

# Time-of-Flight LIDAR의 검출신호세기 제어를 이용한 색깔변화에 따른 거리오차 제거

## Intensity control of Time-of-Flight based LIDAR to eliminate the distance errors in color variations

\*장준환<sup>1</sup>, 윤희선<sup>2</sup>, 황성외<sup>1</sup>, 박기원<sup>1</sup>

\*J. H. Jang<sup>1</sup>, H. S. Yoon<sup>2</sup>, S. U. Hwang<sup>1</sup>, #K. H. Park(khpark@gist.ac.kr)<sup>1</sup>

<sup>1</sup>광주과학기술원 기전공학과, <sup>2</sup>삼성전자 종합기술원

Key words : LIDAR, time-of-flight, intensity control

### 1. 서론

LIDAR(Light Detection and Ranging)는 넓은 영역을 좋은 분해능을 갖고 측정할 수 있다는 장점이 있어 로봇항법, 건축, 3차원 형상측정, 무인자 동차, 조선헌만산업 등, 산업 전반에서 널리 사용되고 있다. 특히 TOF(time-of-flight)방식 중에 하나로 위상 검출을 통해 거리를 계산하는 방법은 수m에서 수십m까지 측정하기에 적합한 방법으로 많이 쓰인다[1]. 하지만 신호처리를 하는 과정에서 전자회로내의 전자부품들의 동특성에 의해 입력 신호의 크기 차이에 따라 다른 위상 지연이 발생하게 된다. 이는 같은 거리에서 반사된 신호라 할지라도 반사율 차이에 따라 다른 위상 차이를 얻는다는 것을 뜻한다. 그러므로 색깔 변화에 관계없이 항상 일정한 크기의 신호가 입력될 수 있도록 유지하는 것은 거리 측정의 정확도를 위해 매우 중요하다. 이런 문제를 제거하기 위하여 진폭을 일정하게 유지시켜주는 Auto Gain Controller 또는 normalization method[2]를 많이 사용하고 있다. 하지만 이 또한 나뉠셈 과정에 있어서 또 다른 위상 지연을 유발하게 된다. 본 논문에서는 이러한 문제를 해결하기 위하여 APD bias 전압을 조절하여 측정되는 광 신호의 크기가 일정하도록 제어하는 검출신호세기 제어기법(Intensity control algorithm)을 제안한다.

### 2. 시스템 구성

위상 검출 방식 LIDAR의 거리 측정 원리는 Fig.1 과 같이 투사된 레이저광이 측정물체의 표면에서 확산 반사되어 돌아올 때, 기준신호와 반사된 신호의 위상 변화를 통해 거리를 얻어내는 것이다. 위상 검출 방식에 사용하는 광 검출기는 미약한

빛을 검출하는데 유리한 APD(Avalanche Photo Diode)가 많이 이용된다. APD는 높은 역 바이어스 전압을 인가하여 빛에 의해 발생한 전자가 높은 전계에서 가속되어 원자와 충돌하여 새로운 전자와 정공이 발생하도록 함(Avalanche effect, 눈사태 효과)으로서 역 바이어스 전압에 비례하는 높은 증폭률을 갖게 하며, 역 바이어스 전압 변화에 따라 증폭률 또한 변화한다. 이와 같은 특징으로 APD는 신호 대 잡음비(S/N ratio)가 높고, 고속 신호처리에 적합하다는 장점이 있다.

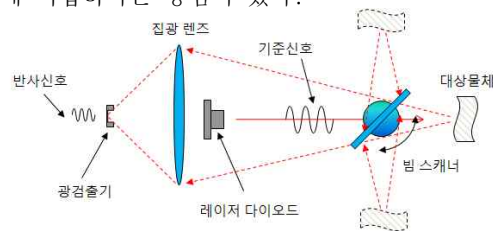


Fig. 1 The conceptual diagram of the phase-shift measurement for measuring distance

### 3. 검출신호세기 제어

위상 검출 방식의 LIDAR는 다음과 같은 방법으로 신호처리를 수행한다. 레이저 다이오드가 주파수  $w_{sig}$  (=40MHz)의 진폭  $V_r$ 을 갖는 정현파로 변조된다고 가정하면, 다음과 같이 표현 될 수 있다.

$$V_{ref} = V_r \sin w_{sig} t \quad (1)$$

반사되어 돌아온 신호  $V_d$ 는 다음과 같이 표현 될 수 있다.

$$V_d = V_{sig} \sin(w_{sig} t + \varphi_d) \quad (2)$$

여기서  $\varphi_d$ 는 거리 정보를 갖는 위상 값을 의미하고,  $V_{sig}$ 는 검출된 신호의 진폭을 의미한다. 신호 처리 과정을 통하여  $\varphi_d$ 를 검출하고 이로부터 거리를 환산해 낸다[3].

신호처리를 하는 과정에서 전자회로내의 전자 부품들의 동특성에 의해 입력 신호의 크기 차이에 따라 다른 위상 지연이 발생하게 된다. 이는 같은 거리에서 반사된 신호라 할지라도 반사율 차이에 따라 다른 결과를 만든다는 것을 뜻한다. 일반적으로  $\varphi'$ 는  $V_{sig}$ 의 함수로 표현되며, 항상 일정한 진폭을 유지하도록 구현이 된다 할지라도 이에 따른 위상 변화오차는 그대로 존재하게 된다. 이를 수학적으로 표현해 본다면 측정된 신호는 수식 (3)과 같이 표현이 된다.

$$V'_d = V_{sig} \sin[w_{sig}t + \varphi_d + \varphi'(V_{sig})] \quad (3)$$

수식 (3)은 수식 (2)의 거리정보를 갖고 있는 위상신호에 전자회로 내에서 전자부품들의 동특성에 의해 발생된 위상오차  $\varphi'(V_{sig})$ 가 더해진 형태이다. 아주 작은 위상오차라도 수십 mm의 거리를 나타내므로 신호처리 과정에서 생길 수 있는 위상오차를 제거하여야 한다. 위에서 가정하였듯이 40MHz의 주파수를 사용하였을 때  $1^\circ$  위상오차에 대한 거리변화는 다음과 같다.

$$D_e = \frac{c}{2f} \cdot \frac{1^\circ}{360^\circ} \approx 10mm \quad (4)$$

앞에서 언급한 것과 같이 APD의 역 바이어스 전압을 바꾸면 APD의 증폭률이 바뀌고 수식 (3)에 표기된 바와 같이 증폭률 변화에 따라 검출신호의 세기  $V_{sig}$ 가 변하게 되어 위상오차  $\varphi'(V_{sig})$  또한 변하게 된다. 이와 같은 APD의 특성을 이용하여 항상 일정한 신호 크기를 유지할 수 있도록 제어를 구성하였다. 본 논문에서 제안한 제어기는 Fig. 2와 같이 구성되었으며 신호  $V'_d$ 의 크기를 항상 기준전압 크기가 되도록 제어를 하는 것이 제어기의 역할이다.

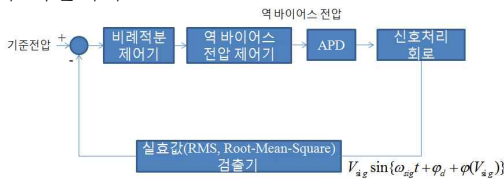


Fig. 3 The block diagram of the intensity controller

#### 4. 실험

Fig. 3은 각기 다른 색상을 갖는 물체로부터 반사되어온 신호로부터 얻어진 거리 값 결과이다. 그림 (a)는 intensity control 전 결과이고 그림 (b)는 적용 후의 결과이다. 그림의 결과를 통해 구성된 제어기를 이용하여 다양한 색상의 반사체에서 반사된, 각기 다른 반사율을 갖는 신호라

할지라도 항상 일정한 거리 값을 얻을 수 있었음을 확인할 수 있다.

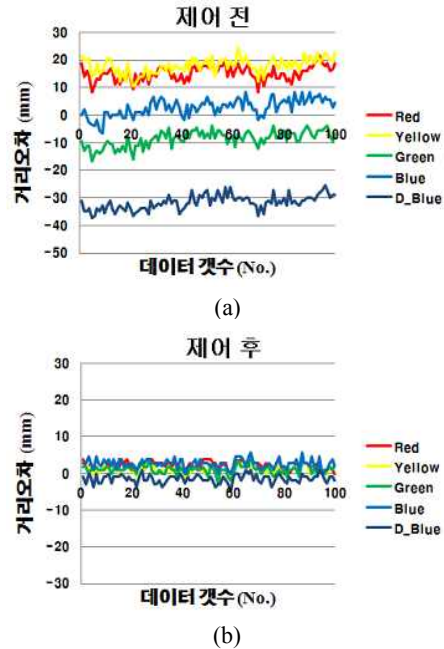


Fig. 3 The non-controlled and controlled measurement results of the distance errors due to color variations (@5m)

#### 5. 결론

본 논문에서는 APD bias 전압을 조절하여 측정되는 광 신호의 크기가 일정하도록 제어하는 검출신호 세기 제어기법(Intensity control algorithm)을 제안하였다. 이를 통해 반사율 차이를 갖는 물체로부터 측정된 거리 오차 값을  $\pm 5mm$  이내로 감소시킬 수 있음을 확인하였다.

#### 참고문헌

1. Markus-Christian Amann, Thierry Bosch, Marc Lescure, Risto Myllylä and Marc Rioux, "Laser ranging: a critical review of usual techniques for distance measurement", Opt. Eng. 40, 10 (2001).
2. Seonggu Kang, Hyunseung Choi, Heesun Yoon and Kyihwan Park, "Automatic gain control for the uniform amplitude of interferent signal in a Laser Doppler Vibrometer", ICCAS 2006, October 18-21, Busan, Korea, (2006).
3. 윤희선, 강성구, 송하준, 박기환, "레이저스캐너의 분해능 향상을 위한 다단계 위상 복조 알고리즘", 한국정밀공학회 춘계학술대회 논문집. pp511-512, (2009).