



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2022년06월30일
(11) 등록번호 10-2415791
(24) 등록일자 2022년06월28일

- (51) 국제특허분류(Int. Cl.)
H04B 10/2507 (2013.01) H04B 10/556 (2013.01)
H04B 10/564 (2013.01)
- (52) CPC특허분류
H04B 10/2507 (2013.01)
H04B 10/5561 (2013.01)
- (21) 출원번호 10-2021-0017213
(22) 출원일자 2021년02월08일
심사청구일자 2021년02월08일
- (56) 선행기술조사문헌
A. P. T. Lau and J. M. Kahn, "Signal Design and Detection in Presence of Nonlinear Phase Noise," Journal of Lightwave Technology, vol. 25, no. 10, pp. 3008-3016, (Oct. 2007)*
Guo-Wei et al., "Reconfigurable multilevel transmitter using monolithically integrated quad Mach-Zehnder IQ modulator for optical 16-QAM and 8-PSK generation," Opt. Express 19, 5596-5601 (2011)*
*는 심사관에 의하여 인용된 문헌
- (73) 특허권자
연세대학교 산학협력단
서울특별시 서대문구 연세로 50 (신촌동, 연세대학교)
- (72) 발명자
한상국
서울특별시 서초구 서초중앙로 220, 108동 3001호(반포동, 반포 래미안아이파크)
- 이정문
서울특별시 서대문구 연세로 50, 연세대학교 제3공학관 232호(신촌동)
(뒷면에 계속)
- (74) 대리인
민영준

전체 청구항 수 : 총 17 항

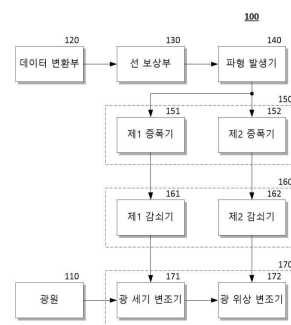
심사관 : 신상길

(54) 발명의 명칭 위상 신호 왜곡을 선 보상하는 광 송신 장치 및 방법

(57) 요약

본 발명은 세기 신호와 선 보상된 위상 신호에 응답하여 광원에서 인가된 광을 세기 변조 및 위상 변조하여 광 신호를 출력하는 광 변조부 및 전송할 데이터에 따른 심볼에 대응하여 세기 변조를 조절하기 위한 세기 신호와 위상 변조를 조절하기 위한 위상 신호를 획득하고, 광 신호에서 연속하는 심볼의 위상 차에 대응하는 광 세기가 광 신호에서 세기 변조에 무관하게 지정된 레벨을 갖도록 하는 위상 변이량을 계산하며, 광 변조부가 계산된 위상 변이량을 반영하여 위상 변조하도록 상기 위상 신호를 선 보상하는 신호 보상 발생부를 포함하여, 별도의 하드웨어 추가없이 위상 및 세기 변조하여 광 신호 전송시에 발생하는 위상 신호 왜곡을 선 보상하여 전송할 수 있는 광 송신 장치 및 방법을 제공할 수 있다.

대표도



(52) CPC특허분류

H04B 10/564 (2013.01)

(72) 발명자

최재영

서울특별시 서대문구 연세로 50, 연세대학교 제3공학관 232호(신촌동)

현영진

서울특별시 서대문구 연세로 50, 연세대학교 제3공학관 232호(신촌동)

박진우

서울특별시 서대문구 연세로 50, 연세대학교 제3공학관 232호(신촌동)

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호

1711111460

과제번호

2019R1A2C3007934

부처명

과학기술정보통신부

과제관리(전문)기관명

한국연구재단

연구사업명

중견연구자지원사업

연구과제명

지능형 광액세스망을 위한 머신러닝 기반 다차원 광전송 기술

연구(2/4)(2019.3.1~2023.2.28)

기 여 율

1/1

과제수행기관명

연세대학교 산학협력단

연구기간

2020.03.01 ~ 2021.02.28

명세서

청구범위

청구항 1

세기 신호와 선 보상된 위상 신호에 응답하여 광원에서 인가된 광을 세기 변조 및 위상 변조하여 광 신호를 출력하는 광 변조부; 및

전송할 데이터에 따른 심볼에 대응하여 세기 변조를 조절하기 위한 세기 신호와 위상 변조를 조절하기 위한 위상 신호를 획득하고, 상기 광 신호에서 연속하는 심볼의 위상 차에 대응하는 광 세기가 상기 광 신호에서 세기 변조에 무관하게 지정된 레벨을 갖도록 하는 위상 변이량을 계산하며, 상기 광 변조부가 계산된 위상 변이량을 반영하여 위상 변조하도록 상기 위상 신호를 선 보상하는 신호 보상 발생부를 포함하되,

상기 신호 보상 발생부는 위상 변조 방식에 따라 서로 인접한 심볼간 위상 차에 따른 광 세기차의 지정된 레벨을 변조된 광 신호의 연속하는 심볼의 세기의 평균으로 나눈값을 이용하여 상기 위상 변이량을 계산하는 광 송신 장치.

청구항 2

제1항에 있어서, 상기 광 변조부는

상기 세기 신호에 응답하여, 상기 광원에서 인가된 광의 세기를 변조하여 광 세기 신호를 출력하는 광 세기 변조기; 및

상기 선 보상된 위상 신호에 응답하여, 상기 광 세기 변조기에서 인가되는 광 세기 신호의 위상을 변조하여 상기 광 신호를 출력하는 광 위상 변조기를 포함하는 광 송신 장치.

청구항 3

제2항에 있어서, 상기 신호 보상 발생부는

상기 광 위상 변조기의 입력 전압 대비 광 위상 변조량을 나타내는 전압-위상 파라미터와 상기 위상 신호를 보상함에 따른 변조된 광 신호의 연속하는 심볼의 광 세기 변화에 기반하여 상기 위상 신호를 선 보상하는 광 송신 장치.

청구항 4

제3항에 있어서, 상기 신호 보상 발생부는

상기 위상 변이량(θ)을 수학식

$$\cos(\theta) = \frac{\langle A \rangle}{\int_0^{T_s} \sqrt{(\text{optical power of QAMsymbol1}) \times (\text{optical power of QAMsymbol2})} dt}$$

(여기서 QAM symbol1과 QAM symbol2는 QAM 방식에 따라 변조된 광 신호에서 시간적으로 인접한 2개의 심볼을 나타내며, $\langle A \rangle$ 는 위상 변조 방식에 따라 서로 인접한 심볼간 위상 차에 따른 광 세기차의 지정된 레벨을 나타낸다.)

에 따라 계산하는 광 송신 장치.

청구항 5

제4항에 있어서, 상기 신호 보상 발생부는

상기 위상 변이량(θ)에 기반하여 상기 위상 신호를 수학식

$$k \cos^{-1} \left(\frac{\langle A \rangle}{\int_0^{T_s} \sqrt{(\text{optical power of QAM symbol 1}) \times (\text{optical power of QAM symbol 2})} dt} \right)$$

(여기서 k 는 위상 변조기의 전압-위상 파라미터이고, QAM symbol1과 QAM symbol2는 QAM 방식에 따라 변조된 광 신호에서 시간적으로 인접한 2개의 심볼을 나타내며, $\langle A \rangle$ 는 위상 변조 방식에 따라 서로 인접한 심볼간 위상 차에 따른 광 세기차의 지정된 레벨을 나타낸다.)

로 변경하여 선 보상하는 광 송신 장치.

청구항 6

제3항에 있어서, 상기 신호 보상 발생부는

연속하는 심볼에 따라 상기 위상 신호를 보상하기 위한 값이 미리 계산되어 포함된 테이블을 저장하고, 저장된 테이블에 따라 상기 위상 신호를 선 보상하여 출력하는 광 송신 장치.

청구항 7

제3항에 있어서, 상기 신호 보상 발생부는

상기 데이터를 인가받고, 인가된 데이터에 따른 심볼의 세기 및 위상에 대응하는 제1 및 제2 신호를 획득하는 데이터 변환부;

상기 심볼의 위상에 대응하는 상기 제2 신호를 선 보상하여 출력하는 선 보상부; 및

상기 제1 신호와 선 보상된 제2 신호를 인가받아, 상기 제1 신호와 선 보상된 제2 신호에 대응하는 파형의 세기 신호와 선 보상된 위상 신호를 출력하는 파형 발생기를 포함하는 광 송신 장치.

청구항 8

제3항에 있어서, 상기 신호 보상 발생부는

상기 데이터를 인가받고, 인가된 데이터에 따른 심볼의 세기 및 위상에 대응하는 제1 및 제2 신호를 획득하는 데이터 변환부;

상기 제1 및 제2 신호를 인가받아, 상기 제1 및 제2 신호 각각에 대응하는 파형의 세기 신호와 위상 신호를 출력하는 파형 발생기; 및

상기 위상 신호를 인가받아 선 보상하여 출력하는 선보상된 위상 신호를 출력하는 선 보상부를 포함하는 광 송신 장치.

청구항 9

제3항에 있어서, 상기 광 송신 장치는

QAM-MDPSK(Quadrature Amplitude Modulation - M-ary Differential Phase Shift Keying) 변조를 수행하는 광 송신 장치.

청구항 10

전송할 데이터에 따른 심볼에 대응하여 세기 변조를 조절하기 위한 세기 신호와 위상 변조를 조절하기 위한 위상 신호를 획득하는 단계;

상기 위상 신호를 선보상하는 단계; 및

상기 세기 신호와 선 보상된 위상 신호에 응답하여 광원에서 인가된 광을 세기 변조 및 위상 변조하여 광 신호를 출력하는 단계를 포함하고,

상기 선보상하는 단계는

상기 광 신호에서 연속하는 심볼의 위상 차에 대응하는 광 세기가 상기 광 신호에서 세기 변조에 무관하게 지정

된 레벨을 갖도록 하는 위상 변이량을 계산하는 단계; 및

상기 광 신호를 출력하는 단계에서 상기 위상 변이량을 반영하여 위상 변조하도록 선 보상 위상 신호를 획득하는 단계를 포함하되,

상기 위상 변이량을 계산하는 단계는

위상 변조 방식에 따라 서로 인접한 심볼간 위상 차에 따른 광 세기차의 지정된 레벨을 변조된 광 신호의 연속하는 심볼의 세기의 평균으로 나눈값을 이용하여 상기 위상 변이량을 계산하는 광 송신 방법.

청구항 11

제10항에 있어서, 상기 광 신호를 출력하는 단계는

상기 세기 신호에 응답하여, 상기 광원에서 인가된 광의 세기를 변조하여 광 세기 신호를 출력하는 단계; 및

상기 선 보상된 위상 신호에 응답하여, 상기 광 세기 신호의 위상을 변조하는 단계를 포함하는 광 송신 방법.

청구항 12

제11항에 있어서, 상기 위상 변이량을 계산하는 단계는

선 보상된 위상 신호의 전압 대비 상기 위상을 변조하는 단계에서의 광 위상 변조량을 나타내는 전압-위상 파라미터와 상기 위상 신호를 보상함에 따른 변조된 광 신호의 연속하는 심볼의 광 세기 변화에 기반하여 상기 위상 신호를 선 보상하는 광 송신 방법.

청구항 13

제12항에 있어서, 상기 위상 변이량을 계산하는 단계는

상기 위상 변이량(θ)을 수학적식

$$\cos(\theta) = \frac{\langle A \rangle}{\int_0^{T_s} \sqrt{(\text{optical power of QAMsymbol1}) \times (\text{optical power of QAMsymbol2})} dt}$$

(여기서 QAM symbol1과 QAM symbol2는 QAM 방식에 따라 변조된 광 신호에서 시간적으로 인접한 2개의 심볼을 나타내며, $\langle A \rangle$ 는 위상 변조 방식에 따라 서로 인접한 심볼간 위상 차에 따른 광 세기차의 지정된 레벨을 나타낸다.)

에 따라 계산하는 광 송신 방법.

청구항 14

제13항에 있어서, 상기 선 보상 위상 신호를 획득하는 단계는

상기 위상 변이량(θ)에 기반하여 상기 위상 신호를 수학적식

$$k \cos^{-1} \left(\frac{\langle A \rangle}{\int_0^{T_s} \sqrt{(\text{optical power of QAMsymbol1}) \times (\text{optical power of QAMsymbol2})} dt} \right)$$

(여기서 k 는 위상 변조기의 전압-위상 파라미터이고, QAM symbol1과 QAM symbol2는 QAM 방식에 따라 변조된 광 신호에서 시간적으로 인접한 2개의 심볼을 나타내며, $\langle A \rangle$ 는 위상 변조 방식에 따라 서로 인접한 심볼간 위상 차에 따른 광 세기차의 지정된 레벨을 나타낸다.)

로 변경하여 선 보상하는 광 송신 방법.

청구항 15

제12항에 있어서, 상기 선 보상 위상 신호를 획득하는 단계는

연속하는 심볼에 따라 상기 위상 신호를 보상하기 위한 값이 미리 계산되어 저장된 테이블을 이용하여 상기 위

상 신호를 선 보상하여 출력하는 광 송신 방법.

청구항 16

제12항에 있어서, 상기 위상 신호를 획득하는 단계는

상기 데이터를 인가받고, 인가된 데이터에 따른 심볼의 세기 및 위상에 대응하는 제1 및 제2 신호를 획득하는 단계;

상기 심볼의 위상에 대응하는 상기 제2 신호를 선 보상하여 출력하는 단계; 및

상기 제1 신호와 선 보상된 제2 신호를 인가받아, 상기 제1 신호와 선 보상된 제2 신호에 대응하는 파형의 세기 신호와 선 보상된 위상 신호를 출력하는 단계를 포함하는 광 송신 방법.

청구항 17

제12항에 있어서, 상기 위상 신호를 획득하는 단계는

상기 데이터를 인가받고, 인가된 데이터에 따른 심볼의 세기 및 위상에 대응하는 제1 및 제2 신호를 획득하는 단계;

상기 제1 및 제2 신호를 인가받아, 상기 제1 및 제2 신호 각각에 대응하는 파형의 세기 신호와 위상 신호를 출력하는 단계; 및

상기 위상 신호를 인가받아 선 보상하여 출력하는 선보상된 위상 신호를 출력하는 단계를 포함하는 광 송신 방법.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 발명은 광 송신 장치 및 방법에 관한 것으로, 위상 및 세기 변조하여 광 신호를 전송하는 시스템에서 발생되는 위상 신호 왜곡을 선 보상하여 전송할 수 있는 광 송신 장치 및 방법에 관한 것이다.

배경 기술

[0002] 유선 광 통신망의 보급이 확대됨에 따라 최근 대용량의 데이터를 요구하는 각종 어플리케이션이 크게 증가하고 있으며, 이로 인해 전송 용량의 증대가 계속적으로 요구되고 있다. 이에 코히어런트 광 전송 기법과 ASK-DPSK(Amplitude Shift Keying-Differential Phase-Shift Keying) 및 QAM-DPSK(Quadrature Amplitude Modulation-Differential Phase-Shift Keying)와 같은 다양한 변조 기법이 제안되었다. 코히어런트 기법의 경우, 고가의 매우 복잡한 수신 구조가 요구되는 단점이 있으며, ASK-DPSK와 QAM-DPSK는 광의 세기와 위상을 동시에 변조하여 전송하므로 전송 용량을 증대시킬 수 있으나, 기본적으로 DPSK에 기반하기 때문에 위상 변조 레벨이 2레벨로 한정되므로, 이 또한 전송 용량 증대에 한계가 있다. 이에 최근에는 위상 변조 시에 다중 레벨로 변조하는 QAM-MDPSK(Quadrature Amplitude Modulation - M-ary Differential Phase Shift Keying)가 제안되었다.

[0003] 한편 현재 가장 일반적으로 이용되는 IM/DD(Intensity Modulation/Direct Detection) 기법에 따른 광 통신 시스템에서는 광 세기와 위상이 동시에 변조되어 전송된 경우, 광 세기와 광 위상을 각각 구분하여 검출한다. 이때, 광 세기는 수신된 광 신호에서 직접 검출이 가능하지만 광 위상의 경우 MZDI(Mach-Zehnder Delay Interferometer)와 같은 지연 간섭계 구성을 이용하여 지연되지 않은 광 신호와 지연된 광 신호 사이의 비팅(beating)을 이용하여 세기로 변환된 광신호로 변환한 후 검출이 가능하다. 즉 이전 인가되어 지연된 광 신호와 이후 인가된 광 신호 사이의 위상 차를 나타내는 세기를 갖는 광 신호로 변환하여 검출하는 방식을 이용한다.

[0004] 이와 같이 세기와 위상이 동시에 변조되어 전송된 광 신호로부터 광 세기와 광 위상을 각각 나누어서 검출하는 경우, 광 위상 변조는 검출되는 광 세기에 영향을 미치지 않는 반면, 광 세기 변조는 검출되는 광 위상에 영향을 미치게 된다. 이는 상기한 바와 같이, 광 수신기가 지연 간섭계 구성을 이용함에 따라 세기 변조된 광을 지연하여 비팅하게 되면, 변조된 세기로 인해 지연되지 않은 광과 지연된 광 사이의 비팅 결과에 변화가 나타나기 때문이다. 이러한 광 세기 변조에 의한 광 위상 신호에의 영향은 ASK-DPSK와 QAM-DPSK와 같이 위상 차가 크

게 발생하는 변조 기법에서는 미치는 영향이 제한적인 반면, QAM-MDPSK와 같이 다중 레벨로 위상차를 발생하는 변조 기법에서는 각 레벨 사이의 위상차가 크지 않기 때문에 전송 오류가 발생할 수 있다는 문제가 있다.

선행기술문헌

특허문헌

[0005] (특허문헌 0001) 한국 등록 특허 제10-1382619호 (2014.04.01 등록)

발명의 내용

해결하려는 과제

[0006] 본 발명의 목적은 하드웨어 추가 없이 저비용으로 전송 용량을 확대시킬 수 있는 광 송신 장치 및 방법을 제공하는데 있다.

[0007] 본 발명의 다른 목적은 위상 및 세기 변조하여 광 신호 전송시에 발생하는 위상 신호 왜곡을 선 보상하여 전송할 수 있는 광 송신 장치 및 방법을 제공하는데 있다.

과제의 해결 수단

[0008] 상기 목적을 달성하기 위한 본 발명의 일 실시예에 따른 광 송신 장치는 세기 신호와 선 보상된 위상 신호에 응답하여 광원에서 인가된 광을 세기 변조 및 위상 변조하여 광 신호를 출력하는 광 변조부; 및 전송할 데이터에 따른 심볼에 대응하여 세기 변조를 조절하기 위한 세기 신호와 위상 변조를 조절하기 위한 위상 신호를 획득하고, 상기 광 신호에서 연속하는 심볼의 위상 차에 대응하는 광 세기가 상기 광 신호에서 세기 변조에 무관하게 지정된 레벨을 갖도록 하는 위상 변이량을 계산하며, 상기 광 변조부가 계산된 위상 변이량을 반영하여 위상 변조하도록 상기 위상 신호를 선 보상하는 신호 보상 발생부를 포함한다.

[0009] 상기 광 변조부는 상기 세기 신호에 응답하여, 상기 광원에서 인가된 광의 세기를 변조하여 광 세기 신호를 출력하는 광 세기 변조기; 및 상기 선 보상된 위상 신호에 응답하여, 상기 광 세기 변조기에서 인가되는 광 세기 신호의 위상을 변조하여 상기 광 신호를 출력하는 광 위상 변조기를 포함할 수 있다.

[0010] 상기 신호 보상 발생부는 상기 광 위상 변조기의 입력 전압 대비 광 위상 변조량을 나타내는 전압-위상 파라미터와 상기 위상 신호를 보상함에 따른 변조된 광 신호의 연속하는 심볼의 광 세기 변화에 기반하여 상기 위상 신호를 선 보상할 수 있다.

[0011] 상기 신호 보상 발생부는 상기 위상 변이량(θ)을 수학식

$$\cos(\theta) = \frac{\langle A \rangle}{\int_0^{T_s} \sqrt{(\text{optical power of QAMsymbol1}) \times (\text{optical power of QAMsymbol2})} dt}$$

[0012] (여기서 QAM symbol1과 QAM symbol2는 QAM 방식에 따라 변조된 광 신호에서 시간적으로 인접한 2개의 심볼을 나타내며, $\langle A \rangle$ 는 위상 변조 방식에 따라 서로 인접한 심볼간 위상 차에 따른 광 세기차의 지정된 레벨을 나타낸다.)에 따라 계산할 수 있다.

[0014] 상기 신호 보상 발생부는 상기 위상 변이량(θ)에 기반하여 상기 위상 신호를 수학식

$$k \cos^{-1} \left(\frac{\langle A \rangle}{\int_0^{T_s} \sqrt{(\text{optical power of QAMsymbol1}) \times (\text{optical power of QAMsymbol2})} dt} \right)$$

[0015] (여기서 k는 위상 변조기의 전압-위상 파라미터이고, QAM symbol1과 QAM symbol2는 QAM 방식에 따라 변조된 광 신호에서 시간적으로 인접한 2개의 심볼을 나타내며, $\langle A \rangle$ 는 위상 변조 방식에 따라 서로 인접한 심볼간 위상 차에 따른 광 세기차의 지정된 레벨을 나타낸다.)로 변경하여 선 보상할 수 있다.

[0017] 상기 목적을 달성하기 위한 본 발명의 다른 실시예에 따른 광 송신 방법은 전송할 데이터에 따른 심볼에 대응하여 세기 변조를 조절하기 위한 세기 신호와 위상 변조를 조절하기 위한 위상 신호를 획득하는 단계; 상기 위상

신호를 선보상하는 단계; 및 상기 세기 신호와 선 보상된 위상 신호에 응답하여 광원에서 인가된 광을 세기 변조 및 위상 변조하여 광 신호를 출력하는 단계를 포함하고, 상기 선보상하는 단계는 상기 광 신호에서 연속하는 심볼의 위상 차에 대응하는 광 세기가 상기 광 신호에서 세기 변조에 무관하게 지정된 레벨을 갖도록 하는 위상 변이량을 계산하는 단계; 및 상기 광 신호를 출력하는 단계에서 상기 위상 변이량을 반영하여 위상 변조하도록 선 보상 위상 신호를 획득하는 단계를 포함한다.

발명의 효과

[0018] 따라서, 본 발명의 실시예에 따른 광 송신 장치 및 방법은 별도의 하드웨어 추가없이 위상 및 세기 변조하여 광 신호 전송시에 발생하는 위상 신호 왜곡을 선 보상하여 전송하여 오류 없이 전송 가능한 위상 변조 레벨을 증가시킬 수 있도록 함으로써 대역 효율을 크게 증가시킬 수 있다.

도면의 간단한 설명

[0019] 도 1은 본 발명의 일 실시예에 따른 광 송신 장치의 개략적 구조를 나타낸다.
 도 2는 본 발명의 일 실시예에 따른 광 통신 시스템의 광 수신 장치의 개략적 구조를 나타낸다.
 도 3은 도 2의 광 수신 장치에서 광 신호의 위상차에 따른 판별 레벨의 일 예를 나타낸다.
 도 4는 광 세기 변조기의 변조 특성 곡선을 나타낸다.
 도 5는 16 QAM 변조의 성상도를 나타낸다.
 도 6은 본 발명의 일 실시예에 따른 광 송신 방법을 나타낸다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0020] 본 발명과 본 발명의 동작상의 이점 및 본 발명의 실시예에 의하여 달성되는 목적을 충분히 이해하기 위해서는 본 발명의 바람직한 실시예를 예시하는 첨부 도면 및 첨부 도면에 기재된 내용을 참조하여야만 한다.

[0021] 이하, 첨부한 도면을 참조하여 본 발명의 바람직한 실시예를 설명함으로써, 본 발명을 상세히 설명한다. 그러나, 본 발명은 여러 가지 상이한 형태로 구현될 수 있으며, 설명하는 실시예에 한정되는 것이 아니다. 그리고, 본 발명을 명확하게 설명하기 위하여 설명과 관계없는 부분은 생략되며, 도면의 동일한 참조부호는 동일한 부재임을 나타낸다.

[0022] 명세서 전체에서, 어떤 부분이 어떤 구성요소를 "포함"한다고 할 때, 이는 특별히 반대되는 기재가 없는 한 다른 구성요소를 제외하는 것이 아니라, 다른 구성요소를 더 포함할 수 있는 것을 의미한다. 또한, 명세서에 기재된 "...부", "...기", "모듈", "블록" 등의 용어는 적어도 하나의 기능이나 동작을 처리하는 단위를 의미하며, 이는 하드웨어나 소프트웨어 또는 하드웨어 및 소프트웨어의 결합으로 구현될 수 있다.

[0023] 도 1은 본 발명의 일 실시예에 따른 광 송신 장치의 개략적 구조를 나타내고, 도 2는 본 발명의 일 실시예에 따른 광 통신 시스템의 광 수신 장치의 개략적 구조를 나타내며, 도 3은 도 2의 광 수신 장치에서 광 신호의 위상차에 따른 판별 레벨의 일 예를 나타낸다. 도 4는 광 세기 변조기의 변조 특성 곡선을 나타내고, 도 5는 16 QAM 변조의 성상도를 나타낸다.

[0024] 도 1을 참조하면, 본 실시예에 따른 광 송신 장치(100)는 광원(110), 선 보상부(130), 파형 발생기(140), 신호 증폭부(150), 신호 감쇠부(160) 및 광 변조부(170)를 포함할 수 있다.

[0025] 광원(110)은 미리 지정된 파장과 파형의 광을 생성하여 방출한다. 일 예로 광원은 연속파(continuous wave) 모드의 광을 생성하여 방출할 수 있으며, 레이저 다이오드(laser diode) 등으로 구현될 수 있다.

[0026] 데이터 변환부(120)는 전송할 데이터를 인가받아 변조할 방식에 따른 신호로 변환한다. 상기한 바와 같이, 본 실시예에서는 데이터에 따라 광을 세기 및 위상 변조하여 전송하며, 여기서는 일 예로 데이터 변환부(120)가 QAM-MDPSK 변조 기법에 따라 데이터를 신호로 변환하는 것으로 가정하여 설명한다. 이에 데이터 변환부(120)는 데이터에 대응하는 세기 및 위상을 나타내는 심볼을 확인하고, 확인된 심볼에 대응하는 신호를 출력한다. 이때, 데이터 변환부(120)는 데이터에 대응하는 심볼의 세기 및 위상에 대해 구분된 제1 및 제2 신호로 변환할 수 있다.

[0027] 선 보상부(130)는 데이터 변환부에서 획득된 신호를 인가받고, 기지정된 방식에 따라 인가된 신호를 선 보상하

여, 파형 발생기(140)로 전달한다. 선 보상부(130)는 광 송신 장치(100)가 광 신호가 광 세기와 위상 변조 전송 방식으로 광 변조하여 전송함에 따라, 광 수신 장치(200)에서 위상 변조된 광 신호로부터 광 세기 변화를 검출하기 위해 이용되는 지연 간섭계(220)에서 발생하는 왜곡을 사전에 보상할 수 있도록 신호를 선 보상하여 전달할 수 있다. 여기서 선 보상부(130)는 제1 및 제2 신호 중 심볼의 위상을 나타내는 제2 신호를 선 보상하여 전달할 수 있다.

[0028] 선 보상부(130)가 선 보상을 수행하는 방법에 대한 상세한 설명은 후술하도록 한다.

[0029] 파형 발생기(140)는 선 보상부(130)로부터 인가되는 선 보상된 신호에 제1 및 제2 신호 각각에 대응하는 파형의 세기 신호와 위상 신호를 생성한다. 즉 파형 발생기(140)는 세기 변조 방식에 따라 변조하여 전송될 제1 신호를 인가받아 대응하는 파형의 세기 신호를 생성하고, 위상 변조 방식에 따라 변조하여 전송될 제2 신호를 인가받아 대응하는 파형의 위상 신호를 생성하여 신호 증폭부(150)로 전달한다. 여기서 파형 발생기(140)는 일 예로 AWG(arbitrary waveform generator)로 구현될 수 있다.

[0030] 신호 증폭부(150)는 파형 발생기(140)에서 발생된 세기 신호와 위상 신호를 인가받고, 각각 증폭하여 출력한다. 신호 증폭부(150)는 세기 신호를 인가받아 증폭하여 출력하는 제1 증폭기(151)와 위상 신호를 인가받아 증폭하여 출력하는 제2 증폭기(152)를 포함할 수 있다.

[0031] 신호 감쇠부(160)는 신호 증폭부(150)에서 증폭된 세기 신호와 위상 신호를 인가받아 기지정된 범위의 신호로 감쇠하여 출력한다. 신호 감쇠부(160)는 제1 증폭기(151)로부터 증폭된 세기 신호를 인가받아 감쇠하여 출력하는 제1 감쇠기(161) 및 제2 증폭기(152)로부터 증폭된 위상 신호를 인가받아 감쇠하여 출력하는 제2 감쇠기(162)를 포함할 수 있다.

[0032] 여기서 신호 증폭부(150)와 신호 감쇠부(160)는 파형 발생기(140)에서 생성되는 세기 신호와 위상 신호가 광 세기 변조기(171) 및 광 위상 변조기(172) 각각에 적합한 범위의 세기를 갖도록 조절하기 위한 구성으로, 경우에 따라서는 생략될 수 있다.

[0033] 광 변조부(170)는 신호 감쇠부(160)로부터 세기 신호와 위상 신호를 인가받고, 인가된 세기 신호와 위상 신호에 따라 광원(110)에서 인가되는 광을 세기 변조 및 위상 변조하여 광 신호를 생성하여 출력한다.

[0034] 광 변조부(170)는 광 세기 변조기(171) 및 광 위상 변조기(172)를 포함할 수 있다. 광 세기 변조기(171)는 제1 감쇠기(161)로부터 인가되는 세기 신호에 따라 광원(110)에서 인가되는 광을 세기 변조하여 광 세기 신호를 출력한다. 여기서 광 세기 변조기(171)는 일 예로 마흐젠더 변조기(Mach-Zehnder Modulator: 이하 MZM)로 구현될 수 있다.

[0035] 한편, 광 위상 변조기(172)는 제2 감쇠기(162)로부터 인가되는 위상 신호에 따라 광 세기 변조기(171)에서 변조되어 인가되는 광 세기 신호의 위상을 변조하여 세기 및 위상 변조된 광 신호를 출력한다.

[0036] 한편, 도 2를 참조하면, 광 수신 장치(200)는 광 분배기(210), 지연 간섭계(220), 광 검출부(230), 수신 증폭부(240), 신호 판별부(250) 및 데이터 획득부(260)를 포함할 수 있다.

[0037] 광 분배기(210)는 광 송신 장치(100)로 광 섬유 등을 통해 전송된 광 신호를 수신하여 분배하여 2개의 수신 광 신호를 출력한다. 여기서 광 분배기(210)는 일 예로 광 커플러로 구현될 수 있으며, 2개의 수신 광 신호는 동일한 세기 및 위상을 갖는 신호일 수 있다.

[0038] 지연 간섭계(220)는 광 분배기(210)에서 분배된 2개 수신 광 신호 중 하나(여기서는 일 예로 제2 수신 광 신호)를 인가받아 지연 및 비팅한다. 지연 간섭계(220)는 연속하여 인가되는 수신 광 신호가 지연 경로와 비지연 경로를 경유하도록 하여, 지연 경로를 따라 이전 인가되어 지연된 수신 광 신호와 비지연 경로를 따라 지연되지 않은 수신 광 신호를 비팅함으로써, 지연된 수신 광 신호와 지연되지 않은 수신 광 신호 사이의 위상차에 따른 세기의 광을 갖는 위상 광 신호를 출력한다.

[0039] 한편, 광 검출부(230)는 광 분배기(210)에서 직접 인가되는 수신 광 신호와 지연 간섭계(220)에서 획득된 위상 광 신호를 인가받고, 인가된 수신 광 신호와 위상 광 신호 각각의 광 세기를 검출하여 제1 및 제2 수신 신호를 획득한다. 광 검출부(230)는 수신 광 신호를 인가받아 광 세기를 검출하여 제1 수신 신호를 획득하는 제1 광 검출기(231)와 위상 광 신호를 인가받아 광 세기를 검출하여 제2 수신 신호를 획득하는 제2 광 검출기(232)를 포함할 수 있다. 여기서 제1 및 제2 광 검출기(231, 232)는 포토 다이오드(Photo Diode) 등으로 구현될 수 있다.

- [0040] 수신 증폭부(240)는 광 검출부(230)로부터 제1 및 제2 수신 신호를 인가받아 증폭하여 출력하고, 신호 판별부(250)는 증폭된 제1 및 제2 수신 신호를 인가받아 증폭된 제1 및 제2 수신 신호를 판별한다.
- [0041] 데이터 획득부(260)는 신호 판별부(250)에서 판별된 신호 레벨을 기반으로 광 송신 장치(100)에서 전송된 데이터를 복원한다. 여기서 제1 수신 신호는 심볼의 세기에 대응하는 신호이고, 제2 수신 신호는 심볼의 위상에 대응하는 신호이므로, 데이터 획득부(260)는 광 송신 장치(100)에 적용된 변조 기법에 기반하여 판별된 제1 및 제2 수신 신호로부터 심볼을 추출하여 데이터를 복원할 수 있다.
- [0042] 이와 같은 광 수신 장치(200)에서 제1 수신 신호의 경우, 수신 광 신호의 세기에서 직접 추출된 신호이므로, 세기 변조에 의한 영향을 거의 받지 않는다. 그러나 제2 수신 신호의 경우, 연속하여 수신된 수신 광 신호 사이의 위상차에 의해 나타나는 광 세기차로부터 추출되는 신호이므로, 세기 변조에 의한 영향을 크게 받는다.
- [0043] 구체적으로 광 수신 장치(200)의 지연 간섭계(220)에서 획득되는 위상 광 신호는 지연된 수신 광 신호와 지연되지 않은 수신 신호의 차이에 따라 도 3과 같이 나타나게 된다. 그리고 신호 판별부(250)는 인가된 위상 광 신호의 세기가 기지정된 다수의 세기 구간 중 어느 구간에 포함되는지 여부로 위상 광 신호의 신호 레벨을 판별한다. 여기서 신호 판별부는 일 예로 DPO(Digital Phosphor Oscilloscope)으로 구현될 수 있다.
- [0044] 만일 수신 광 신호의 세기가 균일하다면, 지연된 수신 광 신호와 지연되지 않은 수신 신호의 세기 차이는 위상 변조에 의해서만 발생하므로, 위상 광 신호의 세기 또한 도 3에 도시된 바와 같이, 지정된 특정 레벨로 검출된다. 그러나 본 실시예에서는 세기 및 위상 변조가 동시에 수행되므로, 수신 광 신호의 세기가 계속적으로 변화하게 되며, 이와 같은 수신 광 신호의 세기의 변화는 곧 위상 광 신호의 레벨 변동으로 나타나게 된다. 그러므로 연속하는 수신 광 신호의 세기 변화로 인해, 위상 광 신호의 신호 레벨을 오판별하게 될 수 있다.
- [0045] 상기한 바와 같이, QAM-MDPSK 변조 기법을 적용한 경우, 광 세기 변조가 위상 광 신호의 한 심볼에 미치는 영향은 광 신호의 연속하는 두 개의 심볼의 세기를 기반으로 다음과 같이 계산될 수 있다.
- [0046] 수학식 1은 연속하는 두 개의 심볼의 세기에 따른 위상 광 신호의 평균값을 나타낸다.

수학식 1

$$\int_0^{T_s} \sqrt{(\text{optical power of QAMsymbol1}) \times (\text{optical power of QAMsymbol2})} dt$$

- [0047]
- [0048] 여기서 T_s 는 심볼 주기를 나타내고, QAM symbol1과 QAM symbol2는 광 신호에서 시간적으로 인접한 2개의 심볼을 나타낸다.
- [0049] 수학식 1에 광 위상 변조에 따른 위상 변이량(θ)을 반영하면, 위상 광 신호의 심볼 평균값은 수학식 2로 획득될 수 있다.

수학식 2

$$\int_0^{T_s} \sqrt{(\text{optical power of QAMsymbol1}) \times (\text{optical power of QAMsymbol2})} dt \times \cos(\theta)$$

- [0050]
- [0051] $\cos(\theta)$ 는 -1에서 1 사이의 값을 가질 수 있고, 수학식 1은 수신 광 신호의 세기에 따라 획득되는 값이므로, QAM symbol1과 QAM symbol2 및 세기 변조 설정값을 통해서 수학식 2가 계산될 수 있다.
- [0052] 도 4는 광 세기 변조기의 일 예로 MZM의 변조 특성 곡선을 도시하였다. 도 4에서 x축은 광 세기 변조기에 인가되는 세기 신호를 나타내고, y축은 출력되는 광 세기 신호를 나타낸다. 도 4에 도시된 바와 같이, MZM은 바이어스를 기준으로 지정된 스윙폭 이내의 세기로 세기 신호를 광 세기 신호로 변조한다. 따라서 광 세기 변조된 광 세기 신호는 바이어스 - 스윙 ~ 바이어스 + 스윙의 범위의 세기로 변조된다.
- [0053] 한편 도 5에서 16 QAM 변조는 16개의 심볼로 표현될 수 있으며, 16개의 점 중 원점에서 가장 먼 위치에 해당하는 4개의 꼭지점에서 광 세기 신호가 최대가 된다. 이에 수학식 2의 최대값(max)은 QAM symbol1과 QAM symbol2

가 도 5의 정상도 상에서 동일한 점이고, 4개의 꼭지점 중 하나이어야 한다. 반대로 수학식 2의 최소값(min)은 QAM symbol1과 QAM symbol2가 정상도 상에서 서로 가장 먼 거리에 위치한 경우에 발생한다. 광 세기 변조, 즉 QAM 변조를 하지 않는 경우, 스윙폭이 0이며, 이 경우의 수학식 2의 값이 이상값(ideal)이라 한다면, 위상 변조된 광 신호는 광 세기 변조에 의해 (min/ideal) ~ (max/ideal)의 비율로 왜곡되는 것으로 볼 수 있다.

[0054] 따라서 왜곡을 고려할 때, 광 위상 변조는 이상값의 범위(-ideal ~ ideal)가 아니라 최소값의 범위(-min ~ min)에서 수행되어야 한다. 그리고 최소값의 범위(-min ~ min)에서 위상 광 신호가 도 3에 도시된 레벨 중 하나의 레벨값($A = [a_1, a_2, a_3, a_4]$)을 갖도록 하기 위해서는 위상 변이량(θ)이 수학식 3을 만족해야 한다.

수학식 3

$$\cos(\theta) = \frac{\langle A \rangle}{\int_0^{T_s} \sqrt{(\text{optical power of QAMsymbol1}) \times (\text{optical power of QAMsymbol2})} dt}$$

[0055]

[0056] 광 위상 변조기(172)는 인가되는 위상 신호의 세기(전압)에 따라 위상을 인가되는 광 신호의 위상을 변조하며, 이상적으로는 위상 신호의 세기와 위상 변이량(θ)은 선형적인 관계를 갖는다. 따라서 광 위상 변조기(172)가 위상 변이량(θ)만큼 위상 변조를 수행하기 위해 요구되는 위상 신호의 세기(전압)는 $k\theta$ 로 표현될 수 있다. 여기서 k 는 광 위상 변조기(172)의 전압-위상 파라미터로 볼 수 있다.

[0057] 그러므로 세기 및 위상 변조를 수행하여 광 신호를 전송하는 광 송신 장치(100)에서 위상 왜곡을 선 보상하기 위해서는 광 위상 변조기(172)에 인가되는 위상 신호가 수학식 4에 따라 변경되어야 한다.

수학식 4

$$k \cos^{-1} \left(\frac{\langle A \rangle}{\int_0^{T_s} \sqrt{(\text{optical power of QAMsymbol1}) \times (\text{optical power of QAMsymbol2})} dt} \right)$$

[0058]

[0059] 이에 선 보상부(130)는 광 위상 변조기(172)에 수학식 4에 따라 보상된 위상 신호가 인가되도록 데이터 변환부(120)로부터 인가되는 제1 및 제2 신호 중 위상 변조될 제2 신호를 미리 보상한다. 다시 말해 선 보상부(130)는 광 세기 및 위상 변조에 의해 광 신호에서 연속하는 두 심볼 사이의 세기 변화로 인해 위상차가 정확하게 세기로 변환되지 않는 문제를 두 심볼 사이의 추가적인 위상 변화로 보상할 수 있도록 한다.

[0060] 여기서 선 보상부(130)는 광 위상 변조기(172)의 특성에 따른 전압-위상 파라미터(k)와 함께 제2 증폭기(152) 및 제2 감쇠기(162)의 증폭 및 감쇠 특성이 미리 저장되어 선 보상을 수행할 수 있다.

[0061] 또한 선 보상부(130)는 데이터 변환부(120)에 포함되어 사전에 데이터에 따른 선 보상값이 미리 테이블 형태로 저장되고, 이후 데이터가 인가되면 데이터 변환부(120)가 저장된 테이블을 확인하여 선 보상된 신호를 출력하도록 구성될 수도 있다. 여기서는 설명의 편의를 위하여 구분하여 도시하였으나, 데이터 변환부(120), 선 보상부(130) 및 과형 발생기(140)는 신호 보상 발생부로 통합될 수 있다.

[0062] 또한 여기서는 일 예로서 선 보상부(130)가 데이터 변환부(120)와 과형 발생기(140) 사이에 위치하거나 데이터 변환부(120)에 포함되는 것으로 설명하였으나, 선 보상부(130)는 광 위상 변조기(172) 이전단에 배치되어 광 위상 변조기(172)로 인가되는 위상 신호에 대해 선 보상을 수행하도록 구성될 수도 있다.

[0063] 결과적으로 본 실시예에서는 광 세기 및 위상 동시 변조하는 광 통신 시스템에서 광 수신 장치(200)가 지연 간섭계를 이용함에 따라 광 위상 검출 과정에서 발생될 수 있는 왜곡을 광 송신 장치(100)가 사전에 보상하여 전송할 수 있도록 함으로써, 전송 용량 향상을 위해 위상 변조 레벨이 증가되더라도 광 수신 장치(200)가 정확하게 데이터를 복원할 수 있도록 할 수 있다.

[0064] 도 6은 본 발명의 일 실시예에 따른 광 송신 방법을 나타낸다.

[0065] 도 1 내지 도 5를 참조하면, 본 실시예에 따른 광 송신 방법은 우선 전송할 데이터를 세기 및 위상 신호로 변환한다(S10). 이때 데이터에 대응하는 심볼을 확인하고, 확인된 심볼의 세기 및 위상에 대응하는 세기 및 위상

신호를 획득할 수 있다.

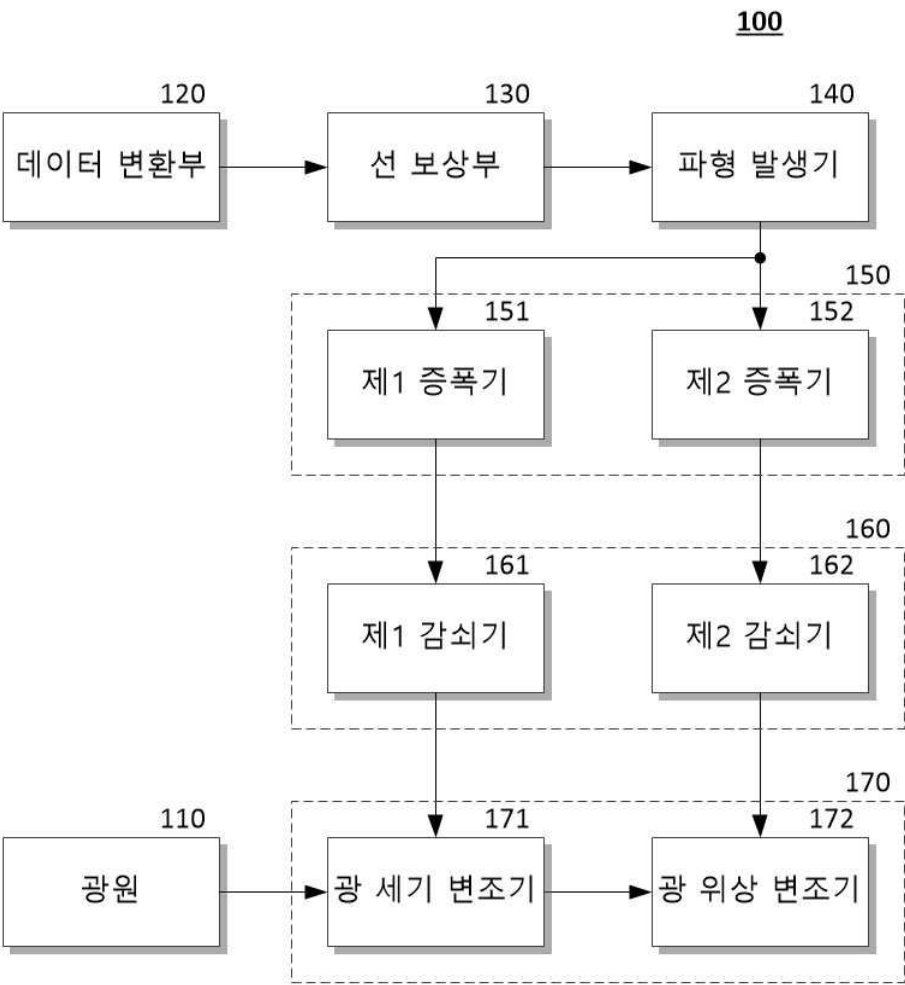
- [0066] 그리고 세기 및 위상 신호 중 심볼의 위상에 대응하는 위상 신호에 대해, 광 세기 및 위상 변조 전송 방식에서 광 수신 장치(200)가 지연 간섭계를 이용함에 따라 광 위상을 광 세기로 변환하는 과정에서 발생하는 위상 왜곡을 선 보상한다(S20). 선 보상은 위상 변조된 연속하는 두 심볼 사이의 위상 차에 따른 세기가 일정해야 함에도 세기 변조가 함께 수행되어 변동되는 문제를 해소하기 위해, 미리 연속하는 두 심볼 사이에 위상차를 수정함으로써, 선 보상이 수행되도록 한다.
- [0067] 이때 선 보상은 수학적 4를 기반으로 광 위상 변조를 위해 이용하는 광 위상 변조기의 특성을 적용하여 선 보상을 수행할 수 있다.
- [0068] 한편, 세기 신호와 선 보상된 위상 신호에 대해 세기 및 위상 변조에 적합한 세기를 갖도록 증폭 및 감쇠를 수행할 수 있다(S30). 만일 증폭 및 감쇠를 수행하는 경우, 증폭 및 감쇠에 따른 신호 변화를 사전에 반영하여 선 보상을 수행할 수도 있으며, 경우에 따라서는 위상 신호를 증폭 및 감쇠한 이후 선 보상할 수도 있다.
- [0069] 그리고 세기 신호에 따라 광원에서 인가되는 광을 세기 변조하여 광 세기 신호를 획득한다(S40). 이후, 광 세기 변조된 광 세기 신호를 보상된 위상 신호에 따라 광 위상 변조하여, 세기 및 위상 변조된 광 신호를 출력한다(S50).
- [0070] 본 발명에 따른 방법은 컴퓨터에서 실행시키기 위한 매체에 저장된 컴퓨터 프로그램으로 구현될 수 있다. 여기서 컴퓨터 판독가능 매체는 컴퓨터에 의해 액세스 될 수 있는 임의의 가용 매체일 수 있고, 또한 컴퓨터 저장 매체를 모두 포함할 수 있다. 컴퓨터 저장 매체는 컴퓨터 판독가능 명령어, 데이터 구조, 프로그램 모듈 또는 기타 데이터와 같은 정보의 저장을 위한 임의의 방법 또는 기술로 구현된 휘발성 및 비휘발성, 분리형 및 비분리형 매체를 모두 포함하며, ROM(판독 전용 메모리), RAM(랜덤 액세스 메모리), CD(컴팩트 디스크)-ROM, DVD(디지털 비디오 디스크)-ROM, 자기 테이프, 플로피 디스크, 광데이터 저장장치 등을 포함할 수 있다.
- [0071] 본 발명은 도면에 도시된 실시예를 참고로 설명되었으나 이는 예시적인 것에 불과하며, 본 기술 분야의 통상의 지식을 가진 자라면 이로부터 다양한 변형 및 균등한 타 실시예가 가능하다는 점을 이해할 것이다.
- [0072] 따라서, 본 발명의 진정한 기술적 보호 범위는 첨부된 청구범위의 기술적 사상에 의해 정해져야 할 것이다.

부호의 설명

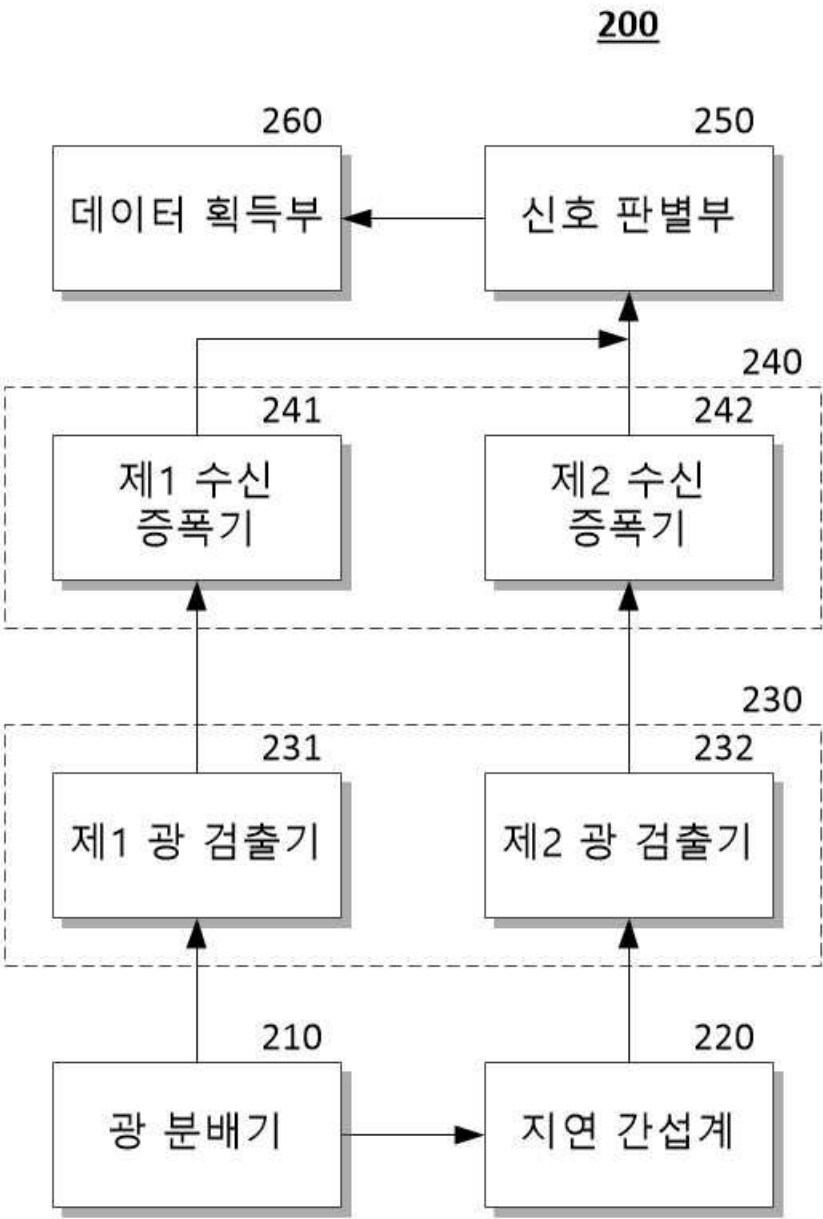
- | | | |
|--------|---------------|---------------|
| [0073] | 100: 광 송신 장치 | 110: 광원 |
| | 120: 데이터 변환부 | 130: 선 보상부 |
| | 140: 파형 발생기 | 150: 증폭부 |
| | 160: 감쇠부 | 170: 광 변조부 |
| | 171: 광 세기 변조기 | 172: 광 위상 변조기 |
| | 200: 광 수신 장치 | 210: 광 분배기 |
| | 220: 지연 간섭계 | 230: 광 검출부 |
| | 240: 수신 증폭부 | 250: 신호 판별부 |
| | 260: 데이터 획득부 | |

도면

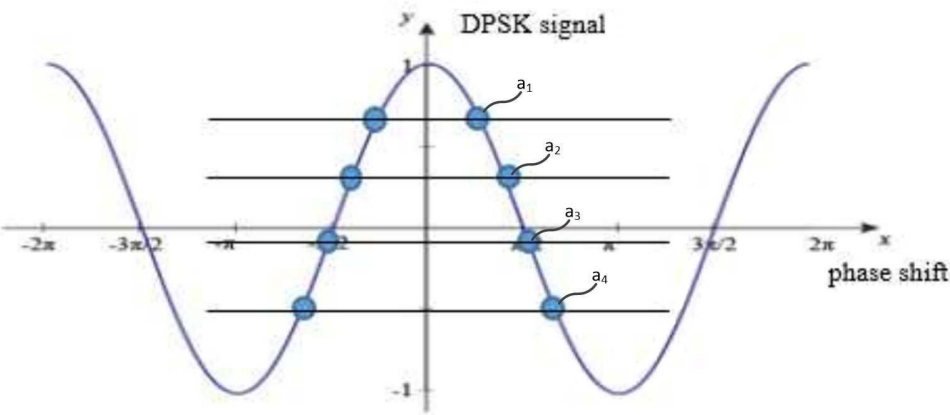
도면1



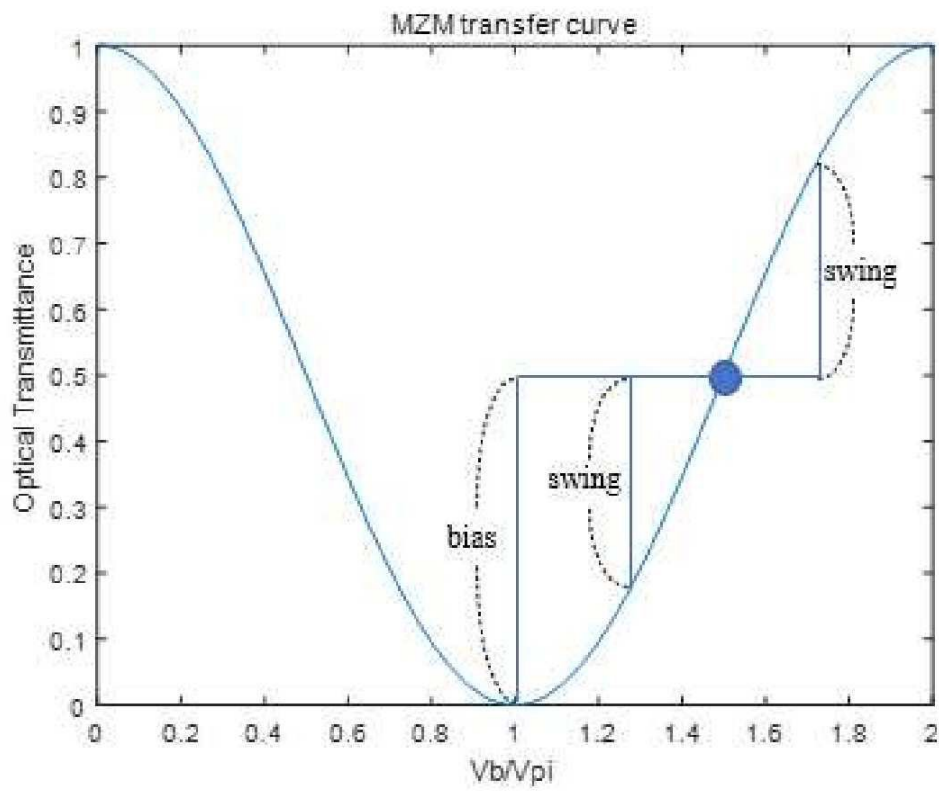
도면2



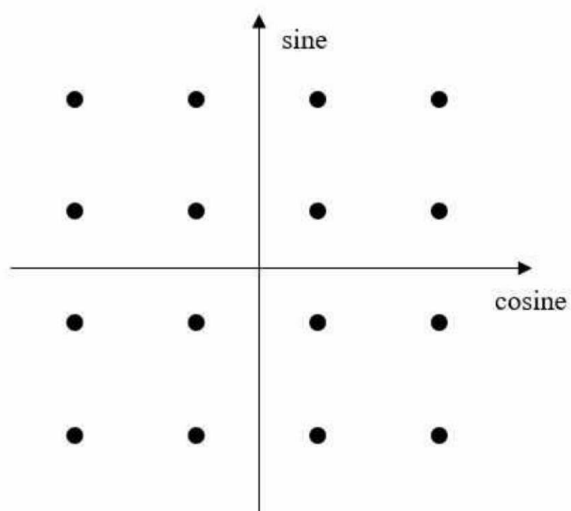
도면3



도면4



도면5



도면6

