



(19) 대한민국특허청(KR)

(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2023년03월27일

(11) 등록번호 10-2515056

(24) 등록일자 2023년03월23일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)

H04B 10/54 (2013.01) H04B 10/2507 (2013.01)

H04B 10/556 (2013.01) H04L 27/36 (2006.01)

(52) CPC특허분류

H04B 10/541 (2013.01)

H04B 10/2507 (2013.01)

(21) 출원번호 10-2021-0145264

(22) 출원일자 2021년10월28일

심사청구일자 2021년10월28일

(56) 선행기술조사문헌

JP2019022061 A*

KR1020210124967 A*

*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)

박진우

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

(뒷면에 계속)

(74) 대리인

민영준

전체 청구항 수 : 총 8 항

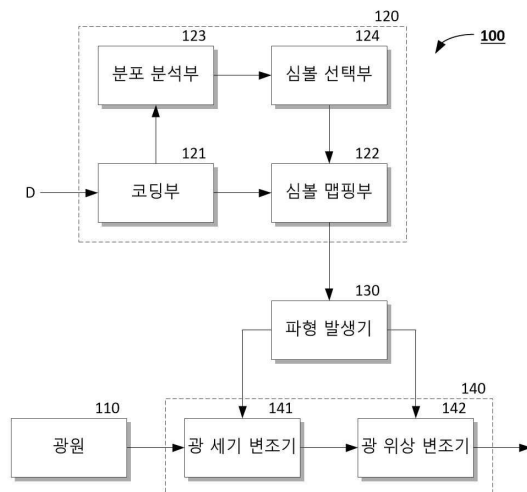
심사관 : 신상길

(54) 발명의 명칭 차원간 간섭을 완화할 수 있는 광 송신 장치 및 방법

(57) 요약

본 발명은 세기 신호와 위상 신호에 응답하여 광원에서 인가된 광을 세기 변조 및 위상 변조하여 광 신호를 출력하는 광 변조부, 전송할 데이터 비트열을 기지정된 방식으로 코딩하여 획득되는 다수의 코드의 발생 빈도를 분석하고, 분석된 발생 빈도에 따라 다수의 코드를 기지정된 세기 및 위상 변조 방식에 따른 정상도의 다수의 심볼에 맵핑하는 심볼 변환부 및 다수의 코드 각각에 맵핑된 다수의 심볼 각각에 대응하여 세기 변조를 제어하기 위한 세기 신호와 위상 변조를 제어하기 위한 위상 신호를 획득하는 파형 발생기를 포함하여, 수신 장치의 구조 변화 없이 대역폭을 효율적으로 사용할 수 있도록 하는 광 송신 장치 및 방법을 제공한다.

대표도 - 도1



(52) CPC특허분류

H04B 10/556 (2013.01)

H04L 27/363 (2013.01)

(72) 발명자

이정문

서울특별시 서대문구 연세로 50, 연세대학교 제3공
학관 232호(신촌동)

현영진

서울특별시 서대문구 연세로 50, 연세대학교 제3공
학관 232호(신촌동)

명세서

청구범위

청구항 1

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

전송할 데이터 비트열을 기지정된 방식으로 코딩하여 획득되는 다수의 코드의 발생 빈도를 분석하고, 분석된 발생 빈도에 따라 상기 다수의 코드를 기지정된 세기 및 위상 변조 방식에 따른 정상도의 다수의 심볼에 맵핑하는 심볼 변환부; 및

상기 다수의 코드 각각에 맵핑된 다수의 심볼 각각에 대응하여 세기 변조를 제어하기 위한 상기 세기 신호와 위상 변조를 제어하기 위한 상기 위상 신호를 획득하는 파형 발생기를 포함하되,

상기 심볼 변환부는

상기 데이터 비트열을 인가받아 기지정된 방식으로 코딩하여 상기 다수의 코드를 획득하는 코딩부;

상기 다수의 코드 각각의 발생 빈도를 분석하는 분포 분석부;

상기 다수의 코드에서 각 코드의 발생 빈도가 높을수록, 상기 정상도의 다수의 심볼 중 더 작은 진폭의 심볼을 선택하는 심볼 선택부; 및

상기 다수의 코드 각각에 대응하여 선택된 심볼을 맵핑하는 심볼 맵핑부를 포함하는 광 송신 장치.

청구항 2

삭제

청구항 3

제1항에 있어서, 상기 심볼 맵핑부는

QAM-MDPSK(Quadrature Amplitude Modulation - M-ary Differential Phase Shift Keying) 변조 기법에 따라 상기 다수의 코드를 상기 심볼에 맵핑하는 광 송신 장치.

청구항 4

제3항에 있어서, 상기 심볼 맵핑부는

상기 다수의 코드 각각을 판단 영역이 6각형 형상을 갖는 헥사-QAM 기반의 다수의 심볼 중 선택된 심볼과 맵핑하는 광 송신 장치.

청구항 5

제1항에 있어서, 상기 광 변조부는

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

상기 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 6

전송할 데이터 비트열을 기지정된 방식으로 코딩하여 획득되는 다수의 코드의 발생 빈도를 분석하고, 분석된 발

생 빈도에 따라 상기 다수의 코드를 기지정된 세기 및 위상 변조 방식에 따른 정상도의 다수의 심볼에 맵핑하는 단계;

상기 다수의 코드 각각에 맵핑된 다수의 심볼 각각에 대응하여 세기 변조를 제어하기 위한 세기 신호와 위상 변조를 제어하기 위한 위상 신호를 획득하는 단계; 및

세기 신호와 위상 신호에 응답하여 광원에서 인가된 광을 세기 변조 및 위상 변조하여 광 신호를 출력하는 단계를 포함하되,

상기 다수의 심볼에 맵핑하는 단계는

상기 데이터 비트열을 인가받아 기지정된 방식으로 코딩하여 상기 다수의 코드를 획득하는 단계;

상기 다수의 코드 각각의 발생 빈도를 분석하는 단계;

상기 다수의 코드에서 각 코드의 발생 빈도가 높을수록, 상기 정상도의 다수의 심볼 중 더 작은 진폭의 심볼을 선택하는 단계; 및

상기 다수의 코드 각각에 대응하여 선택된 심볼을 맵핑하는 단계를 포함하는 광 송신 방법.

청구항 7

삭제

청구항 8

제6항에 있어서, 상기 선택된 심볼을 맵핑하는 단계는

QAM-MDPSK(Quadrature Amplitude Modulation - M-ary Differential Phase Shift Keying) 변조 기법에 따라 상기 다수의 코드를 상기 심볼에 맵핑하는 광 송신 방법.

청구항 9

제8항에 있어서, 상기 선택된 심볼을 맵핑하는 단계는

상기 다수의 코드 각각을 판단 영역이 6각형 형상을 갖는 헥사-QAM 기반의 다수의 심볼 중 선택된 심볼과 맵핑하는 광 송신 방법.

청구항 10

제6항에 있어서, 상기 광 신호를 출력하는 단계는

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

상기 위상 신호에 응답하여, 상기 광 세기 신호를 인가받아 위상을 변조하여 상기 광 신호를 출력하는 단계를 포함하는 광 송신 방법.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 발명은 광 송신 장치 및 방법에 관한 것으로, 차원간 간섭을 완화할 수 있는 광 송신 장치 및 방법에 관한 것이다.

배경 기술

[0002] 차세대 광 가입자망 시스템은 다양한 품질의 서비스를 사용자에게 제공하고 통합망을 구축하는 방향으로 발전하며 점차 트래픽이 높아지고 있다. 이를 해결하기 위한 방법으로 높은 수신 감도를 가지는 코히어런트 광전송과 높은 주파수 효율을 가지는 다차원 광전송이 대안으로 제시되고 있다. 그러나 코히어런트 광전송의 경우 별도의 광원과 복잡한 송수신단 구조를 이용하는 고가의 시스템이 필요하다. 이에 따라 직접 검출 기반의 다차원 광전송 기술이 활발하게 연구되고 있다.

- [0003] 다차원 광전송 기술은 광신호의 세기와 위상 등의 서로 다른 차원 요소를 이용하여 광전송의 대역폭 효율을 향상시킬 수 있는 기술이다. 다차원 광전송 기술에는 ASK-DPSK(Amplitude Shift Keying-Differential Phase-Shift Keying) 및 QAM-DPSK(Quadrature Amplitude Modulation-Differential Phase-Shift Keying)과 같이 광의 세기와 위상을 동시에 변조하여 전송함으로써 전송 용량을 증대시키는 기법이 있다. 다만 단일 변조기를 이용한 ASK-DPSK와 QAM-DPSK는 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.
- [0004] 그러나 현재 가장 일반적으로 이용되는 IM/DD(Intensity Modulation/Direct Detection) 기법에서는 수신 구조에 따른 차원간 간섭이 발생하여 성능이 제한되는 한계점이 있다.
- [0005] 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(beatting)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.
- [0006] 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 광 과 지연된 광 사이의 비팅 결과에 변화가 나타나기 때문이다. 이러한 광 세기 변조에 의한 광 위상 신호에의 영향은 ASK-DPSK와 QAM-DPSK와 같이 위상 차가 크게 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

- [0007] (특허문헌 0001) 한국 등록 특허 제10-1382619호 (2014.04.01 등록)

발명의 내용

해결하려는 과제

- [0008] 본 발명의 목적은 전송 신호의 성상도를 기하학적 및 확률적으로 최적화하여 차원간 간섭을 최소화할 수 있는 광 송신 장치 및 방법을 제공하는데 있다.
- [0009] 본 발명의 다른 목적은 차원간 간섭을 줄여 수신 장치의 구조 변화없이 높은 대역폭 효율을 확보할 수 있는 광 송신 장치 및 방법을 제공하는데 있다.

과제의 해결 수단

- [0010] 상기 목적을 달성하기 위한 본 발명의 일 실시예에 따른 광 송신 장치 및 방법은 세기 신호와 위상 신호에 응답하여 광원에서 인가된 광을 세기 변조 및 위상 변조하여 광 신호를 출력하는 광 변조부; 전송할 데이터 비트열을 기지정된 방식으로 코딩하여 획득되는 다수의 코드의 발생 빈도를 분석하고, 분석된 발생 빈도에 따라 상기 다수의 코드를 기지정된 세기 및 위상 변조 방식에 따른 성상도의 다수의 심볼에 맵핑하는 심볼 변환부; 및 상기 다수의 코드 각각에 맵핑된 다수의 심볼 각각에 대응하여 세기 변조를 제어하기 위한 상기 세기 신호와 위상 변조를 제어하기 위한 상기 위상 신호를 획득하는 파형 발생기를 포함한다.
- [0011] 상기 심볼 변환부는 상기 데이터 비트열을 인가받아 기지정된 방식으로 코딩하여 상기 다수의 코드를 획득하는 코딩부; 상기 다수의 코드 각각의 발생 빈도를 분석하는 분포 분석부; 상기 다수의 코드에서 각 코드의 발생 빈도가 높을수록, 상기 성상도의 다수의 심볼 중 더 작은 진폭의 심볼을 선택하는 심볼 선택부; 및 상기 다수의 코드 각각에 대응하여 선택된 심볼을 맵핑하는 심볼 맵핑부를 포함할 수 있다.

- [0012] 상기 심볼 맵핑부는 QAM-MDPSK(Quadrature Amplitude Modulation - M-ary Differential Phase Shift Keying) 변조 기법에 따라 상기 다수의 코드를 상기 심볼에 맵핑할 수 있다.
- [0013] 상기 심볼 맵핑부는 상기 다수의 코드 각각을 판단 영역이 6각형 형상을 갖는 헥사-QAM 기반의 다수의 심볼 중 선택된 심볼과 맵핑할 수 있다.
- [0014] 상기 광 변조부는 상기 세기 신호에 응답하여, 상기 광원에서 인가된 광의 세기를 변조하여 광 세기 신호를 출력하는 광 세기 변조기; 및 상기 위상 신호에 응답하여, 상기 광 세기 변조기에서 인가되는 광 세기 신호의 위상을 변조하여 상기 광 신호를 출력하는 광 위상 변조기를 포함할 수 있다.
- [0015] 상기 목적을 달성하기 위한 본 발명의 다른 실시예에 따른 광 송신 장치 및 방법은 전송할 데이터 비트열을 기 지정된 방식으로 코딩하여 획득되는 다수의 코드의 발생 빈도를 분석하고, 분석된 발생 빈도에 따라 상기 다수의 코드를 기지정된 세기 및 위상 변조 방식에 따른 성상도의 다수의 심볼에 맵핑하는 단계; 상기 다수의 코드 각각에 맵핑된 다수의 심볼 각각에 대응하여 세기 변조를 제어하기 위한 세기 신호와 위상 변조를 제어하기 위한 위상 신호를 획득하는 단계; 및 세기 신호와 위상 신호에 응답하여 광원에서 인가된 광을 세기 변조 및 위상 변조하여 광 신호를 출력하는 단계를 포함한다.

발명의 효과

- [0016] 따라서, 본 발명의 실시예에 따른 광 송신 장치 및 방법은 비팅 신호의 편차가 저감되어 차원간 간섭이 최소화 되도록 기하학적 및 확률적으로 성상도를 최적화하여 전송 신호를 전송함으로써 높은 심볼 밀도에도 전송 오류가 발생하지 않도록 할 수 있어 수신 장치의 구조 변화 없이 대역폭을 효율적으로 사용할 수 있도록 한다.

도면의 간단한 설명

- [0017] 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 진폭 변조의 진폭에 따른 위상 광 신호의 변화를 나타낸다.
- 도 4는 도 1의 심볼 맵핑부가 이용하는 QAM-DPSK 성상도의 일 예를 나타낸다.
- 도 5는 도 4의 QAM-DPSK 성상도에 따른 각 QAM 심볼의 진폭을 나타낸다.
- 도 6은 본 발명의 일 실시예에 따른 광 송신 방법을 나타낸다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0018] 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.
- [0019] 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.
- [0020] 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.
- [0021] 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 진폭 변조의 진폭에 따른 위상 광 신호의 변화를 나타낸다.
- [0022] 도 1을 참조하면, 본 실시예에 따른 광 송신 장치(100)는 광원(110), 심볼 변환부(120), 파형 발생기(130) 및 광 변조부(140)를 포함할 수 있다.
- [0023] 광원(110)은 미리 지정된 파장과 파형의 광을 생성하여 방출한다. 일 예로 광원은 연속파(continuous wave) 모

드의 광을 생성하여 방출할 수 있으며, 레이저 다이오드(laser diode) 등으로 구현될 수 있다.

- [0024] 심볼 변환부(120)는 전송할 데이터를 인가받아 변조할 방식에 따른 심볼 신호로 변환한다.
- [0025] 본 실시예에서 광 송신 장치(100)는 데이터에 대응하여 광을 세기 및 위상 변조하여 전송하며, 여기서는 일 예로 심볼 변환부(120)가 QAM-MDPSK 변조 기법에 따라 데이터를 신호로 변환하는 것으로 가정하여 설명한다. 이에 심볼 변환부(120)는 데이터에 대응하는 세기 및 위상을 나타내는 심볼을 확인하고, 확인된 심볼에 대응하는 신호를 출력한다. 심볼 변환부(120)는 확인된 심볼의 세기와 위상에 각각 대응하는 제1 및 제2 신호를 출력할 수 있다.
- [0026] 특히 본 실시예에서 심볼 변환부(120)는 헥사-QAM(Hexagonal-QAM) 기반의 기하학적 성상 성형(Geometric Constellation Shaping: GCS) 기법을 이용하여 심볼 밀도를 높일 수 있도록 함과 동시에 진폭이 큰 신호가 발생할 확률이 줄어들도록 확률적 성상 성형(Probabilistic Constellation Shaping: PCS) 기법을 이용하여 심볼 분포를 조절함으로써, 위상 변조된 신호 검출 시에 세기 변조에 따른 오류가 발생할 가능성을 감소시킨다. 즉 위상 차원에 대한 세기 차원의 간섭을 줄여 높은 대역폭 효율을 달성할 수 있도록 한다.
- [0027] 심볼 변환부(120)에 대한 상세한 설명은 후술하도록 한다.
- [0028] 파형 발생기(130)는 제1 및 제2 신호 각각에 대응하는 파형의 세기 신호와 위상 신호를 생성하여 출력한다. 즉 파형 발생기(130)는 세기 변조 방식에 따라 변조되어 전송될 제1 신호를 인가받아 대응하는 파형의 세기 신호를 생성하고, 위상 변조 방식에 따라 변조되어 전송될 제2 신호를 인가받아 대응하는 파형의 위상 신호를 생성하여 광 변조부(140)로 전달한다. 여기서 파형 발생기(130)는 일 예로 AWG(arbitrary waveform generator)로 구현될 수 있다.
- [0029] 광 변조부(140)는 파형 발생기(130)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 광 섬유를 통해 광 수신 장치로 출력한다.
- [0030] 광 변조부(140)는 광 세기 변조기(141) 및 광 위상 변조기(142)를 포함할 수 있다. 광 세기 변조기(141)는 파형 발생기(130)로부터 인가되는 세기 신호에 따라 광원(110)에서 인가되는 광을 세기 변조하여 광 세기 신호를 출력한다. 여기서 광 세기 변조기(141)는 일 예로 마흐젠더 변조기(Mach-Zehnder Modulator: 이하 MZM)로 구현될 수 있다.
- [0031] 그리고 광 위상 변조기(142)는 파형 발생기(130)로부터 인가되는 위상 신호에 따라 광 세기 변조기(141)에서 세기 변조되어 인가되는 광 세기 신호의 위상을 변조하여 세기 및 위상 변조된 광 신호를 출력한다.
- [0032] 한편 도 2를 참조하면, 광 수신 장치(200)는 광 분배기(210), 지연 간섭계(220), 광 검출부(230), 신호 판별부(240) 및 데이터 획득부(250)를 포함할 수 있다.
- [0033] 광 분배기(210)는 광 송신 장치(100)로 광 섬유 등을 통해 전송된 광 신호를 수신하고 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.
- [0034] 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 일 예로 MZDI(Mach-Zehnder Delay Interferometer)로 구현될 수 있다.
- [0035] MZDI로 구현되는 지연 간섭계(220)는 인가되는 수신 광 신호가 지연 경로와 비지연 경로를 각각 경유하도록 하여, 지연 경로에 의해 지연된 수신 광 신호와 비지연 경로에서 지연되지 않은 수신 광 신호를 서로 비팅함으로써, 지연된 수신 광 신호와 지연되지 않은 수신 광 신호 사이의 위상차에 따른 세기의 광을 갖는 위상 광 신호를 출력한다. 즉 지연 간섭계(220)는 수신 광 신호의 위상차를 세기로 변환하여 위상 광 신호를 획득한다.
- [0036] 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 각각에 대해 기지정된 심볼 주기(T)동안의 광 세기를 누적 검출하여 제1 및 제2 수신 신호를 획득한다. 광 검출부(230)는 수신 광 신호를 인가받아 심볼 주기(T)동안 누적 광 세기를 검출하여 제1 수신 신호를 획득하는 제1 광 검출기(231)와 위상 광 신호를 인가받아 심볼 주기(T)동안 누적 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.

- [0037] 신호 판별부(240)는 증폭된 제1 및 제2 수신 신호를 인가받아 증폭된 제1 및 제2 수신 신호를 판별한다. 신호 판별부(240)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.
- [0038] 데이터 획득부(250)는 신호 판별부(240)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(250)는 광 송신 장치(100)에 적용된 변조 기법에 기반하여 판별된 제1 및 제2 수신 신호로부터 심볼을 추출하여 데이터를 복원할 수 있다.
- [0039] 단일 수신 광 신호의 세기가 균일하다면, 상기한 광 수신 장치(200)의 지연 간섭계(220)에서 지연된 수신 광 신호와 지연되지 않은 수신 신호의 세기 차이는 위상 변조에 의해서만 발생하므로, 위상 광 신호의 세기 또한 지정된 특정 레벨로 검출된다. 그러나 본 실시예에서는 광 송신 장치(100)로부터 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 수신 광 신호의 세기 변화로 인해, 제2 수신 신호의 레벨을 오판별하게 될 수 있다.
- [0040] 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 신호를 비팅하여 나타나는 광 세기 차로부터 추출되는 신호이므로 세기 변조에 의한 영향을 크게 받는다.
- [0041] 구체적으로 제2 광 검출기(232)에 심볼 주기(T) 동안 인가되는 위상 광 신호(I(t)), 즉 제2 수신 신호는 수학적 식 1과 같이 획득된다.

수학적 식 1

$$[0042] \int_0^T I(t)dt = \frac{1}{2}kRP\cos(\phi_n(t) - \phi_{n-1}(t)) \int_0^T A_m(t)A_{m-1}(t)dt$$

[0043] (여기서 P는 광원의 평균 파워, R은 광 검출기의 수신 감도(responsivity), k는 미리 지정된 비례 상수이다. 그리고 $\phi_n(t)$, $\phi_{n-1}(t)$ 는 각각 위상 변조에 따른 n번째 심볼과 n-1번째 심볼의 위상을 나타내고, $A_m(t)$ 와 $A_{m-1}(t)$ 는 각각 진폭 변조에 따른 m번째 심볼과 m-1번째 심볼의 진폭을 나타낸다.)

[0044] 수학적 식 1에 따르면, 제2 수신 신호는 위상 변조에 따른 심볼간 위상차($\phi_n(t) - \phi_{n-1}(t)$)뿐만 아니라, m번째 심볼과 m-1번째 심볼의 진폭($A_m(t)$, $A_{m-1}(t)$)에 의해서도 변화하게 됨을 알 수 있다. 즉 상기한 바와 같이, 광 통신 시스템이 QAM-MDPSK 변조 기법에 따라 통신을 수행하는 경우, MDPSK 수신 성능은 QAM 심볼에 영향을 받게 되며, 이는 차원간 간섭이 발생된 것으로 볼 수 있다.

[0045] 도 3은 QAM 변조에 따른 QAM 심볼의 진폭이 서로 상이한 경우의 위상 광 신호(I(t))의 변화를 나타내며, 위상 광 신호(I(t))의 면적을 제2 수신 신호로 볼 수 있다.

[0046] 도 3에서 (a)와 (b)는 각각 QAM 변조에 의한 진폭 변화가 크지 않은 경우의 제2 수신 신호의 최대값과 최소값을 나타내고, (c)와 (d)는 각각 진폭 변화가 큰 경우의 제2 수신 신호의 최대값과 최소값을 나타낸다.

[0047] (a) 및 (c)를 비교해보면, QAM 변조에 의한 진폭 변화가 크지 않은 경우보다 진폭의 변화가 큰 경우에 제2 수신 신호의 최대값은 더 크게 나타나게 되고, 최소값은 (b) 및 (d)에 도시된 바와 같이, 더 작게 나타나게 됨을 알 수 있다. 즉 QAM 변조에 의한 진폭 변화가 큰 경우에 제2 수신 신호의 최대값 및 최소값의 편차가 더 크게 나타나게 된다. 이는 QAM 변조에 의한 진폭 변화가 클수록 QAM 변조 성분이 제2 수신 신호에 더 많은 영향을 미치게 됨을 의미한다.

[0048] 그러므로 수학적 식 1에서 QAM 변조에 의한 간섭 성분인 $\int_0^T A_m(t)A_{m-1}(t)dt$ 의 편차를 줄인다면, 위상 변조에 대한 진폭 변조의 간섭, 즉 차원간 간섭을 줄여 오류를 저감시킬 수 있다. 이는 MDPSK 변조된 심볼을 더욱 정확하게 추출할 수 있도록 하거나, MDPSK 변조 레벨을 확장시켜 대역폭 효율을 높일 수 있도록 한다.

- [0049] 이에 본 실시예에 따른 광 송신 장치는 QAM-MDPSK 변조 시에 QAM 심볼간 거리를 줄여 MDPSK에 대한 간섭이 최소화되도록 한다. 특히 QAM 변조 시에 기하학적 성상 성형 기법과 확률적 성상 성형 기법을 함께 적용함으로써, 큰 진폭을 갖는 QAM 심볼이 나타날 가능성을 크게 줄인다.
- [0050] 다시 도 1을 참조하면, 심볼 변환부(120)는 코딩부(121), 심볼 맵핑부(122), 분포 분석부(123) 및 심볼 선택부(124)를 포함할 수 있다.
- [0051] 우선 코딩부(121)는 전송하고자 하는 데이터(D)가 인가되면, 인가된 데이터의 비트열을 기지정된 방식으로 코딩하여 코드를 획득한다.
- [0052] 심볼 맵핑부(122)는 획득된 코드를 QAM-MDPSK 변조 기법에 따른 세기 및 위상을 나타내는 심볼에 맵핑하고, 맵핑된 심볼에 대응하는 신호를 출력한다. 심볼 맵핑부(122)는 확인된 심볼의 세기와 위상에 각각 대응하는 제1 및 제2 신호를 출력할 수 있다.
- [0053] 도 4는 도 1의 심볼 맵핑부가 이용하는 QAM-DPSK 성상도의 일 예를 나타내고, 도 5는 도 4의 QAM-DPSK 성상도에 따른 각 QAM 심볼의 진폭을 나타낸다.
- [0054] 도 4를 참조하면, 심볼 맵핑부(122)는 세기의 두 축을 구성하는 QAM-I 와 QAM-Q 로 표현되는 QAM 평면과 위상 축으로 구성되는 3차원 성상도 상의 좌표로 표현되는 심볼에 획득된 코드를 맵핑시킬 수 있다.
- [0055] QAM 변조 기법에서는 일반적으로 4-QAM, 16-QAM 및 64-QAM과 같이 스퀘어-QAM(Square-QAM) 기반의 기하 성상 형성 기법을 이용하여 코드를 맵핑함으로써 대응하는 심볼을 획득한다. 그러나 상기한 바와 같이, 차원간 간섭을 저감시키기 위해서는 QAM 변조에 의한 진폭 변화를 줄여야 하며, 이에 QAM 심볼간 거리를 줄여야 할 필요가 있다. 즉 심볼의 밀도를 높여야 한다.
- [0056] 따라서 본 실시예에서 심볼 맵핑부(122)는 도 4에 도시된 바와 같이, 스퀘어-QAM 보다 높은 심볼 밀도를 나타내는 헥사-QAM(Hexagonal-QAM) 기반의 기하 성상 형성 기법을 이용하여 코드를 맵핑한다.
- [0057] 헥사-QAM 기반의 기하 성상 기법에서는 QAM 평면 상에서 각 심볼을 서로 구분하는 판단 영역이 스퀘어-QAM의 사각형이 아닌 육각형 형태로 구성되어, 전체적으로 벌집 모양의 판단 영역으로 구성되는 성상도가 이용된다. 이와 같은 헥사-QAM 기반의 기하 성상 기법을 이용하는 경우, QAM-I, QAM-Q 평면 상의 원점에 하나의 심볼이 할당되고, 원점의 심볼 주변에 원점으로부터 동일 거리(d1)에 6개의 심볼이 더 추가되어 7개의 심볼이 할당되며, 이후, 원점으로부터의 거리 범위에 따라 19개 등의 심볼이 할당될 수 있는 구조를 갖는다. 따라서 헥사-QAM은 원점으로부터의 거리에 따라 4, 16개의 순서로 심볼을 할당할 수 있는 스퀘어-QAM 보다 더 많은 심볼을 할당할 수 있으므로 높은 심볼 밀도를 가질 수 있다. 이는 다른 말로 동일한 개수의 심볼을 맵핑하는 경우에 QAM 변조에 의한 최대값과 최소값 사이의 편차가 더 작다는 것을 의미한다.
- [0058] 도 4에서 검은색 점들은 일반적인 19 헥사-QAM 심볼에 대한 성상도를 나타내고, 붉은색 점은 검은색 점으로 표현된 일반적인 19 헥사-QAM 심볼과 가장 큰 심볼간 거리를 갖는 보완적 헥사-QAM(Complement Hexagonal-QAM)의 심볼을 나타낸다. 실제 신호 수신 시 심볼 간 거리는 QAM-I와 QAM-Q, Phase 정보를 모두 포함하기 때문에 제한한 Hexagonal-QAM 기반의 GCS를 통해서 QAM 심볼의 밀도를 높였더라도 수신 시의 성능을 확보할 수 있게 된다.
- [0059] 그러므로 심볼 맵핑부(122)는 헥사-QAM 기반의 기하 성상 형성 기법을 이용함으로써, 스퀘어-QAM을 이용하는 경우보다 제2 수신 신호의 최대값 및 최소값의 편차를 줄이고 심볼간 거리(Symbol distance)를 늘려 QAM 변조로 인한 MDPSK 신호 검출 오류를 줄일 수 있다.
- [0060] 특히 본 실시예에서 심볼 맵핑부(122)는 QAM 변조로 인한 MDPSK 신호 검출 오류를 더욱 효과적으로 줄이기 위해 획득된 코드를 심볼 선택부(124)에 의해 선택되는 심볼에 맵핑한다.
- [0061] 이를 위해 분포 분석부(123)는 획득된 코드의 발생 빈도를 분석한다. 분포 분석부(123)는 심볼에 맵핑될 코드들의 발생 빈도를 분석하여 높은 발생 빈도와 낮은 발생 빈도를 갖는 코드를 구분한다. 즉 출현 확률이 높은 코드와 출현 확률이 낮은 코드를 구분한다.
- [0062] 이는 QAM 변조에 따른 진폭의 최대 크기가 클수록, 진폭의 최대값과 최소값 사이의 편차가 크게 나타나므로, 진폭이 큰 심볼이 가능한 선택되지 않도록 하여 해당 심볼이 발생할 확률을 최소화함으로써 QAM 변조로 인한 MDPSK 신호 검출 오류 가능성을 가능한 낮출 수 있도록 하기 위함이다.
- [0063] 따라서 심볼 선택부(124)는 분포 분석부(123)에서 분석된 코드의 발생 빈도에 기초하여, 심볼 맵핑부(122)의 다수의 심볼 중 발생 빈도가 높은 코드가 QAM 변조시에 더 낮은 진폭을 갖는 심볼에 맵핑될 수 있도록 맵핑될 심

볼을 선택한다. 즉 심볼 선택부(124)는 각 코드의 출현 확률에 기초하여, 높은 확률의 코드는 낮은 진폭을 갖는 심볼에 맵핑되고, 낮은 확률의 코드가 더 높은 진폭을 갖는 심볼에 맵핑되도록 맵핑될 심볼을 선택한다.

[0064] 도 4 및 도 5를 참조하면, 도 4에서 위상 변조 레벨이 0과 1에서의 헥사-QAM 심볼은 모두 31개이고, 이들 심볼 각각의 진폭은 도 5와 같이 나타난다. 도 5에 나타난 바와 같이, QAM 심볼의 진폭은 위상 변조 레벨이 0인 QAM 평면에서 원점으로부터 외곽으로 순차적으로 심볼 인덱스를 할당할 때, 심볼 인덱스가 클수록 진폭이 크게 나타남을 알 수 있다.

[0065] 이에 심볼 선택부(124)는 발생 빈도가 가장 높은 코드로부터 발생 빈도가 낮은 코드 순서로, 진폭이 가장 낮은 심볼인 최하위 인덱스 심볼로부터 순차적으로 진폭이 높은 상위 인덱스 심볼을 선택하여, 심볼 맵핑부(122)가 각 코드를 선택된 심볼에 맵핑되도록 한다.

[0066] 결과적으로 본 실시예의 심볼 변환부(120)는 데이터에 대응하는 코드의 발생 빈도에 기초하여, 높은 발생 빈도를 갖는 코드로부터 순차적으로 헥사-QAM 기반의 기하학적 성상도에서 낮은 진폭을 갖는 심볼에 맵핑함으로써, 세기 변조에 따른 진폭의 최대값 및 최소값 사이의 편차가 줄어들게 함으로써 위상 변조에 미치는 영향이 줄어들도록 한다. 즉 차원간 간섭을 저감시킬 수 있다.

[0067] 도 6은 본 발명의 일 실시예에 따른 광 송신 방법을 나타낸다.

[0068] 도 1 내지 도 5를 참조하여 도 6의 광 송신 방법을 설명하면, 우선 전송할 데이터의 비트열을 인가받아 코딩하여 코드로 변환한다(S10). 그리고 변환된 코드의 발생 빈도를 분석한다(S20). 데이터에 대응하는 코드의 발생 빈도가 분석되면, 발생 빈도가 높은 순서로 코드를 선택한다(S30). 그리고 발생 빈도에 따라 순차적으로 선택되는 코드 각각을 QAM-MDPSK 성상도 상에서 헥사-QAM을 기반으로 미리 지정된 다수의 심볼 중 QAM 진폭이 가장 낮은 심볼부터 순차적으로 높은 진폭의 심볼에 맵핑한다(S40).

[0069] 각 코드가 발생 빈도에 기반하여 QAM 진폭이 작은 순서로 심볼에 맵핑되면, 맵핑된 심볼의 세기 및 위상에 각각 대응하는 세기 신호와 위상 신호를 획득한다(S50). 세기 신호와 위상 신호가 획득되면, 획득된 세기 신호에 따라 광원에서 인가되는 광을 세기 변조하여 광 세기 신호를 획득한다(S50). 이후, 광 세기 변조된 광 세기 신호를 보상된 위상 신호에 따라 광 위상 변조하여, 세기 및 위상 변조된 광 신호를 출력한다(S60).

[0070] 본 발명에 따른 방법은 컴퓨터에서 실행시키기 위한 매체에 저장된 컴퓨터 프로그램으로 구현될 수 있다. 여기서 컴퓨터 판독가능 매체는 컴퓨터에 의해 액세스될 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.

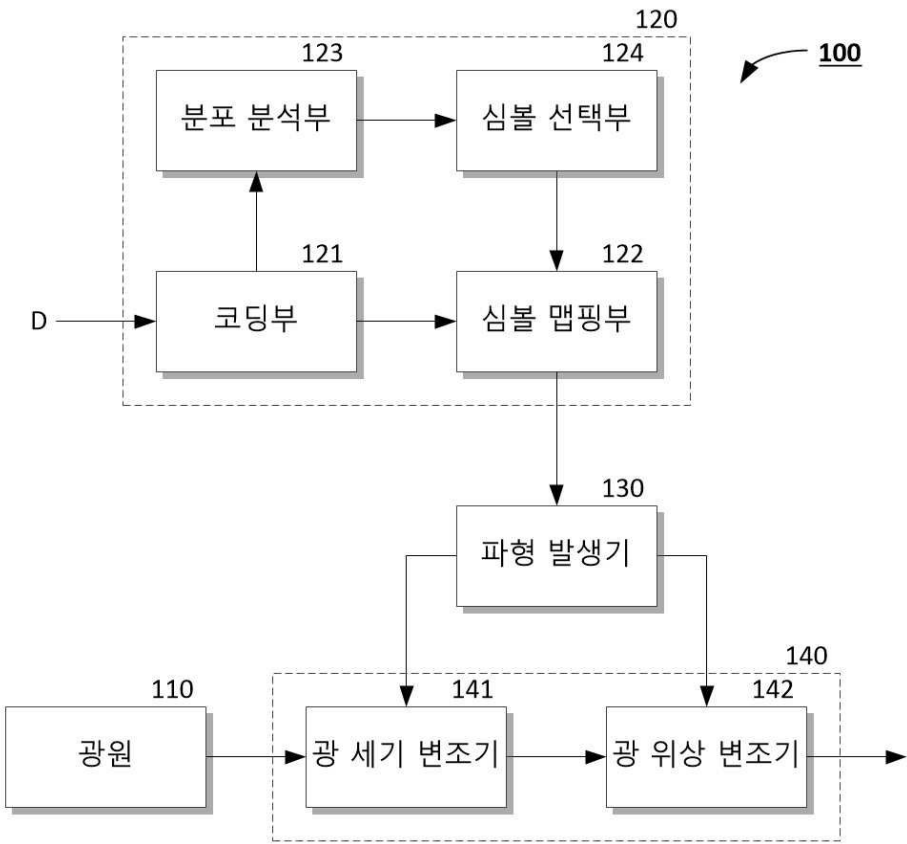
[0072] 따라서, 본 발명의 진정한 기술적 보호 범위는 첨부된 청구범위의 기술적 사상에 의해 정해져야 할 것이다.

부호의 설명

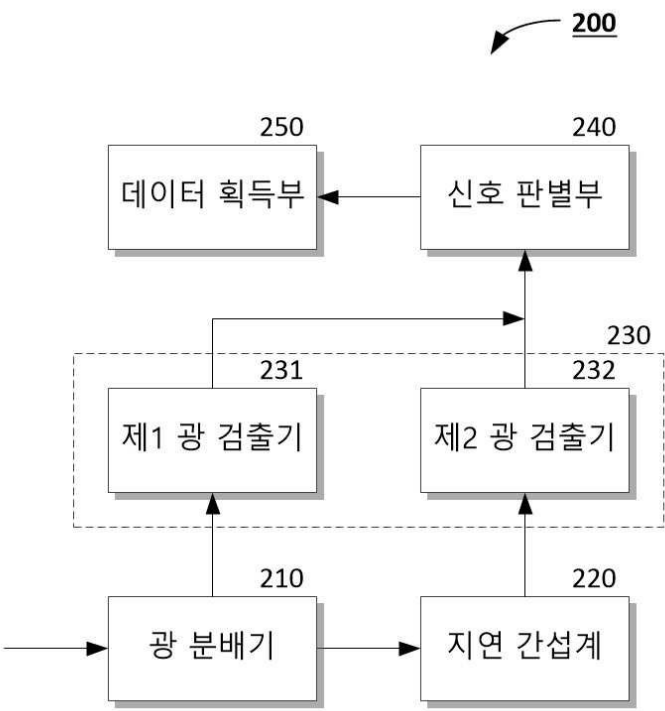
[0073] 100: 광 송신 장치	110: 광원
120: 심볼 변환부	121: 코딩부
122: 심볼 맵핑부	123: 분포 분석부
124: 심볼 선택부	130: 파형 발생기
140: 광 변조부	200: 광 수신 장치
210: 광 분배기	220: 지연 간섭계
230: 광 검출부	240: 신호 판별부
250: 데이터 획득부	

도면

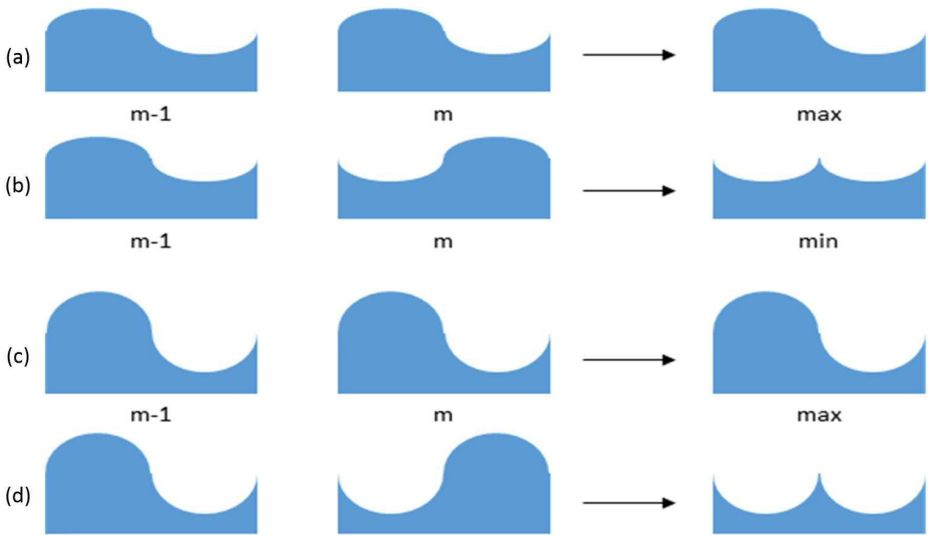
도면1



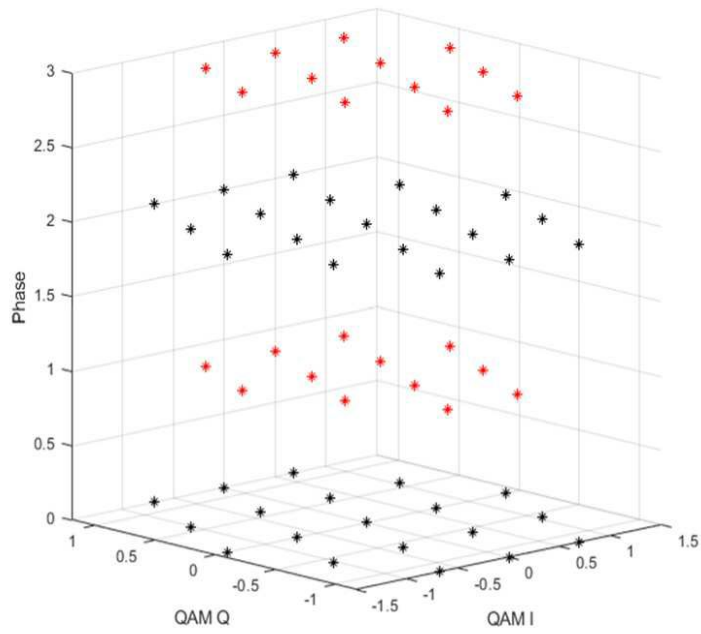
도면2



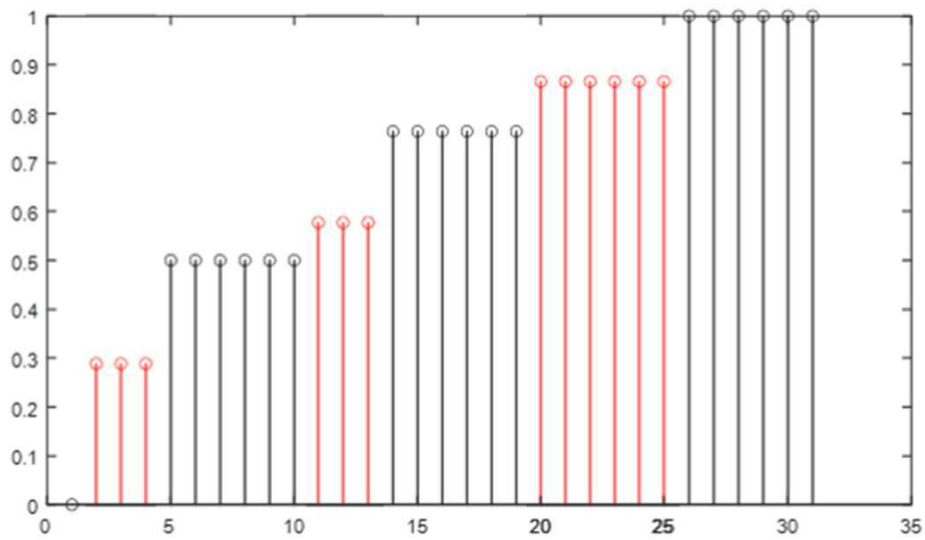
도면3



도면4



도면5



도면6

