

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号

特開2016-25518
(P2016-25518A)

(43) 公開日 平成28年2月8日(2016.2.8)

(51) Int.Cl.	F I	テーマコード (参考)
HO4B 10/61 (2013.01)	HO4B 9/00 610	5K102
HO4B 10/2507 (2013.01)	HO4B 9/00 251	
HO4B 10/2569 (2013.01)	HO4B 9/00 266	

審査請求 未請求 請求項の数 10 O L (全 9 頁)

(21) 出願番号 特願2014-148945 (P2014-148945)
(22) 出願日 平成26年7月22日 (2014.7.22)

(71) 出願人 000006013
三菱電機株式会社
東京都千代田区丸の内二丁目7番3号
(74) 代理人 100089118
弁理士 酒井 宏明
(72) 発明者 後藤 広樹
東京都千代田区丸の内二丁目7番3号 三
菱電機株式会社内
Fターム(参考) 5K102 AA01 AH14 KA02 KA05 KA33
KA39 MA02 MB13 MD01 MD03
MH03 MH14 MH21 RD11 RD26

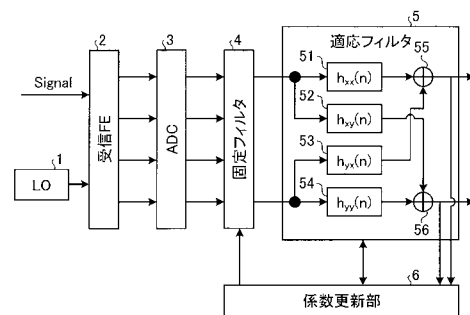
(54) 【発明の名称】 光受信器、送受信装置、光通信システムおよび波形歪補償方法

(57) 【要約】

【課題】 波形歪の補償能力を向上させることができる光受信器を得ること。

【解決手段】 光受信器であって、受信した信号光を電気信号に変換する受信FE 2と、電気信号に含まれる静的な波形歪を補償する固定フィルタ4と、固定フィルタ4により静的な波形歪が補償された後の電気信号に対して波形歪を補償する適応フィルタ5と、適応フィルタ5に設定されたフィルタ係数に基づいて、固定フィルタ4のフィルタ係数を更新する係数更新部6と、を備える。

【選択図】 図1



【特許請求の範囲】

【請求項 1】

受信した信号光を電気信号に変換する検波部と、
 前記電気信号に含まれる静的な波形歪を補償する固定フィルタと、
 前記固定フィルタにより静的な波形歪が補償された後の電気信号に対して波形歪を補償する適応フィルタと、
 前記適応フィルタに設定されたフィルタ係数に基づいて、前記固定フィルタのフィルタ係数を更新する係数更新部と、
 を備えることを特徴とする光受信器。

【請求項 2】

前記係数更新部は、前記適応フィルタに設定されたフィルタ係数に基づいて、前記適応フィルタで補償した静的な波形歪を算出し、前記静的な波形歪に基づいて、前記固定フィルタのフィルタ係数を更新することを特徴とする請求項 1 に記載の光受信器。

【請求項 3】

伝送路における波長分散量と波形歪との関係をあらかじめ算出し、前記関係を用いて、前記静的な波形歪に対応する波長分散量を求め、求めた波長分散量に基づいて前記固定フィルタのフィルタ係数を更新することを特徴とする請求項 2 に記載の光受信器。

【請求項 4】

前記波長分散量と波形歪との関係をテーブルとして保持し、前記テーブルを用いて前記静的な波形歪に対応する波長分散量を求めることを特徴とする請求項 3 に記載の光受信器。

【請求項 5】

伝送路における信号帯域狭窄化による劣化量と波形歪との関係をあらかじめ算出し、前記関係を用いて、前記静的な波形歪に対応する信号帯域狭窄化の劣化量を求め、求めた劣化量に基づいて前記固定フィルタのフィルタ係数を更新することを特徴とする請求項 2、3 または 4 に記載の光受信器。

【請求項 6】

受信した信号光を電気信号に変換する検波部と、
 前記電気信号に含まれる静的な波形歪を補償する固定フィルタと、
 前記固定フィルタにより静的な波形歪が補償された後の電気信号に対して波形歪を補償する適応フィルタと、
 前記適応フィルタに設定されたフィルタ係数に基づいて、前記適応フィルタで補償した静的な波形歪を算出する係数更新部と、
 を備え、
 前記静的な波形歪を示す情報を前記信号光の送信元の光送信器へ送信することを特徴とする送受信装置。

【請求項 7】

光送信器と光受信器とを備える光通信システムであって、
 前記光受信器は、
 前記光送信器から受信した信号光を電気信号に変換する検波部と、
 前記電気信号に含まれる静的な波形歪を補償する固定フィルタと、
 前記固定フィルタにより静的な波形歪が補償された後の電気信号に対して波形歪を補償する適応フィルタと、
 前記適応フィルタに設定されたフィルタ係数に基づいて、前記固定フィルタのフィルタ係数を更新する係数更新部と、
 を備えることを特徴とする光通信システム。

【請求項 8】

光送信器を備える第 1 の送受信装置と光受信器を備える第 2 の送受信装置とを備える光通信システムであって、
 前記光受信器は、

10

20

30

40

50

前記光送信器から受信した信号光を電気信号に変換する検波部と、
前記電気信号に含まれる静的な波形歪を補償する固定フィルタと、
前記固定フィルタにより静的な波形歪が補償された後の電気信号に対して波形歪を補償する適応フィルタと、

前記適応フィルタに設定されたフィルタ係数に基づいて、前記適応フィルタで補償した静的な波形歪を算出する係数更新部と、

を備え、

前記第 2 の送受信装置は、前記静的な波形歪を示す情報を前記第 1 の送受信装置へ送信し、

前記光送信器は、

波形歪を補償する送信側フィルタと、

前記第 2 の送受信装置から受信した前記静的な波形歪に基づいて前記送信側フィルタのフィルタ係数を更新する送信側係数更新部と、

を備えることを特徴とする光通信システム。

【請求項 9】

固定フィルタと適応フィルタを備える光受信器における波形歪補償方法であって、

受信した信号光を電気信号に変換する第 1 のステップと、

前記電気信号に含まれる静的な波形歪を前記固定フィルタにより補償する第 2 のステップと、

前記第 2 のステップにより静的な波形歪が補償された後の電気信号に対して前記適応フィルタにより波形歪を補償する第 3 のステップと、

前記適応フィルタに設定されたフィルタ係数に基づいて、前記固定フィルタのフィルタ係数を更新する第 4 のステップと、

を含むことを特徴とする波形歪補償方法。

【請求項 10】

送信側フィルタを有する光送信器を備える第 1 の送受信装置と、固定フィルタおよび適応フィルタを有する光受信器を備える第 2 の送受信装置とを備える光通信システムにおける波形歪補償方法であって、

前記第 2 の送受信装置が、前記光送信器から受信した信号光を電気信号に変換する第 1 のステップと、

前記第 2 の送受信装置が、前記電気信号に含まれる静的な波形歪を前記固定フィルタにより補償する第 2 のステップと、

前記第 2 の送受信装置が、前記第 2 のステップにより静的な波形歪が補償された後の電気信号に対して前記適応フィルタにより波形歪を補償する第 3 のステップと、

前記第 2 の送受信装置が、前記適応フィルタに設定されたフィルタ係数に基づいて、前記適応フィルタで補償した静的な波形歪を算出する第 4 のステップと、

前記第 2 の送受信装置が、前記静的な波形歪を示す情報を前記信号光の送信元の光送信器へ送信する第 5 のステップと、

前記第 1 の送受信装置が、前記第 2 の送受信装置から受信した前記静的な波形歪に基づいて前記送信側フィルタのフィルタ係数を更新する第 6 のステップと、

を含むことを特徴とする波形歪補償方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、光受信器、送受信装置、光通信システムおよび波形歪補償方法に関する。

【背景技術】

【0002】

長距離光ファイバ通信では、現在 10 Gbps - OOK (On - Off Keying) が主流である。通信容量の拡大に伴い、長距離光ファイバ通信では大容量が求められている。大容量化の実現手段として、1 波長当たりの伝送速度の高速化をするために、デジ

10

20

30

40

50

タルコヒーレント方式を用いた100Gbit/sへの期待が高まっている。

【0003】

ビットレートが高くなると伝送に伴うCD(Chromatic Dispersion)やPMD(Polarization Mode Dispersion)により、波形が歪やすく伝送特性が劣化するという課題があった。

【0004】

デジタルコヒーレント方式では、CDやPMDによる波形歪を受信部のデジタル信号処理により補償することが可能である。デジタル信号処理を用いた光受信器には波形歪を補償するために2つのFIR(Finite Impulse Response)フィルタがある。この2つのFIRフィルタは、CD等によって生じる静的な波形歪を補償する

10

【0005】

特許文献1では、適応フィルタで波形等化後に信号品質をモニタし、信号の振幅や位相の情報を適応フィルタにフィードバックすることで波形歪を等化する方法が開示されている。また、非特許文献1では、適応フィルタの係数を用いて固定フィルタで補償できずに残留したCDを計算する方法が開示されている。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0006】

20

【特許文献1】国際公開第2013/084391号

【非特許文献】

【0007】

【非特許文献1】J.C.Geyer,他4名,「Performance Monitoring Using Coherent Receivers」,OSA/OFC/NFOEC,OTth5,2009年

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0008】

しかしながら、光ファイバ伝送において、CDは固定の伝送路においても常に一定値を有さず、時間の経過と共にゆっくりと変化する。このため、CDが変化するとCDが固定フィルタで除去しきれなくなり、CDによる波形歪が残留した状態で後段の適応フィルタに受信信号が入力される。適応フィルタで補償可能な波形歪には限界があり、波形歪が残留していると、適応フィルタで補償できる動的な波形歪量が減少し、適応フィルタで動的な波形歪を補償しきれず、伝送特性が劣化するという課題があった。

30

【0009】

本発明は、上記に鑑みてなされたものであって、波形歪の補償能力を向上させることができる光受信器、送受信装置、光通信システムおよび波形歪補償方法を得ることを目的としている。

【課題を解決するための手段】

40

【0010】

上述した課題を解決し、目的を達成するために、本発明は、受信した信号光を電気信号に変換する検波部と、前記電気信号に含まれる静的な波形歪を補償する固定フィルタと、前記固定フィルタにより静的な波形歪が補償された後の電気信号に対して波形歪を補償する適応フィルタと、前記適応フィルタに設定されたフィルタ係数に基づいて、前記固定フィルタのフィルタ係数を更新する係数更新部と、を備えることを特徴とする。

【発明の効果】

【0011】

本発明によれば、波形歪の補償能力を向上させることができるという効果を奏する。

【図面の簡単な説明】

50

【 0 0 1 2 】

【 図 1 】 図 1 は、本発明にかかる光受信器の構成例を示す図である。

【 図 2 】 図 2 は、フィルタ係数の更新手順の一例を示すフローチャートである。

【 図 3 】 図 3 は、送受信器を備える光通信システムの一例を示す図である。

【 図 4 】 図 4 は、波形歪の情報を送信側にフィードバックする場合の光送信器の構成例を示す図である。

【 図 5 】 図 5 は、波形歪の情報を送信側にフィードバックする場合のフィルタ係数の更新手順の一例を示すフローチャートである。

【 発明を実施するための形態 】

【 0 0 1 3 】

10

以下に、本発明にかかる光受信器、送受信装置、光通信システムおよび波形歪補償方法の実施の形態を図面に基づいて詳細に説明する。なお、この実施の形態によりこの発明が限定されるものではない。

【 0 0 1 4 】

実施の形態 .

図 1 は、本発明にかかる光受信器の構成例を示す図である。図 1 に示すように、本実施の形態の光受信器は、デジタルコヒーレント方式を用いた光受信器であり、LO (Local Oscillator) 1、受信 FE (Front End) (検波部) 2、ADC (Analog-to-Digital Converter) 3、固定フィルタ 4、適応フィルタ 5 および係数更新部 6 を備える。

20

【 0 0 1 5 】

適応フィルタ 5 は、係数乗算部 5 1 ~ 5 4 および加算器 5 5 , 5 6 を備える。係数乗算部 5 1 は後述の係数 (フィルタ係数) $h_{xx}(n)$ を保持し、係数乗算部 5 2 は後述の $h_{xy}(n)$ を保持し、係数乗算部 5 3 は後述の $h_{yx}(n)$ を保持し、係数乗算部 5 4 は後述の $h_{yy}(n)$ を保持する。

【 0 0 1 6 】

次に、本実施の形態の動作について説明する。伝送された信号光 (図 1 の Signal) は、受信 FE 2 に入力される。受信 FE 2 は、LO 1 から入力される局部発信光を用いて信号光に対してコヒーレント検波を行う。これにより、信号光の振幅および位相の情報を保持したままで、信号光はベースバンドの電気信号に変換される。具体的には、受信 FE 2 は、信号光を 2 つの直交偏波成分 (X 偏波、Y 偏波) に分離し、局部発信光を用いて各偏波成分について信号光から局部発信光と同相 (In-Phase) の光信号と 90 度位相差 (Quadrature-Phase) を持つ光信号とを抽出する。そして、受信 FE 2 は、抽出した信号をそれぞれ電気信号に変換して出力する。受信 FE 2 が出力する信号は、 X_I (X 偏波の I (In-Phase) 成分) 信号、 X_Q (X 偏波の Q (Quadrature-Phase) 成分) 信号、 Y_I (Y 偏波の I 成分) 信号、 Y_Q (Y 偏波の Q 成分) 信号である。

30

【 0 0 1 7 】

ADC 3 は、受信 FE 2 から出力された信号をそれぞれデジタル信号に変換し、固定フィルタ 4 に入力する。固定フィルタ 4 は、主として静的な波形歪を補償するためのフィルタであり、設定された係数に基づいて波形歪の等化を行い、等化後の信号を適応フィルタ 5 に入力する。適応フィルタ 5 には、固定フィルタ 4 による等化後の X 偏波成分の複素信号と Y 偏波成分の複素信号とが入力される。適応フィルタ 5 では、固定フィルタ 4 による等化後の X 偏波成分は 2 つに分岐され、係数乗算部 5 1 , 5 2 によりそれぞれ係数が乗算される。また、固定フィルタ 4 による等化後の Y 偏波成分は 2 つに分岐され、係数乗算部 5 3 , 5 4 によりそれぞれ係数が乗算される。そして、加算器 5 5 は、係数乗算部 5 1 により係数が乗算された信号と係数乗算部 5 3 により係数が乗算された信号とを加算して出力する。加算器 5 6 は、係数乗算部 5 2 により係数が乗算された信号と係数乗算部 5 4 により係数が乗算された信号とを加算して出力する。

40

【 0 0 1 8 】

50

係数更新部 6 は、加算器 55, 56 から出力される信号を用いて所定のアルゴリズムに従って適応フィルタ 5 の係数を更新するとともに、適応フィルタ 5 の係数を用いて固定フィルタ 4 で補償できずに残留した固定の波形歪（適応フィルタ 5 で補償した静的な波形歪（波形歪の固定成分））を算出し、算出した波形歪に基づいて固定フィルタ 4 の係数を更新する。適応フィルタ 5 の係数を更新するためのアルゴリズムはどのようなものを用いてもよい。

【0019】

図 2 は、本実施の形態のフィルタ係数の更新手順の一例を示すフローチャートである。まず、係数更新部 6 は、適応フィルタ 5 に設定されている係数 $h(n)$ ($h_{xx}(n)$, $h_{xy}(n)$, $h_{yx}(n)$, $h_{yy}(n)$ を成分とする行列) を読み込む（ステップ S1）。 $h(n)$ を以下の式（1）で定義する。なお、 n は、適応フィルタ 5 の係数の番号を示す値であり、適応フィルタ 5 の係数の更新のたびに 1 インクリメントされる。係数の更新周期 T を固定とすると、 n は時間に対応する。

10

【0020】

【数 1】

$$h(n) = \begin{pmatrix} h_{xx}(n) & h_{xy}(n) \\ h_{yx}(n) & h_{yy}(n) \end{pmatrix} \quad \dots(1)$$

【0021】

次に、係数更新部 6 は、 $h(n)$ を離散フーリエ変換して以下の式（2）に示すように $H(\omega)$ を算出する（ステップ S2）。

20

【0022】

【数 2】

$$H(\omega) = \begin{pmatrix} H_{xx}(\omega) & H_{xy}(\omega) \\ H_{yx}(\omega) & H_{yy}(\omega) \end{pmatrix} \quad \dots(2)$$

【0023】

そして、係数更新部 6 は、以下の式（3）により、適応フィルタ 5 で補償した波形歪の固定成分 $D(\omega)$ を算出する（ステップ S3）。

30

【0024】

【数 3】

$$D(\omega) = (\det H(\omega))^{\frac{1}{2}}, \quad \arg(D(\omega)) = \exp\left(-j \frac{D\lambda^2}{4\pi c} \omega^2\right) \quad \dots(3)$$

【0025】

係数更新部 6 は、適応フィルタ 5 で補償した波形歪の固定成分 $D(\omega)$ を時間平均化する（ステップ S4）。次に、係数更新部 6 は、保持しているテーブルを参照し（ステップ S5）、時間平均化した波形歪 $D(\omega)$ に基づいて波長分散量を算出し、波長分散量に基づいて固定フィルタ 4 の係数を更新する（ステップ S6）。本実施の形態では、波形歪 $D(\omega)$ と波長分散量との関係をあらかじめ求めておき、この関係を係数更新部 6 がテーブルとして保持しているとする。なお、ここではテーブルを用いる例を示したが、波形歪 $D(\omega)$ から波長分散量を算出する方法は、テーブルを用いる例に限定されず、計算式を用いて算出する等、どのような方法を用いてもよい。そして、係数更新部 6 は、所定のアルゴリズムに従って適応フィルタ 5 の係数を更新する（ステップ S7）。

40

【0026】

なお、ここでは、固定フィルタ 4 の係数の更新時に、波長分散量を補償する例を示したが、波長分散量の補償だけでなく、適応フィルタ 5 の係数を用いて信号帯域狭窄化におけ

50

るペナルティ（劣化量、帯域の減少量）の補償を行うように固定フィルタ4の係数を更新してもよい。信号帯域狭窄化についても、波長分散量と同様にあらかじめ、信号帯域狭窄化と波形歪との関係を求めておき、テーブルで保持する等により、波形歪に対応した信号帯域狭窄化の量を求めるようにしてもよい。

【0027】

また、海底ケーブルを用いるような長距離システムでは2つの地点A、Bに、送信および受信を行う送受信器があり、互いにデータのやり取りが行われている。図3は、送受信器10-1、10-2を備える光通信システムの一例を示す図である。送受信器10-1、10-2は、それぞれが、光受信器11および光送信器12を備える。光受信器11は、図1を用いて説明した光受信器である。

10

【0028】

このような構成の場合、図2を用いて説明した手順で固定フィルタ4の係数を更新してもよいが、送受信器10-1の適応フィルタ5の係数を用いて算出した波形歪の情報を送受信器10-2へ送信し、送受信器10-2の光送信器12にフィードバックしてもよい。具体的には、係数更新部6が算出した波形歪の情報（固定フィルタ4の係数更新の元にした情報、または更新した固定フィルタ4の係数自体等）を、送信信号の1つとして送受信器10-1の光送信器12から通信相手の送受信器10-2へ送信する。送受信器10-2の適応フィルタ5の係数を用いて算出した波形歪の情報についても、同様に送受信器10-1へフィードバックすることができる。

20

【0029】

送信器へ波形歪の情報をフィードバックする際には、フレームのオーバーヘッド部分にある空き領域を使うことで、信号品質を下げることなく通信可能である。

【0030】

図4は、波形歪の情報を送信側にフィードバックする場合の光送信器12の構成例を示す図である。光送信器12は、光源21、固定フィルタ（送信側フィルタ）22、光変調器23および係数更新部（送信側係数更新部）24を備える。係数更新部24は、光受信器11が受信した通信相手の装置から送信された波形歪の情報に基づいて、伝送路において波形歪が発生した場合に波形歪を打ち消すように固定フィルタ22の係数を更新する。光変調器23は、固定フィルタ22を経由した送信信号と光源21から出力される無変調の光とに基づいて、変調された信号光を生成する。変調された信号光は、通信相手の装置へ送信される。

30

【0031】

図5は、波形歪の情報を送信側にフィードバックする場合のフィルタ係数の更新手順の一例を示すフローチャートである。ステップS1～ステップS4は、図2の例と同様である。ステップS4の後、係数更新部6は、時間平均化した波形歪の固定成分D（ ）に基づいて波形歪の情報を生成し、波形歪の情報を光送信器12へ渡し、光送信器12が波形歪の情報を通信相手装置へ送信する（ステップS10）。

【0032】

通信相手装置では、係数更新部24が、受信した波形歪の情報に基づいて固定フィルタ22の係数を更新する（ステップS11）。そして、図2の例と同様に、ステップS7を実施する。なお、ステップS7を、ステップS10およびステップS11の前に実施してもよい。

40

【0033】

以上のように、本実施の形態では、デジタルコヒーレント方式を用いた光受信器に固定フィルタ4の係数を制御する機能を設け、適応フィルタ5に設定した係数に基づいて、適応フィルタ5で補償した固定の波形歪を算出して固定フィルタ4にフィードバックするようにした。または、通信相手の装置へ固定の波形歪の情報を送信して、通信相手の装置において固定の波形歪を補償するようにした。このため、適応フィルタ5に入力される信号に残留する固定の波形歪が低減されているため、適応フィルタ5で補償する動的な波形歪量が減少せず、伝送特性の劣化を低減することができる。

50

【産業上の利用可能性】

【0034】

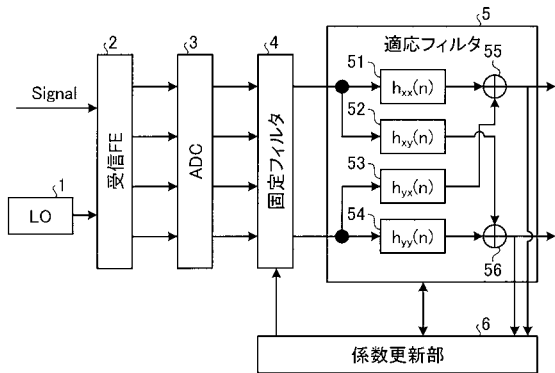
以上のように、本発明にかかる光受信器、光送受信器、光通信システムおよび波形歪補償方法は、デジタルコヒーレント方式を用いる光通信システムに有用である。

【符号の説明】

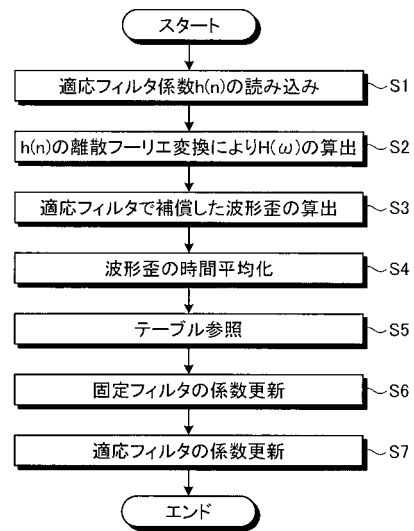
【0035】

1 LO、2 受信FE、3 ADC、4 固定フィルタ、5 適応フィルタ、6、24 係数更新部、51~54 係数乗算部、55、56 加算器、10-1、10-2 送受信器、11 光受信器、12 光送信器、21 光源、22 固定フィルタ、23 光変調器。

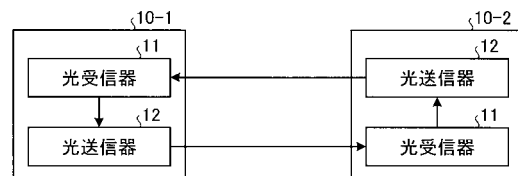
【図1】



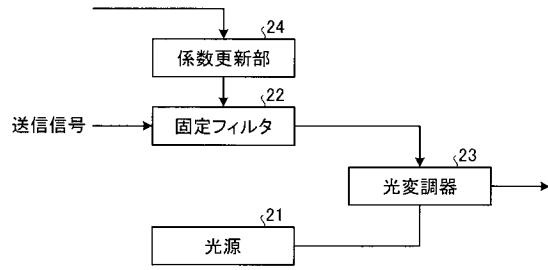
【図2】



【図3】



【 図 4 】



【 図 5 】

