

(19)日本国特許庁(JP)

(12)特許公報(B2)

(11)特許番号
特許第7156382号
(P7156382)

(45)発行日 令和4年10月19日(2022.10.19)

(24)登録日 令和4年10月11日(2022.10.11)

(51)国際特許分類 F I
 H 0 4 B 10/61 (2013.01) H 0 4 B 10/61
 H 0 4 B 10/079 (2013.01) H 0 4 B 10/079 1 9 0
 G 0 2 F 2/00 (2006.01) G 0 2 F 2/00

請求項の数 10 (全37頁)

(21)出願番号	特願2020-541258(P2020-541258)	(73)特許権者	000004237 日本電気株式会社 東京都港区芝五丁目7番1号
(86)(22)出願日	令和1年9月4日(2019.9.4)	(74)代理人	100109313 弁理士 机 昌彦
(86)国際出願番号	PCT/JP2019/034720	(74)代理人	100149618 弁理士 北嶋 啓至
(87)国際公開番号	WO2020/050299	(72)発明者	古賀 正 東京都港区芝五丁目7番1号 日本電気株式会社内
(87)国際公開日	令和2年3月12日(2020.3.12)	審査官	安藤 一道
審査請求日	令和3年1月21日(2021.1.21)		
(31)優先権主張番号	特願2018-167935(P2018-167935)		
(32)優先日	平成30年9月7日(2018.9.7)		
(33)優先権主張国・地域又は機関	日本国(JP)		

最終頁に続く

(54)【発明の名称】 光受信装置、通信システム、および受信方法

(57)【特許請求の範囲】

【請求項1】

入力される光信号の周波数に基づいて設定された周波数の局発光を出力する局発光出力手段と、

前記局発光の位相を調整する位相調整手段と、

前記光信号の偏波回転を制御する偏波制御手段と、

位相調整手段から出力された前記局発光と前記偏波制御手段から出力された前記光信号とを合波させる合波手段と、

前記合波手段が合波した前記光信号を電気信号に変換する光電変換手段と、

前記光電変換手段が変換した前記電気信号を元に復調処理を行う復調手段と、

前記光信号の受信状態の情報を基に、前記位相調整手段における前記局発光の位相および前記偏波制御手段における前記光信号の偏波回転の少なくとも一方に変動を加えるための制御手段と

を備えることを特徴とする光受信装置。

【請求項2】

前記制御手段は、前記光信号の受信品質の所定の指標を最適化するように前記局発光の位相および前記光信号の偏波回転の少なくとも一方に変動を加えることを特徴とする請求項1に記載の光受信装置。

【請求項3】

前記制御手段は、前記復調手段が検出するエラー数が最小になるように前記局発光の位

相および前記光信号の偏波回転の少なくとも一方に変動を加えることを特徴とする請求項 2 に記載の光受信装置。

【請求項 4】

前記制御手段は、復調時における信号のコンスタレーションを回転させるように前記局発光の位相および前記光信号の偏波回転の少なくとも一方に変動を加えることを特徴とする請求項 1 から 3 いずれかに記載の光受信装置。

【請求項 5】

前記局発光と前記光信号を合波した信号の互いに直交する偏波の同相成分および直交成分のパワーをそれぞれ監視する監視手段をさらに備え、

前記制御手段は、前記受信状態を、前記パワーを基に判断することを特徴とする請求項 2 から 4 いずれかに記載の光受信装置。

10

【請求項 6】

互いに直交する偏波の同相成分および直交成分にそれぞれ変調を施した光信号を送信する手段を有する光送信装置と、

請求項 1 から 5 いずれかに記載の光受信装置とを備え、

前記光受信装置の前記偏波制御手段は、通信路を介して前記光送信装置から受信する前記光信号の偏波回転を行うことを特徴とする通信システム。

【請求項 7】

入力される光信号の周波数に基づいて設定された周波数の局発光を出力し、

位相の調整が行われた前記局発光と偏波回転が施された前記光信号とを合波し、

合波した前記光信号を電気信号に変換し、

変換した前記電気信号を元に復調処理を行い、

前記光信号の受信状態の情報を基に、前記局発光の位相および前記光信号の偏波回転の少なくとも一方に変動を加えることを特徴とする受信方法。

20

【請求項 8】

前記光信号の受信品質の所定の指標を最適化するように前記局発光の位相および前記光信号の偏波回転の少なくとも一方に変動を加えることを特徴とする請求項 7 に記載の受信方法。

【請求項 9】

復調時に検出するエラー数が最小になるように前記局発光の位相および前記光信号の偏波回転の少なくとも一方に変動を加えることを特徴とする請求項 8 に記載の受信方法。

30

【請求項 10】

復調時における信号のコンスタレーションを回転させるように前記局発光の位相および前記光信号の偏波回転の少なくとも一方に変動を加えることを特徴とする請求項 7 から 9 いずれかに記載の受信方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、デジタルコヒーレント方式の光通信技術に関するものであり、特に、受信品質を維持する技術に関するものである。

40

【背景技術】

【0002】

高速で大容量の伝送が可能な光通信技術としてデジタルコヒーレント光通信方式が用いられている。デジタルコヒーレント光通信方式には、偏波多重方式や多値変調方式などの様々な変調方式が提案されてきた。多値変調方式としては、例えば、BPSK (Binary Phase Shift Keying)、QPSK (Quadrature Phase Shift Keying) または 8QAM (Quadrature Amplitude Modulation) などが用いられている。

【0003】

デジタルコヒーレント方式では、受信された光信号と局部発振器からの出力光 (局発光

50

)を掛け合わせることにより、ベースバンド信号を生成する。このベースバンド信号をアナログ/デジタル変換し、デジタル信号処理を行うことにより、元の送信信号が再生される。そのため、受信品質を維持するためには、光信号のコヒーレント検波を安定的に行う必要がある。そのような、光信号のコヒーレント検波を安定的に行い信号品質を維持する技術としては、例えば、特許文献1のような技術が開示されている。

【0004】

特許文献1は、デジタルコヒーレント方式の光伝送装置に関するものである。特許文献1の光伝送装置は、受信信号の信号品質が高まるように、局発光の波長及びパワーを調整し、光信号と局発光の波長差が生じないように局発光の波長を制御している。特許文献1は、そのような構成とすることで光信号の高精度な受信性能を実現できるとしている。

10

【先行技術文献】

【特許文献】

【0005】

【文献】特開2015-170916号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0006】

しかしながら、特許文献1の技術は次のような点で十分ではない。受信側においてコヒーレント検波を行う際に、光信号と局発光の周波数が一致していると、シンボルがI (In-phase) 軸またはQ (Quadrature) 軸に固定される可能性がある。そのような場合に、光信号の検出素子において出力振幅が一定になるように自動的に利得を制御すると、軸に固定された状態の成分が0の成分は入力信号が無いため出力振幅を大きくしようと利得が大きく設定され得る。利得が大きく設定されると信号のノイズが高くなり、信号の品質劣化が生じる。そのため、特許文献1の技術は、デジタルコヒーレント方式の光通信システムにおいて、安定した受信処理を行うことができる受信品質を維持するための技術としては十分ではない。

20

【0007】

本発明は、上記の課題を解決するため、安定した受信処理を行える受信品質を維持することができる光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】

30

【0008】

上記の課題を解決するため、本実施形態の光受信装置は、光受信装置は、局発光出力手段と、位相調整手段と、偏波制御手段と、合波手段と、光電変換手段と、復調手段と、制御手段を備えている。局発光出力手段は、入力される光信号の周波数に基づいて設定された周波数の局発光を出力する。位相調整手段は、局発光の位相を調整する。偏波制御手段は、光信号の偏波回転を制御する。合波手段は、位相調整手段から出力された局発光と偏波制御手段から出力された光信号とを合波させる。光電変換手段は、合波手段が合波した光信号を電気信号に変換する。復調手段は、光電変換手段が変換した電気信号を元に復調処理を行う。制御手段は、光信号の受信状態の情報を基に、位相調整手段における局発光の位相の調整または偏波制御手段における光信号の偏波回転の少なくとも一方の実行を制御する。

40

【0009】

本発明の受信方法は、入力される光信号の周波数に基づいて設定された周波数の局発光を出力し、位相の調整が行われた局発光と偏波回転が施された光信号とを合波する。本発明の受信方法は、合波した光信号を電気信号に変換し、変換した電気信号を元に復調処理を行う。本発明の受信方法は、光信号の受信状態の情報を基に、局発光の位相の調整または光信号の偏波回転の少なくとも一方を行う。

【発明の効果】

【0010】

本発明によると、受信側において安定したコヒーレント検波を行い受信信号の品質を維

50

持することができる。

【図面の簡単な説明】

【0011】

【図1】本発明の第1の実施形態の構成の概要を示す図である。

【図2】本発明の第2の実施形態の構成の概要を示す図である。

【図3】本発明の第2の実施形態の光送信装置の構成を示す図である。

【図4】本発明の第2の実施形態の光受信装置の構成を示す図である。

【図5】本発明の第2の実施形態の光通信システムの動作フローを示す図である。

【図6】本発明の第2の実施形態における周波数オフセットごとのエラー数の計測結果の例を示す図である。

10

【図7】本発明の第2の実施形態の他の構成の例において送信されるフレームの例を示した図である。

【図8A】多値変調方式におけるコンスタレーションの例を示す図である。

【図8B】多値変調方式におけるコンスタレーションの例を示す図である。

【図9】多値変調方式におけるコンスタレーションの変化の例を示す図である。

【図10】本発明の第3の実施形態の構成の概要を示す図である。

【図11】本発明の第3の実施形態の光送信装置の構成を示す図である。

【図12】本発明の第3の実施形態の光受信装置の構成を示す図である。

【図13】本発明の第4の実施形態の構成の概要を示す図である。

【図14】本発明の第4の実施形態の光送信装置の構成を示す図である。

20

【図15】本発明の第4の実施形態の光受信装置の構成を示す図である。

【図16】本発明の第4の実施形態の光通信システムの動作フローを示す図である。

【図17】本発明の第5の実施形態の構成の概要を示す図である。

【図18】本発明の第5の実施形態の光送信装置の構成を示す図である。

【図19】本発明の第5の実施形態の光受信装置の構成を示す図である。

【図20】本発明の第6の実施形態の構成の概要を示す図である。

【図21】本発明の第6の実施形態の光送信装置の構成を示す図である。

【図22】本発明の第6の実施形態の光受信装置の構成を示す図である。

【図23】本発明の第6の実施形態の光通信システムの動作フローを示す図である。

【図24】本発明の第7の実施形態の構成の概要を示す図である。

30

【図25】本発明の第7の実施形態の光送信装置の構成を示す図である。

【図26】本発明の第7の実施形態の光受信装置の構成を示す図である。

【図27】本発明の第8の実施形態の構成の概要を示す図である。

【図28】本発明の第8の実施形態の光送信装置の構成を示す図である。

【図29】本発明の第8の実施形態の光受信装置の構成を示す図である。

【図30A】多値変調方式におけるコンスタレーションの例を示す図である。

【図30B】多値変調方式におけるコンスタレーションの例を示す図である。

【図30C】多値変調方式におけるコンスタレーションの例を示す図である。

【図30D】多値変調方式におけるコンスタレーションの例を示す図である。

【図31A】多値変調方式におけるコンスタレーションの例を示す図である。

40

【図31B】多値変調方式におけるコンスタレーションの例を示す図である。

【図31C】多値変調方式におけるコンスタレーションの例を示す図である。

【図31D】多値変調方式におけるコンスタレーションの例を示す図である。

【図32】エラー発生数の時間変化の例を示す図である。

【図33A】多値変調方式におけるコンスタレーションの例を示す図である。

【図33B】多値変調方式におけるコンスタレーションの例を示す図である。

【図34】本発明の第8の実施形態の光受信装置におけるエラー発生数の時間変化の例を示す図である。

【図35】本発明の光受信装置の他の構成の例を示す図である。

【発明を実施するための形態】

50

【 0 0 1 2 】

(第 1 の 実 施 形 態)

本発明の第 1 の実施形態について図を参照して詳細に説明する。図 1 は、本実施形態の光送信装置の構成の概要を示したものである。本実施形態の光送信装置は、光出力部 1 と、光変調部 2 と、受信情報取得部 3 と、周波数調整部 4 を備えている。光出力部 1 は、自装置に割り当てられた周波数の光を出力する。光変調部 2 は、光出力部 1 が出力する光を互いに直交する偏波に分離し、それぞれの同相成分および直交成分に変調を施し、変調を施した各成分波を偏波合成した光信号を出力する。受信情報取得部 3 は、光信号の送信先の光受信装置における光信号の受信状態の情報を取得する。周波数調整部 4 は、受信状態の情報を基に光出力部 1 が出力する光の周波数を制御し、光受信装置が光信号をコヒーレント検波する際に用いる局発光の周波数と、光出力部 1 が出力する光の周波数との差である周波数オフセットを調整する。

10

【 0 0 1 3 】

本実施形態の光送信装置は、受信情報取得部 3 において光受信装置における受信状態の情報を取得し、周波数調整部 4 において光受信装置の局発光の周波数と、光出力部 1 が出力する光の周波数との差である周波数オフセットを調整している。本実施形態の光送信装置では、局発光の周波数と、光出力部 1 が出力する光の周波数にオフセットを付加することで、光受信装置の信号の検出素子において出力振幅が 0 になる成分が生じない。そのため、光受信装置において利得を大きくしようとして信号にノイズが発生する状態を防ぐことができるので受信品質を維持することができる。その結果、本実施形態の光送信装置を用いることで、受信側において安定したコヒーレント検波を行い受信信号の品質を維持することができる。

20

【 0 0 1 4 】

(第 2 の 実 施 形 態)

本発明の第 2 の実施形態について図を参照して詳細に説明する。図 2 は、本実施形態の光通信システムの構成の概要を示す図である。本実施形態の光通信システムは、光送信装置 1 0 と、光受信装置 2 0 を備えている。光送信装置 1 0 と、光受信装置 2 0 は、通信路 2 0 1 と、通信路 2 0 2 を介して互いに接続されている。本実施形態の光通信システムは、光送信装置 1 0 と光受信装置 2 0 の間で、通信路 2 0 1 を介したデジタルコヒーレント方式の光通信を行うネットワークシステムである。

30

【 0 0 1 5 】

光送信装置 1 0 の構成について説明する。図 3 は、本実施形態の光送信装置 1 0 の構成を示したものである。光送信装置 1 0 は、クライアント信号入力部 1 1 と、信号処理部 1 2 と、信号変調部 1 3 と、光源部 1 4 と、周波数調整部 1 5 を備えている。

【 0 0 1 6 】

クライアント信号入力部 1 1 は、通信路 2 0 1 を介して伝送するクライアント信号の入力ポートである。クライアント信号入力部 1 1 に入力されたクライアント信号は、信号処理部 1 2 に送られる。

【 0 0 1 7 】

信号処理部 1 2 は、入力されたクライアント信号に冗長化等の処理を施し、通信路 2 0 1 で伝送する際のフレームにマッピングする。

40

【 0 0 1 8 】

信号変調部 1 3 は、光源部 1 4 から入力される光に、信号処理部 1 2 から入力される信号を基に変調を施し、通信路 2 0 1 に送信する光信号を生成する。本実施形態の信号変調部 1 3 は、例えば、B P S K (Binary Phase Shift Keying) 変調方式によって変調を行う。変調方式は、B P S K 以外の Q P S K (Quadrature Phase Shift Keying) や 8 Q A M (Quadrature Amplitude Modulation) など他の多値変調方式であってもよい。また、本実施形態の信号変調部 1 3 の機能は、第 1 の実施形態の光変調部 2 に相当する。

【 0 0 1 9 】

光源部 1 4 は、所定の周波数の連続光を信号変調部 1 3 に出力する。所定の周波数は、

50

光通信ネットワークの波長設計に基づいて割り当てられている。光源部 14 は、所定の周波数を設定値として、設定値に対してオフセットを付加した周波数の光を出力する。周波数のオフセット量は、周波数調整部 15 によって制御される。また、本実施形態の光源部 14 の機能は、第 1 の実施形態の光出力部 1 に相当する。

【0020】

周波数調整部 15 は、光源部 14 の周波数のオフセット量を制御する。周波数調整部 15 は、光受信装置 20 から送られてくるエラー情報に基づいて、周波数のオフセット量を制御する。周波数調整部 15 は、エラー情報として送られてくる BER (Bit Error Rate) が小さくなるように周波数のオフセット量を制御する。また、本実施形態の周波数調整部 15 の機能は、第 1 の実施形態の受信情報取得部 3 および周波数調整部 4 に相当する。

10

【0021】

光受信装置 20 の構成について説明する。図 4 は、本実施形態の光受信装置 20 の構成を示したものである。光受信装置 20 は、クライアント信号出力部 21 と、PBS 22 と、90 度ハイブリッド 23 と、光検出部 24 を備えている。また、光受信装置 20 は、ADC (Analog to Digital Converter) 25 と、DSP (Digital Signal Processor) 26 と、局発光出力部 27 と、エラー検出部 28 を備えている。

【0022】

クライアント信号出力部 21 は、復調されたクライアント信号を出力する出力ポートである。

【0023】

PBS (Polarizing Beam Splitter) 22 は、入力された光信号を偏波分離して出力する。PBS 22 は、光信号を偏波分離する PBS 22 - 1 と、局発光を偏波分離する PBS 22 - 2 が備えられている。PBS 22 - 1 は、通信路 201 から入力された光信号を偏波分離し、X 偏波を 90 度ハイブリッド 23 - 1 に出力し、Y 偏波を 90 度ハイブリッド 23 - 2 に送る。また、PBS 22 - 2 は、局発光出力部 27 から入力される光を偏波分離し、X 偏波を 90 度ハイブリッド 23 - 1 に出力し、Y 偏波を 90 度ハイブリッド 23 - 2 に送る。

20

【0024】

90 度ハイブリッド 23 は、入力された光信号と局発光を位相が 90 度異なる 2 つの経路で合波する。90 度ハイブリッド 23 - 1 は、PBS 22 - 1 から入力される光信号の X 偏波成分と、PBS 22 - 2 から入力される局発光の X 偏波成分を位相が互いに 90 度異なる 2 つの経路で合波する。

30

【0025】

90 度ハイブリッド 23 - 1 は、光信号と局発光を位相が 90 度異なる経路で合波することで生成した I 相 (In-phase) 成分と Q 相 (Quadrature) 成分の信号を光検出部 24 - 1 に送る。90 度ハイブリッド 23 - 2 は、PBS 22 - 1 から入力される光信号の Y 偏波成分と、PBS 22 - 2 から入力される局発光の Y 偏波成分を位相が互いに 90 度異なる 2 つの経路で合波する。90 度ハイブリッド 23 - 2 は、光信号と局発光を位相が 90 度異なる経路で合波することで生成した I 相成分と Q 相成分の信号を光検出部 24 - 2 に送る。

40

【0026】

光検出部 24 は、入力された光信号を電気信号に変換して出力する。光検出部 24 は、フォトダイオードを用いて構成されている。光検出部 24 - 1 は、90 度ハイブリッド 23 - 1 から入力される X 偏波の I 相成分と Q 相成分の光信号をそれぞれ電気信号に変換し ADC 25 - 1 に送る。また、光検出部 24 - 2 は、90 度ハイブリッド 23 - 2 から入力される Y 偏波の I 相成分と Q 相成分の光信号をそれぞれ電気信号に変換し ADC 25 - 2 に送る。

【0027】

ADC 25 は、入力されたアナログ信号をデジタル信号に変換する。ADC 25 - 1 は、光検出部 24 - 1 から入力されるアナログ信号をデジタル信号に変換し、DSP 26 に

50

送る。また、ADC 25 - 2は、光検出部 24 - 2から入力されるアナログ信号をデジタル信号に変換し、DSP 26に送る。

【0028】

DSP 26は、入力された信号の歪み補正、復号および誤り訂正等の受信処理を行ってクライアント信号を復調する。DSP 26は、半導体装置によって構成されている。DSP 26の受信処理機能は、FPGA (Field Programmable Gate Array) を用いて構成されていてもよい。また、DSP 26の受信処理機能は、CPU (Central Processing Unit) のような汎用プロセッサがコンピュータプログラムを実行することで行われてもよい。DSP 26は、復調したクライアント信号をクライアント信号出力部 21に送る。

【0029】

局発光出力部 27は、通信路 201を介して伝送されてくる光信号と合波しコヒーレント検波を行う光信号を生成する際に用いる局発光を生成する。局発光出力部 27は、半導体レーザを備え、通信路 201を介して伝送されてくる光信号の周波数を基に設定されている周波数の光を出力する。

【0030】

エラー検出部 28は、DSP 26における誤り訂正処理を監視し、エラーの数を計測する。本実施形態のエラー検出部 28は、計測したエラーの数を基にBERを算出し、算出したBERの情報をエラー情報として通信路 202を介して光送信装置 10に送る。また、エラー検出部 28は、DSP 26の一部としてDSP 26と一体化されていてもよい。

【0031】

通信路 201は、光ファイバを用いた光通信ネットワークとして構成されている。通信路 201は、光送信装置 10から光受信装置 20の方向に光信号を伝送する。通信路 202は、光受信装置 20から光送信装置に制御信号等を送信する通信ネットワークである。通信路 202は、例えば、通信管理システムによる各装置の制御用の回線として備えられている。

【0032】

本実施形態の光通信システムの動作について説明する。始めに、クライアント信号入力部 11に、通信路 201で伝送を行うクライアント信号が入力される。クライアント信号としては、例えば、SONET (Synchronous Optical Network)、Ethernet (登録商標)、FC (Fiber Channel) またはOTN (Optical Transport Network) などの信号が用いられる。クライアント信号入力部 11に入力されたクライアント信号は、信号処理部 12に送られる。

【0033】

クライアント信号が入力されると、信号処理部 12は、クライアント信号を通信路 201で伝送する際のフレームにマッピングする。マッピングを行うと、信号処理部 12は、マッピングした信号を信号変調部 13に送る。

【0034】

マッピングされたフレームのデータに基づく信号が入力されると、信号変調部 13は、光源部 14から出力される光に信号処理部 12から入力されるフレームのデータに基づいて変調を施す。信号変調部 13は、BPSK方式を用いて電気信号から光信号への変換を行う。信号変調部 13は、変調を施して生成した光信号を通信路 201に送信する。

【0035】

通信路 201に送信された光信号は、通信路 201を伝送され、光受信装置 20に送られる。光受信装置 20において受信された光信号は、PBS 22 - 1に入力される。光信号が入力されると、PBS 22 - 1は、入力された光信号を偏波分離し、X偏波の光信号を90度ハイブリッド 23 - 1に送り、Y偏波の光信号を90度ハイブリッド 23 - 2に送る。

【0036】

PBS 22 - 1から光信号が入力されると、90度ハイブリッド 23 - 1および90度ハイブリッド 23 - 2は、PBS 22 - 1から入力される光信号とPBS 22 - 2から入

10

20

30

40

50

力される局発光を合波し、I相成分とQ相成分に対応する信号を生成する。90度ハイブリッド23-1および90度ハイブリッド23-2は、生成した光信号を光検出部24-1および光検出部24-2に送る。

【0037】

光信号が入力されると、光検出部24-1および光検出部24-2は、入力された光信号を電気信号に変換し、ADC25-1およびADC25-2に送る。光信号から変換された電気信号が入力されると、ADC25-1およびADC25-2は、入力された信号をデジタル信号に変換しDSP26に送る。

【0038】

DSP26に信号が入力されると、DSP26は、入力された信号に受信処理を施してクライアント信号を復調し、復調したクライアント信号をクライアント信号出力部21に送る。クライアント信号出力部21は、入力されたクライアント信号を通信ネットワークや通信装置に出力する。

10

【0039】

DSP26において受信処理が行われている際に、エラー検出部28は、DSP26におけるエラー訂正処理を監視し、受信した信号のエラーの数を計測する。本実施形態のエラー検出部28は、エラーの数をBERとして算出する。BERを算出すると、エラー検出部28は、算出したBERの情報をエラー情報として光送信装置10に通信路202を介して送る。

【0040】

20

通信路202を介して光送信装置10が受信したエラー情報は、周波数調整部15に送られる。周波数調整部15は、エラー情報を受け取ると、BERの値が小さくなるように光源部14の周波数オフセットを調整する。周波数調整部15は、BERの変化に基づいて、周波数のオフセット量を変化させ、BERが最小となるように周波数のオフセット量を制御する。光源部14は、オフセット量が補正された周波数の光を信号変調部13に出力する。

【0041】

光送信装置10において光源部14が出力する光の周波数を調整する際の動作についてより詳細に説明する。図5は、光源部14が出力する光の周波数を調整する際の動作フローを示したものである。

30

【0042】

始めに、周波数調整部15は、周波数オフセットの探索範囲、すなわち、エラー数が最小となるときの光源部14が出力する周波数を調べる際に周波数のオフセット量を変化させる範囲を設定する(ステップS11)。周波数のオフセットの探索範囲は、あらかじめ、周波数調整部15に記憶されていてもよく、作業者等によって探索範囲の設定値が入力されてもよい。

【0043】

周波数オフセットの探索範囲を設定すると、周波数調整部15は、周波数オフセットoffset、すなわち、光源部14から出力する光の周波数の設定値からのずれ量をoffset=0として設定する(ステップS12)。offset=0のとき、光源部14は、設定値、すなわち、自装置に割り当てられている周波数の光を出力する。

40

【0044】

周波数調整部15は、光受信装置20から受け取るエラー情報からエラー数の情報を抽出し、エラーの最小値offset_err_bestにoffset=0のときのエラー数を代入する(ステップS13)。また、最小値offset_err_bestに代入されたデータに対応する周波数オフセットの情報を示すoffset_bestに、設定されている周波数オフセットoffsetの値を代入する(ステップS14)。offset_err_bestに、offset=0のときのエラー数を代入した場合には、offset_best=0となる。

【0045】

周波数オフセットが0のときのエラー数を保存すると、周波数調整部15は、周波数オ

50

フセット ofs の設定値を、 $ofs = min$ 、すなわち、周波数オフセットの探索範囲の最小値 min に設定する (ステップ S 15)。

【0046】

周波数調整部 15 は、周波数オフセット ofs の値を設定すると、設定した周波数オフセット ofs の値と周波数オフセットの探索範囲の最大値 ofs_max と比較する。周波数オフセット ofs が最大値 ofs_max 以下であるとき (ステップ S 16 で No)、周波数調整部 15 は、光源の周波数を、周波数オフセット ofs に基づいて補正する。周波数調整部 15 は、光源部 14 が出力する周波数を、光源の周波数 = 周波数設定値 + ofs として算出して設定する (ステップ S 17)。

【0047】

周波数オフセット ofs を基に光源部 14 の周波数が設定されると、光源部 14 から設定値からのオフセットがかけられた周波数の光が出力される。オフセットがかけられた周波数の光が通信路 201 に出力されると、送信先の光受信装置 20 からエラー数の情報が送られてくる。

【0048】

エラー数の情報を受け取ると、周波数調整部 15 は、 ofs_err にエラー数を代入し (ステップ S 18)、それまでの最小値として保存されている ofs_err_best と受け取ったエラー数 ofs_err を比較する。新たに受け取ったエラー数のほうが小さいとき (ステップ S 19 Yes)、周波数調整部 15 は、 ofs_err_best を新たに受け取ったエラー数 ofs_err の値で更新する (ステップ S 20)。 ofs_err_best を更新すると、周波数調整部 15 は、周波数オフセット ofs の値を最小値 ofs_err_best に対応する周波数オフセットの情報 ofs_best に代入する (ステップ S 21)。

【0049】

最小値 ofs_err_best に対応する周波数オフセットの情報を更新すると、周波数調整部 15 は、周波数オフセット ofs を $ofs = ofs + f$ として変化させ (ステップ S 22)、ステップ S 16 からの動作を行う。周波数オフセットを変化させる量である f は、あらかじめ設定されている。 f は、周波数オフセットの探索範囲をあらかじめ設定された数で割ることによって設定されてもよい。

【0050】

新たに受け取ったエラー数がそれまでの最小値以上であったとき (ステップ S 19 で No)、周波数調整部 15 は、周波数オフセット ofs を $ofs = ofs + f$ として変化させ (ステップ S 22)、ステップ S 16 からの動作を行う。

【0051】

また、ステップ S 16 において、周波数オフセット ofs が探索範囲の最大値 ofs_max よりも大きいとき (ステップ S 16 で Yes)、周波数調整部 15 は、光源部 14 の周波数の設定を最小値 ofs_err_best に対応する周波数に設定する。周波数調整部 15 は、光源の周波数 = 周波数設定値 + ofs_best として算出し、算出した周波数となるように光源部 14 が出力する信号の周波数を制御する (ステップ S 23)。

【0052】

図 6 は、周波数のオフセット量とエラー数の関係の例を示したグラフである。図 6 の例では f ごとに周波数のオフセット量を変化させることによってエラー数を計測している。図 6 の例では、エラー数が最小となる $-3f$ が光源部 14 が出力する光の周波数のオフセット量として設定される。

【0053】

本実施形態の光通信システムでは、光受信装置 20 から光送信装置 10 に通信路 202 を介してエラー情報を送信しているが、双方向の光通信を行う場合には、光受信装置 20 から光送信装置 10 に主信号として送られるフレームにエラー情報を付加してもよい。図 7 は、OTN フレームの構成を示したものである。図 7 のような OTN フレームによるデータ通信が行われる場合には、例えば、オーバーヘッドの Reserved bit にエ

10

20

30

40

50

ラー情報を付加することで、光受信装置 20 から光送信装置 10 にエラー情報を送ることができる。また、そのような構成とすることで、通信路 202 を用いた通信が不要になるので構成が簡略化する。

【0054】

図 8 A は、BPSK 変調方式を用いた場合のコンスタレーションを示す図である。また、図 8 B は、QPSK 変調方式を用いた場合のコンスタレーションを示す図である。図 8 A および図 8 B のコンスタレーションでは、搬送波と同じ位相成分を I 軸、搬送波と直交する位相成分を Q 軸とした平面に信号のシンボルを記載している。BPSK 変調方式の場合シンボルが I 軸上にマッピングされるため、光信号と局発光における周波数オフセットが小さい場合、図 8 A の状態となり、光信号の Q 相成分は 0 となる。この状態において光検出部 24 において出力振幅が一定になるよう自動的に利得を制御した場合、Q 相成分の信号が入力される Q - c h への入力信号が無い場合、Q - c h の信号を増幅する際に出力振幅は大きくなる。そのため、Q - c h の信号の出力振幅を大きくするために利得が大きく設定され、ノイズ成分が Q - c h に付加され信号品質の劣化が生じる。

10

【0055】

一方で、光信号の光源と局発光の光源の間で周波数オフセットが生じていた場合には、図 9 に示すようにコンスタレーションが回転する。図 8 A に示した BPSK 方式では、I 軸成分のみを有しているが、周波数オフセットを意図的に発生させることで、I 軸成分だけでなく Q 軸成分も値を持たせることができる。Q 軸成分を持たせることで、適正な利得が設定されるため信号のノイズが大きくなりすぎることを抑制し、信号品質劣化を防ぐことができる。

20

【0056】

本実施形態の光通信システムは、光受信装置 20 のエラー検出部 28 において検出したエラー情報を基に、光送信装置 10 の周波数調整部 15 が光源部 14 から出力される光の周波数の調整を行っている。エラー数が減少するように、周波数の調整を調整することで、光送信装置 10 から送信される光信号の周波数と、光受信装置 20 において受信信号の検波に用いる局発光の周波数に適正なオフセットが付加され得る。その結果、本実施形態の光通信システムは、受信信号に生じるノイズの影響を抑制し受信品質を維持することができる。

【0057】

(第 3 の実施形態)

本発明の第 3 の実施形態の光通信システムについて説明する。図 10 は、本実施形態の光通信システムの構成の概要を示したものである。本実施形態の光通信システムは、光送信装置 30 と、光受信装置 40 を備えている。光送信装置 30 と、光受信装置 40 は、通信路 201 を介して互いに接続されている。

30

【0058】

本実施形態の光通信システムは、第 2 の実施形態と同様に通信路 201 を介したデジタルコヒーレント方式の光通信を行うネットワークシステムである。第 2 の実施形態の光通信ネットワークでは、光送信装置の光源の周波数のオフセット量を調整していたが、本実施形態の光通信ネットワークは、光受信装置の局発光の周波数のオフセット量を調整することを特徴とする。

40

【0059】

光送信装置 30 の構成について説明する。図 11 は、本実施形態の光送信装置 30 の構成を示したものである。光送信装置 30 は、クライアント信号入力部 11 と、信号処理部 12 と、信号変調部 13 と、光源部 31 を備えている。本実施形態のクライアント信号入力部 11、信号処理部 12 および信号変調部 13 の構成と機能は、第 2 の実施形態の同名称の部位と同様である。

【0060】

光源部 31 は、出力する光の周波数のオフセット機能以外は、第 2 の実施形態の光源部 14 と同様の機能を有する。すなわち、光源部 31 は、半導体レーザを備え、所定の周波

50

数の連続光を信号変調部 13 に出力する。所定の周波数は、光通信ネットワークの波長設計に基づいて割り当てられている。

【0061】

光受信装置 40 の構成について説明する。図 12 は、本実施形態の光受信装置 40 の構成を示したものである。光受信装置 40 は、クライアント信号出力部 21 と、PBS 22 と、90 度ハイブリッド 23 と、光検出部 24 と、ADC 25 と、DSP 26 と、局発光出力部 41 と、エラー検出部 42 と、周波数調整部 43 を備えている。

【0062】

本実施形態のクライアント信号出力部 21、PBS 22、90 度ハイブリッド 23、光検出部 24、ADC 25 および DSP 26 の構成と機能は、第 2 の実施形態の同名称の部位と同様である。すなわち、PBS 22 として、通信路 201 を介して入力される光信号を偏波分離する PBS 22-1 と、局発光を偏波分離する PBS 22-2 が備えられている。また、X 偏波の信号を処理する 90 度ハイブリッド 23-1、光検出部 24-1 および ADC 25-1 と、Y 偏波の信号を処理する 90 度ハイブリッド 23-2、光検出部 24-2 および ADC 25-2 がそれぞれ備えられている。

【0063】

局発光出力部 41 は、通信路 201 を介して伝送されてくる光信号と合波しコヒーレント検波を行う数の光信号を生成する際に用いる所定の周波数の局発光を生成する。局発光出力部 41 は、半導体レーザを用いて構成されている。所定の周波数は、通信路 201 を介して伝送されてくる光信号の周波数を基に設定されている。また、局発光出力部 41 は、所定の周波数にオフセットを付加した周波数の光を出力する。周波数のオフセット量は、周波数調整部 43 によって制御される。

【0064】

エラー検出部 42 は、第 2 の実施形態のエラー検出部 28 と同様の機能を有する。本実施形態のエラー検出部 42 は、DSP 26 における信号の受信処理を監視し、誤り訂正の数を基にエラー数を計測する。エラー検出部 42 は、エラーの計測結果を基に算出したエラー情報を自装置内の周波数調整部 43 に送る。本実施形態のエラー検出部 42 は、BER をエラー情報として周波数調整部 43 に送る。また、エラー検出部 42 は、DSP 26 の一部として DSP 26 と一体化されていてもよい。

【0065】

周波数調整部 43 は、局発光出力部 41 の周波数のオフセット量を制御する。周波数調整部 43 は、エラー検出部 42 から送られてくるエラー情報に基づいて、周波数のオフセット量を制御する。周波数調整部 43 は、エラー情報として送られてくる BER が小さくなるように周波数のオフセット量を制御する。

【0066】

本実施形態の光通信システムの動作について説明する。本実施形態の光通信システムは、光信号と局発光の周波数オフセットを調整する以外の動作では、第 2 の実施形態の光通信システムと同様に動作する。本実施形態の光通信システムは、光受信装置 40 におけるエラー数の検出結果を基に、光信号と局発光の周波数オフセットを調整している。すなわち、本実施形態の光通信システムは、光受信装置 40 の周波数調整部 43 が局発光出力部 41 から出力される局発光の周波数の設定値からのオフセット量を変化させ、エラー数が最小となるときのオフセット量を基に局発光の周波数の制御を行う。

【0067】

本実施形態の光通信システムは第 2 の実施形態の光通信システムと同様の効果を有する。また、エラー数を基に光受信装置 40 側が局発光の周波数を調整するので、エラー数を光送信装置 30 に送る必要は無いためシステムの構成をより簡略化することができる。

【0068】

(第 4 の実施形態)

本発明の第 4 の実施形態について図を参照して詳細に説明する。図 13 は、本実施形態の光通信システムの構成の概要を示したものである。本実施形態の光通信システムは、光

10

20

30

40

50

送信装置 50 と、光受信装置 60 を備えている。光送信装置 50 と光受信装置 60 は、通信路 201 および通信路 202 を介して接続されている。

【0069】

本実施形態の光通信システムは、第2の実施形態と同様に通信路 201 を介したデジタルコヒーレント方式の光通信を行うネットワークシステムである。第2の実施形態の光通信システムは、エラー数が最小になるように光信号の調整を行うことで、光信号と局発光の周波数のオフセットを調整している。本実施形態の光通信システムは、そのような構成に代えて、光信号の周波数を監視し、光信号と局発光の周波数オフセットが設定値になるように光源部から出力される光の周波数を調整することを特徴とする。

【0070】

光送信装置 50 の構成について説明する。図 14 は、本実施形態の光送信装置 50 の構成を示したものである。光送信装置 50 は、クライアント信号入力部 11 と、信号処理部 12 と、信号変調部 13 と、光源部 14 と、周波数モニタ部 51 と、周波数調整部 52 を備えている。

【0071】

本実施形態のクライアント信号入力部 11、信号処理部 12、信号変調部 13 および光源部 14 の構成と機能は、第2の実施形態の同名称の部位と同様である。

【0072】

周波数モニタ部 51 は、信号処理部 12 の出力信号の周波数を計測する機能を有する。周波数モニタ部 51 には、たとえば、信号変調部 13 の出力信号が光カプラで分岐されて入力される。周波数モニタ部 51 は、信号変調部 13 の出力信号の周波数の情報を周波数調整部 52 に送る。

【0073】

周波数調整部 52 は、周波数モニタ部 51 から送られてくる出力信号の周波数と、光受信装置 60 から通信路 202 を介して送られてくる局発光の周波数に基づいて、光源部 14 が出力する光の周波数のオフセット値を制御する。周波数調整部 52 は、周波数モニタ部 51 から送られてくる出力信号の周波数と、光受信装置 60 から送られてくる局発光の周波数の差、すなわち、周波数オフセットを監視する。周波数調整部 52 は、周波数オフセットが 0 にならないように設定されている周波数オフセットの設定値を基に光源部 14 が出力する光の周波数のオフセット量を制御する。

【0074】

光受信装置 60 の構成について説明する。図 15 は、本実施形態の光受信装置 60 の構成について示したものである。光受信装置 60 は、クライアント信号出力部 21 と、PBS 22 と、90度ハイブリッド 23 と、光検出部 24 と、ADC 25 と、DSP 26 と、局発光出力部 27 と、周波数モニタ部 61 を備えている。

【0075】

本実施形態のクライアント信号出力部 21、PBS 22、90度ハイブリッド 23、光検出部 24、ADC 25、DSP 26 および局発光出力部 27 の構成と機能は、第2の実施形態の同名称の部位と同様である。すなわち、PBS 22 として、通信路 201 を介して入力される光信号を偏波分離する PBS 22-1 と、局発光を偏波分離する PBS 22-2 が備えられている。また、X 偏波を処理する 90度ハイブリッド 23-1、光検出部 24-1 および ADC 25-1 と、Y 偏波を処理する 90度ハイブリッド 23-2、光検出部 24-2 および ADC 25-2 がそれぞれ備えられている。

【0076】

周波数モニタ部 61 は、局発光出力部 27 の出力光の周波数を計測する機能を有する。周波数モニタ部 61 は、局発光出力部 27 の出力光が、例えば、光カプラで分岐されて入力される。周波数モニタ部 61 は、局発光出力部 27 の出力光の周波数の情報を通信路 202 を介して光送信装置 50 の周波数調整部 52 に送る。

【0077】

本実施形態の光通信システムの動作について説明する。本実施形態の光通信システムは

10

20

30

40

50

、光信号と局発光の周波数オフセットを調整する以外の動作では、第2の実施形態の光通信システムと同様に動作する。

【0078】

本実施形態の光送信装置50において光源部14が出力する周波数を調整する動作について説明する。図16は、光源部14が出力する光の周波数を調整する際の動作フローを示したものである。

【0079】

始めに、周波数調整部52は、周波数オフセットのターゲットoffsetを設定する(ステップS31)。周波数オフセットのターゲットoffsetとは、光源部14が出力する光の周波数と局発光出力部41が出力する光の周波数の差の目標のことをいう。周波数オフセットのターゲットoffsetは、あらかじめ、周波数調整部52に記憶されている。また、周波数オフセットのターゲットoffsetは、作業者等によって設定値が入力されてもよい。

10

【0080】

周波数オフセットのターゲットoffsetを設定すると、周波数調整部52は、光信号の周波数オフセットsig_offset、すなわち、実際に出力される光信号の周波数と光信号の周波数の設定値との差を算出する(ステップS32)。周波数調整部52は、周波数モニタ部51から送られてくる光信号の周波数のモニタ結果を基に光信号の周波数オフセットsig_offsetを算出する。周波数調整部52は、光信号の周波数オフセットを、周波数オフセットsig_offset = 光信号の周波数モニタ値 - 光信号の周波数設定値として算出する。

20

【0081】

光信号の周波数オフセットを算出すると、周波数調整部52は、局発光の周波数オフセットlo_offset、すなわち、光受信装置60において実際に出力されている局発光の周波数と局発光の周波数の設定値との差を算出する(ステップS33)。周波数調整部52は、周波数モニタ部61から通信路202を介して送られてくる局発光の周波数のモニタ結果を基に局発光の周波数オフセットlo_offsetを算出する。周波数調整部52は、局発光の周波数オフセットを、周波数オフセットlo_offset = 局発光の周波数のモニタ結果 - 局発光の周波数設定値として算出する。

【0082】

光信号と局発光のそれぞれの周波数オフセットを算出すると、周波数調整部52は、光信号と局発光の周波数オフセットtotal_offsetを算出する(ステップS34)。周波数調整部52は、光信号と局発光の周波数オフセットを、周波数のオフセットtotal_offset = 光信号の周波数オフセットsig_offset - 局発光の周波数オフセットlo_offsetによって算出する。

30

【0083】

光信号と局発光の周波数の差、すなわち、周波数オフセットを算出すると、周波数調整部52は、周波数オフセットのターゲットoffsetの正負を確認し、光源部14が出力する光の周波数の補正量diffを算出する際の係数SIGNを決定する。

【0084】

周波数オフセットのターゲットoffsetの値が0以上のとき(ステップS35でYes)、周波数調整部52は、係数SIGNを+1として設定する(ステップS36)。周波数オフセットのターゲットoffsetの値が0より小さいとき(ステップS35でNo)、周波数調整部52は、係数SIGNを-1として設定する(ステップS39)。

40

【0085】

光源部14が出力する光の周波数の補正量diffを算出する際の係数SIGNを決定すると、周波数調整部52は、周波数オフセットの補正量diffを算出する(ステップS37)。周波数調整部52は、補正量diffをdiff = SIGN × offset - SIGN × total_offsetとして算出する。

50

【 0 0 8 6 】

周波数の補正量 $d i f f$ を算出すると、周波数調整部 5 2 は、光源部 1 4 が出力する光の周波数を周波数設定値 + $S I G N \times d i f f$ として算出する（ステップ S 3 8）。光源部 1 4 が出力する光の周波数を算出すると、周波数調整部 5 2 は、算出した周波数の光が出力されるように光源部 1 4 を制御する。

【 0 0 8 7 】

本実施形態の光通信システムは、光信号および局発光の周波数を監視し、光信号と局発光との周波数の差である周波数オフセットが設定値となるように周波数調整部 5 2 が光源部 1 4 から出力される光の周波数を制御している。そのように、光信号と局発光の周波数を 0 以外の設定値に保ち、光信号と局発光の間で周波数オフセットを有するようにすることで $Q - c h$ の信号に生じる雑音を抑制することができる。その結果、本実施形態の光通信システムは、受信信号に生じるノイズの影響を抑制し受信品質を維持することができる。

10

【 0 0 8 8 】

（第 5 の実施形態）

本発明の第 5 の実施形態について図を参照して詳細に説明する。図 1 7 は、本実施形態の光通信システムの構成の概要を示したものである。本実施形態の光通信システムは、光送信装置 7 0 と、光受信装置 8 0 を備えている。光送信装置 7 0 と光受信装置 8 0 は、通信路 2 0 1 および通信路 2 0 3 を介して接続されている。通信路 2 0 3 は、光送信装置 7 0 から光受信装置 8 0 に制御信号等を送る通信ネットワークである。

【 0 0 8 9 】

本実施形態の光通信システムは、第 2 の実施形態と同様に通信路 2 0 1 を介したデジタルコヒーレント方式の光通信を行うネットワークシステムである。本実施形態の光通信システムは、光信号と局発光の周波数の計測結果を基に、光信号と局発光の周波数オフセットが設定値になるように光受信装置 8 0 の局発光の周波数の制御を行うことを特徴とする。

20

【 0 0 9 0 】

光送信装置 7 0 の構成について説明する。図 1 8 は、本実施形態の光送信装置 7 0 の構成を示したものである。光送信装置 7 0 は、クライアント信号入力部 1 1 と、信号処理部 1 2 と、信号変調部 1 3 と、光源部 7 1 と、周波数モニタ部 7 2 を備えている。本実施形態のクライアント信号入力部 1 1、信号処理部 1 2 および信号変調部 1 3 の構成と機能は、第 2 の実施形態の同名称の部位と同様である。

30

【 0 0 9 1 】

光源部 7 1 は、出力する光の周波数のオフセット機能以外は、第 2 の実施形態の光源部 1 4 と同様の機能を有する。すなわち、光源部 7 1 は、半導体レーザを備え、所定の周波数の連続光を信号変調部 1 3 に出力する。所定の周波数は、光通信ネットワークの波長設計に基づいて割り当てられている。

【 0 0 9 2 】

周波数モニタ部 7 2 は、信号処理部 1 2 の出力信号の周波数を計測する機能を有する。周波数モニタ部 7 2 には、たとえば、信号処理部 1 2 の出力信号が光カプラで分岐されて入力される。周波数モニタ部 7 2 は、信号処理部 1 2 の出力信号の周波数の情報を光受信装置 8 0 の周波数調整部 8 2 に通信路 2 0 3 を介して送る。

40

【 0 0 9 3 】

光受信装置 8 0 の構成について説明する。図 1 9 は、本実施形態の光受信装置 8 0 の構成について示したものである。光受信装置 8 0 は、クライアント信号出力部 2 1 と、P B S 2 2 と、9 0 度ハイブリッド 2 3 と、光検出部 2 4 と、A D C 2 5 と、D S P 2 6 と、局発光出力部 2 7 と、周波数モニタ部 8 1 と、周波数調整部 8 2 を備えている。

【 0 0 9 4 】

本実施形態のクライアント信号出力部 2 1、P B S 2 2、9 0 度ハイブリッド 2 3、光検出部 2 4、A D C 2 5 および D S P 2 6 の構成と機能は、第 2 の実施形態の同名称の部位と同様である。すなわち、P B S 2 2 として、通信路 2 0 1 を介して入力される光信号を偏波分離する P B S 2 2 - 1 と、局発光を偏波分離する P B S 2 2 - 2 が備えられてい

50

る。また、X偏波の信号を処理する90度ハイブリッド23-1、光検出部24-1およびADC25-1と、Y偏波の信号を処理する90度ハイブリッド23-2、光検出部24-2およびADC25-2がそれぞれ備えられている。

【0095】

周波数モニタ部81は、局発光出力部27の出力光の周波数を計測する機能を有する。周波数モニタ部81は、局発光出力部27の出力光が、例えば、光カプラで分岐されて入力される。周波数モニタ部81は、局発光出力部27の出力光の周波数の情報を自装置の周波数調整部82に送る。

【0096】

周波数調整部82は、光送信装置70の周波数モニタ部72から通信路203を介して送られてくる出力信号の周波数と、自装置の周波数モニタ部81から送られてくる局発光の周波数に基づいて、局発光出力部27が出力する光の周波数のオフセット量を制御する。周波数調整部82は、光送信装置70から送られてくる光信号の周波数と、局発光の周波数を監視し、オフセットの合計が0にならないように設定された周波数オフセットの設定値を基に局発光出力部27が出力する局発光の周波数のオフセット量を制御する。

10

【0097】

本実施形態の光通信システムの動作について説明する。本実施形態の光通信システムは、光受信装置側で局発光の周波数を制御することで周波数オフセットを調整する以外は、第4の実施形態と同様に動作する。本実施形態の光通信システムでは、光受信装置80の周波数調整部82が光送信装置70から送られてくる光信号の周波数と、自装置で計測された局発光の周波数を基に周波数の差を算出する。周波数調整部82は、光信号と局発光の周波数の差と周波数オフセットの設定値を基に、局発光の周波数を調整する。周波数調整部82は、算出した光信号と局発光の周波数の差と周波数オフセットの設定値が一致するように、局発光出力部27から出力される局発光の周波数を調整する。

20

【0098】

本実施形態の光通信システムは、第4の実施形態の光通信システムと同様の効果を有する。すなわち、本実施形態の光通信システムは、光信号および局発光の周波数を監視し、光信号と局発光との周波数の差である周波数オフセットが設定値となるように周波数調整部82が局発光出力部27から出力される光の周波数を制御している。そのように、光信号と局発光の周波数を0以外の設定値に保ち、光信号と局発光の間で周波数オフセットを有するようにすることでQ-c hの信号に生じる雑音を抑制することができる。その結果、本実施形態の光通信システムは、受信信号に生じるノイズの影響を抑制し受信品質を維持することができる。

30

【0099】

(第6の実施形態)

本発明の第6の実施形態について図を参照して詳細に説明する。図20は、本実施形態の光通信システムの構成の概要を示したものである。本実施形態の光通信システムは、光送信装置90と、光受信装置100を備えている。光送信装置90と光受信装置100は、通信路201および通信路202を介して接続されている。

【0100】

本実施形態の光通信システムは、第2の実施形態と同様に通信路201を介したデジタルコヒーレント方式の光通信を行うネットワークシステムである。第4および第5の実施形態の光通信システムでは、光信号と局発光の周波数を計測することで、周波数差を算出しているが、本実施形態の光通信システムは、光受信装置の信号処理を監視することで光信号と局発光の周波数差の情報を取得することを特徴とする。

40

【0101】

光送信装置90の構成について説明する。図21は、本実施形態の光送信装置90の構成を示したものである。光送信装置90は、クライアント信号入力部11と、信号処理部12と、信号変調部13と、光源部14と、周波数調整部91を備えている。

【0102】

50

本実施形態のクライアント信号入力部 1 1、信号処理部 1 2、信号変調部 1 3 および光源部 1 4 の構成と機能は、第 2 の実施形態の同名称の部位と同様である。

【 0 1 0 3 】

周波数調整部 9 1 は、光受信装置 1 0 0 の周波数オフセット検出部 1 0 1 から通信路 2 0 2 を介して送られてくる出力信号の周波数と、光受信装置 1 0 0 の局発光の周波数のオフセット量に基づいて、光源部 1 4 が出力する光の周波数のオフセット量を制御する。周波数調整部 9 1 は、光受信装置 1 0 0 から送られてくる光信号と局発光の周波数のオフセット量を基に、オフセットの合計が 0 にならないように光源部 1 4 の周波数のオフセット量を制御する。

【 0 1 0 4 】

光受信装置 1 0 0 の構成について説明する。図 2 2 は、本実施形態の光受信装置 1 0 0 の構成を示したものである。光受信装置 1 0 0 は、クライアント信号出力部 2 1 と、P B S 2 2 と、9 0 度ハイブリッド 2 3 と、光検出部 2 4 と、A D C 2 5 と、D S P 2 6 と、局発光出力部 2 7 と、周波数オフセット検出部 1 0 1 を備えている。

【 0 1 0 5 】

本実施形態のクライアント信号出力部 2 1、P B S 2 2、9 0 度ハイブリッド 2 3、光検出部 2 4、A D C 2 5、D S P 2 6 および局発光出力部 2 7 の構成と機能は、第 2 の実施形態の同名称の部位と同様である。すなわち、P B S 2 2 として、通信路 2 0 1 を介して入力される光信号を偏波分離する P B S 2 2 - 1 と、局発光を偏波分離する P B S 2 2 - 2 が備えられている。また、X 偏波の信号を処理する 9 0 度ハイブリッド 2 3 - 1、光検出部 2 4 - 1 および A D C 2 5 - 1 と、Y 偏波の信号を処理する 9 0 度ハイブリッド 2 3 - 2、光検出部 2 4 - 2 および A D C 2 5 - 2 がそれぞれ備えられている。

【 0 1 0 6 】

周波数オフセット検出部 1 0 1 は、D S P 2 6 における受信処理を監視し、光送信装置 9 0 が送信する光信号の周波数と、局発光出力部 2 7 が出力する局発光の周波数の差を周波数オフセットとして検出する。周波数オフセット検出部 1 0 1 は、検出した光信号と局発光の周波数の差を示す周波数オフセットの情報を、通信路 2 0 2 を介して光送信装置 9 0 の周波数調整部 9 1 に送る。また、周波数オフセット検出部 1 0 1 は、D S P 2 6 の一部として D S P 2 6 と一体化されていてもよい。

【 0 1 0 7 】

本実施形態の光通信システムの動作について説明する。本実施形態の光通信システムは、光信号と局発光の周波数オフセットを調整する以外の動作では、第 2 の実施形態の光通信システムと同様に動作する。本実施形態の光送信装置 9 0 において光源部 1 4 が出力する周波数を調整する動作について説明する。図 2 3 は、光源部 1 4 が出力する光の周波数を調整する際の動作フローを示したものである。

【 0 1 0 8 】

始めに、周波数調整部 9 1 は、周波数オフセットのターゲット ofs_target を設定する (ステップ S 4 1)。周波数オフセットのターゲット ofs_target とは、光源部 1 4 が出力する光の周波数と局発光出力部 2 7 が出力する光の周波数の差の目標のことをいう。周波数オフセットのターゲット ofs_target は、あらかじめ、周波数調整部 9 1 に記憶されていてもよく、作業等によって設定値が入力されてもよい。

【 0 1 0 9 】

周波数オフセットのターゲット ofs_target を設定すると、周波数調整部 9 1 は、光信号と局発光の周波数オフセット $total_ofs$ のデータを取得する (ステップ S 4 2)。光信号と局発光の周波数オフセット $total_ofs$ のデータは、通信路 2 0 2 を介して光受信装置 1 0 0 の周波数オフセット検出部 1 0 1 から受信する。

【 0 1 1 0 】

光信号と局発光の周波数オフセットのデータを受信すると、周波数調整部 9 1 は、周波数オフセットのターゲット ofs_target の正負を確認し、周波数オフセットの補正量 $diff$ を算出する際の係数 $SIGN$ を決定する。

10

20

30

40

50

【0111】

周波数オフセットのターゲット of s_target の値が 0 以上のとき（ステップ S43 で Yes）、周波数調整部 91 は、係数 $SIGN$ を +1 として設定する（ステップ S44）。周波数オフセットのターゲット of s_target の値が 0 より小さいとき（ステップ S43 で No）、周波数調整部 91 は、係数 $SIGN$ を -1 として設定する（ステップ S47）。

【0112】

補正量 $diff$ を算出する際の係数 $SIGN$ を決定すると、周波数調整部 91 は、周波数オフセットの補正量 $diff$ を算出する（ステップ S45）。周波数調整部 91 は、補正量 $diff$ を $diff = SIGN \times ofs_target - SIGN \times total_ofs$ として算出する。

10

【0113】

周波数の補正量 $diff$ を算出すると、周波数調整部 91 は、光源部 14 が出力する光の周波数を周波数設定値 + $SIGN \times diff$ として算出する（ステップ S46）。光源部 14 が出力する光の周波数を算出すると、周波数調整部 91 は、算出した周波数の光が出力されるように光源部 14 を制御する。

【0114】

本実施形態の光通信システムは、光信号および局発光の周波数を周波数オフセット検出部 101 から取得し、光信号と局発光との周波数の差を示す周波数オフセットが設定値となるように光源部 14 から出力される光の周波数を制御している。そのように、光信号と局発光の周波数を 0 以外の設定値に保ち、光信号と局発光の間で周波数オフセットを有するようにすることで $Q - ch$ の信号に生じる雑音を抑制することができる。その結果、本実施形態の光通信システムは、受信信号に生じるノイズの影響を抑制し受信品質を維持することができる。

20

【0115】

（第 7 の実施形態）

本発明の第 7 の実施形態について図を参照して詳細に説明する。図 24 は、本実施形態の光通信システムの構成の概要を示したものである。本実施形態の光通信システムは、光送信装置 110 と、光受信装置 120 を備えている。光送信装置 110 と、光受信装置 120 は、通信路 201 を介して接続されている。

30

【0116】

本実施形態の光通信システムは、第 2 の実施形態と同様に通信路 201 を介したデジタルコヒーレント方式の光通信を行うネットワークシステムである。第 6 の実施形態の光通信システムは、DSP 26 における受信信号の処理を周波数オフセット検出部 101 が監視し、光信号と局発光の周波数の差の情報を取得し、光送信装置において光信号の周波数の調整を行っている。本実施形態の光通信システムは、DSP 26 における受信信号の処理を周波数オフセット検出部 101 が監視し、局発光の周波数を調整することで光信号と局発光の周波数オフセットを調整することを特徴とする。

【0117】

光送信装置 110 の構成について説明する。図 25 は、本実施形態の光送信装置 110 の構成を示したものである。光送信装置 110 は、クライアント信号入力部 11 と、信号処理部 12 と、信号変調部 13 と、光源部 111 を備えている。本実施形態のクライアント信号入力部 11、信号処理部 12 および信号変調部 13 の構成と機能は、第 2 の実施形態の同名称の部位と同様である。

40

【0118】

光源部 111 は、出力する光の周波数のオフセット機能以外は、第 2 の実施形態の光源部 14 と同様の機能を有する。すなわち、光源部 111 は、半導体レーザを備え、所定の周波数の連続光を信号変調部 13 に出力する。所定の周波数は、光通信ネットワークの波長設計に基づいて割り当てられている。

【0119】

50

光受信装置 120 の構成について説明する。図 26 は、本実施形態の光受信装置 120 の構成を示したものである。光受信装置 120 は、クライアント信号出力部 21 と、PBS 22 と、90 度ハイブリッド 23 と、光検出部 24 と、ADC 25 と、DSP 26 と、局発光出力部 121 と、周波数オフセット検出部 122 と、周波数調整部 123 を備えている。

【0120】

本実施形態のクライアント信号出力部 21、PBS 22、90 度ハイブリッド 23、光検出部 24、ADC 25 および DSP 26 の構成と機能は、第 2 の実施形態の同名称の部位と同様である。すなわち、PBS 22 として、通信路 201 を介して入力される光信号を偏波分離する PBS 22-1 と、局発光を偏波分離する PBS 22-2 が備えられている。また、X 偏波の信号を処理する 90 度ハイブリッド 23-1、光検出部 24-1 および ADC 25-1 と、Y 偏波の信号を処理する 90 度ハイブリッド 23-2、光検出部 24-2 および ADC 25-2 がそれぞれ備えられている。

10

【0121】

局発光出力部 121 は、通信路 201 を介して伝送されてくる光信号と干渉させコヒーレント検波を行う光信号を生成する際に用いる所定の周波数の局発光を生成する。局発光出力部 121 は、半導体レーザを備え、通信路 201 を介して伝送されてくる光信号の周波数を基に設定されている周波数の光を出力する。また、局発光出力部 121 は、所定の周波数を中心周波数として周波数のオフセットを付加した光を出力する。周波数のオフセットは、周波数調整部 123 によって制御される。

20

【0122】

周波数オフセット検出部 122 は、DSP 26 における受信処理を監視し、光送信装置 110 が送信する光信号の周波数と、局発光出力部 121 が出力する局発光の周波数のオフセット量として検出する。周波数オフセット検出部 122 は、周波数のオフセット量の情報を自装置の周波数調整部 123 に送る。また、周波数オフセット検出部 122 は、DSP 26 の一部として DSP 26 と一体化されていてもよい。

【0123】

周波数調整部 123 は、局発光出力部 121 が出力する局発光の周波数のオフセット量を制御する。周波数調整部 123 は、周波数オフセット検出部 122 から送られてくる光信号と局発光の周波数オフセットの情報に基づいて、局発光出力部 121 が出力する局発光の周波数のオフセット量を制御する。

30

【0124】

本実施形態の通信システムでは、光受信装置側で局発光の周波数を制御することで周波数オフセットを調整する以外は第 6 の実施形態と同様に動作する。本実施形態の光通信システムでは、光受信装置 120 の周波数調整部 123 は、周波数オフセット検出部 122 が検出した光信号と局発光の周波数を差の情報を取得する。周波数調整部 123 は、光信号の周波数と局発光の周波数の差を示す周波数オフセットの設定値を基に、局発光の周波数を調整する。周波数調整部 123 は、算出した光信号と局発光の周波数の差と周波数オフセットの設定値が一致するように、局発光出力部 121 から出力される局発光の周波数を調整する。

40

【0125】

本実施形態の光通信システムは、第 6 の実施形態の光通信システムと同様の効果を有する。すなわち、本実施形態の光通信システムは、光信号および局発光の周波数を周波数オフセット検出部 122 から取得し、光信号と局発光との周波数の差を示す周波数オフセットが設定値となるように局発光出力部 121 から出力される光の周波数を制御している。そのように、光信号と局発光の周波数を 0 以外の設定値に保ち、光信号と局発光の間で周波数オフセットを有するようにすることで Q - c h の信号に生じる雑音を抑制することができる。その結果、本実施形態の光通信システムは、受信信号に生じるノイズの影響を抑制し受信品質を維持することができる。

【0126】

50

(第8の実施形態)

本発明の第8の実施形態について図を参照して詳細に説明する。図27は、本実施形態の光通信システムの構成の概要を示す図である。本実施形態の通信システムは、光送信装置130と、光受信装置140を備えている。光送信装置130と、光受信装置140は、通信路204を介して接続されている。本実施形態の光通信システムは、光送信装置130と光受信装置140の間で、通信路204を介したデジタルコヒーレント方式の光通信を行うネットワークシステムである。

【0127】

光送信装置側または光受信装置側において光信号または局発光の周波数の調整を行っているが、本実施形態の光通信システムは、光受信装置において、光信号の偏波状態および局発光の位相を調整することで受信品質を向上することを特徴としている。

10

【0128】

光送信装置130の構成について説明する。図28は、本実施形態の光送信装置130の構成を示す図である。光送信装置130は、光源部131と、信号処理部132と、信号変調部133と、クライアント信号入力部134を備えている。

【0129】

光源部131は、所定の周波数の連続光を信号変調部133に出力する。所定の周波数は、光通信ネットワークの波長設計に基づいて割り当てられている。

【0130】

信号処理部132は、入力されたクライアント信号に冗長化等の処理を施し、通信路201で伝送する際のフレームにマッピングする。

20

【0131】

信号変調部133は、光源部131から入力される光に、信号処理部132から入力される信号を基に変調を施し、通信路204に送信する光信号を生成する。本実施形態の信号変調部133は、例えば、BPSK変調方式によって変調を行う。変調方式は、BPSK以外のQPSKや8QAMなど他の多値変調方式であってもよい。

【0132】

クライアント信号入力部134は、通信路204を介して伝送するクライアント信号の入力ポートである。クライアント信号入力部134に入力されたクライアント信号は、信号処理部132に送られる。

30

【0133】

光受信装置140の構成について説明する。図29は、本実施形態の光受信装置140の構成を示したものである。光受信装置140は、制御部141と、PBS142と、90度ハイブリッド143と、光検出部144を備えている。また、光受信装置140は、ADC145と、DSP146と、局発光出力部147と、位相可変部148と、偏波制御部149と、クライアント信号出力部150を備えている。

【0134】

制御部141は、偏波制御部149における光信号の偏波回転の調整および位相可変部148における局発光の位相の調整動作を制御する機能を有する。制御部141は、光検出部144における光信号のパワーおよび光信号から変換した電気信号を増幅するTIA (Transimpedance Amplifier) のゲイン、ADC145における信号のパワー並びにDSP146におけるBER (Bit Error Ratio) を監視する。制御部141は、BERが所定の基準より小さくなるように、局発光の位相および光信号の偏波回転に変動を加える。

40

【0135】

PBS142は、入力された光信号を偏波分離して出力する。PBS142は、光信号を偏波分離するPBS142-1と、局発光を偏波分離するPBS142-2が備えられている。PBS142-1は、通信路204を介して入力された光信号を偏波分離し、X偏波を90度ハイブリッド143-1に出力し、Y偏波を90度ハイブリッド143-2に送る。また、PBS142-2は、局発光出力部147から入力される光を偏波分離し、X偏波を90度ハイブリッド143-1に出力し、Y偏波を90度ハイブリッド143

50

- 2 に送る。

【 0 1 3 6 】

90度ハイブリッド143は、入力された光信号と局発光を位相が90度異なる2つの経路で合波する。90度ハイブリッド143-1は、PBS142-1から入力される光信号のX偏波成分と、PBS142-2から入力される局発光のX偏波成分を位相が互いに90度異なる2つの経路で合波する。

【 0 1 3 7 】

90度ハイブリッド143-1は、光信号と局発光を位相が90度異なる経路で合波することで生成したI相成分とQ相成分の信号を光検出部144-1に送る。90度ハイブリッド143-2は、PBS142-1から入力される光信号のY偏波成分と、PBS142-2から入力される局発光のY偏波成分を位相が互いに90度異なる2つの経路で合波する。90度ハイブリッド143-2は、光信号と局発光を位相が90度異なる経路で合波することで生成したI相成分とQ相成分の信号を光検出部144-2に送る。

10

【 0 1 3 8 】

光検出部144は、入力された光信号を電気信号に変換して出力する。光検出部144は、フォトダイオードを用いて構成されている。また、光検出部144は、光信号から変換した電気信号を増幅するTIAを備えている。検出部144-1は、90度ハイブリッド143-1から入力されるX偏波のI相成分とQ相成分の光信号をそれぞれ電気信号に変換しADC145-1に送る。また、光検出部144-2は、90度ハイブリッド143-2から入力されるY偏波のI相成分とQ相成分の光信号をそれぞれ電気信号に変換しADC145-2に送る。

20

【 0 1 3 9 】

ADC145は、入力されたアナログ信号をデジタル信号に変換する。ADC145-1は、光検出部144-1から入力されるアナログ信号をデジタル信号に変換し、DSP146に送る。また、ADC145-2は、光検出部144-2から入力されるアナログ信号をデジタル信号に変換し、DSP146に送る。

【 0 1 4 0 】

DSP146は、入力された信号の歪み補正、復号および誤り訂正等の受信処理を行ってクライアント信号を復調する。DSP146は、半導体装置によって構成されている。DSP146の受信処理機能は、FPGAを用いて構成されていてもよい。また、DSP146の受信処理機能は、CPUのような汎用プロセッサがコンピュータプログラムを実行することで行われてもよい。DSP146は、復調したクライアント信号をクライアント信号出力部150に送る。

30

【 0 1 4 1 】

局発光出力部147は、通信路204を介して伝送されてくる光信号と局発光を合波し、光信号と局発光の周波数差に対応する周波数の光信号を生成する際に用いる局発光を生成する。局発光出力部147は、半導体レーザを備え、通信路204を介して伝送されてくる光信号の周波数を基に設定されている周波数の光を出力する。

【 0 1 4 2 】

位相可変部148は、局発光の位相を変化させる機能を有する。位相可変部148は、制御部141の制御に基づいて局発光の位相に変動を加える。

40

【 0 1 4 3 】

偏波制御部149は、光信号の偏波状態に変動を加える機能を有する。偏波制御部149は、制御部141の制御に基づいて光信号に偏波回転を加える。

【 0 1 4 4 】

通信路204は、光ファイバを用いた光通信ネットワークとして構成されている。通信路204は、光送信装置130から光受信装置140の方向に光信号を伝送する。

【 0 1 4 5 】

本実施形態の光通信システムの動作について説明する。光送信装置130のクライアント信号入力部134に入力されたクライアント信号は、信号処理部132に送られる。

50

【 0 1 4 6 】

クライアント信号が入力されると、信号処理部 1 3 2 は、クライアント信号を通信路 2 0 4 で伝送する際のフレームにマッピングする。マッピングを行うと、信号処理部 1 3 2 は、マッピングした信号を信号変調部 1 3 3 に送る。

【 0 1 4 7 】

マッピングされたフレームのデータに基づく信号が入力されると、信号変調部 1 3 3 は、光源部 1 3 1 から出力される光に信号処理部 1 3 2 から入力されるフレームのデータに基づいて変調を施す。信号変調部 1 3 3 は、例えば、B P S K 方式を用いて電気信号から光信号への変換を行う。信号変調部 1 3 3 は、例えば、B P S K 変調方式によって変調を行う。信号変調部 1 3 3 は、B P S K 以外の Q P S K や 8 Q A M など他の多値変調方式で電気信号から光信号への変換を行う構成であってもよい。信号変調部 1 3 3 は、変調を施して生成した光信号を通信路 2 0 4 に送信する。

10

【 0 1 4 8 】

通信路 2 0 4 に送信された光信号は、通信路 2 0 4 を伝送され、光受信装置 1 4 0 に送られる。光受信装置 1 4 0 において受信された光信号は、偏波制御部 1 4 9 に入力される。光信号が入力されると、偏波制御部 1 4 9 は制御部 1 4 1 の制御に基づいて光信号に偏波回転を施す。偏波回転が施された光信号は、P B S 1 4 2 - 1 に送られる。

【 0 1 4 9 】

光信号が入力されると、P B S 1 4 2 - 1 は、入力された光信号を偏波分離し、X 偏波の光信号を 9 0 度ハイブリッド 1 4 3 - 1 に送り、Y 偏波の光信号を 9 0 度ハイブリッド 1 4 3 - 2 に送る。

20

【 0 1 5 0 】

また、局発光出力部 1 4 7 は、局発光を生成し位相可変部 1 4 8 に出力する。局発光が入力されると、位相可変部 1 4 8 は、制御部 1 4 1 の制御に基づいて局発光の位相に変動を加える。位相可変部 1 4 8 は、位相に変動を加えた局発光を P B S 1 4 2 - 2 に送る。

【 0 1 5 1 】

P B S 1 4 2 - 1 から光信号が入力されると、9 0 度ハイブリッド 1 4 3 - 1 および 9 0 度ハイブリッド 1 4 3 - 2 は、P B S 1 4 2 - 1 から入力される光信号と P B S 1 4 2 - 2 から入力される局発光を合波し、I 相成分と Q 相成分に対応する信号を生成する。9 0 度ハイブリッド 1 4 3 - 1 および 9 0 度ハイブリッド 1 4 3 - 2 は、生成した光信号を光検出部 1 4 4 - 1 および光検出部 1 4 4 - 2 に送る。

30

【 0 1 5 2 】

光信号が入力されると、光検出部 1 4 4 - 1 および光検出部 1 4 4 - 2 は、入力された光信号を電気信号に変換し、A D C 1 4 5 - 1 および A D C 1 4 5 - 2 に送る。光信号から変換された電気信号が入力されると、A D C 1 4 5 - 1 および A D C 1 4 5 - 2 は、入力された信号をデジタル信号に変換し D S P 1 4 6 に送る。

【 0 1 5 3 】

D S P 1 4 6 に信号が入力されると、D S P 1 4 6 は、入力された信号に受信処理を施してクライアント信号を復調し、復調したクライアント信号をクライアント信号出力部 1 5 0 に送る。クライアント信号出力部 1 5 0 は、入力されたクライアント信号を通信ネットワークや通信装置に出力する。

40

【 0 1 5 4 】

D S P 1 4 6 において受信処理が行われている際に、制御部 1 4 1 は、D S P 1 4 6 におけるエラー訂正処理を監視し、受信した信号のエラーの数を計測する。本実施形態の制御部 1 4 1 は、エラーの数を B E R として算出する。B E R を算出すると、制御部 1 4 1 は、算出した B E R が所定の基準内かを確認する。算出した B E R が所定の基準以下のとき、制御部 1 4 1 は、局発光の位相の調整および光信号の偏波回転の制御を設定値を変えずに継続する。

【 0 1 5 5 】

算出した B E R が所定の基準よりも大きいとき、制御部 1 4 1 は、局発光の位相の調整

50

量および光信号の偏波回転量を変化させる。局発光の位相の調整量および光信号の偏波回転量は、BERの変化量に基づいてあらかじめ設定されている。光受信装置140は、局発光の位相の調整量および光信号の偏波回転量をBERを基に制御することで受信処理を安定化することができる。

【0156】

光信号の変調方式が4値以上の多値変調の場合について説明する。光信号の変調方式が4値以上の多値変調の場合、受信信号に含まれるシンボルの成分は、図30A、図30B、図30Cおよび図30Dに示すようにX偏波I成分、X偏波Q成分、Y偏波I成分およびY偏波Q成分がそれぞれ含まれた状態となる。4値以上の多値変調方式としては、例えば、図30Aおよび図30Bとして示す偏波多重4値位相変調方式(Polarization Multiplexing - Quadrature Phase Shift Keying; PM - QPSK)や、図30Cおよび図30Dとして示す偏波多重16値直交位相振幅変調信号(Polarization Multiplexing - Sixteen Quadrature Amplitude Modulation; PM - 16QAM)が用いられる。

10

【0157】

局発光とコヒーレント受信された上記4成分は、それぞれある信号成分を含んでいる。上記4成分は、光検出部144で電気信号に変換されTIAで増幅された後、ADC145においてデジタル信号にサンプリングされる。DSP146は、デジタル信号にサンプリングされた信号を元にデジタル信号処理により電気情報信号を復調する。

【0158】

しかし、光信号の変調方式が4値より小さい多値変調の場合、受信信号の偏波状態および局発光の位相等により、光電変換されたX偏波I成分、X偏波Q成分、Y偏波I成分およびY偏波Q成分のうち、1成分または2成分がほぼ0に近い状態になることがある。4値より小さい多値変調には、例えば、偏波多重2値位相変調(Polarization Multiplexing - Binary Phase Shift Keying; PM - BPSK)などが用いられる。図31A、図31B、図31Cおよび図31Dは、偏波多重2値位相変調方式におけるコンスタレーションを示している。図31Aおよび図31Bでは、2成分とも0以外の値になっているのに対し、図31Cおよび図31Dでは、2成分がほぼ0に近い状態になっている。

20

【0159】

信号が0に近いチャンネルでは、TIAで増幅する際に電氣的雑音成分が増幅される。信号が0に近いチャンネルでは、信号成分があるチャンネルよりも雑音成分が大きくなる。そのため、信号が0に近いチャンネルでは、受信SNRが悪化した状態となり、SNRの影響を受ける受信BERが悪化する恐れがある。図32は、信号が0に近いチャンネルにおけるBERの時間変化を観測した例を示したものである。

30

【0160】

BERの悪化を抑えるためには、特定の偏波状態や局発光の周波数、位相条件にならないように受信する光信号または局発光に微小な変動を与えることが有効である。図33Aおよび図33Bは、局発光の位相に微小変動を与えた場合の偏波多重2値位相変調光の復調シンボルの状態を示したものである。

【0161】

図33Aおよび図33Bでは、光検出部およびADCにおける4つの信号(XI, XQ, YI, YQ)成分がある値を持って変動している。そのため、TIAで雑音成分が過剰に増幅されることがないため、BERの過剰劣化を抑えることができる。この微小変動による影響は、デジタル信号処理における周波数オフセット補償機能で補償されるため、BERへの影響はない。微小変動を与えた時のBERの時間変化を観測した結果の例を図34に示す。図32で発生していた過剰なBER劣化が抑えられて安定した特性が得られている。このように、光受信装置の局発光の位相に微小変動を加えることで、偏波多重2値位相変調光を受信する場合においても安定した受信特性を得ることができる。

40

【0162】

NRZ(Non - Return - to - Zero)信号またはRZ(Return - to - Zero)信号などの強度変調、さらにはm-QAM(m値 Quadrature Amplitude Modulation)などの

50

位相変調と強度変調を組み合わせた変調方式に適用してもよい。

【0163】

本実施形態の光通信システムは、受信側で局発光の位相の調整および光信号の偏波回転の制御を行っている。そのような構成に対し、送信側の光源の周波数を変動させると、ROADM等に搭載される波長多重・分離の光フィルタ帯域に対する信号占有帯域のずれが生じスペクトル狭窄による信号劣化を起こす恐れがある。また、送信側の光信号または局発光光源の周波数を変動させると、デジタル信号処理における周波数オフセット補償処理にペナルティが発生する恐れがある。一方で、本実施形態の光通信システムのような構成にすることで信号劣化等を抑制することができるので、安定した受信処理を行うことができる。

10

【0164】

本実施形態の光通信システムは、光受信装置140の制御部141において検出したBERを基に、局発光の位相の調整および入力された光信号の偏波回転の調整を行っている。BERが適正な値となるように、局発光の位相および光信号の偏波状態の調整をすることで、受信信号に生じるノイズの影響を抑制し受信品質を維持することができる。

【0165】

第8の実施形態の光受信装置は、図35のような構成としてもよい。図35の光受信装置は、局発光出力部301と、位相調整部302と、偏波制御部303と、合波部304と、光電変換部305と、復調部306と、制御部307を備えている。

【0166】

局発光出力部301は、入力される光信号の周波数に基づいて設定された周波数の局発光を出力する。位相調整部302は、局発光の位相を調整する。偏波制御部303は、光信号の偏波回転を制御する。合波部304は、位相調整部302から出力された局発光と偏波制御部303から出力された光信号とを合波させる。光電変換部305は、合波部304が合波した光信号を電気信号に変換する。復調部306は、光電変換部305が変換した電気信号を元に復調処理を行う。制御部307は、光信号の受信状態の情報を基に、位相調整部302における局発光の位相の調整または偏波制御部303における光信号の偏波回転の少なくとも一方の実行を制御する。

20

【0167】

図35の光受信装置は、光信号の受信状態の情報を基に、位相調整部302における局発光の位相の調整または偏波制御部303における光信号の偏波回転の少なくとも一方の実行を制御している。そのような制御を行うことで、本実施形態の光受信装置は、安定した受信処理を行える受信品質を維持することができる。

30

【0168】

第2乃至第8の実施形態の光通信システムでは、光送信装置から光受信装置へ光信号を送信する1方向の通信を行う構成について示している。そのような構成に代えて、各実施形態の光通信システムにおいて双方向の光通信が行われてもよい。双方向の光通信を行う場合には、光信号と局発光の周波数の差である周波数オフセットの制御は、それぞれの方角に対して行われる。また、双方向の通信を行う場合に、エラー情報、光の周波数の情報および光信号と局発光の周波数差の情報などの情報は、対向する装置に送るフレーム内に付加して送信する構成としてもよい。

40

【0169】

以上、上述した実施形態を模範的な例として本発明を説明した。しかしながら、本発明は、上述した実施形態には限定されない。即ち、本発明は、本発明のスコープ内において、当業者が理解し得る様々な態様を適用することができる。

【0170】

この出願は、2018年9月7日に出願された日本出願特願2018-167935を基礎とする優先権を主張し、その開示の全てをここに取り込む。

【符号の説明】

【0171】

50

1	光出力部	
2	光変調部	
3	受信情報取得部	
4	周波数調整部	
1 0	光送信装置	
1 1	クライアント信号入力部	
1 2	信号処理部	
1 3	信号変調部	
1 4	光源部	
1 5	周波数調整部	10
2 0	光受信装置	
2 1	クライアント信号出力部	
2 2	P B S	
2 3	9 0 度ハイブリッド	
2 4	光検出部	
2 5	A D C	
2 6	D S P	
2 7	局発光出力部	
2 8	エラー検出部	
3 0	光送信装置	20
3 1	光源部	
4 0	光受信装置	
4 1	局発光出力部	
4 2	エラー検出部	
4 3	周波数調整部	
5 0	光送信装置	
5 1	周波数モニタ部	
5 2	周波数調整部	
6 0	光受信装置	
6 1	周波数モニタ部	30
7 0	光送信装置	
7 1	光源部	
7 2	周波数モニタ部	
8 0	光受信装置	
8 1	周波数モニタ部	
8 2	周波数調整部	
9 0	光送信装置	
9 1	周波数調整部	
1 0 0	光受信装置	
1 0 1	周波数オフセット検出部	40
1 1 0	光送信装置	
1 1 1	光源部	
1 2 0	光受信装置	
1 2 1	局発光出力部	
1 2 2	周波数オフセット検出部	
1 2 3	周波数調整部	
1 3 0	光送信装置	
1 3 1	光源部	
1 3 2	信号処理部	
1 3 3	信号変調部	50

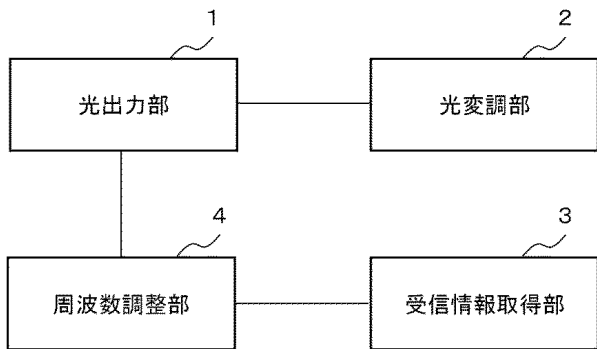
- 1 3 4 クライアント信号入力部
- 1 4 0 光受信装置
- 1 4 1 制御部
- 1 4 2 P B S
- 1 4 3 9 0 度ハイブリッド
- 1 4 4 光検出部
- 1 4 5 A D C
- 1 4 6 D S P
- 1 4 7 局発光出力部
- 1 4 8 位相可変部
- 1 4 9 偏波制御部
- 1 5 0 クライアント信号出力部
- 2 0 1 通信路
- 2 0 2 通信路
- 2 0 3 通信路
- 2 0 4 通信路
- 3 0 1 局発光出力部
- 3 0 2 位相調整部
- 3 0 3 偏波制御部
- 3 0 4 合波部
- 3 0 5 光電変換部
- 3 0 6 復調部
- 3 0 7 制御部

10

20

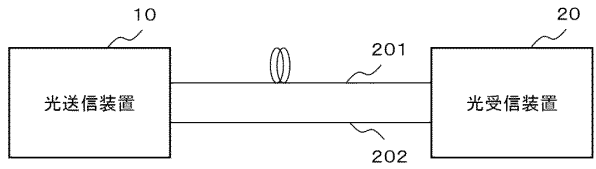
【図面】

【図 1】



30

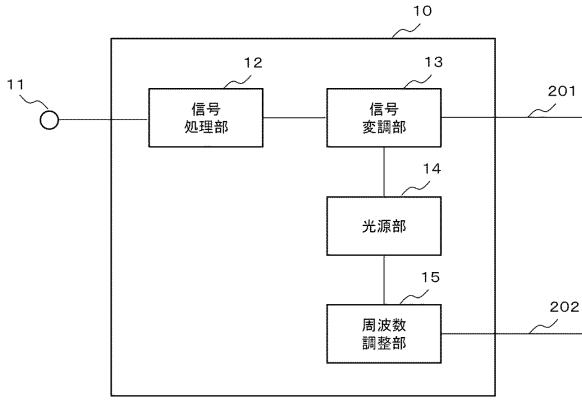
【図 2】



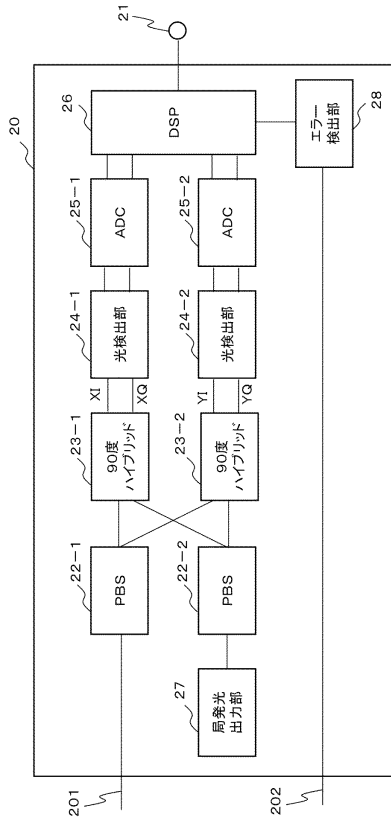
40

50

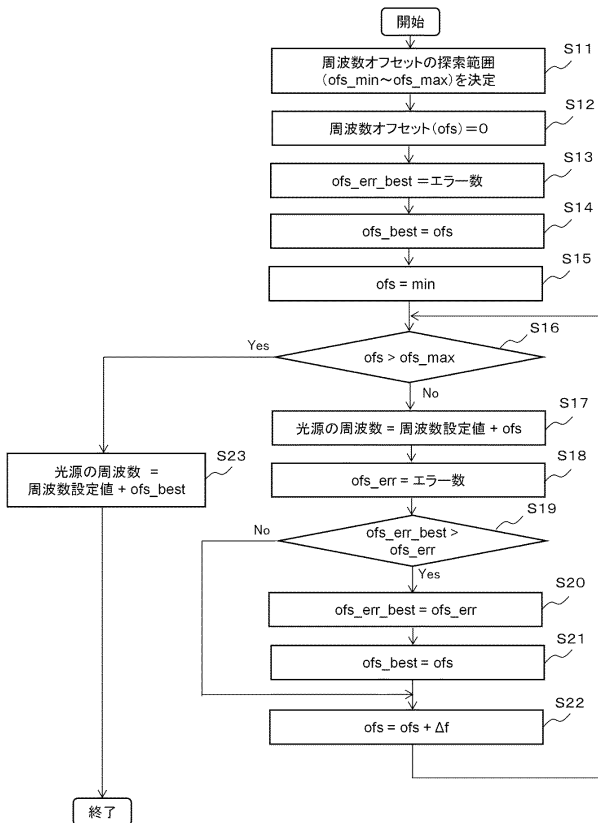
【図3】



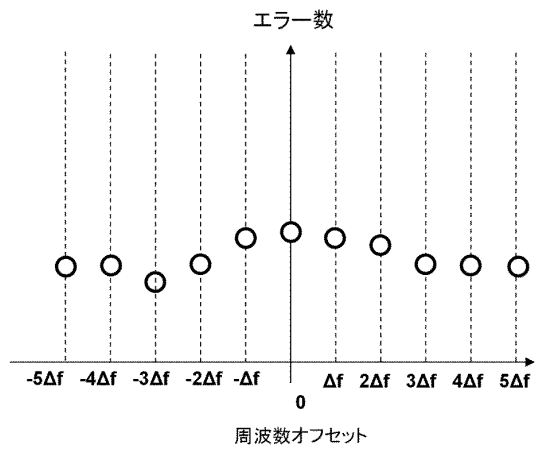
【図4】



【図5】



【図6】



10

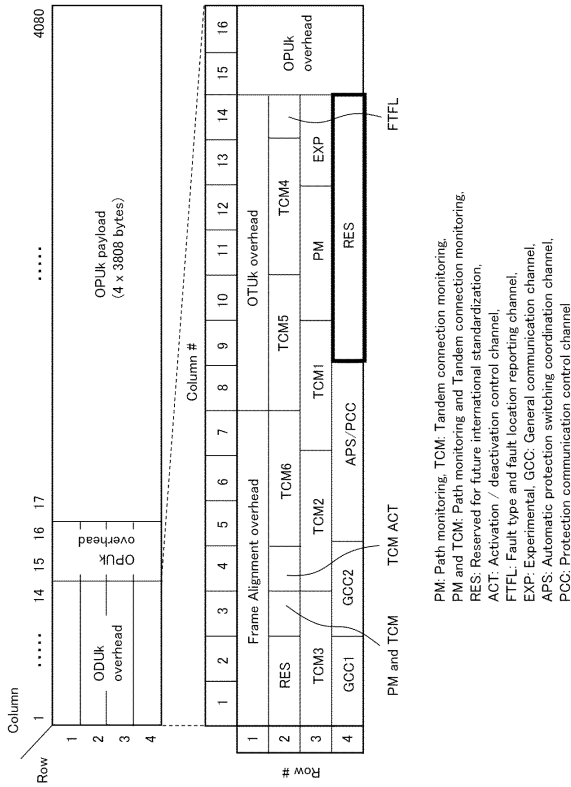
20

30

40

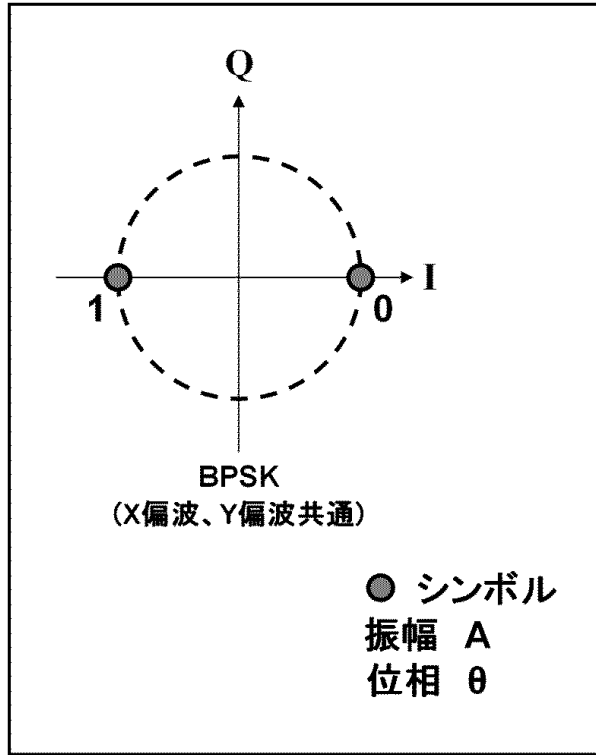
50

【図 7】



PM: Path monitoring, TCM: Tandem connection monitoring.
 PM and TCM: Path monitoring and Tandem connection monitoring.
 RES: Reserved for future international standardization.
 ACT: Activation / deactivation control channel.
 FTFI: Fault type and fault location reporting channel.
 EXP: Experimental, GCC: General communication channel.
 APS: Automatic protection switching coordination channel.
 POC: Protection communication control channel.

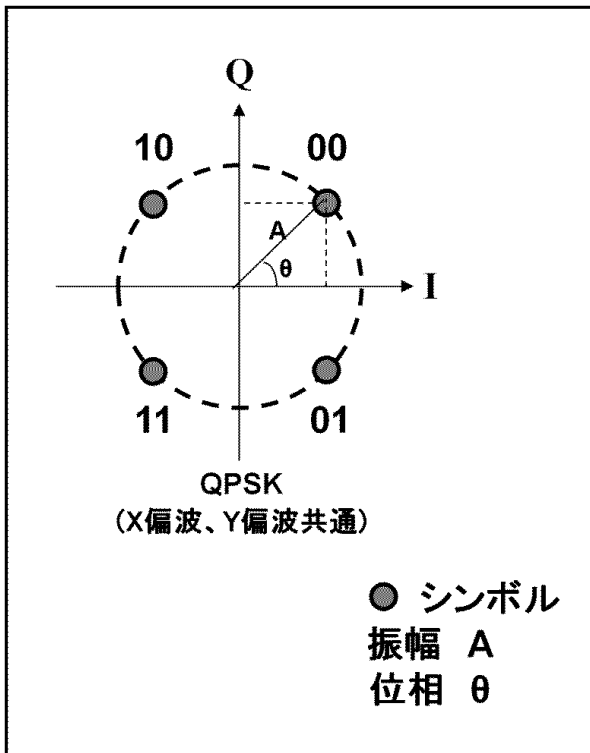
【図 8 A】



10

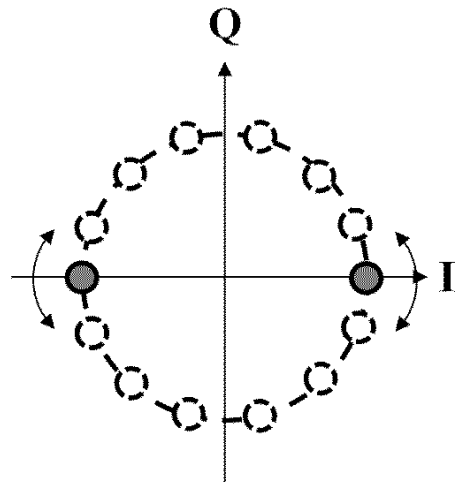
20

【図 8 B】



【図 9】

BPSK

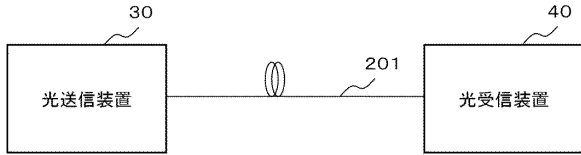


30

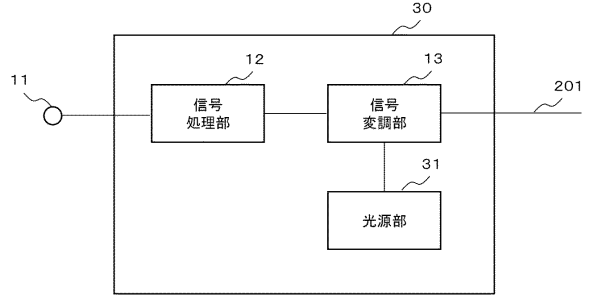
40

50

【図 1 0】

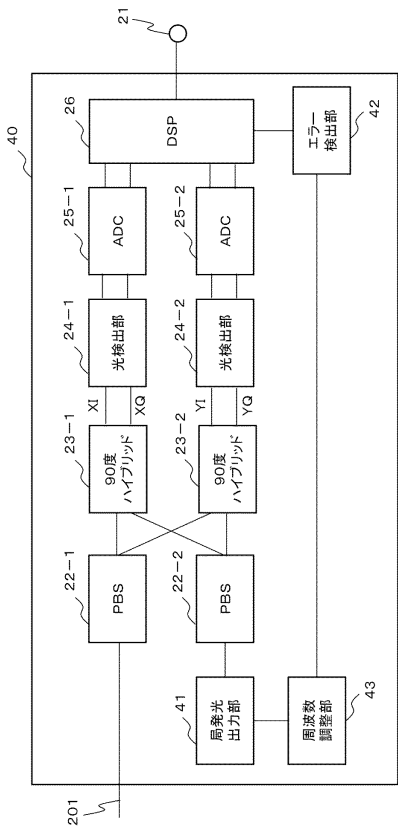


【図 1 1】

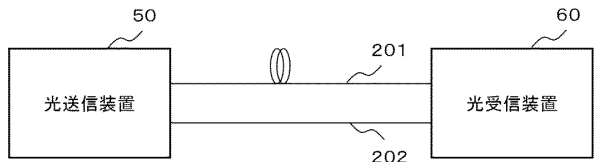


10

【図 1 2】



【図 1 3】



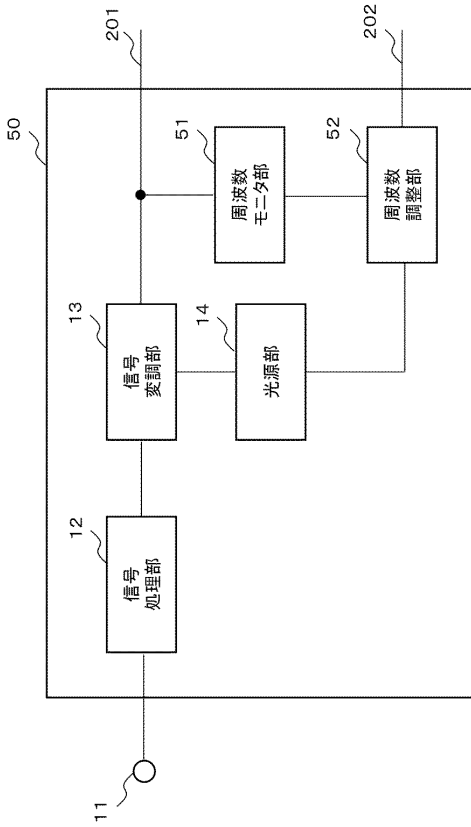
20

30

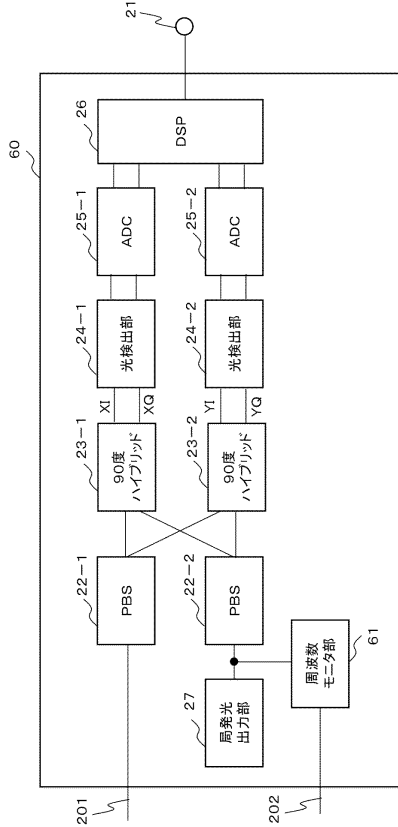
40

50

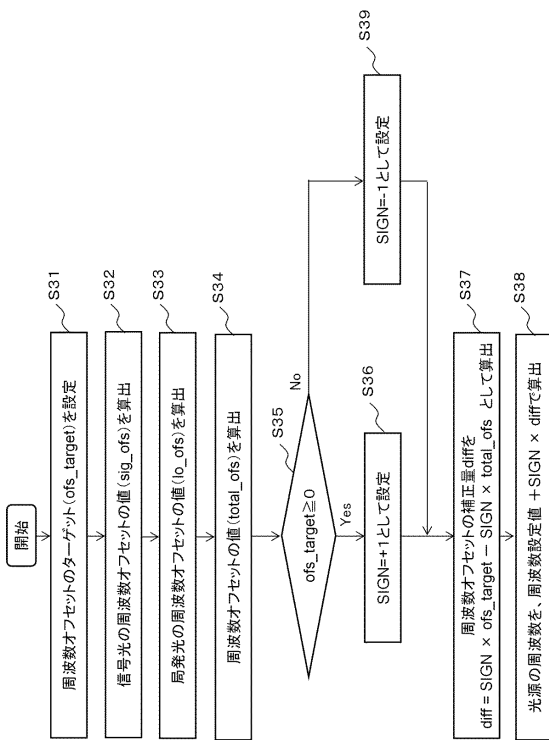
【図14】



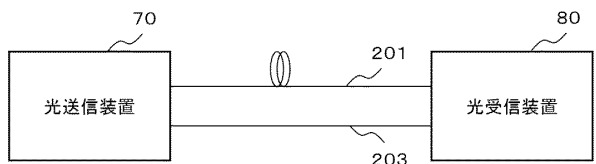
【図15】



【図16】



【図17】



10

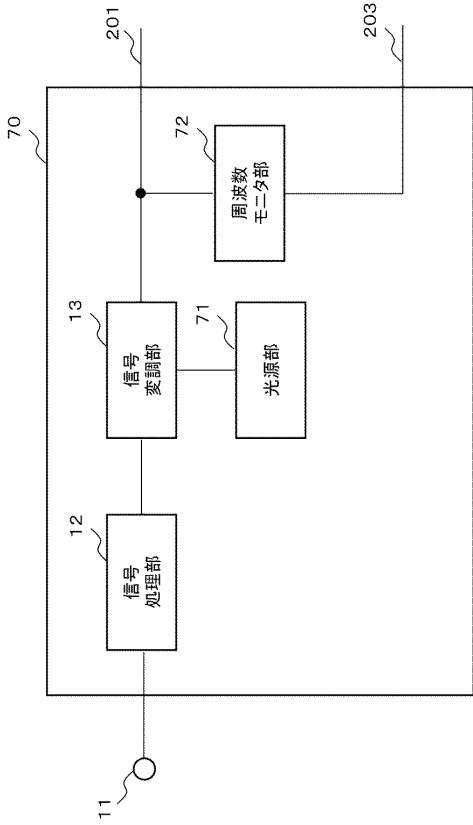
20

30

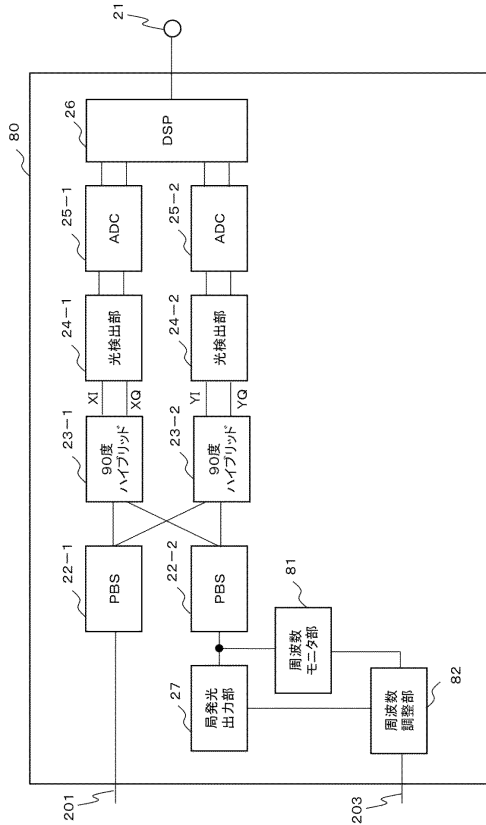
40

50

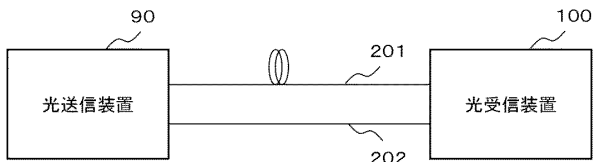
【図 18】



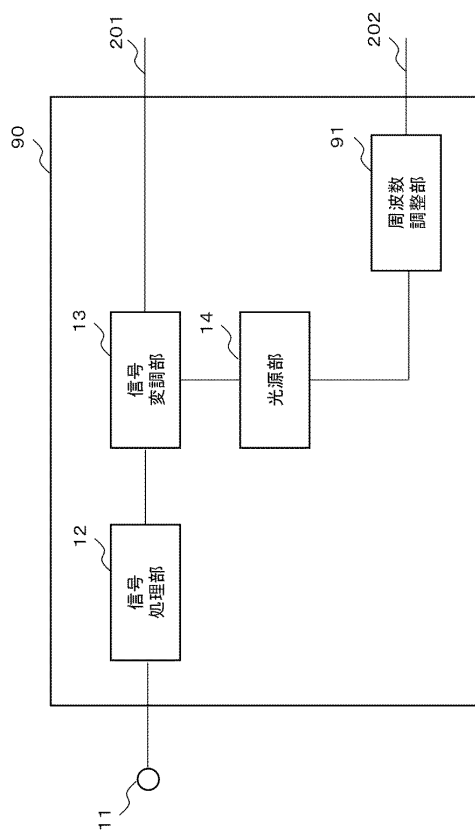
【図 19】



【図 20】



【図 21】



10

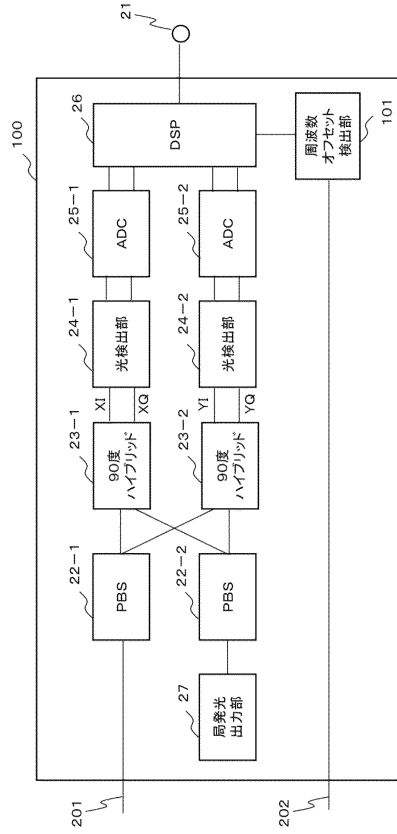
20

30

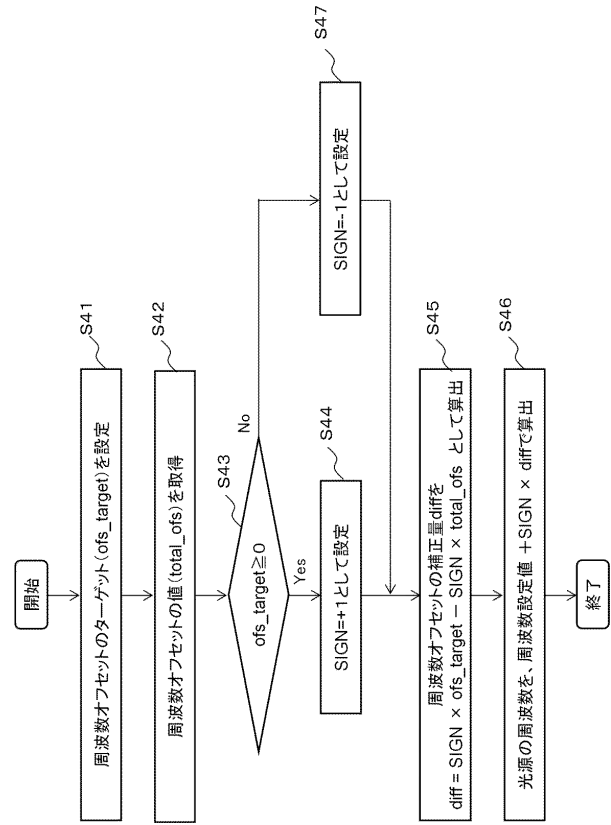
40

50

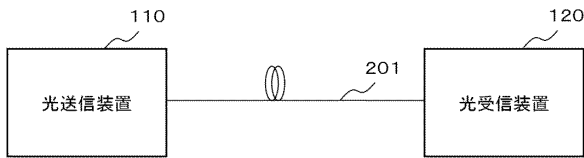
【図 2 2】



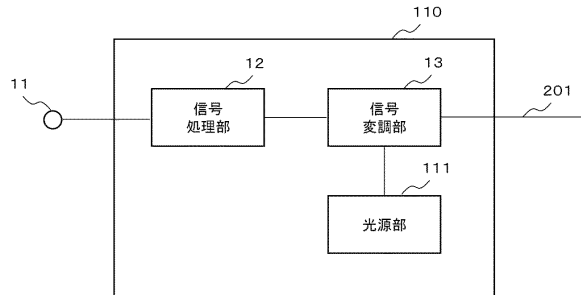
【図 2 3】



【図 2 4】



【図 2 5】



10

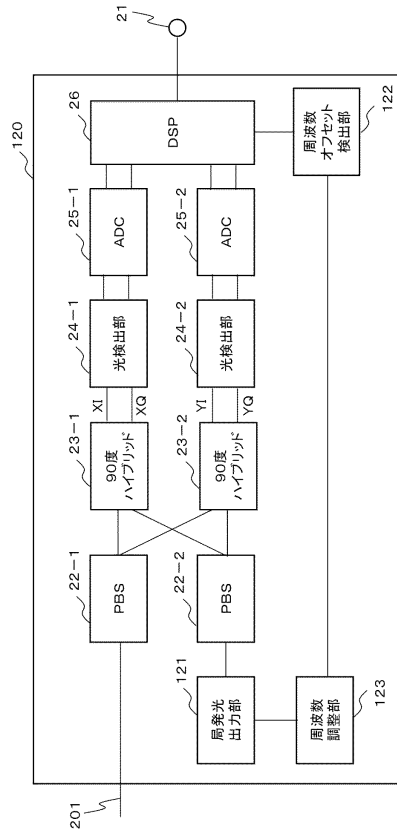
20

30

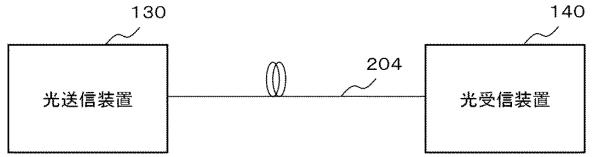
40

50

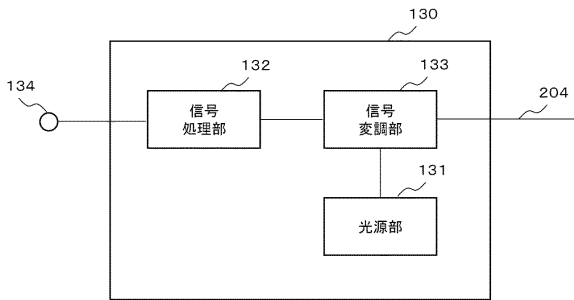
【図 26】



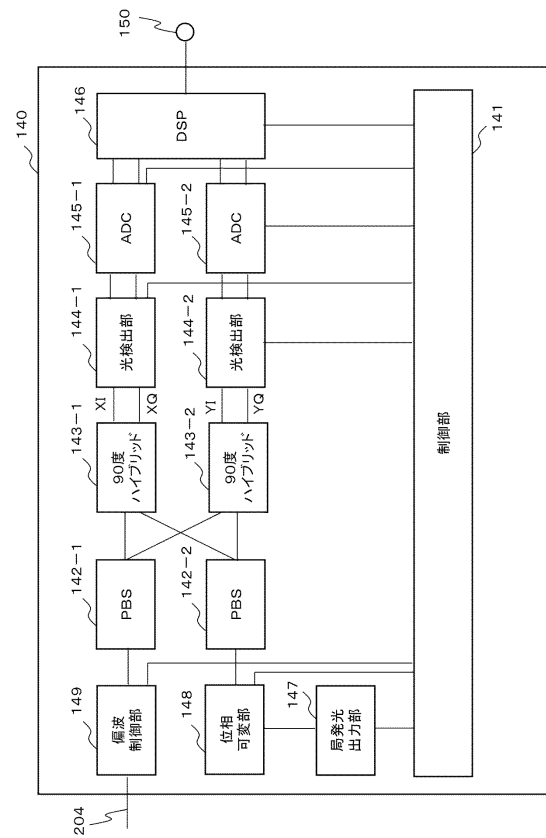
【図 27】



【図 28】



【図 29】



10

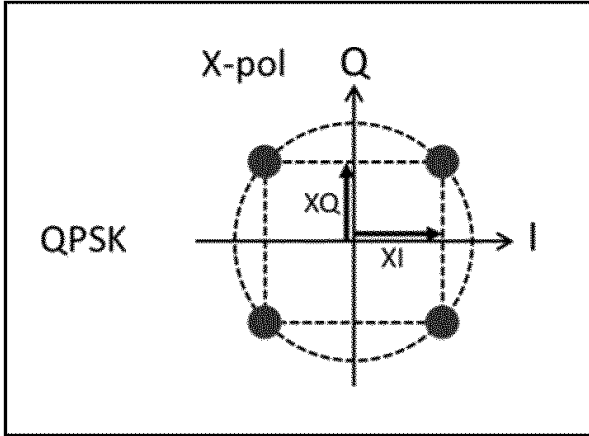
20

30

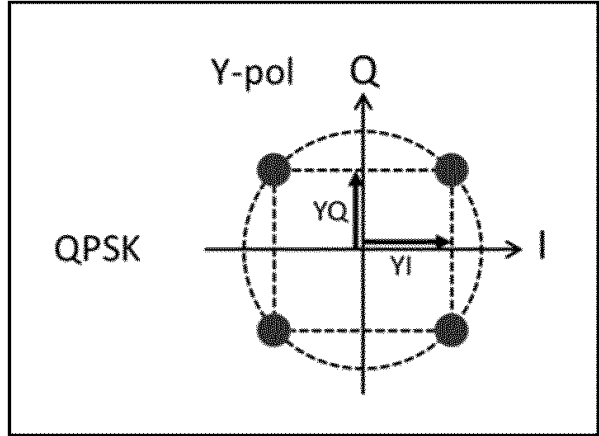
40

50

【 3 0 A 】

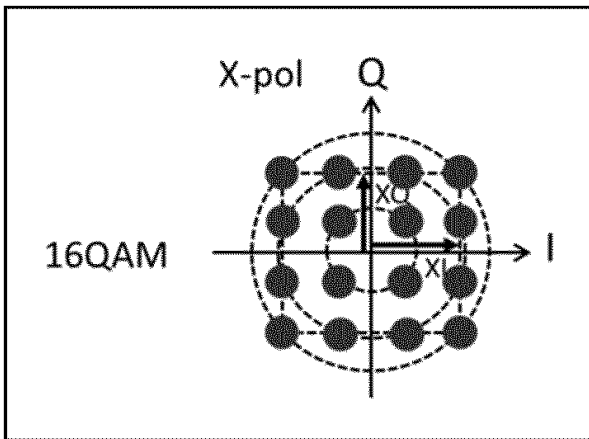


【 3 0 B 】

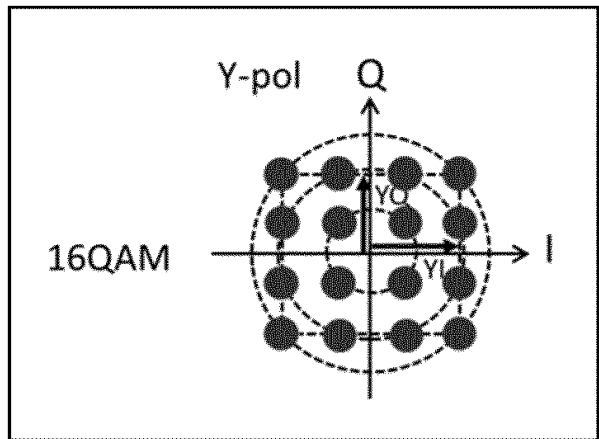


10

【 3 0 C 】



【 3 0 D 】



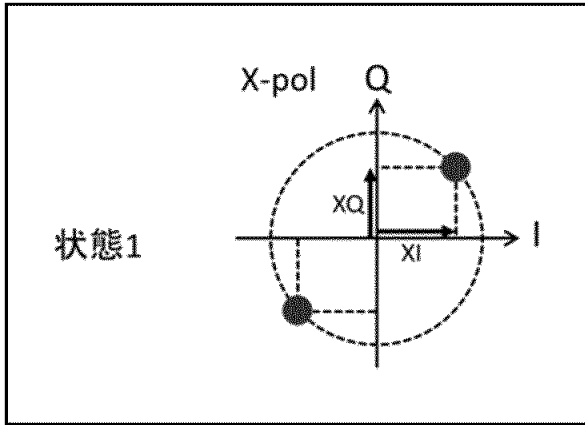
20

30

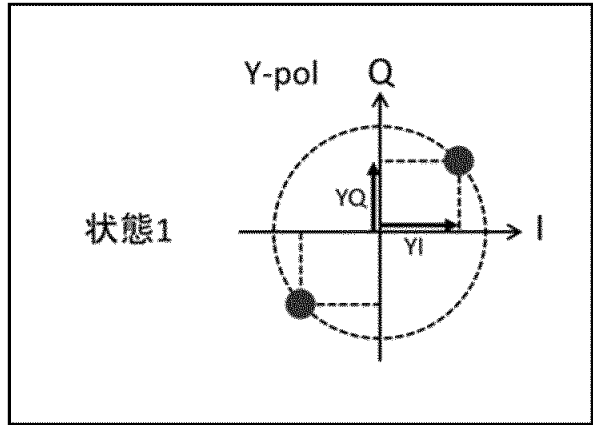
40

50

【図 3 1 A】

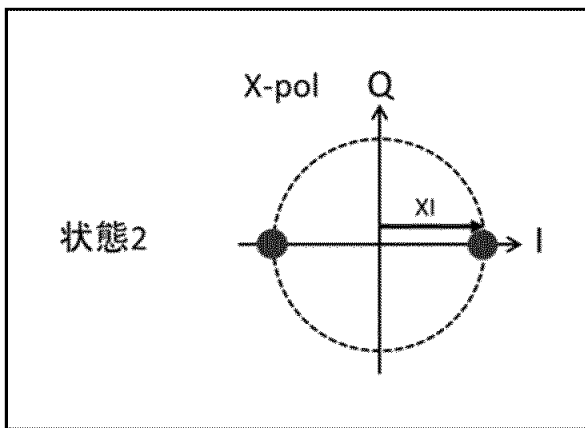


【図 3 1 B】

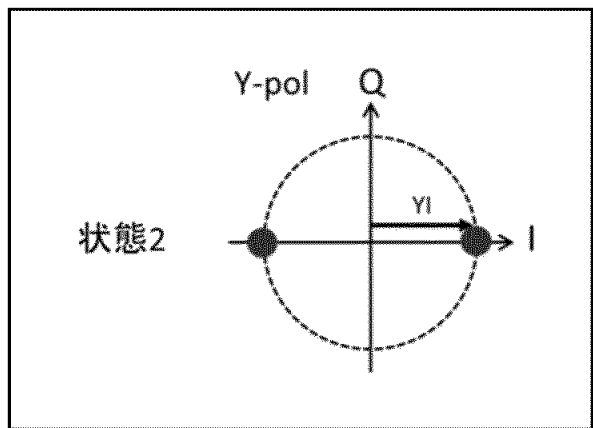


10

【図 3 1 C】



【図 3 1 D】



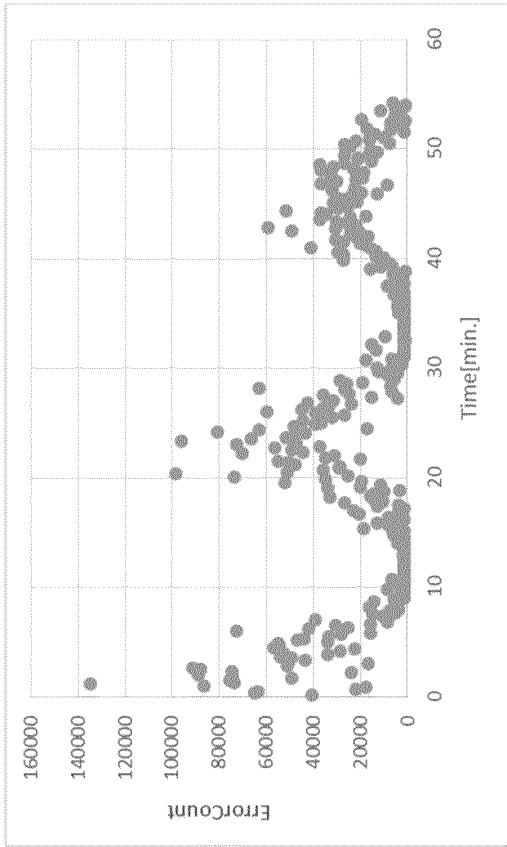
20

30

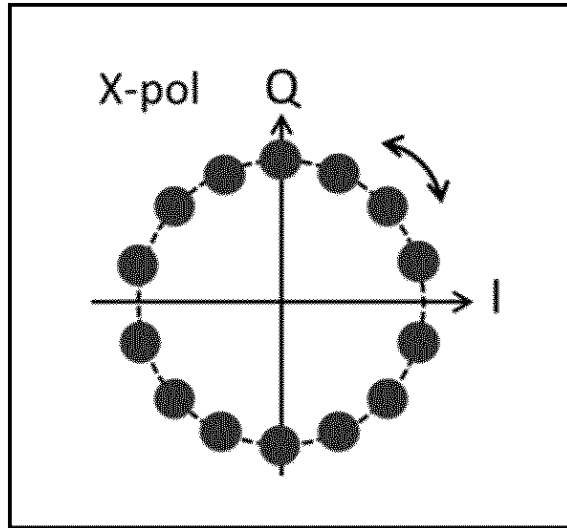
40

50

【 3 2 】



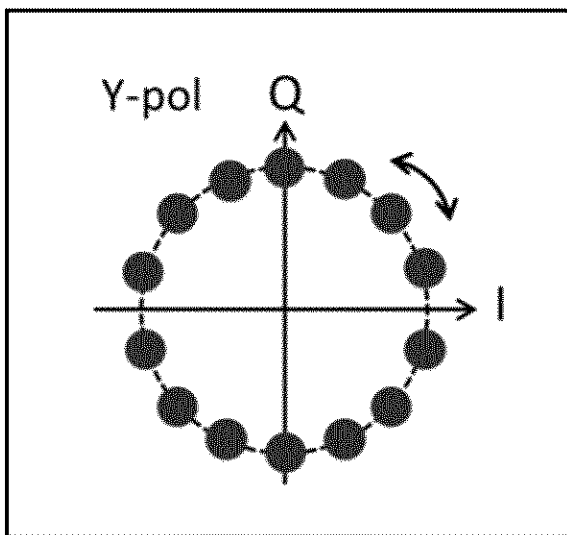
【 3 3 A 】



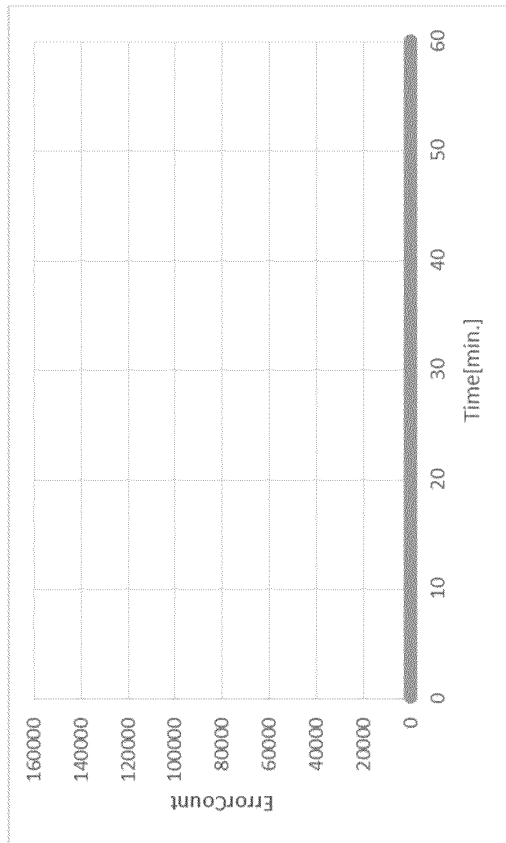
10

20

【 3 3 B 】



【 3 4 】

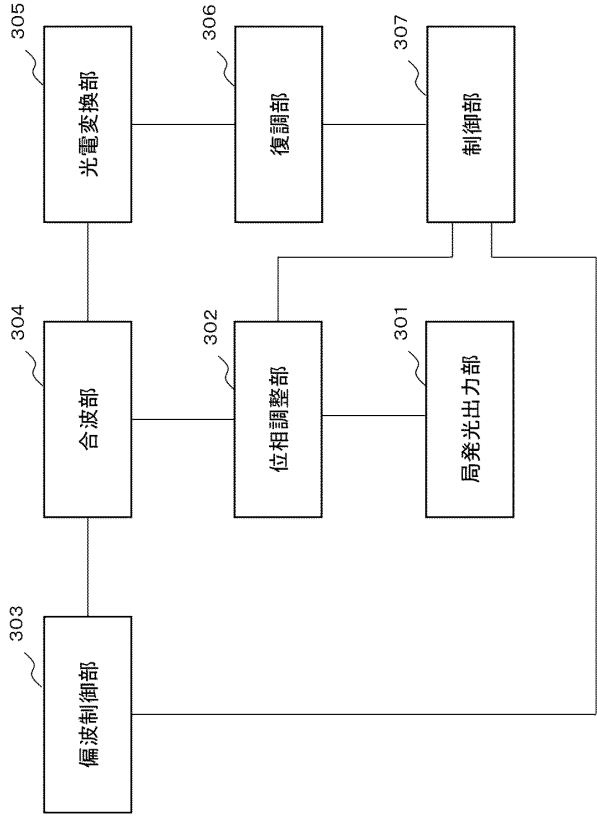


30

40

50

【 3 5 】



10

20

30

40

50

フロントページの続き

- (56)参考文献 特開2013-034065(JP,A)
特開平04-144320(JP,A)
特開昭61-153616(JP,A)
特開平2-110524(JP,A)
特開2013-81227(JP,A)

- (58)調査した分野 (Int.Cl., DB名)
H04B 10/61
H04B 10/079
G02F 2/00