

무선광시스템에서 광섬유 커플러를 이용한 잡음광의 영향 감소

Reducing the Effects of Optical Noise in an Optical Wireless System Using a Fiber Coupler

이 성 호

Seong-Ho Lee

요 약

본 논문에서는 광섬유 커플러를 이용하여 차동 검출기를 구성하고 무선광시스템에서 잡음광 소거에 활용하였다. 1×2 광섬유 커플러를 이용하여 수신광을 2개로 분리해서 수신하면 동일한 지점의 잡음광을 2개의 포토다이오드에서 동시에 검출하는 효과가 발생한다. 따라서 잡음광의 공간분포의 변화가 심하게 발생하는 환경에서도 2개의 포토다이오드의 위치 차이로 인한 출력 전압의 변동이 나타나지 않아 잡음 소거 효과가 높아진다. 광필터를 사용한 단일의 광검출기에 비하여 광섬유 커플러를 사용한 차동검출기에서 신호대 잡음비를 약 8 dB 개선하였다.

Abstract

In this paper, optical noise is reduced by a differential detector with an optical fiber coupler in an optical wireless system. An 1×2 optical fiber coupler divides the received optical signal by 2 equally, and connects them to the two photodiodes in a differential detector. The output voltage variation due to the abrupt change of optical noise distribution in space disappears because the two photodiodes effectively detect the optical signal at the same point. The signal to noise ratio in a differential detector with a fiber coupler was 8 dB higher than in a single photodiode with an optical filter.

Key words : Optical Fiber Coupler, Optical Noise, Optical Wireless System, Differential Detector

I. 서 론

무선광시스템은 광원과 광검출기 사이에 자유공간을 전송매체로 사용하여 신호광을 전송하는 무선통신 방식의 일종으로서 기존의 RF 무선통신 주파수와 상호간섭이 적고, 송수신부의 구성이 간단하며, 신호광 빔의 영역 밖에서는 도청을 방지하는 장점이 있어 근거리 무선 전송 방식으로 자주 이용되고 있다. 현재에 주로 활용되는 분야로서 실외에서는 주로 케이블을 신설하기 곤란한 근거리 고층건물간의 고속 무선 전송로 구축이나 긴급 복구 통신망의 설치, 실내에서는 컴퓨터와 주변기기간의 적외선

포트를 비롯하여 가시거리의 리모콘 장치, 그리고 오디오 및 비디오 시스템에서 음성 및 영상 신호의 근거리 무선전송에 많이 이용되고 있다.

무선광시스템에서는 자유공간을 전송매체로 사용하므로 수신부 근처에 존재하는 백열등이나 형광등과 같은 조명시설이 잡음 광원이 되며 이로 인한 간섭이 심하게 발생하는 경우가 있다. 특히 수신범위를 넓히기 위하여 광원의 방사각을 크게 할수록 수신부에서 단위면적당 신호전력이 약해지므로 이러한 간섭현상은 더 심해진다. 이러한 잡음광의 유입을 차폐하기 위하여 수신부에 광학적 필터를 사용하여 광검출기에 도달하는 잡음광의 세기를 줄이거

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

· 논문 번호 : 20050224-026

· 수정완료일자 : 2005년 4월 11일

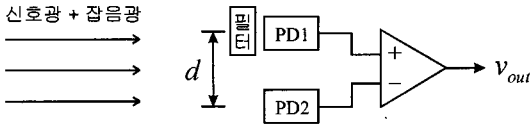


그림 1. 차동검출기의 기본구조
Fig. 1. Basic configuration of a differential detector.

나 전기적 필터를 사용하여 잡음신호를 줄이는 방법이 일반적으로 많이 이용되고 있다^[1]. 또한 잡음광의 스펙트럼이 넓게 분포하여 신호광 파장과 중첩되어 광학적 필터만으로 잡음광을 소거하기 어려운 경우나 잡음광의 간섭주파수가 신호광의 변조 주파수에 근접하여 전기적 필터로 잡음 소거가 용이하지 않는 경우에는 차동검출기(differential detector)를 사용하면 매우 효과적이다^{[2],[3]}.

차동검출기는 그림 1과 같이 동일한 특성을 가진 2개의 포토다이오드(PD)와 1개의 차동증폭기, 그리고 광필터로 구성된다.

광필터는 2개의 PD에서 신호광과 잡음광의 세기의 비율을 다르게 만들어 주기 위하여 사용하며, 특정한 파장을 잘 통과시키거나 반대로 차단하는 광필터, 또는 특정한 편파를 선택적으로 통과시키는 편광기 등을 사용한다. PD1과 PD2에서 검출되는 잡음 전압을 동일한 크기로 만들어 차동증폭기로 소거하면, 출력전압에는 신호성분만 출력된다. 차동검출기를 구성하기 위하여 2개의 PD를 평행하게 배열하는 경우 그림 1과 같이 PD1과 PD2 사이에는 유한한 거리(d)가 존재한다. 일반적으로 실내에서 조명시설의 위치는 2개의 PD사이의 거리(d)에 비하여 멀리 떨어져 있기 때문에, 잡음광의 강도는 PD1과 PD2의 위치에서 거의 균일한 경우가 대부분이며, 이러한 환경에서는 잡음광에 대한 두 포토다이오드의 응답도의 역수 배로 이득비를 주어 차동 증폭하면 잡음 전압은 소거된다.

그러나 잡음 광원의 위치가 PD에 근접하여 이동하거나 또는 잡음광을 가리고 지나가는 물체에 의한 그림자의 이동이 발생하는 경우에는 순간적으로 두 개의 PD에서 잡음광의 강도가 같지 않아 잡음광이 소거되지 않고 출력 전압의 변동이 발생하는 경우가 있다. 상용화된 포토다이오드를 사용하여 차동검출기를 구성하는 경우 PD 자체의 크기로 인하여 2개

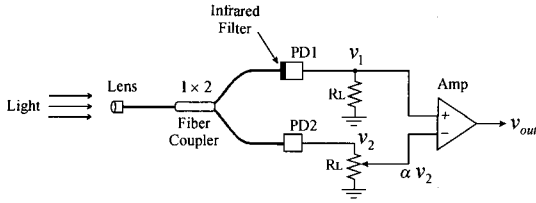
의 PD를 완전히 근접시켜도 PD 사이의 거리가 보통 수 cm가 되기 때문에 이와 같이 PD 앞에서의 잡음광의 강도가 공간적으로 심하게 변하는 환경에서는 출력 전압의 변동이 발생하는 경우가 많다. 이러한 현상은 2개의 PD 사이의 거리(d)가 클수록 심해지며, 2개의 PD 위치가 완전히 동일하다면 이러한 현상은 없어진다.

본 논문에서는 상용화된 포토다이오드를 사용하여 차동검출기를 구성할 경우에 2개의 PD의 위치가 완전히 동일한 효과를 발생하도록 1×2 광섬유 커플러를 사용한 차동검출기의 구조를 새로이 소개한다. 본 논문에서는 플라스틱 광섬유 커플러를 사용하였으며, 광섬유의 코어 직경이 약 1 mm 정도로 커서 통신용 포토다이오드의 active area 정도의 크기에 해당하므로 공간 빔을 커플링하기가 쉽고, 유리 광섬유와 달리 잘 부러지지 않으므로 취급하기도 매우 편리하다. 이 구조에서는 하나의 지점에서 검출한 광신호를 1×2 커플러를 통하여 1:1로 분기한 후 2개의 PD에 나누어 전달하므로 두 PD의 공간적 위치가 항상 동일한 효과를 가지며, 그 결과 PD의 위치 차이로 인한 출력전압의 변동이 사라지므로 잡음 소거 기능이 우수한 차동검출기를 제작하는 데에 매우 효과적인 방법이다.

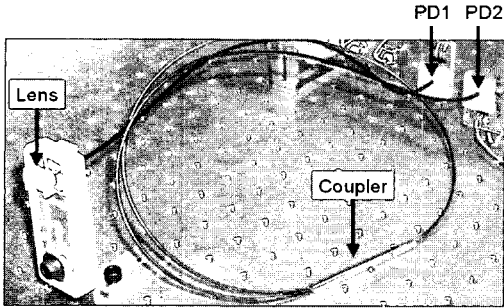
II. 광섬유 커플러를 이용한 차동검출기의 구조

광섬유 커플러를 이용한 차동검출기의 구조와 제작된 형태는 그림 2와 같다.

그림 2(a)에서 보는 바와 같이 수신부에 도달하는 신호광을 렌즈로 집속하여 플라스틱 광섬유의 코어로 빛을 전달한 후 1×2 커플러를 통하여 빛을 1:1로 분기한다. 분기된 빛은 PD1과 PD2로 동일하게 전달되며 PD1 앞에는 광필터가 부착되어 있다. 광필터는 PD1에 수신되는 잡음광의 세기를 PD2에 수신되는 잡음광의 세기와 다르게 만들어 주며, 그 결과 PD1과 PD2에서 수신되는 신호광과 잡음광의 비율이 달라진다. 이와 같은 구조에서 PD1의 검출전압(v_1)과 PD2의 검출전압(v_2), 그리고 차동증폭기의 출력전압(v_{out})을 수식적으로 표현하면 식 (1)과 같이 쓸 수 있다.



(a) 구조도
(a) Configuration



(b) 제작된 형태
(b) Fabricated form

그림 2. 광섬유 커플러를 이용한 차동검출기
Fig. 2. A differential detector using a fiber coupler.

$$v_1 = \frac{1}{2} (P_s \cdot T_s \cdot \rho_s + P_n \cdot T_n \cdot \rho_n) \cdot R_L \quad (1a)$$

$$v_2 = \frac{1}{2} (P_s \cdot \rho_s + P_n \cdot \rho_n) \cdot R_L \quad (1b)$$

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

식 (1a)와 (1b)에서 P_s 와 P_n 은 각각 광섬유 커플러의 입력단에서 광섬유 코어에 진입한 신호광과 잡음광의 파워이며, T_s 와 T_n 은 PD1 앞에 부착된 광 필터에서 신호광과 잡음광의 통과계수이다. ρ_s 와 ρ_n 은 각각 신호광과 잡음광에 대한 PD의 응답도이며, R_L 은 PD의 부하저항이다. 광섬유의 길이가 약 1 m 이내로 짧고 광섬유의 직경에 비하여 PD의 active area가 큰 경우로 가정하여 광섬유의 손실계수 및 광섬유의 끝단과 PD 사이의 광결합 손실은 무시하였다. 식 (1c)에서 α 는 PD2의 부하저항에서 탭 단자를 조정하여 발생하는 전압 분배율이며, G 는 차동증폭기의 전압이득이다.

그림 2에서 보는 바와 같이 두 PD에서 검출된 잡음 전압 성분을 같은 크기로 만들어 소거하기 위하여 v_1 을 차동증폭기의 (+)입력단에 가하고, v_2 는 PD2의 부하저항의 탭 단자를 조정하여 αv_2 만 차동

증폭기의 (-)입력단에 가한다. 이 상태에서 식 (1c)의 출력전압을 다시 쓰면

$$v_{out} = (v_1 - \alpha v_2) \cdot G = v_s + v_n \quad (2a)$$

으로 표현할 수 있다. 여기에서 v_s 와 v_n 은 각각 출력전압에 포함된 신호성분과 잡음성분의 전압을 나타내며

$$v_s = \frac{1}{2} P_s \cdot \rho_s \cdot (T_s - \alpha) \cdot R_L \cdot G \quad (2b)$$

$$v_n = \frac{1}{2} P_n \cdot \rho_n \cdot (T_n - \alpha) \cdot R_L \cdot G \quad (2c)$$

이다. 식 (2c)에서 PD2의 전압분배율을 $\alpha = T_n$ 으로 만들어 잡음전압성분 $v_n = 0$ 로 만들어 주면, 차동증폭기의 출력전압에는 신호성분 v_s 만 남아 있게 된다. 이때 식 (2a)의 출력전압은

$$v_{out} = v_s = \frac{1}{2} P_s \cdot \rho_s \cdot (T_s - T_n) \cdot R_L \cdot G \quad (3)$$

이 되어 신호 광파워 P_s 에 비례한 신호전압이 검출되고, 잡음 광파워 P_n 에 비례한 잡음전압은 사라지게 된다. 차동검출기를 사용하여 잡음광을 효과적으로 소거하기 위해서는 위의 식 (2c)에서 $v_n = 0$ 의 상태가 잘 유지되어야 한다. Splitting ratio가 1:1 인 커플러를 사용하는 경우에는 PD1과 PD2에 도달하는 잡음광이 항상 같아지므로, 식 (2c)에서와 같이 $\alpha = T_n$ 의 조건만 만들어 주면 $v_n = 0$ 의 상태를 유지하게 된다.

반면에 기존의 방식대로 커플러를 사용하지 않고 공간에 평행하게 설치된 두 개의 포토다이오드를 사용할 경우에는, PD1과 PD2에 수신되는 잡음광을 각각 P_{1n} 과 P_{2n} 이라고 할 때, 두 포토다이오드의 위치가 근접하여도 실제로 완전히 동일한 위치는 아니므로 잡음전압을 나타내는 식 (2c) 대신에 잡음전압이 $v_n \propto (P_{1n} \cdot T_n - P_{2n} \cdot \alpha)$ 의 형태로 표현된다. 잡음광 분포가 거의 균일한 일반적인 환경에서는 PD1과 PD2의 위치에서 $P_{1n} \approx P_{2n}$ 의 관계가 유지되므로 이 경우에도 $\alpha = T_n$ 의 상태를 유지하면 잡음광이 소거된 상태를 이룬다. 그러나 실내에서 잡음 광원이 광검출기에 근접하여 이동하거나 광검출기 가까이에서 사람이나 물체가 잡음광을 가리고 지나가면서 그림자가 이동하는 경우에는 PD1과 PD2에서 잡음

광의 강도가 동일하지 않는 상태가 존재할 수 있다. 이러한 순간에는 $P_{1n} \neq P_{2n}$ 의 관계가 되어 $\alpha = T_n$ 로 유지하여도 $v_n \neq 0$ 이 되어 잡음광이 소거되지 않으므로 차동검출기의 출력전압에서 변동이 발생하고 전송의 에러를 유발할 수 있다. 이와 같은 잡음광의 공간분포의 변화에 의한 잡음전압의 크기는 PD1과 PD2 사이의 거리가 증가할수록 커지며, 커플러를 사용하는 경우에는 PD1과 PD2 사이의 거리가 없는 것과 같은 효과를 가지므로 이러한 전압변동이 나타나지 않는다. 이러한 사실을 확인하기 위하여 PD1과 PD2 사이의 거리(d)의 변화에 따라 잡음전압의 변동을 측정하였다.

그림 3은 잡음광이 광검출기에 근접하여 이동하는 경우에 측정된 잡음전압의 변화이고, 그림 4는 그림자가 광검출기를 횡단하여 이동할 때 발생하는 잡음 전압의 변화를 나타낸다. 먼저 근접된 잡음광이 이동하는 경우에 발생하는 잡음 전압을 관측하기 위하여 광검출기 앞의 약 1 m 거리에 광 집속 렌즈가 부착된 소형 백열등을 회전모터 위에 설치하여 잡음광으로 사용하였으며, 수평면상에서 모터를 18 degree/sec 속도로 회전시키면서 빔의 중심부가 광검출기 배열을 가로질러 지나가도록 하였다. 이 상태에서 PD2의 전압분배율을 $\alpha = T_n$ 으로 고정하고 잡음전압의 변화를 A/D 변환기와 마이크로프로세서를 사용하여 기록하였다. 측정결과는 그림 3과 같다.

그림 3에서 곡선(a)~(e)는 각각 PD 사이의 거리 $d=4, 3, 2, 1, 0$ cm일 때의 잡음 전압의 변화를 나타낸다. 여기에서 곡선(e) $d=0$ 인 경우는 광섬유 커플러를 사용한 경우를 나타낸다. 그림 3에서 보면 두 PD 사이의 거리(d)가 줄어들수록 잡음전압의 크기가 감소함을 볼 수 있다. 이와 같은 현상은 두 PD 사이의 거리가 줄어들면 PD1과 PD2에서 검출되는 전압이 비슷한 크기로 근접하기 때문이다. 또한 곡선(e)에서 보는 바와 같이 광섬유 커플러를 사용하면 완전히 두 포토다이오드의 위치가 동일한 효과를 나타내며 그 결과 잡음광의 분포 변화에 따른 잡음 전압의 피크 발생이 사라짐을 볼 수 있다. 이와 같은 현상은 그림 4와 같이 그림자의 이동에 의하여 발생하는 잡음 전압의 경우에도 유사하다.

그림 4는 약 5 cm×10 cm의 면적을 가진 물체가

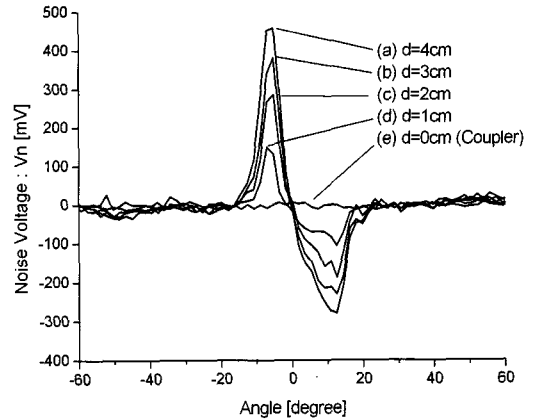


그림 3. 잡음광의 이동할 때 발생하는 잡음 전압
Fig. 3. The noise voltage when noise light is moving.

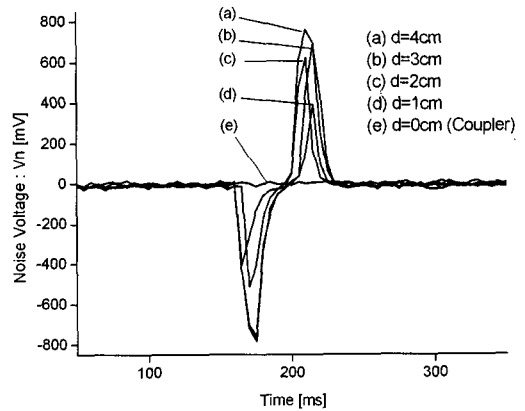


그림 4. 그림자가 이동할 때 발생하는 잡음 전압
Fig. 4. The noise voltage when shadow is moving.

백열등을 가리고 지나가는 경우에 측정한 잡음전압을 나타낸다. 이 경우에도 PD 사이의 거리(d)가 줄어들수록 잡음 전압이 감소하며, 곡선(e)에서 보는 바와 같이 광섬유 커플러를 사용하는 경우에는 그림자의 이동에 의한 잡음 전압의 피크 발생이 사라짐을 볼 수 있다.

Ⅲ. 무선광 전송구간에서 잡음광 소거 실험

무선광 연결 시스템에서 광섬유 커플러를 이용하여 잡음광의 영향을 감소하기 위한 실험구성은 그림 5와 같다.

송신부에서는 랜덤 비트 발생기(random bit gene-

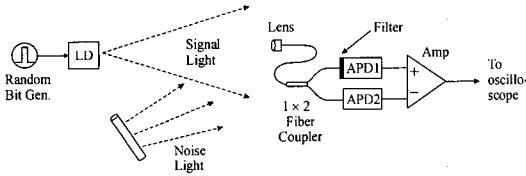


그림 5. 실험구성도
Fig. 5. Experimental setup.

를 사용하여 광원을 강도 변조(intensity modulation)함으로써 신호광을 생성하였다. 광원으로는 중심파장이 850 nm이고, 광출력이 약 10 mW인 GaAs 레이저 다이오드를 사용하였다. 랜덤 비트 발생기는 programmable logic device를 이용하여 sequence length가 $2^{16}=65536$ 이고 500 kbps NRZ의 디지털 부호를 생성하도록 제작하였다.

레이저 다이오드로부터 약 2 m의 거리에 플라스틱 광섬유 커플러를 이용한 차동검출기를 설치하여 수신부를 구성하였다. 사용한 플라스틱 광섬유 커플러는 Industrial fiber optics사의 IF-562이며, 1:1의 splitting ratio를 가지는 1×2 커플러이고, 광섬유의 코어 직경은 1 mm이다. 수광면적을 늘려주기 위하여 커플러의 광섬유 입력단에 볼록렌즈를 부착하여 mounting 하였다. 차동검출기를 구성하는 2개의 포토 다이오드로는 Hamamatsu사의 Silicon APD S-2384를 사용하였으며, active area 직경이 3 mm이고, 전류 증배율이 60인 애벌란치 포토 다이오드(APD)이다.

APD1 앞에 부착한 광필터는 Kodak사의 Gelatin filter No. 87이며, 가시광선을 차단하고 약 800 nm 이상의 적외선을 통과시킨다. 이 적외선 광필터는 850 nm의 신호광에서 투과계수가 약 0.75이고, 잡음광인 형광등에 대해서는 약 0.35의 투과계수를 가진다. 본 실험에서 사용한 잡음 광원은 현재 실내에서 일반적인 조명시설로 많이 사용되는 전자안정기식 형광등이다. 전자안정기식 형광등은 발광 효율면에서는 기존의 형광등에 비하여 더 우수하다고 알려져 있지만, 무선광 통신 시스템에 대해서는 비교적 간섭을 심하게 일으키는 잡음 광원에 해당한다. 전자안정기식 형광등의 잡음 스펙트럼은 가시광선과 적외선의 범위에 해당하는 약 400~1,100 nm의 넓은 파장영역에서 광파워가 분포하고, 주로 간섭을 많이 일으키는 RF 주파범위는 DC~300 kHz 부근이며 실내 무

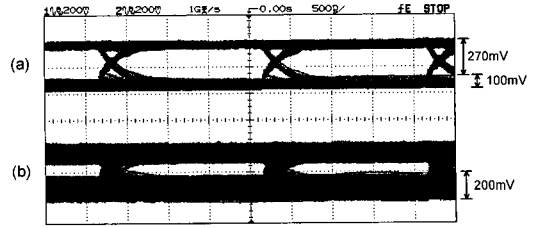


그림 6. 단일의 APD를 사용할 때 관측된 eye-diagrams.
(a) 광필터를 사용한 경우
(b) 광필터를 사용하지 않은 경우

Fig. 6. Eye-diagrams observed in a single APD.
(a) With an optical filter
(b) Without an optical filter

선광 통신에서 자주 문제가 되고 있는 잡음광에 속한다^{[1],[2]}.

그림 6과 그림 7은 전자안정기식 형광등이 광검출기 앞의 약 1 m 정도로 근접한 상태에서 신호광을 수신할 때 관측한 eye-diagram이다. 그림 6에서 보이는 2개의 파형은 모두 단일의 APD를 사용한 경우이며, 광필터를 사용할 때 (a)와 사용하지 않는 경우 (b)의 수신파형을 나타낸다.

광필터를 사용한 파형 그림 6(a)에서는 디지털부호에 해당하는 신호성분의 진폭이 약 270 mV이고, 잡음성분이 약 100 mV로서 이 상태에서 신호 대 잡음비는 $SNR=20 \log(270/100) \approx 8.6$ (dB)가 된다. 광필터를 사용하지 않은 파형 그림 6(b)에서는 신호전압이 약 270 mV일 때, 잡음전압의 진폭은 약 200 mV이며, 신호 대 잡음비가 $SNR=20 \log(270/200) \approx 2.6$ (dB)로서 잡음광의 간섭이 매우 심한 상태를 나타낸다. 파형 그림 6(a)와 그림 6(b)를 비교하면 광필터에 의하여 약 6 dB 정도 신호 대 잡음비의 개선 효과가 있음을 알 수 있다.

그림 7은 광필터가 부착된 단일의 APD를 사용할 때와 광섬유 커플러를 이용한 차동검출기에서의 출력전압을 나타낸다.

파형 그림 7(a)는 앞의 파형 그림 6(a)와 같이 광필터를 부착한 단일의 APD를 사용한 경우이며 증폭기에 의하여 전압이 약 5배 증폭된 상태를 나타낸다. 파형 그림 7(b)는 광섬유 커플러를 이용한 차동검출기를 사용한 경우이며 신호전압의 진폭이 약 1,200 mV일 때, 잡음전압의 진폭이 약 170 mV로서 신호

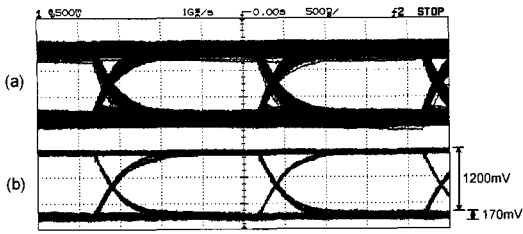


그림 7. 관측된 eye-diagrams

- (a) 광필터를 부착한 단일의 APD를 사용한 경우
- (b) 광섬유커플러를 이용한 차동검출기를 사용한 경우

Fig. 7. Eye-diagrams observed.

- (a) In a single APD with an optical filter
- (b) In a differential detector with a fiber coupler

대 잡음비는 $SNR_{diff} = 20 \log(1200/170) \approx 17$ (dB)가 된다.

따라서 광섬유 커플러를 이용한 차동검출기를 사용하면 광필터가 부착된 단일의 APD의 경우에 비하여 신호 대 잡음비가 $\Delta SNR = SNR_{diff} - SNR_f \approx 8.4$ (dB) 개선되고 있음을 보이고 있다. 이와 같이 잡음이 개선된 상태는 잡음광이 광검출기에 근접하여 이동하거나, 그림자가 광검출기를 지나가는 경우에도 동일한 상태를 유지하였다.

IV. 결 론

본 논문에서는 플라스틱 광섬유 커플러를 사용하여 차동검출기를 구성하고 잡음광의 영향을 감소하는 데에 활용하였다. 광섬유 커플러를 사용하여 한 지점에서 검출된 빛을 1:1로 분기하여 차동검출기를 구성하면 2개의 포토 다이오드에서 동일한 신호를 수신하는 효과가 있다. 따라서 잡음광의 공간분포가 심하게 변할 때 평행하게 설치된 2개의 포토다이오드의 위치 차이로 인하여 기존의 차동검출기에서 발생할 수 있는 잡음 전압의 발생을 막아준다.

근접된 잡음광의 이동과 그림자의 이동이 발생할 때 차동검출기를 구성하는 두 포토 다이오드 사이의 거리가 멀수록 잡음전압의 피크가 증가하고, 광섬유

커플러를 사용하면 이러한 피크 현상이 사라짐을 실험적으로 확인하였다. 또한 광섬유 커플러를 이용한 차동검출기를 무선광 수신부에 사용하여 광필터를 사용한 단일의 APD의 경우에 비하여 약 8 dB 정도 신호 대 잡음비의 개선 효과를 얻었다.

이와 같이 광섬유 커플러를 사용하여 차동검출기를 구성하면 두 개의 포토 다이오드에서 잡음 전압이 항상 소거된 상태를 이루게 되므로, 차동 이득비 제어를 위한 별도의 고속 피드백 회로가 필요하지 않아 수신부의 회로구성이 매우 간단해지는 장점이 있다. 또한 플라스틱 광섬유 커플러는 비교적 저가의 광학적 소자이며, 광섬유의 코어 직경이 약 1 mm 정도로 커서 공간 빔을 수신하기가 용이하므로 잡음광 소거를 위한 무선광 수신부 개발에 이용가치가 많다.

참 고 문 헌

- [1] Joseph M. Kahn, John R. Barry, "Wireless infrared communications", *Proc. IEEE*, vol. 85, no. 2, pp. 265-298, 1997.
- [2] M. Street, P. N. Stavrinou, D. C. O'Brien, and D. J. Edwards, "Indoor optical wireless systems-a review", *Optical and Quantum Electronics*, vol. 29, pp. 349-378, 1997.
- [3] 이성호, "무선광연결에서 편광판을 이용한 광잡음 감소", *한국전자과학회논문지*, 11(3), pp. 365-371, 2000년 4월.
- [4] 이성호, "무선광 차동검출기에서 디지털가변저항을 이용한 잡음광의 감소", *한국전자과학회논문지*, 13(6), pp. 599-604, 2002년 7월.
- [5] 이성호, "빔분할기를 이용한 무선광 차동검출기", *한국전자과학회논문지*, 15(1), pp. 96-102, 2004년 1월.
- [6] Seong-Ho Lee, "Reducing the effects of ambient noise light in an indoor optical wireless system using polarizers", *Microwave and Optical Technology Letters*, vol. 40, no. 3, pp. 228-231, Feb. 2004.

이 성 호



1980년 2월: 한국항공대학교 전자
공학과 (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