

로봇 네비게이션을 위한 레이저 레인지 파인더 개발 Development of a Laser Range Finder for Robot Navigation

*윤희선¹, 홍진표¹, 김희승¹, #박기환¹

*H. S. Yoon¹, J. P. Hong¹, H. S. Kim¹, #K. H. Park¹ (khpark@gist.ac.kr)

¹ 광주과학기술원 기전공학과 센서 및 액츄에이터 연구실

Key words : Laser Range Finder, Displacement Measurement, Phase Demodulation Method, Continuous Scanning

1. 서론

절대 거리 측정을 위한 레이저 레인지 파인더 (Laser Range Finder, LRF)는 수 m 에서 수십 m 에 이르는 거리에 떨어져 있는 물체 또는 장애물까지의 거리를 비 접촉 식으로, 또한 정밀하게 측정이 가능하다는 장점이 있어 로봇 산업, 토목/건축 산업, 자동차 산업 등 산업 전반에서의 활용 범위가 넓어지고 있다.

로봇 네비게이션을 위한 절대 거리 측정 방법에는 초음파 센서, Global Positioning System(GPS)를 이용한 방법, 레이저를 이용한 방법 등이 있다. 초음파 센서는 응답속도가 느리고 수평방향 분해능이 떨어진다는 단점이 있어 로봇의 빠르고 정확한 주행이 어렵고[1][2], GPS 는 전파의 장애로 인해 열린 공간상에서 약 1m 정도의 분해능 만을 얻을 수 있다. 레이저를 이용한 절대 거리 측정 방법으로는 PSD 나 CCD 센서 등을 이용한 수 m 이내의 초단거리 측정을 위한 광 삼각법[3], 분해능은 떨어지지만 군사용 등 수 km 까지의 장거리 측정에 적합한 구형파를 이용한 비행 시간법 (Time of Flight)[4], 수 m 에서 수십 m 의 중장거리 적용이 가능하며 수 mm 정도의 높은 분해능을 낼 수 있는 위상 복조 (Phase Demodulation) 방법 등이 있다.

본 논문에서는 물체에 반사되어 돌아온 고주파 변조 신호의 위상 변화를 통해 거리를 얻어내는 위상 복조 방법의 LRF 개발 하고 1 축 스캐너를 이용하여 로봇 네비게이션을 위한 맵을 얻어내는 연구를 수행하였다. 개발 된 레이저 레인지 파인더의 성능은 Table 1 과 같다.

Table 1 Specification of Laser Range Finder

Table legend	Max. Distance	Max. Resolution	Scan Speed
Table data	7.5 m	15 mm (at 1 m)	900 rpm

2. 레이저 레인지 파인더의 구성

Fig.1 은 LRF 의 개념도 및 실제 실험 장치 구성을 나타낸다. 850nm 파장의 적외선 Laser Diode (LD) 를 광원으로 사용 하였으며, 광원과 집광렌즈, 수광부가 일직선 상에 배치 되도록 시스템을 구성 하였다. 광원 부분이 집광 렌즈

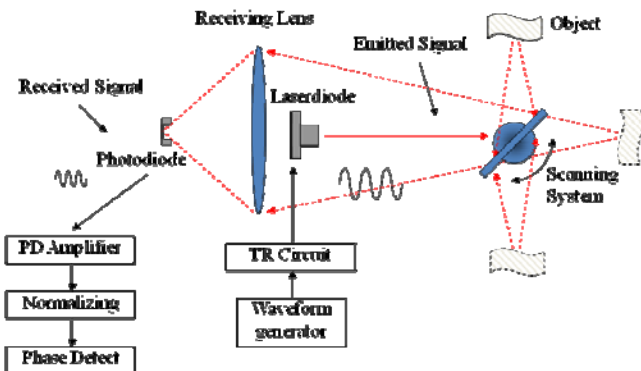


Fig.1 System Configuration of the Laser Range Finder.

를 가리는 면적을 최소화 할 수 있도록 소형 거울을 집광 렌즈 앞에 45° 각도로 위치 시키고 LD 는 집광 렌즈를 가리지 않도록 위치 시켰다. 수광부는 난반사된 미약한 광 신호 검출을 위하여 감도가 높은 Avalanche Photodiode (APD)를 사용하였다. 실제 환경에의 적용을 위하여 대상 물체를 거울이나 반사율이 높은 메탈이 아닌 종이 또는 나무, 플라스틱 등을 이용 하였다. APD 는 고전압을 인가해 줘야 하고, 암전류 (Dark Current)가 PIN Photodiode 에 비해 높다는 단점이 있으나 이러한 난반사 환경 적용을 위해서는 감도가 높은 APD 를 사용할 수 밖에 없다.

LRF 를 이용한 Map building 을 위해서 Scanner 가 필요하다. 로봇의 네비게이션을 위해서는 고속의 Scanning 이 요구되므로 LRF 는 안정적인 속도제어가 필수적이다. 따라서 Scanner 는 한 방향으로 일정한 속도로 회전이 가능하도록 설계하였다. 또한 속도 제어 및 Point Detection 각도를 Trigger 하기 위해서 360n (n: 정수) 채배를 가지는 Encoder 를 이용하여 전 방향 Scanning 이 가능하도록 설계하였다.

3. 측정 원리

LD 를 가진 기준신호와 물체에 난반사 된 빛을 APD 를 통해 검출한 신호의 위상 차이 검출 (위상 복조)을 통해 절대 거리를 얻어낸다. 위상 복조 방법에서 센서가 측정할 수 있는 최대 거리는 가진 주파수에 따라 결정된다. 고주파 변조된 신호의 한 주기 λ 가 의미하는 거리는 Eq.(1) 에 의해 결정된다. c 는 빛의 속도, f 는 가진 주파수의 미한다.

$$\lambda = \frac{c}{f} \quad (c = 3 \times 10^8) \quad (1)$$

시스템 구성에서 알 수 있듯이 본 시스템은 빛이 왕복한 거리를 측정 한다. 따라서, 실제 측정 가능한 최대거리 D 는 λ 의 반이 된다. (Eq.(2))

$$D = \frac{\lambda}{2} = \frac{c}{2f} \quad (2)$$

센서의 분해능 D_{res} 는 가진 주파수 f 와 복조 및 신호처리 회로에서 각도 분해능 $\Delta\phi$ (rad) 을 얼마나 낼 수 있는 지에 따라 결정되고 Eq.(3) 과 같이 표현될 수 있다.

$$D_{res} = \frac{c \cdot \Delta\phi}{2f \cdot 2\pi} \quad (3)$$

본 논문에서는 20Mhz 의 가진 주파수를 사용하여 최대 7.5m 의 거리 측정이 가능한 LRF 를 개발 하였다. 구현된 회로의 각도 분해능은 0.003rad (0.18°), 거리로 환산하면 최대 3.75mm 정도의 분해능을 얻을 수 있다. 하지만 이는 광 신호가 최대로 확보 된다는 가정 하에서의 분해능이고 실제 실험에서는 APD 를 통해 얻어지는 광 신호의 파워에 따라 분해능이 달라지게 된다.

Fig.2 는 수광부에서 받아진 신호로부터 위상정보를 얻어내는 과정을 보여준다. 모든 회로는 고주파 신호 처리가 가능하도록 RF amplifier 와 Mixer 등을 사용하여 구성 하였고, Arc-tangent 연산은 DSP 를 사용하여 구현 하였다[5].

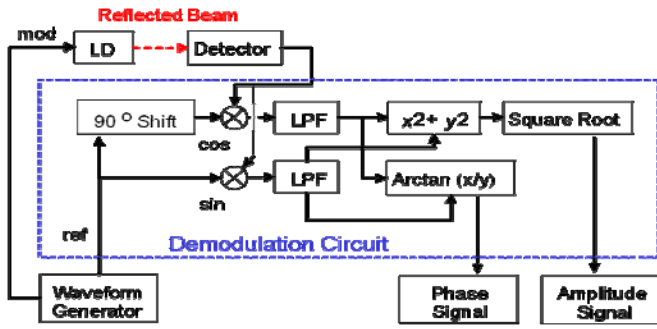


Fig.2 Block Diagram of the Signal Processing Algorithm

4. 실험

Fig.3 은 위상 복조 방법을 이용하여 1-point 거리 측정을 한 결과를 보여준다. 위상이 0°에서 360°까지 변할 때 센서 출력값이 -10V에서 10V까지 변화 되도록 센서 출력 설정을 하였다. 20MHz의 가진 주파수가 측정할 수 있는 최대 7.5m까지의 거리를 측정하였고, 전 구간에서 선형적인 결과를 얻을 수 있었다. 2m 정도의 거리까지 15mm 이내의 분해능을 얻을 수 있었다. 거리가 멀어짐에 따라 얻어지는 신호의 광량이 급격히 감소하여 분해능이 감소하게 된다. 7.5m에서는 40mm 이상의 분해능 성능을 보였다.

DC motor의 속도제어는 0.0025도의 분해능을 가지는 Encoder로부터의 속도 feedback 정보에 의해 PID 제어기를 이용하여 300~900rpm의 속도로 제어하였다. Fig.4는 개발된 LRF를 이용하여 센서 주변을 연속 스캐닝 한 결과이다. 센서의 위치는 (0,0)이다. 물체들이 놓여 있는 형태와 유사한 Scanning Data를 얻을 수 있었으나 모서리 부분에서는 오차가 발생하였다. 이 때 최대 회전 속도는 900 rpm으로, 로봇이 1m/sec으로 이동할 경우 최대 60Hz의 속도로 물체에 반응할 수 있는 속도이다.

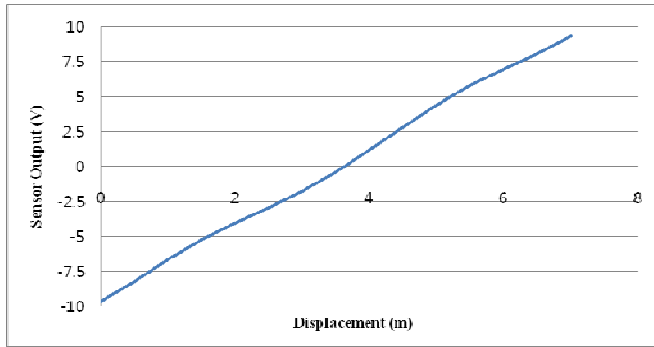


Fig.3 1-Point Displacement Measurement Result

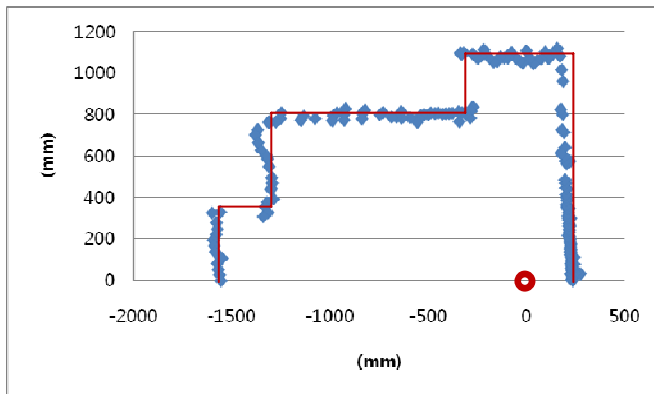


Fig.4 Continuous Scanning Result

5. 결론

본 논문에서는 최대 7.5m 거리 측정에 최대 분해능 15mm를 낼 수 있는 레이저 레인지 파인더 개발에 대해 언급하였다. 사용되어지는 환경에 적절하게 가진 주파수를 설정하여 최대 측정 거리를 변화시키고 분해능도 변화시킬 수 있다. 경우에 따라서는 두 개 이상의 주파수를 사용하여 최대 측정거리 확보와 분해능 향상이라는 결과를 얻을 수도 있다. 레이저를 이용한 센서는 수광되어지는 신호의 파워를 최대한 확보하는 것이 가장 중요한 기술이다. 실험 결과에서 언급했듯이 보다 좋은 분해능을 얻기 위해서는 측정 영역 전 구간에서 안정적인 광 신호 파워를 유지할 수 있도록 회로의 성능 향상이 필요하다. 또한, 로봇의 네비게이션 데이터 처리 속도를 위해서는 고속의 Scanner가 필요하다. 1000rpm 이상의 고속 Scanning을 위해서는 고속의 ADC가 필요하며 안정적인 신호처리 알고리즘의 동작을 위해서는 Motor의 강인한 속도제어도 요구된다. 따라서 외란에 강인한 Advanced Velocity Control 기법의 연구도 필요하다.

향후 분해능 향상을 위하여 안정적인 광 신호 파워를 유지할 수 있는 신호처리 알고리즘 연구, 회로 성능 향상을 위한 연구, 다중 주파수를 사용한 최대 거리 측정과 분해능 향상에 관한 연구를 수행할 계획이다. 또한 Scanner를 2축으로 확장하여 3D Scan 정보를 이용한 3D Map Building 등에 적용할 계획이다.

참고문헌

1. Zhao, H.; Cai, H.; Yue, H. & Zhang, Y., "Design of Distributed Ultrasonic Ranging System for Autonomous Mobile Robot Based on Multi-Processor", Proc. IEEE International Conference on Control and Automation ICCA 2007, 2007, 3271-3275
2. Koval, V.; Adamiv, O. & Kapura, V., "The Local Area Map Building for Mobile Robot Navigation Using Ultrasound and Infrared Sensors", Proc. 4th IEEE Workshop on Intelligent Data Acquisition and Advanced Computing Systems: Technology and Applications IDAACS 2007, 2007, 454-459
3. TC Jeong, CH Lee, J yong Park, W keun Hyun, "A development of PSD sensor system for navigation and map building in the indoor environment", Proc. International Conference on Control Automation and Systems ICCAS 2005, 2005, PN 651.
4. Kilpela A, Pennala R and Kostamovaara J, "Precise pulsed time-of-flight laser range finder for industrial distance measurements", Proc. Rev. Sci. Instrum. 2001, 72, 2197-202.
5. Heesun Yoon, Kyihwan Park, "Development of a Laser Range Finder using the Phase Difference Method.", Proc. SPIE Volume 6049, Optomechatronic Sensors and Instrumentation, 60490R, 2005.