

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第5263289号  
(P5263289)

(45) 発行日 平成25年8月14日(2013.8.14)

(24) 登録日 平成25年5月10日(2013.5.10)

(51) Int.Cl.		F I	
HO 4 B	10/079 (2013.01)	HO 4 B	9/00 1 7 9
HO 4 B	10/2513 (2013.01)	HO 4 B	9/00 2 5 3
HO 4 B	10/2569 (2013.01)	HO 4 B	9/00 2 6 6
GO 1 M	11/02 (2006.01)	GO 1 M	11/02 K

請求項の数 9 (全 21 頁)

(21) 出願番号	特願2010-514405 (P2010-514405)	(73) 特許権者	000004237
(86) (22) 出願日	平成21年3月23日 (2009.3.23)		日本電気株式会社
(86) 国際出願番号	PCT/JP2009/055642		東京都港区芝五丁目7番1号
(87) 国際公開番号	W02009/144997	(74) 代理人	100123788
(87) 国際公開日	平成21年12月3日 (2009.12.3)		弁理士 官崎 昭夫
審査請求日	平成24年2月8日 (2012.2.8)	(74) 代理人	100106138
(31) 優先権主張番号	特願2008-138163 (P2008-138163)		弁理士 石橋 政幸
(32) 優先日	平成20年5月27日 (2008.5.27)	(74) 代理人	100127454
(33) 優先権主張国	日本国 (JP)		弁理士 緒方 雅昭
		(72) 発明者	吉田 信秀
			東京都港区芝五丁目7番1号 日本電気株式会社内
		審査官	木下 直哉

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 光ファイバの分散検出装置およびそれを用いた自動分散補償システム

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

光ファイバ中の分散を検出する分散検出装置であって、

光ファイバを通過する光信号をサンプリングした結果に基づいて、該光信号の状態を表すアイパターン波形のアイ開口形状をモニタリングする波形モニタ手段と、

前記波形モニタ手段によってモニタリングされたアイ開口形状を表す情報に基づいて、前記アイパターン波形の電圧方向の開口最大長と位相方向の開口最大長とを検出するアイ開口計算手段と、

前記アイ開口計算手段によって検出された電圧方向の開口最大長を表す情報と位相方向の開口最大長を表す情報とに基づいて、前記光信号の偏波分散量および波長分散量を検出する分散量検出手段と、

を備える分散検出装置。

【請求項2】

前記分散量検出手段は、

前記電圧方向のアイ開口最大長が得られる特定位相位置を基点として、前記位相方向のアイ開口最大長を2つに分けた場合の分割比率を算出することにより、偏波分散量を表す情報である光波形の遅波成分ならびに速波成分のパワー分岐比を検出する偏波分散量検出手段

を備える、請求項1に記載の分散検出装置。

【請求項3】

前記偏波分散量検出手段は、

前記電圧方向のアイ開口最大長と位相方向のアイ開口最大長との長さの比率を表す情報を算出し、算出した長さの比率を前記検出したパワー分岐比と掛け合わせることにより、偏波分散量を表す情報である群遅延量を検出する、請求項 2 に記載の分散検出装置。

【請求項 4】

前記波形モニタ手段は、

前記光ファイバ通過後の受信波形から、外部から入力される識別クロックに基づくタイミングで、外部から設定される電圧方向の識別閾値以上のデータをサンプリングする識別器と、

前記識別器の識別閾値を設定する手段と、

前記識別器に入力する識別クロックの位相を変化させる手段と、

を備え、

前記識別器の識別閾値を電圧方向に変化させ、さらに前記識別器に入力する識別クロックの位相を変化させながら、前記受信波形から複数のデータを繰り返しサンプリングすることによりアイパターン波形のアイ開口形状を抽出する、請求項 1 に記載の分散検出装置。

10

【請求項 5】

前記分散量検出手段は、

前記位相方向のアイ開口最大長が得られる特定電圧位置を基点として、前記電圧方向のアイ開口最大長を上下に分けた場合の分割比率を算出すると同時に、電圧方向のアイ開口最大長と位相方向のアイ開口最大長との長さの比率を算出し、算出した長さの比率を前記算出した分割比率と掛け合わせることにより波長分散量を検出する波長分散量検出手段

を備える、請求項 1 に記載の分散検出装置。

20

【請求項 6】

前記波形モニタ手段は、

前記光ファイバ通過後の受信波形から、外部から入力される識別クロックに基づくタイミングで、外部から設定される電圧方向の識別閾値以上のデータをサンプリングする識別器と、

前記識別器の識別閾値を設定する手段と、

前記識別器に入力する識別クロックの位相を変化させる手段と、

を備え、

前記識別器の識別閾値を電圧方向に変化させ、さらに前記識別器に入力する識別クロックの位相を変化させながら、前記受信波形から複数のデータを繰り返しサンプリングすることによりアイパターン波形のアイ開口形状を抽出する、請求項 5 に記載の分散検出装置。

30

【請求項 7】

請求項 1 に記載の分散検出装置と、

前記光ファイバを通過する受信信号を光信号から電気信号に変換する光電気変換手段と、

前記光電変換手段にて電気信号に変換された受信信号における、偏波分散および波長分散による波形劣化を補償する電気分散補償手段と、

前記電気分散補償手段を通過した信号から、クロック信号の再生ならびに抽出、およびデータ信号のリカバリを行うクロックデータリカバリ手段と、

前記分散検出装置にて検出された偏波分散量および波長分散量の検出結果を基に、前記電気分散補償手段に入力される補償係数および前記クロックデータリカバリ回路に入力される識別閾値を制御するアダプティブ補償量制御手段と、

を備え、

前記分散検出装置で、前記電気分散補償手段を通過する前の受信信号を基にして、前記偏波分散量および波長分散量を検出した後に、前記アダプティブ補償量制御手段において、前記電気分散補償手段に用いる最適な補償制御係数および前記クロックデータリカバリ

40

50

手段に用いる識別閾値を自動で制御する、自動分散補償システム。

【請求項 8】

請求項 1 に記載の分散検出装置と、

前記光ファイバを通過する受信信号を光信号から電気信号に変換する光電気変換手段と

、  
前記光電気変換手段を通過した信号から、クロック信号の再生ならびに抽出、およびデータ信号のリカバリを行うクロックデータリカバリ手段と、

を含む受信手段と、

レーザダイオードと、

前記分散検出装置からフィードバックした偏波分散量および波長分散量の検出結果を基に、送信信号となる光信号に予め分散補償を施す送信側イコライザ手段と、

前記分散検出装置にて検出された偏波分散量および波長分散量の検出結果を基に、前記送信側イコライザ手段に入力される補償係数を制御するアダプティブ補償量制御手段と、

前記送信側イコライザ手段に入力されるデータを信号処理するマルチプレクサと、

前記送信側イコライザ手段からの出力信号を増幅するドライバ手段と、

前記ドライバ手段の信号を基に、前記レーザダイオードから発光した光信号の変調制御を行う光変調手段と、

を含む送信手段と、

を備える自動分散補償システム。

10

【請求項 9】

請求項 1 に記載の分散検出装置と、

前記光ファイバを通過する受信信号を光信号から電気信号に変換する光電気変換手段と

、  
前記光電気変換手段を通過した信号から、クロック信号の再生ならびに抽出、およびデータ信号のリカバリを行うクロックデータリカバリ手段と、

を含む受信手段と、

レーザダイオードと、

前記分散検出装置からフィードバックした偏波分散量、および波長分散量の検出結果を基に、送信信号となる光信号に予め分散補償を施す送信側イコライザ手段と、

前記送信側イコライザ手段に入力されるデータを信号処理するマルチプレクサと、

前記送信側イコライザ手段からの出力信号を増幅するドライバ手段と、

前記ドライバ手段の信号を基に、前記レーザダイオードから発光した光信号の変調制御を行う光変調手段と、

を含む送信手段と、

前記分散検出装置にて検出された偏波分散量および波長分散量の検出結果を基に、前記送信側イコライザ手段に入力される補償係数および前記クロックデータリカバリ回路に入力される識別閾値を制御するアダプティブ補償量制御手段と、

を備える自動分散補償システム。

20

30

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、超高速光伝送システムにおいて、高速光信号の伝送距離の制限要因となる光ファイバの波長分散または偏波分散を、光ファイバのアイ開口を表す情報に基づいて検出する技術に関する。

【背景技術】

【0002】

近年のネットワーク容量の急激な増加に伴い、光伝送システムの大容量化が求められている。最近では、10 Gbps の波長多重 (WDM) 伝送方式から、より大容量伝送が可能となる 40 Gbps の WDM 光伝送システムへの置き換えが進められており、光伝送シ

40

50

システムの大容量化への開発が急ピッチで進行している。

【0003】

このような40 Gbpsの光伝送システムでは、これまで10 Gbpsのシステムで問題となってきた波長分散に起因する波形劣化に加えて、偏波分散に起因する波形劣化の影響が非常に大きくなり、光信号の伝送距離が著しく制限されるという課題がある。

【0004】

まず、波長分散の影響を述べる。

【0005】

波長分散は、光ファイバ内を伝搬される光信号の速度が全ての波長にわたって均一ではなく、波長ごとに異なるために発生する分散であり、そのトレランス（発生に対する許容量）はビットレートの二乗に反比例する。したがって、波長分散は、既存の10 Gbpsシステムでは約800 ps/nmであるのに対して、40 Gbpsのシステムでは約50 ps/nm（10 Gbpsの1/16の値）と非常に厳しくなる。

10

【0006】

加えて、光ファイバ伝送路の波長分散値は、温度や圧力等の環境変化に応じて経時的な変遷をする。例えば、-50 から100 の範囲で温度変化が生じた場合、シングルモードファイバの50 kmにわたる分散値変化量は、16 ps/nmであり、システム上は無視できない値となる。従って、システムの運用開始時に分散に対する補償量を最適化するだけでなく、システムの運用中にも分散値の経時変化に対応して、分散補償量の最適化を行う必要があることがわかる。

20

【0007】

次に、偏波分散の影響を述べる。

【0008】

偏波分散は、光ファイバが僅かに楕円化しているために真円からのずれの影響や光ファイバに対する応力の影響によって、光パルスの偏波成分（TEモードおよびTMモードの2つの光モード）の伝播遅延時間が異なることによって生じる分散である。偏波分散は、一般に光信号の伝送速度が高速になるほど、また、伝送距離が長くなるほど大きくなる。

【0009】

これまでに敷設された古い光ファイバ（主に日本以外で設置されたもの）には、1 ps/km<sup>1/2</sup>を超える大きな偏波分散を有するものも存在する。例えば、このような光ファイバで光信号を100 km伝送した場合、2つの偏光成分に生じる群遅延（DGD: Differential Group Delay）は10 ps程度となり、40 Gbpsの光信号の1タイムスロット25 psの2/5にも達する。そのため、光信号の波形劣化が著しくなり、伝送距離が大きく制限される。

30

【0010】

さらに、偏波分散は、温度変化や、ファイバタッチ（光ファイバに手が触れたり、光ファイバに風が吹き付けられたりするなどにより光ファイバに応力がかかること）などのストレスによる伝送路環境の変化によって経時的に変動する。

【0011】

温度変化に対する偏波分散の変動に関しては、例えば、非特許文献1に開示されている。非特許文献1では、地下管路のシングルモードファイバの48.8 kmにわたる偏波分散変動量と環境温度変化との相関が指摘されている。この結果によれば、温度変化に対する偏波分散の変動は、分単位で発生する比較的低速な変動であることがわかる。

40

【0012】

これに対して、非特許文献2では、偏波分散変動の機械的振動（mechanical vibration）による発生頻度が報告されている。非特許文献2では、偏波分散変動の速さは、一般にキロヘルツ、即ちミリ秒単位の速さであると報告されている。従って、高精度に偏波分散を補償するには、先に述べた波長分散と同様に、システムの立上げ時に伝送路状態に応じて自動で補償動作を行うだけでなく（いわゆる無調整・調整フリー化）、システムの運用中もダイナミックに偏波分散の影響をモニタして、ミリ秒単位で高

50

速に偏波分散に追従して補償動作を行う必要がある。

【 0 0 1 3 】

以上をまとめると、40 Gbpsの光伝送システムでの伝送距離伸張を実現するためには、次の要素技術が必要となる。

【 0 0 1 4 】

( 1 ) 可変分散補償器

( 2 ) 伝送路の分散量 ( 波長分散や偏波分散 ) のモニタ方法

なお、偏波分散の場合は、ミリ秒単位の高速度な分散変動をモニタする必要がある。

( 3 ) 可変分散補償器のフィードバック最適化制御方法

ここで、分散量のモニタ方法としては、例えば波長分散では、複数の異なる波長の光を光ファイバに入力し、出力光間の群遅延差や位相差を測定するパルス法や位相法が用いられている。しかし、これらの方法を用いて、システム運用中に常時分散測定を行うためには、光伝送システムの各中継区間ごとに一組の波長分散測定器が必要となる。さらに、データ信号光の伝送を中断しないで分散量測定を行うためには、データ信号光とは異なる波長の測定光を用いる必要がある。

10

【 0 0 1 5 】

このように、光伝送装置の中でパルス法や位相法を実行することは、サイズおよび経済性の面から現実的とは言い難い。さらに、主信号光波長と異なる波長を用いる場合、測定光波長での測定値を基に、信号光波長での分散値を推測するというプロセスを介するため、厳密性に欠けるおそれがある。そのため、主信号光から直接、波長分散値をモニタできる方法が望ましい。この波長分散モニタ法として、40 Gbps OTDM ( 光時分割多重 ) 信号およびNRZ ( Non-Return-to-Zero ) 信号のベースバンドスペクトル中の40 GHz成分強度を用いる方法も近年提案されている。

20

【 0 0 1 6 】

次に、偏波分散のモニタおよび分散補償についての関連技術について述べる。

【 0 0 1 7 】

例えば、特許文献1には、光信号の符号誤りに関する情報に基づいて波形劣化の補償量を最適制御する技術が開示されている。すなわち、光信号の符号誤り情報が分散モニタの役割を果たしている。具体的には、特許文献1に開示された自動分散補償システムにおいては、図1に示すように、光信号は、光アンプ101で増幅された後に可変分散補償器102に送られる。可変分散補償器102の出力信号は、光アンプ103で増幅された後に受光素子104で電気信号に変換される。受光素子104の出力信号は増幅回路105で増幅され、クロック再生/識別回路106でクロック再生ならびに識別処理が行われ、直並列変換回路107で直並列変換される。誤り訂正回路108は、直並列変換回路107の出力信号に符号処理を施すことで符号誤りの検出を行い、検出した符号誤りに関する情報を制御回路109にフィードバックする。制御回路109は、誤り訂正回路108からフィードバックされた情報を基に、可変分散補償器102を最適制御する。

30

【 0 0 1 8 】

また、特許文献2には、一般的な伝送品質モニタを使用して、伝送品質劣化の主要因である波長分散と偏波分散の2つの分散を切り分ける技術が開示されている。ここで、伝送品質モニタの一例としては、誤り測定器や、Q値を測定する伝送品質モニタ等がある。具体的には、特許文献2に開示された第1の自動分散補償システムにおいては、図2に示すように、光受信器110は、光信号を電気信号に変換するフォトダイオード ( PD ) 111と、前置増幅器112および増幅器113によって構成され、電気信号を増幅し波形整形を行う等化増幅器114と、等化増幅器114の出力信号からクロック信号を抽出するクロック抽出回路115と、等化増幅器114の出力信号の状態を識別する識別回路116とを備えている。状態モニタ117は、PD111、等化増幅器114、および識別回路116の状態をモニタする。また、特許文献2に開示された第2の自動分散補償システムにおいては、図3に示すように、PMDモニタ119のモニタ結果に応じてPMD補償器118を制御する。これにより、分散補償器120に入力される光受信信号に対するP

40

50

MD補償がなされる。また、光/電気変換器(O/E)121をモニタする分散モニタ122のモニタ結果に応じて、分散補償器120を制御する。

【0019】

なお、波長分散補償についての具体的な技術としては、例えば、特許文献4~6、非特許文献3,4などに開示された技術がある。波長分散補償に用いられる可変型波長分散補償デバイスとしては、非特許文献5に開示されたVIPA(Virtually-Imaged-Phased-Array)や、非特許文献6に開示されたFBG(Fiber-Bragg-Grating)を用いた光デバイスなどがある。

【0020】

また、偏波分散補償についての具体的な技術としては、例えば、非特許文献7に開示されている、光処理型、光電処理型および電気処理型などの方式がある。この中で光処理型および光電処理型については偏光状態の制御を行う必要がある。さらに、偏波分散補償についての制御方式としては、非特許文献8,9に開示されている、偏波分散補償後の光信号に含まれるクロック信号の1/2の周波数成分や1/4の周波数成分をモニタして、偏光状態の制御を行う方式がある。

【0021】

しかしながら、上記のような関連技術の分散モニタ技術および分散補償技術においては、幾つかの課題がある。以下に、その課題を述べる。

【0022】

(1)特許文献1に開示された技術は、図1に示したように、分散の識別や制御などが電気処理で行われていることから、装置の小型化や低コスト化という観点では有利であり、近年注目されている。しかしながら、符号誤り情報を分散補償の制御に用いるこの技術の場合、一般的に、エラー数が最小になるように可変分散補償器の係数調整が行われることになる。ただし、エラーはランダムに発生するため、ある程度エラー数が蓄積されるまで一定時間エラーカウントの積算が必要となる。また、このシステムでは、何らかの条件変化により分散変動が生じ、それにより符号誤りが発生した場合に、分散の補償を現状よりも過剰に(+側に)制御するか、あるいは減少方向に(-側に)制御するかを判定するためのデータを有していない。一般には、特許文献7に開示されるような、乱数的に発生させたドットで階調を表現するディザリング手法や、非特許文献10に開示されるような、現在の頂点から次の候補の頂点を展開したとき、その中で最もゴールに近そうなものを次の探索コースとして決める山登り手法などのアルゴリズムを用いることで、最適な補償点を見つけ出す方法が採られる。しかし、特許文献1に開示された技術は、上記のデータを有していないために、分散補償量を増加したときに誤り率が減少するか増加するかを最初に確定することはできない。即ち、誤り率を基に分散補償量を制御する場合に、最適値に到達するまでに要する時間が長くなってしまふ。さらに、分散補償量の制御間隔の刻みが荒い場合、システムの収束ポイントが見つけれないおそれがあるので、分散補償量の制御間隔はある程度高精度を維持しなければならない。この場合、収束までに必要な時間および繰り返し回数はさらに増加してしまふ。従って、ミリ秒単位の高速度補償が必要なシステムへの適用は難しいという課題がある。

【0023】

(2)特許文献2に開示された技術のうち、図3に示した自動分散補償システムは、波長分散および偏波分散のそれぞれに対応して、モニタ、制御装置、および分散補償器が必要となる。これらの構成要素である分散補償器およびその周辺装置は、大部分が光部品で構成されているため、部品点数の増大による装置の大型化、高コスト化につながる。従って、汎用化がしにくいという課題がある。

【0024】

(3)偏波分散補償についてのその他の具体的な従来技術としては、光処理、電気処理などを行う幾つかの技術がある。ただし、それらの偏波分散補償技術の殆どは偏光状態の制御を必要としている。この場合、ミリ秒単位の高速度で経時変動する偏波分散に対して偏光制御を実現するのは難しいという課題がある。

10

20

30

40

50

## 【 0 0 2 5 】

以上のことから、超高速光伝送技術における分散補償技術では、運用中においてもシステムを停止することなく高速分散補償を実現するには、次の2点が求められる。

## 【 0 0 2 6 】

1) 誤り訂正情報を用いた場合では得られない分散量の増減方向、及びその量を推定することが可能な分散モニタ機構

2) 高速な分散変動が発生した際にも、瞬時にその変動量を推定することができると同時に、分散補償量を高速で最適値に変更することを可能にする、簡易な演算処理を用いた分散モニタ手法、および分散補償装置

## 【 0 0 2 7 】

【特許文献1】特開平7 - 221705号公報

【特許文献2】特開2002 - 208892号公報

【特許文献3】特開2004 - 7150号公報

【特許文献4】特開平8 - 321805号公報

【特許文献5】特開平9 - 326755号公報

【特許文献6】特開平10 - 276172号公報

【特許文献7】特開2002 - 33701号公報

【非特許文献1】“ J . C a m e r o n e t a l . : T i m e e v o l u t i o n o f p o l a r i z a t i o n - m o d e d i s p e r s i o n f o r a e r i a l a n d b u r i e d c a b l e s , P r o c . O F C 9 8 , p p 2 4 0 - 2 4 1 ”

【非特許文献2】“ H . B r o w e t a l . : M e a s u r e m e n t o f t h e M a x i m u m S p e e d o f P M D F l u c t u a t i o n i n I n s t a l l e d F i e l d F i b e r , P r o c . O F C ' 9 9 , p p 8 3 - 8 5 ”

【非特許文献3】“ G . I s h i k a w a e t a l . , “ D E M O N S T R A T I O N O F A U T O M A T I C D I S P E R S I O N E Q U A L I Z A T I O N I N 4 0 G b i t / s O T D M T R A N S M I S S I O N ” , E C O C ' 9 8 , p p . 5 1 9 - 5 2 0 ”

【非特許文献4】“ Y . A k i y a m a e t a l . , “ A U T O M A T I C D I S P E R S I O N E Q U A L I Z A T I O N I N 4 0 G b i t / s T R A N S M I S S I O N B Y S E A M L E S S - S W I T C H I N G B E T W E E N M U L T I P L E S I G N A L W A V E L E N G T H S ” , E C O C ' 9 9 , p p . I - 1 5 0 - 1 5 1 ”

【非特許文献5】“ M . S h i r a s a k i e t a l . , “ D i s p e r s i o n C o m p e n s a t i o n U s i n g T h e V i r t u a l l y I m a g e d P h a s e d A r r a y ” , A P C C / O E C C ' 9 9 , p p . 1 3 6 7 - 1 3 7 0 , 1 9 9 9 ”

【非特許文献6】“ M . M . O h n e t a l . , “ T u n a b l e F i b e r G r a t i n g D i s p e r s i o n U s i n g a P i e z o e l e c t r i c S t a c k ” , O F C ' 9 7 W J 3 ”

【非特許文献7】“ H . B u l o w e t a l . , “ O p t i c a l a n d e l e c t r o n i c P M D c o m p e n s a t i o n ” , O F C ' 0 3 , p . 5 4 1 ”

【非特許文献8】“ H . O o i e t a l . , “ A u t o m a t i c P o l a r i z a t i o n - M o d e D i s p e r s i o n C o m p e n s a t i o n i n 4 0 G b i t / s T r a n s m i s s i o n , , I O O C ' 9 9 , W E 5 ”

【非特許文献9】“ D . S a n d e l e t a l . , “ A u t o m a t i c p o l a r i z a t i o n m o d e d i s p e r s i o n c o m p e n s a t i o n i n 4 0 G b i t / s o p t i c a l t r a n s m i s s i o n s y s t e m ” ,

10

20

30

40

50

Electron. Lett., 1998, pp 2258 - 2259”

【非特許文献10】“長岡真：岩波講座ソフトウェア科学14「知識と推論」、岩波書店、1988、pp. 114 - 120”

【発明の開示】

【0028】

そこで、本発明の目的は、ミリ秒単位の高速度で偏波分散を補償するための高速かつ簡便な分散検出装置およびそれを用いた自動分散補償システムを提供することにある。

【0029】

上記の目的を達成するために、本発明の分散検出装置は、光ファイバを通過する光信号をサンプリングした結果に基づいて、該光信号の状態を表すアイパターン波形のアイ開口形状をモニタリングする波形モニタ回路と、前記波形モニタ回路によってモニタリングされた、アイ開口形状を表す情報に基づいて、前記アイパターン波形の電圧方向の開口最大長と位相方向の開口最大長とを検出するアイ開口計算部と、前記アイ開口計算部によって検出された電圧方向の開口最大長を表す情報と位相方向の開口最大長を表す情報とに基づいて、前記光信号の偏波分散量および波長分散量を検出する分散量検出部と、を備えて構成されるものである。なお、ここでは波形モニタ回路を一例として説明を行ったが、以降を含めて波形モニタ部としてもよい。

【0030】

また、本発明の分散量検出部は、前記電圧方向のアイ開口最大長が得られる特定位相位置を基点として、前記位相方向のアイ開口最大長を2つに分けた場合の分割比率を算出することにより、偏波分散量を表す情報である光波形の遅波成分ならびに速波成分のパワー分岐比を検出する偏波分散量検出部を備えて構成されるものである。

【0031】

また、本発明の偏波分散量検出部は、前記電圧方向のアイ開口最大長と位相方向のアイ開口最大長との長さの比率を表す情報を算出し、算出した長さの比率を前記検出したパワー分岐比と掛け合わせることににより、偏波分散量を表す情報である群遅延量を検出するものである。

【0032】

また、本発明の波形モニタ回路は、前記光ファイバ通過後の受信波形から、外部から入力される識別クロックに基づくタイミングで、外部から設定される電圧方向の識別閾値以上のデータをサンプリングする識別器と、前記識別器の識別閾値を設定する回路と、前記識別器に入力する識別クロックの位相を変化させる位相調整回路と、を備え、前記識別器の識別閾値を電圧方向に変化させ、さらに前記識別器に入力する識別クロックの位相を変化させながら、前記受信波形から複数のデータを繰り返しサンプリングすることによりアイパターン波形のアイ開口形状を抽出するものである。

【0033】

また、本発明の分散量検出部は、前記位相方向のアイ開口最大長が得られる特定電圧位置を基点として、前記電圧方向のアイ開口最大長を上下に分けた場合の分割比率を算出すると同時に、電圧方向のアイ開口最大長と位相方向のアイ開口最大長との長さの比率を算出し、算出した長さの比率を前記算出した分割比率と掛け合わせることににより波長分散量を検出する波長分散量検出部を備えて構成されるものである。

【0034】

以上述べたように本発明の分散検出装置によれば、偏波分散に起因する波形劣化については、受信アイパターン波形のアイ開口量が左右で非対称になるという特徴を高速モニタにより抽出したうえで、簡易な計算手法で偏波分散量を検出しているため、ミリ秒単位の高速度で偏波分散を補償することができるという効果が得られる。また、波長分散に起因する波形劣化については、受信アイパターン波形のクロスポイントが中間位置から上側または下側に変動し、かつアイパターン波形の位相方向の開口量が減少するという特徴を、同じく高速モニタにより抽出したうえで、簡易な計算手法で波長分散量を検出しているため、高速で、かつ小型な装置で分散を補償することができるという効果が得られる。



## 【図面の簡単な説明】

【0035】

【図1】従来の自動分散補償システムの一構成例を示す図である。

【図2】従来の自動分散補償システムの他の構成例を示す図である。

【図3】従来の自動分散補償システムのさらに他の構成例を示す図である。

【図4】本発明の一実施形態の分散検出装置の構成を示すブロック図である。

【図5】図4に示した分散検出装置における、偏波分散量の具体的検出方法を示す説明図である。

【図6】図4に示した分散検出装置による偏波分散量の推定結果を示す図である。

【図7】図4に示した分散検出装置における、波長分散量の具体的検出方法を示す説明図である。

10

【図8】図4に示した分散検出装置による波長分散量の推定結果を示す図である。

【図9】図4に示した分散検出装置を用いた自動分散補償システムの一構成例を示す図である。

【図10】図9に示した自動分散補償システムの概略動作を説明するフローチャートである。

【図11】図4に示した分散検出装置を用いた自動分散補償システムの他の構成例を示す図である。

【図12】図4に示した分散検出装置を用いた自動分散補償システムのさらに他の構成例を示す図である。

20

## 【発明を実施するための最良の形態】

【0036】

以下に、本発明を実施するための最良の形態について説明する。

【0037】

まず、偏波分散の影響で劣化した波形から、偏波分散量を検出する場合について述べる。

【0038】

上述のように、偏波分散は、群遅延(DGD)により生じる光波形の遅波成分および速波成分の2つの波が、パワー分岐比で合波されることにより生じる波形劣化である。伝達関数 $z$ は式(1)のように表現される。

30

【0039】

$$(1 - \alpha) + \alpha z^{-DGD/1UI} \quad (1)$$

ここで、 $z$ は伝達関数、 $\alpha$ は入力波に対する遅延波のエネルギー割合、DGDは群遅延、1UIは1シンボル長である。

【0040】

偏波分散に起因する波形劣化では、上記伝達関数におけるパワー分岐比が1:1の場合を除き、受信アイパターン波形のアイ開口量が1シンボル内の左右両端で非対称になることが大きな特徴である。

【0041】

従って、はじめに受信波形を複数点にわたってサンプリングして抽出し、抽出データを基にアイパターン波形のアイ開口形状をモニタリングすることにより、波形の非対称の程度を認識する。この非対称度合いから偏波分散量を推定することができる。

40

【0042】

このように、偏波分散量を検出する第1態様の分散検出装置は、光ファイバを通過する受信信号をサンプリングを行いながら積算し、その結果に基づいてアイパターン波形のアイ開口形状を抽出する波形モニタ回路と、波形モニタ回路にて検出されたアイ開口形状の情報を基に、波形の電圧方向(高さ方向)の開口最大長を検出する電圧方向アイ開口計算部と、波形の位相方向(横方向)の開口最大長を検出する位相方向アイ開口計算部と、検出された電圧方向の開口最大長および位相方向の開口最大長の情報を基に、所定の演算を行うことにより上記光ファイバを通過する光信号の偏波分散量および波長分散量を検出す

50

る分散量検出部と、から構成される。

【0043】

具体的な偏波分散量の検出方法は、次のようになる。受信したアイパターン波形の、電圧方向のアイ開口最大長が得られる特定位相位置を基点として、位相方向のアイ開口最大長を2つに分けた場合の分割比率を算出することにより、偏波分散量を表す情報である光波形の遅波成分ならびに速波成分のパワー分岐比を検出する。また、電圧方向のアイ開口最大長と位相方向のアイ開口最大長との長さの比率を表す情報を算出し、算出した長さの比率をすでに検出を行ったパワー分岐比と掛け合わせることで、偏波分散量を表す情報である群遅延量を検出する。

【0044】

ここで、パワー分岐比が1:1の場合、即ち分岐比が等しい場合は、受信アイパターン波形は、電圧方向、すなわち高さ方向にアイ開口がつぶれるだけで、左右の対称性が崩れることはない。

【0045】

したがって、分散量検出部は、電圧方向のアイ開口量を1シンボル長の左右で比較したときに、非対称性ではなかった場合は、 $\theta = 0$ または50%であると判定する。その後、非対称であった場合は具体的な $\theta$ 値を推測することになる。

【0046】

次に、波長分散の影響で劣化した波形から、波長分散量を検出する場合について述べる。

【0047】

波長分散に起因する波形劣化の場合は、偏波分散での波形劣化とは対照的に、受信した波形のアイパターンのクロスポイントが中間位置から上側または下側に変動し、かつアイパターン波形の位相方向余裕が減少するのが特徴である。

【0048】

そのため、上述したような受信アイパターン波形の電圧方向のアイ開口量、位相方向のアイ開口量およびクロスポイントの変動量を検出したうえで演算処理を行うことで、波長分散量を推定することが可能となる。

【0049】

具体的な波長分散の検出方法は、次のようになる。受信アイパターン波形における、位相方向のアイ開口最大長が得られる特定電圧位置を基点として、電圧方向のアイ開口最大長を上下に分けた場合の分割比率を算出すると同時に、電圧方向のアイ開口最大長と位相方向のアイ開口最大長との長さの比率を算出し、算出した長さの比率を、先程算出した分割比率と掛け合わせることで、波長分散量を検出する。

【0050】

次に、上述した分散検出装置を用いた自動分散補償システムについて説明する。

【0051】

本自動分散補償システムは、光ファイバを通過する光信号を、光信号から電気信号に変換する光電気変換回路と、光電気変換回路にて電気信号に変換された受信信号の分散による波形劣化を補償する電気分散補償器と、電気分散補償器に入力される受信波形を基にして分散量を検出する分散検出装置と、電気分散補償器を通過した信号から、クロック信号の再生ならびに抽出、およびデータ信号のリカバリを行うクロックデータリカバリ回路と、分散検出装置にて検出された偏波分散量の検出結果を基に、電気分散補償器の補償係数およびクロックデータリカバリ回路の識別閾値を制御するアダプティブ補償量制御部と、を備える。補償係数および識別閾値の決定に際しては、例えば、分散量と補償係数および識別閾値との相関関係を表すルックアップデータをルックアップデータテーブルに予め格納しておき、このルックアップデータを用いるという手法を採ることができる。

【0052】

以上述べた分散検出装置により、初期設定時およびサービス運用時の両方の場合において、偏波分散または波長分散による波形劣化量を推定し、分散量の検出ができるようにな

10

20

30

40

50

る。また、サービス運用中における、温度変化などの影響による比較的低速な分散変動だけでなく、機械的な振動等の影響によるミリ秒単位の高速な分散変動に対しても、その変動量を検出可能である。

【 0 0 5 3 】

また、受信波形を高速モニタした情報を用い、簡易な演算で分散量を検出する構成であるため、符号誤り率などの情報を用いる場合に比べて、検出までの処理の繰り返し回数が低減され、ミリ秒単位の高速で変動する偏波分散を自動補償するのに十分対応可能である。

【 0 0 5 4 】

また、これらの分散検出装置を用いた自動分散補償システムのルーチンは、偏光制御などの光部品の制御を用いず、電気処理で全てが可能になることから、光部品を用いた場合に比べて小型集積化が可能であり、部品点数の削減、低コスト化が可能である。

【 0 0 5 5 】

以下、図 4 から図 8 を参照して、本発明の分散検出装置の具体的な実施形態について説明する。

【 0 0 5 6 】

図 4 は、本発明の一実施形態の分散検出装置の構成を示すブロック図である。本実施形態の分散検出装置は、伝送路である光ファイバにおける偏波分散量または波長分散量を検出する。

【 0 0 5 7 】

図 4 を参照すると、本実施形態の分散検出装置は、光ファイバから受信した信号をモニタする受信波形モニタ部 1 と、受信波形モニタ部 1 にてモニタされた受信アイパターン波形を基に、アイパターンの電圧方向のアイ開口量を検出する電圧方向アイ開口計算モジュール 4 と、アイパターンの位相方向のアイ開口量を検出する位相方向アイ開口計算モジュール 5 と、分散量を検出する分散量検出部 6 と、を有している。

【 0 0 5 8 】

受信波形モニタ部 1 は、波形モニタモジュール 2 と、アイパターン検出モジュール 3 と、を有している。

【 0 0 5 9 】

波形モニタモジュール 2 は、受信した光ファイバ伝送信号をリアルタイムでサンプリングする。

【 0 0 6 0 】

アイパターン検出モジュール 3 は、波形モニタモジュール 2 でサンプリングするデータのサンプリングポイントの制御を行うのと同時に、サンプリングデータの積算を行い、その計算結果を用いてアイパターン波形を再生する。具体的には、アイパターン検出モジュール 3 は、波形モニタモジュール 2 に入力されるデータの識別閾値とクロック位相を徐々に掃引させるように制御を行う。これにより、波形モニタモジュール 2 では、振幅方向と位相方向の両方を掃引させながらデータサンプリングを行うことになり、このデータを複数点積算処理、平均化処理を施すことによって、アイパターン波形を表す情報（データ）が再生される。

【 0 0 6 1 】

次に、電圧方向アイ開口計算モジュール 4 は、受信波形モニタ部 1 にて検出されたアイパターンのアイ開口形状を表す情報を基に、波形の電圧方向（高さ方向）の開口最大長を検出する。一方、位相方向アイ開口計算モジュール 5 は、同じく検出されたアイパターンのアイ開口形状を表す情報を基に、波形の位相方向（横方向）の開口最大長を検出する。

【 0 0 6 2 】

分散量検出部 6 は、偏波分散量検出モジュール 7 および波長分散検出モジュール 8 から構成され、上述のように検出された電圧方向の開口最大長および位相方向の開口最大長の情報を基に所定の演算を行うことにより、伝送信号の偏波分散量または波長分散量を検出する。この分散量推定方法の詳細を、偏波分散の場合は図 5 および図 6 を用いて、波長分

10

20

30

40

50

散の場合は図7および図8を用いて、それぞれ詳細に説明する。なお、図5および図7に示すアイパターン波形から分散量を推定する方法の図に関しては、以降の説明において、縦軸は、規格化された電圧 (a.u. : Arbitrary Unit) の電圧方向となっており、電圧は、波形の一番低電圧の部分をも、一番高電圧の部分をも1として換算している。一方、横軸は、規格化された位相の位相方向となっており、位相は、波形の1ユニットインターバル長をも1として換算している。

【0063】

まず、図5を用いて偏波分散の推定方法を具体的に説明する。

【0064】

上述のように、偏波分散は、群遅延 (DGD) により生じる光波形の遅波成分および速波成分の2つの波が、パワー分岐比で合波されることにより生じる波形劣化であり、1:1の場合を除き、受信アイパターン波形のアイ開口量が1シンボル内の左右両端で非対称になることが大きな特徴である。このため、図5に示すように、電圧方向のアイ開口最大長Aが得られる位相位置を基点 (即ち電圧方向のアイ開口最大長Aと位相方向アイ開口最大長Bとの交点をベース) として、位相方向のアイ開口の左側をa、右側をbと分割すると、分岐比は、式(2)のように表される。

【0065】

$$= x (a / (a + b)) \quad (2)$$

ここで、 $x$  は定数、 $a / (a + b)$  は左右のアイ開口非対称比率を表す。

【0066】

一方、電圧方向アイ最大開口は、群遅延量DGDが増大するほど減少し、非対称比率 $a / (a + b)$ に応じて変動するため、式(3)のように表される。

【0067】

$$DGD = y (B / A) / (a / (a + b)) \quad (3)$$

ここで、 $y$  は定数である。

【0068】

以上、波形モニタ結果を用いて、式(2)および式(3)に示す所定の演算を行うことにより、偏波分散量を検出することが可能である。

【0069】

図6に、上記の式(3)に示す分散検出装置を用いて、実際の光ファイバ伝送システムにて偏波分散量を推定した結果を示す。なお、横軸は、実際に光ファイバで生じているDGDを示し、縦軸は、式(3)を用いて推定したDGD量を示す。斜線が実際の数値と推定量が一致した場合の理想直線を示し、プロットで示す実際の推定結果が理想直線から近いほど、推定値の誤差が少ないことを示している。図6の結果から、DGDの推定結果は誤差 $\pm 2$  ps以内で、精度よく偏波分散量を検出できていることがわかる。

【0070】

次に、図7を用いて波長分散の推定方法を具体的に説明する。

【0071】

波長分散に起因する波形劣化の場合は、上述の偏波分散での波形劣化とは対照的に、受信した波形のアイパターンのクロスポイントが中間位置から上側または下側に変動し、かつアイパターン波形の位相方向の開口量が減少するのが特徴である。このため、図7に示すように、位相方向のアイ開口最大長Bが得られる電圧位置を基点 (即ち電圧方向のアイ開口最大長Aと位相方向アイ開口最大長Bとの交点をベース) として、電圧方向のアイ開口の上側をc、下側をdと分割すると、CD分散は、その分散量が増大するほどアイパターンのクロスポイント位置が中心からずれていくことから、式(4)のように表される。

【0072】

$$CD = z (B / A) \times (c / (c + d)) \quad (4)$$

ここで、 $z$  は定数である。

【0073】

以上に示すように、波形モニタ結果を用いて、式(4)に示す所定の演算を行うことに

10

20

30

40

50

より、波長分散量を検出することが可能である。

【0074】

図8に、上記の式(4)に示す分散検出装置を用いて、実際の光ファイバ伝送システムにて波長分散量を推定した結果を示す。なお、横軸は、実際に光ファイバで生じている波長分散量CDを示し、縦軸は、式(4)を用いて推定した波長分散量を示す。斜線が実際の数値と推定量が一致した場合の理想直線を示し、プロットで示す実際の推定結果が理想直線から近いほど、推定値の誤差が少ないことを示している。図8の結果から、波長分散の推定結果は誤差 $\pm 3$  p s以内で精度よく検出できていることがわかる。

【0075】

以上のように、本実施形態では、波長分散または偏波分散に起因した波形劣化の典型的な特徴を、受信波形を高速サンプリングならびにモニタした情報を用い、簡易な演算で分散量を検出する構成であるため、符号誤り率などの情報を用いる関連モニタ技術などに比べて、分散の変動を高速に検出することが可能であると同時に、光部品や複雑な制御を適用しないことから、装置の小型化にも寄与することができる。また、例えば、波形モニタにより受信した波形の、分散による特徴的な波形劣化形状を、あらかじめ保存されたルックアップデータテーブルと比較することで偏波分散量または波長分散量を推定するような分散検出装置の場合、高精度な分散量推定を行うためには、膨大な波形劣化形状のデータを蓄積しておかなければならず、ハードウェアにおいて膨大なメモリ装置が必要になる。これに対して、本実施形態の分散検出装置では、これらの蓄積データが不要で、比較的簡易な演算で分散量推定が可能のため、この一面からも装置の簡略化、低コスト化に寄与

10

20

【実施例】

【0076】

(第1の実施例)

図9は、図4に示した分散検出装置を用いた自動分散補償システムの一実施例を示す図である。

【0077】

図9を参照すると、本例の自動分散補償システムは、上述の受信波形モニタ部1と、受信波形モニタ部1にてモニタされた受信アイパターン波形から、アイパターンの電圧方向のアイ開口量を検出する電圧方向アイ開口計算モジュール4と、アイパターンの位相方向のアイ開口量を検出する位相方向アイ開口計算モジュール5と、分散量を検出する分散量検出部6と、光電変換回路9と、電気分散補償器10と、クロックデータリカバリ回路(CDR: clock data recovery)11と、アダプティブ補償量制御モジュール12と、ルックアップデータテーブルモジュール13と、を有している。

30

【0078】

光電変換回路9は、光ファイバを伝送されてきた受信信号を光信号から電気信号に変換する。

【0079】

電気分散補償器10は、光電変換回路9にて電気信号に変換された受信信号の偏波分散または波長分散による波形劣化を補償する。

40

【0080】

クロックデータリカバリ回路11は、電気分散補償器10を通過した信号を基に、クロック信号の再生および抽出、そしてさらにデータ信号のリカバリを行う。

【0081】

波形モニタモジュール2は、識別器14と、位相インターポレータ16と、カウンタ19と、を有している。

【0082】

アイパターン検出モジュール3は、変動閾値制御回路15と、位相コントローラ17と、タイマー回路18と、時間微分回路20と、を有している。

【0083】

50

識別器 14 は、位相インターポレータ 16 および位相コントローラ 17 で位相が調整された識別クロックに基づくタイミングで、電気分散補償器 10 を通過する前の受信波形から、変動閾値制御回路 15 で調整された識別閾値を判別基準にして、データの識別サンプリングを行う。この識別サンプリングの際、識別閾値と、識別クロック位相はタイマー回路を用いて徐々に掃引制御が行われる。これにより、振幅方向と位相方向の両方を掃引させながらデータサンプリングが行われることになる。

【0084】

上記により得られるサンプリングデータを、時間微分回路 20 において、積算、微分値算出、平均化などの処理を施すことにより、アイパターン波形が再生される。

【0085】

次に、電圧方向アイ開口計算モジュール 4 は、波形モニタ部 1 にて検出されたアイパターンのアイ開口形状の情報を基に、波形の電圧方向（高さ方向）の開口最大長を検出する。一方、位相方向アイ開口計算モジュール 5 は、同じく検出されたアイパターンのアイ開口形状の情報を基に、波形の位相方向（横方向）の開口最大長を検出する。

【0086】

分散量検出部 6 では、検出された電圧方向の開口最大長および位相方向の開口最大長の情報を基に、所定の演算を行うことにより伝送信号の偏波分散量または波長分散量を検出する。なお、本例においては、偏波分散量を推定する場合を例に記載を行っているが、本分散検出装置を用いれば、波長分散量を推定することも可能である。

【0087】

アダプティブ補償量制御モジュール 12 は、分散量検出部 6 にて検出された偏波分散量の検出結果を基に、電気分散補償器 10 の最適な補償係数およびクロックデータリカバリ回路 11 の識別閾値の最適値を決定する制御を行う。ここで、補償係数および識別閾値の決定に際しては、例えば、偏波分散量と補償係数の相関関係、および、偏波分散量と識別閾値との相関関係を表すルックアップデータをルックアップデータテーブルモジュール 13 に予め格納しておき、このルックアップデータを用いて、補償係数、ならびに識別閾値を決定するという手法を採ることができる。

【0088】

図 10 は、図 9 に示した自動分散補償システムの概略動作を説明するフローチャートである。

【0089】

図 10 を参照すると、まず、受信波形モニタ部 1 は、受信波形が入力されると（ステップ 701）、受信波形を、識別閾値を電圧方向に変化させながらサンプリングし（ステップ 702, 703）、あるクロック位相点での電圧方向のデータ抽出を行う（ステップ 704）。さらに、受信波形モニタ部 1 は、クロック位相を変化させながら（ステップ 705）、ステップ 702 ~ 704 を繰り返す。これにより、受信アイパターンを表す情報が検出され、アイパターン波形が再生される（ステップ 706）。

【0090】

次に、分散量検出部 6 では、受信波形モニタ部 1 で抽出された受信アイパターン波形を解析することで、電圧方向の最大アイ開口量を検出するとともに（ステップ 707）、位相方向の最大アイ開口量を検出する（ステップ 708）。

【0091】

次に、分散量検出部 6 では、得られた電圧方向のアイ開口最大長 A の位相位置を基点（即ち電圧方向のアイ開口最大長 A と位相方向アイ開口最大長 B との交点をベース）として、位相方向のアイ開口の左側を a、右側を b と分割し、非対称比率  $a / (a + b)$  が 0.5 に等しい場合は、パワー分岐比 を 0.5 または 0 と判別する（ステップ 709, 710）。一方、非対称比率が 0.5 以外の場合には、 を推定し（ステップ 711）、さらに DGD 量を検出する（ステップ 712）。

【0092】

その後、アダプティブ補償量制御モジュール 12 では、分散量検出部 6 で得られたパワ

10

20

30

40

50

一分岐比 および群遅延 DGD 量の検出結果を基に、電気分散補償器 10 の最適な補償係数と、クロックデータリカバリ回路 11 の識別閾値の最適値を決定し、決定した値を電気分散補償器 10 とクロックデータリカバリ回路 11 に設定する（ステップ 713）。この補償係数および識別閾値の決定に際しては、先ほど述べたように、例えば偏波分散量と補償係数、および、偏波分散量と識別閾値との相関関係を表すルックアップデータをルックアップデータテーブルモジュール 13 に予め格納しておき、上述した推定分散量を参照キーにして、このルックアップデータから補償係数および識別閾値を入手するという手法を採用することができる。

#### 【0093】

以上のように本実施例によれば、偏波分散に起因した波形劣化の典型的な特徴といえる受信アイパターン波形の左右非対称度合いを、高速モニタ検出したデータを基に抽出し、偏波分散量を検出する。よって、簡易な演算で分散量を検出する構成であるため、符号誤り率などの情報を用いる場合に比べて、検出までの処理の繰り返し回数が低減され、ミリ秒単位の高速で変動する偏波分散を自動補償することが可能となる。また、高速波形モニタを用いるため、初期設定時およびサービス運用時の両方の場合において、偏波分散による波形劣化量を推定し、分散量の検出ができるようになる。また、サービス運用中における、温度変化などの影響による比較的低速な分散変動だけでなく、機械的な振動等の影響によるミリ秒単位の高速な分散変動に対しても、その変動量を検出可能である。さらに、偏光制御などの光部品の制御を用いず、電気処理で全てが可能になることから、光部品を用いた場合に比べて小型集積化が可能であり、部品点数の削減、低コスト化が可能である。

#### 【0094】

（第 2 の実施例）

図 11 は、図 4 に示した分散検出装置を用いた自動分散補償システムの他の構成例を示す図である。

#### 【0095】

図 11 を参照すると、本実施例の自動分散補償システムは、受信部として、上述の受信波形モニタ部 1 と、電圧方向アイ開口計算モジュール 4 と、位相方向アイ開口計算モジュール 5 と、分散量検出部 6 と、光電変換回路 9 と、クロックデータリカバリ回路 11 と、を有している。また、送信部として、マルチプレクサ（MUX：multiplexer）21 と、電気イコライザ回路 22 と、光変調器ドライバ回路 23 と、光変調器 24 と、レーザダイオード 25 と、アダプティブ補償量制御モジュール 12 と、ルックアップデータテーブルモジュール 13 と、を有している。

#### 【0096】

光電変換回路 9 は、光ファイバを伝送されてきた受信信号を光信号から電気信号に変換する。

#### 【0097】

クロックデータリカバリ回路 11 は、受信信号を基に、クロック信号の再生および抽出、さらにデータ信号のリカバリを行う。

#### 【0098】

受信波形モニタ部 1 は、光ファイバから受信した受信波形をモニタし、分散量検出部 6 は、受信波形モニタ部 1 にてモニタされた受信波形の偏波分散量を検出する。なお、本実施例においては、偏波分散量を推定する場合を例に記載を行っているが、本分散検出装置を用いれば、波長分散量を推定することも可能である。受信波形モニタ処理部 1 および分散量検出部 6 の構成および動作は、図 10 に示したものと同様であるため、本実施例における詳細な説明を省略する。

#### 【0099】

マルチプレクサ 21 は、送信先に送信する送信信号を並列直列変換する。

#### 【0100】

電気イコライザ回路 22 は、分散量検出部 6 にて検出された偏波分散量の検出結果を基

10

20

30

40

50

に、送信信号の周波数特性を補正する。

【 0 1 0 1 】

光変調器ドライバ回路 2 3 は、電気イコライザ回路 2 2 の出力信号を基に、光変調器 2 4 を制御する。

【 0 1 0 2 】

光変調器 2 4 は、光変調器ドライバ回路 2 3 の制御の基で、レーザダイオード 2 5 から発光した光信号を変調する。

【 0 1 0 3 】

上述したように本実施例においては、受信部での偏波分散量の検出結果を送信部にフィードバックし、予め波形の劣化量を見越して分散補償処理を施した送信信号を受信先に送信することで補償量を最適化している。

10

【 0 1 0 4 】

( 第 3 の実施例 )

図 1 2 は、図 4 に示した分散検出装置を用いた自動分散補償システムのさらに他の構成例を示す図である。

【 0 1 0 5 】

図 1 2 を参照すると、本実施例の自動分散補償システムは、受信部として、上述の受信波形モニタ部 1 と、電圧方向アイ開口計算モジュール 4 と、位相方向アイ開口計算モジュール 5 と、分散量検出部 6 と、光電変換回路 9 と、クロックデータリカバリ回路 1 1 と、を有している。また、送信部として、マルチプレクサ ( M U X : m u l t i p l e x e r ) 2 1 と、電気イコライザ回路 2 2 と、光変調器ドライバ回路 2 3 と、光変調器 2 4 と、レーザダイオード 2 5 と、を有している。また、外部モジュールとして、アダプティブ補償量制御モジュール 1 2 と、ルックアップデータテーブルモジュール 1 3 と、を有している。

20

【 0 1 0 6 】

光電変換回路 9 は、光ファイバを伝送されてきた受信信号を光信号から電気信号に変換する。

【 0 1 0 7 】

クロックデータリカバリ回路 1 1 は、受信信号を基に、クロック信号の再生および抽出、さらにデータ信号のリカバリを行う。

30

【 0 1 0 8 】

受信波形モニタ部 1 は、光ファイバから受信した受信波形をモニタし、分散量検出部 6 は、受信波形モニタ部 1 にてモニタされた受信波形の偏波分散量を検出する。なお、本実施例においては、偏波分散量を推定する場合を例に記載を行っているが、本分散検出装置を用いれば、波長分散量を推定することも可能である。受信波形モニタ処理部 1 および分散量検出部 6 の構成および動作は、図 1 0 に示したものと同様であるため、本実施例における詳細な説明を省略する。

【 0 1 0 9 】

マルチプレクサ 2 1 は、送信先に送信する送信信号を並列直列変換する。

【 0 1 1 0 】

電気イコライザ回路 2 2 は、分散量検出部 6 にて検出された偏波分散量の検出結果を基に、送信信号の周波数特性を補正する。

40

【 0 1 1 1 】

光変調器ドライバ回路 2 3 は、電気イコライザ回路 2 2 の出力信号を基に、光変調器 2 4 を制御する。

【 0 1 1 2 】

光変調器 2 4 は、光変調器ドライバ回路 2 3 の制御の基で、レーザダイオード 2 5 から発光した光信号を変調する。

【 0 1 1 3 】

本実施例においては、受信部での偏波分散量の検出結果を基に、送信側に設置した電気

50



イコライザ回路 2 2 に入力される補償係数、および、受信側に設置したクロックデータリカバリ回路 1 1 に入力される識別閾値を、外部モジュールとして設置されているアダプティブ補償量制御モジュール 1 2 での演算およびルックアップデータテーブルモジュール 1 3 を用いて決定する。決定された補償係数は、送信部の電気イコライザ回路 2 2 にフィードバックされ、予め波形の劣化量を見越して分散補償処理を施した送信信号を受信先に送信することで、補償量を最適化する。また、決定された識別閾値は、受信部のクロックデータリカバリ回路 1 1 にフィードバックされ、上述した送信側でのイコライザ処理により補償量を調整したにもかかわらず、まだ劣化状態が残存する波形に対して、最適な識別点での識別を可能にし、受信部での伝送エラー低減を可能にする。

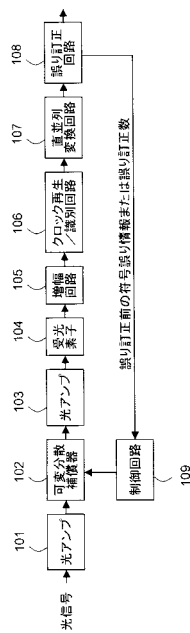
【 0 1 1 4 】

以上、実施形態および実施例を参照して本発明を説明したが、本発明は上記実施形態および上記実施例に限定されるものではない。本発明の構成や詳細には、本発明の範囲内で当業者が理解し得る様々な変更をすることができる。

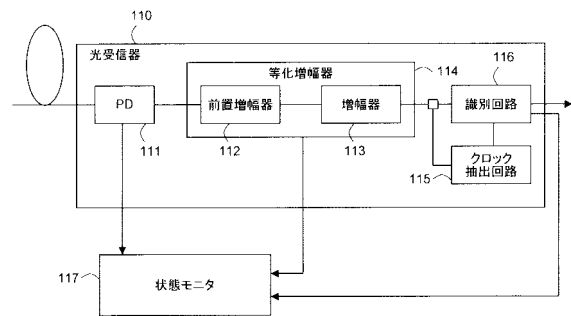
【 0 1 1 5 】

本出願は、2008年5月27日に出願された日本出願特願 2008 - 138163 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。

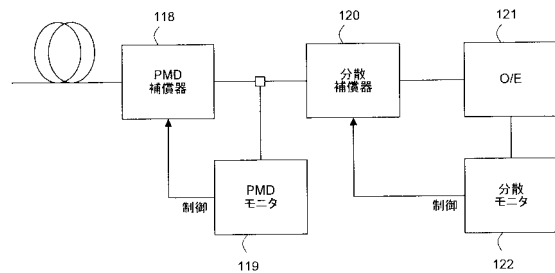
【 図 1 】



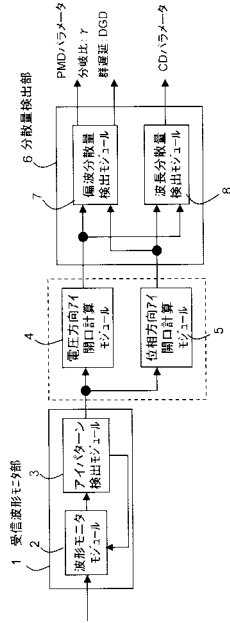
【 図 2 】



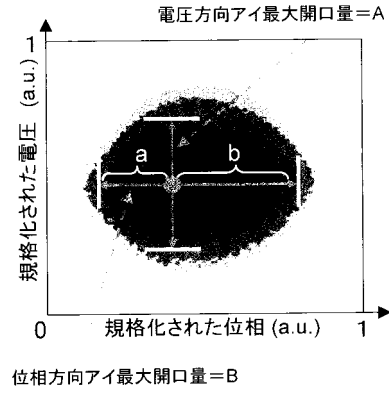
【 図 3 】



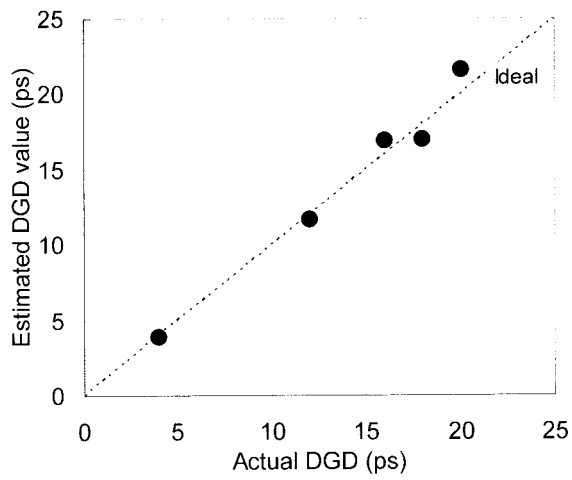
【 図 4 】



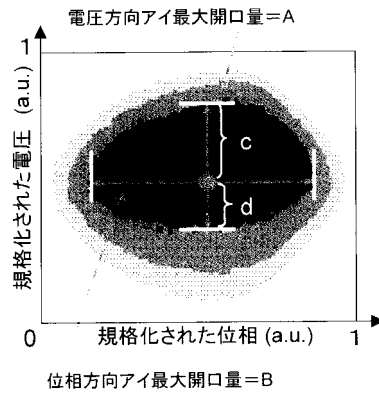
【 図 5 】



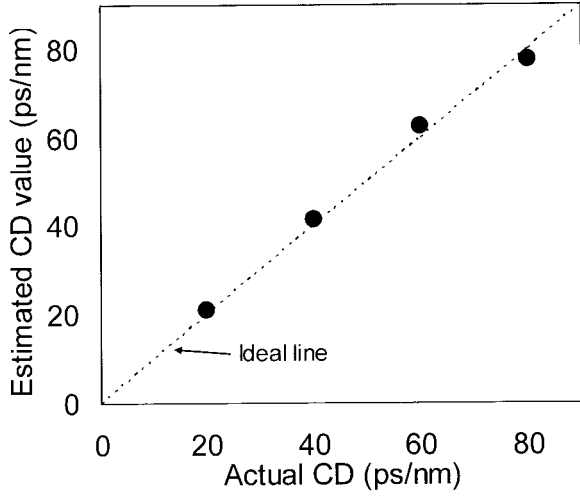
【 図 6 】



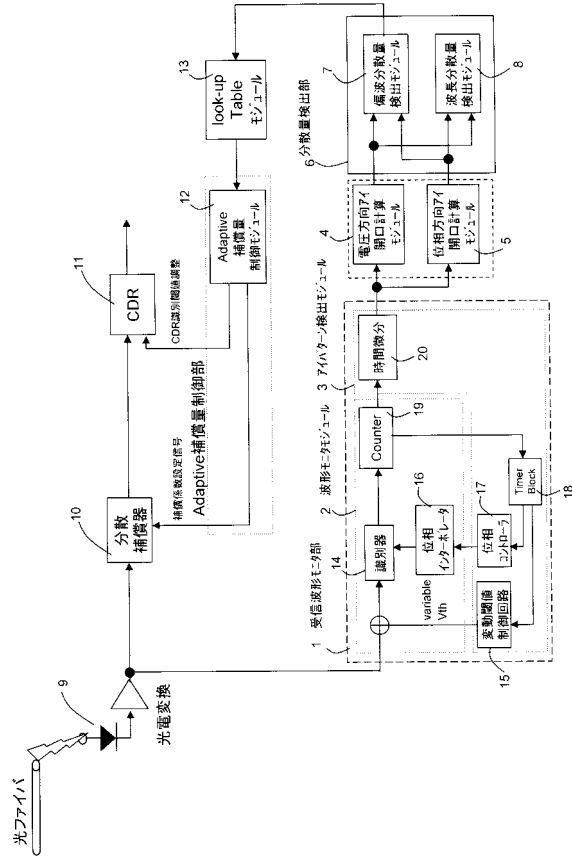
【 図 7 】



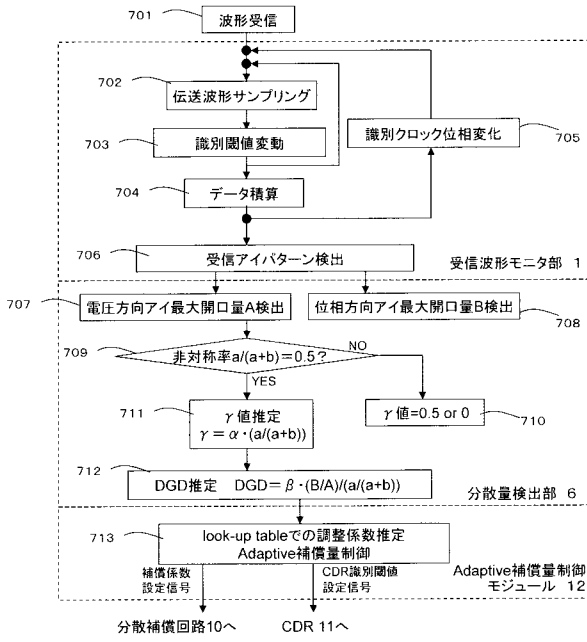
【図8】



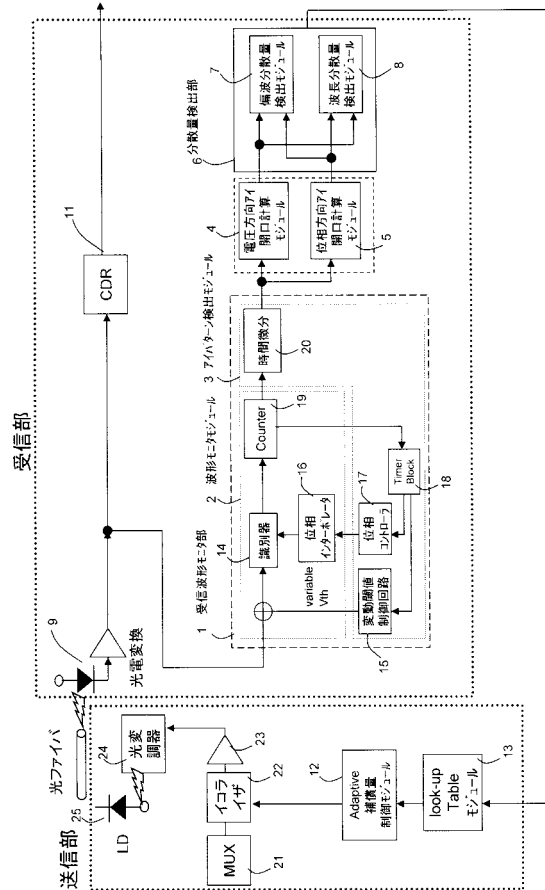
【図9】



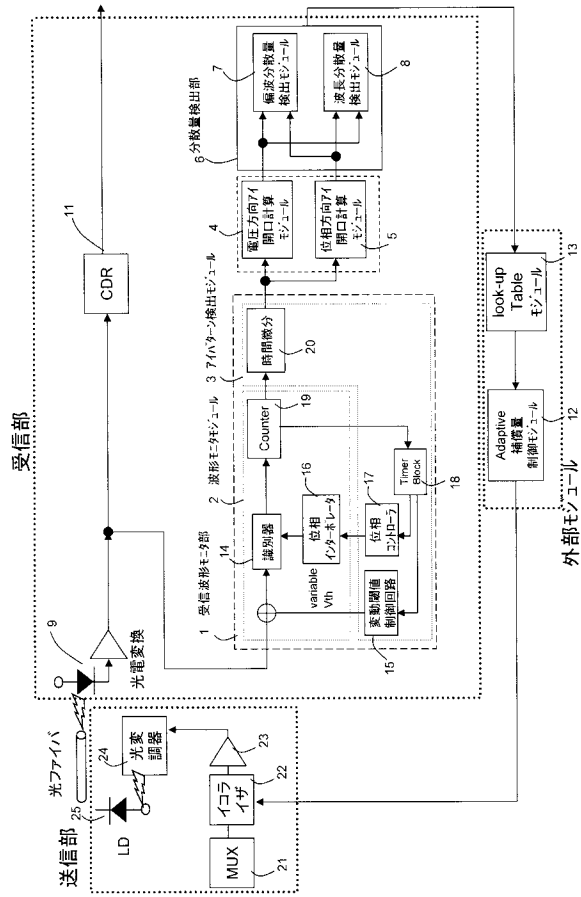
【図10】



【図11】



【図12】



---

フロントページの続き

(56)参考文献 国際公開第2008/065784(WO, A1)

特開2007-329767(JP, A)

特開2004-222240(JP, A)

特開2005-159553(JP, A)

特表2003-526255(JP, A)

特表2003-503738(JP, A)

特開2001-320329(JP, A)

特開2004-304559(JP, A)

Zhihong Li, Guifang Li, Chromatic Dispersion and Polarization-Mode Dispersion Monitoring for RZ-DPSK Signals Based on Asynchronous Amplitude-Histogram Evaluation, JOURNAL OF LIGHTWAVE TECHNOLOGY, 2006年 7月, VOL.24, NO.7, pp.2859-2866

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

H04B 10/00 - 10/90

H04J 14/00 - 14/08

G01M 11/02