

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 特 許 公 報 (B2)

(11) 特許番号

特許第4972251号
(P4972251)

(45) 発行日 平成24年7月11日 (2012. 7. 11)

(24) 登録日 平成24年4月13日 (2012. 4. 13)

(51) Int. Cl.

F I

G O 2 B 27/28 (2006. 01)
H O 4 B 10/18 (2006. 01)
H O 4 B 10/02 (2006. 01)

G O 2 B 27/28 Z
H O 4 B 9/00 M

請求項の数 9 外国語出願 (全 8 頁)

(21) 出願番号 特願2001-195908 (P2001-195908)
(22) 出願日 平成13年6月28日 (2001. 6. 28)
(65) 公開番号 特開2002-82311 (P2002-82311A)
(43) 公開日 平成14年3月22日 (2002. 3. 22)
審査請求日 平成20年6月30日 (2008. 6. 30)
(31) 優先権主張番号 00401942.8
(32) 優先日 平成12年7月6日 (2000. 7. 6)
(33) 優先権主張国 欧州特許庁 (EP)

(73) 特許権者 391030332
アルカテルルーセント
フランス国、75007・パリ、 アブニ
ユ・オクターブ・グレアール、 3
(74) 代理人 100062007
弁理士 川口 義雄
(74) 代理人 100114188
弁理士 小野 誠
(72) 発明者 ドウニ・ペナンクス
フランス国、91620・ノザイ、リュ・
パストゥール、 5
(72) 発明者 ステファニー・ラヌ
フランス国、75014・パリ、リュ・デ
・プラント、 41

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 偏光モード分散の補償

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

差分群遅延 (D G D) 発生器 (5) に結合された偏光コントローラ (3) を用いて、伝送光信号の偏光モード分散 (P M D) を補償するための方法であって、偏光コントローラ (3) はフィードバックループによって制御され、前記フィードバックループが最適化アルゴリズムを実行して、D G D 発生器 (5) の出力信号のフィードバックパラメータを最適化し、最適化アルゴリズムは、偏光コントローラ (3) の出力信号または D G D 発生器 (5) の出力信号から決定される光信号の偏光状態 (S O P) を考慮し、偏光状態のポアンカレ球表現において、偏光コントローラは、前記信号の偏光状態を表す点の、前記ポアンカレ球の原点を通る回転軸の周りの回転を与え、前記回転軸および前記点の間の距離が、前記最適化アルゴリズムによって考慮されることを特徴とする伝送光信号の偏光モード分散 (P M D) を補償するための方法。

10

【請求項 2】

フィードバックパラメータが偏光度 (D O P) であることを特徴とする請求項 1 に記載の方法。

【請求項 3】

S O P が、D G D 発生器 (5) の出力信号から測定されるストークスパラメータから計算されることを特徴とする請求項 1 に記載の方法。

【請求項 4】

偏光コントローラ (3) が、少なくとも 1 つの複屈折エレメント (4) を備え、各複屈

20

折エレメント(4)に対して、角度 α が固定であり、回転角度 β が可変であり、角度 α は、ポアンカレ球(20)の赤道面(24)上の回転軸(23)と座標系のx軸(22)との間の角度であり、回転角度 β は、回転軸(23)の周囲の回転を定義することを特徴とする請求項1から3のいずれか一項に記載の方法。

【請求項5】

ポアンカレ球(20)上のSOPの位置にある各複屈折エレメント(4)の効果が決定されていることを特徴とする請求項1から4のいずれか一項に記載の方法。

【請求項6】

差分群遅延(DGD)発生器(5)に結合された偏光コントローラ(3)を備えた、伝送光信号の偏光モード分散(PMD)を補償するための装置であって、偏光コントローラ(3)はフィードバックループによって制御され、前記フィードバックループは最適化アルゴリズムを実行して、DGD発生器(5)の出力信号のフィードバックパラメータを最適化し、フィードバックループ(8)が、偏光コントローラ(3)の出力信号またはDGD発生器(5)の出力信号から決定される光信号の偏光状態(SOP)を測定するための手段(9)と、最適化アルゴリズムを実行する計算ユニット(10)とを備え、そのステップがSOPによって決まり、偏光状態のポアンカレ球表現において、偏光コントローラは、前記信号の偏光状態を表す点の、前記ポアンカレ球の原点を通る回転軸の周りの回転を与え、前記回転軸および前記点の間の距離が、前記最適化アルゴリズムによって考慮されることを特徴とする伝送光信号の偏光モード分散(PMD)を補償するための装置。

【請求項7】

SOPが、DGD発生器(5)の出力信号から測定されるストークスパラメータから計算されることを特徴とする請求項6に記載の装置。

【請求項8】

偏光コントローラ(3)が、少なくとも1つの複屈折エレメント(4)を備えることを特徴とする請求項6に記載の装置。

【請求項9】

DGD発生器(5)が、少なくとも1本の偏光保存ファイバ(PMF)(6)を備えることを特徴とする請求項6に記載の装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

本発明は、差分群遅延発生器に結合され、制御アルゴリズムによって計算されるフィードバック信号によって制御される偏光コントローラを用いて、伝送光信号の偏光モード分散(PMD)を補償するための方法および装置に関する。

【0002】

【従来の技術】

当技術分野においては、このタイプの方法および装置は、EP-0 853 395によって知られている。

【0003】

ファイバリンクは、そのすべてのタイプにおいて、偏光モード分散なる現象を呈している。すなわち、放出器端末から放出され、ファイバリンクを介して伝送されるインパルスあるいは信号は、変形した状態で受信器端末に受信される。信号の継続期間は、放出時の継続期間より長くなる。この変形は、伝送中に光信号が偏光解除することによるものである。ファイバリンクの他端で受信される信号は、2つの直角成分とみなすことができる。1つは、最大伝搬速度を有する偏光状態(SOP)に対応し、もう1つは、最小伝搬速度を有するSOPに対応している。つまり、ファイバリンクの他端で受信される信号は、先に到達する、優位偏光SOPで偏光された第1の信号と、差分群遅延と呼ばれる、特にファイバリンクの長さによって決まる遅延時間だけ遅れて到達する、第2の遅延SOPで伝搬する第2の信号から構成されているとみなすことができる。

【0004】

放出器端末が極めて短いインパルスの光信号を放出すると、互いに直角に偏光され、かつ、差分群遅延に相当する遅延時間を有する２つの連続するインパルスからなる光信号が受信器端末で受信される。この遅延時間は、数年前に製造された単モードファイバを備えた、長さ１００kmのリンクに対して、２０ps程度である。受信器端末で受信されるインパルスの変形は、伝送データの復号誤りの原因となり、そのため、偏光モード分散は、アナログやデジタル光リンクの性能を制限する要因になっている。

【０００５】

偏光保存ファイバとも呼ばれる、強偏光モード分散を有するファイバが知られている。このファイバは、ファイバの短い区画を用いることにより、固定の差分群遅延を付加することができる。偏光モード分散の光補償は、強偏光モード分散を有するファイバリンクによって生じる２つの直角偏光モードの間に、このような要素あるいは全差分群遅延発生器を配置することによって実現することができる。偏光モード分散の光補償は、ファイバリンクと同じ差分群遅延を有する偏光保存ファイバ（PMF）を用い、低速原理的SOPと高速原理的SOPとを交換し、あるいは、ファイバリンクおよびPMFからなるシステムの原理的SOPを、放出源のSOPに一致させることによって実施することができる。このために、ファイバリンクとPMFとの間に偏光コントローラが設けられている。

10

【０００６】

差分群遅延の値およびリンクの原理的SOPは、温度および振動によって常に変化する。そのため補償手段は適応的でなければならず、また、少なくとも、補償するすべての差分遅延値に等しくなるように、PMFの差分群遅延を選択しなければならない。

20

【０００７】

光伝送システムにおけるこのようなPMD補償手段は、EP 0853 395 A1によって知られている。このPMD補償手段は、偏光コントローラおよび差分群遅延発生器を備えている。これらコントローラと発生器はファイバリンクと受信器端末との間に配置されている。フィードバックループは、DGD発生器によって分配される光信号の偏光度（DOP）を測定し、偏光コントローラに供給して、測定されたDOPを最適化する。しかし、DOPをフィードバック変数として使用すると、偏光コントローラの制御値を計算するためのアルゴリズムが複雑になる。また、偏光コントローラ内の複屈折エレメントの巻戻しも、大きな問題となる。

【０００８】

30

【発明が解決しようとする課題】

したがって本発明の目的は、偏光コントローラを高速かつ高精度で制御するための方法および装置を提供することである。

【０００９】

【課題を解決するための手段】

本発明の第１の態様においては、上記問題は、差分群遅延（DGD）発生器に結合され、かつ、フィードバックループによって制御される偏光コントローラを用いて、伝送光信号の偏光モード分散（PMD）を補償するための方法および装置によって解決される。前記フィードバックループは最適化アルゴリズムを実行し、DGD発生器の出力信号のフィードバックパラメータを最適化する。上記アルゴリズムは、偏光コントローラの出力信号またはDGD発生器の出力信号から決定される光信号の偏光状態（SOP）を考慮する。フィードバックパラメータはDOPであり、電気スペクトル幅の測定値であり、あるいはアイの開きの測定値等である。測定手順が共通であるため、フィードバックパラメータはDOPであることが好ましい。フィードバックパラメータとしてDOPを使用する場合、DGD発生器の出力部でDOPを測定することがより実際の（同じ機器を使用することができるため）であるが、DOPをDGD発生器の入力部で測定する場合も、同じである。

40

【００１０】

本発明による方法の変更態様では、DGD発生器の出力信号から測定されるストークスパラメータからSOPが計算される。フィードバックループの場合、非常に速い速度が要求される。ストークスパラメータは測定が容易であり、その測定値から、ポアンカレ球上に

50

おけるSOPの位置を容易に計算することができる。したがってストークスパラメータの測定は、偏光コントローラへの高速かつ正確なフィードバック用として最適である。アルゴリズムによって計算された制御信号は、偏光コントローラにフィードバックされる。ストークスパラメータを測定することにより、アルゴリズムを容易かつ高速にすることができる。したがって、単モードファイバリンクにおける高ビットレートの処理が可能になる。

【0011】

本発明による方法の好ましい変形態様では、偏光コントローラは、少なくとも1つの複屈折エレメントを備えており、各複屈折エレメントに対して、角度 α は固定であり、回転角度 β は可変である。角度 α は、ポアンカレ球の赤道面上の回転軸と座標系のx軸との間の角度であり、回転角度 β は、回転軸の周囲の回転を定義している。複屈折エレメントは、ポアンカレ球上でSOPを回転させることによって、複屈折エレメントの入力部におけるSOPを、出力部における別のSOPに変化させる。

10

【0012】

偏光コントローラは、可変角度 α または可変回転角度 β のいずれか、あるいはその両方を備えた縦続複屈折エレメントからなっている。複屈折エレメントが可変回転角度 β を持つ場合、複屈折エレメントは無限大の値に達することができず、また、他の複屈折エレメントは、当該複屈折エレメントを補償しなければならないため、最大回転角度 β に達すると、複屈折エレメントを巻き戻さなければならない。巻き戻しプロセスには複雑なアルゴリズムが必要である。対称的に、角度 α が可変であり、かつ、回転角度 β が固定の場合、複屈折エレメントの複雑な巻き戻しプロセスを容易にすることができ、あるいは回避することさえ可能である。

20

【0013】

有利なことには、ポアンカレ球上のSOPの位置にある各複屈折エレメントの効果は決定している。ポアンカレ球上におけるSOPの位置または変化が分かれば、フィードバックループのアルゴリズムは、そのSOPの位置または変化を考慮することができ、それに応じてアルゴリズムのステップを変更することができる。SOPが回転軸に近い場合、アルゴリズムのステップが増加し、SOPが回転軸から離れている場合は、アルゴリズムのステップは少なくなる。また、偏光コントローラ内の各複屈折エレメントによるSOPの変化を知ることにより、SOPを変化させることなく、複屈折エレメントに印加される電圧、すなわち複屈折エレメントの位置を変更することができるように、複屈折エレメントを組み合わせることができる。これにより巻き戻しプロセスの速度を速くしている。SOPを決定し、それをフィードバックループのアルゴリズムに使用する方式は、最新技術の偏光コントローラ、すなわち回転角度 β が固定で、角度 α が可変の偏光コントローラにも使用することができる。

30

【0014】

本発明による装置の好ましい一実施形態では、偏光コントローラは、少なくとも1つの複屈折エレメントを備えている。DOPを最大化することによってPMDを補償するために、フィードバックループのアルゴリズムによって決定される制御信号を偏光コントローラにフィードバックし、偏光コントローラ内の複屈折エレメントの位置を調整している。本発明による装置を使用することにより、複屈折エレメントの不完全性を補償するために必要なアルゴリズムの複雑さが緩和されるため、複屈折エレメントに対する制約が緩和される。

40

【0015】

DGD発生器は、少なくとも1本の偏光保存ファイバ(PMF)を備えていることが好ましい。偏光保存ファイバは、高速信号部分を偏光保存高複屈折ファイバの低速固有状態の中に送り出すことにより、あるいはその逆の方法によって、ファイバリンクによって生じる差分群遅延を補償している。

【0016】

本発明のその他の利点については、以下の説明および図面から明らかになるであろう。ま

50

た、本発明による上述の特徴および以下に示す特徴は、それぞれ個別に、あるいは任意に組み合わせた結合体として使用することができる。以下に示し、記述する実施形態は本発明を限定するものではなく、本発明を説明するための例示的特徴を有するものとして捉えられたい。

【0017】

【発明の実施の形態】

図1において、数字1は、例えば、レーザによって供給される、完全に偏光された1つまたは複数の光搬送波の強度を変調することにより、光信号としてデータを伝送する放出器端末を表している。この光信号は、偏光コントローラ3に接続されたファイバリンク2に送り込まれる。偏光コントローラ3は、偏光状態(SOP)を制御するための複数の縦続複屈折エレメント4を備えている。偏光コントローラ3は、偏光コントローラ3が受信するすべての光信号成分の偏光角を回転させるために使用されている。差分群遅延(DGD)発生器5が、偏光コントローラ3の下流側に配置されている。DGD発生器5は、様々な長さの偏光保存ファイバ(PMF)6を備え、ファイバリンク2によって生じる遅延差を補償する。

【0018】

DGD発生器5の光出力信号は、受信器端末7およびフィードバックループ8に伝送される。フィードバックループは、DGD発生器の出力信号のストークスパラメータを測定するための手段9と、手段9によって測定されたストークスパラメータを考慮して、偏光コントローラ3の制御信号を計算する計算ユニット10とを有している。

【0019】

図2は、ポアンカレ球20における偏光状態(SOP)、例えばAを示す。ポアンカレ球20は、非偏光光が同じ確率で取ることの出来るすべての遷移状態を表している。図2では、単位球(半径=1)が座標系と共に示されており、座標系の原点21はポアンカレ球20の中心にある。複屈折エレメント4は、ポアンカレ球20上でSOPを回転させることによって、複屈折エレメントの入力部におけるSOP(A、A'およびA'')を、出力部における別のSOP(B、B'およびB'')に変化させる。ポアンカレ球20上における偏光のSOP(B、B'およびB'')の位置は、座標系のx軸22と回転軸23との間の角度 α 、および、ポアンカレ球20の赤道面24と線25との間の角度 β によって定義される。線25は、入力部のSOP(B、B'およびB'')と回転軸23を結ぶ線であり、回転軸23に対して直角である。

【0020】

図2において、角度 α は固定であり、角度 β は可変である。この場合、入力部のSOP(A、A'およびA'')はすべて、ポアンカレ球20の赤道線上に位置しており、回転軸23までの距離がそれぞれ異なっている。複屈折エレメントが入力部のSOP(A、A'およびA'')を、回転軸23の周囲に角度 β だけ回転させると、その結果としてSOP(B、B'およびB'')が得られる。入力部のSOP(A、A'およびA'')の回転軸までの距離が長い場合、出力部のSOP(B、B'およびB'')の距離も長くなる。したがってフィードバックループのアルゴリズムは、入力部のSOP(A、A'およびA'')の回転軸23からの距離に応じて、そのステップを適合させることができる。つまり、A、A'およびA''が回転軸に近いほどステップが増加し、A、A'およびA''が回転軸から遠いほどステップは少なくなる。

【0021】

アルゴリズムの実施およびストークスパラメータの測定を実践的なものにするために、実施形態は偏光子およびフォトダイオードを使用している。具体化の例については、「Polarization measurement of signal and components: 信号とコンポーネントの偏光測定」(Agilent Technologies, Application Note 8509-1)を参照されたい。

【0022】

回転軸は、角度 β の僅かな変動により局部的に決定される。測定したSOPから回転マト

10

20

30

40

50

リックスが得られる。回転軸の計算には、N. Walker 等の「Polarization control for coherent communications: コヒーレント通信のための偏光制御」(IEEE Journal of Lightwave Technology, vol. 8, n3) に詳説されている理論が考慮されている。

【0023】

PMD補償器の偏光コントローラが、セルと呼ばれる4つの複屈折エレメントから構成されていると仮定して、アルゴリズムは以下のように機能する。標準のアルゴリズムでは、セルの駆動電圧には、順次変動が加えられる。各セルに対するシーケンスは以下の通りである。

- ・固定量 ΔV だけ電圧を増加する。
- ・フィードバック信号 (DOP 等) を測定する。
- ・フィードバック信号が増加する場合、電圧をさらに ΔV だけ増加し、フィードバック信号が増加しない場合は、電圧を初期値に戻す。
- ・電圧を下げながら、上記手順を繰り返す。

【0024】

本発明を考慮すると、アルゴリズムは、可変ステップ ΔV で電圧を変動させ、ポアンカレ球上に一定角度のステップをもたらすことができる。各セルに対して、回転軸が局部的に決定される。セルに印加する電圧は、SOPとセル回転軸との間の距離と、目標角度ステップによって決まる。主要な利点は、各セルの効果が定量的に把握されることである。すなわち、SOPがセルの回転軸上にある場合、そのセルは、偏光を制御することに関して何ら効果を有さないため、そのセルを作動させることは時間の浪費である。

【0025】

「巻戻し」を実施する場合、各セルの効果を明確に知ることができれば、最善の回転組合せを見出すことが可能になり、それにより、合理的なセル電圧で初期SOPに戻ることができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】偏光モード分散を補償するための、本発明による装置を備えた光通信システムの概略図である。

【図2】ポアンカレ球における偏光状態を示す図である。

【符号の説明】

- DGD 差分群遅延
- DOP 偏光度
- PMD 偏光モード分散
- PMF 偏光保存ファイバ
- SOP 偏光状態
- 1 放出器端末
- 2 ファイバリンク
- 3 偏光コントローラ
- 4 複屈折エレメント
- 5 差分群遅延 (DGD) 発生器
- 6 偏光保存ファイバ (PMF)
- 7 受信器端末
- 8 フィードバックループ
- 9 ストークスパラメータ測定手段
- 10 計算ユニット
- 20 ポアンカレ球
- 21 原点
- 22 x軸
- 23 回転軸

10

20

30

40

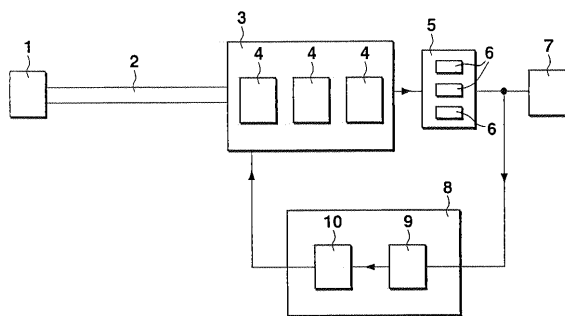
50

2 4 ポアンカレ球の赤道面

2 5 出力部の S O P (B 、 B ' および B '') と回転軸 2 3 を結ぶ線

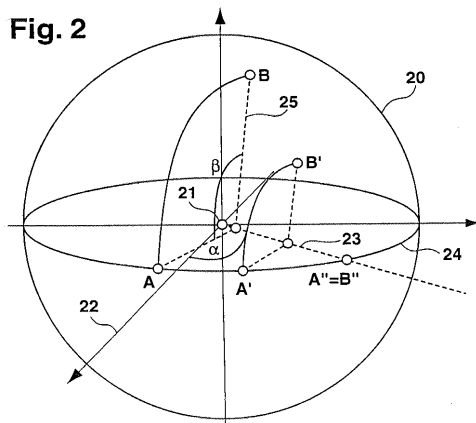
【 図 1 】

Fig. 1



【 図 2 】

Fig. 2



フロントページの続き

審査官 河原 正

(56)参考文献 特表2000-507430(JP,A)

OPTICS COMMUNICATIONS, 1992年, Vol.90, p.32-34

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

G02B 27/28

H04B 10/02

H04B 10/18