

(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2015-510366

(P2015-510366A)

(43) 公表日 平成27年4月2日(2015.4.2)

(51) Int.Cl.

H04B 10/2513 (2013.01)

F I

H04B 9/00 253

テーマコード (参考)

5K102

審査請求 有 予備審査請求 未請求 (全 29 頁)

(21) 出願番号 特願2014-559108 (P2014-559108)
 (86) (22) 出願日 平成24年3月2日 (2012.3.2)
 (85) 翻訳文提出日 平成26年10月20日 (2014.10.20)
 (86) 国際出願番号 PCT/EP2012/053622
 (87) 国際公開番号 W02013/127467
 (87) 国際公開日 平成25年9月6日 (2013.9.6)

(71) 出願人 598036300
 テレフオンアクチーボラゲット エル エム エリクソン (パブル)
 スウェーデン国 ストックホルム エスー 164 83
 (74) 代理人 100109726
 弁理士 園田 吉隆
 (74) 代理人 100101199
 弁理士 小林 義教
 (72) 発明者 マグリー, ロベルト
 イタリア国 イー43100 パルマ,
 ヴィア ライモンディ 5
 (72) 発明者 コルシーニ, ラファエーレ
 イタリア国 イー20143 ミラノ,
 ヴィア ピ. パオリ 2

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 波長分散処理の装置及び方法

(57) 【要約】

波長分散 (C D) 処理装置 (10) はイコライザループ (12) を含み、イコライザループ (12) は、残留 C D 値を有する分散補正サンプル (18) を形成するために、C D を有する光通信信号の電氣的表現のサンプル (16) を受信し、かつ、C D 補償をサンプルに適用するよう配設された、周波数領域イコライザ (F D E) (14) と、補正サンプルを受信し、補正サンプルから信号のチャネル線形伝達関数の表現を生成して、前記表現を備えるモニタリング信号 (22) を生成、伝送するよう配設された、時間領域イコライザ (20、44) と、モニタリング信号を受信して残留 C D 値を推定するよう配設された、光学性能モニタリング装置 (26)、及び、推定残留 C D 値を受信してそれを閾値と比較し、推定値が閾値を下回ることがない限り、推定値を含む推定信号 (30) を生成して F D E に伝送するよう配設された、プロセッサ (28) を備える。

【選択図】 図 1

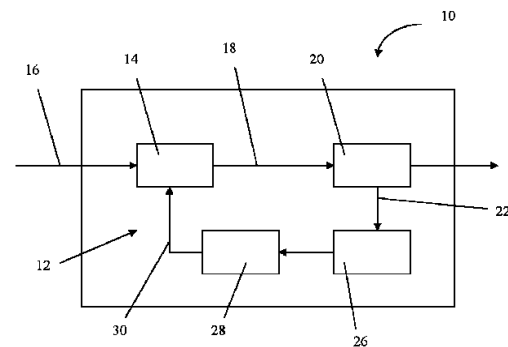


Fig. 1

【特許請求の範囲】**【請求項 1】**

イコライザループを含む波長分散処理装置であって、前記イコライザループは、
残留波長分散値を有する分散補正サンプルを形成するために、波長分散を有する光通信
信号の電氣的表現のサンプルを受信するよう配設され、かつ、波長分散補償を前記サンプ
ルに適用するよう配設された、周波数領域イコライザと、

前記分散補正サンプルを受信して、前記分散補正サンプルから前記光通信信号のチャネ
ル線形伝達関数の表現を生成するよう配設され、かつ、前記チャネル線形伝達関数の前記
表現を含むモニタリング信号を生成、伝送するよう配設された、時間領域イコライザと、

前記モニタリング信号を受信し、前記チャネル線形伝達関数の前記表現から前記残留波
長分散値を推定するよう配設された、光学性能モニタリング装置、及び、

前記推定残留値を受信し、前記推定残留値を閾値と比較するよう配設され、前記推定残
留値が前記閾値を下回ることがない限り、前記推定残留値を含む推定信号を生成して、前
記周波数領域イコライザに伝送するよう配設された、プロセッサを備える、波長分散処理
装置。

【請求項 2】

前記時間領域イコライザは、分散補償サンプルを形成するために、前記分散補正サンプ
ルから前記光通信信号の反転チャネル線形伝達関数を生成し、前記反転チャネル線形伝達
関数を前記分散補正サンプルに適用するよう配設される、請求項 1 に記載の波長分散処理
装置。

【請求項 3】

前記時間領域イコライザは、5 から 15 の範囲内のいくつかのタップを有する、二次元
分数間隔フィードフォワードイコライザを備える、請求項 1 又は 2 に記載の波長分散処理
装置。

【請求項 4】

前記周波数領域イコライザは、波長分散の初期値について前記サンプルを補償するよう
配設され、かつ、前記推定信号の受信に応答して、波長分散の後続値について前記サンプ
ルを補償するよう配設され、前記後続値は、前記初期値と、前記推定信号及び既に受領さ
れた各推定信号のそれぞれの前記推定残留値との合計である、請求項 1 から 3 のいずれか
1 項に記載の波長分散処理装置。

【請求項 5】

前記初期値は、 0 ps/nm 、前記光通信信号によって蓄積される既知の最小波長分散
、及び、前記光通信信号を受信する光通信ネットワークのリンクの既知の波長分散のう
ちの 1 つである、請求項 4 に記載の波長分散処理装置。

【請求項 6】

前記波長分散処理装置は更に、

前記分散補償サンプルのビットエラー率を確定するよう配設された、ビットエラー率モ
ニタリング装置、及び、

前記ビットエラー率を受信し、前記ビットエラー率を第 1 閾値ビットエラー率と比較す
るよう配設され、前記ビットエラー率が前記第 1 閾値ビットエラー率を下回ることがない
限り、予め選択されている波長分散増加量が、既に補償された波長分散の値に反復して加
算されるようにするよう配設された前記プロセッサを備える、請求項 1 から 5 のいずれか
1 項に記載の波長分散処理装置。

【請求項 7】

前記プロセッサは、前記ビットエラー率が前記第 1 閾値ビットエラー率を下回ること
に
応答して、前記ビットエラー率を第 2 閾値ビットエラー率と比較するよう配設され、前記
ビットエラー率が前記第 2 閾値ビットエラー率を下回り、かつ、前記推定残留値が前記閾
値を下回ることがない限り、前記推定残留値を含む前記推定信号を生成し、伝送するよう
配設される、請求項 6 に記載の波長分散処理装置。

【請求項 8】

前記閾値は 10 ps/nm から 50 ps/nm の範囲内におさまる、請求項 1 から 7 のいずれか 1 項に記載の波長分散処理装置。

【請求項 9】

光通信信号の波長分散を処理する方法であって、

- a. 波長分散を有する光通信信号の電氣的表現のサンプルを受信すること、
- b. 残留波長分散値を有する分散補正サンプルを形成するために、波長分散の値について前記サンプルを補償すること、
- c. 前記分散補正サンプルから、前記光通信信号のチャネル線形伝達関数の表現を生成すること、
- e. 前記チャネル線形伝達関数の前記表現から、前記残留波長分散値を推定すること、
- f. 波長分散の後続値を形成するために、前記推定残留値を閾値と比較し、それが前記閾値を下回ることがない限り、前記推定残留値を既に補償された波長分散の値に加算すること、及び、
- g. 前記推定残留値が前記閾値を下回るまで、波長分散のそれぞれの後続値についてステップ b. からステップ f. までは繰り返すことを含む、方法。

10

【請求項 10】

ステップ c. は更に、分散補償サンプルを形成するために、前記分散補正サンプルから前記光通信信号の反転チャネル線形伝達関数を生成し、前記反転チャネル線形伝達関数を前記分散補正サンプルに適用することを含む、請求項 9 に記載の方法。

【請求項 11】

20

ステップ c. は、5 から 15 の範囲内のいくつかのタップを有する二次元分数間隔フィードフォワードイコライザを備える時間領域イコライザを使用して実装される、請求項 9 又は 10 に記載の方法。

【請求項 12】

ステップ b. の初回実装において使用される波長分散の値は、 0 ps/nm 、前記光通信信号によって蓄積される既知の最小波長分散、及び、前記光通信信号を受信する光通信ネットワークのリンクの既知の波長分散のうちの 1 つである、請求項 9 から 11 のいずれか 1 項に記載の方法。

【請求項 13】

30

前記方法は更に、

- d. 前記分散補償サンプルのビットエラー率を確定し、波長分散の増加後の値を形成するために、前記ビットエラー率を第 1 閾値ビットエラー率と比較し、前記ビットエラー率が前記第 1 閾値ビットエラー率を下回ることがない限り、予め選択されている波長分散増加量を、前記既に補償された波長分散の値に加算し、かつ、前記ビットエラー率が前記第 1 閾値ビットエラー率を下回るまで、ステップ b. から d. までは繰り返すことを含む、請求項 9 から 12 のいずれか 1 項に記載の方法

【請求項 14】

ステップ f. は、前記ビットエラー率を第 2 閾値ビットエラー率と比較することを追加的に含み、推定残留値は、前記ビットエラー率が前記第 2 閾値ビットエラー率を下回り、かつ、前記推定残留値が前記閾値を下回ることがない限り、波長分散の後続値を形成するために、前記既に補償された波長分散の値に加算される、請求項 13 に記載の方法。

40

【請求項 15】

前記閾値は 10 ps/nm から 50 ps/nm の範囲内におさまる、請求項 9 から 14 のいずれか 1 項に記載の方法。

【請求項 16】

光学モニタリング装置であって、

光通信信号を受信し、前記光通信信号の電氣的表現を生成するよう配設された光検波装置と、

前記電氣的表現のサンプルを生成するよう配設されたアナログ - デジタル変換装置、及び、

50

請求項 1 から 8 のいずれか 1 項に記載の波長分散処理装置を備える、光学モニタリング装置。

【請求項 17】

光受信器であって、

光通信信号を受信し、前記光通信信号の電氣的表現を生成するよう配設された光検波装置と、

前記電氣的表現のサンプルを生成するよう配設されたアナログ - デジタル変換装置、及び、

請求項 1 から 8 のいずれか 1 項に記載の波長分散処理装置を含むデジタル信号処理装置を備える、光受信器。

10

【請求項 18】

コンピュータ可読命令が埋め込まれているデータ媒体であって、前記コンピュータ可読命令は、プロセッサで利用可能なリソースへのアクセスを提供するためのものであり、前記コンピュータ可読命令は、前記プロセッサに、請求項 9 から 15 のいずれか 1 項に記載の、光通信信号の波長分散を補償する前記方法を実行させるための命令を含む、データ媒体。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、波長分散処理装置、光受信器、光学モニタリング装置、及び、光通信信号の波長分散を処理する方法に関する。

20

【背景技術】

【0002】

偏波分割多重化 (PDM) マルチレベル変調フォーマットのコヒーレント検波及びデジタル信号処理 (DSP) に基づく光伝送の仕組みは、注目を集めており、次世代光ネットワークのためのものと考えられている。コヒーレント受信器の主たる利点は、受信された光信号の振幅情報と位相情報の両方を提供することである。これらの情報は、DSP に基づくイコライザによって、伝送された信号を復元するために、チャネル線形伝達関数の反転に使用される。それゆえ、デジタルイコライザは、線形チャネル減損の全て、すなわち波長分散 (CD) と偏波モード分散 (PMD) を補償する。このことは特に、一般的な光学システムの弱非線形方式に当てはまる。

30

【0003】

CD 及び PMD の補償は、チャネルメモリが時間領域イコライザ (TDE) 長を下回る限りにおいて、単一の TDE を使用して取得可能である。PMD によってもたらされるシンボル間干渉 (ISI) は通常限定的なものであるため、PMD を補償するために TDE 内で必要なタップの数は少数である。対照的に、残留 CD によって誘起されたチャネルメモリは非常に長くなる可能性があることから、CD を補償するには、TDE 内で多数のタップ数が必要となる。別のアプローチは、CD 補償を実行する周波数領域イコライザ (FDE) と結合された、PMD を補償する計算量削減型 TDE を活用するものである。FDE 内では、信号は、高速フーリエ変換によって変換され、分散型チャネル伝達関数の逆関数によって多重化される。この解決策の利点は、たとえタップの数が少ない場合でも、FDE の計算量が TDE を下回ることである。しかし、FDE の使用は、チャネルの残留 CD 値についての先行知識を要する。ほとんどの場合、CD は既知の量であると仮定され、FDE 内であらかじめ設定される。しかし、光ネットワーク全体にわたる伝送リンクの CD は、信号の動的切り換え及びルート変更によって変化するため、つまり、リンクの補償されない残留 CD は未知だということである。従って、光ネットワーク内の光経路の動的変更に対処するために、適応 CD 補償が必要とされている。このことに対する報告済みの解決策は、遅延タップサンプリング、トレーニングシーケンスからのチャネル推定に補助される最小平均二乗誤差 (MMSE) イコライザ、時間領域又は周波数領域におけるブラインド推定アルゴリズム動作を備えた重複周波数領域イコライザ (OFDE)、及び、

40

50

時間領域最小二乗平均 (L M S) 適応フィルタの使用を含む。これらの提案済みの解決策の計算量は様々であり、参照表の使用を要すること、トレーニングシーケンスが必要であること、C D 推定を実行するための「アドホック」ブロック、及び、効果的なC D 補償のためのタップの数が多いことが含まれる。

【 0 0 0 4 】

光ファイバ線形パラメータ情報を提供するT D E タップ係数の確立に基づく、コヒーレント光受信器向けの光学性能モニタリング装置 (O P M) アルゴリズムが、O p t i c s E x p r e s s の v o l . 1 8 、 n o . 1 5 、 p p . 1 6 2 4 3 ~ 1 6 2 5 7 、 2 0 1 0 の「デジタルフィルタを使用する、コヒーレント伝送システムにおける波長分散補償」で、T . X u 氏他によって提案されている。しかし、高い精度でC D 推定を実行するためには、このアプローチには、タップの数が多いT D E の使用が必要であり、そのタップ数は、エラーがない状態に到達するためにシステムが求めるタップの数よりも一層多くなるため、T D E の計算量が更に増大する。

10

【 発明の概要 】

【 0 0 0 5 】

改良型の波長分散処理装置を提供することが目的である。光通信信号の波長分散を処理する改良型の方法を提供することが、更なる目的である。改良型の光受信器を提供することが、更なる目的である。改良型の光学モニタリング装置を提供することが、更なる目的である。

20

【 0 0 0 6 】

本発明の第1の態様は、イコライザループを備える波長分散処理装置を提供する。イコライザループは、周波数領域イコライザ、時間領域イコライザ、光学性能モニタリング装置、及びプロセッサを備える。周波数領域イコライザは、波長分散を有する光通信信号の電気的表現のサンプルを受信するよう配設される。周波数領域イコライザは、残留波長分散値を有する分散補正サンプルを形成するために、波長分散補償をサンプルに適用するよう配設される。時間領域イコライザは、分散補正サンプルを受信し、分散補正サンプルから光通信信号のチャネル線形伝達関数の表現を生成するよう配設される。時間領域イコライザは、チャネル線形伝達関数の表現を含むモニタリング信号を生成し、伝送するよう配設される。光学性能モニタリング装置は、モニタリング信号を受信し、チャネル線形伝達関数の表現から残留波長分散値を推定するよう配設される。プロセッサは、推定残留波長分散値を受信し、推定残留波長分散値を閾値と比較するよう配設される。プロセッサは、推定残留波長分散値が閾値を下回ることがない限り、推定残留波長分散値を含む推定信号を生成し、周波数領域イコライザに伝送するよう配設される。

30

【 0 0 0 7 】

波長分散処理装置は、波長分散及び / 又は推定波長分散を補償する形式で、波長分散を処理するために使用されうる。

【 0 0 0 8 】

周波数領域イコライザ、時間領域イコライザ及び光学性能モニタリング装置のイコライザループ配設は、光通信信号を受信する光通信リンクの波長分散特性について何の知識もなくとも、波長分散処理装置が光通信信号の波長分散を補償することを可能にしうる。波長分散処理装置は、時間領域イコライザ内のブラインド等化と、周波数領域イコライザ内の低計算量を活用して、素早く効果的に、波長分散と推定波長分散を共に補償する。周波数領域イコライザ、時間領域イコライザ、及び光学性能モニタリング装置を1つのイコライザループに配設することで、時間領域イコライザは、最適負荷で作動し、変動に備えてより多くのマージンを有することが可能になる。波長分散処理装置は、動作時に時間領域イコライザのための参照表やトレーニングシーケンスが必要がないことから、既存技術によって達成可能なものよりも正確で、より素早く作動する、波長分散推定を実現することができる。

40

【 0 0 0 9 】

一実施形態では、イコライザループは、推定残留波長分散値が閾値を下回るまで、反復

50

して作動するよう配設される。従って、波長分散処理装置は、ブラインド状態かつ適応状態で作動する。

【0010】

一実施形態では、時間領域イコライザは、分散補償サンプルを形成するために、分散補正サンプルから光通信信号の反転チャネル線形伝達関数を生成し、反転チャネル線形伝達関数を分散補正サンプルに適用するよう配設される。従って、波長分散処理装置は、分散補償サンプルを形成するために、サンプルの波長分散を補償することが可能である。

【0011】

一実施形態では、時間領域イコライザは、5から15の範囲内のいくつかのタップを有する、二次元分数間隔フィードフォワードイコライザを備える。タップの数は、時間領域イコライザが光通信信号の波長分散を十分に補償するために必要なタップの数よりも少ない。従って、波長分散処理装置は、イコライザループに配設された、周波数領域イコライザ、低計算量時間領域イコライザ、及び、光学性能モニタリング装置に基づく。

10

【0012】

一実施形態では、時間領域イコライザは、5つのタップを有する二次元分数間隔フィードフォワードイコライザを備える。従って、推定残留波長分散の閾値への収束を実現するために、非常に少ないタップが使用されることがある。

【0013】

一実施形態では、G. Colavolpe氏他が、J. Lightwave Technol., vol. 27, no. 13, 2357~2369ページ、2009の「受信器における線形処理を備えた頑健なマルチレベルコヒーレント光学システム」で報告しているように、各タップはタップ係数を有し、時間領域イコライザは、動作を二次元整合フィルタに収束させるために、最小平均二乗誤差(MMSE)標準を適用してタップ係数を取り入れるよう配設される。

20

【0014】

一実施形態では、周波数領域イコライザは、波長分散の初期値についてサンプルを補償するよう配設される。周波数領域イコライザは、前記推定信号の受信に応答して、波長分散の後続値についてサンプルを補償するよう配設される。後続値は、初期値と、前記推定信号及び既に受領された各推定信号の、それぞれの推定残留波長分散の合計である。

【0015】

30

一実施形態では、初期値は、0 ps/nm、光通信信号によって蓄積される既知の最小波長分散、及び、光通信信号を受信する光通信ネットワークのリンクの既知の波長分散のうちの1つである。初期値を0 ps/nmに設定することで、波長分散処理装置が、光通信信号を受信するリンクの波長分散に対して完全にブラインド状態で作動することが可能になることがある。このことにより、波長分散処理装置は、最小限のユーザ入力を備えた、極めて一般的な様態での作動が可能になるかもしれない。光通信信号によって伝播中に蓄積される波長分散が、既知の最小値と最大値の間の範囲におさまることが知られている場合、初期値は既知の最小値に設定することができる。このことにより、完全にブラインド状態で作動する時よりも迅速な、時間領域イコライザの収束が可能になる。光通信信号を受信するリンクの既知の波長分散は、通信ネットワークの制御プレーンからもたらされる。このことによっても、完全にブラインド状態で作動する時よりも迅速な、時間領域イコライザの収束が可能になる。

40

【0016】

一実施形態では、波長分散処理装置は更に、分散補償サンプルのビットエラー率を確定するよう配設された、ビットエラー率モニタリング装置を備える。プロセッサは、ビットエラー率を受信し、ビットエラー率を第1閾値ビットエラー率と比較するよう配設される。プロセッサは、ビットエラー率が第1閾値ビットエラー率を下回ることがない限り、予め選択されている波長分散増加量が、既に補償された波長分散の値に反復して加算されるよう配設される。

【0017】

50

一実施形態では、波長分散増加量は、光通信信号のビット率及び変調方式に、並びに、時間領域イコライザのタップの数に依拠して、選択される。一実施形態では、波長分散増加量は 1000 ps/nm を下回る。

【0018】

一実施形態では、ビットエラー率モニタリング装置は前方誤り訂正装置を備える。

【0019】

一実施形態では、プロセッサは、ビットエラー率が第1閾値ビットエラー率を下回ることに応答して、ビットエラー率を第2閾値ビットエラー率と比較するよう配設される。プロセッサは、ビットエラー率が第2閾値ビットエラー率を下回り、推定残留値が閾値を下回ることがない限り、推定残留波長分散値を含む推定信号を生成し、伝送するよう配設される。

10

【0020】

ビットエラー率が第2閾値ビットエラー率を下回り、推定残留値が閾値を下回る時、波長分散の大部分は、周波数領域イコライザによって補償されている。時間領域イコライザは、閾値によって決まる最小波長分散を補償することのみを求められる。従って、時間領域イコライザは、非常に少ないタップを用いて、非常に高い近似精度で、チャネル線形伝達関数を反転させる。このことによって、波長分散の急激な変化に対する波長分散処理装置の頑健性が改善される。

【0021】

一実施形態では、閾値は 10 ps/nm から 50 ps/nm の範囲内である。一実施形態では、閾値は 10 ps/nm である。閾値が低いほど、周波数領域イコライザによって補償される波長分散の総量は大きくなるが、必要な反復の回数も増える。 10 ps/nm という閾値によって、推定残留波長分散の精度と、容認可能な反復回数の両方を実現する。

20

【0022】

一実施形態では、第1閾値ビットエラー率は 0.48 である。このことによって、時間領域イコライザが収束し、光学性能モニタリング装置が、推定残留波長分散の有益な値を出力することが可能になる。

【0023】

一実施形態では、第2閾値ビットエラー率は 1.0×10^{-3} である。

30

【0024】

一実施形態では、光学性能モニタリング装置は、推定残留波長分散値の表示を含む出力信号を、生成し、伝送するよう配設される。

【0025】

一実施形態では、光通信信号は光通信トラフィック信号を含む。一実施形態では、光通信信号は光通信トラフィック信号の一部を含む。

【0026】

本発明の第2の態様は、光通信信号の波長分散を処理する方法を提供する。方法は、波長分散を有する光通信信号の電氣的表現のサンプルを受信することである、ステップ a . を含む。方法は、残留波長分散値を有する分散補正サンプルを形成するために、波長分散の値についてサンプルを補償することである、ステップ b . を含む。方法は、分散補正サンプルから、光通信信号のチャネル線形伝達関数の表現を生成することである、ステップ c . を含む。方法は、チャネル線形伝達関数の表現から、残留波長分散値を推定することである、ステップ e . を含む。方法は、波長分散の後続値を形成するために、推定残留波長分散値を閾値と比較し、それが閾値を下回ることがない限り、推定残留波長分散値を既に補償された波長分散の値に加算することである、ステップ f . を含む。方法は、推定残留波長分散値が閾値を下回るまで、波長分散の後続値それぞれについてステップ b . からステップ f . までを繰り返すことである、ステップ g . を含む。

40

【0027】

方法は、波長分散及び / 又は推定波長分散を補償する形式で波長分散を処理するために

50

使用されうる。方法を反復的に作動することにより、光通信信号を受信する光通信リンクの波長分散特性について何の知識もなくとも、光通信信号の波長分散を補償することが可能になる。方法は、波長分散の推定と補償を共に、素早く効果的に実行するために、ブラインド状態で、かつ適応状態で作動しうる。方法は、動作時に参照表やトレーニングシーケンスが必要がないことから、既存技術によって達成可能なものよりも正確で、より素早く作動する、波長分散推定を実現することができる。

【0028】

一実施形態では、ステップc. は更に、分散補償サンプルを形成するために、分散補正サンプルから光通信信号の反転チャネル線形伝達関数を生成し、反転チャネル線形伝達関数を分散補正サンプルに適用することを含む。従って、方法は、分散補償サンプルを形成するために、サンプルに分散補償を実行する。

10

【0029】

一実施形態では、ステップc. は、5 から 15 の範囲内のいくつかのタップを有する二次元分数間隔フィードフォワードイコライザを備える時間領域イコライザを使用して実装される。一実施形態では、時間領域イコライザは、5 つのタップを有する二次元分数間隔フィードフォワードイコライザを備える。従って、推定残留波長分散の閾値への収束を実現するために、非常に少ないタップが使用されることがある。

【0030】

一実施形態では、G. Colavolpe 氏他が、J. Lightwave Technol., vol. 27, no. 13, 2357 ~ 2369 ページ、2009 の「受信器における線形処理を備えた頑健なマルチレベルコヒーレント光学システム」で報告しているように、各タップはタップ係数を有し、時間領域イコライザは、動作を二次元整合フィルタに収束させるために、最小平均二乗誤差 (MMSE) 標準を適用してタップ係数を取り入れるよう配設される。一実施形態では、ステップb. の初回実装において使用される波長分散の値は、 0 ps/nm 、光通信信号によって蓄積される既知の最小波長分散、及び、光通信信号を受信する光通信ネットワークのリンクの既知の波長分散のうちの 1 つである。初期値を 0 ps/nm に設定することで、方法は、光通信信号を受信するリンクの波長分散に対して完全にブラインド状態で作動することが可能になる。このことにより、方法は、最小限のユーザ入力を備えた、極めて一般的な様態での作動が可能になるかもしれない。光通信信号によって伝播中に蓄積される波長分散が、既知の最小値と最大値の間の範囲におさまることが知られている場合、初期値は既知の最小値に設定することができる。このことにより、完全にブラインド状態で作動する時よりも迅速な収束が可能になる光通信信号を受信するリンクの既知の波長分散は、通信ネットワークの制御プレーンからもたらされる。このことによっても、完全にブラインド状態で作動する時よりも迅速な収束が可能になる。

20

30

【0031】

一実施形態では、方法は更に、分散補償サンプルのビットエラー率を確定することである、ステップd. を含む。ステップd. は更に、波長分散の増加後の値を形成するために、ビットエラー率を第 1 閾値ビットエラー率と比較し、ビットエラー率が第 1 閾値ビットエラー率を下回ることがない限り、予め選択されている波長分散増加量を既に補償された波長分散の値に加算することを含む。ステップb. から d. までは、ビットエラー率が第 1 閾値ビットエラー率を下回るまで繰り返される。

40

【0032】

一実施形態では、波長分散増加量は、光通信信号のビット率及び変調方式に、並びに、時間領域イコライザのタップの数に依拠して、選択される。一実施形態では、波長分散増加量は 1000 ps/nm を下回る。

【0033】

一実施形態では、ステップf. は、ビットエラー率を第 2 閾値ビットエラー率と比較することを、追加的に含む。推定残留波長分散値は、ビットエラー率が第 2 閾値ビットエラー率を下回り、推定残留波長分散値が閾値を下回ることがない限り、波長分散の後続値を

50

形成するために、既に補償された波長分散の価に加算される。

【 0 0 3 4 】

ビットエラー率が第 2 閾値ビットエラー率を下回り、推定残留波長分散値が閾値を下回る時、波長分散の大部分は、周波数領域イコライザによって補償されている。時間領域イコライザは、閾値によって決まる最小波長分散を補償することのみを求められる。従って、時間領域イコライザは、非常に少ないタップを用いて、非常に高い近似精度で、チャネル線形伝達関数を反転させる。このことによって、波長分散の急激な変化に対する方法の頑健性が改善される。

【 0 0 3 5 】

一実施形態では、閾値は 10 ps/nm から 50 ps/nm の範囲内である。一実施形態では、閾値は 10 ps/nm である。閾値が低いほど、周波数領域イコライザによって補償される波長分散の総量は大きくなるが、必要な反復の回数も増える。 10 ps/nm という閾値によって、推定残留波長分散の精度と、容認可能な反復回数の両方を実現しうる。

10

【 0 0 3 6 】

一実施形態では、第 1 閾値ビットエラー率は 0.48 である。このことによって、時間領域イコライザが収束し、光学性能モニタリング装置が、推定残留波長分散の有益な値を出力することが可能になる。

【 0 0 3 7 】

一実施形態では、第 2 閾値ビットエラー率は 1.0×10^{-3} である。

20

【 0 0 3 8 】

一実施形態では、方法は更に、推定残留波長分散値の表示を含む出力信号を、生成し、伝送することを含む。

【 0 0 3 9 】

一実施形態では、光通信信号は光通信トラフィック信号を含む。一実施形態では、光通信信号は光通信トラフィック信号の一部を含む。

【 0 0 4 0 】

本発明の第 3 の態様は、光検波装置、アナログ - デジタル変換装置、及び、波長分散処理装置を備える、光学モニタリング装置を提供する。光検波装置は、光通信信号を受信し、光通信信号の電氣的表現を生成するよう配設される。アナログ - デジタル変換装置は、電氣的表現のサンプルを生成するよう配設される。波長分散処理装置は、周波数領域イコライザ、時間領域イコライザ、光学性能モニタリング装置、及びプロセッサを備える、イコライザループを含む。周波数領域イコライザは、波長分散を有する光通信信号の電氣的表現のサンプルを受信するよう配設される。周波数領域イコライザは、残留波長分散値を有する分散補正サンプルを形成するために、波長分散補償をサンプルに適用するよう配設される。時間領域イコライザは、分散補正サンプルを受信し、分散補正サンプルから光通信信号のチャネル線形伝達関数の表現を生成するよう配設される。時間領域イコライザは、チャネル線形伝達関数の表現を含むモニタリング信号を生成し、伝送するよう配設される。光学性能モニタリング装置は、モニタリング信号を受信し、チャネル線形伝達関数の表現から残留波長分散値を推定するよう配設される。プロセッサは、推定残留波長分散値を受信し、推定残留波長分散値を閾値と比較するよう配設される。プロセッサは、推定残留波長分散値が閾値を下回ることがない限り、推定残留波長分散値を含む推定信号を生成し、周波数領域イコライザに伝送するよう配設される。

30

40

【 0 0 4 1 】

光受信器は、波長分散及び / 又は推定波長分散を補償するために使用されうる。

【 0 0 4 2 】

周波数領域イコライザ、時間領域イコライザ及び光学性能モニタリング装置のイコライザループ配設は、光通信信号を受信する光通信リンクの波長分散特性について何の知識もなくとも、波長分散処理装置が光通信信号の波長分散を補償することを可能にしうる。波長分散処理装置は、時間領域イコライザ内のブラインド等化と、周波数領域イコライザ内

50

の低計算量を活用して、素早く効果的に、波長分散と推定波長分散を共に補償する。周波数領域イコライザ、時間領域イコライザ、及び光学性能モニタリング装置を1つのイコライザループに配設することで、時間領域イコライザは、最適負荷で作動し、変動に備えてより多くのマージンを有することが可能になる。波長分散処理装置は、動作時に時間領域イコライザのための参照表やトレーニングシーケンスが必要がないことから、既存技術によって達成可能なものよりも正確で、より素早く作動する、波長分散推定を実現することができる。

【0043】

一実施形態では、イコライザループは、推定残留波長分散値が閾値を下回るまで、反復して作動するよう配設される。従って、波長分散処理装置は、ブラインド状態かつ適応状態で作動する。

10

【0044】

一実施形態では、時間領域イコライザは、分散補償サンプルを形成するために、分散補正サンプルから光通信信号の反転チャネル線形伝達関数を生成し、反転チャネル線形伝達関数を分散補正サンプルに適用するよう配設される。従って、波長分散処理装置は、分散補償サンプルを形成するために、サンプルに分散補償を実行することが可能である。

【0045】

一実施形態では、時間領域イコライザは、5から15の範囲内のいくつかのタップを有する、二次元分数間隔フィードフォワードイコライザを備える。タップの数は、時間領域イコライザが光通信信号の波長分散を十分に補償するために必要なタップの数よりも少ない。従って、波長分散処理装置は、イコライザループに配設された、周波数領域イコライザ、低計算量時間領域イコライザ、及び、光学性能モニタリング装置に基づく。

20

【0046】

一実施形態では、時間領域イコライザは、5つのタップを有する二次元分数間隔フィードフォワードイコライザを備える。従って、推定残留波長分散の閾値への収束を実現するために、非常に少ないタップが使用されることがある。

【0047】

一実施形態では、G. Colavolpe氏他が、J. Lightwave Technol., vol. 27, no. 13, 2357~2369ページ、2009の「受信器における線形処理を備えた頑健なマルチレベルコヒーレント光学システム」で報告しているように、各タップはタップ係数を有し、時間領域イコライザは、動作を二次元整合フィルタに収束させるために、最小平均二乗誤差(MMSE)標準を適用してタップ係数を取り入れるよう配設される。

30

【0048】

一実施形態では、周波数領域イコライザは、波長分散の初期値についてサンプルを補償するよう配設される。周波数領域イコライザは、前記推定信号の受信に応答して、波長分散の後続値についてサンプルを補償するよう配設される。後続値は、初期値と、前記推定信号及び既に受領された各推定信号の、それぞれの推定残留波長分散の合計である。

【0049】

一実施形態では、初期値は、 0 ps/nm 、光通信信号によって蓄積される既知の最小波長分散、及び、光通信信号を受信する光通信ネットワークのリンクの既知の波長分散のうちの1つである。初期値を 0 ps/nm に設定することで、光受信器は、光通信信号を受信するリンクの波長分散に対して完全にブラインド状態で作動することが可能になる。このことにより、光受信器は、最小限のユーザ入力を備えた、極めて一般的な様態での作動が可能になるかもしれない。光通信信号によって伝播中に蓄積される波長分散が、既知の最小値と最大値の間の範囲におさまることが知られている場合、初期値は既知の最小値に設定することができる。このことにより、完全にブラインド状態で作動する時よりも迅速な、時間領域イコライザの収束が可能になる。光通信信号を受信するリンクの既知の波長分散は、通信ネットワークの制御プレーンからもたらされる。このことによっても、完全にブラインド状態で作動する時よりも迅速な、時間領域イコライザの収束が可能になる

40

50

【0050】

一実施形態では、波長分散処理装置は更に、分散補償サンプルのビットエラー率を確定するよう配設された、ビットエラー率モニタリング装置を備える。プロセッサは、ビットエラー率を受信し、ビットエラー率を第1閾値ビットエラー率と比較するよう配設される。プロセッサは、ビットエラー率が第1閾値ビットエラー率を下回ることがない限り、予め選択されている波長分散増加量が、既に補償された波長分散の値に反復して加算されるようにするよう配設される。

【0051】

一実施形態では、波長分散増加量は、光通信信号のビット率及び変調方式に、並びに、時間領域イコライザのタップの数に依拠して、選択される。一実施形態では、波長分散増加量は 1000 ps/nm を下回る。

10

【0052】

一実施形態では、ビットエラー率モニタリング装置は前方誤り訂正装置を備える。

【0053】

一実施形態では、プロセッサは、ビットエラー率が第1閾値ビットエラー率を下回ることに応答して、ビットエラー率を第2閾値ビットエラー率と比較するよう配設される。プロセッサは、ビットエラー率が第2閾値ビットエラー率を下回り、推定残留波長分散値が閾値を下回ることがない限り、推定残留波長分散値を含む推定信号を生成し、伝送するよう配設される。

【0054】

20

ビットエラー率が第2閾値ビットエラー率を下回り、推定残留波長分散値が閾値を下回る時、波長分散の大部分は、周波数領域イコライザによって補償されている。時間領域イコライザは、閾値によって決まる最小波長分散を補償することのみを求められる。従って、時間領域イコライザは、非常に少ないタップを用いて、非常に高い近似精度で、チャネル線形伝達関数を反転させる。このことによって、波長分散の急激な変化に対する光受信器の頑健性が改善される。

【0055】

一実施形態では、閾値は 10 ps/nm から 50 ps/nm の範囲内である。一実施形態では、閾値は 10 ps/nm である。閾値が低いほど、周波数領域イコライザによって補償される波長分散の総量は大きくなるが、必要な反復の回数も増える。 10 ps/nm という閾値によって、推定残留波長分散の精度と、容認可能な反復回数の両方を実現する。

30

【0056】

一実施形態では、第1閾値ビットエラー率は 0.48 である。このことによって、時間領域イコライザが収束し、光学性能モニタリング装置が、推定残留波長分散の有益な値を出力することが可能になる。

【0057】

一実施形態では、第2閾値ビットエラー率は 1.0×10^{-3} である。

【0058】

一実施形態では、光学性能モニタリング装置は、推定残留波長分散値の表示を含む出力信号を、生成し、伝送するよう配設される。

40

【0059】

一実施形態では、光通信信号は光通信トラフィック信号の一部を含む。

【0060】

一実施形態では、光検波装置は、波長可変局部発振器を備えるコヒーレント光受信器を含む。従って、光学モニタリング装置は、種々の波長の光通信信号の波長分散の推定に使用されうる。

【0061】

本発明の第4の態様は、光検波装置、アナログ-デジタル変換装置、及び、デジタル信号処理装置を備える、光受信器を提供する。光検波装置は、光通信信号を受信し、光通信

50

信号の電氣的表現を生成するよう配設される。アナログ - デジタル変換装置は、電氣的表現のサンプルを生成するよう配設される。デジタル信号処理装置は、波長分散処理装置を備える。波長分散処理装置は、周波数領域イコライザ、時間領域イコライザ、光学性能モニタリング装置、及びプロセッサを備える、イコライザループを含む。周波数領域イコライザは、波長分散を有する光通信信号の電氣的表現のサンプルを受信するよう配設される。周波数領域イコライザは、残留波長分散値を有する分散補正サンプルを形成するために、波長分散補償をサンプルに適用するよう配設される。時間領域イコライザは、分散補正サンプルを受信し、分散補正サンプルから光通信信号のチャネル線形伝達関数の表現を生成するよう配設される。時間領域イコライザは、チャネル線形伝達関数の表現を含むモニタリング信号を生成し、伝送するよう配設される。光学性能モニタリング装置は、モニタリング信号を受信し、チャネル線形伝達関数の表現から残留波長分散値を推定するよう配設される。プロセッサは、推定残留波長分散値を受信し、推定残留波長分散値を閾値と比較するよう配設される。プロセッサは、推定残留波長分散値が閾値を下回ることがない限り、推定残留波長分散値を含む推定信号を生成し、周波数領域イコライザに伝送するよう配設される。

10

【 0 0 6 2 】

光受信器は、波長分散及び / 又は推定波長分散を補償するために使用されうる。

【 0 0 6 3 】

周波数領域イコライザ、時間領域イコライザ及び光学性能モニタリング装置のイコライザループ配設は、光通信信号を受信する光通信リンクの波長分散特性について何の知識もなくとも、波長分散処理装置が光通信信号の波長分散を補償することを可能にしうる。波長分散処理装置は、時間領域イコライザ内のブラインド等化と、周波数領域イコライザ内の低計算量を活用して、素早く効果的に、波長分散と推定波長分散を共に補償する。周波数領域イコライザ、時間領域イコライザ、及び光学性能モニタリング装置を 1 つのイコライザループに配設することで、時間領域イコライザは、最適負荷で作動し、変動に備えてより多くのマージンを有することが可能になる。波長分散処理装置は、動作時に時間領域イコライザのための参照表やトレーニングシーケンスが必要がないことから、既存技術によって達成可能なものよりも正確で、より素早く作動する、波長分散推定を実現することができる。

20

【 0 0 6 4 】

一実施形態では、イコライザループは、推定残留波長分散値が閾値を下回るまで、反復して作動するよう配設される。従って、波長分散処理装置は、ブラインド状態かつ適応状態で作動する。

30

【 0 0 6 5 】

一実施形態では、時間領域イコライザは、分散補償サンプルを形成するために、分散補正サンプルから光通信信号の反転チャネル線形伝達関数を生成し、反転チャネル線形伝達関数を分散補正サンプルに適用するよう配設される。従って、波長分散処理装置は、分散補償サンプルを形成するために、サンプルに分散補償を実行することが可能である。

【 0 0 6 6 】

一実施形態では、時間領域イコライザは、5 から 15 の範囲内のいくつかのタップを有する、二次元分数間隔フィードフォワードイコライザを備える。タップの数は、時間領域イコライザが光通信信号の波長分散を十分に補償するために必要なタップの数よりも少ない。従って、波長分散処理装置は、イコライザループに配設された、周波数領域イコライザ、低計算量時間領域イコライザ、及び、光学性能モニタリング装置に基づく。

40

【 0 0 6 7 】

一実施形態では、時間領域イコライザは、5 つのタップを有する二次元分数間隔フィードフォワードイコライザを備える。従って、推定残留波長分散の閾値への収束を実現するために、非常に少ないタップが使用されることがある。

【 0 0 6 8 】

一実施形態では、G . C o l a v o l p e 氏他が、J . L i g h t w a v e T e c h

50

no1、vol.27、no.13、2357~2369ページ、2009の「受信器における線形処理を備えた頑健なマルチレベルコヒーレント光学システム」で報告しているように、各タップはタップ係数を有し、時間領域イコライザは、動作を二次元整合フィルタに収束させるために、最小平均二乗誤差(MMSE)標準を適用してタップ係数を取り入れるよう配設される。

【0069】

一実施形態では、周波数領域イコライザは、波長分散の初期値についてサンプルを補償するよう配設される。周波数領域イコライザは、前記推定信号の受信に応答して、波長分散の後続値についてサンプルを補償するよう配設される。後続値は、初期値と、前記推定信号及び既に受領された各推定信号の、それぞれの推定残留波長分散の合計である。

10

【0070】

一実施形態では、初期値は、 0 ps/nm 、光通信信号によって蓄積される既知の最小波長分散、及び、光通信信号を受信する光通信ネットワークのリンクの既知の波長分散のうちの1つである。初期値を 0 ps/nm に設定することで、光受信器は、光通信信号を受信するリンクの波長分散に対して完全にブラインド状態で作動することが可能になる。このことにより、光受信器は、最小限のユーザ入力を備えた、極めて一般的な様態での作動が可能になるかもしれない。光通信信号によって伝播中に蓄積される波長分散が、既知の最小値と最大値の間の範囲におさまることが知られている場合、初期値は既知の最小値に設定することができる。このことにより、完全にブラインド状態で作動する時よりも迅速な、時間領域イコライザの収束が可能になる。光通信信号を受信するリンクの既知の波長分散は、通信ネットワークの制御プレーンからもたらされる。このことによっても、完全にブラインド状態で作動する時よりも迅速な、時間領域イコライザの収束が可能になる

20

【0071】

一実施形態では、波長分散処理装置は更に、分散補償サンプルのビットエラー率を確定するよう配設された、ビットエラー率モニタリング装置を備える。プロセッサは、ビットエラー率を受信し、ビットエラー率を第1閾値ビットエラー率と比較するよう配設される。プロセッサは、ビットエラー率が第1閾値ビットエラー率を下回ることがない限り、予め選択されている波長分散増加量が、既に補償された波長分散の値に反復して加算されるよう配設される。

【0072】

一実施形態では、波長分散増加量は、光通信信号のビット率及び変調方式に、並びに、時間領域イコライザのタップの数に依拠して、選択される。一実施形態では、波長分散増加量は 1000 ps/nm を下回る。

30

【0073】

一実施形態では、ビットエラー率モニタリング装置は前方誤り訂正装置を備える。

【0074】

一実施形態では、プロセッサは、ビットエラー率が第1閾値ビットエラー率を下回ることに応答して、ビットエラー率を第2閾値ビットエラー率と比較するよう配設される。プロセッサは、ビットエラー率が第2閾値ビットエラー率を下回り、推定残留波長分散値が閾値を下回ることがない限り、推定残留波長分散値を含む推定信号を生成し、伝送するよう配設される。

40

【0075】

ビットエラー率が第2閾値ビットエラー率を下回り、推定残留波長分散値が閾値を下回る時、波長分散の大部分は、周波数領域イコライザによって補償されている。時間領域イコライザは、閾値によって決まる最小波長分散を補償することのみを求められる。従って、時間領域イコライザは、非常に少ないタップを用いて、非常に高い近似精度で、チャネル線形伝達関数を反転させる。このことによって、波長分散の急激な変化に対する光受信器の頑健性が改善される。

【0076】

一実施形態では、閾値は 10 ps/nm から 50 ps/nm の範囲内である。一実施形

50

態では、閾値は 10 ps/nm である。閾値が低いほど、周波数領域イコライザによって補償される波長分散の総量は大きくなるが、必要な反復の回数も増える。 10 ps/nm という閾値によって、推定残留波長分散の精度と、容認可能な反復回数の両方を実現する。

【0077】

一実施形態では、第1閾値ビットエラー率は 0.48 である。このことによって、時間領域イコライザが収束し、光学性能モニタリング装置が、推定残留波長分散の有益な値を出力することが可能になる。

【0078】

一実施形態では、第2閾値ビットエラー率は 1.0×10^{-3} である。

10

【0079】

一実施形態では、光学性能モニタリング装置は、推定残留波長分散値の表示を含む出力信号を、生成し、伝送するよう配設される。

【0080】

一実施形態では、光受信器はデジタルコヒーレント受信器である。

【0081】

一実施形態では、光通信信号は光通信トラフィック信号を含む。一実施形態では、光通信信号は光通信トラフィック信号の一部を含む。

【0082】

本発明の第5の態様は、コンピュータ可読命令が埋め込まれているデータ媒体を提供する。前記コンピュータ可読命令は、プロセッサで利用可能なリソースへのアクセスを提供するためのものである。コンピュータ可読命令は、プロセッサに、光通信信号の波長分散を補償する方法の上記ステップのうち任意のものを、実行させるための命令を含む。

20

【0083】

一実施形態では、データ媒体は非一時的なデータ媒体である。

【0084】

本発明の実施形態は、例としてのみ、添付の図面を参照して下記に記述される。

【図面の簡単な説明】

【0085】

【図1】本発明の第1の実施形態による波長分散処理装置を概略的に図示したものである。

30

【図2】本発明の第2の実施形態による波長分散処理装置を概略的に図示したものである。

【図3】図2の波長分散処理装置を査定するために使用される実験的な装置を概略的に図示したものである。

【図4】11のタップを有する時間遅延イコライザ（点線）と、5つのタップを有する時間遅延イコライザ（実線）に関する反復の回数に応じて、光学性能モニタリング装置によって取得された推定波長分散（CD）を示す。

【図5】本発明の第3の実施形態による波長分散処理装置を概略的に図示したものである。

40

【図6】本発明の第4の実施形態による波長分散処理装置を概略的に図示したものである。

【図7】本発明の第5の実施形態による波長分散処理装置を概略的に図示したものである。

【図8】光通信信号の波長分散を処理する本発明の第6の実施形態による方法のステップを示す。

【図9】光通信信号の波長分散を処理する本発明の第7の実施形態による方法のステップを示す。

【図10】図9に示された方法のステップを代替的に図示したものである。

【図11】光通信信号の波長分散を処理する本発明の第8の実施形態による方法のステッ

50

ブを示す。

【図 1 2】光通信信号の波長分散を処理する本発明の第 9 の実施形態による方法のステップを示す。

【図 1 3】図 1 2 の方法の反復の回数に応じた推定残留 C D を示す。

【図 1 4】本発明の第 1 0 の実施形態による光受信器を概略的に図示したものである。

【図 1 5】本発明の第 1 1 の実施形態による光学モニタリング装置を概略的に図示したものである。

【発明を実施するための形態】

【0086】

本発明の第 1 の態様は、図 1 に示す波長分散 (C D) 処理装置 1 0 を提供する。C D 処理装置 1 0 は、周波数領域イコライザ (F D E) 1 4、時間領域イコライザ (T D E) 2 0、光学性能モニタリング (O P M) 装置 2 6、及び、プロセッサ 2 8 を備える、イコライザループ 1 2 を含む。F D E 1 4、T D E 2 0 及び O P M 2 6 は、ループ構造に配設される。

10

【0087】

F D E 1 4 は、光通信信号の電氣的表現のサンプル 1 6 を受信するよう配設される。光通信信号は、一般的には通信ネットワークのリンク (図示せず) 全体にわたる伝播の結果として獲得されることになる、C D を有する。F D E 1 4 は、分散補正サンプル 1 8 を形成するために、C D 補償をサンプルに適用するよう配設される。分散補正サンプルは、残留 C D 値を有する。

20

【0088】

T D E 2 0 は、F D E 1 4 から分散補正サンプル受信するよう配設される。T D E は、分散補正サンプルから光通信信号のチャネル線形伝達関数の表現を生成し、かつ、チャネル線形伝達関数の表現を含むモニタリング信号 2 2 を生成、伝送するよう配設される。O P M 装置 2 6 は、モニタリング信号 2 2 を受信し、チャネル線形伝達関数の表現から分散補正サンプル 1 8 の残留 C D 値を推定するよう配設される。プロセッサ 2 8 は、推定残留値を受信し、推定残留値を C D 閾値と比較するよう配設される。プロセッサは、推定残留値が閾値を下回ることがない限り、推定信号 3 0 を生成し、F D E 1 4 に伝送するよう配設される。推定信号 3 0 は、推定残留値を含む。

30

【0089】

イコライザループ 1 2 は、推定 C D 残留値が閾値を下回るまで、反復して作動するよう配設される。

【0090】

図 2 は、本発明の第 2 の実施形態による C D 処理装置 4 0 を示す。この実施形態の C D 処理装置 4 0 は、図 1 の装置 1 0 に類似するが、以下の変更点を備えている。対応する機構に対しては、同一の参照番号が保持される。

【0091】

この実施形態では、T D E は、5 から 1 5 の範囲内のいくつかのタップを有する二次元分数間隔フィードフォワードイコライザ (F F E) 4 4 を備える

【0092】

T D E 4 4 は、バタフライ構造に配設され、かつ、タップ係数の適合のために最小平均二乗誤差 (M M S E) 標準を取り入れて最適化された、4 つの複素値有限インパルス応答 (F I R) フィルタで構成される。有効長の T D E は、G . C o l a v o l p e 氏他 (前出文献同ページ) が報告しているように、整合フィルタを実装することから、C D 及び P M D を完全に補償することが可能である。

40

【0093】

T D E 4 4 は、分散補正サンプルから、光通信信号の反転チャネル線形伝達関数を生成するよう配設される。T D E 4 4 は、分散補正サンプル 4 8 を形成するために、反転チャネル線形伝達関数を分散補正サンプルに適用するよう配設される。

【0094】

50

ＣＤ処理装置４０は、ＴＤＥ周波数応答 $H_{TDE}(f)$ が、インバースチャネル周波数応答 $H_{ch}(f)$ に等しいという事実を利用する。

$$\mathbf{H}_{TDE}(f) = \mathbf{H}_{ch}^{-1}(f) = \begin{pmatrix} H_{11}(f) & H_{12}(f) \\ H_{21}(f) & H_{22}(f) \end{pmatrix}$$

10

ここで、 H_{ij} は各ＦＩＲフィルタの周波数応答であり、ＦＩＲフィルタタップの高速フーリエ変換（ＦＦＴ）によって算出される。弱非線形方式では、ＣＤ及びＰＭＤは共に、総チャネルインパルス応答に影響を及ぼす。

$$\mathbf{H}_{TDE}(f) = D(f) \cdot \mathbf{U}(f)$$

20

ここで、ＣＤによる影響 $D(f)$ は、結果的に四相になる偏波無依存線形関数であり、一方ＰＭＤは、周波数依存効果であり、かつ、ユニタリー行列 $\mathbf{U}(f)$ によって表される。残留ＣＤは、 $H_{TDE}(f)$ から始まり、 $H(f)$ の行列式の四相の第２導関数を適用することによって推定されうる。

$$D(f) = \exp(-j\phi) = \det(\mathbf{H}_{TDE}) \quad \text{方程式 (1)}$$

$$\phi = \frac{\beta_2}{2} L \omega^2 \quad \text{方程式 (2)}$$

30

$$CD = -\frac{2\pi c}{\lambda^2} \frac{\partial^2 \phi}{\partial \omega^2} [\text{ps/nm}] \quad \text{方程式 (3)}$$

【００９５】

ＴＤＥ４４によって生成されたチャネル線形伝達関数の表現は、ＦＩＲフィルタの周波数応答、 $H_{ij}(f)$ に由来する。ＯＰＭ４６は、（１）から（３）の方程式を適用することによって、ＦＩＲフィルタの周波数応答から残留ＣＤ値を推定するよう配設される。

40

【００９６】

ＦＤＥ４２は、ＣＤの初期値についてサンプル１６を補償するよう配設される。ＦＤＥ４２は、推定信号３０の受信に応答して、ＣＤの後続値についてサンプルを補償するよう配設される。ＣＤの後続値は、初期ＣＤ値、及び、推定信号に既に受領された各推定残留値を加えることで得られる推定残留値との合計である。ＯＰＭ装置４６によって算出された残留ＣＤは、フィードバックループで使用され、ループ構造においてＦＤＥ４２によって補償されるＣＤを設定する。この実施形態では、ＦＤＥ４２は、 0 ps/nm と設定されているＣＤの初期値を補償するよう配設される。これは、補償の対象となる、光通信信号によって蓄積されるＣＤについての知識を要しないことから、ＦＤＥ４２の最も一般的なブラインド構造である。

50

【 0 0 9 7 】

使用上、第 1 反復において、F D E 4 2 によって補償される C D 値は 0 p s / n m と設定される。ゆえに O P M 装置 4 6 は、T D E 4 4 によって実行される線形伝達関数再構成が、タップの数が少ないことで大変不正確なものになるため、残留 C D の非常に大雑把な推定を提供する。この推定 C D 値は、次いで、第 2 反復中に部分的な C D 補償を実装する、F D E に提供される。第 2 反復中に C D の一部が F D E によって補償されることから、T D E 4 4 によって実施される線形伝達関数再構成は、より精密なものになり、O P M 装置は、第 1 反復に関してより正確な残留 C D の推定を実行する。F D E によって補償される C D の総量が増すほど、低計算量の T D E はより正確にチャネル線形伝達関数の反転を実行することになるため、O P M 装置 4 6 が推定する残留 C D は精密になる。この工程は、O P M 装置によって確定された推定残留 C D が予め選択されている閾値を下回るまで、反復される。この時点で、C D の大部分は F D E によって補償され、T D E は、たとえタップ数が少なくとも、非常に高い近似精度でチャネル線形伝達関数を反転させることができる。更に、T D E 4 4 は、最小限 C D 補償を担うことにより、C D の突然の変化に対するマージンを増加させる。

10

【 0 0 9 8 】

代替的には、光通信信号によって光通信ネットワークのリンクの全体にわたり伝播中に蓄積される C D が、既知の最小値と最大値の間の範囲におさまることが可能な場合には、F D E 4 2 は、既知の最小 C D と等しい C D の初期値を適用するよう、初期化されう。通信ネットワーク制御プレーンが、リンク C D の大雑把な推定を有する場合、F D E 4 2 は、この既知のリンク C D 推定の初期 C D を適用するよう、初期化されう。

20

【 0 0 9 9 】

図 2 の C D 処理装置 4 0 の性能は、図 3 に示す 112 G b i t / s P M - Q P S K コヒーレントテストベッドを使用して査定される。 7 G b / s の 4 つのデータストリームが、長さ $2^{11} - 1$ の 28 G b / s 疑似乱数ビットシーケンスを取得するために、電気マルチプレクサ (R F M U X) を用いて多重送信される。 28 G b / s データストリームは電力分配され、2 つのブランチのうち 1 つが、 48 シンボル時間遅れる。2 つの電気信号は、統合 I / Q L i N b O ₃ 二重入れ子型変調器の I 入力及び Q 入力へと送信される。次いで、 56 G b / s Q P S K 信号が、偏波マルチプレクサ (P o l . M u x .) へと送信され、そこで 2 つの構成要素に分割される。構成要素の 1 つは 112 シンボル時間遅れ、偏波内で 90 度回転し、次いで、 112 G b / s P M - Q P S K 信号を取得するために 1 つに結合する。

30

【 0 1 0 0 】

試験の対象となる光通信信号は、C D を獲得するために、G 6 5 2 標準光ファイバに沿って 80 km 伝播する。受信器において、光通信信号と局部発振器が生成した基準信号は、偏波ダイバーシティ 90° ハイブリッドへと送信され、4 つのバランスフォトダイオードによって受信されて、4 つの電気信号で構成される光通信信号の電氣的表現を生成する。4 つの電気信号は、 50 G サンプル / s 実時間オシロスコープによってサンプリングされ、P C を介して獲得される。収集されたサンプルは、F D E 4 2 と T D E 4 4 によってオフラインで処理され、タップ出力は、O P M 装置 4 6 によって残留 C D を推定するために使用される。試験は、T D E 4 4 内で、11 及び 5 つのタップを使用して実行される。O P M 装置 4 6 によって推定された残留 C D 値は、次いで F D E 4 2 に提供され、その後、O P M 装置 4 6 によって推定された残留 C D 値が 10 p s / n m という閾値を下回るまで、反復される。

40

【 0 1 0 1 】

この実施形態の C D 処理装置 4 0 は、分散補償サンプルを出力するために C D 補償と C D 推定の両方を実行することに関して説明されているが、当業者には、装置 4 0 は専ら C D 推定装置として作動するよう配設されうることが認識されよう。T D E 4 4 が、分散補正サンプルから光通信信号のチャネル線形伝達関数の表現を生成するように、かつ、モニタリング信号 22 を生成、伝送するようにのみ配設される場合、O P M 4 6 は、C D 推定

50

を出力するよう配設され、それによってOPM46は、CD処理装置40を、専らCD推定装置として作動するように設定する。

【0102】

図4は、サンプルの6連続獲得のための反復の回数に応じての、OPM推定残留CD値を示す。サンプルの全てのセットに関して3反復で閾値に到達するには、11のタップで十分であることが読み取れる。閾値に至っての収束には、5つのタップを有するTDEを使用して、6反復以内に到達した。取得された最大CD推定誤差は、CD総計の3.7%に相当する50ps/nmであった。

【0103】

比較対象としては、G. Colavolpe氏他(前出文献同ページ)が報告しているように、専らTDEによって実行されたCD補償が、時間領域二次元(2-D)分数間隔フィードフォワードイコライザ(FFE)を使用して調査された。OPM装置46の性能は、数値シミュレーションによって試験され、標準的な差分符号化規則を備えた100Gb/sの偏波多重四相シフトキーイング(PM-QPSK)変調形式を有する光通信信号の伝播中に蓄積される既知の残留CD値を考察した。ビットをM-aryシンボルに投影するために、グレイマッピングが採用された。電気ベースバンドガウシアンフィルタによってフィルタリングされた非ゼロ復帰信号は、送信器において取り入れられた。受信器では、光学四次ガウシアンフィルタが使用された。TDEが収束に到達することを可能にした初回トレーニング期間の後に、TDEのタップは、CD推定を取得するために、方程式(1)から(3)と共に使用された。

【0104】

15のタップを備えたTDEは、エラーがない状態で、最大1250ps/nmまでの任意の量のCDについて、光通信信号を完全に等化するのに十分であることが判明した。OPM装置によって算出された推定残留CDは、23のタップを備えるTDEでは、エラーが4%未満になることが判明した。15のタップを備えるTDEのエラーは、1000ps/nmで5%、1250ps/nmで18%だった。従って、OPM装置を使用して良好なCD推定を取得するためには、チャネルの反転に必要なタップ数(15)よりも、ずっと多くのタップ数(23)を備えるTDEが使用されなくてはならない。

【0105】

本発明の第3の実施形態は、図5に示すCD処理装置50を提供する。この実施形態のCD処理装置50は、図2に示すCD処理装置40に類似するが、以下の変更点を備えている。この実施形態では、FDE42は、光通信ネットワークのリンク全体にわたる伝送にあたり光通信信号によって蓄積される既知の最小CDと、光通信信号を受信する光通信ネットワークのリンクの既知のCD52のいずれかであるCDの初期値について、サンプル16を補償するよう配設される。

【0106】

本発明の第4の実施形態は、図6に示すCD処理装置60を提供する。この実施形態のCD処理装置60は、図2のCD処理装置40に類似するが、以下の変更点を備えている。対応する機構に対しては、同一の参照番号が保持される。

【0107】

この実施形態では、CD処理装置60は更に、分散補償サンプル48のビットエラー率(BER)を確定するよう配設された、BERモニタリング装置62を備える。この実施例では、BERモニタリング装置は、前方誤り訂正(FEC)装置を備える。

【0108】

この実施形態のプロセッサ64は、BERを受信し、BERを第1閾値BERと比較するよう配設される。プロセッサ64は、BERが第1閾値BERを下回ることがない限り、予め選択されているCD増加量が、FDE42によって既に補償されたCDの値に反復して加算されるようにするよう配設される。BERが第1閾値BERを下回っていることに応答して、プロセッサ64は、BERを第2閾値BERと比較するよう配設される。プロセッサ64は、BERが第2閾値BERを下回り、かつ、推定残留CD値が閾値を下回

10

20

30

40

50

ることがない限り、推定残留CD値を含む推定信号30を生成し、伝送するよう配設される。

【0109】

リンクがより長く、補償されないCDが多い場合、TDE44は収束できない。したがって、OPM推定残留CD値は重要でなく、図2のイコライザループは適用不可である。この実施形態のCD処理装置60は、タップ数が少ないTDEの使用を持続するために先進的ループ戦略を取り入れることを可能にする。

【0110】

FDE42による補償の対象となるCDの初期値の選択に続き、FDE42、TDE44及びOPM装置46は、上述のように作動する。FEC装置62によってもたらされたBER値は評価される。BERが第1閾値BERを上回る場合、それは、TDE44が収束できず、OPM装置46によって推定された残留CDは重要な値ではないことを意味する。そのため、予め選択されているCDの増加量が既に補償されたCDに加算され(第1反復後のCDの初期値である)、FEDはCDのこの新たな値に初期化される。工程は反復され、各反復によって、CD増加量がFDEにもたらされたCD値に加算される。

【0111】

BERが第1BER閾値を下回るまで、このループは繰り返される。この条件が満たされると、BER、及び、OPM装置によって確定された推定残留CD値に対する第2確認が実行される。推定残留CDがその閾値を上回る、或いは、BERが第2BER閾値を上回る場合、OPMによって確定された推定残留CDが、FDEにもたらされた値に、代数的に加算される。このループは、両方の条件が満たされるまで反復される。

【0112】

BERと推定残留CDの両方がそれぞれの閾値を下回る時に、反復は終止する。この時点で、CDの大部分はFDEによって補償され、TDEは、残留CDの閾値によって決まる最小CD量を補償することのみを求められる。補償されたCDの総計は、FDEにもたらされた初期CD値を各反復中に加算されたCD総量に加えた合計である。

【0113】

CD増加量の値は、ビット率、変調形式及びTDEのタップ数に依拠する。108 Gbit/s PM-QPSK光通信信号と5つのタップを備えるTDEの場合、CD増加量は必ず1000 ps/nmを下回る。第1BER閾値は、光通信信号を受信する受信器が信号のコンステレーション点を知覚することができる最大BER値である、0.48である。第1BER閾値は、推定残留CDがOPMによって確定されたか否かを判断するのに使用される。第2BER閾値は、FEC限界である 1.0×10^{-3} である。第2BER閾値は、反復の終止条件である。

【0114】

CD閾値が小さくなるほど、FDEによって補償されるCDの総量は増加するが、より多くの反復が必要になる。この実施形態では、CD閾値は、残留CDの推定の精度と必要な反復の回数の釣り合いを保つ、10 ps/nmである。108 Gbit/s PM-QPSK信号と5つのタップを備えるTDEについて、10 ps/nmというCD閾値でTDEが収束するには、5回から10回の反復が必要である。

【0115】

本発明の第5の実施形態は、図7に示すCD処理装置160を提供する。この実施形態のCD処理装置160は、図2のCD処理装置40に類似するが、以下の変更点を備えている。対応する機構に対しては、同一の参照番号が保持される。

【0116】

一実施形態では、OPM46は、推定残留波長分散値の表示を含む出力信号162を、生成し、伝送するよう配設される。従って、この実施形態の装置160は、分散補償サンプル48と残留CDの推定の両方を出力するよう、波長分散処理を実行することが可能である。

【0117】

図 8 は、光通信信号の波長分散を処理する、本発明の第 6 の実施形態による方法 70 のステップを示す。

【0118】

方法は、

- a. 波長分散を有する光通信信号の電氣的表現のサンプルを受信すること (72)、
- b. 残留波長分散値を有する分散補正サンプルを形成するために、波長分散の値についてサンプルを補償すること (74)、
- c. 分散補正サンプルから、光通信信号のチャネル線形伝達関数の表現を生成すること (76)、
- e. チャネル線形伝達関数の表現から、残留波長分散値を推定すること (80)、
- f. 波長分散の後続値を形成するために、推定残留値を閾値と比較し (82)、それが閾値を下回ることがない限り、推定残留値を既に補償された波長分散の値に加算すること (84)、及び、
- g. 推定残留値が閾値を下回るまで、波長分散のそれぞれの後続値についてステップ b. からステップ f. までを繰り返すことを含む。

10

【0119】

図 9 は、光通信信号の波長分散を処理する、本発明の第 7 の実施形態による方法 90 のステップを示す。この実施形態の方法 90 は、図 7 の方法 70 に類似するが、以下の変更点を備えている。対応する機構に対しては、同一の参照番号が保持される。

【0120】

20

この実施形態では、ステップ c. は、分散補償サンプルを形成するために、分散補正サンプルから光通信信号の反転チャネル線形伝達関数を生成し、反転チャネル線形伝達関数を分散補正サンプルに適用すること 96 を、追加的に含む。

【0121】

5 から 15 の範囲内のいくつかのタップを有する二次元分数間隔 FFE を備える TDE は、分散補正サンプルから光通信信号のチャネル線形伝達関数の表現を生成する (76) ために、ステップ c. で使用される。TDE は、分散補償サンプルを形成する目的で、分散補正サンプルから光通信信号の反転チャネル線形伝達関数を生成し、反転チャネル線形伝達関数を分散補正サンプルに適用する 96 ためにも、ステップ c. で使用される。

【0122】

30

ステップ b. の初回実行形態で使用される CD の値は、初期値に設定される 92。この実施例では、CD の値は 0 ps/nm に設定される。ステップ b. からステップ f. までの第 1 反復中に推定残留値が閾値を下回らない場合 82、推定残留 CD 値は、CD の後続値を形成するために、初期 CD 値に加算される 84。ステップ b. からステップ f. までの後続の反復において使用されることになる CD 値は、CD のこの後続値に設定される 94。ステップ b. からステップ f. までの、第 2 の及び後続の反復中に、推定残留値が閾値を下回らない場合 82、推定残留 CD 値は、CD の更なる後続値を形成する 84 ために、既に補償された CD の値 (すなわち、既に設定されている CD の値 94) に加算され、ステップ b. からステップ f. までの後続の反復で使用されることになる CD 値は、CD のこの後続値に設定される 94。

40

【0123】

この実施形態は波長分散の補償に関して説明されているが、ステップ c. が、分散補正サンプルから光通信信号のチャネル線形伝達関数の表現を生成することのみを含む場合には、方法は、分散補償サンプルを導出することなく CD 推定を実行するために使用されることが、当業者には認識されよう。CD 推定をオフラインで実行するためには、このやり方で方法 90 を使用することが望ましい。

【0124】

図 10 は、図 9 の方法 90 を代替的に図示したものである。

【0125】

図 11 は、光通信信号の波長分散を処理する、本発明の第 8 の実施形態による方法 10

50

0のステップを示す。この実施形態の方法100は、図9の方法90に類似するが、以下の変更点を備えている。対応する機構に対しては、同一の参照番号が保持される。

【0126】

この実施形態では、CDの初期値は、光通信信号を受信する光通信ネットワークのリンクの既知のCDである。CDの初期値は、通信ネットワークの制御プレーンから受信される102。

【0127】

CDの初期値は、代替的には、光通信信号によって蓄積される既知の最小CDでありうる。

【0128】

図12は、光通信信号の波長分散を処理する、本発明の第9の実施形態による方法120のステップを示す。この実施形態の方法120は、図11の方法100に類似するが、以下の変更点を備えている。

【0129】

この実施形態では、方法は更に、

d. 分散補償サンプルのBERを確定して、

波長分散の増加した値(CD_{n+1})を形成するために、BERを第1閾値BER(Th_BER_1)と比較し130、BERが第1閾値BERを下回ることがない限り、予め選択されたCD増加量(CD_{step})を、既に補償されたCDの値(CD_0)に加算すること132を含む。

【0130】

ステップb. からd. までは、BERが第1閾値BERを下回るまで繰り返される。

【0131】

ステップf. は、BERを第2閾値BER(Th_BER_2)と比較すること134を、追加的に含む。BERが第2閾値BERを下回り、かつ、推定残留CD値が閾値を下回ることがない限り、CDの後続値(CD_m)を形成するために、推定残留値(CD_{op_m})は、既に補償されたCDの値(CD_{m-1})に加算される136。この実施例では閾値は10ps/nmであるが、最大50ps/nmの任意の値でありうる。

【0132】

リンクがより長く、補償されないCDが多い場合、TDEは収束できない。したがって、OPM推定残留CD値は重要でなく、方法70、90、100のイコライザループは適用不可である。この実施形態の方法120は、タップ数が少ないTDEの使用を持続するために、先進的ループ戦略を取り入れることを可能にする。

【0133】

FDFが CD_0 に初期化される122場合、

1. $CD_0 = 0 \text{ ps/nm}$

2. $CD_0 = CD_{min} \text{ ps/nm}$

3. $CD_0 = CD_{cp} \text{ ps/nm}$

のいずれかでありうる。

【0134】

初期CD値を0に設定するのは、もっとも一般的かつブラインド的なアプローチである。ネットワーク内で伝播中に信号によって蓄積されるCDが、既知の最小値(CD_{min})と最大値の間の範囲におさまることが可能である場合、FDEは CD_{min} に初期化されうる。ネットワーク制御プレーンがリンクCD(CD_{cp})の大雑把な推定を有する場合、FDEは CD_{cp} に初期化されうる。

【0135】

次いで、ステップb. からステップf. までにおいて、FDE124、TDE126及びOPM128は上述のように実装される。BERが第1閾値BERを上回る130場合、それは、TDE126が収束できず、OPM128によって推定された残留CDは重要な値ではないことを意味する。そのため、予め選択されているCDの増加量(CD_{step})

10

20

30

40

50

p) は、既に補償された CD に加算される 132。

$$CD_{n+1} = CD_0 + (n+1) CD_{step}$$

【0136】

FDE124 は、 CD のこの新たな値に初期化される。工程は反復され、各反復によって、 CD 増加量が FDE にもたらされた CD 値に加算される。BER が第 1 BER 閾値を下回る 130 まで、このループは繰り返される。この条件が満たされると、BER、及び、OPM128 によって確定された推定残留 CD 値に対する第 2 確認が実行される 134。

$$Abs(CD_s) < Th_CD?$$

$$BER < Th_BER_2?$$

10

【0137】

推定残留 CD ($Abs(CD_s)$) がその閾値を上回る、或いは、BER が第 2 BER 閾値を上回る場合、OPM128 によって確定された推定残留 CD が、FDE136 にもたらされた値に、代数的に加算される。

$$CD_m = CD_{m-1} + CD_{OPM}$$

【0138】

このループは、両方の条件が満たされるまで反復される。BER と推定残留 CD の両方がそれぞれの閾値を下回る時に、反復は終止する。この時点で、 CD の大部分は FDE によって補償され、TDE は、残留 CD の閾値によって決まる最小 CD 量を補償することのみを求められる。補償された CD の総計は、FDE にもたらされた初期 CD 値を各反復中に加算された CD 総量に加えた合計である。

20

【0139】

CD 増加量の値 (CD_{step}) は、ビット率、変調形式及び TDE126 のタップ数に依拠する。108 Gbit/s PM-QPSK 光通信信号と 5 つのタップを備える TDE の場合、 CD 増加量は必ず 1000 ps/nm を下回る。第 1 BER 閾値は、光通信信号を受信する受信器が信号のコンステレーション点を知覚することができる最大 BER 値である、0.48 である。第 1 BER 閾値は、推定残留 CD が OPM によって確定されたか否かを判断するのに使用される。第 2 BER 閾値は、FEC 限界である 1.0×10^{-3} である。第 2 BER 閾値は、反復の終止条件である。

【0140】

30

CD 閾値が小さくなるほど、FDE によって補償される CD の総量は増加するが、より多くの反復が必要になる。この実施形態では、 CD 閾値は、残留 CD の推定の精度と必要な反復の回数の釣り合いを保つ、10 ps/nm である。108 Gbit/s PM-QPSK 信号と 5 つのタップを備える TDE について、10 ps/nm という CD 閾値で TDE が収束するには、5 回から 10 回の反復が必要である。

【0141】

図 13 は、図 12 の方法 120 の反復の数に応じた、推定残留 CD を示す。分散補償に先立つ、200 km (丸)、520 km (四角)、760 km (三角) 及び 1000 km (菱形) の 4 つの異なる距離にわたる、光通信信号の伝播が考察されている。図 12 のループ 1 における反復の回数が常に 9 未満である一方で、図 12 のループ 2 の反復の回数は、補償の対象となる CD と共に直線的に増加する。ループ 1 と 2 の反復の回数は、方法の後続の適用間で若干変化しうるが、3 反復で最大の相違が認められた。ループ 1 における反復は、1000 ps/nm という一定の CD 増加量をもたらす、それは図 13 の傾斜した直線上の点によって表されている。ループ 2 における反復は、変動可能で、より少ない増加量をもたらす。方法 120 は、考察されたあらゆる事例において、十分に機能し、目標残留 CD 値に到達することが認められる。ノミナル残留 CD と推定残留 CD の間のエラーは、常に 5 % を下回る。

40

【0142】

本発明の第 10 の実施形態は、図 14 に示す光受信器 140 を提供する。

【0143】

50

光受信器 140 は、光検波装置 142、アナログ - デジタル変換 (ADC) 装置 154、及び、デジタル信号処理 (DSP) 装置 156 を備える。

【0144】

光検波装置は、光通信信号 146 を受信し、光通信信号の電氣的表現を生成するよう配設される。光検波装置 142 は、90° 光ハイブリッド 144 と、4つのバランスト受信器 152 を備える。90° 光ハイブリッド 144 は、信号 146、及び、局所発振器 148 によって生成された基準信号 150 を受信するよう配設される。この種の光検波装置の構造及び動作は、当業者には熟知されることから、更なる詳細は本書に記さない。

【0145】

ADC 装置 154 は、バランスト受信器 152 から受信された電気出力信号をサンプリングし、光通信信号の電氣的表現のサンプル 16 を生成するよう配設される。

10

【0146】

DSP 装置 156 は、図 1 に示す CD 処理装置 10 を備える。図 2 の CD 処理装置 40、図 5 の CD 処理装置 50、図 6 の CD 処理装置 60、又は図 7 の CD 処理装置 160 が、代替的に使用されることが認識されよう。

【0147】

本発明の第 11 の実施形態は、図 15 に示す光学モニタリング装置 160 を提供する。

【0148】

光学モニタリング装置 160 は、光検波装置 162、アナログ - デジタル変換 (ADC) 装置 164、及び、図 1 に示す CD 処理装置 10 を備える。

20

【0149】

CD 処理装置 10 は、光通信信号の CD を推定するよう配設される。図 2 の CD 処理装置 40、図 5 の CD 処理装置 50、図 6 の CD 処理装置 60、又は図 7 の CD 処理装置 160 が、代替的に使用されることが認識されよう。

【0150】

光検波装置は、光通信信号 166 を受信し、光通信信号の電氣的表現を生成するよう配設される。タップされた光通信信号は、光通信トラフィック信号であり、ゆえに、光通信トラフィック信号の一部であって、光通信トラフィック信号の光強度の一部を有し、かつ、光通信トラフィック信号が運ぶトラフィックのレプリカを伝達する。

【0151】

30

光検波装置 162 は、90° 光ハイブリッド 168 と、4つのバランスト受信器 170 を備える。90° 光ハイブリッド 168 は、信号 166、及び、局所発振器 174 によって生成された基準信号 172 を受信するよう配設される。この種の光検波装置の構造及び動作は、当業者には熟知されることから、更なる詳細は本書に記さない。

【0152】

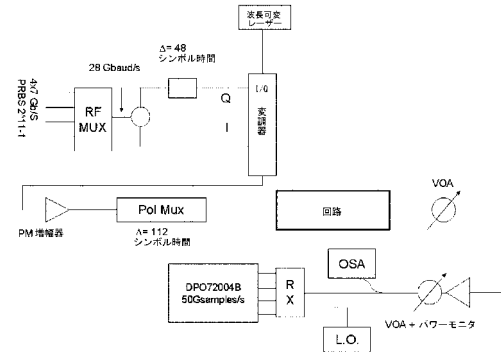
局所発振器 174 は、光通信信号が有する可能性がある種々の波長に対応する、予め選択されている複数の波長のうちの 1 つで基準信号 172 を生成するよう配設された、波長可変局所発振器 174 である。

【0153】

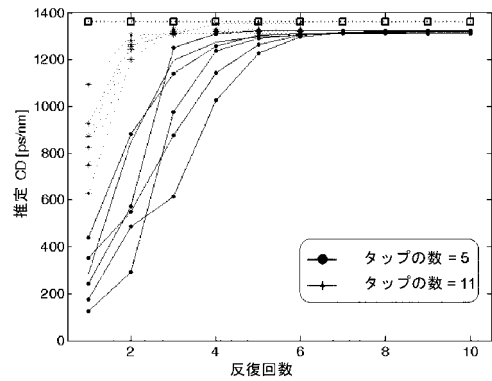
ADC 装置 154 は、バランスト受信器 152 から受信された電気出力信号をサンプリングし、光通信信号の電氣的表現のサンプル 16 を生成するよう配設される。

40

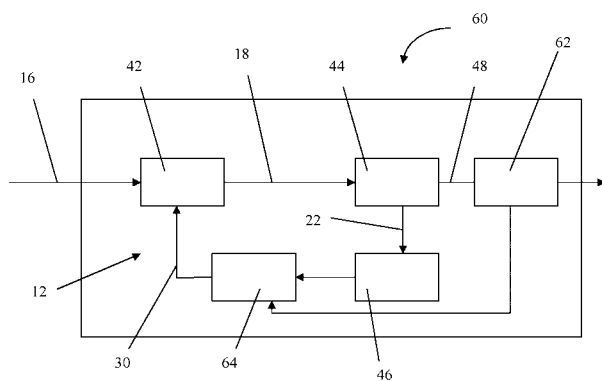
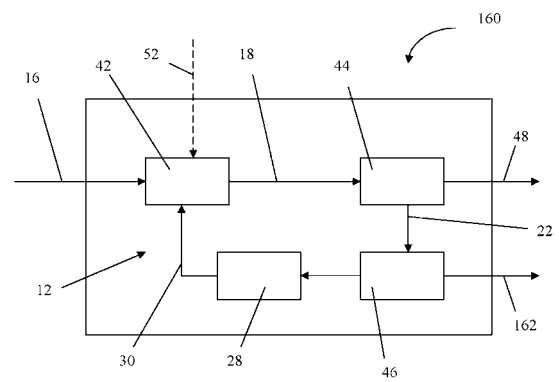
【 図 3 】



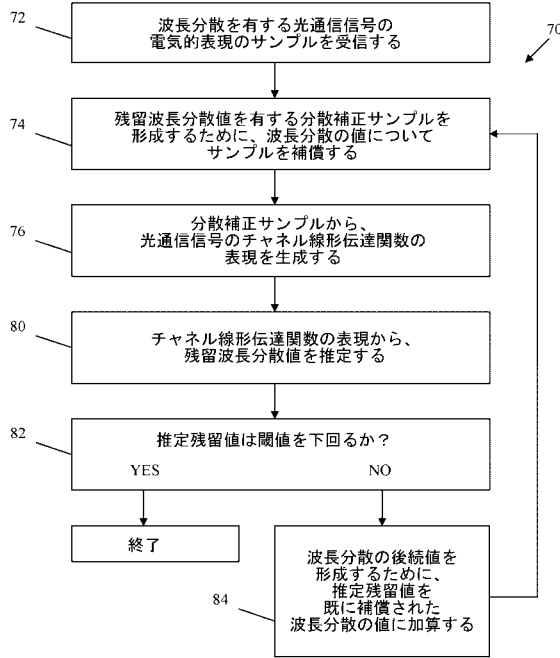
【 図 4 】



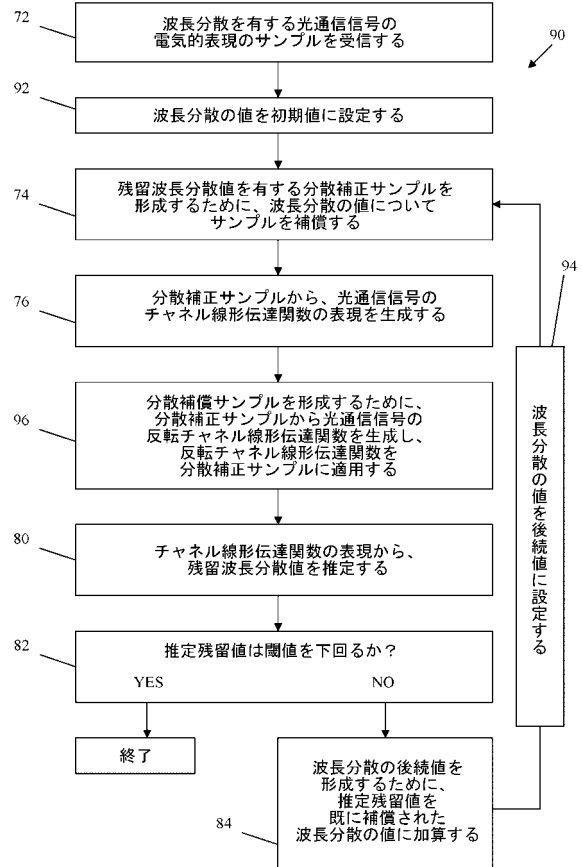
【 図 7 】



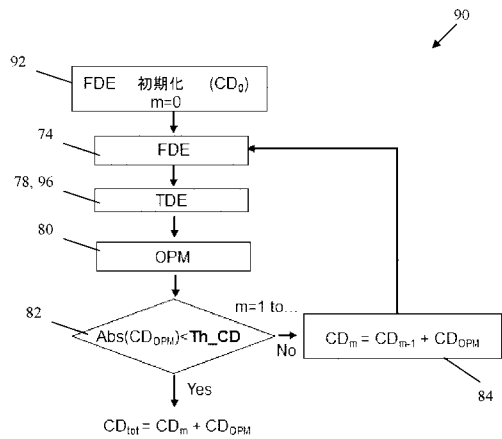
【図 8】



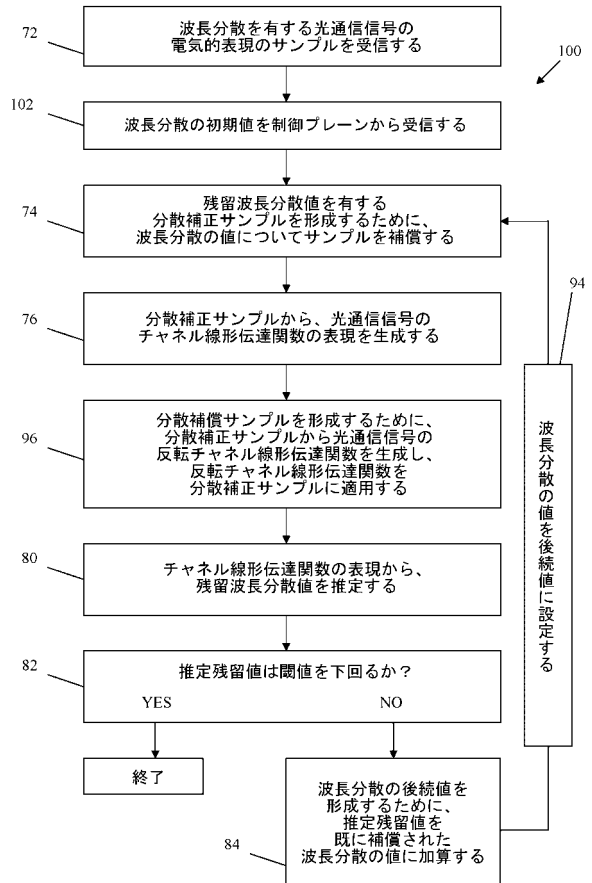
【図 9】



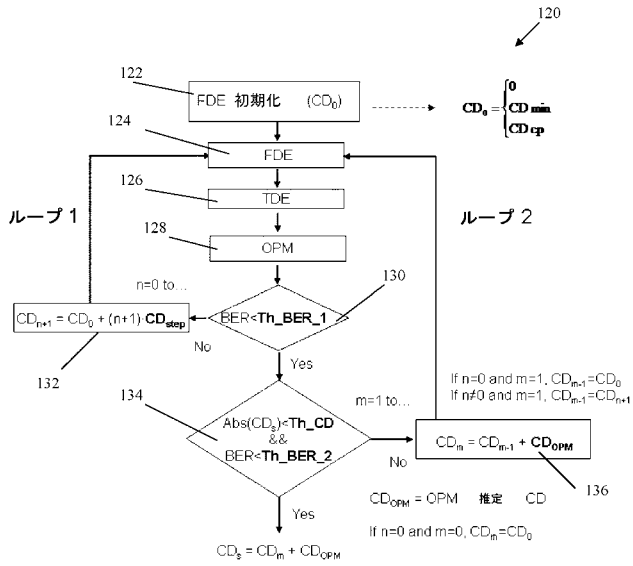
【図 10】



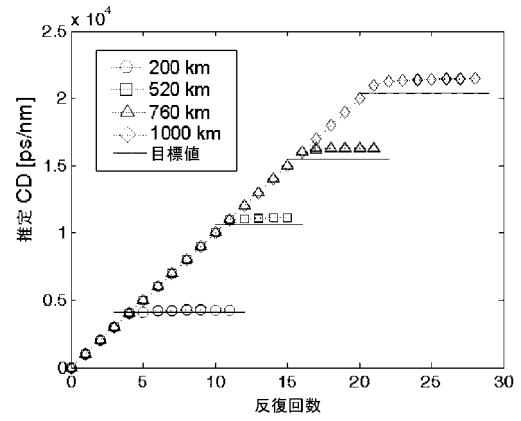
【図 11】



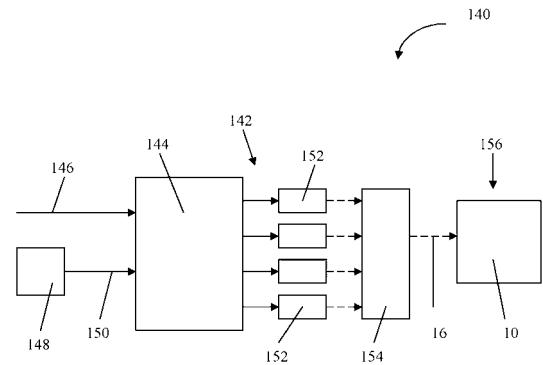
【図 1 2】



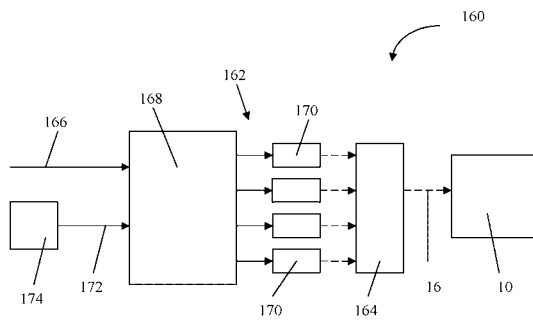
【図 1 3】



【図 1 4】



【図 1 5】



【 国際調査報告 】

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No

PCT/EP2012/053622

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

INV. H04B10/18

ADD.

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)

H04B

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 practicable, search terms used)

EPO-Internal, PAJ, WPI Data

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	WO 2010/108334 A1 (FUJITSU LTD [JP]; ZHANG HUI JIAN [CN]; TAO ZHEN NING [CN]; ODA SHOICHI) 30 September 2010 (2010-09-30) page 14, line 15 - page 15, line 7 page 21, line 4 - page 22, line 3; figures 3,4,9,10 page 29, line 5 - page 29, line 13 -----	1-18
A	WO 2010/094342 A1 (NOKIA SIEMENS NETWORKS GMBH [DE]; HAUSKE FABIAN [DE]; KUSCHNEROV MAXIM) 26 August 2010 (2010-08-26) page 7, line 32 - page 10, line 10; figure 3 -----	1-18

☐ Further documents are listed in the continuation of Box C.☒ See patent family 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 application or patent 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

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

22 October 2012

Date of mailing of the international search report

26/10/2012

Name and mailing address of the ISA/

European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2
NL - 2280 HV Rijswijk
Tel. (+31-70) 340-2040,
Fax: (+31-70) 340-3016

Authorized officer

Koch, Bernhard

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International application No

PCT/EP2012/053622

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
WO 2010108334 A1	30-09-2010	CN 101965698 A EP 2412113 A1 US 2011064421 A1 WO 2010108334 A1	02-02-2011 01-02-2012 17-03-2011 30-09-2010
WO 2010094342 A1	26-08-2010	CN 102326343 A EP 2399354 A1 US 2011305453 A1 WO 2010094342 A1	18-01-2012 28-12-2011 15-12-2011 26-08-2010

フロントページの続き

(81)指定国 AP(BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), EA(AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), EP(AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OA(BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG), AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KM, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN

(72)発明者 マトラッツォ, エンマ

イタリア国 イ - 8 3 1 0 0 アヴェリーノ, ヴィア ディ. カプアーノ 2

(72)発明者 ペラッチ, アンドレーア

イタリア国 イ - 4 3 0 3 9 パルマ サルソマッジョーレ テルメ, ヴィア デイ ジェルシ
2

(72)発明者 チャラメッラ, エルネスト

イタリア国 イ - 0 0 1 8 5 ローマ, ヴ. ルドヴィーコ ディ サヴォイア 2 1

Fターム(参考) 5K102 AA01 AA69 AH14 KA02 KA33 KA39 MH03 MH14 MH32 PB13

PH37 RD26 RD28