



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2024년05월03일
(11) 등록번호 10-2663493
(24) 등록일자 2024년04월30일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
H04B 10/556 (2013.01) H04B 10/079 (2013.01)
H04B 10/54 (2013.01) H04B 10/564 (2013.01)
H04B 10/67 (2013.01) H04B 10/69 (2013.01)
H04L 27/26 (2006.01)
(52) CPC특허분류
H04B 10/556 (2013.01)
H04B 10/0795 (2013.01)
(21) 출원번호 10-2023-0005985
(22) 출원일자 2023년01월16일
심사청구일자 2023년01월16일
(56) 선행기술조사문헌
KR102415791 B1
(뒷면에 계속)

(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 18 항

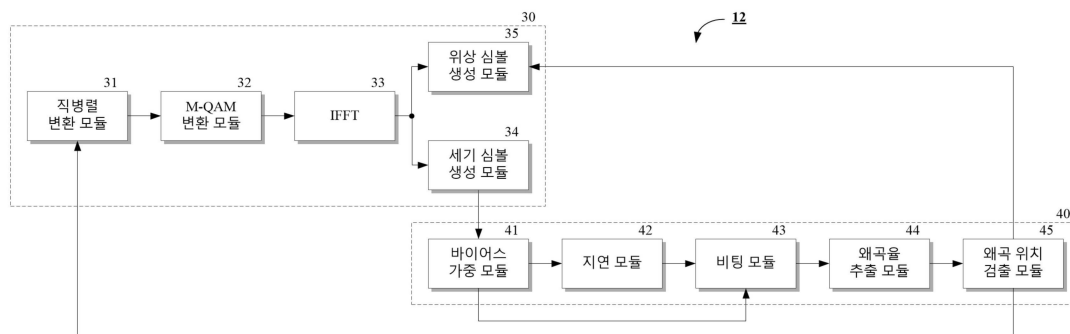
심사관 : 신상길

(54) 발명의 명칭 OFDM-MDPSK 기반 광 통신 시스템 및 방법

(57) 요약

개시된 실시예는 세기 심볼 신호와 위상 심볼 신호에 응답하여 광원에서 인가된 광을 세기 변조 및 위상 변조하여 광 신호를 출력하는 광 변조기, 및 전송할 데이터에 따른 비트 스트림을 인가받아 OFDM 변조 기법에 따른 세기 심볼 신호와 MDPSK 변조 기법에 따른 위상 심볼 신호를 생성하여 광 변조기가 OFDM-MDPSK 변조를 수행하도록 하는 심볼 변환기를 포함하되, 심볼 변환기는 세기 심볼 신호에 따른 광 신호의 세기 변조 성분에 의한 간섭으로 유발되는 위상 변조 성분의 왜곡을 생성될 위상 심볼 신호별로 분석하고, 분석된 왜곡에 따라 일부 구간에서 위상 변조가 수행하지 않도록 위상 심볼 신호를 생성하지 않고 스킵하여, 왜곡이 발생하는 구간에서는 광 위상 변조를 수행하지 않아 왜곡이 발생되지 않도록 함으로써 전송 용량을 향상시키면서도 왜곡에 의한 오류를 저감할 수 있는 OFDM-MDPSK 기반 광 통신 시스템 및 방법을 제공한다.

대표도



(52) CPC특허분류

H04B 10/541 (2013.01)
H04B 10/564 (2013.01)
H04B 10/677 (2013.01)
H04B 10/697 (2013.01)
H04L 27/2628 (2023.05)
H04L 27/2697 (2013.01)

(56) 선행기술조사문헌

전기통신회선 게시물 1
 JP2012191452 A
 KR1020120104345 A
 KR1020110013798 A

(72) 발명자

하인호

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

박진우

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

현영진

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

박혜민

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

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호	1711169405
과제번호	2019R1A2C3007934
부처명	과학기술정보통신부
과제관리(전문)기관명	한국연구재단
연구사업명	개인기초연구(과기정통부)
연구과제명	지능형 광액세스망을 위한 머신러닝 기반 다차원 광전송 기술 연구
기 여 율	1/1
과제수행기관명	연세대학교 산학협력단
연구기간	2022.03.01 ~ 2023.02.28

공지예외적용 : 있음

명세서

청구범위

청구항 1

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

전송할 데이터에 따른 비트 스트림을 인가받아 OFDM 변조 기법에 따른 세기 심볼 신호와 MDPSK 변조 기법에 따른 위상 심볼 신호를 생성하여 상기 광 변조기가 OFDM-MDPSK 변조를 수행하도록 하는 심볼 변환기를 포함하되,

상기 심볼 변환기는 상기 세기 심볼 신호에 따른 광 신호의 세기 변조 성분에 의한 간섭으로 유발되는 위상 변조 성분의 왜곡을 생성될 위상 심볼 신호별로 분석하고, 분석된 왜곡에 따라 일부 구간에서 위상 변조가 수행하지 않도록 위상 심볼 신호를 생성하지 않고 스킵하는 광 송신 장치.

청구항 2

제1항에 있어서, 상기 심볼 변환기는

상기 세기 심볼 신호를 상기 MDPSK 변조 기법에 따른 위상 심볼 주기만큼 지연하고, 지연된 세기 심볼 신호와 위상 심볼 주기 이후 인가된 세기 심볼 신호를 합성하여 세기 차 신호를 생성하며,

생성된 세기 차 신호의 세기를 위상 심볼 주기 동안 누적하여, 상기 OFDM 변조 기법에 따른 세기 심볼 주기 동안 생성되는 다수의 위상 심볼 신호 각각에 대한 왜곡을 획득하는 광 송신 장치.

청구항 3

제1항에 있어서, 상기 심볼 변환기는

다수의 위상 심볼 신호 각각에 대한 왜곡 중 가장 높은 값을 갖는 지정된 개수의 왜곡을 검출하고,

검출된 왜곡에 따른 위상 심볼 신호가 생성되는 위치에 따른 시간 구간을 판별하며,

판별된 시간 구간에 위상 심볼 신호를 생성하지 않고 스킵하는 광 송신 장치.

청구항 4

제1항에 있어서, 상기 심볼 변환기는

다수의 위상 심볼 신호 각각에 대한 왜곡 중 기준 왜곡을 초과하는 왜곡을 검출하고,

검출된 왜곡에 따른 위상 심볼 신호가 생성되는 위치에 따른 시간 구간을 판별하며,

판별된 시간 구간에 위상 심볼 신호를 생성하지 않고 스킵하는 광 송신 장치.

청구항 5

제1항에 있어서, 상기 심볼 변환기는

위상 심볼 신호별로 분석된 왜곡에 따라 스킵되는 위상 심볼 신호가 생성될 위치가 판별되면, 판별된 위치에 따라 왜곡 위치 정보를 생성하고,

생성된 왜곡 위치 정보가 다음 세기 심볼 신호 생성 시에 상기 비트 스트림과 함께 변조되도록 생성된 왜곡 위치 정보를 입력으로 인가받는 광 송신 장치.

청구항 6

제5항에 있어서, 상기 심볼 변환기는

상기 비트 스트림과 상기 왜곡 위치 정보를 인가받아 병렬 데이터로 변환한 후 M-QAM 변조 기법에 따라 M-QAM 심볼로 변환하고,

상기 M-QAM 심볼에 대해 IFFT를 수행하여 시간 도메인의 신호로 변환하며,

상기 시간 도메인의 신호 중 I 성분과 Q 성분을 각각 추출하여 상기 세기 심볼 신호와 상기 위상 심볼 신호를 생성하는 광 송신 장치.

청구항 7

제6항에 있어서, 상기 심볼 변환기는

상기 왜곡 위치 정보가 상기 병렬 데이터의 지정된 위치에 포함되도록 변환하는 광 송신 장치.

청구항 8

제1항에 있어서, 상기 심볼 변환기는

상기 OFDM 변조 기법에 따라 상기 세기 심볼 신호를 생성하는 세기 심볼 주기 동안, 상기 OFDM에 할당된 서브캐리어 개수에 대응하는 개수의 위상 심볼 신호를 생성하는 광 송신 장치.

청구항 9

데이터 비트 스트림을 인가받아 OFDM 변조 기법에 따른 세기 심볼 신호와 MDPSK 변조 기법에 따른 위상 심볼 신호를 생성하는 단계; 및

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

상기 심볼 신호를 생성하는 단계는

상기 세기 심볼 신호에 따른 광 신호의 세기 변조 성분에 의한 간섭으로 유발되는 위상 변조 성분의 위상 심볼 신호별 왜곡율을 분석하고, 분석된 왜곡율에 따라 일부 구간에서 위상 변조가 수행하지 않도록 상기 위상 심볼 신호를 생성하지 않고 스킵하는 광 송신 방법.

청구항 10

제9항에 있어서, 상기 심볼 신호를 생성하는 단계는

상기 세기 심볼 신호를 상기 MDPSK 변조 기법에 따른 위상 심볼 주기만큼 지연하고, 지연된 세기 심볼 신호와 위상 심볼 주기 이후 인가된 세기 심볼 신호를 합성하여 세기 차 신호를 생성하며,

생성된 세기 차 신호의 세기를 위상 심볼 주기 동안 누적하여, 상기 OFDM 변조 기법에 따른 세기 심볼 주기 동안 생성되는 다수의 위상 심볼 신호 각각에 대한 왜곡율을 획득하는 광 송신 방법.

청구항 11

제9항에 있어서, 상기 심볼 신호를 생성하는 단계는

다수의 위상 심볼 신호 각각에 대한 왜곡율 중 가장 높은 값을 갖는 지정된 개수의 왜곡율을 검출하고,

검출된 왜곡율에 따른 위상 심볼 신호가 생성되는 위치에 따른 시간 구간을 판별하며,

판별된 시간 구간에 위상 심볼 신호를 생성하지 않고 스킵하는 광 송신 방법.

청구항 12

제9항에 있어서, 상기 심볼 신호를 생성하는 단계는

다수의 위상 심볼 신호 각각에 대한 왜곡율 중 기준 왜곡율을 초과하는 왜곡율을 검출하고,

검출된 왜곡율에 따른 위상 심볼 신호가 생성되는 위치에 따른 시간 구간을 판별하며,

판별된 시간 구간에 위상 심볼 신호를 생성하지 않고 스킵하는 광 송신 방법.

청구항 13

제9항에 있어서, 상기 심볼 신호를 생성하는 단계는

위상 심볼 신호별로 분석된 왜곡율에 따라 스킵되는 위상 심볼 신호가 생성될 위치가 판별되면, 판별된 위치에 따라 왜곡 위치 정보를 생성하고,

생성된 왜곡 위치 정보가 다음 세기 심볼 신호 생성 시에 상기 비트 스트림과 함께 변조되도록 생성된 왜곡 위치 정보를 입력으로 인가받는 광 송신 방법.

청구항 14

제13항에 있어서, 상기 심볼 신호를 생성하는 단계는

상기 비트 스트림과 상기 왜곡 위치 정보를 인가받아 병렬 데이터로 변환한 후 M-QAM 변조 기법에 따라 M-QAM 심볼로 변환하고,

상기 M-QAM 심볼에 대해 IFFT를 수행하여 시간 도메인의 신호로 변환하며,

상기 시간 도메인의 신호 중 I 성분과 Q 성분을 각각 추출하여 상기 세기 심볼 신호와 상기 위상 심볼 신호를 생성하는 광 송신 방법.

청구항 15

제14항에 있어서, 상기 심볼 신호를 생성하는 단계는

상기 왜곡 위치 정보가 상기 병렬 데이터의 지정된 위치에 포함되도록 변환하는 광 송신 방법.

청구항 16

제9항에 있어서, 상기 심볼 신호를 생성하는 단계는

상기 OFDM 변조 기법에 따라 상기 세기 심볼 신호를 생성하는 세기 심볼 주기 동안, 상기 OFDM에 할당된 서브캐리어 개수에 대응하는 개수의 위상 심볼 신호를 생성하는 광 송신 방법.

청구항 17

OFDM-MDPSK 변조되어 전송된 광 신호 수신하여 제1 및 제2 수신 광 신호로 분배하고, 상기 제1 수신 광 신호의 세기를 검출하여 세기 데이터를 획득하는 단계;

상기 세기 데이터로부터 데이터와 함께 변조되어 전송된 왜곡 위치 정보를 획득하고, 획득된 왜곡 위치 정보로부터 위상 심볼 주기만큼 이전 수신된 광 신호에서 위상 변조가 수행되지 않고 스킵된 왜곡 위치를 판별하는 단계;

상기 제2 수신 광 신호와 위상 심볼 주기만큼 이전 획득되어 지연된 제2 수신 광 신호를 비타당하여 광 위상 신호를 획득하고, 상기 광 위상 신호의 세기를 검출하여 위상 데이터를 획득하는 단계; 및

상기 위상 데이터에서 판별된 왜곡 위치에 따른 왜곡 데이터를 제외하고, 왜곡 데이터가 제외된 위상 데이터와 상기 세기 데이터로부터 데이터를 복원하는 단계를 포함하는 광 수신 방법.

청구항 18

제17항에 있어서, 상기 위상 데이터를 획득하는 단계는

상기 세기 데이터를 OFDM 복조 기법에 따라 복조하고, 복조된 세기 데이터로부터, OFDM에 할당된 서브캐리어 개수에 대응하는 개수에 따른 위상 심볼 주기로 상기 광 위상 신호를 구분하여 상기 위상 데이터를 획득하는 광 수신 방법.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 개시되는 실시예들은 OFDM-MDPSK 기반 광 통신 시스템 및 방법에 관한 것으로, 위상 신호 왜곡을 제어할 수 있는 OFDM-MDPSK 기반 광 통신 시스템 및 방법에 관한 것이다.

배경 기술

- [0002] 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(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.
- [0003] 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.
- [0004] 따라서 광 세기와 광 위상 동시 변조시에 차원간 간섭이 발생할 수 있으며, 차원간 간섭은 광 위상 신호 검출시 왜곡으로써 작용하게 된다.
- [0005] 광 세기 신호의 안정적인 수신하기 위해서는 광 세기 신호의 전력을 높여 SNR(signal-to-noise ratio)을 향상시켜야 하지만, 차원간 간섭에 의한 왜곡은 광 세기 변조 신호의 전력이 커질수록 함께 증가하게 된다. 따라서 광 세기 신호의 전력을 높이면, 광 위상 신호에 발생하는 왜곡이 커지게 되어 광 크기 신호와 위상 신호의 수신 성능 간에 트레이드 오프(trade-off)가 발생하게 된다. 그리고 이러한 트레이드 오프로 인하여 광 크기와 위상을 동시에 변조하는 광 전송 방식에서 전송 용량에 제한이 발생하게 된다.
- [0006] 이러한 이유로 기존에 광 세기 및 위상을 동시 변조하는 광 전송 방식은 주로 광 세기 변조로 인한 위상 왜곡을 최소화할 수 있는 QAM-MDPSK(Quadrature Amplitude Modulation with M-ary Differential Phase Shift Keying)가 이용되었다. 그러나 단일 반송파를 사용하는 QAM으로 광 세기를 변조하는 경우, 주파수 효율이 OFDM(Orthogonal Frequency Division Multiplexing)에 비해 2배 떨어지게 된다. 따라서 전송 용량을 극대화하기 위해서는 QAM 대신 OFDM 방식으로 광 세기 변조를 수행하는 것이 유리하지만, OFDM의 변조 특성 상 높은 PAPR(Peak-to-Average Power Ratio)을 가지고 있으므로, OFDM-MDPSK로 광 세기 및 광 위상을 변조하는 경우, OFDM 변조에 의해 높은 피크가 발생한 위치에서 광 위상 신호에 큰 왜곡으로 작용하게 된다. 이러한 왜곡은 광 수신 장치의 데이터 복원 과정에서 오류(error)로써 작용하게 되어 결과적으로 광 위상 신호의 변조 차수를 높이는 것이 불가능하므로, 전체적인 전송 용량이 감소하게 된다는 한계가 있다.

선행기술문헌

특허문헌

- [0007] (특허문헌 0001) 한국 등록 특허 제10-2415791호 (2022.06.28 등록)

발명의 내용

해결하려는 과제

- [0008] 개시되는 실시예들은 OFDM 광 세기 변조를 적용하여 전송 용량을 향상시키면서도 왜곡에 의한 오류를 저감할 수 있는 OFDM-MDPSK 기반 광 통신 시스템 및 방법을 제공하는데 목적이 있다.
- [0009] 개시되는 실시예들은 OFDM 광 세기 변조 시에 MDPSK 광 위상 변조에 따른 광 위상 신호의 왜곡을 미리 확인하여, 왜곡이 발생하는 구간에서는 광 위상 변조를 수행하지 않음으로써 왜곡이 발생되지 않도록 하는 OFDM-MDPSK 기반 광 통신 시스템 및 방법을 제공하는데 목적이 있다.
- [0010] 개시되는 실시예들은 OFDM 변조된 광 세기 신호의 일부를 이용하여, 광 위상 변조를 수행하지 않는 구간을 수신 장치가 확인할 수 있도록 하는 OFDM-MDPSK 기반 광 통신 시스템 및 방법을 제공하는데 목적이 있다.

과제의 해결 수단

- [0011] 실시예에 따른 OFDM-MDPSK 기반 광 송신 장치는 세기 심볼 신호와 위상 심볼 신호에 응답하여 광원에서 인가된

광을 세기 변조 및 위상 변조하여 광 신호를 출력하는 광 변조기; 및 전송할 데이터에 따른 비트 스트림을 인가받아 OFDM 변조 기법에 따른 세기 심볼 신호와 MDPSK 변조 기법에 따른 위상 심볼 신호를 생성하여 상기 광 변조기가 OFDM-MDPSK 변조를 수행하도록 하는 심볼 변환기를 포함하되, 상기 심볼 변환기는 상기 세기 심볼 신호에 따른 광 신호의 세기 변조 성분에 의한 간섭으로 유발되는 위상 변조 성분의 왜곡을 생성될 위상 심볼 신호별로 분석하고, 분석된 왜곡에 따라 일부 구간에서 위상 변조가 수행하지 않도록 위상 심볼 신호를 생성하지 않고 스킵한다.

- [0012] 상기 심볼 변환기는 상기 세기 심볼 신호를 상기 MDPSK 변조 기법에 따른 위상 심볼 주기만큼 지연하고, 지연된 세기 심볼 신호와 위상 심볼 주기 이후 인가된 세기 심볼 신호를 합성하여 세기 차 신호를 생성하며, 생성된 세기 차 신호의 세기를 위상 심볼 주기 동안 누적하여, 상기 OFDM 변조 기법에 따른 세기 심볼 주기 동안 생성되는 다수의 위상 심볼 신호 각각에 대한 왜곡을 획득할 수 있다.
- [0013] 상기 심볼 변환기는 다수의 위상 심볼 신호 각각에 대한 왜곡 중 가장 높은 값을 갖는 지정된 개수의 왜곡을 검출하고, 검출된 왜곡에 따른 위상 심볼 신호가 생성되는 위치에 따른 시간 구간을 판별하며, 판별된 시간 구간에 위상 심볼 신호를 생성하지 않고 스킵할 수 있다.
- [0014] 상기 심볼 변환기는 다수의 위상 심볼 신호 각각에 대한 왜곡 중 기준 왜곡을 초과하는 왜곡을 검출하고, 검출된 왜곡에 따른 위상 심볼 신호가 생성되는 위치에 따른 시간 구간을 판별하며, 판별된 시간 구간에 위상 심볼 신호를 생성하지 않고 스킵할 수 있다.
- [0015] 상기 심볼 변환기는 위상 심볼 신호별로 분석된 왜곡에 따라 스킵되는 위상 심볼 신호가 생성될 위치가 판별되면, 판별된 위치에 따라 왜곡 위치 정보를 생성하고, 생성된 왜곡 위치 정보가 다음 세기 심볼 신호 생성 시에 상기 비트 스트림과 함께 변조되도록 생성된 왜곡 위치 정보를 입력으로 인가받을 수 있다.
- [0016] 상기 심볼 변환기는 상기 비트 스트림과 상기 왜곡 위치 정보를 인가받아 병렬 데이터로 변환한 후 M-QAM 변조 기법에 따라 M-QAM 심볼로 변환하고, 상기 M-QAM 심볼에 대해 IFFT를 수행하여 시간 도메인의 신호로 변환하며, 상기 시간 도메인의 신호 중 I 성분과 Q 성분을 각각 추출하여 상기 세기 심볼 신호와 상기 위상 심볼 신호를 생성할 수 있다.
- [0017] 상기 심볼 변환기는 상기 왜곡 위치 정보가 상기 병렬 데이터의 지정된 위치에 포함되도록 변환할 수 있다.
- [0018] 상기 심볼 변환기는 상기 OFDM 변조 기법에 따라 상기 세기 심볼 신호를 생성하는 세기 심볼 주기 동안, 상기 OFDM에 할당된 서브캐리어 개수에 대응하는 개수의 위상 심볼 신호를 생성할 수 있다.
- [0019] 실시예에 따른 OFDM-MDPSK 기반 광 송신 방법은 데이터 비트 스트림을 인가받아 OFDM 변조 기법에 따른 세기 심볼 신호와 MDPSK 변조 기법에 따른 위상 심볼 신호를 생성하는 단계; 및 세기 심볼 신호와 위상 심볼 신호에 응답하여 광원에서 인가된 광을 세기 변조 및 위상 변조하여 광 신호를 출력하는 단계를 포함하되, 상기 심볼 신호를 생성하는 단계는 상기 세기 심볼 신호에 따른 광 신호의 세기 변조 성분에 의한 간섭으로 유발되는 위상 변조 성분의 위상 심볼 신호별 왜곡을 분석하고, 분석된 왜곡에 따라 일부 구한다.
- [0020] 실시예에 따른 OFDM-MDPSK 기반 광 수신 방법은 OFDM-MDPSK 변조되어 전송된 광 신호 수신하여 제1 및 제2 수신 광 신호로 분배하고, 상기 제1 수신 광 신호의 세기를 검출하여 세기 데이터를 획득하는 단계; 상기 세기 데이터로부터 데이터와 함께 변조되어 전송된 왜곡 위치 정보를 획득하고, 획득된 왜곡 위치 정보로부터 위상 심볼 주기만큼 이전 수신된 광 신호에서 위상 변조가 수행되지 않고 스킵된 왜곡 위치를 판별하는 단계; 상기 제2 수신 광 신호와 위상 심볼 주기만큼 이전 획득되어 지연된 제2 수신 광 신호를 비팅하여 광 위상 신호를 획득하고, 상기 광 위상 신호의 세기를 검출하여 위상 데이터를 획득하는 단계; 및 상기 위상 데이터에서 판별된 왜곡 위치에 따른 왜곡 데이터를 제외하고, 왜곡 데이터가 제외된 위상 데이터와 상기 세기 데이터로부터 데이터를 복원하는 단계를 포함한다.

발명의 효과

- [0021] 따라서, 실시예에 따른 OFDM-MDPSK 기반 광 통신 시스템 및 방법은 OFDM 광 세기 변조 시에 MDPSK 광 위상 변조에 따른 광 위상 신호의 왜곡을 미리 확인하여, 왜곡이 발생하는 구간에서는 광 위상 변조를 수행하지 않아 왜곡이 발생되지 않도록 함으로써 전송 용량을 향상시키면서도 왜곡에 의한 오류를 저감할 수 있다. 그리고 OFDM 변조되는 광 세기 신호의 일부를 이용하여, 광 위상 변조를 수행하지 않는 구간을 수신 장치가 확인할 수 있도록 함으로써, 수신 장치가 정상적인 복조를 수행할 있다.

도면의 간단한 설명

- [0022] 도 1은 일 실시예에 따른 OFDM-MDPSK 기반 광 통신 시스템의 개략적 구성을 나타낸다.
- 도 2는 도 1의 OFDM-MDPSK 기반 광 통신 시스템에서 광 위상 신호의 왜곡 분포를 나타낸다.
- 도 3은 도 1의 심볼 변환기의 상세 구성의 일 예를 나타낸다.
- 도 4는 도 2의 심볼 변환기의 동작을 설명하기 위한 도면이다.
- 도 5 및 도 6은 일 실시예에 따른 OFDM-MDPSK 기반 광 통신 방법을 나타낸다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0023] 이하, 도면을 참조하여 일 실시예의 구체적인 실시형태를 설명하기로 한다. 이하의 상세한 설명은 본 명세서에서 기술된 방법, 장치 및/또는 시스템에 대한 포괄적인 이해를 돕기 위해 제공된다. 그러나 이는 예시에 불과하며 본 발명은 이에 제한되지 않는다.
- [0024] 일 실시예들을 설명함에 있어서, 본 발명과 관련된 공지기술에 대한 구체적인 설명이 일 실시예의 요지를 불필요하게 흐릴 수 있다고 판단되는 경우에는 그 상세한 설명을 생략하기로 한다. 그리고, 후술되는 용어들은 본 발명에서의 기능을 고려하여 정의된 용어들로서 이는 사용자, 운용자의 의도 또는 관례 등에 따라 달라질 수 있다. 그러므로 그 정의는 본 명세서 전반에 걸친 내용을 토대로 내려져야 할 것이다. 상세한 설명에서 사용되는 용어는 단지 일 실시예들을 기술하기 위한 것이며, 결코 제한적이어서는 안 된다. 명확하게 달리 사용되지 않는 한, 단수 형태의 표현은 복수 형태의 의미를 포함한다. 본 설명에서, "포함" 또는 "구비"와 같은 표현은 어떤 특성들, 숫자들, 단계들, 동작들, 요소들, 이들의 일부 또는 조합을 가리키기 위한 것이며, 기술된 것 이외에 하나 또는 그 이상의 다른 특성, 숫자, 단계, 동작, 요소, 이들의 일부 또는 조합의 존재 또는 가능성을 배제하도록 해석되어서는 안 된다. 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.
- [0025] 도 1은 일 실시예에 따른 OFDM-MDPSK 기반 광 통신 시스템의 개략적 구성을 나타낸다.
- [0026] 도 1을 참조하면, 실시예에 따른 광 통신 시스템은 광 송신 장치(10)와 광 수신 장치(20)로 구성될 수 있다.
- [0027] 광 송신 장치(10)는 데이터를 인가받고, 인가된 데이터에 대응하여 광을 OFDM-MDPSK 변조 기법에 따라 세기 및 위상 변조하여 광 신호를 생성하고, 생성된 광 신호를 광 수신 장치(20)로 전송한다. 그리고 광 수신 장치(20)는 광 송신 장치(10)에서 OFDM-MDPSK 변조 기법에 따라 세기 및 위상 변조되어 전송된 광 신호를 수신하고, 수신된 광 신호를 분할하며, 분할된 광 신호 각각에 대해 OFDM 복조 및 MDPSK 복조를 수행하여 데이터를 복원한다.
- [0028] 광 송신 장치(10)는 광원(11), 심볼 변환기(12), 파형 발생기(13) 및 광 변조기(14)를 포함할 수 있다.
- [0029] 광원(11)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.
- [0030] 심볼 변환기(12)는 전송할 데이터를 인가받아 지정된 변조 방식에 따른 심볼 신호로 변환한다. 실시예에서 심볼 변환기(12)는 데이터를 각각 세기 및 위상을 나타내는 세기 심볼 신호 및 위상 심볼 신호로 변환하며, 이때 세기 심볼 신호는 OFDM 변조 기법에 따른 OFDM 심볼 신호로 획득되며, 위상 심볼은 MDPSK 변조 기법에 따른 MDPSK 심볼 신호로 획득될 수 있다.
- [0031] 특히 실시예에서 심볼 변환기(12)는 변환된 세기 심볼 신호를 분석하여, 차원간 간섭에 의해 광 수신 장치(20)에서 획득되는 광 위상 신호에 왜곡이 발생할 수 있는 위상 심볼의 위치를 검출하고, 검출된 위상 심볼 위치에서는 위상 심볼을 생성하지 않아 위상 변조가 수행되지 않도록 한다. 그리고 OFDM 변조 기법을 이용함에 따라 증가된 전송 용량을 고려하여 일부 OFDM 심볼은 위상 심볼이 생성되지 않는 심볼 위치, 즉 시간 구간에 대한 정보가 포함하도록 함으로써, 광 수신 장치가 수신된 광 신호로부터 데이터를 정상적으로 복원할 수 있도록 한다.
- [0032] 심볼 변환기(12)에 대한 상세한 설명은 후술하도록 한다.
- [0033] 파형 발생기(13)는 세기 심볼 신호 및 위상 심볼 신호를 인가받고, 인가된 세기 심볼 신호 및 위상 심볼 신호 각각에 대응하는 파형을 갖는 세기 신호와 위상 신호를 생성하여 출력한다. 즉 파형 발생기(13)는 세기 변조

방식에 따라 변조되어 전송될 세기 심볼 신호를 인가받아 대응하는 파형의 세기 신호를 생성하고, 위상 변조 방식에 따라 변조되어 전송될 위상 심볼 신호를 인가받아 대응하는 파형의 위상 신호를 생성하여 광 변조기(14)로 전달한다. 여기서 파형 발생기(13)는 일 예로 AWG(arbitrary waveform generator)로 구현될 수 있다.

[0034] 광 변조기(14)는 파형 발생기(13)로부터 세기 신호와 위상 신호를 인가받고, 인가된 세기 신호와 위상 신호에 따라 광원(11)에서 인가되는 광을 세기 변조 및 위상 변조하여 광 신호를 생성하여 광 수신 장치로 출력한다.

[0035] 광 변조기(14)는 광 세기 변조기(15) 및 광 위상 변조기(16)를 포함할 수 있다. 광 세기 변조기(15)는 파형 발생기(13)로부터 인가되는 세기 신호에 따라 광원(11)에서 인가되는 광을 세기 변조하여 광 세기 신호를 출력한다. 이때, 광 세기 신호는 OFDM 변조 기법에 따라 변조되므로, 인가된 광을 주파수가 직교하는 다수의 서브캐리어로 구분하고, 구분된 다수의 서브 캐리어 각각을 세기 변조할 수 있다. 여기서 광 세기 변조기(15)는 일 예로 마흐젠더 변조기(Mach-Zehnder Modulator: 이하 MZM)로 구현될 수 있다.

[0036] 그리고 광 위상 변조기(16)는 파형 발생기(13)로부터 인가되는 위상 신호에 따라 광 세기 변조기(15)에서 세기 변조되어 인가되는 광 세기 신호의 위상을 변조하여 세기 및 위상 변조된 광 신호를 출력한다. 이때 광 위상 변조기(16)는 광 세기 변조기(15)가 OFDM 심볼에 따라 광을 OFDM 변조하는 OFDM 심볼 주기(T_o) 동안 OFDM 변조에서 이용되는 서브캐리어 개수(N_s)에 해당하는 횟수만큼 MDPSK 심볼에 따라 위상 변조를 수행할 수 있다. 즉 OFDM 심볼 주기(T_o)는 MDPSK 변조에 따른 MDPSK 심볼 주기(T_s)의 서브캐리어 개수(N_s , 일 예로 $N_s=16$) 배일 수 있다.

[0037] 여기서는 파형 발생기(13)를 구분하여 설명하였으나, 파형 발생기(13)는 광 위상 변조기(16)의 구성으로 볼 수도 있다.

[0038] 한편 광 수신 장치(20)는 광 분배기(21), 지연 간섭계(22), 제1 및 제2 광 검출기(23, 24) 및 신호 판별기(25)를 포함할 수 있다.

[0039] 광 분배기(21)는 광 송신 장치(10)에서 광 섬유 등을 통해 전송된 광 신호를 수신하고 분배하여 2개의 수신 광 신호를 출력한다. 여기서 광 분배기(21)는 일 예로 2×2 광 커플러로 구현될 수 있으며, 수신된 광 신호를 동일한 세기 및 위상을 갖는 제1 및 제2 수신 광 신호로 분배할 수 있다.

[0040] 지연 간섭계(22)는 광 분배기(21)에서 분배된 2개 수신 광 신호 중 하나(여기서는 일 예로 제2 수신 광 신호)를 인가받아 MDPSK 심볼 주기(T_s)만큼 지연한다. 지연 간섭계(22)는 일 예로 MZDI(Mach-Zehnder Delay Interferometer)로 구현될 수 있다.

[0041] MZDI로 구현되는 지연 간섭계(22)는 인가되는 제2 수신 광 신호를 재분배하여 지연 경로와 비지연 경로를 각각 경유하도록 하고, 지연 경로에 의해 MDPSK 심볼 주기(T_s)만큼 지연된 제2 수신 광 신호와 비지연 경로에서 지연되지 않은 제2 수신 광 신호를 서로 비팅함으로써, 지연된 제2 수신 광 신호와 지연되지 않은 제2 수신 광 신호 사이의 위상차에 따른 세기의 광을 갖는 광 위상 신호를 출력한다. 즉 지연 간섭계(22)는 연속되어 인가되는 제2 수신 광 신호의 위상차에 따른 세기를 갖는 광 위상 신호로 변환한다.

[0042] 제1 및 제2 광 검출기(23, 24)는 광 분배기(21)에서 직접 인가되는 제1 수신 광 신호와 지연 간섭계(22)에서 획득된 광 위상 신호를 인가받고, 인가된 제1 수신 광 신호와 광 위상 신호 각각에 대해 MDPSK 심볼 주기(T_s) 동안의 광 세기를 누적 검출하여 수신 세기 신호와 수신 위상 신호를 획득한다.

[0043] 제1 광 검출기(23)는 제1 수신 광 신호를 인가받아 MDPSK 심볼 주기(T_s) 동안의 광 세기를 누적 검출하여 수신 세기 신호를 획득하고, 제2 광 검출기(24)는 광 위상 신호를 인가받아 MDPSK 심볼 주기(T_s) 동안의 광 세기를 누적 검출하여 수신 위상 신호를 획득할 수 있다. 여기서 제1 광 검출기(23)는 포토 다이오드(Photo Diode)로 구현될 수 있으며, 제2 광 검출기(24)는 밸런스 포토 다이오드(Balanced Photo Diode)로 구현될 수 있다.

[0044] 신호 판별기(25)는 수신 세기 신호와 수신 위상 신호를 인가받아, 수신 세기 신호와 수신 위상 신호의 레벨을 각각 판별하여 세기 데이터와 위상 데이터를 획득할 수 있다. 신호 판별기(25)는 수신 세기 신호와 수신 위상 신호 각각 세기가 기지정된 다수의 세기 구간 중 어느 구간에 포함되는지 여부로 신호 레벨을 판별할 수 있다. 여기서 신호 판별기(25)는 일 예로 DPO(Digital Phosphor Oscilloscope)으로 구현될 수 있다.

[0045] 데이터 변환기(26)는 신호 판별기(25)에서 획득된 세기 데이터와 위상 데이터를 기반으로 광 송신 장치(10)에서 전송된 데이터를 복원한다. 세기 데이터와 위상 데이터는 각각 광 송신 장치(10)에 적용된 OFDM-MDPSK 변조 기

법에 따른 세기 심볼 신호와 위상 심볼 신호에 대응하는 데이터이므로, 데이터 변환기(26)는 세기 데이터와 위상 데이터로부터 광 송신 장치(10)가 전송한 데이터를 복원할 수 있다.

[0046] 상기한 광 수신 장치(20)에서 수신 세기 신호는 수신 광 신호의 세기에서 직접 추출된 신호이므로, 위상 변조에 의한 영향을 받지 않는다. 그에 반해, 수신 위상 신호는 연속하여 수신된 수신 광 신호 사이의 위상차에 의해 나타나는 광 세기차로부터 획득되는 신호이므로, 수신 광 신호에 적용된 세기 변조에 의한 영향을 크게 받게 되어 왜곡이 발생된다.

[0047] 이에 실시예의 광 송신 장치(10)는 상기한 바와 같이, 세기 심볼 신호인 OFDM 심볼 신호에 따라 왜곡이 크게 발생할 수 있는 위상 심볼의 위치를 검출하고, 검출된 위치에서는 위상 심볼 신호를 생성하지 않으므로써 위상 변조를 수행하지 않았다. 따라서 데이터 변환기(26)는 검출된 위상 심볼 위치에 따른 시간 구간에서는 위상 변조가 발생되지 않았음을 사전에 인지하고, 데이터를 복원해야 한다. 이에 실시예에서는 광 송신 장치(10)는 검출된 위상 심볼 위치에 대한 정보가 세기 심볼 신호에 포함되도록 하며, 데이터 변환기(26)는 세기 데이터에서 위상 심볼 신호가 생성되지 않은 심볼 위치에 따른 시간 구간을 확인하고, 확인된 시간 구간에서 검출되는 위상 데이터를 무시함으로써, 세기 데이터와 위상 데이터로부터 광 송신 장치(10)가 전송한 데이터를 정상적으로 복원할 수 있다.

[0048] 도 2는 도 1의 OFDM-MDPSK 기반 광 통신 시스템에서 광 위상 신호의 왜곡 분포를 나타낸다.

[0049] 광 수신 장치(20)의 지연 간섭계(22)에서 획득되는 광 위상 신호에서 세기 변조에 의한 왜곡율은 하나의 위상 심볼 즉, 하나의 MDPSK 심볼에 해당하는 MDPSK 심볼 주기(T_s) 동안 광 세기 변조 신호에 의한 평균적인 영향으로 수학식 1과 같이 계산될 수 있다.

수학식 1

$$\int_{NT_s}^{NT_s + T_s} \sqrt{(\text{optical power at time } NT_s) \times (\text{optical power at time } NT_s + T_s)} dt$$

[0050]

[0051] 여기서 T_s 는 MDPSK 심볼 주기를 나타내고, N은 MDPSK 심볼 위치를 나타내는 심볼 인덱스이다.

[0052] 수학식 1에 나타난 바와 같이, 광 위상 신호에서 왜곡율은 MDPSK 변조와 무관하게 광 세기 변조인 OFDM 변조에 의해 발생하게 된다. 이는 다시 말해, 광 송신 장치(10)가 데이터를 세기 심볼인 OFDM 심볼로 변환하는 과정에서, 위상 심볼인 MDPSK 심볼 중 왜곡이 크게 발생하는 위치의 심볼을 판단할 수 있음을 의미한다.

[0053] 따라서 OFDM 심볼로의 변환 시에 왜곡이 크게 발생하는 MDPSK 심볼의 위치를 사전에 확인할 수 있으므로, 실시예의 광 송신 장치(10)는 왜곡이 크게 발생하는 MDPSK 심볼 위치에 따른 시간 구간에 MDPSK 심볼을 생성하지 않아 MDPSK 변조를 수행하지 않으므로써, 왜곡으로 인해 발생하는 오류를 저감시킬 수 있다. 다만 MDPSK 기반 위상 변조를 수행하지 않는 구간이 포함됨에 따라 전송 용량이 일부 저하될 수 있다.

[0054] 도 2의 왜곡 분포도에서 X축은 수학식 1에 따라 계산되는 광 위상 신호의 왜곡율을 나타내고, Y축은 발생 빈도를 나타낸다.

[0055] 도 2에서 왜곡율이 1인 경우는 광 위상 신호에 왜곡이 발생되지 않은 경우를 나타내고, 1과 차이가 클수록 광 위상 신호에 왜곡이 더욱 크게 발생하는 경우를 나타낸다. 도 2에 도시된 바와 같이, 왜곡 분포가 가우시안 분포와 유사하게 나타나므로, 왜곡이 크게 발생하는 경우는 극히 적은 빈도로 출현됨을 알 수 있다. 즉 광 위상 신호의 왜곡으로 인해, 위상 데이터를 획득 정상적으로 획득하지 못하게 되는 빈도는 매우 낮다. 뿐만 아니라, 기존의 QAM 변조를 이용하는 경우에 비해 OFDM 변조를 이용하는 경우, 주파수 효율이 2배로 향상되므로, OFDM을 이용함에 따라 증가되는 전송 용량에 비해, MDPSK 변조를 스킵함에 따라 감소되는 전송 용량은 상대적으로 작다.

[0056] 따라서 광 송신 장치(10)가 OFDM-MDPSK 변조 방식에 따라 변조를 수행하되, 왜곡 발생 가능성이 높은 위치의 MDPSK 심볼에 대해 MDPSK 변조를 수행하지 않으면, 오류는 저감되는 반면 광 통신 시스템의 전체적인 전송 용량은 기존의 QAM-MDPSK에 비해 크게 향상될 수 있다.

[0057] 도 3은 도 1의 심볼 변환기의 상세 구성의 일 예를 나타내고, 도 4는 도 2의 심볼 변환기의 동작을 설명하기 위

한 도면이다.

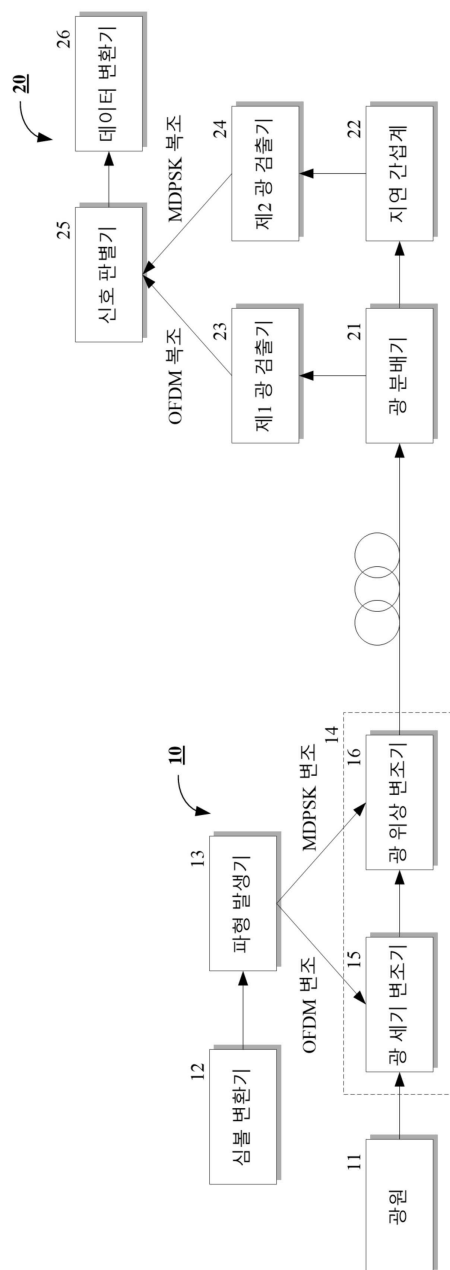
- [0058] 심볼 변환기(12)는 심볼 생성 모듈(30) 및 왜곡 위치 판별 모듈(40)을 포함할 수 있다.
- [0059] 심볼 생성 모듈(30)은 기존의 광 송신 장치에서와 유사하게 인가되는 데이터를 변조 기법에 따른 심볼로 변환한다.
- [0060] 도 3 및 도 4를 참조하면, 심볼 생성 모듈(30)은 직병렬 변환 모듈(31), M-QAM 변환 모듈(32), IFFT 모듈(33), 세기 심볼 생성 모듈(34) 및 위상 심볼 생성 모듈(35)을 포함할 수 있다. 직병렬 변환 모듈(31)은 광 수신 장치(20)로 전송되어야 하는 데이터의 비트 스트림(bit stream)을 인가받아, OFDM에서 이용하는 서브캐리어의 개수(N_s)로 병렬화하여 출력한다. M-QAM 변환 모듈(32)은 병렬화된 데이터를 M-QAM 변조 기법에 대응하는 M-QAM 심볼로 변환한다. 여기서 M-QAM 심볼은 도 4에 도시된 바와 같이, I 성분(또는 실수)과 Q 성분(또는 허수)으로 구성될 수 있다.
- [0061] IFFT 모듈(33)은 M-QAM 심볼을 인가받아 역고속 푸리에 변환(Inverse Fast Fourier transform: IFFT)을 수행하여 시간 도메인의 신호 변환한다. 세기 심볼 생성 모듈(34)은 시간 도메인으로 변환된 신호의 I 성분(RE)을 지정된 샘플링 주기로 샘플링하여 세기 심볼 신호를 획득하고, 위상 심볼 생성 모듈(35)은 시간 도메인으로 변환된 신호의 Q 성분(IM)을 샘플링하여 위상 심볼 신호를 획득하며, 획득된 세기 심볼 신호와 위상 심볼 신호를 파형 발생기(13)로 전달한다.
- [0062] 왜곡 위치 판별 모듈(40)은 심볼 생성 모듈(30)에서 생성된 세기 심볼 신호에 의해 광 수신 장치(20)에서 획득되는 광 위상 신호 발생되는 왜곡 수준을 분석하여 왜곡이 크게 발생하는 위상 심볼 위치를 검출하여 왜곡 위치 정보 데이터를 생성한다.
- [0063] 왜곡 위치 판별 모듈(40)은 바이어스 가중 모듈(41), 지연 모듈(42), 비팅 모듈(43), 왜곡을 추출 모듈(44) 및 왜곡 위치 검출 모듈(45)을 포함할 수 있다.
- [0064] 바이어스 가중 모듈(41)은 세기 심볼 생성 모듈(34)에서 획득된 세기 심볼 신호에 바이어스 파워인 가중하여, 세기 심볼 신호에 따른 광 세기를 계산할 수 있도록 한다. 그리고 지연 모듈(42)은 파워가 가중된 세기 심볼 신호를 MDPSK 심볼당 샘플 개수(N_b)만큼 지연한다. 즉 MDPSK 주기(T_s)만큼 지연한다. 비팅 모듈(43)은 MDPSK 주기(T_s) 이후 인가되는 다음 세기 심볼 신호와 MDPSK 주기(T_s)만큼 지연된 지연 세기 심볼 신호를 비팅하여 세기 심볼 신호와 지연 세기 심볼 신호 사이의 차이를 나타내는 세기차 신호를 획득한다. 여기서 비팅은 세기 심볼 신호와 지연 세기 심볼 신호의 합성으로서 곱셈 연산으로 수행될 수 있다.
- [0065] 바이어스 가중 모듈(41)은 광 송신 장치(10)에서 광 세기 변조를 수행하는 광 세기 변조기를 모의한 구성이고, 지연 모듈(42)과 비팅 모듈(43)은 광 수신 장치(20)의 지연 간섭계(22)를 모의한 구성으로 볼 수 있다. 다만 세기 심볼 신호에는 위상 변조 성분이 포함되지 않으므로, 세기차 신호는 광 수신 장치(20)의 지연 간섭계(22)에서 획득되는 광 위상 신호에서 세기 변조에 의한 왜곡 성분만을 모의한 신호로 볼 수 있다. 그러므로, 광 수신 장치(20)의 지연 간섭계(22)에서 획득되는 광 위상 신호를 모의한 신호로 볼 수 있다. 이에 바이어스 가중 모듈(41)과 지연 모듈(42) 및 비팅 모듈(43)을 통합하여 위상 왜곡 모의 모듈이라고 할 수 있다.
- [0066] 왜곡을 추출 모듈(44)은 세기차 신호를 인가받고, 인가된 세기차 신호와 MDPSK 심볼당 샘플 개수(N_b)에 따른 길이, 즉 MDPSK 주기(T_s)를 갖는 임펄스 트레인(impulse train) 파형의 MDPSK 샘플링 신호와 컨볼루션 연산을 수행함으로써, 위상 심볼인 MDPSK 심볼 위치별 왜곡을 추출한다. 이는 생성된 세기차 신호의 세기를 위상 심볼 주기 동안 누적하여 위상 심볼 위치별 왜곡을 추정하는 것으로 볼 수 있다.
- [0067] 왜곡을 추출 모듈(44)은 MDPSK 주기(T_s) 동안 인가된 광 위상 신호를 누적 검출하는 광 수신 장치(20)의 제2 광 검출기(24)를 모의하는 구성이다. 그리고 상기한 바와 같이 세기 변조에 의한 광 위상 신호의 왜곡을 수학식 1에서와 같이, MDPSK 주기(T_s)동안의 지연 시간차를 갖는 세기 변조된 광 위상 신호의 세기차로 계산된다. 이에 제2 광 검출기(24)를 모의하는 왜곡을 추출 모듈(44)은 MDPSK 주기(T_s)를 갖는 임펄스 트레인 파형의 MDPSK 샘플링 신호와 세기차 신호를 컨볼루션 연산함으로써, MDPSK 주기(T_s) 간격으로 왜곡을 반복적으로 획득할 수 있다. 이때 MDPSK 주기(T_s) 간격으로 획득되는 왜곡의 위치는 대응하는 MDPSK 심볼의 인덱스로서 MDPSK 심볼 위치이다.

- [0068] 상기한 바와 같이 MDPK 심볼은 하나의 OFDM 심볼에 대해 서브캐리어 개수(N_s)만큼 생성되므로, OFDM 심볼 주기(T_o)는 MDPK 주기(T_s)의 서브캐리어 개수(N_s)배이다. 만일 OFDM의 서브 캐리어 개수가 16개인 경우, 하나의 OFDM 심볼 신호가 생성되는 동안 16개의 MDPK 심볼 신호가 생성된다. 이 경우, 왜곡을 추출 모듈(44)은 OFDM 심볼 주기(T_o) 동안 16개의 왜곡을 순차적으로 획득할 수 있다.
- [0069] 여기서 왜곡이 획득되는 순서가 위상 심볼 위치로서 MDPK 심볼 인덱스라고 할 수 있다.
- [0070] 한편 왜곡이 큰 위상 심볼이 생성되지 않도록 하기 위해서는, OFDM 심볼 주기(T_o) 동안 획득되는 N_s 개의 MDPK 심볼 신호 중 어떤 위치의 MDPK 심볼 신호에서 큰 왜곡이 발생되는지 판별할 수 있어야 한다. 즉 큰 왜곡이 발생하는 MDPK 심볼 인덱스를 확인할 수 있어야 한다.
- [0071] 이에 왜곡 위치 검출 모듈(45)은 획득된 왜곡을 기반으로 왜곡 위치, 즉 위치 심볼 인덱스를 검출하여, 왜곡 위치 정보를 직병렬 변환 모듈(31) 및 위상 심볼 생성 모듈(35)로 전달한다.
- [0072] 왜곡 위치 검출 모듈(45)은 왜곡 위치 정보를 위상 심볼 생성 모듈(35)로 전달하여, 위상 심볼 생성 모듈(35)이 해당 위치, 즉 해당 인덱스에 따른 위상 심볼을 생성하지 않도록 한다. 이와 함께, 왜곡 위치 검출 모듈(45)은 왜곡 위치 정보를 직병렬 변환 모듈(31)로 전달하여, 광 수신 장치(20)로 전송될 데이터와 왜곡 위치 정보가 변조될 수 있도록 한다.
- [0073] 여기서 왜곡은 이미 OFDM 변조 기법에 따라 획득된 세기 심볼 신호로부터 추출되므로, 위상 심볼 신호의 생성 여부는 즉시 반영될 수 있는 반면, 직병렬 변환 모듈(31)로 전달된 왜곡 위치 정보는 다음 세기 심볼 신호 생성 시에 반영될 수 있다. 즉 다음 OFDM 심볼에 반영될 수 있다. 그러나 광 수신 장치(20)에서도 상기한 바와 같이, 지연 간섭계(22)가 연속하는 2개의 수신 광 신호 사이의 차이를 검출하여 광 위상 신호를 생성하므로, 비록 왜곡 위치 정보가 다음 OFDM 심볼에 반영될지라도 광 수신 장치(20)는 동일한 시간에 정상적으로 데이터를 복원할 수 있다.
- [0074] 왜곡 위치 검출 모듈(45)은 기지정된 기준 왜곡을 초과하는 왜곡을 갖는 위상 심볼 인덱스를 검출하여 왜곡 위치 정보를 생성하도록 구성될 수 있다. 즉 오류를 유발할 수 있는 일정 수준 이상의 왜곡을 나타내는 위상 심볼 인덱스를 검출할 수도 있다. 다만 이 경우, 각 OFDM 심볼을 생성할 때, 생성되는 위상 심볼의 개수가 수시로 변화할 수 있으며, 데이터와 함께 변조되어야 하는 왜곡 위치 정보의 양 또한 수시로 변화하게 된다. 그리고 이러한 수시적인 변화는 통신 시스템의 처리 복잡도를 높일 수도 있다. 이에 왜곡 위치 검출 모듈(45)은 검출된 OFDM 심볼 주기(T_o) 동안 획득되는 N_s 개의 MDPK 심볼 신호 중 가장 높은 왜곡을 갖는 지정된 개수의 위상 심볼 인덱스를 검출하여 직병렬 변환 모듈(31) 및 위상 심볼 생성 모듈(35)로 전달할 수 있다. 예로서, 상기한 바와 같이, OFDM 심볼 주기(T_o) 동안 16개의 MDPK 심볼 신호가 획득되는 경우, 가장 높은 왜곡을 갖는 3개의 위상 심볼 인덱스를 검출하여, 왜곡 위치 정보를 생성하도록 구성될 수 있다. 이 경우, 왜곡 위치 정보는 OFDM 변조되어 16개의 서브캐리어 중 3개의 서브캐리어에 실려 광 수신 장치(20)로 전송될 수 있으며, 광 수신 장치는 3개의 서브캐리어로 전송된 왜곡 위치 정보를 확인하여, 광 위상 신호 중 위상 변조가 수행되지 않은 구간을 판별할 수 있다. 즉 광 위상 신호로부터 획득된 위상 데이터 중 무의미한 데이터를 판별할 수 있다.
- [0075] 결과적으로 실시예에 따른 OFDM-MDPK 기반 광 통신 시스템 및 방법은 OFDM 광 세기 변조 시에 MDPK 광 위상 변조에 따른 광 위상 신호의 왜곡을 미리 확인하여, 왜곡이 발생하는 구간에서는 광 위상 변조를 수행하지 않아 왜곡이 발생되지 않도록 함으로써 전송 용량을 향상시키면서도 왜곡에 의한 오류를 저감할 수 있다. 그리고 OFDM 변조되는 광 세기 신호의 일부를 이용하여, 광 위상 변조를 수행하지 않는 구간을 수신 장치가 확인할 수 있도록 함으로써, 수신 장치가 정상적인 복조를 수행할 있다.
- [0076] 도시된 실시예에서, 각 구성들은 이하에 기술된 것 이외에 상이한 기능 및 능력을 가질 수 있고, 이하에 기술되지 것 이외에도 추가적인 구성을 포함할 수 있다. 또한, 일 실시예에서, 각 구성은 물리적으로 구분된 하나 이상의 장치를 이용하여 구현되거나, 하나 이상의 프로세서 또는 하나 이상의 프로세서 및 소프트웨어의 결합에 의해 구현될 수 있으며, 도시된 예와 달리 구체적 동작에 있어 명확히 구분되지 않을 수 있다.
- [0077] 그리고 도 1에 도시된 광 통신 시스템의 적어도 하나의 구성은 하드웨어, 펌웨어, 소프트웨어 또는 이들의 조합에 의해 로직회로 내에서 구현될 수 있고, 범용 또는 특정 목적 컴퓨터를 이용하여 구현될 수도 있다. 장치는 고정배선형(Hardwired) 기기, 필드 프로그램 가능한 게이트 어레이(Field Programmable Gate Array, FPGA), 주문형 반도체(Application Specific Integrated Circuit, ASIC) 등을 이용하여 구현될 수 있다. 또한, 장치는

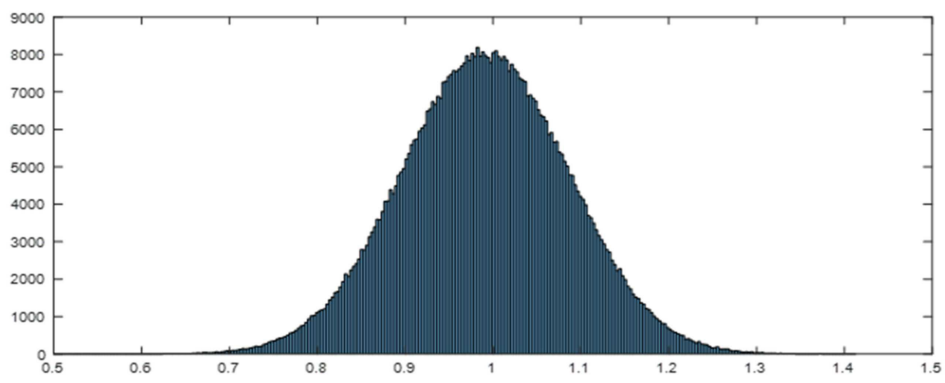
- | | |
|-----------------------|-----------------|
| 23, 24: 제1 및 제2 광 검출기 | 25: 신호 판별기 |
| 30: 심볼 생성 모듈 | 31: 직병렬 변환 모듈 |
| 32: M-QAM 변환 모듈 | 33: IFFT 모듈 |
| 34: 세기 심볼 생성 모듈 | 35: 위상 심볼 생성 모듈 |
| 40: 왜곡 위치 판별 모듈 | 41: 바이어스 가중 모듈 |
| 42: 지연 모듈 | 43: 비팅 모듈 |
| 44: 왜곡율 추출 모듈 | 45: 왜곡 위치 검출 모듈 |

도면

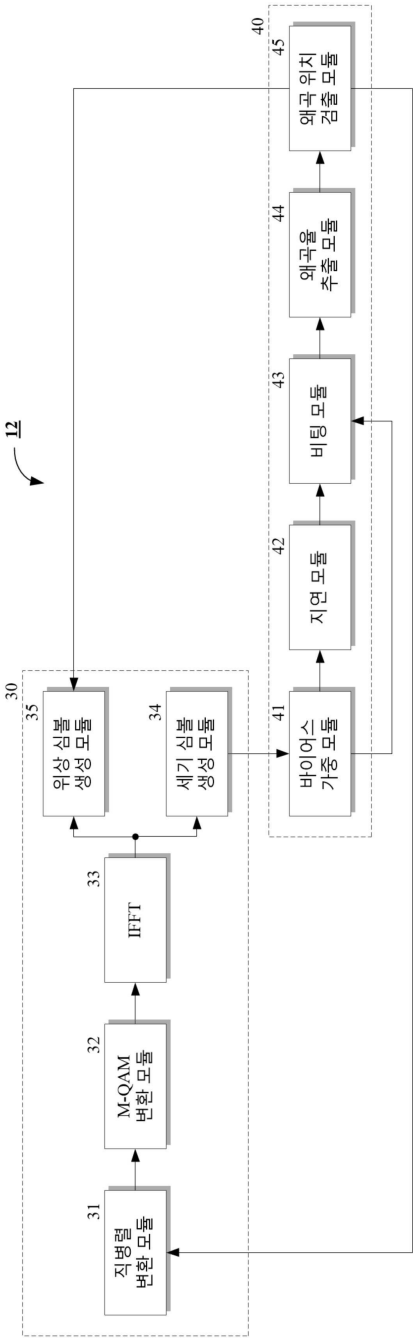
도면1



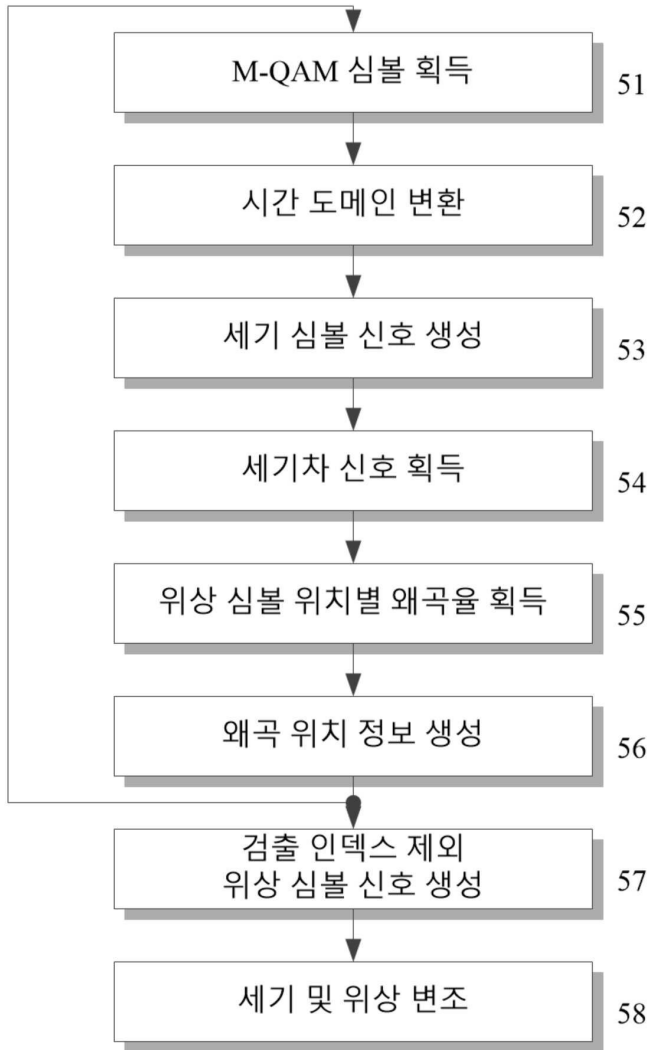
도면2



도면3



도면5



도면6

