

(12) 特許協力条約に基づいて公開された国際出願

(19) 世界知的所有権機関
国際事務局

(43) 国際公開日
2015年8月20日(20.08.2015)



(10) 国際公開番号
WO 2015/121946 A1

- (51) 国際特許分類:
H04B 10/61 (2013.01) H04B 10/2507 (2013.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2014/053332
- (22) 国際出願日: 2014年2月13日(13.02.2014)
- (25) 国際出願の言語: 日本語
- (26) 国際公開の言語: 日本語
- (71) 出願人: 三菱電機株式会社(MITSUBISHI ELECTRIC CORPORATION) [JP/JP]; 〒1008310 東京都千代田区丸の内二丁目7番3号 Tokyo (JP).
- (72) 発明者: 三重野 光子(MIENO, Mitsuko); 〒1008310 東京都千代田区丸の内二丁目7番3号 三菱電機株式会社内 Tokyo (JP). 吉田 剛(YOSHIDA, Tsuyoshi); 〒1008310 東京都千代田区丸の内二丁目7番3号 三菱電機株式会社内 Tokyo (JP). 新宅 宏彰(SHINTAKU, Hiroaki); 〒1008310 東京都千代田区丸の内二丁目7番3号 三菱電機株式会社内 Tokyo (JP). 林 周作(HAYASHI, Shusaku); 〒1008310 東京都千代田区丸の内
- 二丁目7番3号 三菱電機株式会社内 Tokyo (JP).
- (74) 代理人: 曾我 道治, 外(SOGA, Michiharu et al.); 〒1000005 東京都千代田区丸の内三丁目1番1号 国際ビルディング 8階 曾我特許事務所 Tokyo (JP).
- (81) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の国内保護が可能): 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, 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, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, 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.
- (84) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の広域保護が可能): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシ

[続葉有]

(54) Title: LIGHT RECEIVER

(54) 発明の名称: 光受信器

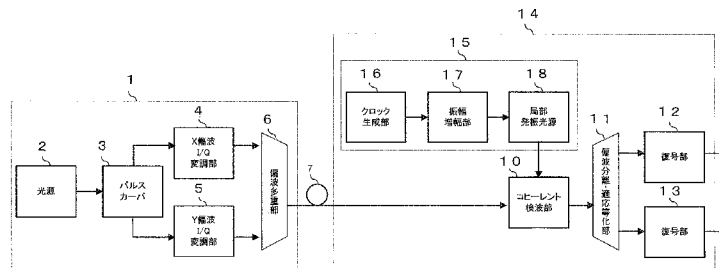


FIG. 2:
 2 Light source
 3 Pulse carver
 4 X polarization I/Q modulation unit
 5 Y polarization I/Q modulation unit
 6 Polarization multiplex unit
 10 Coherent detection unit
 11 Polarization separation/adaptive equalization unit
 12, 13 Decoding units
 16 Clock generation unit
 17 Amplitude amplification unit
 18 Local oscillation light source

(57) Abstract: This invention relates to a light receiver (14) provided with: a phase modulation unit (15) that generates a local oscillation light and modulates the phase of the local oscillation light; a coherent detection unit (10) that causes a received light signal and the local oscillation light with the phase modulated by the phase modulation unit (15) to interact with each other, thereby converting the light signal to an electric signal; a polarization separation/adaptive equalization unit (11) that polarization-separates and adaptively equalizes the electric signal after coherent detection; and decoding units (12, 13) that decode the polarization-separated electric signals outputted by the polarization separation/adaptive equalization unit (11).

(57) 要約: 本発明は、局部発振光を生成して局部発振光の位相を変調する位相変調部15と、受信した光信号と位相変調部15により位相変調された局部発振光とを干渉させて、光信号を電気信号に変換するコヒーレント検波部10と、コヒーレント検波後の電気信号を偏波分離および適応等化する偏波分離・適応等化部11と、偏波分離・適応等化部11から出力された偏波分離された電気信号を復号する復号部12, 13とを備えた光受信器14である。

WO 2015/121946 A1

ア (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), ヨーロッパ
(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).

添付公開書類:
— 国際調査報告 (条約第 21 条(3))

明 細 書

発明の名称：光受信器

技術分野

[0001] この発明は光受信器に関し、特に、デジタルコヒーレント方式を用いた光受信器に関するものである。

背景技術

[0002] 大容量光伝送を実現するためには、波長多重数の増加や光ファイバ網の新規敷設だけでは、需要に十分でない。そのため、伝送速度を従来の10Gbpsから、40Gbps、100Gbpsと向上させている（例えば、特許文献1，2参照）。

[0003] しかしながら、特に長距離伝送を行う光伝送システムにおいては、高速化に伴い、通信路の光ファイバの波長分散や偏波モード分散による光信号波形の歪み等の伝送ペナルティが、深刻になる。

[0004] この問題を解決するために、受信側にデジタルシグナルプロセッサ（DSP: Digital Signal Processor）を設けることにより、電気領域で波長分散と偏波モード分散を補償でき、かつ、多様な多値変調方式に対応できるデジタルコヒーレント通信方式が用いられている。

[0005] また、近年、デジタルコヒーレント方式の一つであるDP-QPSK（Dual Polarization Quadrature Phase Shift Keying）変調方式、および、DP-BPSK（Dual Polarization Binary Phase Shift Keying）変調方式などの多値変調が用いられている。

[0006] さらに、長距離伝送が可能な高密度波長多重を実現するために、偏波多重方式（Polarization Multiplexing）を用い、1シンボル当たりの伝送ビット数を2倍に増やす方式が知られている。偏波多重方式においては、直交する2つの偏波成分に、独立の送信信号をそれぞれ割り当てる。

先行技術文献

特許文献

[0007] 特許文献1：特開2012-119759号公報

特許文献2：国際公開第2010/033402号パンフレット

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0008] 上述したように、DSPを用いたデジタルコヒーレント通信方式を用いれば、長距離伝送に伴う伝送ペナルティは低減することができる。しかしながら、偏波分離多重光伝送システムにおいて、一般的な包絡線一定化規範（CMA：Constant Modulus Algorithm）に基づく適応等化フィルタを用いると、適応等化フィルタが誤収束し、偏波分離を安定して行うことができないという問題点があった。また、適応等化フィルタでの偏波分離後、同一偏波内で遅延干渉が残留すると、フレーム同期に異常をきたすという問題点があった。

[0009] ここで、適応等化フィルタの誤収束について以下に説明する。図1は、一般的な偏波多重2値位相変調方式を用いた光送受信器の全体構成図である。図1に示すように、光送信器101が変調光を出力する。当該変調光は光伝送部107により伝送される。伝送後、当該変調光は光受信器108に入力され、受信処理が行われる。受信処理には、検波、偏波分離、適応等化、および、復号が含まれる。光送信器101は、光源102、パルスカーバ103、X偏波I/Q変調部104、Y偏波I/Q変調部105、偏波多重部106で構成されている。光受信器108は、コヒーレント検波部110、局部発振光源109、偏波分離・適応等化部111、復号部112、復号部113で構成されている。光受信器108の偏波分離・適応等化部111には、適応等化フィルタが設けられている。このとき、適応等化フィルタの出力信号を $y(k)$ 、X偏波の信号を $s_{i1}(k) \{1, -1\}$ 、Y偏波の信号を $s_{i2}(k) \{1, -1\}$ とすると、

$$y(k) = \cos(\phi) s_{i1}(k) + j \sin(\phi) s_{i2}(k)$$

が満たされる条件では、出力信号振幅 $|y(k)|$ が一定化される。このうち、 $\phi = 0, \pi/2, \pi, -\pi/2$ が、偏波分離できている状態である。それ以外は、偏波分離できていない状態（すなわち、同一偏波内で遅延干渉が残留し、 $\phi = 0, \pi/2, \pi, -\pi/2$ に収束できていない状態）である。偏波分離できていない状態を「誤収束」という。

[0010] また、光送信器において、信号光の位相を変調するため、信号光レベルが低下することがある。その場合、自動バイアス制御に用いる信号光の制御感度が低下し、自動バイアス制御が外れる可能性がある。遅延干渉検出感度を高めることは可能である。しかしながら、遅延干渉検出感度と、信号光の受信後に算出する符号誤り率（BER: Bit Error Rate）との間には、トレードオフの関係がある。そのため、遅延干渉検出感度を高めた場合には、BERの安定性や最適化を実現することは難しい。

[0011] 偏波分離を正常に行う方法は、例えば特許文献1にも記載されている。特許文献1では、X偏波とY偏波の中心周波数を所定量だけ異なるように周波数シフトした光信号を偏波多重することで正常な偏波分離を行っている。しかしながら、特許文献1の方法においては、周波数シフト量にも因るが、送信光に対して、WSSなどの部品による光フィルタリングを行うことにより、信号の劣化が生じるという問題点があった。

[0012] また、特許文献2では、受信器で測定したBERを最小化するための制御信号を受信器から送信器に送ることで、受信器におけるエラーカウントを最小化している。しかしながら、特許文献2の方法においては、BERを最小化するための制御信号を送信器に送る必要があり、受信側でBERの最小化の処理ができないという問題点があった。

[0013] この発明はかかる問題点を解消するためになされたものであり、光受信器側において、局部発振光に位相変調をかけることで、コヒーレント検波後の偏波分離を安定させて、BERを低減させる、光受信器を得ることを目的としている。

課題を解決するための手段

[0014] この発明は、光信号を受信するための光受信器であって、局部発振光を生成し、前記局部発振光の位相を変調して出力する位相変調部と、受信した前記光信号と前記位相変調部により位相変調された前記局部発振光とを干渉させて、前記光信号を電気信号に変換するコヒーレント検波部と、前記コヒーレント検波部から出力される前記電気信号を偏波分離する偏波分離部と、前記偏波分離部から出力された前記偏波分離された電気信号を復号する復号部とを備えた光受信器である。

発明の効果

[0015] この発明によれば、光受信器側において、局部発振光に位相変調をかけるようにしたので、コヒーレント検波後の偏波分離を安定させることができ、BERを低減させることができる。

図面の簡単な説明

- [0016] [図1]従来の光送受信器の構成を示した構成図である。
[図2]本発明の実施の形態1に係る光送受信器の構成図である。
[図3]本発明の実施の形態2に係る光受信器の構成図である。
[図4]本発明の実施の形態3に係る光受信器の構成図である。
[図5]本発明の実施の形態3に係る位相変調度とBERの関係を示した図である。
[図6]本発明の実施の形態1に係る光送受信器の偏波分離・適応等化部の構成を示した構成図である。
[図7]位相変調振幅と光スペクトルの関係を示した図である。

発明を実施するための形態

[0017] 実施の形態1.

図2は、本発明の実施の形態1に係る光送受信器の全体構成を示した構成図である。図2に示すように、まず、光送信器1が変調光を出力する。当該光信号は、光伝送部7により伝送される。伝送後の光信号は光受信器14に

入力され、受信処理が行われる。

[0018] 光送信器 1 は、光源 2、パルスカーバ 3、X 偏波 I/Q 変調部 4、Y 偏波 I/Q 変調部 5、偏波多重部 6 で構成されている。光伝送部 7 は、光ファイバから構成される。光受信器 14 は、コヒーレント検波部 10、位相変調部 15、偏波分離・適応等化部 11、復号部 12、復号部 13 で構成されている。また、位相変調部 15 は、クロック生成部 16、振幅増幅部 17、局部発振光源 18 で構成されている。

[0019] ここで、局部発振光源 18 に用いる光源は、数 GHz 以上の高速な光信号を発生させる必要がないため、外部変調光源ではなく、安価で小型な直接変調光源を使用することができる。本実施の形態においては、光受信器 14 において、局部発振光源 18 からコヒーレント検波部 10 に入力される局部発振光に対して、復号部 12、13 におけるボーレート (baud rate) の 1/10 の周波数を有するクロック信号を用いて、 $\pi/4$ の位相変調を行う。これにより、コヒーレント検波される光信号間の相対位相関係がランダムになるので、偏波分離後に、同一偏波内での遅延干渉が発生しなくなり、正常に偏波分離を行うことができる。なお、ボーレートとは、電気信号 (デジタルデータ) を 1 秒間に何回だけ変復調できるかを示す値である。

[0020] 光送信器 1 に設けられた各構成について説明する。

[0021] 光源 2 は、無変調の光を出力する。

[0022] パルスカーバ 3 は、光源 2 から出力された無変調の光に対し、RZ (Return-to-Zero) パルス化変調を行う。RZ パルス化変調された光を X 偏波および Y 偏波に分離し、分離された X 偏波および Y 偏波は、それぞれ、X 偏波 I/Q 変調部 4 および Y 偏波 I/Q 変調部 5 に入力される。

[0023] X 偏波 I/Q 変調部 4 は、入力された X 偏波を差動符号化し、差動符号化された X 偏波を I 軸用及び Q 軸用に複製することで、X I, X Q の 2 レーン信号を生成する。

[0024] Y 偏波 I/Q 変調部 5 は、入力された Y 偏波を差動符号化し、差動符号化された Y 偏波を I 軸用及び Q 軸用に複製することで、Y I, Y Q の 2 レーン

信号を生成する。

[0025] 偏波多重部6は、X偏波I/Q変調部4で生成された2レーン信号(XI, XQ)およびY偏波I/Q変調部5で生成された2レーン信号(YI, YQ)を、直交偏波に多重化し、偏波多重2値位相変調信号を生成する。当該偏波多重2値位相変調信号は、光伝送部7に出力される。

[0026] 次に、光受信器14に設けられた各構成について説明する。

[0027] 位相変調部15は、光送信器1におけるポーレートの1/10の周波数で発振する局部発振光を生成する。このとき、位相変調部15は、複号部12, 13におけるポーレートの1/10の周波数のクロック信号を生成する。当該クロック信号を位相変調用信号として用いて、局部発振光に $\pi/4$ の位相変調をかける。

[0028] コヒーレント検波部10には、位相変調部15から出力される上記の位相変調された局部発振光が入力される。また、コヒーレント検波部10には、光伝送部7により伝送されてきた偏波多重2値位相変調信号が入力される。コヒーレント検波部10は、コヒーレント検波により、偏波多重2値位相変調信号を電気信号に変換する。すなわち、コヒーレント検波部10は、局部発振光と偏波多重2値位相変調信号との干渉によって、偏波多重2値位相変調信号の振幅と位相を測定し、偏波多重2値位相変調信号を電気信号として抽出する。抽出した電気信号は、必要に応じて、増幅する。なお、干渉の際には、コヒーレント検波部10は、局部発振光と偏波多重2値位相変調信号とを、直交偏波(Xr/Yr)単位、および、直交位相(Ir/Qr)単位で干渉させる。コヒーレント検波部10は、こうして、コヒーレント検波により、2偏波かつI/Q軸の信号が混合された状態にある4レーンの電気信号(XrIr, XrQr, YrIr, YrQr)を生成する。コヒーレント検波部10は、さらに、これらの電気信号(XrIr, XrQr, YrIr, YrQr)をアナログ・デジタル変換して、4レーンのデジタル信号を得て、偏波分離・適応等化部11に出力する。

[0029] 偏波分離・適応等化部11は、コヒーレント検波部10から出力される4

レーンのデジタル信号を基に、例えば包絡線一定化規範（CMA）を用いて、直交偏波分離および適応等化を行う。図6に、偏波分離・適応等化部11の内部構成を示す。図6に示す例は、バタフライ型の有限インパルス応答（FIR: Finite Impulse Response）フィルタである。偏波分離・適応等化部11は、図6に示すFIRフィルタを用いて、 X_r 偏波複素信号 $E_{x'}[t]$ と Y_r 偏波複素信号 $E_{y'}[t]$ とを、送信時の2偏波成分である X 偏波信号 $E_x[t]$ と Y 偏波信号 $E_y[t]$ とに分離する。ここで、 X_r 偏波複素信号 $E_{x'}[t]$ は、コヒーレント検波部10から入力される4レーン信号のうち、 $X_r I_r$ を実部とし、 $X_r Q_r$ を虚部として構成される複素信号である。また、 Y_r 偏波複素信号 $E_{y'}[t]$ は、コヒーレント検波部10から入力される4レーン信号のうち、 $Y_r I_r$ を実部とし、 $Y_r Q_r$ を虚部として構成される複素信号である。一般には、当該FIRフィルタの1タップの遅延長は $1/2$ シンボル時間以下、タップ長は10以上として設計されるが、図6では、図の簡略化のため、1タップの遅延長を1シンボル、タップ長5として記載した。FIRフィルタのタップ係数 $h_{pq}[k]$ ($p = \{x, y\}$ 、 $q = \{x, y\}$ 、 $k = \{0, 1, 2, 3, 4\}$)は、CMAのような適応アルゴリズムにより逐次更新される。偏波分離・適応等化部11は、偏波分離・適応等化により得られた X 偏波信号および Y 偏波信号を、それぞれ、復号部12及び13に出力する。このように、適応等化フィルタが、複数のタップから構成されている場合、ある時点の信号が配置される軸と、そこからある時間離れた点にある信号が配置される軸との相対位相関係に配置（位相）のランダム性があるように構成する。もし、ある時点の信号が配置される軸と、そこからある時間離れた点にある信号が配置される軸との相対位相関係が常に同一である（すなわち、ランダムでない）と、適応等化フィルタを通過することによって同一偏波内で干渉が発生してしまう。一方、相対位相関係がランダムだと同一偏波内の干渉を防ぐことができる。

[0030] 復号部12は、偏波分離・適応等化部11から偏波分離・適応等化された

X偏波信号が入力される。復号部12は、X偏波信号を復号し、復号結果を外部に出力する。また、復号部12は、復号処理の後に、BERを算出する。

[0031] 復号部13は、偏波分離・適応等化部11から偏波分離・適応等化されたY偏波信号が入力される。復号部13は、Y偏波信号を復号し、復号結果を外部に出力する。また、復号部13は、復号処理の後に、BERを算出する。

[0032] 次に、位相変調部15に設けられた各構成について説明する。

クロック生成部16は、クロック生成回路（クロック生成IC）から構成され、ボーレート（baud rate）の $1/10$ の周波数のクロック信号を生成する。

振幅増幅部17は、上記クロック信号の振幅を増幅して、位相変調用信号を生成する。この位相変調用信号は局部発振光源18に出力される。

局部発振光源18は、光送信器1におけるボーレートの $1/10$ の周波数で発振する局部発振光を生成する。また、局部発振光源18は、当該局部発振光に、振幅増幅部17から出力された位相変調用信号を用いて、 $\pi/4$ の位相変調をかける。局部発振光源18は、位相変調した局部発振光をコヒーレント検波部10に出力する。

[0033] 本実施の形態に係る光送受信器の動作を図2を用いて説明する。

光送信器1では、まず、光源2が無変調の光を生成し、パルスカーバ3に出力する。パルスカーバ3は、当該光に対しRZパルス化変調を行い、X偏波およびY偏波に分離する。パルスカーバ3は、生成したX偏波およびY偏波を、それぞれ、X偏波I/Q変調部4およびY偏波I/Q変調部5に入力する。X偏波I/Q変調部4およびY偏波I/Q変調部5では、X偏波およびY偏波それぞれで差動符号化し、差動符号化されたX偏波およびY偏波をI軸用およびQ軸用に複製することで、XI、XQ、YI、YQの4レーン信号を生成する。これらの4レーンの信号は、偏波多重部6に入力される。偏波多重部6は、これらの4レーンの信号を直交偏波に多重化し、生成した

偏波多重 2 値位相変調信号を光伝送部 7 に出力する。

[0034] 光伝送部 7 では、光送信器 1 から出力された偏波多重 2 値位相変調信号を光受信器 1 4 に伝送する。

[0035] 光受信器 1 4 では、光伝送部 7 が伝送した偏波多重 2 値位相変調信号を、コヒーレント検波部 1 0 に入力する。また、コヒーレント検波部 1 0 には、位相変調部 1 5 から局部発振光も入力される。コヒーレント検波部 1 0 は、偏波多重 2 値位相変調と局部発振光とを干渉させ、コヒーレント検波を行う。なお、上述したように、コヒーレント検波部 1 0 に入力される局部発振光は、位相変調部 1 5 において、ポーレートの $1/10$ の周波数のクロック信号で $\pi/4$ の位相変調がかけられている。局部発振光の位相をランダム化するためには、矩形波状ではなく正弦波状や三角波状の電気波形で光変調器を駆動する必要があるが、クロック生成回路によっては、変調周波数が低くなると、電気駆動波形として正弦波や三角波でなく、矩形波状の波形が生成されることが多い。その場合、変調後の変調振幅を推定することができなくなり、正しく変調されていることを確かめられないため、正常に偏波分離が行えなくなる。これを解決するためには、通過帯域の狭い低域通過フィルタが必要になり、制御系が複雑になる。反対に、変調周波数が高くなると、適応等化フィルタのタップ長に対して位相変調周期が十分な長さを確保できず、適応等化フィルタの誤収束を招きやすくなる。従って、本実施の形態では、位相変調部 1 5 で、局部発振光に、ポーレートの $1/10$ の周波数のクロック信号で $\pi/4$ の位相変調を行う。これにより、偏波分離・適応等化部 1 1 の適応等化フィルタの誤収束を防ぎ、偏波分離を安定して行うことができる。

[0036] コヒーレント検波部 1 0 から出力される電気信号は、上述したように、2 偏波かつ I/Q 軸の信号が混合された状態の 4 レーンの信号である。偏波分離・適応等化部 1 1 では、CMA を実装した適応等化フィルタを用いて、これらの 4 レーンの電気信号を分離する。局部発振光を、上記の変調周波数により位相変調することで、適応等化フィルタの誤収束を防ぎ、偏波分離を安

定させることができる。本実施の形態では、4レーン中2レーンは不定信号となり、4レーンのバルク処理を行うと誤り過多で導通不能になることを避けるために、偏波分離後の復号部12と復号部13ではX_I/X_Q/Y_I/Y_Qの4レーンで別々に復号化を行う。復号後に、復号部12、13は、内部に設けられたDSPを用いて、伝送路推定、分散補償、誤り訂正復号し、エラーカウントに基づき、BERを計算する。

[0037] 適応等化フィルタは、上述したように、有限インパルス応答フィルタ（FIRフィルタ）で構成されている。変調規則は偶数シンボル離れた2つの信号軸の相対位相の大半が $\pi/2$ になることで、同一偏波内で遅延干渉が発生する。それを解決するために、信号点配置軸の相対位相関係をランダム化し、適応等化フィルタのタップ長よりも長い周期で緩やかに光位相を変化させる。局部発振光を、互いに位相が $\pi/2$ 異なる2つの変調パターンで位相変調することで、2位相信号ではなく、ランダムに4位相をとる信号に見せかけることができる。これにより、CMAの誤収束の回避を図ることができる。2つの変調パターンを切り替えるタイミングをX偏波とY偏波で半周期ずらしておくことにより、両偏波間でも位相関係をランダムにし、ランダムな4位相信号により近づけることができ、CMAの誤収束回避に有効である。

[0038] 長距離伝送を行う場合、光伝送部7を構成する光ファイバ中で非線形光学効果に起因する波形歪みが生じた場合においても、位相擾乱の影響で偏波分離を正常に行いやすくなる。また、光受信器14の局部発振光に位相変調を行う位相変調部15を備えることで、偏波分離を正常に行うための位相変調を、主信号に変調する必要がなくなる。そのため、光送信器1の変調損失が小さくなり、パルスカーバ3、X偏波I/Q変調部4、Y偏波I/Q変調部5における自動バイアス制御について、誤差信号感度が小さくなる問題を回避できる。

[0039] また、本実施の形態1では、光受信器14の位相変調部15で、偏波分離を安定させるための位相変調を局部発振光に対して行うこととしたが、光送信器1から光受信器14に入力する入力信号（偏波多重2値位相変調信号）

に位相変調を適用することもできる。その場合、偏波無依存の位相変調器が必要になるが、適応等化フィルタの誤収束を同様に防ぐことができる。当該原理は局部発振光を位相変調する場合と同様で、局部発振光または入力信号のどちらか一方に位相変調をかけ、両偏波間の位相関係をランダムにし、ランダムな4位相信号にすればよい。

[0040] 以上のように、従来の光受信器では、CMAによりタップ係数が逐次更新させる受信側の適応等化フィルタで誤収束することが起こり得る。この問題を解決するために、本実施の形態1に係る光受信器においては、局部発振光に $\pi/4$ の位相変調を行う。当該位相変調の結果、コヒーレント検波される光信号間の相対位相関係がランダムになり、同一偏波内での干渉を防ぐことができる。これにより、適応等化フィルタの誤収束を防ぎ、偏波分離を安定して行うことができる。また、位相変調を、光送信器1からの信号光ではなく、局部発振光にかけるため、位相変調による信号光の変調損失を考慮しなくてよく、信号光の消光比を維持できる。また、位相変調は16Symbol周期まで長周期化することができ、外部変調を行う必要がないため、10GHz以上の高速な外部変調器を使用せずに、安価な構成で実現できる。

[0041] 実施の形態2.

図3は、本発明の実施の形態2に係る光受信器14Aを示す図である。図3に示すように、本実施の形態2に係る光受信器14Aにおいては、図2に示した実施の形態1の光受信器14の構成に対して、BERモニタ部20と周波数制御部19とが追加されている。他の構成については、上記の実施の形態1と同じであるため、同一符号を付して示し、ここでは、その説明を省略する。

[0042] BERモニタ部20は、図3に示すように、復号部12, 13に接続されている。復号部12, 13は、偏波分離・適応等化部11から出力される信号の復号を行うが、当該復号化処理のあとに、復号信号のBERを算出する。BERモニタ部20は、復号部12, 13で算出される復号信号のBERをモニタリング (monitoring) する。

周波数制御部 19 は、図 3 に示すように、位相変調部 15 A 内に設けられている。周波数制御部 19 は、BER モニタ部 20 でモニタリングされた BER が入力される。周波数制御部 19 は、当該 BER に基づいて、当該 BER の変動がゼロに近づくように、クロック生成部 16 のクロック信号の周波数をフィードバック制御し、BER が安定する方向にクロック信号の周波数を変化させる。

[0043] なお、本実施の形態 2 においては、光送信器の構成は図示されていないが、上記の実施の形態 1 の図 2 と同じであるため、ここでは説明を省略する。

[0044] 復号部 12, 13 で算出する BER の安定度は、局部発振光を生成する局部発振光源 18 の変調周波数にも影響する。変調周波数はクロック生成部 16 で生成するクロック信号の周波数である。周波数によって BER の標準偏差が大きくなると、安定した伝送特性を得ることができない。それを防ぐために、復号部 12 と復号部 13 に接続された BER モニタ部 20 によって BER をモニタリングする。また、周波数制御部 19 が、BER モニタ部 20 のモニタリング結果に応じて、クロック生成部 16 のクロック信号の周波数を制御し、BER が安定する方向に周波数を変化させる。これにより、復号部 12, 13 で算出する BER の揺らぎを最小にでき、安定した伝送特性を得られる。

[0045] 偏波分離・適応等化部 11 を構成する適応等化フィルタの収束確率は位相変調信号の周波数によって変わる。従って、BER モニタ部 20 と周波数制御部 19 とにより、クロック生成部 16 で生成するクロック信号の周波数を、最適な周波数に調整することによって、適応等化フィルタの誤収束発生確率を最小化でき、BER の安定度を高められる。適応等化フィルタの誤収束発生確率は、信号配置軸の相対位相関係によって決まるが、部品ばらつき等によって最適な周波数が異なるため、本実施の形態 2 で示す BER モニタ部 20 と周波数制御部 19 とから構成されたフィードバック制御回路が有効である。

[0046] 他の動作については、上記の実施の形態 1 と同じであるため、ここでは、

その説明を省略する。

[0047] 以上のように、本実施の形態 2 に係る光受信器は、上記の実施の形態 1 と同様の効果が得られるとともに、さらに、本実施の形態 2 においては、BER モニタ部 20 により、復号部 12, 13 で算出された BER をモニタリングし、位相変調用信号であるクロック生成部 16 から出力されるクロック信号の周波数をモニタリング結果に応じて制御することにより、BER の変動を最小化する制御を行い、伝送特性の向上および伝送距離の拡大を図る。

[0048] なお、本実施の形態 2 においては、上記の実施の形態 1 と同様に、光受信器 14 A において、光送信器からコヒーレント検波部 10 に入力される入力信号を位相変調してもよい。その場合においても、正常な偏波分離を行うことができる。ただし、この場合、偏波保持可能な位相変調器を用いる必要がある。

[0049] 実施の形態 3.

図 4 は、本発明の実施の形態 3 に係る光受信器を示す図である。図 4 に示すように、本実施の形態 3 に係る光受信器 14 B においては、図 2 に示した実施の形態 1 の光受信器 14 の構成に対して、BER モニタ部 20 と位相変調度制御部 21 とが追加されている。他の構成については、上記の実施の形態 1 と同じであるため、同一符号を付して示し、ここでは、その説明を省略する。

[0050] BER モニタ部 20 は、図 4 に示すように、復号部 12, 13 に接続されている。BER モニタ部 20 は、復号部 12, 13 で算出される復号信号の BER をモニタリング (monitoring) する。

位相変調度制御部 21 は、図 4 に示すように、位相変調部 15 B 内に設けられている。位相変調度制御部 21 には、BER モニタ部 20 でモニタリングされた BER が入力される。位相変調度制御部 21 は、当該 BER に基づいて、当該 BER の値が最小値に近づくように、振幅増幅部 17 の振幅値をフィードバック制御して、BER を最小化する。なお、当該 BER を最小にする位相変調度は、環境変化や部品の特性ばらつきによって変動するもので

ある。

[0051] なお、本実施の形態2においては、光送信器の構成は図示されていないが、上記の実施の形態1の図2と同じであるため、ここでは説明を省略する。

[0052] 復号部12, 13で算出するBERは、局部発振光源18で位相変調を行うための位相変調用信号の振幅、すなわち位相変調の影響を受ける。位相変調は、振幅増幅部17によるクロック信号の振幅の増幅値に基づいて決定される。復号部12と復号部13に接続されたBERモニタ部20によって、BERの値をモニタリングする。そのモニタリング結果に応じ、位相変調制御部21が、振幅増幅部17の増幅値を決定し、BERを最小化する。しかしながら、偏波分離を安定して行うためには位相変調を高くすることが必要である。

[0053] 位相変調度が小さいほどBERは小さくなるが、適応等化フィルタが正常に動作する確率は低くなるため、適応等化フィルタの安定度を維持できる範囲で、BERを最小化する。位相変調制御部21における位相変調とBERとの関係は図5のようになる。

[0054] また、図7は、位相変調振幅と光スペクトルの関係を示した図である。変調振幅を変化させると、図7に示すように、光スペクトル形状が変化する。位相変調用信号の振幅を大きく（すなわち、位相変調度を大きく）していくと、光スペクトルにおいて中心周波数の両隣りに第2ピークが現れる。この第2ピークが小さいほどBERは小さくなり、逆に、第2ピークが大きくなればBERは大きくなる。一方、位相変調度が小さくなると、ランダムな4位相信号に近づけず、誤収束する確率が高くなる。従って、本実施の形態3に係る光受信器においては、復号部12, 13が復号化後に算出するBERをBERモニタ部20でモニタリングし、そのモニタリング結果により位相変調制御部21により位相変調を変化させることで、偏波分離を安定して行いながら、BERを最小化する。BERの値を最小化することにより、伝送特性劣化を抑制し、伝送距離の拡大が可能になる。

[0055] 他の動作については、上記の実施の形態1と同じであるため、ここでは、

その説明を省略する。

[0056] 以上のように、本実施の形態3に係る光受信器は、上記の実施の形態1と同様の効果が得られるとともに、さらに、本実施の形態においては、復号化後に算出するBERをBERモニタ部20でモニタリングし、位相変調制御部21が、当該モニタリング結果により位相変調信号の位相変調を変化させ、偏波分離を安定して行いながらBERを最小化する。BERの値を最小化することにより、伝送特性劣化を抑制し、伝送距離の拡大が可能になる。

請求の範囲

- [請求項1] 光信号を受信するための光受信器であって、
局部発振光を生成し、前記局部発振光の位相を変調して出力する位相変調部と、
受信した前記光信号と前記位相変調部により位相変調された前記局部発振光とを干渉させて、前記光信号を電気信号に変換するコヒーレント検波部と、
前記コヒーレント検波部から出力される前記電気信号を偏波分離する偏波分離部と、
前記偏波分離部から出力された前記偏波分離された電気信号を復号する復号部と
を備えた光受信器。
- [請求項2] 前記位相変調部は、
前記復号部におけるボーレートの $1/10$ の周波数を有するクロック信号を生成するクロック生成部と、
前記局部発振光を生成し、前記局部発振光に対して前記クロック信号を用いて $\pi/4$ の位相変調を行う局部発振光源と
を備えた請求項1に記載の光受信器。
- [請求項3] 前記復号部は、前記復号後に、前記受信した光信号の符号誤り率を算出するものであって、
前記復号部で算出された前記符号誤り率をモニタリングするモニタリング部をさらに備え、
前記位相変調部は、
前記モニタリング部によってモニタリングされた前記符号誤り率に基づいて、前記クロック生成部で生成される前記クロック信号の周波数をフィードバック制御する周波数制御部をさらに備えている
請求項2に記載の光受信器。
- [請求項4] 前記復号部は、前記復号後に、前記受信した光信号の符号誤り率を

算出するものであって、

前記復号部で算出された前記符号誤り率をモニタリングするモニタリング部をさらに備え、

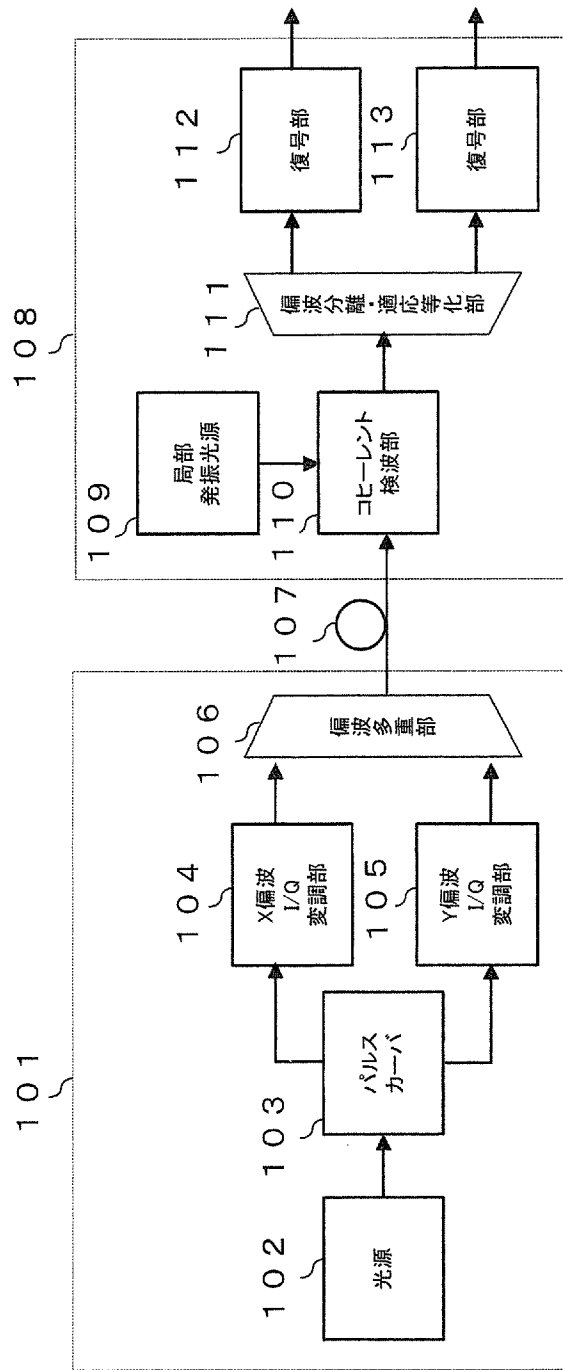
前記位相変調部は、

前記クロック生成部と前記局部発振光源との間に接続され、前記クロック生成部から出力される前記クロック信号の振幅を増幅させる振幅増幅部と、

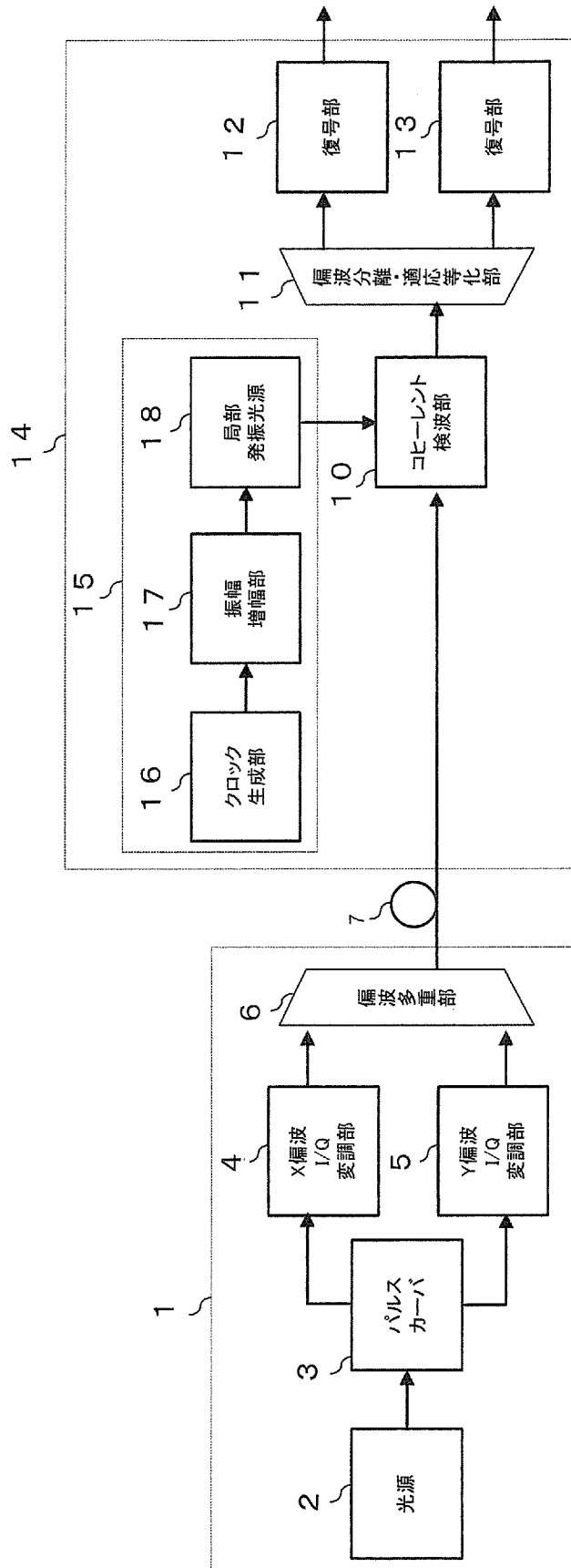
前記モニタリング部によってモニタリングされた前記符号誤り率に基づいて、前記振幅増幅部における前記振幅の増幅値をフィードバック制御することで、前記クロック信号の位相変調度を制御する位相変調度制御部と

をさらに備えた請求項2に記載の光受信器。

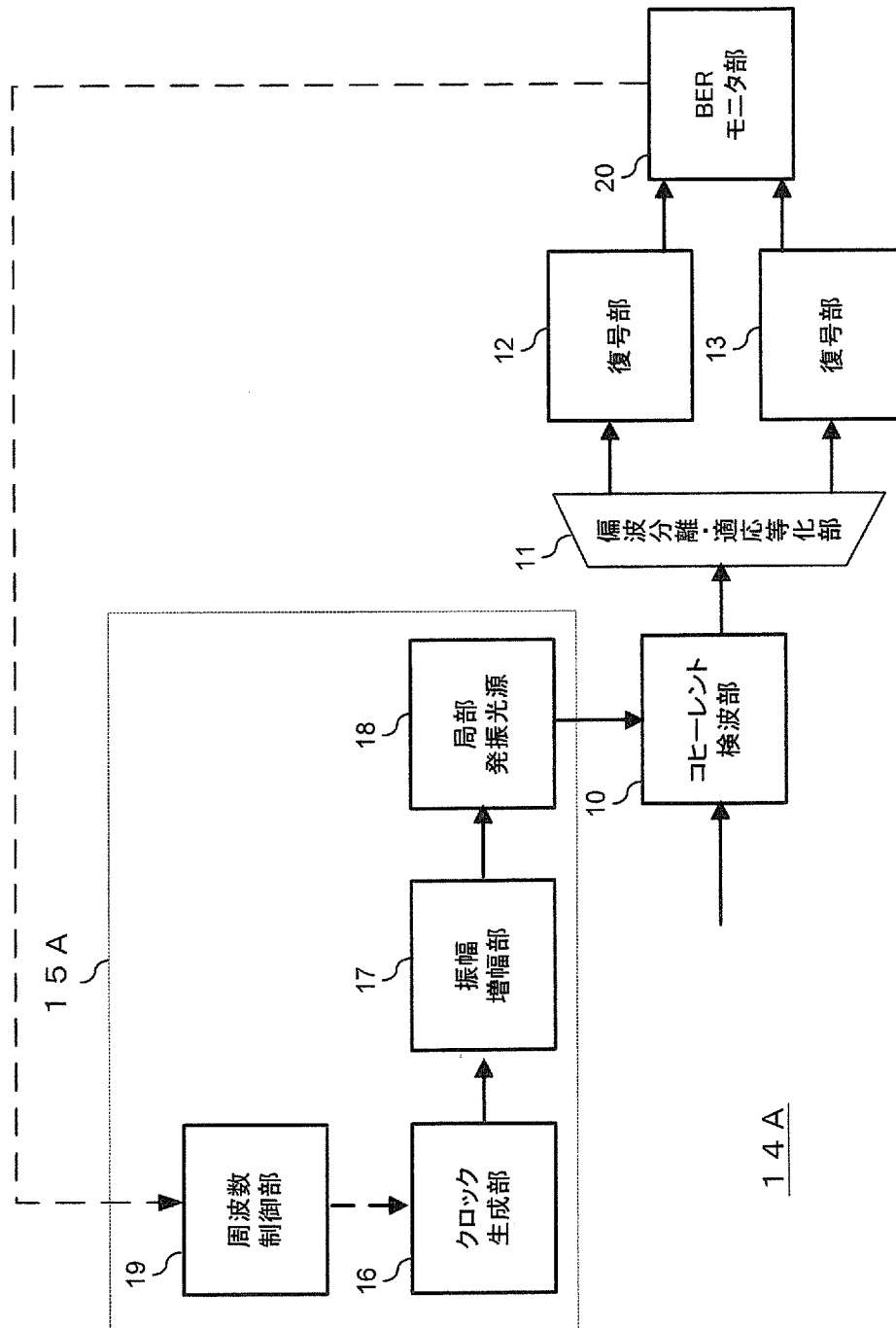
[図1]



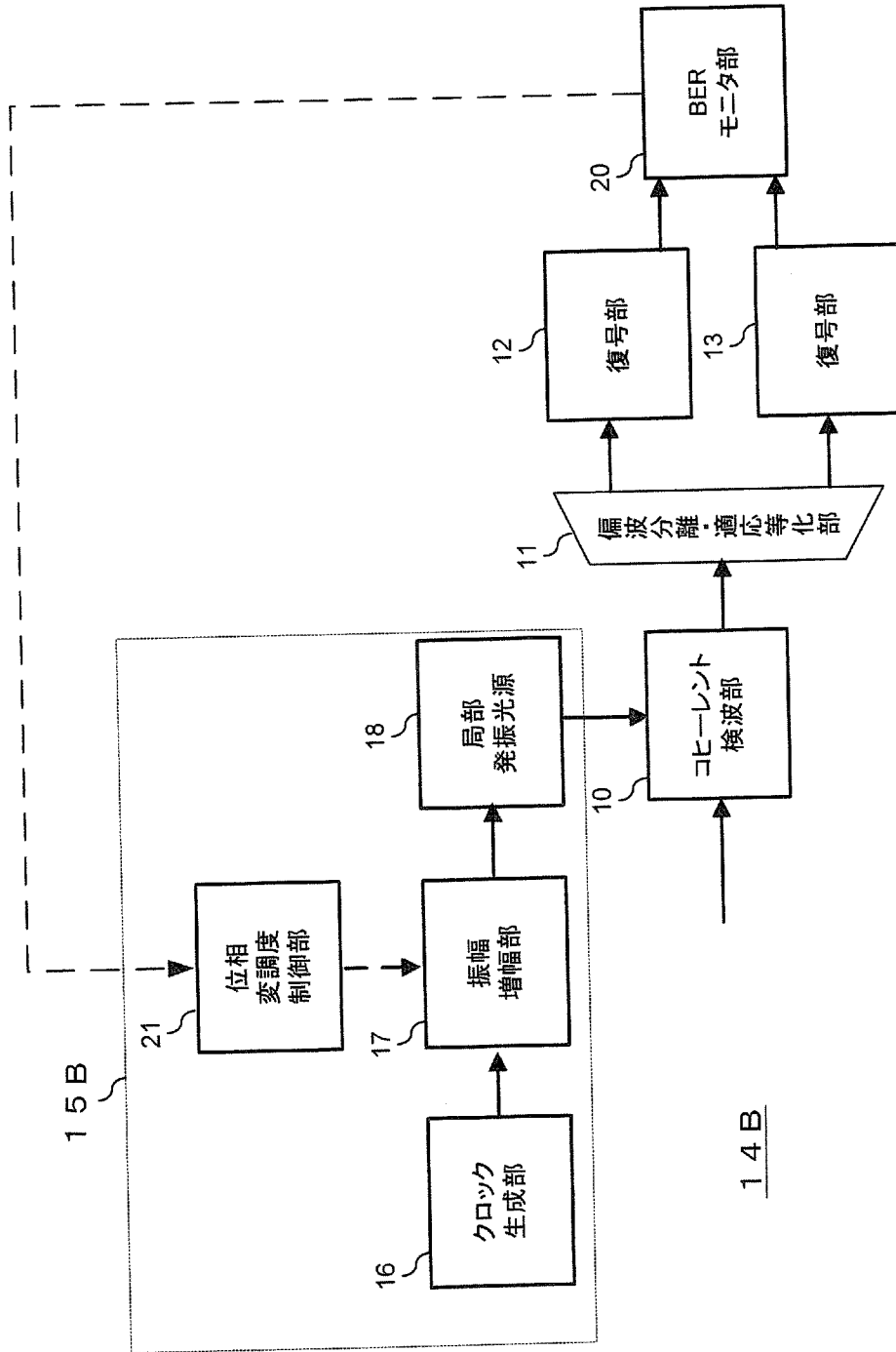
[図2]



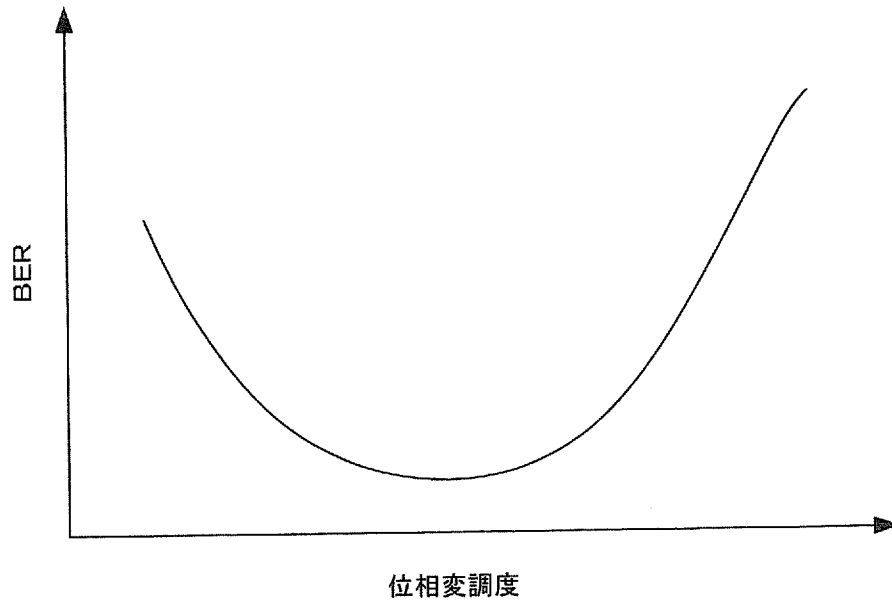
[図3]



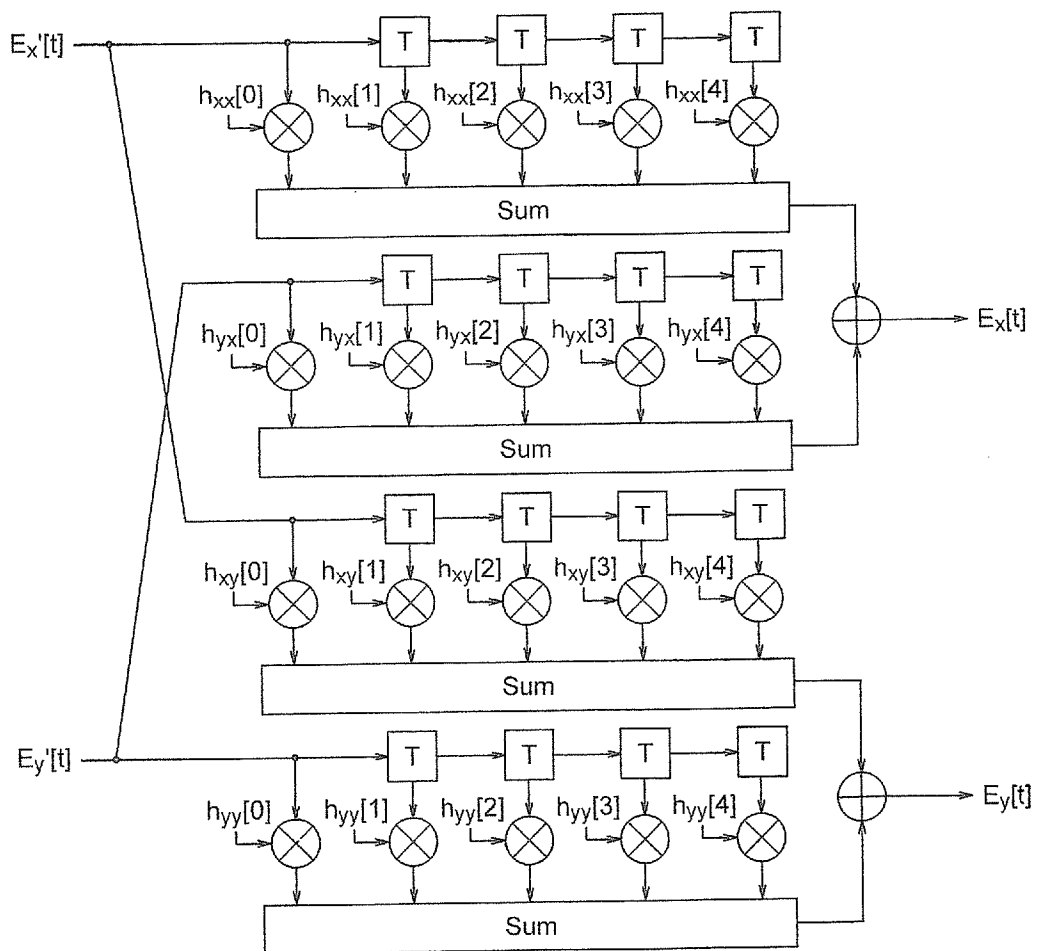
[図4]



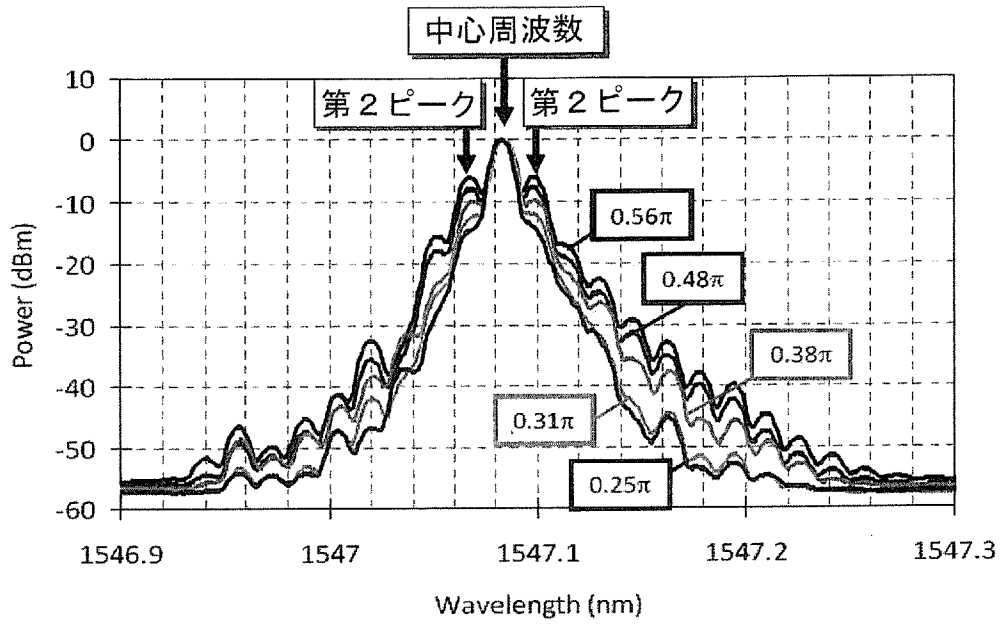
[図5]



[図6]



[図7]



位相変調振幅と光スペクトルの関係

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/JP2014/053332

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
H04B10/61(2013.01) i, H04B10/2507(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)
H04B10/61, H04B10/2507

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

Jitsuyo Shinan Koho	1922-1996	Jitsuyo Shinan Toroku Koho	1996-2014
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2014	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2014

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

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X A	JP 2009-049613 A (Fujitsu Ltd.), 05 March 2009 (05.03.2009), paragraphs [0030] to [0044], [0052] to [0116] & US 2009/0047030 A1 & EP 2026478 A1 & CN 101369851 A	1 2-4
A	JP 2002-207230 A (Agilent Technologies Inc.), 26 July 2002 (26.07.2002), paragraphs [0032] to [0037] & US 2006/0120733 A1 & EP 1195927 A2	1-4

Further documents are listed in the continuation of Box C. See patent family annex.

* Special categories of cited documents:	"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
"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance	"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
"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date	"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
"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)	"&" document member of the same patent family
"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	

Date of the actual completion of the international search 03 March, 2014 (03.03.14)	Date of mailing of the international search report 18 March, 2014 (18.03.14)
--	---

Name and mailing address of the ISA/ Japanese Patent Office	Authorized officer
Facsimile No.	Telephone No.

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（IPC））
 Int.Cl. H04B10/61(2013.01)i, H04B10/2507(2013.01)i

B. 調査を行った分野
 調査を行った最小限資料（国際特許分類（IPC））
 Int.Cl. H04B10/61, H04B10/2507

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの
 日本国実用新案公報 1922-1996年
 日本国公開実用新案公報 1971-2014年
 日本国実用新案登録公報 1996-2014年
 日本国登録実用新案公報 1994-2014年

国際調査で使用した電子データベース（データベースの名称、調査に使用した用語）

C. 関連すると認められる文献

引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求項の番号
X A	JP 2009-049613 A（富士通株式会社）2009.03.05, 段落【0030】 —【0044】、【0052】—【0116】 & US 2009/0047030 A1 & EP 2026478 A1 & CN 101369851 A	1 2-4
A	JP 2002-207230 A（アジレント・テクノロジーズ・インク） 2002.07.26, 段落【0032】—【0037】 & US 2006/0120733 A1 & EP 1195927 A2	1-4

C欄の続きにも文献が列挙されている。 パテントファミリーに関する別紙を参照。

* 引用文献のカテゴリー	の日の後に公表された文献
「A」特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの	「T」国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの
「E」国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの	「X」特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの
「L」優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献（理由を付す）	「Y」特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの
「O」口頭による開示、使用、展示等に言及する文献	「&」同一パテントファミリー文献
「P」国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願	

国際調査を完了した日 03.03.2014	国際調査報告の発送日 18.03.2014
--------------------------	--------------------------

国際調査機関の名称及びあて先 日本国特許庁（ISA/J P） 郵便番号100-8915 東京都千代田区霞が関三丁目4番3号	特許庁審査官（権限のある職員） 鈴木 重幸 電話番号 03-3581-1101 内線 3534	5 J	9 6 5 3
--	---	-----	---------