레이저를 이용한 거리측정기 개발에 관한 연구

김호중, 전홍구, 김동학, 이순흠, 최관순
순천향대학교 정보기술공학부

A study on the development of a distance measuring instrument using laser

Ho-Joong Kim, Heung-Goo Jun, Dong-Hak Kim, Sun Heum Lee, Kwan Sun Choi
Dept. of Electrical and Electronic Eng., Soonchunhyang Univ Soonchunhyang Univ*

요 약

레이저 거리측정기는 레이저를 이용한 거리측정 방법으로 레이저송수신펄스의 시간차로부터 거리를 측정하는 방법이다. 본 연구에서는 송광부, 수광부, 제어모듈 등의 하드웨어로 시스템을 구성하고, 거리측정의 오차를 보정 알고리즘을 사용하여 거리를 계측하는 80196 기반의 거리측정기를 개발하였다.

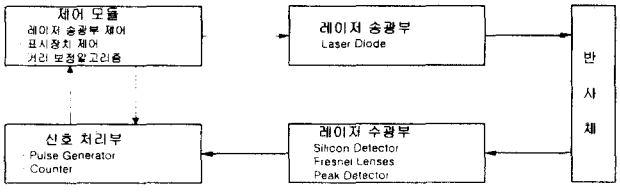
I. 서 론

레이저 거리측정 기술은 레이저를 이용하여 목표물까지의 거리를 원격으로 측정하는 기술이다. 레이저 레이더의 기본원리는 레이저 송수신 펄스의 시간차로부터 거리를 측정하는 방법으로 매우 간단하지만 실제로 구현하기 위해서는 특별한 알고리듬과 설계상의 많은 노하우가 필요하다.

일부 선진국에서는 레이저 레이더를 상용화하였고 국내에서는 차량 추돌 경보 장치용으로 개발을 시도하였으나 상용화하기 위해서는 부족한 상황이다. 상용화하기 위해서는 정밀도와 신뢰도 및 송형 · 경량화가 필수적이다. 또한 저가격화가 필수적이다.

레이저 레이더의 응용분야로는 자동화 기계의 제어, 선박 접안용 시스템, 토목 공사, 무인 과속 감지기, 차량 추돌 경보 장치 등 실제 산업분야에서 널리 사용될 수 있다. 이와 같이 응용 범위는 매우 광범위하기 때문에 독자적인 기술의 개발이 필요하다.

레이저를 이용한 거리 측정기의 개발은 하드웨어와 소프트웨어의 개발로 나누어진다. 레이저 송수신 펄스의 시간차를 이용하여 거리를 측정하기 때문에 고속으로 동작하는 회로가 필요하게 된다. 레이저거리측정기의 전체 구조도는 <그림 1>과 같다.

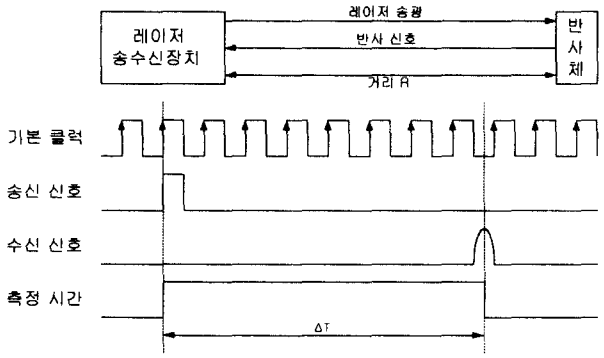


<그림 1> 레이저를 이용한 거리 측정기의 기본 구조

II. 본 론

1. 거리검출의 원리

현재 이용되고 있는 레이저 거리 검출의 원리는 <그림 2>에서 보는 바와 같이 펄스 형태의 레이저를 송광하고, 그 신호가 전방의 반사체에 반사되어 되돌아오는 수신 신호까지의 왕복 시간을 측정함으로써 전방 물체와의 거리를 구하는 방식(Time of Arrival)을 사용한다.



<그림 2> 거리 검출 원리

시간 T에 따른 빛의 이동거리는 광속을 이용하여 구할 수 있다. 그 수식은 다음과 같다.

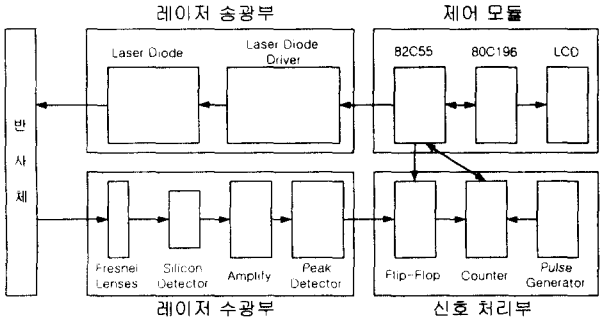
$$R = C \cdot T \quad \text{여기서, } C = 3 \times 10^8 m/s \qquad (2\text{-}1)$$

레이저 레이더의 송수신부와 전방 물체와의 거리를 R이라고 할 때, ΔT는 송신 펄스와 수신 펄스간의 시간차이다. 이 시간은 빛이 전방 물체에 반사되어 되돌아오는 왕복 시간이므로, 전방 물체와의 거리는 다음 식에 의해 구할 수 있다.

$$R = \frac{C \cdot \Delta T}{2} \qquad (2\text{-}2)$$

2. 레이저를 이용한 거리 측정기의 구성

앞에서 설명된 원리를 이용하여 거리를 측정하기 위한 계측 시스템의 구성을 <그림 3>에 나타내었다. 송광부에서는 레이저 다이오드 드라이버로 레이저 다이오드를 구동하여 펄스형태의 레이저를 송광한다. 수광부에서는 송광한 레이저가 반사체로부터 반사되어 되돌아오는 신호는 매우 미약하므로, 프레넬 렌즈를 통과시킨 후 수광한다. 이 신호를 증폭하고, 기준 신호와 비교한 후 논리 레벨의 신호로 전환시킨다. 플리플롭을 이용하여 송신 신호와 처리된 수신 신호를 그에 해당하는 시간차만큼의 펄스 폭으로 전환한다. 이 펄스 폭만큼 카운터를 구동시켜 펄스 폭에 해당하는 값을 식(2-2)의 환산식에 의해 거리로 변환한다.



<그림 3> 레이저를 이용한 거리 측정기의 구성

3. 시간 측정 분해능

시간 측정 분해능 Δt는 사용하는 기준 클럭 펄스의 주파수 f_c에 의해 결정되며, 클럭 펄스에 의해 계산된 송수신 펄스간의 시간차 ΔT 는 카운터의 거리 측정 계수 결과를 n이라 할 때, 다음과 같은 결과를 가진다.

$$\Delta t = \frac{1}{f_c}$$
$$\Delta T = n \cdot \Delta t \qquad (2\text{-}3)$$

여기서, Δt : Clock Pulse 간의 시간차
f_c : Oscillator Clock 주파수
ΔT : 송수신 펄스간의 시간차
n : Clock Pulse의 개수

예를 들면, 100MHz의 기본 클럭 펄스를 사용하는 경우, f_c = 100MHz, Δt = 10ns가 된다.

4. 거리 측정 분해능

거리 측정 분해능은 다음의 식 (2-4)으로 나타내어지며, 측정 가능한 최소의 거리를 의미한다.

$$\Delta R = \frac{C \cdot \Delta T}{2} = \frac{C}{2 \cdot f_c} \qquad (2\text{-}4)$$

예를 들어, f_c = 100MHz일 때, 최소 측정 가능 거리는 1.5m가 된다. 또한 측정해야 할 거리의 범위를 최대 150m까지로 한정한다면, 이에 대응하는 카운터의 시간 측정 허용 범위는 다음 식 (2-5)에 의해 산출한다.

$$T = \frac{2 \cdot R}{C} \qquad (2\text{-}5)$$

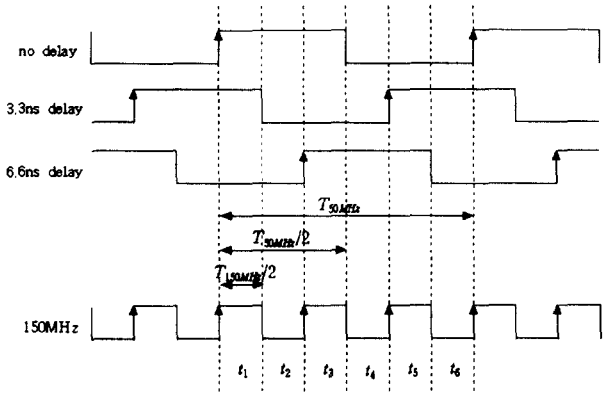
R = 1m일 때의 T 는 6.7ns이며, R = 150m일 때, T 는 1000ns이다. 여기서, 150m를 측정하고자 요구되는 시간은 1000ns이지만, 회로내의 전파 지연시간을 약 500ns로 생각한다면 카운터는 약 1500ns까지의 시간차를 측정할 수 있어야 한다. 10ns의 클럭 펄스를 사용하면 150이상의 계수를 필요로 하고, 이는 8bit 카운터(0~255)로도 처리 가능하다.

한편, 식에서도 볼 수 있듯이, 거리 측정 분해능을 향상시키기 위해서는 Δt를 작게 해야 하는데, 일반 TTL 계열 카운터의 최대 허용 속도는 120MHz 이하이므로 일반적인 상용 카운터로 분해능을 향상시키기 위한 방법에 대하여 검토한다.

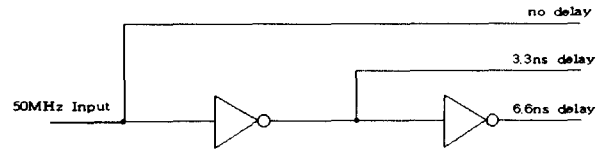
5. 시간 측정 분해능의 향상

시간 측정 분해능의 향상을 위해 여러 개의 카운터를 병렬로 이용하는 방법을 사용한다. 클럭 주파수의 파형을 특정한 소자를 통과시켜 전달 지연(propagation delay)을 발생시킨다. 이는 위상 지연이이라 할 수 있다. 이 방법을 사용하면, 저 주파수의 기준 클럭 펄스를 가지고 높은 주파수의 클럭 펄스를 사용하는 효과를 얻을 수 있다.

50MHz를 사용하여 150MHz를 카운터한 효과를 가지게하여 최소 측정 거리를 1m로 설정하려 한다. <그림 4>의 no delay 파형은 50MHz의 오실레이터에서 나오는 파형이다. 50MHz의 파형의 1주기에 150MHz파형의 3주기를 가지고 있다. 각각의 지연을 계산해보면, 약 3.3ns와 6.6ns의 지연을 가진다면 <그림 4>에서와 같이 상승에지부분이 150MHz와 같아진다는 것을 알 수 있다. 74F04는 1개의 게이트 지연시간이 일반적으로 3ns이므로 이를 이용하여 <그림 5>와 같이 구현하였다.

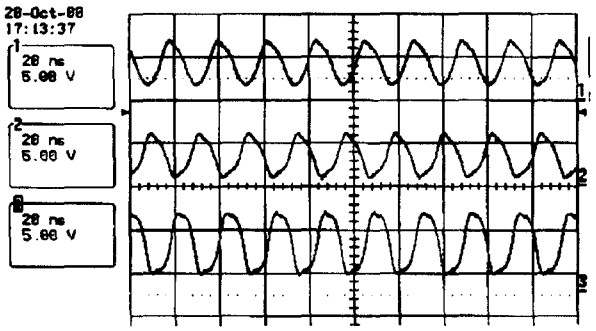


<그림 4> 50MHz와 150MHz의 파형



<그림 5> 74F04를 이용한 지연회로 구성도

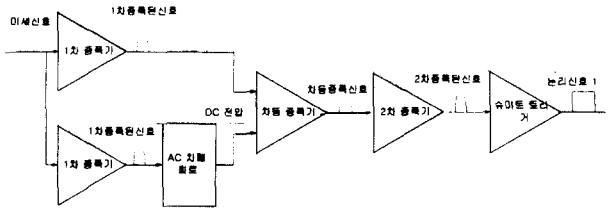
이를 오실로스코프를 이용하여 측정해보면 <그림 6>과 같이 지연이 발생하여 나옴을 볼 수 있다. 카운터는 이 3개의 클럭을 각각 카운터 하게 된다.



<그림 6> 74F04를 이용한 지연

6. 신호증폭기

수광부로부터 들어온 신호는 매우 미약한 신호이므로 이를 처리하기 쉬운 크기의 신호로 처리를 해야한다. 다음 <그림 7>은 신호 증폭기의 구조도 이다.

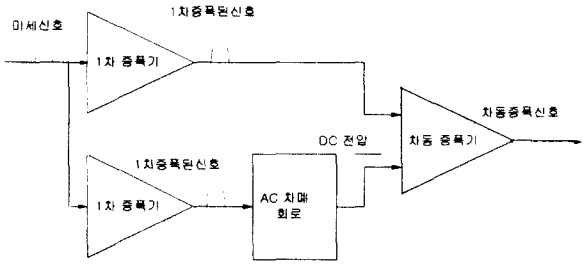


<그림 7> 신호 증폭기 구조도

신호 증폭회로의 동작 과정은 다음과 같다.

1) 2개의 OP AMP를 사용하여 병렬로 1차 증폭을 한다. 이때 증폭 방법은 비반전 증폭을 한다.
2) 1차 증폭된 신호중 한 신호는 수신신호로 사용하고, 다른 하나는 현재 조도(자연광)의 레벨 값을 설정하는 것으로 사용한다. 일반적으로 자연광신호는 레이저 수신신호보다 변화율이 적다는 것을 전제로 한다. 기준 조도 값을 가지기 위해서는 AC성분을 제거 해야하며, 콘덴서를 사용하여 AC 성분을 제거한다.
3) 이 두 신호를 차동증폭하여 수신신호를 추출한다.
4) 차동신호는 미약한 신호이므로 2차 증폭한다. 이때 역시 비반전 증폭을 한다.
5) 슈미트 회로를 이용하여 디지털 신호로 변환한다.

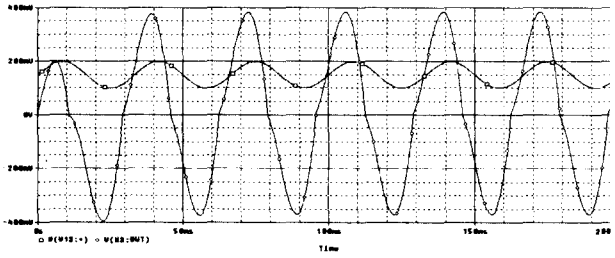
입력신호는 항상 자연광의 신호를 출력하고있으므로 레이저 신호가 입감되면, 자연광 성분위에 수신신호 성분으로 볼 수 있다. 자연광 성분을 배제하기 위하여 차동증폭을 하였으며, 신호 증폭기부분 중 차동증폭부분을 시뮬레이션 하였다. <그림 8>은 시뮬레이션 한 구성도 이며, 각 1차 증폭의 비율은 x10으로 하였다.



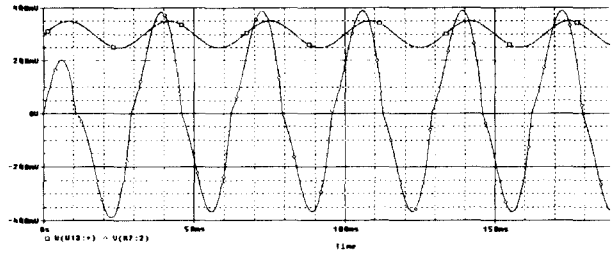
<그림 8> 신호증폭기 시뮬레이션 부분

입력신호가 자연광성분이 DC 150mV와 300mV일 때, 약 50mV의 수신신호가 입감되었을 경우를 가정하였다. 입력 신호의 주파수는 30Hz와 1KHz의 신호로 나누어 시뮬레이션 하였다.

<그림 9>와 <그림 10>은 30Hz 입력신호에서 DC성분이 각각 150mV와 300mV인 경우의 시뮬레이션 결과이다.

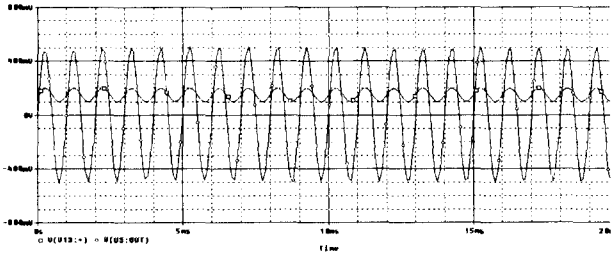


<그림 9> DC 150mV에서 30Hz입력(0 to 200ms)

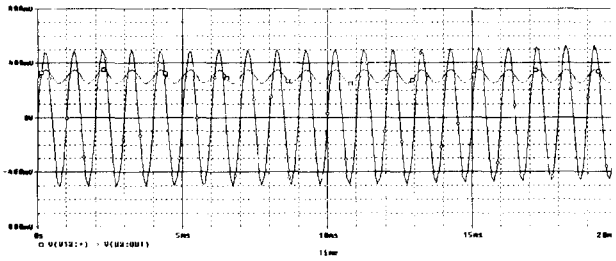


<그림 10> DC 300mV에서 30Hz입력(0 to 200ms)

<그림 11>과 <그림 12>는 1KHz 입력신호에서 DC 성분이 각각 150mV와 300mV인 경우의 시뮬레이션 결과이다.



<그림 11> DC 150mV에서 1KHz입력(0 to 20ms)



<그림 12> DC 300mV에서 1KHz입력(0 to 20ms)

각각의 경우 DC성분이 다른 경우에도 출력 파형이 0V를 기준으로 같은 파형이 출력되는 것을 볼 수 있다.

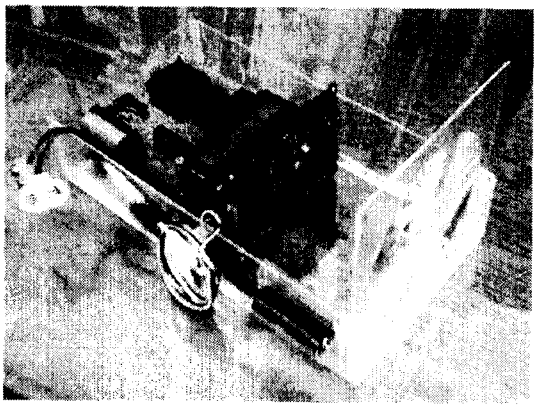
이 신호를 디지털 신호로 변환 후 플리플롭을 이용하여 송수시간 차만큼의 펄스를 생성한다. 이 펄스를 이용하여 카운터를 인에이블하여 송수신 차이의 클럭값을 측정하여 거리값을 산출한다.

III. 결 론

본 연구에서는 레이저를 이용한 거리측정기를 개발하는 연구로서 하드웨어와 소프트웨어로 나누어 구성하였으며, 하드웨어는 레이저 송광부, 수신부, 신호처리부, 제어모듈로 각각 구성하였다.

50MHz의 기본 클럭을 0ns, 3.3ns, 6.6ns의 지연을 이용하여 각각을 병렬 카운터 하였다. 이는 최소측정 거리를 1m로 가능하게 함으로써 150MHz 카운터와 같은 기능을 하게 하였다. 또한 신호증폭기에서 DC성분을 배제함으로써 외부 자연광에 대한 대응력을 향상시켰다.

<그림 13>은 레이저를 이용한 거리측정기의 모습이다.



<그림 13> 레이저 거리측정기

참고문헌

[1] Pasi Palojarvi, Juha Kostamovaara, Integrated Time-of-Flight Laser Radar, IEEE TRANSACTIONS ON INSTRUMENTATION AND MEASUREMENT, Vol. 46, No.4, p. 996-999, 1997

[2] Nobuyuki Furui, Hiriniri Miyakoshi and Masayuki Noda, Kunihiro Miyauchi, Development of a Scanning Laser Radar for ACC, SAE, 1998

[3] George Otto Geduld, Collision Avoidance, Adaptive Cruise Control : Two Similar Applications With Different Kinds of Philosophy And Safety Impact, AVEC, 1998

[3] 이태경, 레이저 펄스의 수신진폭 정보를 이용한 차간거리 계측의 정밀도 개선에 관한 연구, 한양대학교, 1997

[4] 현인걸, 적외선 펄스 레이저를 이용한 전방 차량과의 거리 계측에 관한 연구, 한양대학교, 1995

[5] 권정오, 레이저 레이더의 정밀도 및 신뢰도 향상을 위한 ATMBI의 연구, 한양대학교, 1999

[6] 1999 Optics and Optical Instrument Catalog, Edmund Scientific Company, 1999