

레이저 스캐너의 분해능 향상을 위한 다단계 위상 복조 알고리즘 A multiple phase demodulation method for improvement of resolution of the laser scanner

*윤희선¹, 강성구¹, 송하준¹, #박기환¹

*H. S. Yoon¹, S. G. Kang¹, H. J. Song¹, #K. H. Park(khpark@gist.ac.kr)¹
¹광주과학기술원 기전공학과

Key words : Laser scanner, Absolute distance measurement, Multiple phase demodulation, High resolution

1. 서론

레이저 스캐너는 로봇 항법, 무인자동차, 건축물의 3차원 형상 측정 등 다양한 산업분야에 활용도가 높은 센서이다. 레이저 스캐너에서 거리를 측정하는 알고리즘은 펄스계수법[1], 삼각측량법[2], 주파수 복조법[3] 등 여러 가지 방법이 있으나, 넓은 측정거리에서의 좋은 분해능 확보에 유리하며 구현이 비교적 간단한 위상복조 방법이 많이 사용되고 있다. 위상복조 방법을 이용한 레이저 스캐너에서 높은 가진 주파수를 사용할수록 좋은 분해능 성능을 얻을 수 있다. 하지만 높은 주파수 대역의 신호일수록 증폭기의 대역제한 때문에 증폭이 용이하지 않다[4]. 따라서 증폭이 용이하며 저주파 노이즈의 영향을 받지 않는 적절한 중간 주파수 대역으로 신호를 천이시켜 충분한 증폭률을 확보하면서 복조를 하는 것이 유리하다. 본 논문에서는 해석적 결과 및 실험적 결과를 통해 기존의 위상복조 알고리즘[5]과 중간 주파수 신호를 이용한 다단계 위상복조 알고리즘을 비교해 보았다.

2. 신호처리 알고리즘

광원으로 사용된 레이저 다이오드가 주파수 ω_{sig} , 진폭 V_r 로 가진 된다고 가정하면 이 신호는 수식 (1)과 같이 표현된다.

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

또한, 포토다이오드에서 검출된 신호는 수식 (2)와 같이 표현된다.

$$V_{sig} \sin(\omega_{sig} t + \varphi) + N(\xi) \quad (2)$$

여기서 φ 는 거리 정보를 갖는 위상 값, V_{sig} 은 검출 신호의 진폭, $N(\xi)$ 는 잡음 성분이다. 수식 (1)과 (2)를 곱한 신호 V_{out} 은 수식 (3)과 같다.

$$V_{out} = V_r \sin \omega_{sig} t \cdot \{V_{sig} \sin(\omega_{sig} t + \varphi) + N(\xi)\} \\ = \frac{1}{2} V_r V_{sig} \cos \varphi - \frac{1}{2} V_r V_{sig} \cos(2\omega_{sig} t + \varphi) + N(\xi) V_r \sin \omega_{sig} t \quad (3)$$

수식 (3)의 신호가 cut-off 주파수가 ω_{sig} 보다 낮은 저역 통과 필터를 지나게 되면 두 번째와 세 번째의 고주파 성분은 제거가 되며 필터 출력은 수식 (4)와 같이 표현된다.

$$V_{out} = \frac{1}{2} V_r V_{sig} \cos \varphi \quad (4)$$

수식 (1)의 신호를 90° 위상 지연시킨 후 수식 (2)와 곱하는 과정을 반복하게 되면 그 신호의 필터 출력은 수식 (5)와 같이 표현된다.

$$V_{out}' = \frac{1}{2} V_r V_{sig} \cos(\varphi - 90^\circ) = \frac{1}{2} V_r V_{sig} \sin \varphi \quad (5)$$

수식 (4)와 수식 (5)로부터 위상은 수식 (6)과 같이 얻어진다.

$$\varphi = \tan^{-1}(V_{out}' / V_{out}) \quad (6)$$

위의 과정은 일반적인 위상 복조 과정을 보여준다. 위상 복조 방식에서 좋은 분해능을 얻기 위해서는 높은 주파수 신호를 사용하여야 하는데 이는 증폭기의 대역 제한에 의해 높은 증폭률을 확보하기가 어렵다. 따라서, 본 연구에서는 적절한 중간주파수 대역으로 수식 (2)의 신호를 천이시켜 복조 하는 다단계 복조 방법을 제안하며 그 과정은 다음과 같다. 수식 (2)를 적절한 주파수 ω_d 를 갖는 신호와 곱하면 중간 출력 V_i 는 수식 (7)과 같이 표현된다.

$$V_i = V_r \sin \omega_d t \cdot \{V_{sig} \sin(\omega_{sig} t + \varphi) + N(\xi)\} \\ = \frac{1}{2} V_r V_{sig} \cos\{(\omega_{sig} - \omega_d)t + \varphi\} - \frac{1}{2} V_r V_{sig} \cos\{(\omega_{sig} + \omega_d)t + \varphi\} + N(\xi) V_r \sin \omega_d t \\ = \frac{1}{2} V_r V_{sig} \cos(\omega_i t + \varphi) - \frac{1}{2} V_r V_{sig} \cos\{(\omega_{sig} + \omega_d)t + \varphi\} + N(\xi) V_r \sin \omega_d t \quad (7)$$

여기서 $\omega_{sig} - \omega_d = \omega_i$ 이다.

수식 (7)이 cut-off 주파수가 ω_{sig} 보다 작고 ω_i 보다 큰 저역 통과 필터를 지나게 되면 두 번째, 세 번째의 고주파 성분은 제거가 되며 필터 출력은 다음과 같이 표현된다.

$$V_i = \frac{1}{2} V_r V_{sig} \cos(\omega_i t + \varphi) \quad (8)$$

$$V_i' = \frac{1}{2} V_r V_{sig} \sin(\omega_i t + \varphi) \quad (9)$$

수식 (8)과 (9)를 더하면 수식 (10)과 같은 출력을 얻을 수 있다.

$$V_{i.out} = \frac{\sqrt{2}}{2} V_r V_{sig} \sin(\omega_i t + \varphi + \frac{\pi}{4}) = \frac{\sqrt{2}}{2} V_r V_{sig} \sin(\omega_i t + \varphi') \quad (10)$$

수식 (10)과 $V_i' \sin \omega_i t$ 를 곱하여 수식 (3)에서 수식 (6)의 과정을 반복하면 거리 정보를 갖는 φ' 를 얻을 수 있다. 수식 (7)에서 수식(10)은 적절한 중간 주파수 대역으로 천이시켜 복조 하는 다단계 복조 과정을 보여준다.

3. 실험결과

본 논문에서는 가진 주파수로 20MHz, 중간 주파수로 5kHz를 사용하였다. Fig. 1과 Fig. 2는 1m거리에서 측정된 출력 신호를 보여준다. Fig. 1은 기존의 위상 복조 방법에 사용된 수식 (2)의 신호, Fig. 2는 다단계 복조 방법에 사용된 수식 (10)의 중간 주파수 신호를 보여준다. 결과에서 볼 수 있듯이 중간 주파수로 천이된 신호가 기존의 측정신호에 비해 신호 대 잡음 비가 30dB 높은 것을 알 수 있다.

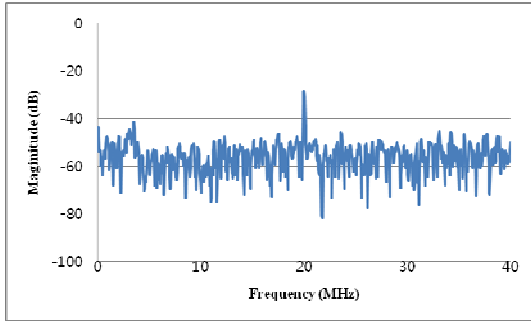


Fig. 1 Frequency domain result of equation (2) with the 1m distance

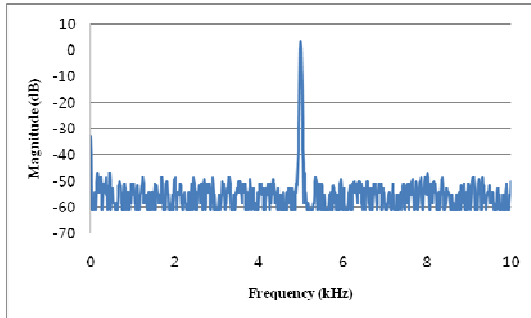


Fig. 2 Frequency domain result of equation (10) with the 1m distance

Fig. 3 과 Fig. 4 는 거리 정보를 갖는 ϕ 의 잡음 크기를 보여준다. Fig. 3 은 기존의 위상복조 방법을 통해 얻어진 ϕ 이고 Fig. 4 는 다단계 복조 과정을 통해 얻어진 ϕ 이다. 결과에서 볼 수 있듯이 다단계 복조 과정을 통해 얻어진 결과가 잡음 크기가 4 배정도 작은 것을 알 수 있으며 이것은 분해능 성능이 우수하다는 것을 나타낸다.

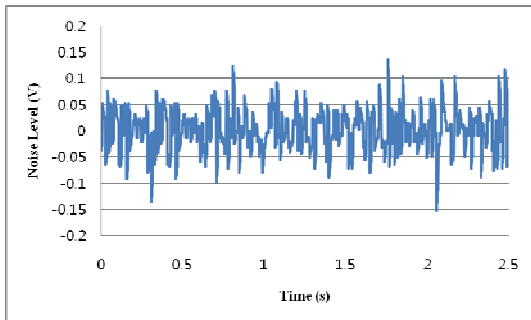


Fig. 3 The noise level of the ϕ at the 1m distance with phase demodulation method

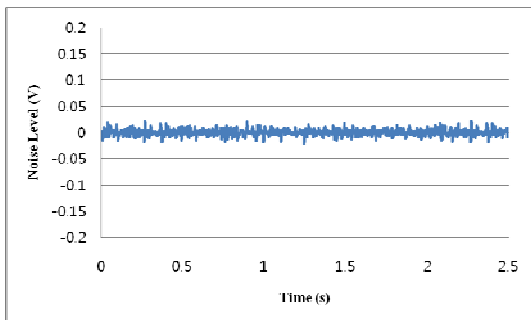


Fig. 4 The noise level of the ϕ at the 1m distance with multiple phase demodulation method

Fig. 5 는 기존의 위상 복조 알고리즘과 다단계 복조 알고리즘을 적용 했을 때의 거리에 따른 분해능 성능 변화 차이를 보여준다. 결과에서 다단계 복조 알고리즘을 적용 했을 때가 전 구간에서 성능이 우수한 것을 알 수 있다.

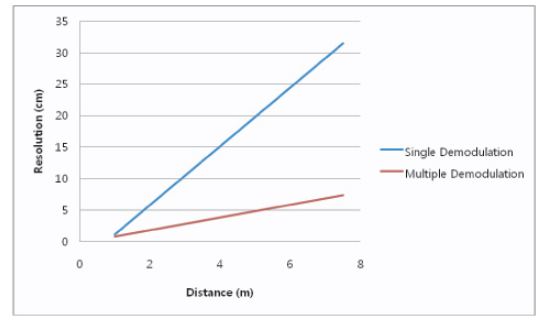


Fig. 5 The experimental results of the resolution variation with the phase and multiple phase demodulation method

4. 결론

본 연구에서는 레이저 스캐너의 분해능 향상을 위해 다 단계 위상 복조알고리즘을 적용하였으며 기존의 위상 복조 방법과 비교를 하였다. 다단계 위상 복조 알고리즘을 사용하면 기존의 위상 복조 알고리즘에 비해 측정 신호가 잡음의 영향을 받지 않으며 보다 쉽게 증폭이 가능하다는 것을 해석적, 실험적으로 보여주었다. 알고리즘 검증을 위하여 7.5m 까지의 거리 측정 결과를 얻었으며 결과를 다단계 위상 복조 알고리즘을 적용하면 센서의 분해능이 향상될 수 있음을 보였다.

후기

본 연구는 한국과학재단의 특정기초연구지원사업으로 수행된 연구결과임. (R01-2007-000-20847-0)

참고문헌

1. Kilpela A, Pennala R and Kostamovaara J, Proc. Rev. Sci. Instrum. 72, 2197-202 (2001).
2. TC Jeong, CH Lee, J yong Park, W keun Hyun, Proc. International Conference on Control Automation and Systems ICCAS 2005, PN 651 (2005).
3. David Dupuy, Marc Lescure and Helene Tap-Bateille, J. Opt. A: Pure Appl. Opt. 4 S332-S336 (2002)
4. Operational Amplifiers and Linear Integrated Circuits (6th edition), pp 274-293
5. 윤희선, 홍진표, 김희승, 박기환, 한국정밀공학회 춘계 학술대회 논문집, pp 291-292 (2008)