

능동레이저 근거리 감지센서

김웅식, 강병무, 김완주
국방과학연구소

A Near Range Sensing Device Using Active Laser Diodes

Ungsik Kim, Byoungmoo Kang, Wanjoo Kim
Agency for Defense Development

Abstract - This paper describes an active laser sensing device using laser diodes and optic devices. It is able to detect near targets existed in 360° directions simultaneously with effective-ness and reliability. This sensing device consists of four laser transmitters and four receivers. Only four transmitter/receiver channels of this near range sensing device are capable of 360° coverage. The usefulness of this sensing device is confirmed through some experiments for the mock-up targets.

1. 서론

기준위치에서 주어진 범위내에 존재하는 물체를 감지하기 위해 초음파 센서나 기타 여러 방법이 쓰여지고 있으나 본 논문에서는 360° 전방향을 동시에 감지하여 실시간 처리가 가능한 능동레이저 감지센서 방식을 제안하고 이의 구현 및 실험결과에 대해 다루기로 한다. 이 센서의 기본 원리는 레이저광을 송신하고 목표물에 반사되어 돌아온 신호를 처리하여 정해진 범위를 감지하는 방식이며 그림 1은 능동레이저 근거리 감지센서의 기본적인 구성을 간략히 나타낸 것이다. 레이저 광원으로는 신뢰성이 높고 간편한 반도체 (GaAs) 레이저 다이오드 (laser diode)를 채택하고 송신광학장치를 부가하여 송신레이저 빔 (beam)이 부채꼴모양으로 90° 이상 펼쳐지게 하여 4개의 송수신 채널만으로도 360° 전방향을 담당할 수 있게 하였다. 호처리 알고리즘의 채택으로 미리 설정된 근거리내의 목표물만을 감지하는 거리창 (range cutting)기능을 구현 하고, 제어 및 결정부에서는 잡음 제거 기능 및 참신호 변별 기능을 포함하여 목표물 감지의 신뢰성을 증대 하였다.

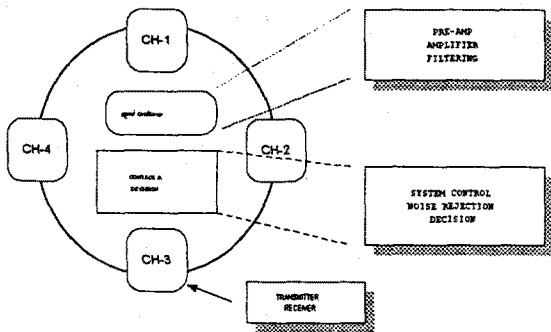


그림 1. 근거리 감지센서의 기본구성

2. 근거리 감지센서 시스템

2.1 감지센서 시스템의 구성

그림 1의 기본 구성도에서와 같이 4개의 송신부와 수신부, 신호처리부 그리고 각 구성부를 제어하고 목표물의 존재여부를 최종 판단하는 제어 및 결정부로 감지센서 시스템이 이루어져 있다. 송신부의 구성은 레이저 빔을 펼쳐주는 광학장치 및 레이저 다이오드가 하나의 구조물내에 결합된 형태를 가지는 송신모듈과 이를 구동하여 주는 회로부로 이루어져 있으며, 수신부는 설정된 거리 밖에서 입사되는 광신호를 대폭 감쇄시켜 거리창 (range cutting) 기능을 수행하는 수신광학장치와 광에너지를 전기적 신호로 바꾸어 주는 PD(photo detector)와 관련 전자회로로 구성되어 있다.

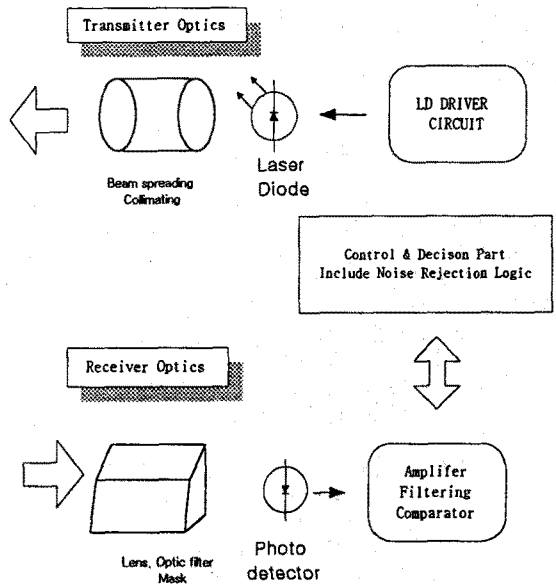


그림 2. 근거리 감지센서의 구성도

그리고 이 모듈의 출력신호를 증폭하고 처리하여 디지털신호화 하는 비교기부와 노이즈 제거 기능 및 목표물의 유무를 최종 판단하고 제어하는 신호처리부가 있다. 이외에도 센서 시스템의 회로부에 필요한 전원을 만들어 공급하여 주는 역할을 하는 전원부가 있다.

2.2 감지센서 시스템의 작동개념

고속 레이저 구동회로에 의해 레이저 다이오드에서 발생된 적외선 (infra red:IR) 레이저 펄스는 fan beam 형태로 레이저 빔을 확산시키는 송신광학장치를 거쳐 의

부로 복사되며 제어부의 시스템 제어 클럭 (system control clock)에 동기되는 수백 nsec 미만의 펄스신호 형태가 된다. 목표물에 반사되어온 광신호나 기타 다른 광원에 의한 광에너지가 제한된 각도 이내로 입사될 때 PD의 감지면에 상이 멎히게 하는 수신 광학장치와 PD 및 관련 회로를 거쳐 광에너지를 전기에너지로 변환되며 이 신호 역시 1 μ sec 미만의 펄스형태가 된다. 전송한 바와 같이 이러한 수신광학장치의 채택으로 거리창 기능을 가지게 되는 것이다. 수신부에서 출력되는 미약하고 ($\sim \mu$ V) 짧은 폭의 신호는 검출회로부에서 저잡음 광대역 OP-Amp에 의해 증폭되어 비교기에 입력되어 디지털 처리가 가능한 형태로 변환된다. 이 과정에서 잡음성분을 배제하기 위한 필터링(filtering) 및 최적신호를 얻기 위한 문턱값 (threshold level) 조절 기능이 부가된다. 상기 과정에서 획득한 비교기출력 신호만으로 목표물의 유무를 판단하기에는 여러 요인에 의해 발생된 잡음신호의 영향에 의해 감지확률(detection probability)이 저하 된다. 이를 해결하기 위해 다음과 같은 잡음 제거 기능(noise rejection logic)을 가진다. 그림 3은 이 기능을 나타낸 그림이다.

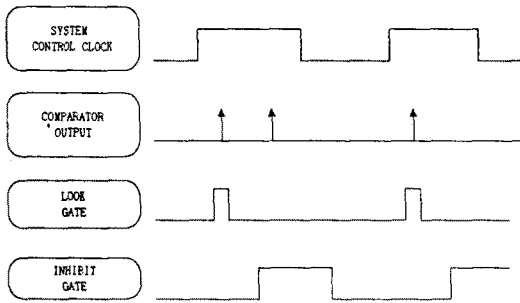


그림 3. 잡음제거 기능의 동작개념

먼저 시스템의 control clock에 동기되어 LD송신 및 기타 주요 동작이 이루어 지므로 허용시간 영역(look gate)과 금지시간 영역(inhibit gate)을 설정하여 그림 3과 같이 참신호 여부를 판단한다. 허용시간 구간동안 비교기 출력 신호가 발생되고 금지시간 구간에서 비교기 출력이 나타나지 않으면 실제 목표물에 의한 신호라 판단하여 decision회로의 계수기(counter)에 인가한다. 만일 금지시간 구간에서 비교기 출력이 발생하면 허용시간 구간동안의 결과에 관계없이 이를 잡음에 의한 것이라 판단하여 decision회로의 계수기를 초기화한다. 이러한 허용시간 영역의 시점 및 지속시간의 설정은 감지확률(detection probability)에 밀접한 영향을 끼치는 중요한 설계변수가 되므로 이에 대한 많은 고찰이 필요하다. 위의 과정에서 참신호로 판단되어 counting된 신호의 수가 연속 N일 경우 목표물의 존재여부를 최종 판단하게 된다. 이렇게 하므로써 감지시스템의 신뢰성을 높일 수 있으며 상기과정을 수행하는 부분이 제어 및 결정회로부가 된다.

2.3 근거리 감지 센서 시스템의 설계

감지센서의 주요 구성부를 설계하기 위한 변수를 알아 보면 먼저 감지하고자 하는 거리 및 목표물 조건등에 따른 LD의 출력 (minimum peak radiant power) 및 펄스폭 (pulse width), 반복 펄스수 (pulse repetition rate), 그리고 이와 같은 송신 조건에 따른 수신부의 PD특성 및 증폭회로의 대역폭등이 있다.

필요한 송신수신의 제반조건을 얻기 위한 고려 사항을 살펴보면 식 (1)과 같이 나타나며 수신부에서 처리가능한 최소 power는 구현 가능한 저잡음 광대역 OP-Amp

의 증폭도 및 대역폭에 의해 결정되며 본 시스템은 약 3×10^{-8} [W]의 값을 적용하였다.

$$P_t = \frac{P_r \cdot R^3 \cdot \phi \cdot \pi}{T_t \cdot T_r \cdot \sigma \cdot L \cdot A_r} \quad (1)$$

($L \ll 2R$)

여기서,

- P_t : 송신-출력 (peak power)
- P_r : 수신부에서 감지가능한 최소 Power
- R : 목표물과의 거리
- ϕ : 송신 Laser beam의 확산각도
- T_t : 송신렌즈의 Transmittance
- T_r : 수신렌즈의 Transmittance
- σ : 목표물의 반사율
- L : 목표물의 크기
- A_r : 수신부 개구경의 넓이 (Aperture size) 이다.

식 (1)에서 수신부에서 처리가능한 최소 power는 구현 가능한 저잡음 광대역 OP-Amp의 증폭도 및 대역폭에 의해 결정되며 본 시스템은 약 3×10^{-8} [W]의 값을 적용하였다. 수신된 광에너지 power를 결정하는 가장 큰 요인은 목표물과의 거리이며 만약 10m내에 있는 대상으로 감지하는 설계일 경우 1m에 있는 목표물에 의한 수신 power와 10m거리의 목표물에서 반사되어온 수신 power와의 비는 약 1000:1 이 되며, 이러한 넓은 dynamic range는 관련 전자회로 설계의 큰 난관이 되며 이를 해결하기 위해 특정 입사각을 갖는 광에너지를 받아들이는 수신광학장치의 채택이 필요하다.

만일 $R=10$ m, $L=1$ m, $\sigma=0.2$, $T_t = T_r = 0.8$, $A_r=0.6 \times 10^{-4}$ m² 이라면 식 (1)에서 P_t 는 20 [W]가 되며 이것은 pulsed-type 반도체 레이저로 가능하다. 이러한 LD의 duty factor는 대부분 0.1% 미만이므로 system control clock에 동기되어 짧은 LD 펄스를 얻기 위해서는 고속레이저 구동회로가 필요하며 일반적으로 그림 4와 같은 방식이 많이 쓰이며 본 연구에서도 이를 준용하여 레이저 구동회로를 구현하였다. 동작원리는 먼저 구동전원에 의해 충전 capacitor에 충전된 에너지를 SCR과 같은 switching 소자를 사용하여 순간적으로 방전시켜 수백 nsec의 폭을 갖는 레이저 펄스를 만들어 되며 이때 방전경로에는 순간적으로 수십 A의 전류가 흐르게 된다. 따라서 충분한 에너지 및 짧은 펄스폭을 만들기 위해서는 레이저 구동회로 제작시 많은 노력이 필요하게 된다.

이러한 송신펄스에 의한 반사신호를 처리하기 위한 수신부의 설계를 위하여 고려할 사항은 다음과 같다.

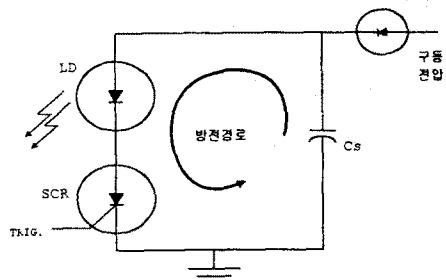


그림 4. 일반적인 pulsed-type LD의 구동

짧은 펄스폭을 미소 신호를 제대로 증폭하기 위해서는 천이시간(transit time)이 짧은 PD 및 충분한 증폭도 뿐 아니라 넓은 주파수 응답을 가진 초단증폭회로 (preamplifier)가 필요하다.

본 연구에서는 series load type 초단 증폭회로를 채택하였으며 이 방식의 장점으로서는 내잡음성이 강하며 비교적 구현이 쉽다는 점이며 그림 5는 이를 나타낸 것이다. 채택된 PD의 responsivity는 0.6 [A/W]이므로 최소 수신power가 3×10^{-8} [W]인 경우 PD에 흐르는 전류 I_d 는 $0.6 \times 3 \times 10^{-8} = 1.8 \times 10^{-8}$ [A]가 된다. 여기에서 중요한 설계변수로는 부하저항 값, 저주파 대역을 제거하기 위한 RC 필터 설계, 전체적인 증폭기의 증폭도 및 대역폭 결정등이 있다.

$$V_i = I_d \cdot R_L \quad (2)$$

$$t_r = 2.2 \cdot (R_s + R_L) \cdot C_p \quad (3)$$

식 (2)에서 인가되는 전압을 크게 하여 증폭도를 낮추고자 하면 식 (3)에 의해 transit time 커지게 되므로 이들을 적절히 조절하여 최적 값을 얻어야 한다. 그리고 증폭기의 대역폭은 다루는 신호의 펄스폭에 따라 결정되어 지며 식 (3)에서 R_s 및 C_p 는 PD자체 내부의 값이다.

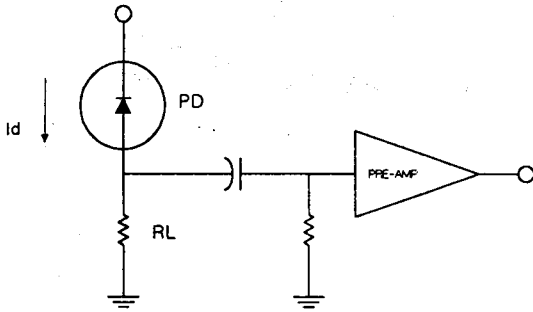


그림 5. PD의 Series load형 초단증폭부

3. 근거리 감지센서 시스템의 구현 및 실험

송신부의 레이저 다이오드는 적외선 대역의 파장을 갖는 최소 peak power가 30[W]인 반도체 LD를 채택하여 PRR(pulse repetition rate) 수KHz로 구동하였으며 송신광학장치는 사출성형된 beam spreader 및 collimating 렌즈로 구성하였다. 수신부는 전술한 바와 같이 range cutting기능 및 사용된 송신 레이저 다이오드의 파장대역 이외의 광잡음을 여과하는 optic filter가 구현되어져 있다. analog device사의 AD811 OP-Amp 두단으로 구성된 증폭회로를 설계/제작하여 사용하였으며, 이것은 주파수 대역폭 5MHz 이상, 증폭도 1300- 1600배(전압 증폭), 저역 차단 주파수 100 KHz의 주요 특성을 가진다. 증폭된 수신 신호는 비교기 회로에 의해 디지털 처리가 가능한 논리레벨로 변환된다. 또한 노이즈 제거 기능을 포함한 제어 및 판단회로를 프로그램가능형 논리소자 (EPLD) 및 마이크로 프로세서를 이용한 설계를 채택하여 조작성의 향상 및 보다 정확한 신호처리 알고리즘을 적용 할 수 있게 하였으며 손쉽게 알고리즘의 변경이 가능하게 하였다.

그림 6은 최종실험 결과를 나타낸 것이며 실험 조건은 최대 8m에서부터 4m 까지 일정 방향에 놓여진 모의 표적을 이동시켜가면서 참신호 판별부에서 최종적으로 출력된 결과를 바탕으로 목표물의 존재여부를 표시

한 것이다. 결과에서도 알 수 있듯이 360°전방향에 대해 목표물을 정확히 감지 할 수 있음을 알 수 있다.

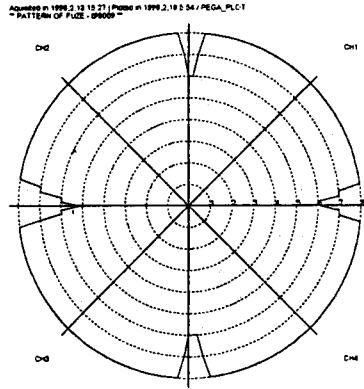


그림 6. 근거리 감지 결과

4. 결 론

본 연구에서는 반도체 레이저를 이용하여 360° 전방향을 실시간으로 감지할 수 있는 효율적이고도 신뢰성 있는 근거리 감지센서를 제안하였으며 감지센서의 각 부분을 설계 및 제작 하여 성능을 파악하였다. 모의 표적을 이용한 실제 실험을 통하여 설정된 거리내에서 신뢰성있게 동작함을 확인할 수 있었으며 본 논문에서 제안한 근거리 감지센서는 로보틱스, 공장 자동화 등 신뢰성을 요구하는 근거리 감지분야에 활용 될 수 있으리라 판단된다.

[참 고 문 헌]

- [1] Motorola Inc, "Optical Proximity Sensor Development Program", Final Report, AFAR-TR-73-52, 1973
- [2] RCA Inc, "A High-Speed Pulser For Injection-Laser Diodes", Application Note AN-4741A
- [3] Henry W. Ott, "Noise Reduction Techniques in Electronic Systems", Wiley-Interscience Publication, 1976