدسی پاول، الزام کوچک‌تر بودن شعاع انحناء عدسی از قطر پرتو ورودی است. در این حالت خط لیزر تولید شده یکنواخت است. با کاهش بیشتر شعاع انحناء، توزیع شدت به سمت لبه‌ها جابجا می‌شود و شعاع انحناء بزرگ‌تر، توزیع شدت را به سمت مرکز خط جابجا می‌کند.

شبیه سازی لیزر دیود و موازی ساز آن

لیزر دیود در نظر گرفته شده برای سیستم LiDAR لیزر ۵۲۰ واتی محصول شرکت OSRAM با طول موج ۹۰۰ nm است. این لیزر از چهار بار دیودی تشکیل شده است که توان لازم را برای سیستم LiDAR فراهم می‌کند. فایل الگوی پرتوهای خارج شده از لیزر توسط شرکت سازنده ارائه شده است که امکان شبیه‌سازی آن را در نرم افزار زیمکس فراهم می‌کند. الگوی پرتو خروجی از لیزر در فاصله ۱/۱ mm از محل خروج پرتو به صورت شکل (۱) است که نمایه پرتو هر کدام از بارهای لیزری قابل مشاهده است.

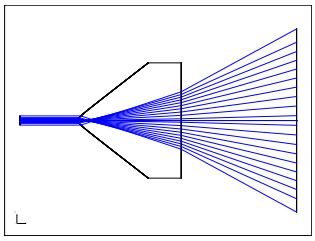


شکل (۱) الگوی شدت پرتو لیزر در فاصله ۱/۱ mm

واگرایی پرتو خارج شده از لیزر تقریبا ۲۰×۶ درجه است. برای اینکه بتوان لنز پاول را در جلو لیزر قرار داد، خروجی لیزر باید به صورت موازی درآید. برای این منظور از یک عدسی غیر کروی که لیزر در محل کانون آن قرار دارد استفاده شده است. فاصله کانونی عدسی موازی ساز mm ۴/۰۵ است که سطح دوم آن یک سطح غیر کروی even aspheric است که تا پارامتر۱۰-ام برای آن تعریف شده است. با استفاده از این عدسی واگرایی پرتو کاهش یافته و ابعاد آن پس از عدسی موازی ساز ۲mm×۳/۸ mm (H×V) است.

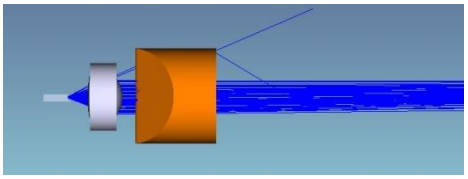
شبیه سازی عدسی پاول

برای شبیه سازی عدسی پاول در نرم افزار زیمکس، قطر پرتو لیزر ۲mm×۳/۸ mm در نظر گرفته شده است. جنس عدسی از ماده BK7، زاویه مخروط نور خروجی از عدسی ۶۰ درجه و طول کلی آن ۹ mm است. برای به دست آوردن شعاع انحناء و ثابت مخروطی عدسی، یکنواختی توان لیزر در طول خط، به عنوان معیار درنظر گرفته شده است و فقط ۱۵ درصد اختلاف توان بین لبه و مرکز خط لیزر مجاز در نظر گرفته شده است. بر این اساس در وضعیتی که شعاع انحناء عدسی ۰/۹ mm و ثابت مخروطی آن۱/۷- است، بهترین توزیع شدت به دست می‌آید. شکل (۲) عدسی طراحی شده را نشان می‌دهد.



شکل (۲) هندسه عدسی پاول برای تولید خط لیزری

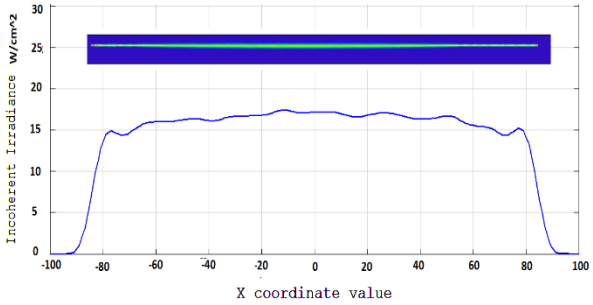
پس از عدسی موازی ساز، لنز پاول ۶۰ درجه در فاصله mm ۱/۵ از عدسی موازی ساز قرار داده شده است. این عدسی به صورتی قرار گرفته است که راس آن در راستای محور y، محور سریع لیزر، قرار گیرد.



شکل (۳) ترتیب قرار گیری المان‌ها در نرم افزار ZEMAX

[Downloaded from opsi.ir on 2026-09-04]

شکل (۳) ترتیب قرار گیری لیزر، عدسی موازی ساز و پاول لنز را نشان می‌دهد. بر اساس این شکل، عدسی پاول، پرتو لیزر را در راستای محور x که عمود بر صفحه است گسترش می‌دهد. الگوی شدت پرتو لیزر در فاصله ۱۵۰ mm از لیزر در شکل (۴) قابل مشاهده است. بر اساس این شکل، لیزر به صورت یک خط با شدت یکنواخت با زاویه گشودگی ۶۰ درجه هدف را روشن می‌کند.



شکل (۴) الگوی شدت لیزر پس از پاول لنز در فاصله ۱۵۰ mm

آزمون های تجربی

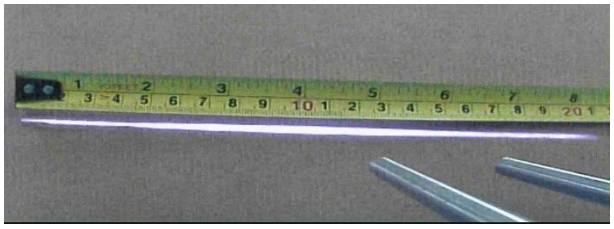
با توجه به شبیه سازی‌های انجام شده، عدسی موازی ساز و عدسی پاول مطابق داده‌های نرم افزار، خریداری و در مقابل لیزر دیود قرار داده شد و نتایج آن مورد بررسی قرار گرفت. شکل (۵) الگوی به دست آمده از لیزر دیود در آزمایشگاه قبل از عدسی موازی ساز را نشان می‌دهد.

شکل (۵) الگوی میدان نزدیک بزرگنمایی شده پرتو لیزر

پس از قرار گرفتن عدسی موازی ساز، لکه کوچکی از لیزر در فاصله ۵۰ mm تشکیل شده است که در شکل (۶) نشان داده شده است. با قرارگیری عدسی پاول پس از عدسی موازی ساز، نمایه خطی مورد نظر به دست آمد. شکل (۷) نمایه لیزر در فاصله ۱۵۰ mm از لیزر را نشان می‌دهد.

شکل (۶) نمایه پرتو لیزر در فاصله ۵۰mm از عدسی موازی ساز

اندازه گیری توان لیزر در نقاط مختلف طول خط لیزر نشان می‌دهد که افت شدت در لبه‌های خط کمتر از ۱۵٪ است.



شکل (۷) خط لیزر یکنواخت تولید شده در فاصله ۱۵۰ mm از لیزر

نتیجه گیری

در این مقاله با استفاده از یک عدسی پاول نمایه یک لیزر دیود به یک خط لیزری تبدیل شد. در این فرآیند، یک عدسی موازی ساز با f=4.5 mm پرتو غیر یکنواخت بارهای لیزری را به یک لکه ۲mm×۳/۸mm تبدیل می‌کند. سپس عدسی پاول با r=0.9 mm و ثابت مخروطی ۱/۷- نمایه خطی لیزر با زاویه ۶۰ درجه را تولید می‌کند. افت توان لیزر در لبه های خط کمتر از ۱۵٪ اندازه‌گیری شد.

مرجع‌ها

[1] Y Li, J Ibanez-Guzman,"LiDAR for autonomous driving: The principles, challenges, and trends for automotive lidar and perception systems," IEEE Signal Processing Magazine, Vol. 37, pp. 50-61, 2020.

[2] C-Y. Wang, Q-C. Tan1, R-H. Guo, "Design and Optimization of a Linear Laser Beam, "Lasers in Eng., Vol. 27, pp. 373–381, 2014.

[3] Radiant ZEMAX, Optical Design Program User's Manual, 2014.

[4] I. Powel, "liner diverging lens," US patent, 4828299, 1989.

[Downloaded from opsi.ir on 2026-09-04]

-

با تشکر از داوری مقاله، پاسخ ایرادهای داور محترم و تصحیح انجام شده به شرح زیر ارائه می شود.

۱- مقاله ویرایش نیاز دارد (شماره معادله ۱ به مکان منسب منتقل شود. نیم فاصله ها رعایت شود. تنوین ها گذاشته شود. شماره مرجع ۴ تصحیح شود.)

اصلاحات مورد نظر مطابق نظرات داور محترم انجام شده است.

۲- -نویسنده در چکیده و نتیجه گیری نوشته است که ثابت مخروطی بزرگتر و شعاع انحنای کوچکتر شدت یکنواخت تر را می دهد. اولا اگر این طور است چرا تغییر داده نشده است تا همان ۱۰٪ خطا نیز کاهش یابد. دوماً اصلا این موضوع بررسی نشده است و فقط بعد از بهینه سازی جوابی برای آن دو کمیت به دست آورده اند. بنابرین بایستی این نتیجه گیری حذف شود.

تغییر شعاع انحنا و ثابت مخروطی در طول کل فرآیند انجام شده است . بررسی‌های انجام شده نشان می‌دهد که به دلیل غیر یکنواختی ذاتی نمایه گوسی پرتو لیزر مورد اشاره در مقاله، یکنواختی کامل شدت امکان پذیر نبود و اعمال تغییرات بیشتر در شعاع انحنا و ثابت مخروطی منجر ه کاهش شدت در مرکز پرتو و از دست دادن توان کل خواهد شد. به دلیل محدودیت تعداد صفحات مقاله، این نتایج در مقاله ذکر نشده است. بنابراین، مطابق نظر داور محترم، نتیجه ذکر شده در چکیده و بخش نتیجه گیری حذف شده است.

.

[Downloaded from opsi.ir on 2026-09-04]