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 : ۱-۲۴۸۴-۱۰-A

بررسی روش‌های پردازش داده در حسگرهای نوری ضریب شکست برای دستیابی به کارایی بهینه

راحله پورمند

گروه فیزیک، مرکز آموزش عالی استهبان، استهبان، ایران rahele.pourmand@gmail.com

چکیده – عملکرد حسگرهای نوری ضریب شکست با پارامترهای حساسیت حسگر و حد تشخیص آن توصیف می‌شود و تابع عواملی مانند وضوح طیف خروجی و نیز روش آنالیز طیف، می باشد. در شرایطی که در این سیستم‌ها، از مشددهایی با فاکتور کیفیت پایین و یا طیف نگارهای معمولی استفاده شود، وضوح طیف بهینه نیست و انتخاب روش مناسب برای پردازش و کمی‌سازی داده‌ها می تواند کارایی حسگر را بهبود بخشد. در این مقاله، مقدار انحراف معیار نویز طیف خروجی حسگر،برای دو روش برازش منحنی و تبدیل فوریه بررسی شده و نشان داده شده است که روش تبدیل فوریه چندان از نویزهای طیفی تأثیر نمی پذیرد و می-تواند انحراف معیار کوچکتری را در نتایج خروجی بدست دهد.این نتایج،در طراحی وتحلیل داده های این سیستم ها اهمیت دارد.

کلید واژه- پردازش داده، تبدیل فوریه، حد تشخیص، میکرو حسگرهای نوری

Investigation of data processing methods in optical refractive index sensors for optimum performance

RahelehPourmand

Department of Physics,Estahban Higher Education Center, Estahban, Iran
rahele.pourmand@gmail.com

Abstract- The performance of optical refractive index sensors is described by the sensor sensitivity and the detection limitthatis a function of factors such as the resolution of the output spectrum and the data processing methods.In sensors that use low quality factor resonators or conventional spectrometer, choosing appropriate data processing methods can improve sensor performance. In this paper, the value of the noise variance of the sensor output spectrum is evaluated for curve fitting and Fourier transform methods and it is shown that the Fourier transform method is not as much affected by spectral noisesand can give a smaller variance in theoutputspectrum.The obtained results are important in designing and analyzing the data of these systems.

Keywords: Data processing,Detection limit, Fourier transform, Optical micro-sensors.

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

مقدمه

حسگرهای نوری ضریب شکست به دلیل خصوصیاتی از قبیل استفاده از مقدار بسیار کم نمونه آزمایشگاهی و شناسایی ماده هدف بدون برچسب گذاری در صنعت شناسایی مواد و علوم آزمایشگاهی به کار برده می-شوند.[۱] در حالی که این حسگرها می‌توانند ساختارهای متنوعی ازجمله، بلور فوتونی، تشدید پلاسمون‌های سطحی و مشددهای دایروی داشته باشند اما مکانیزم شناسایی در تمام آنها یکسان است.[۱] پس از پدیدار شدن طیف تشدید در خروجی حسگر، ماده نمونه به فضای اطراف مشدد وارد شده و ضریب شکست محیط اطراف مشدد تغییر می‌کند، بنابراین شرایط تشدید نیز تغییر کرده و این تغییر به صورت جابجایی طول موج تشدید در خروجی ظاهر می‌شود. در این سیستم‌ها، دستیابی به حساسیت بالا و کمینه حد تشخیص از مهمترین اهداف طراحان و مهندسان می باشد.[۱،۲] در نمونه‌های معمولی و تجاری این سیستم‌ها استفاده از مشددهای نوری با فاکتور کیفیت زیاد و یا آشکارسازهای با حساسیت بالا به صرفه نیست، در نتیجه،وجود انواع نویز از قبیل نویزهای حرارتی و یا نویزهای شدت منبع، بر وضوح طیف خروجی تأثیر گذاشته و حد تشخیص را محدود می‌نماید. بنابراین، یافتن و ردیابی نقاط اکسترمم طیف چالش جدی برای مهندسان به حساب می آید.[۳] اما استفاده از روش‌های مناسب آنالیز داده می تواند اثرات ناشی از وضوح پایین طیف را کاهش داده و نتایج قابل قبولی در فرایند کمی‌سازی داده-ها بدست دهد.

در این مقاله، مقدار انحراف معیارنویز طیف خروجی حسگر،برای دو روش برازش منحنی و تبدیل فوریهمحاسبهشده است. روش اول برپایه یافتن اکسترمم طیف و برازش منحنی مناسب بر آن و بررسی رفتار طیف تشدید در فرایند اندازه‌گیری حسگر می‌باشد و روش دوم برپایه انتقال داده خروجی از فضای طول موج به فضای ممنتم و تحلیل رفتار طیف، بنا شده و برای شرایط مشابه نشان داده شده که روش تبدیل فوریه چندان از نویزهای طیفی تأثیر نمی‌پذیرد و می‌تواند انحراف معیار نویز کوچکتری را در نتایج خروجی بدست دهد. این محاسبات، خطای کمیسازی داده‌های خروجی سیستم را بهبود بخشیده و در طراحی این سامانه‌ها کاربرد دارد.

روش محاسبات

در بیشتر حسگرهای نوری ضریب شکست، پروفایل مد تشدید با تابع لورنتسی توصیف می‌شود. تغییر ضریب شکست محیط می‌تواند باعث جابجایی طول موج تشدید شود. تیزی پروفایل مد تشدید با فاکتور Q سیستم یا به طور معادل با فاکتور پهنا در نصف دامنه بیشینه ($Q=\lambda_{res}/FWHM$)تعریف می‌شود. این پارامترها در تحلیل و آنالیز طیف خروجی برای کمی سازی داده‌های حسگر اهمیت دارند.به علاوه، وجود منابع متنوع نویز از جمله، نویز حرارتی و یا نویز ساچمه‌ای [۱]در آشکارساز و نویز شدت منبع باعث تغییرات تصادفی دامنه و جابجایی طیف خروجی می‌شود که با اعمال سیگنال نویز به تابع لورنتسی مدلسازی می شود.[۳]

در شبیه‌سازی‌های عددی، نویز دامنه با اعمال تابع توزیع گوسی نویز سفید بر تابع اصلی و تحلیل آماری داده‌ها مدلسازی می‌گردد. حال آنکه نویزهای طیفی در قالب خطاهای کمی‌سازی بررسی می شود. انحراف معیار نویز در طیف خروجی حسگر با رابطه [۳]

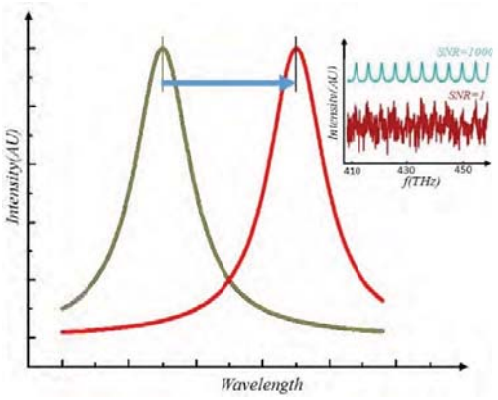
$$3\sigma = 3.\sqrt{\sigma_{amp}^2 + \sigma_{spect}^2 + \sigma_{temp}^2} \qquad (۱)$$

داده می شود که در آن σ_{amp}انحراف معیار نویز دامنه، σ_{temp} انحراف معیار نویز حرارتی و σ_{spect} انحراف معیار

[۱]Shot noise

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

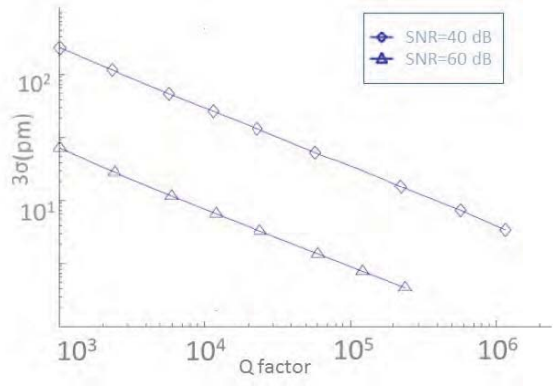
نویز طیفی وارد شده‌است. پارامتر 3σ هم‌ارز وضوح سیستمهای آشکارساز حسگر بوده و هرچه این پارامتر کوچکتر باشد سیستم وضوح بهتری خواهد داشت. با محاسبه این پارامتر حساسیت سیستم و حد تشخیص حسگر محاسبه خواهد شد. نسبت دامنه سیگنال به نویز با پارامتر $\{SNR=(A_{signal}/A_{noise})^2\}$مشخص می شود. شکل ۱ شبیه سازی پروفایل مد تشدید به ازای SNR مختلف و جابجایی طول موج تشدید در این حسگرها را نشان می-دهد.



شکل ۱: پروفایل مد تشدید به ازای SNR مختلف و جابجایی طولموج تشدید

در ادامه برای دو روش برازش منحنی و تبدیل فوریه، انحراف معیار نویز و پارامترهای توصیف کننده عملکرد حسگرهای ضریب شکست را محاسبه خواهیم کرد.

الف) روش برازش منحنی:داده‌های خروجی حسگر، طیف تشدید سیستم را بدست می‌دهند و با ثبت خروجی حسگر در زمان‌های مختلف نمونه های متعددی از طیف تشدید حسگر خواهیم داشت که با یافتن قله در هر نمونه و برازش تابع لورنتسی بر روی آن و ردیابی مکان قله، جابجایی طول موج تشدید بدست می آید، به علاوه با اعمال تابع نویز بر روی نمونه‌ها مدل واقع گرایانه‌ای برای طیف خروجی ایجاد می‌شود. اکنون با الگوریتم‌های محاسبه تکراری می توان انحراف معیار توزیع نویزرا محاسبه نمود.شکل ۲،پارامتر 3σ را بر حسب فاکتور Q نشان می‌دهد و گویای این واقعیت است که انحراف معیار بر حسب فاکتور Q به طور خطی تغییر می‌کند و در سیستم‌هایی با فاکتور Q زیاد انحراف معیار کوچک بوده و امکان دستیابی به حد تشخیص کوچک وجود دارد. روش برازش منحنی برای تحلیل داده‌های حسگر در سیستم های با فاکتور کیفیت بالا نتایج قابل قبولی بدست می‌دهد. اما در سیستم‌هایی با فاکتور کیفیت پایین، به دلیل آنکه این روش برپایه یافتن مکان دقیق اکسترمم در طیف است، با توجه به وجود نویز، محاسبات دشوار و توام با خطا خواهد بود. از طرفی در بسیاری از حسگرهای نوری متداول با فاکتور Qپایین، این روش نمی تواند حد تشخیص مناسبی را بدست دهد. بنابراین، ارائه روش دیگری که بتواند در پردازش داده‌های این حسگرها مؤثر باشد، ارزشمند خواهد بود. در ادامه روش تبدیل فوریه را بررسی کرده و نتایج حاصل از دو روش را مقایسه خواهیم کرد.

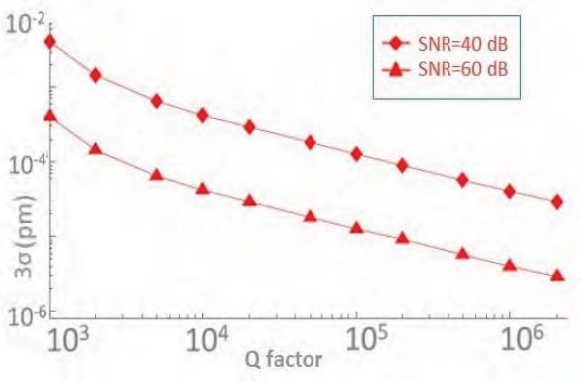


شکل ۲: انحراف معیار توزیع نویز بر حسب فاکتور Qبه ازایSNR مختلف (روش برازش منحنی)

ب) **روش تبدیل فوریه:**در طیف‌نگارهای متداول، وضوح پایین و یا سیگنال ضعیف در خروجی باعث کاهش پارامتر SNRشده و عواملی از قبیلسرعت پویش طول موج تشدید نسبت به تابع پاسخ حسگر و نیز پهنای سیگنال خروجی،

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

وضوح و کیفیت طیف را تخریب کرده و در کارایی سیستم تأثیرگذار است.



شکل ۳: انحراف معیار توزیع نویز بر حسب فاکتور Qبه ازای SNR مختلف (روش تبدیل فوریه)

بنابراین استفاده از روش های محاسباتی با تلرانس خطای کوچک می تواند به دستیابی به کارایی مناسب در این سیستم ها کمک کند. اعمال تبدیل فوریه بر طیف خروجی حسگر، تابع را به فضای ممنتم انتقال می‌دهد. در این روش دو نمونه مستقل از دو اسکن طیف را در بازه طول موجی یکسان در نظر گرفته و تبدیل فوریه را به صورت عبارت زیر محاسبه می کنیم:

$$f_{1,2}(k_m) = \sum_{n=1}^{N} T_{1,2}(\lambda_n) e^{2\pi i (n-1)(m-1)/N} \quad (۲)$$

در رابطه بالا m=1…N است و اندیس‌های ۱و ۲ مربوط به داده‌های دو اسکن مستقل می باشد. اختلاف فاز دوتابع محاسبه شده، برحسب مؤلفه فضای جدید بدست خواهد آمد. برخلاف روش برازش منحنی که بر تحلیل یک قله طیف تمرکز می‌کند، روش تبدیل فوریه یک بازه طیف را تحلیل می‌کند. بنابراین، تأثیر نویزهای طیفی با اعمال تبدیل بر بازه طول موجی، کمتر خواهد شد.[4] شکل ۳ انحراف معیار توزیع نویزبر حسب فاکتور Q را با روش تبدیل فوریه نشان می‌دهد.مقایسه نمودارها در دو روش بیان میکند که به‌کار بردن روش تبدیل فوریه می تواند انحراف معیار کوچکتری را در تحلیل داده‌ها بدست دهد که در نتیجه حد تشخیص سیستم کوچکتر خواهد شد و در کل کارایی سیستم بهبود خواهد یافت.

بحث و نتیجه‌گیری

روش تحلیل داده در حسگرهای نوری ضریب شکست، اهمیت بسیاری در بازده عملکرد این سیستم ها دارد و در مواردی که از قطعاتی با کیفیت معمولی در ساخت این سامانه‌ها استفاده می‌شود کیفیت طیف خروجی مطلوب نبوده و با انتخاب روش‌های مناسب آنالیز داده می توان فرایند کمی‌سازی داده های تجربی را دقیقتر انجام داد. در این مقاله، روش تبدیل فوریه و نیز روش برازش منحنی برای پردازش داده‌های حسگرهای نوری ضریب شکست بررسی شده و نشان داده شده که در مواردی که فاکتور کیفیت سیستم به دلیل وجود منابع نویز پایین است، روش تبدیل فوریه می‌تواند رفتار طیف و جابجایی طول موج تشدید را با دقت مناسب تخمین زده و امکان دستیابی به حساسیت بالا و حد تشخیص کم در این حسگرها فراهم شود. این محاسبات در طراحی حسگرهای نوری ضریب شکست اهمیت دارد.

مرجع‌ها

[1] X. Yi, P. Bai, X. Zhou, Y. Akimov, Ch. E. Png, L. Ang, W. Knoll, and L. Wu"Optical refractive index sensors with plasmonic and photonic structures: promising and inconvenient truth." Advanced Optical Materials,Vol. 7.No. 9 pp. 1801433,2019.

[2] M.-Fernández, J. Leuermann, A. Ortega-Moñux, J. Gonzalo W. Pérez, and R. Halir"Fundamental limit of detection of photonic biosensors with coherent phase read-out." Optics express,Vol.2 No.9 pp. 12616-12629, 2019.

[3] L. Sun, J. Yuan, T. Ma, X. Sang, B .Yan, K. Wang, Ch .Yu. "Design and optimization of silicon concentric dual-microring resonators for refractive index sensing." Optics Communications,Vol. 395 pp. 212-216., 2017.

[4] J. Hu, X. Sun, A. Agarwal, and L. C. Kimerling, “Design guidelines for optical resonator biochemical sensors,” J. Opt. Soc. Am. B, Vol.26, No. 5, pp. 1032–1041, 2009.

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