

# 위상 검출 방식 레이저 스캐너의 APD bias 전압 특성을 이용한 검출신호세기 제어 방법

## Measured Intensity Control Method of a Phase-shift Measurement Based Laser Scanner by using APD Bias Voltage Characteristic

장준환<sup>1</sup>, 윤희선<sup>2</sup>, 황성의<sup>1</sup>, 박기환<sup>1,✉</sup>

Jun Hwan Jang<sup>1</sup>, Hee Sun Yoon<sup>2</sup>, Sung Ui Hwang<sup>1</sup>, and Kyi Hwan Park<sup>1,✉</sup>

<sup>1</sup> 광주과학기술원 기전공학과 (School of Mechatronics, Gwangju Institute of Science and Technology)

<sup>2</sup> 삼성전자 종합기술원 (Advanced Institute of Technology, Samsung Electronics)

✉ Corresponding author: khpark@gist.ac.kr, Tel: 062-715-2391

Manuscript received: 2011.9.6 / Revised: 2012.4.10 / Accepted: 2012.7.9

*In the phase-shift measurement method, the distance light travels can be obtained based on the phase difference between the reference signal and the measured signal. When the object having various colors is measured, the intensity of the measured signal much varies even at the same distance, and it causes different phase delay due to wide dynamic range input to a signal processing circuit. In this work, an measured intensity control method is proposed to solve this phase delay problem.*

Key Words: Laser Scanner (레이저 스캐너), Phase-Shift Measurement (위상검출 방법), Measured Intensity Control (검출 신호 제어)

### 기호설명

$V_{ref}$  = reference signal

$V_d$  = measured signal

$V'_d$  = processed signal

$\omega_{sig}$  = modulation frequency

$V_r$  = the amplitude of reference signal

$\tilde{V}_{sig}$  = the amplitude of measured signal

$\phi_d$  = phase delay having distance information

$\phi'(\tilde{V}_{sig})$  = phase delay due to object reflectance

$D_e$  = distance error

### 1. 서론

레이저 스캐너(Laser Scanner)는 넓은 영역을 좋

은 분해능을 갖고 측정할 수 있다는 장점이 있어 로봇항법, 건축, 3 차원 형상측정, 무인자동차, 조선항만산업 등, 산업 전반에서 널리 사용 되고 있다. 특히 레이저를 정현파로 변조하여 빛이 진행함에 따라 생기는 위상 차이로부터 거리를 계산하는 방법은 수 m 에서 수십 m 까지 측정하기에 적합한 방법으로 쓰인다.<sup>1-3</sup> 하지만 다양한 색깔의 측정물체에서 반사된 신호의 광량은 증폭기, 변/복조기 등의 신호처리 회로에 사용되는 전자부품 소자들의 입력 신호의 크기 변화를 초래하고 이로 인해 각 부품에는 다른 위상 지연 특성이 발생된다. 즉, 같은 거리에서 측정된 신호라 할지라도 색깔에 따라 발생하는 위상 지연으로 다른 거리측정 결과를 얻을 수 있다. 그러므로 색깔의 변화에 관계없이 항상 일정한 크기의 신호가 신호 처리단에 입력될

수 있도록 유지하는 것은 거리 측정의 정확도를 위해 매우 중요하다. 이런 문제를 제거하기 위하여 진폭을 일정하게 유지시켜주는 AGC(Auto Gain Controller)의 normalization method<sup>4</sup> 를 많이 사용하고 있다. 하지만 이 또한 나뉠셈 과정에 있어서 또 다른 위상 지연을 유발하게 된다. 본 논문에서는 APD bias 전압 특성을 이용하여, 측정되는 광 신호의 크기가 일정하도록 제어하는 검출신호세기 제어 방법(Measured Intensity Control Method)을 제안한다.

**2. 시스템 구성**

위상 검출 방식 레이저 스캐너의 거리 측정 원리는 Fig. 1 과 같이 레이저 광을 반사거울을 이용한 스캐너를 통해 대상물체의 조사하고 조사된 빔이 대상물체의 표면에서 확산 반사되어 돌아올 때, 기준 신호와 반사된 신호의 위상 변화를 통해 거리를 얻어 내는 것이다. 그리고 이러한 위상 변화는 디지털 위상 검파기(Phase Detector)를 통해 측정되고 측정된 위상 정보로부터 거리 정보를 얻어내게 된다.

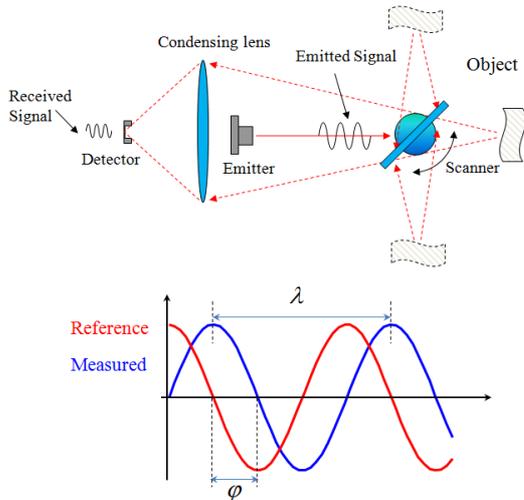


Fig. 1 The conceptual diagram of phase-shift measurement

위상 검출 방식에 사용하는 광 소자는 APD (Avalanche Photo Diode)소자가 가장 많이 이용된다. 측정된 광 신호를 전류 신호로 바꿔주는 역할을 하는 소자로, 일반적으로 APD 가 높은 내부 증폭

률을 갖고 있기 때문에 난반사된 미약한 빛을 검출하는데 사용이 된다. APD 는 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 바이어스에 비례하는 높은 증폭률을 갖게 한다. 이와 같은 특징으로 APD 는 신호대 잡음비(S/N ratio)가 높고, 고속 신호처리에 적합하다는 장점이 있다.

**3. 검출신호세기 제어**

위상검출 방식 레이저 스캐너는 다음과 같은 방법으로 신호처리를 수행한다.<sup>5</sup> 레이저 다이오드가 주파수  $\omega_{sig}$  ( $= 40$  MHz)의  $V_r$  진폭을 갖는 정현파로 변조 된다고 가정하면, 다음과 같이 표현될 수 있다.

$$V_{ref} = V_r \sin \omega_{sig} t \tag{1}$$

반사되어 돌아온 신호  $V_d$  는 다음과 같이 표현될 수 있다.

$$V_d = \tilde{V}_{sig} \sin(\omega_{sig} t + \varphi_d) \tag{2}$$

여기서  $\varphi_d$  는 거리 정보를 갖는 위상 값을 의미하고,  $\tilde{V}_{sig}$  는 검출된 신호의 진폭을 의미한다. Fig. 2 의 신호처리 과정을 통하여  $\varphi_d$  를 검출하고 이로부터 거리를 환산해 낸다.<sup>6,7</sup>

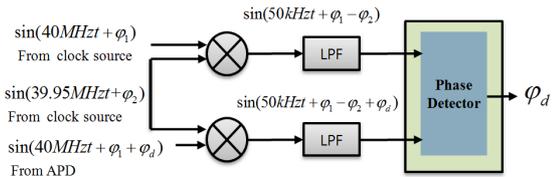


Fig. 2 The block diagram of the phase detection circuit

신호처리를 하는 과정에서 증폭기를 이용하여 측정된 신호를 증폭하거나, 믹서를 이용하여 두 신호를 믹싱하는 경우 전자회로내의 전자부품들의 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. 이를 수학적으로 표현해 본다면 측정된 신호는 수식 (3)과 같이 표현이 된다.

$$V_d = \tilde{V}_{sig} \sin(\omega_{sig} t + \phi_d + \phi'(\tilde{V}_{sig})) \quad (3)$$

수식 (3)은 수식 (2)의 거리정보를 갖고 있는 위상신호에 전자회로 내에서 전자부품들의 동특성에 의해 발생된 위상지연  $\phi'(\tilde{V}_{sig})$ 가 더해진 형태로 일반적으로  $\phi'$ 는  $\tilde{V}_{sig}$ 의 함수로 표현된다. 이때 발생하는 위상지연 변화 값들은 위상에러가 되고 아주 작은 위상에러도 수십 mm의 거리를 나타내므로 신호처리 과정에서 생길 수 있는 위상에러를 제거하여야 한다. 위에서 가정하였듯이 40 MHz의 주파수를 사용하였을 때 1° 위상에러에 대한 거리 변화는 수식 (4)와 같다.

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

이런 문제를 제거 하기 위하여 진폭을 일정하게 유지시켜주는 normalization 회로를 많이 사용하고 있다. 하지만, 이러한 나눗셈 과정은 수식 (5)와 같이 또 다른 위상 지연  $\phi'(\tilde{V}_{sig})$ 를 유발하게 된다. 결국 항상 일정한 진폭을 유지하도록 구현이 된다 할지라도 이에 따른 위상 변화오차는 그대로 존재하게 된다.

$$\frac{\tilde{V}_{sig} \sin(\omega_{sig} t + \phi_d)}{\tilde{V}_{sig}} = \sin(\omega_{sig} t + \phi_d + \phi'(\tilde{V}_{sig})) \quad (5)$$

이러한 문제를 해결하기 위하여 본 논문에서는 APD의 특성을 이용하여 측정되는 광 신호의 크기가 일정하도록 제어하는 검출신호세기 제어방법 (Measured Intensity Control Method)을 제안한다.

Fig. 3에서 볼 수 있듯이 APD의 역 바이어스 전압을 바꾸면 증폭률이 바뀌고 수식 (3)에 표기된 바와 같이 증폭률 변화에 따라 검출신호의 세기  $\tilde{V}_{sig}$ 가 변하게 되어 위상지연  $\phi'(\tilde{V}_{sig})$  또한 변하게 된다. 또한 Fig. 4에서 확인 할 수 있듯이 같은 거리에서 측정을 하여도 역 바이어스 전압을 바꾸면 거리가 변화한다는 것을 알 수 있다. 이와 같은 APD의 특성을 이용하여 항상 일정한 신호

크기를 유지할 수 있도록 제어기를 구성하였다.

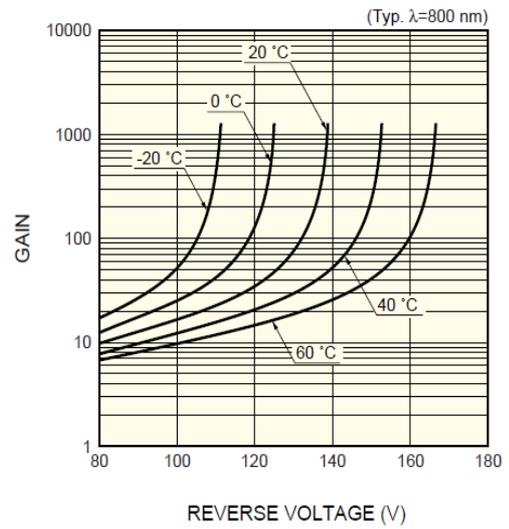


Fig. 3 Gain characteristic due to APD bias voltage

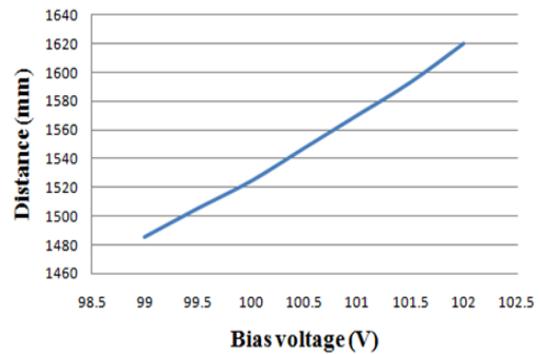


Fig. 4 Distance variation due to varying APD bias voltage (@1.5 m)

본 연구에서 제안한 제어기는 Fig. 5에서 볼 수 있듯이 비례적분(Proportional Integral: PI) 제어기, 펄스 생성기, 역 바이어스 전압 제어기, APD와 위상 검출

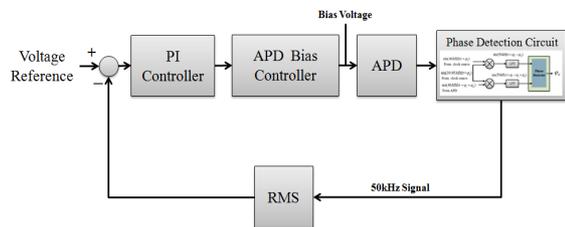


Fig. 5 The block diagram of the intensity controller

부, 실효값(RMS, Root-Mean-Square) 검출 회로로 구성되어 있다. 신호의 크기를 항상 기준전압 크기가 되도록 제어를 하는 것이 제어기의 역할이다.

$$V'_d = V_{sig} \sin(\omega_{sig}t + \varphi_d + \varphi'(V_{sig})) \quad (6)$$

검출신호세기 제어를 통해 위상검출부로 입력되는 신호의 진폭을 반사율에 관계 없이 일정하게 유지하면 수식 (6)에서와 같이 신호처리부에서 발생하는 위상 지연 또한 일정하게 유지되므로 반사율에 의해 발생하는 위상 변화가 제거된 것을 확인할 수 있다.

#### 4. 실험 결과

Fig. 6 은 각기 다른 색상을 갖는 물체로부터 반사되어 돌아온 신호로부터 얻어진 거리 값 결과이다. 그림 (a)는 제어 적용 전 결과이고 그림 (b)는 적용 후의 결과이다. 그림의 결과를 통해 구성된 제어기를 이용하여 다양한 색상의 반사체에서 반사된 각기 다른 반사율을 갖는 신호라 할지라도

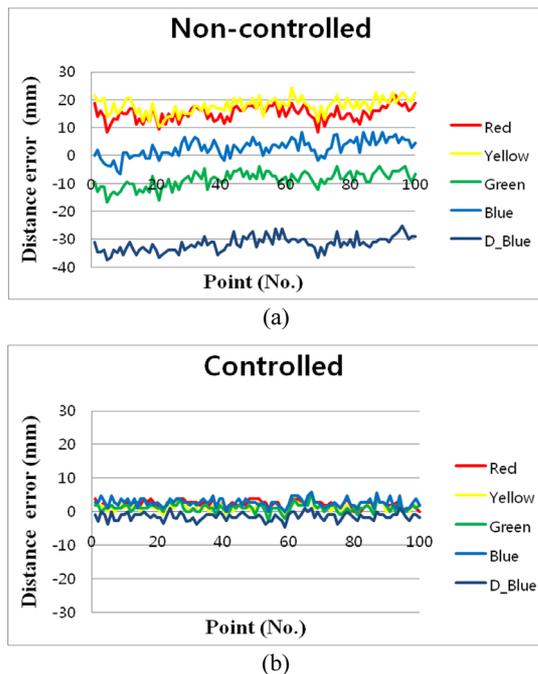


Fig. 6 The non-controlled and controlled measurement results of the distance variation due to the reflectance (@5 m)

항상 일정한 거리 값을 얻을 수 있었음을 확인할 수 있다.

Fig. 7 은 제어 전/후의 비너스상 스캐닝 결과이다. 제어 전에는 같은 색을 갖는 물체라도 형상굴곡에 의해서 발생하는 광량손실로 인해 측정신호에서 위상 변화가 발생하게 되어 형상이 왜곡되는 것을 확인할 수 있다. 하지만 제어 후에는 제어 전에 발생 하였던 형상 왜곡이 제거된 것을 확인할 수 있다.

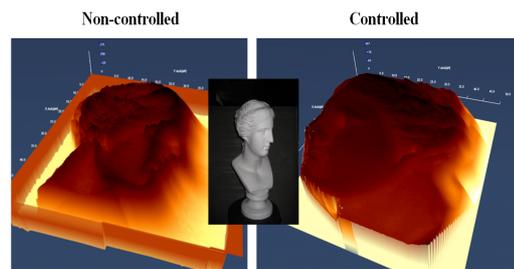


Fig. 7 The non-controlled and controlled scanning results of the statue of Venus (@3 m)

#### 5. 결론

본 논문에서는 APD bias 전압을 조절하여 측정되는 광 신호의 크기가 일정하도록 제어하는 검출신호세기 제어방법(Measured Intensity Control Method)을 제안하였다. 이를 통해 반사율 차이를 갖는 물체로부터 측정 거리 5 m 에서 ±5 mm 오차 이내로 감소시킬 수 있음을 확인하였다. 또한 3D 스캐닝 결과를 통해 측정체 반사율에 의해 발생하는 형상 왜곡이 제거 된 것을 확인하였다.

본 논문에서 제안된 방법은 거리측정뿐만 아니라 광학계측 분야에서 광량 변화로 인해 발생하는 오차를 최소화 할 수 있는 방법으로 적용될 수 있을 것이라고 기대된다.

#### 후 기

이 논문은 2012 년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임 (No. 2011-0017876).

#### 참고문헌

1. Amann, M., Bosch, T., Lescure, M., Myllylä, R., and

- Rioux, M., "Laser ranging: a critical review of usual techniques for distance measurement," *Opt. Eng.*, Vol. 40, No. 1, pp. 10-19, 2001.
2. Journet, B. and Poujouly, S., "High-resolution laser rangefinder based on a phase-shift measurement method," *Proc. of SPIE*, Vol. 3520, pp. 123-132, 1998.
  3. Schmackers, J., Velten, J., and Glasmachers, A., "Laser phase shift distance meter for vision based driver assistance systems," *IEEE International Conference on Imaging Systems and Techniques (IST)*, pp. 220-224, 2010.
  4. Kang, S., Choi, H., Yoon, H., and Park, K., "Automatic gain control for the uniform amplitude of interferent signal in a Laser Doppler Vibrometer," *ICCAS*, 2006.
  5. Jang, J., Yoon, H., Hwang, S., and Park, K., "Intensity control of time of flight lidar to eliminate the distance errors in color variation," *Proc. of KSPE Spring Conference*, pp. 1049-1050, 2011.
  6. Yoon, H. and Park, K., "Development of a laser range finder using the phase difference method," *Proc. of SPIE*, Vol. 6049, 2005.
  7. Yoon, H., Kang, S., Song, H., and Park, K., "A multiple phase demodulation method for improvement of resolution of the laser scanner," *Proc. of KSPE Spring Conference*, pp. 511-512, 2009.
  8. HAMAMATSU, "Si APD S2381 to S2385, S5139, S8611, S3884, S4315 series," 2006.