

# 레이저를 이용한 거리센서의 디지털 회로의 설계

## A Design of Digital Laser Theodolite

최인원\*\*\*\*, 김현철\*\*\*, 유수엽\*\*, 윤희상\*

Choi Inwon\*\*\*\*, Kim Hyunchul\*\*\*, Yoo Sooyeub\*\*, Yun Heesang\*

**Abstract** - A short distance laser range detector was developed on digital circuit. The circuit changed the analog circuit to digital circuit as possible as. The currently available laser range circuit one uses analog circuit mainly. But this ranger design targeted mass production with digital reporting function. So digital circuits replaced the analog circuit except amplifier and remained minor circuits those are hard to replace with digital circuit. The simulation shows that it is possible to make a reasonable distance measuring circuit on a digital circuit for very low price compare to analog circuit one.

**Key Words** : 레이저 거리센서, 디지털 거리 측정, Digital Laser Distance Sensor, 광파기, Theodolite

### 1. 디지털 레이저 거리계의 개요

#### 1.1 레이저 광파기의 현황

현재 레이저를 이용하여 거리를 측정하는 장비가 많이 사용되고 있다. 이러한 장비는 건축등의 토목분야에서는 많이 사용되고 있고, 광파를 이용한 측정기를 공급하는 국내업체에서는 이를 국산화하는 개발하는 일도 진행되고 있다. 이러한 광파기의 성능은 매우 우수하여 1mm이하의 분해능을 구사할 수 있고, [1][2] 측량용은 반사프리즘과 한조를 구성하여 수 Km밖의 거리까지 5mm이하의 정밀도로 측정한다. 이러한 광파측정기의 소형화는 기존의 독일 시장에서 개발한 제품이 아나로그 회로를 이용하여 여러 보정기능을 갖추어야 하는 관계로 현재 중국에서 생산되고 있다. 이러한 아나로그 회로를 측정기의 측정 기능의 핵심요소를 차지하는 기기들의 특징은 생산과정에서 많은 숙련된 인력이 필요함과 동시에 생산에 소요되는 시간이 길다는 단점을 가진다. 따라서 이러한 기기는 가격이 고가를 유지해야 할뿐더러, 아나로그 회로의 크기가 한정적이므로 기기의 소형화에 걸림돌이 되어 초소형화하여 사용하기에 부적합하므로 그 적용에 제한을 가지게 된다. 따라서 본 연구는 광파기의 기능을 가급적 디지털로 구현하여 생산시간, 비용을 절감함은 물론 SOC(system On a Chip)을 구현하여 레이저 거리 센서로 활용할 수 있는 센서 부품으로 활용할 수 있도록 시스템을 구성하는데 있다.

#### 1.1.1 레이저 거리계의 원리

현재 레이저로 거리를 측정하는 장치는 크게 2가지로 나뉘어진다. 그중 한 가지는 그림 1과 같이 매우 날카로운 레이저 펄스를 발사하고 그 레이저 펄스가 목표물에서 반사되어 다시 광수신기로 수집되기까지의 시간을 측정하는 Time of Flight (TOF)방법이 있다. [3][4][5]

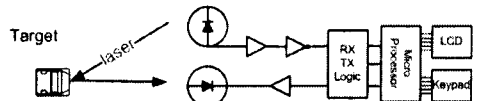


그림1 레이저 거리계의 전체 구성도

이 방법은 거리 및 속도를 측정하는 장치에 많이 쓰이고 있다. 현재 이 장비는 경찰의 스피드건이나 군용이 미사일의 거리, 방위 측정 장비와 항공 측정 장비에 사용되고 있다. 이 거리계의 특징은 단 1개의 펄스로도 수 cm이하의 정밀도로 거리를 측정하기 때문에 속도를 측정하거나 고속의 측정이 용하는 장비에 사용되고 있다. 이 장비의 요점은 1개의 펄스를 1nSec이하 또는 수십 pSec의 정도로 그 왕복시간을 측정하여야한다. 따라서 그 측정회로가 비교적 복잡하다. 또한 1개의 펄스를 이용하여 거리를 측정할 수 있으며, 2개의 펄스를 이용하면(원리적으로) 목표물의 속도까지 비교적 정확하게 측정할 수 있어 레이저광의 발원지를 숨길 수 있는 장점이 있어 군사용 목적으로 각광을 받고 있다.

이러한 거리계의 거리 측정 회로는 그림 2와 같이 수신된 레이저 신호의 전기펄스 신호가 지연회로를 통과면서 지연되는 지연시간을 카메라 셔터로 찍어내듯이 기록하여 이 무늬를 읽어내어 지연시간을 측정하는 장치이다.

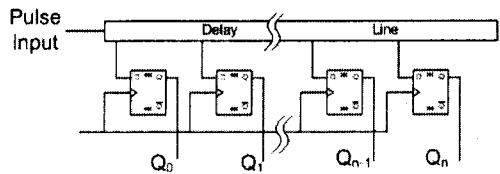


그림 2. 레이저 신호 수신회로

이 수신신호는 레이저광의 펄스폭이 날카로울수록 그 측정 정도가 올라가고 또한 겉보기의 광 출력이 작아지므로 군용으로 더욱 적합한 것을 알 수 있다. 실제로 현재 시판되고 있고 국내에서 많이 사용되는 LTI20/20이라는 경찰용 레이저 거리계는 가정용 적외선 리모트 컨트롤보다 적은 적외선 레이저 광 출력으로도 수백m의 거리에서 목표물까지의 거리, 속도를 측정할 수 있다. 이 회로에서 사용되는 1nSec이하의

#### 저자 소개

- \* 윤희상 : 호서대학교 정보통신공학과 교수
- \*\* 유수엽 : (주) 디에이치 텔레콤
- \*\*\* 김현철 : 호서대학교 전자공학과 학사과정
- \*\*\*\* 최인원 : 호서대학교 전자공학과 학사과정

논리 회로를 다루므로 고속의 디지털 로직회로가 사용되고 있다. 즉 회로의 분해능이 거리의 분해능과 비례한다. 그러나 1mm의 분해능은 3.33pSec의 분해능을 가진 회로가 필요하다. 이 정도의 분해능을 가진 회로를 만들려면 회로의 정밀도나 그 구성, 회로 소자등이 매우 고가의 장비가 구성되어야 되는 쉽게 짐작할 수 있다. 따라서 이러한 방식의 광파를 사용한 항공측정용의 기기의 가격은 수십억원대의 장비가 된다.

이에 반하여 광파측거리라 불리는 측량기에 사용되는 레이저 거리계는 변조광을 발사하고 이 변조광이 반사되어 돌아와서 기존의 주파수와 일으키는 간섭을 일으키고 이때 발생하는 위상을 측정하여 이의 위상차이가 레이저 신호의 TOF이므로 이를 측정하는 방법을 사용한다. 광파기의 주파수는 낮은 주파수부터 매우 높은 주파수까지 여러 주파수를 적용하여, 거리의 정밀도를 높인다. 또한 레이저 거리계의 변조 주파수가 높은 경우에 위상 차이를 정확하게 측정하기 힘들므로 보통 PLL을 사용하여 0.1%의 주파수가 차이가 나는 주파수를 발생하여 heterodyne 방식으로 주파수를 낮추어 위상의 지연을 정밀 측정한다.

따라서 위상을 매우 정밀하게 측정하므로 거리의 분해능을 낮출 수 있다.

이러한 방식은 주파수 혼합하는 믹서회로 및 주파수 발생하는 PLL 등 회로가 첨가되어 필연적으로 주변의 회로가 마나로그회로 요소를 가진 회로로 될 수밖에 없다. 이 회로의 전체 구성은 그림 3과 같은 형태로 구성된다.

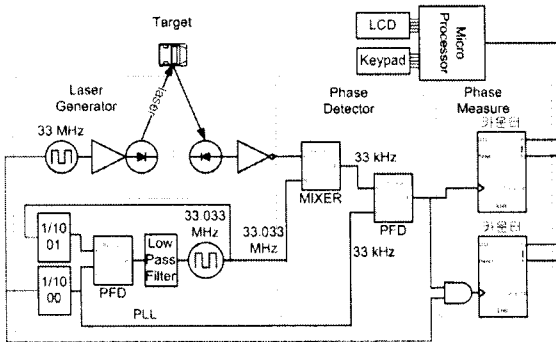


그림 3. 레이저 거리계의 전체 구조

이 그림에서는 간단하게 단일 주파수의 경우만 선보였다. 실제의 회로에서는 2주파 내지 3또는 그이상의 주파수를 사용하여 위상 차이를 측정한다, 이로서 먼거리부터 가까운 거리까지 모두 측정 할 수 있게 된다.

위의 그림과 같이 주파수를 33MHz를 사용하는 경우에 그 거리의 측정을 살펴보자. 거리가 1.000m의 피사체까지 레이저 신호가 왕복하는 경우 빛의 경우 빛의 거리는 2.000m가 된다. 이 거리를 경우하는데 소요되는 시간은 6.666666nSec이 된다. 따라서 33MHz의 광파는 레이저를 떠나 다시 APD(Avalanche Photo Diode: laser수신부)로 입력되는데 소요되는 시간이 되고, 33MHz의 한주기가 30.30303nSec이 되므로 위상각은 79.2도가 지연된 신호가 APD diode에서 지연된 신호를 수신하게 된다. 이 79.2도의 지연을 디지털 회로에서 정확하게 측정하려면 33MHz회로에서는 매우 힘든 회로가 된다. 즉 분해능을 1mm까지 낮추려면 측정시간이 30.3nSec의 1/1000인 30pSec의 분해능을 가져야한다. 이 정도의 분해능을 갖춘 회로를 구성하기란 매우 어렵다. 그러나 위의 그림 3의 회로에서는 이를 주파수를 1/1000으로 낮추었으므로 시간의 지연은 30nSec의 분해능을 갖춘 디지털 회로

로 충분히 가능하다. 이 30nSec의 분해능은 33.33MHz의 Clock을 이용하면 쉽게 구해질 수 있다. 이러한 이유로 이 회로에서는 거리측정을 위한 위상의 측정을 33MHz를 이용하여, 레이저 거리계의 분해능을 1mm이하의 정밀측정이 가능하다.

이 회로에서는 단일 주파수만 선보였으므로 측정 가능한 거리가 4.5m로 제한된다. 따라서 보통 이러한 광파기에서는 수KHz를 사용하여 수Km의 거리를 1m의 분해능으로 측정하고, 이후 수십 MHz를 사용하여 다시 그 분해능을 1mm까지 낮추고 있다. 이러한 분해능은 먼거리의 측정에서는 공기중의 온도차에 의한 밀도차에 의한 빛의 굴절등으로 거리의 오차가 생긴다. 따라서 이러한 오차는 20km의 거리에 5mm 이내의 오차로 계산된다.

## 2. 장. 디지털 광파기

### 2.1 디지털화 광파기

위의 아나로그 회로를 적용한 광파기의 디지털화를 검토하여 보기로 한다. 광파기의 여러 회로에는 VCO, PLL, MIXER, 등 여러 아나로그회로요소가 있어 Chip화 시켜도 그 크기나 주변 회로의 구성에 많은 조정 용소를 가지게 된다. 그리고 이를 구현한 간단한 레이저를 이용한 거리계는 많은 조정 포인트나 조정점 외에 소프트웨어로 보정값을 지닌 시스템이 된다. 이러한 조정 포인트가 있는 회로와 Chip외부에 많은 아나로그회로가 있는 회로는 궁극적으로 소형화 하는데 문제점을 가지게 된다. 따라서 본 연구에서는 가능한 PLL회로와 VCO의 숫자를 줄이고, 전체 시스템을 단일 디지털 집적회로로 구성 하도록 한다.[6][7][8]

### 2.2 레이저신호의 위상 검출회로의 변경

레이저 광파기의 회로는 목적물에 입사된 입사광 수신된 반사광의 신호가 가지는 변조된 레이저광신호의 위상 차이를 정확하게 검출하는 것이 광파기의 성능이다. 본 연구에서는 이를 위상신호를 검출하는 아주 오래된 개념을 도입하여 위상을 정확하게 검출하는 회로를 구성하기로 한다.

회로를 적용한 광파기의 디지털화를 검토하여 보기로 한다. 위의서 살펴본 바와 같이 광파기의 위상을 정밀하게 측정하는 것이 회로의 분해능을 높이는 것이다.

즉 위상을 정밀하게 측정하는 목적은 레이저 신호의 진행 시간을 측정하고자 하는 것이다. 이러한 지연 시간의 측정은 펄스의 폭을 직접 측정하는 방법으로 전체 시스템을 재수정 하기로 하였다.

펄스폭을 측정하는 원리는 통계적 기법을 이용하여 측정하기로 한다. 즉 그림4와 같은 방법으로 내부의 면적을 측정하기 위하여 많은 임의의 위치로 화살을 쏘아 안에 들어가는 화살의 숫자를 세어 보는 방법으로 그 면적을 측정하는 것이다.

즉 펄스의 폭을 측정하기 위하여 피 측정의 파와는 전혀 그 주기와 관련이 없는 즉 상관계수가 0인 펄스를 만들어 이 펄스로 기존의 펄스폭의 주기를 측정하는 것이다.

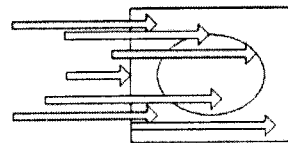


그림 4. 내부의 면적을 난수표를 이용하여 구하는 방법

이러한 방법은 1개의 난수발생기와 이 출력을 VCO에 연결하면 구할 수 있다. 이 펄스를 이용한 회로를 그림 5와 같이 구하면 된다.

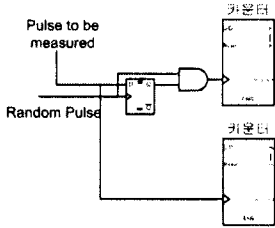


그림 5. 펄스의 주기를 측정하는 회로

이러한 펄스의 주기를 측정하는 회로의 계수기의 두 측정값을 이용하여 평균을 내면 그 측정값이 나온다.

즉 측정펄스의 Random 주기의 펄스도 신호 대력을 일정 대역으로 제한하면 그 평균값이 존재한다. 따라서 이 평균 주기값과 계수기에 측정된 총 값의 합과 측정하고자 하는 피 측정 펄스의 총 개수로 나누면 피 측정 펄스의 주기가 나오게 된다.

간단한 계산을 하여 보기로 하자. 여기에서 random 신호의 평균 주기가 20nSec인 펄스로 33MHz의 피 측정 펄스의 주기를 측정하기로 하자. 이 펄스의 폭이 2.300nSec이라면 1초 동안에 그림 4의 회로로 그 펄스의 수를 측정하면 아래 계수기는 33,000,000개의 펄스수가 나오고 위의 계수기는 약 3,795,000개수의 계수기의 값이 나온다. 이 정도의 계수기의 측정값은 충분히 많은 계수이다. 즉 이 계수된 값은 6자리까지 정도를 보장한다. 따라서 펄스폭을 2.300000nSec로 측정할 수 있다.

## 2.2 회로의 구현

이 디지털 회로는 일차회로 검증용으로 FPGA로 구성된 논리회로위에 구현하여 보기로 한다. 회로의 구현에 FPGA의 내부논리소자들은 충분히 높은 동작 속도를 가지고 있고, 또한 내부이 논리회로를 임의로 변경시킬 수 있어 회로의 구현이 가능하다.

이 회로에 첨가 되지 못하는 부분은 광수신부의 고속 증폭기와 VCO의 회로 일부분이다. 이러한 회로 구성요소는 직접 모든 회로를 구성하는 회로에서는 조정 없이 구성할 수 있는 부분이다. 본회로의 random pulse는 PLL회로를 이용하여 그 평균주파수를 특정한 값으로 만들 수 있다. 이러한 회로 역시 집적회로내부에 구성하기 쉬운 요소이다. 따라서 본회로는 전체구성이 간단하게 1개의 집적회로로 구성이 가능한 회로이다.

이 전체 회로는 그림 6과 같이 구성된다.

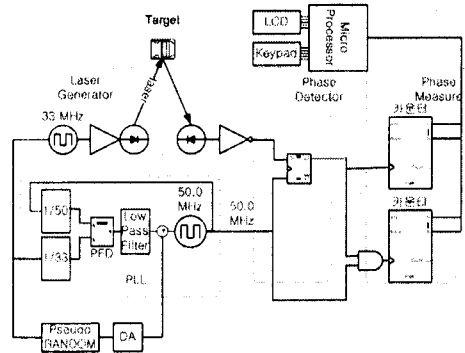


그림 6. 디지털화로 구성된 거리 광파 측정기  
3. 결론

광파 측정기의 원리를 응용한 레이저 거리센서를 설계하였다. 이 거리계센서의 모든 기능을 가능한 1chip의 디지털화 하는데 적용하였다. 이 거리센서는 그 첫 번째의 적용이 근접한 거리를 측정하고 이를 디지털 정보화하여 중앙의 컴퓨터로 연결하는 센서로 적용할 수 있다. 산업용의 여러 근접 센서는 광신호의 각도를 가지고 측정하거나 신호의 세기를 가지고 그 위치를 측정 하는 방식이 대부분이다. 본 방식은 정밀하게 그 위치를 측정하고 그 크기를 줄일 수 있어 많은 로보트등 많은 응용 분야를 가질 것으로 예측된다.

## 참 고 문 헌

- [1] Klauder, et al., "Correlation Effects in the Display of Picosecond Pulses by Two-Photon Techniques", Sep. 1968. .
- [2] Weber, et al., "Intensity Interferometry by Two-Photon Excitation of Fluorescence," IEEE J. Quant. Electr., QE-4, p. 1009. .
- [3] Lauberau, et al., "Frequenzmodulation und Kompression ultrakurzer Lichtimpulse," Z. Naturforsch., vol. 25A, p. 1626, 1970. .
- [4] Rowe, et al., "Theory of Two-Photon Measurement of Laser Output," IEEE J. Quant. Electr., QE-6, p. 49, Jan. 1970. .
- [5] Von der Linde, "Experimental Study of Single Picosecond Light Pulses," IEEE J. Quant. Electr., QE-8, p. 328, Mar. 1972. .
- [6] DeMaria, et al., "Ultrakurze Laserimpulse-Werkzeuge fur die Forschung," Umschau, vol. 72, p. 241, Aug. 1972. .
- [7] Moran, et al., "Interferometric Measurements of the Nonlinear Refractive Index-Relative to CS.sub.2 in Laser-System-Related Materials," IEEE J. Quant. Electr., QE-11, p. 259, Jun. 1975. .
- [8] Fricke, "Ultrakurze Laserpulse I u.II," Physik unserer Zeit, No. 3, 84 bzw., No. 4, 114, Jul. 7, 1976.