

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公表特許公報(A)

(11) 特許出願公表番号

特表2005-502221

(P2005-502221A)

(43) 公表日 平成17年1月20日(2005.1.20)

(51) Int. Cl.<sup>7</sup> F I テーマコード (参考)  
 H04B 10/02 HO4B 9/00 M 5K102  
 H04B 10/18

審査請求 未請求 予備審査請求 有 (全 35 頁)

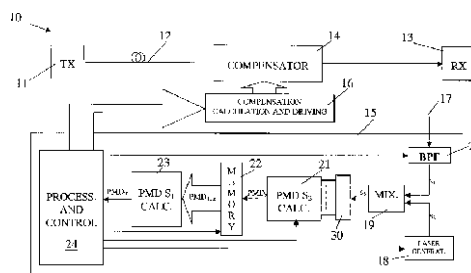
(21) 出願番号	特願2002-570452 (P2002-570452)	(71) 出願人	503318769
(86) (22) 出願日	平成14年3月4日 (2002.3.4)		マルコニ コミュニケーションズ ソシエ
(85) 翻訳文提出日	平成15年9月2日 (2003.9.2)		タ ペル アチオニ
(86) 国際出願番号	PCT/IB2002/001613		イタリア イー16153 ジェノヴァ
(87) 国際公開番号	W02002/071662		コーニリヤーノ ヴィア アー ネグロン
(87) 国際公開日	平成14年9月12日 (2002.9.12)		1/アー
(31) 優先権主張番号	MI01A000443	(74) 代理人	100059959
(32) 優先日	平成13年3月2日 (2001.3.2)		弁理士 中村 稔
(33) 優先権主張国	イタリア (IT)	(74) 代理人	100067013
			弁理士 大塚 文昭
		(74) 代理人	100082005
			弁理士 熊倉 禎男
		(74) 代理人	100065189
			弁理士 穴戸 嘉一

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 光ファイバ・リンクによって伝送された信号において PMD パラメータを検出し補償するための方法及び装置、並びにこれらを用いた通信システム

(57) 【要約】

Bバンドを有する第1の広帯域光信号を伝送する少なくとも1つの伝送チャネルを備える、光ファイバ・リンク(12)のPMDを示すパラメータを検出する方法が、Bバンドをサブバンドに分割する段階を含む。各々のサブバンドについて、第2の基準光信号( $s_2$ )が生成され、これを用いて、 $s_1$ と $s_2$ を重ね合わせた第3の信号( $s_3$ )が求められる。第3の信号の各々について、そのPMDを示すと考えられる第1のパラメータが計算され、全てのサブバンドの該第1のパラメータを用いて、第1の広帯域信号のPMDを示すと考えられる第2のパラメータが計算される。上述の方法は、PMD補償装置(14)のフィードバック案内のために計算されたパラメータを用いる伝送システムのためのPMD補償方法の一部として用いることができる。本方法による検出装置は、第2の基準光信号を生成する生成装置(18)と、第1及び第2の信号を重ね合わせる光混合装置(19)と、電気うなり信号すなわち信号 $s_1$ 及び $s_2$ を求める一つ又はそれ以上の光検出器と、第1のパラメータを計算する第1計算手段と、第1のパラメータの全てを処理し



## 【特許請求の範囲】

## 【請求項 1】

バンド幅 B を有する第 1 の広帯域光信号を伝送する少なくとも 1 つの伝送チャネルを備える、光ファイバ・リンクの P M D を示すパラメータを検出する方法であって、

- ( a ) B バンドをサブバンドに分割し、
  - ( b ) 各々のサブバンドについて関連した第 2 の基準光信号を生成し、
  - ( c ) 各々の第 2 の信号について、前記第 2 の信号、前記第 1 の広帯域信号、又はその一部分を重ね合わせることによって生じる第 3 の光信号を獲得し、
  - ( d ) 前記第 3 の信号の各々について、その P M D を示すと考えられる第 1 のパラメータを計算するために一つ又はそれ以上の電気うなり信号を生成し、
  - ( e ) 前記サブバンド前記うなり信号の全てについて、計算された P M D を示す前記第 1 のパラメータを処理し、そこから前記第 1 の広帯域信号の P M D を示すと考えられる第 2 のパラメータを求める、
- 段階を含むことを特徴とする方法。

10

## 【請求項 2】

前記第 2 の信号が、全てのサブバンドについて実質的に同じである周波数間隔内に含まれる電気うなり信号すなわち信号を生成するような周波数を有するように選択されたことを特徴とする請求項 1 に記載の方法。

## 【請求項 3】

前記第 2 のパラメータ又はそこから推測可能な P M D データが、前記第 1 のパラメータの平均、又はそこから推測可能な前記 P M D データの平均として求められたことを特徴とする請求項 1 に記載の方法。

20

## 【請求項 4】

前記第 2 のパラメータ又はそこから推測可能な P M D データが、第 2 のパラメータとして、前記第 1 のパラメータの最大値、又はそこから推測可能な前記 P M D データを選択することによって求められたことを特徴とする請求項 1 に記載の方法。

## 【請求項 5】

前記第 1 のパラメータが各々のサブバンドにおける D G D であり、前記第 2 のパラメータが、前記サブバンドの D G D の組を処理することによって求められたことを特徴とする請求項 1 に記載の方法。

30

## 【請求項 6】

前記第 2 のパラメータを求めるための処理が、全てのサブバンドの D G D の平均値、中間値、又は最大値の計算を含むことを特徴とする請求項 5 に記載の方法。

## 【請求項 7】

前記第 2 のパラメータが、前記サブバンドの中の前記第 1 のパラメータの変化を表すことを特徴とする請求項 1 に記載の方法。

## 【請求項 8】

前記伝送チャネルが複数であり、各々のチャネルにおける第 1 の広帯域信号の P M D を示すと考えられるパラメータを求めるために、各々のチャネルの前記広帯域信号について段階 ( a ) から ( e ) までは実行されたことを特徴とする請求項 1 に記載の方法。

40

## 【請求項 9】

第 3 の信号の P M D を示すと考えられる前記第 1 のパラメータの計算のために、前記第 3 の信号が異なる偏光状態を有する光成分に分割され、各々の成分が対応する電気信号を発生する光電気式検出器に送られ、前記第 3 の信号の P M D を示すと考えられる前記パラメータが、前記検出器が発した電気信号の組合せから計算されるようになったことを特徴とする請求項 1 に記載の方法。

## 【請求項 10】

前記光成分が、有利にほぼ直交する個々の偏光を有する 2 つの成分であることを特徴とする請求項 9 に記載の方法。

## 【請求項 11】

50

前記表示パラメータが、ストークス・パラメータであることを特徴とする請求項 1 に記載の方法。

【請求項 1 2】

前記第 1 の広帯域信号が WDM 信号であり、関連した搬送波が各々のチャネルについて定められたことを特徴とする請求項 8 に記載の方法。

【請求項 1 3】

基準信号に重ね合わせる前に、前記 WDM 信号が、各々のチャネルについて前記チャネルの搬送波に向けられた帯域フィルタを用いてフィルタ処理されたことを特徴とする請求項 1 2 に記載の方法。

【請求項 1 4】

基準信号に重ね合わせる前に、前記 WDM 信号が、前記チャネル搬送波に向けられた周波数を有する楕円フィルタを用いてフィルタ処理されたことを特徴とする請求項 1 2 に記載の方法。

【請求項 1 5】

B バンドが、関係

$$\text{最大} \cdot B / n <$$

を満たすような  $n$  を有する  $n$  サブバンドに分割され、ここで、

-  $\text{最大}$  は、検出したい最も高い DGD であり、  
 -  $\text{最大}$  は、 $0 < \text{最大} < 2$ 、及び有利に  $0 < \text{最大} < 0.3$  の場合にラジアンで表される定数であることを特徴とする請求項 1 に記載の方法。

【請求項 1 6】

光ファイバによる伝送を行い、広帯域光信号の伝送のための少なくとも 1 つのチャネルを備える通信システムにおける PMD 補償方法であって、前記請求項のいずれか 1 項による方法によって前記広帯域光信号の PMD を示すパラメータが求められ、該広帯域光信号の PMD を示すと考えられる計算された前記第 2 のパラメータを用いて、信号経路に沿って配置された PMD 補償装置をフィードバック制御し、信号がもたらす PMD のひずみを所定の値より下に減少させたことを特徴とする補償方法。

【請求項 1 7】

各々のサブバンドについて求められた前記第 1 のパラメータがストークス・パラメータであり、前記第 2 のパラメータが、前記サブバンドの中の前記ストークス・パラメータの変化を示すパラメータであり、前記補償装置が前記変化を平坦化するように制御されるようになったことを特徴とする請求項 1 6 に記載の補償方法。

【請求項 1 8】

帯域幅  $B$  を有する第 1 の広帯域光信号を伝送する少なくとも 1 つの伝送チャネルを備える、光ファイバ・リンクの PMD を示すパラメータを検出するための装置であって、

(a) 異なる周波数を有し、制御可能な偏光状態を有し得る複数の第 2 の基準光信号を生成する制御可能な生成装置と、

(b) 前記第 2 の信号を用いて前記第 1 の信号の少なくとも一部を混合し、該第 2 の信号の各々について、該第 2 の信号を該第 1 の広帯域信号又はその一部分に重ね合わせることで生じる第 3 の信号を生成する光混合装置と、

(c) 前記第 3 の信号を受け取り、そこから前記第 1 の信号と前記第 2 の信号との間のうなり信号を獲得する検出器と、

(d) 前記第 3 の信号の各々の前記うなり信号から、その PMD を示すと考えられる第 1 のパラメータを計算する第 1 の計算手段と、

(e) 前記第 3 の信号の全てについて計算された PMD を示す前記第 1 のパラメータのための、そこから前記第 1 の広帯域信号の PMD を示すと考えられる第 2 のパラメータを求めるための第 2 の処理手段と、

を備えることを特徴とする装置。

【請求項 1 9】

10

20

30

40

50

前記第 2 の信号が、前記サブバンドの全てについて実質的に同じ周波数間隔内に含まれる一つ又はそれ以上の電気信号を打つことによって生じ得る第 3 の信号を生成するような周波数を有するように選択されたことを特徴とする請求項 18 に記載の装置。

【請求項 20】

前記チャンネルが複数であり、前記第 3 の信号が生成され、前記第 1 及び第 2 のパラメータが、各々のチャンネル内に存在する前記第 1 の広帯域信号について計算され、各々のチャンネルの該第 1 の広帯域信号の PMD を示すと考えられるパラメータが求められたことを特徴とする請求項 18 に記載の装置。

【請求項 21】

前記第 3 の信号が、異なる偏光状態を有する光成分に分割されることになるスプリッタに適用され、各々の成分が、対応する電気信号を発生する光電気式検出器に送られ、各々の信号が、前記第 3 の信号の PMD を示すと考えられる前記パラメータの計算のための前記第 1 の計算手段に送られたことを特徴とする請求項 18 に記載の装置。 10

【請求項 22】

前記光成分が、有利にほぼ直交する別個の偏光を有する 2 つの成分であることを特徴とする請求項 21 に記載の装置。

【請求項 23】

前記 PMD を示すパラメータがストークス・パラメータであることを特徴とする請求項 18 に記載の装置。

【請求項 24】

前記第 1 の広帯域信号が WDM 信号であり、関連した搬送波が各々のチャンネルについて定められたことを特徴とする請求項 20 に記載の装置。 20

【請求項 25】

光混合装置の前に、PMD を計算することが望まれるチャンネルの前記搬送波に向けられた帯域フィルタがあることを特徴とする請求項 20 に記載の装置。

【請求項 26】

光混合装置の前に、検出を行うために前記周波数を選択する楕円フィルタがあることを特徴とする請求項 20 に記載の装置。

【請求項 27】

光ファイバによる伝送を行い、第 1 の広帯域信号のために少なくとも 1 つの伝送チャンネルを備える通信システムにおける PMD 補償装置であって、前記請求項のいずれかによる方法及び装置によって前記広帯域信号の PMD を示すパラメータが検出され、該第 1 の広帯域信号の PMD を示すと思われる計算された前記第 2 のパラメータが、信号経路に沿って配置された PMD 補償装置の案内ユニットに送られ、前記案内ユニットが、該第 2 のパラメータを用いて、前記補償装置をフィードバック制御し、PMD がもたらす前記信号の前記ひずみを所定の値より下に減少させたことを特徴とする装置。 30

【請求項 28】

前記請求項のいずれかによる装置を備え、及び/又は前記請求項のいずれかによる方法を用いる光ファイバ通信システム。

【発明の詳細な説明】

40

【0001】

(技術分野)

本発明は、光信号が光ファイバ・ベースのリンク内を進む際に生じる偏光モード分散 (PMD) の検出、及び必要な場合にはその補償のための方法及び装置に関する。本発明はまた、この方法及び装置を用いる通信システムにも関する。

【0002】

(背景技術)

PMD が、光ファイバ・リンクによって送られる光信号のひずみ及び分散の原因になることが知られている。PMD の影響が組み合わせられて、光信号をひずませ、分散させる。種々の偏光状態における信号の種々の成分の異なる時間遅延が、伝送速度の増加と共に極 50

めて重要なものになる。非常に高い周波数（10 Gbit/s以上）の現在の光ファイバ・ベースの伝送システムにおいて、PMDの影響の精密な測定及び補償が、非常に重要になる。

#### 【0003】

したがって、従来技術において、光伝送の質を向上させるために、PMD測定及び補償のための方法及び装置が提案された。しかし、周知のシステムは満足のいくものではない。周知のシステムの大きな欠点の一つは、帯域外又は使われていないファイバで作動する専用のPMD測定装置を用いる必要性である。本発明は、作動中に光ファイバ・ベースのリンクについてのPMDデータを求めることを可能にするものである。非常に広い帯域のチャンネルを有する現在の通信システムの場合には（例えば、10 Gbit/sの通信システムに対して7 GHzから20 GHzまで、及び40 Gbit/sのシステムに対して30 GHzから60 GHzまでなど）、周知のシステムは、単一のチャンネルの全帯域幅にわたってさえも満足な結果をもたらすものではない。

本発明の一般的な目的は、広帯域信号及び幾つかの伝送チャンネルを有する場合でも、PMDを検出し、必要な場合にはPMDを補償するための方法及び装置を提供することによって、上述の欠点を改善することである。

#### 【0004】

（発明の開示）

この目的を考慮して、本発明においては、Bバンドをサブバンドに分割し、各々のサブバンドについて関連した第2の基準光信号を生成し、各々の第2の信号について、該第2の信号及び第1の広帯域信号又はその一部分を重ね合わせることによって生じる第3の光信号を求め、該第3の信号の各々について、重ね合わされた信号のうなりの後に、そのPMDを示すと考えられる第1のパラメータを計算し、該第3の信号の全てについて計算されたPMDを示す第1のパラメータを処理し、そこから第1の広帯域信号のPMDを示すと考えられる第2のパラメータを求める段階を含む、該第1の広帯域光信号を伝送する少なくとも1つの伝送チャンネルを含む、光ファイバ・リンクについてのPMDを示すパラメータの検出方法が提供される。

#### 【0005】

また、本発明においては、PMD補償方法が提供され、そこでは、PMDデータが上記方法によって獲得され、広帯域信号のPMDを示すと考えられる計算された第2のパラメータが用いられて、信号経路に沿って配置されたPMD補償装置をフィードバック制御し、よってPMDが光信号にもたらした負の効果を減少させる。

#### 【0006】

本発明においては、Bバンドを有する第1の広帯域光信号を伝送する少なくとも1つの伝送チャンネルを含む、光ファイバ・リンクのPMDを示すパラメータを検出するための装置であって、異なる周波数から成り、制御可能な偏光状態を有し得る複数の第2の基準光信号を生成するための制御可能な生成装置と、第2の信号を用いて第1の信号の少なくとも一部を混合し、該第2の信号の各々について、該第2の信号及び第1の広帯域信号又はその一部分を重ね合わせることによって生じる第3の信号を生成する光混合装置と、電気うなり信号すなわち第3の光信号から獲得された信号を求める一つ又はそれ以上の光検出器と、電気うなり信号すなわち第3の信号の各信号、そのPMDを示すと考えられる第1のパラメータを計算する第1の計算手段と、第3の信号の全てについて計算されたPMDを示す第1のパラメータのための、第1の広帯域信号のPMDを示すと考えられる第2のパラメータをそこから求めるための第2の処理手段とを含む装置もまた提供される。

#### 【0007】

また、本発明においては、第1の広帯域信号のための少なくとも1つの伝送チャンネルを含む光ファイバ・ベースの伝送システムにおけるPMD補償装置が提供され、そこでは、広帯域信号のPMDを示すパラメータが、上述の方法及び装置によって検出され、該第1の広帯域信号のPMDを示すと考えられる計算された第2のパラメータが、信号経路に沿って配置されたPMD補償装置に送られ、該第2のパラメータを用いる案内ユニットが、該

10

20

30

40

50

補償装置をフィードバック制御し、信号のひずみによりもたらされたPMDを所定の量より低く減少させる。

最後に、本発明においては、上述の装置を備え、及び/又は上述の方法を用いる光ファイバ通信システムが提供される。

#### 【0008】

(発明を実施するための最良の形態)

従来技術と比較した本発明の革新的な原理及びその利点の説明を明らかにするために、添付図面を用いて、この原理を用いる限定のためではない例として実行可能な実施形態を以下に説明する。

図を参照すると、図1は、本発明に従って提供された、全体を参照番号10で表す通信システムの構造を示す。この通信システムは、光ファイバ・ベースのリンク12によって信号を受信機13に送信する伝送システム11を含む。この伝送システムは、1チャンネル式又はマルチチャンネル式、及び有利にWDM型とすることができ、当業者には容易に想像できるので、これ以上示しも詳述もしない。このようなシステムは、通常、2.5 Gbit/sより低くないビット速度で作動する。信号帯域は、これに応じて高いものとなる(10 Gb/sにおいて7 GHzから20 GHzまで、40 Gb/sにおいて30 GHzから60 GHzまで)。信号の形式は、例えば、NRZ、RZ、CRZ、孤立波など様々なものとすることができる。

10

#### 【0009】

信号経路に沿って、例えば複屈折部材及び偏光変換装置、すなわち回転装置及び/又は偏光コントローラを含む形式のような周知の補償装置14を配置することができる。受信機13の前に、検出装置15により、光信号の一部からPMDデータが獲得され始める。以下に明らかにするように、検出装置15は、信号のPMDを示すと考えられるパラメータを計算し、そのパラメータをPMDがもたらすひずみを所定の値より低くフィードバック減少させるように補償装置14を制御する、補償計算及び案内段階16に送ることができる。このように、PMD補償に不可欠な装置14、15、16が設けられる。

20

図1からわかるように、装置15は、伝送された信号の一部を受け取る入力17を有する。この信号の一部は、受信機13から受け取った信号のパワーを著しく減少させない方法で、信号経路上に配置された適切な周知の光結合装置(図示せず)により導かれる。

#### 【0010】

装置15は、異なる周波数をもつ複数の基準光信号を生成する制御可能な生成装置を含む。以下に明らかにするように、この生成装置は、各々が必要に応じて一つ又はそれ以上の放出周波数に同調可能な選択駆動式の複数のレーザ源で構成することができ、又は可能であれば関連する全周波数範囲に対して同調可能な単一の周波数源で構成することもできる。伝送された偏光状態の観点から、制御可能な生成装置を制御することもできる。生成装置18から命令によって時折放出される光信号 $s_2$ は、混合装置19に送られ、該混合装置19は、PMDを経験していると期待される信号 $s_1$ を入力において受け取る。混合装置は、入力における2つの信号 $s_1$ 及び $s_2$ の混合を実行し、重ね合わせることによって第3の光信号 $s_3$ を生成する。

30

#### 【0011】

有利に、混合装置に入力された2つの信号の重ね合わせによる望ましくない影響を回避するために、装置に入力された広帯域信号を帯域フィルタ20によってフィルタ処理し、関係しない如何なる周波数成分も排除する。フィルタ20は、固定フィルタ、所望の周波数に同調可能なフィルタ、又は適切な中心周波数を有する楕円フィルタとすることができる。

40

信号 $s_3$ は検出器30に送られ、電気うなり信号すなわち信号 $s_1$ と $s_2$ との間の信号を求め、次に、入力において用いられた第3の信号 $s_3$ の各々について、分析されたサブバンドのPMDを示すと考えられる第1のパラメータを計算する第1の計算手段を含むブロック21に送られる。以下に説明するように、検出器30は、適切な光検出器ユニットである。

50

## 【0012】

入力17における広帯域信号の従来のBバンドは、PMDを表すパラメータについての精密な情報を求めることを可能にするのに十分小さな幅を有する数nのサブバンドに分割される。特に、数nは、次の関係

$$\text{最大} \cdot B / n <$$

を満たすことが有利である。

ここで、最大は、検出するように望まれる最大微分群遅延(DGD)であり、は、 $0 < < 2$ 、有利に $0 < < 0.3$ の場合のラジアンで表される定数である。

サブバンドへの分割は、Bバンドのフィルタ処理作業を意味するのではなく、周波数間隔の概念的分割を意味するものである。各々のサブバンドについて、生成装置は、 $s_1$ と $s_2$ の重ね合わせであり、2つの始動振動 $s_1$ と $s_2$ の周波数よりずっと小さな一つ又はそれ以上の電気周波数信号を打つことによって光検知し生成することができる、関連した信号を $s_3$ を生成するのに適切な周波数の信号 $s_2$ を生成するように命令される。

## 【0013】

有利に、第2の信号は、全てのサブバンドについて基本的に同じである周波数間隔内に含まれる一つ又はそれ以上の電気うなり信号を生成するような周波数を有するように選択される。したがって、混合装置に続く段階は、広帯域信号の最小及び最大周波数よりずっと小さな最小及び最大周波数、及び広帯域信号のBバンドよりずっと小さな帯域を有する上述された同じ周波数で常に作動させることができる。

例えば、 $\omega_2$ が、あらゆる周波数であり、 $\omega_1$ が信号 $s_1$ の中心周波数であるときに、 $|\omega_2 - \omega_1|$ が約 $B/2$ となるように有利に選択された場合には、基準信号 $s_2$ に対して生成される周波数は、 $\omega_2 - B/2$ と $\omega_2 + B/2$ との間を有利に変化する。

## 【0014】

各々のサブバンドについて計算されたPMDを示すパラメータを(ここでは、 $PMD_x$ と呼ばれる)は、メモリ22に記憶される。nサブバンドについて計算されたパラメータ $PMD_1$ 、 $PMD_2$ 、 $\dots$ 、 $PMD_n$ の組に基づいて、第2のエラボレーション手段23が、入力における広帯域信号のPMDを示すと考えられる第2のパラメータ $PMD_T$ を求める。

このように、求められた $PMD_T$ パラメータは、更なる処理のために検出の結果を用いる処理及び制御ユニット24へ送られる。 $PMD$ 補償を実行するために、 $PMD_T$ パラメータをユニット16に送ることができる。

幾つかのチャネルへの伝送の場合には(例えば、WDM)、第3の信号が生成され、第1及び第2のパラメータが、各々のチャネル内に存在する広帯域信号について計算され、各々のチャネルにおける第1の広帯域信号のPMDを示すと考えられるパラメータを求める。これを行うために、生成装置18は、各チャネルの各サブバンドについて、連続的に基準信号を発生し、このように、PMDを示すパラメータの計算は、チャネルごとに行われる。

## 【0015】

各々の信号 $s_3$ について、ブロック21における特徴的なPMDパラメータの計算を、様々な周知の方法で行うことができる。この表示パラメータは、一般に $S_0$ 、 $S_1$ 、 $S_2$ 、 $S_3$ と示される周知のストークス・パラメータの形態で計算されることが有利であることがわかった。ストークス・パラメータの計算は、当業者には公知のものであり、これ以上説明しない。光信号から対応するストークス・パラメータまで送る種々の道筋があり、これらの道筋を本発明に使用することができるが、第3の信号 $s_3$ を異なる偏光状態を有する光成分に分割し、次に各々の成分を対応する電気信号を発生する光電気検知器に送る、適切な光スプリッタを用いるのが好ましいことがわかった。次に、第3の信号のPMDを示すパラメータが、検出器が発生した電気信号の適切な組合せから計算される。

## 【0016】

図2は、図1の段階21の実行可能な有利な実施形態を示す。この有利な実施形態において、信号 $s_3$ は、光信号 $s_3$ を有利にほぼ直交する別個の偏光を有する2つの成分に分割す

る光スプリッタ 25 に送られる。各々の成分は、2つの光成分の強度を表す2つの電気信号  $I_1(t)$  及び  $I_2(t)$  を有するように、対応する検出器又は光ダイオード 26 に送られて、これらは、図 1 のブロック 21 の PMD x 出力を構成する上述のストークス・パラメータ  $S_0$ 、 $S_1$ 、 $S_2$ 、 $S_3$  を周知の方法で計算する第 1 の計算手段 27 に送られる。

処理ユニット 27 は、当業者には容易に想像できる従来の方法によって、ストークス・パラメータを計算することができる。

【0017】

各々のサブバンドにおける信号の PMD を示すパラメータが計算され示されるが、第 2 の計算手段 23 が、オリジナル信号の PMD を示す第 2 のパラメータを求めるために、該オリジナルの信号の B バンドを分割する、サブバンドのパラメータの全体についての所定の作業を実行する。信号  $I_1(t)$  及び  $I_2(t)$  の処理は、中心周波数がビット速度に依存し、帯域幅がファイバの微分群遅延 (DGD) に依存した状態で、帯域フィルタ 28 を用いてフィルタ処理した後に行われることが有利にわかった。一般に例として、10 Gbit/s のシステムについては、中心周波数を 7 GHz から 25 GHz までとすることができ、40 Gbit/s のシステムについては、中心周波数を 30 GHz から 60 GHz までとすることができる。

10

【0018】

第 1 のパラメータから開始する第 2 のパラメータを、当業者にはそれ自体で想像可能な種々の方法で求めることができる。

ストークス・パラメータについての実施において、例えば、サブバンドから求められた  $n$  個のサンプルを適切に処理することによって、第 2 のストークス・パラメータ ( $S_0$ 、 $S_1$ 、 $S_2$ 、 $S_3$ )<sub>T</sub> を求めることができる。

20

例えば、DGD の数字が与えられることを望む場合には、ストークス・パラメータを直接処理するのではなく、各々のサブバンドについてそこから開始する各々のサブバンドの DGD を計算し、平均値、中間値などをとりながら、各々の信号の値を求めるために全てのサブバンドの DGD を平均するといった、実行可能な戦略の一つを用いることが有利に決定される。

【0019】

また、本発明によると、第 2 のパラメータ、又はそこから推理可能な PMD データを、第 1 のパラメータ又はそこから推理可能な PMD データの平均値又は最大値として有利に求めることもできる。互いに、すなわち絶対値の代わりに一つのサブバンドから他のサブバンドまでと比較すると、第 1 のパラメータの変化もまた、有利に重要なものと考えることができる。したがって、第 2 のパラメータを、これらの変化を表すように計算されたパラメータとすることができる。次に、補償ユニットに、これらの変化を保持するか、又はほぼゼロまで減少させるように命令することができる。第 2 のパラメータがストークス・パラメータである場合には、このことは、各々のサブバンドについて求められたサブバンドの中に該ストークス・パラメータを保持するか、又は等しくなるように戻す、すなわち信号の B バンド全体に対するサブバンドのストークス・パラメータの変化を平坦化するように翻訳する。

30

ここで所定の目的が達成されたことが明らかである。

40

【0020】

述べられたチャンネルから開始する際に、制御ユニット 24 は、チャンネルの全てのサブバンドに割り当てられた信号  $s_2$  を連続的に生成するように生成装置に命令し、各々の信号について関連したサブバンドの PMD パラメータの計算を命令する。サブバンドの走査後、特定のバンド内の PMD が計算され、次に制御ユニットは、伝送システムの次のチャンネルに関連した信号  $s_2$  を生成するように生成装置に命令する。一旦全てのチャンネルが走査されると、作業を初めからやり直すことができる。このように、求められた PMD パラメータを、通信システムの補償を制御するために用いることもできる。

【0021】

本発明による方法及び装置を用いることにより、あらゆるバンド幅のチャンネルを用いて、

50



如何なる数のチャネルについて、本発明がもたらす明らかな利点を有する単一の装置を用いて、問題なく作動させることができる。

本発明による方法が、WDMの光の流れの非多重化を必要とせず、したがって、本発明は、例えば増幅場所においてオンラインでも使用可能であり、或いはファイバへアクセスする如何なる場所も経済的に有することができ、受信時には必ずしもそれらを必要としないこともまた留意すべきである。

当然のことながら、本発明の革新的な原理を用いる実施形態の上の説明は、ここで特許請求された排他的な権利の範囲内の原理の限定するためではない例によってなされる。

【図面の簡単な説明】

【0022】

【図1】本発明による装置を有する伝送システムのブロック図である。

【図2】図1の装置の一部のブロック図である。

10

【図1】

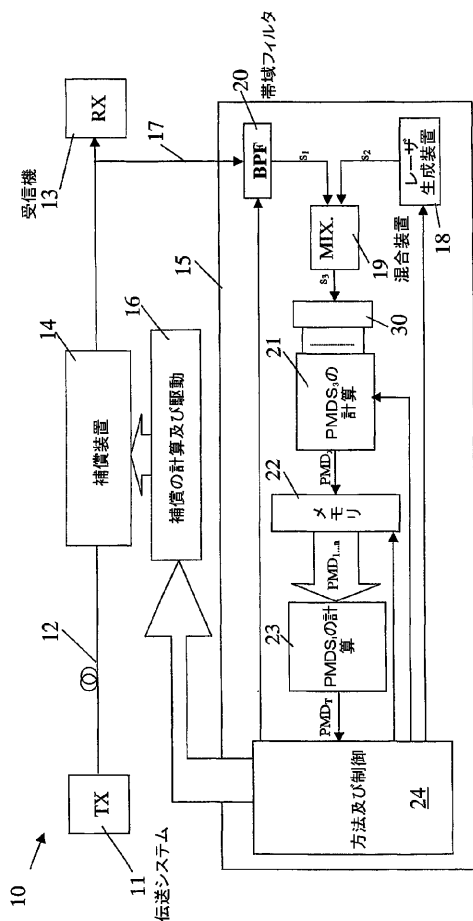


Fig.1

【図2】

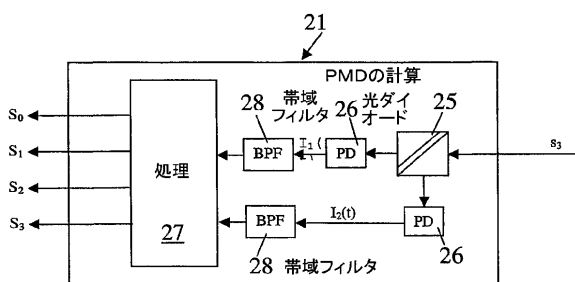


Fig.2

【国際公開パンフレット】

(12) INTERNATIONAL APPLICATION PUBLISHED UNDER THE PATENT COOPERATION TREATY (PCT)

(19) World Intellectual Property Organization  
International Bureau



(43) International Publication Date  
12 September 2002 (12.09.2002)

PCT

(10) International Publication Number  
WO 02/071662 A2

(51) International Patent Classification: **H04B 10/18**  
(21) International Application Number: PCT/IB02/01613  
(22) International Filing Date: 4 March 2002 (04.03.2002)  
(25) Filing Language: Italian  
(26) Publication Language: English  
(30) Priority Data: MI01A000443 2 March 2001 (02.03.2001) IT  
(71) Applicant (for all designated States except US): **MARCONI COMMUNICATIONS SPA** [IT/IT]; Via A. Negrone 1/A, I-16153 Genova Cornigliano (IT).

(81) Designated States (national): AE, AG, AL, AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BY, BZ, CA, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DZ, EC, EE, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KI, KG, KP, KR, KZ, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV, MA, MD, MG, MK, MN, MW, MX, MZ, NO, NZ, OM, PI, PL, PT, RO, RU, SD, SE, SG, SI, SK, SL, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VN, YU, ZA, ZM, ZW.

(84) Designated States (regional): ARIPO patent (GI, GM, KE, LS, MW, MZ, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), Eurasian patent (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), European patent (AT, BE, CH, CY, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE, TR), OAPI patent (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

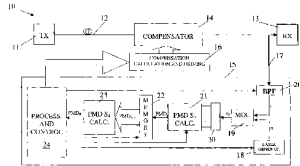
(72) Inventors; and  
(75) Inventors/Applicants (for US only): **GALTAROSSA, Andrea** [IT/IT]; Via Ghiberti, 9, I-35134 Padova (IT). **PALMIERI, Luca** [IT/IT]; Via Montà, 163, I-35136 Padova (IT). **FIORONE, Raoul** [IT/IT]; Via Sbarbato, 3/17, I-16035 Rapallo (IT). **CORTI, Andrea** [IT/IT]; Via A. Da Giussano, 9, I-22063 Canto (IT).

Published: — without international search report and to be republished upon receipt of that report

For two-letter codes and other abbreviations, refer to the "Guidance Notes on Codes and Abbreviations" appearing at the beginning of each regular issue of the PCT Gazette.

(74) Agent: **COLLIER, Ian, Terry**; Marconi Intellectual Property, Marmble House, The Vineyards, Great Baddow, Chelmsford, Essex CM2 7QS (GB).

(54) Title: METHOD AND APPARATUS FOR DETECTION AND COMPENSATION OF PMD PARAMETERS IN SIGNALS TRANSMITTED OVER OPTICAL FIBER LINKS AND SYSTEM OF COMMUNICATION THEREWITH



WO 02/071662 A2

(57) Abstract: A method for detecting PMD indicative parameters of an optical fiber link (12) comprising at least one transmission channel in which is transmitted a first wideband optical signal with the a B band comprises the steps of dividing the B band in sub-bands. For each subband is produced a second reference optical signal (13) with which to find a third optical signal (s<sub>3</sub>) which is the superposition of s<sub>1</sub> and s<sub>2</sub>. For each of the third signals are calculated first parameters considered indicative of the PMD thereof and with the first parameters of all the sub-bands are calculated second parameters considered indicative of the PMD of the first wideband signal. The above method can be used as part of a PMD compensation method for a transmission system employing the parameters calculated for feedback piloting of a PMD compensator (14). A detection apparatus is accordance with the method comprises a generator (18) for generation of the second reference optical signals, an optical mixer (19) for producing superimposition of the first and second signals, one or more photodetectors for finding the electrical beat signal or signals s<sub>1</sub> and s<sub>2</sub>, first calculation means (21) for calculating the first parameters and second means (23) for processing all the first parameters to find therefrom the second parameters which will then be further processed (24). The detection apparatus can be part of a compensation apparatus comprising the compensator (14) and a calculation stage (16) for calculating the compensation and piloting the compensator. The entirety can be part of an optical fiber communication system.

WO 02/071662

PCT/IB02/01613

1

"METHOD AND APPARATUS FOR DETECTION AND COMPENSATION OF PMD PARAMETERS IN SIGNALS TRANSMITTED OVER OPTICAL FIBER LINKS AND SYSTEM OF COMMUNICATION THEREWITH"

5 The present invention relates to methods and apparatuses for detection of and if necessary compensation for Polarization Mode Dispersion (PMD) which occurs when an optical signal travels within an optical fiber based link. The present invention also relates to a communication  
10 system using said methods and apparatuses. It is known that PMD causes distortions and dispersions of optical signals sent over optical fiber links. The combined effect of this is to make the optical signal distorted and dispersed. The different time delays of the  
15 various components of the signal in the various polarization states are gaining ever more importance with the increase in transmission speeds. In modern optical fiber based transmission systems at ever higher figure frequencies (10 Gbit/s and more) accurate measurement and  
20 compensation of PMD effects become very important. In the prior art, methods and devices for PMD measurement and compensation have therefore been proposed to improve optical transmission quality. But known systems are not satisfactory. One of the greater disadvantages of known  
25 systems is the need to employ dedicated PMD measurement apparatuses operating out of band or on unused fibers. The present invention makes it possible to find PMD data for the optical fiber based link while it is operating. With modern communication systems having very wideband channels

WO 02/071662

PCT/IB02/01613

2

(for example, 7 to 20 GHz for 10 Gbit/s communication systems and 30 to 60 GHz for 40 Gbit/s systems) known systems do not give satisfactory results even over the entire band width of a single channel.

- 5 The general purpose of the present invention is to remedy the above mentioned shortcomings by making available methods and apparatuses for detection of and if necessary compensation of PMD even with wideband signals and even with several transmission channels.
- 10 In view of this purpose it was sought to provide in accordance with the present invention a method for detection of PMD indicative parameters for an optical fiber link comprising at least one transmission channel in which is transmitted a first wideband optical signal with the
- 15 comprising the steps of dividing the B band in sub-bands, for each sub-band producing an associated second reference optical signal, finding for each second signal a third optical signal originated by the superimposition of said second signal and said first wideband signal or portions
- 20 thereof, calculating for each of the third signals first parameters considered indicative of the PMD thereof after the beat of the superimposed signals, and processing of the first PMD indicative parameters calculated for all the third signals to find therefrom second parameters
- 25 considered indicative of the PMD of the first wideband signal.

Again in accordance with the present invention it was sought to provide a PMD compensation method in which PMD data are taken by the above method and second parameters

WO 02/071662

PCT/IB02/01613

3

calculated and considered indicative of the wideband signal PMD are employed to feedback control a PMD compensator arranged along the signal path and thus reduce the negative effects caused on the optical signal by the PMD.

5 In accordance with the present invention it was also sought to provide an apparatus for detection of the PMD indicative parameters of an optical fiber link comprising at least one transmission channel in which is transmitted a first wideband optical signal having a B band and characterized  
10 in that it comprises a controllable generator for generation of a plurality of second reference optical signals of different frequencies and possibly with controllable polarization condition, an optical mixer for mixing at least part of the first signal with said second  
15 signals to produce for each of said second signals a third optical signal originated by the superimposition of said second signal and the first wideband signal or portions thereof, one or more photodetectors for finding an electrical beat signal or signals taken from the third  
20 optical signal, first calculation means for calculating the electrical beat signal or signals of each of the third signals, first parameters considered indicative of the PMD thereof, and second processing means for the first PMD indicative parameters calculated for all the third signals  
25 to find therefrom second parameters considered indicative of the PMD of the first wideband signal.

Again in accordance with the present invention it was sought to provide a PMD compensation apparatus in an optical fiber based transmission system comprising at least

WO 02/071662

PCT/IB02/01613

4

one transmission channel for a first wideband signal in which the PMD indicative parameters of the wideband signal are detected by the above mentioned method and apparatus and the second parameters calculated and considered

5 indicative of the PMD of said first wideband signal are sent to a PMD compensation unit arranged along the path of the signal with the pilot unit employing said second parameters to feedback control the compensator and reduce the PMD caused signal distortion to less than a

10 predetermined amount.

Lastly in accordance with the present invention it was sought to provide an optical fiber communication system comprising the above mentioned apparatuses and/or applying the above mentioned methods.

15 To clarify the explanation of the innovative principles of the present invention and its advantages compared with the prior art there is described below with the aid of the annexed drawings a possible embodiment thereof by way of non-limiting example applying said principles. In the

20 drawings:

- FIG 1 shows a block diagram of a transmission system with an apparatus in accordance with the present invention, and
- FIG 2 shows a block diagram of part of the apparatus of FIG 1.

25 With reference to the figures, FIG 1 shows the structure of a communication system provided in accordance with the present invention and designated as a whole by reference number 10. It comprises a transmission system 11 which sends signals to a receiver 13 over an optical fiber based

WO 02/071662

PCT/IB02/01613

5

link 12. The transmission system can be one-channel or multichannel and advantageously of the WDM type and is not further shown nor described in detail as it is readily imaginable to those skilled in the art. Such systems usually operate with a bit rate not lower than 2.5 Gbit/s. The signal bands are correspondingly high (7 to 20GHz at 10Gb/s, 30 to 60GHz at 40Gb/s). The signal format can be various, for example NRZ, RZ, CRZ, solitary waves and the like.

10 Along the signal path can be placed a known PMD compensator 14 for example the type comprising birefractive members and polarization conversion devices, i.e. rotators and/or polarization controllers. Before the receiver 13, part of the optical signal is taken to gain PMD data therefrom by

15 means of a detection apparatus 15. As clarified below, the detection apparatus 15 calculates parameters considered indicative of the signal PMD and said parameters can be sent to a compensation calculation and piloting stage 16 which controls the PMD compensator 14 for feedback

20 reduction of the distortions caused by PMD below a determined value. Thus is provided an apparatus 14, 15, 16 indispensable for PMD compensation.

As may be seen in FIG 1 the apparatus 15 has an input 17 on which it receives part of the transmitted signal. This

25 signal part is drawn off by means of an appropriate known optical coupling device (not shown) arranged on the signal path in such a manner as to not decrease noticeably the power of the signal received from the receiver 13.

The apparatus 15 comprises a controllable generator for

WO 02/071662

PCT/IB02/01613

6

generation of a plurality of reference optical signals of different frequencies. As clarified below the generator can be made up of a plurality of selectively activated laser sources each tunable if necessary to one or more

5 emission frequencies or if possible even a single frequency source tunable for the entire frequency range involved. The controllable generator can also be controlled from the point of view of the transmitted polarization condition. The optical signal  $s_2$  from time to time emitted on command

10 by the generator 18 is sent to a mixer 19 which also receives at input the signal  $s_1$  of which it is desired to know the PMD. The mixer performs mixing of the two signals  $s_1$  and  $s_2$  at input and produces a third optical signal  $s_3$  by superimposition.

15 Advantageously to avoid undesirable effects in the superimposition of two signals input to the mixer the wideband signal input to the apparatus is filtered by a band-pass filter 20 to eliminate any frequency components not involved. The filter 20 can be a fixed filter, a

20 filter tunable on the desired frequencies or a comb filter with appropriately centered frequencies.

The signal  $s_3$  is sent to a detector 30 to find the electrical beat signal or signals between  $s_1$  and  $s_2$  which are then sent to block 21 which comprises first calculation

25 means which calculate for each of the third signals  $s_3$  applied at input first parameters considered indicative of PMD of the sub-band analyzed. As explained below, the detector 30 is an appropriate photodetector unit.

The conventional B band of the wideband signal at the input



WO 02/071662

PCT/IB02/01613

7

17 is divided in a number  $n$  of sub-bands of a width sufficiently small to allow finding accurate information on the parameters representing the PMD. In particular it is advantageous that the number  $n$  satisfy the following

5 relationship:

$$\tau_{\max} B/n < \epsilon$$

where

$\tau_{\max}$  is the maximum Differential Group Delay (DGD) it is desired to detect,

10  $\epsilon$  is a constant expressed in radians with  $0 < \epsilon < 2$  and advantageously  $0 < \epsilon < 0.3$ .

By division in sub-bands is not meant a B band filtering operation but a conceptual division in frequency intervals.

For each sub-band the generator is commanded to produce a  
15 signal  $s_2$  of appropriate frequency so as to produce an associated signal  $s_3$  which is the superimposition of  $s_1$  and  $s_2$  and can be photodetected and produced by beating one or more electrical frequency signals much smaller than the frequency of the two starting signals  $s_1$  and  $s_2$ .

20 Advantageously the second signal is chosen with a frequency such as to produce one or more electrical beat signals included in a frequency interval which is basically the same for all the sub-bands. The stages following the mixer can thus always operate in the same stated frequency

25 interval with minimum and maximum frequencies much smaller than the minimum and maximum frequencies of the wideband signal and with a band much smaller than the B band of the wideband signal.

For example, the frequencies generated for the reference

WO 02/071662

PCT/IB02/01613

8

signal  $s_2$  vary advantageously between  $\Omega_2 - B/2$  and  $\Omega_2 + B/2$  with  $\Omega_2$  any frequency and advantageously chosen so that  $|\Omega_2 - \Omega_1|$  is around  $B/2$  with  $\Omega_1$  being the central frequency of the signal  $s_1$ .

- 5 The PMD indicative parameters calculated for each sub-band (called here  $PMD_x$ ) are memorized in a memory 22. On the basis of the set of parameters  $PMD_1, PMD_2, \dots, PMD_n$  calculated for the  $n$  sub-bands, second elaboration means 23 find second parameters  $PMD_r$  considered indicative of the
- 10 PMD of the wideband signal at input.
- The  $PMD_r$  parameters thus found are sent to a processing and control unit 24 which uses the results of the detection for further processing. They can be supplied to the unit 16 for performing PMD compensation.
- 15 In the case of transmissions to several channels (for example WDM) the third signals are generated and the first and second parameters are calculated on the wideband signal present in each channel so as to find parameters considered indicative of the PMD of the first wideband signal in each
- 20 channel. To do this the generator 18 emits reference signals sequentially for each sub-band of each channel and calculation of the PMD indicative parameters is thus performed channel by channel.
- Calculation of the characteristic PMD parameters in block
- 25 21 for each signal  $s_3$  can be done in various known manners. It was found advantageous that said indicative parameters be calculated in the form of known Stokes parameters generally indicated as  $S_0, S_1, S_2, S_3$ . Calculation of the Stokes parameters is well known to those skilled in the art

WO 02/071662

PCT/IB02/01613

9

and not further discussed. Although there are various ways of passing from the optical signal to the corresponding Stokes parameters and these ways are usable in the present invention it was found preferable to use an appropriate optical splitter to divide the third signal  $s_3$  into optical components with different polarization states and then send each component to an optoelectrical detector which emits a corresponding electrical signal. The PMD indicative parameters of the third signal are then calculated from the appropriate combination of the electrical signals emitted by the detectors.

FIG 2 shows an advantageous possible embodiment of stage 21 of FIG 1. In this advantageous embodiment the signal  $s_3$  is sent to an optical splitter 25 which divides the optical signal  $s_3$  into two components with separate advantageously nearly orthogonal polarizations. Each component is sent to a corresponding detector or photodiode 26 to have two electrical signals  $I_1(t)$  e  $I_2(t)$  representing the intensity of the two optical components which are sent to the first calculation means 27 which calculate in a known manner the above mentioned Stokes parameters  $S_0, S_1, S_2, S_3$  which make up the PMDx output of block 21 of FIG 1.

The processing unit 27 can calculate the Stokes parameters by prior art methods readily imaginable to those skilled in the art.

However the PMD indicative parameters of the signal in each sub-band are calculated and represented, the second calculation means 23 perform predetermined operations on the whole of the parameters of the sub-band in which the B

WO 02/071662

PCT/IB02/01613

10

band of the original signal is divided so as to find the second PMD indicative parameters of said original signal. It was found advantageous that the processing of the signals  $I_1(t)$  and  $I_2(t)$  take place after their filtering with pass-band filters 28 with central frequency dependent on the bit rate and with band width depending on the Differential Group Delay (DGD) of the fiber. In general and as an example, for 10 Gbit/s systems the central frequency can be 7 to 25 GHz while for 40 Gbit/s it can be 30 to 60 GHz.

Finding the second parameters starting from the first parameters can take place in various ways imaginable in themselves to those skilled in the art.

In practice for Stokes parameters, for example the second Stokes parameters  $(S_0, S_1, S_2, S_3)_T$  can be found by appropriately processing the  $n$  samples thereof which are found from the sub-bands.

Where it is desired to give a DGD figure, for example, it might be decided advantageously to not treat the Stokes parameters directly but calculate the DGD of each sub-band starting therefrom for each sub-band and then use one of the possible strategies such as averaging the DGD of all the sub-bands while taking the average value, the mean value and so forth to find a value for each signal.

Again in accordance with the present invention the second parameters or the PMD data inferable therefrom, can also be advantageously found as average or maximum values of the first parameters or of the PMD data inferable therefrom. The changes in the first parameters as compared to one

WO 02/071662

PCT/IB02/01613

11

another i.e. from one sub-band to the other instead of their absolute values can also be advantageously considered significant. The second parameters can therefore be parameters calculated to express these changes. The  
5 compensation unit can then be commanded to keep these changes or reduce them to approximately zero. If the first parameters are Stokes parameters this translates in to keeping or bringing back the Stokes parameters to equality among the sub-bands found for each sub-band i.e. flattening  
10 the Stokes parameter changes in the sub-band for the entire B band of the signal.

It is now clear that the predetermined purposes have been achieved.

Starting from a stated channel the control unit 24 commands  
15 the generator to produce sequentially the signals  $s_2$  assigned to all the sub-bands of a channel and commands calculation of the PMD parameters of the associated sub-band for each signal. After scanning of the sub-band the PMD in the specific band is calculated and then the control  
20 unit commands the generator to produce the signals  $s_2$  associated with the next channel of the transmission system. Once all the channels have been scanned the operation can start over from the beginning. The PMD parameters thus found can then be used to control  
25 compensation of the communication system.

With the method and apparatuses in accordance with the present invention it is possible to operate without problems with channels of any band width and for any number of channels and using a single apparatus with the obvious

WO 02/071662

12

PCT/IB02/01613

advantages this brings.

It should also be remembered that the method in accordance  
with the present invention requires no demultiplying of the  
WDM optical flow and is therefore usable even on line for  
5 example in amplification sites or any place access to the  
fiber can be had economically and not necessarily in  
reception.

Naturally the above description of an embodiment applying  
the innovative principles of the present invention is given  
10 by way of non-limiting example of said principles within  
the scope of the exclusive right claimed here.

## CLAIMS

1. Method for detection of PMD indicative parameters for an optical fiber link comprising at least one transmission channel in which is transmitted a first wideband optical signal with a B band comprising the steps of:
- 5 (a) dividing the B band in sub-bands,  
(b) producing for each sub-band an associated second reference optical signal,  
10 (c) obtaining for each second signal a third optical signal originated by the superimposition of said second signal and said first wideband signal or portions thereof,  
(d) generating for each of the third signals one or more electrical beat signals from which to calculate first parameters considered indicative of the PMD thereof, and  
15 (e) processing of the first PMD indicative parameters calculated for all the beat signals of the sub-bands to find therefrom second parameters considered indicative of the PMD of the first wideband signal.
- 20 2. Method in accordance with claim 1 in which the second signal is chosen with a frequency such as to produce an electrical beat signal or signals included in a frequency interval which is substantially the same for all sub-bands.
3. Method in accordance with claim 1 in which the second parameters or the PMD data inferable therefrom are found as  
25 the average of the first parameters or of the PMD data inferable therefrom.
4. Method in accordance with claim 1 in which the second parameters or PMD data inferable therefrom are found by

WO 02/071662

PCT/IB02/01613

14

choosing as second parameters the maximum values of the first parameters or PMD data inferable therefrom.

5. Method in accordance with claim 1 in which the first parameters are the DGD in each sub-band and the second parameters are found by processing the set of DGDs of the sub-bands.

6. Method in accordance with claim 5 in which processing for finding the second parameters comprises calculation of the average, mean or maximum value of the DGDs of all the sub-bands.

7. Method in accordance with claim 1 in which the second parameters are representative of the changes in the first parameters among the sub-bands.

8. Method in accordance with claim 1 in which the transmission channels are a plurality and steps (a) to (e) are performed on the wideband signal in each channel so as to find parameters considered indicative of the PMD of the first wideband signal in each channel.

9. Method in accordance with claim 1 in which for calculation of the first parameters considered indicative of the PMD of a third signal said third signal is divided in optical components with different polarization states and each component is sent to an opto-electrical detector which emits a corresponding electrical signal with said parameters considered indicative of the PMD of the third signal being calculated from the combination of electrical signals emitted by the detectors.

10. Method in accordance with claim 9 in which the optical components are two with separate polarizations



advantageously nearly orthogonal.

11. Method in accordance with claim 1 in which said indicative parameters are Stokes parameters.

12. Method in accordance with claim 8 in which the first wideband signal is a WDM signal and an associated carrier is defined for each channel.

13. Method in accordance with claim 12 in which the WDM signal is filtered with a pass-band centered on the channel carrier for each channel before superimposition on the reference signal.

14. Method in accordance with claim 12 in which the WDM signals are filtered with a comb filter with frequencies centered on the channel carriers before superimposition on the reference signal.

15. Method in accordance with claim 1 in which the B band is divided in n sub-bands with n such as to satisfy the relationship:

$$\tau_{\max} \cdot B/n < \epsilon$$

where

-  $\tau_{\max}$  is the highest DGD it is desired to detect;  
 -  $\epsilon$  is a constant expressed in radians with  $0 < \epsilon < 2$  and advantageously  $0 < \epsilon < 0.3$

16. PMD compensation method in a communication system transmitting over optical fibers and comprising at least one channel for transmission of a wideband optical signal in which are found PMD indicative parameters of the wideband optical signal by the method in accordance with any one of the above claims and the second parameters calculated and considered PMD indicative for said wideband

- optical signal are used for feedback controlling a PMD compensator arranged along the signal path and reducing the distortion of the PMD caused signal below a preset value.
17. Compensation method in accordance with claim 16 in
- 5 which the first parameters found for each sub-band are Stokes parameters and the second parameters are parameters indicating the changes in said Stokes parameters among the sub-bands with the compensator being controlled for flattening of said changes.
- 10 18. Apparatus for detection of PMD indicative parameters of an optical fiber link comprising at least one transmission channel in which is transmitted a first wideband optical signal having a B band characterized in that it comprises -
- (a) a controllable generator for generation of a plurality
- 15 of second reference optical signals of different frequencies and possibly with controllable polarization state,
- (b) an optical mixer for mixing at least part of the first signal with said second signals to produce for each of said
- 20 second signals a third optical signal originated by superimposition of said second signal on the first wideband signal or portions thereof,
- (c) a detector receiving the third signal and taking therefrom a beat signal between the first and second
- 25 signals,
- (d) first calculation means for calculating from the beat signals of each of the third signals first parameters considered indicative of the PMD thereof, and
- (e) second processing means for the first PMD indicative

parameters calculated for all the third signals to find therefrom second parameters considered indicative of the PMD of the first wideband signal.

19. Apparatus in accordance with claim 18 characterized in that the second signal is chosen with a frequency such as to produce a third signal capable of originating by beating one or more electrical signals included in a frequency interval virtually the same for all the sub-bands.

20. Apparatus in accordance with claim 18 characterized in that the channels are a plurality and the third signals are generated and the first and second parameters are calculated on said first wideband signal present in each channel so as to find parameters considered indicative of the PMD of the first wideband signal in each channel.

21. Apparatus in accordance with claim 18 characterized in that the third signal is applied to a splitter to be divided in optical components with different polarization states and each component is sent to an optoelectrical detector which emits a corresponding electrical signal with each signal being sent to the first calculation means for calculation of said parameters considered indicative of the third signal PMD.

22. Apparatus in accordance with claim 21 characterized in that the optical components are two with separate and advantageously nearly orthogonal polarizations.

23. Apparatus in accordance with claim 18 characterized in that the PMD indicative parameters are Stokes parameters.

24. Apparatus in accordance with claim 20 characterized in that the first wideband signal is a WDM signal and an

associated carrier is defined for each channel.

25. Apparatus in accordance with claim 20 characterized in that before the optical mixer there is a pass-band filter centered on the carrier of a channel of which it is desired  
5 to calculated the PMD.

26. Apparatus in accordance with claim 20 characterized in that before the optical mixer there is a comb filter with selection of the frequencies on which to perform the detection.

10 27. Apparatus for PMD compensation in a communication system transmitting over optical fibers and comprising at least one transmission channel for a first wideband signal in which are detected the PMD indicative parameters of the wideband signal by the method and apparatus in accordance  
15 with any of the above claims and the second parameters calculated and considered PMD indicative of said first wideband signal are sent to a PMD compensator pilot unit arranged along the signal path with the pilot unit employing said second parameters to feedback control the  
20 compensator and reduce below a predetermined value the distortion of the signal caused by the PMD.

28. Optical fiber communication system comprising an apparatus and/or applying a method in accordance with any of the above claims.

WO 02/071662

PCT/IB02/01613

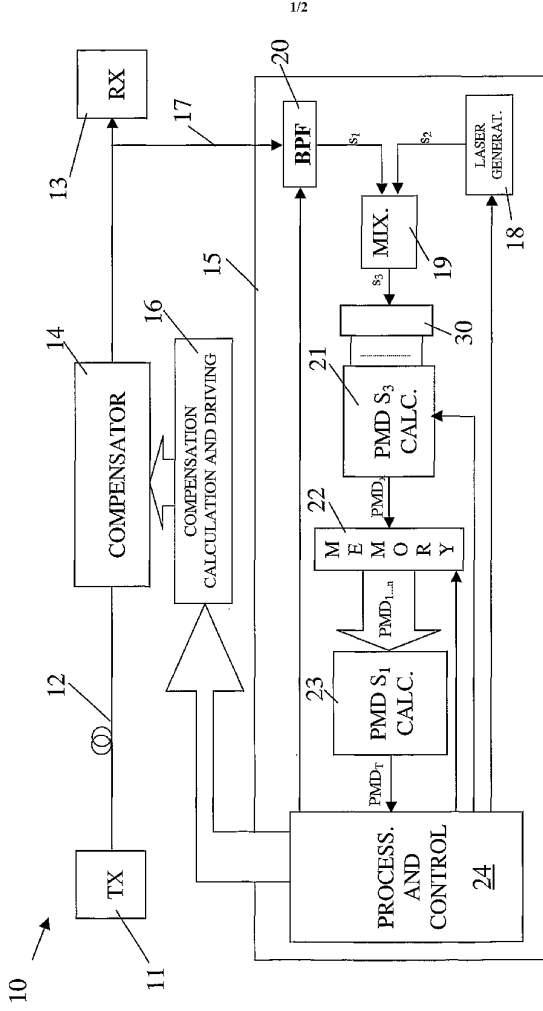


Fig.1

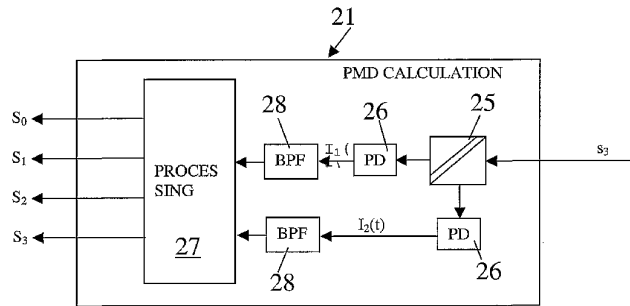


Fig.2

【国際公開パンフレット(コレクトバージョン)】

(12) INTERNATIONAL APPLICATION PUBLISHED UNDER THE PATENT COOPERATION TREATY (PCT)

(19) World Intellectual Property Organization  
International Bureau



(43) International Publication Date  
12 September 2002 (12.09.2002)

PCT

(10) International Publication Number  
WO 02/071662 A3

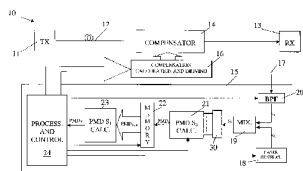
- (51) International Patent Classification: **H04B 10/18**
- (21) International Application Number: PCT/IB02/01613
- (22) International Filing Date: 4 March 2002 (04.03.2002)
- (25) Filing Language: Italian
- (26) Publication Language: English
- (30) Priority Data: MI01A000443 2 March 2001 (02.03.2001) IT
- (71) Applicant (for all designated States except US): **MARCONI COMMUNICATIONS SPA** [IT/IT]; Via A. Negroni 1/A, I-16153 Genova Cornigliano (IT).
- (74) Agent: **COLLIER, Ian, Terry**; Marconi Intellectual Property, Murrable House, The Vineyards, Great Badlow, Chelmsford, Essex CM2 7QS (GB).
- (81) Designated States (national): AI, AG, AL, AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DZ, EC, EE, ES, FI, GB, GD, GE, GI, GM, GR, GU, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KP, KR, KZ, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV, MA, MD, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NZ, OM, PH, PL, PT, RO, RU, SD, SI, SG, SK, SL, ST, SV, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VN, YU, ZA, ZM, ZW.
- (84) Designated States (regional): ARIPO patent (GI, GM, KE, LS, MW, MZ, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW); Eurasian patent (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM); European patent (AT, BE, CH, CY, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE, TR); OAPI patent (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

- (72) Inventors; and
- (75) Inventors/Applicants (for US only): **GALTAROSSA, Andrea** [IT/IT]; Via Giaberti, 9, I-35134 Padova (IT). **PALMIERI, Luca** [IT/IT]; Via Mentana, 163, I-35136 Padova (IT). **FIORONE, Raoul** [IT/IT]; Via Sbarbaro, 5/17, I-16035 Rapallo (IT). **CORTI, Andrea** [IT/IT]; Via A. Da Giussano, 9, I-22063 Cantù (IT).
- (88) Date of publication of the international search report: 12 December 2002

Published with international search report

[Continued on next page]

(54) Title: METHOD AND APPARATUS FOR DETECTION AND COMPENSATION OF PMD PARAMETERS IN SIGNALS TRANSMITTED OVER OPTICAL FIBER LINKS AND SYSTEM OF COMMUNICATION THEREWITH



WO 02/071662 A3

(57) Abstract: A method for detecting PMD indicative parameters of an optical fiber link (12) comprising at least one transmission channel in which is transmitted a first wideband optical signal with the B band comprises the steps of dividing the B band in sub-bands. For each subband is produced a second reference optical signal (2) with which to find a third optical signal (s<sub>3</sub>) which is the superposition of s<sub>1</sub> and s<sub>2</sub>. For each of the third signals are calculated first parameters considered indicative of the PMD thereof and with the first parameters of all the sub-bands are calculated second parameters considered indicative of the PMD of the first wideband signal. The above method can be used as part of a PMD compensation method for a transmission system employing the parameters calculated for feedback piloting of a PMD compensator (14). A detection apparatus is accordance with the method comprises a generator (18) for generation of the second reference optical signals, an optical mixer (19) for producing superposition of the first and second signals, one or more photodetectors for finding the electrical beat signal or signals s<sub>1</sub> and s<sub>2</sub>, first calculation means (21) for calculating the first parameters and second means (23) for processing all the first parameters to find therefrom the second parameters which will then be further processed (24). The detection apparatus can be part of a compensation apparatus comprising the compensator (14) and a calculation stage (16) for calculating the compensation and piloting the compensator. The entirety can be part of an optical fiber communication system.

**WO 02/071662 A3** 

---

*For two-letter codes and other abbreviations, refer to the "Guidance Notes on Codes and Abbreviations" appearing at the beginning of each regular issue of the PCT Gazette.*



## 【 国際調査報告 】

## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

		International Application No. PCT/JP 02/01613
A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER IPC 7 H04B10/18		
According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC		
B. FIELDS SEARCHED Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols) IPC 7 H04B G01M		
Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched		
Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practical, search terms used) EPO-Internal, INSPEC		
C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	EP 0 898 391 A (FUJITSU LTD) 24 February 1999 (1999-02-24) page 8, line 41 -page 8, line 52; figure 24 ---	1-28
A	EP 0 964 237 A (FUJITSU LTD) 15 December 1999 (1999-12-15) page 16, line 48 -page 17, line 9; figure 4 -----	1-28
<input type="checkbox"/> Further documents are listed in the continuation of box C. <input checked="" type="checkbox"/> Patent family members are listed in annex.		
* Special categories of cited documents : *A* document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance *E* earlier document but published on or after the international filing date *L* document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified) *O* document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means *P* document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed *T* later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention *X* document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone *Y* document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art. *Z* document member of the same patent family		
Date of the actual completion of the international search 29 August 2002		Date of mailing of the international search report 06/09/2002
Name and mailing address of the ISA European Patent Office, P.O. Box 5816 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl, Fax: (+31-70) 340-2016		Authorized officer Phillips, S

5

## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International Application No.

PCT/JP 02/01613

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
EP 0898391 A	24-02-1999	JP 11068657 A	09-03-1999
		CN 1209006 A	24-02-1999
		EP 0898391 A2	24-02-1999
		US 6411416 B1	25-06-2002
		US 6081360 A	27-06-2000
EP 0964237 A	15-12-1999	EP 0964237 A1	15-12-1999
		CN 1249813 T	05-04-2000
		WO 9928723 A1	10-06-1999

## フロントページの続き

(81)指定国 AP(GH,GM,KE,LS,MW,MZ,SD,SL,SZ,TZ,UG,ZM,ZW),EA(AM,AZ,BY,KG,KZ,MD,RU,TJ,TM),EP(AT, BE,CH,CY,DE,DK,ES,FI,FR,GB,GR,IE,IT,LU,MC,NL,PT,SE,TR),OA(BF,BJ,CF,CG,CI,CM,GA,GN,GQ,GW,ML,MR,NE,SN, TD,TG),AE,AG,AL,AM,AT,AU,AZ,BA,BB,BG,BR,BY,BZ,CA,CH,CN,CO,CR,CU,CZ,DE,DK,DM,DZ,EC,EE,ES,FI,GB,GD,GE, GH,GM,HR,HU,ID,IL,IN,IS,JP,KE,KG,KP,KR,KZ,LC,LK,LR,LS,LT,LU,LV,MA,MD,MG,MK,MN,MW,MX,MZ,NO,NZ,OM,PH,PL,PT,RO,RU,SD,SE,SG,SI,SK,SL,TJ,TM,TN,TR,TT,TZ,UA,UG,US,UZ,VN,YU,ZA,ZM,ZW

(74)代理人 100074228

弁理士 今城 俊夫

(74)代理人 100084009

弁理士 小川 信夫

(74)代理人 100082821

弁理士 村社 厚夫

(74)代理人 100086771

弁理士 西島 孝喜

(74)代理人 100084663

弁理士 箱田 篤

(72)発明者 ガルタロッサ アンドレア

イタリア イ - 3 5 1 3 4 パドヴァ ヴィア ジベルティ 9

(72)発明者 パルミエリ ルカ

イタリア イ - 3 5 1 3 6 パドヴァ ヴィア モンタ 1 6 3

(72)発明者 フィオローネ ラウール

イタリア イ - 1 6 0 3 5 ラバロ ヴィア スバルバロ 3 / 1 7

(72)発明者 コルティ アンドレア

イタリア イ - 2 2 0 6 3 カンテュ ヴィア ア ダ ギウッサーノ 9

Fターム(参考) 5K102 AA01 AD02 KA05 KA33 MB01 MC06 MD01 MH01 MH14 MH27

PB11 PC12 PH31 RD28

## 【要約の続き】

、そこから更に処理される(24)第2のパラメータを求める第2の手段(23)とを含む。検出装置を、補償装置(14)及び計算段階(16)を備える補償装置の一部とし、補償を計算し、補償装置を案内することができる。全体を光ファイバ通信システムの一部とすることができる。