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

طراحی و ساخت حسگر فیبر نوری توزیع شده مبتنی بر روش تحلیل فاز و نتایج تست‌های میدانی

وحید دستجردی[۲]، امید حاجی‌علی‌خمسه[۱]، علیرضا ممتازیان‌فرد[۱]، محمد واحدی[۲]*

[۱] شرکت دانش‌بنیان فرهیختگان حامی علم‌وصنعت، تهران، ایران
[۲] دانشکده فیزیک، دانشگاه علم‌وصنعت ایران، تهران، ایران

چکیده: پایش ایمنی محیط‌ها و اماکن حساس به منظور کاهش خسارات وارده در هنگام بروز حوادث طبیعی و غیرطبیعی از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. حسگرهای مورد استفاده در گذشته به دلیل نقاط ضعف متعدد همچون فاصله سنجش کوتاه، هزینه بالا، عدم تعیین محل وقوع حادثه و ... ، خواسته‌های موجود را برآورده نکرده و نیاز به سامانه‌ای جهت پایش سراسری احساس می‌شود. از سوی دیگر حسگر فیبر نوری توزیعی به دلیل مزایای برجسته همچون سرعت بالا، مصونیت در برابر تداخلات الکترومغناطیسی، تعیین محل دقیق وقوع رویداد، برد بلند و هزینه تعمیر و نگهداری پایین، توجهات بسیاری را به خود جلب کرده است. در این تحقیق یک سامانه حسگر فیبر نوری توزیعی به طول ۲ کیلومتر، مبتنی بر روش تحلیل فاز پراکندگی رایلی بازتابی جهت پایش عبور و مرور انسان در محدوده فیبر طراحی و پیاده‌سازی شده است. در نهایت دو هدف متمایز شامل انسان و موتور ویبره با فرکانس ۸۰ هرتز، به ترتیب از فاصله ۱۲۰۰ و ۱۰۰۰ متری از ابتدای فیبر با SNR برابر ۳۹ و ۲۷ دسی‌بل شناسایی شدند.

کلید واژگان: فیبر نوری؛ حسگر توزیعی؛ پراکندگی رایلی؛ OTDR حساس به فاز.

Design and fabrication of Distributed fiber optic sensor based on phase analysis method and field test results

Vahid Dastjerdi[2], Omid Haji Ali Khamse[1], Alireza Momtazian Fard[1], Mohammad Vahedi[2].

1 Farhikhtegan Hami Elm O Sanat Knowledge-Based Company, Tehran, Iran.

2 Dept. of Physics, Iran University of Science & Technology, Tehran, Iran.

Abstract- Monitoring the security of sensitive environments is of particular importance due to the reduction of damage during natural and unnatural events. Last generation sensors do not meet the existing requirements due to various weaknesses such as short measurement distance, high cost, failure to determine the location of the event, etc., and the need for extensive monitoring systems. On the other hand, distributed fiber optic sensors have attracted attention due to outstanding advantages such as high speed, immunity to electromagnetic interference, accurate location of the event, long range and low maintenance costs. In this paper, a 2 km long distributed fiber optic sensor system is designed and implemented based on the reflection Rayleigh scatter phase analysis method to monitor human passage in the fiber range. Finally, two distinct targets, including a human and a 80 Hz vibrating motor, were identified from a distance of 1200 and 1000 m from the beginning of the fiber with an SNR of 39 and 27 dB, respectively.

Keywords: Fiber optic; Distributed sensor; Rayleigh scattering; Phase sensitive OTDR.

* mvahedi@iust.ac.ir

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

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

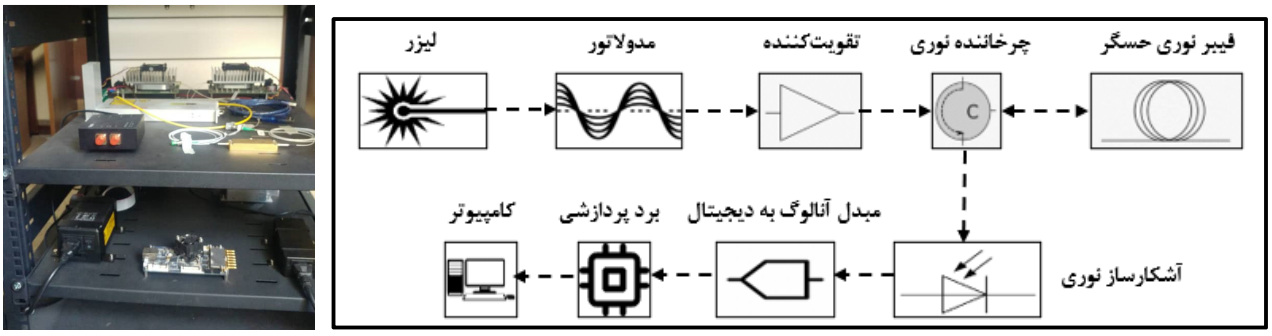
۱- مقدمه

اصول عملکرد حسگرهای فیبر نوری توزیعی بر اساس تحلیل ویژگی‌های نورهای بازتاب شده در داخل فیبر نوری همچون شدت، قطبش و فاز می‌باشد. وابسته به انرژی منتقل شده بین محیط و فوتون ورودی، پراکندگی‌ها به دو بخش الاستیک و غیر الاستیک تقسیم می‌شوند. پراکندگی رایلی[1] از جمله پراکندگی‌های الاستیک در داخل فیبر بوده که مقدار آن در جهت حرکت نور و بازتاب آن در فیبر بیشینه مقدار می‌باشد[۱]. شدت نور بازگشتی ناشی از پراکندگی رایلی در سامانه OTDR[2]، جهت تشخیص کمیت‌هایی همچون اتلاف جوش، اتصال کانکتور، خمش و همچنین تعیین طول فیبرنوری به کار گرفته شده است[۲]. در آزمایش‌های صورت گرفته مشخص شده میزان حساسیت این سامانه برای سنجش فشار و ارتعاش وارده بر فیبر بسیار اندک بوده و قابلیت استفاده به عنوان حسگر را ندارد.

با توجه به حساسیت بالای فاز نور عبوری و بازتابی نسبت به محیط اطراف و اثرات تغییر دما، فشار و ارتعاش بر روی این مولفه، اولین بار در سال ۱۹۹۳ چیدمانی بر مبنای سامانه OTDR حساس به فاز نور بازگشتی ارائه شد[۳]. با توجه به حساسیت بالای این حسگرها نسبت به تغییرات فشار و ارتعاشات وارده بر فیبر و همچنین افت پایین فیبر نوری و توانایی انتشار نور در فواصل طولانی، می‌توان از تمام طول فیبر مخابراتی به عنوان محیط حسگر استفاده کرده و حسگری با طول چندین کیلومتر ساخت.

۲- روش آزمایش

چیدمان این حسگر مشابه چیدمان OTDR بوده با این تفاوت که از یک منبع و تجهیزات نوری همدوس استفاده شده و تحلیل‌های نهایی بر روی فاز امواج بازتابی انجام می‌شود. مطابق با چیدمان شکل ۱ پالس‌های نوری از یک لیزر پیوسته همدوس توسط مدولاتور به یک سر فیبر وارد شده است. با توجه به طول حسگر از تقویت‌کننده فیبری اربیوم‌دار[3] جهت افزایش توان ورودی به فیبر استفاده می‌شود. پراکندگی رایلی ناشی از پالس‌های ارسالی در فیبر نوری در شاخه دیگر توسط آشکارساز دریافت شده و جهت تحلیل در اختیار برد پردازشی قرار می‌گیرد. در حالت عادی که فیبر در معرض اختلال و فشار خارجی نباشد، طرح تداخلی ثابتی در آشکارساز ثبت شده و به عنوان سیگنال مرجع در نظر گرفته خواهد شد. با وارد شدن فشار و یا ارتعاش به بخشی از فیبر، به دلیل تغییر ضریب‌شکست و یا طول فیبر، مشخصات فازی نور بازگشتی در آن نقطه تغییر کرده و موجب تغییر در دامنه و فاز موج بازتابی خواهد شد.



شکل ۱- بلوک دیاگرام سامانه حسگر فیبر نوری توزیعی مبتنی بر روش OTDR فازی (سمت راست) و چیدمان داخل رک (سمت چپ).

[1] Rayleigh scattering
[2] Optical Time Domain Reflectometer
[3] Erbium Doped Fiber Amplifier

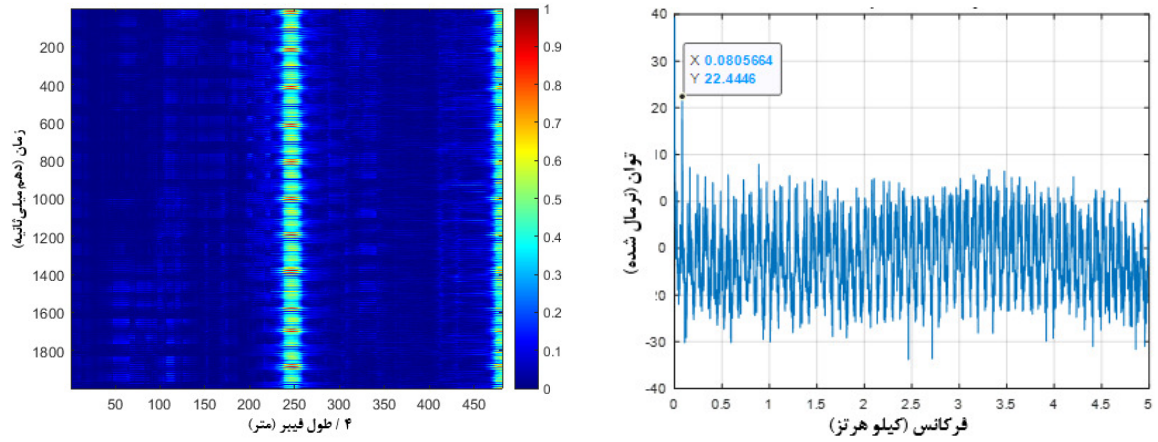
این مقاله در صورتی دارای اعتبار است که در سایت http://opsi.ir/ قابل دسترسی باشد.

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

با اندازه‌گیری مدت زمان رفت و برگشت پالس در نقطه اختلال، مکان تهاجم در طول فیبر نوری مشخص خواهد شد. همچنین جهت تعیین نوع تهاجم و کلاس‌بندی آن، از روش اندازه‌گیری مقدار تغییرات دامنه و تحلیل الگوی فرکانسی ثبت شده در نقطه تهاجم استفاده شده است. در این تحقیق از فیبر نوری به طول ۲ کیلومتر که در عمق حدود ۱۵ سانتی‌متری از سطح زمین دفن شده است، جهت انجام آزمون‌ها استفاده شده است. با توجه به طول حسگر و جهت جلوگیری از همپوشانی پالس‌های متوالی با پهنای ۱۰۰ نانوثانیه، نرخ تکرار برابر ۱۰ کیلو هرتز در نظر گرفته شده است. پهنای پالس ذکر شده موجب ایجاد خطای اندازه‌گیری برابر ۱۰ متر خواهد شد[۴]. نرخ نمونه‌برداری مبدل آنالوگ به دیجیتال و برد پردازشی نیز برابر ۲۵ میلیون نمونه بر ثانیه می‌باشد.

۳- نتایج و تحلیل

آزمون‌های انجام شده به دو بخش تقسیم می‌شود. بخش اول مربوط به تشخیص نفوذ انسان به محدوده فیبر نوری و مشخص کردن موقعیت آن توسط حسگر می‌باشد. پس از دریافت نمودارهای متوالی و با استفاده از الگورتیم تشخیص به روش تفاضلی، هدف در فاصله ۱۲۰۰ متری از ابتدای فیبر نوری و با مقدار سیگنال به نویز ۱۰ دسی‌بل شناسایی شد. با اضافه کردن الگوریتم‌های نویز زدایی متنوع به آن و بررسی مقدار سیگنال به نویز خروجی، در نهایت الگوریتم موجک Coif1 با سطح تجزیه ۲، موجب افزایش مقدار SNR[۴] به حدود ۳۹ دسی‌بل شد و به عنوان گزینه بهینه جهت استفاده در تشخیص انسان انتخاب شد. در بخش دوم جهت سنجش فرکانس ارتعاشات وارده بر فیبر نوری از یک عدد موتور ویبره با توان ۱۰۰ میلی‌وات جهت وارد کردن ارتعاش با فرکانس مشخص به فیبر استفاده شده است. فرکانس وارد شده برابر ۸۰ هرتز و در موقعیت ۱۰۰۰ متری از ابتدای فیبر نوری می‌باشد. با اعمال الگوریتم‌های نویز زدایی و تشخیص به روش لبه‌یابی، هدف در موقعیت حقیقی و با SNR ۲۷ دسی‌بل شناسایی شده و با استفاده از تبدیل فوریه سریع در راستای موقعیت شناسایی شده فرکانس ارتعاشات نیز اندازه‌گیری شده است که به صورت کامل مطابق با آزمون‌های انجام شده می‌باشد.



شکل ۲- نمودار توان بازگشتی بر حسب زمان پالس‌های متوالی (سمت چپ) و تبدیل فوریه آن جهت محاسبه فرکانس ارتعاشات (سمت راست).

مراجع

1. Agrawal, G.P., Nonlinear Fiber Optics. Academic Press, Third ed:(2001).
2. Danielson, B.L. *et. al*. **Appl. Opt**,24, 2313–2322 (1985).
3. Taylor, H.F. *et. al*.; U.S. 5194847 A, (1993).
4. Liu, Xin, *et. al*. **Sensors 16.8**: 1164, (2016).

[4] Signal to Noise Ratio

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

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