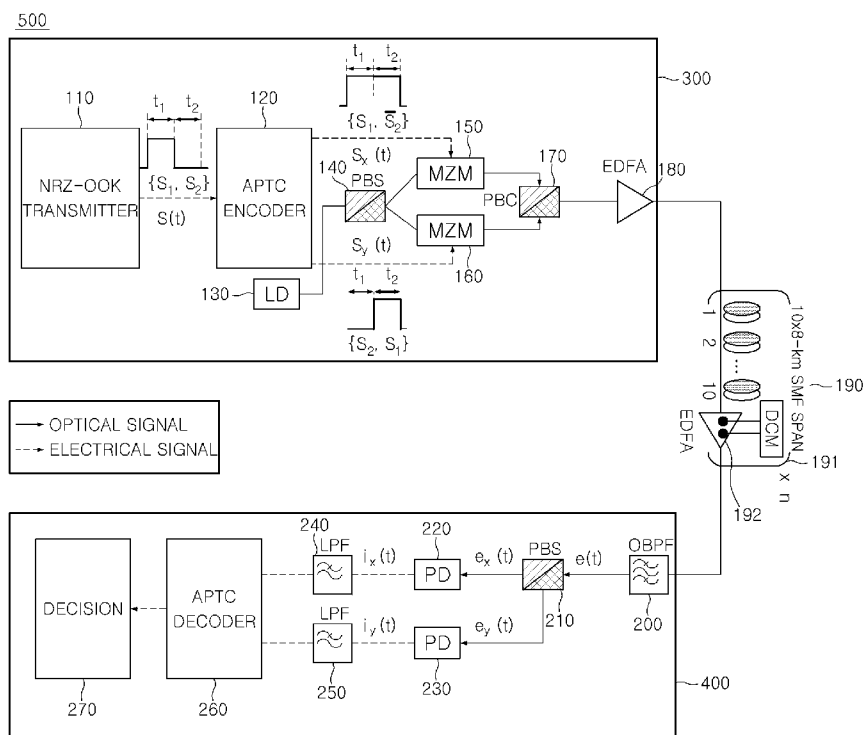




- (51) 국제특허분류: *H04B 10/50* (2013.01) *H04B 10/294* (2013.01) Ahmed Galib); 34141 대전시 유성구 대학로 291, Daejeon (KR).
- (21) 국제출원번호: PCT/KR2017/000122 (74) 대리인: 특허법인 충정 (HWANG MOK PARK IP GROUP); 06234 서울시 강남구 테헤란로 14길 16, 8층 (역삼동, 라인빌딩), Seoul (KR).
- (22) 국제출원일: 2017년 1월 5일 (05.01.2017)
- (25) 출원언어: 한국어
- (26) 공개언어: 한국어
- (30) 우선권정보: 10-2016-0182949 2016년 12월 29일 (29.12.2016) KR
- (71) 출원인: 한국과학기술원 (KOREA ADVANCED INSTITUTE OF SCIENCE AND TECHNOLOGY) [KR/KR]; 34141 대전시 유성구 대학로 291, Daejeon (KR).
- (72) 발명자: 이준구 (RHEE, June Koo); 34141 대전시 유성구 대학로 291, Daejeon (KR). 레자아메드 갈립 (REZA,
- (81) 지정국 (별도의 표시가 없는 한, 가능한 모든 종류의 국내 권리의 보호를 위하여): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

(54) Title: OPTICAL TRANSMISSION METHOD AND SYSTEM USING TIME-POLARIZATION CODING FOR POLARIZATION-MULTIPLEXED OPTICAL TRANSMISSION

(54) 발명의 명칭: 편광 다중 광전송을 위한 시편광 코딩을 이용한 광 전송 방법 및 시스템



(57) Abstract: The present invention relates to an optical transmission method and system using time-polarization coding for polarization-multiplexed optical transmission, and the optical transmission method using time-polarization coding for polarization-multiplexed optical transmission according to the present invention comprises: a step of generating a pair of orthogonally coded symbols (S_1 and S_2) from an input signal; a step of simultaneously transmitting, to a first symbol section, the symbols (S_1 and S_2) respectively via horizontal polarization and vertical polarization; and a step of simultaneously transmitting, to a second symbol section, the symbols

(84) 지정국 (별도의 표시가 없는 한, 가능한 모든 종류의 역내 권리의 보호를 위하여): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), 유라시아 (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), 유럽 (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

규칙 4.17에 의한 선언서:

— 신규성을 해치지 아니하는 개시 또는 신규성 상실의 예외에 관한 선언 (규칙 4.17(v))

공개:

— 국제조사보고서와 함께 (조약 제21조(3))

respectively via horizontal polarization and vertical polarization.

(57) 요약서: 본 발명은 편광 다중 광전송을 위한 시편광 코딩을 이용한 광 전송 방법 및 시스템에 관한 것으로서, 본 발명의 편광 다중 광전송을 위한 시편광 코딩을 이용한 광 전송 방법은, 입력 신호로부터 직교 코드화된 한쌍의 심볼들(S_1, S_2)을 생성하는 단계; 제1 심볼 구간에 수평 편광 및 수직 편광으로 심볼들(S_1, S_2) 각각을 동시에 전송하는 단계; 및 제2 심볼 구간에 수평 편광 및 수직 편광으로 심볼들 각각을 동시에 전송하는 단계를 포함한다.

명세서

발명의 명칭: 편광 다중 광전송을 위한 시편광 코딩을 이용한 광 전송 방법 및 시스템

기술분야

- [1] 본 발명은 광 전송 시스템을 위한 수신기 모델에 관한 것으로, 특히, 편광 - 시간 코딩의 형태로 수정된 알라모우티(Alamouti) 공간-시간 코드를 이용하여, 세기 변조(intensity modulation)/직접 검출(direct detection) (IM/DD) 광 전송 시스템에서 편광 다중화(PDM, polarization diversity multiplex) 이득을 이용하여 편광 모드 분산(PMD, polarization mode dispersion) 손상(impairments)을 방지하는, 편광 다중 광전송을 위한 시편광 코딩을 이용한 광 전송 방법 및 시스템에 관한 것이다.

배경기술

- [2] 광섬유 채널 용량에 대한 요구가 40 Gbps 이상으로 증가함에 따라 오늘날의 고속 섬유 기반 광통신 시스템의 성능은 편광 모드 분산(PMD)으로 인해 용량 제한을 극복할 것으로 예상된다. 반면 편광 모드 분산(PMD)은 편광 다중화(PDM)의 사용으로 채널 용량을 강화할 수 있는 다양성을 준다. 단순 편광 다중화(PDM) 기술은 두개의 직교하는 편광 모드 상에 두개의 광 데이터 열을 다중화하고, 수신단에서 그들을 직교하도록 역다중화한다. 그러나, 이러한 기술은 빠른 편광 회전(rotation)을 정확하게 보상하기 위한 수신기의 주요 요구사항을 만족시키지 못하고, 이로 인해 광 섬유 전송 시스템에서 편광 크로스톡(crosstalk)을 유발할 수 있다.
- [3] 따라서, 대부분의 직접 검출 방식은, 역 다중화의 광 채널의 편광 상태(SOP, state of polarization)를 동적으로 조정하기 위하여, 대용량이고 고비용의 LiNbO₃(niobate) 편광 변환기와 그에 부수된 편광 빔 스플리터(PBS, polarization beam splitter)에 기반한 자동 편광 제어기(PC, polarization controller)를 적용한다. 이러한 기술은 B. Koch 등에 의한 "Versatile endless optical polarization controller/tracker/demultiplexer" (Opt. Express 22(7), 8259-8276 (2014)), Y. Shen 등에 의한 "Design of polarization de-multiplexer and PMD compensator for 112 Gb/s direct-detect PDM RZ-DQPSK systems" (J. Lightwave Technol. 28(22), 3282-3293 (2010)) 등의 문헌에 기술되어 있다.
- [4] 긴 편광 모드 분산(PMD) 손상 섬유에서 편광 상태(SOP)의 끊임없는 추적(tracking)이 거의 불가능하기 때문에, 이러한 상업적 해결 시도가 현실화되지 못하였다. 광 가간섭(coherent) 검출 기술은 디지털 전기적 처리의 사용으로 편광 다중화(PDM)의 역다중화와 편광 모드 분산(PMD) 패널티(penalty)에 보상을 동시에 수행할 수 있다. 이러한 기술은 Jeffrey T. Rahn 등에 의한 "Real-time PMD tolerance measurements of a PIC-based 500 Gb/s coherent optical modem", (J. Lightwave Technol. 30(17), 2907-2912 (2012)) 등의 문헌에

기술되어 있다. 그러나, 광 가간섭(coherent) 통신 시스템은 10 Gbps 이상의 데이터 레이트에서 고용량 채널을 다루기 위하여 매우 복잡하고 비용이 많이 들며, 정확한 채널 추정을 요구한다.

발명의 상세한 설명

기술적 과제

- [5] 따라서, 본 발명은 상술한 문제점을 해결하기 위하여 안출된 것으로, 본 발명의 목적은, 수정된 알라모우티(Alamouti) 코드를 이용하여 편광 제어기(PC)들과 채널 추정기들의 요구 조건들을 경감시킬 수 있는, 편광 다중 광전송을 위한 시편광 코딩 코딩을 이용한 광 전송 방법 및 시스템을 제공하는 데 있다.

과제 해결 수단

- [6] 먼저, 본 발명의 특징을 요약하면, 상기의 목적을 달성하기 위한 본 발명의 일면에 따른 편광 다중 광전송을 위한 시편광 코딩을 이용한 광 전송 방법은, 입력 신호로부터 직교 코드화된 한쌍의 심볼들(S_1, S_2)을 생성하는 단계; 제1심볼 구간에 수평 편광 및 수직 편광으로 심볼들(S_1, S_2) 각각을 동시에 전송하는 단계; 및 제2심볼 구간에 수평 편광 및 수직 편광으로 심볼들($\bar{s}_2 = 1 - s_2, S_1$) 각각을 동시에 전송하는 단계를 포함한다.
- [7] 상기 광 전송 방법은, 수신측에서 채널상태정보(CSI, channel state information)를 추정 없이 각 심볼구간의 수평 및 수직 편광 전류들을 이용하여 APTC(Alamouti-type polarization-time coding)에 따른 코드를 디코딩해 수신 심볼을 추정하기 위한 것을 특징으로 한다.
- [8] 상기 입력 신호는 NRZ-OOK(non-return-to-zero ON-OFF keying) 신호이다.
- [9] 상기 광 전송 방법은, 광 전송로를 통해 수신되는 편광 다중화 상기 심볼들을 두개의 직교 편광 신호들로 역다중화하는 단계; 광검출기들을 이용하여 역다중화된 상기 직교 편광 신호들을 각각 광전 변환하는 단계; 광전 변환된 신호들을 저주파 통과 필터링하는 단계; 및 저주파 통과 필터링된 신호들로부터 두개의 심볼 구간 각각에서의 상기 광검출기들의 수평 및 수직 편광 전류들의 합산값에 대응되는 상기 두개의 심볼 구간 각각의 심볼을 추정하는 단계를 더 포함한다.
- [10] 또는, 상기 광 전송 방법은, 광 전송로를 통해 수신되는 편광 다중화 상기 심볼들에 대하여 하나의 광검출기를 이용하여 광전 변환하는 단계; 광전 변환된 신호를 저주파 통과 필터링하는 단계; 및 저주파 통과 필터링된 신호로부터 두개의 심볼 구간 각각에서 상기 하나의 광검출기에 의해 출력되는 수평 및 수직 편광 전류들의 합산값에 대응되는 상기 두개의 심볼 구간 각각의 심볼을 추정하는 단계를 더 포함한다.
- [11] 상기 추정된 심볼은 $\bar{s}_2^2 = 1 - s_2^2$ 을 사용하는 균등화된(equalized) 심볼이다.
- [12] 상기 심볼을 추정하는 단계에서, 1비트 딜레이와 합산(one-bit delay-and-add) 및 1비트 딜레이와 감산(one-bit delay-and-subtract) 필터를 이용하여 상기 각각의

심볼을 추정한다.

- [13] 그리고, 본 발명의 다른 일면에 따른 편광 다중 광전송을 위한 시편광 코딩을 이용한 광 전송 시스템은, 입력 신호로부터 직교 코드화된 한쌍의 심볼들(S_1, S_2)을 생성하는 인코더; 레이저 빔을 발생하는 레이저 다이오드; 상기 레이저 빔으로부터 수평 편광 및 수직 편광으로 분리된 빔을 생성하는 편광빔 스플리터; 상기 수평 편광 및 수직 편광의 빔을 이용해 각각의 심볼을 변조하는 2개의 변조기들; 및 제1심볼 구간에 상기 변조기들에 의해 변조된 상기 수평 편광 및 수직 편광의 심볼들(S_1, S_2)을 결합하여 전송하고, 제2심볼 구간에 상기 변조기들에 의해 변조된 상기 수평 편광 및 수직 편광의 심볼들($\bar{s}_2 = 1 - s_2, S_1$)을 전송하는 편광빔 결합기를 포함한다.
- [14] 상기 광 전송 시스템은, 수신측에서 채널상태정보(CSI, channel state information)를 추정 없이 각 심볼구간의 수평 및 수직 편광 전류들을 이용하여 APTC(Alamouti-type polarization-time coding)에 따른 코드를 디코딩해 수신 심볼을 추정하기 위한 것을 특징으로 한다.
- [15] 상기 변조기들은 각각 마하젠더 변조기(Mach-Zehnder modulator)이다.
- [16] 상기 입력 신호는 NRZ-OOK(non-return-to-zero ON-OFF keying) 신호이다.
- [17] 상기 광 전송 시스템은, 광 전송로를 통해 수신되는 편광 다중화 상기 심볼들을 두개의 직교 편광 신호들로 역다중화하는 편광빔 스플리터; 역다중화된 상기 직교 편광 신호들을 각각 광전 변환하는 2개의 광검출기들; 광전 변환된 신호들을 각각 저주파 통과 필터링하는 2개의 저주파필터들; 및 저주파 통과 필터링된 신호들로부터 두개의 심볼 구간 각각에서의 상기 광검출기들의 수평 및 수직 편광 전류들의 합산값에 대응되는 상기 두개의 심볼 구간 각각의 심볼을 추정하는 디코더를 더 포함할 수 있다.
- [18] 또는, 상기 광 전송 시스템은, 광 전송로를 통해 수신되는 편광 다중화 상기 심볼들에 대하여 광전 변환하는 하나의 광검출기; 광전 변환된 신호를 저주파 통과 필터링하는 저주파필터; 및 저주파 통과 필터링된 신호로부터 두개의 심볼 구간 각각에서 상기 하나의 광검출기에 의해 출력되는 수평 및 수직 편광 전류들의 합산값에 대응되는 상기 두개의 심볼 구간 각각의 심볼을 추정하는 디코더를 더 포함할 수도 있다.
- [19] 상기 추정된 심볼은 $\bar{s}_2^2 = 1 - s_2^2$ 을 사용하는 균등화된(equalized) 심볼이다.
- [20] 상기 디코더는, 1비트 딜레이와 합산(one-bit delay-and-add) 및 1비트 딜레이와 감산(one-bit delay-and-subtract) 필터를 이용하여 상기 각각의 심볼을 추정한다.

발명의 효과

- [21] 본 발명에 따른 편광 다중 광전송을 위한 시편광 코딩을 이용한 광 전송 방법 및 시스템에 따르면, 편광 크로스톡과 편광 모드 분산(PMD) 때문에 상당히 어려운 알라모우티 타입 시편광 코딩(APTC)을 이용하여 IM/DD 환경에서 편광 다이버시티 이득을 이용할 수 있다. 편광 모드 분산(PMD) 채널의 단일화된 성질

때문에, 본 발명은 수신기측에 동적 편광 제어기(PC) 없이도 편광 크로스톡을 경감할 수 있다.

- [22] 또한, 본 발명에서의 디코딩 복잡도는 다른 시편광 기술 보다 상당히 낮다. 편광 모드 분산(PMD) 채널에서 광채널 모델을 2×2 MIMO 모델로서 사용함으로써, 광채널 추정기를 제거할 수 있기 때문이다. 본 발명의 APTC-IM/DD 방법은 6 ps 이하의 DGD를 갖는, 단거리/장거리(<800 km) 40 Gbps 광섬유 전송 시스템에서 3-dB 파워 감축의 이득을 얻을 수 있으며, IM/DD 시스템의 편광 모드 분산(PMD) 공차(tolerance)를 상당히 개선할 수 있다.

도면의 간단한 설명

- [23] 도 1은 복굴절(birefringence) 축들의 랜덤 회전을 갖는 연속적인 다양한 복굴절 세그먼트들로서, 긴 광섬유에 대한 편광 다중화(PDM)의 물리적 모델을 설명하기 위한 도면으로서, 빛은 왼쪽에서 오른쪽으로 전달 진행된다.
- [24] 도 2a는 본 발명의 IM/DD 광 전송 시스템에서 편광 모드 분산(PMD) 보상을 위한 알라모우티 타입 시편광 코딩(APTC) 방법을 설명하기 위한 블록도이다.
- [25] 도 2b는 본 발명의 다른 실시예에 따른 IM/DD 광 전송 시스템을 설명하기 위한 블록도이다.
- [26] 도 2c는 본 발명의 APTC IM/DD 광 전송 시스템의 동작 설명을 흐름도이다.
- [27] 도 3a는 일반적인 IM/DD 시스템(IM/DD)을 설명하기 위한 도면이다.
- [28] 도 3b는 최적으로 조정된 편광 제어기(PC) 뒤에 편광빔 스플리터(PBS)를 갖는 IM/DD 시스템(PC-IM/DD)을 설명하기 위한 도면이다.
- [29] 도 4는 8.5 ps의 차동 그룹 지연(DGD)을 갖는 40 Gbps 광섬유 전송시스템에서 OSNR에 대한 BER 결과를 비교한 그래프이다.
- [30] 도 5는 0~7200km 범위에서 다양한 길이의 PMD-손상 SMF 경로들 상에서의 전송 후, 차동 그룹 지연(DGD)에 대한 1차(first-order) PMD 공차의 결과를 나타내는 그래프이다.

발명의 실시를 위한 최선의 형태

- [31] 이하에서는 첨부된 도면들을 참조하여 본 발명에 대해서 자세히 설명한다. 이때, 각각의 도면에서 동일한 구성 요소는 가능한 동일한 부호로 나타낸다. 또한, 이미 공지된 기능 및/또는 구성에 대한 상세한 설명은 생략한다. 이하에 개시된 내용은, 다양한 실시 예에 따른 동작을 이해하는데 필요한 부분을 중점적으로 설명하며, 그 설명의 요지를 흐릴 수 있는 요소들에 대한 설명은 생략한다. 또한 도면의 일부 구성요소는 과장되거나 생략되거나 또는 개략적으로 도시될 수 있다. 각 구성요소의 크기는 실제 크기를 전적으로 반영하는 것이 아니며, 따라서 각각의 도면에 그려진 구성요소들의 상대적인 크기나 간격에 의해 여기에 기재되는 내용들이 제한되는 것은 아니다.
- [32] 먼저 알라모우티(Alamouti) 코딩에 대하여 간단히 기술한다. 알라모우티(Alamouti) 코딩은 S. M. Alamouti에 의해 저널 IEEE J. Select. Areas

Commun. 16(8), 1451-1458 (1998)에 발표했던 논문 "A simple transmitter diversity scheme for wireless communications"에 개시되어 있다. 알라모우티(Alamouti) 코딩은 송신기에서의 채널 조건에 대하여 알 필요 없으며, 공간-시간 코딩의 사용으로 공간 다이버시티 용량 이득을 이용하기 위한 무선 영역에서의 응용을 위해 고안되었다.

- [33] 본래의 알라모우티(Alamouti) 코딩은 편광 모드 분산(PMD)을 경감시키는 주요 결과들을 나타내는 광 가간섭(coherent) 시스템에 직접 적용될 수 있다. 이러한 기술은 Ivan B. Djordjevic 등에 의한 "Alamouti-type polarization-time coding in coded-modulation schemes with coherent detection" (Opt. Express 16(18), 14163-14172 (2008)), E. Awwad 등에 의한 편광 의존 손실(PDL, polarization dependent loss)과 관련되고 복소 가간섭 검출(complex coherent detections)과 정확한 채널 추정의 비용과 관련 논문으로서, "Polarization-time coding for PDL mitigation in long-haul PolMux OFDM systems" (Opt. Express 21(19), 22773-22790 (2013)) 등의 문헌에 개시되어 있다.
- [34] 일반적인 알라모우티(Alamouti) 코딩 원리는, 신호의 음수(negatives)와 켤레(conjugates)를 송신하고 검출하기 때문에, 세기 변조(intensity modulation)/직접 검출(direct detection) (IM/DD) 광 전송 시스템에 직접 구현될 수 없다. 이에도 불구하고 IM/DD 시스템은 시간 영역에서 음이 아닌 실수값 신호를 단지 다룬다. 수정된 알라모우티(Alamouti) 코딩 기술이 Simon and Vilmrotter에 의한 "Alamouti-type space-time coding for free-space optical communication with direct detection" (IEEE Trans. Wireless Commun. 4(1), 35-39 (2005))에서 논의되었고, 이는 자유 공간 IM/DD 광 시스템에서 공간-시간 다이버시티로부터의 채널 용량을 이용할 수 있다. 자유 공간 채널 페이딩(fading)은 무선 채널에서 관측되는 것과 매우 유사하다. 여기에 제시된 것처럼 동일한 기술이 시편광(polarization-time) 다이버시티 알라모우티(Alamouti) 코딩과 함께 적용될 수 있다. 그러나, 편광 제어기나 광 채널 추정기 없이 IM/DD 광 시스템에서 편광 다중화(PDM) 전송을 구현하는 것은, 두 직교 편광 모드 사이의 랜덤 크로스 커플링(random cross-coupling) 때문에, 차동 그룹 지연(DGD, differential group delay)이 없어도 지극히 어려운 일이다.
- [35] 본 발명에 따른 알라모우티 타입 시편광 코딩(APTC, Alamouti-type polarization-time coding)-IM/DD 기술은, 알라모우티 타입 코딩이 편광 다중화(PDM)-가능 IM/DD 전송 시스템에서 구체화될 수 있는 방법을 보여주기 위한 이론적인 모델링을 기초로 제안되었다. 여기서는 광 채널 모델을 2x2 MIMO 시스템으로서 이용함으로써 편광 다중화(PDM)와 편광 크로스톡(crosstalk)을 공통적으로 경감할 수 있게 된다.
- [36] 광 섬유에서 편광 다이버시티는 APTC 쓰루풋(throughput) 향상을 얻기 위해 사용된다. 이하 편광 다이버시티 채널 모델을 먼저 설명하고 APTC-IM/DD

시스템에 그 모델을 적용하는 방법을 설명한다.

[37]

[38] <편광 다이버시티를 갖는 광 섬유 모델>

[39] 편광 다이버시티를 갖는 광 섬유 채널 모델은 랜덤한 편광 상태(SOP) 회전과 약한 복굴절(birefringence)을 갖는 섬유에서의 커플링(couplings)에 대한 것을 포함한다. 여기서, 광 섬유 채널은 편광 상태(SOP)의 랜덤한 방향을 나타내며, 두 직교 편광 모드들 간의 차동 그룹 지연(DGD)을 나타낸다. 이러한 특성은 편광 모드 분산(PMD) 채널 모델로서 언급된다. 짧은 단일 모드 섬유(SMF, single mode fiber)에서, 편광 상태(SOP) 랜덤 커플링이 없으므로, 차동 그룹 지연(DGD)은 불균일하고 부가적이다. 그러나, 일반적인 통신 시스템, 예를 들어, 액세스 네트워크, 지상과 네트워크, 해저 케이블 시스템 등에서 섬유 길이들은 수십에서 수백 km에 달한다.

[40] 도 1은 복굴절(birefringence) 축들의 랜덤 회전을 갖는 연속적인 다양한 복굴절 세그먼트들로서, 긴 광섬유에 대한 편광 다중화(PDM)의 물리적 모델을 설명하기 위한 도면으로서, 빛은 왼쪽에서 오른쪽으로 전달 진행된다.

[41] 장거리 섬유의 편광 모드 분산(PMD)은 종종 다중 복굴절 세그먼트들의 연속으로 보여진다. 이 세그먼트들의 복굴절 축들과 크기들은 랜덤하게 변하고 이는 도 1과 같이 섬유에서 빠른 축과 느린 축 사이의 랜덤 커플링(coupling)을 일으킨다. 따라서, 장거리 섬유의 차동 그룹 지연(DGD)은 섬유 길이를 따라 선형으로 증가하지 않는다. 그 대신 섬유에서 차동 그룹 지연(DGD)의 증가는 3차원 랜덤 움직임(walk)으로서 연구될 수 있고, 평균 차동 그룹 지연(DGD)은 전달 거리(propagation distance)의 제곱근(square-root)으로 근사화될 수 있다. 편광 의존 손실(PDL)을 무시할 수 있는 경우에, 장거리 섬유의 편광 모드 분산(PMD)은 [수학식1]과 같이 랜덤한 방향의 편광 상태(SOP)를 갖는 연속 다중 복굴절 세그먼트들을 포함하는 존 매트릭스(Jones matrix)를 이용하여 채널 응답 함수 $H(\omega)$ 가 모델화될 수 있다.

[42] [수학식1]

[43]

$$\mathbf{H}(\omega) = \prod_{n=1}^N \begin{bmatrix} e^{j\omega\tau_n/2} & 0 \\ 0 & e^{-j\omega\tau_n/2} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \cos\theta_n & \sin\theta_n \\ -\sin\theta_n & \cos\theta_n \end{bmatrix}$$

[44] [수학식1]에서, N 은 섬유 세그먼트들의 수(자연수), ω 는 광 주파수(rad/sec)이다. τ_n 은 복굴절 세그먼트의 차동 그룹 지연(DGD), θ_n 은 n 번째와 $n-1$ 번째 세그먼트들의 주축(principle axes) 간의 각도로서 $[0, \pi]$ 사이에 랜덤하게 균일 분포하고 주파수에는 독립적이다. 이러한 모델은 0번째와 첫번째 오더(order) 각각의 차동 위상 지연(DPD, differential phase dispersion)과 차동 그룹 지연(DGD)을 포함해 모든 오더의 편광 모드 분산(PMD) 손상에 대한 특징을 나타낸다.

- [45] 섬유에서의 출력 신호 $S_{out}(\omega)$ 는 주파수 도메인에서 [수학식2]와 같이 나타낼 수 있다. 여기서, $\hat{e}_{in}$ 은 단위 벡터(unit vector), $\hat{S}_{in}(\omega)$ 은 $\hat{e}_{in}$ 에 의해 나타난 수평 또는 수직축 중 어느 하나에서 스칼라 입력 신호 $S(\omega)$ 의 주파수 도메인에서의 편광 벡터이다.
- [46] [수학식2]
- [47]
$$S_{out}(\omega) = H(\omega)\hat{S}_{in}(\omega) = H(\omega)S(\omega)\hat{e}_{in}$$
- [48]
- [49] <APTC-IM/DD 시스템 모델>
- [50] 도 2a는 본 발명의 IM/DD 광 전송 시스템(500)에서 편광 모드 분산(PMD) 보상을 위한 알라모우터 타입 시편광 코딩(APTC) 방법을 설명하기 위한 블록도이다. 도 2b는 본 발명의 다른 실시예에 따른 IM/DD 광 전송 시스템을 설명하기 위한 블록도이다. 도 2a, 도 2b에서, 신호 파형들은 타임 슬롯 t_1, t_2 에서 각각 전송된 심볼들이다. 도 2c는 본 발명의 APTC IM/DD 광 전송 시스템(500)의 동작 설명을 흐름도이다.
- [51] 도 2a를 참조하면, 본 발명의 일 실시예에 따른 제곱 검파(square-law) 직접 검출을 수행하는 IM/DD 광 전송 시스템(500)은, 전송기(transmitter)(300), 편광 모드 분산(PMD) 손상을 갖는 증폭된 단일 모드 섬유(SMF, single mode fiber)-28 광섬유 전송시스템(190), 및 수신기(receiver)(400)을 포함한다.
- [52] 전송기(300)는 NRZ-OOK(non-return-to-zero ON-OFF keying) 송신기(110), APTC 인코더(120), LD(laser diode, 레이저 다이오드)(130), 편광빔 스플리터(PBS, polarization beam splitter)(140), 마하젠더 변조기(MZM, Mach-Zehnder modulator)(150, 160), 편광빔 결합기(PBC, polarization beam combiner)(170), 에르븀 첨가 섬유 증폭기(EDFA, erbium-doped fiber amplifier)(180)을 포함한다.
- [53] 광섬유 전송시스템(190)은 단일 모드 섬유(SMF, single mode fiber)로서, 여기서, 8km 섬유마다 분산보상모듈(DCM, dispersion compensation module)(191)의 제어를 받는 EDFA(192)가 n(예, 10)번 구비되어 80km 섬유가 있는 것으로 가정한다.
- [54] 도 2a와 같이, 수신기(400)는 광(optical) 대역통과필터(OBPF, optical band pass filter)(200), 편광빔 스플리터(PBS, polarization beam splitter)(210), 제1 및 제2 광 검출기(PD, photodetector)(220, 230), 제1 및 제2 저주파필터(LPF, low pass filter)(240, 250), APTC 디코더(260), 결정부(270)를 포함한다.
- [55] 도 2b와 같이, 도 2a의 수신기 구조에서 편광빔 스플리터(210), 제2 광 검출기(230), 제2 저주파필터(250)은 생략될 수도 있다.
- [56] 광섬유 전송 시스템의 색 분산(chromatic dispersion) 손상은 분산 보상기들에 의해 보상되는 것으로 가정한다. 본 발명의 APTC-IM/DD 시스템(500)에서 편광 모드 분산(PMD)과 편광 크로스톡은 코딩만을 통하여 경감되며 편광 제어기(PC)는 사용되지 않는다.

[57]

[58] <전송기(300) 기술>

[59] NRZ-OOK 송신기(110)는 입력 데이터 열(sequence)로부터 NRZ-OOK 신호를 생성하여 APTC 인코더(120)로 전송하며(S210), APTC 인코더(120)는 두 심볼(s_1 , s_2)을 인코딩하기 위한 코드 블록(code block)으로서의 연속하는 두 타임 슬롯(t_1 , t_2)을 결합하고, 여기서 각 타임 슬롯에서 각각의 코드는 두개의 직교 편광을 통해 전송될 한쌍의 비트들(bits)을 포함한다(S220).

[60] N개의 전송된 심볼들의 벡터를 $s=[s_1, s_2, \dots, s_N]$ 로 하고, NRZ-OOK를 위해 $s_i \in \{0,1\}$ 이고, 여기서 $i=1,2,\dots,N$ 이다. APTC-IM/DD 기술에서 APTC 인코더(120)에 의해 코드 블록으로 직교 코드화된 한쌍의 심볼들($s_x(t)$, $s_y(t)$)을 반복 전송한다. 코드 블록의 첫 심볼 슬롯 t_1 동안, 수평(x)-/수직(y)-편광을 사용하여 전송된 코드는 $s_{t1}=[s_1 \ s_2]^T$ 으로 표현될 수 있다(S230). 심볼 주기 T 이후 두번째 심볼 슬롯 t_2 에서, 전송된 코드는 $s_{t2}=t_1+T=[\bar{s}_2 \ s_1]^T$ 이고, 여기서 $\bar{s}_2 = 1 - s_2$ 은 심볼 $s_2 \in \{0,1\}$ 의 보수(complement)를 나타낸다(S240). 위 첨자^T는 행렬 트랜스포즈(transpose) 연산이다. 여기서 채널 데이터 레이트는 1비트/타임슬롯이다. 이러한 두개의 직교 코드들은 각각 LD(130), 편광빔 스플리터(PBS)(140) 및 마하젠더 변조기(MZM)(150, 160)에 의해 변조되고, 편광빔 결합기(PBC)(170)에 의해 결합되어, 에르븀 첨가 섬유 증폭기(EDFA)(180)를 통해 PMD-손상 광섬유 전송시스템(190)으로 전송된다. 즉, 이전 심볼 구간 동안 수직 편광(y-편광)으로 전송된 심볼(S_2)은, 다음 심볼 구간에, 수평 편광(x-편광)으로 보완되어(상보적으로) 전송되고($\bar{s}_2 = 1 - s_2$), 이전 심볼 구간 동안 수평 편광(x-편광)으로 전송된 심볼(S_1)은, 다음 심볼 구간에, 수직 편광(y-편광)으로 전송된다(S_1).

[61] 이를 위하여, APTC 인코더(120)가 입력 데이터 열로부터 직교 코드화된 한쌍의 심볼들(S_1, S_2)을 생성하면, LD(130)에 의해 발생된 레이저 빔이 편광빔 스플리터(PBS)(140)에 의해 수평 편광(x-편광) 및 수직 편광(y-편광)으로 분리된 빔을 이용하여 전송될 수 있다.

[62] 마하젠더 변조기(MZM)(150, 160)는 각각의 심볼들(S_1, S_2)을 심볼 슬롯 t_1 에서 수평 편광 및 수직 편광의 빔을 이용해 변조하고, 편광빔 결합기(PBC)(170)에 의해 결합되어 각각의 심볼들(S_1, S_2)을 동시에 광섬유 전송시스템(190)으로 전송할 수 있다. 또한, 마하젠더 변조기(MZM)(150, 160)는 각각의 심볼들($\bar{s}_2 = 1 - s_2$, S_1)을 심볼 슬롯 t_2 에서 수평 편광 및 수직 편광의 빔을 이용해 변조하고, 편광빔 결합기(PBC)(170)에 의해 결합되어 각각의 심볼들($\bar{s}_2 = 1 - s_2$, S_1)을 동시에 광섬유 전송시스템(190)으로 전송할 수 있다.

[63] 한편, 시간 영역에서 수신 코드들 $r(t)$ 은 [수학식3]과 같이 나타낼 수 있다. 여기서, *는 컨볼루션(convolution) 연산이며, $s(t)$ 는 $s(t_1)=s_{t1}$, $s(t_2)=s_{t2}$ 을 포함하는 코드열의 전송된 신호 벡터이다. 또한,

$\tilde{\mathbf{H}}(t) = \mathcal{F}^{-1} \{ \mathbf{H}(\omega) \} = [h_{xx}(t) \ h_{xy}(t); \ h_{yx}(t) \ h_{yy}(t)]$ 는 [수학식1]에서 주어진 광섬유들에 대한 시간 영역에서의 광채널 매트릭스를 나타낸다.

[64] [수학식3]

$$[65] \quad \mathbf{r}(t) = \tilde{\mathbf{H}}(t) * \mathbf{s}(t) + \mathbf{n}(t)$$

[66] 여기서, h_{xx}, h_{yy} 는 본래 전송된 편광에서 수신된 신호들의 복소 채널 이득들을 나타내고, h_{xy}, h_{yx} 는 상기 본래 전송된 편광에 대하여 다른 편광에서 수신된 신호들의 복소 채널 이득들을 나타낸다. $\mathbf{n}(t) = [n_x(t) \ n_y(t)]^T$ 는 x-/y- 편광에서 ASE(amplified spontaneous emission) 노이즈 벡터이다. ASE는 채널 특성화를 위하여 이용된다.

[67]

[68] <수신기(400) 기술>

[69] 수신기(400)에서 광 대역통과필터(OBPF)(200)는 수신 신호의 채널외의 ASE 노이즈를 제거한다. 이와 같이 노이즈가 필터링된 편광 다중화(PDM) 신호들은 편광빔 스플리터(PBS)(210)에 의해 두개의 직교 편광 신호들로 역다중화된다(S250). 단일-전송기 및 단일-수신기 시스템과 달리, 이러한 구성은 수신된 신호들의 두 복사본(cpy)을 제공하고, 각각이 검출되고 처리된다. 그러나, 광섬유를 통해 지나가는, 직교하는 편광 상태(SOP)로 보내진 광 캐리어들은, 복굴절의 랜덤 방향 때문에 입력된 SOP를 유지하지 못하고, 편광빔 스플리터(PBS)(210)의 각 출력($e_x(t), e_y(t)$)에서의 데이터 스트림들의 편광들 간의 랜덤 크로스톡 커플링을 일으킨다. 만일 변조된 심볼 벡터 $\mathbf{s}$ 가 한 심볼 주기 내에서 변경이 없다면 상수(constant)로 볼 수 있다. 따라서, 시간 t_1 에서, 즉, $t_1 - \frac{T}{2} \leq t \leq t_1 + \frac{T}{2}$ 에서 편광빔 스플리터(PBS)(210)의 두 출력 포트에서의 수신 신호들은 [수학식4], [수학식5]와 같이 표현될 수 있다.

[70] [수학식4]

$$[71] \quad r_x^1(t) = h_{xx}(t-t_1)s_1 + h_{xy}(t-t_1)s_2 + n_x(t-t_1)$$

[72] [수학식5]

$$[73] \quad r_y^1(t) = h_{yx}(t-t_1)s_1 + h_{yy}(t-t_1)s_2 + n_y(t-t_1)$$

[74] 여기서, r_x, r_y 는 각각 x-, y- 편광에서의 수신 신호 벡터이고, n_x, n_y 는 해당 ASE 노이즈를 나타낸다. 마찬가지로, 시간 $t_2 = t_1 + T$, 즉, $t_1 + \frac{T}{2} \leq t \leq t_1 + \frac{3}{2}T$ 에서 편광빔 스플리터(PBS)(210)의 두 출력 포트에서의 수신 신호들은 [수학식6]과 같이 표현될 수 있다. 여기서, 두개의 식을 하나로 표현한 것이며, 즉, $x(y)$ 는 x 를 y 로 파라미터 대체할 수 있는 것을 나타내고, 나머지 파라미터도 마찬가지이다.

[75] [수학식6]

$$[76] \quad r_{x(y)}^2(t) = h_{xx(yx)}(t-t_2)\bar{s}_2 + h_{xy(yy)}(t-t_2)s_1 + n_{x(y)}(t-t_2)$$

- [77] 이제, 역 다중화된 수신 신호들($e_x(t)$, $e_y(t)$)은 광전 변환을 위한 두개의 광 검출기(PD)(220, 230)에 의해 각각 검출되고(S260), 각각의 광전 변환된 신호는 저주파필터(LPF)(240, 250)에서 저주파 통과 필터링을 거친다(S270). 광 검출기(PD)(220, 230)의 반응도(responsivity)가 $1/\eta$ 로 표시되면, 광 검출기(PD)(220, 230)의 광전류 $I_{x(y)} = (1/\eta) |r_{x(y)}|^2$ 는 t_1, t_2 에서 각각 [수학식7], [수학식8]과 같이 나타낼 수 있다.

[78] [수학식7]

$$[79] \quad \eta I_{x(y)}^1(t) = |h_{xx(yx)}(t-t_1)|^2 s_1^2 + \{|h_{xy(yy)}(t-t_1)|^2 s_2^2 + 2\text{Re}\{h_{xx(yx)}^*(t-t_1)h_{xy(yy)}(t-t_1)\}s_1s_2\} + 2\text{Re}\{h_{xx(yx)}^*(t-t_1)n_{x(y)}(t-t_1)\}s_1 + 2\text{Re}\{h_{xy(yy)}^*(t-t_1)n_{x(y)}(t-t_1)\}s_2 + |n_{x(y)}(t-t_1)|^2$$

[80] [수학식8]

$$[81] \quad \eta I_{x(y)}^2(t) = |h_{xx(yx)}(t-t_2)|^2 \bar{s}_2^2 + \{|h_{xy(yy)}(t-t_2)|^2 s_1^2 + 2\text{Re}\{h_{xx(yx)}^*(t-t_2)h_{xy(yy)}(t-t_2)\}s_1\bar{s}_2\} + 2\text{Re}\{h_{xx(yx)}^*(t-t_2)n_{x(y)}(t-t_2)\}\bar{s}_2 + 2\text{Re}\{h_{xy(yy)}^*(t-t_2)n_{x(y)}(t-t_2)\}s_1 + |n_{x(y)}(t-t_2)|^2$$

- [82] 여기서, [수학식7], [수학식8]에서 마지막 3개 부분은 검출된 전기적 노이즈를 나타내고, {.}는 편광 크로스톡을 나타낸다. 일반적으로 알라모우티(Alamouti) 코드를 디코딩하기 위하여, 2입력1출력(2x1) 채널 수신기에서 신호의 위상과 크기 정보를 포함하는 채널상태정보(CSI, channel state information)를 필요로 한다. 그러나, 본 발명에서, 2입력1출력(2x1) 채널의 사용에도 CSI 추정 없이 APTC-IM/DD 코드를 디코딩하는 것이 가능함을 보여준다. 즉, 수신측에서 채널상태정보를 추정 없이도 각 심볼구간의 수평 및 수직 편광 전류들을 이용하여 APTC에 따른 코드를 디코딩해 수신 심볼을 추정할 수 있다. 나아가, 일반적인 IM/DD 전송 시스템에서는, 위상 정보가 광검출기의 제곱 검파(square-law) 성질상 검출 과정에서 손실된다. IM/DD 전송 시스템에서 PDM 전송은, 차동 그룹 지연(DGD)이 없어도 편광 상태(SOP)의 랜덤한 방향으로 인해 두개의 직교 편광들 간의 랜덤한 커플링 때문에 어려운 일이다. 따라서, 역다중화 패널티(penalty)를 줄이기 위하여 편광 크로스톡을 없애거나 감축하는 것이 바람직하다.

- [83] 무시할만한 편광 의존 손실(PDL) 수준에서, [수학식1]과 같이 주파수 의존 준 매트릭스(Jones matrix)는 일원화되어 있다. 따라서, $H(\omega)^T H(\omega) = I$ 와 같이 쓸수

있고, $H(\omega)^T$ 는 Hermitian 트랜스포즈(transpose)이다. 채널 응답 함수의 기울기가 충분히 작은, 즉, $\text{Var}(\mathbf{H}_{x(y)x(y)}(\omega)) \ll \pi^2$ 가 되도록 통과 대역폭

상에서 $H(\omega)$ 가 변할때, 시간 영역 파형은 [수학식9]와 같이 근사화될 수 있다.

[84] [수학식9]

$$[85] \quad r(t) = \mathcal{F}^{-1}\{\mathbf{H}(\omega)\mathbf{S}(\omega)\} \cong \mathbf{H}(\omega=0)\mathcal{F}^{-1}\{\mathbf{S}(\omega)\}$$

[86] 또한, $\mathbf{H}^T(\omega=0) = [h_{xx}^{0*} \quad h_{yx}^{0*}; h_{xy}^{0*} \quad h_{yy}^{0*}]$ 이므로, [수학식10]을 얻을 수 있다.

[87] [수학식10]

$$[88] \quad \mathbf{H}^T(0)\mathbf{H}(0) = \begin{bmatrix} h_{xx}^{0*}h_{xx}^0 + h_{yx}^{0*}h_{yx}^0 & h_{xx}^{0*}h_{xy}^0 + h_{yx}^{0*}h_{yy}^0 \\ h_{xy}^{0*}h_{xx}^0 + h_{yy}^{0*}h_{yx}^0 & h_{xy}^{0*}h_{xy}^0 + h_{yy}^{0*}h_{yy}^0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \alpha & \gamma \\ \gamma^* & \beta \end{bmatrix} \equiv \mathbf{I}$$

[89] 편광 크로스톡과 PMD 둘다 경감하기 위하여, 본 발명의 APTC 방법은 수신기(400) 측에서 두개의 편광들을 이용한다.

$$h_{x(y)x(y)}^0 = \int_0^\infty h_{x(y)x(y)}(t)dt \quad \text{이므로, 시간 } \delta \text{ 내의 유한 임펄스}$$

응답(finite impulse response)을 가정할 때, $h_{x(y)x(y)}^0 \cong h_{x(y)x(y)}(0)\delta$

으로 근사화할 수 있다.

[90] 이제 [수학식10]의 근사화에 따른 다음의 간단화된 [수학식11], [수학식12], 및 [수학식7], [수학식8]에서 보여준 것처럼, 시간 $t=t_1, t=t_2$ 에서 결합 광전류들은, 시간 $t=t_1, t=t_2$ 에서 x-, y- 편광들에서의 광전류를 더하는 것에 의해 획득될 수 있다.

[91] [수학식11]

$$[92] \quad \eta I^1(t_1) = \eta I_x^1(t_1) + \eta I_y^1(t_1) = \alpha s_1^2 + \beta s_2^2 + 2\text{Re}\{\gamma\}s_1s_2 + \tilde{n}_1$$

[93] [수학식12]

$$[94] \quad \eta I^2(t_2) = \eta I_x^2(t_2) + \eta I_y^2(t_2) = \alpha \bar{s}_2^2 + \beta s_1^2 + 2\text{Re}\{\gamma\}s_1\bar{s}_2 + \tilde{n}_2$$

[95] 여기서, 간단화를 위하여 $\delta=1$ 이라 하고,

$$\tilde{n}_{1(2)} = \tilde{n}_x(t_{1(2)}) + \tilde{n}_y(t_{1(2)}) \quad \text{을 사용하기로 한다. } \alpha = \beta = 1, \gamma = 0 \text{이다.}$$

이는 두개의 직교 편광 성분들의 파워 합(power sum)이 채널 매트릭스 H를 측정하는 요구 사항을 없애준다.

[96] 광전 변환된 신호들이 저주파필터(LPF)(240, 250)의 저주파 통과 필터링을 거쳐 APTC 디코더(260)에서 위와 같이 결합된 광전류들은, APTC 디코더(260)에 의해 디코딩된다(S280). APTC 디코더(260)는 [수학식13], [수학식14]와 같이

합산되어 결합된 광전류들에 대하여 1비트 딜레이와 합산(one-bit delay-and-add), 및 1비트 딜레이와 감산(one-bit delay-and-subtract) 필터 방식을 이용한다. 이때, 편광 의존 손실(PDL)이 없을 때, $\bar{s}_2^2 = 1 - s_2^2$ 을 사용하는 균등화된(equalized) 심볼들은 [수학식13], [수학식14]와 같이 표현될 수 있다.

[97] [수학식13]

$$[98] \quad \hat{s}_1 = \frac{\eta I^1(t_1) + \eta I^2(t_2) - 1}{2} = s_1^2 + \frac{\tilde{n}_1 + \tilde{n}_2}{2} = s_1^2 + n_1$$

[99] [수학식14]

$$[100] \quad \hat{s}_2 = \frac{\eta I^1(t_1) - \eta I^2(t_2) + 1}{2} = s_2^2 + \frac{\tilde{n}_1 - \tilde{n}_2}{2} = s_2^2 + n_2$$

[101] 여기서, $\hat{s}_1, \hat{s}_2$ 는 심볼들 s_1, s_2 에 대하여 APTC 디코더(260)에 의해 추정된

심볼들을 각각 나타낸다.

[102] 도 2b와 같이, 도 2a의 수신기 구조에서 편광빔 스플리터(210), 제2 광 검출기(230), 제2 저주파필터(250)은 생략될 수도 있다. 이때에는 수신기(400)에서 광 대역통과필터(OBPF)(200)에서 ASE 노이즈가 제거되면, 수신 신호(e(t))은 광전 변환을 위한 광 검출기(PD)(220)에 의해 검출되고, 광전 변환된 신호($i_x(t) + i_y(t)$)는 저주파필터(LPF)(240)에서 저주파 통과 필터링을 거친다. 광전 변환된 신호($i_x(t) + i_y(t)$)는 위와 같이 합산되어 결합된 광전류들(수평 및 수직 편광 전류들의 합산값)을 포함하므로, APTC 디코더(260)는 위와 같은 원리에 따라 저주파 통과 필터링된 신호로부터 두개의 심볼 구간 각각에서의 수평 및 수직 편광 전류들의 합산값에 대응되는 두개의 심볼 구간 각각의 심볼을 추정할 수 있다. 이때 APTC 디코더(260)는 광 검출기(PD)(220)의 광전 변환된 신호($i_x(t) + i_y(t)$)(수평 및 수직 편광 전류들의 합산값)에 대하여 1비트 딜레이와 합산(one-bit delay-and-add), 및 1비트 딜레이와 감산(one-bit delay-and-subtract) 필터 방식을 이용하여 심볼 구간 각각의 심볼을 추정할 수 있다.

[103] 결정부(270)는 APTC 디코더(260)에 의해 추정된 심볼들에 대하여 1비트씩 디지털값을 결정한다(S290). 노이즈 샘플들 n_1, n_2 는 비상관(uncorrelated) 및 독립적(independent)이다. [수학식13], [수학식14]의 결합된 신호들은 서로 유사하고 편광 모드 분산(PMD) 채널의 특성 때문에 기존의 경우보다 좀 더 간단화되어 표현된다.

[104] 편광 모드 분산(PMD) 손상이 있는 PDM-가능 IM/DD 전송 상황에서 본 발명의 APTC-IM/DD 방법의 성능을 검증하기 위하여, NRZ-OOK 송신기(110)에서 1550nm 파장을 갖는 NRZ-OOK 변조 신호가 생성된다. 예를 들어, NRZ-OOK 변조 신호는 워드 길이 $2^{15} - 1$ 일 수 있고, PRBS(pseudorandom binary sequence, 의사랜덤 이진수 열) 생성기를 이용하여 10 Gbps, 40 Gbps 등으로 생성될 수

있다. 차례로, NRZ-OOK 변조 신호는 APTC 인코더(120)에서 부호화되며, 마하젠더 변조기(MZM)(150, 160), 편광빔 결합기(PBC)(170), 에르븀 첨가 섬유 증폭기(EDFA)(180)를 거쳐, 0~7200km에 달하는 광섬유 전송시스템(190)의, 랜덤하게 커플링되며 다양한 길이를 갖는, 편광 모드 분산(PMD) 손상을 갖는 전송로(예, SMF-28 links) 상으로 전송된다. 대부분 응용이 단거리 광 경로에서 구현될 것이지만, 광 섬유 길이가 전범위의 차동 그룹 지연(DGD)의에 대한 성능을 탐색하기 위하여 확장되었다. 동시에, 80-km 단일 모드 섬유(SMF) 구간은 10개의 8-km SMF 구간들의 랜덤 커플링으로 모델화될 수 있다. 분산보상모듈(DCM)(191)의 제어를 받는 EDFA(192)가 n (예, 10)번 구비되어 8km 섬유마다 증폭하여 전송한다. 여기서 색 분산(chromatic dispersion) 손상은 보상되어 무시될 것이다. 이와 같이 생성된 광 채널(예, 시뮬레이션)은 고차(higher-order) 편광 모드 분산(PMD)을 따르게 된다.

- [105] 비교를 위하여, 다음과 같은 3가지 시스템, 즉, 일반적인 IM/DD 시스템(IM/DD), 최적으로 조정된 편광 제어기(PC) 뒤에 편광빔 스플리터(PBS)를 갖는 IM/DD 시스템(PC-IM/DD), 및 본 발명의 알라모우티 타입 시편광 코딩(APTC) 기반 IM/DD 시스템(APTC-IM/DD)을 시뮬레이션하였다.
- [106] 도 3a는 일반적인 IM/DD 시스템(IM/DD)을 설명하기 위한 도면이다.
- [107] 도 3b는 최적으로 조정된 편광 제어기(PC) 뒤에 편광빔 스플리터(PBS)를 갖는 IM/DD 시스템(PC-IM/DD)을 설명하기 위한 도면이다.
- [108] 도 3a의 일반적인 IM/DD 시스템(IM/DD)과 도 3b의 PC-IM/DD 시스템은, 두개의 직교 편광 빔을 사용하지 않으며, 본 발명과 같이, APTC 인코더(120), 편광빔 스플리터(PBS)(140), APTC 디코더(260)를 구비하지 않는다.
- [109] PC-IM/DD 시스템은 수신기측의 광 대역통과필터(OBPF)와 광검출기(PD) 사이에 최적으로 조정된 편광 제어기(PC) 뒤에 편광빔 스플리터(PBS)를 갖는다.
- [110] 도 3b의 PC-IM/DD 시스템에서, 하나의 편광(수평 편광)이 검출되어 BER(Bit Error Rate)를 산출한다. 이는, 다른 편광축(수직축)에서 수신된 신호 성분들이 어느정도 ASE 노이즈 파워를 증가시킬 수도 있지만 무시할만한 정도가 되도록, 편광 제어기(PC)가 수신신호의 정확한 편광 상태(SOP)를 추적할 수 있다고 가정하기 때문이다.
- [111] 도 4는 8.5 ps의 차동 그룹 지연(DGD)을 갖는 40 Gbps 광섬유 전송시스템에서 OSNR(optical signal-to-noise ratio, 광신호 대 잡음비율)에 대한 BER 결과를 비교한 그래프이다.
- [112] 도 4에서, 8.5 ps의 평균 차동 그룹 지연(DGD)에 해당하는, 편광 모드 분산(PMD) 계수 $0.2 \text{ ps}/\sqrt{\text{km}}$ 를 갖는 PMD 손상 SMF 경로 상에서 40 Gbps의 전송률에서 신호가 전송된 후의, OSNR에 대한 BER 결과를 나타내었다. 도면과 같이, 일반적인 IM/DD 시스템, PC-IM/DD 시스템, 및 APTC-IM/DD 시스템 각각에 대하여, pre-FEC(pre-forward error correction) BER 10^{-3} 에서, OSNR 값이 14.6 dB, 13.72 dB, 및 11.8 dB로 나타났다. 본 발명의 APTC-IM/DD 시스템이,

일반적인 IM/DD 시스템, PC-IM/DD 시스템 및 APTC-IM/DD 시스템과 비교하여, 2.8 dB와 1.92 dB 만큼의 현저한 성능 향상이 있음을 볼 수 있다. 따라서, 본 발명과 같이 PC가 없는 APTC 방법은, PMD 손상에 대항한 강한 회복을 보여줄 뿐만 아니라, 용인될 수준으로 편광 크로스톡을 줄일 수 있음을 알 수 있다.

[113] 도 5는 0~7200km 범위에서 다양한 길이의 PMD-손상 SMF 경로들 상에서의 전송 후, 차동 그룹 지연(DGD)에 대한 1차(first-order) PMD 공차(dispersion tolerance)의 결과를 나타내는 그래프이다. 즉, 차동 그룹 지연(DGD)들에 대하여 10^{-3} pre-FEC BER을 얻기 위하여 요구된 OSNR의 결과를 나타내었다. 40 Gbps와 10Gbps에서, 일반적인 IM/DD 시스템, PC-IM/DD 시스템, 및 APTC-IM/DD 시스템 각각에 대한 결과가 도시되어 있다. 시뮬레이션 상의 편광 모드 분산(PMD) 채널들은 고차(higher-order) PMD 모델을 따른다. 고차(higher-order) PMD 채널에서는, 고정된 PMD 계수에서 전송 거리의 증가와 함께, 평균 차동 그룹 지연(DGD)과 주파수 의존성이 증가한다는 것이 알려져 있다. 시뮬레이션에서 각 SMF 경로의 PMD 계수가 0.2 ps/sqrt(km)로 가정되었다.

[114] 전송률 40 Gbps에서, 본 발명의 APTC-IM/DD 방법은 DGD = 0인 B2B(back-to-back)의 경우에 일반적인 IM/DD 시스템보다 3.0dB 정도 이득을 본다. 이는 본 발명의 알라모우티 타입 시편광 코딩(APTC)에 의한 코드를 디코딩하기 위하여 수신기(400) 측에서 두 편광들이 사용되기 때문이다.

[115] PC-IM/DD 시스템의 경우에, 노이즈 제거 효과로 인해 IM/DD 시스템에 비하여 0.6dB 정도 이득이 있다. DGD가 낮은 $0 \text{ ps} \leq \text{DGD} \leq 6 \text{ ps}$ 영역에서, 본 발명의 APTC-IM/DD 시스템은 일반적인 IM/DD 시스템과 PC-IM/DD 시스템에 비교하여 더 많은 공차를 갖는다. 이는 전송거리 800km의 낮은 DGD 영역에서 $H_{x(y)x(y)}(\omega)$ 표준편차 대략 $0.29 \text{ rad} \ll \pi$ 정도이기 때문이다. 이는 [수학식9]에서의 근사화에 대한 유효성을 보여준다. 시뮬레이션 결과들은 본 발명의 APTC-IM/DD 방법이 PC 없이도 편광 역다중화 수행이 가능함을 보여준다. 그러나, 높은 DGD 영역($8 \text{ ps} \leq \text{DGD} \leq 17 \text{ ps}$)에서, APTC-IM/DD 시스템은 DGD에 따른 더 많은 그 의존성을 보여주고, 이는 이 영역에서 상기 근사화가 유효성을 잃기 시작하기 때문이다. 그 주요 원인은 DGD 증가와 함께 커지는 채널 간 크로스톡이다. 일반적으로 DGD 존재에 따라, 심볼 구간의 중간에서 편광 다중화 신호들의 편광 상태(SOP)가 다중화되지 않은 신호들과 반대로 빠르게 변한다. 제로(zero) 역다중화 패널티를 위해, 다중화된 신호의 상승/하강 에지(rising and falling edges)가 시간에 맞게 정렬되어야 한다. 높은 DGD 영역에서, 편광 다중화된 신호들은 시간에 따라 심하게 분산되며 이는 높은 OSNR 패널티를 초래하게 된다.

[116] 다음에, 데이터 전송률을 10 Gbps로 줄여 0~7200km 거리까지 전송하는 경우를 본다. 이때에는 전송로(예, SMF-28 links)의 경우에 낮은 DGD 영역으로 파악할 수 있다. 도 5에서, 10 Gbps에 대한 그래프를 보면, 10^{-3} 의 동일한 BER 성능에서 거의 6dB의 OSNR 요구의 개선이 있는 것을 제외하면 40 Gbps에 대한 낮은 DGD

영역에서 보이는 경향과 일치하는 것을 알 수 있다. 이는 데이터 전송률이 1/4로 축소되었기 때문이다.

- [117] 상술한 바와 같이, 본 발명의 편광 다중 광전송을 위한 시편광 코딩을 이용한 광 전송 시스템에서는, 시편광 코딩 형태의 수정된 알라모우티 타입 시편광 코딩(APTC)을 이용하여 IM/DD 시스템에서 편광 다중화(PDM) 이득을 활용하는 기술을 개시하였다. 이에 따라 편광 모드 분산(PMD) 손상을 방지할 수 있게 된다. 본 발명에서, 편광 다중화(PDM) 전송은 편광빔 결합기(PBC)(170)를 이용하여 두개의 직교하는 코드화된 심볼을 결합하고, 두개의 직교하는 편광 모드들로 주어진 심볼 구간에 동시에 전송함으로써 구현될 수 있다. 이전 심볼 구간 동안 수직 편광(y-편광)으로 전송된 심볼은, 다음 심볼 구간에, 수평 편광(x-편광)으로 보완되어(상보적으로) 전송되고, 이전 심볼 구간 동안 수평 편광(x-편광)으로 전송된 심볼은, 다음 심볼 구간에, 수직 편광(y-편광)으로 전송된다.
- [118] 수신기(400) 측에서 광 채널 모델은 2x2 MIMO(Multiple Input Multiple Output)로 매핑되며, APTC 디코더(260)에서의 1비트 딜레이와 합산(one-bit delay-and-add), 및 1비트 딜레이와 감산(one-bit delay-and-subtract) 필터에 의해 간단히 전송된 신호를 디코딩할 수 있다. 본 발명의 기술은 편광 제어기(PC), 가간섭(coherent) 수신기, 고속 ADC(analog-to-digital converter), DSP(digital signal processor), 광채널 추정기 등이 없이도, 낮은 DGD 영역에서 3dB의 이득을 얻을 수 있다.
- [119] 본 명세서에 개시된 실시예들과 관련하여 설명된 방법 또는 알고리즘의 단계는 반도체 프로세서에 의해 실행되는 하드웨어, 소프트웨어 모듈, 또는 그 2 개의 결합으로 직접 구현될 수 있다. 소프트웨어 모듈은 RAM 메모리, 플래시 메모리, ROM 메모리, EPROM 메모리, EEPROM 메모리, 레지스터, 하드 디스크, 착탈형 디스크, CD-ROM과 같은 저장 매체(즉, 메모리, 스토리지 등)에 상주할 수도 있다. 예시적인 저장 매체는 프로세서에 커플링되며, 그 프로세서는 저장 매체로부터 정보를 판독할 수 있고 저장 매체에 정보를 기입할 수 있다. 다른 방법으로, 저장 매체는 프로세서와 일체형일 수도 있다. 프로세서 및 저장 매체는 주문형 집적회로(ASIC) 내에 상주할 수도 있다. ASIC는 사용자 단말기 내에 상주할 수도 있다. 다른 방법으로, 프로세서 및 저장 매체는 사용자 단말기 내에 개별 컴포넌트로서 상주할 수도 있다.
- [120] 이상과 같이 본 발명에서는 구체적인 구성 요소 등과 같은 특정 사항들과 한정된 실시예 및 도면에 의해 설명되었으나 이는 본 발명의 보다 전반적인 이해를 돕기 위해서 제공된 것일 뿐, 본 발명은 상기의 실시예에 한정되는 것은 아니며, 본 발명이 속하는 분야에서 통상적인 지식을 가진 자라면 본 발명의 본질적인 특성에서 벗어나지 않는 범위에서 다양한 수정 및 변형이 가능할 것이다. 따라서, 본 발명의 사상은 설명된 실시예에 국한되어 정해져서는 아니 되며, 후술하는 특허청구범위뿐 아니라 이 특허청구범위와 균등하거나 등가적 변형이 있는 모든 기술 사상은 본 발명의 권리범위에 포함되는 것으로

해석되어야 할 것이다.

청구범위

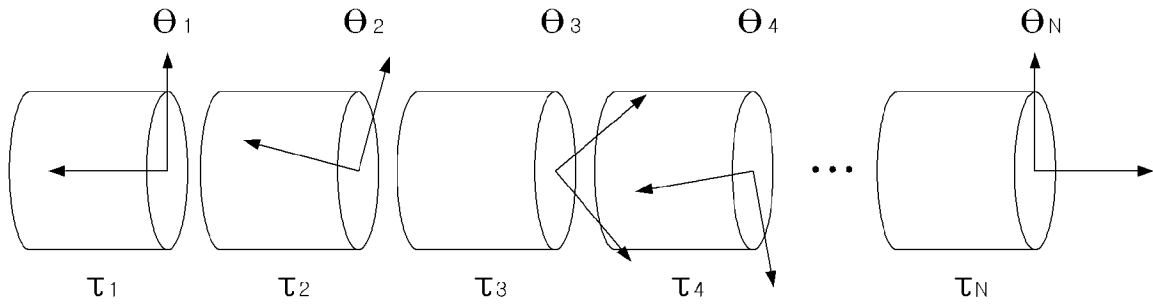
- [청구항 1] 입력 신호로부터 직교 코드화된 한쌍의 심볼들(S_1, S_2)을 생성하는 단계;
제1심볼 구간에 수평 편광 및 수직 편광으로 심볼들(S_1, S_2) 각각을 동시에 전송하는 단계; 및
제2심볼 구간에 수평 편광 및 수직 편광으로 심볼들($\bar{s}_2 = 1 - s_2, S_1$) 각각을 동시에 전송하는 단계
를 포함하는 것을 특징으로 하는 편광 다중 광전송을 위한 시편광 코딩을 이용한 광 전송 방법.
- [청구항 2] 제1항에 있어서,
수신측에서 채널상태정보(CSI, channel state information)를 추정 없이 각 심볼구간의 수평 및 수직 편광 전류들을 이용하여 APTC(Alamouti-type polarization-time coding)에 따른 코드를 디코딩해 수신 심볼을 추정하기 위한 것을 특징으로 하는 편광 다중 광전송을 위한 시편광 코딩을 이용한 광 전송 방법.
- [청구항 3] 제1항에 있어서,
상기 입력 신호는 NRZ-OOK(non-return-to-zero ON-OFF keying) 신호인 것을 특징으로 하는 편광 다중 광전송을 위한 시편광 코딩을 이용한 광 전송 방법.
- [청구항 4] 제1항에 있어서,
광 전송로를 통해 수신되는 편광 다중화 상기 심볼들을 두개의 직교 편광 신호들로 역다중화하는 단계;
광검출기들을 이용하여 역다중화된 상기 직교 편광 신호들을 각각 광전 변환하는 단계;
광전 변환된 신호들을 저주파 통과 필터링하는 단계; 및
저주파 통과 필터링된 신호들로부터 두개의 심볼 구간 각각에서의 상기 광검출기들의 수평 및 수직 편광 전류들의 합산값에 대응되는 상기 두개의 심볼 구간 각각의 심볼을 추정하는 단계
를 더 포함하는 것을 특징으로 하는 편광 다중 광전송을 위한 시편광 코딩을 이용한 광 전송 방법.
- [청구항 5] 제1항에 있어서,
광 전송로를 통해 수신되는 편광 다중화 상기 심볼들에 대하여 하나의 광검출기를 이용하여 광전 변환하는 단계;
광전 변환된 신호를 저주파 통과 필터링하는 단계; 및
저주파 통과 필터링된 신호로부터 두개의 심볼 구간 각각에서 상기 하나의 광검출기에 의해 출력되는 수평 및 수직 편광 전류들의 합산값에 대응되는 상기 두개의 심볼 구간 각각의 심볼을 추정하는 단계
를 더 포함하는 것을 특징으로 하는 편광 다중 광전송을 위한 시편광

- 코딩을 이용한 광 전송 방법.
- [청구항 6] 제4항에 있어서,
 상기 추정된 심볼은 $\hat{s}_2^2 = 1 - s_2^2$ 을 사용하는 균등화된(equalized) 심볼인 것을 특징으로 하는 편광 다중 광전송을 위한 시편광 코딩을 이용한 광 전송 방법.
- [청구항 7] 제4항에 있어서,
 상기 심볼을 추정하는 단계에서,
 상기 수평 및 수직 편광 전류들의 합산값에 대하여, 1비트 딜레이와 합산(one-bit delay-and-add) 및 1비트 딜레이와 감산(one-bit delay-and-subtract) 필터를 이용하여 상기 각각의 심볼을 추정하는 것을 특징으로 하는 편광 다중 광전송을 위한 시편광 코딩을 이용한 광 전송 방법.
- [청구항 8] 입력 신호로부터 직교 코드화된 한쌍의 심볼들(S_1, S_2)을 생성하는 인코더;
 레이저 빔을 발생하는 레이저 다이오드;
 상기 레이저 빔으로부터 수평 편광 및 수직 편광으로 분리된 빔을 생성하는 편광빔 스플리터;
 상기 수평 편광 및 수직 편광의 빔을 이용해 각각의 심볼을 변조하는 2개의 변조기들; 및
 제1심볼 구간에 상기 변조기들에 의해 변조된 상기 수평 편광 및 수직 편광의 심볼들(S_1, S_2)을 결합하여 전송하고, 제2심볼 구간에 상기 변조기들에 의해 변조된 상기 수평 편광 및 수직 편광의 심볼들($\hat{s}_2 = 1 - s_2, S_1$) 전송하는 편광빔 결합기
 를 포함하는 것을 특징으로 하는 편광 다중 광전송을 위한 시편광 코딩을 이용한 광 전송 시스템.
- [청구항 9] 제8항에 있어서,
 수신측에서 채널상태정보(CSI, channel state information)를 추정 없이 각 심볼구간의 수평 및 수직 편광 전류들을 이용하여 APTC(Alamouti-type polarization-time coding)에 따른 코드를 디코딩해 수신 심볼을 추정하기 위한 것을 특징으로 하는 편광 다중 광전송을 위한 시편광 코딩을 이용한 광 전송 시스템.
- [청구항 10] 제8항에 있어서,
 상기 변조기들은 각각 마하젠더 변조기(Mach-Zehnder modulator)인 것을 특징으로 하는 편광 다중 광전송을 위한 시편광 코딩을 이용한 광 전송 시스템.
- [청구항 11] 제8항에 있어서,
 상기 입력 신호는 NRZ-OOK(non-return-to-zero ON-OFF keying) 신호인 것을 특징으로 하는 편광 다중 광전송을 위한 시편광 코딩을 이용한 광

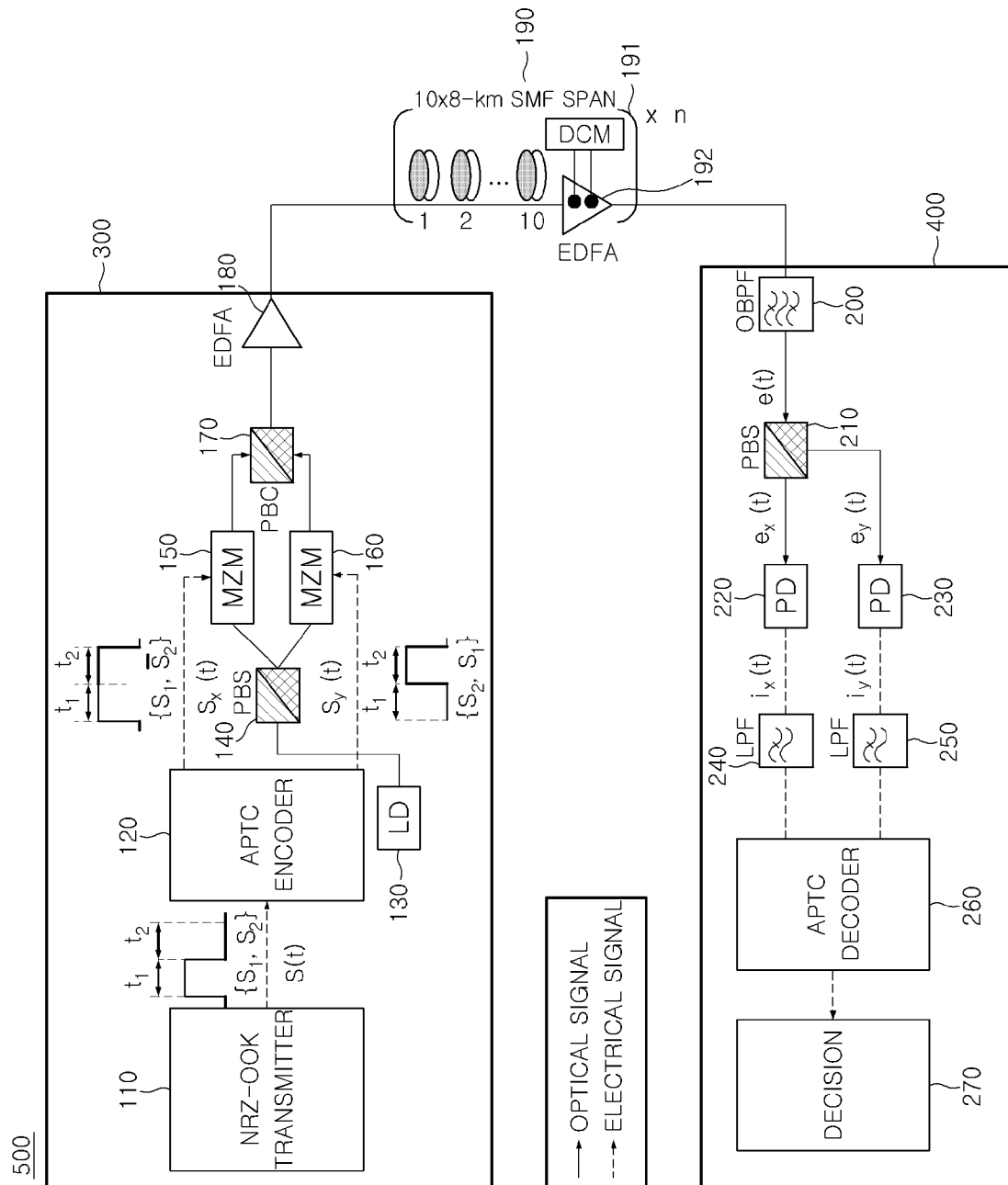
전송 시스템.

- [청구항 12] 제8항에 있어서,
광 전송로를 통해 수신되는 편광 다중화 상기 심볼들을 두개의 직교 편광 신호들로 역다중화하는 편광빔 스플리터;
역다중화된 상기 직교 편광 신호들을 각각 광전 변환하는 2개의 광검출기들;
광전 변환된 신호들을 각각 저주파 통과 필터링하는 2개의 저주파필터들;
및
저주파 통과 필터링된 신호들로부터 두개의 심볼 구간 각각에서의 상기 광검출기들의 수평 및 수직 편광 전류들의 합산값에 대응되는 상기 두개의 심볼 구간 각각의 심볼을 추정하는 디코더
를 더 포함하는 것을 특징으로 하는 편광 다중 광전송을 위한 시편광 코딩을 이용한 광 전송 시스템.
- [청구항 13] 제8항에 있어서,
광 전송로를 통해 수신되는 편광 다중화 상기 심볼들에 대하여 광전 변환하는 하나의 광검출기;
광전 변환된 신호를 저주파 통과 필터링하는 저주파필터; 및
저주파 통과 필터링된 신호로부터 두개의 심볼 구간 각각에서 상기 하나의 광검출기에 의해 출력되는 수평 및 수직 편광 전류들의 합산값에 대응되는 상기 두개의 심볼 구간 각각의 심볼을 추정하는 디코더
를 더 포함하는 것을 특징으로 하는 편광 다중 광전송을 위한 시편광 코딩을 이용한 광 전송 시스템.
- [청구항 14] 제12항에 있어서,
상기 추정된 심볼은 $\hat{s}_2^2 = 1 - s_2^2$ 을 사용하는 균등화된(equalized) 심볼인 것을 특징으로 하는 편광 다중 광전송을 위한 시편광 코딩을 이용한 광 전송 시스템.
- [청구항 15] 제12항에 있어서,
상기 디코더는, 상기 수평 및 수직 편광 전류들의 합산값에 대하여, 1비트 딜레이와 합산(one-bit delay-and-add) 및 1비트 딜레이와 감산(one-bit delay-and-subtract) 필터를 이용하여 상기 각각의 심볼을 추정하는 것을 특징으로 하는 편광 다중 광전송을 위한 시편광 코딩을 이용한 광 전송 시스템.

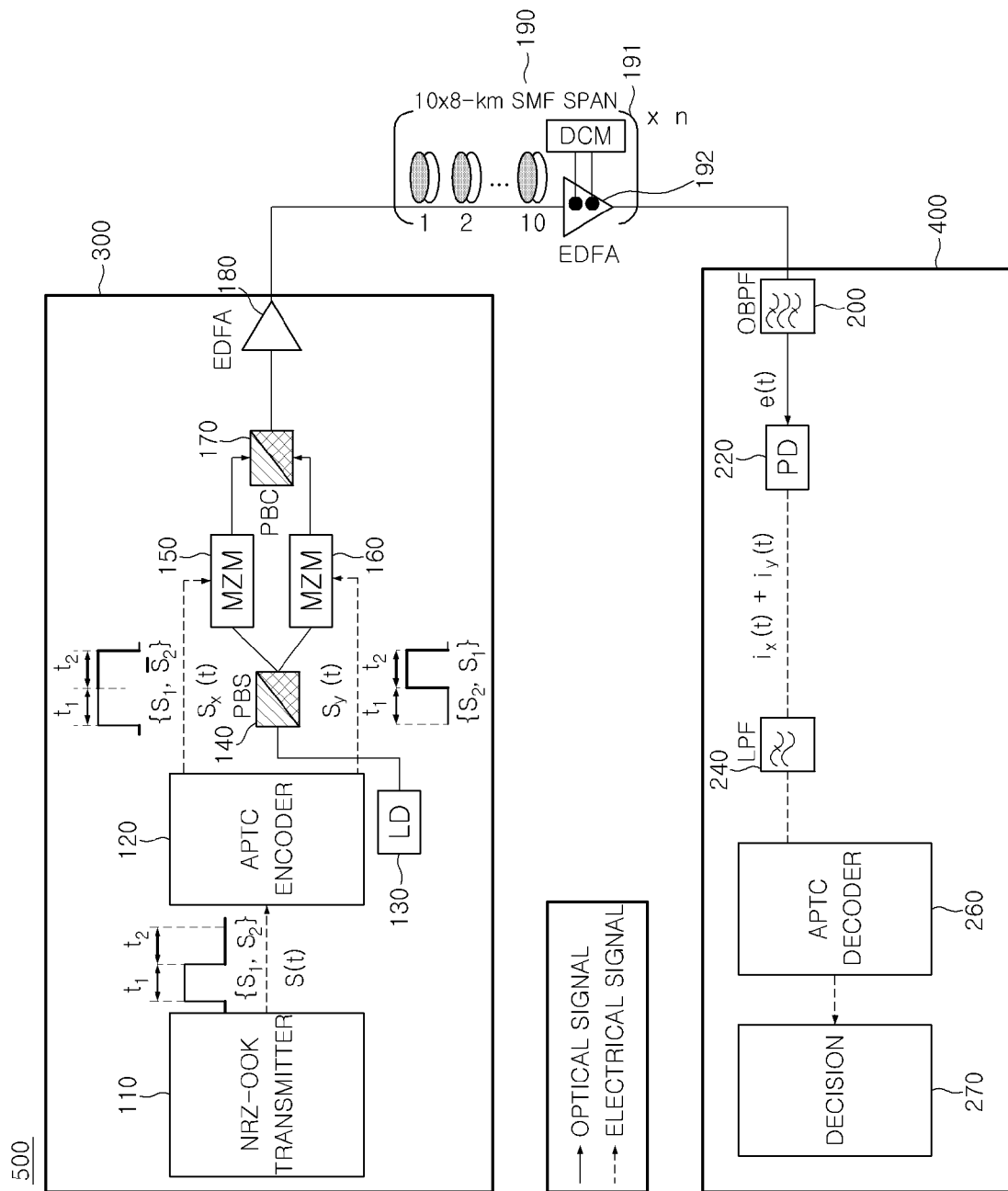
[도1]



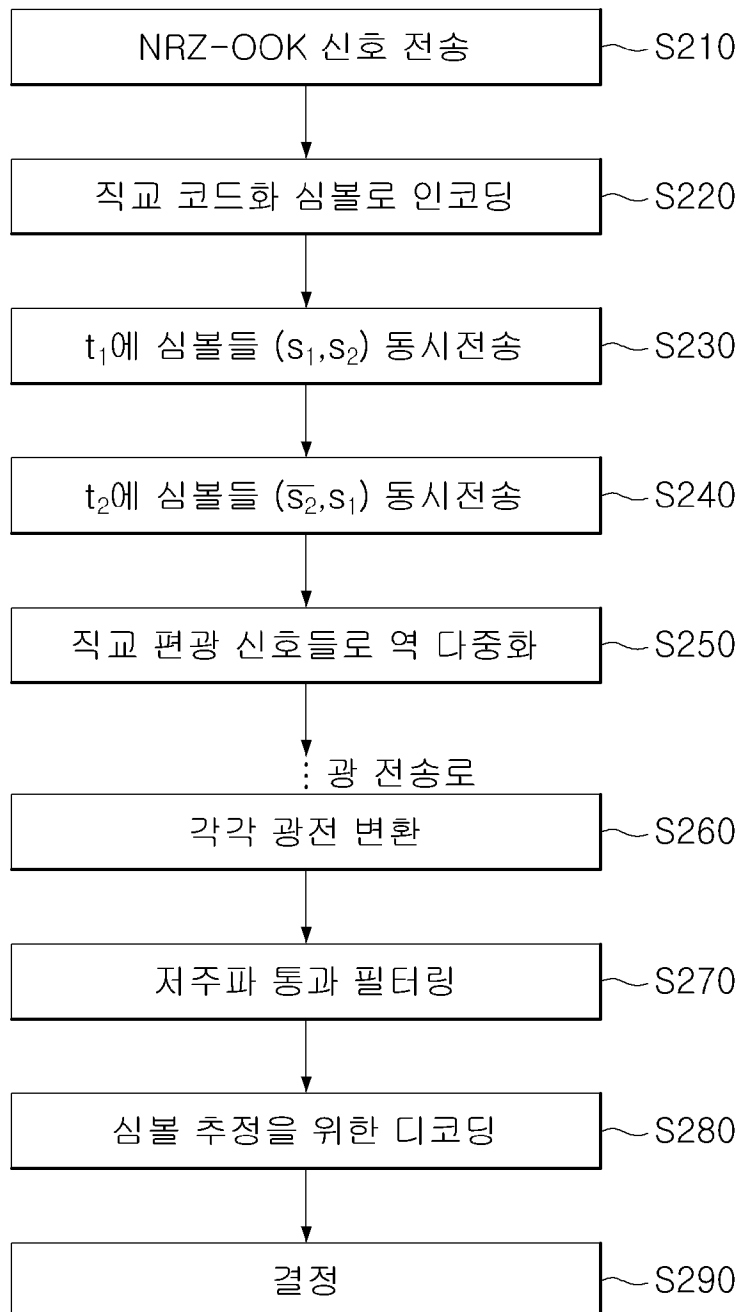
[도2a]



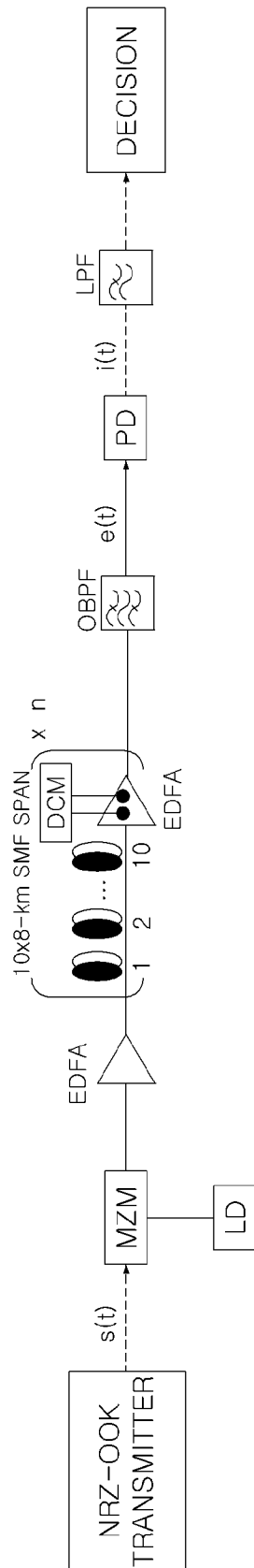
[도2b]



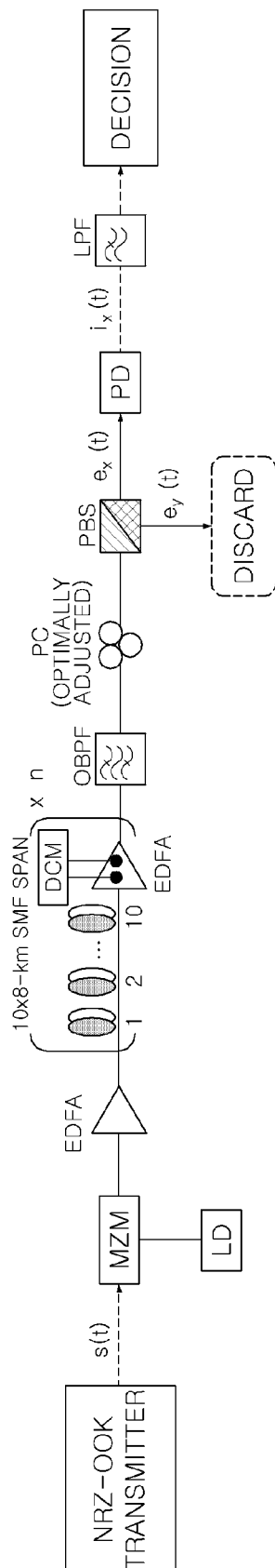
[도2c]



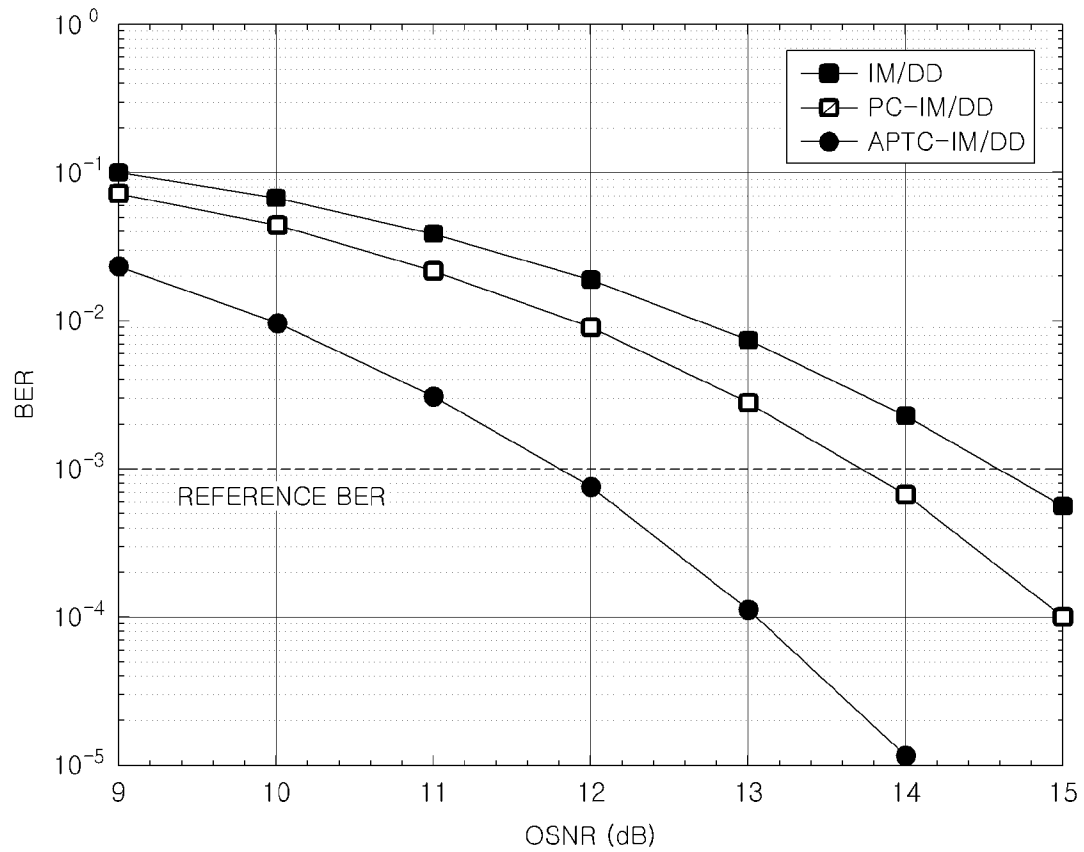
[도3a]



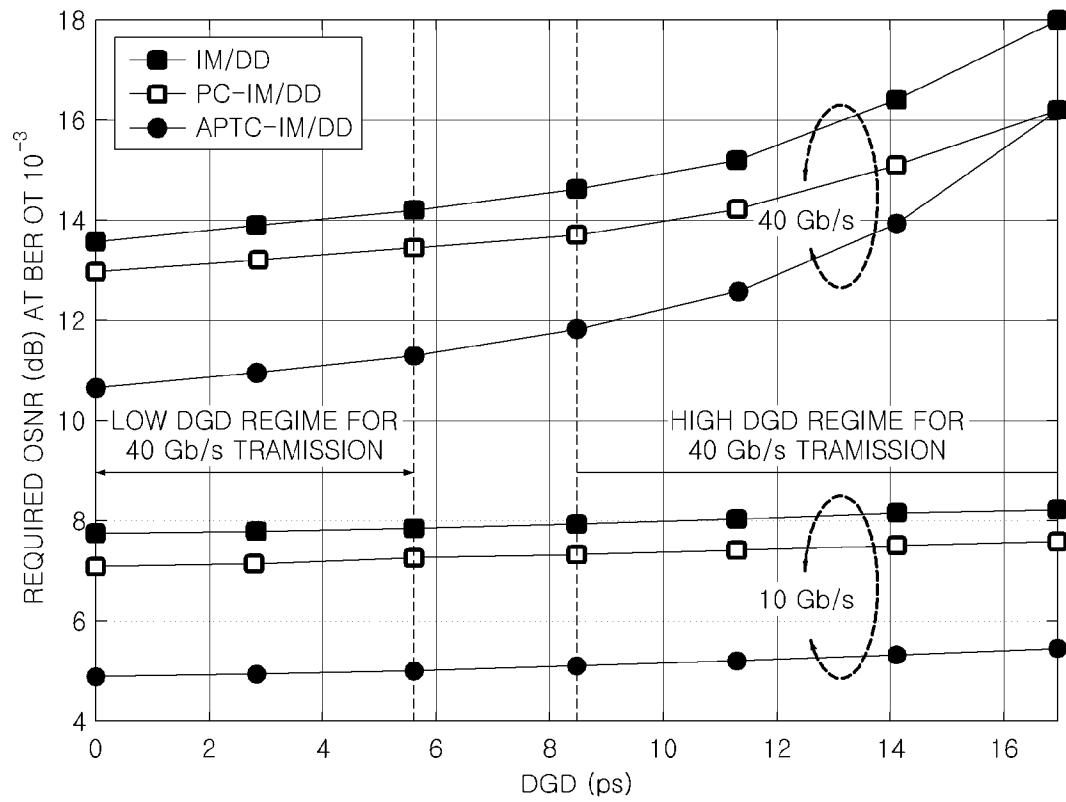
[도3b]



[도4]



[도5]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/KR2017/000122

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

H04B 10/50(2013.01)i, H04B 10/294(2013.01)i

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

H04B 10/50; H04J 14/06; H04B 3/32; H04J 14/00; H04B 10/12; H04B 10/294

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Korean Utility models and applications for Utility models: IPC as above

Japanese Utility models and applications for Utility models: IPC as above

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

eKOMPASS (KIPO internal) & Keywords: orthogonal coding, a pair of symbols, horizontal polarization, vertical polarization, polarization multiplexed optical transmission, polarization-time coding, channel state information, APTC(Alamouti-type polarization-time coding), NRZ-OOK, photoelectric conversion, filter, symbol, one-bit delay-and-add, one-bit delay-and-subtract, Mach-Zehnder, equalized symbol

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	US 2010-0021163 A1 (SHIEH, William) 28 January 2010 See paragraphs [0087]-[0126]; claims 15-17; and figures 6-14.	1-15
A	DJORDJEVIC, Ivan B. et al., "Almouti-type Polarization-time Coding in Coded-modulation Schemes with Coherent Detection", In: OPTICS EXPRESS, Vol. 16, Issue 18, 26 August 2008 (https://www.osapublishing.org/oe/abstract.cfm?uri=oe-16-18-14163) See section 1.	1-15
A	US 2013-0272704 A1 (ZAMANI, Mahdi et al.) 17 October 2013 See paragraphs [0033]-[0035]; and claim 1.	1-15
A	US 2014-0314410 A1 (MUMTAZ, Sami et al.) 23 October 2014 See paragraphs [0047]-[0108]; and figures 1A-6B.	1-15
A	US 2009-0220239 A1 (ARMSTRONG, Jean et al.) 03 September 2009 See paragraphs [0103]-[0107]; and figure 6.	1-15



Further documents are listed in the continuation of Box C.



See patent family annex.

* Special categories of cited documents:

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date

"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

18 SEPTEMBER 2017 (18.09.2017)

Date of mailing of the international search report

20 SEPTEMBER 2017 (20.09.2017)

Name and mailing address of the ISA/KR

Korean Intellectual Property Office
Government Complex-Daejeon, 189 Sconsa-ro, Daejeon 302-701,
Republic of Korea

Facsimile No. +82-42-481-8578

Authorized officer

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/KR2017/000122

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	REZA, Ahmed Galib et al., "Intensity Modulation and Direct Detection Alamouti Polarization-time Coding for Optical Fiber Transmission Systems with Polarization Mode Dispersion", In: Optical Engineering, Volume 55, Issue 7, 18 July 2016 See sections 1-4. * The above document is the published document declaring exceptions to lack of novelty by the applicant.	1-15

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.

PCT/KR2017/000122

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member	Publication date
US 2010-0021163 A1	28/01/2010	NONE	
US 2013-0272704 A1	17/10/2013	US 2016-0087751 A1 US 9236973 B2 US 9438371 B2 WO 2013-152739 A1	24/03/2016 12/01/2016 06/09/2016 17/10/2013
US 2014-0314410 A1	23/10/2014	CN 103782530 A EP 2724483 A1 FR 2977099 A1 US 9294146 B2 WO 2012-175697 A1	07/05/2014 30/04/2014 28/12/2012 22/03/2016 27/12/2012
US 2009-0220239 A1	03/09/2009	AU 2006-287123 A1 AU 2006-287123 B2 CA 2621251 A1 CN 101300758 A CN 101300758 B EP 1920544 A1 EP 1920544 B1 JP 2009-507405 A KR 10-2008-0064804 A NZ 566407 A US 8107826 B2 WO 2007-025346 A1	08/03/2007 14/04/2011 08/03/2007 05/11/2008 24/04/2013 14/05/2008 24/08/2016 19/02/2009 09/07/2008 29/04/2011 31/01/2012 08/03/2007

A. 발명이 속하는 기술분류(국제특허분류(IPC))**H04B 10/50(2013.01)i, H04B 10/294(2013.01)i****B. 조사된 분야**

조사된 최소문헌(국제특허분류를 기재)

H04B 10/50; H04J 14/06; H04B 3/32; H04J 14/00; H04B 10/12; H04B 10/294

조사된 기술분야에 속하는 최소문헌 이외의 문헌

한국등록실용신안공보 및 한국공개실용신안공보: 조사된 최소문헌란에 기재된 IPC

일본등록실용신안공보 및 일본공개실용신안공보: 조사된 최소문헌란에 기재된 IPC

국제조사에 이용된 전산 데이터베이스(데이터베이스의 명칭 및 검색어(해당하는 경우))

eKOMPASS(특허청 내부 검색시스템) & 키워드: 직교 코드화, 한쌍의 심볼들, 수평 편광, 수직 편광, 편광 다중 광전송, 시편광 코딩, 채널상태정보, APTC(Alamouti-type polarization-time coding), NRZ-OOK, 광전 변환, 필터, 심볼, 1비트 딜레이와 합산, 1비트 딜레이와 감산, 마하젠더, 균등화 심볼

C. 관련 문헌

카테고리*	인용문헌명 및 관련 구절(해당하는 경우)의 기재	관련 청구항
A	US 2010-0021163 A1 (WILLIAM SHIEH) 2010.01.28 단락 [0087]-[0126]; 청구항 15-17; 및 도면 6-14 참조.	1-15
A	IVAN B. DJORDJEVIC 등, 'Almouti-type polarization-time coding in coded-modulation schemes with coherent detection', In: OPTICS EXPRESS, Vol. 16, Issue 18, 2008.08.26 (https://www.osapublishing.org/oe/abstract.cfm?uri=oe-16-18-14163) 섹션 1 참조.	1-15
A	US 2013-0272704 A1 (MAHDI ZAMANI 등) 2013.10.17 단락 [0033]-[0035]; 및 청구항 1 참조.	1-15
A	US 2014-0314410 A1 (SAMI MUMTAZ 등) 2014.10.23 단락 [0047]-[0108]; 및 도면 1A-6B 참조.	1-15
A	US 2009-0220239 A1 (JEAN ARMSTRONG 등) 2009.09.03 단락 [0103]-[0107]; 및 도면 6 참조.	1-15

☒ 추가 문헌이 C(계속)에 기재되어 있습니다.☒ 대응특허에 관한 별지를 참조하십시오.

* 인용된 문헌의 특별 카테고리:

“A” 특별히 관련이 없는 것으로 보이는 일반적인 기술수준을 정의한 문헌

“T” 국제출원일 또는 우선일 후에 공개된 문헌으로, 출원과 상충하지 않으며 발명의 기초가 되는 원리나 이론을 이해하기 위해 인용된 문헌

“E” 국제출원일보다 빠른 출원일 또는 우선일을 가지나 국제출원일 이후에 공개된 선출원 또는 특허 문헌

“X” 특별한 관련이 있는 문헌. 해당 문헌 하나만으로 청구된 발명의 신규성 또는 진보성이 없는 것으로 본다.

“L” 우선권 주장에 의문을 제기하는 문헌 또는 다른 인용문헌의 공개일 또는 다른 특별한 이유(이유를 명시)를 밝히기 위하여 인용된 문헌

“Y” 특별한 관련이 있는 문헌. 해당 문헌이 하나 이상의 다른 문헌과 조합하는 경우로 그 조합이 당업자에게 자명한 경우 청구된 발명은 진보성이 없는 것으로 본다.

“O” 구두 개시, 사용, 전시 또는 기타 수단을 언급하고 있는 문헌

“&” 동일한 대응특허문헌에 속하는 문헌

“P” 우선일 이후에 공개되었으나 국제출원일 이전에 공개된 문헌

국제조사의 실제 완료일

2017년 09월 18일 (18.09.2017)

국제조사보고서 발송일

2017년 09월 20일 (20.09.2017)

ISA/KR의 명칭 및 우편주소

대한민국 특허청
(35208) 대전광역시 서구 청사로 189,
4동 (둔산동, 정부대전청사)

팩스 번호 +82-42-481-8578

심사관

이은규

전화번호 +82-42-481-3580



C(계속). 관련 문헌		
카테고리*	인용문헌명 및 관련 구절(해당하는 경우)의 기재	관련 청구항
X	AHMED GALIB REZA 등, ‘intensity modulation and direct detection Alamouti polarization-time coding for optical fiber transmission systems with polarization mode dispersion’ , In: Optical Engineering, Volume 55, Issue 7, 2016.07.18 섹션 1-4 참조. * 위 문헌은 출원인이 신규성 상실의 예외로서 선언한 공지문헌임.	1-15

국제조사보고서에서 인용된 특허문헌	공개일	대응특허문헌	공개일
US 2010-0021163 A1	2010/01/28	없음	
US 2013-0272704 A1	2013/10/17	US 2016-0087751 A1 US 9236973 B2 US 9438371 B2 WO 2013-152739 A1	2016/03/24 2016/01/12 2016/09/06 2013/10/17
US 2014-0314410 A1	2014/10/23	CN 103782530 A EP 2724483 A1 FR 2977099 A1 US 9294146 B2 WO 2012-175697 A1	2014/05/07 2014/04/30 2012/12/28 2016/03/22 2012/12/27
US 2009-0220239 A1	2009/09/03	AU 2006-287123 A1 AU 2006-287123 B2 CA 2621251 A1 CN 101300758 A CN 101300758 B EP 1920544 A1 EP 1920544 B1 JP 2009-507405 A KR 10-2008-0064804 A NZ 566407 A US 8107826 B2 WO 2007-025346 A1	2007/03/08 2011/04/14 2007/03/08 2008/11/05 2013/04/24 2008/05/14 2016/08/24 2009/02/19 2008/07/09 2011/04/29 2012/01/31 2007/03/08