

장거리 레이저 거리측정기 및 레이저 표적지시기 성능 평가를 위한 모사기 구현

Implementation of the Simulator for Evaluating a Long-range Laser Range Finder and a Laser Target Designator

이 영 주* · 김 용 평†
(Young-Ju Lee · Yong-Pyung Kim)

Abstract - In this paper, we propose a signal processing board of an optical delay simulator for evaluating a long-range laser range finder and a laser target designator. We improved the accuracy by applying the clock multiplication and the correction of error gradient. To evaluate the performance of the proposed method, we implemented a prototype board and performed experiments. As a result, we implemented the optical delay simulator with resolution less than 0.7m in measuring distance 60km and a standard deviation of 0.041m. The PRF code detection logic and generation logic have a stability less than 0.03% and 0.08% compared to the NATO standard, respectively.

Key Words : Range simulator, Laser range finder, Laser target designator, PRF

1. 서 론

레이저광은 방향성이 매우 좋기 때문에 레이저 거리측정기로 민수 및 군사용으로 많이 사용되고 있다. 특히 군사용으로 사용하는 분야로는 정밀 유도탄과 정밀 타격을 위한 레이저 표적지시기와 레이저 거리측정기이다. 레이저 거리 측정기는 시간 펄스폭이 매우 짧은 레이저 광을 표적에 보내고 표적 표면에서 반사되어 되돌아 올 때까지 시간을 측정하여 거리를 산출하게 된다[1]. 이러한 거리 측정기는 근적외선영역의 Nd:YAG 레이저를 이용하여 사용하고 있다. 또한 최근에는 훈련 시 병사의 시각 보호를 목적으로 1.54 μ m 대역의 라만 이동레이저 또는 Erbium 레이저를 사용하고 있다[2].

일반적으로 무기체계의 사격 통제에 사용되는 레이저 거리 측정기는 10Hz에서 작동하고 있으며 대공사격 통제용으로 사용할 수 있는 레이저 거리측정기는 20Hz로 작동한다[3]. 최대 측정 거리는 포병용으로는 10km, 항공용으로는 20km이다. 최근에는 측정 거리가 40km이상 가능한 제품도 요구되고 있다[3].

장거리 레이저 거리측정기의 주요성능은 거리 정확도, 거리 분해능과 최대거리 측정 능력이다. 거리 정확도를 측정방법으로는 기선장을 이용하거나 실 거리를 측정하는 방법으로 사용되고 있

다. 그러나 국내 기선장은 한국표준과학연구원에서 보유하고 있지만 280m 이내로만 측정이 가능하여 장거리 레이저 거리측정기의 성능 평가는 불가하다[4]. 그림 1은 레이저 거리측정기를 평가하는 방법으로 제한적인 거리 성능 평가만이 가능하다. 미리 설정된 고정 좌표만을 측정하여 실외에서 최대 수십km 영역을 구간별 측정하는 것이 불가하며 우천 시에도 시험이 불가하다. 최근 실내에서 사용가능한 장거리용 레이저 거리측정기의 교정용 전자 광학 장비가 개발되고 있으나 평가 대상체의 크기와 렌즈 크기에 제한적인 단점을 갖고 있다[5].

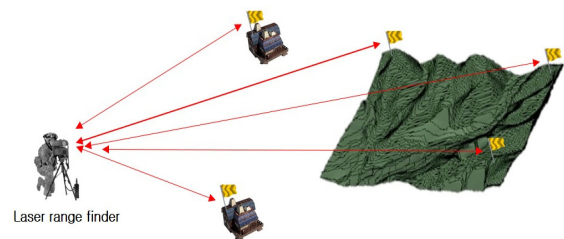


그림 1 거리 성능 평가의 한계

Fig. 1 limitation of range performance evaluation

본 논문에서는 장거리용 레이저 거리 측정기의 최대거리 60km 전 구간에서 클럭 오차 기울기를 보정하여 1m 이내의 거리 정확도를 갖으며 성능 평가 대상체의 크기와 광학계 크기에 의존하지 않는 광섬유 연결 방식을 적용한 광 지연 모사기를 구현하였다. 또한 레이저 표적지시기의 PRF(pulse repetition frequency) 코드 발생 및 수신 검출 성능을 평가하기 위한 신호 처리 보드를 구현하여 평가하였다.

† Corresponding Author : Dept. of Electronics and Radio Engineering, Kyung Hee University, Korea
E-mail : ypkim@khu.ac.kr

* Dept. of Electronics and Radio Engineering, Kyung Hee University, Korea and R&D Center, Allimsystem Co.,Ltd., Korea

Received : March 25, 2015; Accepted : June 30, 2015

2. 본 론

2.1 광 지연 및 거리 모사 구현

레이저 거리측정기는 레이저를 조사하여 표적으로부터 반사되어 돌아오는 광 비행 시간 (time of flight, TOF)을 측정한다. 거리는 빛의 속도와 시간의 곱으로 표현되므로 측정 거리(R) = (빛의 속도(C) × 측정시간(T)) / 2 로 나타낼 수 있다. 진공에서 빛의 속도는 2.99792458×10^8 m/s 이다. 왕복 거리 1m의 분해능에 해당하는 시간은 약 6.67 ns 에 해당한다. 디지털 신호처리를 위해 6.67ns 마다 발생하는 펄스로 가정하면 약 150MHz의 주파수에 해당된다. 기준 클럭 150MHz을 높일 경우 광 지연 모사 분해능을 향상시킬 수 있으며 600MHz를 사용할 경우 0.25m의 분해능으로 광 지연 모사가 가능하다.

광 지연 및 거리 모사를 위한 시스템 구성은 그림 2와 같다. 신호처리 및 제어를 위한 프로세서(micro controller unit, MCU)로는 ARM Cortex-M3를 사용하였으며 광 지연을 위한 카운터는 CPLD(complex programmable logic device)인 Xilinx사의 XC3S200A를 사용하여 구현하였다. 광 검출기(photo diode, PD)에서 입력된 광 신호는 트랜스임피던스 증폭기(trans-impedance amplifier, TIA)를 이용하여 광전 변환 후 디지털 로직이 인식 가능한 TTL 레벨로 변환하여 입력되며 설정된 일정 시간에 해당되는 카운터 값 만큼 지연 후 레이저 다이오드 드라이버를 제어하여 레이저를 조사하게 된다.

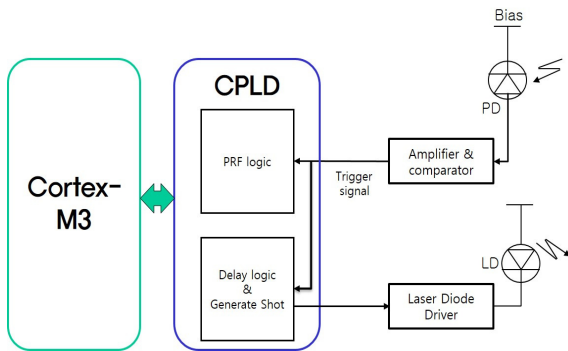


그림 2 시스템 블록다이어그램
Fig. 2 System block diagram

그림 3은 광 지연 카운터 구현을 위한 타이밍도이다. 대기 굽절을 1.000293을 적용하여 계산하면 1m에 해당하는 주파수는 149.852322MHz이다[6]. 입력 클럭(oscillator, OSC)은 가장 근사한 값을 갖는 149.86MHz를 선택하였다.

저가형 CPLD 로직으로는 600MHz에 해당하는 기준 클럭을 생성할 수가 없으므로 2배(Double OSC)된 클럭과 180도 위상이 다른 2배(Double OSC_INV) 클럭을 발생하였다. 각 상승 에지에서 카운터를 증가하여 두 개의 카운터값을 합하여 4배 클럭인 약 600MHz를 기준으로 카운터 가능한 로직을 구현하였다. 299.72MHz의 각 상승 에지에서 카운터가 시작된다. 레이저 펄스가 입력되면 카운터 값을 래치 및 리셋하며 1클럭 경과 후

카운터를 시작한다.

광 지연 모사값(delay time)은 사용자가 MCU를 통하여 CPLD 메모리 공간에 저장한다. 레이저 펄스 입력에 따라 증가되는 카운터 값과 저장된 모사 거리 값이 일치할 경우 첫 번째 상승 에지에서 레이저 펄스를 발생한다. 또한 레이저 거리측정기가 인식 가능한 펄스폭에 해당하는 카운터(pulse width) 만큼 지연 후 레이저 펄스 발생을 멈추게 된다. 카운터 크기는 32비트로 설계하여 이론적으로는 수백 km 이상의 거리 모사가 가능하다.

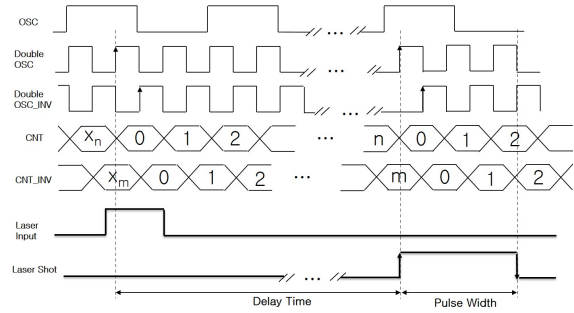


그림 3 광 지연 로직 타이밍도
Fig. 3 Optical delay logic timing chart

2.2 PRF 코드 검출 및 발생

NATO 규격인 오차 0.1ms 이내의 PRF 코드를 분석하기 위하여 기준 클럭 149.86MHz로 광 지연 6.67ns 단위의 펄스 카운터를 설계하였다[7]. 그림 4와 같이 처리 절차는 트리거 신호가 입력될 때 마다 저장된 PRF 코드값을 PRF Value 레지스터에 저장하고 동시에 Cortex-M3에 인터럽트가 발생되면 제어 프로그램에서 병렬 데이터 처리용 FSMC(flexible static memory controller)버스를 이용하여 저장된 데이터를 가져가는 방식이다.

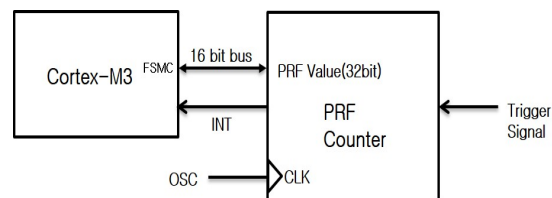


그림 4 PRF 카운터 로직 인터페이스
Fig. 4 PRF counter logic interface

카운터 내부에서 사용되는 신호 및 발생 타이밍은 그림 5와 같다. 수신 성능 및 정밀도를 고려하여 149.86MHz의 기준 클럭을 사용하였다. 트리거 신호가 입력되면 클럭 기준 상승에지 지점에서 래치하고 현재 CNT값(n)을 저장 및 리셋하여 CNT값을 증가시킨다.

트리거가 입력되면 MCU에서 인식 가능한 인터럽트 신호를 발생하여 전달한다. MCU가 인식 가능한 펄스 간격에 맞게 일정 유지시간이 필요하여 약 1.5ms 동안 유지 후 INT 신호를 하강시켰다. MCU에 인터럽트가 입력되면 인터럽트 서비스 루틴 함수가

호출되어 FMSC 버스를 이용하여 CPLD내 레지스터 영역에서 PRF Code값을 읽어 신호 처리한다.

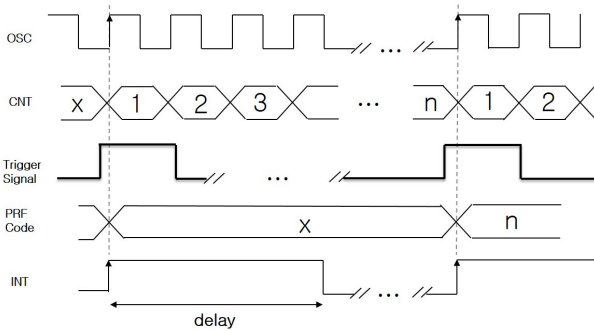


그림 5 PRF 카운터 타이밍

Fig. 5 PRF counter timing chart

MCU와 CPLD간의 데이터 버스는 16비트 버스로 구현하였으며 CPLD 레지스터(CNT, PRF Code)는 32비트 크기로 설계하였다.

레이저 표적지시기와 연동된 광검출기 성능 평가를 위하여 PRF 코드 발생 로직을 구현하였다. PRF 카운터를 이용하여 MCU에서 전송된 PRF code 값을 CPLD 레지스터에 저장한 후 발생 명령에 따라 OSC 상승에지 기준으로 레이저를 조사하고 일정 시간동안 유지후 정지하며 PRF code 값과 일치하면 또다시 레이저를 조사를 반복하여 구현하였다.

2.3 광 신호 증폭 및 레이저 신호 발생

레이저 표적 지시기에서는 1064nm의 중심파장을 갖는 레이저를 사용하며 레이저 거리측정기는 1064nm와 1570nm 대역의 레이저를 사용하고 있다. 모사기에 입사되는 광신호를 검출하기 위하여 800nm~1700nm 범위에서 검출이 가능한 광섬유가 장착된 InGaAs형 포토다이오드를 사용하였다. 광전 변환 및 증폭을 위한 트랜스임피던스 증폭기(trans-impedance amplifier, TIA)회로를 구현하였다. 증폭기는 1GHz의 대역폭을 갖는 아날로그디바이스의 AD8009를 사용하였다. 증폭된 신호를 CPLD가 인식 가능한 레벨로 변환하는 비교기를 적용하여 디지털 신호로 변환하였다. 비교기(comparator)는 광전 변환 레벨과 기준전압(reference voltage)의 차이를 이용하여 신호 입력여부를 판단한다.

레이저 신호 발생부는 표적모의기 평가를 위하여 중심파장 1064nm를 갖는 Wave Spectrum사의 WSLP-1060-020m 레이저 다이오드를 사용하고 레이저 거리측정기 평가를 위하여 중심 파장 1570nm를 갖는 WSLP-1570-002m 레이저 다이오드를 적용하여 설계하였다. 두 제품 모두 광섬유 연결형 레이저 다이오드 로써 측정 대상체의 크기와 렌즈크기에 무관하게 평가가 가능한 장점을 갖는다. 레이저 다이오드 구동은 고속 스위칭이 가능한 Avalench TR인 ZETEX 사의 FMMT417를 사용하였으며 펄스폭 제어를 위하여 PFN(pulse forming network) 회로를 구현하였다. 발생 레이저 펄스폭은 20ns 전후로 설계 제작하였다.

그림 6은 제작된 보드 형상을 보여주며 광 검출기용 PD

(photo diode)로는 성능 평가용 시료의 출력이 입사된다. 광 지연 모사는 1570nm의 광 섬유형 LD(laser diode)와 1064nm의 광 섬유형 LD를 적용하였으며 사용자 선택에 따라 선택 가능한 구조로 설계하였다.

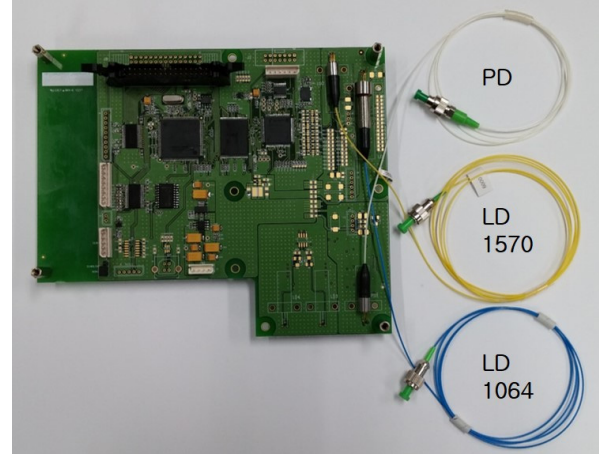


그림 6 거리 모사기 보드 외형

Fig. 6 Appearance of range simulator board

2.4 평가

광 지연 모사기의 성능을 평가하기 위하여 그림 7과 같은 평가시스템을 구성하였다. 레이저는 1540nm의 중심파장을 갖는 NEC사 LX3200를 사용하였으며 1x2의 50:50 비율을 갖는 광분배기를 통하여 광 지연 모사기의 PD와 기준 광 검출기(DeT 1)에 입사하였다. 광 지연 모사기의 PD에 입사된 광은 광전 변환 및 비교기를 통하여 디지털 트리거 신호를 발생하게 되고 MCU와 CPLD에서 설정 거리에 해당되는 시간을 지연 후 레이저 다이오드를 구동하여 기준 광 검출기(DeT 2)에 입사하였다. 두 개의 기준 광 검출기의 시간 차이를 측정하여 모사거리로 환산하였다. 기준 광 검출기는 Thorlabs사의 EDT01CFC 광 검출기를 사용하였으며 검출기 간의 시간차는 범용 카운터(universal counter, UC)인 Agilent사의 53132A를 사용하여 측정하였다.

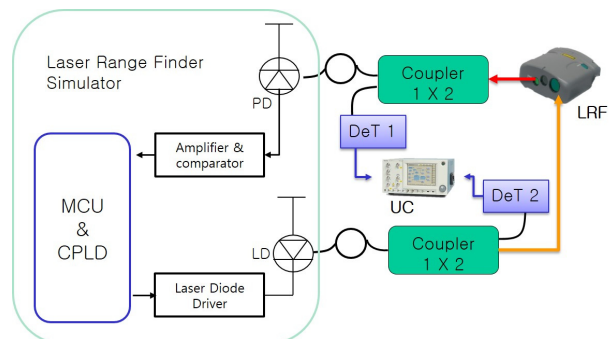


그림 7 평가 시스템 구성도

Fig. 7 System diagram for evaluation

그림 8은 광 지연 모사기의 거리 설정에 따른 오차를 보여준다. 최대 모사거리 60km에서 적용된 클럭과 대기 중 빛의 속도의 클럭 오차는 약 3m로 계산되었다. 측정 오차는 10m 부근에서 초기 4.2m 윽셋값을 갖으며 60km 지점에서는 약 1m의 윽셋을 갖고 있음을 보여준다. 실측된 데이터의 기울기와 윽셋을 적용하여 2km 단위로 기울기를 보정하였으며 모사기 신호처리 보드에 보정 수식을 적용하여 60km 범위에서 0.7m 이하의 오차로 구현되었다. 이때 측정 구간에서 발생된 표준 편차는 0.041m로 측정되었다.

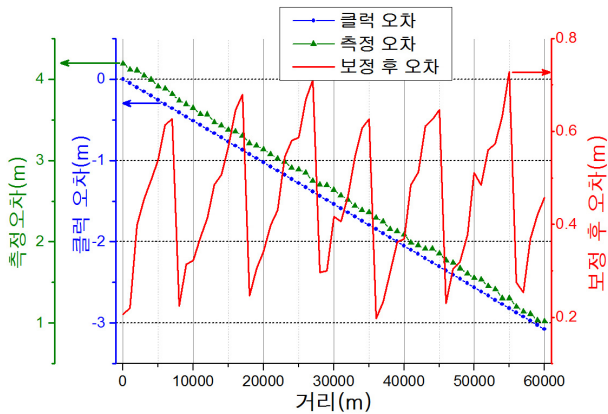


그림 8 모사 거리와 측정 오차
 Fig. 8 Simulation range and measurement error

PRF 코드 수신 성능을 검토하기 위해 0.3ns의 PRF 오차를 갖는 레이저를 사용하였다. 표 2는 레이저 발생 주기에 따른 검출 주기와 검출 오차를 보여준다. 검출확률 100%, 50개의 샘플 데이터를 측정하였을 때 검출 오차는 최대 25ns로 측정되었다.

표 2 PRF 수신 오차

Table 2 PRF repetition and laser output error

레이저 발생 주기(ms)	50	100	125
검출 주기(ms)	50	100	125
검출 오차(ns) Standard Deviation	11	14	25

레이저 PRF 발생 주기 오차는 Thorlabs사의 EDT01CFC광 검출기와 Agilent사의 53132A 주파수 측정기를 이용하였으며 발생 오차는 78 ns 이내로 측정되었다.

표 3 PRF 코드 발생 오차

Table 3 PRF code generation error

PRF 설정 주기(ms)	50	100	125
발생 오차(ns) Standard Deviation	46	26	78

3. 결 론

본 논문에서는 장거리용 레이저 거리 측정기의 전 구간에서 거리 정확도 측정이 가능한 광 지연 모사기를 구현하였다. 또한 레이저 표적지시기에서 사용되는 PRF 코드 발생 및 수신 성능을 평가하기 위한 신호처리 보드를 구현하여 평가하였다.

광 지연 모사기는 149.85MHz의 신호를 2채배 및 반전 신호를 이용하여 4배의 분해능을 갖는 로직으로 구현하였다. 또한 기준 클럭과 대기 중 빛의 속도의 오차를 산출하여 선형기울기 및 윽셋을 갖는 수식을 적용하였으며 최대 60km범위에서 0.7m의 분해능을 갖는 광 지연 모사기를 구현하였다. 표준편차는 0.041m로 측정되어 장거리용 레이저 거리측정기의 성능을 평가하는데 적합함을 확인하였다.

PRF 코드의 수신부는 기준 클럭을 이용하여 주파수 카운터를 구현하였으며 수신 분해능은 125ms에서 오차 25ns로 측정되어 PRF 코드 오차 규격 0.1ms 대비 0.03% 이내 오차를 확인 하였다. PRF 코드 발생 오차는 125ms에서 78ns의 오차로 규격 0.1ms 대비 0.08%로 NATO 규격을 만족함을 확인하였다.

향후 레이저 거리 측정기의 다목적 성능 평가를 위하여 다중 표적 모사, 근접 표적 모사기능 및 대기 영향과 거리에 따른 레이저 흡수율을 포함한 모사기능에 대한 연구가 필요 할 것으로 판단된다.

References

- [1] Kilpela, Ari, Pulsed time-of-flight laser range finder techniques for fast, high precision measurement applications, Oulu university press, 2004.
- [2] Laser Range Finder LRF-210, BAE System.,
- [3] JK. Kim, "Laser technology military application," Optical Science and Technology, vol. 14, 2010.
- [4] JW, Kim, TB. Eom, HS. Suh, " Calibration and performance test of electro-optical distance meters using a laser interferometer", Korean Society Of Subveying Geodicy, Photogrammetry And Cartography, vol. 22, no. 4, pp. 367-374, 2004.
- [5] J. McKechnie, P. Bryant, P. Harris, B. Rich, A. Irwin, S. McHugh, "Advanced test systems for characterization of UUTs with laser range finder/designator capabilities", Infrared imaging systems, Proc. of SPIE, vol. 5407, 2004.
- [6] Michael De Podesta, Understanding the properties of matter, Taylor & Francis, pp. 131-132, 2002
- [7] Maj. Roberto Sabatini, Mark A. Richardson, Airborne laser system testing and analysis, Flight Test Techniques Series, vol. 26, 2010.

저 자 소 개



이 영 주(Young-Ju Lee)

1972년 3월 10일생, 1995년 목원대 공대 전자공학과 졸업. 1997년 동 대학원 전자 및 컴퓨터공학과 졸업(석사). 1999년 경희대 공대 전자공학과 박사수료. 현재 ㈜알림시스템 부설연구소 수석연구원.

E-mail : laserguy.young@gmail.com



김 용 평(Yong-Pyung Kim)

1955년 2월 9일생, 1979년 경희대 공대 전자공학과 졸업. 1981년 동 대학원 전자공학과 졸업(석사). 1986년 Keio Univ. 대학원 전기공학과 졸업(공학박사). 1986년~1988년 Imperial College of Science and Technology 연구원. 1988년~1996년 한국표준과학연구원 레이저연구실장. 1996년~현재 경희대 전자정보대학 전자전파공학과 교수

E-mail : ypkim@khu.ac.kr