
고정밀 레이저 거리 측정기 개발에 관한 연구

배영철* · 김이곤* · 박종배* · 김천석* · 조의주* · 서종주** · 이지모프*** · 구영덕****

The Development of High Precision Laser Finder Ranger

Youngchul Bae* · Yigon Kim* · Jongbae Park* · Chunsuk Kim* · EuiJoo Cho* · Jonhju Seo** · U.BAzimov*** · Youngduk Koo****

요 약

본 논문에서는 빛의 세기에 크게 영향을 받지 않고 정밀한 거리 측정과 측정 속도를 대폭 개선할 수 있는 기술로서 5m 단위의 거리 측정에는 비행 펄스 시간 방법을 사용하고, 1mm 단위의 측정에는 헤테로다인 방법을 적용하여, 장거리측정이 가능하게 함과 동시에 측정오차 1mm 이내, 측정 거리 1km 이내의 고정밀의 거리 측정이 가능한 방법을 개발하고 그 유용성을 검증하였다.

ABSTRACT

In this paper, we propose a development technique of high precision laser finder ranger within instrument distance 1km, instrument error less than 1 mm by using pulse time of flight method in the 5m unit instrument and heterodyne method in the within 1mm unit. These propose methods can be more advanced to measurement velocity and more highly precision distance instrument not affected the strength of light. We also validate this usefulness.

키워드

Chaos robot, Chaos control, Obstacle avoidance, Synchronization, Cooperation control

I. 서 론

레이저 거리 측정 기술은 레이저를 이용하여 레이저를 발생한 장소에서 레이저를 발생 시킨 후 목표물에서 되돌아 오는 레이저의 파장을 측정하여 목표물까지의 거리를 원격으로 측정하는 기술을 말한다. 과거에는 주로 이 레이저 거리 측정 기술이 레이저 및 부품 등의 가격이 비싸고 기술적인 난이도 때문에 주로 군사용 사용되어 헬기나 전차에 탑재하여 발사체와 목표물과의 거리를 측정하는

데 주로 사용하였다. 따라서 주로 군사용으로 사용되었기 때문에 측정거리도 수 km에서 수십 km 정도이고 측정오차도 5-10m 정도였다. 군사용의 경우 5-10m의 오차라도 매우 정밀한 급에 속한다. 최근에는 이 레이저 거리 측정기를 군사용에서 산업용에 적용하고자 하는 노력을 계속하고 있다. 레이저 거리 측정기를 산업용에서 상용화하기 위해서는 정밀도와 신뢰도, 소형, 경량화가 필수적이다. 레이저 거리 측정기는 자동화 산업 현장의 무인화 시스템, 선박 접안 시 배의 파손을 막기 위한 거리 측정, 무

* 전남대학교 공학대학 전자통신전기공학부

** 전남대학교 공학대학 컴퓨터공학과

*** 전남대학교 공학대학 기계공학과

**** 과학기술정보연구원(KISTI)

인 과속 감지기, 차량 충돌 방지 시스템 등에 적용 가능하다. 산업용 레이저 거리 측정기의 경우 산업 현장의 무인 요구 장소 등의 특성에 의해 군사용에 비해 측정거리가 1 km 이내로 짧고 측정오차도 1-10 mm 이내를 요구하고 있다.[1-5]

레이저 빛의 직진성과 높은 반사율의 특성을 이용하여 정밀한 거리 측정이 가능하다. 그러나, 반사되어 돌아오는 빛의 세기는 거리 및 반사물체의 표면 상태에 따라 변화가 심하여 이 빛의 세기의 강약에 의한 계측 오차 변동 폭이 크게 나타난다. 이런 경우 측정 횟수를 크게 늘려 평균값을 구하여 거리 오차 폭을 감소시키고 있으나, 측정 반복 횟수에 비례하여 측정 시간이 길어져서 고속 주행하는 설비에는 적용하기가 적절치 않다.

이에 본 연구에서는 또한 빛의 세기에 크게 영향을 받지 않고 정밀한 거리계측과 측정 속도를 대폭 개선할 수 있는 기술로서 5m 단위의 거리 계측에는 비행 펄스 시간 (pulsed time of flight) 방법을 사용하고, 1mm 단위의 계측에는 헤테로다인 방법을 적용하여, 장거리 계측이 가능하게 함과 동시에 측정오차 1mm 이내, 측정 거리 1km 이내의 고정밀의 거리 계측이 가능한 방법을 개발하고 그 유용성을 검증하였다.

II. 레이저 거리 측정기

2.1. 레이저 거리 측정기의 구성

고 정밀 산업용 레이저 거리 측정기는 PLL, 레이저 구동부, APD와 전치 증폭부, 위상 출력부, 제어부와 이를 연결하는 마이크로프로세서로 구성되며 이를 그림 1에 나타내었다.

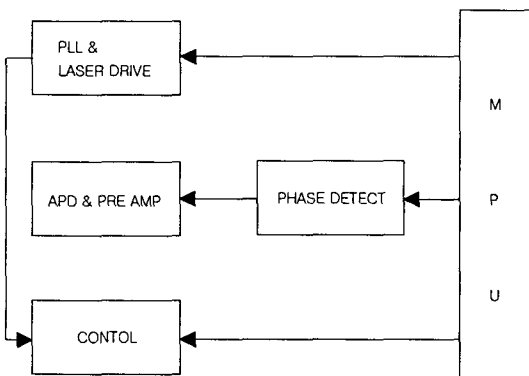


그림 1. 레이저 거리측정기의 기본 구조
Fig. 1. The Basic structure of laser finder ranger

2.2. 비행 펄스 시간[6-7]

2.2.1 비행 펄스 시간 방법에 의한 거리계측

장거리 측정에 적합한 방법으로 그림2 와 같이 나타내며 펄스의 왕복 시간을 측정하여 거리를 계측하는 방식으로 측정거리는 식(1)과 같이 나타낸다.

$$d = c \cdot \Delta t / 2 \tag{1}$$

여기서 d는 목표물과의 거리, Δt 는 레이저 펄스의 왕복 시간, c는 빛의 속도 $c = 3 \times 10^8$ [m/s]이다.

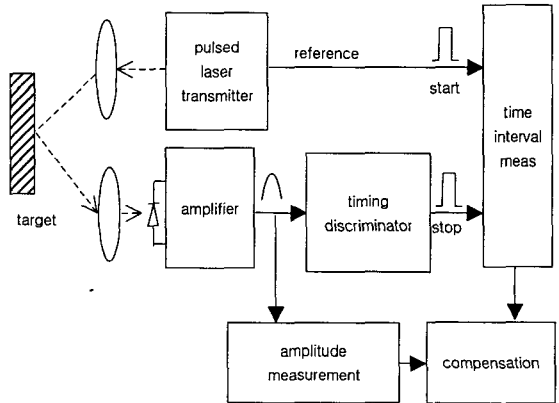


그림 2. Pulsed time of flight 방법에 의한 거리 계측 구성도
Fig. 2 The distance measure by pulsed time of flight method

2.2.2 Δt 측정방법

펄스를 발사하는 시점과 펄스가 되돌아오는 시간의 차를 구하기 위해서는 카운터용 주파수(100MHz)를 사용하고 수신된 신호를 구형파로 변환하여 발사시점의 trigger 신호와의 시간차를 식(2)를 이용하여 계산하며 이를 그림 3에 나타내었다.

$$t_p = t_0 + \frac{t_w}{2} \tag{2}$$

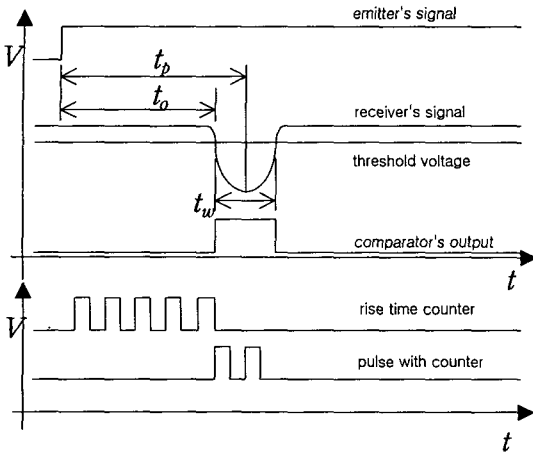


그림 3. Δt 측정방법
Fig. 3 Δt measure method

2.2.3 수신신호의 강약에 의한 오차 보정 방법

미약한 레이저 빛을 수신하기 위해서는 APD (avalanche photo diode)를 사용하였다. 신호 대 잡음(S/N) 비가 우수하고 신호 증폭특성이 뛰어난 장점이 있으나, 레이저 빛의 세기에 따른 위상 군지연(group delay) 특성이 강하여 이에 따른 적절한 보완 기술이 필요하다. 일반적으로 알려진 CFD (constant fraction discriminator) 회로를 개선하여 threshold의 bias 전압이 자동으로 조절되도록 하였고, 발사하는 pulse 신호를 bipolar pulse 방식을 고안하여 수신신호의 특성을 개선시켰다 이를 그림 4에 나타내었다.

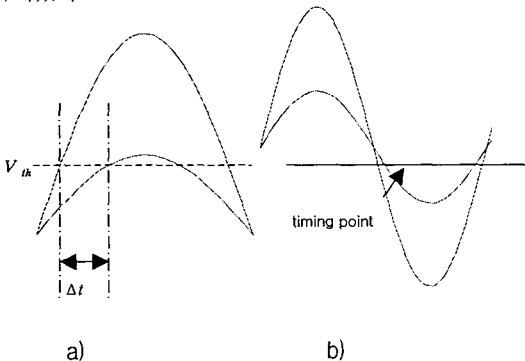


그림 4. 오차 보정 기법 a) 개선전의 수신신호의 오차, b) bipolar 방식을 적용한 CFD의 신호
Fig. 4 Error correction technique a) before the error of received signal b) CFD signal by using bipolar technique

그림 4의 a)의 경우 Δt의 오차는 수신신호의 세기에 의하여 변동 폭이 매우 심하나, b)의 경우는 타이밍 포인트가 매우 안정되어 오차를 개선시키고 있음을 확인할 수 있다.

2.3. 헤테로다인 방식[7]

2.3.1. 헤테로다인 방법에 의한 거리계측

레이저 빛을 최대 측정 거리에 비례하는 주파수 신호로 변조하여 반사되어 돌아오는 빛을 복조한 후 원래의 변조 신호와의 위상차를 검출하여 거리를 측정할 수 있다. 구조는 다소 펄스 비행 시간 방법보다 복잡하지만 1 mm 단위의 거리 오차를 갖는 정밀한 계측을 할 수 있는 장점이 있다.

거리에 비례하는 변조 주파수는 다음과 같다.

$$f_m = \frac{c}{2d} \text{ [Hz]} \tag{3}$$

여기서 c는 3×10^8 [m/s], d는 최대 측정 거리이다.

원래의 변조 신호와 복조된 신호간의 위상차를 직접 검출하면 오차 범위가 확대 되므로 두 신호의 주파수를 위상 측정이 용이한 낮은 주파수로 변환할 필요가 있다. 이 낮은 주파수를 중간 주파수라 하면

$$f_i = f_l \pm f_m \tag{4}$$

식(4)에서 국부 발진 주파수(f_l)를 구하여 복조회로에서 원하는 중간 주파수를 얻을 수 있다. 변조 주파수를 f_i 와 동일한 주파수로 변환하여 기준 신호로 사용한다. 이 기준신호를 f_{ref} 라 하면 주파수 분배비 N는

$$f_{ref} = f_i, N = \frac{f_m}{f_i} \tag{5}$$

2.3.2 Transimpedance Amplifier(TIA)

변조된 미약한 레이저 빛의 신호를 증폭함에 있어서 전압증폭 방식과 전류신호를 전압신호로 변환하는 방법이 있다. 신호 대 잡음비 특성이 우수한 TIA 방식을 그림5와 같이 적용한다.

그림 5로부터 입력저항과 주파수는 식(6), (7)과 같이 정리할 수 있다.

$$R_{IN} = \frac{V_{IN}}{I_{IN}} = \frac{R_F}{1 + A_{vol}} \quad (6)$$

$$f_{-3dB} = \frac{1}{2\pi R_{IN} C_{IN}} \quad (7)$$

Dynamic Range는 식(8), (9)와 같다

$$De = \frac{(\text{max. input current})}{(\text{peak. noise current})} \quad (8)$$

$$De(dB) = 20 \log \frac{(120 \cdot 10^{-6})}{(\sqrt{2} \cdot 52nA)} \quad (9)$$

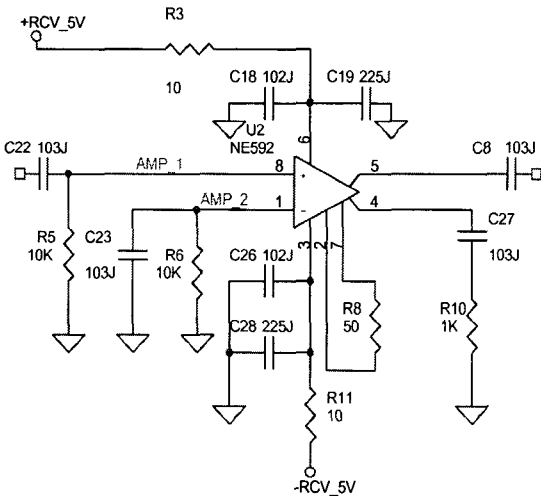


그림 5. TIA 회로도
Fig. 5 TIA circuit

2.3.3 위상차 검출

위상차 검출을 위해 식(10)의 공식을 이용하였으며 tx의 정밀도는 counter clock에 의하여 정하여지며, d.max는 변조신호의 파장에 의하여 정하여진다.

$$D_{ph} = tx/2 \cdot \text{max} \quad (10)$$

여기서 tx는 기준신호와의 위상차, d.max: 최대 측정 거리이다.

2.3.4 비행 펄스 시간 방식과 헤테로다이방식의 계측 조합

빛의 세기에 크게 영향을 받지 않고 정밀한 거리계측과 측정 속도를 대폭 개선할 수 있는 기술로서 5m 단위의 거리 계측에는 비행 펄스 시간 방법을 사용하고, 1mm 단위의 계측에는 헤테로다이인 방법을 적용하여 그림 6과 같이 적용하였다.

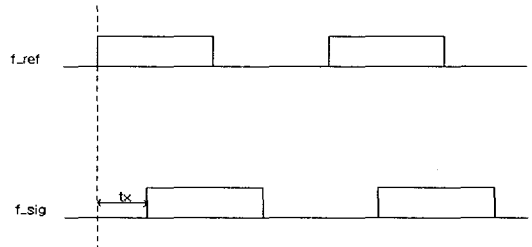


그림 6. Pulsed time of flight 방식과 Heterodyne 방식의 계측 조합

Fig. 6 The Combination measurement of Pulsed time of flight type and Heterodyne type

비행 펄스 시간 계산은 식 (11)과 (12)를 이용하였으며 헤테로다이인 방식에서는 식 (13)을 이용하였다.

$$t_p = t_0 + \frac{t_w}{2} \quad (11)$$

$$D_{ft} = c \cdot t_p / 2 \quad (12)$$

$$D_{ph} = tx/2 \cdot d.\text{max} \quad (13)$$

예를 들어 d.max = 10m라 하면 $D_{ft} = \text{int}(D_{ft} / 10m)$ 가되며 실제측 거리(조합된 거리)는 식(14)와 같이 정리할 수 있다.

$$D_{cmb} = D_{ft} + D_{ph} \quad (14)$$

III. 고속 카운터 구현

3.1. 고속 카운터 구성도

2절에서의 관계이론을 가지고 고정밀 레이저 거리 측정기의 거리 측정을 위해서는 고속의 정밀 카운터가 필요

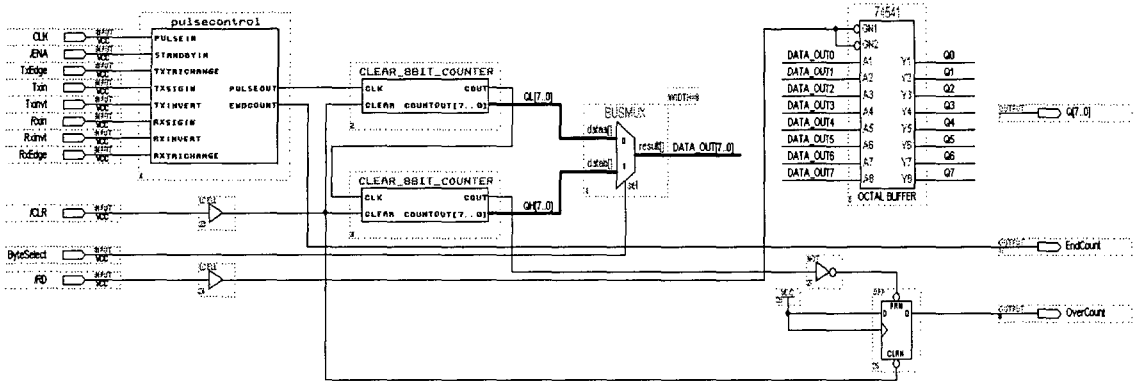


그림 7. 고속 카운터 구성도
Fig. 7. The configuration of high speed counter

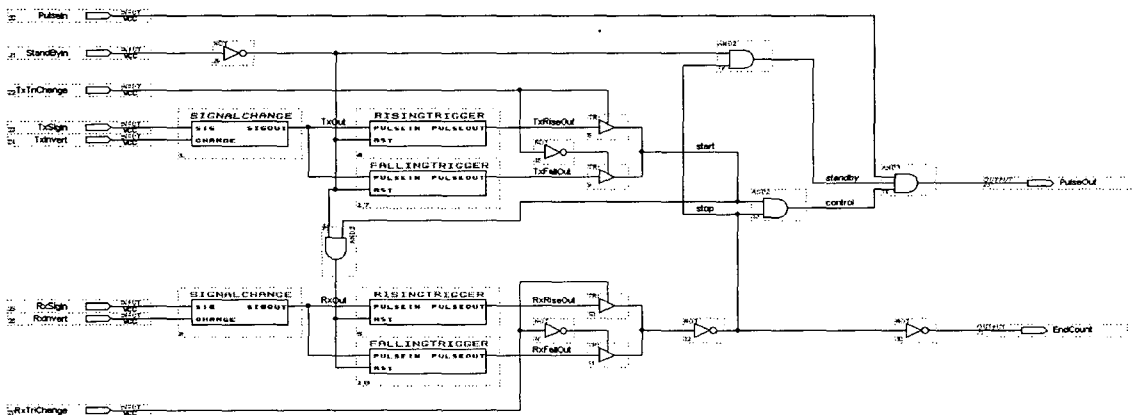


그림 8. 고속 카운터 구성도
Fig. 8. The configuration of high speed counter

하며 이를 구성하면 그림 7, 8에 나타내었으며 이와 관련된 VHDL 프로그램 소스 리스트를 그림 9에 나타내었다

```

LIBRARY ieee;
USE ieee.std_logic_1164.all;
entity SignalChange is
    port(SIG,CHANGE : IN std_logic;
          SigOut : OUT std_logic);
end SignalChange;

architecture converter of SignalChange is
begin
    process(SIG,CHANGE)
    BEGIN

```

```

if CHANGE = '0' THEN
    SigOut <= not(SIG);
else
    SigOut <= SIG;
end if;
END process;
end converter;

```

```

library ieee; use ieee.std_logic_1164.all;
entity risingtrigger is
    port(PulseIn,Rst : IN std_logic;
          Pulseout : out std_logic);
end risingtrigger;

```

```

architecture TriggerChange of risingtrigger is

```

```

begin
  process(PulseIn,Rst)
  begin
    if Rst = '0' then Pulseout <= '0';
    else
      if (PulseIn'event and PulseIn = '1') then Pulseout <= '1';
      end if;
    end if;
  end process;
end TriggerChange;

```

```

    Cout <= '0';
  end if;
  TempCount := TempCount + 1;
end if;
CountOut <= TempCount;
end process;
end Counting;

```

그림 9. 고속 카운터 관련 소스 리스트
Fig. 9. Source list of high speed counter

```

library ieee; use ieee.std_logic_1164.all;
entity fallingtrigger is
  port(PulseIn,Rst : IN std_logic;
        Pulseout : out std_logic);
end fallingtrigger;

```

```

architecture TriggerChange of fallingtrigger is
begin
  process(PulseIn,Rst)
  begin
    if Rst = '0' then Pulseout <= '0';
    else
      if (PulseIn'event and PulseIn = '0') then Pulseout <= '1';
      end if;
    end if;
  end process;
end TriggerChange;

```

```

library ieee; use ieee.std_logic_1164.all; use
ieee.std_logic_unsigned.all;
entity clear_8bit_counter is
  port (Clk,Clear : IN std_logic;
        Cout : OUT std_logic;
        CountOut : OUT std_logic_vector(7 downto 0));
end clear_8bit_counter;
architecture Counting of clear_8bit_counter is
begin
  process(Clk,Clear)
  variable TempCount : std_logic_vector(7 downto 0);
  begin
    if Clear = '0' then
      TempCount := "00000000";
      Cout <= '0';
    els if (Clk'event and Clk = '1') then
      if TempCount = "11111111" then Cout <= '1';
      else

```

IV. 레이저 거리측기 구현

4.1. 고정밀 레이저 거리측기 구성도

2장과 3장의 관계이론과 고속 카운터 설계 기법을 가지고 고정밀 레이저 거리 측정기를 구성하면 그림 10과 같이 나타낼 수 있다.

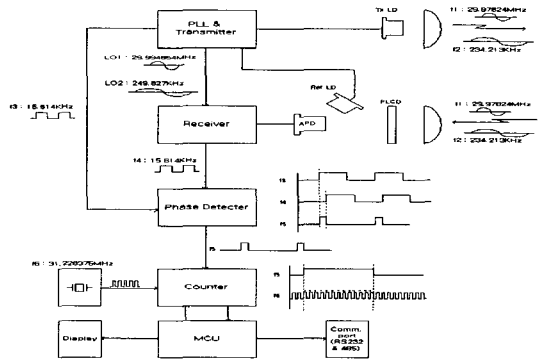


그림 10. 고정밀 레이저 거리 측정기의 구성도
Fig. 10. The configuration of high precision laser finder ranger

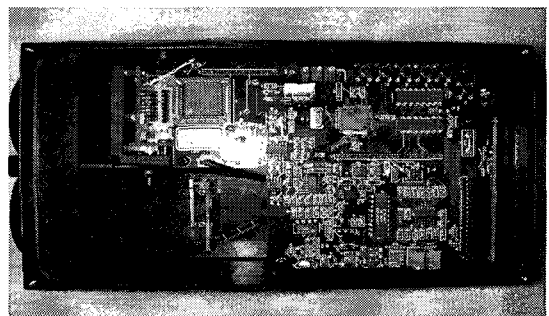


그림 11. 구현한 고정밀 레이저 거리 측정기
Fig. 11 The implementation of high precision laser finder ranger

4.2. 레이저 거리 측정기 구현

그림 10을 기반으로 구현한 레이저 거리 측정기를 그림 11에 나타내었다. 레이저 거리 측정기는 배선이 필요없도록 설계하였고 640m의 측정 범위에서 측정 오차가 1mm 이내가 되도록 설계구현하였다.

V. 결론 및 향후 과제

본 논문에서는 산업용에 적용 가능한 고정밀 레이저 거리 측정기를 구현하고 그 결과를 확인하였다. 제안한 레이저 거리 측정기는 비행 펄스 시간법과 헤테로다인 방식을 병용하여 640m 거리에서 측정 오차 1mm 이내의 범위를 가지는 고정밀 측정기로서 앞으로 현장에 적용하여 잡음과 주변 온도 등의 영향을 받지 않고 고정밀의 특성을 가지는지에 대한 실험이 계속되어야 할 것으로 보인다.

감사의 글

본 연구는 산업자원부의 지역혁신 인력양성사업의 연구결과로 수행되었음.

REFERENCE

[1] 최영수, 박용찬, 강웅철, "펄스형 고반복 레이저를 이용한 거리측정," The Journal of Optical Society of Korea (Korean Edition) Volume 6, Number1, 1995, 국방과학연구소

[2] Erkki Ikonen, Viktor Krozer, "Pulsed time-of-flight laser range finder techniques for fast, high precision measurement application, "OULU university press, pp24-29, 2004.

[3] Dukhyeon Kim, Hyungki Cha, Kyuseok Song, Kiho Yang, " Development of Time Counter for Range Finder Using Pulsed Diode Laser," THE Journal of KASBIR Vol.3, No.1, pp205-211, 2003.

[4] 구연덕, "Aerosol 투과특성에 따른 적외선 레이저 거리 측정기의 최대 거리측정 능력분석."Ungyong Muli, Vol.11, No.2,pp123-127,1997.

[5] David Dupuy, Marc Lescure, Helene Tap-Beteille, "High frequency scanning response of an APD photocurrent for laser range finder, "ENSEEIHT Electronic Laboratory, 2003

[6] Roman Ostrowski, M. Strzelec, "Eye-safe laser", Military University of Technology(Poland), 2002.

[7] John Nettleton, Dallas Barr, Brad Schilling, Jonathan Lei, "Micro-Laser Range Finder Development, " <http://www.repairfaq.org/sam/Ir/>,1999.

[8] 임민호, "비선형 광학 단결질 KNbO₃를 이용한 광 파라메트릭 진동자의 제작 및 특성,"2001.

저자소개

배 영 철(Youngchul Bae)



1986년 2월 광운대학교대학원 전기공학과 졸업(공학석사)
1997년 2월 광운대학교대학원 전기공학과 졸업(공학박사)

1986-1991 한국전력공사
1991-1997 산업기술정보원 책임연구원
1997- 2006 여수대학교 전자통신전기공학부 부교수
2006- 현재 전남대학교 전자 통신전기공학부 부교수
※관심분야: 퍼지 및 신경망, 카오스 동기화 및 암호화, 카오스 로봇 설계 및 제어, Small World, 레이저 거리 측정기