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

مشخصه یابی تصویربردار استوکس رنگی

سیف‌اله رسولی ، پیمان سلطانی و پوریا امیری

دانشکده فیزیک، دانشگاه تحصیلات تکمیلی علوم پایه زنجان، زنجان

rasouli@iasbs.ac.ir

چکیده – در این مقاله مشخصه یابی دوربین استوکس رنگی ساخته شده، ارایه می‌شود و اندازه‌گیری پارامترهای استوکس مربوط به نمونه‌های مختلف در تصویر این دوربین پرداخته شده است. این دوربین با استفاده از پارامترهای استوکس قادر به تشخیص قطبش نور در تصویر است. چیدمان مخصوص برای ساخت این دوربین ارایه شده و در ادامه به بررسی و مشخصه یابی دوربین تصویربرداری استوکس رنگی پرداخته شده است. با استفاده از این دوربین، زاویه قطبش نور در نمونه‌های مختلف در تصویر اندازه‌گیری می‌شود.

کلید واژه- استوکس، تصویربرداری، قطبش سنجی.

Characterization of a color stokes imager

Saifollah Rasouli, Peyman Soltani, and Pouria Amiri

Department of Physics, Institute for Advanced Studies in Basic Sciences, Zanjan, Iran,
rasouli@iasbs.ac.ir

Abstract-In this work, the characterization of the built-in color Stokes camera is presented and the measurement of the Stokes parameters related to different samples in the image of the camera is discussed. The camera is able to detect the polarization of light in the image using Stokes parameters. The special layout is provided for the construction of the camera, and in the following, the color Stokes imaging camera is examined and characterized. Using the camera, the angle of polarization of light in different samples in the image is measured.

Keywords: Imaging, polarimetry, Stokes.

[Downloaded from www.opsi.ir on 2025-07-28]

مقدمه

رفتاری که مواد مختلف در مقابل پرتوهای نور از خود نشان می‌دهند به عنوان خواص نوری مواد شناخته می‌شود. شدت، طول موج و قطبش از ویژگی‌های مهم نور هستند. بررسی میزان شدت نور بازتابی یا عبوری از مواد در طول موج‌های مختلف در یک زاویه تابش خاص بستگی به ضریب شکست آن ماده دارد. وابستگی به ضریب شکست یعنی وابستگی به جنس مواد و این همان ویژگی مهم است که از این طریق می‌توان با استفاده ازقطبش نور، ویژگی مواد مختلف را مورد بررسی قرار داد.

پارامترهای استوکس مجموعه‌ای از چهار کمیت از جنس شدت هستند که حالت قطبش نور را بطور کامل توصیف می‌کنند که به عنوان یک جایگزین مناسب برای توصیف تابش قطبیده جزئی نور بر حسب شدت آن است که با روابط (۱) بیان می‌شوند[۱].

$$\begin{aligned} S_0 &= E_p E_p^* + E_s E_s^* \\ S_1 &= E_p E_p^* - E_s E_s^* \\ S_2 &= E_p E_s^* + E_s E_p^* \end{aligned} \qquad (۱)$$

در این رابطه $\mathbf{S_i}$ مولفه‌های بردار استوکس و $\boldsymbol{E_p}$ و $\boldsymbol{E_s}$ میدان در جهت محورهای S و P است.

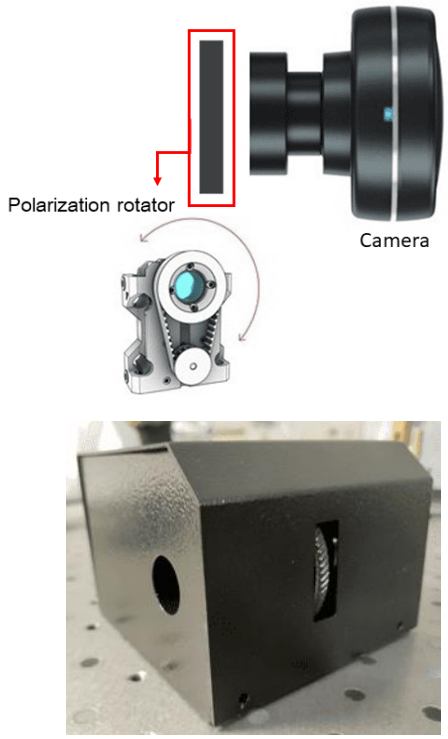
دوربین استوکس از یک سیستم تصویرساز به همرا قطبشگر های خطی تشکیل شده است و به منظور ثبت اطلاعات قطبشی نور بازتابی از اجسام استفاده می‌شود و کاربردهای فراوانی در زمینه‌ی فناوری سنجش از راه دور، تصویربرداری پزشکی و ... دارد.

یک رابطه‌ی خطی بین پارامترهای استوکس و توزیع شدت تصاویر ثبت شده از اجسام مختلف در زوایای قطبش ۰، ۴۵، ۹۰ و ۱۳۵ درجه وجود دارد که اگر تصاویر قطبشی دقیقا در این زوایا ثبت شود، پارامترهای استوکس را می‌توان از رابطه‌ی ماتریسی (۲) به‌دست آورد[۲].

$$\begin{bmatrix} S_0 \\ S_1 \\ S_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.5 & 0.5 & 0.5 & 0.5 \\ 1 & -1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -1 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_{0^\circ} \\ I_{45^\circ} \\ I_{90^\circ} \\ I_{135^\circ} \end{bmatrix} \qquad (۲)$$

در دوربین استوکس رنگی(RGB)، نور ورودی از یک قطبشگر می گذرد، از آنجا که نور بازتاب شده ازنمونه های مختلف در محیط با ویژگی های نوری متفاوت دارای درجه قطبیدگی و جهت قطبش متفاوتی می باشند، با چرخاندن محور قطبشگر در زوایای بالا می‌توان توزیع هرکدام از پارامترهای استوکس را در هریک از باندهای طیفی RGB مشخص کرد.

در این مقاله به ارایه یک نمونه دوربین تصویربردار استوکس رنگی پرداخته شده است. در این طرح دوربین از چیدمان شکل ۱ استفاده شده است که اطلاعات قطبشی و رنگی از نمونه به‌طور همزمان ثبت می‌شود. با توجه به روابط داده



شکل ۱: چیدمان و تصویر دوربین استوکس ساخته شده.

[Downloaded from www.opsi.ir on 2025-07-28]

شده و مشخصه‌های مورد نیاز برای تصویربرداری استوکس نمونه دوربین تصویربرداری که در شکل ۱ مشاهده می‌کنید ساخته و بررسی شد.

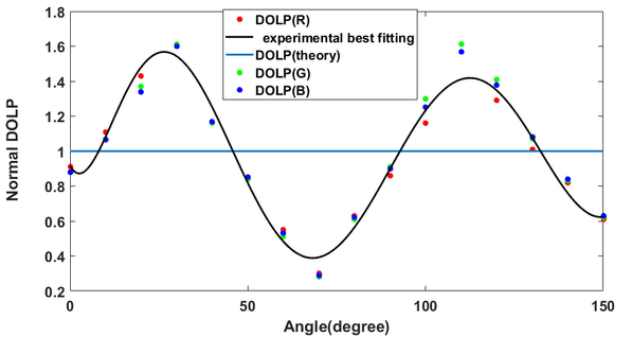
در این چیدمان از یک دوربین رنگی" ۱/۳ CMOS و قدرت تفکیک ۱,۲مگاپیکسل و سیستم روتاری برای چرخاندن قطبشگر با سیستم سروو موتور استفاده شده است.

مشخصه یابی دوربین استوکس رنگی

کالیبراسیون دوربین شامل تعیین ماتریس برهمکنشی است که تصاویر به دست آمده را به پارامترهای استوکس پیوند می دهد. دقت کالیبراسیون را می توان با اندازه گیری درجه قطبش خطی (DOLP) یک قطبش چرخان تخمین زد[۳].

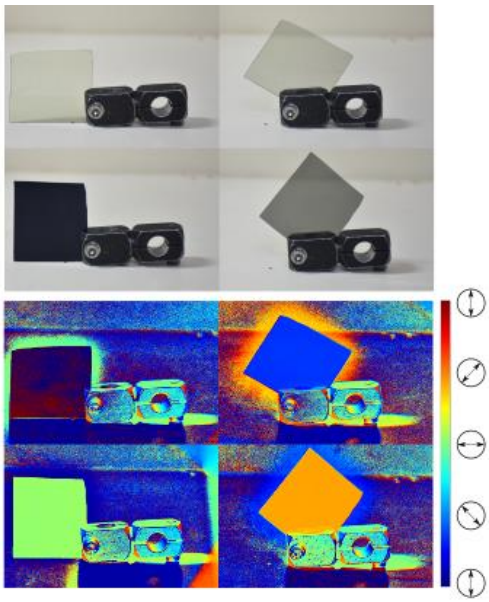
$$DOLP = \frac{\sqrt{S_1^2 + S_2^2}}{S_0} \qquad (۳)$$

درجه قطبش خطی برای نور با قطبش یکنواخت، ثابت است، برای این منظور با قرار دادن یک قطبشگر خطی جلوی دریچه دوربین استوکس و چرخاندن این قطبشگر از زاویه صفر تا ۱۵۰ درجه نمودار تغییرات DOLP این دوربین را برای درجه های مختلف قطبشگر در باندهای طول موجی RGB به‌دست می‌آوریم، شکل۲.



شکل ۲: نمودار تغییرات DOLP دوربین استوکس در زوایای قطبش مختلف نور در باندهای طول موجی RGB.

برای بررسی درستی عملکرد این چیدمان، از چهار تصویر نمونه استفاده شده است که در شکل ۳ مشاهده می‌کنید.



شکل ۳ تصویری که برای بررسی درستی کار دوربین گرفته شده، به همراه نتیجه خروجی دوربین. در شکل سیاه و سفید بالا یک تیغه قطبشگر بر روی یک پایه نود درجه، در چهار زاویه مختلف قرار گرفته است و در شکل رنگی پایین، با توجه به رنگ تیغه‌ها می‌توان محور قطبش را مشخص کرد.

در هر تصویر مورد استفاده در این شکل یک قطبشگر وجود دارد که در یکی از چهار زاویه صفر، چهل و پنج، نود و صد درجه قرار دارد. سپس با استفاده از دوربین استوکس مورد مطالعه جهت قطبش هریک از صفحات قطبشی در زوایای مختلف اندازه‌گیری شده است.

در شکل ۴ تصاویری از قطبش یک جسم مکعبی، پایه اپتیکی نود درجه و عینک آفتابی آمده است و همانطور که نشان داده شده است جهت قطبش ها توسط دوربین استوکس اندازه‌گیری شده است.

همانطور که در شکل ۴ ملاحظه می‌فرمایید قطبش عینک آفتابی در زاویه‌ی صفر درجه برای حذف نورهای انکاسی از سطوح قرار دارد و همچنین تغییرات قطبش نور روی وجه‌های مختلف یک جسم مکعبی را نشان می‌دهد.

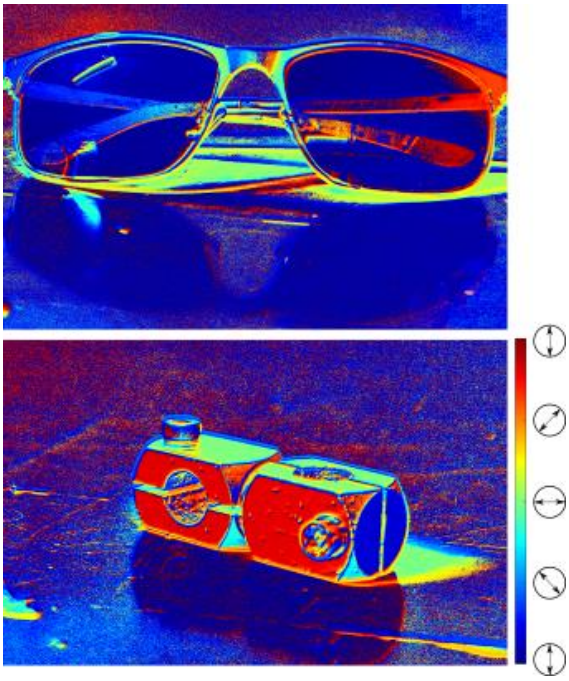
[Downloaded from www.opsi.ir on 2025-07-28]

نتیجه‌گیری

در این مقاله ابتدا به بررسی و مشخصه یابی دوربین تصویربرداری استوکس رنگی پرداخته شد و با استفاده از آن قطبش نور در اشیاء مختلف بررسی شد. نتایج حاصل نشان داد که این دوربین برای تحلیل و بررسی قطبش نور در اشیاء و باریکه‌های نوری مختلف به خوبی عمل می‌کند.

نتایج بدست آمده از دوربین تصویربرداری استوکس رنگی با نمونه‌های مشابه خارجی از نظر کیفیت برابری کرده و به راحتی می‌تواند زاویه‌های قطبش نور را مشخص کند. همچنین با استفاده از این روش می‌توان میزان خمش سطح را هم مشخص کرد. همچنین نشان داده شده است که مشخصات تصویربردار قطبشی برای هر سه باند طول موجی RGB یکسان عمل می‌کند.

شکل ۴: دو نمونه از دیگر نتایج برای عکس‌برداری از اجسام با دوربین



استوکس. به ترتیب از بالا به پایین، عینک آفتابی و تبدیل نود درجه اپتیکی.
در این شکل زاویه قطبش بازتاب شده از این سطوح مشخص است.

سپاسگزاری

Peyman soltani was supported by a grant from Basic Sciences Research Fund (No. BSRF-phys-۳۹۹-۰۳)

مرجع‌ها

[۱] Collett Edward, *Polarized Light*, M. Dekker, (۱۹۹۳).

[۲] G. G. Stokes, *On the Composition and Resolution of Streams of Polarized Light from different Sources*, Transactions of the Cambridge Philosophical Society, Vol. ۹, p.۳۹۹, ۱۸۵۱.

[۳] M. Vede, S. Breugnota, N. Lechocinskia, *Full Stokes polarization camera*, SPIE Optical Engineering + Applications, San Diego, Vol. ۸۱۶۰-۳۳, (۲۰۱۱).

[Downloaded from www.opsi.ir on 2025-07-28]