



(19) 대한민국특허청(KR)

(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2024년07월23일

(11) 등록번호 10-2687363

(24) 등록일자 2024년07월17일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)

H04B 10/54 (2013.01) H04B 10/532 (2013.01)

H04B 10/564 (2013.01) H04L 27/02 (2006.01)

(52) CPC특허분류

H04B 10/54 (2013.01)

H04B 10/532 (2020.08)

(21) 출원번호 10-2022-0121285

(22) 출원일자 2022년09월26일

심사청구일자 2022년09월26일

(65) 공개번호 10-2024-0042691

(43) 공개일자 2024년04월02일

(56) 선행기술조사문헌

KR1020060084259 A*

KR1020150074509 A*

Yan-Qing Hong et al., "SOA-Based Multilevel Polarization Shift On-Off Keying Transmission for Free-Space Optical Communication," Photonics 8, no. 4: 100, (2021.03.31)*

*는 심사관에 의하여 인용된 문헌

(73) 특허권자

국방과학연구소

대전광역시 유성구 북유성대로488번길 160 (수남동)

연세대학교 산학협력단

서울특별시 서대문구 연세로 50 (신촌동, 연세대학교)

(72) 발명자

한상국

서울특별시 서초구 서초중앙로 220, 108동 3001호(반포동, 반포 래미안아이파크)

현영진

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

(뒷면에 계속)

(74) 대리인

리엔목특허법인

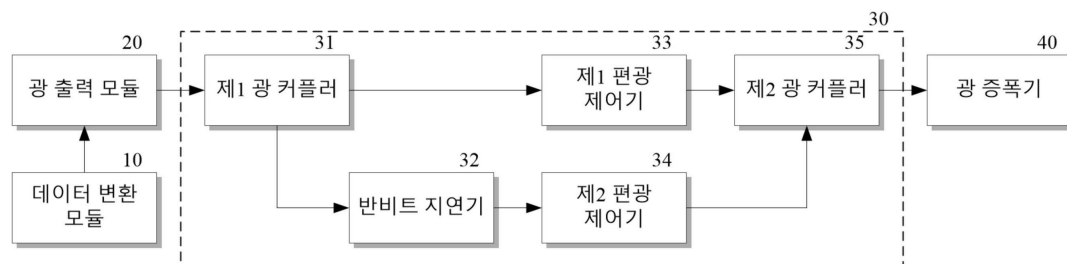
전체 청구항 수 : 총 16 항

심사관 : 신상길

(54) 발명의 명칭 반비트 지연 간섭계를 이용한 무선 광 송신 장치 및 방법

(57) 요약

개시된 실시예는 송신 데이터의 각 비트의 비트값에 따라 비트 구간 동안 세기 조절된 변조 광 신호를 생성하는 제1 광 변조기, 변조 광 신호를 분할하고, 분할된 2개의 분할 광 신호 중 하나를 비트 구간의 1/2에 해당하는 반비트 시간만큼 지연하고 재결합하여 차감 광 신호를 생성하는 제2 광 변조기, 및 차감 광 신호를 증폭하여 광 송신 신호를 출력하는 광 증폭기를 포함하여, 저비용으로 제조 가능하면서도 변조 대역폭 효율성과 출력되는 광 송신 신호의 세기를 향상시킬 수 있는 무선 광 송신 장치 및 방법을 제공한다.

대표도

(52) CPC특허분류

H04B 10/564 (2013.01)

H04L 27/02 (2013.01)

(72) 발명자

박상영

서울특별시 서대문구 연세로 50, 연세대학교 교학관 624호(신촌동)

박진우

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

이정문

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

박혜민

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

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호 1711152632

과제번호 2019-0-00685-004

부처명 과학기술정보통신부

과제관리(전문)기관명 정보통신기획평가원

연구사업명 방송통신산업기술개발

연구과제명 무선광통신 기반 수직 이동통신 네트워크 기술 개발

기 여 율 1/1

과제수행기관명 연세대학교 산학협력단

연구기간 2022.01.01 ~ 2022.12.31

공지예외적용 : 있음

명세서

청구범위

청구항 1

송신 데이터의 각 비트의 비트값에 따라 비트 구간 동안 세기 조절된 변조 광 신호를 생성하는 제1 광 변조기;
 상기 변조 광 신호를 분할하고, 분할된 2개의 분할 광 신호 중 하나를 상기 비트 구간의 1/2에 해당하는 반비트 시간만큼 지연하고 재결합하여 차감 광 신호를 생성하는 제2 광 변조기; 및
 상기 차감 광 신호를 증폭하여 광 송신 신호를 출력하는 광 증폭기를 포함하고,
 상기 제2 광 변조기는
 상기 변조 광 신호를 인가받아 커플링하여 제1 및 제2 분할 광 신호로 분할하는 제1 광 커플러;
 상기 제2 분할 광 신호를 반비트 시간 지연하여 분할 지연 광 신호를 출력하는 반비트 지연기; 및
 상기 제1 분할 광 신호와 상기 분할 지연 광 신호를 커플링하여, 전계 도메인에서 상기 제1 분할 광 신호로부터 상기 분할 지연 광 신호가 차감된 광 세기를 갖는 상기 차감 광 신호를 획득하는 제2 광 커플러를 포함하는 무선 광 송신 장치.

청구항 2

삭제

청구항 3

제1항에 있어서, 상기 반비트 지연기는
 상기 제2 분할 광 신호가 상기 제1 분할 광 신호가 상기 제2 광 커플러로 전달되는 경로보다 반비트 시간 지연 만큼 지연되어 전달되는 경로 길이를 갖는 광 선로로 구현되는 무선 광 송신 장치.

청구항 4

제1항에 있어서, 상기 제2 광 변조기는
 상기 제1 광 커플러에서 출력되는 상기 제1 분할 광 신호와 상기 반비트 지연기에서 출력되는 상기 분할 지연 광 신호의 편광 방향이 매칭되도록 각각 편광 방향을 조절하는 2개의 편광 조절기를 더 포함하는 무선 광 송신 장치.

청구항 5

제1항에 있어서, 상기 제1 광 변조기는
 OOK(On-Off Keying) 변조 기법에 따라 광을 변조하여 상기 변조 광 신호를 생성하는 무선 광 송신 장치.

청구항 6

제1항에 있어서, 상기 제1 광 변조기는
 상기 송신 데이터에 따라 광의 세기를 변조하기 위한 변조 제어 신호를 생성하는 데이터 변환 모듈; 및
 상기 변조 제어 신호에 응답하여, 광 신호의 세기를 조절하여 상기 변조 광 신호를 생성하는 광 출력 모듈을 포함하는 무선 광 송신 장치.

청구항 7

제1항에 있어서, 상기 광 증폭기는
 상기 차감 광 신호를 제한된 평균 파워 범위에서 최대 파워로 증폭하여 출력하는 무선 광 송신 장치.

청구항 8

제1항에 있어서, 상기 광 증폭기는

EDFA(Erbium Doped Fiber Amplifier)로 구현되는 무선 광 송신 장치.

청구항 9

제1항에 있어서, 상기 제1 광 변조기는

생성된 상기 변조 광 신호를 대역 통과 필터링하여 상기 제2 광 변조기로 전달하는 광 대역 통과 필터(Optical Band Pass Filter)를 더 포함하는 무선 광 송신 장치.

청구항 10

무선 광 송신 장치의 무선 광 송신 방법에 있어서,

송신 데이터의 각 비트의 비트값에 따라 비트 구간 동안 세기 조절된 변조 광 신호를 생성하는 단계;

상기 변조 광 신호를 분할하고, 분할된 2개의 분할 광 신호 중 하나를 상기 비트 구간의 1/2에 해당하는 반비트 시간만큼 지연하고 재결합하여 차감 광 신호를 생성하는 단계; 및

상기 차감 광 신호를 증폭하여 광 송신 신호를 출력하는 단계를 포함하고,

상기 차감 광 신호를 생성하는 단계는

상기 변조 광 신호를 인가받아 커플링하여 제1 및 제2 분할 광 신호로 분할하고,

상기 제2 분할 광 신호를 반비트 시간 지연하여 분할 지연 광 신호를 획득하며,

상기 제1 분할 광 신호와 상기 분할 지연 광 신호를 커플링하여, 전계 도메인에서 상기 제1 분할 광 신호로부터 상기 분할 지연 광 신호가 차감된 광 세기를 갖는 상기 차감 광 신호를 획득하는 무선 광 송신 방법.

청구항 11

삭제

청구항 12

제10항에 있어서, 상기 차감 광 신호를 생성하는 단계는

상기 제1 분할 광 신호가 전달되는 경로의 광 선로의 길이에 비해 상대적으로 긴 길이를 갖는 광 선로를 이용하여 상기 제2 분할 광 신호를 지연하여 상기 분할 지연 광 신호를 획득하는 무선 광 송신 방법.

청구항 13

제10항에 있어서, 상기 차감 광 신호를 생성하는 단계는

상기 제1 분할 광 신호와 상기 분할 지연 광 신호의 편광 방향이 매칭되도록 각각 편광 방향을 조절한 후 재결합하는 무선 광 송신 방법.

청구항 14

제10항에 있어서, 상기 변조 광 신호를 생성하는 단계는

OOK(On-Off Keying) 변조 기법에 따라 광을 변조하여 상기 변조 광 신호를 생성하는 무선 광 송신 방법.

청구항 15

제10항에 있어서, 상기 변조 광 신호를 생성하는 단계는

상기 송신 데이터에 따라 광의 세기를 변조하기 위한 변조 제어 신호를 생성하고,

상기 변조 제어 신호에 응답하여, 광 신호의 세기를 조절하여 상기 변조 광 신호를 생성하는 무선 광 송신 방법.

청구항 16

제10항에 있어서, 상기 광 송신 신호를 출력하는 단계는

상기 차감 광 신호를 제한된 평균 파워 범위에서 최대 파워로 증폭하여 출력하는 무선 광 송신 방법.

청구항 17

제10항에 있어서, 상기 광 송신 신호를 출력하는 단계는

EDFA(Erbium Doped Fiber Amplifier)를 이용하여 상기 차감 광 신호를 증폭하는 무선 광 송신 방법.

청구항 18

제10항에 있어서, 상기 변조 광 신호를 생성하는 단계는

생성된 상기 변조 광 신호를 대역 통과 필터링하여 전달하는 무선 광 송신 방법.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 개시되는 실시예들은 무선 광 송신 장치 및 방법에 관한 것으로, 반비트 지연 간섭계를 이용한 무선 광 송신 장치 및 방법에 관한 것이다.

배경 기술

[0002] 정지 궤도 위성(Geostationary Orbit: 이하 GEO) 기반 위성통신은 넓은 커버리지와 안정적인 채널 환경으로 인해 상용 위성통신으로서 계속 이용되어왔으나, 36,000km에 달하는 긴 거리에 의한 공간 감쇄와 지연시간에 의해 고용량 통신이 불가능했다. 그러나 데이터 수요가 점점 늘어남에 따라 고용량 통신에 대한 요구가 높아졌고, 그에 따라 긴 거리에 의한 높은 공간 감쇄와 지연시간을 해결하여 고용량 저지연 통신을 지원하기 위해 저궤도 위성(Low earth orbit: 이하 LEO) 위성 기반 통신이 주목받고 있는 상황이다. LEO 기반 통신에서 LEO들 사이 또는 LEO와 지상 기지국 또는 단말은 데이터 송수신을 위해 주로 무선 광통신을 수행한다.

[0003] 무선 광통신은 기존의 RF 통신에 비해 낮은 전력 소모, 높은 빔 지향성, 넓은 대역폭, 높은 보안성 등의 장점을 갖고 있다. 위성통신이 커버리지가 아닌 고용량 통신에 초점이 맞춰짐에 따라, 위성 간 통신(Intersatellite Link: 이하 ISL)과 Feeder link 측면에서 위성 광통신이 주목받고 있다. 그러나 짧게는 수백 km에서 길게는 수 천 km를 타겟으로 하는 위성 광통신을 고용량으로 올리기 위해서는 높은 대역폭 효율, 높은 전력을 낼 수 있는 간단한 구조의 변조기법이 필수적으로 요구된다.

[0004] 기존에 위성통신에서 연구되었던 변조기법으로는 대표적으로 세가지가 있다. 첫번째로, OOK(On-Off Keying)가 있다. 이 기법은 모든 기법들 중에 가장 간단한 구조를 갖고 있으나, 광 증폭기의 특성에 의해 효율이 낮아 출력을 높게 내지 못하는 단점이 있다. 한편, DPSK(Differential Phase Shift Keying) 기법은 밸런스 광 검출(Balanced Photo Detection) 방식을 사용해 광 전력을 2배로 수신할 수 있으나, 반드시 외부 변조가 필요하고, 최소 두개의 포토 다이오드(Photo Diode)가 필요해 구조가 복잡해져 제조 비용이 상승한다는 단점이 있다. 마지막으로 PPM(Pulse Position Modulation) 기법은, 직접 변조가 가능하여 간단한 구조를 갖고 있고 높은 출력을 낼 수 있으나, OOK 기법에 비해 변조 대역폭 효율이 떨어진다는 단점이 있다. 즉 기존의 세 기법 모두 간단한 구조, 높은 대역폭 효율, 높은 광 출력을 모두 만족시키지는 못한다.

선행기술문헌

특허문헌

[0005] (특허문헌 0001) 한국 등록 특허 제10-2413844호(2022.06.23 등록)

발명의 내용

해결하려는 과제

- [0006] 개시되는 실시예들은 간단한 구조를 가지면서도 대역폭과 광 출력을 높일 수 있는 무선 광 송신 장치 및 방법을 제공하는데 목적이 있다.
- [0007] 개시되는 실시예들은 지연 간섭계를 이용하여 광 신호를 분배하고 반비트 지연하고 재결합하는 단순한 과정을 통해 고 출력의 광 신호를 송신할 수 있는 무선 광 송신 장치 및 방법을 제공하는데 목적이 있다.

과제의 해결 수단

- [0008] 실시예에 따른 무선 광 송신 장치는 송신 데이터의 각 비트의 비트값에 따라 비트 구간 동안 세기 조절된 변조 광 신호를 생성하는 제1 광 변조기; 상기 변조 광 신호를 분할하고, 분할된 2개의 분할 광 신호 중 하나를 상기 비트 구간의 1/2에 해당하는 반비트 시간만큼 지연하고 재결합하여 차감 광 신호를 생성하는 제2 광 변조기; 및 상기 차감 광 신호를 증폭하여 광 송신 신호를 출력하는 광 증폭기를 포함한다.
- [0009] 상기 제2 광 변조기는 상기 변조 광 신호를 인가받아 커플링하여 제1 및 제2 분할 광 신호로 분할하는 제1 광 커플러; 상기 제2 분할 광 신호를 반비트 시간 지연하여 분할 지연 광 신호를 출력하는 반비트 지연기; 및 상기 제1 분할 광 신호와 상기 분할 지연 광 신호를 커플링하여, 전체 도메인에서 상기 제1 분할 광 신호로부터 상기 분할 지연 광 신호가 차감된 광 세기를 갖는 상기 차감 광 신호를 획득하는 제2 광 커플러를 포함할 수 있다.
- [0010] 상기 반비트 지연기는 상기 제2 분할 광 신호가 상기 제1 분할 광 신호가 상기 제2 광 커플러로 전달되는 경로보다 반비트 시간 지연만큼 지연되어 전달되는 경로 길이를 갖는 광 선로로 구현될 수 있다.
- [0011] 상기 제2 광 변조기는 상기 제1 광 커플러에서 출력되는 상기 제1 분할 광 신호와 상기 반비트 지연기에서 출력되는 상기 분할 지연 광 신호의 편광 방향이 매칭되도록 각각 편광 방향을 조절하는 2개의 편광 조절기를 더 포함할 수 있다.
- [0012] 상기 제1 광 변조기는 OOK(On-Off Keying) 변조 기법에 따라 광을 변조하여 상기 변조 광 신호를 생성할 수 있다.
- [0013] 상기 제1 광 변조기는 상기 송신 데이터에 따라 광의 세기를 변조하기 위한 변조 제어 신호를 생성하는 데이터 변환 모듈; 및 상기 변조 제어 신호에 응답하여, 광 신호의 세기를 조절하여 상기 변조 광 신호를 생성하는 광 출력 모듈을 포함할 수 있다.
- [0014] 상기 광 증폭기는 상기 차감 광 신호를 제한된 평균 파워 범위에서 최대 파워로 증폭하여 출력할 수 있다.
- [0015] 실시예에 따른 무선 광 송신 방법은 송신 데이터의 각 비트의 비트값에 따라 비트 구간 동안 세기 조절된 변조 광 신호를 생성하는 단계; 상기 변조 광 신호를 분할하고, 분할된 2개의 분할 광 신호 중 하나를 상기 비트 구간의 1/2에 해당하는 반비트 시간만큼 지연하고 재결합하여 차감 광 신호를 생성하는 단계; 및 상기 차감 광 신호를 증폭하여 광 송신 신호를 출력하는 단계를 포함한다.

발명의 효과

- [0016] 따라서, 실시예에 따른 무선 광 송신 장치 및 방법은 지연 간섭계를 이용하여 광 신호를 분배하고, 분배된 광 신호 중 하나를 반비트 지연하여 재결합하는 단순한 과정을 통해 고 출력의 광 신호를 송신할 수 있으므로 간단한 구조를 가져 저비용으로 제조 가능하며 대역폭과 광 출력을 향상시킬 수 있다.

도면의 간단한 설명

- [0017] 도 1은 변조 기법에 따라 송신되는 광 신호의 특성을 설명하기 위한 도면이다.
- 도 2는 도 1의 OOK 변조 기법과 RZ OOK 변조 기법에서의 대역폭 효율과 광 출력 세기를 설명하기 위한 도면이다.
- 도 3은 제한된 대역폭으로 변조된 광 신호와 광 신호의 전체 크기에 대한 파워 스펙트럼 밀도를 나타낸다.
- 도 4는 본 실시예에 따른 광 송신 장치에서 대역폭과 광 송신 신호의 세기를 향상시키는 개념을 설명하기 위한 도면이다.
- 도 5는 일 실시예에 따른 무선 광 송신 장치의 구성을 나타낸다.

도 6은 도 5의 무선 광 송신 장치의 각 구성에서 출력되는 광 신호를 나타낸다.

도 7은 도 5의 무선 광 송신 장치에서 전송되는 광 신호의 세기와 파워 스펙트럼 밀도를 나타낸다.

도 8은 일 실시예에 따른 무선 광 송신 방법을 나타낸다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0018] 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.
- [0019] 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.
- [0020] 도 1은 변조 기법에 따라 송신되는 광 신호의 특성을 설명하기 위한 도면이다.
- [0021] 도 1에서는 본 실시예에 따른 광 변조 기법을 설명하기에 앞서 OOK 기법과 DPSK 기법 및 PPM 기법의 특성을 우선 살펴본다. 도 1에서 (a)는 OOK 기법에 따라 변조된 광 신호를 나타내고, (b)는 DPSK 기법에 따라 변조된 광 신호를 나타내며, (c)는 PPM 기법에 따라 변조된 광 신호를 나타낸다. (a) 내지 (c)에서는 일 예로 데이터 "10110"에 따라 광을 변조하는 경우를 나타낸다.
- [0022] (a)에 도시된 바와 같이, OOK 기법에서는 "1"의 비트값에 대해서는 광이 지정된 세기(여기서는 전계의 크기(E-Field Amplitude): E_0)를 갖고 출력(On)되는 반면, "0"의 비트값에 대해서는 광이 출력되지 않도록 차단(Off)한다. 따라서 광 수신 장치는 광이 검출되는지 여부에 따라 "1"의 비트값과 "0"의 비트값을 구분할 수 있다.
- [0023] 그리고 DPSK 기법에서는 (b)에 도시된 바와 같이 "1"의 비트값에 대한 광과 "0"의 비트값에 대한 광의 파장이 서로 상이한 위상을 갖도록 한다. DPSK 기법은 연속하는 인접 심볼 사이의 편광 상태를 변화시켜 위상 변조한다. 이에 광 수신 장치는 수신된 광의 위상에 따라 "1"의 비트값과 "0"의 비트값을 구분할 수 있다.
- [0024] 마지막으로 PPM 기법에서는 (c)에 도시된 바와 같이, 비트값이 "1"의 비트값과 "0"의 비트값 모두에서 일부 시간 구간(여기서는 $t_0/2$)에서만 광이 지정된 세기(여기서는 E 필드 세기로 E_0)를 갖고 출력되고 나머지 구간에서는 차단된다. 이때 "1"의 비트값과 "0"의 비트값에 따라 광이 출력되는 구간과 차단되는 서로 상이하게 지정된다. 따라서 광 수신 장치는 수신된 광 신호에서 광이 검출되는 구간과 차단되는 구간을 식별하여 "1"의 비트값과 "0"의 비트값을 판별할 수 있다.
- [0025] 도 2는 도 1의 OOK 변조 기법과 RZ OOK 변조 기법에서의 대역폭 효율과 광 출력 세기를 설명하기 위한 도면이다.
- [0026] 도 2에서 (a)와 (c)는 각각 OOK 기법 및 RZ(Return-to-Zero) OOK 기법으로 변조된 광 신호를 나타내고, (b) 및 (d)는 각각 (a)와 (c)의 변조된 광 신호를 증폭한 신호를 나타내며, 도 2에서는 이해의 편의를 위해, 도 1의 광 신호에서 파형을 생략하고 광 세기에 따른 블록 형태로 도시하였다. OOK 변조 기법은 NRZ(Non-Return-to-Zero) OOK으로서 OOK 변조 기법의 듀티 사이클을 1이라고 한다면, RZ OOK 변조 기법의 듀티 사이클은 0.5라고 할 수 있다.
- [0027] 위성 광 통신과 같은 초장거리 무선 광 통신의 경우에는 광원의 출력 파워만으로는 안정적인 채널 링크를 구성하기가 어렵다. 이에 광 송신 장치는 어둠 첨가 광 증폭기(Erbium Doped Fiber Amplifier: 이하 EDFA)와 같은 광 증폭기를 사용하여, 변조된 광을 증폭하여 광 송신 신호를 생성한다. 그러나 EDFA와 같은 광 증폭기는 평균

파워(Average Power)가 제한(limited)되는 특성을 갖는다. 이와 같이, 송신 장치가 평균 파워 제한 특성을 갖는 광 증폭기를 사용하는 경우, 광 증폭기의 제한된 평균 파워에 의해 광 송신 장치에서 출력되는 광 신호의 세기를 임의로 높일 수 없다. 여기서 광 증폭기의 피크 출력 파워(Peak output power)(P_{peak})는 수학적 식 1을 따른다.

수학적 식 1

$$P_{peak} = \frac{\bar{P}}{DC_{eff}} \rightarrow \frac{P_{sat}}{DC_{eff}}$$

여기서 DC_{eff} 는 광 증폭기로 입력되는 광의 유효 듀티 사이클(effective duty cycle)을 나타내고, \bar{P} 는 유효 듀티 사이클(DC_{eff}) 동안의 평균 출력 파워(Average Output Power)를 나타낸다. 일반적으로 광 송신 장치는 광 증폭기의 제한된 평균 파워에서 가능한 최대의 세기로 광 신호를 증폭하여 광 송신 신호를 전송하므로, 결국 광 증폭기는 유효 듀티 사이클(DC_{eff}) 동안에 가능한 최대 파워인 포화 출력 파워(P_{sat})로 변조된 광 신호를 증폭하여 광 송신 신호를 생성한다. 광 증폭기의 포화 출력 파워(P_{sat})는 제조시에 고정된 상수값으로 이미 결정되므로, 광 증폭기의 피크 출력 파워(P_{peak})는 오직 입력되는 광 신호의 유효 듀티 사이클(DC_{eff})에 의해서 결정된다. 특히 유효 듀티 사이클(DC_{eff})이 작아질수록 피크 출력 파워(P_{peak})가 향상된다.

예로서 (a)에 도시된 바와 같이, OOK 변조 기법 적용시 유효 듀티 사이클(DC_{eff})이 1인 것으로 가정하면, 광 증폭기는 (b)와 같이 광 신호의 세기를 증폭하지 못한다. 즉 광 증폭기를 사용할지라도 광 송신 신호의 세기가 향상되지 않는다.

그리고 (b)와 같이 RZ OOK 변조 기법은 OOK 변조 기법에 비해 유효 듀티 사이클(DC_{eff})이 1/2이 될 수 있다. 따라서 광 증폭기가 가능한 최대의 세기로 광 신호를 증폭하는 경우, 출력되는 광 송신 신호의 세기는 OOK 변조 기법에 대비 2배로 증가하게 된다. 즉 같이 RZ OOK를 사용하여 듀티 사이클을 줄이게 되면 평균 전력이 줄어 광 송신 장치에서 출력되는 광 송신 신호의 세기가 2배로 높아지게 된다. 그러나 RZ OOK 변조 기법에서는 OOK 변조 기법에 비해 유효 듀티 사이클(DC_{eff})이 1/2이 됨에 따라 2배의 대역폭이 요구되어 대역폭 효율이 저하되는 문제가 있다.

PPM 변조 기법 또한 RZ OOK와 유사하게 심볼 길이의 일부 구간에서만 광 신호가 생성되도록 한다. 다만, 0과 1이 반복되는 OOK의 유효 듀티사이클은 평균적으로 심볼 길이 대비 절반의 에너지만 존재하고, PPM 변조 기법 중 도 1의 (c)와 같은 2PP 변조 기법의 경우에도 실질적으로는 심볼 길이 대비 절반의 에너지만 존재하므로, PPM 변조 기법 중 2PP 변조의 경우, 2배의 대역폭을 사용하면서도 EDFA로 인한 광 출력 이득은 얻을 수 없다.

그리고 PPM 변조 기법에서는 펄스 포지션이 2PP, 4PP 및 8PP 등으로 구분되어 적용될 수 있으며, 4PP 변조 기법의 경우에는 OOK 변조 기법 대비 4배의 대역폭을 사용해야 하지만, 하나의 심볼에 2bit를 실을 수 있어 실질적 대역폭 효율은 2PPM과 같이 2배의 대역폭을 사용하는 것으로 볼 수 있다. 그리고 4PP 변조 기법에서 유효 듀티 사이클은 OOK 대비 1/2로 줄어, 2배의 광출력의 이득을 획득할 수 있다. 즉 4PP 변조 기법의 경우, RZ OOK 변조 기법과 마찬가지로 2배의 대역폭을 소모하여 2배의 광 출력 이득을 획득할 수 있다.

이와 같이 광 송신 장치가 EDFA와 같이 평균 파워가 제한된 광 증폭기를 사용하는 경우, 변조 기법에 따른 대역폭 효율과 광 증폭기에 의해 증폭되는 광 신호의 세기 사이에 트레이드 오프 관계가 존재한다.

한편 세기 변조된 광의 세기(Intensity)(I)와 전계의 크기(E)는 수학적 식 2 및 3으로 나타난다.

수학적 식 2

$$I(t) = b + s(t)$$

수학식 3

$$E(t) = \sqrt{b + s(t)}$$

여기서 b 는 바이어스 세기(Bias Intensity)이고, $s(t)$ 는 변조된 광 신호 세기(modulated intensity)이다.

그리고 수학식 3을 테일러 급수 형태로 전개하고 근사하면 수학식 4와 같이 표현되며, 이는 도 3과 같이 도식화 될 수 있다.

수학식 4

$$E(t) \cong \sqrt{b} + \frac{1}{2\sqrt{b}}s(t) - \frac{1}{8\sqrt{b^3}}s(t)^2 + \frac{1}{16\sqrt{b^5}}s(t)^3 \dots$$

도 3은 제한된 대역폭으로 변조된 광 신호와 광 신호의 전계 크기에 대한 파워 스펙트럼 밀도를 나타낸다.

도 3에서 (a)는 제한된 대역폭에서 변조된 광 신호의 파워 스펙트럼 밀도(Power Spectral Density: 이하 PSD)를 나타내고, (b)는 변조된 광 신호의 전계 크기(E)에 대한 PSD를 나타낸다.

도 3의 (b)에 도시된 바와 같이, 제한된 대역폭에서 변조된 광 신호의 전계 크기(E)에 대한 PSD는 전계-세기 관계의 비선형성으로 인해 넓어지게 된다.

도 4는 본 실시예에 따른 광 송신 장치에서 대역폭과 광 송신 신호의 세기를 향상시키는 개념을 설명하기 위한 도면이다.

상기한 바와 같이, 변조된 광 신호의 전계 크기(E)에 대한 PSD는 전계-세기 관계의 비선형성으로 인해 넓어지며, 이에 도 4에 도시된 바와 같이 전계 도메인에서 필터($H(f)$)로 변조된 광 신호를 필터링할 수 있다면, 제한된 변조 대역폭으로도 더 넓은 대역폭을 갖고 첨예화된 펄스를 갖는 광 신호를 생성할 수 있다. 다시 말해, 광 신호에 대한 변조는 기존과 동일하게 수행하되, 변조된 광 신호의 펄스 패턴을 가변하여 광 증폭기로 입력하면, 변조 대역폭의 효율 저하 없이, 광 증폭기의 제한된 평균 파워 제한에서도 출력되는 광 송신 신호의 세기를 향상시킬 수 있다.

도 5는 일 실시예에 따른 무선 광 송신 장치의 구성을 나타내고, 도 6은 도 5의 무선 광 송신 장치의 각 구성에서 출력되는 광 신호를 나타낸다.

도 5를 참조하면, 실시예에 따른 무선 광 송신 장치는 데이터 변환 모듈(10), 광 출력 모듈(20), 지연 간섭계(30) 및 광 증폭기(40)를 포함할 수 있다.

데이터 변환 모듈(10)은 전송하고자 하는 송신 데이터를 인가받고, 인가된 송신 데이터에 따라 광 출력 모듈(20)에서 출력되는 광을 세기 변조하기 위한 변조 제어 신호를 광 출력 모듈(20)로 출력한다. 실시예에서 데이터 변환 모듈(10)은 상기한 OOK나 PPM과 같은 다양한 변조 기법에 따라 변조 제어 신호를 생성하여 출력할 수 있다. 그러나 여기서는 변조 대역폭 효율성을 고려하여 데이터 변환 모듈(10)이 OOK 변조 기법에 따른 변조 제어 신호를 생성하여 출력하는 것으로 가정한다.

광 출력 모듈(20)은 광을 생성하여 출력하는 광원으로서, 일 예로 레이저 다이오드(Laser Diode) 등으로 구현될 수 있다. 이때 광 출력 모듈(20)은 변조 제어 신호에 의해 출력되는 광의 세기를 조절하여 출력할 수 있다. 즉 실시예에서 광 송신 장치는 변조 제어 신호에 의해 광원에서 출력되는 광원의 세기를 직접 제어하는 직접 변조(Direct Modulation) 방식을 이용하며, 직접 변조 방식에서도 상기한 가정에 따라 OOK 변조 기법에 따라 광을 변조하여 출력할 수 있다. 일 예로 광 출력 모듈(20)은 송신 데이터에서 "1"의 비트값에 따라 지정된 세기의 광을 지연 간섭계(30)로 출력하는 반면, "0"의 비트값에 따라 광을 출력하지 않도록 구성될 수 있으며, 이때 출력되는 광 신호의 전계 세기(E)는 도 1의 (a)와 같이 고정된 세기(E_0)를 가질 수 있다. 이때 변조된 광 신호에서 송신 데이터의 각 비트를 구분하는 시간 간격은 t_0 인 것으로 가정한다. 즉 변조된 광 신호의 각 비트에 따

른 펄스는 비트를 구분하는 비트 구간의 시간 간격(t_0)만큼의 폭을 갖는다.

- [0050] 한편 지연 간섭계(30)는 도 4에 도시된 전계 도메인에서 광 신호를 필터링하는 필터($H(f)$)로 동작한다. 지연 간섭계(30)는 2개의 광 커플러(31, 35) 및 반비트 지연기(32)를 포함할 수 있다.
- [0051] 2개의 광 커플러 중 제1 광 커플러(31)는 광 출력 모듈(20)에서 변조 제어 신호에 의해 변조되어 출력된 광 신호를 인가받아 커플링하여 2개의 분할 광 신호로 분배한다. 이때 분배된 2개의 분할 광 신호는 도 6의 (a)에 도시된 바와 같이 동일한 전계 세기($E_0/\sqrt{2}$)를 갖는 신호로 분배될 수 있다.
- [0052] 그리고 도 6의 (a)와 같이 2개의 분할 광 신호 중 하나인 제1 분할 광 신호는 그대로 제2 광 커플러(35)로 전달되는 반면, 나머지 제2 분할 광 신호는 반비트 지연기(32)를 통해 제2 광 커플러(35)로 전달된다.
- [0053] 반비트 지연기(32)는 제2 분할 광 신호를 지연하여 제2 광 커플러(35)로 전달한다. 이때 반비트 지연기(32)는 변조되고 분할되어 전달된 제2 분할 광 신호를 도 6의 (b)에서와 같이 반비트에 해당하는 시간($t_0/2$)만큼 지연하여 분할 지연 광 신호를 출력한다.
- [0054] 반비트 지연기(32)는 별도의 광지연 소자로 구현될 수도 있으나, 단순히 제1 분할 광 신호가 전달되는 광 선로보다 긴 길이를 갖는 광 선로로 구현되어 제2 분할 광 신호를 지연할 수 있다. 그리고 반비트 지연기(32)를 구현하는 광 선로의 길이는 분할 지연 광 신호가 제1 분할 광 신호에 비해 반비트 시간($t_0/2$)만큼 더 지연되도록 하는 길이로 형성된다.
- [0055] 제2 광 커플러(35)는 제1 분할 광 신호와 분할 지연 광 신호를 인가받고 인가된 제1 분할 광 신호와 분할 지연 광 신호를 커플링함으로써, 전계 도메인에서 제1 분할 광 신호와 분할 지연 광 신호의 전계 세기가 서로 차감된 광 세기를 갖는 차감 광 신호를 획득한다. 여기서 차감 광 신호의 광 세기는 도 6의 (c)와 같이, 지연 간섭계(30)에 입력된 변조 광 신호의 광 세기(I_0)에 비해 $1/4$ 크기($I_0/4$)에 해당하는 세기를 갖는다.
- [0056] 제2 광 커플러(35)는 기본적으로 광 간섭계(Optical Interferometer)로 동작하여, 제1 분할 광 신호와 분할 지연 광 신호의 전계 세기가 서로 차감된 광 세기를 갖는 차감 광 신호뿐만 아니라, 도 6의 (d)에 도시된 바와 같이, 제1 분할 광 신호와 분할 지연 광 신호의 전계 세기가 서로 가산된 광 세기를 갖는 가산 광 신호도 함께 생성한다. 다만 실시예에서는 차감 광 신호만을 이용하므로, 여기서는 가산 광 신호에 대한 상세한 설명은 생략한다.
- [0057] 제2 광 커플러(35)에서 생성된 차감 광 신호는 지연 간섭계(30)에 입력된 변조 광 신호의 광 세기(I_0)에 비해 $1/4$ 크기($I_0/4$)에 해당하는 세기를 갖지만, 광 신호의 각 비트에서의 펄스 폭은 입력된 변조 광 신호의 비트별 펄스 폭에 따른 비트 구간의 시간 간격(t_0)에 비해 $1/2$ 의 시간 간격($t_0/2$)을 갖는다.
- [0058] 여기서 송신 데이터의 비트값에 따라 생성된 차감 광 신호는 PPM 변조된 변조 광 신호와 상이한 패턴을 갖는다. 도 2의 (c)에 도시된 바와 같이 PPM 기법으로 변조된 변조 광신호는 송신 데이터의 각 비트에 따른 비트 구간이 동일한 시간 간격(t_0)으로 할당되고, 할당된 시간 간격(t_0)을 다시 더 작은 시간 구간($t_0/2$)으로 분할하여 각 비트값에 따라 분할된 시간 구간($t_0/2$) 동안 지정된 세기의 광을 출력한다. 즉 비트값에 무관하게 비트별로 할당된 비트 구간의 시간 간격(t_0) 내에서 분할된 시간 구간($t_0/2$) 동안 지정된 세기의 광이 출력된다.
- [0059] 그에 반해, 실시예의 지연 간섭계(30)에서 출력되는 차감 광 신호는 제1 분할 광 신호에서 제1 분할 광 신호에 비해 반비트 시간($t_0/2$)만큼 지연된 분할 지연 광 신호를 차감하여 생성됨에 따라 도 6의 (c)에 도시된 바와 같이, 송신 데이터의 연속하는 다수의 비트 사이에서 비트값이 서로 상이한 경우에만 반비트 시간($t_0/2$)만큼 광이 출력된다. 즉 연속하는 비트들의 비트값이 동일한 경우에는 광이 출력되지 않는다. 이 경우, 송신 데이터의 연속하는 비트들의 비트값이 모두 상이한 경우에만 유효 듀티 사이클(DC_{eff})이 PPM과 동일하게 $1/2$ 가 되고, 이외의 경우에 유효 듀티 사이클(DC_{eff})은 $1/2$ 미만인 된다.
- [0060] 실시예에서는 광 출력 모듈(20)이 OOK 변조 기법에 따라 광 신호를 변조한 것으로 가정하였으므로, PPM 변조 기법을 적용하는 경우에 비해 더 많은 대역폭을 요구하지 않는다. 즉 대역폭의 효율 저하가 발생되지 않는다. 그럼에도 불구하고 실시예에서는 지연 간섭계(30)는 입력된 변조 광 신호를 분할하고 반비트 지연하여 재결합하

는 단순 동작만으로도 출력되는 차감 광 신호의 유효 듀티 사이클(DC_{eff})이 1/2 이하가 되도록 할 수 있다.

- [0061] 광 증폭기(40)는 인가된 차감 광 신호를 제한된 평균 파워에서 가능한 최대의 세기로 증폭하여, 도 6의 (e)와 같이, 세기 증폭된 광 송신 신호를 출력한다.
- [0062] 이때, 차감 광 신호의 유효 듀티 사이클(DC_{eff})이 00K 변조된 변조 광신호에 비해 1/2 이하이므로, 광 증폭기(40)는 인가된 차감 광 신호를 변조 광신호의 광 세기(I_0)의 2배 이상의 광 세기($2I_0$)로 증폭하여 광 송신 신호를 생성할 수 있다. 여기서는 이해의 편의를 위하여 광 송신 신호의 광 세기가 변조 광신호의 광 세기(I_0)의 2배인 것으로 도시하였으나, 상기한 바와 같이, 차감 광 신호의 유효 듀티 사이클(DC_{eff})이 변조 광신호의 1/2 이하이므로, 실제 광 송신 신호의 광 세기는 2배 이상의 광 세기($2I_0$)로 출력될 수 있다.
- [0063] 결과적으로 실시예의 광 송신 장치는 기준 대역폭을 이용하는 00K 기법에 따라 광 신호를 1차 변조하여 변조 광신호를 생성하고, 이후 지연 간섭계(30)를 이용하여 변조 광 신호를 분할 및 반비트 지연하여 재결합하는 간단한 2차 변조 동작을 수행한 후 광 증폭기로 광 세기를 증폭함으로써, 광 변조를 위한 변조 대역폭과 광 증폭을 위한 유효 듀티 사이클(DC_{eff})의 조절이 서로 분리되도록 한다.
- [0064] 따라서 제한된 대역폭으로도 더 넓은 대역폭을 갖고 첨예화된 펄스를 갖는 광 신호를 생성할 수 있다. 즉 변조 대역폭의 효율 저하 없이, 광 증폭기의 제한된 평균 파워 제한에서도 출력되는 광 신호의 세기를 향상시킬 수 있다.
- [0065] 한편 도시하지 않았으나, 실시예의 광 송신 장치는 광 출력 모듈(20)과 지연 간섭계(30) 사이에 광 대역 통과 필터(Optical Band Pass Filter: 이하 OBPF)(미도시)를 더 포함할 수 있다. OBPF는 광 출력 모듈(20)에서 변조되어 전송된 광 신호를 우선 1차 필터링하여 지연 간섭계(30)로 전송함으로써, 지연 간섭계(30)의 전계 도메인에서의 필터링 성능을 일부 향상시킬 수 있다. 그러나 OBPF는 부가적인 구성 요소로서 도 5에서와 같이 생략될 수 있다.
- [0066] 또한 실시예의 지연 간섭계(30)는 2개의 편광 제어기(33, 34)를 더 포함할 수 있다. 2개의 편광 제어기(33, 34) 중 제1 편광 제어기(33)는 제1 광 커플러(31)와 제2 광 커플러(35) 사이에 배치되어, 1 광 커플러(31)에서 출력되는 제1 분할 광 신호의 편광 방향을 조절하여 출력할 수 있다. 그리고 제2 편광 제어기(34)는 반비트 지연기(32)와 제2 광 커플러(35) 사이 각각에 배치되어, 반비트 지연기(32)에서 인가된 광 신호의 편광을 조절하여 제2 광 커플러(35)로 전달할 수 있다.
- [0067] 이는 제2 분할 광 신호가 제1 분할 광 신호와 상이한 경로를 가져 반비트 지연기(32)에서 반비트 시간만큼 지연되어 분할 지연 광 신호로 획득되는 동안, 편광 방향의 변화가 유발되어 차감 광 신호에 의도하지 않은 광 신호 성분이 포함되지 않도록 하기 위함이다. 즉 2개의 편광 제어기(33, 34)는 차감 광 신호에 노이즈가 포함되지 않도록 제1 분할 광 신호와 분할 지연 광 신호의 편광 방향을 매치시킨다.
- [0068] 상기에서는 이해의 데이터 변환 모듈(10)과 광 출력 모듈(20)을 구분하여 도시하였으나, 데이터 변환 모듈(10)과 광 출력 모듈(20)은 송신 데이터에 따라 광을 변조하여 변조 광 신호를 생성하는 제1 광 변조기라 할 수 있다. 이와 유사하게 반비트 지연기(32)는 제1 광 변조기에서 생성된 변조 광 신호를 2차 변조하여 차감 광 신호를 생성하는 것으로 볼 수 있으며, 이에 반비트 지연기(32)는 제2 광 변조기라고 할 수도 있다.
- [0069] 도 7은 도 5의 무선 광 송신 장치에서 전송되는 광 신호의 세기를 나타낸다.
- [0070] 도 7에서 (a) 및 (b)는 각각 00K 변조되고 증폭된 광 송신 신호와 실시예에 따라 반비트 지연 결합된 차감 광 신호를 증폭한 광 송신 신호의 아이 다이어그램을 나타낸다.
- [0071] (a) 및 (b)를 비교하면, 실시예에 따른 광 송신 신호가 샘플 포인트(sample point)에서 2배 이상의 최대 세기를 획득하는 것을 알 수 있다.
- [0072] 도 8은 일 실시예에 따른 무선 광 송신 방법을 나타낸다.
- [0073] 도 5에 도시된 무선 광 통신 장치를 참조하여, 도 8의 무선 광 통신 방법을 설명하면, 우선 전송하고자 하는 송신 데이터의 각 비트별 비트값에 따라 광원에서 조사되는 광 신호의 세기를 조절하여 변조 광 신호를 생성한다(81). 이때 변조 광 신호는 변조 대역폭의 효율성을 고려하여 00K 기법에 따라 직접 변조되어 생성될 수 있다. 즉 광 출력 모듈(20)이 데이터 변환 모듈(10)에서 인가되는 변조 제어 신호에 응답하여 각 비트의 비트값에 따

라 비트를 구분하는 비트 구간의 시간 간격(t_0) 동안 지정된 세기(I_0)의 광을 출력하거나 출력하지 않음으로써 변조 광 신호를 생성할 수 있다.

[0074] 경우에 따라서 생성된 변조 광 신호에 대해 광 대역 통과 필터를 이용하여 필터링을 수행할 수도 있다.

[0075] 그리고 광 커플러가 변조 광 신호를 커플링으로 2개로 분할한다(82). 변조 광 신호가 2개의 분할 광 신호로 분할되면, 2개의 분할 광 신호 중 하나를 반비트 시간 간격($t_0/2$)만큼 지연하여 분할 지연 광 신호를 생성한다(83). 이후, 다시 광 커플러를 이용하여 지연되지 않은 분할 광 신호와 반비트 시간 간격($t_0/2$)만큼 지연된 분할 지연 광 신호를 커플링하여 재결합한다(84). 이에 전계 도메인에서 분할 광 신호의 전계 세기에서 반비트 시간 간격($t_0/2$)만큼 지연된 분할 지연 광 신호의 전계 세기가 차감되어 변조 광 신호에 비해 1/4 크기의 광 세기($I_0/4$)를 갖는 차감 광 신호가 획득된다. 차감 광 신호와 함께 이에 전계 도메인에서 분할 광 신호의 전계 세기에서 반비트 시간 간격($t_0/2$)만큼 지연된 분할 지연 광 신호의 전계 세기가 가산된 가산 광 신호가 획득될 수 있으나, 이는 이용하지 않는다.

[0076] 차감 광 신호가 획득되면, 광 증폭기가 차감 광 신호를 증폭하여 광 송신 신호를 생성한다(85). 여기서 광 증폭기는 EDFA와 같이 평균 파워가 제한된 광 증폭기로서, 제한된 평균 파워에서 가능한 최대의 세기로 차감 광 신호를 증폭하여 광 송신 신호를 생성한다. 이때 생성되는 광 송신 신호는 변조 광 신호에 비해 2배 이상의 세기를 갖도록 생성될 수 있다.

[0077] 그리고 광 송신 신호가 생성되면, 생성된 광 송신 신호를 무선으로 광 수신 장치로 전송한다(86).

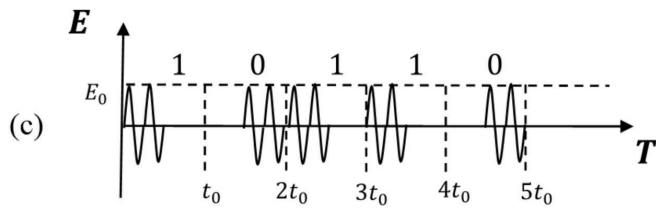
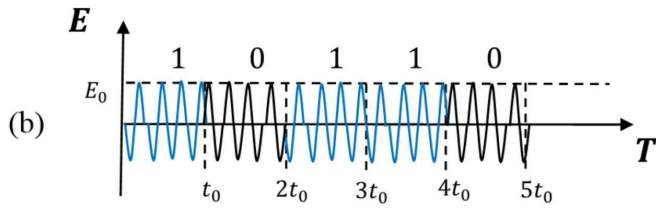
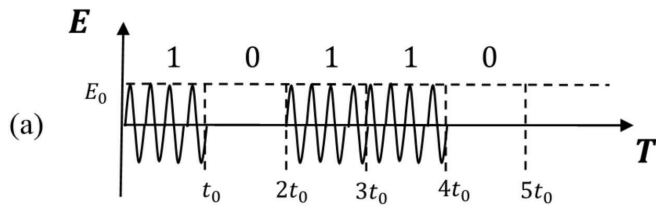
[0078] 이상에서 대표적인 실시예를 통하여 본 발명에 대하여 상세하게 설명하였으나, 본 기술 분야의 통상의 지식을 가진 자라면 이로부터 다양한 변형 및 균등한 타 실시예가 가능하다는 점을 이해할 것이다. 따라서, 본 발명의 진정한 기술적 보호 범위는 첨부된 청구범위의 기술적 사상에 의해 정해져야 할 것이다.

부호의 설명

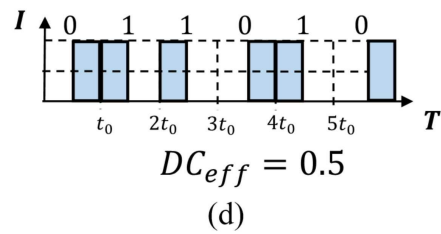
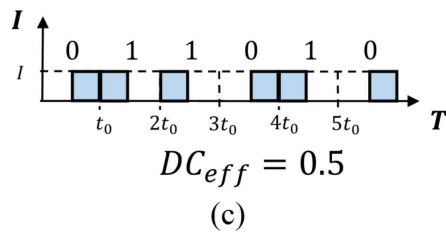
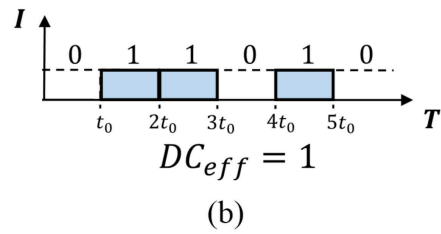
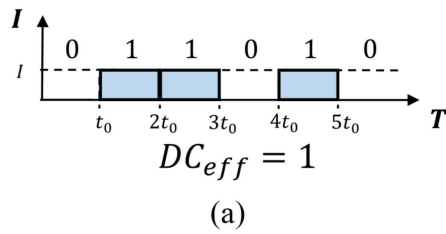
[0079] 10: 데이터 변환 모듈 20: 광 출력 모듈
30: 지연 간섭계 31, 35: 광 커플러
32: 반비트 지연기 33, 34: 편광 제어기
40: 광 증폭기

도면

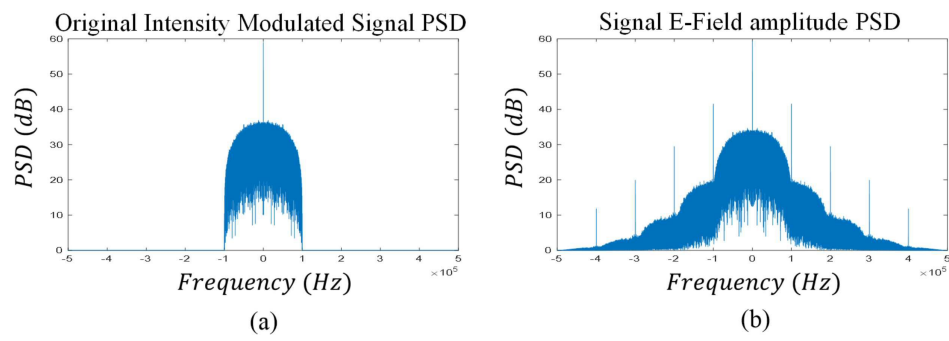
도면1



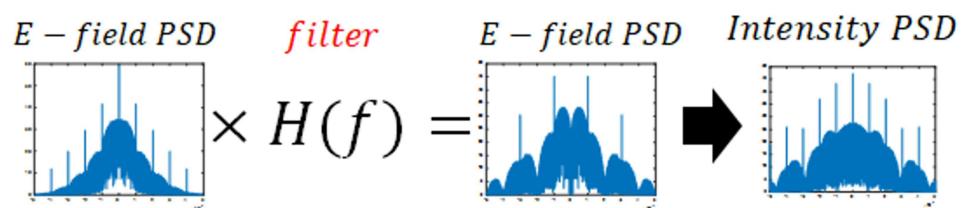
도면2



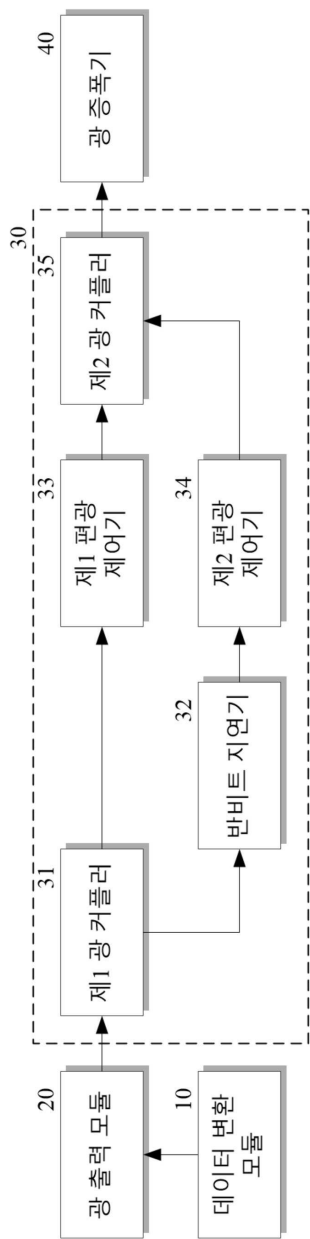
도면3



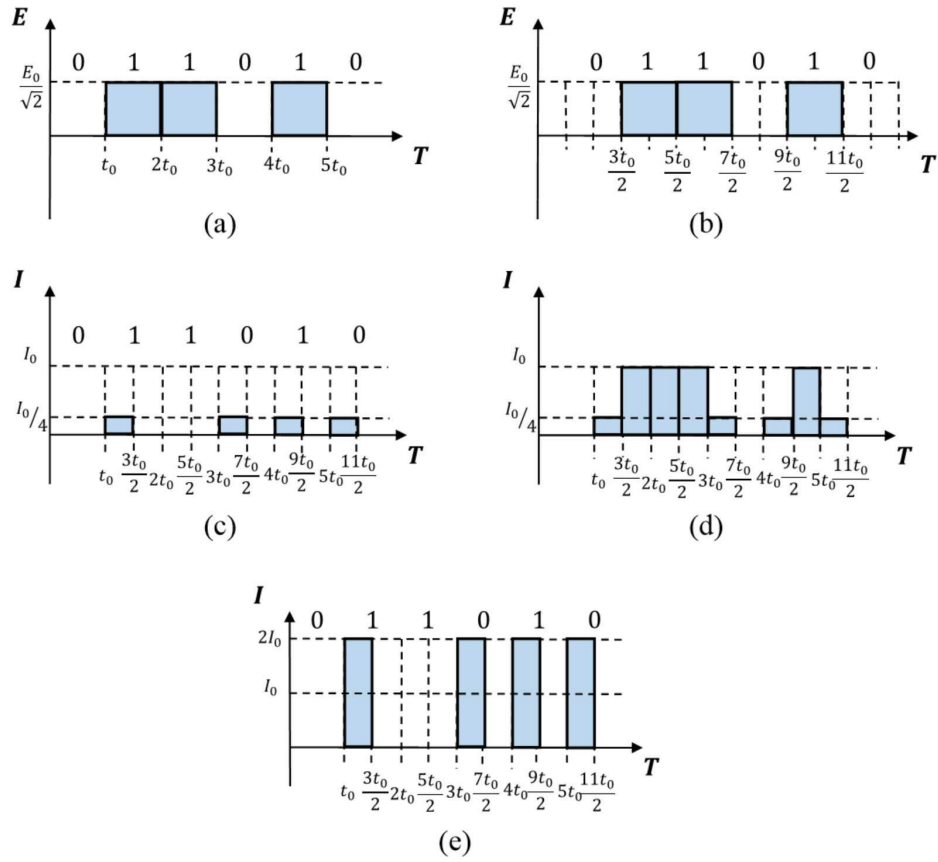
도면4



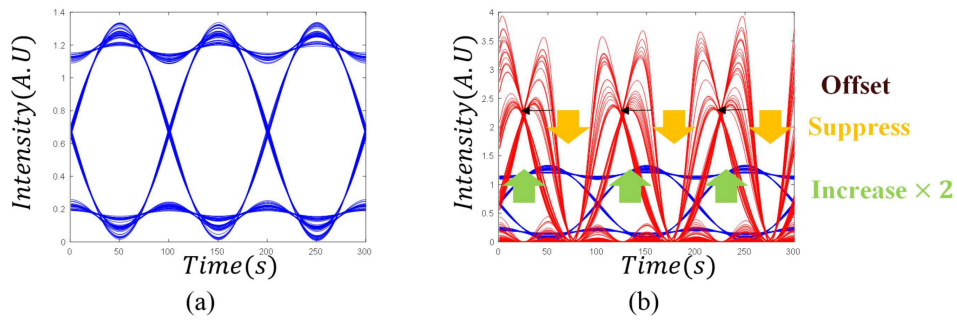
도면5



도면6



도면7



도면8

