

스펙클 패턴을 이용한 광섬유 침입자 센서 시스템에 대한 연구

김인수

한국전기연구원 전자의료기 연구그룹
Ⓣ 437-808 경기도 의왕시 내손2동 665-4

박재희†

계명대학교 전자공학과
Ⓣ 704-701 대구시 달서구 신당동 1000

(2003년 1월 30일 받음, 2003년 5월 2일 수정본 받음)

빛의 모드사이의 간섭 때문에 발생하는 스펙클 패턴의 변화를 이용하여 광섬유 침입자 센서 시스템을 개발하였다. 센서 시스템은 아날로그부, 디지털 제어부 및 신호처리부로 구성되어있다. 개발된 침입자 센서 시스템은 침입자를 감지하고 침입자가 차인지 사람인지를 구별해주었다. 침입자 감지 및 침입자 식별 실험을 500 m 광섬유를 사용하여 수행하였다. 개발되어진 광섬유 침입자 센서시스템은 침입자를 매우 정확하게 감지하였으며 침입자가 차인 경우 100% 차로 인식하였으며 사람인 경우 90% 사람으로 인식하였다.

주제어 : optical fiber sensor, intrusion detection, speckle patterns, signal processor.

I. 서 론

침입자에 의한 주요 시설물 폭파는 많은 인명 및 재산 피해를 유발한다. 그래서 예로부터 침입자에 의한 주요 시설물을 보호하기 위하여 많은 노력을 해왔다. 최근에는 주요 시설물이 기하급수적으로 증가함에 따라 침입자 감시에 대한 필요성이 더욱 증가하고 있다.

현재 전 세계적으로 광범위지역을 감시하는 장치로는 Radar, Thermal Image, Low Light TV Camera 등이 있다.^[1] 그러나 이 중 대부분은 눈에 띄는 거대감시설비여서 은폐가 어려울 뿐만 아니라 대단한 고가이다. 또한 이들은 자기변화, 열복사 변화, 온도변화, 빛의 차단여부, 음향감지 등을 이용하는 데, 오작동이 심하고 어느 특정 장소에 대해서만 감지하는 기능만 갖고 있다. 이런 문제점들을 해결하기 위하여 광범위한 지역 모두 감지가 가능하고, 고감도를 가지며, 오동작율이 적고, 은폐가 쉬워서 효과적인 출입감시가 가능한 광섬유를 이용한 침입감지시스템이 활발히 개발되어 지고 있다.

광섬유를 이용한 침입자 감지 방법은 분포형과 다중화형이 있다. 다중화형 침입감지 기술은 Sagnac, Mach-Zender, Fabry-Perot 간섭계 array^[2,3]를 이용하여 개발되어 지고 있고 분포형 침입감지 기술은 OTDR(Optical Time Domain Refletometer),^[4,5] 편광현상,^[6] 및 스펙클 변화^[7]를 이용하여 개발되어 지고 있다. 광섬유 간섭계 array를 이용하여 개발된 다중화형 광섬유 침입자 센서들은 높은 감도를 가지고 있으나 고가이고 오동작율(false alarm rate)이 높다. 어떤 외부의 perturbation이 광섬유에 인가되면 빛의 편광 현상이 변하는데

편광현상의 변화로부터 침입자 유무를 알아내는 광섬유 분포형 감지 센서는 감도는 높으나 오동작율이 높은 단점이 있다. OTDR 방식을 이용하는 분포형 광섬유 침입자 센서는 광섬유 내에서 일어나는 Rayleigh 역산란 빛의 간섭 현상을 이용하는 방법과, 침입자에 의한 광섬유 절단 혹은 많은 감쇠현상으로부터 침입자를 감지하는 방법이 널리 이용되고 있으나 전자는 신뢰성이 나쁘고 후자는 감도가 낮다. 광섬유 내에서 전달되는 빛의 모드와 모드사이의 간섭으로 발생하는 스펙클 변화를 이용한 분포형 침입자센서는 넓은 범위를 감지할 수 있고, 감도도 높고, 오동작율도 낮다. 그래서 이 방식을 이용한 광섬유 분포형 침입자 센서들이 많이 연구 개발되어지고 있다. 또한 위에서 언급한 스펙클 센싱 방법의 장점 때문에 스펙클 변화를 이용한 진동센서^[8,9]가 연구 개발되어 졌으며 백색광 스펙클 방식을 이용하여 스트레인 분석 방법도 연구 되어졌다.^[10] 본 연구에서는 현재까지 발표된적이 없는 침입자 구별이 가능한 스펙클 변화를 이용한 침입자 센서 시스템을 개발하였다. 그리고 개발된 센서 시스템의 특성 실험들이 광섬유 센서를 부드러운 흙밑에 매설하여 차와 사람을 이용하여 수행되어 졌다.

II. 이 론

레이저에서 방출되어 다중모드 광섬유에 결합된 코히어런트한 빛이 광섬유 내부를 전파하면서 모드와 모드사이의 간섭을 일으켜 광섬유 끝단에서 빛을 방출하여 끝단면에서 일정한 거리에 있는 스크린에 비추면 밝고 어두운 부분이 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 단

†E-mail: jpk@kmu.ac.kr

면에서 r만큼 떨어진 스크린 위의 한점에서의 광 강도^[11]는

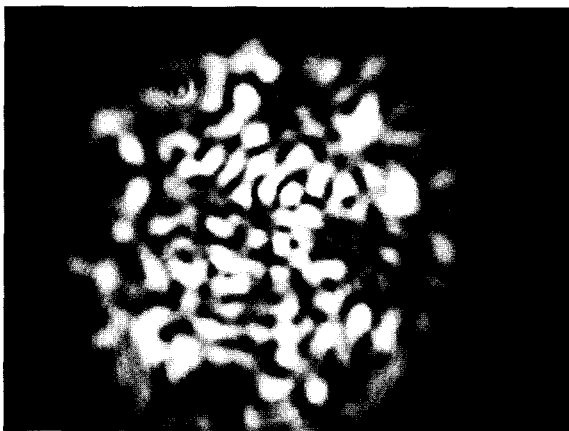
$$I(x, y) = \left| \sum_{m=1}^N E_m(r) \exp[i(k_m \cdot \vec{r} - \omega t) + i\Phi_m] \right|^2 \quad (1)$$

$$I_{total} = \iint I(x, y) dx dy = constant \quad (2)$$

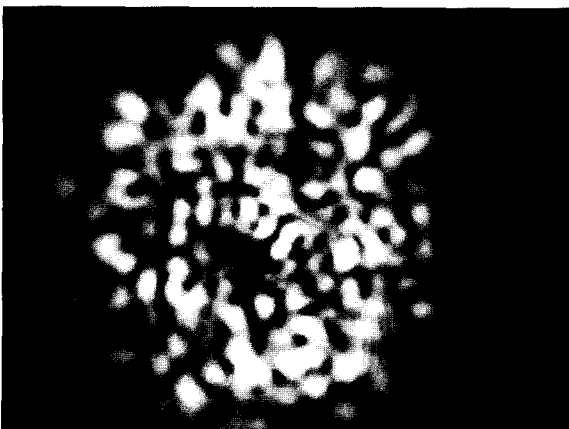
이다. 여기서 k_m 은 m번째 모드의 자유공간에서의 전파상수 이고, Φ_m 은 m번째 모드의 빛이 광섬유에서 방출되기 직전의 위상이고, ω 는 레이저 빛의 각 주파수이고, $E_m(r)$ 은 r 지점에서의 m번째 모드 광파의 크기이다. 외부에서 광섬유에 섭동을 인가하면 전송중인 빛의 위상이 변하여 평면에서의 광 간섭현상이 변하게 된다. 변화된 광 간섭에 의한 강도는 식 (3)로 표현된다.

$$I(x, y) = \left| \sum_{m=1}^N E_m(r) \exp[i(k_m \cdot \vec{r} - \omega t) + i(\Phi_m + \Delta\Phi_m)] \right|^2 \quad (3)$$

여기서 $\Delta\Phi_m$ 은 외부 섭동에 의한 m번째 모드의 위상변화이다. 광섬유에 인가되는 같은 외부 섭동에 대해 모드마다 위상변화가 다르게 되기 때문에 평면에서의 스펙클 패턴이 변화한다. 그림 1의 a는 광섬유에 외부 섭동이 인가되기전의 스펙클 패턴 사진이고 그림 1의 b는 광섬유에 외부 섭동이 인가된후의



(a)



(b)

그림 1. 스펙클 패턴(a: 섭동이 인가되기전, b:섭동이 인가된후)

스펙클 패턴 사진이다. 그림 1로부터 광섬유에 인가된 외부 섭동에 의하여 스펙클 패턴이 변화 한다는 것을 알 수 있다.

2.1. 센서 시스템

스펙클을 이용한 광섬유 침입자 센서 시스템(그림 2)은 두 개의 microprocessors(intel 80196과 TMS320C31)로 설계되어 졌으며 아날로그부, 디지털 제어부, 디지털 신호 처리부로 구성되어 있다. 아날로그부의 송신모듈에서 레이저를 구동 시키면 코히어런트한 빛이 나와 광섬유로 입사되어, 센서 역할을 수행하는 광섬유를 따라 전파된다. 광섬유를 따라 전파되던 빛이 광섬유 끝 단면에 도착하여 아날로그부의 수신모듈을 만나면 전기신호로 변환되어 디지털 제어부로 보내진다. 디지털 제어부에서는 아날로그부에서 보낸 신호를 디지털 신호로 변환하여 디지털 신호 처리부로 보낸다. 디지털 신호 처리부에서는 이 신호로부터 event 발생유무 및 event 발생원인을 찾아내어 디지털 제어부에 알려준다.

아날로그부(그림 3)는 송신모듈, 수신모듈, Low Pass Filter (LPF), High Pass Filter(HPF), 및 증폭기로 구성되어 있다. 송신모듈은 레이저 구동회로와 광섬유 센서가 붙어 있는 레이저로 구성되어있으며 레이저 구동회로는 레이저에 빛이 나와서 광섬유에 전달되도록 레이저에 전류를 공급한다. 수신모듈은 공간필터와 Photodector(PD)로 구성되어 있다. 광섬유 끝단면에서 약간 떨어진 지점에 PD를 설치하여 제작된 공간필터는 수식 (2)에서 알 수 있듯이 광섬유 끝단면에서 방출되어 광섬유 끝단면에서 일정한 거리에 있는 스크린에 비추는 전체 광량은 항상 일정하기 때문에 광섬유 끝단면에서 나오는 빛 일부분만 PD에서 검출되게 한다. PD는 공간필터에 의해 검출된 일부분의 빛을 전기신호로 바꾸어 준다. PD에서 변환된 전기신호는 PRE-Amp에서 조금 증폭되고 5 kHz의 cutoff 주파수를 가진 LPF와 50 Hz의 cutoff 주파수를 가진 HPF를 통과하여 증폭기로 보내진다. LPF와 HPF는 필요없는 노이즈 신호는 차단 시키고 알기 원하는 특정 주파수의 신호만 통과 시키기 위해 사용되어 졌다. 마지막으로 증폭기는 HPF에서 받은 신호의 크기를 키워서 디지털 제어부로 보낸다.

디지털 제어부는 Intel 80196 microprocessor, RAM, ROM, I/O port들을 사용하여 설계 되어졌다. 디지털 제어부는 전체 시스템을 관리 감독하고 아날로그부에서 보내온 아날로그 신호를 Intel 80196에 내장되어있는 10 bits A/D 변환기를 사용

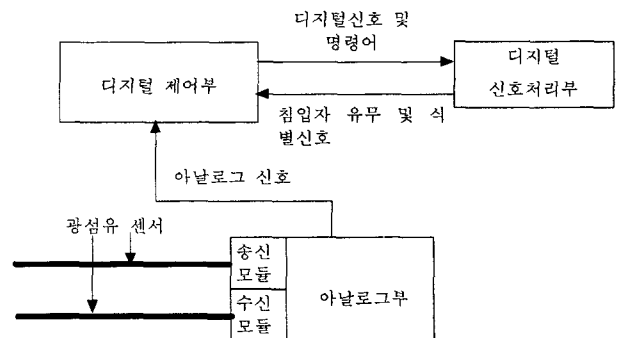


그림 2. 센서 시스템

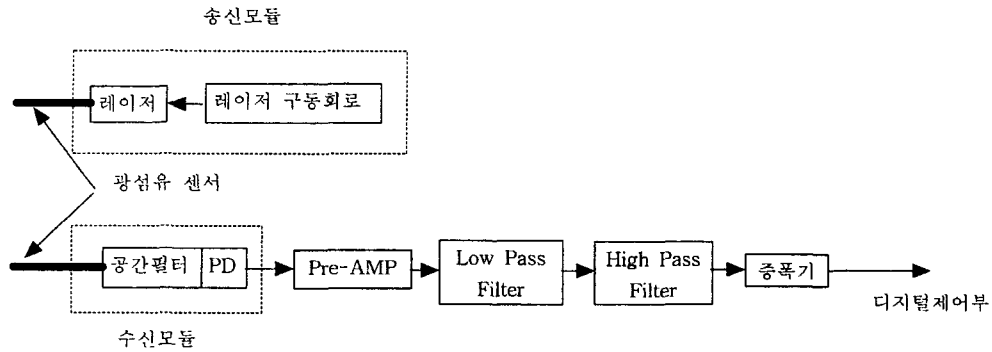


그림 3. 아날로그부

하여 10 kHz로 sampling 하여 디지털 신호로 변환한 뒤에 output port를 통해 디지털 신호처리부로 보낸다. 그리고 디지털 신호 처리부에서 input port를 통해 보내온 event 관련 신호를 받아서 lamp들을 점등 시키고 alarm 신호를 발생 시킨다.

디지털 신호처리부는 event 발생 유무 및 침입자 식별 알고리즘이 구현된 프로그램이 수행되어 지는곳으로 TMS320C31, high speed memory 및 I/O port 들을 사용하여 설계되어졌다. 디지털 제어부로부터 10 kHz로 sampling된 신호를 받아서 event 발생 유무를 판단하고 event 발생시 event의 원인을 찾아내어 디지털 제어부로 알려준다.

2.2. 신호처리 알고리즘

TMS320C31 마이크로프로세서로 설계된 디지털 신호처리부에서 구현되는 신호처리 알고리즘은 그림 4에 있다. 신호처리 알고리즘은 0~5 V 범위의 아날로그 신호를 10 bits, 10 kHz로 sampling된 디지털 신호를 사용하여 event 발생 유무와 event 발생 원인을 찾아낸다. 신호처리알고리즘은 두 개의 parts로 나누어져 있으며 첫 번째는 노이즈와 event를 구별(event 발생유무과정)하고 두 번째 part에서는 event가 발생했을 때 event 발생원인이(event 발생원인 분석과정) 차인지 사람인지 구분한다.

광원 노이즈, 회로 노이즈, 및 원치않는 환경 노이즈등에 의해 외부에서 광섬유 센서에 섭동을 인가한 경우와 유사하게 출력신호가 변한다. 그래서 노이즈에 의한 출력신호 변화 인지 event 발생에 의한 출력신호 변화인지를 구별 하여야 한다. Event와 노이즈를 구별하기 위해서 70 ms 크기의(sampling data 수는 700개) Sliding window^[12]를 사용한다. 아날로그부에서 보내온 신호를 A/D변환기를 사용해서 디지털 데이터로 만들어 디지털 신호처리부로 보내면 디지털 신호 처리부에서는 새로운 한개의 데이터를 window안에 두고 window내에 가장 오래 머물러 있었던 데이터 한 개를 window 밖으로 내 보낸다. 그리고 수식 (4)를 이용하여 window 내에 있는 모든 데이터를 더한다.

$$P = \sum_{i=0}^{699} S_i \tag{4}$$

여기서 S_i 는 window내에 있는 i 번째 디지털 데이터의 크기이다. 계산된 P 값이 event threshold(P_{th})와 비교하여 P_{th} 값보다 작으면 위의 과정을 반복하고 P 값이 event threshold(P_{th})와 비

교하여 크면 event(침입자)가 발생한 것으로 판단한다. 노이즈에 의한 출력신호 변화량은 event에 의한 출력 신호 변화량 보다 매우 작기 때문에 event 발생 유무 과정에서 침입자에 의해서 발생한 출력신호 변화만을 찾아낸다. Event가 발생했다고 판단되면 event 발생유무 과정을 끝내고 event 원인 분석 과정으로 들어간다. Event 원인 분석 과정에서는 단지 차에 의해서 발생한 event인지 사람에 의해 발생한 event인지를 구별한다. 제일 먼저 window내에 있는 700개의 데이터에 324개의 0을 첨가하여 1024개의 데이터를 만든다. 1024개의 데이터와 수식 (5)를 사용하여 time domain에 있는 데이터를 주파수 domain^[13](Fourier Transform 수행)으로 이동시키다.

$$s(n) = \frac{1}{N} \sum_{k=0}^{N-1} S_k e^{j2\pi kn} \tag{5}$$

여기서 N 은 데이터의 개수(1024)이고 S_k 는 1024개의 데이터 중 k 번째 데이터의 크기이다. 주파수 domain으로 이동 시킨후 n 을 0에서 20까지 변화 시키면서 수식 (6)-(8)을 사용하여 CS를 계산한다. C-1과 CS의 초기치는 0이다. 계산된 CS를

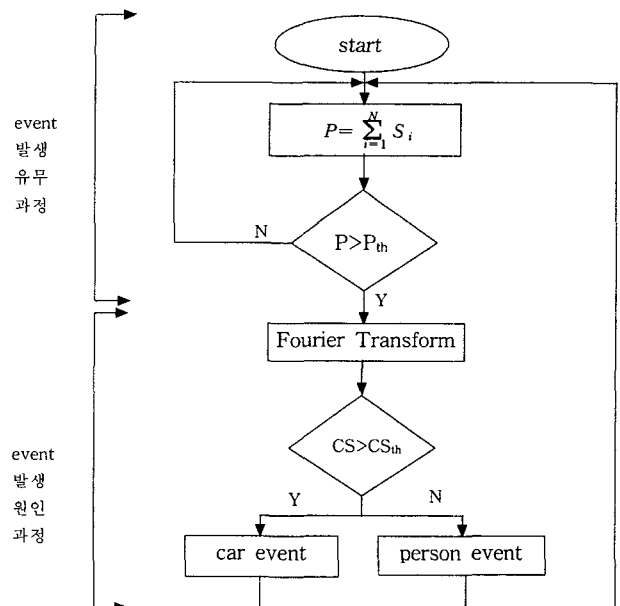


그림 4. 신호처리 알고리즘

threshold값(CS_{th})과 비교해서 크면 event 발생원인이 차이고 적으면 사람으로 판단한다. 본 광섬유 침입자 센서에서 사용된 P_{th} 는 30000, CS_{th} 는 2이고, C_{th} 는 0.1이다.

$$C_n = s(n+1) - s(n) \quad (1)$$

$$T = C_i - C_{i-1} \quad (2)$$

$$CS = CS + 1 \text{ if } |T| < |C_i| \text{ and } |C_i| > C_{th} \quad (3)$$

III. 실험 및 결과

광섬유 침입자 센서 시스템의 성능을 알아보기 위해 맑고 바람이 없는 날 부드러운 흙으로 이루어진 계명대학교 학도호국단 운동장에서 간단한 실험이 수행되어졌다. 실험장치는 그림 5에 있으며 실험에 사용된 광섬유 센서는 500 m 길이의 다중모드 광섬유를 사용하였다. 실험에서 침입자를 감지할 센서로서 사용될 광섬유 500 m중 약 40 m 정도는 땅속 5 cm 깊이로 묻고 나머지는 흙을 얇게 덮던지 나무상자 내부에 두어 원치않는 주변 환경 노이즈를 차단하였다. Event 발생 유무 및 침입자 식별 시험은 65 kg의 사람과 800 cc의 대우 마티즈를 사용하여 수행되어졌다. 침입자 센서 시스템의 아날로그부에 있는 송신모듈에서 파장이 830 nm이고 코히어런스 길이가 50 cm 레이저를 구동 시키면 코히어런트한 빛이 나와 광섬유로 입사되어 센서 역할을 수행하는 광섬유를 따라 전파된다. 광섬유를 따라 전파되던 빛이 광섬유 끝 단면에 도착하여 아날로그부에 있는 수신모듈을 만나면 전기신호로 변환되어 디지털 제어부로 보내진다. 디지털 제어부에서는 받은 아날로그 신호를 10 kHz, 10 bits A/D 변환기를 사용하여 디지털 신호로 변환하여 디지털 신호 처리부로 보낸다. 디지털 신호 처리부에서는 이 신호로부터 event 발생유무 및 event 발생원인을 찾아내어 디지털 제어부에 알려준다. 땅속 5 cm 깊이에 묻혀있는 광섬유 센서위에 침입자가 없으면 시스템의 출력신호에 변화가 없다. 만약 센서위로 차 혹은 사람이 지나가면 광섬유 내부에서 전파되던 빛이 모드마다 다른 위상변화를 경험한다. 그래서 모드마다 다른 위상변화가 스펙클 패턴의 변화를 야기시키고 이로 인하여 PD에서 검출되는 빛의 양이 바뀌어서 출

력신호의 변화를 야기시킨다.

그림 6은 사람이 땅 밑에 묻혀있는 광섬유 위를 보통걸음으로 지나갈 때 나온 아날로그부의 출력 신호 변화이다. 사람이 땅 밑에 묻혀있는 광섬유 센서위를 지나기전에는 아날로그부의 출력신호의 변화가 없다가 사람이 광섬유 센서위를 밟을 때 큰 신호 변화가 나타나고 광섬유 위를 지나간 후에는 출력신호의 변화가 없었다. 그림 7은 차가 땅 밑에 묻혀있는 광섬유 위를 약 25 km 속도로 지나갈 때 나온 아날로그부의 출력 신호 변화이다. 차가 광섬유센서위를 지나가기전에는 출력신호의 변화가 없고 차의 앞바퀴가 광섬유 센서위를 지나갈 때 큰 신호 변화가 나타나고 차의 뒷 바퀴가 광섬유 센서위를 지나갈 때도 마찬가지로 한번더 신호 변화가 나타났으며 광섬유 센서위를 지나가고 난뒤에는 출력 신호 변화가 나타나지 않았다. 그림 6-7에서 알수 있듯이 침입자가 사람인 경우의 신호 변화는 갑자기 신호크기가 증가하다가 시간이 지남에 따라 단순 감소하고 침입자가 차인 경우의 신호변화는신호 크기의 증감을 반복하였다. 이와같은 신호변화에 차이가 나타나는 이유는 차가 사람보다 무겁기 때문에 스펙클 패턴의 변화를 더 많

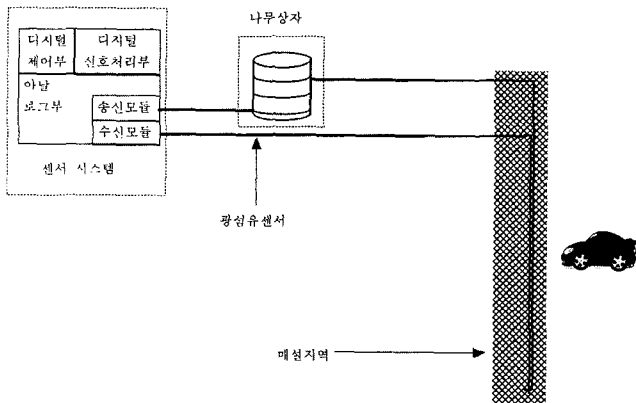


그림 5. 실험장치.

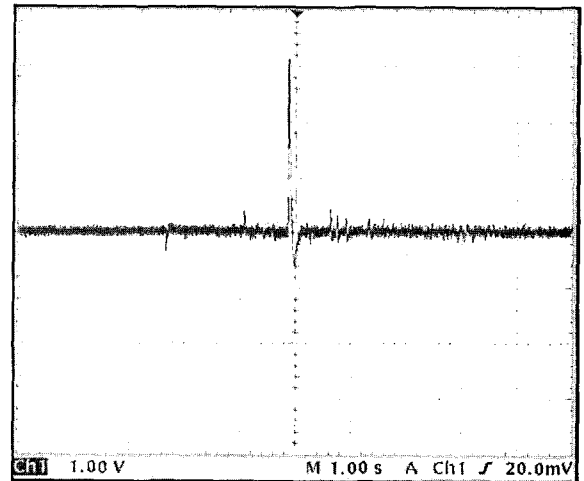


그림 6. 침입자가 사람일 경우의 신호 변화.

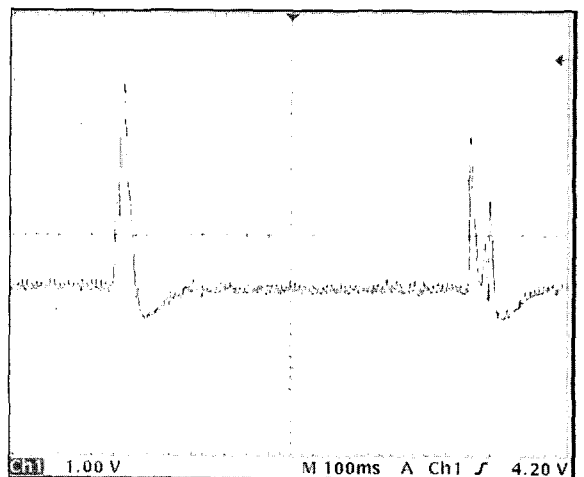


그림 7. 침입자가 차일 경우의 신호 변화.

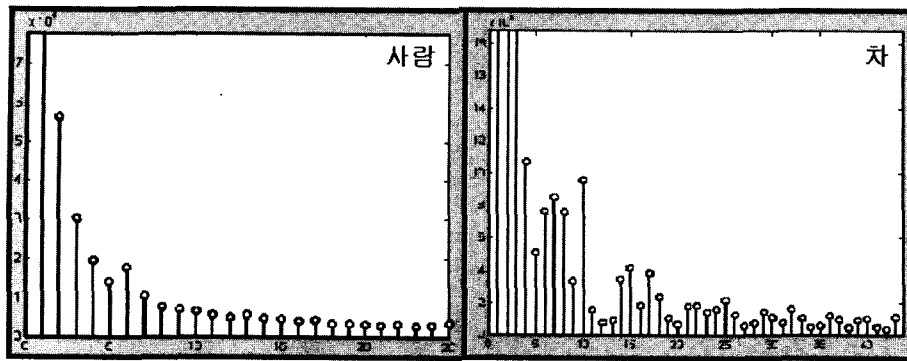


그림 8. 주파수 영역에서의 신호변화.

이 야기 시키기 때문이다. 그림 8은 그림 6과 그림 7에서 신호 변화가 일어나는 지점에 70 ms의 window를 두어 window내에 있는 data를 MATLAB을 사용하여 주파수 영역으로 이동시킨 결과이다. 침입자가 사람인 경우는 Sample의 크기가 단 순하게 감소만 하였으나 차인 경우는 sample 크기의 증감을 반복 하였다. 주파수 영역으로 이동시킨 결과로부터 개발된 신호처리 알고리즘을 사용하여 계산된 CS 값은 차인 경우는 7 이고 사람인 경우는 0였다. 침입자가 차 인경우는 CS값이 CS_{th} 값보다 컸고 사람인 경우는 CS_{th} 값보다 작았다.

광섬유 침입자 센서 시스템의 event 발생 감지율과 침입자 인식율을 알아보기 위해서 사람과 차를 이용하여 100회 event를 발생시켰다. 센서 시스템은 발생한 모든 event를 정확하게 감지하였고 실험중 오동작(False Alarm)은 한번도 발생하지 않았다. 그리고 event가 차에 의해서 발생 되었을 경우 모두 event 발생 원인이 차로 인식하였고 event가 사람에 의해 발생 되었을 경우는 90%만 사람으로 인식하였다. 그 이유는 차인 경우 항상 일정하게 광섬유 센서에 perturbation을 인가하였지만 사람의 경우 항상 일정하게 perturbation을 광섬유 센서에 인가하지 못했기 때문이다.

IV. 결론 및 고찰

침입자 유무 및 침입자의 식별(차와 사람 구별)이 가능한 아날로그부, 디지털 제어부, 및 디지털 신호처리부로 구성된, 스펙클 변화를 이용한 광섬유 침입자 감지 센서 시스템을 개발하였다. 그리고 시스템 성능 실험은 맑은 날에 부드러운 흙길에 광섬유 센서를 묻어 차와 사람을 이용하여 수행되어졌다. 성능 실험을 위해 차 혹은 사람이 100회 event를 발생시켰으며 센서 시스템은 event를 발생시킬 때마다 모든 event를 감지하였고 실험중 오동작은 한번도 없었다. 그리고 event가 차로 의해 발생된 경우 100% 차로 인식하였으며 event가 사람에 의해 발생된 경우 90%만 사람으로 인식하였다. 개발되어진 센서 시스템에 적용된 신호처리 알고리즘은 맑고 바람없는 날에 부드러운 흙길에 광섬유를 매설하여 단지 사람과 차만을 이용하여 수행된 실험으로부터 얻어진 데이터를 사용하여 만들어졌다. 그래서 다른환경에 개발된 시스템을 적용하기가 쉽지 않다. 다양한 환경에서 사용되어질 센서 시스템을 개발하기 위해서는 여러조건하에서 많은 실험들이 수행되어야 한다.

감사의 글

본 연구는 민군겸용지원사업 연구비 지원으로 수행되고 있는 연구과제의 일부이다.

참고문헌

- [1] F. Williamson, R. Brooks, E. Greneker, N. Currie, J. Williamson, and M. McGee, "Radar as part of a netted surveillance system-a problem revisited," *1992 Carnahan Conference on Security Technology*, pp. 14-18, 1992.
- [2] C. Bryson, "Interferometric sensor system for security applications," *Tenth International Conference on Optical Fiber Sensors*, vol. 2360, pp. 485-488, 1994.
- [3] A. Kersey, K. Dorsey, and A. Dandridge, "Transmissive serial interferometric fiber sensor array," *Journal of Light-wave Technology*, vol. 7, pp. 846-851, 1989.
- [4] J. Park and H. Taylor, "Fiber optic intrusion sensor using coherent optical time domain reflectometer," *Japanese Journal of Applied Physics*, vol. 42, pp 1-2, 2003.
- [5] 백세중, 권일범, 정철, 유재황, "광섬유 ROTDR 센서를 이용한 침입 탐지기법의 개발" *센서학회지*, 11권, pp. 209-217, 2002.
- [6] J. Hazan, M. Steers, G. Delmas, and J. Nagel, "Buried optical fiber pressure sensor for intrusion detection," *Carnahan Conference on Security Technology*, pp. 125-129, 1989.
- [7] Chung-ye Leung and Ifan Chang, "Optical fiber line sensor based on speckle detection," *Carnahan Conference on Security Technology*, pp. 125-129, 1986.
- [8] J. Valera, A. Doval, and J. Jones, "Determination of vibration phase with electronic speckle pattern interferometry," *Electronics Letters*, vol. 28, pp. 2292-2293, 1992.
- [9] W. Spillman, B. Kline, L. Maurice, and P. Fuhr, "Statistical-mode sensor for fiber optic vibration sensing uses," *Applied Optics*, vol. 28, pp. 3166-3176, 1989.
- [10] A. Asundi and F. Chiang, "Theory and applications of the white light speckle method for strain analysis," *Optical Engineering*, vol. 21, pp. 570-580, 1982.
- [11] 엄년식, 김요희, 양승국, 오상기, 김인수, 박재희, 강신원, "스펙클 패턴을 이용한 침입자 센서," *전자공학회지*, 38권, pp. 82-88, 2001.

[12] W. Stallings, *Data and Computer communications* (Prentice-Hall, 1997, London).

[13] R. Robert and C. Mullis, *Digital signal Processing* (Addison Wesley, 1987, Ontario).

A study of fiber optic intrusion sensor system using the speckle patterns

Insoo S. Kim

*Electromagnetic Medical Device Research Group, KERI
665-4, Naeson 2-dong, Euiwang-shi, Gyeonggi-do, 437-808, KOREA*

Jaehee Park[†]

Keimyung University, Dept. of Electronics Engineering, 1000 Sindang-Dong, Dalseo-Gu, Deegu, KOREA

[†]*E-mail: jpark@kmu.ac.kr*

(Received January 30, 2003, Revised manuscript May 2, 2003)

A fiber optic intrusion sensor system using the variations of speckle patterns was developed. The intrusion sensor system consisted of an analog unit, a digital control unit, and a DSP unit. Some experiments were carried out using a 500 m length optical fiber sensor. The system detected intruders without missing, and distinguished between cars and persons. When the intruders were cars, the discrimination probability was 100% and when the intruders were persons, the discrimination probability was 90%.

OCIS Code : 060.2370.