

무선광연결에서 근사적 평균잡음검출을 이용한 광잡음 감소

Optical Noise Reduction Using Approximate Average Noise Detection in Wireless Optical Interconnection

이 성 호

Seong-Ho Lee

요 약

본 논문에서는 무선광연결에서 근사적 평균잡음검출을 이용한 차동검출방식에 대하여 소개한다. 이 방식은 기존의 잡음광의 영향을 소거하는 차동검출기의 기능을 보완한다. 근사적 평균잡음전압을 이용하여 차동검출하면, 물체나 사람의 이동에 의하여 나타날 수 있는 잡음광 결합비의 순간적 변화에 의한 출력전압의 변동을 줄일 수 있다. 이것은 잡음광의 공간적 분포가 수시로 변동하는 환경에서 무선광연결을 구성하는 경우 잡음광을 소거하는 데에 매우 효과적이다.

Abstract

In this paper, we introduce a differential detection method using approximate average noise detection, which improves the noise reduction efficiency in a wireless optical interconnection. Approximate average noise detection reduces the output voltage fluctuation that may result from the instantaneous change of the coupling coefficients with the movement of some objects or human beings. This method is very useful for noise reduction in an environment with optical noise whose spatial distribution varies instantaneously.

I. 서 론

무선광연결기술은 케이블의 초기설치와 유지보수 비용을 절감하고, 기존의 무선주파수와 상호간섭이 적으며, 구현이 간편하여 실내의 짧은 광전송구간과 빌딩간의 광전송에 그 이용이 점점 증가하고 있다.

그러나 무선광연결은 주변의 조명등이나, 햇빛과 같은 잡음광이 신호광에 비하여 그 세기가 강할 때에는 수신에 영향을 주는 경우가 있다. 잡음광의 영향을 줄이기 위하여서는 광학적필터나 전기적 필터를 사용하여 잡음성분을 제거하고 신호성분을 검출하거나, 또는 부반송파를 사용하여 변조하는 방법이

많이 사용되고 있다^[1].

최근에 본 저자는 차동검출방식을 이용하여 주변 잡음광의 영향을 소거할 수 있는 방식을 제안하고 실험하였다^{[2]-[3]}. 차동검출방식은 동일한 특성을 가진 2개의 포토다이오드와 1개의 차동증폭기로 구성하며, 그 2개의 포토다이오드에서의 잡음광의 결합비와 차동증폭비의 곱이 1이 되도록 하면 잡음광의 영향을 소거할 수 있음을 참고문헌 2와 3에서 이미 소개하였다. 그림 1은 차동검출기를 구성하는 2개의 포토다이오드(PD)의 위치에서 신호광과 잡음광 분포의 예를 나타낸 것이다.

그림 1에서 신호광이 가우시안 분포를 갖는 경우,

「이 논문은 정보통신부 대학기초연구지원사업에 의하여 연구되었음」

서울산업대학교 전자공학과(Electronics Department, Seoul National University of Technology)

· 논문 번호 : 990826-067

· 수정완료일자 : 1999년 10월 20일

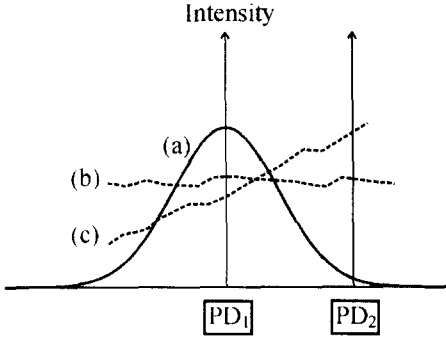


그림 1. 신호광과 잡음광의 강도분포. (a) 신호광, (b) 잡음광(정상시), (c) 잡음광(물체이동시)

Fig. 1. Intensity distributions of signal light and noise light. (a) Signal light, (b) Noise light, (usual), (c) Noise light (with moving objects).

실선 (a)는 신호광의 Transverse Intensity 분포이며, 점선 (b)와 (c)는 잡음광의 분포의 예를 나타낸다. 대부분의 경우에 주변의 조명시설이나 햇빛과 같은 잡음광은 포토다이오드(PD)로부터 수 m 이상 멀리 떨어져 있어서 차동검출기를 구성하는 2개의 PD간의 거리 (수 cm)에서는 잡음광 세기의 분포가 거의 균일하며, 점선 (b)에 해당한다. 이와 같은 잡음 환경에서 PD₁과 PD₂의 잡음광 결합계수를 각각 C_{n1}, C_{n2}이라고 할 때, 잡음광 결합비는 C_{n1}/C_{n2} ≈ 1 인 경우에 해당하므로, 각 PD에서 검출된 전압을 간단히 1 : 1로 차동증폭하면 잡음광의 영향이 사라진다.

그러나 차동검출기에 비교적 근접한 위치에서 사람이나 혹은 어떤 물체가 지나갈 때 그림자가 이동하면서 순간적으로 두 개의 포토다이오드에서의 잡음광 결합비가 크게 변화하는 경우가 있다. 이 경우는 그림 1의 점선 (c)에 해당하며, 잡음광의 분포에 경사가 생긴다. 이 때에는 차동검출기의 PD₁과 PD₂에서의 광결합비가 거의 같다고 볼 수 없기 때문에 단순히 차동이득비를 1 : 1로 해서는 잡음이 소거되지 않는다. 이와같은 상황에서도 차동검출기의 잡음소거 효과가 좋게 하기 위해서는 그 구조가 개선될 필요가 있다. 본 논문에서는 이와같이 수신부 근처에서 물체나 사람의 이동으로 인한 차동검출기의 출력전압의 변동을 개선할 수 있는 평균잡음검출방식의 구조를 제안하고 실험한다.

II. 평균잡음 검출방식의 원리

평균잡음 검출방식을 구현하기 위한 구성도는 그림 2와 같다.

그림 2에서 PD_i(i=0,1,2,3,4)는 포토다이오드를 나타낸다. 각 PD의 위치를 직각좌표계를 사용하여 나타내면 그림 3과 같다.

그림 3에서 직각좌표계상에 0, 1, 2, 3, 4는 각 PD가 놓인 위치를 나타내며, PD간의 거리는 모두 d로 동일하다. 각 PD의 응답도(ρ)와 부하저항(R_L)이 동일할 경우, PD_i의 부하저항의 양단에 나타나는 전압 v_i는

$$v_i = (C_{si}P_s + C_{ni}P_n) \cdot \rho \cdot R_L \quad (i = 0, 1, 2, 3, 4) \quad (1)$$

이다. 여기에서 P_s와 P_n은 각각 신호광과 잡음광

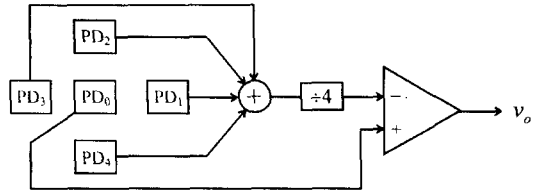


그림 2. 평균잡음 검출방식을 나타내는 시스템 구성도

Fig. 2. The system configuration of average noise detection.

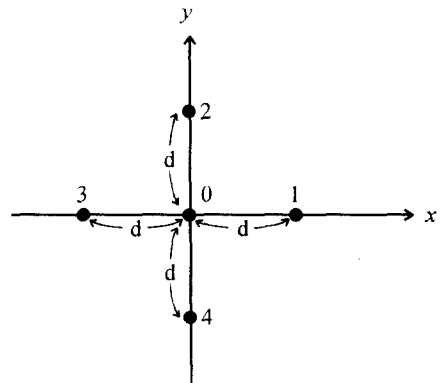


그림 3. 포토다이오드의 배열

Fig. 3. Photodiode array.

의 파워이고, C_{si} 는 신호광으로부터 PD_i로의 광결합계수, C_{ni} 는 잡음광으로부터 PD_i로의 광결합계수를 나타낸다. 여기에서 $v_{si} = C_{si} P_s \rho R_L$ 를 PD_i에서의 신호성분전압, $v_{ni} = C_{ni} P_n \rho R_L$ 를 잡음성분전압이라고 정하면 $v_i = v_{si} + v_{ni}$ 로 나타낼 수 있다.

대개 조명등이나 햇빛과 같은 잡음광원은 수신부로부터 보통 수 m 이상 멀리 떨어져 있으므로, 차동검출기를 구성하는 PD간의 거리에 해당하는 수 cm 이내의 근접된 위치에서는 그 강도(Intensity)의 분포가 급변하지 않고 비교적 완만하게 변한다. 그림 2와 같은 PD의 배열에서 잡음광의 결합계수를 x, y 의 함수 $C_n(x, y)$ 로 나타내는 경우 각 PD의 위치에서 잡음광의 결합계수를 각각

$$C_{n0} = C_n(0, 0) \tag{2a}$$

$$C_{n1} = C_n(d, 0) \tag{2b}$$

$$C_{n2} = C_n(0, d) \tag{2c}$$

$$C_{n3} = C_n(-d, 0) \tag{2d}$$

$$C_{n4} = C_n(0, -d) \tag{2e}$$

로 나타낸다.

PD_i에서의 잡음광의 결합계수 C_{ni} 은 근사적으로

$$C_{n1} \approx C_{n0} + \frac{\partial C_n}{\partial x} \times d \tag{3}$$

로 쓸 수 있다. PD_i에서의 잡음성분전압 v_{ni} 는 잡음광의 결합계수 C_{ni} 에 비례하므로

$$v_{n1} \approx v_{n0} + \frac{\partial v_n}{\partial x} \times d \tag{4a}$$

$$v_{n2} \approx v_{n0} + \frac{\partial v_n}{\partial y} \times d \tag{4b}$$

$$v_{n3} \approx v_{n0} - \frac{\partial v_n}{\partial x} \times d \tag{4c}$$

$$v_{n4} \approx v_{n0} - \frac{\partial v_n}{\partial y} \times d \tag{4d}$$

로 나타낼 수 있다. 따라서 중심점에서의 잡음성분전압(v_{n0})는

$$v_{n0} \approx \frac{1}{4}(v_{n1} + v_{n2} + v_{n3} + v_{n4}) \tag{5}$$

로 쓸 수 있다.

각각의 포토다이오드에서 검출되는 전압에는 신호성분과 잡음성분이 섞여 있다. PD_i에서의 신호성분전압을 v_{si} , 잡음성분전압을 v_{ni} 로 표시하면, PD_i에서 검출되는 전압은 $v_i = v_{si} + v_{ni}$ 이다. PD₁, PD₂, PD₃, PD₄의 전압을 평균하여 차동증폭기의 (-) 입력단에 가하고 PD₀의 전압을 (+) 입력단에 가하면, 차동증폭기의 출력전압 v_{out} 은

$$\begin{aligned} v_{out} &= \left\{ v_0 - \frac{1}{4}(v_1 + v_2 + v_3 + v_4) \right\} \cdot G \\ &= \left\{ v_{s0} - \frac{1}{4}(v_{s1} + v_{s2} + v_{s3} + v_{s4}) \right. \\ &\quad \left. + v_{n0} - \frac{1}{4}(v_{n1} + v_{n2} + v_{n3} + v_{n4}) \right\} \cdot G \\ &\approx \left\{ v_{s0} - \frac{1}{4}(v_{s1} + v_{s2} + v_{s3} + v_{s4}) + v_{n0} - v_{n0} \right\} \\ &\quad \cdot G \\ &\approx \left\{ v_{s0} - \frac{1}{4}(v_{s1} + v_{s2} + v_{s3} + v_{s4}) \right\} \cdot G \end{aligned} \tag{6}$$

이 되어 신호성분만 검출된다. 여기에서 G 는 차동증폭기의 전압이득이다. 신호광의 단면 강도분포가 Gaussian일 경우에는 빔의 중심축에서 그 세기가 제일 크고 방사형으로 거리가 증가함에 따라 그 세기가 약해지므로 $v_{s0} > \frac{1}{4}(v_{s1} + v_{s2} + v_{s3} + v_{s4})$ 이고 차동증폭기의 출력전압에는 신호성분만 남는다. 특히 신호광빔의 중심축을 대략 PD₀가 되는 지점으로 택하고 PD간의 거리(d)를 빔의 반경보다 크게 하면 PD₁, PD₂, PD₃, PD₄에서의 신호광의 세기는 PD₀에 비하여 무시할 수 있을 정도로 작게 할 수 있다. 이 때에는 차동증폭기의 출력전압은 $v_{out} \approx v_{s0} \cdot G$ 가 된다.

III. 실험

근사적 평균잡음전압을 이용하여 차동검출을 하기 위한 무선광연결 실험구성도는 그림 4와 같다.

그림 4와 같이 2대의 PC간에 직렬통신단자(Serial port)를 이용하여 무선광전송을 구성하였다. 송신측에서는 PC #1의 직렬통신단자로부터의 신호전압으로 LED를 강도변조(Intensity modulation)하여 신호광을 생성하고, 수신측에서는 그림 2의 배열을

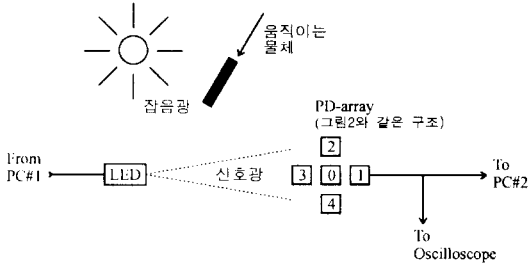


그림 4. 잡음광 소거 실험구성도
Fig. 4. Experimental setup for optical noise reduction.

가진 PD에서 신호를 검출하여 PC #2의 직렬통신 단자에 연결하였다. PC간의 전송용 프로그램은 Microsoft사의 Works를 사용하고, 전송속도는 2.4 kbps이다. LED와 PD-array 간의 전송거리는 약 1.5 m이고, 잡음광원에 해당하는 100 W백열등과 PD간의 거리는 약 1 m 정도로 근접하였다.

실험에 사용한 광원은 파장이 800 nm인 GaAs LED이며, 50 mA의 바이어스 전류에서 광출력은 약 10 mW이다. 광검출기는 응답도가 0.5 A/W인 Si-PIN 포토다이오드를 사용하였고, 부하저항은 모두 1 kΩ으로 동일하게 하였다. PD의 배열은 그림 3에서와 같이 평면상에 거리 $d \approx 2$ cm가 되게 하고, PD의 배열면이 신호광빔 진행방향과 수직이 되도록 구성하였다. PD₁, PD₂, PD₃, PD₄에서의 검출전압의 평균값을 얻기 위하여 OP-Amp로 제작한 가산기를 이용하여 ($v_1 + v_2 + v_3 + v_4$)에 해당하는 전압을 얻은 후, 전압분배기를 통과시켜 1/4이 되도록 만들었다. LED로부터의 신호빔의 중심축이 대략 PD₀에 오도록 하고 반치범폭이 $2d \approx 4$ cm 정도 되도록 하였다.

이 평균전압 $\frac{1}{4}(v_1 + v_2 + v_3 + v_4)$ 과 PD₀의 검출전압 v_0 를 각각 차동증폭기의 ± 입력단에 가하고, 차동증폭기의 출력전압 v_{out} 을 수신부 PC의 직렬통신 단자에 연결하였다. 수신부에 전달되는 신호파형을 관찰하기 위하여 HP 54615B 디지털오실로스코프를 사용하였다. 움직이는 물체에 의하여 나타나는 영향을 관찰하기 위하여 백열등과 광검출기 사이에 한번이 10 cm인 정사각형의 두꺼운 종이판으로 왕복하면서, 이 물체가 잡음광을 가리고 지나갈 때 각 PD에서의 잡음광의 결합계수가 변하도록

만들었다. 실험에서 관측된 출력파형은 그림 5와 같다.

그림 5(a)는 PD가 잡음광에 심하게 노출된 상태에서 지나가는 물체가 없어서 순간적인 결합계수의 변화가 없을 때를 나타낸다. 그림 5(a)의 하부파형은 차동검출을 하지 않고 단일의 PD를 사용하여 검출된 전압을 나타낸다. 전송되는 디지털부호는 알파벳 'F' 자가 전송되는 상태를 나타내며, 여기에 혼합된 사인파형태의 잡음은 백열 등으로부터의 잡음광에 해당한다. 그림 5(a)의 상부파형은 PD₀와 PD₁만을 사용하여 차동검출한 경우의 차동증폭기의 출력파형 v_{out} 을 나타낸다. 이 때는 잡음광의 영향이 사라지고 신호성분만 전송됨을 볼 수 있으며 이와 유사한 실험결과는 참고문헌 2와 3에 이미 보고하였다.

그림 5(b)의 하부파형은 잡음광과 광검출기 사이에 물체가 지나가면서 잡음광의 세기가 심하게 변할 경우, 차동검출을 하지 않고 단일의 PD를 사용하여 검출된 전압을 나타낸다. 이 때는 PD 앞을 지나가는 그림자로 인하여 출력전압의 순간적 변화가 몹시 심한 상태를 나타낸다. 그림 5(b)의 상부파형은 이 상태에서 PD₀와 PD₁만을 사용하여 차동검출한 경우의 차동증폭기의 출력파형 v_{out} 을 나타낸다. 그림 5(b)에서 보듯이 차동검출기의 출력전압에서는 잡음광의 영향이 많이 사라졌지만, PD₀와 PD₁에서의 광결합비가 순간적으로 변화하여 검출전압의 레벨이 미소하게나마 변하고 있음을 알 수 있다. 지금과 같은 상황에서는 신호성분의 진폭에 비하여 전압변동진폭의 크기가 약 1/10정도이어서 전송에 에러를 유발할 정도는 아니지만 신호성분이 미약한 경우에는 이러한 순간적 전압변동에도 에러를 유발하는 경우가 있을 수 있다.

그림 5(c)의 하부파형도 그림 5(b)와 유사한 조건에서 잡음광과 광검출기 사이에 물체가 지나가는 경우에 차동검출을 하지 않고 단일의 PD를 사용하여 검출된 전압을 나타낸다. 그림 5(c)의 상부파형은 PD₀의 검출전압과 PD₁, PD₂, PD₃, PD₄의 평균전압을 이용하여 차동검출한 경우를 나타낸다. 그림 5(c) 상부파형에서 보듯이 이 때는 검출전압의 높이가 거의 일정하고 잡음광의 영향은 거의 나타나지 않으며, 그림 5(b)에서 보다 수신상태가 개선되고

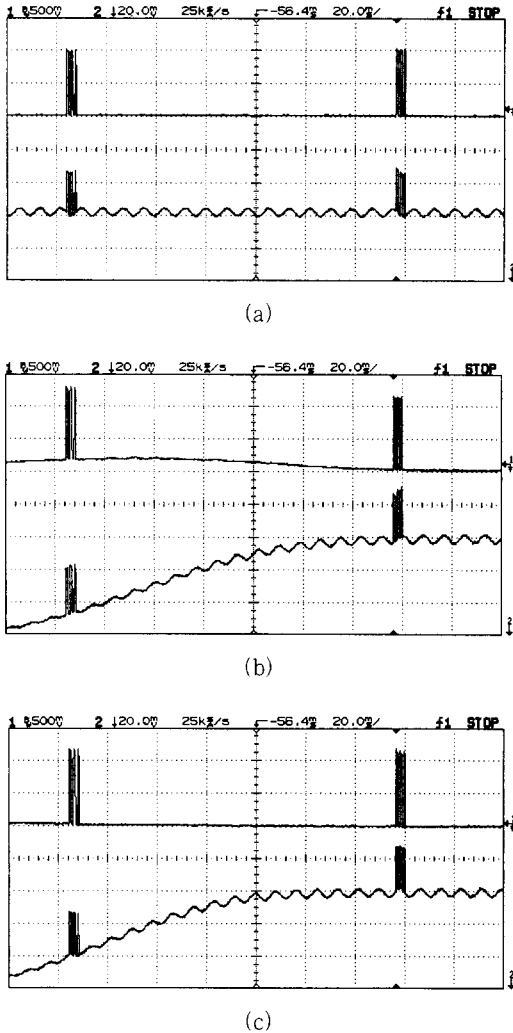


그림 5. 오실로스코프로 관측된 출력파형. (a) 2개의 PD로 차동검출(움직이는 물체가 없을 때), (b) 2개의 PD로 차동검출(움직이는 물체가 있을 때), (c) PD-array로 차동검출(움직이는 물체가 있을 때).

Fig. 5. Output waveforms observed with an oscilloscope. (a) Differential detection with 2 photodiodes(without moving objects), (b) Differential detection with 2 photodiodes(with moving objects), (c) Differential detection with PD-array(with moving objects).

있음을 볼 수 있다.

이와 같은 개선효과는 수신부에서 사용되는 포토다이오드와 증폭기를 포함한 응답속도가 물체의 이

동에 의한 명암의 변화속도보다 높아야 잡음소거효과가 있다. 본 실험에서 포토다이오드와 OP-Amp를 사용하여 제작한 수신부의 대역폭은 약 30 kHz이며, 실험에서 사람의 이동이나 물체를 이동속도는 이보다 빠르지 않아 잡음소거 상태가 양호하였다. 신호광빔의 중심축을 대략 PD₀가 되는 지점으로 택하고 PD 간의 거리(d)를 빔의 반경보다 크게 하면 신호빔의 크기나 이동물체의 크기에는 민감하지 않고, 그 물체의 경계에 의한 명암의 변화(잡음광의 세기의 변화)가 PD-Array에서 PD₀를 중심으로 양쪽이 서로 비슷한 정도로 완만해야 잡음소거효과가 좋다. 본 실험에서는 그림 4의 설명에서와 같이 잡음광과 PD-array간의 거리(1m)가 PD-PD간의 거리(2cm)에 비하여 훨씬 크므로 이동그림자에 의한 명암의 변화가 완만하여 잡음소거 상태가 양호하였다.

그림 5(c)에서 보는 바와 같이 PD-array를 구성하여 근사적 평균값을 이용한 차동검출방식을 사용하면, 2개의 PD를 사용하여 차동검출하는 경우보다 햇빛이나 실내의 여러 가지 조명시설과 같은 잡음광의 영향을 소거하는 데에 더욱 효과적임을 알 수 있다.

IV. 결 론

본 논문에서는 근거리 무선광연결에서 잡음광의 영향을 소거하기 위한 근사적 평균잡음검출방식의 원리와 실험결과를 소개하였다. 이 구조는 차동검출기를 구성하는 경우에 신호광의 중심으로부터 서로 대칭인 지점에서 잡음광을 검출하여 평균하면 신호광의 중심부근에서의 잡음광의 세기와 근사적으로 같아지는 원리를 이용한 것이다. 이와 같이 평균값을 이용하여 차동증폭하면 이동물체에 의하여 나타날 수 있는 잡음광 결합비의 순간적 변화에 의한 출력변동을 완화하여 잡음광의 영향소거를 더욱 효과적으로 실시할 수 있음을 실험적으로 보였다. 이러한 광검출방식은 특히 신호광의 세기가 매우 약하여 잡음광 결합비의 변화에 매우 민감한 경우에 사용하면 광잡음소거에 효과적이다.

2개의 PD를 사용하는 경우와 비교하면 잡음소거효과를 향상하는 대신에, 사용되는 PD의 수를 증가

시켜야 하는 부담이 있다.

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, "실내 무선광연결에서 차동증폭기를 이용한 혼신 및 잡음의 감소", 한국전자과학회논문지, 9(5), pp. 660-667, 1998.

[3] 이성호, 강희창, "차동검출기를 이용한 무선광연결에서 신호대잡음비의 개선", 한국전자과학회논문지, 10(1), pp. 54-62, 1999.

[4] 이성호, 최순식, 설순권, 강희창, "실내무선광통신에서 광궤환잡음의 개선", 한국통신학회 98 추계종합학술발표회논문집, pp. 996-997, 1998.

[5] 설순권, 최순식, 김학민, 이성호, 강희창, "차동검출을 이용한 무선광연결용 증계기", 제6회 광전자공학 학술회의논문 FB1-5, pp. 141-142, 1999.

이 성 호



1957년 8월 12일 생
 1980년 2월: 한국항공대학 전자공학과(공학사)
 1989년 2월: 한국과학기술원, 전기 및 전자공학과(공학석사)
 1993년 2월: 한국과학기술원, 전기 및 전자공학과(공학박사)

1995년 3월~현재: 서울산업대학교 전자공학과 조교수
 [주 관심분야] 광통신, 초고주파회로