

論文2001-38SD-3-10

스펙클 패턴을 이용한 침입자 센서

(The Intrusion Sensor Using the Variations of Speckle Patterns)

嚴年植*, 金堯喜**, 梁承國**, 吳象基**, 金仁洙**,
朴在熙***, 姜信元****

(Nyeon-Sik Eum, Yo-Hee Kim, Sung-Kuk Yang, Sang-Ki Oh, Insoo S. Kim,
Jae-Hee Park, and Shin-Won Kang)

요 약

스펙클 패턴은 다중모드 광섬유 내를 전파하는 모드 사이의 간섭현상 때문에 발생하는 검은 무늬로서, 외부 섭동 (perturbation)의 크기에 따라 패턴이 바뀌게 된다. 이 현상을 이용하여 본 연구에서는 스펙클 센서를 제작하여 실험을 통해 사설물을 원거리, 실시간 원격 감시가 가능하고 매우 민감한 침입자 센서로 응용 가능성을 확인하였다. 본 연구에서는 감도를 높이고 구조를 간단하게 하기 위해, 공간필터를 사용하는 대신 광검출기 홀더를 길이 가변이 가능하도록 지그를 제작하여 사용하였으며, 정류기와 FVC를 사용하여 외부 섭동의 지속시간과 크기를 알 수 있었다.

Abstract

The speckle pattern is formed by laser light from a multimode optical fiber. The speckle fluctuation is the result of interference among propagation modes when the optical fiber is subjected to a mechanical perturbation at any point along its length. The experiments were carried on for the study of the feasibility of producing an intrusion detection system using the speckle fluctuation. The speckle fluctuation signals were monitored at real time by an oscilloscope which was connected with a rectifier and a FVC. We used a jig as a PD holder to improve the sensitivity of speckle phenomena and simplify its structure. So we can know the time and magnitude of perturbation.

* 正會員, 慶北大學校 센서工學科

(Dept. of Sensor Eng. Kyungpook Nat'l Univ.)

** 正會員, 韓國電氣研究所

(Korea Electrotechnology Research Institute)

*** 正會員, 계명大學校 電子工學科

(Dept. of Electronic Eng. Keimyung Univ.)

**** 正會員, 慶北大學校 電氣電子工學部

(School of Electronic and Electrical Eng. Kyungpook Nat'l University)

※ 본 연구는 민군 겸용기술개발 사업의 연구비 지원으로 연구되었습니다.

接受日字:2000年11月1日, 수정완료일:2001年3月5日

I. 서 론

스펙클이란 가간섭성을 가지는 빛이 광섬유 내부를 진행하면서 모드와 모드 사이에서 발생하는 간섭현상으로, 광섬유 끝단에서 전파된 빛을 관찰하면 간섭현상으로 인하여 생기는 빛의 밝고 어두운 무늬가 나타나게 된다.^[1] 이 무늬들은 외부에서 인가된 압력에 따라 그 모양이 바뀌어 광 강도가 변하게 되는데 이 현상을 이용하여 본 센서가 제작되었다. 스펙클 현상은 그 특성 상 매우 정밀한 측정에 많이 응용되고 있는데, 특히 현재는 광섬유 미소 변형^[2,3]의 측정이나, 비틀림각, 축 응력, 인장력 측정^[4,5], 및 진동^[6] 등의 감지에 사용되고

있다. 본 연구에서는 이러한 정밀한 진동 및 압력의 변화를 감지할 수 있는 스펙클 현상을 이용하여, 정보와 재산의 보호에 필요한 안전 및 보안장치에 적합한 고감도의 스펙클형 침입자 센서를 제작하였고, 그 구성은 크게 광원부와 감지부, 수광부, 신호처리부로 이루어져 있다. 현재 전세계적으로 사용되고 있는 감시시스템은 레이더, 적외선 감시시스템, CCD 카메라 등이 있으나, 이들 대부분은 눈에 띄는 거대감시설비를 활용하고 있어 은폐가 어려우며 시스템이 대단히 고가설비로 구성되어 있다. 또한 광섬유를 이용한 침입자 센서로는 간섭계형 센서^[7]와 OTDR (optical time-domain reflectometer)형 센서^[8]가 있으나 이들은 감도가 높은 반면 매우 고가이나 오동작율이 높아서 아직 실용화가 되지 못하고 있다. 반면, 스펙클형 센서는 침입자의 침입 시 발생하는 미세 압력의 변화로 인하여 광신호, 즉 스펙클 무늬의 변화에 따라 수광부에 입력되는 광의 세기가 바뀌어 침입자의 유무를 판단할 수 있는 구조를 가지고 있어 매우 민감할 뿐만 아니라 소형이며 저비용으로 센서를 구성할 수 있는 장점이 있다.

II. 측정원리

레이저에서 방출되어 다중모드 광섬유에 결합된 코히어런트한 빛이 광섬유 내부를 전파하면서 모드와 모드 사이에 간섭을 일으켜 광섬유 끝단에서 빛을 방출하면 밝고 어두운 부분이 그림 1과 같이 나타난다. 이 밝고 어두운 부분들을 스펙클이라 하며 외부에서 광섬유에 압력이 인가되면 밝고 어두운 부분들이 위치가 바뀌게 된다. 만약 광섬유에서 전송되는 빛의 모드가 N개이면 광섬유 끝 단면 넘어 임의의 평면에서의 광 강도는 식 (1)과 같다^[9].

$$I(x, y) = \left| \sum_{m=1}^N \vec{E}_m(\vec{r}) \exp[i(\vec{k}_m \cdot \vec{r} - \omega t) + i\phi_m] \right| \quad (1)$$

여기서 k_m 은 m번째 모드의 전파상수 이고, ϕ_m 은 m번째 모드의 위상이고, ω 는 레이저 빛의 각 주파수이다. 외부에서 광섬유에 섭동을 인가하면 전송중인 빛의 위상이 변하여 평면에서의 광 간섭현상이 변하게 된다. 변화된 광 간섭에 의한 강도는 식 (2)로 표현된다.

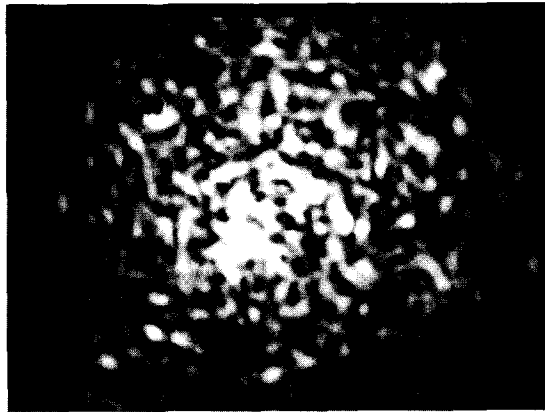


그림 1. 스펙클 패턴
Fig. 1. Speckle Patterns.

$$I(x, y) = \left| \sum_{m=1}^N \vec{E}_m(\vec{r}) \exp[i(\vec{k}_m \cdot \vec{r} - \omega t) + \phi_m + \Delta\phi_m(t)] \right| \quad (2)$$

여기서 $\Delta\phi_m$ 은 외부 섭동에 의한 m번째 모드의 위상변화이다. 그러므로 광섬유 출력 끝 단면에 임의의 평면에서의 스펙클 패턴이 변화한다. 광섬유에 외부 응력이 가해져서, 광섬유의 굴절율이나 단면크기에 미세 영향을 주면, 광섬유 내의 각 모드의 경로길이에 영향을 미쳐서 위상변화가 발생되어 스펙클 패턴의 변화가 발생된다. 즉, 광섬유에 외부 응력을 주면 스펙클 패턴 변화가 발생하게 된다. 이 패턴의 변화는 공간필터나 광검출기를 광섬유 끝단과의 거리를 조절하여 광의 일부를 채택하여 외력의 인가 여부를 더 높은 감도로 측정할 수 있다.

III. 실험

본 연구에 사용된 센서 시스템은 그림 2와 같이 광원부와 감지부, 수광부, 신호처리부로 구성되어있다. 광원은 가간섭성이 좋으며 온도 의존성이 작은 830 nm 파장의 피그테일드된 고출력용의 레이저 다이오드 (PD-LD Inc. PLD-L83-M15)를 사용하였으며, 광섬유에 접합되어 약 4 mW의 최고 출력을 내며, 실험에서는 65 mA의 전류에서 약 700 μ W의 광섬유 결합 출력으로 고정되어 사용되었다. 광검출기는 PIN 포토 다이오드 (UDT, PIN-HR-008)가 사용되었고, 광섬유는 코아와 클래드의 직경이 각각 50과 125 μ m인 다중모드 실리카

광섬유 (LG cable, MMF-AC-A-A)를 사용하였다. 레이저 다이오드와 광섬유는 용융접합기 (fusion splicer : Siercor Corp. M91, W-Germany)를 사용하여 용융접합하였으며, 레이저 다이오드의 구동회로와 광 검출기의 신호 증폭, 필터링 및 FVC (frequency to voltage converter) 회로는 각각 그림 3과 4와 같이 제작하였고, 그 사진은 그림 5와 같다.

광섬유 끝단의 차폐부는 광섬유 어댑터 (Bullet Co.)와 본 연구실에서 설계 제작한 광 검출기 홀더로 구성되며, 광 검출기 홀더는 포토 다이오드와 광섬유 끝단과의 거리를 조절하며 실험할 수 있도록 지그를 그림 6과 같이 설계하여 공간필터의 역할을 함께 할 수 있도록 그림 7과 같이 제작하였다.

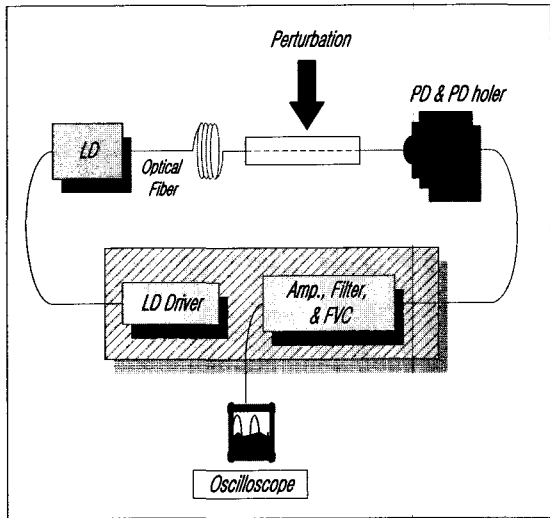


그림 2. 스펙클 실험 장치도
Fig. 2. Schematic diagram of the speckle sensor system.

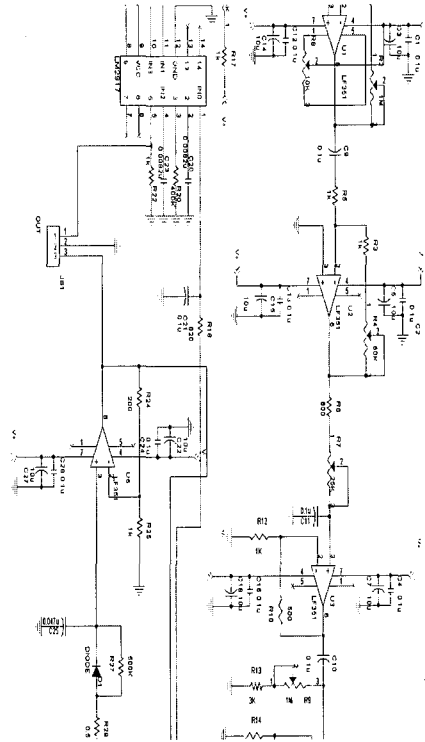


그림 4. 아날로그 신호처리 회로
Fig. 4. Circuit diagram of analog signal processor.

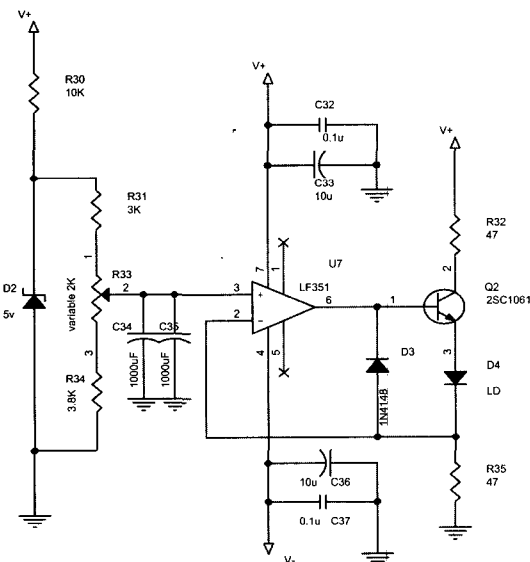


그림 3. LD 구동회로
Fig. 3. Circuit diagram of LD driver.

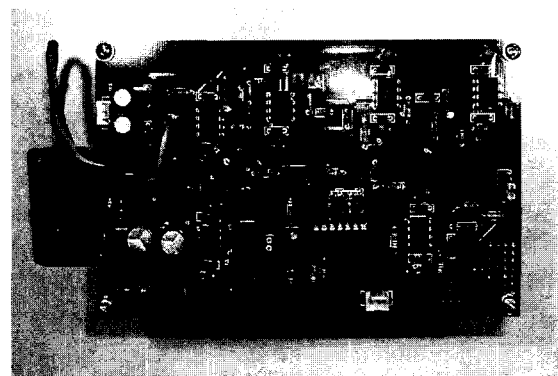


그림 5. 아날로그 신호처리기의 사진
Fig. 5. Photograph of analog signal processor.

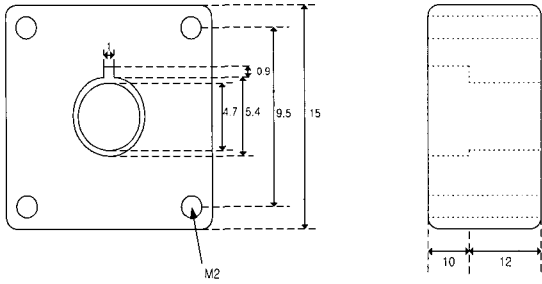


그림 6. 광검출기 홀더의 설계도
Fig. 6. Plan of PD holder.

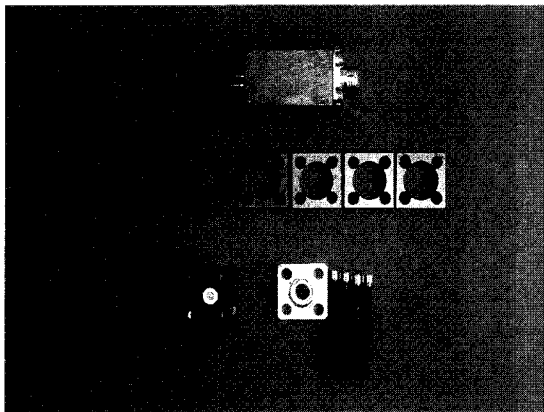


그림 7. 광검출기 홀더의 사진
Fig. 7. Photograph of PD holder.

포토 다이오드에서 수신한 광신호는 포토 다이오드, 전치증폭기, 증폭기, 저역 여파기(low pass filter), 고역 여파기(high pass filter), 정류기 및 FVC로 구성되는 아날로그 신호처리부를 거쳐 오실로스코프로 관찰된다. 전치증폭기에서 증폭된 신호는 차단 주파수가 각각 20 kHz와 1 kHz인 저역 여파기와 고역 여파기를 거치며 침입자와 관련된 신호만 추출한다. 그리고 침입자의 정확한 상태를 파악하기 위해 침입자에 의한 스펙트럼 변화량을 검출해야 하기 때문에, 스펙트럼 변화량을 정량화시키는 정류회로가 사용된다. 정류회로는 콘덴서에 충전되는 시간과 방전되는 시간의 차이를 크게 하여 스펙트럼 변화량의 크기를 검출해 낸다. FVC회로는 포토 다이오드에서 검출한 스펙트럼 변화 신호로부터 외부 섭동 신호의 주기 및 지속시간에 대한 정보를 추출하여 디지털 신호처리로 보낸다. 디지털 신호처리기에서는 추출된 신호로부터 침입자의 유무 및 상태를 판단할 수 있다. FVC회로는 LM2917 IC를 사용하여 설계 제작되었고 70 Hz 이상의 입력신호에 대해서 동작하도록

설계되었다. 이상의 실험장치를 사용하여, 그림 8과 같이 광섬유를 실험 테이블에 고정시키고 약 5 g의 중량을 갖는 동전을 1m의 높이에서 광섬유에서 20cm 떨어진 곳에 자유낙하시키며 그 신호의 변화량을 측정하였다.

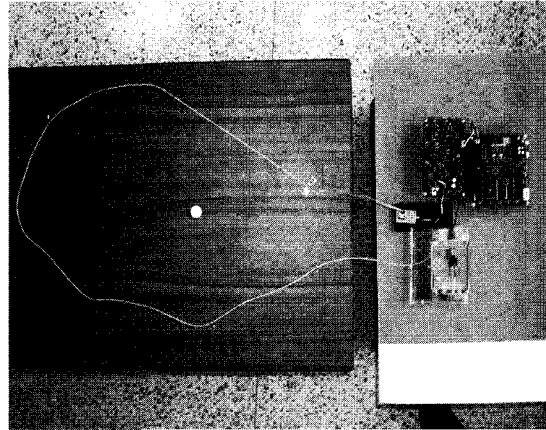
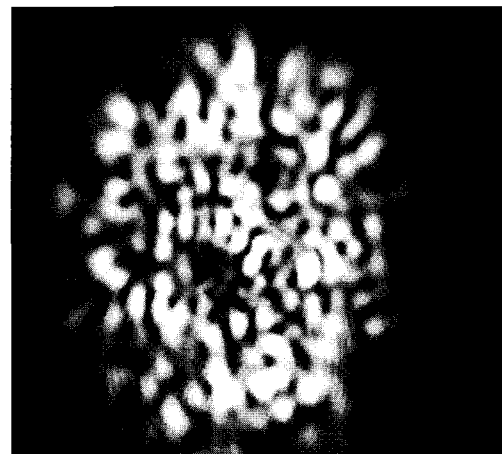


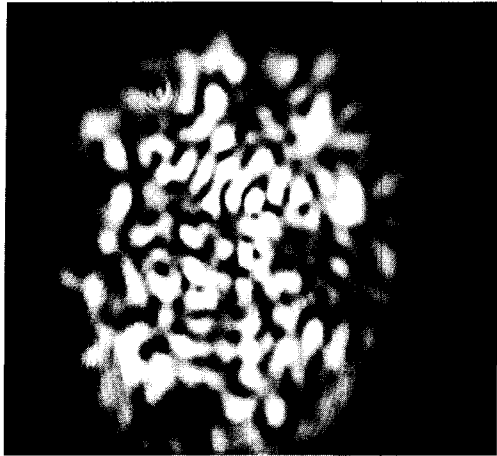
그림 8. 실험장치 사진
Fig. 8. Photograph of experimental setup.

IV. 결 과

레이저 다이오드에서 나오는 광이 다중모드 광섬유를 전파하는 과정에서 간섭현상 때문에 발생한 스펙트럼 패턴의 무늬와, 광섬유에 외부 섭동이 작용했을 때 발생한 스펙트럼 패턴의 무늬를 CCD (Charge Coupled Device)로 감지하여 그 영상을 그림 9에 나타내었다.



(a) 섭동 인가 전 스펙트럼 패턴
(a) Before perturbing.



(b) 섭동 인가 후 스펙클 패턴
(b) After perturbing.

그림 9. 섭동 인가 시 스펙클 패턴의 변화 사진
Fig. 9. Photographs of Speckle patterns at perturbation.

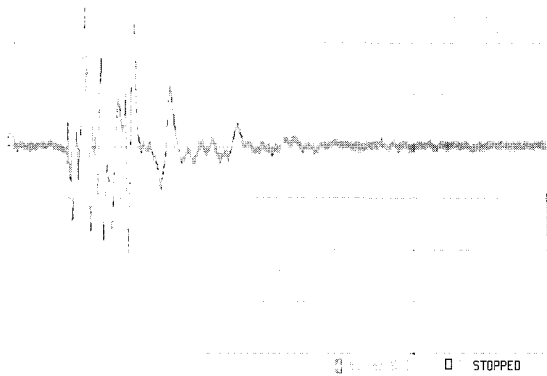


그림 10. 섭동 인가 시 포토 다이오드의 출력 파형
Fig. 10. Output signal of photodiode after perturbing.

그 결과 먼저 육안으로 스펙클 패턴의 변화를 확인할 수 있었고, 그 변화량을 공간 필터의 역할을 하는 포토 다이오드가 내장된 지그의 위치 이동을 통해 광 강도의 변화를 확인할 수 있었다. (그림 10)

그리고 동전 자유낙하실험에서는 아날로그 신호처리부를 사용하여 그림 11과 같은 파형을 얻을 수 있었다. 그림 11의 (a)는 동전 자유낙하 시 발생한 포토 다이오드에서 받은 신호를 증폭과 필터링하여 얻은 출력파형이며, (b)는 (a) 신호를 정량화된 DC 전압으로 바꾸기

위해 사용한 정류회로에서 얻은 출력파형이며, (c)는 (a) 신호를 펄스로 바꾸어 디지털 신호처리로 넘겨주기 위한 FVC에서 얻은 출력파형이다. 이들 파형에서 정류회로의 출력파형은 선행증폭기의 출력파형의 크기에 비례하고 FVC 회로의 펄스폭은 선행증폭기의 출력파형의 시간폭에 비례함을 알 수 있었다. 따라서, 외부 섭동의 지속시간과 크기를 출력파형의 시간폭과 진폭으로 각각 알 수 있었다.

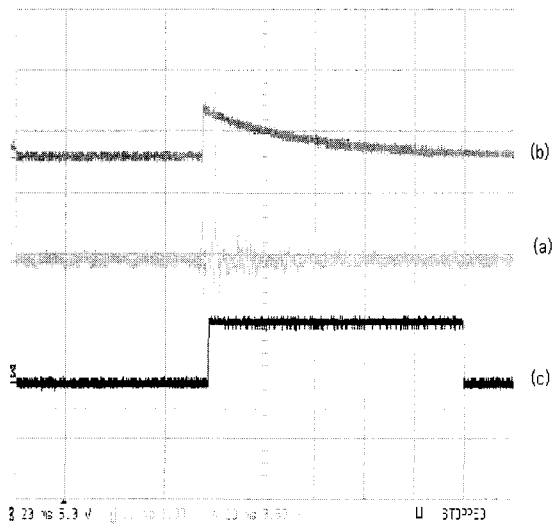


그림 11. 정류기 및 FVC의 출력파형
Fig. 11. Output signal at rectifier and FVC.

V. 결 론

본 연구에서는 주요 시설물을 효율적으로 넓은 지역을 원거리 감시할 수 있는 시스템의 요구에 따라, 다중 모드 광섬유에서 전송되는 광의 모드와 모드 사이에 간섭 때문에 발생하는 스펙클 패턴의 변화를 이용하는 광섬유형 침입자 센서를 연구하였다. 제작된 센서로 외부 섭동의 크기와 주기, 지속시간을 측정할 수 있었고, 이 값으로 외부 침입자의 상태 및 광섬유가 설치된 외부 환경을 알아낼 수 있다. 따라서 범용의 방재용 센서 및 침입자 센서로의 응용성을 확인할 수 있었다. 그리고 본 센서에서 필요로 하는 침입자의 침입 시 필요한 경고기능(alarm)은 정류기와 FVC에서 나오는 섭동의 주기와 지속시간에 대한 신호를 이용하여 경보를 할 수 있도록 디지털 신호처리부를 연구 중에 있으며, 옥외매설실험과 기온 및 기후변화에 따른 신호처리에 관

한 연구 또한 함께 수행할 계획이다. 이상의 실험을 통해 시설물의 원거리 원격 감시를 매우 높은 감도와 저비용으로 감지할 수 있는 침입자 센서를 구현할 수 있음을 확인하였다.

참 고 문 헌

[1] Harry J. R. Dutton "Understanding Optical Communications" IBM, 1998.

[2] Denis Donlagic and Miha Zavrsnik, "Fiber-optic microbend sensor structure" *OPTICS LETTERS*, Vol. 22, No. 11, June 1, 1997.

[3] D. Z. Anderson and M. A. Boshtyansky and B. Ya. Zel'dovich, "Stabilization of the speckle pattern of a multimode fiber undergoing bending" *OPTICS LETTERS*, Vol. 21, No. 11, June, 1996.

[4] Shizhuo Yin, Purwadi Purwosumarto, Francis T. S. Yu, "Application of fiber specklegram sensor to fine angular alignment" *Optics Communications* 170, pp.15-21, October 1999.

[5] Chung-ye Leung, I-fan Chang, "Optical Fiber Line Sensor Based on Speckle Detection" 1986 International Carnahan Conference on Security Technology Gothenburg, Swden, pp.125-129, August 1986.

[6] Francis T. S. Yu, Jianzhong Zhang, Kun Pan, Dazun Zhao, and Paul B. Ruffin, "Fiber vibration sensor that uses the speckle contrast ratio" *OPTICAL ENGINEERING*, Vol. 34 No. 1, January 1995.

[7] J. Park, W. Lee and H. Taylor, "Fiber optic intrusion sensor with configuration of and optical time-domain reflectometer using coherent interference of Rayleigh backscattering." *Optical and Fiber Optic Sensor Systems, SPIE 3555*, pp. 49-56 1998.

[8] A. D. Kersey, K. L. Dorsey, and A. Dandridge, "Transmissive Serial Interferometric Fiber Sensor Array," *IEEE J. Lightwave Technol.* LT-7 pp. 846 1989.

[9] W. B. Spillman, Jr., B. R. Kline, L. B. Maurice, and P. L. Fuhr, "Statistical-mode sensor for fiber optic vibration sensing uses" *APPLIED OPTICS*, Vol. 28, No. 15, 1 August 1989.

저 자 소 개



嚴年植(學生會員)

1972년 6월 19일생. 1996년 경일대학교 기계공학과 졸업(공학사). 1998년 경북대학교 센서공학과 졸업(공학석사). 1998년~현재 경북대학교 센서공학과 박사과정. 관심분야 :

SPR형 센서, 광섬유센서, 바이오센서



金堯禧(正會員)

1994년 10월 2일생. 1981년 연세대학교 전자공학과 석사. 1992년 경희대학교 광전자학 박사. 1967년 11월~1977년 3월 한국전력공사 전자계산소 1977년 3월~1981년 6월 한

전기기술연구소 실장. 1981년 6월~현재 한국전기연구원 전기시험연구소 소장. 관심분야 : 광섬유 센서, 센서기술, 광기술, 전력선 통신



梁承國(正會員)

1974년 7월 30일생. 1977년 진주산업대학교 전자공학과 학사. 1999년 한국해양대학교 전자통신공학과 석사. 2000년 2월~현재 한국해양대학교 전자통신공학과 박사과정. 현 한국전기연구원 위촉연구원. 관심분야 : 광섬유 센서, 광기술, 센서기술, 신호처리



金仁洙(正會員)

1961년 12월 23일생. 1984년 동아대학교 전자공학과 학사. 1986년 동아대학교 전자공학과 석사. 1986년 2월~현재 한국전기연구원 선임연구원. 정보·광응용연구그룹에서 광섬유센서분야 연구. 1997년~1998년 Shanghai 803 Research Institute 파견연구원. 1998년~2000년 SIOM 파견 연구원. 관심분야 : 광섬유 센서, 광기술, 광통신 시스템, 센서기술

1997년~1998년 Shanghai 803 Research Institute 파견연구원. 1998년~2000년 SIOM 파견 연구원. 관심분야 : 광섬유 센서, 광기술, 광통신 시스템, 센서기술



吳象基(正會員)

1953년 4월 26일생. 1977년 조선대학교 전자공학과 학사. 1979년 조선대학교 전자공학과 석사. 1994년 원광대학교 전자계산기 박사. 1983년 8월~현재 한국전기연구원 책임연구원. 정보·광응용연구그룹에서 광섬유센서분야 연구. 관심분야 : 광섬유 센서, 센서기술, 광기술

정보·광응용연구그룹에서 광섬유센서분야 연구. 관심분야 : 광섬유 센서, 센서기술, 광기술

朴在熙(正會員) 第 35卷 C編 第10號 參照

姜信元(正會員) 第 36卷 D編 第7號 參照

현재 경북대학교 전기전자공학부 부교수