

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第5963447号
(P5963447)

(45) 発行日 平成28年8月3日(2016.8.3)

(24) 登録日 平成28年7月8日(2016.7.8)

(51) Int.Cl. F I
H04B 10/61 (2013.01) H04B 9/00 610

請求項の数 7 (全 15 頁)

(21) 出願番号	特願2012-4984 (P2012-4984)	(73) 特許権者	000006013 三菱電機株式会社 東京都千代田区丸の内二丁目7番3号
(22) 出願日	平成24年1月13日 (2012.1.13)	(74) 代理人	100123434 弁理士 田澤 英昭
(65) 公開番号	特開2013-145942 (P2013-145942A)	(74) 代理人	100101133 弁理士 濱田 初音
(43) 公開日	平成25年7月25日 (2013.7.25)	(74) 代理人	100173934 弁理士 久米 輝代
審査請求日	平成26年10月30日 (2014.10.30)	(74) 代理人	100156351 弁理士 河村 秀央
		(72) 発明者	杉原 浩平 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

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 偏波多重方式の光送受信装置

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

光を発光する光源を有し、当該光を送信光とする光送信部と、局発光を用いて受信光信号をコヒーレント検波する受信フロントエンドおよび前記受信フロントエンドにより検波された信号の分散補償を行うデジタル信号プロセッサを有する光受信部とを備えた偏波多重方式の光送受信装置において、

前記光送信部は、

前記光源により発光された光を分岐する所定の分岐比の光分岐部を備え、

前記光受信部は、

前記受信光信号を増幅する光増幅器を備え、

前記光受信部は、前記光分岐部により分岐された光を前記局発光とし、前記光増幅器により増幅された受信光信号をコヒーレント検波し、

前記光分岐部の前記分岐比は、前記光増幅器により増幅される受信光信号の所定の光強度及び前記光源により発光された光の所定の光強度に基づき、予め選択されていることを特徴とする偏波多重方式の光送受信装置。

【請求項2】

前記光源により発光された光の強度をモニタする光強度モニタと、

前記光強度モニタによるモニタ結果に基づいて、前記光源の発光強度を制御する光強度制御部とを備えた

ことを特徴とする請求項1記載の偏波多重方式の光送受信装置。

【請求項 3】

前記光強度制御部は、前記光の強度が一定になるように前記光源の発光強度を制御することを特徴とする請求項 2 記載の偏波多重方式の光送受信装置。

【請求項 4】

前記受信フロントエンドのフォトダイオード電流をモニタする電流モニタと、
前記電流モニタによるモニタ結果に基づいて、前記光源の発光強度を制御する光強度制御部とを備えた
ことを特徴とする請求項 1 記載の偏波多重方式の光送受信装置。

【請求項 5】

前記光強度制御部は、前記フォトダイオード電流の直交偏波成分の二乗和が一定になるように前記光源の発光強度を制御することを特徴とする請求項 4 記載の偏波多重方式の光送受信装置。

10

【請求項 6】

前記デジタル信号プロセッサは、前記受信光信号と前記局発光との周波数オフセットを算出し、
前記デジタル信号プロセッサにより算出された前記周波数オフセットに基づいて、前記光源の発振周波数を制御する周波数制御部を備えた
ことを特徴とする請求項 1 から請求項 5 のうちのいずれか 1 項記載の偏波多重方式の光送受信装置。

【請求項 7】

前記周波数制御部は、前記周波数オフセットが 0 になるように前記光源の発振周波数を制御することを特徴とする請求項 6 記載の偏波多重方式の光送受信装置。

20

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

この発明は、デジタルコヒーレント通信方式の光送受信装置に関するものである。

【背景技術】

【0002】

光送受信装置において、通信需要の指数関数的な増加に伴い、光伝送容量の大容量化が求められている。しかし、波長多重数の増加や光ファイバ網の新規敷設だけでは、需要増に十分応えることができない。そこで、伝送速度を従来の 10 Gbps から 40 Gbps や 100 Gbps に向上する必要がある。

30

しかしながら、従来の強度変調方式では、高速化に伴い、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が深刻になる。

【0003】

そこで、受信側にデジタル信号プロセッサを用いることで、電気領域で波長分散および偏波モード分散を補償でき、また、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、近年、活発に研究開発されている。特に、100 Gbps の伝送速度を有する光伝送システム向けに、デジタルコヒーレント通信方式の一種である偏波多重 4 重位相変調方式 (DP-QPSK: Dual Polarization-Quadrature Phase Shifting keying) の標準化が進められている (例えば特許文献 1 参照)。

40

【0004】

特許文献 1 に開示された従来の DP-QPSK 方式の光送受信装置 100 の構成について、図 9 に示す。

光送受信装置 100 は、図 9 に示すように、光送信部 200 および光受信部 300 から構成されている。光送信部 200 は、光源 2001、偏波ビームスプリッタ (PBS) 2002、送信信号生成部 2003、変調器 2004、2005 および偏波ビーム合成器 (PBC) 2006 を備えている。また、光受信部 300 は、光源 3001、偏波ビームス

50

プリッタ (P B S) 3 0 0 2 , 3 0 0 3、受信フロントエンド (F E) 3 0 0 4、デジタル信号プロセッサ (D S P) 3 0 0 5 および誤り訂正部 3 0 0 6 を備えている。

【 0 0 0 5 】

この光送受信装置 1 0 0 の光送信部 2 0 0 では、まず、光源 2 0 0 1 から C W 光 5 0 1 が発光される。この C W 光 5 0 1 は送信光として偏波ビームスプリッタ 2 0 0 2 に入力され、 X 偏波成分 5 0 2 および Y 偏波成分 5 0 3 に分離される。その後、各偏波成分 5 0 2 , 5 0 3 はそれぞれ変調器 2 0 0 4 , 2 0 0 5 に入力される。

一方、送信信号生成部 2 0 0 3 には、送信パラレル電子データ 5 0 4 が入力され、高速電気信号 5 0 5 , 5 0 6 に変換される。この高速電気信号 5 0 5 , 5 0 6 はそれぞれ変調器 2 0 0 4 , 2 0 0 5 に入力される。この高速電気信号 5 0 5 , 5 0 6 により、変調器 2 0 0 4 , 2 0 0 5 にて、各偏波成分 5 0 2 , 5 0 3 が変調されて、光変調信号 5 0 7 , 5 0 8 に変換される。この光変調信号 5 0 7 , 5 0 8 は偏波ビーム合成器 2 0 0 6 にて合波され、光送信部 2 0 0 から送信光信号 5 0 9 として送出される。

10

【 0 0 0 6 】

一方、光受信部 3 0 0 では、まず、受信光信号 5 1 0 が受信される。その後、受信光信号 5 1 0 は偏波ビームスプリッタ 3 0 0 3 に入力され、 X 偏波成分 5 1 1 および Y 偏波成分 5 1 2 に分離される。その後、各偏波成分 5 1 1 , 5 1 2 は受信フロントエンド 3 0 0 4 に入力される。

また、光源 3 0 0 1 から C W 光 5 1 3 が発光される。この C W 光 5 1 3 は局発光として偏波ビームスプリッタ 3 0 0 2 に入力され、 X 偏波成分 5 1 4 および Y 偏波成分 5 1 5 に分離される。その後、各偏波成分 5 1 4 , 5 1 5 は受信フロントエンド 3 0 0 4 に入力される。

20

【 0 0 0 7 】

そして、受信フロントエンド 3 0 0 4 において、受信光信号 5 1 0 の X 偏波成分 5 1 1 と局発光 5 1 3 の X 偏波成分 5 1 4、また、受信光信号 5 1 0 の Y 偏波成分 5 1 2 と局発光 5 1 3 の Y 偏波成分 5 1 5 がそれぞれコヒーレント検波され、電気パラレル信号 5 1 6 に光電変換される。この電気パラレル信号 5 1 6 はデジタル信号プロセッサ 3 0 0 5 に入力され、分散補償された電気パラレル信号 5 1 7 に変換される。最後に、電気パラレル信号 5 1 7 は誤り訂正部 3 0 0 6 において誤り訂正処理を施されて、ビットエラーが低減された受信パラレル電気信号 5 1 8 が出力される。

30

以上の方法により、 D P - Q P S K 方式の光信号を送受信して、データ通信を行っている。

【 先行技術文献 】

【 特許文献 】

【 0 0 0 8 】

【 特許文献 1 】 特開 2 0 1 0 - 2 5 1 8 5 1 号公報

【 発明の概要 】

【 発明が解決しようとする課題 】

【 0 0 0 9 】

しかしながら、特許文献 1 に開示された従来の D P - Q P S K 方式の光送受信装置 1 0 0 では、光受信部 3 0 0 の光源 3 0 0 1 の出力光強度に制限がある。すなわち、光源 3 0 0 1 を高出力化するためには、駆動電流を増加する必要があり、発熱量が増大する。そして、出力光強度の上限値を超えれば故障に至る。また、良好な伝送特性を得るためには、光源 3 0 0 1 の出力光を狭線幅化する必要がある。しかし、出力光強度の低下に伴い線幅が増大するため、出力光強度に下限がある。

40

【 0 0 1 0 】

この光源 3 0 0 1 の出力光強度は、伝送特性の一つのパラメータであるが、上記の理由により、出力光強度の範囲が狭かった。そのため、特許文献 1 に開示された従来の光送受信装置 1 0 0 では、良好な伝送特性が得られる動作範囲が制限される課題があった。

【 0 0 1 1 】

50

この発明は、上記のような課題を解決するためになされたもので、良好な伝送特性が得られる動作範囲を広げることができる光送受信装置を提供することを目的としている。

【課題を解決するための手段】

【0012】

この発明に係る偏波多重方式の光送受信装置は、光を発光する光源を有し、当該光を送信光とする光送信部と、局発光を用いて受信光信号をコヒーレント検波する受信フロントエンドおよび受信フロントエンドにより検波された信号の分散補償を行うデジタル信号プロセッサを有する光受信部とを備え、光送信部は、光源により発光された光を分岐する所定の分岐比の光分岐部を備え、光受信部は、受信光信号を増幅する光増幅器を備え、光受信部は、光分岐部により分岐された光を局発光とし、光増幅器により増幅された受信光信号をコヒーレント検波し、光分岐部の分岐比は、光増幅器により増幅される受信光信号の所定の光強度及び光源により発光された光の所定の光強度に基づき、予め選択されているものである。

10

【発明の効果】

【0013】

この発明によれば、上記のように構成したので、良好な伝送特性が得られる動作範囲を広げることができる。

【図面の簡単な説明】

【0014】

【図1】この発明の実施の形態1に係る光送受信装置の構成を示す図である。

20

【図2】この発明の実施の形態1におけるデジタル信号プロセッサの構成を示す図である。

【図3】この発明の実施の形態1に係る光送受信装置の動作を示すフローチャートである。

【図4】この発明の実施の形態1における伝送特性の信号光強度への依存性を示す図である。

【図5】従来の光受信部に光増幅器のみを追加した構成を示す図である。

【図6】この発明の実施の形態2に係る光送受信装置の構成を示す図である。

【図7】この発明の実施の形態3に係る光送受信装置の構成を示す図である。

【図8】この発明の実施の形態4に係る光送受信装置の構成を示す図である。

30

【図9】従来の光送受信装置の構成を示す図である。

【発明を実施するための形態】

【0015】

以下、この発明の実施の形態について図面を参照しながら詳細に説明する。
実施の形態1 .

図1はこの発明の実施の形態1に係る光送受信装置1の構成を示す図である。

光送受信装置1は、図1に示すように、光送信部2および光受信部3から構成されている。

【0016】

光送信部2は、光源21、光分岐部22、偏波ビームスプリッタ(PBS)23、送信信号生成部24、変調器25、26および偏波ビーム合成器(PBC)27を備えている。

40

【0017】

光源21は、CW光51を発光するものである。この光源21により発光されたCW光51は光分岐部22に出力される。

光分岐部22は、所定の分岐比を有し、光源21からのCW光51を分岐するものである。この光分岐部22により分岐された一方のCW光51は送信光として偏波ビームスプリッタ23に出力され、他方のCW光51は局発光として光受信部3の後述する偏波ビームスプリッタ33に出力される。

【0018】

50

偏波ビームスプリッタ 23 は、光分岐部 22 からの送信光 51 を X 偏波成分 52 および Y 偏波成分 53 に分離するものである。この偏波ビームスプリッタ 23 により分離された X 偏波成分 52 は変調器 25 に出力され、Y 偏波成分 53 は変調器 26 に出力される。

【0019】

送信信号生成部 24 は、外部からの送信パラレル電子データ 54 を高速電気信号 55, 56 に変換するものである。この送信信号生成部 24 により変換された高速電気信号 55 は変調器 25 に出力され、高速電気信号 56 は変調器 26 に出力される。

【0020】

変調器 25 は、送信信号生成部 24 からの高速電気信号 55 を用い、偏波ビームスプリッタ 23 からの X 偏波成分 52 を変調して、光変調信号 57 に変換するものである。この変調器 25 により変換された光変調信号 57 は偏波ビーム合成器 27 に出力される。

10

変調器 26 は、送信信号生成部 24 からの高速電気信号 56 を用い、偏波ビームスプリッタ 23 からの Y 偏波成分 53 を変調して、光変調信号 58 に変換するものである。この変調器 26 により変換された光変調信号 58 は偏波ビーム合成器 27 に出力される。

【0021】

偏波ビーム合成器 27 は、変調器 25 からの光変調信号 57 と変調器 26 からの光変調信号 58 とを合波するものである。この偏波ビーム合成器 27 により合波された信号は送信光信号 59 として光送受信装置 1 から送出される。

【0022】

また、光受信部 3 は、光増幅器 31、偏波ビームスプリッタ (PBS) 32, 33、受信フロントエンド (FE) 34、デジタル信号プロセッサ (DSP) 35 および誤り訂正部 36 を備えている。

20

【0023】

光増幅器 31 は、受信した受信光信号 60 を増幅するものである。この光増幅器 31 により増幅された受信光信号 61 は偏波ビームスプリッタ 32 に出力される。

【0024】

偏波ビームスプリッタ 32 は、光増幅器 31 からの受信光信号 61 を X 偏波成分 62 および Y 偏波成分 63 に分離するものである。この偏波ビームスプリッタ 32 により分離された X 偏波成分 62 および Y 偏波成分 63 は受信フロントエンド 34 に出力される。

偏波ビームスプリッタ 33 は、光送信部 2 の光分岐部 22 からの局発光 51 を X 偏波成分 64 および Y 偏波成分 65 に分離するものである。この偏波ビームスプリッタ 33 により分離された X 偏波成分 64 および Y 偏波成分 65 は受信フロントエンド 34 に出力される。

30

【0025】

受信フロントエンド 34 は、各偏波ビームスプリッタ 32, 33 からの各偏波成分 62 ~ 65 を電気パラレル信号 66 に変換するものである。ここで、受信フロントエンド 34 は、受信光信号 61 の X 偏波成分 62 および局発光 51 の X 偏波成分 64、また、受信光信号 61 の Y 偏波成分 63 および局発光 51 の Y 偏波成分 65 をそれぞれコヒーレント検波することで、電気パラレル信号 66 に変換する。この受信フロントエンド 34 により変換された電気パラレル信号 66 はデジタル信号プロセッサ 35 に出力される。

40

【0026】

デジタル信号プロセッサ 35 は、受信フロントエンド 34 からの電気パラレル信号 66 に対してデジタル信号処理を施し、分散補償された電気パラレル信号 67 に変換するものである。このデジタル信号プロセッサ 35 の内部構成については後述する。このデジタル信号プロセッサ 35 により変換された電気パラレル信号 67 は誤り訂正部 36 に出力される。

【0027】

誤り訂正部 36 は、デジタル信号プロセッサ 35 からの電気パラレル信号 67 に対して誤り訂正処理を施し、ビットエラーが低減された受信パラレル電気信号 68 に変換するものである。この誤り訂正部 36 により変換された受信パラレル電気信号 68 は外部に出力

50

される。

【 0 0 2 8 】

次に、デジタル信号プロセッサ 3 5 の内部構成について、図 2 を参照しながら説明する。

デジタル信号プロセッサ 3 5 は、図 2 に示すように、アナログデジタル変換部 (A D C) 3 5 1、等化処理部 3 5 2、周波数オフセット補償部 3 5 3、位相同期部 3 5 4 およびデコード部 3 5 5 から構成されている。

【 0 0 2 9 】

アナログデジタル変換部 3 5 1 は、受信フロントエンド 3 4 からのアナログの電気パラレル信号 6 6 をデジタルの電気パラレル信号 (デジタルパラレル信号 6 9) に変換するものである。このアナログデジタル変換部 3 5 1 により変換されたデジタルパラレル信号 6 9 は等化処理部 3 5 2 に出力される。

10

【 0 0 3 0 】

等化処理部 3 5 2 は、アナログデジタル変換部 3 5 1 からのデジタルパラレル信号 6 9 に対してデジタル信号処理を施し、波長分散、偏波依存損失や偏波モード分散を補償した電気パラレル信号 7 0 に変換するものである。この等化処理部 3 5 2 により変換された電気パラレル信号 7 0 は周波数オフセット補償部 3 5 3 に出力される。

【 0 0 3 1 】

周波数オフセット補償部 3 5 3 は、等化処理部 3 5 2 からの電気パラレル信号 7 0 に基づいて、デジタル信号処理により受信光信号 6 1 と局発光 5 1 との周波数オフセットを算出し、この周波数オフセットを補償した電気パラレル信号 7 1 に変換するものである。この周波数オフセット補償部 3 5 3 により変換された電気パラレル信号 7 1 は位相同期部 3 5 4 に出力される。

20

【 0 0 3 2 】

位相同期部 3 5 4 は、周波数オフセット補償部 3 5 3 からの電気パラレル信号 7 1 に基づいて、デジタル信号処理により時間変動する受信光信号 6 1 と局発光 5 1 との間の位相差を除去した電気パラレル信号 7 2 に変換するものである。この位相同期部 3 5 4 により変換された電気パラレル信号 7 2 はデコード部 3 5 5 に出力される。

【 0 0 3 3 】

デコード部 3 5 5 は、位相同期部 3 5 4 からの電気パラレル信号 7 2 に基づいて信号の識別判定を行い、電気パラレル信号 6 7 に変換するものである。このデコード部 3 5 5 により変換された電気パラレル信号 6 7 は誤り訂正部 3 6 に出力される。

30

【 0 0 3 4 】

次に、上記のように構成された光送受信装置 1 の動作について、図 3 を参照しながら説明する。

光送受信装置 1 の動作では、図 3 に示すように、まず、光送信部 2 の光源 2 1 は C W 光 5 1 を発光し、光分岐部 2 2 はこの C W 光 5 1 を分岐する (ステップ S T 1)。この光分岐部 2 2 により分岐された一方の C W 光 5 1 は送信光として偏波ビームスプリッタ 2 3 に出力され、他方の C W 光 5 1 は局発光として光受信部 3 の偏波ビームスプリッタ 3 3 に出力される。

40

【 0 0 3 5 】

次いで、偏波ビームスプリッタ 2 3 は、光分岐部 2 2 からの送信光 5 1 を X 偏波成分 5 2 および Y 偏波成分 5 3 に分離する (ステップ S T 2)。この偏波ビームスプリッタ 2 3 により分離された X 偏波成分 5 2 は変調器 2 5 に出力され、 Y 偏波成分 5 3 は変調器 2 6 に出力される。

【 0 0 3 6 】

また、送信信号生成部 2 4 は、外部からの送信パラレル電子データ 5 4 を高速電気信号 5 5 , 5 6 に変換する (ステップ S T 3)。この送信信号生成部 2 4 により変換された高速電気信号 5 5 は変調器 2 5 に出力され、高速電気信号 5 6 は変調器 2 6 に出力される。

【 0 0 3 7 】

50

次いで、変調器 25, 26 は、送信信号生成部 24 からの高速電気信号 55, 56 を用いて、偏波ビームスプリッタ 23 からの X 偏波成分 52 および Y 偏波成分 53 をそれぞれ変調して、光変調信号 57, 58 に変換する (ステップ ST4)。この変調器 25, 26 によりそれぞれ変換された光変調信号 57, 58 は偏波ビーム合成器 27 に出力される。

【0038】

次いで、偏波ビーム合成器 27 は、変調器 25 からの光変調信号 57 と変調器 26 からの光変調信号 58 とを合波し、この信号を送信光信号 59 として光送受信装置 1 から送出する (ステップ ST5)。

【0039】

一方、光受信部 3 の光増幅器 31 は、受信した受信光信号 60 を増幅する (ステップ ST6)。この光増幅器 31 により増幅された受信光信号 61 は偏波ビームスプリッタ 32 に出力される。

【0040】

次いで、偏波ビームスプリッタ 32 は、光増幅器 31 からの受信光信号 61 を X 偏波成分 62 および Y 偏波成分 63 に分離する (ステップ ST7)。この偏波ビームスプリッタ 32 により分離された X 偏波成分 62 および Y 偏波成分 63 は受信フロントエンド 34 に出力される。

【0041】

また、偏波ビームスプリッタ 33 は、光送信部 2 の光分岐部 22 からの局発光 51 を X 偏波成分 64 および Y 偏波成分 65 に分離する (ステップ ST8)。この偏波ビームスプリッタ 33 により分離された X 偏波成分 64 および Y 偏波成分 65 は受信フロントエンド 34 に出力される。

【0042】

次いで、受信フロントエンド 34 は、偏波ビームスプリッタ 32, 33 からの各偏波成分 62 ~ 65 を電気パラレル信号 66 に変換する (ステップ ST9)。ここで、受信フロントエンド 34 は、受信光信号 61 の X 偏波成分 62 および局発光 51 の X 偏波成分 64、また、受信光信号 61 の Y 偏波成分 63 および局発光 51 の Y 偏波成分 65 をそれぞれコヒーレント検波し、電気パラレル信号 66 に変換する。この受信フロントエンド 34 により変換された電気パラレル信号 66 はデジタル信号プロセッサ 35 に出力される。

【0043】

次いで、デジタル信号プロセッサ 35 は、受信フロントエンド 34 からの電気パラレル信号 66 に対してデジタル信号処理を施し、分散補償された電気パラレル信号 67 に変換する (ステップ ST10)。

ここで、i 番目の時間スロットにおける電気パラレル信号 66 の X 偏波成分 $V_{cx}(i)$ および Y 偏波成分 $V_{cy}(i)$ は次式 (1), (2) として表される。

$$V_{cx}(i) \propto R \sqrt{\frac{\alpha P_s P_{l0}}{2}} \exp[j\{\theta_{sx}(i) + \theta_{mx}(i) + \delta\}] \quad (1)$$

$$V_{cy}(i) \propto R \sqrt{\frac{(1-\alpha) P_s P_{l0}}{2}} \exp[j\{\theta_{sy}(i) + \theta_{my}(i)\}] \quad (2)$$

なお、R は受信フロントエンド 34 に備わるフォトダイオードの感度、 α は伝送路に依存する偏波依存損失、 P_s は受信光信号 61 の光強度、 P_{l0} は光受信部 3 における局発光 51 の光強度、 $\theta_{sx}(i)$, $\theta_{sy}(i)$ は信号位相、 $\theta_{mx}(i)$, $\theta_{my}(i)$ は位相雑音、 δ は伝送路に依存する X、Y 偏波間の位相差である。

【0044】

このデジタル信号プロセッサ 35 では、まず、アナログデジタル変換部 351 が、アナログの電気パラレル信号 66 をデジタルパラレル信号 69 に変換し、等化处理部 352 が、デジタルパラレル信号 69 を、波長分散、偏波依存損失や偏波モード分散を補償した電

10

20

30

40

50

気パラレル信号 70 に変換する。

そして、周波数オフセット補償部 353 が、電気パラレル信号 70 を、受信光信号 61 と局発光 51 との周波数オフセットを補償した電気パラレル信号 71 に変換する。そして、位相同期部 354 が、電気パラレル信号 71 を、時間変動する受信光信号 61 と局発光 51 との間の位相差を除去した電気パラレル信号 72 に変換する。

最後に、デコード部 355 が、この電気パラレル信号 72 に基づいて信号を識別判定し、電気パラレル信号 67 に変換する。以上のデジタル信号処理により、信号位相 s_x , s_y および信号雑音 n_x , n_y を復号できる。

【0045】

最後に、誤り訂正部 36 は、デジタル信号プロセッサ 35 からの電気パラレル信号 67 に対して誤り訂正処理を施し、ビットエラーが低減された受信パラレル電気信号 68 に変換する (ステップ S T 11)。この誤り訂正部 36 により変換された受信パラレル電気信号 68 は外部に出力される。

【0046】

以上の方法により、DP-QPSK方式の光信号を送受信して、データ通信を行うことができる。ここで、本実施の形態に係る光送受信装置 1 では、光源 21 から出力したCW光 51 を、光送信部 2 の送信光として用いるだけでなく、その余剰を光受信部 3 の局発光としても用いることを特徴とする。

【0047】

また、デジタル信号プロセッサ 35 を用いない従来のコヒーレント方式では、受信光信号と局発光との間の位相差を除去しきれないため、安定した光伝送を実現することが困難であった。それに対して、デジタルコヒーレント方式では、既に知られている通り、デジタル信号処理により位相差を除去できるため、良好な伝送特性を維持することができる。

【0048】

図 4 に、伝送特性 Q の、受信光信号 61 の光強度 P_s への依存性を示す。

図 4 に示すように、伝送特性には最適な光強度 P_s があり、最適値からずれた場合、伝送特性 Q が劣化する。また、上式 (1), (2) より、電気パラレル信号 66 の X 偏波成分 $V_{c_x}(i)$ と Y 偏波成分 $V_{c_y}(i)$ は、受信光信号 61 の光強度 P_s と局発光 51 の光強度 P_{l_0} の積 $P_s \cdot P_{l_0}$ に依存するため、積 $P_s \cdot P_{l_0}$ が一定であれば、伝送特性 Q は同等になる。したがって、受信光信号 61 の光強度 P_s が低下した場合には、局発光 51 の光強度 P_{l_0} を増加する必要がある。

【0049】

一方、伝送中継器に備わる光増幅器の利得は波長特性を有するため、受信光信号 60 の光強度 P_{i_n} は、波長に依存し、例えば、光強度 P_{i_n} は $-5 \sim -25$ dBm までの範囲を有する。また、波長多重伝送向けに市販される光源の出力光強度は、発熱と太線幅化に起因して、 $+6 \sim +16$ dBm までしか出力できないことが一般的である。

図 9 に示す従来の光送受信装置 100 では、上記光強度 P_{i_n} は受信光信号 510 の光強度 P_s に一致する。従って、光強度 P_{i_n} が -5 dBm のとき、局発光 513 の光強度 P_{l_0} を $+6 \sim +16$ dBm の範囲で調整すれば、最適な伝送特性を実現することができる。しかし、局発光 513 の光強度 P_{l_0} は $+16$ dBm 以上に増加できないため、光強度 P_{i_n} が -25 dBm のときには、最適な伝送特性が得られない。このように、従来の光送受信装置 100 では、受信光信号 513 の光強度 P_{i_n} の全範囲において、最適な伝送特性を実現することは困難である。

【0050】

次に、図 9 に示す従来の光送受信装置 100 の光受信部 300 に、光増幅器 3007 のみを追加した構成を図 5 に示す。この光増幅器 3007 により、受信光信号 519 の光強度 P_s を受信光信号 510 の光強度 P_{i_n} より高くすることができる。

一方、一般に、光増幅器の利得が低すぎる場合、雑音が増大するため、伝送特性が劣化する。反対に、光増幅器の利得を高くしすぎる場合、光増幅器の出力光が発振するため、伝送特性が劣化する。すなわち、光増幅器の利得には、上限と下限があり、波長多重伝送

10

20

30

40

50

向けに市販される光増幅器を10～20 dBの利得で動作させることが一般的である。

この場合、光信号519の光強度 P_s の範囲は+5～-5 dBmとなる。したがって、光信号519の光強度 P_s が-5 dBmのとき、光源3001の光強度 P_{10} を+6～+16 dBmの範囲で調整することにより、最適な伝送特性を得ることができる。しかし、+6 dBm以下の局発光513の光強度 P_{10} が得られないため、光信号519の光強度 P_s が+5 dBmのとき、最適な伝送特性が得られない。すなわち、図5に示す光増幅器3007を備えた光送受信装置100においても、受信光信号510の光強度 P_{in} の全範囲において、最適な伝送特性を実現することは困難である。

【0051】

そこで、本実施の形態における光送受信装置1では、光受信部3に受信光信号60を増幅する光増幅器31を設け、さらに、光送信部2に光源21からのCW光51を分岐する光分岐部22を設けて、その分岐光を光送信部2における送信光用と光受信部3における局発光用に供する。一般に、1:1～1:100までの分岐比を有する光分岐部は容易に入手することができるため、光源21の出力光の余剰を用いて、-26～+16 dBmまでの広い範囲のCW光51の光強度を得ることができる。

10

【0052】

本実施の形態では、受信光信号61の光強度 P_s が0 dBmであり、光源21の出力光強度 P_{10} が+11 dBmのときに、伝送特性が最適になるように、1:1～1:100までの光分岐部22の分岐比を選択する。これにより、受信光信号61の光強度 P_s が+5～-5 dBmの範囲で分布しても、光源21の出力光強度 P_{10} を+6～+16 dBm

20

【0053】

以上のように、この実施の形態1によれば、光受信部3に受信光信号60を増幅する光増幅器31を設け、光送信部2に光源21からのCW光51を分岐する光分岐部22を設けて、その分岐光を送信光用と局発光用に供するように構成したので、受信光信号60の光強度 P_{in} の広い範囲で、最適な伝送特性を実現できる効果が得られる。

【0054】

なお、実施の形態1では、デジタルコヒーレント方式の一つであるDP-QPSK方式を例に説明したが、これに限るものではなく、例えば8重位相変調方式や直交位相振幅変調方式などにも同様に適用できる。

30

【0055】

実施の形態2

図6はこの発明の実施の形態2に係る光送受信装置1の構成を示す図である。図6に示す実施の形態2に係る光送受信装置1は、図1に示す実施の形態1に係る光送受信装置1の光送信部2に光強度制御部28を追加し、光受信部3に光分岐部37および光強度モニタ38を追加したものである。その他の構成は同様であり、同一の符号を付してその説明を省略する。

【0056】

光分岐部37は、光分岐部22からの局発光51を分岐するものである。この光分岐部37により分岐された一方の局発光51は偏波ビームスプリッタ33に出力され、他方の局発光51は光強度モニタ38に出力される。

40

なお、偏波ビームスプリッタ33は、光分岐部37からの局発光51をX偏波成分64およびY偏波成分65に分離する。

【0057】

光強度モニタ38は、光分岐部37からの局発光51の光強度をモニタして、光強度に概略比例した電圧を得るものである。この光強度モニタ38は、局発光51の光強度に基づいて光強度に概略比例した電流を出力するフォトダイオードと、この電流に基づいて電流に概略比例した電圧を出力する電流電圧変換回路とを備えている。この光強度モニタ38により得られた電圧を示す信号は光強度制御部28に出力される。

【0058】

50

光強度制御部 28 は、光強度モニタ 38 からの電圧を示す信号に基づいて、局発光 51 の光強度が一定になるように、光源 21 の駆動電流を制御して発光強度を制御するものである。これにより、局発光 51 の各偏波成分 64, 65 を一定にすることができる。

【0059】

以上のように、この実施の形態 2 によれば、局発光 51 の光強度をモニタするように構成したので、実施の形態 1 における効果に加えて、光源 21 の経年劣化が生じても局発光 51 の光強度を一定に維持でき、最適な伝送特性を維持できる効果が得られる。

【0060】

なお、実施の形態 2 では、フォトダイオードを用いる場合について示したが、これに限るものではなく、例えばアパランシェフォトダイオードを用いるようにしてもよい。

10

【0061】

実施の形態 3 .

図 7 はこの発明の実施の形態 3 に係る光送受信装置 1 の構成を示す図である。図 7 に示す実施の形態 3 に係る光送受信装置 1 は、図 1 に示す実施の形態 1 に係る光送受信装置 1 の光送信部 2 に光強度制御部 28b を追加し、光受信部 3 に電流モニタ 39 を追加したものである。その他の構成は同様であり、同一の符号を付してその説明を省略する。

【0062】

電流モニタ 39 は、受信フロントエンド 34 に備わるフォトダイオードの DC 電流（フォトダイオード電流）をモニタするものであり、電流に概略比例した電圧を得る電流電圧変換回路を備えている。この電流モニタ 39 により得られた電圧を示す信号を光強度制御部 28 へ出力される。

20

【0063】

光強度制御部 28b は、電流モニタ 39 からの電圧を示す信号に基づいて、当該電圧の直交偏波成分の二乗和が一定になるように、光源 21 の駆動電流を制御して発光強度を制御するものである。これにより、局発光 51 の各偏波成分 64, 65 を一定にすることができる。

【0064】

ここで、受信フロントエンド 34 のフォトダイオード電流の X 偏波成分 I_x および Y 偏波成分 I_y はそれぞれ式 (3), (4) として表される。

$$I_x = R \sqrt{\frac{\alpha P_s P_{t0}}{2}} \quad (3)$$

$$I_y = R \sqrt{\frac{(1-\alpha) P_s P_{t0}}{2}} \quad (4)$$

30

そして、電流モニタ 39 は、X 偏波成分 I_x および Y 偏波成分 I_y に概略比例した電圧 V_x, V_y を出力する。そして、光強度制御部 28b は、この電圧の二乗和が一定になるように、光源 21 の駆動電流を制御する。これにより、 $I_x^2 + I_y^2$ を一定に制御することができる。そして、 $I_x^2 + I_y^2$ が一定であれば、 $P_s \cdot P_{t0}$ が一定になるので、伝送特性は維持される。従って、初期状態で伝送特性を最適にすれば、光源 21 が経年劣化したり、受信光信号 60 の光強度が変動しても、最適な伝送特性を維持することができる。

40

【0065】

以上のように、この実施の形態 3 によれば、受信フロントエンド 34 のフォトダイオード電流をモニタするように構成したので、実施の形態 1 における効果に加えて、受信光信号 61 の各偏波成分 62, 63 と局発光 51 の各偏波成分 64, 65 の変動に応じて、局発光 51 の光強度を調整でき、最適な伝送特性を維持できる効果が得られる。

【0066】

実施の形態 4 .

図 8 はこの発明の実施の形態 4 に係る光送受信装置 1 の構成を示す図である。図 8 に示

50

す実施の形態 4 に係る光送受信装置 1 は、図 1 に示す実施の形態 1 に係る光送受信装置 1 の光送信部 2 に周波数制御部 2 9 を追加したものである。その他の構成は同様であり、同一の符号を付してその説明を省略する。

【 0 0 6 7 】

周波数制御部 2 9 は、デジタル信号プロセッサ 3 5 の周波数オフセット補償部 3 5 3 により算出された受信光信号 6 1 と局発光 5 1 との周波数オフセットに基づいて、光源 2 1 の発振周波数を制御するものである。

【 0 0 6 8 】

ここで、受信光信号 6 1 の各偏波成分 6 2 , 6 3 と局発光 5 1 の各偏波成分 6 4 , 6 5 との周波数オフセットは、復調した信号位相 s_x , s_y を回転させるため、デコード処理が困難になり、伝送特性を劣化させる。

10

一方、図 2 に示すように、デジタルコヒーレント方式では、周波数オフセット補償部 3 5 3 において、デジタル信号処理により、周波数オフセットを補償することができる。しかしながら、受信フロントエンド 3 4 の動作帯域の制限を受けるため、デジタル信号処理だけでは、周波数オフセットの補償精度が低くなる。また、周波数オフセット補償部 3 5 3 が算出した周波数オフセットが大きいほど、周波数オフセットの算出精度は悪くなる。

【 0 0 6 9 】

そこで、本実施の形態では、デジタル信号処理による周波数オフセット補償に加えて、周波数制御部 2 9 を用いて、光源 2 1 の発振周波数を制御する。すなわち、デジタル信号プロセッサ 3 5 の周波数オフセット補償部 3 5 3 により算出された周波数オフセットが 0

20

になるように、光源 2 1 に備わる分布帰還形半導体レーザチップの温度を調整する。これにより、熱光学効果を通じて、発振周波数を制御することができる。

なお、上記では光源 2 1 が布帰還形半導体レーザを用いる場合を例を示したが、これに限るものではなく、そのほかの構造を用いた光源 2 1 に対しても適用可能である。

【 0 0 7 0 】

以上のように、この実施の形態 4 によれば、周波数オフセットに基づいて光源 2 1 の発振周波数を制御するように構成したので、実施の形態 1 における効果に加えて、周波数オフセットの補償精度を高くすることができ、伝送特性を向上する効果が得られる。

【 0 0 7 1 】

なお、本願発明はその発明の範囲内において、各実施の形態の自由な組み合わせ、あるいは各実施の形態の任意の構成要素の変形、もしくは各実施の形態において任意の構成要素の省略が可能である。

30

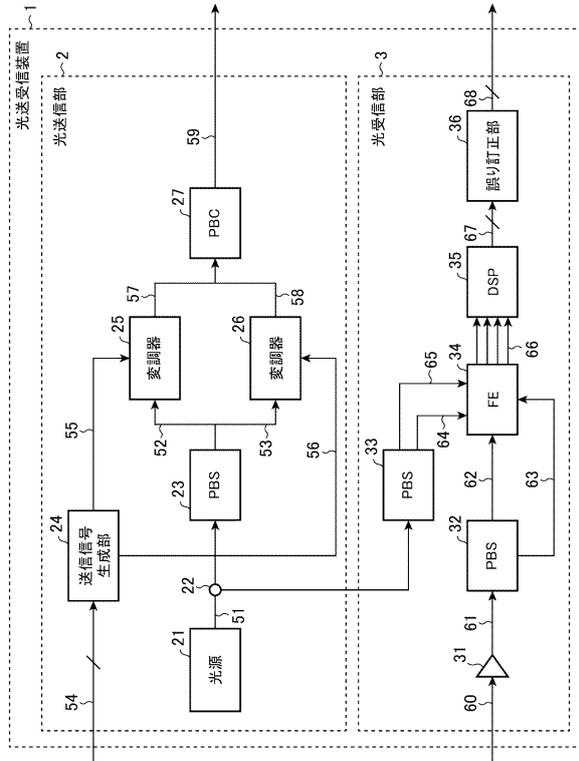
【符号の説明】

【 0 0 7 2 】

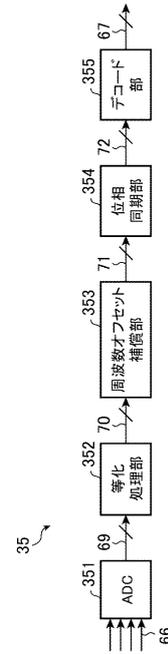
1 光送受信装置、2 光送信部、3 光受信部、2 1 光源、2 2 光分岐部、2 3 偏波ビームスプリッタ (P B S)、2 4 送信信号生成部、2 5 , 2 6 変調器、2 7 偏波ビーム合成器 (P B C)、2 8 , 2 8 b 光強度制御部、2 9 周波数制御部、3 1 光増幅器、3 2 , 3 3 偏波ビームスプリッタ (P B S)、3 4 受信フロントエンド (F E)、3 5 デジタル信号プロセッサ (D S P)、3 6 誤り訂正部、3 7 光分岐部、3 8 光強度モニタ、3 9 電流モニタ、3 5 1 アナログデジタル変換部 (A D C)、3 5 2 等化处理部、3 5 3 周波数オフセット補償部、3 5 4 位相同期部、3 5 5 デコード部。

40

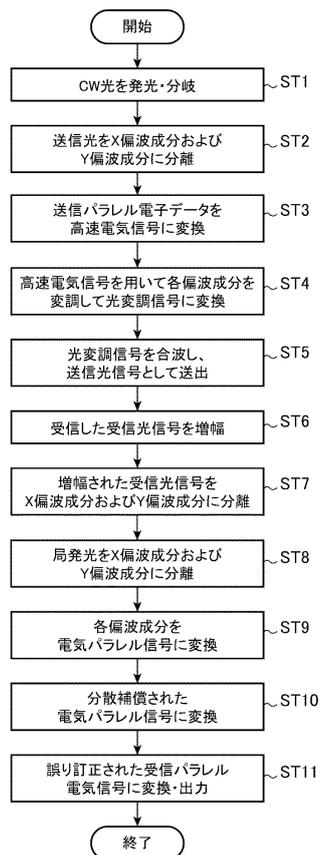
【図1】



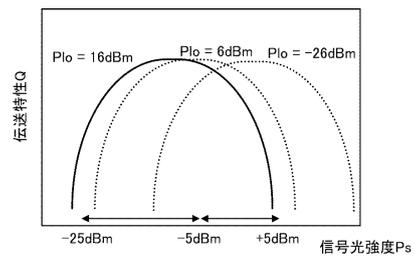
【図2】



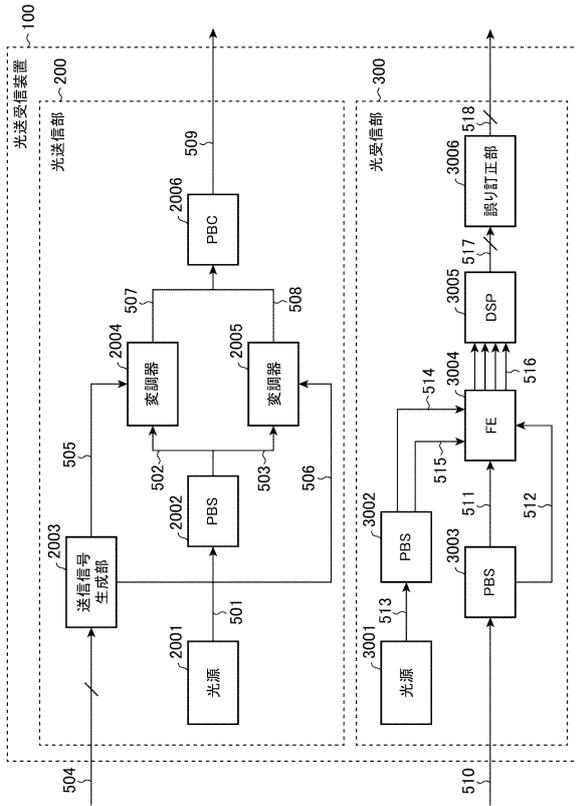
【図3】



【図4】



【図9】



フロントページの続き

審査官 川口 貴裕

- (56)参考文献 特開平11-122176(JP,A)
特開昭64-016036(JP,A)
特開2008-153863(JP,A)
特開2004-312550(JP,A)
特開2009-253971(JP,A)
特開昭63-054032(JP,A)
特開2009-212994(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

H04B	10/00	-	10/90
H04J	14/00	-	14/08