

무선광 차동검출기에서 디지털가변저항을 이용한 잡음광의 감소

Optical Noise Reduction using a Digital Potentiometer in a Wireless Optical Differential Detector

이 성 호

Seong-Ho Lee

요 약

본 논문에서는 편광기를 부착한 차동검출기의 부하저항으로 디지털가변저항을 사용하여 잡음소거 능력을 개선하였다. 이 구조에서는 차동검출기를 구성하는 2개의 포토다이오드에서 검출된 잡음전압의 크기가 항상 동일한 값이 되도록 디지털 가변저항의 크기를 제어하여 잡음광을 소거한다. 이 방식에서는 고정된 부하저항을 사용한 구조에 비하여 신호대잡음비가 약 23 dB 더 향상되었다.

Key words : 무선광연결, 차동검출기

Abstract

In this paper, a digital potentiometer is used as a load resistor of a wireless optical differential detector with a polarizer, to improve the noise reduction capability. In this structure, the noise voltages of the two photodiodes are made equal by controlling a digital potentiometer and the optical noise is cancelled out. With a digital potentiometer, the signal to noise ratio is enhanced by about 23 dB.

I. 서 론

무선광연결은 송수신부의 구성이 간단하며 기존의 무선통신과 상호간섭이 적고, 높은 보안성을 유지한다. 또한 광파의 사용허가가 별도로 필요하지 않아 근거리 무선통신방식으로 그 활용이 점차 증가하고 있으며, 특히 고층건물간 고속전송로 구축이나 실내에서 컴퓨터 단말기간 혹은 주변장치간에 음성 및 영상 신호의 전송 등에 많이 이용되고 있다.

무선광연결은 자유공간을 전송매체로 사용하므로 백열등, 형광등과 같은 주변의 조명시설이나, 햇

빛과 같은 잡음광의 영향을 받기 쉽다. 잡음광의 영향을 줄이기 위하여 많은 연구가 계속 발표되고 있으며, 잡음광의 영향을 줄이는 방법으로 광학적 필터 또는 전기적 필터를 많이 사용하고 있다^[1]. 이외에도 잡음광의 스펙트럼 분포가 넓어 신호광의 파장 영역과 중첩되거나 신호광의 파장과 유사하여 광학적 필터만으로 잡음광의 소거가 어려울 때에는 차동검출기(Differential detector)를 사용하여 잡음광을 소거할 수 있다^{[2]-[6]}. 차동검출기는 2개의 포토다이오드에서의 신호광결합계수 차이를 이용하여 잡음광을 소거하며, 특히 편광기를 부착한 차동검출기는 구조가 간단하고, 잡음소거 능력이 매우 우수하다^[5].

「이 논문은 서울산업대학교 교내 학술연구비에 의하여 연구되었음.」

서울산업대학교 전자정보공학과(Department of Electronic & Information Engineering, Seoul National University of Technology)

· 논문 번호 : 20020416-046

· 수정완료일자 : 2002년 6월 11일

일반적인 환경에서 잡음광원이 조명등인 경우, 잡음광으로부터 포토다이오드까지의 거리는 보통 수 m 정도인데 비하여 차동검출기를 구성하는 2개의 포토다이오드간의 거리는 약 1 cm 이하로 근접하여 2개의 포토다이오드에서 잡음광의 세기는 거의 동일하다. 이러한 일반적인 잡음조건에서는 2개의 포토다이오드에 동일한 부하저항을 사용하고 편광기를 부착한 기존의 차동검출기를 사용하면 잡음 소거 효과가 매우 양호하다. 그러나 잡음광원이 아주 가깝고 잡음광의 세기가 매우 강하여 포토다이오드 가까이에서 지나가는 물체에 의한 그림자 때문에 잡음광의 분포가 공간적으로 심한 변화를 하는 특별한 환경에서는 2개의 포토다이오드에서 순간적으로 잡음광의 세기가 달라져, 차동검출기의 출력전압에 잡음성분이 완전히 소거되지 않고 일부가 남아 있는 경우가 발생하며 이 잔류잡음이 심하면 전송에 에러를 유발할 수 있다.

본 논문에서는 이와 같이 2개의 포토다이오드에서 잡음광의 세기가 서로 다른 특별한 환경에서도 잡음광을 효과적으로 소거할 수 있도록 새로이 개선된 구조를 실험한다. 기존의 편광기를 이용한 차동검출기^[5]에서는 일반적으로 잡음광의 분포가 거의 균일함을 고려하여 2개의 포토다이오드에 동일한 부하저항을 사용한다. 비하여, 본 논문에서 소개하는 구조에서는 잡음광의 분포가 2개의 포토다이오드에서 서로 다른 경우에도 잡음광의 소거효과가 높도록 2개의 부하저항 중 한 개를 디지털가변저항으로 대신하고, 잡음전압의 크기를 비교하여 부하저항을 자동제어 하는 점에 그 차이가 있다. 부하저항으로 디지털가변저항을 사용하면, 2개의 포토다이오드에 입사하는 잡음광의 세기가 달라도 2개의 잡음검출전압을 항상 동일한 크기로 만들어 소거하므로 고정부하저항을 사용한 구조에 비하여 잡음소거 효과가 향상된다.

II. 디지털 가변저항을 이용한 잡음광의 소거

디지털 가변저항을 사용한 차동검출기(Differential detector)의 구조는 그림 1과 같이 응답도가 동일한 포토다이오드 2개와 각각 1개의 편광기, 차동 증폭기, 마이크로컨트롤러, 디지털가변저항으로 구

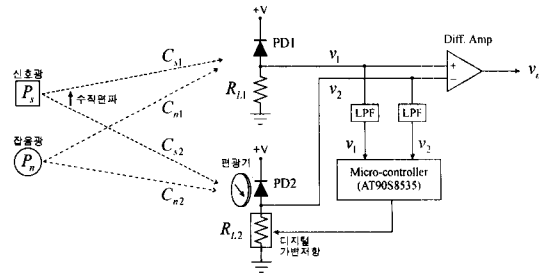


그림 1. 디지털 가변저항을 이용한 차동검출기
Fig. 1. A differential detector with a digital potentiometer.

성되어 있다.

그림 1에서 C_{s1} 과 C_{n2} 는 각각 신호광으로부터 포토다이오드 PD1과 PD2로의 광결합계수, C_{m1} 과 C_{n1} 는 각각 잡음광으로부터 PD1과 PD2로의 광결합계수이다. 신호광의 편파가 일정하고 햇빛이나 실내의 조명등과 같이 특정편파가 없는 잡음광이 존재하는 경우에 PD2의 앞단에 신호광의 편파와 수직인 방향으로 편광기를 설치하면 Malus법칙^[7]에 따라 PD2에 입사하는 신호광은 차단되어 $C_{n2}=0$ 이 된다. 이 때 포토다이오드 PD1과 PD2의 검출전압 v_1 과 v_2 , 그리고 차동증폭기의 출력전압 v_{out} 은 각각 다음과 같이 쓸 수 있다.

$$v_1 = (C_{s1}P_s + C_{m1}P_n)\rho R_{L1} \quad (1a)$$

$$v_2 = C_{n2}P_n\rho R_{L2} \quad (1b)$$

$$v_{out} = (v_1 - v_2) \cdot G \quad (1c)$$

$$= (C_{s1}R_{L1}P_s + (C_{m1}R_{L1} - C_{n2}R_{L2})P_n) \cdot \rho \cdot G$$

여기에서 P_s 와 P_n 은 각각 신호광과 잡음광의 파워이며, ρ 는 포토다이오드의 응답도, R_{L1} 과 R_{L2} 는 각각 PD1과 PD2의 부하저항, G 는 차동증폭기의 전압증폭율이다.

일반적으로 잡음광원과 광검출기 사이의 거리가 보통 수 m 이상이고, PD1과 PD2 사이의 거리가 약 1 cm 이내로 매우 근접한 경우, PD1과 PD2에서의 잡음광의 결합계수는 거의 유사하여 $C_{m1} \approx C_{n2}$ 이다. 이 경우에는 간단히 $R_{L1} = R_{L2}$ 가 되도록 동일한 부하저항을 사용하여 식 (1c)에서 잡음광 P_n 을 포함한 항이 소거되는 실험결과는 참고문헌 [5]에

이미 소개하였다.

그러나 잡음광원을 잠시 가리고 지나가는 그림자의 이동 등에 의하여 2개의 포토다이오드에서 순간적으로 잡음광의 세기가 변화하는 특별한 경우가 있다. 본 논문에서는 잡음광의 결합계수가 PD1과 PD2에서 유사하지 않는 경우, 즉 $C_{n1} \neq C_{n2}$ 인 경우에는 $C_{n1}R_{L1} = C_{n2}R_{L2}$ 의 관계를 유지할 수 있도록 PD2의 부하저항 R_{L2} 를 변화시켜서 잡음광을 소거할 수 있음을 실험적으로 보인다.

부하저항 R_{L2} 의 크기를 제어하기 위하여 v_1 과 v_2 를 저주파필터(LPF)를 통한 후 AD변환하여 마이크로컨트롤러에 입력한다. v_1 과 v_2 가 LPF를 통과한 후의 전압을 각각 $\overline{v_1}$, $\overline{v_2}$ 라고 하면, LPF의 차단주파수가 신호광 전송속도보다 훨씬 낮게 설정될 경우, $\overline{v_1}$ 에는 신호성분이 소거되어 식 (1a)에서의 $C_{s1}P_s\rho R_{L1}$ 항은 차단된다. 따라서 $\overline{v_1}/\overline{v_2}$ 의 비는 PD1과 PD2에서의 잡음성분의 비, 즉 $\overline{v_1}/\overline{v_2} = (C_{n1}R_{L1})/(C_{n2}R_{L2})$ 가 된다. 마이크로컨트롤러에서 $\overline{v_1}/\overline{v_2} = 1$ 이 되도록 R_{L2} 를 제어하면 결국 $C_{n1}R_{L1} = C_{n2}R_{L2}$ 의 관계가 유지되고, 식 (1c)의 차동증폭기의 출력 v_{out} 은

$$v_{out} = C_{s1} \cdot R_{L1} \cdot P_s \cdot \rho \cdot G \quad (2)$$

이 되어 잡음성분 P_n 이 소거되고 신호성분 P_s 만 검출된다.

III. 실험

편광기가 부착된 차동검출기에서 디지털 가변저항을 이용한 잡음광의 소거동작을 확인하기 위한

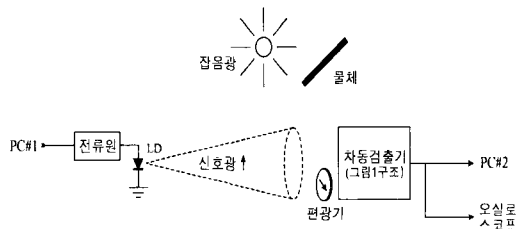


그림 2. 실험구성도
Fig. 2. Experimental setup.

실험구성도는 그림 2와 같다.

2대의 PC간에 데이터 전송을 위한 무선광 연결을 구성하였다. 송신측에서는 PC1의 직렬단자로부터 전송되는 신호를 사용하여 레이저다이오드를 강도변조하고, 수신측에서는 제2절에서 소개한 그림 1의 차동검출기를 사용하여 신호광을 수신하여 PC2의 직렬단자로 연결하였다. 데이터의 전송속도는 2.4 kbps로 하였다. 광원인 레이저다이오드로부터 약 1 m의 거리에 차동검출기를 구성하는 포토다이오드를 설치하였다. 잡음광 소거능력을 확인하기 위하여 포토다이오드 앞 약 30 cm 지점에 100 W 백열등을 설치하여 잡음광원으로 사용하였다.

광원으로 사용한 레이저다이오드(LD)는 주입전류 80 mA에서 약 30 mW의 광출력을 가지며, 중심파장이 800 nm인 GaAs 레이저다이오드이다. 레이저다이오드로부터 발생하는 신호광은 단일 편파를 가지며 지면과 수직한 편파가 되도록 레이저다이오드를 설치하였다.

차동검출기를 구성하는 2개의 포토다이오드는 전류응답도가 0.4 A/W인 Si-PIN이며, PD1의 부하저항으로는 30 k Ω 의 고정저항을 사용하고, PD2의 부하저항으로는 디지털가변저항을 사용하였다. PD2앞에는 편광기를 설치하고 신호광의 편파와 직교하도록 통과축의 방향을 지면과 수평이 되도록 설치하였다. 따라서 PD2에는 잡음광만 입사하고 신호광은 차단된다. PD2에 사용한 디지털가변저항은 Analog Devices사의 AD5220-B100이며, 최대저항(R_{max}) 100 k Ω 을 128단계로 나누어 한 개의 클럭펄스당 약 780 Ω 씩 증가하거나 감소시킬 수 있다. 디지털가변저항은 칩선택신호(CS)와 클럭신호(CLK), 그리고 증가/감소를 지정하는 (U/D)신호를 입력신호로 하고, 출력부는 100 k Ω 의 저항값을 가지는 양단 사이에 와이퍼(Wiper)단자가 있어 입력부의 U/D 신호와 클럭신호에 따라 이 와이퍼단자와 양단자 사이의 저항을 전기적으로 증가 혹은 감소시킬 수 있는 IC형 가변저항이다.

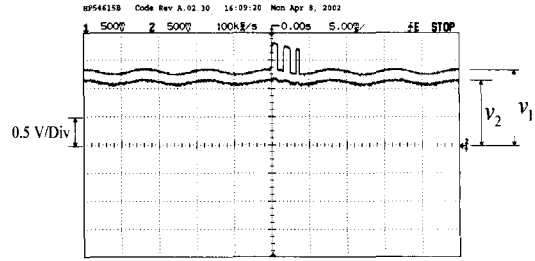
디지털 가변저항을 구동하기 위한 마이크로컨트롤러는 A/D변환기가 내장된 Atmel사의 AT90S8535를 사용하였으며, 컴파일러는 HP Technology사의 CodeVision을 사용하였다. PD1과 PD2의 검출전압 v_1 과 v_2 를 각각 약 100 Hz의 차단주파수를 가지는

저주파필터를 통과한 후에 마이크로컨트롤러의 AD 변환단자에 입력하였다. 저주파필터를 통과하는 과정에서 PD1의 검출전압 v_1 에 포함된 2.4 kbps의 신호성분은 차단되어 마이크로컨트롤러에 입력되는 2개의 신호의 비는 v_1 과 v_2 에 포함된 잡음전압의 비 $\overline{v_1}/\overline{v_2}$ 이다. .

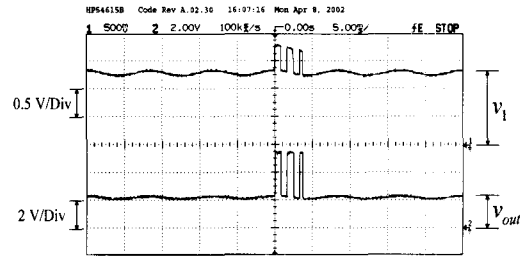
마이크로컨트롤러에서 $\overline{v_1}$ 을 기준으로 하여 $\overline{v_2}$ 값을 비교한 후, 클럭펄스와 \overline{UD} (Up-down)제어신호를 생성하여 PD2의 부하저항인 디지털가변저항기 AD5220-B100을 구동하였다. 클럭펄스의 발생주기는 10 μ s로 하였다. $\overline{v_2}$ 가 $\overline{v_1}$ 보다 클 때에는 $\overline{UD}=0$ 신호를 발생하여 PD2의 부하저항 R_{L2} 를 감소시키고, $\overline{v_2}$ 가 $\overline{v_1}$ 보다 작을 때에는 $\overline{UD}=1$ 신호를 발생하여 PD2의 부하저항 R_{L2} 를 증가시킨다. 이 과정은 $C_{n1}R_{L1} = C_{n2}R_{L2}$ 의 관계가 유지되도록 한다.

2개의 포토다이오드에 입력되는 잡음광의 세기가 같지 않은 상태에서도 잡음광이 소거되는가를 확인하기 위하여 백열등과 포토다이오드 사이에 물체를 두어 그림자를 발생시키고 그림자의 가장자리가 대략 PD1과 PD2 사이에 오도록 하여, v_1 과 v_2 에 검출되는 잡음전압의 크기가 다르게 만들어 실험하였다.

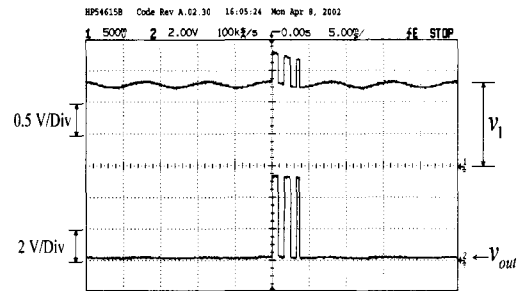
디지털오실로스코프를 사용하여 관측한 실험결과는 그림 3과 같다. 그림 3(a)에서 상부파형과 하부파형은 각각 PD1과 PD2의 검출전압 v_1 과 v_2 를 나타낸다. v_1 과 v_2 의 크기를 비교하기 위하여 오실로스코프의 CH1과 CH2의 접지레벨을 일치시켜 두 신호를 관측하였다. v_1 에는 문자 "F"자(부호 110011001)를 나타내는 전송부호의 진폭이 약 0.5 V로 수신되며, 이 신호가 백열등에 의하여 발생하는 피크값 약 1.3 V인 맥류형태의 잡음전압에 실려 있다. v_2 에는 신호광의 편파와 수직한 편광기에 의하여 신호성분이 차단되고 잡음성분만 검출되고 있으며, 이 잡음전압의 크기는 피크값 약 1.1 V인 맥류형태이다. 이 상태는 PD1과 PD2에서 수신되는 잡음광의 세기가 같지 않은 경우로서 v_1 에 포함된 잡음전압의 진폭이 v_2 에 비하여 약 0.2 V 더 큰 상태이다. 또한 v_1 과



(a) PD1, PD2의 검출전압 (v_1, v_2)
(a) Detected voltages of PD1 and PD2 (v_1, v_2)



(b) 고정부하저항을 사용한 경우
(b) With fixed load resistors



(c) 디지털가변저항을 사용한 경우
(c) With a digital potentiometer

그림 3. 실험결과

Fig. 3. Experimental results.

v_2 에서 잡음성분의 크기는 신호성분의 2배 이상으로 커서 잡음광의 영향이 매우 심한 상태이다.

그림 3(b)에서는 차동검출기의 부하저항으로 고정된 저항값을 사용한 경우 잡음소거효과를 살펴보기 위하여 PD1의 검출전압 v_1 과 차동검출기의 출력전압 v_{out} 을 동시에 관찰하였다.

여기에서 상부파형은 그림 3(a)의 v_1 과 같으며, 하부파형은 PD1과 PD2의 부하저항으로 $R_{L1} = R_{L2}$

= 30 kΩ인 고정저항을 사용한 경우에 관측한 출력 전압 v_{out} 이다. 실험에 사용한 차동증폭기의 전압이득은 $G=10$ 이다. 포토다이오드 PD1의 검출전압인 v_1 에서는 디지털부호 "F"자를 나타내는 신호전압의 크기는 0.5 V이고, 맥류형태의 잡음전압의 크기는 1.3 V이므로 신호대잡음전압비가 $S/N=0.5/1.3=0.38$ 이다. 이와 비교하여 차동검출기의 출력전압 v_{out} 에서는 신호전압의 크기는 약 3.5 V이고, 잡음전압의 크기는 약 2 V로 신호대잡음전압비가 $S/N=3.5/2=1.75$ 로 개선되었다. 그러나 v_1 과 v_2 에 포함된 잡음전압의 크기가 같지 않아 약 2 V의 잡음전압이 남아있다. 이와 같은 상태에서는 광검출기 후단에 판별회로를 두고 약 4 V를 임계전압으로 설정하여 신호를 검출하면 원 신호가 수신된다. 그러나 잡음광이 완전히 소거되지 않아 잡음성분이 조금만 증가하면 에러를 유발할 수 있는 상태이다.

그림 3(c)에서 상부파형은 그림 3(b)와 같이 PD1의 검출전압 v_1 을 나타내며, 하부파형은 PD2의 부하저항으로 디지털가변저항을 사용한 상태에서 관측한 출력전압 v_{out} 이다. v_{out} 에는 신호전압이 약 5 V이며, 잡음전압은 거의 소거되고 약 0.2 V이하로 관측되어 신호대 잡음전압비가 $S/N=5/0.2=25$ 로 개선되었다. 이것은 디지털 가변저항을 제어함으로써 고정부하저항을 사용한 차동검출기보다 신호대 잡음전압비가 $25/1.75=14$ 배(23 dB) 개선된 결과이며, 단일 포토다이오드 PD1만을 사용한 경우보다 약 $25/0.38=66$ 배(36 dB) 개선된 것이다.

이와 같이 차동검출기의 부하저항으로 디지털 가변저항을 사용하면, PD1과 PD2로 입사하는 잡음광의 세기가 동일하지 않아도 $C_{n1}R_{L1} = C_{n2}R_{L2}$ 의 관계를 자동적으로 유지함으로써 잡음광의 소거능력이 향상됨을 볼 수 있다.

IV. 결 론

본 논문에서는 차동검출기를 구성하는 2개의 포토다이오드에서 잡음광의 세기가 다를 경우에도 잡음광을 소거할 수 있도록 새로이 개선된 구조를 제안하고 실험하였다. 이 구조에서는 PD1의 부하저항으로는 고정저항을 사용하고, PD2의 부하저항으로

디지털 가변저항을 사용하여 2개의 포토다이오드의 잡음검출전압을 비교하여 디지털 가변저항을 제어함으로써 잡음광을 소거하였다. 실험에서는 고정부하저항을 사용한 차동검출기에 비하여 디지털 가변저항을 사용함으로써 약 23 dB의 신호대잡음비의 개선효과를 보였다.

기존의 차동검출기^[1]와 비교할 때 기존방식에서는 일반적으로 잡음광의 분포가 포토다이오드 주변에서 거의 균일하여, 즉 $C_{n1} \approx C_{n2}$ 임을 고려하여 간단히 $R_{L1} = R_{L2}$ 함으로써 잡음광을 소거하였지만, 본 논문의 방식에서는 PD1과 PD2에서 잡음광의 결합계수가 균일하지 않고 수시로 변화하는 환경, 즉 $C_{n1} \neq C_{n2}$ 인 경우에도 $C_{n1}R_{L1} = C_{n2}R_{L2}$ 의 관계를 유지하여 잡음소거능력이 향상되도록 구조를 개선하였다. 기존의 방식에 비하여 잡음소거 능력이 향상된 반면, 마이크로콘트롤러와 디지털 가변저항을 추가 사용하는 부담이 있다.

이와 같은 구조는 잡음광원의 위치가 차동검출기에 매우 근접하여 2개의 포토다이오드에서 잡음광의 분포가 다르거나, 차동검출기 근처에서 지나가는 사람이나 물체에 의한 그림자의 이동이 많은 곳에 설치하여 사용하면 잡음광의 영향을 소거하는 데에 매우 효과적이다.

참 고 문 헌

- [1] M. Street, P. N. Stavrinou, D. C. O'Brien and D. J. Edwards, "Indoor optical wireless systems-a review", *Optical and Quantum Electronics*, 29, pp. 349-378, 1997.
- [2] 이성호, 강희창, "실내무선광연결에서 차동증폭기를 이용한 혼신 및 잡음의 감소", 한국전자과학기술논문지, vol. 9, no. 5, pp. 660-667, 1998. 10.
- [3] 이성호, 강희창, "차동검출기를 이용한 무선광연결에서 신호대잡음비의 개선", 한국전자과학기술논문지, vol. 10, no. 1, pp. 54-62, 1999. 2.
- [4] 이성호, "무선광연결에서 근사적 평균잡음검출을 이용한 광잡음 감소", 한국전자과학기술논문지, vol. 11, no. 2, pp. 228-233, 2000. 2.
- [5] 이성호, "무선광연결에서 편광관을 이용한 광잡

음 감소”, 한국전자과학회논문지, vol. 11, no. 3, pp. 365-371, 2000. 4.

[6] 이성호, “무선광연결에서 신호광에 자동정렬하는 차동검출기”, 한국전자과학회논문지, vol. 11

no. 5, pp. 822-829, 2000. 8.

[7] Hecht, *Optics, 2th ed.*, Addison Wesley, pp. 278 1987.

이 성 호



1957년 8월 12일생

1980년 2월: 한국항공대학 전자공학과 (공학사)

1989년 2월: 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 (공학석사)

1993년 2월: 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 (공학박사)

1995년 3월~현재: 서울산업대학교 전자정보공학과 부교수

[주 관심분야] 광통신, 초고주파회로