اولین کنفرانس ملی حسگرهای فیبرنوری- ۶ آبان ۱۴۰۰
ICOFS 2021
1st Iranian Conference on Optical Fiber Sensors
October 28, 2021
پژوهشکده لیزر و پلاسما

پیاده سازی کالیبراسیون دمایی حسگر توزیعی رامان برای اندازه‌گیری دما در طول تار نوری

مجتبی ارجمند[۱،*]، لاله رحیمی نژاد[۱]، سید علی اصغر عسکری[۱]، مرتضی مظفری[۲]

[۱] مجتمع دانشگاهی علوم کاربردی، دانشگاه صنعتی مالک اشتر، اصفهان، ایران
[۲] پژوهشگاه نیرو، تهران، ایران

چکیده: در این مقاله به تشریح اهمیت و چگونگی پیاده‌سازی کالیبراسیون دمایی سیگنال‌های پس‌پراکنده‌ی رامان در حسگر توزیعی تار نوری می‌پردازیم. با توجه به وجود منابع مختلف تضعیف توان نوری در تار نوری باید با شناسایی آن-ها، سیگنال‌های دریافتی تصحیح شوند. از طرفی توان سیگنال‌های دریافتی به پارامترهای تار نوری، لیزر، آشکارساز و سایر اجزای سیستم حسگری بستگی دارد که به دما وابسته بوده و می‌توانند در طول زمان تغییر کنند. بنابراین برای حذف این اثرات و تعیین دقیق دما از سیگنال‌های دریافتی، باید این پارامترها بطور پیوسته از طریق کالیبراسیون دمایی حسگر تعیین شوند. بدین منظور با قرار دادن یک پیچه تار نوری مرجع در حمام دما ثابت، پارامترهای مجهول را دائما تعیین کرده و توزیع دما در طول تار نوری و مقدار دمای هر نقطه را بدست آوردیم. نتایج حاصل، نشان‌دهنده تطابق کامل دمای بدست آمده در هر نقطه از تار نوری با دمای اعمال شده به آن است.

کلید واژگان: کالیبراسیون دمایی؛ حسگر توزیعی دما؛ حسگر تار نوری؛ اندازه‌گیری دقیق دما.

Implementation of temperature calibration of Raman distributed sensor for temperature measurement along optical fiber

Mojtaba Arjmand[1], Laleh Rahimi-Nezhad[1], Ali Asghar Askari[1], Morteza Mozafari[2]

[1] Faculty of Applied Sciences, Malek-Ashtar University of Technology, Isfahan, Iran.
[2] Niroo research Institute, Tehran, Iran.

Abstract- In this paper, we describe the procedure of temperature calibration of backscattered signals in Raman distributed fiber sensor. Considering different sources of attenuation in the optical fiber, the received signals should be corrected by introducing a linear power-loss per length of the fiber. Moreover, the received signals depend on the parameters of the optical fiber, laser, detector and other components of sensor system, which are temperature dependent and can change over time. To eliminate these effects and accurately determine the temperature from the received signals, these parameters must be specified continuously through the temperature calibration of the sensor. We did this by placing a reference fiber coil in a constant temperature bath to determine the unknown parameters and accordingly the temperature distribution along the optical fiber. The results show a good agreement between the temperatures obtained at each point of the sensing fiber with the actual temperature applied to it.

Keywords: Temperature calibration; Fiber optic sensor; Distributed temperature sensor; Accurate temperature measurement.

* arjmand.mj@gmail.com

این مقاله در صورتی دارای اعتبار است که در سایت http://opsi.ir/ قابل دسترسی باشد.

[Downloaded from opsi.ir on 2026-11-10]

۱- مقدمه

امروزه حسگرهای توزیعی تار نوری به عنوان گزینه‌ای مناسب برای اندازه‌گیری دما، کرنش، و ارتعاش در مسافت‌های طولانی مورد استفاده قرار می‌گیرند. در حسگر توزیعی مبتنی بر پراکندگی رامان، سیگنال پس پراکنده شده دارای دو مولفه استوکس و پاد استوکس است که از نسبت شدت این دو مولفه برای اندازه‌گیری دما در طول تار نوری استفاده می‌شود. به منظور استخراج دما از سیگنال‌های دریافتی، باید فرآیند کالیبراسیون دمایی بر روی سیگنال‌ها پیاده گردد. روش‌های مختلفی برای پیاده‌سازی کالیبراسیون دمایی وجود دارد که از جمله آن‌ها می‌توان به استفاده از یک بخش دما ثابت، کالیبراسیون دو نقطه‌ای، سه نقطه‌ای، و کالیبراسیون به روش دوطرفه اشاره کرد [۱و۲]. با توجه به ساخت یک نمونه مهندسی از حسگر توزیعی دما، در اینجا ما از یک حمام دما ثابت به عنوان بخش مرجع استفاده کرده‌ایم و با قرار دادن یک پیچه تار نوری در این حمام دمایی فرآیند کالیبراسیون حسگر را انجام داده‌ایم. تا جایی که اطلاع داریم، کالیبراسیون داده‌های تجربی حسگر توزیعی رامان برای اندازه‌گیری دقیق دما در طول خط تار نوری برای اولین بار در داخل کشور گزارش می‌شود.

۲- تئوری حاکم و نتایج تجربی

دمای نقطه z از طول تار نوری طبق رابطه زیر به نسبت توان سیگنال‌های استوکس و پاد استوکس در آن نقطه (R(z)) مربوط می‌شود [۳]:

$$T(z) = T_0 / (\ln R(z) + D - \int_0^z \Delta\alpha_{as-s}(z')dz') \quad (۱)$$

در این رابطه $\Delta\alpha_{as-s} = \alpha_{as} - \alpha_s$ به عنوان افت تفاضلی شناخته می‌شود و بیانگر اختلاف میان اتلاف اعمال شده به هر یک از سیگنال‌های پراکنده شده در مسیر بازگشت از مکان پراکندگی z به سر ابتدایی تار نوری است. $T_0 = \Delta E/k$ نسبت جابجایی انرژی فوتون فرودی و فوتون پراکنده‌شده به ثابت بولتزمن است و پارامتر D به صورت $D = \ln[\Gamma_{as}\rho_{as} / (\Gamma_s\rho_s)]$ تعریف می‌شود که در آن $\Gamma_{s\,(as)}$ ضریب جمع‌آوری سیگنال پس پراکنده‌ی استوکس (پاد استوکس) و $\rho_{s\,(as)}$ ضریب عبور المان‌های اپتیکی در طول‌موج استوکس (پاداستوکس) است. برای محاسبه دمای T از رابطه (۱) می‌بایست سه پارامتر مجهول T_0، D و $\Delta\alpha_{as-s}$ را از طریق انجام کالیبراسیون دمایی تعیین کرد.

با ثابت گرفتن افت تفاضلی در طول تار نوری و معلوم بودن دمای T_{ref} مربوط به حمام دمایی، رابطه (۱) به شکل زیر بازنویسی می‌شود:

$$\ln R(z) = \Delta\alpha_{as-s}\ z + [(T_0 / T_{ref}) - D] = \Delta\alpha_{as-s}\ z + C \quad (۲)$$

رابطه (۲) یک رابطه خطی است و نشان می‌دهد که در صورت ثابت گرفتن پارامترهای T_0 و D در تمام طول تار، می‌توان از روی محاسبه شیب خط $\ln R(z)$ بر حسب z، مقدار افت تفاضلی $\Delta\alpha_{as-s}$ را تعیین کرد. برای این منظور می‌بایست پس از اندازه‌گیری سیگنال‌های پاد استوکس و استوکس در طول تار نوری، نسبت توان آن‌ها را بدست آورد و لگاریتم طبیعی این نسبت را بر حسب طول تار نوری محاسبه کرد. با برازش یک خط بر روی منحنی $\ln R(z)$ بر حسب z (در طول پیچه تار نوری مرجع واقع در حمام دمایی) و تعیین شیب آن، مقدار $\Delta\alpha_{as-s}$ بدست می‌آید. دو پارامتر دیگر T_0 و D را نیز به نحوی تعیین می‌کنیم که تابع $Obj = \left|\sum_{i=1}^{N}\left(T_{DTS}^i - T_{ref}\right)\right| / N$ کمینه شود. در رابطه فوق، N تعداد نقاط مورد استفاده در اندازه‌گیری است. T_{ref} دمای حمام و T_{DTS}^iنیز دمای محاسبه شده از رابطه (۱) است.

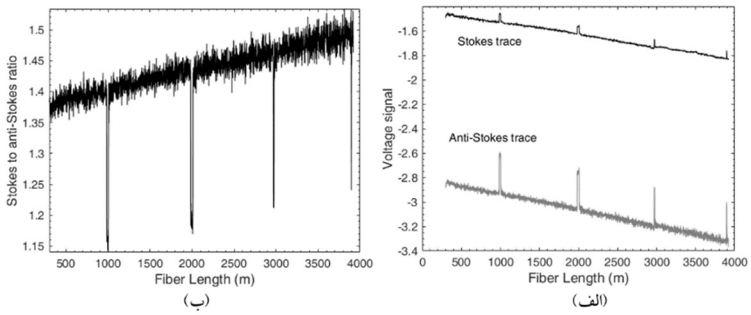
به منظور تست حسگر توزیعی دما و اطمینان از صحت کالیبراسیون دمایی، ۴ کیلومتر از تار نوری چند مدی (InfiniCor با قطر مغزی ۶۲/۵ میکرومتر و دهانه عددی ۰/۲۷) را تحت آزمایش قرار دادیم. چهار پیچه به طول‌های تقریبی ۲۱ متر، ۲۷ متر، ۷ متر، و ۳ متر و را به فاصله ۱ کیلومتر از یکدیگر ایجاد کرده و درون کوره دمایی (۷۸ درجه سانتیگراد) قرار دادیم. سایر نقاط فیبر در دمای محیط (۲۷ درجه

این مقاله در صورتی دارای اعتبار است که در سایت http://opsi.ir/ قابل دسترسی باشد.

[Downloaded from opsi.ir on 2026-11-10]

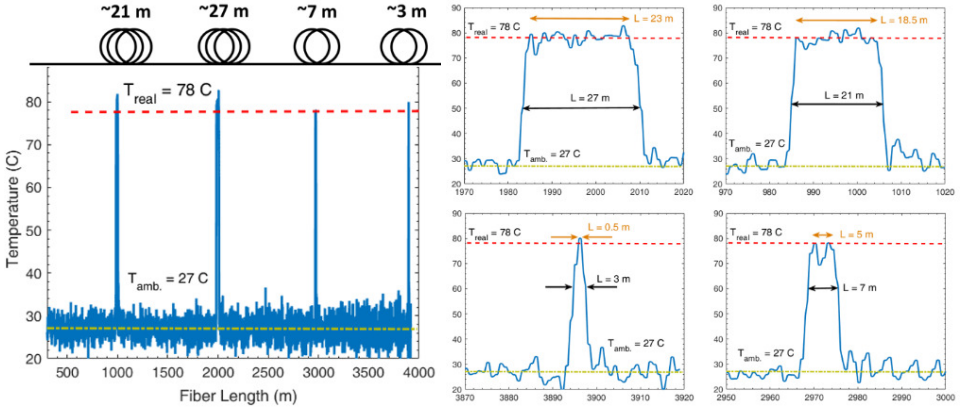
سانتیگراد) قرار داشت. برای محاسبه ضرایب کالیبراسیون نیز یک پیچه تار نوری به طول ۵۰۰ متر را به عنوان بخش مرجع کالیبراسیون بکار بردیم که درون حمام دمای ثابت قرار گرفته بود. این پیچه درون سیستم حسگر و قبل از فیبرِ مورد آزمایش، قرار داده شده است.

شکل (۱-الف) رَد سیگنال‌های استوکس و پاد استوکس در طول ۴ کیلومتر از تار نوری را نشان می‌دهد. هر سیگنال حاصل میانگین-گیری بر روی ۶۵۰۰۰۰ سیگنال منفرد است. در محل هر یک از پیچه‌های واقع در کوره دمایی، شاهد پیک‌هایی در هر یک از سیگنال‌های پس پراکنده هستیم. به دلیل وابستگی بیشتر سیگنال پاد استوکس به دما، پیک‌های آن نسبت به سیگنال استوکس قوی‌تر هستند. در شکل (۱-ب) نیز لگاریتم طبیعی نسبت سیگنال استوکس به پاد استوکس در طول تار نوری نشان داده شده است. طبق انتظار، این نسبت در طول تار نوری به صورت خطی تغییر می‌کند و شیب این خط نشان‌دهنده مقدار $\Delta\alpha_{as-s}$ برای تار نوری است.



شکل ۱- (الف) رَد سیگنال‌های استوکس و پاد استوکس در طول تار نوری (حاصل از میانگین‌گیری بر روی ۶۵۰۰۰۰ سیگنال)، (ب) محاسبه لگاریتم طبیعی نسبت سیگنال استوکس به سیگنال پاد استوکس در طول تار نوری.

با انجام کالیبراسون دمایی بر روی سیگنال شکل (۱-ب)، ضرایب مجهول $\Delta\alpha_{as-s}$، T_0، و D به ترتیب برابر با (m^{-1}) ۱۰$^{-۵}$×۲/۹۴، ۷۶۱/۵۸ K، و ۱/۱۶ بدست آمدند. شکل (۲) نتیجه حاصل از کالیبراسیون دمایی (بدون نویز زدایی) را نشان می‌دهد. چنانچه دیده می‌شود، با انجام کالیبراسیون دمایی به خوبی توانسته‌ایم دما در نقاط مختلف تار نوری را مطابق با دمای واقعی هر نقطه بدست آوریم. هر چند شاهد وجود نوسانات و نویزهای زیاد بر روی داده های دمایی هستیم که باید از الگوریتم‌های نویز زدایی برای کاهش این نوسانات استفاده کنیم.



شکل ۲- استخراج اطلاعات دمایی در طول تار نوری با انجام کالیبراسیون دمایی بر روی سیگنال شکل (۱-ب).

مراجع

1. M. B. Hausner *et. al.* **Sensors 11**(19) 10859, 2011.
2. Y. Ghafoori *et. al.* **Sensors 20**(19) 5696, 2020.
3. A. H. Hartog, *An Introduction to Distributed Optical Fibre Sensors*, CRC Press, Ch. 4, (2017).

این مقاله در صورتی دارای اعتبار است که در سایت http://opsi.ir/ قابل دسترسی باشد.

[Downloaded from opsi.ir on 2026-11-10]